

การผลิตเนยซึ่งเทียมชนิดทำจากโปรตีนรำข้าว

IMITATION CHEESE SPREAD FROM RICE BRAN PROTEIN

วิสุตธนา สมุทรศรี

WISUTTHANA SAMUTSRI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตรการอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2108-5

การผลิตเนยแข็งเทียมชนิดทาจากโปรตีนรำข้าว

IMITATION CHEESE SPREAD FROM RICE BRAN PROTEIN



วิสุทธนา สมุทรศรี

WISUTTHANA SAMUTSRI

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 63465
วัน,เดือน,ปี..... 29 ส.ค. 2549

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษิตตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2168-5

IMITATION CHEESE SPREAD FROM RICE BRAN PROTEIN

WISUTTHANA SAMUTSRI

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF MASTER OF
SCIENCE IN FOOD SCIENCE SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2006

ISBN 974-15-2168-5

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตเนยแข็งเทียมชนิดทาจากโปรตีนรำข้าว
ชื่อนักศึกษา	นางสาววิสุทธนา สมุทรศรี
รหัสประจำตัว	46066611
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. วุฒิชัย นาครักษา

บทคัดย่อ

การศึกษาการผลิตเนยแข็งเทียมชนิดทาด้วยโปรตีนรำข้าวในปริมาณ 0 10 20 40 60 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเรนเนตเคซีน พบว่าผลิตภัณฑ์มีความชื้นอยู่ในช่วง 95.13-95.80 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.40-7.28 เมื่อทำการวัดค่าสี พบว่าการเพิ่มปริมาณโปรตีนรำข้าวทำให้ค่าความสว่าง (L) มีแนวโน้มลดลง แต่มีค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีครีมถึงสีน้ำตาลเข้ม ลักษณะเนื้อสัมผัสของเนยแข็งเทียมด้านความสามารถในการทาจากเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส พบว่าเมื่อปริมาณโปรตีนรำข้าวเพิ่มขึ้น แรงที่ใช้ในการทาตกลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลิตภัณฑ์สามารถป้ายทาได้ง่าย และเนยแข็งเทียมชนิดทาสูตรที่ใช้โปรตีนรำข้าว 40 เปอร์เซ็นต์ มีความสามารถในการทาใกล้เคียงกับเนยแข็งชนิดทาในทางการค้า การประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของผู้ทดสอบชิมที่ได้รับการฝึกฝน (8 คน) พบว่าปริมาณโปรตีนรำข้าวไม่มีผลต่อความเรียบเนียน รสเค็ม รสเฝื่อน และความชุ่มฉ่ำ แต่มีผลทำให้ความสามารถในการทาและกลิ่นแป้งคัมของผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิม (20 คน) เนยแข็งเทียมชนิดทาที่ไม่เติมโปรตีนรำข้าวมีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส ในด้านรสชาติ การยอมรับโดยรวม สี และกลิ่นสูงกว่าเนยแข็งเทียมสูตรอื่น แต่ในด้านความสามารถในการทา เนยแข็งเทียมสูตรที่ทดแทนเรนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าว 40 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนสูงสุด ($p \leq 0.05$)

Thesis Title	Imitation Cheese Spread from Rice Bran Protein
Student	Miss Wisutthana Samutsri
Student ID.	46066611
Degree	Master of Science
Programme	Food Science
Year	2006
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Woatthichai Narkrugsa

ABSTRACT

The characteristics of imitation cheese spread from rice bran protein (0, 10, 20, 40, 60, 80, and 100 %w/w of rennet casein) were studied. The imitation cheese spread had 95.13-95.80 % moisture content and pH 6.40-7.28. On the basis of color, L-value was decreased with increasing rice bran protein where as a and b-values increased. The imitation cheese spread with higher rice bran protein substitution showed significantly lower value of spreadability ($p \leq 0.05$). Among the entire treatments texture testing, the imitation cheese with 40 % rice bran protein substitution gave closely spreadability to the commercial cheese spread. Trained panelists (n=8) conducted descriptive sensory analysis of the imitation cheese spread from rice bran protein. Spreadability and boiled starch odor of the imitation cheese spread were increased with increasing rice bran protein. However smoothness, saltiness, astringency, and oiliness did not significantly different ($p \leq 0.05$). Using a 5-hedonic scale (n=20), the imitation cheese spread without rice bran protein had a high score in taste, overall acceptability, color, and flavor, where as those of 40% rice bran protein substitution had a high score in spreadability. From the texture analyzer and sensory evaluation results founded that rice bran protein can be used to replace up to 40% w/w of rennet casein in imitation cheese spread.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ที่คอยดูแล ให้ความรู้ และคำแนะนำในการทำวิจัยอย่างดี รวมทั้งตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วรรณมา ตั้งเจริญชัย และ ดร.กิตติชัย บรรจง ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ อีกทั้งคำแนะนำเพิ่มเติมที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาในการศึกษา

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าเสมอมา ขอขอบคุณพี่และเพื่อนทุกคนที่ให้คำปรึกษา กำลังใจ และช่วยเหลือในการทำวิจัยจนวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่คณาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขอน้อมรับไว้แต่ผู้เดียว

วิสุทธนา สมุทรศรี

ธันวาคม 2548

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 เนยแข็ง.....	3
2.1.1 การจำแนกชนิดของเนยแข็ง.....	3
2.1.2 หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในเนยแข็ง.....	4
2.2 เนยแข็งเทียม.....	4
2.3 ไขมัน.....	5
2.3.1 ไขมันนม.....	5
2.3.2 น้ำมันพืช.....	6
2.4 โปรตีน.....	7
2.4.1 เคซีน.....	7
2.4.2 โปรตีนราข้าว.....	9
2.5 สตาร์ช.....	12
2.6 สารอิมัลซิไฟเออร์.....	15
2.7 กัม.....	16
2.8 การวิเคราะห์รายละเอียดเชิงปริมาณ.....	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	23
3.1 วัตถุประสงค์.....	23
3.2 วัตถุประสงค์.....	23
3.3 สถานที่ดำเนินการทดลอง.....	24
3.4 วิธีการดำเนินงาน.....	25
3.4.1 การเตรียมโปรตีนรำข้าว.....	25
3.4.2 การศึกษาชนิดของโปรตีนรำข้าวโดยอาศัยสมบัติการละลาย.....	26
3.4.3 การเตรียมเรนเนตเคซีน.....	26
3.4.4 การศึกษาผลของปริมาณ โปรตีนรำข้าวต่อคุณสมบัติของเนยแข็ง เทียมชนิดทา.....	26
3.4.5 ผลของปริมาณรำข้าวต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของเนยแข็ง เทียมชนิดทา.....	28
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	30
4.1 ผลการจำแนกชนิดของโปรตีนรำข้าว.....	30
4.2 ผลของปริมาณ โปรตีนรำข้าวต่อปริมาณความชื้นและพีเอชของเนยแข็งเทียม ชนิดทา.....	31
4.3 ผลของปริมาณรำข้าวต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเนยแข็งเทียมชนิดทา.....	33
4.3.1 ความสามารถในการทาของเนยแข็งเทียมชนิดทา.....	33
4.3.2 สีของเนยแข็งเทียมชนิดทา.....	35
4.4 ผลของปริมาณ โปรตีนรำข้าวต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของเนยแข็งเทียม ชนิดทา.....	37
4.4.1 การประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนยแข็ง เทียมชนิดทา.....	37
4.4.2 การประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสของเนยแข็งเทียมชนิดทา.....	39
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	41
ข้อเสนอแนะ.....	42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	43
ภาคผนวก.....	48
ก. การจำแนกชนิดของ โปรตีน.....	49
ข. การวิเคราะห์คุณภาพของเนยแข็งเทียมชนิดทา.....	53
ค. การประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส.....	58
ง. การวิเคราะห์ทางสถิติ CRD.....	63
ประวัติผู้เขียน	76

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ชนิดของส่วนผสมเนยแข็งเทียม.....	5
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว.....	9
2.3 ปริมาณกรดอะมิโนของโปรตีนสกัดจากรำข้าวเปรียบเทียบกับเคซีน โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง กรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายสำหรับทารก และกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายของเด็กในวัย 2-5 ปี (มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน).....	10
2.4 ชนิดของโปรตีนในรำข้าวที่สกัดไขมัน.....	12
2.5 ค่าการหลอมเหลว ความแข็ง และการเกาะตัวกันของผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียมที่ไม่ผสมและผสมแป้งชนิดต่างๆที่ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	14
2.6 ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture profile analysis:TPA) ของโพรเซสเรสชีสที่ใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ผสมในอัตราส่วนต่างๆ.....	15
2.7 เทอมทางประสาทสัมผัสจากโพรไฟล์ของเนยแข็งชนิดต่างๆ.....	21
3.1 ส่วนผสมของเนยแข็งเทียม.....	26
4.1 ชนิดของโปรตีนรำข้าว จำแนกโดยอาศัยสมบัติการละลายของโปรตีน.....	30
4.2 ปริมาณความชื้นและฟิเอชของเนยแข็งเทียมชนิดทา.....	32
4.3 ความสามารถในการทาของเนยแข็งเทียมชนิดทา.....	34
4.4 ค่าความสว่างและสีของเนยแข็งเทียมชนิดทา.....	36
4.5 การประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนยแข็งเทียมชนิดทาที่ทดแทนเรนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าว.....	37
4.6 การประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสของเนยแข็งเทียมชนิดทาที่ทดแทนเรนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าว.....	39

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 Serine residue esterified with phosphoric acid.....	7
2.2 โครงสร้างอะไมโลส.....	12
2.3 โครงสร้างอะไมโลเพคติน.....	13
2.4 โครงสร้างกัวกัม.....	17
2.5 โครงสร้างของโลคอสปีนกัม.....	18
2.6 โครงสร้างของคาราจีแนนชนิดต่างๆ.....	19
2.7 โครงสร้างของอัลจินต.....	19
2.8 โครงสร้างแซนแทนกัม.....	20
3.1 วิธีสกัดโปรตีนรำข้าว.....	25
3.2 วิธีผลิตเนยแข็งเทียมชนิดทา.....	27
4.1 ความสามารถในการทาของเนยแข็งเทียมชนิดทา.....	35
4.2 สีของเนยแข็งเทียมชนิดทาเมื่อเติมโปรตีนรำข้าวในปริมาณต่างกัน.....	36
4.3 ผลการประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนยแข็งเทียมชนิดทาที่ทดแทนเรนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าว.....	37
4.4 ผลการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสของเนยแข็งเทียมชนิดทาที่ทดแทนเรนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าว.....	39

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย โดยไทยเป็นประเทศที่มีบทบาทสำคัญต่อวงการค้าข้าว ในฐานะผู้ส่งออกข้าวมากเป็นอันดับหนึ่งของโลก (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2547) จึงมีผลพลอยได้ (by product) จากการขัดสีข้าวจำนวนมาก ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้จากการขัดสีข้าว จะเป็นการเพิ่มมูลค่าข้าวได้ยิ่งขึ้น ซึ่งเมื่อนำข้าวเปลือกมาผ่านการขัดสีจะได้ส่วนที่เป็นรำข้าว (rice bran) 8.80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยทั่วไปรำข้าวจะถูกใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ และเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันรำข้าว (rice bran oil) แต่จากองค์ประกอบทางเคมีของ รำข้าว ซึ่งมีโปรตีน 12.0-15.6 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 15.0-19.7 เปอร์เซ็นต์ เส้นใยหยาบ 7.0-11.4 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 34.1-52.3 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า 6.6-9.9 เปอร์เซ็นต์ (Juliano, 1985) กล่าวได้ว่ารำข้าวเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญ เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนสูงและเป็นโปรตีนที่ไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ (hypoallergenic) (Patti and Bruce, 1999) โดยมีโปรตีนหลัก คือ แอลบูมิน และโกลบูลิน ซึ่งมีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นสูง (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) โดยเฉพาะไลซีน (lysine) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นที่ไม่เพียงพอต่อร่างกายเป็นอันดับแรก (first limiting amino acid) อยู่ในปริมาณสูงเมื่อเทียบกับแหล่งธัญพืชอื่นๆ (Lasztity, 1995) จึงเป็นที่น่าสนใจในการนำโปรตีน รำข้าวมาทดแทนเคซีนในผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียม เพราะใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าการผลิตจากน้ำนมโดยตรง (Santos *et al.*, 1989) ประกอบกับในปัจจุบัน ผู้บริโภคหันมาใส่ใจสุขภาพกันมากขึ้น เนยแข็งเทียมที่มีน้ำมันรำข้าวเป็นส่วนประกอบจึงสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้ เนื่องจากน้ำมันรำข้าวมีโอริซานอล (oryzanol) วิตามินกลุ่มโทโคฟีรอล (tocopherol) และโทโคไตรอินอล (tocotrienol) ในปริมาณสูง ช่วยต้านอนุมูลอิสระซึ่งเป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง (ไมตรี สุทธิจิตต์, 2544; นัยนา บุญทวีวัฒน์ และเรวดี จงสุวรรณ, 2545) นอกจากนี้ น้ำมันรำข้าวยังมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated Fatty Acid : MUFA) ปริมาณสูง ซึ่งสามารถลดคอเลสเตอรอลที่ไม่ดี (Low Density Lipoprotein Cholesterol : LDL-C) ช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ และหลอดเลือดได้ (Seetharamaiah and Chandrashekhara, 1998; Dajian *et al.*, 2002) โดยทั่วไป ไม่ควรบริโภคไขมันเกินร้อยละ 30 ของพลังงานที่ได้รับทั้งหมดในแต่ละมื้อ (U.S. Senate Select Committee on Nutrition and Human needs, 1977) ดังนั้นผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียมที่ใช้ น้ำมันรำข้าว ส่วนประกอบและทดแทนเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าว จึงเป็นอีกแนวทางเลือกหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากรำข้าว ให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการ และมีมูลค่าสูงขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษากระบวนการผลิตที่เหมาะสมของเนยแข็งเทียมชนิดทาจากโปรตีนรำข้าว

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการสกัดเรนเนตเคซีนจากนมพาสเจอร์ไรส์ขาดมันเนยโดยใช้เอนไซม์เรนเนตเพื่อผลิตเป็นเนยแข็งเทียมชนิดทา โดยสกัดโปรตีนจากรำข้าวด้วยสารละลายต่าง และจำแนกชนิดของโปรตีนในรำข้าวโดยอาศัยสมบัติการละลายของโปรตีน เพื่อทดแทนเคซีนในผลิตภัณฑ์ดังกล่าว หาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเรนเนตเคซีนต่อโปรตีนรำข้าว โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติสมบัติกับเนยแข็งชนิดทาในทางการค้าและเนยแข็งเทียมสูตรไม่เติมโปรตีนรำข้าว

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบกระบวนการผลิตที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียมชนิดทาจากโปรตีนรำข้าว และเป็นแนวทางการใช้ประโยชน์จากโปรตีนที่สกัดจากรำข้าว ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการขัดสีข้าว

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เนยแข็ง (Cheese)

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำน้ำนม ครีม หางเนย หรือหางนมอย่างใดอย่างหนึ่งมาผสมกับเอนไซม์ กรด หรือจุลินทรีย์ จนเกิดการรวมตัวเป็นก้อนหรือเคิร์ดแล้วแยกเอาน้ำออก เนยแข็งประกอบด้วยไขมันนม โปรตีน น้ำตาลแลคโตส แร่ธาตุ และน้ำ สัดส่วนของส่วนประกอบแต่ละตัวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของเนยแข็ง (วรรณา ตั้งเจริญชัยและวิบูลย์กิจ กาวิลละ, 2531)

2.1.1 การจำแนกชนิดของเนยแข็ง

เนยแข็งมีอยู่ประมาณ 18 ชนิด แต่มีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปถึง 400 กว่าชื่อตามสถานที่ผลิต และชื่อทางการค้าที่ตั้งขึ้น ชนิดของเนยแข็งจำแนกตามลักษณะเนื้อของเนยแข็ง (texture) แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.1.1.1 เนยแข็งชนิดแข็ง (Hard cheese)

1) เนยแข็งชนิดแข็งมาก (Very hard cheese) ได้แก่ เชดด้าชีส (Cheddar cheese) เนยแข็งที่ไม่มีโพรงอากาศที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างกรดแลคติก 1 เปอร์เซ็นต์ แล้วเติมเอนไซม์เรนเนต (rennet) 0.1 เปอร์เซ็นต์ และเนยแข็งที่มีโพรงอากาศ ได้แก่ สวิสชีส (Swiss cheese) ซึ่งใช้เชื้อจุลินทรีย์ *Streptococcus thermophilus* 0.1 เปอร์เซ็นต์ *Lactobacillus bulgaricus* 0.1 เปอร์เซ็นต์ และ *Propionobacterium shermanii* 0.005 เปอร์เซ็นต์ (ตัวที่ทำให้เกิดโพรงอากาศและกลิ่นหอม) และทำให้เกิดเคิร์ดโดยเอนไซม์เรนเนต

2) เนยแข็งชนิดกึ่งแข็ง (Semi hard cheese) ได้แก่ บลูชีส ที่ใช้เชื้อรา *Penicillium roqueforti* 3-4 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวบ่ม น้ำนมที่ใช้ควรเป็นน้ำนมของแพะและแกะ และเนยแข็งที่ใช้แบคทีเรียที่สร้างกรดแลคติกเป็นตัวบ่มน้ำนมสด คือ บรีคชีส (Brick cheese)

2.1.1.2 เนยแข็งชนิดอ่อน (Soft cheese)

1) เนยแข็งที่บ่มโดยเชื้อแบคทีเรีย ได้แก่ ลิมเบอเกอร์ชีส (Limburger cheese) ทำจากน้ำนมสดหรือน้ำนมขาดไขมัน ทำให้เกิดเคิร์ดโดยเอนไซม์เรนเนต ใช้การบ่มโดยอาศัยแบคทีเรียและเอนไซม์ที่มีในน้ำนมเพื่อย่อยโปรตีน

2) เนยแข็งที่บ่มโดยเชื้อรา ได้แก่ คาเมมเบิร์ตชีส (Camembert cheese) ทำจากน้ำนมสด เอนไซม์เรนเนต และเกลือ หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นพวก *Streptococcus lactis* และบ่มโดยเชื้อรา *Penicillium camemberti*

3) เนยแข็งที่ไม่มีการบ่ม ได้แก่ คอตเตจชีส (Cottage cheese) และครีมชีส (Cream cheese) (วรรณา ตั้งเจริญชัยและวิบูลย์กิจ กาวิลละ, 2531)

2.1.2 หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในเนยแข็ง

อัตราการผลิตและปริมาณกรดที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้น มีความสำคัญต่อลักษณะเนื้อของเนยแข็งแบบที่เรียกใช้แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

2.1.2.1 กลุ่มที่ผลิตสารชนิดเดียว (Homofermentative group)

แบบที่เรียกกลุ่มนี้จะผลิตกรดแลคติกจากน้ำตาลได้ 80-98 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่

- Streptococci เช่น *S. lactis* และ *S. cremoris*

- Lactobacilli เช่น *L. Thermophilli*, *L. helveticus* และ *L.lactis*

2.1.2.2 กลุ่มที่ผลิตสารมากกว่าหนึ่งชนิด (Heterofermentative group)

แบบที่เรียกกลุ่มนี้จะผลิตกรดอะซิติก กรดแลคติก เอทานอล และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แบบที่เรียกกลุ่มนี้ ได้แก่ *Leuconostoc citrovorum* และ *L. dextranicum*

การใช้แบบที่เรียก 2 กลุ่มร่วมกันจะได้ผลดีกว่าการใช้ตัวใดตัวหนึ่ง เพราะ Streptococci หรือ Lactobacilli จะใช้แลคโตสในการผลิตกรดแลคติก และกรดแลคติกที่สร้างขึ้นนี้ทำให้เกิดพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของ *Leuconostoc* ที่จะเปลี่ยนกรดซิทริกในน้ำนมให้เป็นไดอะซิติก ซึ่งเป็นที่มาของกลิ่นอะโรมาในผลิตภัณฑ์ (วรรณงา ตั้งเจริญชัยและวิบูลย์กิจ กาวีละ, 2531)

2.2 เนยแข็งเทียม (Imitation cheese)

เนยแข็งเทียม เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากนมทั้งหมด ใช้นมเพียงบางส่วน หรือไม่ใช้นมเป็นส่วนประกอบ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยทั่วไป เนยแข็งเทียมไม่นิยมใช้บริโภคในครัวเรือนแต่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น พิซซ่า ซึ่งต้องการเนยแข็งที่เหนียวและหลอมเหลวดี โดยไม่คำนึงถึงกลิ่นของเนยแข็งมากนัก (Muir *et al.*, 1999 และ Lobato-Callers *et al.*, 2002) กระบวนการผลิตเนยแข็งเทียมทั่วไป คือ การให้ความร้อนแก่น้ำมันพืช เติมน้ำตาลที่ทำให้เกิดอิมัลชันและตีรวมกับน้ำเพื่อทำให้เป็นเนื้อเดียว จากนั้นจึงเติมส่วนผสมอื่น เช่น เกลือและสีผสมอาหาร ก่อนปรับพีเอชให้เป็นกรด ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญเพราะมีผลโดยตรงกับลักษณะของเนยแข็งเทียม ผลิตภัณฑ์ที่ได้ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (Verman and Sutherland, 1973)

การพัฒนาการผลิตเนยแข็งเทียมเกี่ยวข้องกับการใช้ไขมันหรือโปรตีนจากแหล่งอื่น นอกเหนือจากที่มีในนม ให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่น และลักษณะเนื้อสัมผัสไม่ต่างจากเนยแข็งทั่วไป (Middleton, 1989; Santos *et al.*, 1989; Budiman *et al.*, 2000; Mousey and O'Riordan, 2001; Lobato-Callers *et al.*, 2002)

ตารางที่ 2.1 ชนิดของส่วนผสมเนยแข็งเทียม

ชนิดที่ไม่ใช้ส่วนประกอบของนม

น้ำมันถั่วเหลือง

โปรตีนถั่วเหลือง

สารปรุงแต่งกลิ่น

ชนิดที่ใช้ส่วนประกอบของนมบางส่วน

เคซีน และ/หรือ เคซีนต

น้ำมันถั่วเหลือง

เนยแข็งคัดแปรด้วยเอนไซม์ และ/หรือ สารปรุงแต่งกลิ่น

ชนิดที่ใช้ส่วนประกอบของนม

เคซีน และ/หรือ เคซีนต

ไขมันเนย

เนยแข็งคัดแปรด้วยเอนไซม์

เนยแข็ง

หมายเหตุ ทุกชนิดมีเกลือ โซเดียมคลอไรด์ สารปรุงแต่งสี และสารให้ความคงตัวเป็นส่วนผสม

ที่มา : ดัดแปลงจาก Verman and Sutherland (1973)

2.3 ไขมัน (Fat)

การผลิตเนยแข็งเทียมจะใช้ไขมันจากแหล่งอื่นหรือไขมันที่มีในน้ำนม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อไม่ต่างจากเนยแข็งเทียมทั่วไป เช่น

2.3.1 ไขมันนม (Milk fat)

ไขมันนมมีลักษณะทรงกลม หรือ globules อยู่ในสภาพของอิมัลชันในน้ำนม เม็ดไขมันนมมีขนาดเล็กตั้งแต่ 0.1 ไมครอน จนถึง 22 ไมครอน โดยเฉลี่ยแล้วประมาณ 2-4 ไมครอน เม็ดไขมันนม จะแขวนลอยอยู่ในส่วนที่เป็นของเหลว (น้ำ) แขวนลอยอยู่แบบ oil-in-water emulsion เม็ดไขมันจะทำหน้าที่เป็นส่วนกระจาย (dispersing phase) และของเหลวเป็นตัวกลาง (medium) หรือส่วนโครงสร้าง (stationary phase) เม็ดไขมันมีสารประกอบประเภทคอเลสเตอรอลเคลือบอยู่ด้านนอกเป็นชั้น เม็ดไขมันมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าโดยแต่ละเม็ดจะมีสภาพเป็นประจุไฟฟ้าลบซึ่งผลึกซึ่งกันและกัน ถ้าสามารถทำลายคอเลสเตอรอลที่ล้อมรอบไขมันให้หลุดออกไปได้ เม็ดไขมันขนาดเล็กๆ เหล่านี้จะสามารถรวมตัวกันเป็นเม็ดไขมันขนาดโต (วรรณภา ตั้งเจริญชัยและวิบูลย์กิจ กาวิลละ, 2531)

เนยแข็งเทียมบางชนิดใช้ไขมันจากนมเป็นส่วนผสม (Santos *et al.*, 1989) ซึ่งจากงานวิจัยของ Dimitreli and Thomareis (2003) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิและองค์ประกอบทางเคมีที่มีต่อความหนืดของโพรเซสชีส ชนิดเกดาร์ (Gouda cheese) ที่มีไขมันนมและหางนมเป็นส่วนผสม พบว่าเมื่อปริมาณโปรตีนสูงขึ้น อุณหภูมิและความชื้นลดลง โพรเซสชีสที่ได้มีความหนืดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การใช้ไขมันนมในผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียมจะส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ จากงานวิจัยของ Tamime และคณะ (1998) ซึ่งศึกษาการยอมรับลักษณะเนื้อสัมผัสและสมบัติการไหลของเนยแข็งเทียมที่ใช้ไขมันนมเปรียบเทียบกับสารทดแทนไขมันอื่นๆ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันนมจะมีปริมาณเม็ดไขมันมากกว่าสารทดแทนไขมันอื่นๆ ซึ่งส่งผลต่อสมบัติการไหล แรงกดการทา และความเหนียวที่แตกต่างกัน โดยความเหนียวจะเพิ่มขึ้นในช่วง 2 เดือนแรกก่อนจะคงที่ และการใช้ไขมันนมในผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียมที่มีความชื้นอยู่ในช่วง 42.5-50.0 เปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบกับใช้น้ำมันพืช พบว่าเนยแข็งเทียมที่ใช้ไขมันนมมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่นและมีความยืดหยุ่นสูงกว่าเนยแข็งเทียมที่ใช้น้ำมันพืชเป็นส่วนผสม (Budiman *et al.*, 2000) อย่างไรก็ตาม Muir และคณะ (1998) พบว่าปริมาณไขมันนมที่ใช้ไม่มีผลต่อความหนืดของผลิตภัณฑ์ แต่จะมีกลิ่นครีมและเนยซึ่งสามารถแยกได้อย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับเนยแข็งเทียมที่ใช้ไขมันชนิดอื่น

2.3.2 น้ำมันพืช (Vegetable oil)

น้ำมันพืช หรือไขมันที่พบในธัญพืช เช่น ข้าวเจ้า ข้าวบาร์เลย์ ถั่วเหลือง เมล็ดทานตะวัน ฯลฯ ซึ่งในน้ำมันพืชแต่ละชนิด จะมีชนิดของกรดไขมันและสัดส่วนที่แตกต่างกัน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) กรดไขมันบางชนิดเป็นกรดไขมันจำเป็นที่ร่างกายไม่สามารถสร้างได้ แต่บางชนิดมีส่วนทำให้เกิดปัญหาสุขภาพ โดยในน้ำมันพืชจะมีกรดไขมัน 3 ประเภท คือ กรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน ซึ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว หรือ MUFA เป็นกรดไขมันที่ช่วยลดคอเลสเตอรอลที่ไม่ดี หรือ LDL-C โดยไม่ลดคอเลสเตอรอลที่ดี หรือ HDL-C (Eritsland, 2000) นอกจากนี้ ในน้ำมันพืชยังมีวิตามินอีซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ช่วยลดความเสี่ยงของเซลล์ โดยเฉพาะน้ำมันรำข้าว ที่มีโอริซานอลซึ่งเป็นสารที่ต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าวิตามินอี 6 เท่า (ไมตรี สุทธิจิตต์, 2545)

การผลิตเนยแข็งเทียมโดยใช้ไขมันจากสัตว์หรือจากพืช ทำให้ต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าการใช้ไขมันนม แต่เนื่องจากปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจเกี่ยวกับสุขภาพกันมากขึ้น ทำให้การใช้ น้ำมันพืช เป็นสารทดแทนไขมันนมในผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียมเพิ่มมากขึ้น (Middleton, 1989; Mousey and O'Riordan, 2001) โดยน้ำมันพืชที่นิยมใช้ เช่น น้ำมันดอกทานตะวันและน้ำมันคาโนลา เช่น งานวิจัยของ Lee and Klostermeyer (2001) ซึ่งผลิตเนยแข็งเทียมชนิดทาโดยใช้ น้ำมันดอกทานตะวันตีผสมกับ โซเดียมเคซีเนต น้ำ และเกลือ โซเดียมฟอสเฟต เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ นอกจากนี้งานวิจัยของ Lobatos-Calleros และคณะ (2002) ที่ผสมน้ำมันคาโนลากับหางนมผง และ

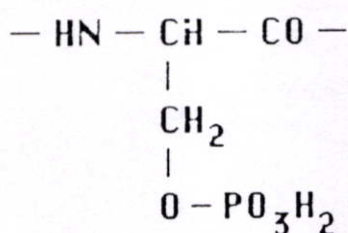
สารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ พบว่าผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียมแมนชีโก้ (Manchego cheese-like) ที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่ม การสปริงตัวต่ำ มีความเหนียวและการเกาะตัวดีกว่าเนยแข็งเทียมที่ใช้ไขมันนม

2.4 โปรตีน (Protein)

แหล่งของโปรตีนที่ใช้ในการผลิตเนยแข็งเทียม ส่วนใหญ่นิยมใช้โปรตีนนม เช่น เคซีน หางนมผง โซเดียมเคซีนเต และแคลเซียมเคซีนเต เป็นต้น นอกจากนี้อาจใช้โปรตีนจากพืชเพื่อทดแทนโปรตีนนมบางส่วนหรือทั้งหมด (Bachman, 2001) เช่น โปรตีนถั่ว (Santos, 1989) น้านมถั่วเหลืองและโปรตีนถั่วเหลือง

2.4.1 เคซีน (Casein)

เคซีนเป็นโปรตีนที่มีประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนนมทั้งหมด เคซีนอยู่ในสภาพของไมเซลล์ (micelles) แต่ละไมเซลล์ประกอบด้วยเคซีนชนิดแอลฟา-เอส (α -s), บีตา (β), แคลป้า (K) และแกมมา (γ) ในจำนวนที่แตกต่างกันไป ซึ่งทำให้ขนาดของไมเซลล์แตกต่างกันตั้งแต่ไม่น้อยกว่า 10 มิลลิไมครอน จนถึง 780 มิลลิไมครอน ในทางเคมีแล้ว ระบบเคซีน (casein system) เป็นไกลโค-ฟอสโฟ-โปรตีน (glyco-phospho-protein) ดังแสดงในภาพที่ 2.1 เนื่องจากประกอบด้วยส่วนของคาร์โบไฮเดรต หรือ glyco-group และฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นส่วนที่เรียกว่าเป็น integral parts ของโปรตีน ไมเซลล์ของเคซีนจะปรากฏอยู่ในสภาพที่สมดุลกับเคซีนส่วนที่ละลายได้ (soluble casein) (วรรณา ตั้งเจริญชัยและวิบูลย์กิจ กาวิตะ, 2531)



ภาพที่ 2.1 Serine residue esterified with phosphoric acid

ที่มา : Verman and Sutherland (1973)

เคซีนไมเซลล์ในน้านม มีคุณสมบัติเป็นคอลลอยด์ที่มีลักษณะเป็นโปรตีนก้อนกลม (globular particles) และยังอยู่ในสภาพของเกลือแคลเซียม จึงเรียกว่าแคลเซียมเคซีนเต (calcium caseinate) แต่ละไมเซลล์ประกอบด้วยองค์ประกอบทั้งหมดของเคซีน คือ α -s, β , K และ γ โดยจะอยู่รวมกันกับแคลเซียมฟอสเฟต ดังนั้น เคซีนจึงไม่อยู่ในสภาพของสารละลายในน้านม แต่เป็น

คอลลอยด์ที่แขวนลอยอยู่ตลอดเวลา อัตราส่วนของเคซีนแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นไมเซลล์ จะแตกต่างกันออกไป (วรรณา ตั้งเจริญชัยและวิบูลย์กิจ กาวิลละ, 2531) Konstane และ Strange (1991) ศึกษาผลของอุณหภูมิ พีเอช ชนิดของเกลือ และความเข้มข้นที่มีต่อการละลายและความหนืดของแคลเซียมเคซีนเนต โซเดียมเคซีนเนต และเรนเนตเคซีน พบว่าที่พีเอช 5.6-6.2 โปรตีนทุกชนิดสามารถละลายน้ำได้ดีเมื่อเติมโซเดียมฟอสเฟต และที่พีเอชสูงกว่า 4.6 ความหนืดของสารละลายโปรตีนจะเพิ่มสูงขึ้น 1-2 เท่า การเติม NaH_2PO_4 จะไปจำกัดการละลายน้ำของเรนเนตเคซีน ทำให้โปรตีนมีความหนืดมากขึ้น

แคลเซียมไอออนมีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างของไมเซลล์ ตลอดจนคุณสมบัติของเคซีน เช่น ความหนาแน่นเคซีนไมเซลล์เท่ากับ 1.43 แต่ soluble casein มีความหนาแน่นเพียง 1.37 Casein-calcium phosphate combination ที่พบในน้ำนม นั้น เรียกว่าเป็นสารประกอบเชิงซ้อน แคลเซียมเคซีนเนต (calcium caseinate complex) หรือสารประกอบเชิงซ้อนแคลเซียมเคซีนเนต-แคลเซียมฟอสเฟต (calcium caseinate-calcium phosphate complex) จากงานวิจัยของ O'Sullivan และคณะ (2001) ซึ่งศึกษาองค์ประกอบ คุณลักษณะของเรนเนตเคซีน 10 ชนิด และการแสดงออกของเรนเนตเคซีนในเนยแข็งเทียมชนิดมอสซาเรลลา พบว่า ไม่มีความแตกต่างของเคซีนที่ใช้เป็นส่วนผสมในเนยแข็งเทียม ส่วนการละลายของโปรตีนและแคลเซียม ขึ้นกับระดับความเข้มข้นของไดโซเดียมอโทฟอสเฟต และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่ (มากกว่า 75 นาที) ที่โปรตีน ความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะทำให้เห็นความแตกต่างของการละลายของโปรตีนและแคลเซียม ซึ่งอยู่ในช่วง 0.025-0.040 กรัมต่อมิลลิลิตร ทั้งนี้เนื่องจากมีความเข้มข้นของเกลือเท่ากัน ในระหว่างการแช่ ปฏิกริยาระหว่างแคลเซียม-โปรตีน-โปรตีน จะถูกรบกวนในอัตราที่ต่างกัน

ในทางอุตสาหกรรมจะเตรียมเคซีนได้จากหางนม หรือนมพร้อมมันเนย โดยใช้วิธีการตกตะกอนด้วยกรด หรือด้วยวิธีการทำให้เกิดการสร้างกรดแลคติกในน้ำนมด้วยแบคทีเรีย หรืออาจใช้วิธีเติมเอนไซม์เรนเนต หากใช้กรดเป็นตัวตกตะกอน ประจุไฟฟ้าของเคซีนจะถูกทำให้เป็นกลางโดยปกติแล้วความเป็นกรดของน้ำนม พีเอชประมาณ 6.6 ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรดเล็กน้อย หากลดพีเอชต่ำลงด้วยการเติมกรดอื่นๆ เคซีนจะไม่มีน้ำหนัก และที่สุดจะตกตะกอนที่พีเอช 4.7 เรียกสภาวะของความเป็นกรดขณะนี้ว่าจุดไอโซอิเล็กทริก (Isoelectric point) ของเคซีน ซึ่งเป็นสภาวะที่เคซีนมีประจุไฟฟ้ารวมเท่ากับศูนย์ (หรือมีสภาพเป็นกลาง) กรดที่สามารถใช้ตกตะกอนเคซีน ได้แก่ กรดแลคติก กรดอะซิติก และกรดซัลฟูริก เคซีนเมื่อถูกทำให้ตกตะกอนแล้วจะถูกกรองแยกออกมาทำให้แห้ง หรืออาจทำให้เป็นเกลือเคซีนเนต (caseinate) ด้วยการเติมสารละลายด่าง หากใช้เอนไซม์ตกตะกอน พบว่าเคซีนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพาราเคซีน (para-casein) ซึ่งพบในเนยแข็งต่างๆ ไป (วรรณา ตั้งเจริญชัยและวิบูลย์กิจ กาวิลละ, 2531)

2.4.2 โปรตีนรำข้าว (Rice bran protein)

ส่วนประกอบของรำข้าวขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ทั้งจากพันธุ์ข้าวและกระบวนการขัดสีข้าว ดังนั้น ส่วนประกอบของรำข้าวจึงมีช่วงกว้าง ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ โดยน้ำหนักแห้ง)	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
โปรตีน	11.5	17.2
ไขมัน	12.8	22.6
เส้นใย	6.2	14.4
เถ้า	8.0	17.7
ไนโตรเจนอิสระ	33.5	53.5

ที่มา : คัดแปลงจาก Bor (1980)

โดยทั่วไป รำข้าวจะมีปริมาณเถ้าและเส้นใยสูง แต่มีปริมาณโปรตีนและไขมันต่ำ อย่างไรก็ตาม รำข้าวถือเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญเพราะมีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นสูง (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) โดยโปรตีนสกัดจากรำข้าว ประกอบด้วยกรดอะมิโนวาเลีน ซีสทีน เฟนิลอะลานีน ทรีโอนีน ฮีสทีดีน อาร์จินีน อะลานีน กรดแอสพาร์ติก และไกลซีน ในปริมาณที่ใกล้เคียงหรือสูงกว่าเคซีน และมีลิวซีน วาเลีน เมทิลโอนีน ฮีสทีดีน อาร์จินีน ซีสทีน เฟนิลอะลานีน ไทโรซีน ทรีโอนีน และทริปโตเฟน ในปริมาณที่ใกล้เคียงหรือสูงกว่าโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (soy protein isolate) และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความต้องการของกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายสำหรับทารก (essential amino acid requirement for infant) ดังตารางที่ 2.3 พบว่าโปรตีนสกัดจากรำข้าวประกอบด้วยกรดอะมิโนวาเลีน ฮีสทีดีน และไทโรซีนในปริมาณสูง (63 29 และ 33 มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน ตามลำดับ) แต่มีปริมาณลิวซีน ไอโซลิวซีน ไลซีน ทรีโอนีน และทริปโตเฟนในปริมาณต่ำ (74 39 47 37 และ 12 มิลลิกรัมต่อโปรตีน ตามลำดับ) โดยมีปริมาณใกล้เคียงกับกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายของเด็กในวัย 2-5 ปีเกือบทุกชนิด ยกเว้นกรดอะมิโนไลซีนและทรีโอนีนซึ่งมีปริมาณต่ำกว่า (47 และ 37 มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน) นอกจากนี้ Hamada และคณะ (1998) พบว่ากรดอะมิโนกลูตามิกแอซิดที่พบในโปรตีนรำข้าวเป็นสารที่เพิ่มกลิ่นหอมให้แก่โปรตีนรำข้าว โดยในรำข้าวมีโปรตีนประมาณ 12.0-15.6 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนที่พบในรำข้าวประกอบด้วยแอลบูมิน โกลบูลิน โพรลามีน และกลูเตลินที่ละลายในสภาวะกรด ปริมาณ 34 15 6 และ 11 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมดและมีขนาด 10-100 กิโลดาลตัน 10-150 กิโลดาลตัน 33-150 กิโลดาลตัน และ 25-100 กิโลดาลตัน ตามลำดับ การสกัดโปรตีนรำข้าวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

สามารถสกัดโปรตีนได้ 95 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมด โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำลายพันธะไดซัลไฟด์ของโปรตีน ทำให้มีขนาดโมเลกุล 45-150 กิโลดาลตัน การทำลายครอสลิงค์ระหว่างพันธะไดซัลไฟด์ของโปรตีน จะทำให้โปรตีนเกาะตัวกันและตกตะกอนลงมา (Hamada, 1997)

ตารางที่ 2.3 ปริมาณกรดอะมิโนของโปรตีนสกัดจากรำข้าวเปรียบเทียบกับเคซีน โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง กรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายสำหรับทารก และกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายของเด็กในวัย 2-5 ปี (มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน)

Amino acids	RBPI	Casein	Soy protein isolate	infant	2-5 years
Histidine	29	32	25	26	19
Isoleucine	39	54	47	46	28
Leucine	74	95	79	93	66
Lysine	47	85	61	66	58
Methionine & Cystine	38	35	25	42	25
Phenylalanine & Tyrosine	79	114	87	72	63
Threonine	37	42	37	43	43
Tryptophan	12	14	12	17	11
Valine	63	63	48	55	35

ที่มา : Wang *et al.* (1999)

การสกัดโปรตีนรำข้าวทำได้โดยอาศัยสมบัติการละลายของโปรตีนที่ละลายได้ดีในสภาวะด่างและตกตะกอนโปรตีนที่จุดไอโซอิเล็กตริก (isoelectric point) ด้วยสารละลายกรด รำข้าวที่ผ่านและไม่ผ่านความร้อน มีปริมาณไนโตรเจนที่ละลายน้ำได้สูงสุดที่พีเอช 8 และสามารถสกัดโปรตีนได้มากขึ้น ตั้งแต่พีเอช 7.5-11.0 ซึ่งพีเอช 9 เป็นพีเอชที่ดีที่สุดในการสกัดโปรตีนรำข้าว โดยสกัดโปรตีนได้มากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมด แต่ที่พีเอช 12 จะสกัดโปรตีนได้ลดลงเนื่องจากโปรตีนไม่สามารถละลายได้ที่พีเอชนี้ แม้ว่ารำข้าวที่ผ่านความร้อนจะยับยั้งเอนไซม์ไลเปสและยับยั้งการเก็บรักษารำข้าว แต่มีผลต่อทั้งปริมาณและคุณภาพของโปรตีนที่สกัดได้ คือสกัดโปรตีนได้ต่ำและมีกรดอะมิโนไม่ครบ ต่างจากโปรตีนที่สกัดได้จากรำข้าวที่ไม่ผ่านความร้อน (Gnanasambandam and Hettiarachchy, 1995)

นอกจากการสกัดโปรตีนรำข้าวด้วยวิธีทางเคมีแล้ว ยังสามารถสกัดได้โดยวิธีทางกายภาพ Anderson และ Guraya (2001) ศึกษาการสกัดโปรตีนรำข้าวด้วยวิธีกายภาพ โดยเปรียบเทียบระหว่างรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมัน รำข้าวที่ไม่ผ่านการสกัดไขมันแต่ผ่านความร้อน และรำข้าวที่ไม่ผ่านทั้งการสกัดไขมันและความร้อน จากการทดลองพบว่าหลังจากการบดรำข้าวที่ไม่ผ่านการสกัดไขมันและความร้อน สามารถสกัดโปรตีนได้สูงสุด โดยเพิ่มจาก 21.8 เป็น 33.0 เปอร์เซ็นต์ และหลังจากที่ทำให้รำข้าวเป็นเนื้อเดียวกัน สกัดโปรตีนได้เพิ่มขึ้นเป็น 38.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่างจากรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันจะมีโปรตีนเพิ่มจาก 13.9 เป็น 14.7 เปอร์เซ็นต์หลังจากการบด และ 16.5 เปอร์เซ็นต์หลังจากทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน

การจำแนกชนิดของโปรตีนข้าว โดยทั่วไปสามารถจำแนกได้ตามหลักของ Osbone ซึ่งใช้สมบัติการละลายในตัวทำละลายเฉพาะของโปรตีนแต่ละชนิด ได้ดังนี้

1. แอลบูมิน (albumin) เป็นโปรตีนที่ละลายได้ในน้ำหรือละลายในน้ำที่มีกรดอยู่เพียงเล็กน้อยและตกตะกอนทันทีเมื่อได้รับความร้อน
2. โกลบูลิน (globulin) เป็นโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือที่เจือจาง (สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์) และเป็นกลาง ไม่ค่อยละลายในน้ำและไม่ละลายในสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นสูง
3. โพรลามิน (prolamin) เป็นโปรตีนที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์ (ความเข้มข้น 60-80 เปอร์เซ็นต์) ละลายได้ดีในสารละลายเอทานอล แต่ไม่ละลายน้ำและสารละลายเกลือเจือจาง
4. กลูเตลิน (glutelin) เป็นโปรตีนที่ละลายได้ดีในสารละลายด่างหรือกรดเจือจาง (โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์) โดยไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกลาง แอลกอฮอล์ น้ำ และสารละลายเกลือเจือจาง

จากงานวิจัยของ Lander and Hamaker (1994) รายงานว่าการสกัดโปรตีนรำข้าวโดยใช้น้ำในการละลายโปรตีนชนิดแอลบูมิน ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ในการละลายโปรตีนชนิดโกลบูลิน ใช้สารละลายเอทานอล ความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ในการละลายโปรตีนชนิดโพรลามิน และใช้สารละลายผสมลอริลซัลเฟต (lauryl sulfate) ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ กับ 2-เมอร์แคปโทเอทานอล (2-mercaptoethanol) ความเข้มข้น 0.6 เปอร์เซ็นต์ในสารละลายบอเรตบัฟเฟอร์ (borate buffer) พีเอช 10 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ในการละลายโปรตีนชนิดกลูเตลิน พบว่ามีปริมาณแอลบูมินสูงสุด รองลงมา คือ โกลบูลินและกลูเตลิน และมีปริมาณโพรลามินต่ำมาก ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ชนิดของโปรตีนในรำข้าวที่สกัดไขมัน

Protein Class	% of Flour (dwb) ^b	% of Total Protein
Albumin	5.4 (0.3)	28.8
Globulin	4.2 (0.2)	22.2
Prolamin	0.4 (0.4)	0.0
Glutelin	3.8 (0.1)	20.3
Nonextractable	5.0 (0.1)	26.7
Recovery	100.5	

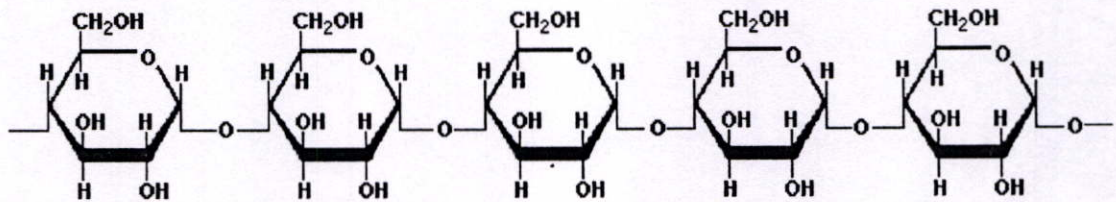
^a N x 5.95.

^b Rice Bran contain 18.7% protein (dwb). Mean (standard deviation in parentheses).

ที่มา : Lander and Hamaker (1994)

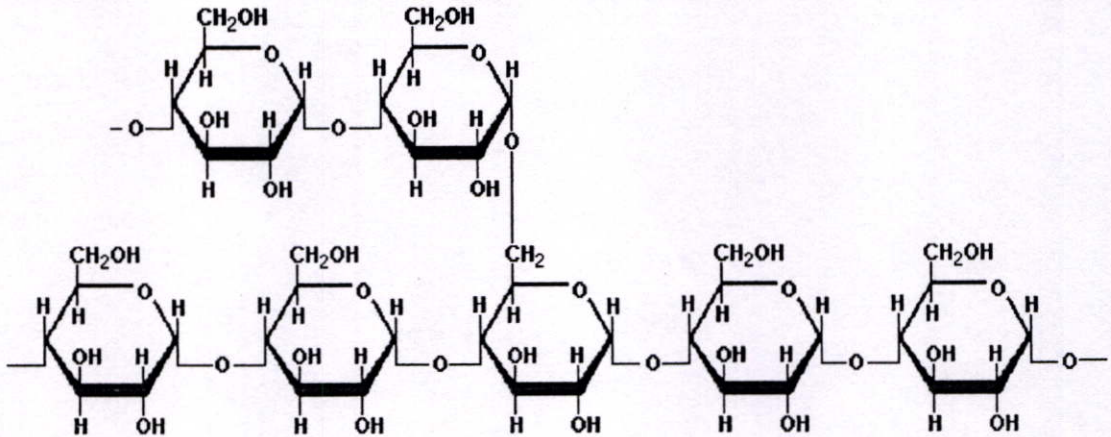
2.5 สตาร์ช (Starch)

แป้งเป็นโพลีแซกคาไรด์ที่สะสมในพืชอยู่ในส่วนของเมล็ด หัว ราก และในลำต้น คุณสมบัติทางกายภาพและลักษณะปรากฏจะแตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของพืช สตาร์ชเป็นโฮโมโพลีเมอร์ของกลูโคส อยู่ในรูปของแอลฟา-ดี-กลูโคไพรานอไซด์ (alpha-D-glucopyranoside) ประกอบด้วยโพลีเมอร์ 2 ชนิด คือ อะไมโลส (amylose) มีโครงสร้างเป็นสายตรง (strength chain) ดังแสดงในภาพที่ 2.2 และอะไมโลเพกทิน (amylopectin) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นกิ่งสาขา (branch chain) ดังแสดงในภาพที่ 2.3 โดยพันธะไกลโคซิดิกของอะไมโลสจะเป็นแบบแอลฟา-1,4 ในขณะที่พันธะไกลโคซิดิกของอะไมโลเพกทินจะมีทั้งแบบแอลฟา-1,4 ในช่วงที่เป็นสายตรงและแอลฟา-1,6 ในช่วงที่เป็นกิ่งหรือสาขา



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างอะไมโลส

ที่มา : Tester (2004)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างอะไมโลเพคติน

ที่มา : Tester (2004)

คุณสมบัติที่เด่นของเม็ดสตาร์ชในน้ำระหว่างการให้ความร้อน เริ่มจากเม็ดสตาร์ชจะค่อยๆ ดูดซับน้ำได้มากขึ้นและพองตัว (swelling) ของผสมจากขุ่นจะเริ่มใส มีความหนืด เมื่อถึงอุณหภูมิหนึ่งซึ่งเม็ดสตาร์ชมีการพองตัวเต็มที่ มีความหนืดสูงสุดเรียกว่าการเกิดเจลลาติไนส์ สตาร์ชจากมันฝรั่งสามารถเกิดเจลลาติไนส์ได้ที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส แป้งข้าวโพดเกิดเจลลาติไนส์ได้ที่อุณหภูมิ 75-80 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าสตาร์ชจากพืชแต่ละชนิดมีความสามารถในการเกิดเจลลาติไนส์ได้แตกต่างกัน ฉะนั้น การนำสตาร์ชมาใช้ในอาหารเป็นสารทำให้เกิดความข้นหนืดจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติต่างๆ เช่น ชนิดของสตาร์ช คุณลักษณะในการเกิดเจลลาติไนส์ เป็นต้น (วุฒิชัย นาครักษา, 2536) โดยเจลที่ได้สามารถใช้เป็นสิ่งที่ทำให้เกิดเนื้อสัมผัสแก่อาหารได้ เช่น ซอส น้ำเกรวี่ ซุป ซึ่งอาหารเหล่านี้มักมีไขมันเป็นส่วนผสม ดังนั้นในการศึกษาพฤติกรรมการไหลของแป้งเจลในระบบอาหารจึงศึกษาปฏิกริยาร่วมระหว่างแป้งและไขมัน Navarro และคณะ (1996) ศึกษาพฤติกรรมการไหลของแป้ง ที่ตีผสมกับน้ำมัน โม โกลิเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ที่มีระดับความอิ่มตัว (degree of saturated) แตกต่างกัน พบว่าการเติมน้ำมันทำให้เจลแป้งมีความหนืดเพิ่มขึ้น ส่วนการเติมน้ำมันที่ไม่อิ่มตัวจะให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จึงได้มีการใช้แป้งในการปรับปรุงลักษณะเนื้อของผลิตภัณฑ์เนยเทียม Mounsey และ O'Riordan (2001) ศึกษาลักษณะของเนยแข็งเทียมที่ใช้แป้ง 3 เปอร์เซ็นต์เป็นส่วนผสม แป้งที่ใช้ ได้แก่ แป้งข้าวโพด แป้งข้าวโพดข้าวเหนียว แป้งสาลี แป้งมันฝรั่ง และแป้งข้าว เปรียบเทียบกับเนยแข็งที่ไม่ได้ใส่แป้ง พบว่าเม็ดไขมันในตัวอย่างที่มีแป้งเป็นส่วนผสม (ยกเว้นแป้งสาลี) จะมีขนาดเล็กกว่าตัวอย่างควบคุม มีการหลอมเหลวและการเกาะตัวกันลดลง เนยแข็งเทียมที่ใช้แป้งสาลี แป้งมันฝรั่ง หรือแป้งข้าวโพดจะมี

ลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่นขึ้น แต่จะลดลงเมื่อใช้แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าว ดังแสดงในตารางที่ 2.5 นอกจากนี้ พบว่าแป้งข้าวมีความเหมาะสมที่สุดในการทดแทนเคซีนในผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียม

ตารางที่ 2.5 ค่าการหลอมเหลว ความแข็ง และการเกาะตัวกันของผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียมที่ไม่ผสมและผสมแป้งชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก*

Starch Type	Melt (mm)	Hardness (N)	Cohesiveness
No starch (control)	185.6 ^a	110.2 ^b	0.252 ^a
Maize	99.3 ^c	116.4 ^a	0.19 ^d
Waxy-maize	117.5 ^d	75.2 ^d	0.189 ^d
Wheat	139.6 ^c	120.8 ^a	0.224 ^b
Potato	105.8 ^c	117.3 ^a	0.201 ^{c,d}
Rice	149.1 ^b	88.8 ^c	0.259 ^a

* ตัวอักษรกำกับเหมือนกันในแนวตั้งแสดงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)
ที่มา : Mounsey and O'Riordan (2001)

นอกจากจะใช้แป้งปกติเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียม Bindzus และคณะ (2002) ได้ใช้แป้งดัดแปรในการผลิตเนยแข็งเทียม โดยศึกษาการปรับปรุงการฉีกขาด การหลอมเหลว และลักษณะเนื้อสัมผัสของเนยแข็งเทียมที่ใช้แป้งดัดแปร 3 ชนิดเป็นส่วนผสม ได้แก่ แป้งข้าวเหนียวที่ย่อยด้วยออกทินิลซัคซิเนต (waxy debranched octenyl succinate anhydride starch) แป้งข้าวโพดย่อยกรด (acid converted corn starch) และแป้งฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์ (starch phosphate monoester) จากการศึกษาพบว่าเนยแข็งเทียมที่ใช้แป้งฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์ สามารถปรับปรุงการฉีกขาดและความยืดหยุ่นของเนยแข็งเทียมที่ต้องการสภาวะการหลอมเหลวที่ปานกลาง ไม่หลอมง่ายหรือยากเกินไปเมื่อเทียบกับเนยแข็งเทียมที่ใช้แป้งดัดแปรอื่นๆเป็นส่วนผสม

2.6 สารอิมัลซิไฟเออร์

การเติมสารอิมัลซิไฟเออร์เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ อิมัลซิไฟเออร์ที่นิยมใช้ในการผลิตเนยแข็งเทียม ส่วนมากเป็นเกลือโซเดียม เช่น ไดโซเดียมฟอสเฟต (Na_2HPO_4) ไตรโซเดียมฟอสเฟต (Na_3PO_4) เตตระโซเดียมไพโรฟอสเฟต ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) โซเดียมพอลิฟอสเฟต (NaPO_3)_n โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) และไตรโซเดียมซิเตรท ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) เป็นต้น (Lee and Klostermeyer, 2001; Dimitreli *et al.*, 2003) เกลือเหล่านี้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เช่น ฟีเอช การละลาย และความสามารถในการจับ (chelating) กับแคลเซียมไอออน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะต่างกัน (วัลย์รุจิ วิเชียรทวี, 2540) เนื่องจากสารอิมัลซิไฟเออร์แต่ละชนิดให้ผลต่อผลิตภัณฑ์อาหารต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยั้งที่ต้องเลือกใช้อิมัลซิไฟเออร์แต่ละชนิดให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ O'Sullivan และ Mulvihill (2001) ใช้ไดโซเดียมอโทฟอสเฟตเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ในการผลิตเนยแข็งเทียมชนิดมอสซาเรลลา พบว่าการละลายของโปรตีนและแคลเซียมในเรนเนดเคซีน 10 ชนิดมีค่าแตกต่างกัน อาจเนื่องจากความสามารถของไดโซเดียมอโทฟอสเฟตในการรบกวนการจับกันระหว่างแคลเซียมและโปรตีน ซึ่งจะทำให้โปรตีนเกิดการคลายตัวและละลายน้ำได้แตกต่างกัน หรืออาจใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ผสมในอัตราส่วนต่างๆ เช่น โซเดียมไดฟอสเฟต โซเดียมพอลิฟอสเฟต โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตผสมกันเป็นสูตร 1 และสูตร 2 ใช้โซเดียมพอลิฟอสเฟต โซเดียมซิเตรต โซเดียมอโทฟอสเฟต และโซเดียมไดฟอสเฟต พบว่าค่าทางลักษณะเนื้อสัมผัสจะแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.6 และจากการวิเคราะห์ภาพ light microscopic ซึ่งให้เห็นว่าระดับของการเป็นอิมัลชันขึ้นกับชนิดของสารอิมัลซิไฟเออร์ผสมที่ใช้ และพบว่าสูตร 1 อัตราส่วน 30:40:30 และสูตร 2 อัตราส่วน 40:10:20:30 ให้เนยแข็งเทียมที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับเนยแข็งเทียมในทางการค้า (Awad *et al.*, 2001)

ตารางที่ 2.6 ลักษณะเนื้อสัมผัสของโปรเซสเรตชีสที่ใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ผสมในอัตราส่วนต่างๆ

TPA Parameters	PZO Control	P1	P2	P3
Springiness (cm)	0.958	0.963	0.964	0.974
Cohesiveness	0.762	0.799	0.812	0.853
Chewiness (g/cm)	72.2	68.7	67.9	67.1
Gumminess (g)	75.3	71.3	69.4	71
Adhesiveness (g/cm)	791	990	987	905
Hardness (g)	99.6	90.5	86.1	84.1

SPP: Na-polyphosphate, SC: Na-citrate, SOP: Na-orthophosphate, TSPP: Na-diphosphate.

P1, P2, P3: SPP + SC + SOP + TSPP in ratios of 50:20:20:10, 40:10:20:30, and 30:10:20:40.

ที่มา : คัดแปลงจาก Awad *et al.*, (2001)

นอกจากการใช้เกลือโซเดียมเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ได้มีผู้ทดลองใช้เลซิตินจากถั่วเหลืองเป็นอิมัลซิไฟเออร์ในการผลิตเนยแข็งไขมันต่ำ โดยทดแทนเลซิติน 0.2 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อลดไขมัน 33 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับเนยแข็งปกติและเนยแข็งไขมันต่ำที่ไม่ใช้เลซิตินเป็นอิมัลซิไฟเออร์ จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าเนยแข็งไขมันต่ำที่ใช้เลซิตินได้รับการยอมรับจากผู้ชิมมากกว่า เพราะมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มซึ่งเป็นลักษณะที่ต้องการในเนยแข็งไขมันต่ำ (Drake *et al*, 1996) หรือการใช้สารลดแรงตึงผิวเป็นอิมัลซิไฟเออร์ Lobatos-Calleros และคณะ (2002) เตรียมผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียมแมนชีโกเม็กซิกันจากนมผสมกับน้ำมันคาโนลา โดยใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดต่างๆ คือ โพลีเอทิลีนซอร์บิแทนมอนอสเตียเรต (P) ซอร์บิแทนมอนอสเตียเรต (S) และกลีเซอรอลมอนอสเตียเรต (G) เปรียบเทียบกับตัวควบคุมที่ทำจากนม พบว่าเมื่อความเข้มข้นของ G และความสมดุลระหว่างส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดไขมันจะเพิ่มขึ้น P ทำให้เนยแข็งเทียมมีความแข็งเพิ่มขึ้น ขณะที่ S ทำให้เนยแข็งเทียมมีสมบัติคล้ายของไหลมากขึ้น และเมื่อใช้น้ำมันคาโนลา 27 กรัมต่อลิตรอิมัลชัน สารอิมัลซิไฟเออร์ 3 กรัมต่อลิตรอิมัลชัน ในอัตราส่วน 0.5P-0.2S-0.3G ทำให้ได้เนยแข็งเทียมที่ใกล้เคียงกับเนยแข็งเทียมชุดควบคุมมากที่สุด

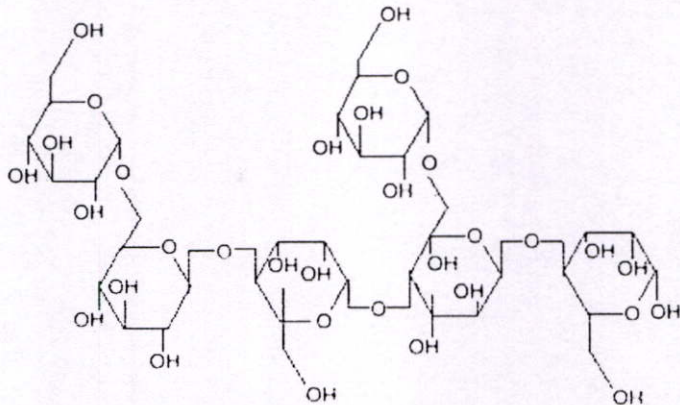
2.7 กัม

กัม หรือสารประกอบไฮโดรคอลลอยด์ คือ สารที่สามารถกระจายตัวได้ในน้ำแล้วให้สารละลายที่หนืดหรือสามารถทำให้เกิดเจลได้ ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนโพลีแซคคาไรด์ กัมชนิดต่างๆ มีความสามารถในการกระจายตัว การละลาย การให้ความหนืด ทำให้เกิดเจลหรือการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ต่างกันไปตามชนิดของกัม กัมเมื่อกระจายตัวอยู่ในสารละลายจะสามารถดูดน้ำในปริมาณมากและพองตัวอย่างรวดเร็ว ถ้าอนุภาคของกัมกระจายตัวไม่สม่ำเสมอหรือรวมตัวกันเป็นก้อน ทำให้อนุภาคภายในไม่สามารถดูดน้ำได้ เกิดเป็นลักษณะคล้ายเม็ดสาหร่าย (fish eyes) ซึ่งมีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น ในการใช้กัมจึงต้องให้อนุภาคของกัมกระจายอย่างสม่ำเสมอ โดยผสมกับวัตถุดิบอื่นๆ ที่เป็นผงแห้ง เช่น น้ำตาล เป็นดิน หรือละลายในน้ำร้อน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

2.7.1 กัวกัม (guar gum)

เป็นกัมธรรมชาติที่ได้จากต้นกัว ซึ่งเป็นพืชตระกูลถั่ว มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cyamopsis tetragonolobus* โครงสร้างของกัวกัมเป็นโพลีเมอร์กาแลกโตสแมนแนน มีโครงสร้างหลักเป็นโพลีเมอร์สายตรงของแมนโนส มีส่วนที่เป็นกิ่งคือ กาแลกโตส ทุกๆ 2 หน่วยของแมนโนส จะมีกิ่งของกาแลกโตสแยกออกมาเสมอ ดังแสดงในภาพที่ 2.4 (วุฒิชัย นาครักษา, 2536) กัวกัมสามารถดูดน้ำอย่างรวดเร็วและให้ค่าความหนืดสูง Haung และคณะ (2001) ศึกษาสมบัติการเป็นอิมัลชัน

ของกัม โดยใช้กัม 14 ชนิด ได้แก่ พอลิโพรพิลีน ไกลคอล อัลจินเต เจลแลน คาราจีแนน แซนแทน มัสตาร์ด เมล็ดฝ้าย เพกทิน เมทริลเซลลูโลส กัมอะราบิก โคล์สบินกัม กัวกัม โอ๊ต และเฟนูกรีก (fenugreek) ละลายกัมที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ผสมกับน้ำมัน 40 เปอร์เซ็นต์ และตีให้เป็นอิมัลชัน จากผลการทดลองพบว่าเฟนูกรีกเป็นกัมที่ทำให้อิมัลชันคงตัวมากที่สุด มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากสามารถลดแรงตึงผิวให้ต่ำ ทำให้เม็ดไขมันมีขนาดเล็กมาก (70 เปอร์เซ็นต์ มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน) ส่วนกัวกัมมีความหนืดสูงสุด



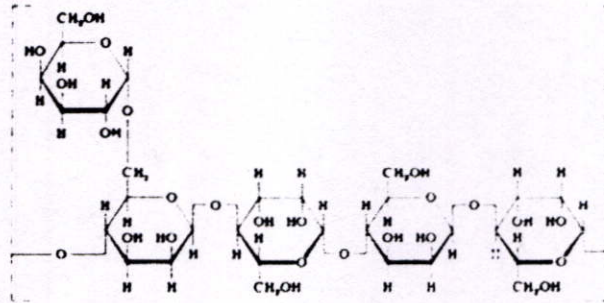
ภาพที่ 2.4 โครงสร้างกัวกัม

ที่มา : Nussinovitch (1997)

สอดคล้องกับ Shi and BeMiller (2001) ซึ่งทดลองเตรียมแป้งเปียกโดยใช้แป้งความเข้มข้น 3.6 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับความเข้มข้น 0.4 เปอร์เซ็นต์ พบว่ากัมชนิดต่างๆ ได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เจลแลน แซนแทน กัวกัม และโซเดียมอัลจินเต มีผลทำให้ความหนืดของแป้งเปียกแตกต่างกัน แป้งที่ใช้ ได้แก่ แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าว แป้งมันฝรั่ง และแป้งสาลี พบว่าพันธะระหว่างโมเลกุลของอะไมโลส และกัม ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นก่อนถึงอุณหภูมิแป้งเปียก และความหนืดของแป้งมันฝรั่งจะลดลงเมื่อใช้กัมที่มีประจุลบ (คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส คาราจีแนน อัลจินเต แซนแทน) ซึ่งสันนิษฐานว่าเกิดจากแรงผลักกันของประจุลบของหมู่ฟอสเฟตของแป้งมันฝรั่งและประจุลบของกัม และพบว่าแป้งข้าวเหนียวที่ใช้กัวกัมมีความหนืดสูงสุด รองลงมาคือ แซนแทน อัลจินเต และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ตามลำดับ

2.7.2 โลคอสมีนกัม (locoust bean gum)

เป็นกัมธรรมชาติที่สกัดได้จากพืชตระกูลถั่วที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Ceratonia siliqua* Linn. เป็นโพลีเมอร์กาแลกโตสแมนแนนเช่นเดียวกับกัวกัม แตกต่างกันที่กิ่งสาขาคือ ทุกๆ 4-5 หน่วยของแมนโนสจะพบสาขาของกาแลกโตส ดังแสดงในภาพที่ 2.5 คุณสมบัติที่เด่น คือ เป็นสารให้ความหนืดกับของผสมที่เป็นสารละลาย คงทนต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดต่างในช่วงพีเอช 3-11 ใช้มากในอุตสาหกรรมผลิตไอศกรีม (วุฒิชัย นาครัถยา, 2536)



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของโลคอสมีนกัม

ที่มา: Nussinovitch (1997)

2.7.3 กัมอะราบิก (gum arabic)

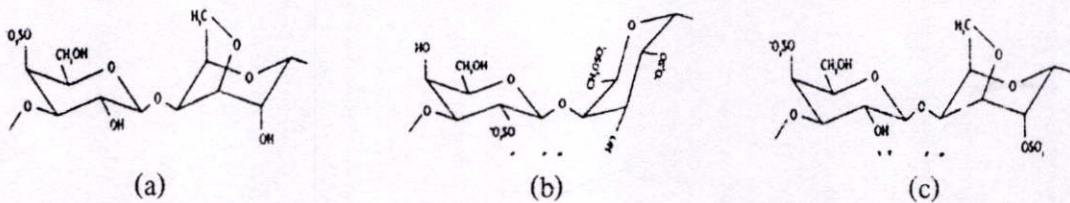
เป็นกัมธรรมชาติที่ได้จากน้ำยางของต้นไม้มที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Acacia senegal* เป็นโพลีเมอร์ของกาแลกโตส มีกิ่งสาขาเป็นกรดกลูโคโรนิก อะราบิโนส และแรมโนส เป็นกัมที่ละลายน้ำได้ดี ไม่ละลายในน้ำมันและแอลกอฮอล์ รวมทั้งตัวทำละลายที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ ความหนืดที่ได้จากกัมชนิดนี้ค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับกัมชนิดอื่น นิยมใช้เพื่อช่วยให้อิมัลชันคงตัว ซึ่งจากการใช้กัมอะราบิก และแป้งคัดแปร พบว่ามีผลทำให้ความคงตัวของอิมัลชันเพิ่มขึ้น (Chanamai and McClement, 2001)

2.7.4 กัมทรากาแคน (gum tragacanth)

เป็นกัมธรรมชาติที่ได้จากน้ำยางของต้นไม้มที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Astragalus gummifer* กัมชนิดนี้สามารถแยกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ละลายน้ำได้เรียกว่า ทรากาแคนทิน และส่วนที่ละลายน้ำไม่ได้เรียกว่า บาสไซริน ถ้านำกัมมาละลายน้ำจะเกิดการแขวนลอยของบาสไซรินโดยพองตัวเป็นวุ้น เมื่อนำมาควนให้เข้ากันจะได้ของผสมที่มีความหนืดคล้ายแป้งเปียก มีความเป็นกรดอ่อนๆ ค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 5-6 นำไปใช้ในการผลิตน้ำสลัด ซอส เป็นต้น (วุฒิชัย นาครัถยา, 2536)

2.7.5 คาราจีแนน (carrageenan)

เป็นกัมธรรมชาติที่ได้จากสาหร่ายสีแดงที่มีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่าไอร์แลนด์ (irish moss) ซึ่งมียูหลายสายพันธุ์ที่สำคัญคือ *Gigartina mamillata*, *Chondrus crispus* และ *Gigartina stellata* กัมชนิดนี้มีอยู่หลายชนิดขึ้นอยู่กับโครงสร้าง แต่ที่มีความสำคัญได้แก่ แคปป์ลา-คาราจีแนน (kappa-carrageenan) และแลมบ์ดา-คาราจีแนน (lambda-carrageenan) โครงสร้างของคาราจีแนน เป็นโพลีเมอร์ของกาแลกโตสสายตรงที่เชื่อมด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบเบต้า-1,4 และมีหมู่ SO_3^- เกาะติดในโครงสร้าง คาราจีแนนสามารถนำมาใช้เป็นสารเจือปนในอาหาร โดยส่วนมากใช้ในอุตสาหกรรมไอศกรีม ช็อกโกแลต เป็นต้น Thaiudom and Goff (2003) พบว่าการเติมแคปป์ลา-คาราจีแนน 0.05 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับโปรตีนนมที่มีไลคัสปินกัม กัวกัม และแซนแทนกัม 0.36 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ได้เจลที่มีความแข็งแรง ในขณะที่การไม่เติมแคปป์ลา-คาราจีแนน หรือเติมเพียง 0.25 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ได้เจลที่อ่อน

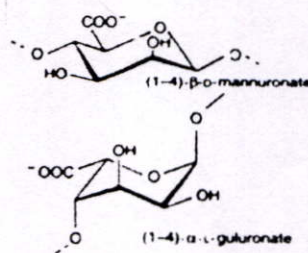


ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของคาราจีแนนชนิดต่างๆ แคปป์ลา (a) แลมบ์ดา (b) และไอโอตา (c)

ที่มา: Nussinovitch (1997)

2.7.6 อัลจิเนต (alginate)

เป็นกัมธรรมชาติที่ได้จากสาหร่ายสีน้ำตาล เช่น *Macrocystis pyrifera* และ *Laminaria digitata* เป็นต้น อัลจิเนตเป็นโพลีเมอร์ของกรดแมนนูโรนิกและกรดกลูคูโรนิก เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบเบต้า-1,4 ดังแสดงในภาพที่ 2.7 เมื่อนำมาละลายน้ำจะสามารถรวมตัวกับเกลือของโลหะแคลเซียม โปตัสเซียม โซเดียม และแมกนีเซียม ในรูปของเกลือฟอสเฟต ซิเตรท คาร์บอเนต ซัลเฟต และคาร์เตรท อัลจิเนตสามารถใช้ในอาหารได้ เช่น เครื่องดื่ม ไอศกรีม เป็นต้น

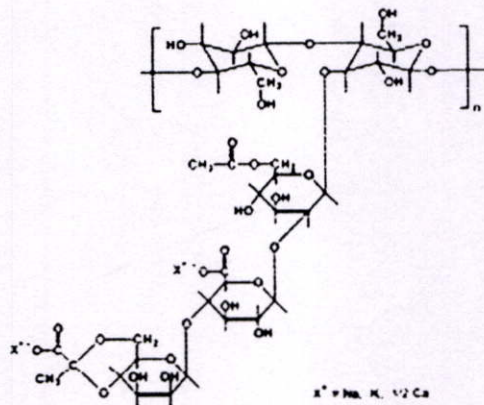


ภาพที่ 2.7 โครงสร้างของอัลจิเนต

ที่มา: Nussinovitch (1997)

2.7.7 แขนแทนกัม (xanthan gum)

เป็นกัมธรรมชาติที่ได้จากเชื้อจุลินทรีย์ *Xanthomonas campestris* โครงสร้างของกัมชนิดนี้ประกอบด้วยแมนโนส กลูโคส กรดกลูคูโรนิก อะซิเตรท และไพรุเวท ในอัตราส่วน 2:2:1:0:2:0-0.7 ดังแสดงในภาพที่ 2.5 แขนแทนกัมใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล ทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์ม และเกิดความข้นหนืด สามารถละลายได้ทั้งในน้ำร้อน และน้ำเย็น โครงสร้างทางเคมีของแขนแทนกัมในสารละลายจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันขึ้นกับอุณหภูมิที่ทำการละลาย ถ้าละลายที่อุณหภูมิ 25-40 องศาเซลเซียส จะมีโครงสร้างโมเลกุลแบบเป็นระเบียบ (ordered structure) สารละลายจะมีความหนืดน้อย ถ้าทำการละลายที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส แขนแทนกัมเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบไม่เป็นระเบียบ (disordered structure) ซึ่งทำให้สารละลายแขนแทนกัมมีความหนืดสูง (Casas and Garcia-Ochoa, 1999)



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างแขนแทนกัม

ที่มา : Nussinovitch (1997)

โดย Quintana *et al.* (2002) ใช้ Tween ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ในอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion) ใช้น้ำมันดอกทานตะวัน ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สารให้ความข้นหนืดที่ใช้ คือ แขนแทนกัม ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แป้งมันฝรั่ง ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แขนแทนกัม ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ผสมแป้งมันฝรั่ง ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กัวกัม ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และแขนแทนกัมผสมกัวกัมอย่างละ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งสารให้ความข้นหนืดเหล่านี้สามารถปรับปรุงความคงตัวของอิมัลชันได้ โดยกัวกัมจะทำให้อิมัลชันมีความคงตัวสูงสุด เจลที่ได้มีลักษณะคล้ายพอลิเมอร์ ส่วนแป้งมันฝรั่งและแขนแทนกัมทำให้ได้ร่างแหเจลที่ไม่แข็งแรงและมีความหนืดต่ำ

2.8 การวิเคราะห์รายละเอียดเชิงปริมาณ (Quantitative descriptive analysis, QDA)

การวิเคราะห์รายละเอียดเชิงปริมาณ หมายถึง การวิเคราะห์องค์ประกอบของลักษณะอาหารทั้งหมดโดยครอบคลุมถึงลักษณะปรากฏ กลิ่น รส ลักษณะเนื้อสัมผัส ที่เป็นลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (ปราณี อานเป็รื่อง, 2547) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ได้รับการคัดเลือกและฝึกฝน เพื่อให้เกิดความคุ้นเคยและความชำนาญ

2.8.1 การฝึกหัดการทดสอบเชิงพรรณนา

2.8.1.1 การฝึกหัดด้านการใช้เทอมพรรณนาและการรู้จักสเกล

โดยฝึกหัดให้ผู้ทดสอบรู้จักชนิดของลักษณะ และให้รับรู้ความเข้มของลักษณะเฉพาะแต่ละอย่างโดยใช้ตัวอย่างประกอบ

2.8.1.2 การฝึกหัดด้านการปฏิบัติ

การให้ผู้ทดสอบวิเคราะห์อาหารในเชิงพรรณนา จะเน้นในส่วนของการแยกความแตกต่างพรรณนาลักษณะและระดับของความแตกต่างให้ผู้ทดสอบจำได้

2.8.1.3 การฝึกหัดทำการทดสอบจากแบบทดสอบ

ทดลองให้ผู้เข้าฝึกหัดทำโจทย์แบบทดสอบ โดยเน้นเฉพาะลักษณะ เช่น รสพื้นฐาน รสแปลกปลอม ลักษณะเนื้อสัมผัส เป็นต้น

2.8.2 เทคนิคการทดสอบเชิงพรรณนา

ตารางที่ 2.7 เทอมทางประสาทสัมผัสจากโปรไฟล์ของเนยแข็งชนิดต่างๆ

Odor	Flavor	Mouth-feel	General
Intensity	Intensity	Firm	Maturity
Cream	Cream	Rubber	Acceptability
Egg	Sour	Crumby	
Fruit	Egg	Grainy	
Rancid	Fruit	Coating	
Acid	Rancid		
Musty	Bitter		
Pungent	Unclean		
Unclean	Salt		
	Other		

ที่มา: Muir and McBride (1999)

2.8.2.1 กำหนด หรือวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์เป็นภาษา โดยการใช้เทคนิคของ flavor profile และ texture profile (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547) เช่น คำศัพท์เฉพาะสำหรับโปรไฟล์ของเนยแข็งชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.7

2.8.2.2 จัดลำดับความสำคัญของแต่ละลักษณะ

จัดลำดับความสำคัญของแต่ละลักษณะ พร้อมทั้งกำหนดสเกลคะแนน เช่น 0-3, 0-5, 0-7, 0-9 คะแนน หรืออาจมากกว่านั้น ทั้งนี้ให้ยึดลักษณะคุณภาพที่ดีเป็นลักษณะที่ต้องการ และให้คะแนนสูง และถ้าหากเป็นลักษณะที่ไม่ดีก็ให้ใช้หลักเดียวกัน คือ คะแนนสูง ต้องมีลักษณะไม่ดีน้อย แล้วสร้างแบบสอบถาม (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547)

2.8.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ให้รวบรวมข้อมูลมาวิเคราะห์ โดยการรวมค่าคะแนนจากผู้ทดสอบทุกคนมาหาค่าความแปรปรวน (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างแบบ Turkey' test (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547)

2.8.2.4 การบันทึกรวบรวมข้อมูล

หรือการแสดงผล ส่วนใหญ่จะใช้วิธีแสดงเป็นข้อมูลเหมือนข้อมูลโปรไฟล์ (profile display) แบบใยแมงมุม ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจรายละเอียดได้มากทั้งชนิดและปริมาณลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุดิบ

- 3.1.1 ร้าข้าวอ่อน โรงสีข้าวเกษม จำกัด
- 3.1.2 น้ำมันร้าข้าว ตราคิงส์ บริษัท น้ำมันบริโภคไทย จำกัด
- 3.1.3 แป้งข้าวเหนียว ตรา ช้างสามเศียร บริษัท โรงเส้นหมี่ชอเฮง จำกัด
- 3.1.4 นมขาดมันเนยพาสเจอร์ไรส์ เมจิไฮด์แคลเซียม บริษัท ซีพี-เมจิ จำกัด
- 3.1.5 เอนไซม์เรนเนต โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา
- 3.1.6 เนยแข็งชนิดทาไขมันต่ำกว่าเนย 60 เปอร์เซ็นต์ บริษัท กราฟท์ฟูดส์ ประเทศไทย จำกัด
- 3.1.7 เนยแข็งชนิดทาไขมันต่ำกว่าเนย 80 เปอร์เซ็นต์ บริษัท กราฟท์ฟูดส์ ประเทศไทย จำกัด
- 3.1.8 สารเคมี
 - 3.1.8.1 กัวกัม Sigma USA
 - 3.1.8.2 แคลเซียมคลอไรด์ Merck Germany
 - 3.1.8.3 ไตรโซเดียมซิเตรท Merck Germany
 - 3.1.8.4 ไดโซเดียมฟอสเฟต BDH Laboratory Supplies England
 - 3.1.8.5 ไตรโซเดียมฟอสเฟต Merck Germany
 - 3.1.8.6 โซเดียมไฮดรอกไซด์ Carlo ERBA Germany
 - 3.1.8.7 ไฮโดรคลอริกเข้มข้น Fisher Scientific UK Limited England

3.2 วัสดุอุปกรณ์

- 3.3.1 เครื่องชั่งชนิดหยาบ Ohaus Corp.
- 3.3.2 เครื่องชั่งชนิดละเอียด Ohaus Corp.
- 3.3.3 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) Memmert WB 29
- 3.3.4 เครื่องกวนผสม (Stirrer DLS) VELP Scientifica
- 3.3.5 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Allegra X-12R Centrifuge) Beckman Coulter
- 3.3.6 เครื่องโฮโมจิไนเซอร์ (Homogenizer) IKA Works
- 3.3.7 หัวปั่นโฮโมจิไนเซอร์ (S25N10 G-Dispensing) IKA Works
- 3.3.8 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, TA-XT2) JAPA

3.5.9	ตู้อบสำหรับวิเคราะห์ความชื้น (Hot Air Oven)	Memmert UM 400
3.2.10	เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง	Mettler. Toledo MP220
3.2.11	เครื่องวัดปริมาณความชื้น (Halogen)	Mettler. Toledo HR73
3.5.12	เครื่องวิเคราะห์โปรตีน	Gerhardt
3.5.13	เครื่องวัดสี	Minolta CR-300

3.3 สถานที่ดำเนินการทดลอง

ห้องปฏิบัติการโครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.4 วิธีการดำเนินงาน

3.4.1 การเตรียมโปรตีนรำข้าว

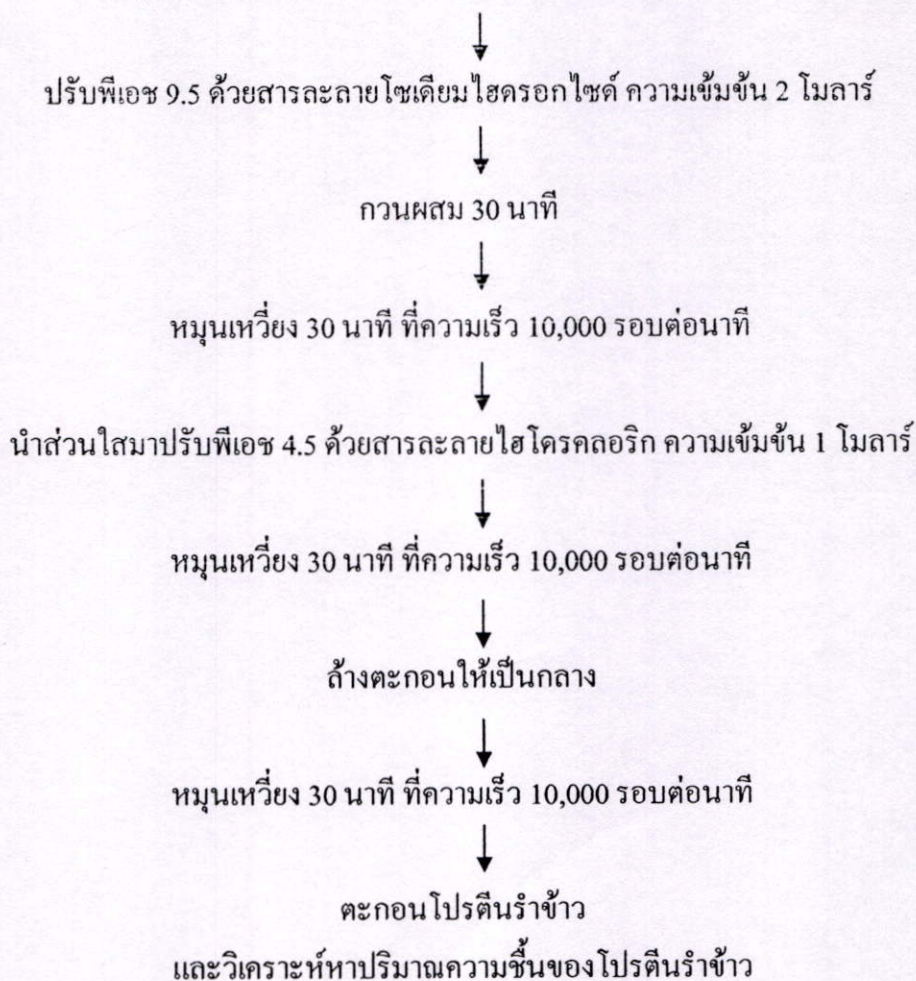
3.4.1.1 การสกัดน้ำมันออกจากรำข้าว

นำรำข้าวมาร่อนผ่านตะแกรง จากนั้นผสมรำข้าวและเฮกเซน ในอัตราส่วน 1 : 4 (รำข้าว:เฮกเซน) กวนผสม 30 นาที เมื่อครบเวลา นำมากรองแยกตะกอนรำข้าว จากนั้นระเหยเฮกเซน โดยตั้งตะกอนรำข้าวที่ได้ในตู้ดูดควัน เป็นเวลา 1 คืน เก็บรำข้าวในที่แห้ง เพื่อใช้ในการสกัดโปรตีนรำข้าวต่อไป

3.4.1.2 การสกัดโปรตีนรำข้าว

นำรำข้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมันมาสกัดโปรตีนรำข้าวตามวิธีของ Gnanasambandam and Hettiarachchy (1995) ดังแสดงในภาพที่ 3.1

ผสมรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันและน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 : 4



ภาพที่ 3.1 วิธีสกัดโปรตีนรำข้าว

ที่มา : Gnanasambandam and Hettiarachchy (1995)

3.4.2 ศึกษาชนิดของโปรตีนรำข้าวโดยอาศัยสมบัติการละลาย

นำโปรตีนรำข้าวที่สกัดได้ในข้อ 3.8.1.2 มาวิเคราะห์ชนิดของโปรตีนโดยอาศัยสมบัติการละลายของโปรตีน ตามวิธีของ Lander and Hamaker (1994) แสดงในภาคผนวก ก1 วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่แยกได้ด้วยวิธี Kjeldahl ($N \times 5.95$) (AOAC, 2000)

3.4.3 การเตรียมเรนเนตเคซีน

นำนมพาสเจอร์ไรส์ขาดมันเนยมาเติมแคลเซียมคลอไรด์ 1.6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปรับพีเอชเป็น 6.3 ด้วยสารละลายไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 โมลาร์ นำมาให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 40-45 องศาเซลเซียสในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้มีสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์ จากนั้นเติมเอนไซม์เรนเนต ที่ความเข้มข้น 0.025 ppm กวนผสมและตั้งไว้ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 15-20 นาที เมื่อครบเวลา นำสารละลายที่ได้ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมงเพื่อให้เคซีนตกตะกอน จากนั้นกรองแยกตะกอนเรนเนตเคซีนที่ได้และวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของเรนเนตเคซีน

3.4.4 ศึกษาผลของปริมาณโปรตีนรำข้าวทดแทนเรนเนตเคซีนต่อคุณสมบัติของเนยแข็งเทียมชนิดทา

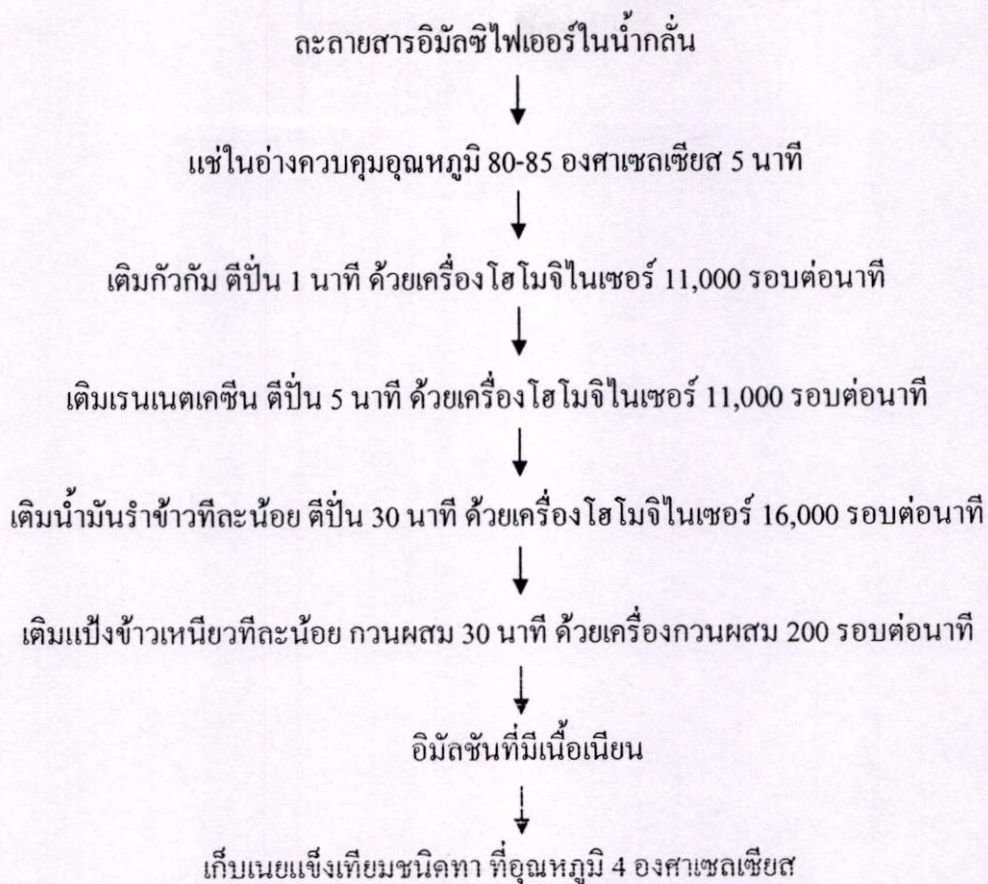
ผลิตเนยแข็งเทียมชนิดทาตามสูตร ดังตารางที่ 3.1 และใช้วิธีการผลิตเนยแข็งเทียมชนิดทาดังแสดงในภาพที่ 3.2 จากนั้นนำโปรตีนรำข้าวที่ผลิตได้จากข้อ 3.8.1.2 มาทดแทนเรนเนตเคซีนโดยทดแทนในปริมาณ 0 10 20 40 60 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเรนเนตเคซีนทั้งหมด

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของเนยแข็งเทียม

ส่วนผสม	อัตราส่วนที่ใช้
น้ำ	80.00
น้ำมันรำข้าว	24.30
เรนเนตเคซีน	18.30
แป้งข้าวเหนียว	3.00
ไตร โซเดียมซิเตรท	2.50
ได โซเดียมฟอสเฟต	0.25
ไตร โซเดียมฟอสเฟต	0.25
กัวกัม	0.20

ที่มา : ดัดแปลงจาก Bindzus *et al.* (2002)



ภาพที่ 3.2 วิธีผลิตเนยแข็งเทียมชนิดทา

ที่มา : ดัดแปลงจาก Bindzus *et al.* (2002)

นำเนยแข็งเทียมที่ผลิตได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

3.4.4.1 วิเคราะห์ปริมาณความชื้นของตัวอย่างเนยแข็งเทียม ตามวิธีของ AOAC (2000) แสดงในภาคผนวก ข

3.4.4.2 วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) (Mettler. Toledo MP 220)

3.4.4.3 ตรวจสอบค่าสีและรายงานค่าสีในระบบ L a b ของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องวัดสี Minolta รุ่น CR-300

3.4.4.4 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความสามารถในการทา (Spreadability) โดยบรรจุตัวอย่างเนยแข็งเทียมให้ถึงขีดปริมาตร 40 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ด้วยเครื่อง Texture Analyzer รุ่น Stable Micro Systems TA-XT2 เปรียบเทียบกับเนยแข็งเทียมสูตรที่ไม่เติมโปรตีนรำข้าวและเนยแข็งไขมันต่ำชนิดทาในทางการค้า

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลอง โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

3.4.5 การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

นำเนยแข็งเทียมที่ผลิตได้จากข้อ 3.4.4 มาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส ดังนี้

3.4.5.1 การเตรียมตัวอย่าง

ทำโดยนำตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ออกมาตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง กำหนดรหัสแก่ตัวอย่างแบบสุ่ม เสิร์ฟตัวอย่างประมาณ 10 มิลลิตรในภาชนะพลาสติกใส โดยเสิร์ฟพร้อมกับแครกเกอร์ชนิดจืด คราบริช และให้ผู้ชิมบ้วนปากด้วยน้ำระหว่างการชิมแต่ละตัวอย่าง

3.4.5.2 วิธีการทดสอบเชิงพรรณนาปริมาณ (Qualitative description analysis , QDA)

ให้ผู้ทดสอบซึ่งเป็นนักศึกษาปริญญาโทและเอก สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 7 คน ซึ่งผ่านการฝึกฝนร่วมกันอย่างน้อย 6 ชั่วโมง ให้กลุ่มผู้ทดสอบกำหนดคำศัพท์เพื่ออธิบายคุณลักษณะของตัวอย่างที่ทดสอบ โดยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ใช้ ได้แก่ ความสามารถในการทา (spreadability) ความเรียบเนียน (smoothness) รสเค็ม (salty) รสฝืน (astringency) กลิ่นแป้งคั่ว (boiled starches odor) ความชุ่มน้ำมัน (oily) ผู้ทดสอบจะให้คะแนนตามความต้องการ ด้วยการทำเครื่องหมาย / ลงบนเส้นความยาว 15 เซนติเมตรที่ปลายทั้งสองข้างกำหนดระดับของคุณลักษณะเป็น น้อย - มาก หรือ อ่อน - เข้ม ซึ่งคะแนนน้อยที่สุดคือ 0 คะแนนมากที่สุดคือ 15 (แสดงในภาคผนวก ง) แสดงผลความเข้มเฉลี่ยของแต่ละคุณลักษณะในรูปกราฟใยแมงมุม (spider web) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเนยแข็งเทียมชนิดทาจากโปรตีนรำข้าว และเนยแข็งไขมันต่ำชนิดทาในทางการค้า

3.4.5.3 วิธีทดสอบแบบให้คะแนน (5-point hedonic scale)

ให้ผู้ทดสอบจำนวน 20 คน ประเมินผลทางประสาทสัมผัสตัวอย่างเนยแข็งเทียมชนิดทาสูตรที่ไม่เติมโปรตีนรำข้าว และเนยแข็งเทียมสูตรที่เติมโปรตีนรำข้าวปริมาณต่างๆ เพื่อหาความชอบในด้านความสามารถในการทา (spreadability) สี (color) กลิ่น (flavor) รสชาติ (taste) และการยอมรับโดยรวม (overall acceptability) (แสดงในภาคผนวก ง) โดยวิธีการให้คะแนน 5 คือ ชอบมากที่สุด และ 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด

วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design)
เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความ
เชื่อมั่น ร้อยละ 95

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ชนิดของโปรตีนรำข้าว

การสกัดโปรตีนรำข้าว ทำได้โดยอาศัยสมบัติการละลายของโปรตีนที่ละลายได้ดีในสภาวะค่าง จากนั้นตกตะกอนโปรตีนที่จุดไอโซอิเล็กตริกด้วยสารละลายกรด โดยโปรตีนรำข้าวที่ใช้ ได้จากการปรับพีเอชของรำข้าวให้มีพีเอช 9.5 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อละลายโปรตีนรำข้าว ก่อนนำมาหมუნเหวียงเพื่อแยกกากรำข้าวออก จากนั้นนำส่วนใสมาตกตะกอนโปรตีนด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก นำไปหมუნเหวียงอีกครั้ง เพื่อแยกตะกอนโปรตีนรำข้าว (Gnanasambandam and Hettiarachchy, 1995) เก็บโปรตีนรำข้าวที่แยกได้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปจำแนกชนิดของโปรตีนจากรำข้าวโดยอาศัยสมบัติการละลายของโปรตีนตามวิธีของ Lander and Hamaker (1994) โดยใช้น้ำในการละลายโปรตีนชนิดแอลบูมิน (albumin) ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ในการละลายโปรตีนชนิดโกลบูลิน (globulin) ใช้สารละลายเอทานอล ความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ในการละลายโปรตีนชนิดโพรลามิน (prolamin) และใช้สารละลายผสมลอริลซัลเฟต (lauryl sulfate) ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ กับ 2-เมอร์แคปโทเอทานอล (2-mercaptoethanol) ความเข้มข้น 0.6 เปอร์เซ็นต์ในสารละลายบอเรตบัฟเฟอร์ (borate buffer) พีเอช 10 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ในการละลายโปรตีนชนิดกลูเตลิน (glutelin) ผลการศึกษาชนิดของโปรตีนรำข้าวจำแนกโดยอาศัยสมบัติการละลายของโปรตีนแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ชนิดของโปรตีนรำข้าว

ชนิดของโปรตีน ¹	ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ) ²	ปริมาณโปรตีนทั้งหมด (ร้อยละ)
แอลบูมิน	4.65±0.19	38.24
โกลบูลิน	3.96±0.17	32.57
โพรลามิน	0.30±0.05	2.47
กลูเตลิน	3.25±0.87	26.73

หมายเหตุ

¹จำแนกโดยอาศัยสมบัติการละลายของโปรตีน

²Nx5.95

จากตารางที่ 4.1 พบว่าโปรตีนรำข้าวมีปริมาณโปรตีนชนิดต่างๆแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยมีโปรตีนชนิดแอลบูมินสูงสุด รองลงมาคือ โกลบูลิน กลูเตลิน และมีปริมาณโพรลามีนต่ำที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hamada (1997) ซึ่งสกัดโปรตีนรำข้าวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โปรตีนที่พบในรำข้าวประกอบด้วย โปรตีนชนิดแอลบูมินปริมาณสูงสุดและมีโพรลามีนปริมาณต่ำสุด นอกจากนี้ จากการทดลองพบว่า โปรตีนชนิดโกลบูลินมีปริมาณต่ำกว่าแอลบูมิน ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนแรกใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ในการสกัดโปรตีนจากรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมัน เมื่อนำโปรตีนรำข้าวนี้มาจำแนกชนิดของโปรตีน จึงมีโปรตีนชนิดแอลบูมินซึ่งละลายในน้ำปริมาณมากกว่าโปรตีนชนิดโกลบูลินที่ละลายในสารละลายเกลือเจือจาง

4.2 ปริมาณความชื้น และพีเอชของเนยแข็งเทียมชนิดทา

เนยแข็งเทียม เป็นอิมัลชันแบบไขมันในน้ำ (oil in water emulsion) โดยมีโปรตีนช่วยให้เฟสไขมันสามารถกระจายและคงตัวอยู่ได้ในเฟสต่อเนื่อง โดยทั่วไปเรนเนตเคซีนเป็นโปรตีนที่ทำให้ก้อนและลักษณะเนื้อสัมผัสของเนยแข็งเทียมใกล้เคียงกับเนยแข็งควบคุมมากที่สุด เมื่อเทียบกับโปรตีนชนิดอื่น (O'Sullivan and Mulvihill, 2001; Hennelly *et al.*, 2005) อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดเรื่องการละลายได้ของเรนเนตเคซีน ที่ต้องการสภาวะต่างในการกระจายตัว (พีเอช 9.0) หรือการเติมสารประกอบฟอสเฟต ซึ่งจะทำให้เรนเนตเคซีนละลายน้ำได้ดีที่พีเอชมากกว่า 4.6 (Konstance and Strange, 1991) ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงเลือกใช้สารประกอบเกลือฟอสเฟตและซิเตรทเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ในการผลิตเนยแข็งเทียมชนิดทาและได้ทดแทนเรนเนตเคซีนบางส่วนด้วยโปรตีนรำข้าวเนื่องจากโปรตีนรำข้าวมีกรดอะมิโนที่จำเป็นสูง และเป็นโปรตีนที่ไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ (hypoallergenic) (Anderson and Guraya, 2001) ผลของปริมาณรำข้าวต่อปริมาณความชื้นและพีเอชของเนยแข็งเทียมชนิดทา แสดงดังตารางที่ 4.2 นอกจากนี้ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้แป้งข้าวเหนียวเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียมเพื่อใช้ทดแทนเรนเนตเคซีนเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากงานวิจัยของ Mounsey and O'Riordan (2001) พบว่าการใช้แป้งข้าวในผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียมจะทำให้เม็ดไขมันมีขนาดเล็กลง ซึ่งจะทำให้เกิดอิมัลชันได้ดี สัมพันธ์กับงานวิจัยของ Shi and BeMiller (2002) ซึ่งรายงานว่าแป้งข้าวเหนียว ความเข้มข้น 0.3 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับกัวกัม ความเข้มข้น 0.4 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนืดสูงสุดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

โดยทั่วไปเนยแข็งเทียมชนิดโพรเซสจะมีความชื้นอยู่ในช่วง 55.6-65.8 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากเนยแข็งเทียมส่วนใหญ่จะผลิตขึ้นเพื่อเลียนแบบเนยแข็งที่มีเนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็ง (Hard cheese) เช่น เชดคาร์ชีส หรือ มอสซาเรลลาชีสที่ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตแซนวิชค้อบ พิชซ่า และผลิตภัณฑ์อาหารชนิดอื่นที่ต้องผ่านความร้อนก่อนรับประทาน (Middleton, 1989; Chan *et al.*,

1991; Mousey and O’Riordan, 2001) แต่ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาการผลิตเนยแข็งเทียมชนิดทา (Imitation cheese spread) โดยทดแทนเรนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าวซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูง จากตารางที่ 4.2 จึงพบว่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ค่อนข้างสูง เนยแข็งเทียมชนิดทาที่ทดแทนเรนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าวทุกสูตรมีความชื้นอยู่ในช่วง 95.13-95.80 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าใกล้เคียงกับความชื้นของเนยแข็งไขมันต่ำชนิดทาที่มีในทางการค้าสูตรที่มีปริมาณไขมันต่ำกว่าในผลิตภัณฑ์เนย 60 และ 80 เปอร์เซ็นต์ โดยเนยแข็งเทียมที่มีความชื้นสูงจะมีเนื้อสัมผัสไม่แน่น เนื่องจากปริมาณน้ำที่สูงทำให้ความแข็งแรงของโครงสร้างร่างแหเคซีนลดลง (Pereira *et al.*, 2001) โปรตีนจะดูดซับน้ำ การปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนในโครงสร้างร่างแหลดลง และเกิดการสูญเสียโครงสร้างของโปรตีน (Budiman *et al.*, 2000) ซึ่งจะทำให้โปรตีนประพฤติตัวแบบพลาสติก เกิดการเคลื่อนที่และทาได้ (Hennelly *et al.*, 2005)

ตารางที่ 4.2 ปริมาณความชื้นและพีเอชของเนยแข็งเทียมชนิดทา

ปริมาณ โปรตีนรำข้าว (ร้อยละ)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	พีเอช
0	95.33±0.32	7.28±0.30
10	95.48±0.25	6.80±0.12
20	95.29±0.37	6.75±0.12
40	95.80±1.74	6.59±0.08
60	95.13±0.36	6.48±0.17
80	95.54±0.32	6.40±0.17
100	95.49±0.22	6.44±0.20

หมายเหตุ

เนยแข็งชนิดทาทางการค้า	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	พีเอช
ชนิดไขมันต่ำกว่าเนย 60 เปอร์เซ็นต์	95.01±0.15	4.85±0.01
ชนิดไขมันต่ำกว่าเนย 80 เปอร์เซ็นต์	97.12±0.08	4.75±0.00

จากการศึกษาของ Dimitreli และ Thomaresis (2004) พบว่าโพรเซสซีสชนิดเคดาร์ที่ใช้ไขมันจากเนย โปรตีนจากนมผง และใช้ไตร โซเดียมซิเตรทเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ ความหนืดของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นสูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hennelly *et al.* (2005) ซึ่งเมื่อความชื้นของผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียมที่มีกัมอินนูลินเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเกิดจากการปฏิสัมพันธ์ของส่วนประกอบที่หลากหลายมีมากขึ้น

ผลการวิเคราะห์พีเอชของผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียมชนิดทาที่ทดแทนเรนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าว จากตารางที่ 4.2 พบว่าผลิตภัณฑ์มีพีเอชเป็นกลาง อยู่ในช่วง 6.40-7.28 โดยจะสังเกต

ได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่มีพีเอชลดลงเมื่อปริมาณโปรตีนรำข้าวเพิ่มขึ้น โดยผลิตภัณฑ์ที่มีค่าพีเอชสูงเป็นการเพิ่มความแรงของประจุระหว่างโปรตีนในระบบ โดยเฉพาะพีเอชที่อยู่เหนือจุดไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point) ของเคซีน เป็นการเพิ่มประจุลบโดยรวมของโปรตีนทำให้เกิดการดูดซับน้ำ (hydration) ของเคซีนเนื่องจากปฏิสัมพันธ์ทางประจุไฟฟ้า (electrostatic interaction) ลดลง (Ennis *et al.*, 1998) เป็นผลให้เนยแข็งเทียมชนิดทาที่ทดแทนเรนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าวสูตรที่มีพีเอชสูงมีลักษณะเนื้อสัมผัสเหนียว คล้ายครีมและเจล (Lee and Klostermeyer, 2001) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Marchesseau *et al.* (1997) ซึ่งรายงานว่าที่พีเอช 5.2 โปรตีนจะตกตะกอนค่อนข้างมากเป็นระบบอิมัลชันที่ไม่ดี และเมื่อพีเอชของผลิตภัณฑ์โปรเซสซิงสูงขึ้นไป ผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสค่อนข้างแน่น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับในตารางที่ 4.3 ที่เนยแข็งเทียมชนิดทาที่ทดแทนเรนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าวใช้แรงในการทาสูง เมื่อพีเอชของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

4.3 คุณสมบัติทางกายภาพของเนยแข็งเทียมชนิดทา

4.3.1 ความสามารถในการทาของเนยแข็งเทียมชนิดทา

การทา หรือการป้ายเป็นสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของเนยแข็งชนิดทา มีรายงานว่า การใช้แป้งที่มีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นอะไมโลส จะทำให้ผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียมมีลักษณะเนื้อสัมผัสแน่น (Mounsey and O'Riordan, 2001) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้แป้งข้าวเหนียวเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เพราะประกอบด้วยอะไมโลเพกตินที่มีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขา ซึ่งสามารถอุ้มน้ำและทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนืดเพิ่มขึ้น โดยมีกัวกัมเป็นสารให้ความข้นหนืด ที่เมื่อใช้ร่วมกับแป้งข้าวเหนียว กัมจะคูดน้ำอย่างรวดเร็วและให้ค่าความหนืดสูงสุด (Hang *et al.*, 2001; Tuinier *et al.*, 2000) และทำให้ผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียมมีความคงตัวสูงสุด เจลที่ได้มีคุณสมบัติคล้ายพอลิเมอร์ (Quintana *et al.*, 2002)

ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการทาของผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียมชนิดทาที่ทดแทนเรนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าว แสดงดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.1 พบว่าผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการทาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเนยแข็งเทียมสูตรที่ทดแทนเรนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าว 40 เปอร์เซ็นต์ มีความสามารถในการทาใกล้เคียงกับเนยแข็งไขมันต่ำชนิดทา ในทางการค้าสูตรที่มีปริมาณไขมันต่ำกว่าเนย 80 เปอร์เซ็นต์ และจะเห็นว่าเมื่อปริมาณโปรตีนรำข้าวเพิ่มขึ้น แรงที่ใช้ในการทาลดลง ผลิตภัณฑ์สามารถป้ายทาได้ง่ายขึ้น แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความแน่นเนื้อต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากในสูตรมีปริมาณเคซีนลดลง เรนเนตเคซีนซึ่งเป็นโปรตีนก้อนกลม (globular protein) ที่มีโปรตีนหน่วยย่อยเป็นไกลโคฟอสโฟโปรตีน (glyco-phospho-protein) ที่รวมอยู่กับแคลเซียมฟอสเฟต (วรรณ ตังเจริญชัยและวิบูลย์กิจ กาวิละ, 2531) มีโครงสร้างร่างแหที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนกับโปรตีนที่แข็งแรงมาก พีเอชของผลิตภัณฑ์ที่สูงจะเป็นตัวช่วย

เพิ่มความสามารถของประจุโปรตีน ประกอบกับเม็ดไขมันที่ถูกตีให้มีขนาดเล็กด้วยโฮโมจิไนเซอร์จะเข้าไปอยู่ในร่างแหโปรตีน เป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้แก่โปรตีนมากยิ่งขึ้น ทำให้โปรตีนสามารถคูดซับกับรอยต่อระหว่างน้ำมันและน้ำ (fat-water interface) (Ennis and Mulvihill, 1999; Lee *et al.*, 2002) ดังนั้นในสูตรที่มีปริมาณเรนเนตเคซีนมาก จึงใช้แรงในการทาค่อนข้างสูง เมื่อเติมสารอิมัลซิไฟเออร์จะทำให้สะพานแคลเซียม-ฟอสเฟตที่เชื่อมโปรตีนหน่วยย่อยไว้ด้วยกันแตกออก ประจุของอิมัลซิไฟเออร์จะทำให้โปรตีนคูดซับน้ำได้มากขึ้น โดยมีความร้อนเป็นตัวเพิ่มเอนโทรปีแก่ระบบเป็นการทำลายสภาพธรรมชาติของโปรตีนก่อนกลม โปรตีนที่คูดซับน้ำจะคลายตัว หันด้านที่ไม่ชอบน้ำออก ทำให้โปรตีนละลายน้ำได้น้อยลง (Lee *et al.*, 2002) ผลลัพธ์จึงมีความหนืดเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการทาของเนยแข็งเทียมชนิดทา

ปริมาณโปรตีนรำข้าว (ร้อยละ)	ความสามารถในการทา (g Force) ¹
0	170.33±23.87 ^a
10	167.67±25.59 ^a
20	150.20±25.11 ^a
40	102.81±19.18 ^b
60	86.48±21.41 ^b
80	49.34±20.19 ^c
100	84.09±23.41 ^b

หมายเหตุ

เนยแข็งชนิดทาทางการค้า

ความสามารถในการทา (g Force)

ไขมันต่ำกว่าเนย 60 เปอร์เซ็นต์

124.60±1.55

ไขมันต่ำกว่าเนย 80 เปอร์เซ็นต์

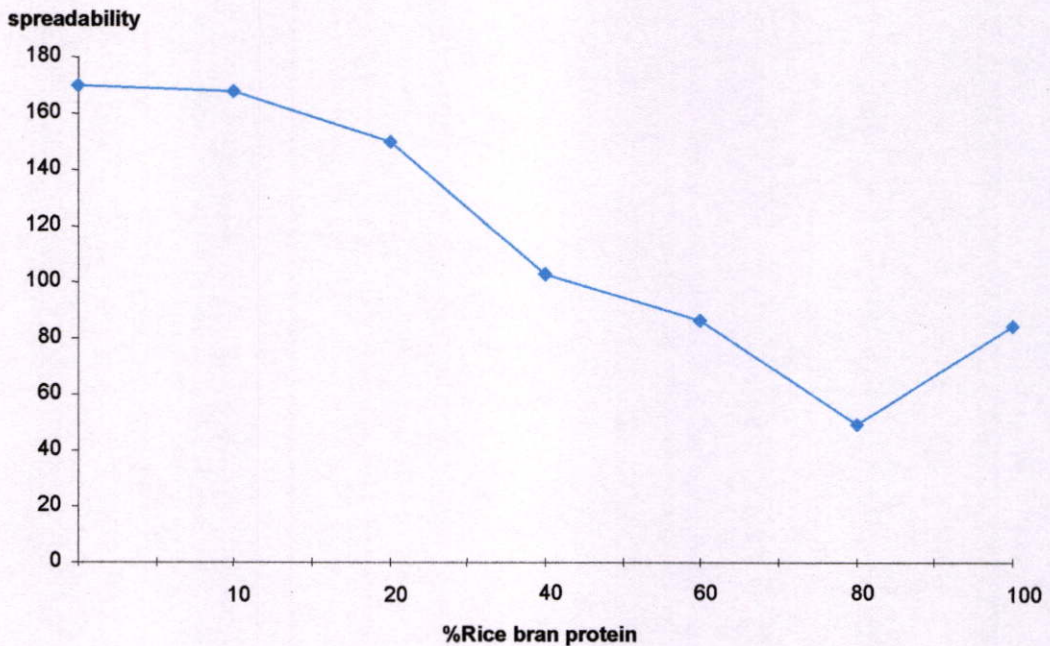
100.60±6.50

¹แรงที่มาก แสดงว่าปายทาได้ยาก

^{abc} ตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

แม้ว่าการเพิ่มปริมาณโปรตีนรำข้าวในเนยแข็งเทียมชนิดทา จะทำให้ผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียมสามารถปายทาได้มากขึ้น แต่การทดแทนเรนเนตเคซีนทั้งหมดด้วยโปรตีนรำข้าว 100 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น สันนิษฐานว่าเป็นผลมาจากโปรตีนชนิดกลูเตลินในรำข้าวที่ไม่ละลาย การที่โปรตีนในรำข้าวละลายได้ต่ำเนื่องจากมีโปรตีนพอลิเปปไทด์ชนิดกลูเตลินที่ไม่ละลายอยู่จำนวนหนึ่ง ทั้งนี้จากกฎการละลายของ Osborne ที่ใช้ในการละลายโปรตีนรำข้าวเอื้อให้มีโปรตีนชนิดกลูเตลินละลายออกมามากเพราะละลายได้ในสารละลายค่าง ซึ่งสารละลายค่างจะไปทำลายพันธะไฮโดรเจน พันธะเอไมด์ และพันธะไดซัลไฟด์ เกิดปฏิกิริยาของส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic interaction) ทำให้ขนาดโมเลกุลเล็กลงและเกิดการตกตะกอนของ

โปรตีน (Hamada *et al.*, 1997) ดังนั้นเนยแข็งเทียมในสูตรที่มีโปรตีนรำข้าว 100 เปอร์เซ็นต์ จึงต้องใช้แรงในการทาเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.1 ความสามารถในการทาของเนยแข็งเทียมชนิดทา

4.3.2 สีของเนยแข็งเทียมชนิดทา

การพัฒนาการผลิตเนยแข็งเทียม ส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการใช้ไขมัน หรือโปรตีนจากแหล่งอื่นนอกเหนือจากที่มีในน้ำนม ให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นและลักษณะเนื้อสัมผัสไม่ต่างจากเนยแข็งทั่วไป (Middleton, 1989; Santos *et al.*, 1989; Budiman *et al.*, 2000; Mousey and O’Riordan, 2001; Lobatos-Callers *et al.*, 2002) แต่เนื่องจากเนยแข็งเทียมที่ผลิตขึ้นมักมีการเติมส่วนผสมอื่น เช่น สารอิมัลซิไฟเออร์แล้วจึงตีผสมร่วมกับการให้ความร้อน (Pellegrino *et al.*, 1996) จึงอาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านสีของผลิตภัณฑ์ได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทดแทนเรนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าวในการผลิตเนยแข็งเทียมชนิดทา ค่าความสว่างและสีของผลิตภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.4 ซึ่งพบว่าเนยแข็งเทียมสูตรที่ไม่เติมโปรตีนรำข้าว มีค่าความสว่าง (L) สูงสุด คือ 91.69 ± 0.83 ซึ่งใกล้เคียงกับเนยแข็งที่มีในทางการค้าสูตรไขมันต่ำกว่าเนย 60 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อพิจารณาจากค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์สูตรไม่เติมโปรตีนรำข้าวมีสีครีม และเมื่อเติมโปรตีนรำข้าว พบว่าค่าความสว่างของเนยแข็งเทียมมีแนวโน้มลดลง แต่มีค่าสีแดงและค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเนยแข็งเทียมสูตรที่เติมโปรตีนรำข้าวปริมาณ 60 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความสว่างและค่าสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียมที่ทดแทนเรนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าวที่ได้มีสีเหลืองเข้มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.2

ตารางที่ 4.4 ค่าความสว่างและสีของเนยแข็งเทียมชนิดทา

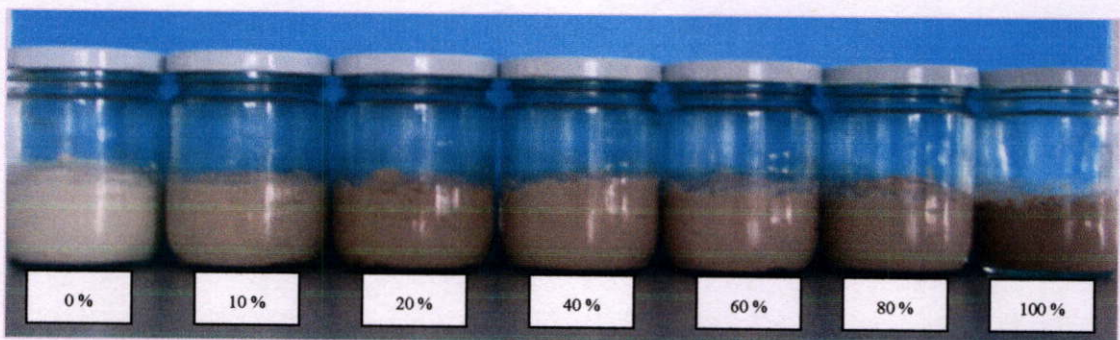
ปริมาณโปรตีนรำข้าว (ร้อยละ)	L	a	b
0	91.69±0.83 ^a	-2.54±0.08 ^a	10.28±0.74 ^a
10	83.69±0.76 ^b	1.24±0.45 ^b	11.69±0.71 ^b
20	78.71±3.47 ^c	2.88±0.51 ^c	13.54±0.76 ^c
40	76.08±1.84 ^d	3.72±0.33 ^d	13.49±0.62 ^c
60	72.58±0.64 ^e	4.32±0.17 ^e	13.99±1.24 ^c
80	72.15±0.54 ^e	4.29±0.12 ^e	13.68±1.19 ^c
100	71.00±3.52 ^e	4.28±0.74 ^e	13.53±0.73 ^c

หมายเหตุ

เนยแข็งชนิดทาทางการค้า	L	a	b
ชนิดไขมันต่ำกว่าเนย 60 เปอร์เซนต์	92.25±0.57	-4.13±0.17	20.10±0.52
ชนิดไขมันต่ำกว่าเนย 80 เปอร์เซนต์	93.93±0.53	-3.35±0.09	14.34±0.59

^{abc} ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนรำข้าวมีสีน้ำตาล เมื่อเติมลงในผลิตภัณฑ์ในปริมาณที่มากขึ้น ผลิตภัณฑ์จึงมีสีเข้มขึ้น สาเหตุที่โปรตีนรำข้าวมีสีน้ำตาลเพราะมีสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) ซึ่งละลายออกมาพร้อมกับโปรตีนที่ถูกสกัดด้วยสารละลายต่าง โดยสารดังกล่าวเป็นตัวทำให้เกิดสีน้ำตาลในโปรตีนรำข้าว (ศิริวัฒน์ มงคลกาญจนศิริ, 2545)



ภาพที่ 4.2 สีของเนยแข็งเทียมชนิดทาที่ทดแทนเรนเนตเคซีนด้วย โปรตีนรำข้าวในระดับเปอร์เซนต์ที่ต่างกัน

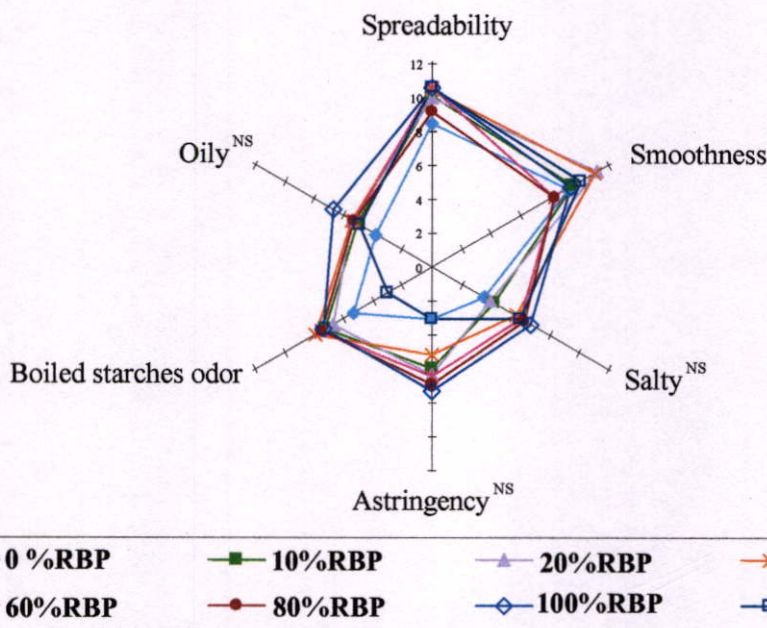
ตารางที่ 4.5 การประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนยแข็งเทียมชนิดทาที่
ทดแทนเรนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าว

โปรตีนรำข้าวที่ ทดแทนเรนเนต เคซีน (เปอร์เซ็นต์)	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส					
	ความสามารถ ในการทา	ความเรียบ เนียน ^{NS}	รสเค็ม ^{NS}	รสเฟื่อน ^{NS}	กลิ่นแป้งต้ม	ความชุ่ม น้ำมัน ^{NS}
0	8.40±1.83 ^a	9.09±1.95	3.48±1.66	3.05±1.28	5.23±4.31 ^{ab}	3.74±1.87
10	10.04±2.22 ^{ab}	9.44±2.40	4.19±2.99	5.93±4.17	7.06±4.08 ^{ab}	5.05±3.08
20	9.94±1.45 ^{ab}	11.03±1.46	3.98±3.21	6.24±4.32	6.63±4.06 ^{ab}	5.34±2.97
40	10.33±1.55 ^{ab}	10.85±5.58	5.56±3.19	5.14±3.92	7.79±4.10 ^b	5.53±3.37
60	10.48±1.64 ^{ab}	8.18±3.43	5.91±4.12	6.38±3.68	7.49±4.17 ^{ab}	5.24±3.10
80	9.06±2.59 ^{ab}	8.18±3.51	6.14±4.71	6.88±4.09	7.46±4.42 ^{ab}	5.26±3.51
100	10.54±2.22 ^b	9.35±2.20	6.61±4.62	7.18±4.29	7.21±4.90 ^a	6.64±3.73
เนยแข็งทางการค้า	10.48±1.40 ^{ab}	9.94±2.30	5.90±4.10	3.04±1.41	2.86±1.38 ^a	4.75±3.73

หมายเหตุ

^{abc...} ตัวอักษรกำกับต่างกัน ในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{NS} แสดงถึงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.3 ผลการประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนยแข็งเทียมชนิดทาที่
ทดแทนเรนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าว

ผลการประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนยแข็งเทียมชนิดทาที่
ทดแทนเรนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าวที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ (ตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.3) จะเห็นได้
ว่าเนยแข็งทางการค้าและเนยแข็งเทียมมีความเรียบเนียน รสเค็ม รสเฟื่อน และความชุ่มน้ำมันไม่

ผลการประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนยแข็งเทียมชนิดทาที่ทดแทนเรนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าวที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ (ตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.3) จะเห็นว่าเนยแข็งทางการค้าและเนยแข็งเทียมมีความเรียบเนียน รสเค็ม รสเฟื่อน และความชุ่มน้ำมันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงว่าโปรตีนรำข้าวไม่มีผลต่อการรับรู้คุณลักษณะดังกล่าวของผู้ทดสอบชิมซึ่งต่างจากงานวิจัยของ Labato-Calleros *et al.* (2004) ที่พบว่าเนยแข็งที่ใช้โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตเป็นสารทดแทนไขมัน มีความเรียบเนียนกว่าเนยแข็งทั่วไป

ผู้ประเมินสามารถรับรู้ว่ามีเนยแข็งเทียมที่ทดแทนเรนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าวในปริมาณที่สูงขึ้น มีความสามารถในการทามากขึ้น เนื่องจากในสูตรมีปริมาณเรนเนตเคซีนลดลง เคซีนซึ่งมีโครงสร้างร่างแหโปรตีนที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนกับโปรตีนที่แข็งแรงมาก รวมทั้งผลจากเม็ดไขมันซึ่งถูกตีให้มีขนาดเล็กที่แทรกอยู่ในร่างแหโปรตีน เป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ร่างแหโปรตีน (Lee and Klostomeyer, 2001) ดังนั้นเนยแข็งเทียมสูตรที่มีปริมาณเรนเนตเคซีนลดลงและมีปริมาณโปรตีนรำข้าวสูงจึงมีความสามารถในการทำได้มากกว่าสูตรที่ไม่เติมโปรตีนรำข้าว ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความสามารถในการทาโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (ตารางที่ 4.3) เนื่องจากหัววัดที่ใช้เป็นทรงกรวย ซึ่งเมื่อกดลงบนผลิตภัณฑ์จะเกิดแรงดันหรือแรงเสียดทานที่สามารถวัดได้ในรูปกรัมแรง (g Force) และความลาดเอียงของหัววัดรูปทรงกรวยนี้จะช่วยลดแรงเสียดทานขณะทำการวัด คล้ายกับการออกแรงและการเอียงใบมีดขณะทานเนยแข็งเทียมลงบนแครกเกอร์ ดังนั้นผลการประเมินทางประสาทสัมผัสจึงสอดคล้องกับการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ซึ่งแม้ว่าผู้ทดสอบชิมจะรับรู้ถึงความแตกต่างด้านความสามารถในการทาของเนยแข็งเทียมที่เติมโปรตีนรำข้าว 60 และ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อพิจารณาจากคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสจะเห็นว่าคะแนนไม่ต่างกันมาก

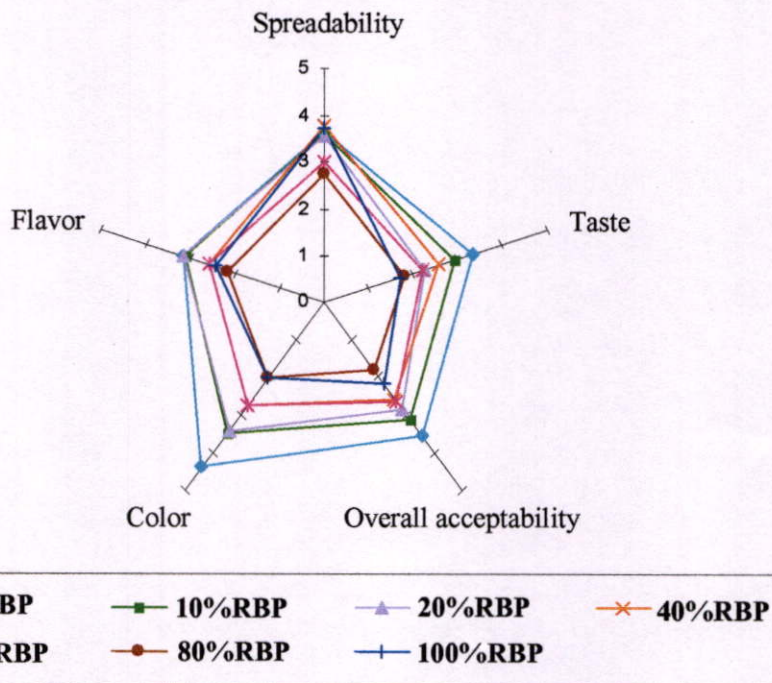
สำหรับคะแนนกลิ่นแป้งคัมของผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียมชนิดทาที่ทดแทนเรนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าวในปริมาณต่างๆ พบว่าทุกสูตรมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าเนื่องมาจากกลิ่นของโปรตีนรำข้าวคล้ายกับกลิ่นข้าวสุก ผู้ทดสอบชิมจึงอาจรู้สึกถึงกลิ่นแป้งคัมในผลิตภัณฑ์ดังกล่าวแตกต่างกัน ดังจะเห็นได้จากเนยแข็งเทียมที่ทดแทนเรนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าวในปริมาณที่มากขึ้น มีคะแนนกลิ่นแป้งคัมสูง ซึ่งอาจบ่งชี้การรับรู้รสเค็มและรสเฟื่อนของผู้ทดสอบชิมส่งผลทำให้คะแนนรสเค็มและรสเฟื่อนของผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.6 การประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสของเนยแข็งเทียมชนิดทาที่ทดแทนเรเนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าว

โปรตีนรำข้าวที่ ทดแทนเรเน- เนตเคซีน (เปอร์เซ็นต์)	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส				
	ความสามารถ ในการทา	รสชาติ	การยอมรับ โดยรวม	สี	กลิ่น
0	3.65±1.04 ^a	3.35±1.04 ^a	3.55±0.94 ^a	4.40±0.68 ^a	3.15±1.35 ^a
10	3.60±0.88 ^a	2.90±0.91 ^{ab}	3.10±0.85 ^{ab}	3.45±0.94 ^b	3.10±0.97 ^a
20	3.55±1.05 ^a	2.25±0.91 ^{bc}	2.85±0.93 ^b	3.40±0.60 ^b	3.15±1.09 ^a
40	3.75±0.79 ^a	2.55±0.76 ^{cd}	2.55±0.89 ^{bc}	2.75±0.85 ^c	2.55±1.00 ^{ab}
60	3.00±1.26 ^{ab}	2.20±0.77 ^{cd}	2.65±0.81 ^{bc}	2.75±0.97 ^c	2.55±1.28 ^{ab}
80	2.55±1.28 ^b	1.80±0.89 ^d	1.80±0.83 ^d	2.00±0.80 ^d	2.15±0.81 ^b
100	3.70±1.08 ^a	1.70±0.66 ^d	2.20±0.89 ^{cd}	2.00±1.12 ^d	2.45±1.23 ^a

ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{NS} แสดงถึงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.4 ผลการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสของเนยแข็งเทียมชนิดทาที่ทดแทนเรเนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าว

ผลการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสของเนยแข็งเทียมชนิดทาที่ทดแทนเรเนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าวในปริมาณต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.4 เห็นได้ว่าผู้ทดสอบชิม

ผลการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสของเนยแข็งเทียมชนิดทาที่ทดแทนเรนเนต เคซีนด้วยโปรตีนรำข้าวในปริมาณต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.4 เห็นได้ว่าผู้ทดสอบชิม มีความชอบเนยแข็งเทียมทุกสูตรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ด้านความสามารถ ในการทา ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบเนยแข็งเทียมสูตรที่เติมโปรตีนรำข้าว 40 เปอร์เซ็นต์ สูงสุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 3.75 ± 0.79 คะแนน แสดงว่าผู้ทดสอบชิมชอบเนยแข็งชนิดทาที่ไม่เหลว มาก เนื่องจากเมื่อพิจารณาผลการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (ตารางที่ 4.3) พบว่าเนยแข็งเทียมที่ทดแทนเรนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าว 40 เปอร์เซ็นต์ ใช้แรงในการป้าย ทาปานกลาง โดยมีค่าในช่วง 102.81 ± 19.18 กรัมแรง ซึ่งใกล้เคียงกับเนยแข็งไขมันต่ำทางการค้า ผู้ ทดสอบชิมจึงให้คะแนนความชอบด้านความสามารถในการทาในสูตรดังกล่าวสูงสุด นอกจากนี้ พบว่าคะแนนความชอบด้านความสามารถในการทาของเนยแข็งเทียมทุกสูตร สอดคล้องกับผลการ วัดลักษณะเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องมือ เช่นเดียวกับผลการทดลองของ Labato-Calleros *et al.* (2004) ซึ่งพบว่าการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเนยแข็งที่เติมสารทดแทนไขมันด้วยประสาทสัมผัส สัมพันธ์กับการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์

เนยแข็งเทียมชนิดทาที่ไม่เติมโปรตีนรำข้าวมีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสในค่าน รสชาติ การยอมรับโดยรวม สี และกลิ่นสูงกว่าเนยแข็งเทียมในสูตรอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงว่าปริมาณโปรตีนรำข้าวมีผลต่อคุณลักษณะดังกล่าวของผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียม เนื่องจากในโปรตีนรำข้าวมีสารประกอบฟีนอลิกที่เกาะอยู่กับโปรตีน ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์จุ่มและ มีรสฝื่อน (Chapman and Lawless, 2004) ทำให้เนยแข็งเทียมที่เติมโปรตีนรำข้าวมีสีเข้มและมีรส ฝื่อน ส่งผลให้คะแนนความชอบด้านรสชาติ การยอมรับโดยรวม และสีของเนยแข็งเทียมสูตรที่เติม โปรตีนรำข้าวมีค่าต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Huang *et al.* (2005) ที่เมื่อเติมรำข้าวใน ผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูได้ห้วน พบว่าคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสลดลง เมื่อปริมาณรำข้าว มากขึ้น อย่างไรก็ตาม พบว่าคะแนนความชอบกลิ่นของเนยแข็งเทียมที่เติมโปรตีนรำข้าว 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าไม่แตกต่างจากเนยแข็งเทียมที่ไม่เติมโปรตีนรำข้าว ขณะที่คะแนนความชอบกลิ่น ของเนยแข็งเทียมสูตรอื่นมีค่าต่ำ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ามีผู้ทดสอบชิมบางส่วนชอบกลิ่นของโปรตีน รำข้าวในผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียมที่เติมโปรตีนรำข้าว 100 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้พบว่า เนยแข็งเทียมชนิดทาสูตรที่ทดแทนเรนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าว 80 เปอร์เซ็นต์ และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนความชอบด้านรสชาติ การยอมรับโดยรวม และสีไม่ แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีคะแนนอยู่ระหว่างไม่ชอบถึงไม่ชอบเล็กน้อย แสดงว่าการเติม โปรตีนรำข้าวในปริมาณสูง จะทำให้ผู้ทดสอบชิมไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียม

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการใช้โปรตีนรำข้าวทดแทนเรนเนตเคซีนต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียมชนิดทา สามารถสรุปได้ดังนี้

1. โปรตีนรำข้าวที่ใช้ในการผลิตเนยแข็งเทียมชนิดทา จำแนกโดยอาศัยสมบัติการละลายของโปรตีนได้ 4 ชนิด คือ โปรตีนชนิดแอลบูมิน โกลบูลิน โพรลามีน และกลูเตลิน โดยโปรตีนหลักที่พบในรำข้าว คือ โปรตีนชนิดแอลบูมินและโกลบูลิน

2. การทดแทนเรนเนตเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าวในเนยแข็งเทียมชนิดทา ทำให้ผลิตภัณฑ์มีพีเอชลดลง แรงที่ใช้ในการทดลอง สามารถป่ายทาได้ง่ายขึ้น แต่มีความชื้นไม่แตกต่างกัน และเนยแข็งเทียมชนิดทาสูตรที่เติมโปรตีนรำข้าว 40 เปอร์เซ็นต์ มีความสามารถในการทาใกล้เคียงกับเนยแข็งชนิดทาทางการค้าสุตรไขมันต่ำกว่าเนย 80 เปอร์เซ็นต์

3. เนยแข็งเทียมชนิดทามีสีครีม โดยเมื่อปริมาณโปรตีนรำข้าวมากขึ้น ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มมีสีเหลืองมากขึ้นจนมีสีน้ำตาลเข้ม และเนยแข็งเทียมชนิดทาสูตรที่เติมโปรตีนรำข้าวปริมาณตั้งแต่ 60 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีไม่แตกต่างกัน

4. การประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีทดสอบเชิงพรรณนา (Descriptive test) โดยเปรียบเทียบกับเนยแข็งชนิดทาทางการค้า เนยแข็งเทียมชนิดทาจากการทดลองไม่แตกต่างจากเนยแข็งชนิดทาทางการค้าในด้านความเรียบเนียน รสเค็ม รสเฝื่อน และความชุ่มฉ่ำมัน แต่มีความสามารถในการทาและกลืนแป็งดัมเพิ่มขึ้น

5. การประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสแบบให้คะแนน (5-Hedonic scale) เนยแข็งเทียมชนิดทาที่เติมโปรตีนรำข้าวปริมาณต่ำกว่า 40 เปอร์เซ็นต์มีคะแนนความชอบในด้านรสชาติ การยอมรับโดยรวม สี กลิ่น และความสามารถในการทาสูง เมื่อเปรียบเทียบกับเนยแข็งเทียมชนิดทาที่ไม่เติมโปรตีนรำข้าว

ข้อเสนอแนะ

1. โปรตีนรำข้าวที่สกัดได้มีสีเข้ม เมื่อนำมาทดแทนในผลิตภัณฑ์จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเข้ม ดังนั้นควรเลือกทดแทนในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสีเข้ม
2. ในกระบวนการผลิตเนยแข็งเทียม อาจต้องมีการเติมแต่งกลิ่นซ็อกโกแลต เพื่อให้เหมาะกับสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ และเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคมากขึ้น

บรรณานุกรม

- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2547. สรุปภาวะการผลิต การตลาด ราคาในประเทศ และราคาข้าวไทยส่งออก ประจำปี 2547.
- นิธิยา รัตนานพนธ์. 2545. เคมีอาหาร. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร. 504 น.
- นัยนา บุญทวีวัฒน์ และเรวดี จงสุวัฒน์. 2545. น้ำมันรำข้าวทางเลือกเพื่อสุขภาพของคนไทย. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร. 14-15, 23, 33 น.
- ไมตรี สุทธิจิตต์. 2544. “สารแอนติออกซิแดนท์ สารจรรโลงสุขภาพ” สมุนไพรเพื่อสุขภาพ. 8: 61-62.
- วรรณมา ตั้งเจริญชัย และวิบูลย์กิจ กาวิตะ. 2531. นมและผลิตภัณฑ์นม. โอเอสพรีนติ้งเฮาส์, กรุงเทพมหานคร. 187 น.
- วลัยรุจิ วิเชียรทวี. 2540. การผลิตเนยแข็งเทียมจากเคซีนและโปรตีนข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- วุฒิชัย นาครักษา. 2536. เอกสารคำสอนวิชาการโบบไฮเครตในอาหาร. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร.
- ศิริวัฒน์ มงคลกาญจนศิริ. 2545. การผลิตโปรตีนเข้มข้นจากรำข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- Anderson, A. K. and Guraya, H. S. 2001. “Extractability of Protein in Physically Processed Rice Bran.” *JAOCS*. 78: 969-972.
- AOAC. 2000. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis.
- Awad, R. A., Abdel-Hamiid, L. B., El-Shabrawy, S. A. and Singh, R.K. 2001. “Texture and Microstructure of Block Type Processed Cheese with Formulated Emulsifying Salt Mixtures.” *J. Lebnsn.-Wiss. U.-Technol*. 35: 54-61.
- Bachmann, H. P. 2001. “Cheese Analogues.” *Int. Dairy J.* 11: 505-515.
- Bandzus, Wolfgang, Altieri, Paul, Kasica, James, J., Trazasko, Peter, T. 2002. “Starch Phosphate ester Composition, Process and Method of Use in Food.” *U.S.Patent*: 6,428,836.
- Budiman, M., Stroshine, R. L. and Campanella, H. 2002. “Stress Relaxation and Low Field Proton Magnetic Resonance Studies of Cheese Analogue.” *J. Tex Studies*. 31: 477-498.

- Casas, J. A. and Garcia-Ochoa, F. 1999. "Viscosity of Solutions of Xanthan/Locust Bean Gum Mixtures". **J. Sci Food Agric.** 79:25-31.
- Chapman, K. W. and Lawless, H. T. 2004. "Correlation of Instrumental Measures of Saliva Turbidity and Perceived as Astringency of Metallic Salts." [online]. Available:<http://www.google.com>
- Chanamai, R. and McClements, D. J. 2001. "Depletion Flocculation of Beverage Emulsions by Gum Arabic and Modified Starch." **J. Food Sci.** 66: 457-463.
- Constenla, D. T. and Lozano, J. E. 2005. "Effect of Pretreatments and Processing Conditions on the Chemical, Physical, Microbiological and Sensory Characteristics of Garlic Paste." **J. of Food Process Eng.** 28(3): 313-319.
- Dajian, H. Ou, B., Hampsch-Woodill, M., Flanagan, J. A. and Deemer, E. K. 2002. "Development and Validation of Oxygen Radical Absorbance Capacity Assay for Lipophilic Antioxidants Using Randomly Methylated β -cyclodextrin As the Solubility Enhancer." **J. Agri. Chem.** 50: 1815-1821.
- Dimitreli, G. and Thomareis, A. S. 2003. "Effect of Temperature and Chemical Composition on Processed Cheese Apparent Viscosity." **J. Food Sci.** 66: 586-591.
- Drake, M. A., Herrette, W., Boylston, T. D. and Swanson, B. G. 1996. "Lecithin Improves Texture of Reduced Fat Cheeses." **J. Food Sci.** 61: 639-642.
- Ennis, M. P. and Mulvihill, D. M. 1999. "Compositional Characteristics of Rennet Caseins and Hydration Characteristics of the Caseins in a Model System As Indicators of Performance in Mozzarella Cheese Analogue Manufacture." **Food Hydrocoll.** 13: 325-337.
- Ennis, M. P., O'Sullivan, M. M. and Mulvihill, D. M. 1998. "The Hydration Behavior of Rennet Caseins in Calcium Chelating Salt Solution As Determined Using a Rheological Approach." **Food Hydrocoll.** 12: 451-457.
- Gnanasambandam, R. And Hettiarachchy, N. S. 1995. "Protein Concentrates from Unstabilized and Stabilized Rice Bran : Preparation and Properties." **J. Food Sci.** 60: 1066-1069.
- Guinee, T. P. and O'Callaghan, D. J. 1997. "The Use of Simple Empirical Method for Objective Quantification of the Stretchability of Cheese on Cooked Pizza Pies." **J. Food Eng.** 31: 147-161.

- Guinee, T. P. Auty, M. A. E. and Fenelon, A. M. 2000a. "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. Harrington, D. Corcoran, M. O. Mulholland, E. O. and Mullins, C. 2000b. "The Composition Properties of Commercial Mozzarella, Cheddar and Analogue Pizza Cheese." **Int. J. Dairy Tech.** 53: 51-56.
- Hamada, J. S. 1997. "Characterization of Protein Fractions of Rice Bran to Derive Effective Methods of Protein Solubilization." **Cereal Chem.** 74: 662-668.
- Hamada, J. S. 1998. "Preparative Separation of Value-Added Peptides from Rice Bran Proteins by High-Performance Liquid Chromatography." **J. Chromatogr. A.** 827: 319-327.
- Hennelly P. J., Dunne, P. G. O'Sullivan, M. M. and O'Riordan, E. D. 2005. "Textural, Rheological and Microstructural Properties of Imitation Cheese Containing Inulin." **J. Food Eng.** [online]. Available:<http://www.sciencedirect.com>
- Huang, S. C., Shiau, C. Y., Liu, T. E., Chu, C. L. and Hwang, D. F. 2005. "Effects of Rice Bran on Sensory and Physico-Chemical Properties of Emulsified Pork Meatballs." **J. of Meat Sci.** 70:613-619.
- Huang, X., Kakuda, Y. And Cui, W. 2001. "Hydrocolloid in Emulsions: Particle size Distribution and Interfacial Activity." **Food Hydrocoll.** 15: 533-542.
- Juliano, B. O. 1985. **Rice: Chemistry and Technology.** 2nd (ed.,) American Association of Cereal Chemists, St.Paul, Minnesota. 774p.
- Kokini, J. L. and Cusster, E. L. 1987. **The Psychophysics of Fluid Food Texture.** In Food Texture. edited by Dekker, M. New York. USA. 352p.
- Konstance, R. P. and Strange, E. D. 1991. "Solubility and Viscous Properties of Casein and Caseinates." **J. Food Sci.** 56: 556-559.
- Landers, P.S. and Hamaker B.R. 1994. "Antigenic Properties of Albumin, Globulin, and Protein Concentrate Fractions from Rice Bran." **Cereal Chem.** 71: 409-411.
- Lasztity, R. 1995. **The Chemistry of Cereal Proteins.** 2nd. ed CRC Press. London. 415p.
- Lee, S. K. and Klostermeyer, H. 2001. "The Effect of pH on the Rheological Properties of Reduced-Fat Model Processed Cheese Spreads." **J. Lebns.-Wiss. U.-Technol.** 34: 288-292.

- Lobatos-Calleros, C., Santiago, C. R. and Osorio-Santiago, V. J. 2002. "Microstructure and Texture of Manchego Cheese-Like Products made with Canola Oil Lipophilic and Hydrophilic Emulsifier." **J. Tex Studies**. 33: 165-182.
- Lobatos-Calleros, C., Vernon-Carter, E. J. and Sandoval-Castilla, O. 2004. "Microstructure and Texture Properties of Reduced Fat White Fresh Cheeses Manufactured with Fat Replacers from Protein and Carbohydrate Nature. [online]. Available: <http://www.google.com>
- Meilgaard, M., Civille, C. V. and Carr, B. T. 1999. **Sensory Evaluation Techniques**. CRC Press. 416p.
- Middleton and Jerry, L. 1983. "Process of Using Rennet Casein for Producing Imitation Cheese." **U.S. Patent: 4,882,623**.
- Mounsey, J. S. and O'Riordan, E. D. 2001. "Characteristics of Imitation Cheese Containing Native Starches." **J. Food Sci.** 66: 586-591.
- Muir, D. D. and McBride, R. 1999. "The Grading and Sensory-Profiling of Cheese." In *Technology of Cheese Making*. Edited by Barry, A. V. Sheffield Academic Press. England. 456p.
- Muir, D. D., Tamine, A. Y. and Shenana, M. E. 1999. "Processed Cheese Analogues Incorporating Fat-Substitutes 1. Composition, Microbiological Quality and Flavor Changes During Storage at 5°C." **J. Lebns.-Wiss. U.-Technol.** 32: 41-49.
- Navarro, A. S., Martino, M. N. and Zaritzky, N. E. 1995. "Modeling of Rheological Behavior in Starch-Lipid Systems." **J. Lebns.-Wiss. U.-Technol.** 29: 632-639.
- Nussinovitch, A. 1997. **Hydrocolloid Applications Gum Technology in the Food and Other Industries**. London: Chapman & Hall. 577p.
- O'Sullivan, M. M. and Mulvihill, D. M. 2001. "Emulsifier influence of Some Physico-Chemical Characteristic of Chemical Rennet Caseins on the Performance of the Casein in the Mozzarella Cheese Analogue Manufacture." **Int. Dairy J.** 11: 153-163.
- Pellegrino, L., Resmini, P., Noni, I. D. and Masotti, F. 1996. "Sensitive Determination of Lysinoalamine for Distinguishing Natural from Imitation Mozzarella Cheese." **J. Dairy Sci.** 79: 725-734.
- Quintana, J. M., Califano, A. N., Zaritzky, N. E., Partal, P. and Franc, J. M. 2001. "Linear and Nonlinear Viscoelastic Behavior of Oil-in-Water Emulsion Stabilized with Polysaccharides." **J. Tex Studies**. 33: 215-236.

- Santos, B. L., Resurreccion, A. V. A. and Garcia, V. V. 1989. "Quality Characteristic and Consumer Acceptance of a Peanut-Based Imitation Cheese Spread." **J. Food Sci.** 54: 468-471.
- Seetharamaiah, G. S. and Chandrashekara, N. 1998. "Hypocholesterlemic Activity of Oryzanol in Rats." **Nutr. Rep. Int.** 38: 927-935.
- Shi, X. and BeMiller, J. N. 2002. "Effects of Food Gum on Viscosities of Starch Suspensions During Pasting." **Carbohydrate Polymers** 50: 7-18.
- Tamime, A. Y., Shenana, M. E., Muir, D. D., Kalab, M. and Dawood, A. EE. 1999. "Processed Cheese Analogies Incorporating Fat-Substitutes 2. Rheology, Sensory Perception of Texture and Microstructure." **J. Lebnsn.-Wiss. U.-Technol.** 32: 50-59.
- Tester, R. F., Karkalas, J. and Qi, X. 2004. "Starch-Composition, Fine Structure and Architecture." **J. Cereal Sci.** 39: 151-165.
- Thaiudom, S. and Goff, H.D. 2003. "Effect of K-carrageenan on Milk Protein Polysaccharide Mixtures." **Int. Dairy J.** 13: 763-771.
- Tuinier, R., Grotenhuis, E. T. and Kruif, C. G. 2000. "The Effect of Depolymerised Guar Gum on the Stability of Skim Milk." **Food Hydrocoll.** 14: 1-7.
- U.S. Senale Select Committee a Nation and Human needs. 1997.
- Verman, A. H. and Sutherland, J. P. 1973. **Milk and Milk Products : Technology, Chemistry and Microbiology.** Chapman and Hall. London. 451p.
- Wang, M., Hettiarachchy, N. S., Burks, M. Qi. W. and Siebenmorgen, T. 1999. "Preparation and Functional Properties of Rice Bran Protein Isolate." **J. Agri. Food. Chem.** 47: 411-416.
- Xu. Z. and Godber, J. F. 2001. "Antioxidant Activities of Major Components of γ -oryzanol from Rice Bran Using a Linoleic Model." **JAOCS.** 78: 645-649.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การจำแนกชนิดของโปรตีน

การจำแนกชนิดของโปรตีน

1. การจำแนกชนิดของโปรตีนโดยอาศัยสมบัติการละลาย (Lander and Hamaker, 1994)

อุปกรณ์และสารเคมี

1. หลอด centrifuge
2. เครื่อง centrifuge
3. โซเดียมคลอไรด์
4. แอลกอฮอล์
5. 2-เมอร์แคปโทเอทานอล
6. ลอริลซัลเฟต
7. บอแรกซ์
8. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น

การเตรียมสารละลาย

1. เตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ โดยละลายโซเดียมคลอไรด์ 29.25 กรัม ในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร
2. เตรียมสารละลายเอทานอล ความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ โดยละลาย 95 เปอร์เซ็นต์ แอลกอฮอล์ 631.35 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร
3. เตรียมสารละลายบอแรกซ์เฟอรัส พีเอช 10 โดยละลายบอแรกซ์ 19.05 กรัม ในน้ำกลั่น เติมลลอริลซัลเฟต 5 กรัม และ 2-เมอร์แคปโทเอทานอล คนจนละลาย ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร
4. เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 83.92 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างโปรตีน ละลายในสารละลายต่างๆ ได้แก่ น้ำกลั่น สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ สารละลายเอทานอล ความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ สารละลายบอแรกซ์เฟอรัส พีเอช 10 ในอัตราส่วนโปรตีน:สารละลาย 1:20 โดยน้ำหนักและกวนผสมสารละลายดังกล่าว เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. นำสารละลายที่ได้ไปตกตะกอนด้วยเครื่อง centrifuge ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อวินาที นาน 20 นาที นำตะกอนที่ได้มาละลายในสารละลายข้างต้นอีกครั้ง และกวนผสมเป็นเวลา

- 30 นาที ก่อนนำไปหมุนเหวี่ยงอีกครั้ง และเก็บสารละลายส่วนใสที่ได้จากการหมุนเหวี่ยงทั้งสองรอบ
3. เติมสารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ เพื่อให้โปรตีนตกตะกอน
 4. นำสารละลายดังกล่าวไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที เก็บตะกอนโปรตีนได้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2. การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (Bochi-Kjedahl System)

อุปกรณ์และสารเคมี

1. หลอดย่อยโปรตีน (Kjedahl flask)
2. เครื่องมือวิเคราะห์โปรตีน (Bnchi – Kjedahl system รุ่น B-316)
3. บิวเรต (buret)
4. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น
5. กรดบอริก ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์
6. กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล
7. โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 32 เปอร์เซ็นต์
8. คะตะลิสต์ ผสมคอปเปอร์ซัลเฟต 20 กรัม และ โพแทสเซียมซัลเฟต 100 กรัม
9. อินดิเคเตอร์ผสม
 - ก. เตรียม bromocresol green ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ในแอลกอฮอล์เข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ และเตรียม methyl red ในแอลกอฮอล์เข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์
 - ข. ผสม bromocresol green 10 มิลลิลิตร กับ methyl red 2 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

1. วิธีการย่อยโปรตีน

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างโดยประมาณ 1.0 กรัม ใส่ลงไปหลอดย่อย เติมสารละลายลิสต์ 7 กรัม ใส่เม็ด Glass Bead ลงไป 2-3 เม็ด และเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Concentrate sulfuric acid; H_2SO_4) 15 มิลลิลิตร ลงไปในหลอดย่อย ทำการย่อยตัวอย่าง เป็นเวลา 45-60 นาที หรือจนกระทั่งสารละลายกลายเป็นสีเขียวใส ทิ้งให้สารละลายเย็น และหมักควันกรด
2. วิธีการกลั่นโปรตีน

นำหลอดตัวอย่างที่ผ่านการย่อยแล้ว ไปวางที่ด้านซ้ายของเครื่องกลั่นโปรตีน โดยมี Tube holder เป็นที่จับหลอดย่อยโปรตีน กดปุ่ม Power รอจนขึ้นตัว P แล้วจึงตั้งโปรแกรม

step 1	4 sec
step 2	7 sec
step 3	30 sec
step 4	300 sec
step 04	75 sec
step 5	25 sec

นำขบวนการหมักที่บรรจุกรดบอริก ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 60 มิลลิลิตร แล้วหยดอินดิเคเตอร์ผสมลงไป 2-3 หยด นำไปวางบนแท่นที่มีท่อด้านขวามือ ให้ปลายท่อจุ่มลงในสารละลายกรดบอริกเพื่อจับก๊าซแอมโมเนีย กดปุ่ม Start เริ่มการทำงาน จากนั้นนำไปไตเตรท (titration) กับกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล คำนวณเป็นปริมาณไนโตรเจนคิงสมการ และรายงานผลเป็นปริมาณโปรตีน

$$\text{Nitrogen (\%)} = \frac{\text{Normality HCl} \times (\text{Titer sample} - \text{Titer blank}) \times 100}{\text{Sample (mg)}}$$

$$\text{Protein (\%)} = 5.95 \times \% \text{Nitrogen}$$

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์คุณภาพของนโยบายเชิงเทียบชนิดทา

การวิเคราะห์คุณภาพของเนยแข็งเทียมชนิดทา

1. การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่อง pH meter

วิธีวิเคราะห์

1. กด cal ที่เครื่องจนกระทั่งขึ้น Ct1
2. จุ่ม probe ลงในพีเอช 7 กด Enter รอจนกระทั่ง Ct2 ปรากฏ
3. ถ้างัว probe ด้วยน้ำกลั่น ซับด้วยกระดาษทิชชู
4. จุ่ม probe ลงในพีเอช 4 กด Enter รอจนปรากฏค่า slope ในช่วง 56-62 (ค่าติดลบ)
5. ถ้างัว probe ด้วยน้ำกลั่น ซับด้วยกระดาษทิชชู
6. จุ่ม probe ลงในตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลือง กด Enter 2 ครั้งจะปรากฏค่าพีเอชของตัวอย่าง

หมายเหตุ

- pH buffer ต้องมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง
- ในขั้นตอนที่2 จะใช้เวลาไม่เกิน 10-15 นาที ถ้าเกินให้ปิดเครื่องและทำการ calibration ใหม่
- ถ้าไม่ขึ้น Ct2 แต่ขึ้น Et3 ให้ปิดเครื่องและทำการ calibration ใหม่ ถ้ายังไม่ได้ ให้เปลี่ยน pH buffer ที่ใช้



ภาพที่ ข1 เครื่องมือวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)

2. การวิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี Minolta CR300

วิธีวิเคราะห์

1. ต่อบปลั๊กไฟเข้าด้านหลังเครื่องตรงช่อง DC
2. เปิด power ไปที่ ON กดที่ CALIBRATE รอประมาณ 5 วินาทีหน้าจอจะแสดงข้อความ

CAL Ch00 Y....
x.... y....

3. วางปลายหัววัดให้แนบกับผิวหน้าของ calibration plate (แผ่นกระเบื้องสีขาว)
4. กดที่ปุ่ม measuring head อย่ายกหัวออกจนกว่าการวัดจะเสร็จสิ้น โดยหน้าจอจะแสดง "END"
5. วางปลายหัววัดให้แนบชิดกับผิวตัวอย่าง และทำการวัดเช่นเดียวกับข้อ 4



ภาพที่ ข2 เครื่องวัดสี Minolta CR300

3. การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (Moisture Content)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน
2. ถ้วยอะลูมิเนียม
3. โถคุดความชื้น

วิธีวิเคราะห์

1. อบถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 130 ± 3 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง
2. นำใส่โถคุดความชื้น เป็นเวลา 30 นาที
3. ชั่งน้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝาที่ผ่านการอบแห้งมาก่อน เพื่อให้ทราบน้ำหนักแน่นอน
4. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างใส่ถ้วยอะลูมิเนียมประมาณ 2 กรัม ปิดฝาแล้วนำไปชั่งให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน
5. นำไปอบในตู้อบ โดยเปิดฝาด้วยอะลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 130 ± 3 องศาเซลเซียส นาน i ชั่วโมง
6. เมื่อครบกำหนดเวลาที่อบ ปิดฝาด้วยอะลูมิเนียม นำมาทำให้เย็นใน โถคุดความชื้นก่อนนำมาชั่งน้ำหนัก
7. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างแน่นอนที่ผ่านการอบแล้ว พร้อมทั้งถ้วยอะลูมิเนียมและฝา
8. นำไปอบและชั่งน้ำหนักอีก 2 ครั้งเพื่อให้ทราบน้ำหนักแน่นอน

4. การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความสามารถในการทา (Spreadability)

การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างเนยแข็งเทียมที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง
บรรจุตัวอย่างเนยแข็งเทียมให้ถึงขีดปริมาตร 40 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer Stable Micro Systems TA-XT2)

สภาวะที่ใช้:

Probe:	P/45C
Mode:	Force in compression
Option:	Return to start
Pre test speed:	2.00 mm/s
Test speed:	1.00 mm/s
Post test speed:	1.00 mm/s
Force:	100 g



ภาพที่ ข3 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส Stable Micro Systems TA-XT2

ภาคผนวก ก

การประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส

การฝึกฝนผู้ทดสอบชิมเพื่อประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส

ฝึกฝนผู้ทดสอบชิมเพื่อประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของเนยแข็งเทียมชนิดทาที่ทดแทนเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าว จำนวน 6 ครั้ง ครั้งละ 1.5 ชั่วโมง ดังนี้

- ครั้งที่ 1, 2 ฝึกฝนให้ผู้ทดสอบชิมมีความคุ้นเคยกับวิธีการทดสอบตัวอย่างอ้างอิง (reference standard) และลักษณะที่ใช้ในการทดสอบ
- ครั้งที่ 3 ให้ผู้ทดสอบชิมประเมินระดับคะแนนของตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ในแต่ละคุณลักษณะ พร้อมทั้งหาระดับคะแนนที่เป็นเอกลักษณ์
- ครั้งที่ 4, 5 ให้ผู้ทดสอบชิมทดสอบตัวอย่างอ้างอิงที่ระดับคะแนนที่เป็นเอกลักษณ์จนผู้ทดสอบชิมมีความคุ้นเคยและจำได้
- ครั้งที่ 6, 7 ให้ผู้ทดสอบชิมทดสอบเนยแข็งเทียมชนิดทาที่ทดแทนเคซีนด้วยโปรตีนรำข้าว 0 10 20 40 60 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เนยแข็งชนิดทาทางการค้าเป็นตัวอย่างควบคุม

ตารางที่ 1 เทอมที่ใช้ทำโพรไฟล์ของเนยแข็งเทียมชนิดทาจากโปรตีนรำข้าว

Parameter	Sensorial definition
Salty	- The taste stimulated by sodium salts, such as sodium chloride and sodium glutamate , and in part by other salts, such as potassium chloride.
Astringency	- The shrinking or puckering of the tongue surface caused by substances such as tannin or alum.
Boiled starches odor	- Related to over heating, over toasting, or scorching the starch in a product.
Spreadability	- Ease of moving product by knife over the carrier such as bread or cracker.
Smoothness	- Amount of particles in surface.
Oily	- Amount of oiliness on oral surface.

ที่มา: ดัดแปลงจาก Meilgard *et al.* (1991)

ตารางที่ 2 ตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ในการฝึกฝนผู้ชิมเนยแข็งเทียมชนิดทาจากโปรตีนรำข้าว

Attributes	Reference standard
Flavor and taste Salty Astringency Boiled starches	0.2%NaCl, Ritz cracker (Nabisco) Tea bags/1 hr soak 10 w/v starch slurry
Texture and body Spreadability Smoothness Oily	Stick margarine, Mayonnaise Cream cheese (Philadelphia) Potato chips (Frito-Lay)

ที่มา: Meilgard *et al.* (1991); Kokini and Cusster (1987)

ผลิตภัณฑ์เนยแข็งเทียมชนิดทาจากโปรตีนรำข้าว

ชื่อผู้ทดสอบ วันที่.....

คำแนะนำ ป้ายตัวอย่างลงบนแครกเกอร์ ชิมตัวอย่าง และคั้นน้ำระหว่างตัวอย่าง ทดสอบลักษณะ
ต่อไปนี้

สี กลิ่น ความสามารถในการป้าย รสชาติ และการยอมรับโดยรวม

โดยใส่ หมายเลขลงใน ให้ตรงกับความรู้สึกที่มีต่อผลิตภัณฑ์

	1	2	3	4	5
	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบเล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบเล็กน้อย	ชอบมาก

	1	2	3	4	5
สี	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
กลิ่น
ความสามารถในการป้าย
รสชาติ
การยอมรับโดยรวม

ข้อเสนอแนะ

.....

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ทางสถิติ CRD

การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ CRD

ตารางที่ ๑1 การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณความชื้นและพีเอชของเนยแข็งเทียมชนิดทา

	Mean	Std.Deviation	Sig.
%Moisture			
0 %Rice Bran Protein	95.3286	.3166	.070
10 %Rice Bran Protein	95.4814	.2549	
20 %Rice Bran Protein	95.2886	.3743	
40 %Rice Bran Protein	95.7957	1.7437	
60 %Rice Bran Protein	95.1329	.3634	
80 %Rice Bran Protein	95.5367	.3229	
100 %Rice Bran Protein	95.4886	.2230	
pH			
0 %Rice Bran Protein	7.2783	.3026	.000*
10 %Rice Bran Protein	6.7967	.1226	
20 %Rice Bran Protein	6.7467	.1198	
40 %Rice Bran Protein	6.5850	8.849E-02	
60 %Rice Bran Protein	6.4767	.1682	
80 %Rice Bran Protein	6.4000	.1675	
100 %Rice Bran Protein	6.4367	.1981	

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

Sample	N	pH		
		Subset for alpha = .05		
		1	2	3
80 %Rice Bran Protein	6	6.4000		
100 %Rice Bran Protein	6	6.4867		
60 %Rice Bran Protein	6	6.4767		
40 %Rice Bran Protein	6	6.5850	6.5850	
20 %Rice Bran Protein	6		6.7467	
10 %Rice Bran Protein	6		6.7967	
0 %Rice Bran Protein	6			7.2783
Sig.		.110	0.60	1.000

ตารางที่ ค2 การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของความชื้นและฟิโชนของเนยแข็งทางการค้า

	Mean	Std.Deviation	Sig.
%Moisture			
60 %Less Fat than Butter	95.0075	.1493	.000*
80 %Less Fat than Butter	97.1200	7.528E-02	
pH			
60 %Less Fat than Butter	4.8500	1.414E-02	.016*
80 %Less Fat than Butter	4.7525	5.679E-02	

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ค3 การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของความสามารถในการทาของเนยแข็งเทียม

	Mean	Std.Deviation	Sig.
Spreadability			
0 %Rice Bran Protein	170.3333	23.8672	.000*
10 %Rice Bran Protein	167.6667	25.5927	
20 %Rice Bran Protein	150.2000	25.1102	
40 %Rice Bran Protein	102.8111	19.1782	
60 %Rice Bran Protein	86.4778	21.4078	
80 %Rice Bran Protein	49.3444	20.1904	
100 %Rice Bran Protein	84.0889	23.4068	

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

Sample	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
80 %Rice Bran Protein	9	49.3444		
100 %Rice Bran Protein	9		84.0889	
60 %Rice Bran Protein	9		86.4778	
40 %Rice Bran Protein	9		102.8111	
20 %Rice Bran Protein	9			150.2000
10 %Rice Bran Protein	9			167.6667
0 %Rice Bran Protein	9			170.3333
Sig.		1.000	.105	.081

ตารางที่ ค4 การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของความสามารถในการทาของเนยแข็งทางการค้า

	Mean	Std.Deviation	Sig.
Spreadability			
60 %Less Fat than Butter	20.0950	.5231	.000*
80 %Less Fat than Butter	14.3370	.5936	

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ค5 การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของค่าสีของเนยแข็งเทียมชนิดทา

	Mean	Std.Deviation	Sig.
L			
0 %Rice Bran Protein	91.6933	.8266	.000*
10 %Rice Bran Protein	83.6900	.7581	
20 %Rice Bran Protein	78.7100	3.4741	
40 %Rice Bran Protein	76.0833	1.8273	
60 %Rice Bran Protein	72.5822	.6366	
80 %Rice Bran Protein	72.1533	.5374	
100 %Rice Bran Protein	70.9967	3.4194	

a

0 %Rice Bran Protein	-2.6400	7.842E-02	.000*
10 %Rice Bran Protein	1.2356	.4469	
20 %Rice Bran Protein	2.8756	.5101	
40 %Rice Bran Protein	3.7200	.3291	
60 %Rice Bran Protein	4.3244	.1674	
80 %Rice Bran Protein	4.2867	.1198	
100 %Rice Bran Protein	4.2800	.7398	

b

0 %Rice Bran Protein	10.2778	.7425	.000*
10 %Rice Bran Protein	11.6911	.7110	
20 %Rice Bran Protein	13.5389	.7647	
40 %Rice Bran Protein	13.4900	.6160	
60 %Rice Bran Protein	13.9878	1.2376	
80 %Rice Bran Protein	13.6844	1.1871	
100 %Rice Bran Protein	12.5344	.7288	

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

L	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
Sample						
100 %Rice Bran Protein	9	70.9967				
80 %Rice Bran Protein	9	72.1533				
60 %Rice Bran Protein	9	72.5822				
40 %Rice Bran Protein	9		76.0833			
20 %Rice Bran Protein	9			78.7100		
10 %Rice Bran Protein	9				83.6900	
0 %Rice Bran Protein	9					91.6933
Sig.		.125	1.000	1.000	1.000	1.000

a	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
Sample						
0 %Rice Bran Protein	9	-2.600				
10 %Rice Bran Protein	9		1.2356			
20 %Rice Bran Protein	9			2.8756		
40 %Rice Bran Protein	9				3.7200	
100 %Rice Bran Protein	9					4.2800
80 %Rice Bran Protein	9					4.2867
60 %Rice Bran Protein	9					4.3244
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	.830

b	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
Sample				
0 %Rice Bran Protein	9	10.2778		
10 %Rice Bran Protein	9		11.6911	
20 %Rice Bran Protein	9			13.4900
40 %Rice Bran Protein	9			13.5344
60 %Rice Bran Protein	9			13.5389
80 %Rice Bran Protein	9			13.6844
100 %Rice Bran Protein	9			13.9878
Sig.		1.000	1.000	.297

ตารางที่ ๓๖ การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของค่าสีของเนยแข็งทางการค้าชนิดทา

	Mean	Std.Deviation	Sig.
L			
60 %Less Fat than Butter	92.2470	.5743	.000*
80 %Less Fat than Butter	93.0880	.5301	
a			
60 %Less Fat than Butter	-4.1299	.1655	.000*
80 %Less Fat than Butter	-3.3520	9.331E-02	

b

60 %Less Fat than Butter	20.0950	.5231	.000*
80 %Less Fat than Butter	14.3370	.5936	

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ค7 การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติทางประสาทสัมผัสของเนยแข็งเทียมชนิดทา

QDA

	Mean	Std.Deviation	Sig.
spreadability			
0 %Rice Bran Protein	8.40	2.22	.179
10 %Rice Bran Protein	10.04	1.45	
20 %Rice Bran Protein	9.94	1.83	
40 %Rice Bran Protein	10.33	1.55	
60 %Rice Bran Protein	10.48	.64	
80 %Rice Bran Protein	9.06	2.59	
100 %Rice Bran Protein	10.54	2.22	
80 %less fat than butter	10.48	1.40	
smoothness			
0 %Rice Bran Protein	9.09	1.95	.000*
10 %Rice Bran Protein	9.44	2.40	
20 %Rice Bran Protein	11.03	1.46	
40 %Rice Bran Protein	10.85	5.58	
60 %Rice Bran Protein	8.18	3.43	
80 %Rice Bran Protein	8.18	3.51	
100 %Rice Bran Protein	9.35	2.20	
80 %less fat than butter	9.94	2.30	

salty			
0 %Rice Bran Protein	3.48	1.66	.000*
10 %Rice Bran Protein	4.19	2.99	
20 %Rice Bran Protein	3.98	3.21	
40 %Rice Bran Protein	5.56	3.19	
60 %Rice Bran Protein	5.91	4.12	
80 %Rice Bran Protein	6.14	4.71	
100 %Rice Bran Protein	6.61	4.62	
80 %less fat than butter	5.90	4.10	

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ๓7 การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติทางประสาทสัมผัสของเนยแข็งเทียมชนิดทา (ต่อ)

QDA

	Mean	Std.Deviation	Sig.
astringency			
0 %Rice Bran Protein	3.05	1.28	.000*
10 %Rice Bran Protein	5.93	4.17	
20 %Rice Bran Protein	6.24	4.32	
40 %Rice Bran Protein	5.14	3.92	
60 %Rice Bran Protein	6.38	3.68	
80 %Rice Bran Protein	6.88	4.09	
100 %Rice Bran Protein	7.18	4.29	
80 %less fat than butter	3.04	1.41	
boiled starch			
0 %Rice Bran Protein	5.23	4.31	.249
10 %Rice Bran Protein	7.06	4.08	
20 %Rice Bran Protein	6.63	4.06	
40 %Rice Bran Protein	7.79	4.10	
60 %Rice Bran Protein	7.49	4.17	
80 %Rice Bran Protein	7.46	4.42	
100 %Rice Bran Protein	7.21	4.90	
80 %less fat than butter	2.86	1.38	

oily

0 %Rice Bran Protein	3.74	1.87	.000*
10 %Rice Bran Protein	5.05	3.08	
20 %Rice Bran Protein	5.34	2.97	
40 %Rice Bran Protein	5.53	3.37	
60 %Rice Bran Protein	5.24	3.10	
80 %Rice Bran Protein	5.26	3.51	
100 %Rice Bran Protein	6.64	3.73	
80 %less fat than butter	4.75	3.73	

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

QDA

spreadability

Sample	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
0 %Rice Bran Protein	8	8.4000	
80 %Rice Bran Protein	8	9.0625	9.0625
20 %Rice Bran Protein	8	9.9375	9.9375
10 %Rice Bran Protein	8	10.0375	10.0375
40 %Rice Bran Protein	8	10.3250	10.3250
60 %Rice Bran Protein	8	10.4750	10.4750
80 less fat than butter	8	10.4750	10.4750
100 %Rice Bran Protein	8		10.5375
Sig.		.050	.166

boiled starch			
Sample	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
80 less fat than butter	8	2.8625	
0 %Rice Bran Protein	8	5.2250	5.2250
20 %Rice Bran Protein	8	6.6250	6.6250
10 %Rice Bran Protein	8	7.0625	7.0625
100 %Rice Bran Protein	8	7.2125	7.2125
80 %Rice Bran Protein	8	7.4625	7.4625
60 %Rice Bran Protein	8	7.4875	7.4875
40 %Rice Bran Protein	8		7.7875
Sig.		.051	.284

ตารางที่ ๘ การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติทางประสาทสัมผัสของเนยแข็งเทียมชนิดทา

Hedonic			
	Mean	Std.Deviation	Sig.
spreadability			
0 %Rice Bran Protein	3.65	1.04	.003*
10 %Rice Bran Protein	3.60	.88	
20 %Rice Bran Protein	3.55	1.05	
40 %Rice Bran Protein	3.75	.79	
60 %Rice Bran Protein	3.00	1.26	
80 %Rice Bran Protein	2.55	1.28	
100 %Rice Bran Protein	3.70	1.08	
taste			
0 %Rice Bran Protein	3.35	1.04	.000*
10 %Rice Bran Protein	2.90	.91	
20 %Rice Bran Protein	2.25	.91	
40 %Rice Bran Protein	2.55	.76	
60 %Rice Bran Protein	2.20	.77	
80 %Rice Bran Protein	1.80	.89	
100 %Rice Bran Protein	1.70	.66	

overall acceptability

0 %Rice Bran Protein	3.55	.94	.000*
10 %Rice Bran Protein	3.10	.85	
20 %Rice Bran Protein	2.85	.93	
40 %Rice Bran Protein	2.55	.89	
60 %Rice Bran Protein	2.65	.81	
80 %Rice Bran Protein	1.80	.83	
100 %Rice Bran Protein	2.20	.89	

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติทางประสาทสัมผัสของเนยแข็งเทียมชนิดทา (ต่อ)

Hedonic

	Mean	Std.Deviation	Sig.
color			
0 %Rice Bran Protein	4.40	.68	.000*
10 %Rice Bran Protein	3.45	.94	
20 %Rice Bran Protein	3.40	.60	
40 %Rice Bran Protein	2.75	.85	
60 %Rice Bran Protein	2.75	.97	
80 %Rice Bran Protein	2.00	.80	
100 %Rice Bran Protein	2.00	1.12	
flavor			
0 %Rice Bran Protein	3.15	1.35	.021*
10 %Rice Bran Protein	3.10	.97	
20 %Rice Bran Protein	3.15	1.09	
40 %Rice Bran Protein	2.55	1.00	
60 %Rice Bran Protein	2.55	1.28	
80 %Rice Bran Protein	2.15	.81	
100 %Rice Bran Protein	2.45	1.23	

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

spreadability		N	Subset for alpha = .05	
Sample	1		2	
80 %Rice Bran Protein	20	2.5500		
60 %Rice Bran Protein	20	3.0000	3.0000	
20 %Rice Bran Protein	20		3.5500	
10 %Rice Bran Protein	20		3.6000	
0 %Rice Bran Protein	20		3.6500	
100 %Rice Bran Protein	20		3.7000	
40 %Rice Bran Protein	20		3.7500	
Sig.		1.820	0.50	

taste		N	Subset for alpha = .05			
Sample	1		2	3	4	
100 %Rice Bran Protein	20	1.7000				
80 %Rice Bran Protein	20	1.8000				
60 %Rice Bran Protein	20	2.2000	2.2000			
20 %Rice Bran Protein	20	2.2500	2.2500			
40 %Rice Bran Protein	20		2.5500	2.5500		
10 %Rice Bran Protein	20			2.9000	2.9000	
0 %Rice Bran Protein	20				3.3500	
Sig.		.063	.225	.196	.297	

overall acceptability		N	Subset for alpha = .05			
Sample	1		2	3	4	
80 %Rice Bran Protein	20	1.8000				
100 %Rice Bran Protein	20	2.2000	2.2000			
40 %Rice Bran Protein	20		2.5500	2.5500		
60 %Rice Bran Protein	20		2.6500	2.6500		
20 %Rice Bran Protein	20			2.8500		
10 %Rice Bran Protein	20			3.1000	3.1000	
0 %Rice Bran Protein	20				3.5500	
Sig.		.151	.128	.071	.106	

Sample	color	N	Subset for alpha = .05			
			1	2	3	4
80 %Rice Bran Protein		20	2.2000			
100 %Rice Bran Protein		20	2.2000			
40 %Rice Bran Protein		20		2.7500		
60 %Rice Bran Protein		20		2.7500		
20 %Rice Bran Protein		20			3.4000	
10 %Rice Bran Protein		20			3.4500	
0 %Rice Bran Protein		20				4.4000
Sig.			1.000	1.000	1.000	.855

Sample	flavor	N	Subset for alpha = .05	
			1	2
80 %Rice Bran Protein		20	2.1500	
100 %Rice Bran Protein		20	2.4500	2.4500
40 %Rice Bran Protein		20	2.5500	2.5500
60 %Rice Bran Protein		20	2.5500	2.5500
10 %Rice Bran Protein		20		3.1000
0 %Rice Bran Protein		20		3.1000
20 %Rice Bran Protein		20		3.1500
Sig.			.309	.084

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - สกุล	นางสาววิสุทธนา สมุทรศรี
วัน เดือน ปีเกิด	6 มกราคม 2524
สถานที่เกิด	ร้อยเอ็ด
ที่อยู่ปัจจุบัน	3/11 หมู่บ้านแจ้งวัฒนะ ต.บางพูด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2546 สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี หลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล