



วิทยานิพนธ์

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเนยแข็งเทียม
จากแป้งข้าวเจ้า

**FACTORS AFFECTING TEXTURE OF IMITATION CHEESE
FROM RICE FLOUR**

นางสาวอริสรา โพธิ์สนาม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2549



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การอาหาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าวเจ้า

Factors Affecting Texture of Imitation Cheese from Rice Flour

นามผู้วิจัย นางสาวอริสรา โพธิ์สนาม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมจิต สุรพัฒน์, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปาริฉัตร หงสประภาส, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์งามพ้อง คงคาทิพย์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนะบุญย์ สัจจานันตสกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจฉรหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าวเจ้า

Factors Affecting Texture of Imitation Cheese from Rice Flour

โดย

นางสาวอริสรา โพธิ์สนาม

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

พ.ศ. 2549

ISBN 974-16-2063-2

อริสรา โพธิ์สนาม 2549: ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าวเจ้า
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร) สาขาวิทยาศาสตรการอาหาร ภาควิชา
วิทยาศาสตรและเทคโนโลยีการอาหาร ปรธานกรรมการที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมจิต
สุรพัฒน์, Ph.D. 97 หน้า
ISBN 974-16-2063-2

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญในหลายประเทศ แต่การผลิตที่มากเกินไปความต้องการ ทำให้ข้าวล้นตลาด
และราคาตกต่ำ การพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ช่วยเพิ่มมูลค่าของข้าวได้ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์
ศึกษาการนำข้าวมาผลิตเนยแข็งเทียมโดยใช้แป้งข้าวเป็นสารแทนที่เคซีนในสูตรมาตรฐานซึ่งได้จากการผสม
ส่วนผสมของไขมันกับส่วนของน้ำที่อุณหภูมิ 85 °ซ ส่วนของไขมันประกอบด้วย ไขมัน เคซีนทผสม (โซเดียม
เคซีนทต่อแคลเซียม เคซีนทเท่ากับ 1:4) กัวกัมต่อแซนแทนกัม (1:1) เป็นปริมาณร้อยละ 36 11 และ 0.2 ของ
น้ำหนักทั้งหมด ตามลำดับ ส่วนของน้ำประกอบด้วย น้ำ อิมัลซิไฟเออร์ (ไดโซเดียมฟอสเฟต : โซเดียมไตรโพลิ
ฟอสเฟต : โซเดียมซิเตรต เท่ากับ 1:1:1) เกลือ และโพแทสเซียมซอร์เบตร้อยละ 51 0.6 0.75 และ 0.1 ของ
น้ำหนักทั้งหมด ตามลำดับ หลังผสมโฮโมจีไนส์และเติมกรดแลกติกร้อยละ 0.35 ของน้ำหนักทั้งหมด บรรจุและ
เก็บที่ 4 °ซ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งนุ่มและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค องค์ประกอบทางเคมีของเนย
แข็งเทียมมีดังนี้ ไขมัน โปรตีน เส้นใย และเถ้า ร้อยละ 35.95 10.55 0.09 และ 0.49 ขององค์ประกอบทั้งหมด
ตามลำดับ จากสูตรมาตรฐานที่แทนที่เคซีนทด้วยแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1 (RP) และขาวตาแห้ง 17 (RT) ใน
ปริมาณร้อยละ 10 15 และ 20 ของเคซีนททั้งหมด องค์ประกอบของเนยแข็งเทียมที่มีแป้งข้าวเมื่อเทียบกับสูตร
มาตรฐาน พบว่า ความชื้น ไขมัน และเถ้า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) โปรตีนต่ำกว่าและเส้นใย
สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ปริมาณน้ำ และไขมันมีผลต่อการหลอมและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เมื่อ
ปริมาณน้ำลดลงและไขมันเพิ่มขึ้นทำให้ความแน่นเนื้อและการหลอมของเนยแข็งเทียมเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$)
อัตราส่วนของโซเดียมเคซีนทต่อแคลเซียมเคซีนท 1:3 และ 1:4 ไม่มีผลต่อความแน่นเนื้อและการหลอมของ
เนยแข็งเทียม ($p \geq 0.05$) เนยแข็งเทียมที่แทนที่เคซีนทด้วยแป้งข้าวในปริมาณสูงขึ้น (RP20 และ RT20) มีความ
แน่นเนื้อ (16.0 และ 16.8 กิโลปาสคาล) และการหลอม (15.41 และ 14.72 มิลลิเมตร) ลดลงจากเนยแข็งเทียม
สูตรมาตรฐาน (39.0 และ 37.18 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) การทดแทนเคซีนทด้วยแป้งข้าว
ร้อยละ 10 ของเคซีนททั้งหมด (RP และ RT) มีความแน่นเนื้อ (31.7 และ 32.0 กิโลปาสคาล) และการหลอม
(36.34 และ 35.37 มิลลิเมตร) ใกล้เคียงกับเนยแข็งเทียมสูตรมาตรฐาน (39.0 กิโลปาสคาล และ 37.18 มิลลิเมตร
ตามลำดับ) ลักษณะโครงสร้างภายในของเนยแข็งเทียมที่มีปริมาณน้ำต่ำและไขมันสูงมีอนุภาคไขมันขนาดใหญ่
กระจายตัวในโปรตีนเมทริกซ์ และเนยแข็งเทียมที่มีแป้งข้าวเป็นส่วนผสมมีเม็ดแป้งกระจายตัวในโปรตีนเม
ทริกซ์ทำให้ความแน่นเนื้อและการหลอมลดลงเมื่อเทียบกับสูตรมาตรฐาน

Arissara Phosanam 2006: Factors Affecting Texture of Imitation Cheese from Rice Flour.
Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and
Technology. Thesis Advisor: Assistant Professor Somjit Surapat, Ph.D. 97 pages.
ISBN 974-16-2063-2

Rice is an important commercial crop in many countries. Excessive production causes oversupply in the market and low price. Rice product development can add rice value. Thus, this research aimed to produce imitation cheese from rice by replacing caseinate with rice flour in standard imitation cheese (SIC) formula. Mixture was prepared by mixing fat phase and water phase ingredients at 85°C. The fat phase composed of fat, caseinate [Sodium (Na) caseinate: Calcium (Ca) caseinate at 1:4] and gum [Guar : Xanthan gum at 1:1] at 36, 11, and 0.2%, respectively. The water phase contained water, emulsifier [Disodium phosphate: Sodium tripolyphosphate: Sodium citrate at 1:1:1], salt, and potassium sorbate at 51%, 0.6%, 0.75%, and 0.1%, respectively. After mixing, it was homogenized and 0.35% lactic acid was then added. The product was packed and stored at 4°C. The finished product was semi-soft and well accepted by consumers. It's chemical composition, i.e., protein, fat, fiber, and ash contents were 35.95%, 10.55%, 0.09%, and 0.49% respectively. Replacing caseinate in SIC by rice flours from Pathum Thani 1 (RP) and Khao Tah Hang 17 (RT) at 10, 15, and 20%, the compositions of rice flour imitation cheese (RIC) is slightly different. Moisture, fat, and ash did not differ significantly ($p \geq 0.05$), protein was lower, fiber was higher significantly ($p < 0.05$) than those of SIC. Water and fat contents affected the melting and texture characteristics of the product. Increase water quantity and decrease fat quantity caused higher firmness and melting properties significantly ($p < 0.05$). Ratios of the Na and Ca caseinates (1:3 and 1:4) did not result in different firmness and melting properties, significantly ($p \geq 0.05$). Replacing caseinates with higher quantity of rice flour (RP20 and RT20) yielded less firmness (16.0 and 16.8 kPa) and melting (15.41 and 14.72 mm), significantly ($p < 0.05$). At 10% replacement of RP and RT, firmness and melting properties were similar to SIC. Microstructure study of IC showed that lower water with higher fat contents gave large fat globules dispersing in the protein matrix. While, IC with rice flour's microstructure yielded rice flour granules embedded in the protein matrix causing decrease in firmness and melting qualities comparing to SIC.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมจิต สุรพัฒน์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการให้คำปรึกษา และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปาริฉัตร หงสประภาส กรรมการวิชาเอก รองศาสตราจารย์งามผ่อง คงคาทิพย์ กรรมการวิชาการ และอาจารย์เกียรติทิพย์ ชูวงศ์โกมล ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ตรวจสอบแก้ไข และให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์มาศอุบล ทองงาม ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้กล้องจุลทรรศน์คอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่ง ขอขอบคุณบริษัท ทินกร เคมิคอล แอนด์ซัพพลาย จำกัด ที่อนุเคราะห์เกลืออิมัลซิไฟเออร์ บริษัทเบอร์ลี่ ยุคเกอร์ สเปเชียลตี้ จำกัด ที่อนุเคราะห์แก้วกัมและแซนแทนกัม บริษัท วีกี้คอนโซลิเดต จำกัด ที่อนุเคราะห์โซเดียม เคซีนและกรดแลคติก บริษัท สหสิทธิ์ อิมพอร์ต แอนด์ เอ็กพอร์ต จำกัด ที่อนุเคราะห์แคลเซียม เคซีน เพื่อใช้ในการวิจัย ขอขอบคุณศูนย์บริการด้านพืชและปัจจัยการผลิต จังหวัดราชบุรีที่กรุณาจัดหาข้าวพันธุ์ขาวตาแห้ง 17 และปทุมธานี 1 เพื่อใช้ศึกษาในงานวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร เจ้าหน้าที่ห้องสมุด และเจ้าหน้าที่ธุรการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่อำนวยความสะดวกต่างๆ ตลอดจนในระหว่างการศึกษา พี่ เพื่อนและน้องปริญญาโทสาขาวิทยาศาสตร์อาหารทุกท่านที่กล่าวมาในที่นี้ที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีทุกๆ ด้านในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ และน้องๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ ชี้แนะและสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

อริสรา โพธิ์สนาม

เมษายน 2549

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
เนยแข็ง	4
เนยแข็งเทียม	7
แป้งข้าว	19
สตาร์ช	23
อุปกรณ์และวิธีการ	26
อุปกรณ์	26
วิธีการ	27
ผลและวิจารณ์	33
ส่วนประกอบที่เหมาะสมของเนยแข็งเทียม	33
ปริมาณการแทนที่เคซีนทดด้วยแป้งข้าวเจ้า	48
สรุป	65
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	66
ภาคผนวก	75
ภาคผนวก ก	76
ภาคผนวก ข	87
ภาคผนวก ค	88
ภาคผนวก ง	92
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	97

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบของโซเดียมเคซีนและแคลเซียมเคซีน	10
2	ปริมาณความชื้นและความแน่นเนื้อของเนยแข็งเทียม	17
3	คุณลักษณะต่างๆ ของแป้งข้าวเจ้า	21
4	ปริมาณวิตามินที่สังเคราะห์ในอาหาร	25
5	ส่วนผสมต่างๆ ของเนยแข็งเทียม	28
6	ปริมาณการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้า	31
7	ส่วนผสมของเนยแข็งมอซเชอเรลลาเทียม ^๑ และเนยแข็งเทียมที่ผลิตจากเคซีน	35
8	องค์ประกอบทางเคมีของเนยแข็งเทียมจากเคซีน	37
ตารางผนวกที่		
ค1	องค์ประกอบทางเคมีของเนยแข็งเทียมจากเคซีน	88
ค2	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าว	88
ค3	องค์ประกอบทางเคมีของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าว	89
ค4	ค่าความแน่นเนื้อและการหลอมของเนยแข็งเทียม	89
ค5	ค่าความแน่นเนื้อและการหลอมของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าว	90
ค6	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส ความแน่นเนื้อ และความชอบโดยรวมของเนยแข็งเทียม	90
ค7	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส ความแน่นเนื้อ และความชอบโดยรวมของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าวเจ้า	91

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ขั้นตอนพื้นฐานในการผลิตเนยแข็ง	6
2 กระบวนการผลิตเคซีนผง	9
3 โครงสร้างภายในของเนยแข็งเชดดาร์ที่มีปริมาณไขมันต่างกัน ก่อนและหลังให้ความร้อนจากกล้องจุลทรรศน์คอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่ง สี่แดงส้ม คือส่วนของโปรตีน และ สีเขียวคือ ส่วนของไขมันบาร์ = 25 μm	18
4 การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะการหลอมของเนยแข็งเชดดาร์ที่มีปริมาณไขมันแตกต่างกัน	19
5 โครงสร้างของอะไมโลส	22
6 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน	23
7 โครงสร้างภายในของสตาร์ชข้าวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดกราดลำแสง (SEM)	24
8 วิธีการผลิตเนยแข็งเทียม	29
9 ลักษณะของเนยแข็งเทียมที่ผลิตจากเคซีนท	34
10 ผลของปริมาณไขมันและน้ำต่อความแน่นเนื้อของเนยแข็งเทียม	39
11 ผลของปริมาณไขมันและน้ำต่อการหลอมของเนยแข็งเทียม	40
12 โครงสร้างภายในของเนยแข็งเทียมจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสงย้อมสีโปรตีน (สีฟ้า)	43
13 โครงสร้างภายในของเนยแข็งเทียมจากกล้องจุลทรรศน์คอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่งย้อมสีโปรตีน	44
14 โครงสร้างภายในของเนยแข็งเทียมจากกล้องจุลทรรศน์คอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่งย้อมสีไขมัน	45
15 ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ	47
16 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าว	49
17 ค่าพีเอชของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าว	50
18 ปริมาณความชื้นของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าว	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	ปริมาณไขมันของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าว	52
20	ปริมาณโปรตีนของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าว	53
21	ปริมาณเส้นใยของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าว	55
22	ปริมาณเถ้าของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าว	56
23	ผลของปริมาณแป้งข้าวที่แทนที่เคซีนต่อความแน่นเนื้อและการหลอมของเนยแข็งเทียม	58
24	ผลของปริมาณแป้งข้าวที่แทนที่เคซีนต่อความแน่นเนื้อและการหลอมของเนยแข็งเทียม	60
25	โครงสร้างภายในของเนยแข็งเทียมที่ไม่มีการใช้แป้งข้าวเจ้าแทนที่เคซีน	61
26	โครงสร้างภายในของเนยแข็งเทียมที่มีการใช้แป้งข้าวเจ้าแทนที่เคซีน	62
27	ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส ความแน่นเนื้อ และความชอบโดยรวมของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าวเจ้า	63
ภาพผนวกที่		
ก1	ปริมาณอะไมโลสและการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน	79
ก2	ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ของเนยแข็งเทียม ความชันของกราฟคือค่ามอดุลัสของยัง	85
ก3	แผนภาพสำหรับวัดเส้นผ่านศูนย์กลางการหลอมของเนยแข็งเทียม	86
ง1	เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Analyser [®] TA-Xtplus	92
ง2	กล้องจุลทรรศน์ชนิดคอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่ง (Confocal Laser Scanning Microscope รุ่น LSM 5 PASCAL)	93
ง3	ไขมันที่ใช้ในการผลิตเนยแข็งเทียม	93
ง4	เคซีนและกัมที่ใช้เป็นส่วนผสมในเนยแข็งเทียม	94
ง5	ไขมันหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน	94

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ง6 สารละลายเกลือ (ไดโซเดียมฟอสเฟต โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต โซเดียมซิเตรต โพลีแซ็กเคียมชอร์เบต และโซเดียมคลอไรด์)	95
ง7 เคซีนและกัมกระจายตัวในน้ำมันหลังให้ความร้อน	95
ง8 ลักษณะที่เกิดขึ้นหลังจากเติมสารละลายเกลือลงไปของผสมเคซีนท กัม และไขมัน	96
ง9 เนยแข็งเทียมที่ผลิตได้จากเคซีนท	96

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าวเจ้า

Factors Affecting Texture of Imitation Cheese from Rice Flour

คำนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทยและภูมิภาคเอเชีย โดยไทยเป็นอันดับต้นๆ ที่ส่งข้าวออกจำหน่ายในตลาดโลก ทั้งในรูปของข้าวเปลือกและข้าวสารทำรายได้เข้าประเทศปีละหลายหมื่นล้านบาท ปัจจุบันมีหลายประเทศที่ผลิตข้าวมากขึ้น ทำให้ปริมาณข้าวที่เข้ามาแข่งขันในตลาดโลกเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้มีการใช้ราคาเป็นตัวกำหนดกลยุทธ์ด้านการตลาด ส่งผลให้ข้าวล้นตลาดและราคาข้าวตกต่ำ การส่งออกข้าวในรูปของเมล็ดข้าวโดยแบ่งชั้นคุณภาพตามมาตรฐานข้าว ซึ่งมีสัดส่วนของข้าวหักปนสูงขึ้น ตามการต่ำลงของชั้นหรือชนิดของข้าว (กระทรวงพาณิชย์, 2540) จากภาวะการค้าในปัจจุบันตลาดโลกมีการแข่งขันรุนแรงขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มข้าวคุณภาพต่ำ ดังนั้นรัฐบาลจึงมีนโยบายส่งเสริมการผลิตข้าวคุณภาพดีเพื่อการส่งออก ทำให้มีปริมาณข้าวหักมากขึ้น หากนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็นสินค้าอุตสาหกรรมย่อมช่วยเพิ่มมูลค่าข้าวให้สูงขึ้น และช่วยขยายการใช้ประโยชน์จากข้าวให้กว้างขวางมากขึ้นจึงมีการนำส่วนของข้าวหักมาผลิตเป็นแป้งข้าว งานวิจัยนี้จึงเห็นความสำคัญในการหาทางเพิ่มปริมาณความต้องการใช้ข้าวมากขึ้น โดยศึกษาถึงผลของการนำแป้งข้าวมาใช้เป็นสารแทนที่เคซีนบางส่วนในการผลิตเนยแข็งเทียม เพื่อเป็นการเพิ่มแนวทางการใช้ประโยชน์ของแป้งข้าวให้หลากหลายขึ้น

เนยแข็งเทียมเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากส่วนประกอบอื่นที่ไม่ได้มาจากนมวัว เช่น การนำน้ำมันพืชมาใช้แทนมันเนย (Kong-Chan *et al.*, 1991) หรืออาจนำโปรตีนอื่นมาแทนเคซีนที่เป็นโปรตีนในน้ำนมโดยตรง เช่น เคซีนพืชซึ่งมีหลายชนิด ได้แก่ โซเดียม เคซีนพืช แคลเซียม เคซีนพืช แมกนีเซียม เคซีนพืช และอะลูมิเนียม เคซีนพืช เป็นต้น โปรตีนเหล่านี้แม้ว่าเป็นอนุพันธ์ของเคซีนแต่ถือว่าไม่ใช่ส่วนผสมที่มาจากนม (nondairy ingredient) (Rule *et al.*, 1980; Zwiercan *et al.*, 1985 and Bachmann, 2001) ปัจจุบันการผลิตเนยแข็งเทียมเป็นไปอย่างกว้างขวางและมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในอนาคตเนื่องจากมีราคาถูกและมีคุณภาพใกล้เคียงกับเนยแข็งที่ผลิตโดยวิธีดั้งเดิม (Hokes *et al.*, 1982) เนยแข็งเทียมผลิตจากเคซีนพืชมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ เคซีนพืช ไขมัน และน้ำ อาจมีการเติมอิมัลซิไฟเออร์ หรือสารประกอบไฮโดรคอลลอยด์หรือกัม เพื่อปรับปรุงคุณภาพเนยแข็งเทียมที่ผลิตได้มีลักษณะแตกต่างกันไปตามส่วนประกอบที่ใช้ในการผลิตเนยแข็งเทียมที่นิยมผลิต

คือ เนยแข็งมอซเชอเรลลาเทียม เชดคาร์เทียม ครีมชีสเทียม เนยแข็งแปรรูปเทียม และชีสสเปรดเทียม (Carpenter *et al.*, 1998) นอกจากนี้การผลิตเนยแข็งเทียมอาจแทนที่เคซีนด้วยโปรตีนจากถั่ว เช่น ถั่วเหลือง (Yang and Taranto, 1982; Cipollo *et al.*, 1985) และถั่วลิสง (Santos *et al.*, 1987; Santos and Resurreccion, 1989) เป็นต้น การผลิตเนยแข็งเทียมสามารถใช้สตาโรซัคเคอร์แทนเคซีนได้บางส่วนหรือทั้งหมดขึ้นกับชนิดของสตาโรซัคเคอร์ที่ใช้จึงได้มีการพัฒนาการผลิตเนยแข็งเทียมในรูปแบบต่างๆ อย่างต่อเนื่องโดยมีวัตถุประสงค์ในการผลิตที่แตกต่างกันไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาหาปริมาณส่วนประกอบที่เหมาะสมของเนยแข็งเทียมจากเคซีน
2. ศึกษาปริมาณการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้า
3. ทดสอบสมบัติการหลอมและเนื้อสัมผัสของเนยแข็งเทียมและเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าวเจ้าที่ผลิตได้
4. ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเนยแข็งเทียมและเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าวเจ้าที่ผลิตได้
5. ศึกษาลักษณะโครงสร้างภายในของเนยแข็งเทียมและเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสง (Light Microscope) และคอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่ง (Confocal Laser Scanning Microscope)

การตรวจเอกสาร

เนยแข็ง

เนยแข็งคือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำนม ครีม บัตเตอร์มิลค์ (butter milk) หรือเวย์ (whey) อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างมาผสมกับเอนไซม์ (enzyme) หรือกรด หรือจุลินทรีย์ จนเกิดการรวมตัวเป็นเคิร์ดแล้วแยกส่วนที่เป็นของเหลว (เวย์) ออก และเคิร์ดหรือเนยแข็งใช้ในลักษณะสด หรือนำมาบ่มให้ได้ที่ เนยแข็งมีมากมายหลายชนิดตามเชื้อชาติและประเทศที่ผลิต

การจำแนกเนยแข็ง

การจำแนกเนยแข็งมีหลักเกณฑ์ในการจำแนกต่างกัน ได้แก่ ปริมาณความชื้น ลักษณะเนื้อของเนยแข็ง กรรมวิธีในการผลิต หรืออาจแบ่งตามลักษณะการบ่มเป็นต้น (Gunasekaran and Mehmet, 2003)

1. จำแนกตามกรรมวิธีการผลิตได้ 2 ชนิด ดังนี้ เนยแข็งธรรมชาติ (Natural cheese) และเนยแข็งแปรรูป (Processed cheese)
2. จำแนกตามปริมาณความชื้นได้ 4 ชนิด ดังนี้ เนยแข็งชนิดอ่อน กึ่งอ่อน กึ่งแข็ง และชนิดแข็ง
3. จำแนกตามลักษณะการบ่มได้ 4 ชนิดดังนี้ สด บ่มโดยใช้แบคทีเรีย บ่มโดยใช้เชื้อรา และบ่มโดยใช้เชื้อราร่วมกับแบคทีเรีย

ส่วนประกอบในการผลิตเนยแข็ง

1. นำนมดิบ

การผลิตเนยแข็งใช้นำนมดิบมาผ่านการฆ่าเชื้อ โดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิของการพาสเจอร์ไรซ์ คุณภาพของนํานมดิบที่ใช้ในการผลิตเนยแข็งมีความสำคัญมาก นั่นคือปริมาณจุลินทรีย์ในนํานมต่ำ เนื่องจากแบคทีเรียอาจสร้างกลิ่นที่ไม่ดีแก่เนยแข็งได้

2. กล้าเชื้อ (Starter culture)

การใช้กล้าเชื้อในการผลิตเนยแข็งเพื่อปรับสภาพของนมให้เหมาะต่อการทำงานของเรนเนท ทำให้ตกตะกอนเคซีนได้เร็วขึ้น ช่วยทำให้เกร็ดที่ตัดแล้วหดรัดตัวได้ดีขึ้น ทำให้เนยแข็งมีกลิ่นรสที่มีลักษณะเฉพาะ และป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์อื่นที่ทำให้เนยแข็งมีกลิ่นรสผิดปกติไป

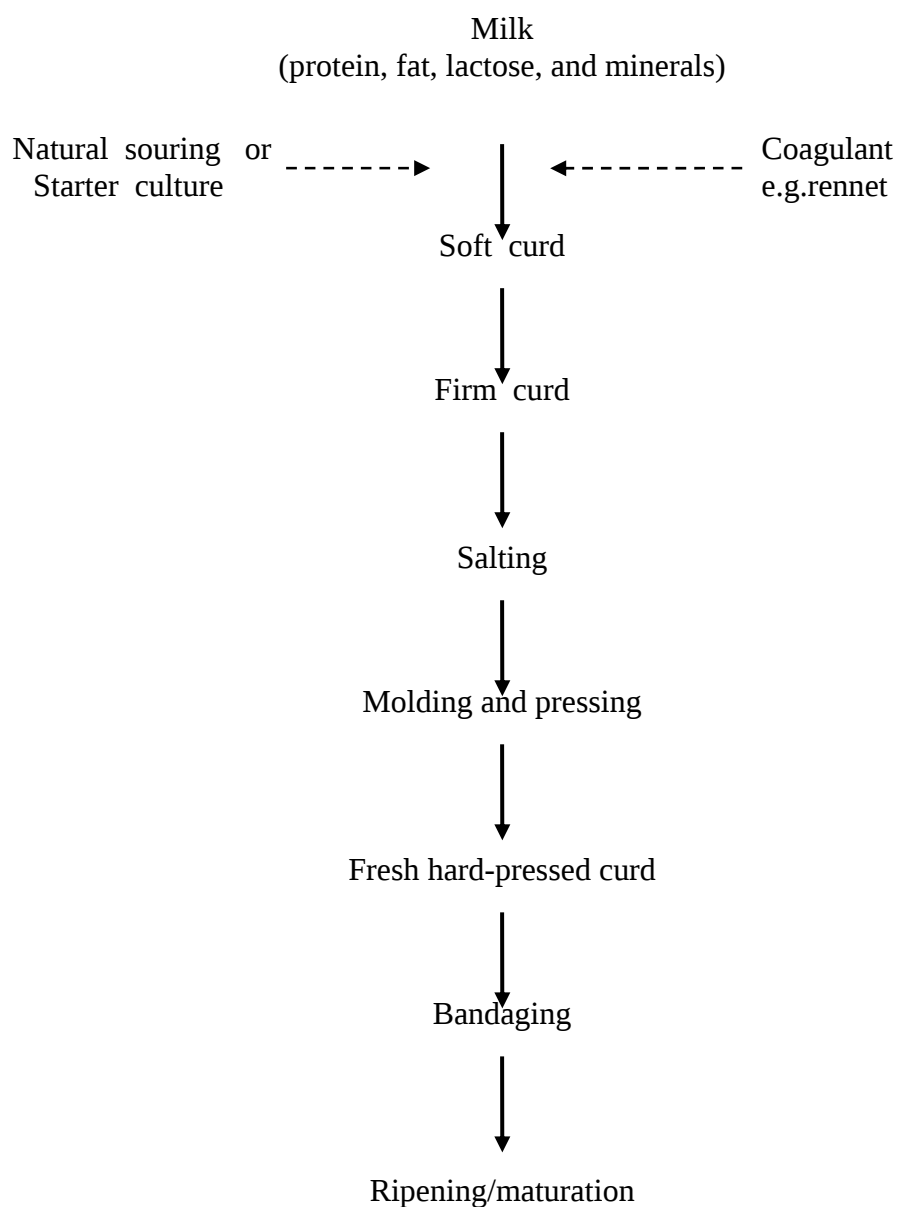
3. เรนเนท

เรนเนท คือ สารที่ทำให้โปรตีนเคซีนตกตะกอน เรนเนทได้จากกระเพาะที่สี่ของลูกวัวที่มีอายุอยู่ระหว่างการดูดนม ตากแห้งแล้วตัดเป็นชิ้นๆ ในเรนเนทมีเอนไซม์ที่ทำให้โปรตีนในน้ำนมตกตะกอนเรียกว่าเรนнин (rennin) เรนнинที่บริสุทธิ์ 1 ส่วน สามารถตกตะกอนนมได้มากกว่า 5 ล้านส่วน และมีปฏิกิริยาสูงสุดที่ pH 3.8 ปัจจุบันกระเพาะลูกวัวหายากขึ้น จึงมีการใช้สารทดแทนเรนเนทในการทำเนยแข็ง โดยมากเป็นส่วนผสมของเรนнин และเปปซินที่ได้จากเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา แต่เนยแข็งที่ได้จากสารทดแทนเรนเนทไม่มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับเนยแข็งจากเรนเนทจากกระเพาะลูกวัว ปัจจุบันมีการเพาะเลี้ยงเซลล์จากกระเพาะที่สี่ของลูกวัวเพื่อผลิตเรนнин หรือเปปซิน เรนнинที่ใช้ในการตกตะกอนโปรตีนมี 3 รูปแบบคือ ชนิดผง (powder) ชนิดน้ำ (solution) และชนิดเม็ด (tube) ชนิดเม็ดมีปฏิกิริยาสูง แต่ราคาแพงจึงนิยมใช้ชนิดผงหรือชนิดน้ำที่มีปฏิกิริยาปานกลางแต่มีราคาถูกกว่า

หลักการผลิตเนยแข็ง

หลักการผลิตเนยแข็งคือ การทำให้เกิดลิ่มของนม (coagulum) องค์ประกอบของน้ำนมที่มีส่วนสำคัญในการเกิดลิ่ม ได้แก่ โปรตีน (เคซีน) และแลคโตส การผลิตเนยแข็งเป็นการทำให้เคซีนรวมตัวกันเป็นลิ่มโดยใช้กรด หรือเอนไซม์ดังภาพที่ 1 ดังนั้นจึงแบ่งวิธีการเกิดลิ่มเป็น 2 วิธีคือการเกิดลิ่มโดยเอนไซม์ (enzymatic coagulation) และการเกิดลิ่มโดยกรด (acid coagulation)

Enzymatic coagulation การทำให้เกิดลิ่มโดยเอนไซม์ หรือทำให้เคซีนรวมตัวกันโดยใช้เอนไซม์พวกโปรตีนเอสหลายชนิด เรนเนทเป็นเอนไซม์หลักที่ใช้ในการทำเนยแข็ง ผลิตจากสัตว์ พืช และ จุลินทรีย์ *Mucor miehei* ซึ่งมีความจำเพาะต่อเคปปา-เคซีน (kappa-casein)



ภาพที่ 1 ขั้นตอนพื้นฐานในการผลิตเนยแข็ง

ที่มา : Anonymous (2006)

เคซีนในน้ำนมมีลักษณะเป็นไมเซลล์ (casein micelle) ประกอบด้วยไมเซลล์ย่อย (submicelle) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 -20 nm น้ำหนักโมเลกุล 250,000 ถึง 2,000,000 ดาลตัน (Aguilera and Stanley, 1999) ประกอบด้วยโมเลกุลของเคซีนตั้งแต่ 10-100 โมเลกุล ลักษณะการจับตัวมีส่วนไม่ชอบน้ำอยู่แกนกลาง โดยส่วนของโมเลกุลเคซีนที่ไม่ชอบน้ำหันสู่ภายในและเกาะกันอย่างหลวมๆ ด้วยพันธะไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) และ salt linkage (Schmidt, 1982) ส่วนที่ชอบน้ำของโมเลกุลหันออกมาอยู่ในบริเวณผิวนอกจึงสามารถละลายในน้ำนมได้ ภายในที่เป็นไฮโดรโฟบิกประกอบด้วยแอลฟา-เคซีน (alpha-casein) และเบตา-เคซีน (beta-casein) และส่วนภายนอกที่เป็น hydrophilic ประกอบด้วย แคปปา-เคซีน (kappa-casein) โครงสร้างของเคซีนไมเซลล์มีลักษณะเป็นรูพรุน ทำให้เอนไซม์สามารถผ่านเข้าไปในเคซีนไมเซลล์ได้

เนื่องจากแอลฟา และเบตาเคซีนเป็นโปรตีนที่ไวต่อการตกตะกอนกับแคลเซียม แต่แคปปา-เคซีนซึ่งอยู่รอบๆ นอกไมเซลล์ไม่ไวต่อแคลเซียมจึงเป็นตัวป้องกันไม่ให้แอลฟาและเบตา-เคซีนตกตะกอน ทำให้เคซีนไมเซลล์แขวนลอยในน้ำนมไม่ตกตะกอนในสภาวะธรรมชาติ ในการผลิตเนยแข็งการไฮโดรไลซ์แคปปา-เคซีน จึงเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญเพื่อให้เคซีนตกตะกอน (Eskin, 1990)

การทำให้เกิดลิ่มด้วยกรด (acid coagulation) เป็นการเติมกรดโดยตรง (direct acid set method) หรือใช้ก๊าดเชื้อ (starter culture) สร้างกรดแลคติกจากน้ำตาลแลคโตส โดยหลักการกรดแลคติกที่เกิดขึ้น ทำให้แคลเซียมแคลเซียมในเคซีนไมเซลล์เกิดเป็นแคลเซียม แลคเตท (calcium lactate) ปล่อยเคซีนเป็นอิสระ และจับตัวกันเป็นเจลหรือเคิร์ด สำหรับกรดอื่นๆ เช่นกรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟูริก และกรดอะซิติก ให้ผลเช่นเดียวกับกรดแลคติก (Eckles *et al.*, 1951)

เนยแข็งเทียม

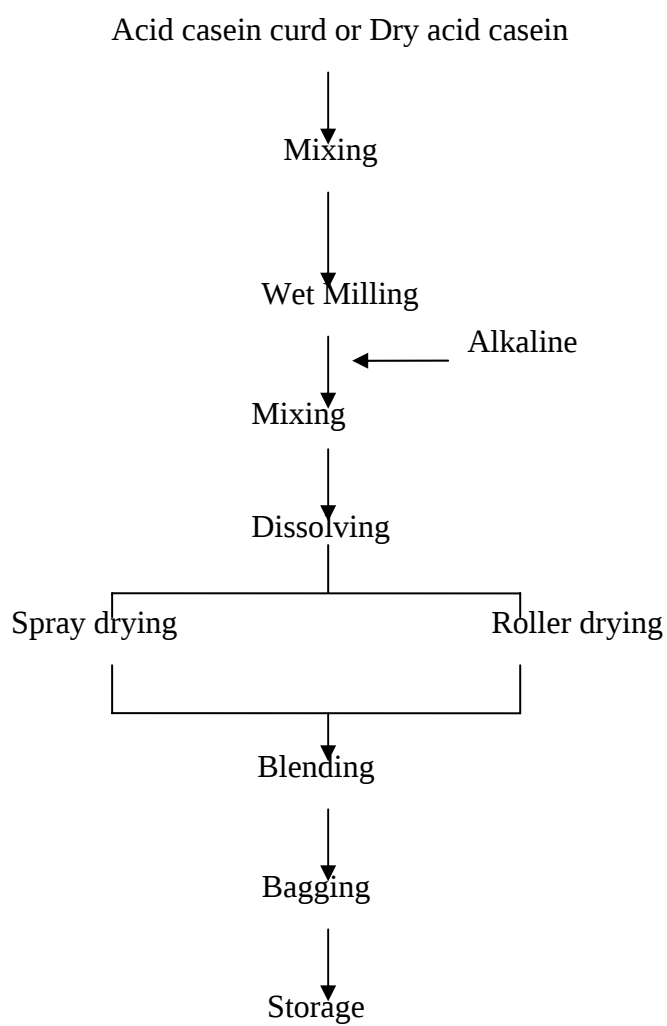
เนยแข็งเทียมเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากส่วนประกอบอื่นที่ไม่ใช่มาจากนมวัว เช่นใช้น้ำมันข้าวโพด หรือมาการีนแทนเนยเพื่อลดปริมาณคอเลสเตอรอลของผลิตภัณฑ์ (Rule and Werstak, 1978) หรืออาจนำโปรตีนจากพืชเป็นวัตถุดิบ เช่น น้ำนมถั่วลิสง และโปรตีนสกัดจากถั่วลิสงแทนเคซีนเนท หรือใช้ในรูปแบบถั่วลิสงบด (Santos *et al.*, 1987; Santos and Resurreccion, 1989) หรือผลิตจากถั่วเหลืองในรูปแบบต่างๆ (Cipollo *et al.*, 1985) ผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีเนื้อสัมผัสค่อนข้างดี แต่

เนื่องจากถั่วมีกลิ่นเฉพาะที่แรงจึงไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้มีการเติมสารประกอบไฮโดรคอลลอยด์หรือกัมเพื่อปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัส

เคซีน

เคซีนเป็นอนุพันธ์ของเคซีนซึ่งเป็นโปรตีนหลักในนมและเป็นโปรตีนสำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียมต่างๆ หน้าที่สำคัญคือ ให้โครงสร้าง เนื้อสัมผัส เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ให้สมบัติการหลอม การยืดและการเกาะตัวของเนยแข็ง เคซีนที่นิยมใช้ในการผลิตเนยแข็งเทียมได้แก่โซเดียม เคซีน และแคลเซียม เคซีนซึ่งผลิตจากเคซีนเคิร์ด ที่ตกตะกอนด้วยกรด (acid casein curd) หรือแอซิดเคซีนผง (dry acid casein) ผสมน้ำแล้วนำไปโม่เปียกเพื่อลดขนาดของเคซีนช่วยให้ละลายได้ดีขึ้น จากนั้นเติมด่างเจือจางซึ่งอาจใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อผลิตโซเดียมหรือแคลเซียม เคซีน ตามลำดับ และให้ความร้อนเพื่อเพิ่มปริมาณการละลาย จึงนำสารละลายเคซีนที่ได้มาทำแห้งโดยการพ่นฝอย (spray dry) หรือใช้ลูกกลิ้ง (roller drying) บดเพื่อลดขนาดอนุภาคให้เล็กลงและสม่ำเสมอ บรรจุและเก็บในที่แห้ง (Southward, 1986) (ภาพที่ 2)

องค์ประกอบต่างๆ ของโซเดียม เคซีนและแคลเซียม เคซีนดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจะเห็นว่าเคซีนทั้ง 2 มีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกันคือร้อยละ 91.4 และ 91.2 ของน้ำหนักทั้งหมด โซเดียม เคซีนมีปริมาณโซเดียมร้อยละ 1.2-1.4 ของน้ำหนักทั้งหมดแต่มีแคลเซียมต่ำคือร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักทั้งหมด ในทางตรงกันข้ามแคลเซียม เคซีนมีแคลเซียมสูงถึงร้อยละ 1.3-1.6 ของน้ำหนักทั้งหมดแต่มีโซเดียมต่ำกว่าร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักทั้งหมด สำหรับ pH ของโซเดียม เคซีนต่ำกว่าแคลเซียม เคซีนเล็กน้อย โซเดียม เคซีนจึงสามารถละลายน้ำได้ดีกว่าแคลเซียม เคซีน (ร้อยละ 100 และ 90-98 ของน้ำหนักทั้งหมด ตามลำดับ) และสามารถดูดน้ำได้ประมาณ 2 เท่าของแคลเซียม เคซีน ความต่างขององค์ประกอบของเคซีนทั้งสองชนิดมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ คือ โซเดียม เคซีน สามารถดูดน้ำได้ดี และละลายได้มากกว่าจึงให้อิมัลชันที่ดีทำให้ได้เนยแข็งชนิดอ่อน (soft cheese) (Cavalier-Salou and Cheftel, 1991) สำหรับแคลเซียม เคซีนเมื่อนำมาทำผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียม ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่แน่น (firm) ซึ่งเป็นผลจากการเกิดพันธะที่แข็งแรงระหว่างแคลเซียมไอออน กับอนุภาคโปรตีน ทำให้การจัดเรียงตัวของโปรตีนเป็นไปอย่างมีระบบ (Hokes *et al.*, 1982)



ภาพที่ 2 กระบวนการผลิตเคซีนผง

ที่มา : Southward (1986)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของโซเดียม เคซีนและแคลเซียม เคซีน

	Sodium Caseinate (%)	Calcium Caseinate (%)
Moisture	3.8	3.8
Protein	91.4	91.2
Ash	3.6	3.8
Lactose	0.1	0.1
Fat	1.1	1.1
Sodium	1.2-1.4	< 0.1
Calcium	0.1	1.3-1.6
Iron(mg/kg)	3.0-20.0	10.4
Copper(mg/kg)	1.0-2.0	1.0-2.0
Lead(mg/kg)	<1	<1
pH	6.5-6.9	6.8-7.0
Solubility	100	90-98
Farinograph water adsorption	271	143

ที่มา : Southward (1986)

การเกิดเคิร์ดของเคซีน

Hokes *et al.* (1982) อธิบายการเกิดเคิร์ดของแคลเซียม เคซีนด้วยแบบจำลองโดยให้แคลเซียม เคซีน กระจายตัวในเอทิลแอลกอฮอล์พบว่าในสภาวะนี้อนุภาคของเคซีนมีลักษณะเป็นก้อนค่อนข้างกลมเหมือนกับเคซีนที่กระจายตัวในน้ำมันซึ่งเป็นตัวทำละลายไม่มีขั้ว เมื่อค่อยๆเติมน้ำลงไปในระบบสังเกตเห็นว่าเคซีนเกิดการรวมตัวกันกลายเป็นเคิร์ด เมื่อนำเคิร์ดที่ได้มาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสงเห็นเป็นลักษณะของไบรฟริงเจน (รูปกากบาทสีดำซึ่งเกิดจากการหักเหของแสงระนาบเดียวที่ต้องกระทบโครงสร้างที่เป็นระเบียบ) แสดงถึงการจัดเรียงตัวอย่างมีระเบียบภายในโมเลกุลของเคิร์ด ลักษณะของ birefringent หายไปถ้าในขณะที่เกิดเคิร์ดขึ้นมีการรบกวนเคิร์ด เช่น การเฉือน (shear)

การเกิดเคิร์ดของเคซีนท มีการเปลี่ยนแปลง 2 ระยะ คือระยะแรกโมเลกุลของเคซีนทรวมตัวกับน้ำ (hydration) และเกิดการรวมตัวกันเอง (flocculation) ระยะที่ 2 โปรตีนจับตัวเป็นก้อน แยกตัวออกจากส่วนของเหลวที่เรียกว่าเกิด syneresis การเปลี่ยนแปลงนี้สังเกตได้จากที่โมเลกุลจับกันเป็นก้อนและเหนียว เกิดจากเคซีนทอยู่ในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วเรียงตัวโดยหันกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic group) ออกมาสัมผัสกับตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ขณะเดียวกันเกิดพันธะไฮออนิกระหว่างแคลเซียมไอออนกับอนุภาคโปรตีนเพื่อลดประจุภายในโมเลกุล เมื่อเติมน้ำลงไปจึงเป็นการเพิ่มการมีขั้ว (polar) ของระบบให้มากขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำ โดยอาจหันกลับเข้าไปในโมเลกุลของโปรตีนหรืออาจเกิดการรวมตัวกันเองเพื่อขัดขวางความเป็นระเบียบของโมเลกุลน้ำ

การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของไอออนบวกภายในโมเลกุลกล่าวคือ ถ้าภายในโมเลกุลมีไอออนที่มี 1 ประจุบวก (monovalent cation) เช่น โซเดียมไอออน การเชื่อมกันของโปรตีน (protein crosslinking) ทำให้เกิดกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำ สามารถหันกลับเข้าไปภายในโมเลกุลได้ง่ายจึงไม่เกิดเคิร์ดขึ้น แต่ถ้าภายในโมเลกุลมี 2 ประจุบวก (divalent cation) เช่น แคลเซียมไอออน ทำให้การจับกันของโปรตีนแน่นขึ้นมีผลต่อกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำไม่สามารถหันกลับเข้าไปภายในโมเลกุลได้ และเกิดการรวมตัวกันเองมากกว่าเรียงตัวใหม่ จึงเกิดเส้นใยโปรตีนจากการเกาะกันของโปรตีนพวกไม่ชอบน้ำ โดยมีกลุ่มที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) หรือพวกที่มีประจุอยู่บริเวณผิวหน้า (Hokes *et al.*, 1982)

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเนยแข็งเทียม

1. ชนิดของเคซีนท

เคซีนทแต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีต่างกันจึงมีสมบัติต่างๆ แตกต่างกัน โดยเฉพาะ โซเดียม เคซีนทและแคลเซียม เคซีนท ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตเนยแข็งเทียม จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าโซเดียม เคซีนทสามารถละลายและดูดน้ำได้มากกว่าแคลเซียม เคซีนท (ร้อยละ 100 และ 90-98 และร้อยละ 271 และ 143 ตามลำดับ) (Southward, 1986; Gupta and Mulay, 1989; Konstance and Strange, 1991) ลักษณะการละลายของเคซีนททั้ง 2 ชนิดต่างกันคือ โซเดียม เคซีนทเมื่อละลายน้ำได้สารละลายปั่นสีกัลลายฟางขาวและมีความหนืดมาก ส่วนแคลเซียม เคซีนทเมื่อละลายน้ำได้คอลลอยด์สีขาวมีความหนืดน้อยกว่า (Southward, 1986) ความหนืดของ

แคลเซียม เคซีนเกิดจากการรวมตัวกับน้ำ (Hydration) มากกว่าเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของโปรตีน (Konstance and Strange, 1991) นอกจากนี้โซเดียม เคซีนทำให้ค่า Emulsifying Capacity (EC : ปริมาณน้ำมันเป็นมิลลิกรัมที่ถูกอิมัลซิไฟด์ต่อกรัมโปรตีนก่อนเกิดการกลับเฟสจากน้ำมันในน้ำเป็นน้ำในน้ำมัน) สูงกว่าแคลเซียม เคซีน (Hildago, 1978) จากสมบัติดังกล่าวทำให้เนยแข็งเทียมที่ผลิตจากโซเดียม เคซีนที่มีลักษณะคล้ายเนยแข็งชนิดอ่อน (Cavalier-Salou and Cheftel, 1991) ส่วนเนยแข็งที่ผลิตจากแคลเซียม เคซีนที่มีลักษณะเนื้อแน่นซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของโปรตีนกับแคลเซียมไอออน (Hokes *et al.*, 1982)

2. ผลจากแคลเซียมไอออน

แคลเซียมไอออนมีความสำคัญต่อโครงสร้างและลักษณะเนื้อสัมผัสของเนยแข็งเนื่องจากแคลเซียมไอออนสามารถเกิดพันธะกับโมเลกุลของโปรตีนเกิดเป็นเส้นใยโปรตีนขึ้น ปริมาณแคลเซียมที่คงเหลือในเคิร์ดมีผลต่อลักษณะเนยแข็ง ถ้าปริมาณแคลเซียมคงเหลือในเคิร์ดสูงทำให้เกิดเส้นใยโปรตีนที่ยาวและมีการจัดเรียงตัวที่ดี ได้เนยแข็งที่มีเนื้อสัมผัสแน่น เช่นเนยแข็งสวิส (Swiss cheese) และเนยแข็งเกาด้า (Gouda cheese) ส่วนเนยแข็งเชสเซอร์ (Cheshire cheese) ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมเหลืออยู่ในเคิร์ดต่ำมีเส้นใยโปรตีนที่สั้นและจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบจึงมีลักษณะเนื้อร่วน (crumbly) เนยแข็งชนิดเดียวกันแต่มีปริมาณแคลเซียมต่างกันมีสมบัติทางกายภาพต่างกัน เช่นเนยแข็งมอซเซอร์เลตามีปริมาณแคลเซียมสูงมีความสามารถในการยืด (Stretchability) ดีกว่าเนยแข็งที่มีปริมาณแคลเซียมต่ำความสามารถในการยืดขึ้นกับความยาวเส้นใยและการจัดเรียงตัวของโปรตีนเช่นกัน (Lucey and Fox, 1993) นอกจากนี้แคลเซียมไอออนมีผลต่อความแข็งของเนยแข็งเทียม เมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมไอออนเพิ่มขึ้น ความแข็งของเนยแข็งเทียมเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณเคซีนที่แยกตัวออก (degree of casein dissociation) จากการเกิดพันธะระหว่างแคลเซียมและโปรตีน ทำให้โมเลกุลจับตัวกันแน่นส่งผลให้ความแข็งของเนยแข็งเทียมเพิ่มขึ้น (Cavalier-Salou and Cheftel, 1991)

3. ผลของโซเดียมไอออน

Hokes *et al.* (1982) ศึกษาผลของโซเดียม คลอไรด์ต่อการเกิดเคิร์ดจากแคลเซียม เคซีน พบว่าเคิร์ดของแคลเซียม เคซีนที่เกาะกันอย่างมีระเบียบเมื่อปริมาณโซเดียมคลอไรด์ เพิ่มขึ้น (0.775 1.550 และ 3.100 มิลลิโมล) โซเดียมไอออนขัดขวางการเกาะตัวกันของโปรตีน ทำให้มี

บางส่วนหลุดออกมา เมื่อตรวจสอบโดยอิเล็กโตรโฟรีซิสพบว่าของเหลวที่แยกออกจากเคิร์ดมีอัลฟาเอส 1 และบีตา เคซีนปนอยู่ด้วย เนื่องจากโซเดียมไอออนซึ่งมีประจุบวกหนึ่งสามารถจับกับโปรตีนได้เช่นเดียวกับแคลเซียมไอออน ทำให้โปรตีนสูญเสียพันธะระหว่างแคลเซียมและโปรตีนเนื่องจากโซเดียมไอออนแทนที่แคลเซียมไอออน ส่งผลต่อความแข็งแรงของอนุภาคโปรตีนลดลง (Whitney, 1988) นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณโซเดียมไอออนยังเป็นการเพิ่มการดูดซึมน้ำ การพองตัว (Swelling) และการละลายของเคซีนไมเซลล์ ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณโซเดียมไอออนอยู่สูง จึงมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มและสามารถหลอมได้ดี (Cavalier-Salou and Cheftel, 1991; Lucey and Fox, 1993)

4. ผลของอิมัลซิไฟเออร์

การเติมอิมัลซิไฟเออร์เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (Kosikowski, 1982) อิมัลซิไฟเออร์ที่นิยมใช้ในการผลิตเนยแข็งเทียมโดยมากเป็นเกลือโซเดียม เช่น ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ($\text{NaB}_{2\text{B}}\text{HPOB}_{4\text{B}}$) ไตรโซเดียมฟอสเฟต ($\text{NaB}_{3\text{B}}\text{POB}_{4\text{B}}$) เตตระโซเดียมไพโรฟอสเฟต ($\text{NaB}_{4\text{B}}\text{PB}_{2\text{B}}\text{OB}_{7\text{B}}$) โซเดียมโพลิฟอสเฟต ($\text{NaPOB}_{4\text{B}}$)_n โซเดียมไตรโพลิฟอสเฟต ($\text{NaB}_{5\text{B}}\text{PB}_{3\text{B}}\text{OB}_{12\text{B}}$) และไตรโซเดียมซิเตรต ($\text{NaB}_{3\text{B}}\text{CB}_{6\text{B}}\text{HB}_{5\text{B}}\text{OB}_{7\text{B}}$) เป็นต้น เกลือเหล่านี้มีคุณสมบัติที่ต่างกัน เช่น pH การละลาย และความสามารถในการจับ (Chalating) กับแคลเซียมไอออนทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะต่างกัน (Cavalier-Salou and Cheftel, 1991)

สารละลายเกลือทุกชนิดที่ได้กล่าวถึงมีค่าพีเอชเป็นค่าขกเว้นโซเดียมโพลิฟอสเฟตที่มี pH เป็นกรด คือ 6.0 เมื่อนำมาใช้ผลิตเนยแข็งเทียม เกลือโซเดียมโพลิฟอสเฟตเพียงชนิดเดียวที่ทำให้ pH ของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด เนื่องจาก pH ของเกลือชนิดนี้ใกล้เคียงกับ pH ของเนยแข็งเทียม เกลือโซเดียมฟอสเฟตและโซเดียมซิเตรตสามารถละลายได้ดีกว่าเกลือชนิดอื่นและสามารถดึงแคลเซียมออกจากโมเลกุลของโปรตีน จึงเป็นการเพิ่มการละลายและความสามารถในการเกิดอิมัลชันของโปรตีน (Shimp, 1985) สอดคล้องกับผลงานของ Kosikowski (1982) ที่รายงานว่าอิมัลซิไฟเออร์สามารถละลายโปรตีนและทำให้การรวมตัวระหว่างไขมัน โปรตีน และน้ำ เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นผลิตภัณฑ์จึงมีเนื้อสัมผัสที่เนียนและสม่ำเสมอ

Thomas *et al.* (1980) ศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของเกลืออิมัลซิไฟเออร์ต่อความแข็งแรงของเนยแข็งเทียม พบว่าโซเดียมซิเตรตและไดโซเดียมฟอสเฟตให้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่าเกลือชนิดอื่น ส่วน Cavalier-Salou and Cheftel (1991) พบว่าเกลือฟอสเฟตเข้มข้น

ร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักทั้งหมด ให้เนยแข็งเทียมที่แข็งมากที่สุด และความแข็งลดลงเมื่อความเข้มข้นของอิมัลซิไฟเออร์เพิ่มขึ้น อธิบายได้จากปริมาณการเกิดอิมัลชันกับไขมัน ในช่วงแรก (ความเข้มข้นร้อยละ 0 - 0.5 ของน้ำหนักทั้งหมด) ปริมาณการเกิดอิมัลชันเพิ่มขึ้น (ประเมินจากการที่เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดไขมันมีขนาดเล็ก) และเพิ่มความแข็งของเนยแข็งเทียม เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักทั้งหมด การเกิดอิมัลชันคงที่แต่ความแข็งของเนยแข็งเทียมลดลง เนื่องจากความเข้มข้นของเกลือเพิ่มขึ้นทำให้ pH ของเนยแข็งเทียมเพิ่มขึ้น จึงเกิดการสูญเสียแคลเซียมไอออนของโมเลกุลโปรตีน ทำให้ความแข็งของเนยแข็งเทียมลดลง

ผลของอิมัลซิไฟเออร์ต่อการหลอมเหลวของเนยแข็งเทียม เกลือโซเดียม ซิเตรต และเกลือโคโซเดียม ฟอสเฟตให้เนยแข็งที่สามารถหลอมได้ แต่เกลือชนิดอื่นไม่ให้คุณสมบัติการหลอม Hokes *et al.* (1982) และ Cavalier-Salou and Cheftel (1991) อธิบายว่าคุณสมบัติการหลอมน่าจะสัมพันธ์กับปริมาณการเกิดอิมัลชันเพราะเมื่อการเกิดอิมัลชันเพิ่มขึ้นโมเลกุลของไขมันซึ่งเป็นตัวทำละลายไม่มีข้อกระจายตัวภายในเนยแข็งเทียมเพิ่มขึ้น ดังนั้น แรงดึงดูดระหว่างอนุภาคเคซีนซึ่งเกิดจากกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการหลอมลดลงและสอดคล้องกับรายงานของ Shimp (1985) ที่พบว่าเนยแข็งเทียมที่เกิดอิมัลชันน้อยกว่าสามารถหลอมได้ดีกว่า อิมัลซิไฟเออร์พวกเตตระโซเดียม ไพรฟอสเฟต โซเดียมไตร โพลีฟอสเฟต และโซเดียม โพลีฟอสเฟตสามารถเกิดอิมัลชันกับไขมันได้ดีกว่าโซเดียม ซิเตรต และโคโซเดียม ฟอสเฟต เนยแข็งเทียมที่ใช้เกลือพวกนี้จึงไม่สามารถหลอมได้ หรือหลอมได้น้อยมากเนื่องจากอิมัลซิไฟเออร์แต่ละชนิดให้ผลต่อผลิตภัณฑ์อาหารต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกใช้ใช้อิมัลซิไฟเออร์ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ Gupta *et al.* (1984) ศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของเนยแข็งโปรเซสที่ได้จากเกลืออิมัลซิไฟเออร์ชนิดต่างๆ พบว่าเกลือโคโซเดียม ฟอสเฟตให้เนยแข็งโปรเซสที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสค่อนข้างแน่นและคล้ายเจลสามารถหลอมได้เล็กน้อยและหั่นเป็นชิ้นบางๆ ได้ เกลือโซเดียม ไตรฟอสเฟตซึ่งทำให้ pH ของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงมากให้เนื้อสัมผัสที่แน่นคล้ายเจลสามารถหลอมและหั่นเป็นชิ้นบางๆ ได้ ส่วน Shimp (1985) รายงานว่าโดยปกติใช้เกลือชนิดนี้ผสมกับอิมัลซิไฟเออร์ชนิดอื่น เพราะเกลือชนิดนี้ทำให้ ค่าพีเอชของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงมาก สำหรับเกลือไตรโซเดียม ซิเตรตให้เนื้อสัมผัสที่มีลักษณะค่อนข้างแน่นคล้ายเจลสามารถหลอมได้ดีมากและหั่นเป็นชิ้นบางๆ ได้ เกลือโมโนโซเดียม ฟอสเฟตให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ร่วนเนื่องจากทำให้ ค่าพีเอชของผลิตภัณฑ์ลดต่ำมากจึงไม่หลอมและหั่นเป็นชิ้นบางๆ ได้ เกลือเตตระโซเดียม ไพรฟอสเฟตให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แน่นและคล้ายเจลและทำให้ pH ของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงมาก สามารถหลอมได้เล็กน้อยและหั่นเป็นชิ้นบางๆ ได้ โซเดียม เฮกซะเมตาฟอสเฟตให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แน่นแต่ร่วนไม่

สามารถหลอมได้แต่หั่นเป็นชิ้นบางๆ ได้ เมื่อเพิ่มปริมาณถึงร้อยละ 2.6 ของน้ำหนักทั้งหมดให้เนื้อสัมผัสแน่นแต่ร่วนสามารถหลอมได้เล็กน้อย เกลือโซเดียม ไตรโพลิฟอสเฟตให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไม่เรียบเนียน (Slightly mealy) และเป็นเส้นใย (fibrous) ไม่สามารถหลอมได้ Shimp (1985) รายงานว่าเกลือเตตระโซเดียมไพรออสเฟต โซเดียม เฮกซะเมตาฟอสเฟตและโซเดียม ฟอสเฟตนิยมใช้กับเนยแข็งโพรเซสชนิดแข็ง (hard processed cheese) เช่นเนยแข็งโพรเซสเชดดาร์ ส่วนใดโซเดียม ฟอสเฟต ไตรโซเดียม ซิเตรต และโซเดียม ไตรโพลิฟอสเฟตมักใช้กับเนยแข็งที่มีเนื้อสัมผัสนุ่ม เช่น ชีส สเปรด เป็นต้น

5. กัม

กัมหรือสารประกอบไฮโดรคอลลอยด์ คือสารที่สามารถกระจายได้ในน้ำ แล้วให้สารละลายที่หนืดหรือสามารถทำให้เกิดเจลได้ ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนโพลิแซคคาไรด์ กัมชนิดต่างๆ มีความสามารถในการกระจายตัว การละลาย การให้ความหนืด การทำให้เกิดเจล หรือการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ต่างกันไป (Glicksman, 1982) เมื่อกัมกระจายตัวอยู่ในสารละลายสามารถดูดน้ำในปริมาณมากและพองตัวอย่างรวดเร็ว ถ้าอนุภาคของกัมกระจายไม่สม่ำเสมอ หรือรวมตัวกันเป็นก้อน อนุภาคภายในไม่สามารถดูดน้ำได้เกิดเป็นลักษณะคล้ายสาหร่าย (fish eyes) ซึ่งมีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการใช้กัมจึงต้องมีวิธีช่วยให้อนุภาคของกัมกระจายอย่างสม่ำเสมอ โดยผสมกัมกับวัตถุดิบที่เป็นผงแห้งและละลายน้ำดี เช่นน้ำตาล เป็นต้น

นอกจากกัมเป็นสารที่ให้ความหนืดหรือสามารถเกิดเจลได้แล้ว หน้าที่สำคัญประการหนึ่งคือป้องกันการสูญเสีย (syneresis) ของผลิตภัณฑ์ขณะเก็บรักษา (Kosikowski, 1982; Sanderson, 1996) แม้ว่ากัมสามารถดูดน้ำได้ในปริมาณมากแต่ไม่ทำให้ a_w (water activity) ของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจาก a_w เกี่ยวข้องกับจำนวนโมเลกุลกัมในสารละลายเท่านั้น และกัมซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลมากใช้ในปริมาณต่ำเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ ดังนั้นจำนวนโมเลกุลของกัมในส่วน of สารละลายที่เป็นน้ำ (aqueous phase) มีเพียงเล็กน้อยจึงไม่ทำให้ a_w ของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลง (Sanderson, 1996)

Brummel and Lee (1990) ศึกษาผลของกัมต่อลักษณะของชีสสเปรดที่ลดปริมาณไขมัน พบว่าเมื่อลดปริมาณไขมันลงร้อยละ 40 และ 50 ของน้ำหนักทั้งหมด และเพิ่มน้ำเป็นร้อยละ 62 และ 68 ของน้ำหนักทั้งหมดตามลำดับ (ชุดควบคุมมีปริมาณไขมันและน้ำร้อยละ 25 และ 48 ของ

น้ำหนักรวมทั้งหมด ตามลำดับ) กัมที่ใช้คือ แซนแทน กัม (Xanthan gum) แลมดา-คาราจีแนน (λ -Carageenan) เพคติน (Pectin) โพรพิลีน ไกลคอล (Propylene glycol) แอลจีเนต (Alginate) กัวร์ กัม (Guar gum) และซูเกลน 115 (Zooglan 115) เติมลงในชีสสเปรดร้อยละ 0.18-4.1 ของน้ำหนักรวมทั้งหมด (น้ำหนักรวม) กัมที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เหมือนซดควบคุมคือ แลมดา-คาราจีแนนร้อยละ 2.2 ของน้ำหนักรวมทั้งหมด เพคตินร้อยละ 1.7-2.2 ของน้ำหนักรวมทั้งหมด หรือกัวร์ กัม ร้อยละ 1.7 ของน้ำหนักรวมทั้งหมด แต่ความสามารถในการหลอมของผลิตภัณฑ์ลดลง กลิ่นและรสชาติของชีส สเปรดเทียมที่ได้อ่อนกว่าซดควบคุม เมื่อความเข้มข้นของกัมเพิ่มขึ้น ความแน่นของชีส สเปรดเพิ่มขึ้นแต่ความสามารถในการหลอมลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบความหนืดของกัมชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นเดียวกัน พบว่าแอลจีเนตให้ความหนืดต่ำมาก และมีความแข็งแรงน้อยกว่าแซนแทนกัม กัวร์ กัมและ แลมดา-คาราจีแนน จึงต้องใช้ปริมาณสูงกว่ากัมอื่นๆ เพื่อให้ชีสสเปรดมีความแข็งแรงเท่ากัน

6. ความชื้น

Hennelly *et al.* (2004) ศึกษาปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเนยแข็งเทียม พบว่าที่อุณหภูมิห้องเนยแข็งเทียมที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 46 ของน้ำหนักรวมทั้งหมดมีความแน่นเนื้อมากกว่าที่ทุกระดับความชื้นดังตารางที่ 2 เนื่องมาจากปริมาณน้ำมีผลต่อการเกิดอันตรกิริยาของโปรตีน เช่น การรวมตัวกับน้ำ การเกาะเกี่ยวกันเป็นร่างแหโปรตีน (network) และการละลาย เนื่องจากน้ำเป็นตัวกำหนดความเข้มข้นของสารละลายเกลืออิมัลซิไฟเออร์

ตารางที่ 2 ปริมาณความชื้นและความแน่นเนื้อของเนยแข็งเทียม

ค่า	สูตร			
	46 MC	50 MC	52MC	54 MC
ความแน่นเนื้อ (นิวตัน)	447.3 ^a	300 ^b	226.4 ^c	152.7 ^d
ความชื้น (ร้อยละ)	46.42 ^a	50.29 ^b	52.54 ^c	54.15 ^d

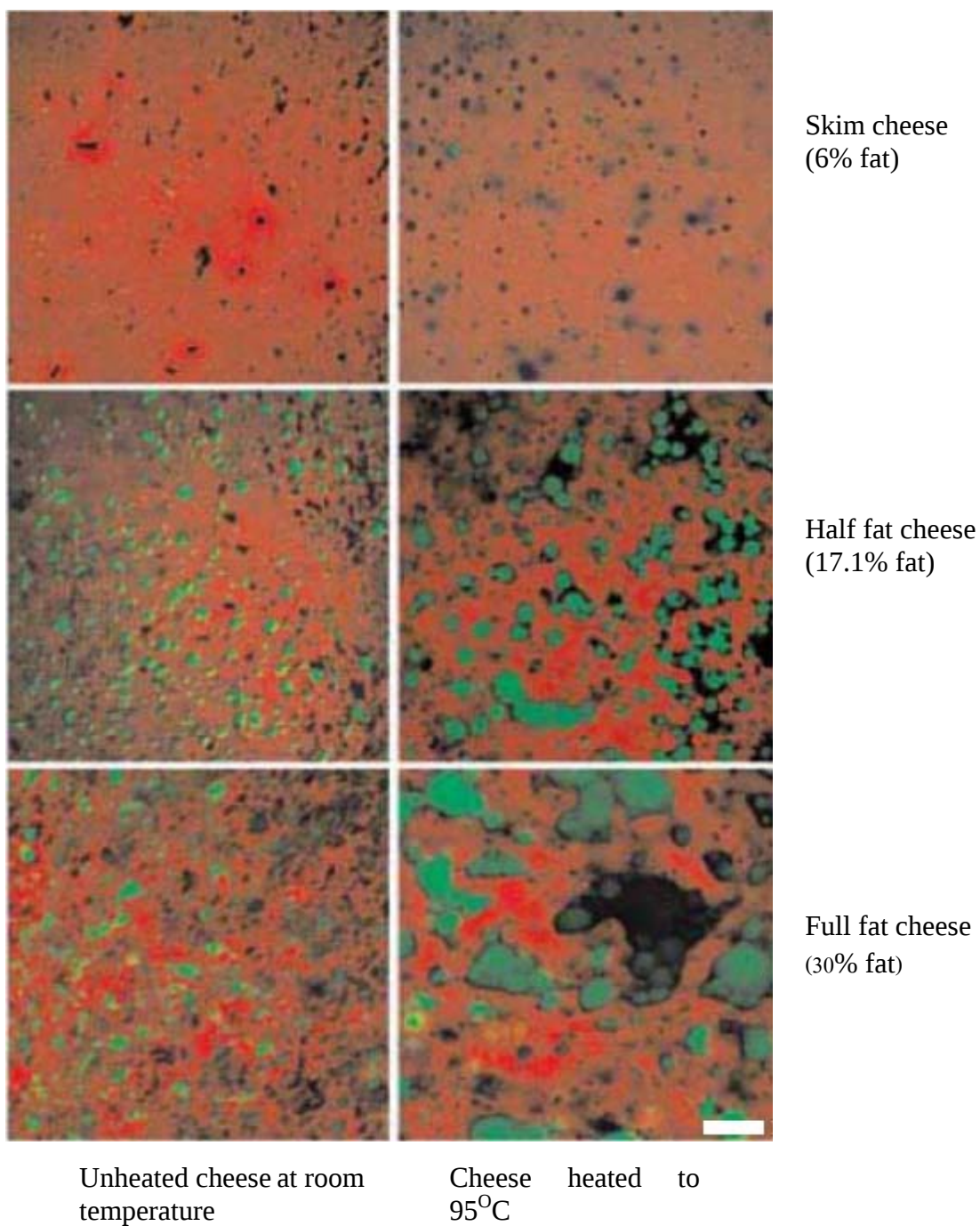
ตัวอักษรเหมือนกันในแนวดังเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

หมายเหตุ คัดมาบางส่วน

ที่มา : Hennelly *et al.*, 2004

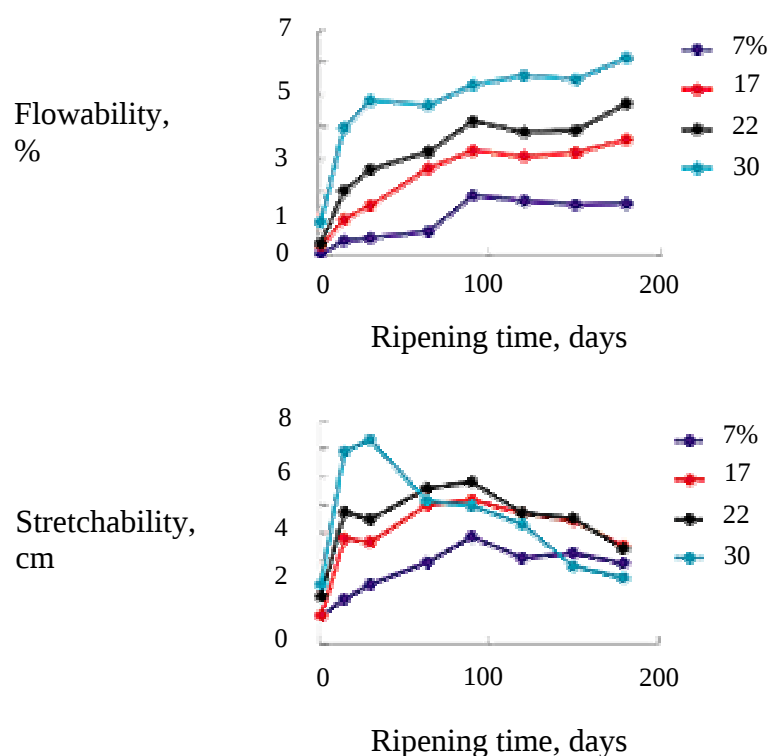
7. ไขมัน

Hokes *et al.* (1982) อธิบายว่าเมื่อปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นมีผลต่อโมเลกุลโปรตีนสามารถหั่นส่วนที่ไม่ชอบน้ำออกมามากขึ้นและเกิดพันธะระหว่างส่วนที่ไม่ชอบน้ำระหว่างโปรตีนและไขมันมากขึ้น ทำให้ความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ Guinea *et al.* (2001) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขมันและลักษณะโครงสร้างภายในของเนยแข็งเชดคาร์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์คอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่ง (Confocal Laser Scanning Microscope, CLSM) พบว่าเมื่อปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นเม็ดไขมันมีขนาดใหญ่ขึ้น และ fraction volume ของโปรตีนเคซีนเมทริกซ์ลดลง (ภาพที่ 3) ซึ่งทำให้คุณลักษณะการหลอมด้านการยืดและการไหลของเนยแข็งเชดคาร์เพิ่มขึ้นดังภาพที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Koca and Metin (2004) ที่รายงานว่าเนยแข็งที่มีปริมาณไขมันสูงมีความสามารถในการหลอมมากกว่าเนยแข็งที่มีไขมันต่ำ



ภาพที่ 3 โครงสร้างภายในของเนยแข็งเชดาร์ที่มีปริมาณไขมันต่างกัน ก่อนและหลังให้ความร้อน จากกล้องจุลทรรศน์คอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่ง สีแดงส้ม คือส่วนของโปรตีน และ สีเขียวคือ ส่วนของไขมัน บาร์ = 25 μm

ที่มา : Guinee *et al.* (2001)



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะการหลอมของเนยแข็งเซดคาร์ที่มีปริมาณไขมันแตกต่างกัน
(7 17 22 และ 30% w/w)

ที่มา : Guinee *et al.* (2001)

แป้งข้าว

แป้งข้าวเป็นผลิตภัณฑ์จากข้าวหักในขั้นตอนการแปรรูปปฐมภูมิ หรือการแปรรูปขั้นต้น ไม่สามารถนำมาบริโภคได้โดยตรง ต้องนำแป้งข้าวไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร กึ่งอาหาร และไม่ใช่อาหาร โดยทำความสะอาดข้าวหัก และม่เป็นแป้งซึ่งสามารถทำได้ 3 วิธีคือ 1) การม่แบบเปียกหรือการม่แบบน้ำ 2) การม่แบบผสม และ 3) การม่แบบแห้ง

แป้งข้าวที่ผลิตขายทั่วไปมี 2 ชนิด คือ แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว ซึ่งขายในประเทศ และต่างประเทศเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมอุตสาหกรรมการผลิตแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวให้มีคุณภาพ และเป็นแนวทางในการตรวจสอบคุณภาพระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมจึงได้กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของแป้งต่างๆ

แป้งข้าวเจ้า

กระทรวงพาณิชย์ (2540) กำหนดคุณลักษณะที่ต้องการของแป้งข้าวเจ้า วัตถุดิบอาหารสุกลักษณะ การบรรจุ เครื่องหมาย และฉลาก การคัดตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน การทดสอบแป้งข้าวเจ้ามีสาระสำคัญบางประการ คือ แป้งข้าวเจ้าต้องเป็นผงละเอียดไม่จับกันเป็นก้อน ส่วนที่ล้างบนตะแกรง 180 ไมโครเมตรต้องไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ต้องมีสีขาวหรือขาวนวล มีกลิ่นตามธรรมชาติของแป้งข้าวเจ้า ไม่มีกลิ่นอับ หืน เหม็นเปรี้ยว หรือกลิ่นไม่พึงประสงค์อื่น ๆ ต้องปราศจากสิ่งแปลกปลอม เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเม็ดสตาร์ชข้าวเจ้ามีลักษณะเป็นรูปทรงหลายเหลี่ยมขนาด 2 ถึง 9 ไมโครเมตร

คุณลักษณะอื่น ๆ ที่เกณฑ์กำหนดไว้ (ตารางที่ 3) ได้แก่ความชื้น น้ำหนักแป้งอบแห้ง ความเป็นกรด – เบส เถ้าและอะไมโลส สำหรับวัตถุดิบอาหาร ส่วนใหญ่เป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพื่อฟอกแป้งให้ขาว แต่พบในแป้งข้าวเจ้าได้ไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนจุลินทรีย์ต้องไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด คือ จุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^6 โคโลนีต่อกรัม และมีราไม่เกิน 100 โคโลนีต่อกรัม บรรจุแป้งข้าวเจ้าในภาชนะบรรจุที่สะอาดแห้ง ปิดผนึกเรียบร้อย ระบุรายละเอียดของน้ำหนักสุทธิ เครื่องหมาย และฉลาก ตามกำหนด ถ้าผู้ผลิตทำได้ตามมาตรฐานนี้ จะสามารถแสดงเครื่องหมายมาตรฐานบนฉลากของผลิตภัณฑ์แป้งข้าวเจ้าได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม , 2529 ก)

แป้งข้าวเหนียว

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเหนียว (มอก. 639-2529) คล้ายกับแป้งข้าวเจ้า ยกเว้น ปริมาณอะไมโลสที่ต่างจากแป้งข้าวเจ้า โดยแป้งข้าวเหนียวต้องมีปริมาณอะไมโลสร้อยละของน้ำหนักอบแห้ง ไม่เกิน 9.0 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม , 2529 ข)

ตารางที่ 3 คุณลักษณะต่างๆ ของแป้งข้าวเจ้า

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีวิเคราะห์ตาม
1	ความชื้นร้อยละไม่เกิน	13.0	AOAC(1984) ข้อ 14.004
2	แป้ง ร้อยละของน้ำหนักอบแห้ง ไม่น้อยกว่า	85.0	มอก. 52
3	ความเป็นกรด-เบส	5.0 ถึง 7.0	AOAC(1984) ข้อ 14.022
4	เถ้า ร้อยละของน้ำหนักอบแห้งไม่เกิน	0.50	AOAC(1984) ข้อ 14.006
5	เถ้าที่ไม่ละลายในกรด ร้อยละของน้ำหนักอบแห้งไม่	0.030	มอก.52
6	เกิน อะไมโลส ร้อยละของน้ำหนักอบแห้ง ไม่น้อยกว่า	15.0	ข้อ 9.4

หมายเหตุ มอก.52 คือ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2529ก)

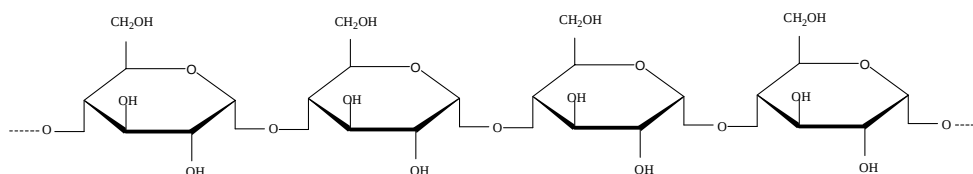
องค์ประกอบภายในแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมี คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ เป็นโพลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ โพลิเมอร์เชิงเส้นเรียกว่า อะไมโลส และ โพลิเมอร์เชิงกิ่งเรียกว่า อะไมโลเพคติน แป้งจากแหล่งต่างกันมีอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินต่างกันทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดต่างกัน

1. อะไมโลส

เป็นโพลิเมอร์เชิงเส้น ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) ชนิดแอลฟา-1,4 (ภาพที่ 5) อะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดมี

น้ำหนักโมเลกุลต่างกันไป แป้งที่มีโมเลกุลของอะไมโลสยาวขึ้นมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชันลดลง ในธรรมชาติอะไมโลสมีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก



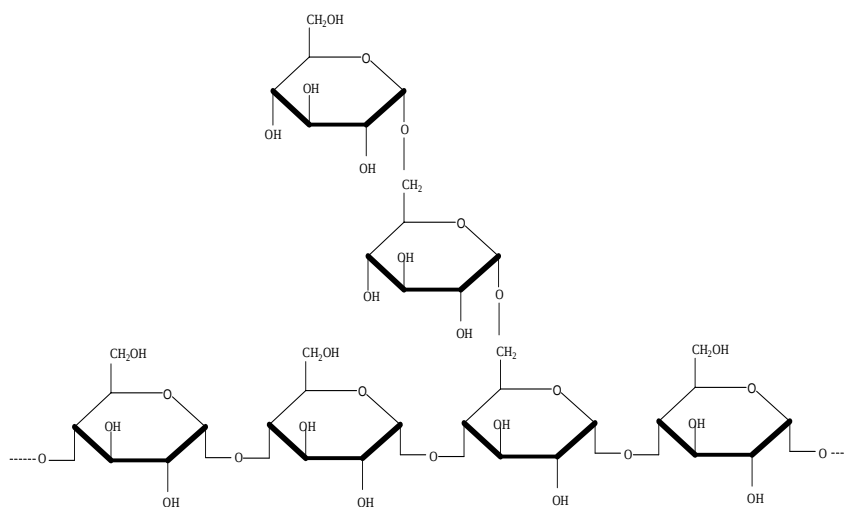
ภาพที่ 5 โครงสร้างของอะไมโลส

อะไมโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น บิวทานอล กรดไขมัน สารลดแรงตึงผิว ฟีนอล และไฮโดรคาร์บอน สารประกอบเหล่านี้ไม่ละลายน้ำ อะไมโลสพันเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ นอกจากนี้อะไมโลสที่รวมตัวกับไอโอดีนให้สีน้ำเงินซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีองค์ประกอบของอะไมโลส

โครงสร้างของอะไมโลสเมื่ออยู่ในสารละลายมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (helix) เกลียวที่คลายตัว (interrupted helix) หรือม้วนอย่างไม่เจาะจง (random coil) ในสารละลายที่อุณหภูมิห้อง อะไมโลสอยู่ในลักษณะเป็นเกลียวม้วนหรือเกลียวที่คลายตัว แต่ในตัวทำละลายบางชนิดอะไมโลสอยู่ในลักษณะม้วนอย่างไม่เจาะจง นอกจากนี้โครงสร้างของอะไมโลสยังขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลด้วย อะไมโลสที่มีน้ำหนักในช่วง 6,500 ถึง 160,000 อยู่ในลักษณะเกลียวคู่ที่แข็ง ส่วนอะไมโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 6,500 หรือมากกว่า 160,000 มีโมเลกุลอยู่ในลักษณะม้วนอย่างไม่เจาะจงและอาจมีบางส่วนละลายน้ำได้

2. อะไมโลเพคติน

อะไมโลเพคตินเป็นโพลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด แอลฟา-1,4 และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นโพลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มีขนาดโมเลกุล (DP) อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด แอลฟา-1,6 (ภาพที่ 6)



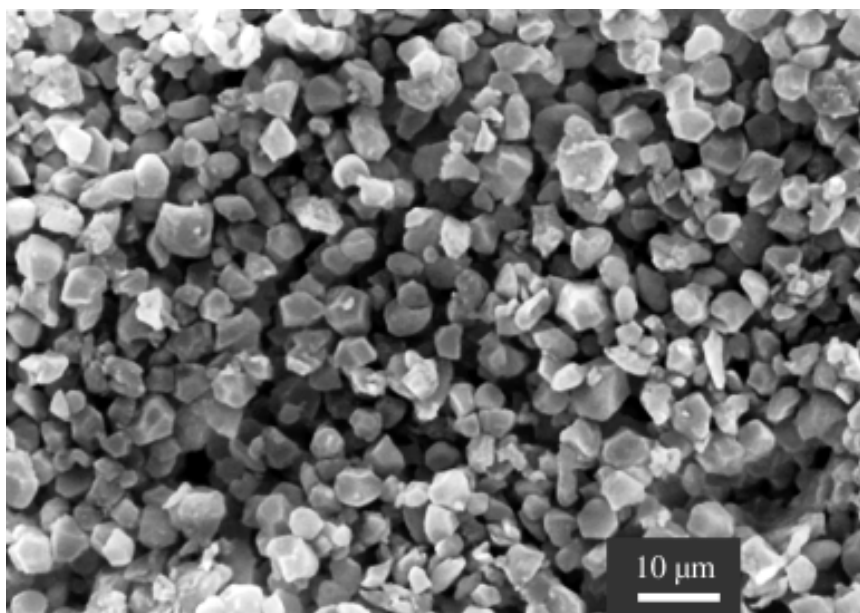
ภาพที่ 6 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน

อะไมโลเพคตินของแป้งข้าวเจ้า ข้าวเหนียว มันสำปะหลัง และมันฝรั่ง สายโมเลกุลส่วนใหญ่ประมาณ 80-90% ประกอบด้วยกลุ่มเดี่ยวๆ และสายโมเลกุลที่เหลืออีก 10-20% เป็นส่วนเชื่อมต่อของแต่ละกลุ่ม ซึ่งประกอบด้วยสายประมาณ 22-25 สาย ทำให้เกิดเป็นส่วนผลึกของเม็ดแป้ง ในการจับกันเป็นกลุ่มของอะไมโลเพคตินทำให้เกิดเป็นเกลียวคู่ ซึ่งช่วยให้เม็ดแป้งมีความคงทนต่อการทำปฏิกิริยาคัวยกรดและเอนไซม์

สตาร์ช

สตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน (complex carbohydrate) เป็นองค์ประกอบหลักของแหล่งอาหารประเภทแป้ง เมื่อรับประทานเข้าสู่ทางเดินอาหาร เอนไซม์ แอลฟา-1,4-อะไมเลส ภายในลำไส้เล็กจะย่อยโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่ตำแหน่งพันธะแอลฟา-1,4-กลูโคซิดิก (α -1,4-glucosidic bonds) ลดขนาดโมเลกุลได้กลูโคส และดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดอย่างรวดเร็ว แต่เอนไซม์ดังกล่าวนี้ไม่ย่อยโมเลกุลอะไมโลเพคตินที่ตำแหน่งพันธะแอลฟา-1,6-กลูโคซิดิก (α -1,6-glucosidic bonds) ส่งผลให้เกิดการย่อยที่ไม่สมบูรณ์เหลือส่วนโมเลกุลในบริเวณอสัณฐาน หรือ amorphous regions ในขณะที่โมเลกุลของรีซิสแทนต์สตาร์ชมีความทนทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ แอลฟา-1,4-อะไมเลส ที่หลั่งจากเซลล์ผนังลำไส้เล็ก และเมื่อผ่านเข้าไปในลำไส้ใหญ่ แบคทีเรียจะย่อยรีซิสแทนต์สตาร์ช ด้วยกระบวนการหมัก (fermentation) ได้เป็นกรดอินทรีย์ที่มีสายสั้น ได้แก่

กรดอะซิดิก กรดบิวทีริก และกรดโพรพิโอนิก เป็นต้น (King, 2004) ลักษณะโครงสร้างภายในของสตาร์ชข้าวแสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 โครงสร้างภายในของสตาร์ชข้าวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดกราดลำแสง (SEM) ที่มา : Jeffery *et al.* (2005)

สตาร์ชเพื่อสุขภาพ (Resistant starch)

สตาร์ชจัดอยู่ในอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1. ไกลซีมิกสตาร์ช (Glycemic starch) เป็นสตาร์ชที่ถูกย่อยสลายเป็นน้ำตาลกลูโคสได้ด้วยน้ำย่อยในลำไส้เล็กและมีผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดโดยตรง 2. รีซิสแตนท์สตาร์ช (Resistant starch) หรือ สตาร์ชเพื่อสุขภาพ เป็นสตาร์ชที่ไม่ถูกย่อยด้วยน้ำย่อยในลำไส้เล็กแต่จะผ่านไปถึงลำไส้ใหญ่แล้วถูกเปลี่ยนแปลงโดยการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในลำไส้ใหญ่

การที่สตาร์ชถูกย่อยโดยใช้เวลานานจะส่งผลดีต่อสุขภาพเช่นเดียวกับใยอาหาร (dietary fiber) คือ ช่วยลดระดับไขมัน คอเลสเตอรอล น้ำตาลในเลือด ลดระดับค่าพีเอชที่ช่วงปลายลำไส้ใหญ่ เพิ่มปริมาณและปรับสภาพอุจจาระ สร้างกรดไขมันโมเลกุลสั้นๆ ที่ลำไส้ใหญ่ ป้องกันโรคริดสีดวง ทวาร และมะเร็ง การรับประทานอาหารที่ถูกต้องเป็นสิ่งที่ดีควรทำ เพราะไม่ต้องเพิ่มรายจ่ายในการซื้อผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพ (สายสนม, 2541)

คุณลักษณะของรีซิสแตนท์สตาร์ช

รีซิสแตนท์สตาร์ช หมายถึง สตาร์ชรวมตัวกับผลผลิตจากโมเลกุลของสตาร์ชที่ถูกทำลายบางส่วนแล้วทนทานหรือไม่สามารถดูดซึมผ่านผนังลำไส้เล็กของคนปกติทั่วไป สามารถเกิดขึ้นตามธรรมชาติได้ในอาหาร เช่น เมล็ดถั่ว แป้งมันฝรั่ง แป้งกล้วย เป็นต้น ปริมาณรีซิสแตนท์สตาร์ชอยู่ระหว่าง ร้อยละ 7 ถึง 11 ของปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (ตารางที่ 4) และมีปริมาณไม่สูงมากนักในพืชกลุ่มธัญชาติ แม้รีซิสแตนท์สตาร์ชจะเป็นแหล่งสำคัญของสตาร์ชที่ผลิตด้วยกรรมวิธีการแปรรูปโดยการอบด้วยความร้อนสูง (baking) ด้วยเทคโนโลยีเอ็กทรูชัน (extrusion) หรือด้วยวิธีการใช้ลมร้อน (hot air drying) หากเก็บรักษาหลังจากการทำให้สุกแล้วด้วยวิธีการแช่เย็น หรือแช่เยือกแข็งจะมีผลทำให้ปริมาณ รีซิสแตนท์สตาร์ชเพิ่มขึ้นได้ (Wursch, 1999) รีซิสแตนท์สตาร์ช ประกอบด้วย โมเลกุลอะไมโลส (linear chain molecules) ที่เกิดการคืนตัว (retrograded amylose) แล้วเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่โดยปกตินิยมผลิตโดยกระบวนการทำให้แป้งสุก (gelatinization) ด้วยการให้ความร้อนกับสตาร์ชข้าวโพดที่มีปริมาณอะไมโลสสูงอยู่ในระดับปริมาณราวร้อยละ 70 หรือเรียกว่า amylo maize starch ผสมกับน้ำและทำให้เย็นลงภายใต้สภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิ ความเข้มข้น และการเก็บรักษา ผลผลิตที่ได้มีปริมาณรีซิสแตนท์สตาร์ชสูงประมาณร้อยละ 45 วิธีการตรวจสอบปริมาณรีซิสแตนท์สตาร์ชคล้ายคลึงกับการวัดค่าปริมาณใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber, TBF) (Sambucetti and Zuleta, 1996)

ตารางที่ 4 ปริมาณรีซิสแตนท์สตาร์ชในอาหาร

ชนิดอาหาร	ร้อยละของรีซิสแตนท์สตาร์ช
Bread	2.2-4.3
Special bread	7.2-9.5
Breakfast cereal	0.0-9.0
Whole grain cereals	1.7-2.3
Potato	0.6-0.9
Pasta	1.3-4.2
Pulses	12.0-20.0

ที่มา : Wursch (1999)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

วัตถุดิบ

1. โซเดียม เคซีนผงจาก Vicchi Consolidated (Thailand) Co., Ltd.
2. แคลเซียม เคซีนผงจาก บริษัท สหสิทธิ์ อิมพอร์ต แอนด์ เอ็กชปอร์ต (ประเทศไทย) จำกัด
3. ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวขาวตาแห้ง 17 และปทุมธานี 1 จากศูนย์บริการด้านพืชและปัจจัยการผลิตจังหวัดราชบุรี
4. ไขมันปาล์มดัดแปลง ตรา ไวท์ แลป

สารเคมี

1. ไดโซเดียม ไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4 , Food Grade) จากบริษัท ทินกร เคมิคอล แอนด์ซัพพลาย จำกัด
2. โซเดียม ไตรโพลีฟอสเฟต ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{12}$, Food Grade) จากบริษัท ทินกร เคมิคอล แอนด์ซัพพลาย จำกัด
3. โซเดียม ซิเตรต ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Food Grade) จากบริษัท ทินกร เคมิคอล แอนด์ซัพพลาย จำกัด
4. กัวร์ กัมผง (GRINDSTED[®] Guar) จาก Berli Jucker Specialties. Ltd.
5. แชนแทน กัมผง (GRINDSTED[®] Xanthan 80) จาก Berli Jucker Specialties. Ltd.
6. โพแทสเซียม ซอร์เบต ($\text{C}_6\text{H}_7\text{KO}_2$, Food Grade) จากบริษัท ทินกร เคมิคอล แอนด์ซัพพลาย จำกัด
7. กรดแลกติกความเข้มข้นร้อยละ 88 จาก Vicchi Consolidated (Thailand) co., Ltd.
8. สารเคมีในการวิเคราะห์ต่างๆ

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง Texture Analyser[®] (Micro Stable System, TA-XT Plus.)
2. เครื่องมือชุดวัดการหกลมของเนยแข็งด้วยวิธี Schreiber test (Park et al., 1984)
3. กล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสง (Light Microscope รุ่น LEICA)
4. กล้องจุลทรรศน์ชนิดคอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่ง (Confocal Laser Scanning Microscope รุ่น LSM 5 PASCAL)
4. เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง (pH Meter Model 210A. ORION)
5. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven)
6. เครื่องบดลดขนาด (Hammer mill)
7. เครื่องชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง
8. เครื่องวิเคราะห์โปรตีน (Buchi Model B 435)
9. เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Soxtec System HT)
10. เครื่องวิเคราะห์เส้นใย (Fibertec, Tecator)
11. เตาเผาเถ้า (Muffle Furnace, Gellen Kamp)
12. ตู้แช่เย็น $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$
13. อุปกรณ์การชิม และเครื่องแก้วในการวิเคราะห์ต่างๆ

วิธีการ

ศึกษาปริมาณส่วนประกอบที่เหมาะสมของเนยแข็งเทียม

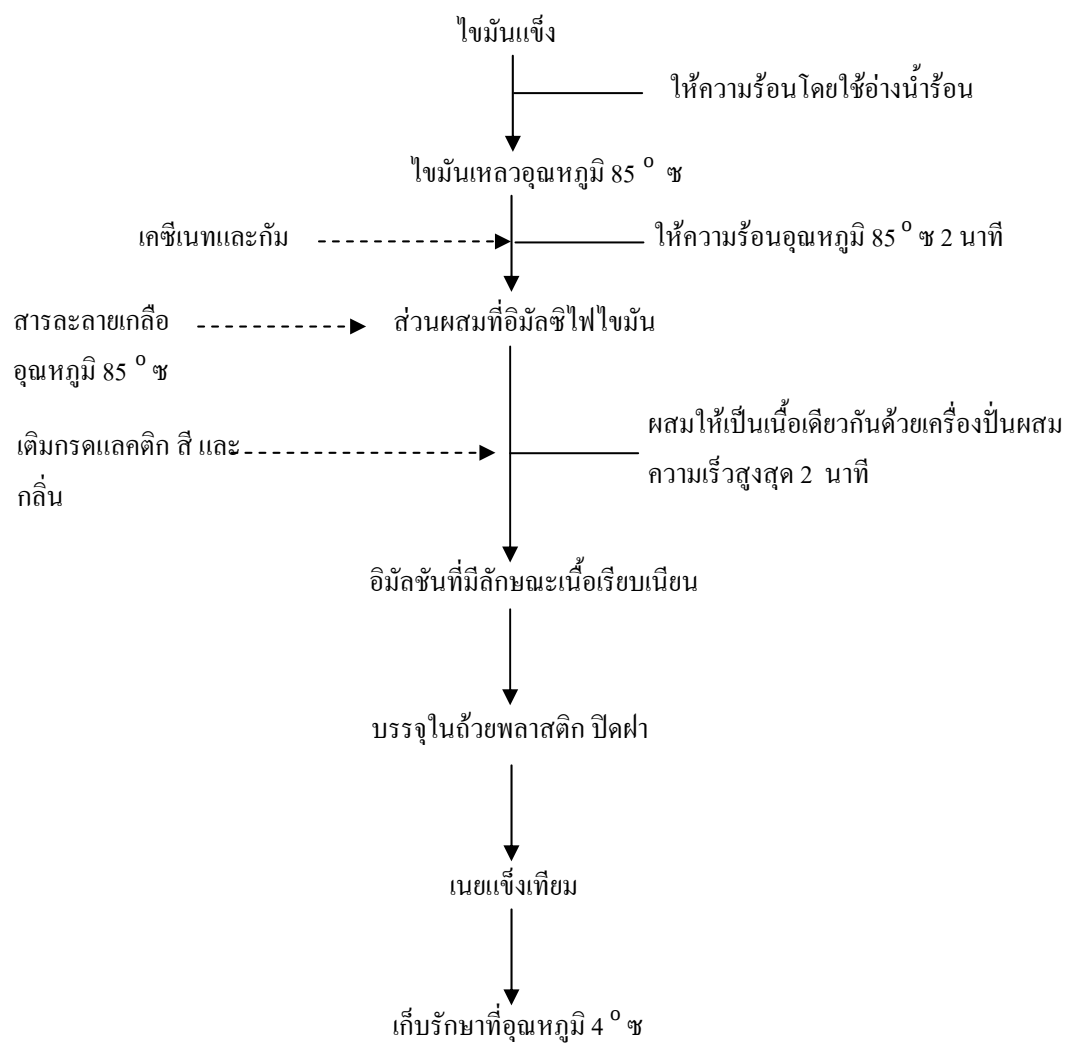
1. หาส่วนประกอบที่เหมาะสมของเนยแข็งเทียมที่ผลิตจากเคซีน

ทดลองผลิตเนยแข็งเทียมโดยหาสัดส่วนที่เหมาะสมของน้ำ ไขมัน และเคซีนโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) จัดการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial) 3×2 โดยการแปรเปลี่ยนส่วนประกอบของเนยแข็งเทียมดังนี้ น้ำและไขมันที่ 3 ระดับคือร้อยละ 51 และ 36.47 และ 40.43 และ 44 และโซเดียม เคซีนต่อแคลเซียม เคซีนที่ 2 ระดับคือ 1 : 3 และ 1 : 4 ตามสูตรของเนยแข็งเทียมจากเคซีนที่แสดงในตารางที่ 5 การผลิตเนยแข็งเทียมเริ่มจากนำไขมันมาอุ่นให้หลอมเหลวที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เติมน้ำของเคซีน

และกัมลงไปผสม (อุณหภูมิลดลง) เมื่ออุณหภูมิถึง 85 องศาเซลเซียส จับเวลา 2 นาทีให้โปรตีนเคซีนเกิดการคลายเกลียวหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำออกมาจับไขมัน (อิมัลซิไฟไขมัน) หลังจากนั้นเติมส่วนของสารละลายเกลือ (ไคโซเดียม ฟอสเฟต โซเดียม ไตรฟอสเฟต โซเดียม ซิเตรต โปแตสเซียม ซอร์เบต และโซเดียม คลอไรด์) ที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส 2 นาที และนำไปผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นผสมความเร็วสูงสุดเป็นเวลา 2 นาที ในระหว่างการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันเติมกรดแลกติก สี และกลิ่น ได้เนยแข็งเทียมที่มีลักษณะเนื้อเรียบเนียน บรรจุในภาชนะพลาสติก ปิดฝา และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตามภาพที่ 7 ทำการทดสอบชิมเพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคโดยวิธี Hedonic Scale ระดับคะแนน 9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด) โดยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 36 คน ประเมินผลทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ ความแน่นเนื้อ สี กลิ่นรส และการยอมรับโดยรวม (ดัดแปลงจาก Zalazar *et al.*, 2002)

ตารางที่ 5 ส่วนผสมต่างๆ ของเนยแข็งเทียม

ส่วนผสม (ร้อยละ)	สูตร					
	CS1	CS2	CS3	CS4	CS5	CS6
ไขมัน	36	36	40	40	44	44
น้ำ	51	51	47	47	43	43
โซเดียม เคซีน	2.75	2.2	2.75	2.2	2.75	2.2
แคลเซียม เคซีน	8.25	8.8	8.25	8.8	8.25	8.8
ไคโซเดียม ฟอสเฟต	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
โซเดียม ไตรฟอสเฟต	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
โซเดียม ซิเตรต	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
เกลือ (โซเดียม คลอไรด์)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
โปแตสเซียม ซอร์เบต	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
แซนแทน กัม	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
กัวร์ กัม	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
กรดแลกติก	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35



ภาพที่ 8 วิธีการผลิตเนยแข็งเทียม

หมายเหตุ คัดแปลงจากวลัยรุจี (2540)

2. ศึกษาปริมาณการแทนที่เคซีนทดด้วยแป้งข้าวเจ้า

2.1. การเตรียมแป้งข้าวเจ้าด้วยวิธีการ โม่เปียก

นำข้าวมาล้างน้ำให้สะอาด แช่ข้าวในน้ำที่อัตราส่วนปริมาณข้าวต่อน้ำ 1 : 2 นาน 3 ชั่วโมงแล้วโม่ด้วยเครื่องโม่หิน โม่ข้าวพร้อมกับน้ำ แล้วนำน้ำแป้งเข้าเครื่องแยกน้ำออกจากแป้ง และได้ก้อนแป้ง แล้วตีปั่นให้เป็นผง อบลดความชื้นในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนแป้งแห้งมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 13 ตามเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเจ้า จากนั้นนำแป้งมาผ่านเครื่องบดและร่อนเพื่อให้ได้แป้งที่มีขนาดสม่ำเสมอ วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า ได้แก่ ปริมาณความชื้นโดยการอบด้วยตู้อบลมร้อนตามวิธีของ AOAC (1990) ปริมาณโปรตีนโดยหาปริมาณไนโตรเจนด้วยเครื่อง Buchi ตามวิธีของ AOAC (1990) แล้วคูณด้วยแฟกเตอร์ 5.95 เป็นปริมาณโปรตีน (ร้อยละ) หาปริมาณเถ้าโดยการเผาในเตาเผาเถ้าตามวิธีของ AOAC (1990) ปริมาณไขมันโดยเครื่อง Soxtec System HT (AOAC, 1990) ปริมาณเส้นใยโดยเครื่อง Fibertec System Tecator (AOAC, 1990) และปริมาณอะไมโลสด้วยการเกิดสีกับไอโอดีน (Juliano, 1971) ดังภาคผนวก ก

2.2. การหาปริมาณการแทนที่เคซีนทดด้วยแป้งข้าวเจ้า

นำสัดส่วนที่เหมาะสมของปริมาณน้ำ ไขมัน และเคซีนในการผลิตเนยแข็งเทียมจากข้อ 1 มาศึกษาปริมาณการแทนที่ของเคซีนบางส่วนด้วยแป้งข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะไมโลสต่างกันคือใช้แป้งข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ข้าวตาแห้ง 17 (งามชื่น, 2539) โดยแทนที่ในปริมาณร้อยละ 10 15 และ 20 ของน้ำหนักเคซีนทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Mounsey and O' Riordan, 2001) ปริมาณการแทนที่เคซีนทดด้วยแป้งข้าวแสดงในตารางที่ 6 ทำการทดสอบชิมเพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคโดยวิธี Hedonic Scale ระดับคะแนน 9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด) โดยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 36 คน ประเมินผลทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ ความแน่นเนื้อ สี กลิ่นรส และการยอมรับโดยรวม (ดัดแปลงจาก Zalazar *et al.*, 2002)

ตารางที่ 6 ปริมาณการแทนที่เคซีนทดด้วยแป้งข้าวเจ้า

สูตร	แป้งข้าวเจ้า (ร้อยละ)
Control	-
RP10	10
RT10	10
RP15	15
RT15	15
RP20	20
RT20	20

หมายเหตุ RP คือ แป้งข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1

RT คือ แป้งข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17

การตรวจสอบคุณภาพของเนยแข็งเทียมจากเคซีนทดและเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าว

1. ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี ตรวจสอบปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) โปรตีน (AOAC, 1990) แล้วยกด้วยแฟลคเตอร์ 6.38 ได้เป็นปริมาณโปรตีนคิดเป็นร้อยละ ไขมัน (AOAC, 1990) ใยอาหาร (AOAC, 1990) เกลือ (AOAC, 1990) และค่าพีเอช (Savello and Ernstrom, 1989)

2. ตรวจสอบเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyser[®] TA-XT Plus.) ดัดแปลงจาก Sipahoglu *et al.* (1999) ตรวจสอบโดยหลักการวัดแรงกด (Compression test) หัววัดแบบแผ่นเรียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ความเร็วหัววัด 0.2 มิลลิเมตรต่อวินาที ตัวอย่างมีขนาด 20 x 20 x 20 มิลลิเมตร กดตัวอย่างเป็นระยะทาง 12 มิลลิเมตร ความคมอุณหภูมิของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบคือ 25 – 28 องศาเซลเซียสโดยนำตัวอย่างไปวางไว้ในห้องทดสอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที วัดความแน่นเนื้อ (firmness) ของผลิตภัณฑ์จากค่ามอดุลัสของยัง (Young's Modulus, E) หรือมอดุลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ซึ่งหาได้จากค่าความชันของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (σ) กับความเครียด (ϵ) ทดสอบ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 6 ตัวอย่าง

3. ตรวจสอบลักษณะการหลอมด้วยวิธี Schreiber test (Park *et al.*, 1984) นำตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 41 มิลลิเมตร ใส่ในงาน Petri dish นำไปอบที่อุณหภูมิ 232 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำมาทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที วัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เพิ่มขึ้น (มิลลิเมตร) เทียบจากแผ่นที่ทำขึ้นดังภาพผนวกที่ ก3 ทดสอบ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 6 ตัวอย่าง

4. ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างภายในโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสง และคอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่ง ตัดตัวอย่างให้มีความหนาน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร โดยใช้มีดผ่าตัด สำหรับกล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสง ย้อมสีโปรตีนโดยใช้สารละลายสี Coomassie Brilliant Blue G250 ความเข้มข้นร้อยละ 1 และย้อมเม็ดเป้งด้วยสารละลายไอโอดีน แต่สำหรับคอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่ง ย้อมไขมันด้วยสารละลาย Nile Red ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 และย้อมโปรตีนด้วยสารละลาย Rhodamin B ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 (Gunasekaran and Ding, 1999) ย้อมตัวอย่างในสารละลายสีที่ใช้ย้อมเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นล้างตัวอย่างเพื่อชะสีย้อมที่มากเกินไปออก

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยหาความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะเวลาทำการทดลอง

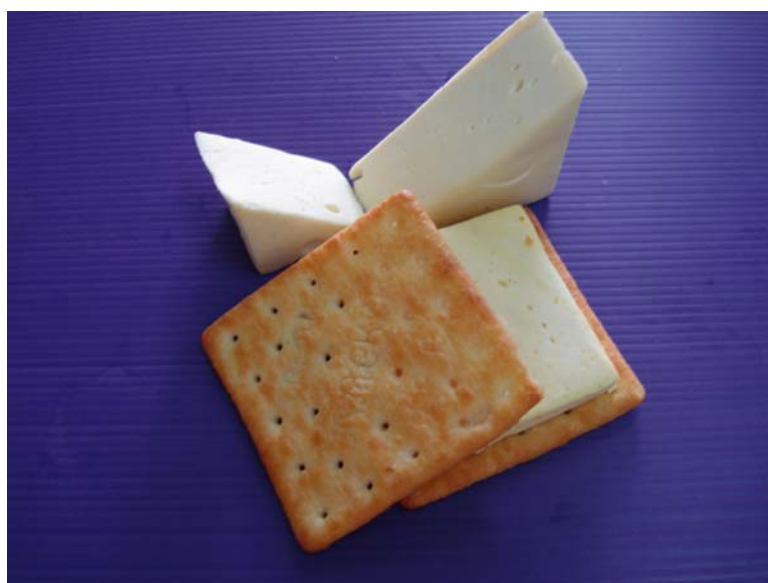
เริ่มการทดลองตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึง กุมภาพันธ์ 2549 รวมระยะเวลาวิจัย 1 ปี 1 เดือน

ผลและวิจารณ์

ส่วนประกอบที่เหมาะสมของเนยแข็งเทียม

1. ส่วนประกอบที่เหมาะสมของเนยแข็งเทียมที่ผลิตจากเคซีน

การทดลองผลิตเนยแข็งเทียมในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะคล้ายเนยแข็งชนิดกึ่งแข็งกึ่งนุ่ม (ภาพที่ 9) คือมีเนื้อสัมผัสค่อนข้างนุ่มและสามารถตัดเป็นชิ้นหรือเป็นแผ่นได้ กระบวนการผลิตเนยแข็งเทียมดัดแปลงจากวิธีการของ Rule and Werstak (1978) ซึ่งผลิตเนยแข็งเทียมมอซเชอเรลลาจากเคซีน ส่วนผสมของการทดลองนี้แสดงในตารางที่ 7 เมื่อเปรียบเทียบส่วนผสมหลักคือ น้ำ ไขมัน และ เคซีน ระหว่างเนยแข็งมอซเชอเรลลาเทียมและเนยแข็งเทียมที่ศึกษา พบว่าปริมาณน้ำที่ใช้ใกล้เคียงกันคือร้อยละ 50 และ 43 ถึง 51 ตามลำดับ สำหรับไขมันเนยแข็งมอซเชอเรลลาเทียมใช้น้ำมันจากเมล็ดฝ้าย ปริมาณที่ใช้คือร้อยละ 22.63 ซึ่งน้อยกว่าเนยแข็งเทียมที่ศึกษาซึ่งใช้ปริมาณร้อยละ 36 ถึง 44 ส่วนผสมหลักอีกชนิดหนึ่งคือโซเดียมเคซีนและแคลเซียม เคซีน เนยแข็งมอซเชอเรลลาเทียมใช้ปริมาณร้อยละ 19.40 และ 4.85 ตามลำดับซึ่งสูงกว่าในเนยแข็งเทียมที่ศึกษามาก (ร้อยละ 2.22-2.75 และ 8.25- 8.80 ตามลำดับ) จากส่วนผสมที่แตกต่างกันทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะต่างกัน เนยแข็งมอซเชอเรลลาเทียมจัดเป็นเนยแข็งชนิดแข็งมีเนื้อสัมผัสแน่น คงตัว ยืดหยุ่นดี และมีคุณสมบัติการหลอมขณะอบและยืดได้ดี (stretch) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของโซเดียม เคซีน (Cavalier-Salou and Cheftel ; 1991) สูตรที่ใช้จึงมีโซเดียมเคซีนสูงถึงร้อยละ 80 ของเคซีนทั้งหมด ส่วนเนยแข็งเทียมที่ศึกษาในการทดลองนี้ใช้เคซีนทั้งโซเดียม เคซีนและแคลเซียม เคซีนในปริมาณที่น้อยลงเพราะต้องการให้ได้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสนุ่มและสามารถตัดเป็นชิ้นหรือแผ่นได้



ภาพที่ 9 ลักษณะของเนยแข็งเทียมที่ผลิตจากเคซีน

ตารางที่ 7 ส่วนผสมของเนยแข็งมอซเชอเรลลาเทียม^a และเนยแข็งเทียมที่ผลิตจากเคซีน

ส่วนผสม (ร้อยละ)	เนยแข็งมอซเชอเรลลาเทียม ^a	เนยแข็งเทียม
น้ำ	50.75	43-51
ไขมัน	22.63 ^b	36-44 ^c
โซเดียม เคซีน	19.40	2.22-2.75
แคลเซียม เคซีน	4.85	8.25-8.80
กรดแลคติก	0.32	0.35
แคลเซียมคลอไรด์	0.87	-
โปแตสเซียมซอร์เบท	0.13	0.10
เกลือ	0.74	0.75
กลีเซอรีน	0.30	0.30

หมายเหตุ ^a จาก Rule and Werstak (1978)

^b ไขมันเมล็ดฝ้าย

^c ไขมันปาล์มดัดแปลง

Hokes *et al.* (1982) อธิบายการเกิดเคิร์ดของเคซีน ด้วยแบบจำลองโดยให้แคลเซียม เคซีน กระจายตัวในเอทิลแอลกอฮอล์และพบว่าในสภาวะนี้อนุภาคของเคซีนมีลักษณะเป็นก้อนค่อนข้างกลมเหมือนกับเคซีนที่กระจายตัวในน้ำมันซึ่งเป็นตัวทำละลายไม่มีขั้ว เมื่อค่อยๆ เติมน้ำลงไปในระบบสังเกตเห็นว่าเคซีนเกิดการรวมตัวกันกลายเป็นเคิร์ด เมื่อนำเคิร์ดที่ได้มาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสง จะเห็นเป็นลักษณะของไบรีฟริงเจน (birefringent, รูปกากบาทสีดำซึ่งเกิดจากการหักเหของแสงระนาบเดียวที่ส่องกระทบโครงสร้างที่เป็นระเบียบ) แสดงถึงการจัดเรียงตัวอย่างมีระเบียบภายในโมเลกุลของเคิร์ด ลักษณะของไบรีฟริงเจนหายไปถ้ามีการรบกวนเคิร์ดขณะกำลังเกิดเคิร์ด เช่น การเฉือน (shear)

การเกิดเคิร์ดของเคซีน มีการเปลี่ยนแปลง 2 ระยะ คือระยะแรกโมเลกุลของเคซีนรวมตัวกับน้ำ (hydration) และเกิดการรวมตัวกันเอง (flocculation) ระยะที่ 2 โปรตีนจับตัวเป็นก้อนแยกตัวออกจากส่วนของเหลวที่เรียกว่าเกิด syneresis การเปลี่ยนแปลงนี้สังเกตได้จากการที่โมเลกุลจับกันเป็นก้อนและเหนียว เกิดจากเคซีนที่อยู่ในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วเรียงตัวภายในโมเลกุล

เนื่องจากการขับเคลื่อนด้วยเอนโทรปี (entropic driven mechanism) ทำให้กลุ่มที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic group) ออกมาสัมผัสกับตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ขณะเดียวกันเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างแคลเซียมไอออนกับอนุภาคโปรตีนเพื่อลดประจุภายในโมเลกุล เมื่อเติมน้ำลงไปจึงเพิ่มการมีขั้ว (polar) ของระบบให้มากขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำโดยอาจหันกลับเข้าไปในโมเลกุลของโปรตีน หรืออาจเกิดการรวมตัวกันเองเพื่อขัดขวางความเป็นระเบียบของโมเลกุลน้ำ

การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของไอออนบวกภายในโมเลกุล กล่าวคือ ถ้าภายในโมเลกุลมีไอออนที่มี 1 ประจุบวก (monovalent cation) เช่น โซเดียมไอออน ขัดขวางการเชื่อมกันของโปรตีน (protein crosslinking) ทำให้เกิดกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำ สามารถหันกลับเข้าไปภายในโมเลกุลได้ง่ายจึงไม่เกิดเคิร์ดขึ้น แต่ถ้าภายในโมเลกุลมี 2 ประจุบวก (divalent cation) เช่น แคลเซียมไอออน ทำให้การจับกันของโปรตีนแน่นขึ้นมีผลต่อกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำไม่สามารถหันกลับเข้าไปภายในโมเลกุลเกิดการรวมตัวกันเองมากกว่าเรียงตัวใหม่ จึงเกิดเส้นใยโปรตีนจากการเกาะกันของโปรตีนพวกไม่ชอบน้ำ โดยมีกลุ่มที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) หรือพวกที่มีประจุอยู่บริเวณผิวหน้า

องค์ประกอบทางเคมีของเนยแข็งเทียมที่ผลิตได้แสดงในตารางที่ 8 เห็นได้ว่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ในแต่ละสูตรค่อนข้างสูง คือ ร้อยละ 42.93-51.47 ซึ่งอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดสำหรับเนยแข็งที่มีลักษณะกึ่งนุ่มกึ่งแข็ง คือ ความชื้นร้อยละ 30-60 (Gunasekaran and Mehmet, 2003) โปรตีน ร้อยละ 10.39-10.59 ไขมันร้อยละ 35.95-44.23 โยอาหารร้อยละ 0.09-0.13 และเถ้าร้อยละ 0.47-0.53 สำหรับค่าพีเอชของเนยแข็งเทียมอยู่ในช่วง 6.08-6.11

ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมีของเนยแข็งเทียมจากเคซีน

สูตร	ค่าพีเอช ^{NS}	(ร้อยละ)				
		ความชื้น	โปรตีน ^{NS}	ไขมัน	ใยอาหาร ^{NS}	เกลือ ^{NS}
CS1	6.09	51.47 ^a	10.57	36.28 ^a	0.11	0.52
CS2	6.10	50.11 ^a	10.55	35.95 ^a	0.09	0.49
CS3	6.08	48.74 ^b	10.39	40.31 ^b	0.13	0.50
CS4	6.09	47.65 ^b	10.59	40.16 ^b	0.12	0.53
CS5	6.11	42.93 ^c	10.43	44.23 ^c	0.17	0.53
CS6	6.10	43.06 ^c	10.49	44.84 ^c	0.13	0.47

CS1 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 51 ไขมันร้อยละ 36 และโซเดียมต่อแคลเซียม เคซีน 1:3

CS2 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 51 ไขมันร้อยละ 36 และโซเดียมต่อแคลเซียม เคซีน 1:4

CS3 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 47 ไขมันร้อยละ 40 และโซเดียมต่อแคลเซียม เคซีน 1:3

CS4 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 47 ไขมันร้อยละ 40 และโซเดียมต่อแคลเซียม เคซีน 1:4

CS5 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 43 ไขมันร้อยละ 44 และโซเดียมต่อแคลเซียม เคซีน 1:3

CS6 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 43 ไขมันร้อยละ 44 และโซเดียมต่อแคลเซียม เคซีน 1:4

ตัวอักษรเหมือนกันในแนวดังเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

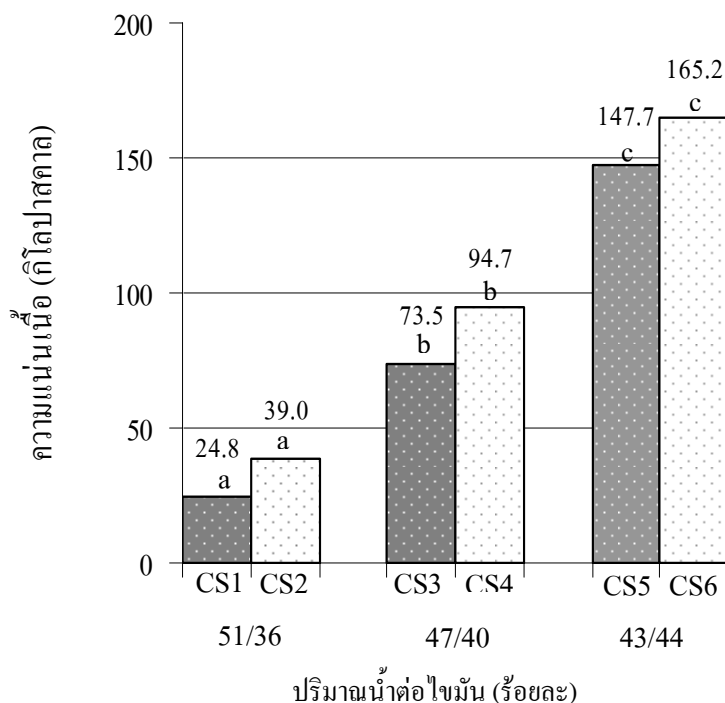
หมายเหตุ^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

2. ความแน่นเนื้อของเนยแข็งเทียมจากเคซีน

ความแน่นเนื้อของเนยแข็งเทียม คือ ความแข็งแรงของเส้นใยโปรตีนของเคซีนเนยแข็งเทียม (Vernon – Carter and Sherman, 1978) ซึ่งวัดโดยใช้เครื่อง Texture Analyser[®] TA-XT Plus. ได้ผลดังภาพที่ 10 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณไขมันและลดปริมาณน้ำค่าความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เนื่องจากปริมาณไขมันเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้โมเลกุลของโปรตีนสามารถหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำออกมาเพิ่มขึ้นและเกิดพันธะระหว่างส่วนที่ไม่ชอบน้ำมากขึ้น (hydrophobic interaction) ทำให้ความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น (Hokes, 1982) การรวมตัวกันของอนุภาค

ไขมันเพื่อลดพื้นที่ผิวในการกระจายในเมทริกซ์โปรตีน และไขมันที่รวมตัวที่อุณหภูมิห้องมีสถานะเป็นของแข็ง จึงทำให้ความแน่นเนื้อของเนยแข็งเทียมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปริมาณความชื้นที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ความแน่นเนื้อของเนยแข็งเทียมลดลง เนื่องมาจากปริมาณน้ำมีผลต่อการเกิดอันตรกิริยาของโปรตีน เช่น การรวมตัวกับน้ำ การเกาะเกี่ยวกันเป็นร่างแหโปรตีน (network) และการละลาย เนื่องจากน้ำเป็นตัวกำหนดความเข้มข้นของสารละลายเกลือ (ไคโอเดียม ฟอสเฟต โซเดียม ไตรโพลิฟอสเฟต โซเดียม ซิเตรต และโซเดียม คลอไรด์) ถ้าปริมาณน้ำน้อยมีผลทำให้สารละลายเกลือมีความเข้มข้นมากขึ้นทำให้ความสามารถในการละลาย หรือการดูดน้ำของโปรตีนลดลง ลักษณะเมทริกซ์โปรตีนมีการจับกันเป็นกลุ่มก้อนส่งผลให้เนยแข็งเทียมที่มีปริมาณน้ำน้อยมีความแน่นเนื้อมากกว่าเนยแข็งเทียมที่มีปริมาณน้ำมาก นอกจากนี้ปริมาณน้ำมีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดของเนยแข็งเทียม จึงทำให้ตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำมากมีส่วนของของแข็งทั้งหมดน้อยกว่าตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำน้อย ดังนั้นตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำน้อยจึงมีความแน่นเนื้อมากกว่าตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำมาก

ผลของอัตราส่วนของโซเดียม เคซีนต่อแคลเซียม เคซีนต่อความแน่นเนื้อของเนยแข็งเทียมซึ่งศึกษาที่ 2 ระดับ คือ 1:3 และ 1:4 พบว่าเมื่อปริมาณของแคลเซียม เคซีนเพิ่มขึ้นแนวโน้มความแน่นเนื้อของเนยแข็งเทียมเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \geq 0.05$ Hokes (1982) รายงานว่าเมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมไอออนในแคลเซียม เคซีน เคิร์ดที่ได้มีความแข็งแรงลดลง สอดคล้องกับรายงานของ Cavalier-Salou and Cheftel (1991) ที่พบว่าเนยแข็งเทียมที่ผลิตได้จากโซเดียม เคซีนที่มีความแข็งแรงน้อยกว่าที่ผลิตจากแคลเซียม เคซีน เนื่องจากโซเดียมไอออนสามารถแย่งจับกับโปรตีนได้เช่นเดียวกับแคลเซียมไอออน แต่ไม่สามารถทำให้โปรตีนเกิดโครงสร้างที่แข็งแรง เมื่อเติมแคลเซียมไอออนลงไปเนยแข็งเทียมที่ผลิตจากโซเดียม เคซีนความแข็งแรงของเนยแข็งเทียมเพิ่มสูงขึ้น (Lucey and Fox, 1993)



ภาพที่ 10 ผลของปริมาณไขมันและน้ำต่อความแน่นเนื้อของเนยแข็งเทียม

CS1 CS3 และ CS5 คือ โซเดียมต่อแคลเซียม เคซีนท 1:3

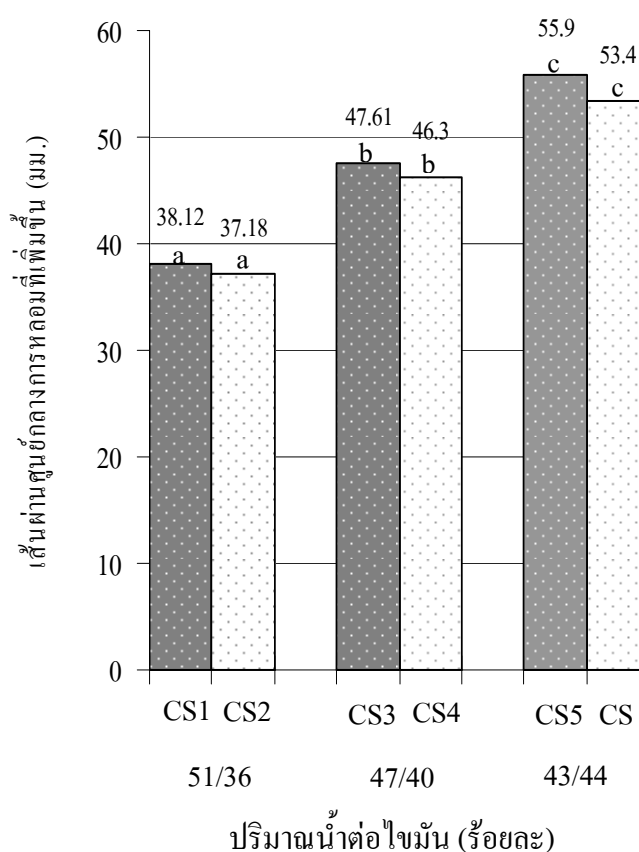
CS2 CS4 และ CS6 คือ โซเดียมต่อแคลเซียม เคซีนท 1:4

3. ความสามารถในการหลอมของเนยแข็งเทียม

ความสามารถในการหลอมของเนยแข็งเทียมเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของเส้นใยโปรตีน (Chen *et al.*, 1979) และโครงสร้างภายใน (microstructure) ของการเกิดอิมัลชันของไขมันในผลิตภัณฑ์ (Park *et al.*, 1984) ผลการทดลองครั้งนี้พบว่าเมื่อปริมาณไขมันในส่วนผสมเพิ่มขึ้นความสามารถในการหลอมของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 11) สอดคล้องกับการทดลองของ Koca and Metin (2004); Guinee *et al.* (2000); Rudan *et al.* (1999) ที่พบว่าความสามารถในการหลอมของเนยแข็งมีความสัมพันธ์กับการเสีรูปร่าง (disruption) ของโครงสร้างเมทริกซ์โปรตีนที่ล้อมรอบเม็ดไขมัน ในขณะที่ไขมันหลอมเมื่อได้รับความร้อนทำให้โครงสร้าง เมทริกซ์โปรตีนมีการเคลื่อนตัวและทำให้เกิดการหลอมของเนยแข็ง (Lucey *et al.*, 2003) เนยแข็งที่มีไขมันต่ำมีความสามารถในการหลอมได้ไม่ดีเท่าไขมันสูงเนื่องจากมีจำนวนเม็ดไขมันอิสระ (free lipid

droplets) ที่มีขนาดใหญ่อยู่ในโครงสร้างของเมทริกซ์โปรตีนน้อย เมื่อได้รับความร้อนจึงเสียรูปร่าง โครงสร้างของเมทริกซ์โปรตีนน้อยกว่า (Tunick *et al.*, 1995)

ส่วนผลของอัตราส่วนของโซเดียม เคซีนต่อแคลเซียม เคซีนที่มีต่อความสามารถในการหลอมของผลิตภัณฑ์ (ภาพที่ 11) จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณแคลเซียม เคซีนเพิ่มขึ้น (CS2 CS4 และ CS6) ผลิตภัณฑ์สามารถหลอมได้ลดลงแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เนื่องจากเมื่อปริมาณแคลเซียมไอออนเพิ่มขึ้นสามารถทำให้พันธะระหว่างแคลเซียมไอออนและโมเลกุลของโปรตีนเพิ่มขึ้นและโครงสร้างโปรตีนมีความแข็งแรงขึ้น มีผลไปยังความสามารถในการหลอมของเนยแข็งเทียม (Cavalier-Salou and Cheftel; 1991)



ภาพที่ 11 ผลของปริมาณไขมันและน้ำต่อการหลอมของเนยแข็งเทียม

CS1 CS3 และ CS5 คือ โซเดียมต่อแคลเซียม เคซีนท 1:3

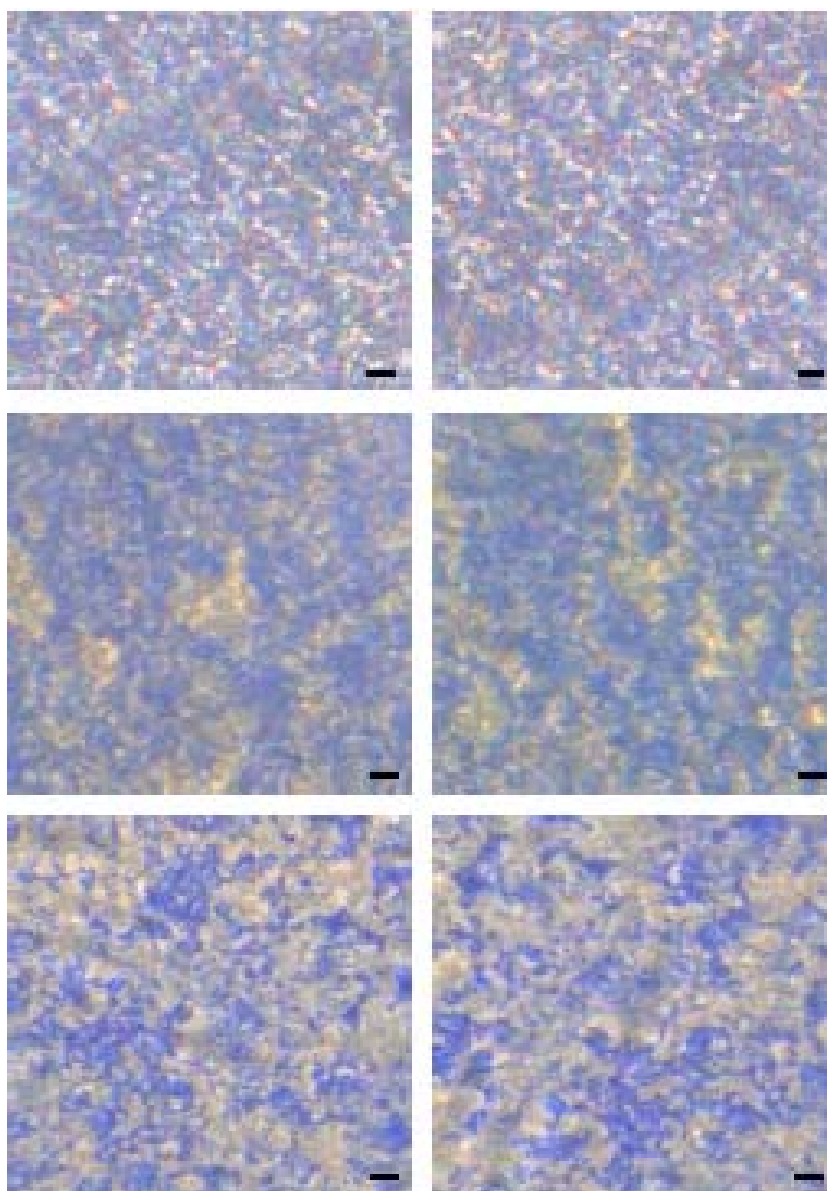
CS2 CS4 และ CS6 คือ โซเดียมต่อแคลเซียม เคซีนท 1:4

เคซีนแต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีต่างกันจึงมีสมบัติต่างๆ แตกต่างกัน โดยเฉพาะโซเดียม เคซีนและแคลเซียม เคซีน ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตเนยแข็งเทียม จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าโซเดียม เคซีนสามารถละลายและคือน้ำได้มากกว่าแคลเซียม เคซีน (Southward, 1986; Gupta and Mulay, 1989; Konstance and Strange, 1991) ลักษณะการละลายของเคซีนทั้ง 2 ชนิดต่างกันคือ โซเดียม เคซีนเมื่อละลายน้ำมีความหนืดมากกว่าแคลเซียม เคซีน (Southward, 1986) นอกจากนี้โซเดียม เคซีนทำให้ค่า Emulsifying สูงกว่าแคลเซียม เคซีน (Hildago, 1978) จากสมบัตินี้กล่าวทำให้เนยแข็งเทียมที่ผลิตจากโซเดียม เคซีนมีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม (Cavalier-Salou and Cheftel, 1991) ส่วนเนยแข็งที่ผลิตจากแคลเซียม เคซีนมีลักษณะเนื้อแน่นซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของโปรตีนกับแคลเซียมไอออน (Hokes *et al.*, 1982) ทำให้เนยแข็งเทียมที่มีปริมาณแคลเซียม เคซีนมากมีเนื้อสัมผัสแน่นและหลอมได้น้อยกว่า

4. โครงสร้างภายในของเนยแข็งเทียม

เนยแข็งเทียมที่ประกอบด้วยปริมาณน้ำต่อไขมัน 3 ระดับคือ 51/36 (ภาพที่ 12 13 และ 14 CS1 และ CS2) 47/40 (ภาพที่ 12 13 และ 14 CS3 และ CS4) และ 43/44 (ภาพที่ 12 13 และ 14 CS5 และ CS6) มีโครงสร้างภายในที่แตกต่างกัน เนยแข็งเทียมที่มีปริมาณน้ำต่ำและปริมาณไขมันสูง ลักษณะโครงสร้างภายในมีอนุภาคของเม็ดไขมันที่กระจายอยู่ในโครงสร้างเมทริกซ์โปรตีนใหญ่กว่าในเนยแข็งเทียมที่มีปริมาณน้ำสูงและปริมาณไขมันต่ำ เนื่องจากการรวมตัวกันของอนุภาคไขมันเพื่อลดพื้นที่ผิวในการกระจายตัวในเมทริกซ์ของโปรตีน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Guinee *et al.* (2001) ดังแสดงในภาพที่ 3 คือ เนยแข็งเชดคาร์ที่มีปริมาณไขมันสูง (Full fat cheese; 30% w/w) มีอนุภาคไขมันขนาดใหญ่กระจายอยู่ในเมทริกซ์โปรตีนเมื่อเทียบกับเนยแข็งเชดคาร์ที่มีปริมาณไขมันปานกลาง (Half fat cheese; 17.1% w/w) และต่ำ (Skim cheese; 6% w/w) การลดไขมันในเนยแข็งเชดคาร์ทำให้เพิ่ม Volume fraction ของโปรตีนเมทริกซ์ (เคซีนเมทริกซ์) และลดการรวมมวลและการเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนของไขมัน (clumping และ coalescence) ทำให้เนยแข็งที่มีไขมันต่ำมีอนุภาคไขมันขนาดเล็กกระจายตัวในเมทริกซ์โปรตีน ซึ่งส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและการหลอมของเนยแข็ง นอกจากนี้ลักษณะของโครงสร้างของเมทริกซ์โปรตีนที่ล้อมรอบอนุภาคของเม็ดไขมันในเนยแข็งเทียมต่างกัน การทดลองนี้พบว่าเนยแข็งเทียมที่มีปริมาณน้ำสูงและไขมันต่ำโปรตีนเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวดังแสดงในภาพที่ 12 และ 13 (CS1 CS2 CS3 และ CS4) ส่วนเนยแข็งเทียมที่มีปริมาณน้ำต่ำและไขมันสูง โปรตีนมีการรวมกันเป็นกลุ่มก้อนดังภาพที่ 12 และ 13 (CS5 และ CS6) มากกว่าการเชื่อมต่อกันเป็นสายยาว ส่งผลให้เนยแข็งเทียมที่มีปริมาณน้ำ

และไขมันต่างกันมีลักษณะด้านความแน่นเนื้อและการหลอมแตกต่างกัน เนยแข็งเทียมที่มีปริมาณปริมาณน้ำต่ำและไขมันสูงมีเนื้อสัมผัสแน่นและสามารถหลอมได้ดีกว่าเนยแข็งเทียมที่มีปริมาณปริมาณน้ำสูงและไขมันต่ำ อาจเนื่องจากไขมันเป็นของไหลที่อุณหภูมิห้อง หรือปริมาณน้ำมีผลต่อการเกิดอันตรกิริยาของโปรตีน เช่น การรวมตัวกับน้ำ การเกาะเกี่ยวกันเป็นร่างแหโปรตีน (network) และการละลายน้ำเป็นตัวกำหนดความเข้มข้นของสารละลายเกลือ (โคโคเดียม ฟอสเฟต โคโคเดียม ไตรโพลีฟอสเฟต โคโคเดียม ซิเตรต และโคโคเดียม คลอไรด์) ปริมาณน้ำน้อยทำให้สารละลายเกลือมีความเข้มข้นมากทำให้ความสามารถในการละลาย หรือการดูดน้ำของโปรตีนลดลง และเมทริกซ์โปรตีนมีการจับกันเป็นกลุ่มก้อนมากกว่าที่จะจับกันเป็นสายยาว เนยแข็งที่มีปริมาณไขมันต่ำมีความสามารถในการหลอมได้ไม่ดีเท่าปริมาณไขมันสูงเนื่องจากมีจำนวนเม็ดไขมันอิสระ (free lipid droplets) ขนาดใหญ่อยู่ในโครงสร้างของเมทริกซ์โปรตีนน้อย (ภาพที่ 12 CS1 และ CS2) เมื่อได้รับความร้อนมีการเสียรูปร่างโครงสร้างของเมทริกซ์โปรตีนน้อยกว่า (Tunick *et al.*, 1995) อัตราส่วนของโคโคเดียม เคซีนฟอสเฟตต่อแคลเซียม เคซีนฟอสเฟตไม่มีผลต่อลักษณะโครงสร้างภายใน (ภาพที่ 12 13 และ 14)



ภาพที่ 12 โครงสร้างภายในของเนยแข็งเทียมจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสงขั้วมสียโปรตีน (สีฟ้า)

ไขมัน (สีเหลืองครีม) บาร์ = 0.01 มม.

CS1 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 51 ไขมันร้อยละ 36 และโซเดียมต่อแคลเซียม เคซีนท 1:3

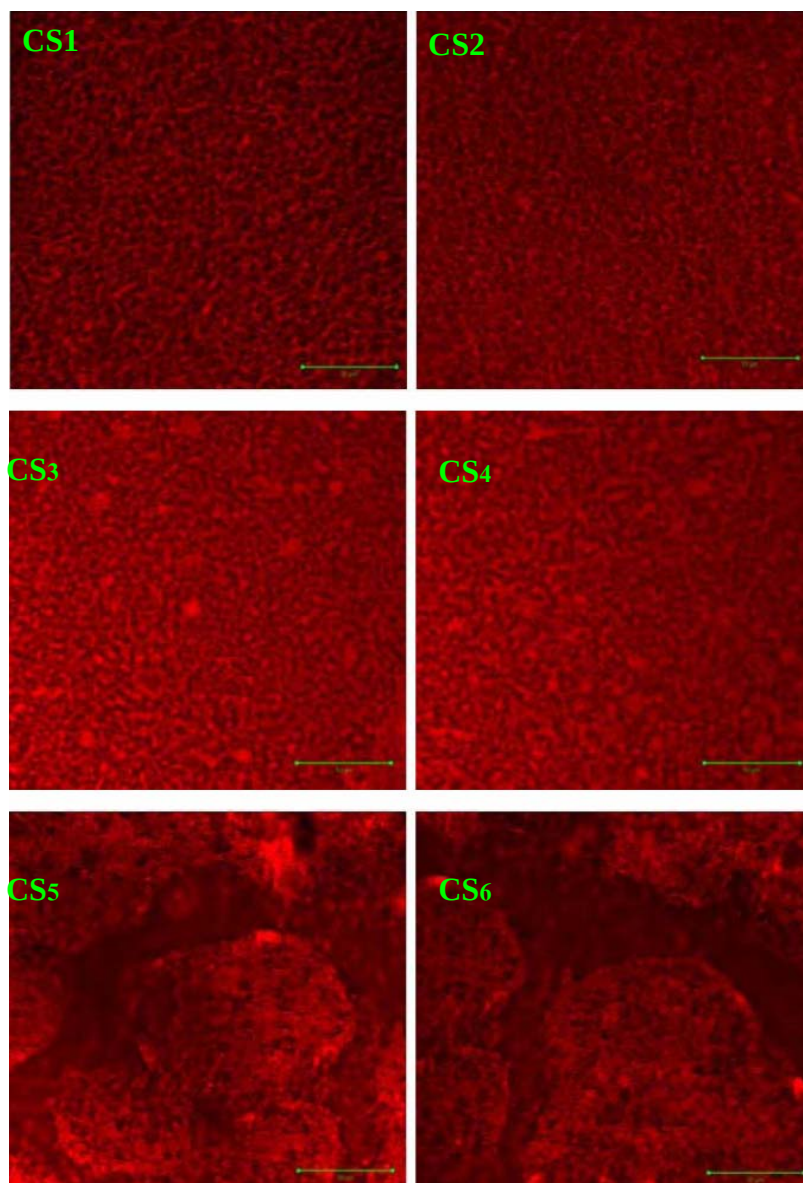
CS2 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 51 ไขมันร้อยละ 36 และโซเดียมต่อแคลเซียม เคซีนท 1:4

CS3 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 47 ไขมันร้อยละ 40 และโซเดียมต่อแคลเซียม เคซีนท 1:3

CS4 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 47 ไขมันร้อยละ 40 และโซเดียมต่อแคลเซียม เคซีนท 1:4

CS5 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 43 ไขมันร้อยละ 44 และโซเดียมต่อแคลเซียม เคซีนท 1:3

CS6 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 43 ไขมันร้อยละ 44 และโซเดียมต่อแคลเซียม เคซีนท 1:4



ภาพที่ 13 โครงสร้างภายในของเนยแข็งเทียมจากกล้องจุลทรรศน์คอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่ง

ฟลูออเรสเซนต์สแกนโดยใช้ Nile Red บาร์ = 50 μm

CS1 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 51 ไขมันร้อยละ 36 และโซเดียมต่อแคลเซียม เกซีเนท 1:3

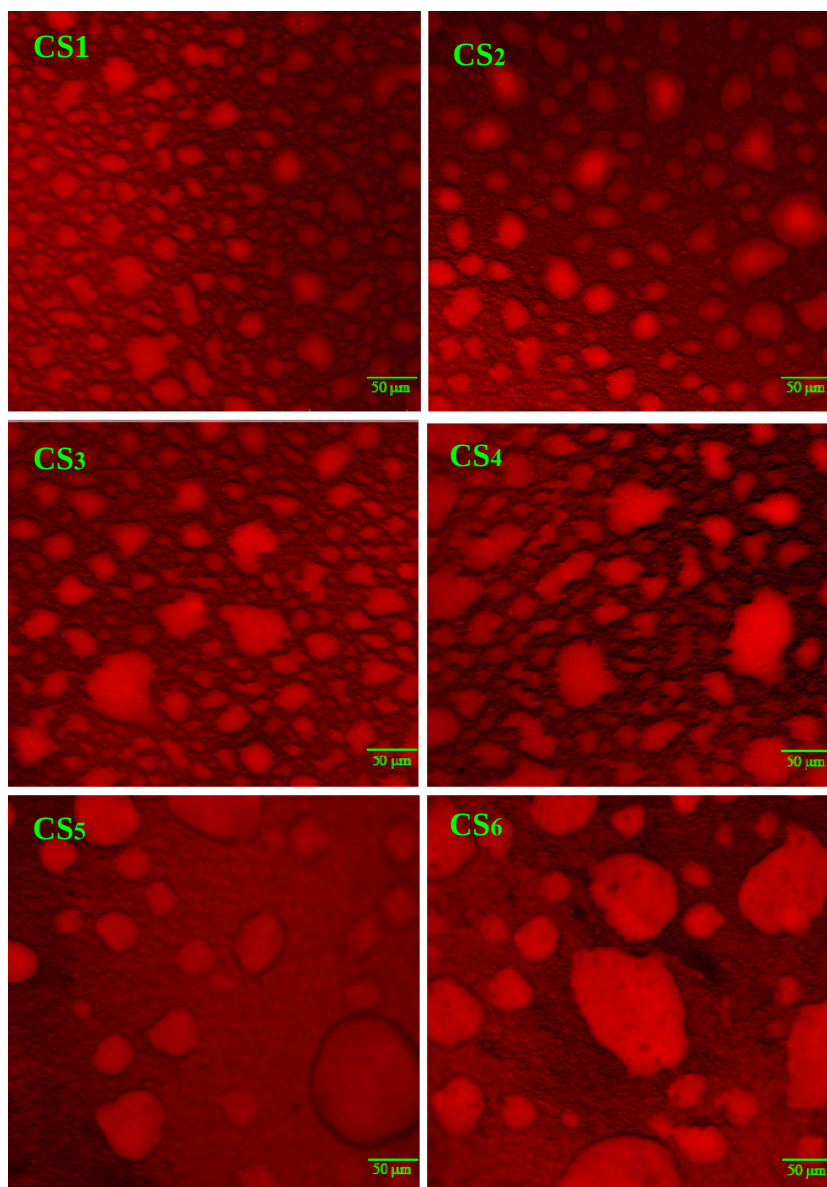
CS2 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 51 ไขมันร้อยละ 36 และโซเดียมต่อแคลเซียม เกซีเนท 1:4

CS3 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 47 ไขมันร้อยละ 40 และโซเดียมต่อแคลเซียม เกซีเนท 1:3

CS4 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 47 ไขมันร้อยละ 40 และโซเดียมต่อแคลเซียม เกซีเนท 1:4

CS5 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 43 ไขมันร้อยละ 44 และโซเดียมต่อแคลเซียม เกซีเนท 1:3

CS6 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 43 ไขมันร้อยละ 44 และโซเดียมต่อแคลเซียม เกซีเนท 1:4



ภาพที่ 14 โครงสร้างภายในของเนยแข็งเทียมจากกึ่งจุลทรรศน์คอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่ง

ฟลูออเรสเซนต์สีแดงโดยใช้ Rhodamine B บาร์ = 50 μm

CS1 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 51 ไขมันร้อยละ 36 และโซเดียมต่อแคลเซียม เคซีนท 1:3

CS2 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 51 ไขมันร้อยละ 36 และโซเดียมต่อแคลเซียม เคซีนท 1:4

CS3 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 47 ไขมันร้อยละ 40 และโซเดียมต่อแคลเซียม เคซีนท 1:3

CS4 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 47 ไขมันร้อยละ 40 และโซเดียมต่อแคลเซียม เคซีนท 1:4

CS5 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 43 ไขมันร้อยละ 44 และโซเดียมต่อแคลเซียม เคซีนท 1:3

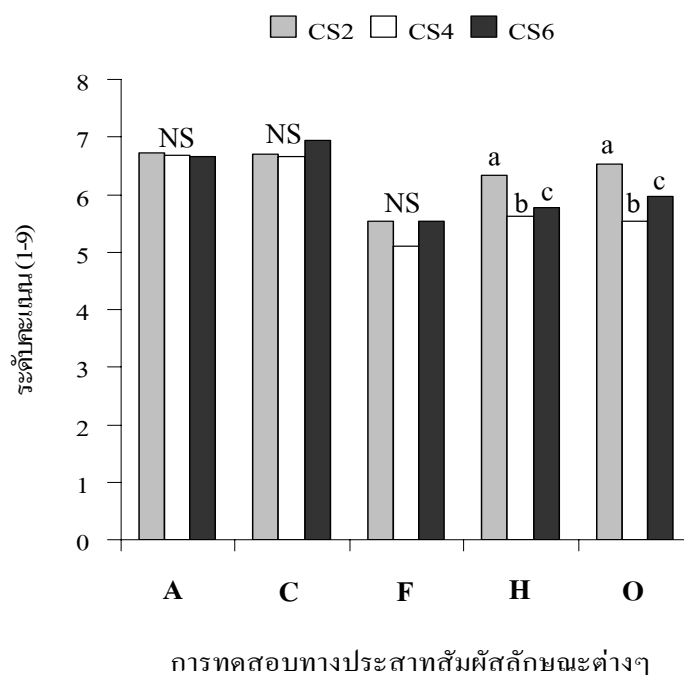
CS6 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 43 ไขมันร้อยละ 44 และโซเดียมต่อแคลเซียม เคซีนท 1:4

5. ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนยแข็งเทียม

การทดสอบทางประสาทสัมผัสพิจารณาจากความชอบของผู้บริโภคต่อลักษณะต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ คือ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ความแข็ง (ความแน่นเนื้อ) และความชอบโดยรวม (ระดับคะแนน 1-9) โดยทำการทดสอบชิม 3 สูตรคือ CS 2 CS 4 และ CS 6 และตัดสูตรที่ CS 1 CS 3 และ CS 5 ออก เนื่องจากผลการทดสอบทางด้านเนื้อสัมผัสและความสามารถในการหลอมของเนยแข็งเทียมทำให้สามารถจำแนกเนยแข็งเทียมออกได้เป็น 3 กลุ่มตามปริมาณน้ำและไขมันที่ระดับเดียวกันจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และที่อัตราส่วนของโซเดียม เคซีนต่อแคลเซียม เคซีนที่ระดับ 1:3 และ 1:4 พบว่าให้ผลที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) (คือ CS 1 กับ CS 2 CS 3 กับ CS 4 และ CS 5 กับ CS 6) และอัตราส่วนของโซเดียม เคซีนต่อแคลเซียม เคซีนที่ระดับ 1:4 (CS 2 CS 4 และ CS 6) ทำให้โปรตีนเมทริกซ์มีโครงสร้างที่แข็งแกร่งกว่าในการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าว ดังนั้นจึงเลือกสูตรที่มีอัตราส่วนของโซเดียม เคซีนต่อแคลเซียม เคซีนที่ระดับ 1:4 มาใช้ในการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส และพบว่าผู้บริโภคมีความชอบในเรื่องลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นรสของเนยแข็งเทียมไม่ต่างกัน เนื่องจากมีการแต่งสีและกลิ่นสังเคราะห์ในตัวอย่างที่ทดลอง

ความแน่นเนื้อของเนยแข็งเทียม เป็นแรงที่ต้องใช้ในการกัดตัวอย่างด้วยฟันกราม (Lee *et al.*, 1979) ผลจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคพบว่าเมื่อปริมาณน้ำลดลงและปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น ความแน่นเนื้อของเนยแข็งเทียมเพิ่มสูงขึ้น อาจเกิดจากขนาดและการกระจายตัวของเม็ดไขมันระหว่างเส้นใยโปรตีน เมื่อปริมาณไขมันเพิ่มมากขึ้นโมเลกุลของโปรตีนสามารถหั่นส่วนที่ไม่ชอบน้ำออกมามากขึ้นและเกิดพันธะระหว่างส่วนที่ไม่ชอบน้ำมากขึ้น ทำให้ความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น (Marshall, 1989)

ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส (แสดงดังภาพที่ 15) พบว่าสูตรที่ยอมรับสูงสุดด้านความแน่นเนื้อ คือสูตร CS2 ซึ่งประกอบด้วยไขมันและน้ำร้อยละ 36 และ 51 ตามลำดับ และโซเดียมต่อแคลเซียม เคซีนที่อัตราส่วน 1:4 คะแนนการยอมรับรวมเท่ากับ 6.53 ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ได้รับคะแนนการยอมรับรวมสูงสุด คือ อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง อาจเป็นได้ว่าคุณลักษณะด้านความแน่นเนื้อมีส่วนต่อการตัดสินใจยอมรับของผู้บริโภคต่อเนยแข็งเทียม ผู้บริโภคชอบตัวอย่างที่มีลักษณะค่อนข้างนุ่มมากกว่าตัวอย่างที่แข็ง ดังนั้นสูตร CS2 จึงเหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองขั้นต่อไป



ภาพที่ 15 ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ (A) สี (C) กลิ่นรส (F)

ความแน่นเนื้อ (H) และความชอบโดยรวม (O) ของเนยแข็งเทียมจากเคซีนท

CS2 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 51 ไขมันร้อยละ 36 และโซเดียมต่อแคลเซียม เคซีนท 1:4

CS4 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 47 ไขมันร้อยละ 40 และโซเดียมต่อแคลเซียม เคซีนท 1:4

CS6 คือ ปริมาณน้ำร้อยละ 43 ไขมันร้อยละ 44 และโซเดียมต่อแคลเซียม เคซีนท 1:4

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองด้านความแน่นเนื้อระหว่างการทดสอบทางกายภาพและการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าการทดสอบโดยใช้เครื่องมือและการทดสอบทางประสาทสัมผัสสามารถแยกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ได้เช่นเดียวกัน นั่นคือการเพิ่มปริมาณไขมันและลดปริมาณน้ำในส่วนผสมทำให้ความแข็งของเนยแข็งเทียมเพิ่มขึ้น

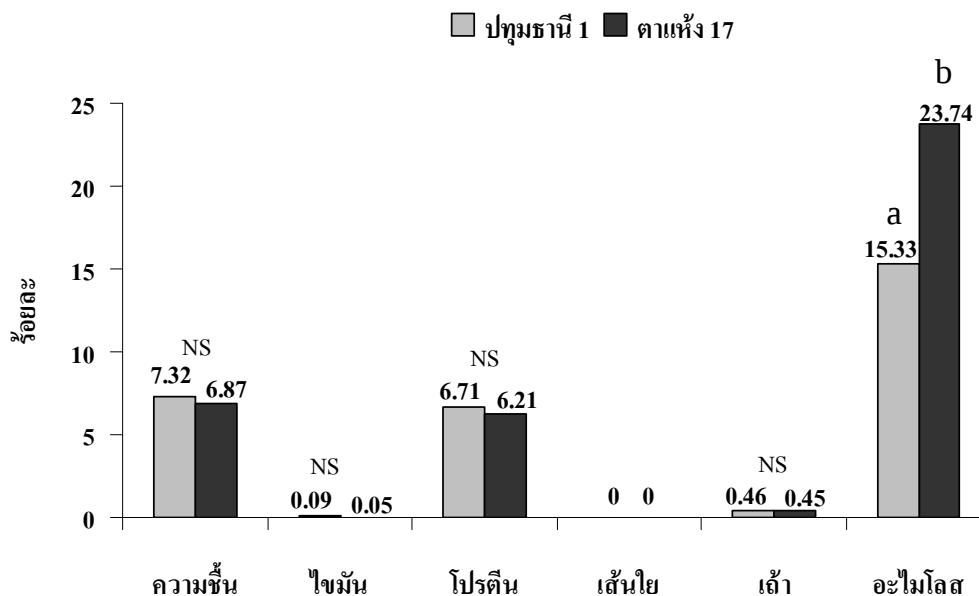
ปริมาณการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้า

แป้งข้าวที่ใช้ในการทดลองเตรียมจากการโม่เปียกข้าวพันธุ์ขาวตาแห้ง 17 และปทุมธานี 1 และใช้ผลิตเนยแข็งเทียมโดยแทนที่เคซีนในปริมาณร้อยละ 10 15 และ 20

1. องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าว

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และขาวตาแห้ง 17 (ภาพที่ 16) พบว่าข้าว 2 พันธุ์มีปริมาณความชื้นร้อยละ 7.32 และ 6.87 ไขมันร้อยละ 0.09 และ 0.05 ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่ไขมันในแป้งต่ำกว่าร้อยละ 1 (กล้านรงค์และเกื้อกูล, 2546) ไขมันภายในเม็ดแป้งมีทั้งอยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้งซึ่งประกอบด้วย ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ไกลโคลิปิด (glycolipid) ฟอสโฟลิปิด (phospholipids) และไขมันกระจายอยู่ทั่วไปภายในเม็ดแป้ง โดยเชื่อมพันธะกับคาร์โบไฮเดรตอย่างหลวมๆ นอกจากนี้มีโปรตีนร้อยละ 6.71 และ 6.21 ภายในแป้งมีส่วนประกอบของโปรตีนต่ำกว่าร้อยละ 1 โดยโปรตีนเกาะอยู่ที่พื้นผิวของเม็ดแป้ง ทำให้เกิดผลกระทบต่อลักษณะของแป้ง คือ ทำให้เกิดประจุบนพื้นผิวของเม็ดแป้ง มีผลต่อการกระจายของเม็ดแป้ง ทำให้แป้งมีอัตราการดูดซับน้ำ การพองตัว และอัตราการเกิดเจลาคีไนซ์เปลี่ยนแปลงไป องค์ประกอบอื่น ได้แก่ เถ้าร้อยละ 0.46 และ 0.45 และอะไมโลสร้อยละ 15.33 และ 23.74 ตามลำดับ สำหรับปริมาณเส้นใยในแป้งข้าวมีน้อยมากอาจเกิดจากการปนเปื้อนมากับรำ

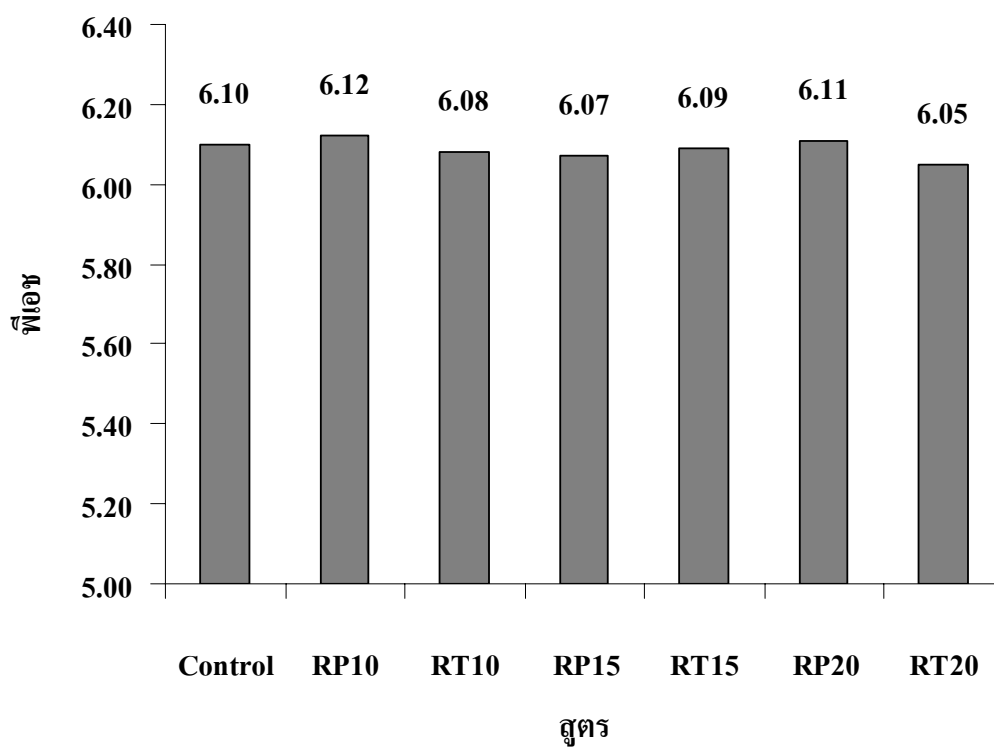
การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสในแป้งข้าวโดยใช้วิธีการเกิดสีของอะไมโลสกับไอโอดีน ให้สารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินเป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกว่าแป้งมีองค์ประกอบของอะไมโลส ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสที่มีอยู่ในแป้งข้าวได้ (กล้านรงค์และเกื้อกูล, 2546)



ภาพที่ 16 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าว

2. องค์ประกอบทางเคมีของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าว

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าว พบว่าค่าพีเอชของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 6.05-6.12 (ภาพที่ 17) ค่าพีเอชค่อนข้างเป็นกลางและใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม ความชื้นร้อยละ 52.09-52.85 (ภาพที่ 18) จะเห็นว่าตัวอย่างเนยแข็งเทียมที่แทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวมีปริมาณความชื้นสูงกว่าตัวอย่างควบคุม อาจเป็นผลมาจากแป้งข้าวที่ใช้มีปริมาณความชื้นอยู่ที่ 7.32 และ 6.87 สำหรับแป้งข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และขาวตาแห้ง 17 ตามลำดับ ส่งผลให้เนยแข็งเทียมจากแป้งข้าวมีปริมาณความชื้นสูงกว่าตัวอย่างควบคุม ปริมาณไขมันร้อยละ 35.94-36.10 (ภาพที่ 19) โดยตัวอย่างเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าวและตัวอย่างควบคุมมีปริมาณไขมันใกล้เคียงกัน และมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เนื่องจากแป้งข้าวที่ใช้มีส่วนของไขมันเป็นส่วนประกอบน้อยมาก คือน้อยกว่าร้อยละ 1 (ภาพที่ 16) และมีการทดแทนในปริมาณที่น้อยมาก คือ ร้อยละ 1.1-2.2 ของน้ำหนักทั้งหมด จึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าวน้อยมาก ปริมาณโปรตีนร้อยละ 8.42-9.51 สำหรับเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าว และ 10.15 สำหรับตัวอย่างควบคุม (ภาพที่ 20) จากการวิเคราะห์พบว่าเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าวมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าเนยแข็งเทียมจากเคซีน เนื่องจากในการทดลองใช้แป้งข้าวแทนที่เคซีนซึ่งเป็น



ภาพที่ 17 ค่าพีเอชของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าว

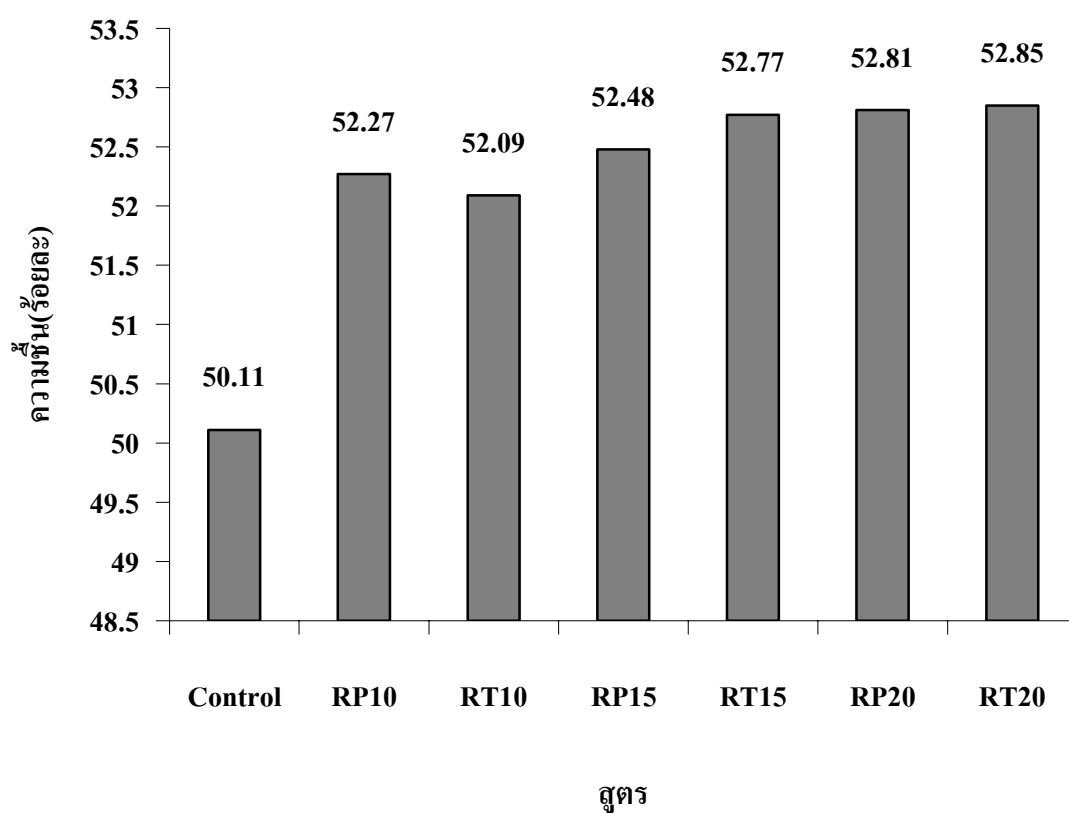
Control คือ ไม่มีการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าว

RP10 15 และ RP20 คือ ปริมาณการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1

ร้อยละ 10 15 และ 20 ตามลำดับ

RT10 15 และ RP20 คือ ปริมาณการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17

ร้อยละ 10 15 และ 20 ตามลำดับ



ภาพที่ 18 ปริมาณความชื้นของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าว

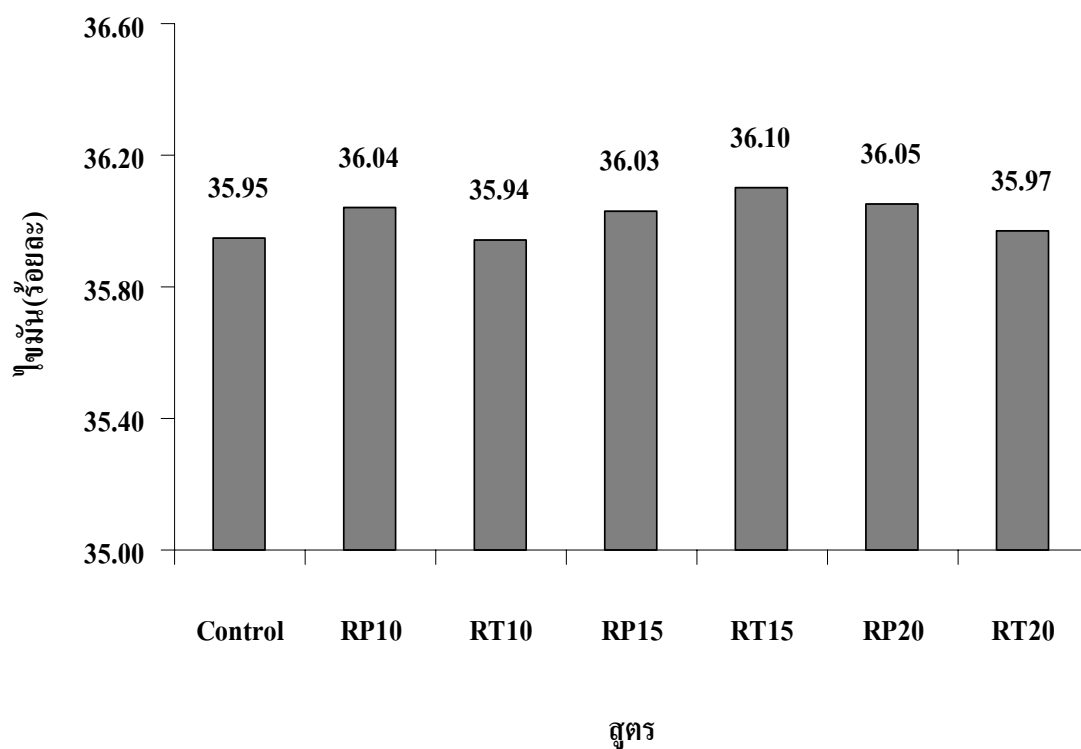
Control คือ ไม่มีการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าว

RP10 15 และ RP20 คือ ปริมาณการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1

ร้อยละ 10 15 และ 20 ตามลำดับ

RT10 15 และ RP20 คือ ปริมาณการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17

ร้อยละ 10 15 และ 20 ตามลำดับ

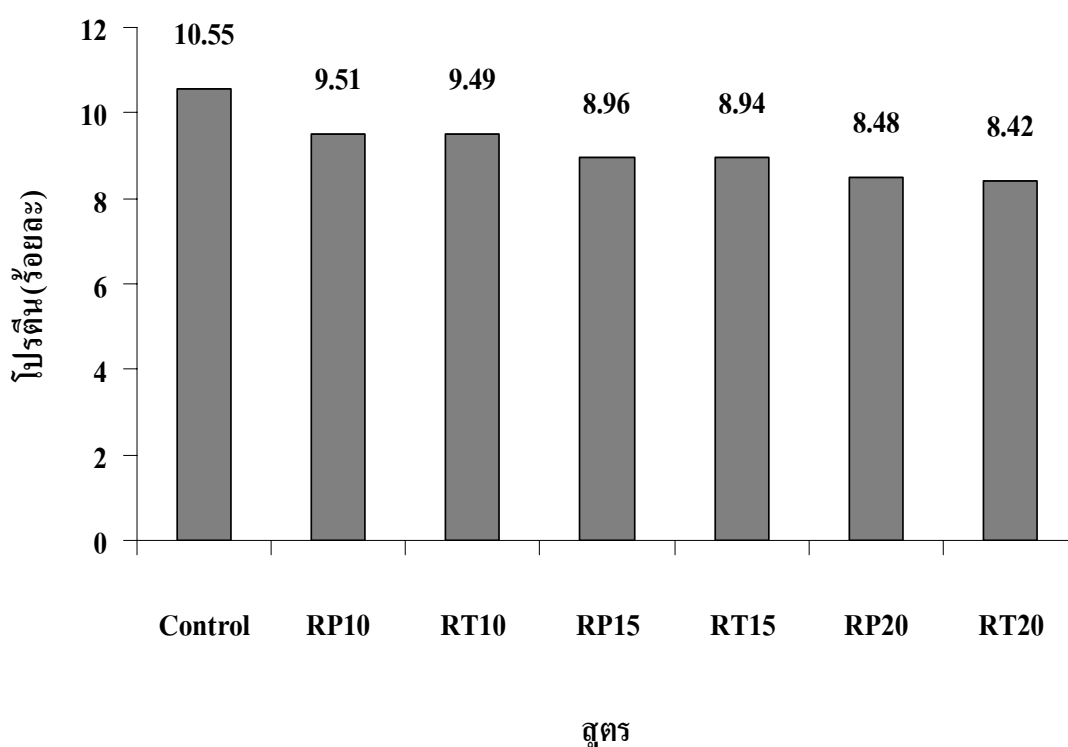


ภาพที่ 19 ปริมาณไขมันของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าว

Control คือ ไม่มีการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าว

RP10 15 และ RP20 คือ ปริมาณการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1
ร้อยละ 10 15 และ 20 ตามลำดับ

RT10 15 และ RP20 คือ ปริมาณการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17
ร้อยละ 10 15 และ 20 ตามลำดับ



ภาพที่ 20 ปริมาณโปรตีนของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าว

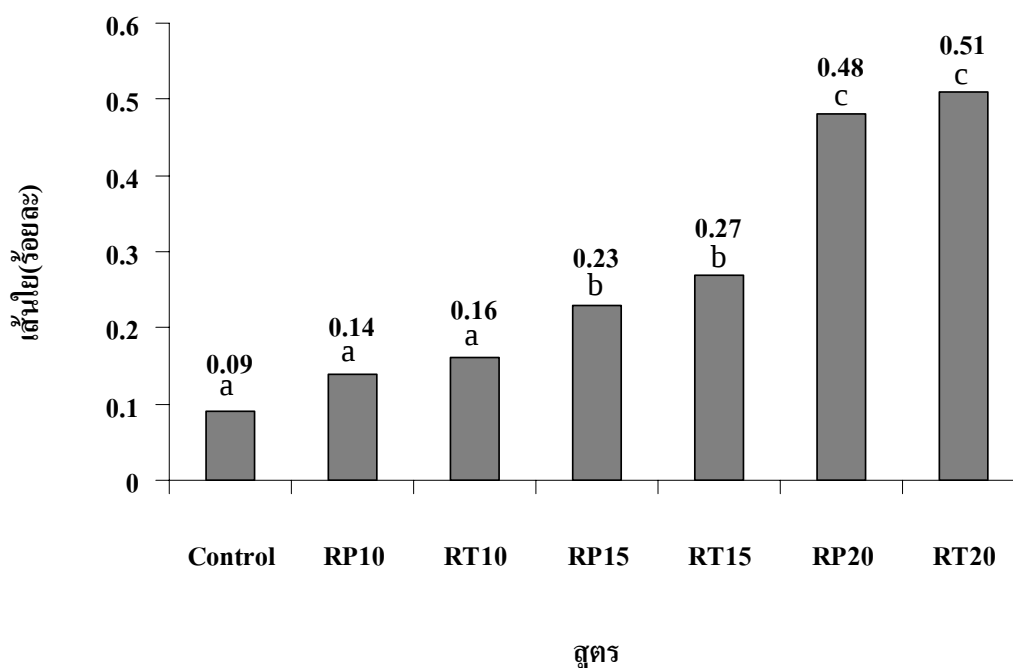
Control คือ ไม่มีการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าว

RP10 15 และ RP20 คือ ปริมาณการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1
ร้อยละ 10 15 และ 20 ตามลำดับ

RT10 15 และ RP20 คือ ปริมาณการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17
ร้อยละ 10 15 และ 20 ตามลำดับ

โปรตีนหลักในการผลิตเนยแข็งเทียม แต่แป้งข้าวที่ใช้มีปริมาณโปรตีนน้อยมาก (ร้อยละ 6-7) เมื่อเปรียบเทียบกับเคซีนที่ใช้มีส่วนของโปรตีนมากกว่าร้อยละ 90 ดังนั้นเมื่อลดปริมาณเคซีนลงและแทนที่ด้วยแป้งข้าว จึงทำให้เนยแข็งเทียมจากแป้งข้าวมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของวลัยรุจิ (2540) ที่มีการใช้โปรตีนข้าวแทนที่เคซีนในชีสเปรดเทียม ทำให้ชีสเปรดเทียมจากเคซีนที่มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 13.46 และชีสเปรดเทียมที่แทนที่เคซีนด้วยโปรตีนข้าวมีร้อยละ 10.60-11.90 ปริมาณ carbohydrate by subtraction ร้อยละ 0.09 และ 0.14-0.51 สำหรับตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่ใช้แป้งข้าวแทนที่เค

ชีเนท (ภาพที่ 21) เป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่อแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวทำให้ปริมาณ carbohydrate by subtraction ในเนยแข็งเทียมเพิ่มสูงขึ้น และการใช้แป้งข้าวแทนที่เคซีนที่ระดับร้อยละ 20 มีปริมาณ carbohydrate by subtraction สูงที่สุด ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากแป้งข้าวที่เติมลงไปซึ่งมีส่วนของสตาร์ชรวมอยู่ด้วย หลังการให้ความร้อนจึงเกิดส่วนของรีซิสแตนท์สตาร์ช (Resistant starch) ขึ้นในผลิตภัณฑ์ เป็นสตาร์ชที่ไม่ถูกย่อยด้วยน้ำย่อยในลำไส้เล็กแต่ผ่านไปถึงลำไส้ใหญ่แล้วจึงเปลี่ยนแปลงโดยการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในลำไส้ใหญ่ (Anonymous, 2005) การที่สตาร์ชถูกย่อยโดยใช้เวลานานจะส่งผลดีต่อสุขภาพเช่นเดียวกับใยอาหาร (dietary fiber) คือ ช่วยลดระดับไขมัน คอเลสเตอรอล น้ำตาลในเลือด ลดระดับค่าพีเอชที่ช่วงปลายลำไส้ใหญ่ เพิ่มปริมาณ ปรับสภาพอุจจาระ ช่วยป้องกันโรคริดสีดวงทวาร และมะเร็ง โดยสร้างกรดไขมันโมเลกุลสั้นๆ ที่ลำไส้ใหญ่ ได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทีริก และกรดโพรปิโอนิก เป็นต้น (King, 2004) การเกิดรีซิสแตนท์สตาร์ชขึ้นในเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าวนั้นอาจเกิดจากสตาร์ชรวมกับผลผลิตจากโมเลกุลสตาร์ชที่ถูกทำลายแล้วบางส่วนจากกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน และในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (4 องศาเซลเซียส) (Englyst *et al.*, 1992) เช่น เกิดจากการคืนตัวของสตาร์ช (retrograded starch) หลังการแปรรูปด้วยความร้อน โดยโมเลกุลอะมิโลสเรียงตัวกันใหม่ และพนักตัวกันแน่นเมื่อเย็นตัวลง (recrystallization) การผลิตรีซิสแตนท์สตาร์ชจากแป้งข้าวเจ้าเต็มเมล็ด หรือจากเมล็ดข้าวหักซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าวเปลือกมีปริมาณรีซิสแตนท์สตาร์ชไม่สูงเท่าจากแป้งข้าวโพดที่มีอะมิโลสสูง นอกจากนี้รีซิสแตนท์สตาร์ชสามารถเกิดขึ้นตามธรรมชาติในอาหาร เช่น มันฝรั่ง พืชตระกูลถั่ว และกล้วยหอมซึ่งมีปริมาณรีซิสแตนท์สตาร์ชอยู่ระหว่างร้อยละ 7-11 ของปริมาณสตาร์ชทั้งหมด งานวิจัยหลายเรื่องแสดงให้เห็นว่ารีซิสแตนท์สตาร์ชมีคุณสมบัติเป็น 프리ไบโอติก (prebiotics) เนื่องจากสารประกอบบิวทีเรทมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อลำไส้ จึงช่วยสร้างความแข็งแรงให้กับเซลล์ผนังลำไส้ใหญ่ (colon cells) (Wursch, 1999; Croghan, 2004)



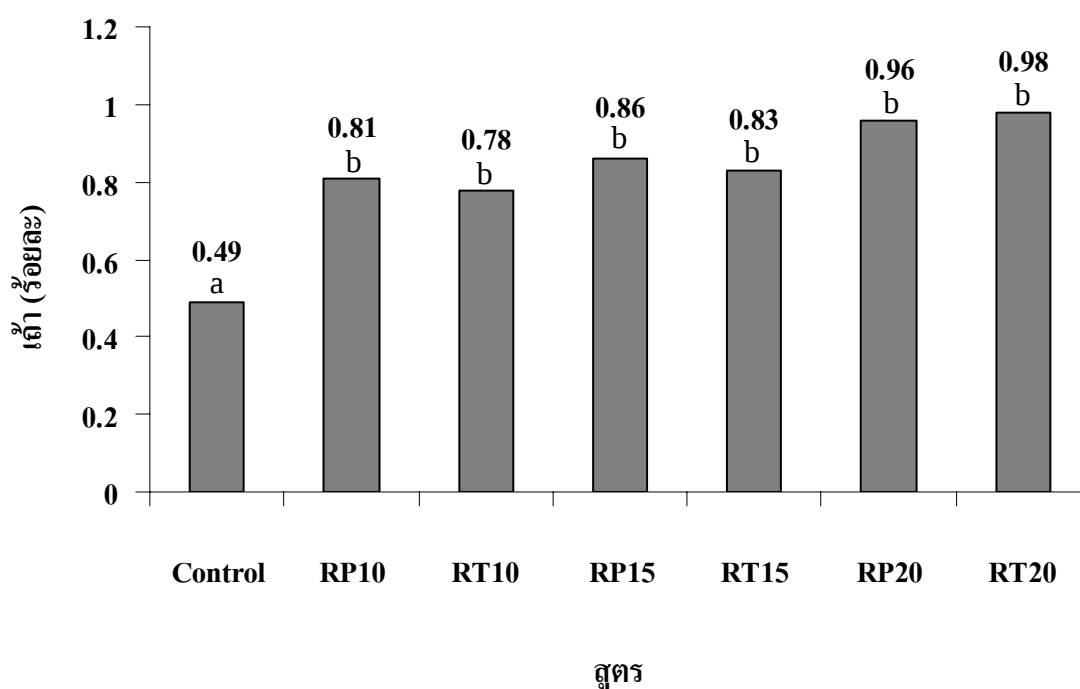
ภาพที่ 21 ปริมาณ carbohydrate by subtraction ของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าว

Control คือ ไม่มีการแทนที่เคซีนทด้วยแป้งข้าว

RP10 15 และ RP20 คือ ปริมาณการแทนที่เคซีนทด้วยแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1 ร้อยละ 10 15 และ 20 ตามลำดับ

RT10 15 และ RP20 คือ ปริมาณการแทนที่เคซีนทด้วยแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17 ร้อยละ 10 15 และ 20 ตามลำดับ

ปริมาณเส้นใยของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าวมี่ (ภาพที่ 22) ปริมาณร้อยละ 0.78-0.90 (ตัวอย่างควบคุม 0.79) ปริมาณเส้นใยที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ปริมาณเส้นใยอาจเกิดขึ้นจากองค์ประกอบของสารอนินทรีย์จากแป้งข้าวหรือจากเคซีนท เช่น โฟสเฟตเซียม โซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียม และสามารถวิเคราะห์หาได้จากส่วนที่เหลือหรือจากเส้นใยจากการเผาไหม้โดยสมบรูณ์ Swink (1985) รายงานว่าปริมาณเส้นใยในแป้งมันฝรั่งสัมพันธ์กับหมู่ฟอสฟอรัสในแป้ง สำหรับเส้นใยในแป้งจากธัญพืชสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัส



ภาพที่ 22 ปริมาณเถ้าของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าว

Control คือ ไม่มีการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าว

RP10 15 และ RP20 คือ ปริมาณการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1

ร้อยละ 10 15 และ 20 ตามลำดับ

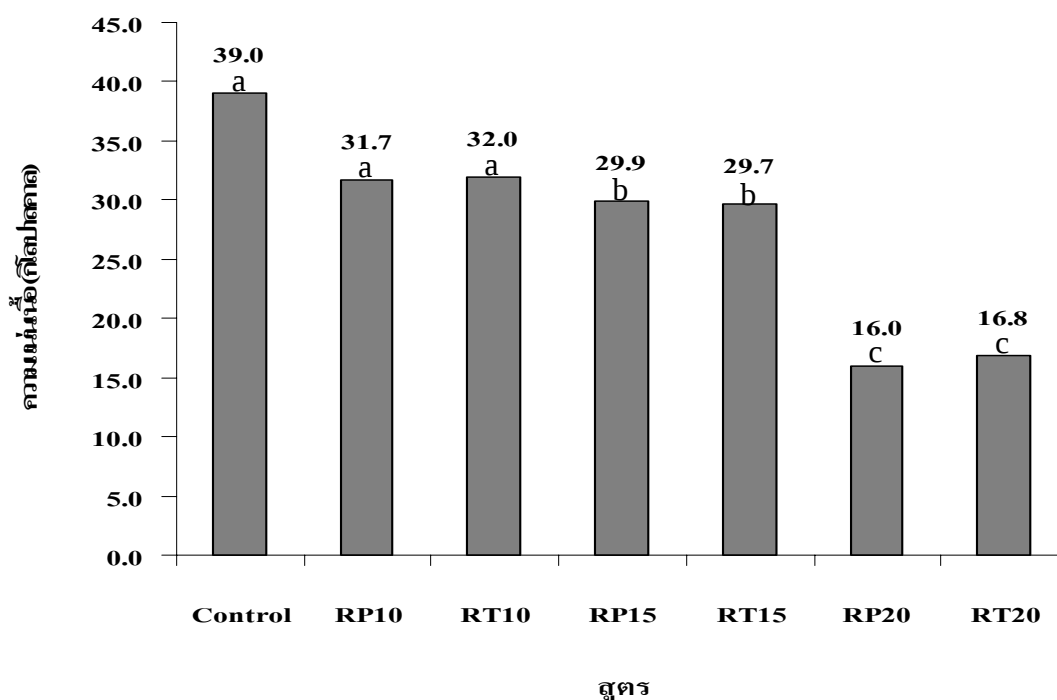
RT10 15 และ RP20 คือ ปริมาณการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17

ร้อยละ 10 15 และ 20 ตามลำดับ

3. ความแน่นเนื้อของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าว

เมื่อแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 10 15 และ 20 พบว่า แนวโน้มความแน่นเนื้อของเนยแข็งเทียมลดลงตามลำดับ (ภาพที่ 23) อาจเนื่องจากแป้งข้าวที่ใช้แทนที่เคซีนเข้าไปฝังตัวอยู่ในโครงสร้างเมทริกซ์โปรตีนที่ล้อมรอบอนุภาคไขมัน และแป้งข้าวเป็นโมเลกุลที่มีความชอบน้ำค่อนข้างสูง จึงมีการแย่งจับน้ำกับโปรตีนเคซีน ทำให้โมเลกุลโปรตีนเกิดการจับโปรตีนด้วยตัวเอง (protein-protein interaction) มากกว่าที่จะจับกับน้ำ (water-protein interaction) ทำให้โครงสร้างของเมทริกซ์โปรตีนขาดความยืดหยุ่นในการให้เม็ดแป้งข้าวเจ้า

ฝังตัวอยู่ในเมทริกซ์โปรตีน เกิดลักษณะการแยกวัฏภาคของโปรตีนและเม็ดแป้ง ทำให้ความแน่นเนื้อของเนยแข็งเทียมลดลง การเติมแป้งข้าวร้อยละ 10 มีผลทำให้ความแน่นเนื้อลดลงจากตัวอย่างควบคุมแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) การใช้แป้งข้าวจากข้าวสายพันธุ์ต่างกันไม่มีผลต่อความแน่นเนื้อของเนยแข็งเทียมที่แตกต่างกัน ($p < 0.05$) เนื่องจากขนาดของเม็ดแป้งข้าวมีขนาดใกล้เคียงกัน ($3 \mu\text{m} - 8 \mu\text{m}$) (กล้านรงค์และเกื้อกูล, 2546) ในระหว่างการผลิตเนยแข็งเทียมเม็ดแป้งข้าวเข้ายังคงสภาพเป็นเม็ดแป้ง แต่อาจมีขนาดเพิ่มขึ้น เนื่องจากการพองตัวเมื่อดูดซับน้ำในระหว่างการปั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน การที่แป้งข้าวที่เติมลงไปยังคงเป็นเม็ดแป้งเพราะยังไม่เกิดเจลาติไนซ์เซชัน การเติมแป้งข้าวในขั้นตอนของการผลิตเนยแข็งเทียมพร้อมกับส่วนของเคซีนเทลงไปในส่วนของไขมันที่อุณหภูมิ 85°C และคงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 2 นาที ไขมันมีปริมาณน้ำน้อยมากจึงไม่เพียงพอที่จะทำให้แป้งมีการดูดน้ำ พองตัว และเกิดเจลาติไนซ์เซชัน นอกจากนี้แป้งข้าวเข้าเติมลงไปพร้อมโปรตีน ทำให้แป้งข้าวดูดน้ำได้ยากขึ้นเนื่องจากโปรตีนมีการเสียสภาพธรรมชาติเมื่อได้รับความร้อน (denaturation) ทำให้เกิดการเกาะเกี่ยวกันเป็นก้อนล้อมรอบเม็ดแป้งทำให้เม็ดแป้งดูดซึมยากขึ้น การเติมของเหลวลงไปในขั้นตอนการปั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันซึ่งใช้เวลาในการปั่นผสม 2 นาทีเป็นระยะเวลาค่อนข้างสั้นและอุณหภูมิของส่วนผสมลดลงเรื่อยๆ เม็ดแป้งจึงคงสภาพเม็ดอยู่ทำให้ส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินคงอยู่ในเม็ดแป้ง (Mounsey and O' Riordan, 2001) แต่อาจมีบางส่วนหลุดออกมา สังเกตได้จากผลการใช้แป้งข้าวขาวตาแห้ง 17 ซึ่งเป็นแป้งข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงกว่าแป้งข้าวปทุมธานี 1 แทนที่เคซีนเทในเนยแข็งเทียม และพบว่าเนยแข็งเทียมมีความแน่นสูงกว่าแต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะว่าอะไมโลสหลุดออกมาจากเม็ดแป้งในระหว่างกระบวนการผลิต และในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำอะไมโลสอาจมีการคืนตัว (retrograde) ส่งผลให้เนยแข็งเทียมที่เติมแป้งข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงมีความแน่นเนื้อสูงกว่าที่เติมแป้งข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ เป็นผลจากคุณสมบัติการจับตัวของอะไมโลสหลังได้รับความร้อนแล้วทิ้งไว้ให้เย็นจะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง (Beynum *et al.*, 1985)



ภาพที่ 23 ผลของปริมาณแป้งข้าวเจ้าที่แทนที่เคซีนต่อความแน่นเนื้อ และการหลอมของเนยแข็งเทียม

Control คือ ไม่มีการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้า

RP10 15 และ RP20 คือ ปริมาณการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1

ร้อยละ 10 15 และ 20 ตามลำดับ

RT10 15 และ RP20 คือ ปริมาณการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17

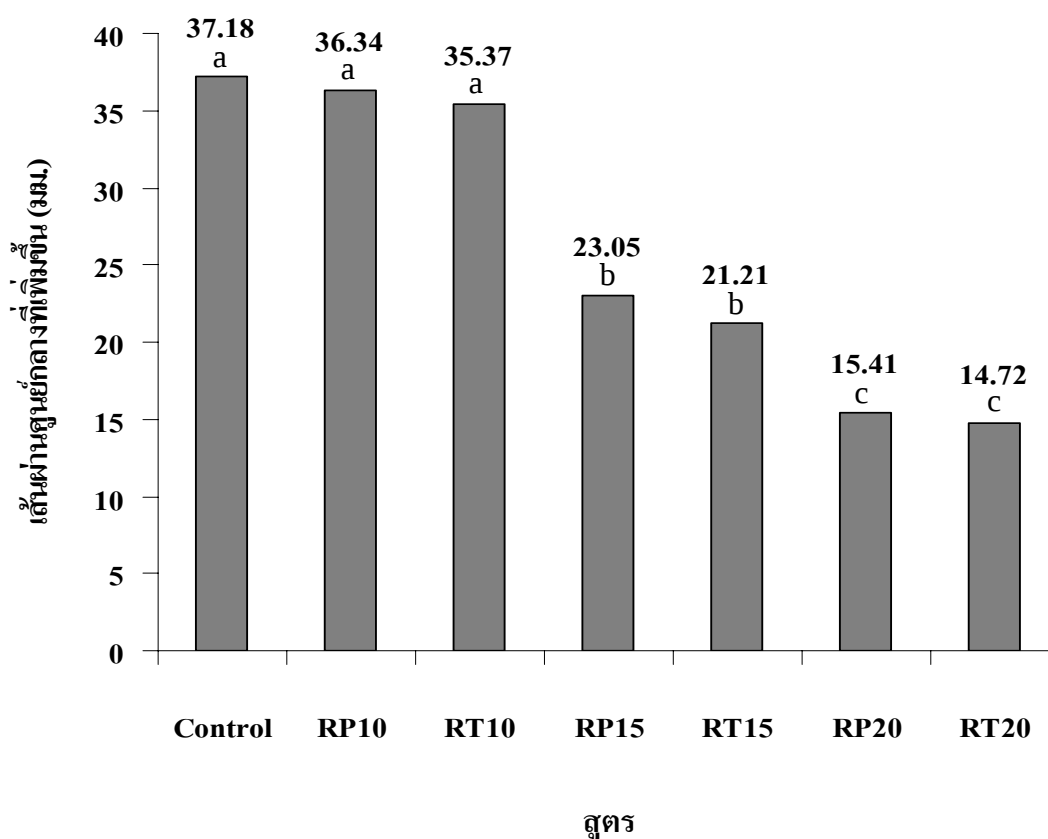
ร้อยละ 10 15 และ 20 ตามลำดับ

การที่แทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้าในเนยแข็งเทียมนั้น พบว่าเนยแข็งเทียมที่แทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้ามีความแน่นเนื้อต่ำกว่าเนยแข็งเทียมตัวอย่างควบคุม อาจเนื่องมาจากเกิดการแยกเฟสหรือแยกตัว (phase separation) ระหว่างเม็ดแป้งและโครงสร้างโปรตีนเมทริกซ์เนื่องจากการเข้ากันได้ทางอุณหพลศาสตร์ (thermodynamic) ต่ำ ดังนั้นเมื่อมีการให้แรงกวดตัวอย่างเนยแข็งเทียมที่มีการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้าจึงทำให้เกิดการลั่นไหลของเม็ดแป้งทำให้เกิดแรงต้านทานการกวดน้อยกว่า ทำให้เนยแข็งเทียมที่แทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้ามีความแน่นเนื้อต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม

4. ความสามารถในการหลอมของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าวเจ้า

การแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้าในปริมาณต่างๆ ในเนยแข็งเทียมทำให้ความสามารถในการหลอมลดลงเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม (control) ที่ใช้เคซีนทดแทน (ภาพที่ 24) เนยแข็งเทียมที่เติมแป้งข้าวเจ้าแทนที่เคซีนที่ระดับร้อยละ 10 ให้ผลไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ผลการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Mounsey and O' Riordan (2001) ที่แทนที่เคซีนด้วยสตาร์ชในรูปแบบทีฟ เช่น สตาร์ชจากข้าวโพด ข้าวโพดข้าวเหนียว ข้าวสาลี มันฝรั่ง และข้าวเจ้า (maize, waxy-maize, wheat, potato and rice) และพบว่าความสามารถของเนยแข็งเทียมลดลงเรียงจากมากไปน้อยคือ ข้าวโพด > มันฝรั่ง > ข้าวโพดข้าวเหนียว > ข้าวสาลี > ข้าว การที่มีสตาร์ชหรือแป้งข้าวเจ้าในผลิตภัณฑ์แล้วการหลอมลดลงนั้นอาจเป็นเพราะว่าเม็ดแป้งดูดซับน้ำจากเมทริกซ์โปรตีน และทำให้เมทริกซ์โปรตีนเกิดการจับกันแน่นมากขึ้นทำให้ขาดความสามารถในการยืดหยุ่นจึงทำให้การหลอมลดลง และโมเลกุลของแป้งข้าวเจ้าไม่สามารถหลอมได้เมื่อได้รับความร้อนจึงไปขัดขวางการหลอมของเนยแข็งเทียม (Koca and Metin, 2004)

ในระหว่างการให้ความร้อน เม็ดแป้งจะมีการดูดน้ำและพองตัวหรือแตกออก ไขมันเกิดการไฮโดรไลซ์ โปรตีนมีการคลายเกลียว ส่วนผสมเหล่านี้ อาจเกิดการเกาะเกี่ยวกันทางกายภาพ หรือ อาจเกิดปฏิกิริยาเคมีต่อกัน เช่น การเหนียวทำให้เกิดปฏิกิริยามอลลาร์ดโดยการคอนจูเกตโปรตีนกับคาร์โบไฮเดรตให้มีโมเลกุลใหญ่ขึ้น ซึ่งอาจช่วยเพิ่มความหนืดให้เนยแข็งเทียมที่แทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้าจึงให้เนยแข็งเทียมที่แทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้าหลอมได้น้อยกว่าตัวอย่างควบคุม (ไม่มีแป้งข้าวเจ้า) นอกจากนี้อาจเป็นผลเนื่องจากในระหว่างการให้ความร้อนทำให้อะไมโลสเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไขมัน (amylose-lipid complex) ทำให้ลักษณะโมเลกุลของอะไมโลสมีลักษณะโครงสร้างแบบเกลียวม้วนจะยับยั้งการพองตัวของเกรนูลของแป้งได้ (Tester and Morrison, 1990) และสำหรับอะไมโลเพกตินที่มีความยาวมาก สามารถพันเกลียวได้เช่นเดียวกันกับอะไมโลส รวมทั้งการพันกันเองของสายกึ่ง ส่งผลให้เกรนูลของแป้งมีความแข็งแรงในระหว่างที่ให้ความร้อน (รุ่งนภา และคณะ, 2546) ทำให้เนยแข็งเทียมที่แทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้ามีความสามารถในการหลอมได้ต่ำกว่าเนยแข็งเทียมตัวอย่างควบคุม



ภาพที่ 24 ผลของปริมาณแป้งข้าวเจ้าที่แทนที่เคซีนต่อความแน่นเนื้อและการหลอมของเนยแข็งเทียม

Control คือ ไม่มีการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้า

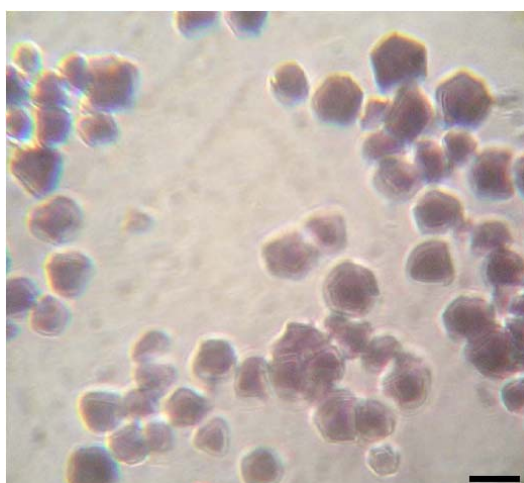
RP10 15 และ RP20 คือ ปริมาณการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1 ร้อยละ 10 15 และ 20 ตามลำดับ

RT10 15 และ RP20 คือ ปริมาณการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17 ร้อยละ 10 15 และ 20 ตามลำดับ

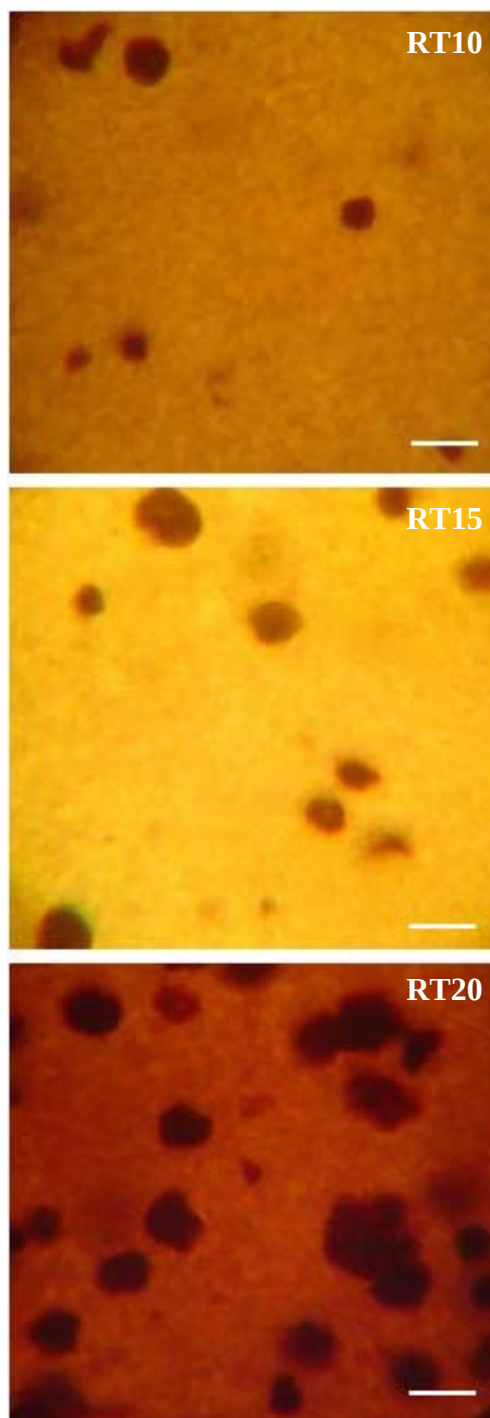
5. โครงสร้างภายในของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าวเจ้า

โครงสร้างภายในของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17 และเนยแข็งเทียมที่มีการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17 แสดงดังภาพที่ 25 และ 26 ตามลำดับ จะเห็นว่าเนยแข็งเทียมที่มีแป้งข้าวเจ้าเป็นส่วนผสมมีเม็ดแป้งข้าวเจ้ากระจายตัวฝังอยู่ในโครงสร้างเมทริกซ์โปรตีนลักษณะเช่นนี้ไม่พบในตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติมแป้งข้าวเจ้า การเติมแป้งข้าวเจ้ามากขึ้นทำให้

เม็ดแป้งกระจายตัวในเมทริกซ์โปรตีนมากขึ้น และดูดซับน้ำจากโครงสร้างเมทริกซ์ สังเกตได้จากเม็ดแป้งก่อนข้างกลม บวม และพองตัว ซึ่งแตกต่างจากสตาร์ชข้าวเจ้าตามธรรมชาติที่ยังไม่มีการดูดน้ำ (ภาพที่ 7) คือมีลักษณะแบน หลายเหลี่ยม และการที่เม็ดแป้งมีการดูดซับน้ำจากเมทริกซ์โปรตีนทำให้โปรตีนเกิดพันธะด้วยกันเองมากขึ้น โปรตีนขาดความยืดหยุ่นซึ่งส่งผลต่อความแน่นเนื้อและการหลอมของเนยแข็งเทียม และจากภาพที่ 26 จะเห็นได้ว่านอกจากเม็ดของแป้งข้าวเจ้ากระจายตัวในเมทริกซ์ของโปรตีน และอะไมโลส และอะไมโลเพกตินหลุดออกมาบางส่วน โดยสังเกตจากจุดสีเข้มที่กระจายอยู่ในเมทริกซ์โปรตีน จุดสีเข้มที่เห็นเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากอะไมโลสและอะไมโลเพกตินทำปฏิกิริยากับไอโอดีน การที่มีอะไมโลสบางส่วนหลุดออกมาในระหว่างการให้ความร้อน และอะไมโลสมีการจัดเรียงตัวกันใหม่ และผนึกตัวกันแน่นเมื่อเย็นตัวลง (recrystallization) หรือในระหว่างการเก็บรักษา (Englyst *et al.*, 1992) อาจทำให้เกิดสตาร์ชที่มีพลังงานต่ำขึ้น หรือที่เรียกว่ารีซิสแตนท์สตาร์ช (Resistant starch) เห็นได้จากปริมาณ carbohydrate by subtraction ในเนยแข็งเทียมที่มีการเติมแป้งข้าวเจ้ามีค่าสูงกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่เติมแป้งข้าวเจ้า (ภาพที่ 21) รีซิสแตนท์สตาร์ชเป็นสตาร์ชที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพเช่นเดียวกับใยอาหาร เนื่องจากรีซิสแตนท์สตาร์ชมีความทนทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ แอลฟา-1,4-อะไมเลส ที่หลั่งออกมาจากผนังลำไส้เล็ก และเมื่อผ่านเข้าไปถึงลำไส้ใหญ่ แบคทีเรียจะย่อยรีซิสแตนท์สตาร์ชด้วยกระบวนการหมัก (fermentation) เป็นกรดอินทรีย์โมเลกุลสายสั้น ได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทิริก และกรดโพรพิโอนิก เป็นต้น (King, 2004) กรดเหล่านี้มีประโยชน์ต่อลำไส้ ช่วยสร้างความแข็งแรงให้กับผนังลำไส้ใหญ่ เป็นผลให้ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่



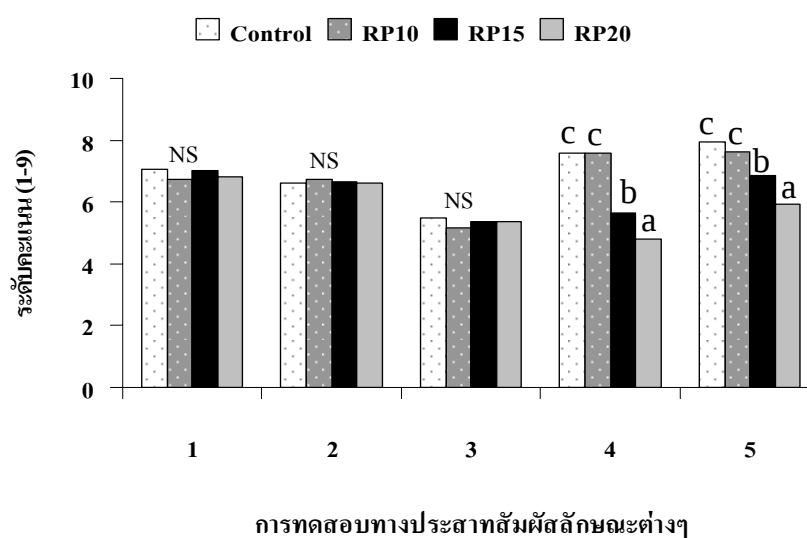
ภาพที่ 25 โครงสร้างภายในของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17 จากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง
บาร์ = 0.01 มม.



ภาพที่ 26 โครงสร้างภายในของเนยแข็งเทียมที่มีการใช้แป้งข้าวเจ้าแทนที่เคซีนจากถั่วเหลือง
 จุลทรรศน์แบบใช้แสง บาร์ = 0.01 มม.
 RT10 15 และ 20 คือ ปริมาณการแทนที่เคซีนด้วยแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17
 ร้อยละ 10 15 และ 20 ตามลำดับ

6. ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าวเจ้า

การทดสอบทางประสาทสัมผัสพิจารณาจากความชอบของผู้บริโภคต่อลักษณะต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ คือ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ความแข็ง (ความแน่นเนื้อ) และความชอบโดยรวม (ระดับคะแนน 1-9) โดยทำการทดสอบชิม 4 สูตรคือ Control RP10 RP15 และ RP20 และตัดสูตรเนยแข็งเทียมที่แทนที่เคซีนทดด้วยแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้ง 17 ในสัดส่วนต่างๆ ออก (RT10 RT15 และ RT20) เนื่องจากผลการทดสอบทางด้านเนื้อสัมผัสและความสามารถในการหลอมของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าวเจ้าทั้ง 2 สายพันธุ์ให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกสูตรที่มีการใช้แป้งข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1 มาใช้ในการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส และพบว่าผู้บริโภคมีความชอบในเรื่องลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นรสของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าวเจ้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) เนื่องจากการแต่งสีและกลิ่นสังเคราะห์ในตัวอย่างที่ทดลอง



ภาพที่ 27 ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ (1) สี (2) กลิ่นรส (3) ความแน่นเนื้อ (4) และความชอบโดยรวม (5) ของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าวเจ้า RP10 คือ ปริมาณการแทนที่เคซีนทดด้วยแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1 ร้อยละ 10 ของเคซีนทด RP15 คือ ปริมาณการแทนที่เคซีนทดด้วยแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1 ร้อยละ 15 ของเคซีนทด RP20 คือ ปริมาณการแทนที่เคซีนทดด้วยแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1 ร้อยละ 20 ของเคซีนทด

จากการทดสอบด้านความแน่นเนื้อ (ภาพที่ 23) แสดงให้เห็นว่าเนยแข็งเทียมที่แทนที่เคซีนทดด้วยแป้งข้าวเจ้าในสัดส่วนร้อยละ 10 ของเคซีนทั้งหมดไม่มีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) คือมีคะแนนการยอมรับด้านความแน่นเนื้อและความชอบโดยรวมเท่ากับ 7.58 และ 7.64 ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างควบคุมระดับคะแนนเท่ากับ 7.54 และ 7.94 ตามลำดับ โดยคะแนนจัดอยู่ในกลุ่มชอบปานกลางถึงชอบมาก สำหรับการแทนที่เคซีนทดด้วยแป้งข้าวเจ้าในสัดส่วนร้อยละ 15 และ 20 ของเคซีนทั้งหมดมีผลให้ความแน่นเนื้อของเนยแข็งเทียมลดลงและมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ผู้บริโภคสามารถบอกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ได้เมื่อแทนที่เคซีนทดด้วยแป้งข้าวเจ้าในปริมาณที่สูงขึ้น และจากแนวโน้มของคะแนนความชอบโดยรวมพบว่าเมื่อปริมาณแป้งข้าวเจ้าที่เพิ่มขึ้นคะแนนความชอบโดยรวมลดลง ($p < 0.05$)

สรุป

1. เนยแข็งเทียมจากเคซีนทประกอบด้วย น้ำร้อยละ 51 ไขมันร้อยละ 36 โซเดียม เคซีน ต่อแคลเซียม เคซีนท (อัตราส่วน 1:4) ร้อยละ 11 อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ คือ ไดโซเดียม ฟอสเฟต โซเดียม ไตรโพลีฟอสเฟต และโซเดียม ซิเตรตชนิดละร้อยละ 0.2 กัวร์ กัมและแซนแทน กัมชนิดละ ร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักทั้งหมด ส่วนประกอบอื่นๆ คือ เกลือร้อยละ 0.75 โปแตสเซียมซอร์เบต ร้อยละ 0.1 และกรดแลคติกร้อยละ 0.35 ของน้ำหนักทั้งหมด ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งนุ่ม
2. เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นและไขมันลดลงความแน่นเนื้อของเนยแข็งเทียมลดลง อัตราส่วนของแคลเซียม เคซีนทต่อโซเดียม เคซีนทเพิ่มขึ้นความแน่นเนื้อของเนยแข็งเทียมเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณไขมันลดลงและอัตราส่วนของแคลเซียม เคซีนทเพิ่มขึ้นการหลอมได้ของเนยแข็งเทียมลดลง
3. ปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นในส่วนผสมทำให้ความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบความแน่นเนื้อทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสมีแนวโน้มที่เหมือนกัน ผู้บริโภคยอมรับเนยแข็งเทียมที่มีความแน่นเนื้อต่ำ (เนื้อสัมผัสนุ่ม)
4. การแทนที่เคซีนทด้วยแป้งข้าวเจ้าทำให้ความแน่นเนื้อและความสามารถในการหลอมของผลิตภัณฑ์ลดลง ปริมาณการแทนที่ในร้อยละ 10 ของเคซีนททั้งหมดมีผลต่อคุณสมบัติด้านความแน่นเนื้อและความสามารถในการหลอมของเนยแข็งเทียมมากกว่าที่ร้อยละ 15 และ 20 ตามลำดับ ($P < 0.05$)
5. ลักษณะโครงสร้างภายในของเนยแข็งเทียมที่มีปริมาณไขมันสูงมีอนุภาคไขมันขนาดใหญ่กระจายตัวในโปรตีนเมทริกซ์ และเนยแข็งเทียมที่ใช้แป้งข้าวแทนที่เคซีนทมีเม็ดแป้งกระจายตัวในโปรตีนเมทริกซ์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กระทรวงสาธารณสุข. 2544. **มาตรฐานเนยแข็ง** ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่องเนยแข็ง พ.ศ. 2543. ประกาศในราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 118 ตอนพิเศษ 6ง. วันที่ 24 มกราคม 2544.

กระทรวงพาณิชย์. 2540. **มาตรฐานข้าวไทย** ประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่องมาตรฐานสินค้าข้าว พ.ศ.2540. ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 114 ตอนที่ 31ง. วันที่ 17 เมษายน 2540.

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. **เทคโนโลยีของแป้ง**. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

งามชื่น คงเสรี. 2539. **คุณภาพข้าวและผลิตภัณฑ์. ใน การสัมมนาทางวิชาการครบรอบ 80 ปี ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี**. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2541. **ผลิตภัณฑ์ข้าว**. เอกสารการสอนชุดวิชาผลิตภัณฑ์อาหาร หน่วยที่ 2. สำนักพิมพ์สุโขทัยธรรมมาธิราช, นนทบุรี.

นิรนาม. 2547. **พาณิชย์ดันยอดส่งออกข้าวปี 47 ทะลุ 10 ล้านตัน**. ผู้จัดการออนไลน์ แหล่งข้อมูล : <http://www.manager.co.th/Business/ViewNews..>, 6 มกราคม 2548.

ปาริฉัตร หงสประภาส. 2545. **เคมีกายภาพของอาหาร : คอลลอยด์ อิมัลชัน และเจล**. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

_____. 2548. **เอกสารประกอบการเรียนวิชาโปรตีนในอาหาร**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, กล้านรงค์ ศรีรอต, เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, ไชยรัตน์ เพ็ชรชลาญวัฒน์, รุ่งนภา วันสุขศรี และ บุญทิวา นิลจันทร์. 2546. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์การศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆ ในประเทศไทยเพื่อเป็นกลยุทธ์ในการสร้างผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม. 190.

รัชพงศ์ วัจนกร. 2536. การผลิตและคุณสมบัติบางประการของแคลเซียมเคซีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วัลย์รุจิ วิเชียรทวี. 2540. การผลิตเนยแข็งเทียมจากเคซีนและโปรตีนข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2541. อาหารป้องกันโรค: Resistant starches. *อุตสาหกรรมเกษตร*. 9 (3) : 33-35.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2529ก. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเจ้า**. มอก.638-2529.

_____. 2529ข. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเหนียว**. มอก. 639-2529.

อรรพรรณ ชินตระกูล. 2536. การพัฒนาการผลิตเนยคอกเทล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. **ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Aguilera, J.M. and D.W. Stanley. 1999. **Microstructure Principle of Food Processing and Engineering**. Elsevier Applied Science, London. 432p.

Ahmed, N.S., F.A.M. Hassan, F.M.M. Salama and A.K.M. Enb . 1995. Utilization at plant proteins in the manufacture of cheese analogs. **Egypt. J. Food Sci.** 23:37-45.

Anonymous, 2005. Resistant starch. **The healthy eating club**. Available Source: [http:// www.healthyeatingclub. org](http://www.healthyeatingclub.org)., February 10, 2006.

Anonymous. 2006. **The Basics of Making Cheese**. Available Source: [http:// The Basics of Making Cheese. html](http://TheBasicsofMakingCheese.html), February 10, 2006.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1990. Official method of analysis. 16th ed. **The Association of Official Agricultural Chemists**, Verginia. 467p.

Bachmann, H.P. 2001. Cheese analogues: a review. **Int. Dairy J.** 11:505-515.

Beynum, G.M., A.Van and J.A. Roles. 1985. **Starch Conversion Technology**. Marcel Dekker, Inc., New York. 326p.

Brummel, S.E. and K.Lee. 1990. Soluble hydrocolloids enable fat reduction in processed cheese spreads. **J. Food Sci.** 56: 1290-1292, 1307.

Carvalier–Salou , C. and J.C. Cheftel. 1991. Emulsifying salts influence on characteristics of cheese analogs from calcium casienate. **J.Food Sci.** 56:1542-1547, 1511.

Carpenter, R.N., K.J. Finnie and L.R. Olsen. 1998. **Imitation cheese composition and products containing starch**. U.S. Patent 5,807,601.

Cipollo, K.L., I.C. Cho and G.P.Warner. 1985. **Process for producing a hydrolyzed vegetable protein isolate and the use thereof**. European Patent. 0,414,615 A1. [In Food Sci. Technol. Abst. (1985) 17 : 12G 0030.]

Chen, S.L., P.L.Wan, E.W. Lusas and K.C. Rhee. 1979. Utilization of peanut protein and oil in cheese analogs. **Food Technol.** 33(6) : 88-93.

- Croghan, M. 2004. Resistant starch-a better for your carbohydrate. **Proceedings for Food Ingredients Asia Conference: Consumer awareness on healthy and functional ingredients**. September 16-17. Bangkok.
- Eckles, C.H., W.B. Combs and H. Macy.1951. **Milk and Milk Products**. 4Pth., McGraw Hill Publishing Company Ltd., Bombay. 454p.
- Englyst, H.N., S.M. Kingman and J.H. Cummings. 1992. Classification and measurement of nutritionally important resistant starch fractions. **Eur. J Clin. Nutri.** 46 (suppl. 2) : S33-S50.
- Eskin, N.A. 1990. **Biochemistry of Foods**. 2Pnd ed., Academic Press, Inc., Harcourt Brace Jovanovich Publishers, San Diego. 557p.
- Glickman, M. 1982. **Food Hydrocolliods**. Vol.1 RCR Press, Inc. Florida. 219p.
- Guinee, T. P., A. E. Auty and M. A. Fenelon. 2000. The effect of fat content on the rheology, microstructure and heat – induced functional characteristics of Cheddar cheese. **Int. Dairy J.** 10: 277-288.
- Guinee, T.P., P.F. Fox, E.P. Feeney, C. Mullins, M. Corcoran, E. Mulholland, and M. Auty. 2001. **Biochemical and Functional Relationships in Cheese**. Available Source: <http://Biochemical and Functional Relationships in Cheese.htm>, February 10, 2006.
- Gunasekaran, S and K. Ding. 1999. Three-dimension characteristics of fat globules in cheddar cheese. **J. Dairy Sci.** 82: 1890-1896.
- Gunasekaran, S and M. Mehmet. 2003. **Cheese Rheology and Texture**. CRC Press Inc, Florida. 437p.

- Gupta, S.K., C. Karahadian and R.C. Lindsay. 1984. Effect of emulsifier salts on textural and flavor properties of processed cheese. **J. Dairy Sci.** 67:764-778.
- Gupta, S.K. and C.A. Muley. 1989. Studies on sodium and calcium caseinates prepared from fresh and sour buffalo milk edible casein. Part I. Chemical and Reconstitution Properties. **Indian J. Dairy Sci.** 42: 60-65.
- Hildago, J. 1978. Funtional properties of food proteins from a biophysical point of view, pp. 88-98. *In* Adler-Nisser J., B.O. Eggum, Z. Munck and H.S. Olson (eds). **Biochemical Aspects of New Protein Food**. FEBS Federation of European Biochemical Societies 11Pth Meeting, Pergamon Press Ltd, Copenhagen.
- Hennelly P. J., P. G. Dunne, M. O' Sullivan and E. D. O' Riordan. 2004. Increasing the moisture content of imitation cheese : effects on texture, rheology and microstructure. **Eur. Food Res. Technol.** 220: 415-420.
- Hennelly P. J., P. G. Dunne, M. O' Sullivan and E. D. O' Riordan. 2005. Textural rheology and Microstructure properties of imitation cheese containing inulin. **J. Food En.** (in press)
- Hokes, J.C., M.E.Mangino and P.M.T. Hansen. 1982. Functional properties of commercial calcium caseinates for use in imitation cheese. **Food Hydrocolloids.** 3:19-31.
- Jeffery, J. H.; B. W., Ai-Quoc Pham; J. F. D., Chung and S. G., Robert. 2005. Effects of the use of pore formers on performance of an anode supported solid oxide fuel cell. **J. Am. Ceram. Soc.** 88(3):513-518.
- Juliano, B.O. 1971. A simplified assay for milled rice amylase. **Cereal Science Today.** 16(10): 334-338.

- King, J.M. 2004. **Resistant starch from rice, a new source of dietary fiber**. Available Source: <http://www.resistantstarch.com>., February 10, 2006.
- Koca, N. and M. Metin. 2004. Textural, melting and sensory properties of low-fat fresh kasher cheeses produced by using fat replacers. **Int. Dairy J.** 14: 365-373.
- Kong-Chan, L.Y., J.A. Hellyer and M.W. Tafuri.1991. **Simulated cheese products with reduced animal fat calories**. U.S.Patent. 5,061,053.
- Konstance, R.D. and E.D. Strange. 1991. Solubility and viscous properties of casein and caseinates. **J. Food Sci.** 56: 556-559.
- Kosikowski, F. 1982. **Cheese and Fermented Milk Foods**. F.V. Kosikowski and Associates, Brooktondale, New York. 711p.
- Lee, C. H. and C. Rha. 1979. Microstructure of soy bean protein aggregates and its relation to the physical and textural properties of the curd. **J. Food Sci.** 43: 79-84.
- Lucey , J.A. and P.F. Fox. 1993. Importance of calcium and phosphate in cheese manufacture: A review. **J. Dairy Sci.** 76:1714-1724.
- Lucey , J.A., M. A. Johnson and D. S. Horne. 2003. Perspectives on the basis of the rheology and texture properties of cheese. **J. Dairy Sci.** 86: 2725-2743.
- Marshall, R. A. 1989. Composition, structure, rheological properties and sensory texture of processed cheese analogues. **J. Sci. Food Agr.** 50 : 237-252.
- Mounsey, J.S. and E.D.O' Riordan. 2001. Characteristics of imitation cheese containing native starches. **J. Food Sci.** 66: 586-591.

- Park, J., J.R. Rosenau and M. Peleg. 1984. Comparison of four procedures of cheese meltability evaluation. **J. Food Sci.** 54: 343-346.
- Rudan, M. A., D. M. Barbano and P. S. Kindstedt. 1999. Effect of fat reduction on chemical composition, proteolysis, functionality, and yield of Mozzarella cheese. **J. Dairy Sci.** 81: 661-672.
- Rule, C.E. and C.E. Werstak. 1978. **Preparation of Mozzarella cheese.** U.S. Patent. 4,075,360.
- Rule, C.E., R.G. Manning and R.J. Zielinski. 1980. **Imitation acid-set cheese.** U.S. Patent 4,232,050.
- Sambucetti, M. E. and A. Zuleta. 1996. Resistant starch in dietary fiber values measured by AOAC method in difference cereals. **Cereal Chem.** 73(6) : 759-761.
- Sanderson, G.R. 1996. Gums and their use in food system. **Food Technol.** 50(3): 81-84.
- Santos, B.L., A.V.A. Resurreccion and P.E. Koehler. 1987. Sensory analysis of peanut-based protein and oil protein and oil in cheese spread. **J. Food Quality.** 10(1): 43-56.
- Santos, B.L. and A.V.A. Resurreccion. 1989. Effect of particle size on quality of peanut pastes. **J. Food Quality.** 12(2) : 87-97.
- Savello, P.A. and C.A. Ernstrom. 1989. Microstructure and meltability of model process cheese made with rennet and acid casein. **J. Dairy Sci.** 72 : 1-11.
- Schmidt, D.G. 1982. **Association of caseins and casein micelle structure**, p.61
In P.F. Fox (eds). *Developments in Dairy Chemistry 1*. Applied Science Publishers, London.

- Shimp, L.A. 1985. Processed cheese principles. **Food Technol.** 39(5): 63-70.
- Sipahioglu, O., V.B. Alvarez and C.S. Lopez. 1999. Structure, physico-chemical and sensory properties of feta cheese made with tapioca starch and lecithin as fat mimetics. **Int. Dairy J.** 9: 783-789.
- Southward, C.R. 1986. Utilization of milk components: casein, pp.317-368. *In* R.K. Robinson (ed). **Modern Dairy Technology**. Vol.1 Advance in Milk Processing. Elsevier Applied Science Publishers, London.
- Swinkle, J.J.M. 1985. Source of starch, its chemistry and physics. *In* G.M. Beynum, A. Van and J.A. Roles (eds.). **Starch Conversion Technology**. Marcel Dekker, Inc., New York. pp. 15-45.
- Tester, R.F. and W.R. Morrison. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effect of amylopectin, amylase and lipid. **Cereal Chem.** 67: 551-557.
- Tunick, M. H., E. L. Melin, P. W. Smith and V. H. Holsinger. 1995. Effects of skim milk homogenized on proteolysis and rheology of Mozzarella cheese. **Int. Dairy J.** 5(5): 483-491.
- Thomas, M.A., G. Newell, G.A. Abad and A.D. Turner. 1980. Effect of emulsifying salts on objective and subjective properties of processed cheese. **J. Food Sci.** 45: 458-459,466.
- Vernon-Carter, E.J. and P. Sherman. 1987. Evaluation of the firmness of Leicester cheese by compression tests with the Instron Universal testing machine. **J. Texture Studies** 9: 311-324.

- Whitney, R.M. 1988. Protein of milk, pp.81-169. *In* N.P. Wong, R.Jenness, M.Keeney and E.H. Marth (eds.). **Fundamentals of Dairy Chemistry**. 3d ed., Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Wursch, P. 1999. Resistant starch, pp. 385-394. *In* S.S. Cho, P. Prosky and M. Dreher, eds. **Complex Carbohydrates in Foods**. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Yang, C.S.T. and M.V. Taranto. 1982. Textural properties of Mozzarella cheese analog manufactured from soybeans. **J. Food Sci.** 47: 906-910.
- Zalazar, C.A., C.S. Zalazar, S. Bernel, N. Bertola, A. Bevilacqua and N. Zaritzky. 2002. Effect of moisture level and sensory properties of low fat soft cheeses. **Int. Dairy J.** 12 : 45-50.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ

ก1 การวัดค่าพีเอช (Savello and Ernstrom, 1989)

ชั่งตัวอย่างเนยแข็งเทียม 8 กรัมผสมในน้ำที่มีการกำจัดไอออน (Deionized) 15 มิลลิลิตร ใช้อิเล็กโทรดชนิดแก้ว (Electrode) วัดค่าพีเอชของของเหลวผสม ทิ้งไว้ให้ตัวเลขคงที่ บันทึกค่าพีเอช ทำการวัด 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ตัวอย่าง

ก2 การหาปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
2. ถ้วยอลูมิเนียม (moisture can)
3. เดซิกเคเตอร์ (Desiccator)

2. วิธีการวิเคราะห์

1. อบถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝา ในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาใส่ในเดซิกเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็นลง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

2. ชั่งตัวอย่างแบ่งในถ้วยอลูมิเนียมให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2-3 กรัม นำไปอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงโดยเปิดฝาคูถ้วยอลูมิเนียมไว้ เมื่อครบกำหนดให้นำออกจากตู้อบ ปิดฝาคูถ้วยอลูมิเนียมและนำไปใส่เดซิกเคเตอร์ทันที ทิ้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง (ใช้เวลา 45 - 60 นาที) แล้วจึงนำไปชั่ง คำนวณปริมาณความชื้นจากน้ำหนักที่หายไป โดย A เป็นน้ำหนักที่หายไป (กรัม) และ B เป็นน้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม) ดังนี้

$$\text{ร้อยละความชื้น (moisture)} = (A / B) \times 100$$

ก3 การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส (Apparent amylose) (Juliano, 1971)

1. เครื่องมืออุปกรณ์

1. ขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
2. สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectronic 22)
3. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
4. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

2. สารเคมี

1. เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) 95 เปอร์เซ็นต์
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 1 นอร์มัล เตรียมโดยชั่ง NaOH น้ก 40 กรัม ละลายในในน้ำกลั่นประมาณ 800 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
3. กรดอะซิติก (glacial acetic acid) ความเข้มข้น 1 นอร์มัล เตรียมโดยตวงกรดอะซิติกเข้มข้นปริมาตร 60 มิลลิลิตร ใส่ลงในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1 ลิตร
4. อะไมโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (Pure potato amylose) Sigma, USA
5. สารละลายไอโอดีนเตรียมโดยชั่งไอโอดีน (I_2) 0.2 กรัมและโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2.0 กรัม ผสมสารละลายทั้งสองให้เข้ากันแล้วละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร เก็บสารละลายนี้ในขวดสีชา

3. วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างแป้ง 0.1000 กรัม ใส่ในขวด (flask) ขนาด 50 มิลลิลิตรที่แห้งสนิท
2. เติมเอทิลแอลกอฮอล์ 1 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ เพื่อเกลี่ยแป้งให้กระจายออก
ระวังอย่าให้แป้งที่เกาะอยู่ตามผนังขวด
3. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล จำนวน 9 มิลลิลิตร พร้อมทั้งล้างแป้งที่เกาะอยู่ตามผนังขวด

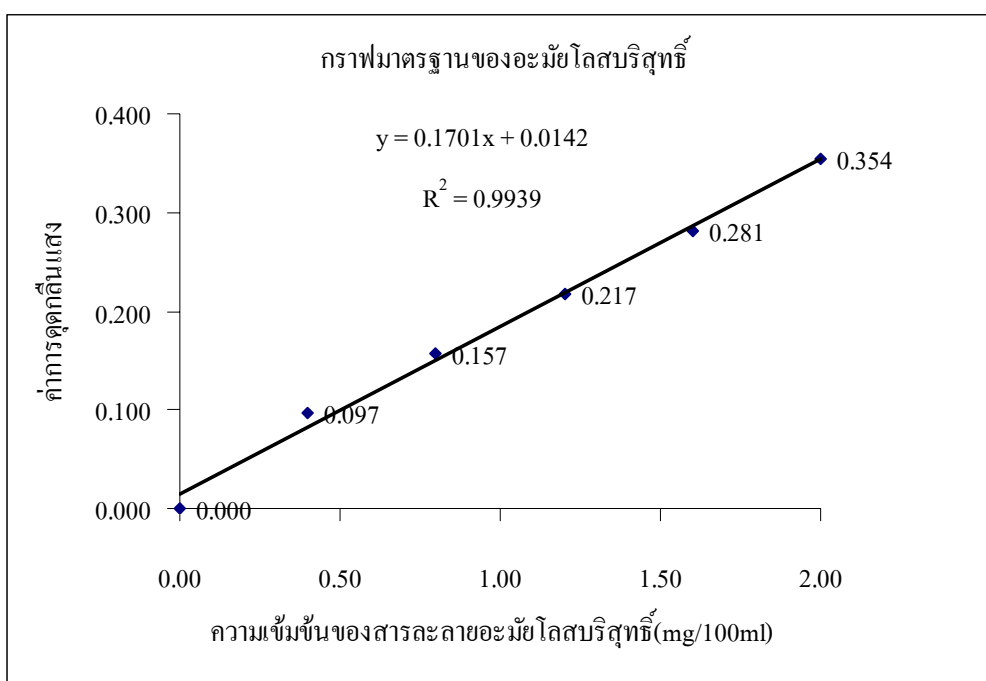
4. นำแป้งไปให้ความร้อนในอ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที แล้วทิ้งไว้ให้เย็น
5. ถ่ายแป้งลงในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร โดยใช้ น้ำล้าง 2-3 ครั้ง เติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร แล้วผสมให้เข้ากัน
6. ควบน้ำแป้งปริมาณ 5 มิลลิลิตร ลงในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
7. เติมกรดแอสซิติกล้วนความเข้มข้น 1 นอร์มัล จำนวน 1 มิลลิลิตร และ สารละลายไอโอดีนจำนวน 2 มิลลิลิตร
8. เติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
9. ทำแบลнк (blank) โดยนำขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรมาเติมกรดแอสซิติกล้วน ความเข้มข้น 1 นอร์มัล 2 มิลลิลิตร และเติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร
10. วัดการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร (nm) โดยปรับค่าของแบลнкเป็น 0
11. นำค่าการดูดกลืนแสงไปคำนวณหาค่าปริมาณอะไมโลสโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน

4. การเขียนกราฟมาตรฐาน (standard curve)

1. ชั่งอะไมโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่งจำนวน 0.0400 กรัม ใส่ในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และดำเนินการเช่นเดียวกับข้อ 2.3.2-2.3.4 แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ใช้เป็นสารละลายมาตรฐาน
2. ปิเปตแบ่งสารละลายมาตรฐาน 1 , 2 , 3 , 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดกำหนดปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมกรดแอสซิติกล้วน ความเข้มข้น 1 นอร์มัลปริมาณ 0.2 , 0.4 , 0.6 , 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้วที่มีสารละลายมาตรฐานตามลำดับ เติมสารละลายไอโอดีน 2.0 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยการเติมน้ำกลั่น เขย่าและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
3. วัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร (nm)
4. เขียนกราฟระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายอะไมโลสมาตรฐาน (แกน X) และค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y)

5. วิธีการคำนวณ

$$\text{ร้อยละของปริมาณอะมีโนโลส} = \frac{\text{ความเข้มข้นที่อ่านได้จากสารละลายอะมีโนโลมาตรฐาน} \times 100}{5 \times \text{น้ำหนักแป้งแห้ง (กรัม)}}$$



ภาพผนวกที่ ก1 ปริมาณอะมีโนโลสและการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน

ก4 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 1990)

1. เครื่องมืออุปกรณ์

1. เครื่องย่อยสลาย Buchi
2. หลอด Kjeldahl สำหรับย่อย
3. เครื่องกลั่นอัตโนมัติ Buchi

2. สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 35
3. สารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4
4. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 นอร์มัล
5. คอปเปอร์ซัลเฟต
6. โพแทสเซียมซัลเฟต
7. อินดิเคเตอร์ผสมระหว่างเมธิลเรดและโบรโมครีซอลกรีน

3. วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงในหลอดย่อย ระวังอย่าให้ติดข้างหลอด
2. ใส่เร่งปฏิกิริยาซึ่งประกอบด้วยโพแทสเซียมซัลเฟต 10 กรัม และคอปเปอร์ซัลเฟต 0.5 กรัม รวมทั้งเม็ดลูกแก้วกันเดือด (glass bead) 2 เม็ด และเติมกรดซัลฟูริกประมาณ 20-25 มิลลิลิตร
3. นำหลอดย่อยต่อเข้ากับเครื่องย่อย ทำการย่อยจนกระทั่งได้สารละลายสีเขียวใส ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่น 60-75 มิลลิลิตร (หรือเติมเป็น 3 เท่าของกรด)
4. นำหลอดย่อยต่อเข้ากับชุดเครื่องกลั่น แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 35 จนสารละลายในหลอดย่อยเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล
5. รองรับสิ่งกลั่นด้วยขวด (flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลายกรดบอริก ความเข้มข้นร้อยละ 4 เปอร์เซนต์ จำนวน 25 มิลลิลิตร โดยกลั่นประมาณ 5 นาที
6. นำไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 นอร์มัล จนกระทั่งได้สารละลายสีเทา (จุดยุติ) บันทึกปริมาณกรดที่ใช้ แล้วนำไปคำนวณหาร้อยละของไนโตรเจน

4. วิธีการคำนวณ

$$\text{ร้อยละของปริมาณไนโตรเจน} = \frac{(S-B) \times N \times 1.401}{W}$$

ร้อยละของโปรตีนของแป้งข้าว = ร้อยละปริมาณไนโตรเจน x 5.95

ร้อยละของโปรตีนของเนยแข็งเทียม = ร้อยละปริมาณไนโตรเจน x 6.38

เมื่อ S = ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง
 B = ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับแบลนด์
 N = ความเข้มข้นเป็นนอร์มัลของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน
 W = น้ำหนักตัวอย่างเป็นกรัม

ก5 การหาปริมาณไขมัน (AOAC, 1990)

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Soxtec System HT2 ; 1045 Extraction unit)
2. เครื่องทำความเย็น
3. Extration cup
4. Thimble
5. เดซิเคเตอร์ (desiccator)

2. สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์ที่มีจุดเดือดในช่วง 40 – 60 องศาเซลเซียส

3. วิธีการวิเคราะห์

1. อบ extraction cup และทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักไว้ (W_1)
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัมลงบนกระดาษกรองและห่อให้มิดชิด บันทึกน้ำหนักตัวอย่างที่แน่นอน (W_2) แล้วนำมาใส่ลงใน thimble

3. นำ extraction cup เข้าไปในเครื่องวิเคราะห์ไขมัน ทำการสกัดเป็นเวลา 20 นาที และทำการชะล้างเป็นเวลา 45 นาที นำ extraction cup ไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อระเหยตัวทำละลายออกไป ทิ้ง extraction cup ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ และนำชั่งน้ำหนัก (W_3)

4. วิธีการคำนวณ

$$\text{ร้อยละปริมาณไขมัน} = \frac{(W_3 - W_1)}{W_2} \times 100$$

เมื่อ	W_1	=	น้ำหนัก extraction cup หน่วยเป็นกรัม
	W_2	=	น้ำหนักตัวอย่างที่วิเคราะห์หน่วยเป็นกรัม
	W_3	=	น้ำหนัก extraction cup และไขมันที่สกัดได้ หน่วยเป็นกรัม

ก6 การวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใย (AOAC, 1990)

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์เส้นใย Fibertec System Tecator
2. เครื่องทำความเย็น
3. ครุชีเบิล (Crucible)
4. เดซิเคเตอร์ (Desiccator)

2. สารเคมี

1. อะซีโตน
2. สารละลายกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 0.0255 นอร์มัล
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.313 นอร์มัล
4. แอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95

3. วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างจำนวน 2.5 กรัมให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน (W) ใส่ลงในครูชีเบลสกัดไขมันออกด้วยอะซีโตน ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง ล้างอะซีโตนออกด้วยน้ำกลั่น โดยใช้เครื่อง

Fibertec Cold Extraction

2. นำครูชีเบลพร้อมด้วยตัวอย่างที่สกัดไขมันออกด้วยอะซีโตนแล้วไปย่อยตัวอย่างด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 0.0255 นอร์มัล ย่อยนาน 30 นาทีทำการดูดสารละลายออกจากคอลัมน์ แล้วล้างด้วยน้ำร้อนเพื่อล้างตัวอย่างให้หมดกรด จากนั้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.313 นอร์มัล ย่อยนาน 30 นาทีเช่นเดียวกับครั้งแรก และเติมแอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 เพื่อล้างโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกให้หมด

3. นำครูชีเบลพร้อมด้วยตัวอย่างที่ผ่านการย่อยด้วยกรดและเบสแล้วไปอบที่ 105 - 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่ง อยบตัวอย่างนี้ซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนได้น้ำหนักต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม จดน้ำหนักที่น้อยที่สุด ถือเป็นน้ำหนักครูชีเบลและกากหลังการอบแห้งแล้ว (W1)

4. เผาครูชีเบลพร้อมด้วยกากที่อบแห้งแล้วในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 ± 20 องศาเซลเซียส นานประมาณ 30 นาที แล้วนำออกไปใส่ในเดซิเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไปชั่งแล้วเผาตัวอย่างนี้ซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนได้น้ำหนักต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม จดน้ำหนักที่น้อยที่สุด ถือเป็นน้ำหนักครูชีเบลและเถ้าหลังการเผาแล้ว (W1)

4. วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณเส้นใยหยาบร้อยละของตัวอย่าง} = \frac{100 \times (W1 - W2)}{W}$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักของตัวอย่างเป็นกรัม
 W1 คือ น้ำหนักครูชีเบลและกากหลังการอบแห้งแล้วเป็นกรัม
 W2 คือ น้ำหนักครูชีเบลและเถ้าหลังการเผาแล้วเป็นกรัม

ก7 การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (AOAC, 1990)

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เตาเผา muffle furnace
2. เตาไฟฟ้าให้ความร้อนแบบแผ่นราบ
3. เป้า (crucible)
4. เชชชั่ง

2. วิธีการวิเคราะห์

1. เเป้ในเตา muffle furnace ทิ้งให้เย็นในแชชชั่ง และชั่งน้ำหนักเเป้
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 5 กรัมใส่ลงในเเป้ แล้วนำไปเผาด้วยไฟอ่อนๆ

จนหมดควัน

3. นำไปเผาในเตา muffle furnace ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกว่าได้เถ้าเป็นสีขาวหรือสีเทา

4. นำเเป้ออกมาใส่ในแชชชั่ง ทิ้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

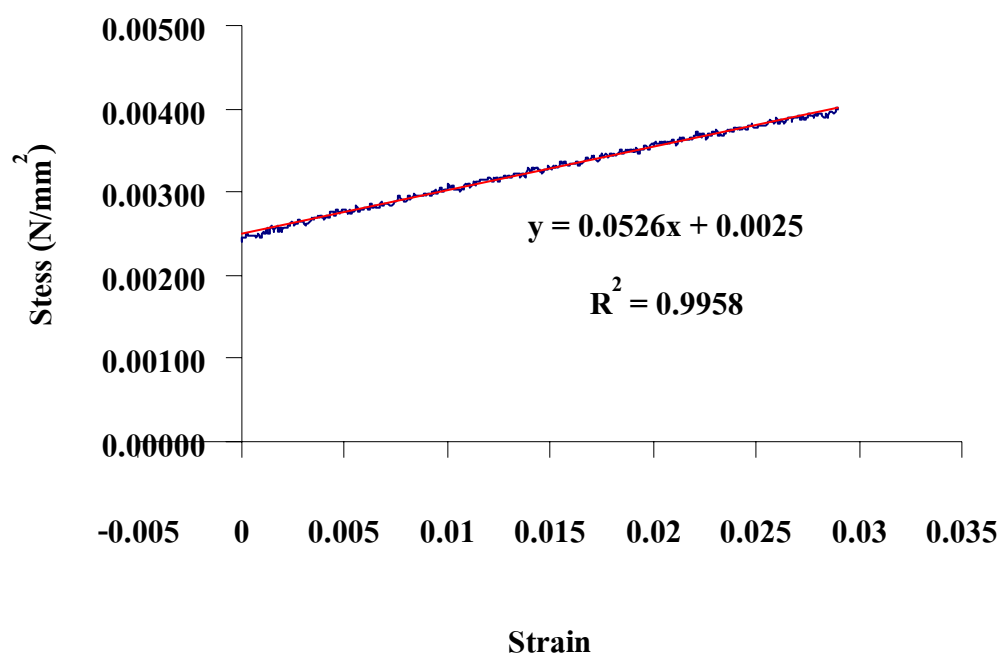
3 วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณ (ร้อยละของน้ำหนักร)} = \frac{(W_2 - W_0)}{(W_1 - W_0)} \times 100$$

เมื่อ	W_0	=	น้ำหนักของเเป้หน่วยเป็นกรัม
	W_1	=	น้ำหนักของเเป้และตัวอย่างก่อนเผาหน่วยเป็นกรัม
	W_2	=	น้ำหนักของเเป้และตัวอย่างหลังจากเผาจนได้น้ำหนักคงที่หน่วยเป็นกรัม

ก8 การตรวจสอบความแน่นเนื้อด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyser®)

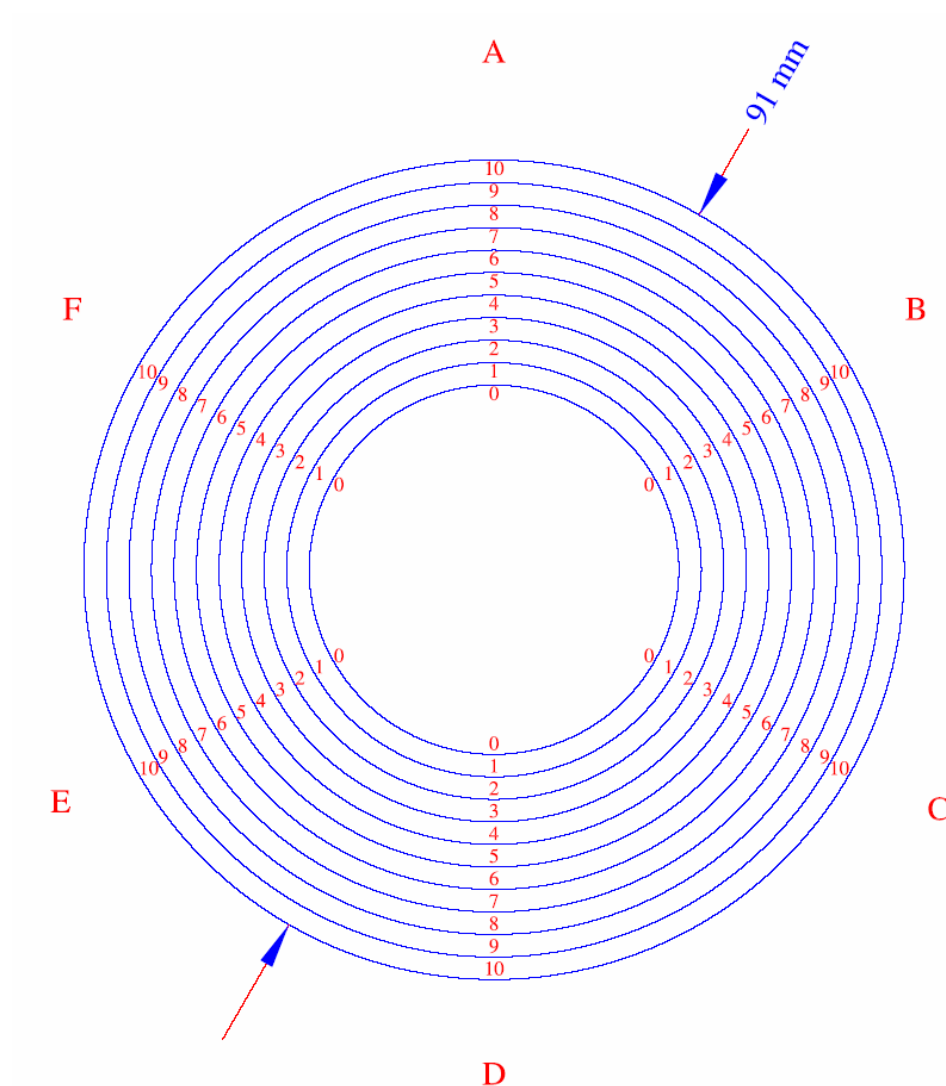
การตรวจสอบโดยหลักการวัดแรงกด (Compression test) หัววัดแบบแผ่นเรียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ความเร็วหัววัด 0.2 มิลลิเมตรต่อวินาที ตัวอย่างมีขนาด 8 ลูกบาศก์เซนติเมตร (2 x 2 x 2 เซนติเมตร) กดตัวอย่างเป็นระยะทาง 12 มิลลิเมตร อุณหภูมิของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบคือ 25 – 28 องศาเซลเซียส วัดความแน่นเนื้อ (firmness) ของผลิตภัณฑ์จากค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus, E) หรือมอดุลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ซึ่งหาได้จากค่าความชันของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (σ) กับความเครียด (ϵ)



ภาพผนวกที่ ก2 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ของเนยแข็งเทียม ความชันของกราฟคือค่ามอดุลัสของยัง

ก9 การตรวจสอบลักษณะการหลอมด้วยวิธี Schreiber test

นำตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 41 มิลลิเมตร ใส่ในจาน Petri dish นำไปอบที่อุณหภูมิ 232 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำมาทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที วัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เพิ่มขึ้น (มิลลิเมตร) เทียบจากแผ่นที่ทำขึ้นดังภาพผนวกที่ ก3



ภาพผนวกที่ ก3 แผ่นภาพสำหรับวัดเส้นผ่านศูนย์กลางการหลอมของเนยแข็งเทียม

ภาคผนวก ข

แบบทดสอบการให้คะแนนความชอบ

ชื่อ _____ วันที่ _____

การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธีให้คะแนนความชอบเมื่อใช้สูตรการผลิต 3 สูตร

ตัวอย่าง เนยแข็งเทียม (Imitation cheese)

คำแนะนำ กรุณาตอบแบบสอบถามดังต่อไปนี้โดยไม่คำนึงถึงความเหมือนหรือแตกต่างจาก
เนยแข็งที่ทำจากนมสดโดยให้คะแนน

- | | | |
|---------------------|--------------------|------------------|
| 1 = ไม่ชอบมากที่สุด | 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย | 7 = ชอบปานกลาง |
| 2 = ไม่ชอบมาก | 5 = เฉยๆ | 8 = ชอบมาก |
| 3 = ไม่ชอบปานกลาง | 6 = ชอบเล็กน้อย | 9 = ชอบมากที่สุด |

กรุณาบ้วนปากหลังชิมทุกครั้ง

ลักษณะที่ทดสอบ

รหัสตัวอย่าง

ลักษณะปรากฏ

สี

กลิ่นรส

ความแน่นเนื้อ

ความชอบโดยรวม

ข้อเสนอแนะ _____

ภาคผนวก ค

ตารางผนวกที่ ค1 องค์ประกอบทางเคมีของเนยแข็งเทียมจากเคซีน

สูตร	ค่าพีเอช ^{NS}	(ร้อยละ)				
		ความชื้น	โปรตีน ^{NS}	ไขมัน	ใยอาหาร ^{NS}	เกลือ ^{NS}
CS1	6.09	51.47 ^a	10.57	36.28 ^a	0.11	0.52
CS2	6.10	50.11 ^a	10.55	35.95 ^a	0.09	0.49
CS3	6.08	48.74 ^b	10.39	40.31 ^b	0.13	0.50
CS4	6.09	47.65 ^b	10.59	40.16 ^b	0.12	0.53
CS5	6.11	42.93 ^c	10.43	44.23 ^c	0.17	0.53
CS6	6.10	43.06 ^c	10.49	44.84 ^c	0.13	0.47

ตัวอักษรเหมือนกันในแนวดังเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

หมายเหตุ^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

ตารางผนวกที่ ค2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าว

พันธุ์ข้าว	องค์ประกอบทางเคมี					
	ความชื้น ^{NS}	ไขมัน ^{NS}	โปรตีน ^{NS}	เส้นใย	เกลือ ^{NS}	อะไมโลส
ปทุมธานี 1	7.32	0.09	6.71	trace	0.46	15.33 ^a
ขาวตาแห้ง 17	6.87	0.05	6.21	trace	0.45	23.74 ^b

ตัวอักษรเหมือนกันในแนวดังเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

หมายเหตุ^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

ตารางผนวกที่ ค3 องค์ประกอบทางเคมีของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าว

สูตร	ค่าพีเอช ^{NS}	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)				
		ความชื้น ^{NS}	ไขมัน ^{NS}	โปรตีน	เส้นใย	เถ้า
Control	6.10	50.11	35.95	10.55 ^a	0.09 ^a	0.49 ^a
RP10	6.12	52.27	36.04	9.51 ^b	0.14 ^{a b}	0.81 ^b
RT10	6.08	52.09	35.94	9.49 ^b	0.16 ^{a b}	0.78 ^b
RP15	6.07	52.48	36.03	8.96 ^c	0.23 ^b	0.86 ^b
RT15	6.09	52.77	36.10	8.94 ^c	0.27 ^b	0.83 ^b
RP20	6.11	52.81	36.05	8.48 ^c	0.48 ^c	0.90 ^b
RT20	6.05	52.85	35.97	8.42 ^c	0.51 ^c	0.88 ^b

ตัวอักษรเหมือนกันในแนวดังเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

หมายเหตุ^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

ตารางผนวกที่ ค4 ค่าความแน่นเนื้อและการหลอมของเนยแข็งเทียม

สูตร	ค่าเฉลี่ยความแน่นเนื้อ	เส้นผ่านศูนย์กลางการหลอมที่เพิ่มขึ้น
	(กิโลปาสกาล)	(มิลลิเมตร)
CS 1	24.8 ^a	38.12 ^a
CS 2	39.0 ^a	37.18 ^a
CS 3	73.5 ^b	47.61 ^b
CS 4	94.7 ^b	46.30 ^b
CS 5	147.7 ^c	55.90 ^c
CS 6	165.2 ^c	53.40 ^c

ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดังเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ $p < 0.05$

ตารางผนวกที่ ค5 ค่าความแน่นเนื้อและการหลอมของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าว

สูตร	ค่าเฉลี่ยความแน่นเนื้อ (กิโลปาสกาล)	เส้นผ่านศูนย์กลางการหลอมที่เพิ่มขึ้น (มิลลิเมตร)
Control	39.0 ^a	37.18 ^a
RP10	31.7 ^{a b}	36.34 ^a
RT10	32.0 ^{a b}	35.37 ^a
RP15	29.7 ^b	23.05 ^b
RT15	29.9 ^b	21.21 ^b
RP20	16.0 ^c	15.41 ^c
RT20	16.8 ^c	14.72 ^c

ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ $p < 0.05$

ตารางผนวกที่ ค6 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส ความแน่นเนื้อ และความชอบโดยรวมของเนยแข็งเทียม

สูตร	ลักษณะ ปรากฏ ^{NS}	สี ^{NS}	กลิ่นรส ^{NS}	ความแน่นเนื้อ	ความชอบ โดยรวม
CS 2	6.72	6.67	5.53	6.33 ^b	6.53 ^b
CS 4	6.69	6.70	5.10	5.63 ^{a b}	5.53 ^a
CS 6	6.65	6.93	5.53	5.77 ^a	5.97 ^a

ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ $p < 0.05$

หมายเหตุ^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

ตารางผนวกที่ ๗ ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส ความแน่นเนื้อ และความชอบโดยรวมของเนยแข็งเทียมจากแป้งข้าวเจ้า

สูตร	ลักษณะ ปรากฏ ^{NS}	สี ^{NS}	กลิ่นรส ^{NS}	ความแน่นเนื้อ	ความชอบ โดยรวม
Control	7.06	6.61	5.50	7.58 ^c	7.94 ^c
RP10	6.75	6.72	5.17	7.58 ^c	7.64 ^c
RP15	7.00	6.67	5.36	5.64 ^b	6.86 ^b
RP20	6.80	6.61	5.36	4.80 ^a	5.92 ^a

ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดังเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ $p < 0.05$

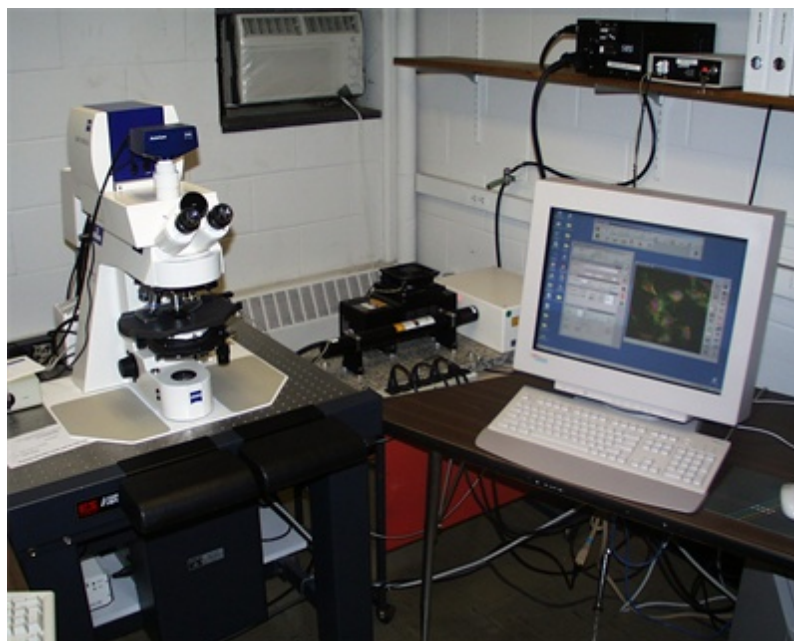
หมายเหตุ^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

ภาคผนวก ง

รูปภาพประกอบวิทยานิพนธ์



ภาพผนวกที่ ง1 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Analyser[®] TA-XT plus.



ภาพผนวกที่ ๓2 กล้องจุลทรรศน์ชนิดคอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่ง (Confocal Laser Scanning Microscope รุ่น LSM 5 PASCAL)



ภาพผนวกที่ ๓3 ไขมันที่ใช้ในการผลิตเนยแข็งเทียม



ภาพผนวกที่ ๔4 เคซีนและกัมที่ใช้เป็นส่วนผสมในเนยแข็งเทียม



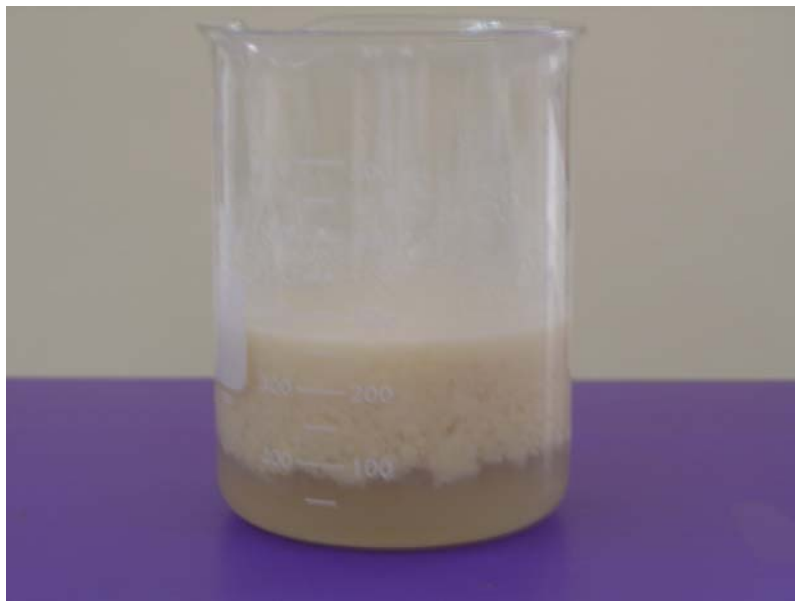
ภาพผนวกที่ ๔5 ไขมันหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน



ภาพผนวกที่ ง6 สารละลายเกลือ (ไดโซเดียมฟอสเฟต โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต โซเดียมซิเตรต โปแตสเซียมซอร์เบต และโซเดียมคลอไรด์)



ภาพผนวกที่ ง7 เคซีนทและกัมกระจายตัวในน้ำมันหลังให้ความร้อน



ภาพผนวก ง8 ลักษณะที่เกิดขึ้นหลังจากเติมสารละลายเกลือลงไปในของผสมเคซีนท กัม และ ไขมัน



ภาพผนวก ง9 เนยแข็งเทียมที่ผลิตได้จากเคซีนท

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล

นางสาวอริสรา โพธิ์สนาม

วัน เดือน ปี ที่เกิด

วันที่ 29 มิถุนายน 2524

สถานที่เกิด

นครพนม

ประวัติการศึกษา

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการอาหาร)

(เกียรตินิยมอันดับ 2) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยา

เขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร พ.ศ. 2547

