

ผลของการใช้สารทรีฮาโลส น้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอล เป็นโคโรโอโพรเทกแทนต์
ต่อคุณภาพซูริมิที่ได้จากปลาน้ำจืดเศรษฐกิจ



นางสาวเขมวัลย์ เพชรฤทธิ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2207-9

ลิขสิทธิ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF TREHALOSE, SUCROSE AND SORBITOL AS CRYOPROTECTANT IN
SURIMI FROM ECONOMIC FRESHWATER FISH



Miss Kammawon Pachrid

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
For the Degree of Master of Science in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-2207-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการใช้สารทรีฮาโลส น้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอลเป็น
	ไครโอโพรเทกแทนต์ต่อคุณภาพชูริมิที่ได้จากปลาน้ำจืดเศรษฐกิจ
โดย	นางสาวเขมวัลย์ เพชรฤทธิ์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.สุวรรณา สุภิमारส
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ.ดร.เกียรติศักดิ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รศ.ดร.วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รศ.ดร.พนธิพา จันทวัฒน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร.สุวรรณา สุภิमारส)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อ.ดร.เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย)

..... กรรมการ
(ผศ.ดร.รมณี สงวนดีกุล)

..... กรรมการ
(ดร.จิราวรรณ แย้มประยูร)

เชมวัลย์ เพชรฤทธิ์ : ผลของการใช้สารทรีฮาโลส น้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอลเป็นไครโอโพรเทกแทนต์ต่อคุณภาพซูริมิที่ได้จากปลาน้ำจืดเศรษฐกิจ (EFFECT OF TREHALOSE, SUCROSE AND SORBITOL AS CRYOPROTECTANT IN SURIMI FROM ECONOMIC FRESHWATER FISH) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.สุวรรณ สุภิมารส, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ.ดร.เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย, 95 หน้า. ISBN 974-17-2207-9

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตซูริมิจากปลาน้ำจืดเศรษฐกิจของไทย และศึกษาผลของการใช้สารทรีฮาโลส น้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอลเป็นไครโอโพรเทกแทนต์ต่อคุณภาพของซูริมิและสถานะเหมือนแก้วของระบบ วัตถุดิบที่ใช้คือ ปลาตะกวดและปลานวลจันทร์ ปลาทั้ง 2 ชนิดจัดเป็นปลาที่มีปริมาณไขมันต่ำและมีรูปแบบโปรตีนคล้ายคลึงกัน จากการศึกษาผลของชนิดปลา (2ชนิด) และสภาวะในการทำให้เกิดเจล [แปรอุณหภูมิ 4 ระดับ (30 40 50 และ 60 °C), เวลา 3 ระดับ (30 60 และ 120 นาที)] ตามด้วยการให้ความร้อนเจลที่ 85 °C เวลา 30 นาที เพื่อให้ได้ คามาโบโกะ พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดปลาและอุณหภูมิในการทำให้เกิดเจลมีผลต่อค่า hardness และ cohesiveness ของเจลซูริมิอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ชนิดปลาและอุณหภูมิในการทำให้เกิดเจลมีผลต่อค่า springiness ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ชนิดปลา อุณหภูมิและเวลาในการทำให้เกิดเจล ไม่มีผลต่อค่าความขาวของเจลซูริมิ ($p > 0.05$) พิจารณาจากค่า hardness, cohesiveness, springiness และความขาวของเจลซูริมิ เลือกปลานวลจันทร์ สภาวะในการทำให้เกิดเจลคือ อุณหภูมิ 40 °C เวลา 30 นาที ตามด้วยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 °C เวลา 30 นาที เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป ต่อมาศึกษาผลของการใช้สารทรีฮาโลส (tre) น้ำตาลซูโครส (su) และ ซอร์บิทอล (sor) ต่อค่า Tg' และคุณภาพของซูริมิ โดยแปรปริมาณไครโอโพรเทกแทนต์ดังนี้ su:sor (4:4), su:sor:tre (4:3:1); (4:2:2); (4:1:3), su:tre (4:4) และ tre (8) % w/w จากการทดลองพบว่า ค่า Tg' ของซูริมิที่เติมทรีฮาโลสสูงกว่าในซูริมิที่เติมไครโอโพรเทกแทนต์ชนิดอื่น อย่างไรก็ตามชนิดและปริมาณไครโอโพรเทกแทนต์ที่ศึกษาไม่มีผลต่อค่า hardness, cohesiveness, springiness สีและความขาวของเจลซูริมิอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) พิจารณาจากค่า Tg' เลือกชุดการทดลอง su:sor (4:4), su:sor:tre (4:2:2) และ su:tre (4:4) % w/w เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาซูริมิโดยการแช่เยือกแข็งต่อการเปลี่ยนแปลงโปรตีน ลักษณะทางกายภาพ ประสาทสัมผัส และความคงตัวของค่า Tg' ของซูริมิ จากการทดลองตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของprotein pattern ในซูริมิทุกชุดการทดลอง ในขณะที่ค่า hardness, springiness, ค่า L* และค่าความขาวของเจลซูริมิทุกชุดการทดลองเกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเจลซูริมิคะแนนการยอมรับยังคงอยู่ในเกณฑ์ดี และค่า Tg' ของซูริมิทุกชุดการทดลองคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่อผู้ผลิต.....
สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2545.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

437222223 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORD : SURIMI / FRESHWATER FISH / CRYOPROTECTANT

KAMMAWON PACHRID : EFFECT OF TREHALOSE, SUCROSE AND SORBITOL AS CRYOPROTECTANT IN SURIMI FROM ECONOMIC FRESHWATER FISH. THESIS
 ADVISOR : ASSOC. PROF. SUWANNA SUBHIMAROS , Dr. Ing. : THESIS COADVISOR
 : KIATTISAK DUANGMAL, Ph.D., 95 pp. ISBN 974-17-2207-9

Our objectives were to produce surimi from economic freshwater fish and to evaluate the effects of trehalose (tre), sucrose (su) and sorbitol (sor) as cryoprotectants in surimi quality and glassy state system. Freshwater fish used in our research were *Labeo rohita* and *Cirrhina microlepis*. Both of them are lean-fat fish and show similar protein pattern. Species of fish (2 species) and optimum conditions for gel setting [4 levels of gel setting temperature (30, 40, 50 and 60 °C), 3 levels of setting time (30, 60 and 120 min.)] were studied. The gel was then heated at 85 °C for 30 min. to prepare kamaboko. It was found that interaction between fish species and gel setting temperature affected the hardness and cohesiveness of surimi gel significantly ($p \leq 0.05$). Springiness was affected by species and gel setting temperature while whiteness of surimi gel was not effected by species, gel setting temperature and time ($p > 0.05$). Judging from the numerical values of hardness, cohesiveness, springiness and whiteness, surimi gel was then prepared from *Cirrhina microlepis*. The gel was set at 40 °C for 30 min. followed by heating at 85 °C for 30 min. To study the effects of trehalose, sucrose and sorbitol on Tg' and surimi quality. The amount of cryoprotectants was varied as su:sor (4:4); su:sor:tre (4:3:1), (4:2:2), (4:1:3); su:tre (4:4) and tre (8) % w/w. It was found that the Tg' of surimi with trehalose was higher than that of surimi with other cryoprotectants. However, each cryoprotectant and its amount didn't affect hardness, cohesiveness, springiness, color and whiteness of surimi gel significantly ($p > 0.05$). Judging from the value of Tg', surimi was then prepared using su:sor (4:4); su:sor:tre (4:2:2) and su:tre (4:4) % w/w as cryoprotectant. To evaluate the effects of frozen storage on protein denaturation, physical appearance, sensory quality and stability of Tg' surimi were studied. It was found that each cryoprotectant didn't affect protein pattern from surimi throughout 150 days of frozen storage. While it significantly affected hardness, springiness, L* values and whiteness of surimi gel. From the sensory evaluation, using 9 points hedonic scale, the overall acceptance score of surimi prepared from each cryoprotectant ranged from 6.83-7.63.

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

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

Academic year...2002.....Co-Advisor' s signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สุวรรณา สุภิमारส อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อ.ดร.เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลืออันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอแสดงความขอบพระคุณต่อ รศ.ดร.พันธิพา จันทวัฒน์ หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ผศ.ดร.รมณี สงวนดีกุล อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร รองผู้อำนวยการ สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ ดร.จิราวรรณ แยมประยูร หัวหน้ากลุ่มวิจัยและพัฒนาอาหารจากสัตว์น้ำ กรมประมง ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัทสตรองแพค จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์บรรจุก้อนสำหรับใช้ในงานวิจัย ผ่านการประสานงานจากคุณสุภาพรณ เทพกาญจนา

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ส่วนหนึ่ง

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการประจำภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกห้องและเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือ อำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์

น้ำใจจาก เพื่อน ๆ พี่ ๆ ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ศึกษาอยู่ในคราวเดียวกัน ได้ร่วมเป็นผู้ทดสอบผลิตภัณฑ์ทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

และสุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ทุนช่วยเหลืองานวิจัย และให้กำลังใจ ทำให้สามารถทำงานสำเร็จได้ในที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทัศน์.....	
2.1 ชูริมิ.....	2
2.2 วัตถุดิบที่ใช้ผลิตชูริมิ.....	2
2.3 เคมีการเกิดเจลของชูริมิ.....	4
2.4 การเกิดเจลโปรตีนในระหว่างการทำให้ความร้อน.....	6
2.5 Texture Profile Analysis (TPA).....	9
2.6 ส่วนผสมหรือสารเติมแต่งอาหาร (ingredients) ที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ชูริมิ.....	11
2.7 สารป้องกันการสูญเสียสภาพของอาหารแช่เยือกแข็งที่ อุณหภูมิต่ำ (cryoprotectants) และกลไกการทำงานของ cryoprotectants.....	12
2.8 สถานะเหมือนแก้ว (glassy state).....	17
3. อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย	
วัตถุดิบ สารเคมีและอุปกรณ์.....	18
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและรูปแบบโปรตีนของวัตถุดิบ.....	21
3.2 ศึกษาผลของชนิดปลาน้ำจืดและสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียม เจลชูริมิ.....	21
3.3 ศึกษาผลการใช้สารทรีฮาโลส น้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอล ต่อค่า Tg' และคุณภาพของชูริมิ.....	23

3.4	ศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็งต่อการเปลี่ยนแปลงโปรตีน สมบัติทางกายภาพ ประสาทสัมผัส และค่า Tg' ของซูริมิ.....	24
4.	ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1	องค์ประกอบทางเคมีและรูปแบบโปรตีนของวัตถุดิบ.....	26
4.2	ผลของชนิดปลาน้ำจืดและสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเจลซูริมิ.....	29
4.3	ผลการใช้สารทรีฮาโลส น้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอลต่อค่า Tg' และคุณภาพของซูริมิ.....	37
4.4	ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็งต่อการเปลี่ยนแปลงโปรตีน สมบัติทางกายภาพ ประสาทสัมผัส และค่า Tg' ของซูริมิ.....	46
5.	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	71
	รายการอ้างอิง.....	73
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก.....	83
	ภาคผนวก ข.....	87
	ภาคผนวก ค.....	89
	ภาคผนวก ง.....	92
	ภาคผนวก จ.....	93
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	95

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า	
2.1	นิยามทางด้านเนื้อสัมผัสและผลจากกราฟของการทดสอบแบบ TPA.....	10
4.1	องค์ประกอบทางเคมีของปลายี่สกเทศและปลานวลจันทร์.....	26
4.2	ค่า hardness, cohesiveness และ springiness ของเจลซูริมิ ปลายี่สกเทศและปลานวลจันทร์ที่ทำให้เกิดเจลด้วยสภาวะต่างกัน.....	30
4.3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า hardness, cohesiveness และ springiness ของเจลซูริมิปลายี่สกเทศและปลานวลจันทร์ ที่ทำให้เกิดเจลด้วยสภาวะต่างกัน...	31
4.4	การวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ย hardness และ cohesiveness ของเจลซูริมิ ปลายี่สกเทศและปลานวลจันทร์ ที่ทำให้เกิดเจลด้วยสภาวะต่างกันโดยพิจารณา เฉพาะอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดปลาและอุณหภูมิการทำให้เกิดเจล.....	32
4.5	การวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ย springiness ของเจลซูริมิปลายี่สกเทศและ ปลานวลจันทร์ ที่ทำให้เกิดเจลด้วยสภาวะต่างกันเมื่อพิจารณา อิทธิพลของชนิดปลา.....	32
4.6	การวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ย springiness ของเจลซูริมิปลายี่สกเทศและ ปลานวลจันทร์ ที่ทำให้เกิดเจลด้วยสภาวะต่างกันเมื่อพิจารณา อิทธิพลของอุณหภูมิการทำให้เกิดเจล.....	33
4.7	ค่าสีและความขาวของเจลซูริมิปลายี่สกเทศและปลานวลจันทร์ ที่ทำให้เกิดเจล ด้วยสภาวะต่างกัน.....	36
4.8	ค่า Tg_{onset} ของซูริมิที่เติมโครโอโพรเทกแทนต์ต่างชนิด	41
4.9	ค่าเฉลี่ย hardness, cohesiveness และ springiness ของเจลซูริมิที่เตรียมจาก ซูริมิปลานวลจันทร์เมื่อแปรชนิดและปริมาณโครโอโพรเทกแทนต์.....	43
4.10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ย hardness, cohesiveness และ springiness ของเจลซูริมิที่เตรียมจากซูริมิปลานวลจันทร์ แปรชนิดและปริมาณโครโอโพรเทกแทนต์	43
4.11	ค่าสีและความขาวของเจลซูริมิปลานวลจันทร์เมื่อแปรชนิดและปริมาณ โครโอโพรเทกแทนต์.....	45
4.12	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ย ค่า L^* , a^* , b^* และความขาวของ เจลซูริมิที่เตรียมจากซูริมิปลานวลจันทร์ แปรชนิดและปริมาณ โครโอโพรเทกแทนต์.....	45

สารบัญ (ต่อ)

ญ
หน้า

4.13	ค่าเฉลี่ย hardness, cohesiveness และ springiness ของเจลซูริมิปลานวลดจันท์ แต่ละชุดการทดลองตามระยะเวลาการเก็บรักษาแช่เยือกแข็ง.....	53
4.14	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ย hardness, cohesiveness และ springiness ของเจลซูริมิชุดการทดลองที่เติมซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4 % (w/w) เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ ตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง.....	54
4.15	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ย hardness, cohesiveness และ springiness ของเจลซูริมิชุดการทดลองที่เติมซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:2:2 % (w/w) เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ ตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง	54
4.16	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ย hardness, cohesiveness และ springiness ของเจลซูริมิชุดการทดลองที่เติมซูโครส:ทรีฮาโลส 4:4 % (w/w) เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ ตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง.....	54
4.17	ค่าเฉลี่ย L^* , a^* , b^* และความขาวของเจลซูริมิแต่ละชุดการทดลอง ตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง.....	58
4.18	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ย ค่า L^* , a^* , b^* และความขาวของ เจลซูริมิชุดการทดลองที่เติมซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4 % (w/w) เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ ตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง.....	59
4.19	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ย ค่า L^* , a^* , b^* และความขาวของ เจลซูริมิชุดการทดลองที่เติมซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:2:2 % (w/w) เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ ตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง.....	59
4.20	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ย ค่า L^* , a^* , b^* และความขาวของ เจลซูริมิชุดการทดลองที่เติมซูโครส:ทรีฮาโลส 4:4 % (w/w) เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ ตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง.....	59
4.21	ค่าเฉลี่ยคะแนนลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติและการยอมรับโดยรวม ของเจลซูริมิแต่ละชุดการทดลอง ตามระยะเวลาการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง	62
4.22	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติและการยอมรับโดยรวมของเจลซูริมิ ชุดการทดลองที่เติมซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4 % (w/w) เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ ตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง.....	63

<p>4.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้าน ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติและการยอมรับโดยรวมของเจลซูริมิ ชุดการทดลองที่เติมซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:2:2 % (w/w) เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ ตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง.....</p>	<p>63</p>
<p>4.24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้าน ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติและการยอมรับโดยรวมของเจลซูริมิ ชุดการทดลองที่เติมซูโครส:ทรีฮาโลส 4:2:2 % (w/w) เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ ตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง.....</p>	<p>63</p>
<p>4.25 ค่า Tg'_{onset} ของซูริมิที่เติมไครโอโพรเทกแทนต์ต่างชนิด ตามระยะเวลา การเก็บรักษาแช่เยือกแข็ง.....</p>	<p>68</p>

สารบัญรูป

รูปประกอบ	หน้า
2.1 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของโซลของซูริมิขณะให้ความร้อน.....	7
2.2 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของโครงร่างเจลซูริมิเมื่อให้ความร้อน 2 ระดับ...	9
2.3 TPA curve.....	10
2.4 แบบจำลองกลไกการทำงานของโครโอโพรเทกแทนต์ตามข้อเสนอของ Matsumoto	14
2.5 การแยกตัวของตัวถูกละลายจากผิวหน้าของโมเลกุลโปรตีน.....	15
4.1 ปลายี่สกเทศ.....	26
4.2 ปลานวลจันทร์.....	27
4.3 รูปแบบโปรตีนของเนื้อปลาจากการวิเคราะห์ด้วย SDS-PAGE	28
4.4 DSC curve ของซูริมิที่ผสมโครโอโพรเทกแทนต์ในชุดการทดลองที่ 1-3	39
4.5 DSC curve ของซูริมิที่ผสมโครโอโพรเทกแทนต์ในชุดการทดลองที่ 4-6	40
4.6 Protein pattern ของซูริมิเริ่มต้น จากการวิเคราะห์ด้วย SDS-PAGE	47
4.7 Protein pattern ของซูริมิหลังเก็บ 1 เดือน จากการวิเคราะห์ด้วย SDS-PAGE...	48
4.8 Protein pattern ของซูริมิหลังเก็บ 2 เดือนจากการวิเคราะห์ด้วย SDS-PAGE	48
4.9 Protein pattern ของซูริมิหลังเก็บ 3 และ 4 เดือน จากการวิเคราะห์ด้วย SDS-PAGE	49
4.10 Protein pattern ของซูริมิที่เติม sucrose:sorbitol 4:4 % (w/w) เป็น โครโอโพรเทกแทนต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษาแช่เยือกแข็ง จากการวิเคราะห์ด้วย SDS-PAGE	50
4.11 Protein pattern ของซูริมิที่เติม sucrose:sorbitol:trehalose 4:2:2 % (w/w) เป็นโครโอโพรเทกแทนต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษาแช่เยือกแข็ง จากการวิเคราะห์ด้วย SDS-PAGE.....	50
4.12 Protein pattern ของซูริมิที่เติม sucrose:trehalose 4:4 % (w/w) เป็น โครโอโพรเทกแทนต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษาแช่เยือกแข็ง จากการวิเคราะห์ด้วย SDS-PAGE.....	51
4.13 ค่า cohesiveness ของเจลซูริมิตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง.....	55
4.14 ค่า hardness ของเจลซูริมิตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง.....	56
4.15 ค่า springiness ของเจลซูริมิตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง.....	56
4.16 ค่า L* ของเจลซูริมิตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง.....	60

	หน้า
4.17 ค่าความขาวของเจลชuurมิตลอดอายุการเก็บรักษาชuurมิตแ่เยือกแข็ง.....	60
4.18 คะแนนลักษณะปรากฏของเจลชuurมิตตามอายุการเก็บรักษาชuurมิตแ่เยือกแข็ง...	64
4.19 คะแนนเนื้อสัมผัสของเจลชuurมิตตามอายุการเก็บรักษาชuurมิตแ่เยือกแข็ง.....	65
4.20 คะแนนรสชาติของเจลชuurมิตตามอายุการเก็บรักษาชuurมิตแ่เยือกแข็ง.....	66
4.21 คะแนนการยอมรับโดยรวมของเจลชuurมิตตามอายุการเก็บรักษาชuurมิตแ่เยือกแข็ง	67



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ซูริมิเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่รวมอยู่ในประเภทเนื้อปลาบดอื่น ๆ หรือไม่บด (มอก.935, 2533) มูลค่าการส่งออกในช่วง พ.ศ. 2541-2543 ที่ผ่านมามีมูลค่า 5,035,105,007 ล้านบาท (เศรษฐกิจการประมง, 2541-2543) นับเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจทำรายได้เข้าสู่ประเทศสูง การพัฒนาผลิตภัณฑ์ประมงนี้จึงเป็นสิ่งที่ควรให้ความสนใจ สำหรับการผลิตซูริมิในประเทศไทยนิยมใช้ปลาทะเลราคาถูก เช่น ปลาทรายแดง (*Threadfin bream: Nemipterus spp.*) ปลาตาโต-ปลาดาทาหวาน (*big eye snapper: Priacanthus spp.*) และปลาปากคม (*lizard fish: Saurida spp.*) เป็นวัตถุดิบ ทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนในปัจจุบันอย่างมาก ประกอบกับประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ได้มีการส่งเสริมการเพาะเลี้ยงพันธุ์สัตว์น้ำจืดหลายชนิด มูลค่าผลผลิตสัตว์น้ำจืดตั้งแต่ปี 2536-2542 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (เศรษฐกิจการประมง, 2545) ซึ่งผลผลิตสัตว์น้ำจืดที่สำคัญคือ ปลาน้ำจืด ดังนั้นจึงเป็นแหล่งวัตถุดิบสำคัญที่ควรนำมาศึกษาเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตซูริมิ เนื่องจากเป็นแหล่งวัตถุดิบขนาดใหญ่และหาได้ง่าย การแช่เยือกแข็งซึ่งเป็นวิธีการเก็บซูริมิที่ดีที่สุด แต่ก็อาจส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพธรรมชาติของโปรตีน แนวคิดในการเพิ่มความคงตัวให้แก่โปรตีนในผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งคือการลดความสามารถในการแพร่กระจายของโมเลกุลน้ำในสารละลายที่ยังไม่แข็งตัวด้วยการเปลี่ยนสารละลายดังกล่าวให้มีโครงสร้างเหมือนแก้ว (*glassy state*) โดยการลดอุณหภูมิผลิตภัณฑ์ให้ต่ำมากหรือการเติมสารไบโอโพลีเมอร์เพื่อช่วยเพิ่มค่า Tg ของอาหารนั้น ๆ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาการผลิตซูริมิจากปลาน้ำจืดเศรษฐกิจของไทย และศึกษาผลการใช้สารทรีฮาโลส (*trehalose*) ร่วมกับน้ำตาลซูโครส (*sucrose*) และซอร์บิทอล (*sorbitol*) เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ต่อคุณภาพของซูริมิและสถานะเหมือนแก้วของระบบ ขอบเขตงานวิจัยมีดังนี้

1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและรูปแบบโปรตีนของวัตถุดิบ
2. ศึกษาเลือกชนิดปลาน้ำจืดที่เหมาะสมในการผลิตซูริมิ
3. ศึกษาผลการใช้สารทรีฮาโลส น้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอล ต่อคุณภาพของซูริมิ
4. ศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพซูริมิ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้ คือสามารถพัฒนาผลิตซูริมิจากปลาน้ำจืดเศรษฐกิจของไทยและทราบข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการใช้สารทรีฮาโลสร่วมกับน้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอล เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ในซูริมิ

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ซูริมิ (surimi)

ซูริมิ หมายถึง ผลิตภัณฑ์อาหารโปรตีน ที่ได้จากการเอาเนื้อปลาสดมาสับหรือบดให้ละเอียดแล้วล้างด้วยน้ำ เติมสารพวกน้ำตาลและเก็บในสภาพแช่แข็งไว้ เพื่อที่จะนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นต่อไป (สุภรัตน์ ชวนะ, 2529)

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม จะใช้คำว่า เนื้อปลาบด (ซูริมิ) เยือกแข็งหรือเนื้อปลาบดเยือกแข็ง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำปลาสดที่ผ่านการตัดหัว ควักไส้ ผ่านกรรมวิธีแยกเนื้อปลาและบดจะได้เนื้อปลาบด จากนั้นนำเนื้อปลาบดมาล้างน้ำ ผ่านกรรมวิธีบีบน้ำ แล้วผสมกับวัตถุเจือปนอาหาร นวดให้เข้ากันจนเหนียว ทำเป็นก้อนรูปสี่เหลี่ยมหรือรูปอื่น ๆ นำไปผ่านกรรมวิธีแช่เยือกแข็ง โดยให้มีระยะเวลาการเกิดผลึกน้ำแข็งอย่างรวดเร็ว ลดอุณหภูมิที่บริเวณจุดกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์ให้ต่ำกว่า -18°C นำไปเก็บรักษาโดยควบคุมอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ไว้ที่ -18°C หรือต่ำกว่าให้สม่ำเสมอตลอดเวลา (มอก.935, 2533)

2.2 วัตถุดิบที่ใช้ผลิตซูริมิ

แม้ว่าในทางทฤษฎีจะสามารถผลิตซูริมิได้จากปลาไม่จำกัดชนิด แต่เนื่องด้วยคุณลักษณะที่สำคัญของ ซูริมิและผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค คือการมีปริมาณไขมันต่ำและมีสีขาว ในระยะแรกของการผลิตซูริมิจึงให้ความสนใจต่อปลาที่มีปริมาณไขมันต่ำ (lean fish) ซึ่งนอกจากจะให้ซูริมิที่มีสีขาวแล้วยังช่วยลดปัญหาการแยกไขมันออกจากเนื้อปลาบดได้อีกด้วย โดยปลาที่นิยมใช้ประกอบด้วยปลาอลาสกาพลลอค (Alaska Pollock: *Theragra charcogramma*) ปลาบลูไวต์ทิง (Blue whiting: *Micromesistius australis*) สำหรับประเทศในแถบอาเซียน ปลาที่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบได้แก่ ปลาจวด/ปลาม้า (croaker) ปลาปากคม (lizard fish) ปลาน้ำดอกไม้ (pike-conger) ปลาดาบ (hairtail) ปลาตาโต/ตาหวาน (big eye snapper) และปลาทรายแดง (threadfin bream) (Suzuki, 1981; Holmes, Noguchi และ MacDonald, 1992)

ต่อมาเมื่อปริมาณการจับปลาลดลงโดยเฉพาะปลาอลาสกาพลลอค (Sonu, 1986) ทำให้ความสนใจต่อปลากลุ่มไขมันสูง (fatty fish) เพิ่มขึ้น นอกเหนือจากสาเหตุที่สำคัญคือการขาดแคลนวัตถุดิบหลักแล้วสาเหตุอื่น ๆ อาจจะได้แก่ ความต้องการใช้ประโยชน์ปลากลุ่มนี้ เนื่องจากสามารถจับปลาในกลุ่มนี้ได้ปริมาณสูงคิดเป็นร้อยละ 25 ของปริมาณการจับสัตว์น้ำทั้งหมด (Leonar และคณะ, 1990) ประกอบกับมีงานวิจัยศึกษาเกี่ยวกับปลาในกลุ่มไขมันสูงเพิ่ม

มากขึ้น (Chang และคณะ, 1990; Hasting และคณะ, 1990) และเทคโนโลยีการผลิตสุริมิได้รับการพัฒนา ปลาในกลุ่มนี้จึงถูกนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตสุริมิเช่นกัน ได้แก่ ปลาซาร์ดีน (sardines) ปลาแฮร์ริง (herrings) และปลาแมคเคอเรล (mackerels) เป็นต้น

สำหรับปลาน้ำจืด (freshwater fish) ซึ่งถูกมองข้ามไปนั้น อาจเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญ ซึ่งควรได้รับการศึกษาเพิ่มเติม (Hall และ Ahmad, 1997) เพราะเป็นแหล่งวัตถุดิบขนาดใหญ่และหาได้ง่าย อย่างไรก็ตามยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าปลาน้ำจืดจะเป็นแหล่งวัตถุดิบที่ให้ปริมาณโปรตีนสูงและไขมันต่ำ (Luo และคณะ, 2001) ในปัจจุบันจึงมีการศึกษาผลิตสุริมิจากปลาน้ำจืด เช่น ปลา common carp ปลา grass carp ปลา silver carp (Luo และคณะ, 2001) ในประเทศไทย ปลาน้ำจืดที่ได้รับการศึกษาได้แก่ ปลาดุกบิ๊กอุย (อรรชรณ คงพันธุ์, 2539) และปลานิล (พิมพ์ใจ ทองคำ, 2541) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีปลาน้ำจืดเศรษฐกิจอีกหลายชนิด เช่น ปลาตะเพียน ปลาสลิด ปลาสวาย ปลาอีสกเทศ เป็นต้น (เศรษฐกิจการประมง, 2545) จากการทดลองเบื้องต้นและพิจารณาปริมาณการเพาะเลี้ยง ต้นทุนของวัตถุดิบ จึงได้เลือกปลาน้ำจืด 2 ชนิดมาศึกษาเป็นวัตถุดิบผลิตสุริมิในงานวิจัยนี้ ได้แก่

ปลาอีสกเทศ

ปลาอีสกเทศมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Labeo rohita* เป็นปลาน้ำจืดที่อยู่ในวงศ์ปลาตะเพียน ลำตัวยาวเรียวแบนข้างเล็กน้อย หัวค่อนข้างโต ปากแคบ ริมฝีปากหนามีร่องรอบปาก มีหนวดสั้น ๆ อยู่มุมปากบน 1 คู่ ลำตัวด้านหลังสีน้ำเงินปนเทา ด้านข้างสีน้ำเงินและจางลงจนถึงส่วนท้อง เกล็ดตามแนวเส้นข้างลำตัวมีจุดสีแดง ครีบทุกครีบมีสีชมพูอ่อน แต่เดิมมีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศอินเดีย นักวิชาการประมงของไทยทำการขยายพันธุ์ด้วยวิธีการผสมเทียมได้เป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2511 ต่อมาได้นำไปปล่อยในแหล่งน้ำทั่วประเทศ ชอบอยู่ตามแม่น้ำ ลำธาร และอ่างเก็บน้ำ ซึ่งมีพื้นเป็นกรวดทรายและอุดมสมบูรณ์ด้วยแพลงก์ตอนสีเขียว ปลาอีสกเทศกินแพลงก์ตอนและพืชขนาดเล็กเป็นอาหาร การใช้ประโยชน์ปลาอีสกเทศคือนำไปเป็นอาหารเนื่องจากเนื้อนุ่มรสชาติอร่อย (กรมประมง, 2540)

ปลานวลจันทร์

ปลานวลจันทร์มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cirrhina microlepis* เป็นปลาน้ำจืดที่อยู่ในวงศ์ปลาตะเพียน รูปร่างเพรียวบาง ลำตัวค่อนข้างกลม ปากเล็ก สีของลำตัวมีตั้งแต่สีส้มปนเทา จนถึงสีน้ำตาลปนสีขาวยเงิน ท้องสีขาว ครีบหลัง ครีบหางเป็นสีน้ำตาลปนเทา มีขนาดความยาวประมาณ 20 – 30 เซนติเมตร ปลานวลจันทร์จัดเป็นปลากินพืชที่หากินอยู่บริเวณหน้าดินเป็นหลัก แต่ก็ยังเป็นปลาที่กินอาหารไม่เลือกกินได้ทั้งพืช กุ้ง แมลงและตัวอ่อนของแมลง การใช้ประโยชน์ได้มีการนำมาปรุงอาหาร (กรมประมง, 2540)

2.3 เคมีการเกิดเจลของซูริมิ (Surimi Gelation Chemistry)

สมบัติเชิงหน้าที่ที่ดีของซูริมิมือคือ ความสามารถเกิดเจลที่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้ในปริมาณสูง และมีความยืดหยุ่น (Kinsella, 1982) คุณสมบัติดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับโปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในซูริมิ ดังนั้นความเข้าใจต่อโครงสร้างโมเลกุล อันตรกิริยา (interaction) หรือพันธะภายในระหว่างโมเลกุลโปรตีนจึงเป็นพื้นฐานที่สำคัญ

องค์ประกอบโปรตีนของเนื้อปลาที่มีผลต่อการเกิดเจลของซูริมิ

1. โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ (myofibrillar proteins)

โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์มีปริมาณสูงถึงร้อยละ 40-60 ของปริมาณโปรตีนทั้งหมด ประกอบด้วย ไมโอซิน (myosin) แอกติน (actin) โทรโปไมโอซิน (tropomyosin) และโทรโปนิน (troponin) โปรตีนเหล่านี้ละลายได้ในสารละลายเกลือ อย่างไรก็ตามได้มีรายงานว่า โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์สามารถละลายได้ในสารละลายที่มีความแรงไอออนเข้าใกล้ 0 (Steffansson และ Hultin, 1994; Lin และ Park, 1996) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้สูญเสียโปรตีนในระหว่างกระบวนการผลิตถ้าล้างเนื้อปลาบ่อยเกินไปและน้ำที่ใช้ล้างเนื้อปลามีความแรงไอออนอยู่ในช่วงดังกล่าว โดยน้ำที่ใช้ล้างเนื้อปลาควรมีความแรงไอออนอยู่ในช่วง 0.005 – 0.1 (Steffansson และ Hultin, 1994) ไมโอไฟบริลลาร์โปรตีนที่มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดเจลซูริมิมือคือ ไมโอซินและแอกติน (Miyake และ Hayashi, 1956; Shimizu และคณะ, 1983) แต่โทรโปไมโอซินและโทรโปนินไม่มีผลอย่างเด่นชัดต่อการเกิดเจล (Samejima, Ishioroshi และ Yasui, 1982)

2. โปรตีนสโตรมา (stroma proteins)

โปรตีนสโตรมาเป็นโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) ที่พบมากคือ คอลลาเจนและอีลาสติน (elastin) ปริมาณของโปรตีนสโตรมาขึ้นอยู่กับชนิดของปลา อาหารที่ปลากิน และระยะเจริญของปลา โดยทั่วไปปลาจะประกอบด้วยคอลลาเจนร้อยละ 0.2-2.2 โปรตีนชนิดนี้ไม่ละลายน้ำ น้ำเกลือ และไม่มีส่วนร่วมในการเกิดเจลซูริมิ ถ้าในกระบวนการผลิตซูริมิไม่สามารถกำจัดคอลลาเจนออกได้หมด เมื่อนำซูริมิไปทำให้เกิดเจลโดยการให้ความร้อน คอลลาเจนจะสามารถเปลี่ยนเป็นเจลาตินและส่งผลต่อการเกิดเจลของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ได้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากปลามีปริมาณโปรตีนสโตรมาน้อยมากเมื่อเทียบกับโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ จึงสามารถมองข้ามผลของคอลลาเจนต่อความสามารถในการเกิดเจลของซูริมิได้ (Lanier, 2000)

3. โปรตีนซาร์โคพลาสมิก (sarcoplasmic proteins)

คุณสมบัติที่สำคัญของโปรตีนซาร์โคพลาสมิกคือสามารถละลายได้ในน้ำ โดยโปรตีนในกลุ่มของโปรตีนซาร์โคพลาสมิกได้แก่ โปรตีนฮีม (heme proteins) เอนไซม์ (enzymes) และโปรตีนอัลบูมิน (albumin) ชนิดต่าง ๆ (Lanier, 2000)

3.1 ไพรตีสีม

ไพรตีสีมเป็นรงควัตถุที่มีอยู่ในเนื้อปลาที่ไม่ผ่านการล้างน้ำ โดยไพรตีสีมของเลือดและเซลล์กล้ามเนื้อแดงคือ ฮีโมโกลบินและไมโอโกลบิน ตามลำดับ ในขั้นตอนการล้างเนื้อปลาบดถ้ากำจัดไพรตีสีมออกไม่หมด จะทำให้ซูริมิที่ได้มีสีคล้ำ นอกจากนี้ไพรตีสีมที่หลงเหลืออยู่ยังเป็นตัวเหนียวทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ไพรตีสีมโอไฟบริลลาร์เสียสภาพ ส่งผลให้ความสามารถในการเกิดเจลลดลง

3.2 เอนไซม์

ไพรตีสาร์โคพลาสซึมบางชนิดที่พบในเนื้อปลาเป็น เอนไซม์ โดยนักวิจัยได้ศึกษาพบว่า เอนไซม์ไกลโคไลติก (glycolytic enzymes) ส่งผลเสียต่อสมบัติของเจลซูริมิ (Nakagawa และคณะ, 1989) อย่างไรก็ตามในงานวิจัยชิ้นอื่น ๆ ได้กล่าวไว้ว่าไพรตีสาร์โคพลาสซึม อาจส่งผลดีต่อความแข็งแรงของเจลซูริมิ เช่น Morioka และคณะ (1992) ได้ศึกษาพบว่า องค์ประกอบของไพรตีสาร์โคพลาสซึมจะมีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 64000-94000 , 40000 และ/หรือ 26000 ดาลตัน มีความสำคัญต่อความสามารถในการเกิดเจลของส่วนไพรตีสาร์โคพลาสซึม Nowsad และคณะ (1995) ได้ศึกษาส่วนของไพรตีสาร์โคพลาสซึมเพิ่มเติมและพบว่า การเกิดพันธะเชื่อมข้าม (cross-linking) อันเนื่องมาจากเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (Transglutaminase , TGase) ส่งผลต่อเจลของซูริมิ นอกจากนี้ยังพบว่าเอนไซม์ในปลาที่มีบทบาทสำคัญต่อการเสียสภาพของไพรตีสีนได้แก่

3.2.1 ไตรเมททิลลามีนออกไซด์ ดีเมททิลเลส (Trimethylamine oxide demethylase, TMAO demethylase)

ไตรเมททิลลามีนออกไซด์ (TMAO) เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ละลายน้ำ (water-soluble nitrogenous compound) ที่พบในปลา ส่วน TMAO demethylase คือเอนไซม์ที่มีอยู่ทั่วไปในปลา ทำหน้าที่ย่อยสลาย TMAO ให้กลายเป็น ฟอรัลดีไฮด์และไดเมททิลลามีน ในระหว่างการเก็บแช่เยือกแข็ง ซึ่งฟอรัลดีไฮด์เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้ไพรตีสีมเสียสภาพและทำให้ซูริมิหรือเนื้อปลาบดสามารถเสื่อมเสียได้อย่างรวดเร็ว ถ้าเอนไซม์ชนิดนี้มีปริมาณที่พอเหมาะและสภาวะที่เก็บเหมาะสมต่อกิจกรรม (activity) ของเอนไซม์ (Lanier, 2000)

TMAO demethylase พบมากในเนื้อเยื่ออวัยวะต่าง ๆ เช่น ตับ ถ้านำส่วนดังกล่าวออกก่อนการแลเนื้อปลาอาจช่วยลดปัญหาได้ นอกจากนี้ถ้าในขั้นตอนการล้างเนื้อปลาบดทำได้เหมาะสม จะช่วยกำจัด TMAO ออกจากเนื้อปลาได้เช่นกัน (Holmquist, 1982)

3.2.2 proteolytic enzymes

ปลาส่วนใหญ่มีเอนไซม์ย่อยโปรตีนที่ทนความร้อน โดยแหล่ง ชนิดและปริมาณของเอนไซม์จะแตกต่างกันไปตามชนิดของปลา เอนไซม์โปรตีเอสมีบทบาททำให้โครงร่างตาข่าย

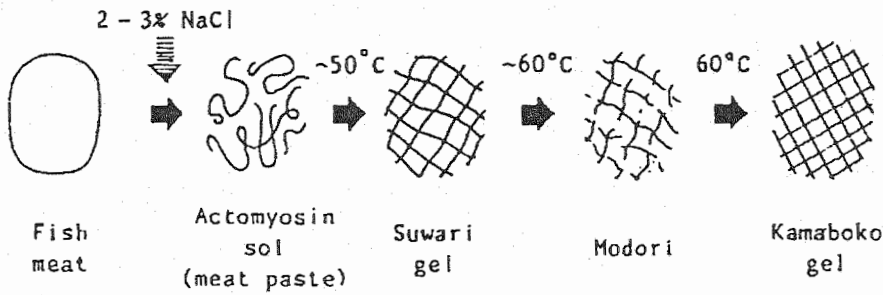
(network) ที่เกิดเจลของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์แตกสลาย (disintegrate) ส่งผลให้เนื้อสัมผัสของเจลินีม (mushy) และ เอนไซม์โปรติเอสที่เข้าทำปฏิกิริยากับกล้ามเนื้อโปรตีนส่วนใหญ่มีกิจกรรมในระหว่างการให้ความร้อน (cooking) เพื่อให้สุกหรือในช่วงอุณหภูมิ 50-70 °C โดยเอนไซม์โปรติเอสบางชนิดทนความร้อนและทำงานได้ดีที่ pH สูง (alkaline หรือ neutral protease) ในขณะที่เอนไซม์โปรติเอสจากปลาบางชนิด เช่น แอปติโคไวท์ติง ทำงานได้ดีที่ pH 5.5 อย่างไรก็ตาม เอนไซม์ดังกล่าวยังคงทำงานได้ในช่วง pH ของซูริมีคือ 6.0 -7.5

เอนไซม์โปรติเอสส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดอยู่ที่เนื้อเยื่อลำไส้ ไตและช่วงท้อง ถึงแม้ว่าเอนไซม์โปรติเอสละลายได้ในน้ำ แต่ขั้นตอนการล้างซูริมีไม่สามารถที่จะกำจัดเอนไซม์ชนิดนี้ออกทั้งหมด เอนไซม์จึงมีโอกาสเกาะติดไปกับโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ การควบคุมและลดปัญหาอาจทำได้โดย กำจัดส่วนของเครื่องในปลาออกอย่างรวดเร็วและทำความสะอาด เพื่อหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนและลดเวลาในช่วงอุณหภูมิที่เอนไซม์มีกิจกรรม (Park, 2000) เอนไซม์โปรติเอสถูกยับยั้งได้โดยความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C หรือสูงกว่า ดังนั้นการทำให้สุกอย่างรวดเร็วสามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ นอกจากนี้การเติมสารเพื่อช่วยยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ เช่น โปรตีนพลาสมา (blood plasma protein) และโปรตีนที่ได้จากธรรมชาติบางชนิด (naturally derived protein) ก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยลดปัญหาได้ (Hamann และคณะ, 1990)

2.4 การเกิดเจลโปรตีนในระหว่างการให้ความร้อน

เจลเป็นวัสดุที่มีลักษณะก้ำกึ่งระหว่างของแข็งและของเหลว โครงสร้างของเจลโปรตีนเกิดจากโมเลกุลของโปรตีนจับกันด้วยพันธะชนิดต่าง ๆ เป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติ ที่สามารถจับน้ำหรือสารอื่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำไว้ภายในได้ (Damodaran, 1996) โดยพันธะที่ทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายเจลมี 4 ชนิด ได้แก่ พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonds) พันธะไอออนิก (ionic bonds) อันตรกิริยาระหว่างหมู่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic interactions) และพันธะโควาเลนต์ (covalent bonds) (Niwa, 1992)

การเตรียมเจลเริ่มจากการสับผสมซูริมีกับเกลือปริมาณร้อยละ 2-3 ทำให้ความสามารถในการละลายของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์เพิ่มขึ้น มีผลให้ซูริมีหลังการสับผสมมีลักษณะเหนียวหนืด (viscous paste) ซึ่งคุณลักษณะและคุณสมบัติของระบบซูริมีในขณะนี้ เป็นลักษณะของโซล (sol) (Akahane และ Shimizu, 1988) ในประเทศญี่ปุ่นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของโซลซูริมีจนกลายเป็นเจลเมื่อได้รับความร้อนมี 3 ระยะ คือ ระยะซูวาริ (suwari) ระยะโมโดริ (modori) และระยะคามาโบโกะ (kamaboko) และเรียกเจลที่อยู่ในแต่ละระยะว่า เจลซูวาริ เจลโมโดริ และเจลคามาโบโกะ ตามลำดับ (Suzuki, 1981) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของไซลของซูริมิขณะให้ความร้อน
ที่มา: Suzuki (1981)

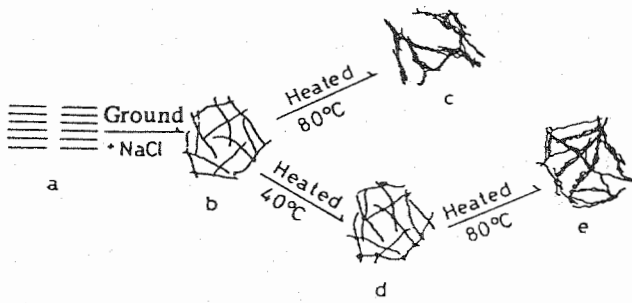
การให้ความร้อนแก่ไซลหรือการเก็บไซลไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง ทำให้ไซลเปลี่ยนเป็นเจลไซลที่เรียกว่า ซูวารี สันนิษฐานว่า โมเลกุลโปรตีนจะค่อย ๆ คลายเกลียวออกทำให้หมู่ไม่ชอบน้ำของกรดอะมิโนปรากฏสู่บริเวณผิวด้านนอก ซึ่งส่วนไม่ชอบน้ำที่อยู่ใกล้กันสามารถเกิด interaction ระหว่างกัน เกิดเป็นพันธะของหมู่ไม่ชอบน้ำระหว่างโมเลกุลของโปรตีน (intermolecular hydrophobic) นอกจากนี้กลไกการเกิดเจลซูวารีอาจเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (TGase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีอยู่ในเนื้อปลาโดยธรรมชาติ (endogenous enzymes) ทำให้เกิด crosslinking ระหว่างโมเลกุลโปรตีนซึ่งเกิดระหว่างกรดอะมิโนคือ กลูตามีนและไลซีน [ϵ - (γ - glutamyl)lysine dipeptide crosslinks] บทบาทของเอนไซม์ TGase ต่อการเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำได้รับการยืนยันจากผลการศึกษาทั้งในระบบของโปรตีนแอกโตไมโอซินและซูริมิ โดยพบว่าเอนไซม์มีผลให้ปริมาณของไมโอซินเฮฟวีเชน (myosin heavy chain, MHC) ลดลง ในขณะที่ปริมาณของโพลีเมอร์ที่เกิดจาก crosslinking ของ MHC และปริมาณของพันธะ ϵ - (γ - glutamyl)lysine ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บไซล (Kumazawa และคณะ, 1995) เมื่อเตรียมเจลซูวารีที่อุณหภูมิและเวลาเหมาะสม สามารถเกิดพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างโมเลกุลซิสเตอีนที่อยู่ใกล้กัน การเกิดพันธะต่าง ๆ มีผลให้โปรตีนไมโอซินและแอกโตไมโอซินจับกันเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติ (Suzuki, 1981) เจลที่อยู่ในระยะซูวารีมีลักษณะใส (translucent) (Lanier และคณะ, 1982) และมีความยืดหยุ่น (elastic) ทั้งนี้พบว่า ความสามารถในการเกิดเจลซูวารีและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลซูวารีแตกต่างกันไปตามชนิดของปลา (Shimizu และคณะ, 1981; Tsumakasa และ Shimizu, 1989; Hasting, Keay และ Yang, 1990)

เมื่อให้ความร้อนจนอุณหภูมิของเจลซูวารีสูงกว่า 45 -50 °C หรือใกล้ 60 °C โครงร่างตาข่าย 3 มิติ ของเจลซูวารีที่จับตัวกันอย่างหลวม ๆ จะอ่อนตัวลงหรือถูกทำลายไปบางส่วน ทำให้เจลมีลักษณะไม่ยืดหยุ่น (non elastic) เรียกเจลในระยะนี้ว่า เจลโมโดริ ซึ่งการเปลี่ยนแปลง

ของเจลในช่วงนี้พบว่า ขึ้นอยู่กับชนิดของปลา (Suzuki, 1981; Shimizu และคณะ, 1981) Niwa (1992) ได้อธิบายกลไกการเกิดเจล โมดิรีไว้ 3 ประการ ประการแรกอาจเกิดจาก ความร้อนทำให้โปรตีนโมโอไฟบริลลาร์หดตัวและปล่อยน้ำออกมาจากโครงร่างตาข่ายเจล ทำให้เจลมีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ประการที่ 2 อาจเป็นผลจากกิจกรรมของเอนไซม์อัลคาไลน์โปรติเอส (alkaline protease) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่พบอยู่ในเนื้อปลาและมีกิจกรรมที่อุณหภูมิ 60 °C ทำให้โมโอซินแตกตัว ซึ่งเป็นสาเหตุให้โครงร่างตาข่ายเจลถูกทำลาย ประการสุดท้าย อาจเกิดจากสาเหตุอื่นที่ไม่ใช่เอนไซม์ (nonenzymatic modori-inducing protein)

เมื่อให้ความร้อนแก่เจลโมดิรีต่อไปจนเจลมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้โครงร่างตาข่ายของเจลจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมากขึ้น ลักษณะปรากฏของเจลจะไม่ใสเหมือนเจลซูวาริหรือเจลโมดิรี แต่จะมีลักษณะทึบแสง (opaque) และมีสีขาว เรียกเจลที่ได้ในระบายนี้อาจเรียกว่า เจลคามาโบโกะ (Suzuki, 1981) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะเหนี่ยวนำให้เกิดพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างหมู่ซัลไฟดริล ความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจนจะลดลง ทำให้สายโปรตีนที่อยู่ในรูปเกลียวแอลฟา (α -helix) คลายตัว ส่วนไม่ชอบน้ำของกรดอะมิโนปรากฏออกมามากขึ้น จึงเกิดพันธะระหว่างหมู่ไม่ชอบน้ำ โครงร่างตาข่ายของเจลจึงมีความคงตัว (rigidity) เพิ่มขึ้น (Niwa, 1992) จึงได้ลักษณะของเจลคามาโบโกะดังกล่าว คุณสมบัติที่สำคัญเหล่านี้เป็นผลจากการจัดเรียงตัวของโปรตีนเป็นโครงร่างตาข่ายอย่างซ้ำ ๆ ในช่วงซูวาริ (Niwa และคณะ, 1980; Lanier และคณะ, 1982; Akahane และ Shimizu, 1988) ระยะซูวาริจึงมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

อย่างไรก็ตามการเตรียมเจลซูริมิโดยการให้อุณหภูมิสูงแก่ซูริมิที่บดผสมกับเกลือแล้วเพียงขั้นตอนเดียว อาจทำให้ได้เจลคามาโบโกะที่มีคุณภาพต่ำ เนื่องจากโปรตีนจะคลายตัวอย่างรวดเร็วและจับตัวกันอย่างไม่เหมาะสม น้ำจึงถูกปลดปล่อยจากโครงร่างตาข่ายของเจล ลักษณะปรากฏของเจลที่ได้มีลักษณะทึบแสงและมีสีขาว แต่เจลจะมีความยืดหยุ่นและมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ เมื่อเทียบกับการให้ความร้อนแก่โซลซูริมิที่อุณหภูมิต่ำกว่าก่อนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงอีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เนื่องจากการให้ความร้อนดังกล่าวเป็นการเหนี่ยวนำให้เกิดเจลซูวาริ (Lanier และคณะ, 1982; Niwa, 1992)



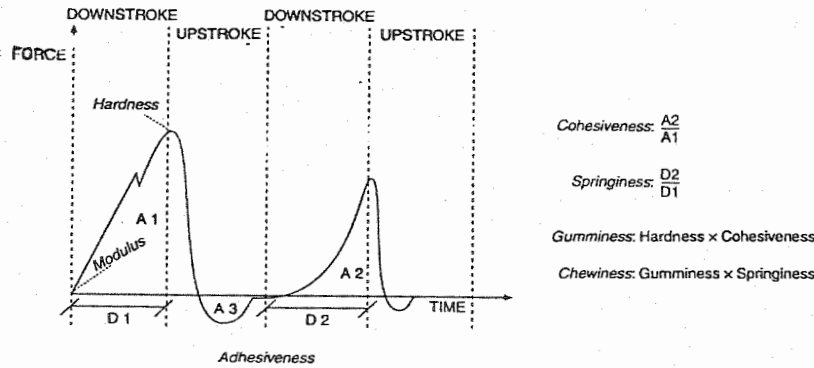
Change in the dispersion of protein network structure during processing of a surimi gel. a, Fish flesh mince; b, surimi paste; c, cooked gel without setting; d, set gel; e, cooked gel prepared with setting.

รูปที่ 2.2 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของโครงร่างเจลซูริมิเมื่อให้ความร้อน 2 ระดับ
ที่มา : Niwa (1992)

2.5 Texture Profile Analysis (TPA)

ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จัดเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญของมนุษย์ ในปัจจุบันได้มีการนำเนื้อสัตว์มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ลูกชิ้น ไส้กรอก ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคคือ มีสีสันท่ารับประทาน รสชาติอร่อยและมีเนื้อสัมผัสที่ดี โดยทั่วไปค่าเนื้อสัมผัสที่สนใจในการวัดผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูป ได้แก่ ความแข็ง (hardness) ความยืดหยุ่น (springiness) ความสามารถในการเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness) และแรงตัดเฉือน (shear force) เป็นต้น (นุชนารถ ทรัพย์พาณิชย์, 2544)

เดิมวิธีทดสอบเนื้อสัมผัสที่ใช้กันทั่วไปคือการใช้นิ้วกด "finger method" หรือใช้ผู้ชิม แต่วิธีเหล่านี้ขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ทดสอบ ทำให้ยากแก่การพิจารณาและตัดสินว่าผลิตภัณฑ์ที่ตรวจสอบคุณภาพตามวิธีดังกล่าวเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ (Sigurgisladdottir และคณะ, 1997) ปัจจุบันจึงมีการประดิษฐ์เครื่องมือสำหรับใช้วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารโดยตรง ซึ่งผลการวัดที่ได้มีความสัมพันธ์กับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส วิธีหนึ่งที่ยอมรับใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสคือ วิธีการทดสอบแบบ TPA ซึ่งใช้ได้กับอาหารหลายประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของระบบเจล TPA เป็นวิธีการทดสอบที่เลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ โดยเครื่องจะทำการกดลงบนอาหาร 2 ครั้ง และแสดงผลในรูปของกราฟระหว่างค่าแรงและเวลา (Rosenthal, 1999) แสดงดังรูปที่ 2.3 ทำให้ได้ค่าตัวแปรทางเนื้อสัมผัสที่สัมพันธ์กับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส แสดงดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.3 TPA curve

ที่มา : Rosenthal (1999)

ตารางที่ 2.1 นิยามทางด้านเนื้อสัมผัสและผลจากรูปกราฟของการทดสอบแบบ TPA

พารามิเตอร์	คำจำกัดความทางประสาทสัมผัส	คำจำกัดความของเครื่องวัดเนื้อสัมผัส
ความแข็ง (Hardness)	เป็นแรงที่กระทำต่ออาหารทำให้อาหารแตกหรือแยกออก	ความสูงของ Force Peak ที่ได้จากการวัดครั้งแรก
ความแตกเปราะ (Fracturability)	เป็นแรงที่ทำให้อาหารเกิดการแตกหักเป็นชิ้น ๆ	แรงที่กระทำให้เกิดรอยแยกขึ้นในกราฟของการกดครั้งแรก
ความสามารถเกาะรวมตัวกัน (Cohesiveness)	ความแข็งแรงของพันธะภายในที่เกิดขึ้นในอาหารแล้วทำให้อาหารทนต่อการเปลี่ยนรูปได้ถึงระยะหนึ่ง ก่อนที่มันจะขาดแตกออกจากกันเป็นชั้นย่อยเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ	อัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งแรกกับการกดครั้งที่ 2
การเกาะติดพื้นผิว (Adhesiveness)	งานที่ต้องการใช้ในการดึงอาหารออกมาจากพื้นที่ผิวที่อาหารไปเกาะติด เช่น เพดานปาก	งานที่ต้องการในการถอนหัววัดออกจากอาหารของการกดครั้งที่ 1
ความยืดหยุ่น (Springiness)	ระดับความสามารถในการคืนตัวกลับมาเหมือนเดิมเมื่อมีการถอนแรงกดออกไปจากตัวอย่างอาหารที่ทำการทดสอบ	ระยะทางที่อาหารคืนตัวสู่ความสูงเดิมในระหว่างเวลาที่จบการทดสอบครั้งที่ 1 และเริ่มการทดสอบครั้งที่ 2
ความเหนียว (Gumminess)	พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวตัวอย่างอาหารที่เป็นของแข็งของแข็งในอัตราการใช้ที่จนกระทั่งสามารถที่จะกลืนได้	Hardness x Cohesiveness
การทนต่อการเคี้ยว (Chewiness)	พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวตัวอย่างอาหารที่เป็นของแข็งในอัตราการใช้ที่จนกระทั่งสามารถที่จะกลืนได้	Gumminess x Springiness

ที่มา: นุชนารถ ทรัพย์พาณิชย์ (2544)

2.6 ส่วนผสมหรือสารเติมแต่งอาหาร (ingredients) ที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ซูริมิ

สมบัติที่สำคัญ 3 ประการของผลิตภัณฑ์ซูริมิ คือ สี รสชาติและเนื้อสัมผัส การยอมรับผลิตภัณฑ์จากซูริมิโดยผู้บริโภคนั้นเป็นผลจากการที่ผลิตภัณฑ์เหล่านั้นมีเนื้อสัมผัสที่ดี และการใช้ส่วนผสมต่าง ๆ เติมลงในซูริมิเพื่อตัดแปลงเนื้อสัมผัสของเจล (Wesson และคณะ, 1979) อาจกล่าวได้ว่า การเลือกใช้ส่วนผสมหรือสารเติมแต่งอาหารเพื่อเติมลงในซูริมิทั้งชนิดและปริมาณที่เหมาะสมมีความสำคัญต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ให้มีเนื้อสัมผัสตามต้องการ ซึ่งสารที่มีผลปรับปรุงหรือตัดแปลงเนื้อสัมผัสของเจลที่ใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากซูริมิในทางการค้ามีอยู่หลายชนิด ได้แก่ (Park, 2000)

1. สารจำพวก cryoprotectant สารชนิดนี้เติมลงในซูริมิก่อนการแช่เยือกแข็ง เพื่อช่วยป้องกันการเสียหายของโปรตีนในระหว่างการแช่เยือกแข็ง สำหรับในอุตสาหกรรมการผลิตซูริมิสารที่นิยมใช้มากที่สุด คือ น้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอล

2. น้ำ เติมลงไปเพื่อช่วยปรับปรุงให้ได้เนื้อสัมผัสที่ดี โดยน้ำจะช่วยให้โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์กระจายตัวเพิ่มขึ้นและสามารถเกิดพันธะระหว่างกันได้ดีเมื่อได้รับความร้อน นอกจากนี้การเติมน้ำเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิต

3. แป้งหรือแป้งตัดแปร แป้งที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์จากซูริมิมียหลายชนิด เช่น แป้งมันฝรั่ง แป้งสาลี แป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลัง การผสมแป้งในโซล (sol) ของซูริมิมีวัตถุประสงค์คือ ปรับปรุงเนื้อสัมผัส สีของผลิตภัณฑ์ และลดต้นทุนการผลิต

4. โปรตีนอื่นที่ไม่ใช่โปรตีนปลา (protein additive) โปรตีนจากแหล่งอื่น ๆ ที่ใช้เติมในซูริมิที่สำคัญได้แก่ โปรตีนไข่ขาว โปรตีนพลาสมาจากเลือดวัว (beef plasma protein) โปรตีนถั่วเหลือง (soy protein) โปรตีนหางนม (whey protein) แป้งสาลีและโปรตีนจากแป้งสาลี (wheat gluten , wheat flour) สารเหล่านี้มีสมบัติเป็น gelling agent ช่วยปรับปรุงคุณภาพของเจลซูริมิ สำหรับ beef plasma protein นอกจากมีสมบัติเป็น gelling agent แล้ว มีบทบาทช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โปรติเอสได้เช่นกัน

5. Hydrocolloids สมบัติของ gum และ hydrocolloid คือเป็น thickening หรือ gelling agent ช่วยในด้านความหนืดและการเกิดเจล hydrocolloid ที่นำมาใช้ ได้แก่ carrageenan , konjac และ alginate

6. Cellulose ช่วยในเรื่องความสามารถในการอุ้มน้ำให้เจลที่ยืดหยุ่นไม่แข็งจนเกินไป และช่วยปรับปรุงสีของผลิตภัณฑ์

7. Vegetable oils เช่น น้ำมันถั่วเหลือง และ canola oil ใช้เพื่อช่วยปรับปรุงในด้านเนื้อสัมผัสและสีของผลิตภัณฑ์ เมื่อเติมลงใน surimi-based product โดยช่วยให้เนื้อสัมผัสนุ่มและความยืดหยุ่น

นอกจากนี้ยังมีการใช้สารเคมีระดับ food grade ร่วมด้วย เช่น oxidizing agents , calcium compound , Transglutaminase , phosphate , coloring agents ทั้งนี้ก็เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพทั้งด้านสี รสชาติ และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

2.7 สารป้องกันการสูญเสียสภาพของอาหารแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำ (cryoprotectants) และกลไกการทำงานของ cryoprotectants

สารป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของอาหารแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำหรือไครโอโพรเทกแทนต์ คือ สารประกอบใด ๆ ที่สามารถป้องกันการสูญเสียคุณภาพของอาหารแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ การใช้สารชนิดนี้จึงมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง ทั้งนี้สารดังกล่าวอาจพบอยู่ในอาหารตามสภาพธรรมชาติหรือผสมลงในอาหารในระหว่างกระบวนการผลิต (MacDonald และคณะ, 1996) เนื่องจากการสูญเสียคุณภาพของอาหารแช่เยือกแข็ง อาจเกิดขึ้นด้วยกลไกต่างกันไปตามชนิดของอาหารและอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษา สารประกอบที่สามารถจัดอยู่ในกลุ่มของไครโอโพรเทก-แทนต์มีหลายชนิด และชนิดของไครโอโพรเทกแทนต์ที่เติมลงในอาหารใด ๆ จึงขึ้นอยู่กับกลไกหรือปฏิกิริยาที่มีบทบาทต่อการสูญเสียคุณภาพของอาหารแช่เยือกแข็ง

ในกรณีของซูริมิเนื่องจากองค์ประกอบหลักคือ น้ำและโปรตีน คุณภาพที่ดีของซูริมิจึงขึ้นอยู่กับสมบัติของโปรตีน ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงใด ๆ ระหว่างการเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็งนำไปสู่การสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ ทำให้โปรตีนสูญเสียสมบัติเชิงหน้าที่ สารที่มีคุณสมบัติป้องกันการสูญเสียคุณภาพของซูริมิแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาจึงได้แก่สารที่สามารถป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนในระหว่างการเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็งนั่นเอง ด้วยเหตุนี้การผลิตซูริมิในระดับอุตสาหกรรมจึงจำเป็นต้องผสมไครโอ-โพรเทกแทนต์ลงในซูริมิก่อนการแช่เยือกแข็ง (Shenouda, 1980; Lee, 1984; MacDonald และ Lanier, 1991)

Noguchi (1974) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างโมเลกุลของสารชนิดต่าง ๆ กับความสามารถป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน และได้รายงานไว้ว่า สารที่มีความสามารถดังกล่าวมีคุณลักษณะที่สำคัญดังนี้

1. ในโมเลกุลต้องประกอบด้วยหมู่ต่อไปนี้คือ $-OH$, $-COOH$, หรือ $-OPO_3H_2$ อย่างน้อย 1 หมู่ และประกอบด้วยหมู่เสริมอื่น ๆ (supplementary group) ได้แก่ $-OH$, $-COOH$, $-NH_2$, $-SH$, $-SO_3H$ และ/หรือ $-OPO_3H$ มากกว่า 1 หมู่
2. หมู่ดังกล่าวจะต้องจัดเรียงตัว (configuration) ในทิศทางและตำแหน่งที่เหมาะสมต่อกันและกัน

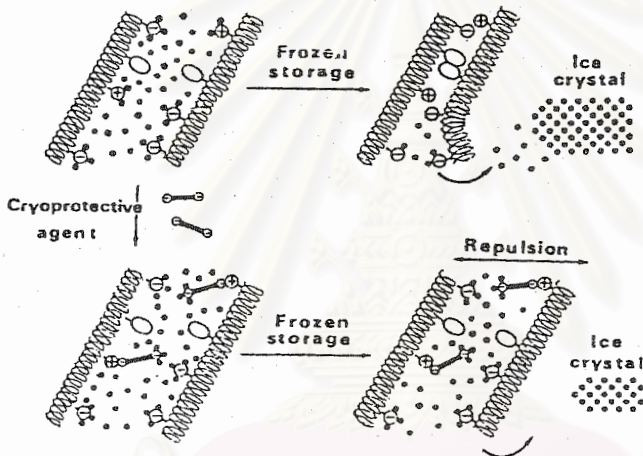
3. ขนาดโมเลกุลค่อนข้างเล็ก

อย่างไรก็ตามในกรณีนี้ที่ 3 ต่อมาพบว่า สารบางชนิดที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่แต่มีคุณสมบัติป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนได้ เช่น โพลีเด็กซ์โทรส และมอลโตเด็กซ์ตริน (Park และคณะ, 1987; Park และคณะ, 1988)

จากรายงานดังกล่าว สารที่อยู่ในข่ายมีสมบัติป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนได้แก่ โมโน-, ไดโกลิโก- หรือ โพลีแซคคาไรด์, ได- และ โพลี- แอลกอฮอล์, ไฮดรอกซีโมโนคาร์บอกซิลิก แอซิด, ได- และ ไตรคาร์บอกซิลิก แอซิด รวมไปถึงไตรกลีเซอไรด์ กรดอะมิโนและควอเทอนารีเอมีน นิวคลีโอไทด์ ATP, ADP และ IMP (Matsumoto และ Noguchi, 1992)

โครโอโพรเทกแทนต์ในอุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่จะเป็นน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและโพลีออล โดยน้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอล เป็นน้ำตาลที่ถูกนำมาใช้มากที่สุด เนื่องจากราคาถูก หาได้ง่าย ปลอดภัย ละลายได้ดี ให้ผลการป้องกันดี และมีแนวโน้มที่เป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดน้อย (MacDonald และ Lanier, 1991) นักวิจัยหลายท่านได้ศึกษานำสารเติมแต่งอาหารชนิดอื่นมาใช้เป็น cryoprotectants ในซูริมิ เช่น Park, Lanier และ Green (1988) ได้ศึกษาประสิทธิภาพผลของโครโอโพรเทกแทนต์ ต่อสมบัติของเจลซูริมิ พบว่า การใช้สารประกอบฟอสเฟตร่วมกับสารผสมระหว่างน้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอล โพลีเด็กซ์โทรส ก่อนเก็บซูริมิโดยการแช่เยือกแข็ง ช่วยรักษาความเค้นเฉือน (shear strain) ความเครียดเฉือน (shear stress) ของเจลและปริมาณ salt soluble protein ได้ดี Sych และคณะ (1990) ได้ศึกษาผลของ Palatinit[®], Polydextrose[®], casein hydrolysate, fish protein hydrolysate และ lactitol ที่ระดับความเข้มข้น 8% w/w เป็นโครโอโพรเทกแทนต์ในซูริมิ ประเมินผลโดยตรวจติดตาม salt extractable protein ของซูริมิ เนื้อสัมผัสและ expressible moisture ของเจลซูริมิพบว่า lactitol, Palatinit[®] และ Polydextrose[®] ช่วยรักษาสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนได้ดี Auh และคณะ (1999) ได้ศึกษาผลการใช้ Highly concentrated branched oligosaccharide (HBOS) ต่อคุณภาพของซูริมิที่ได้เปรียบเทียบกับการใช้ ซูโครส และสารผสมระหว่างซูโครสและซอร์บิทอล พบว่า เมื่อวิเคราะห์ Texture Profile Analysis (TPA) ของเจลซูริมิ ในชุดการทดลองที่ใช้ HBOS ให้ค่า hardness fracturability springiness cohesiveness gumminess และ chewiness สูงกว่าในชุดการทดลอง อื่น ๆ ซึ่งค่า cohesiveness เป็นค่าที่สำคัญสามารถบ่งชี้ความสามารถในการเกิดเจลที่เป็นผลจากการเกิดพันธะเชื่อมข้าม (cross-linking) ระหว่างสายของโปรตีน คุณภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน ซูริมิ (Lanier, 1986) นอกจากนี้พบว่า ซูริมิในชุดการทดลองที่เติม HBOS ให้รสหวานต่ำและเมื่อแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18°C ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กและหนาแน่นสูงกว่าในชุดการทดลองอื่น ๆ

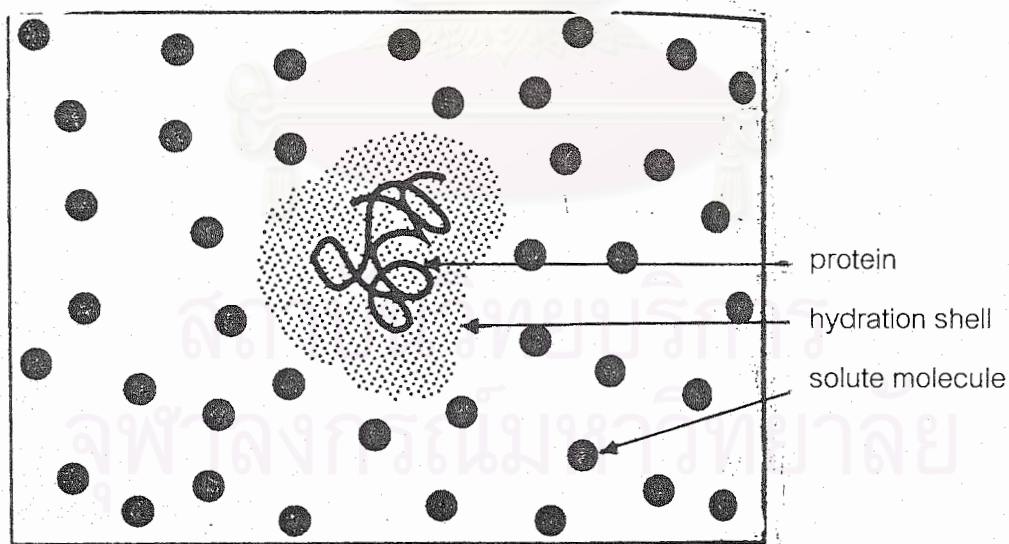
สำหรับกลไกการทำงานของไครโอโพรเทกแทนต์ (mechanism of cryoprotection) ได้มีนักวิจัยเสนอกลไกการปกป้องไว้พอสรุปได้ดังนี้ Matsumoto (1979) ได้เสนอกลไกการปกป้องโปรตีนของโมเลกุลคาร์โบไฮเดรตในรูปแบบของ "การปกคลุม" (coating) กล่าวคือ โมเลกุลของไครโอโพรเทกแทนต์จะเข้าไปเกิด interaction กับโมเลกุลโปรตีนโดยผ่านทาง functional groups ที่บริเวณผิวหน้าของโปรตีน (รูปที่ 2.4) โมเลกุลน้ำจะถูกจับตัวไว้กับ functional groups ที่เหลืออยู่อีกข้างหนึ่งของไครโอโพรเทกแทนต์ นั่นคือ โปรตีนแต่ละโมเลกุลจะถูกปกคลุมด้วยโมเลกุลของไครโอโพรเทกแทนต์ที่จับตัวกับน้ำ (hydrated cryoprotectant molecules) ดังกล่าวโอกาสที่โมเลกุลโปรตีนจะทำปฏิกริยากันน้อยลง เกิดการรวมตัว (aggregation) ลดลง และสามารถอุ้มน้ำได้เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.4 แบบจำลองกลไกการทำของไครโอโพรเทกแทนต์ตามข้อเสนอของ Matsumoto
ที่มา: Lanier และ Lee (1992)

ต่อมา Carpenter และ Crown (1988) ได้ให้ข้อสังเกตไว้ว่า สารที่ทำให้โปรตีนเสียสภาพ เช่น ยูเรีย และกัวดินีนไฮโดรคลอไรด์ จะจับตัวกับผิวหน้าของโมเลกุลโปรตีนโดยตรง ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้โปรตีนเสียสภาพในระหว่างการแช่เยือกแข็ง Arakawa และคณะ (1990) ได้สนับสนุนกลไกดังกล่าว โดยพบว่า ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง สารไดเมทิลซัลไฟด์ (dimethylsulfoxide, DMSO) โพรลีน (proline) โพลีเอทิลีนไกลคอล (polyethylene glycol, PEG) และเอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) ซึ่งมีสมบัติเป็นไครโอโพรเทกแทนต์ จะเกิด interaction กับโมเลกุลโปรตีน ส่งผลให้โปรตีนไม่เสียสภาพที่อุณหภูมิดังกล่าว และได้เสนอกลไกการแยกตัวของไครโอโพรเทกแทนต์ออกจากผิวหน้าของโมเลกุลโปรตีน

Arakawa และ Timasheff (1982) ได้แสดงให้เห็นว่า โมเลกุลของตัวถูกละลาย ได้แก่ น้ำตาลและโพลีออลน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ชอบจับตัวกับน้ำมากกว่าโปรตีน ทำให้แยกตัวออกจากผิวหน้าของโมเลกุลโปรตีน (รูปที่ 2.5) ขณะที่โมเลกุลโปรตีนจะจับตัวกับน้ำ ส่งผลให้โปรตีนที่บริเวณผิวหน้าถูกป้องกันการสูญเสียในระหว่างแช่เยือกแข็ง จากลักษณะดังกล่าวใช้อธิบายผลการปกป้องโปรตีนของ ไครโอโพรเทกแทนต์ ซึ่งกลไกการปกป้องโดยการแยกตัวของไครโอโพรเทกแทนต์จากผิวหน้าโมเลกุลโปรตีนอธิบายได้ด้วย สมบัติทางอุณหพลศาสตร์ (thermodynamic) (Lee และ Timasheff, 1981; Arakawa และ Timasheff, 1982) การแยกตัวของตัวถูกละลาย ได้แก่ น้ำตาล ออกจากผิวหน้าของโมเลกุลโปรตีน เป็นผลจากน้ำตาลมีสมบัติในการเพิ่มแรงดึงผิวของน้ำ (Arakawa และ Timasheff, 1982; Carpenter และ Crown, 1988; Arakawa และคณะ, 1990) น้ำในส่วนอื่น ๆ ของสารละลายที่มีแรงดึงผิวต่ำจึงมีโอกาสไปล้อมรอบโมเลกุลโปรตีน ลดการสูญเสียน้ำของโมเลกุลโปรตีน นอกจากนี้น้ำตาลช่วยเพิ่มแรงดึงผิวของน้ำแล้วยังช่วยเพิ่มความแข็งแรงของ hydrophobic interaction ภายในโมเลกุลของโปรตีน ทำให้โปรตีนยังคงรักษารูปแบบเดิม (native) ไว้ได้ (Back และคณะ, 1979) อย่างไรก็ตาม สารประกอบที่ให้สมบัติการปกป้องความเย็นบางชนิดก็มีกลไกการทำงานต่างกันไป เช่น กลีเซอรอล เป็นสารลดแรงดึงผิวของน้ำแต่แยกตัวออกจากผิวหน้าของโมเลกุลโปรตีน โดยกลไกที่เกิดขึ้นยังไม่สามารถระบุได้แน่ชัด (MacDonald และ Lanier, 1991)



รูปที่ 2.5 การแยกตัวของตัวถูกละลายจากผิวหน้าของโมเลกุลโปรตีน

ที่มา: MacDonald และ Lanier (1991)

สำหรับคาร์โบไฮเดรตที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (high molecular weight carbohydrates) บางชนิด เช่น โพลีไวนิลไพร์โรลิโดน (polyvinylpyrrolidone) PEG และเด็กซ์แทรน มีสมบัติเป็น

ไครโอโพรเทกแทนต์ที่ดีเนื่องจาก โมเลกุลมีขนาดใหญ่และแยกตัวออกจากผิวหน้าของโปรตีน (Carpenter และ Crown, 1988) อย่างไรก็ตาม นักวิจัยท่านอื่นได้เสนอกลไกการทำงานของ คาร์โบไฮเดรตน้ำหนัโมเลกุลสูงต่างกันออกไป โดยเสนอกลไกที่เรียกว่า “cryostabilization” ซึ่งเกี่ยวข้องกับสถานะเหมือนแก้ว (glassy state) และ glass transition temperature (Levine และ Slade, 1988)

ทรีฮาโลส (Trehalose)

ทรีฮาโลสเป็นน้ำตาลที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ผลิตโดยเซลล์แบคทีเรีย ยีสต์ เห็ดรา สาหร่าย รวมทั้งพืชชั้นสูงบางชนิด อาหารที่มนุษย์บริโภคในชีวิตประจำวันที่พบน้ำตาลทรีฮาโลสเป็นส่วนประกอบ ได้แก่ เห็ด เครื่องดื่มที่ผ่านกระบวนการหมัก น้ำผึ้ง ปูและกุ้ง (Ball, 2000; Bar, 2000) ในปัจจุบันสามารถผลิตน้ำตาลทรีฮาโลสได้โดยกระบวนการใช้เอนไซม์ (Bar, 2000)

ทรีฮาโลสเป็นน้ำตาลเชิงคู่ (disaccharide) โมเลกุลประกอบด้วยกลูโคส 2 โมเลกุลต่อกัน เชื่อมกันที่ตำแหน่ง 1,1 ด้วยพันธะแอลฟาไกลโคซิดิก (Bar, 2000) จากโครงสร้างดังกล่าวทำให้น้ำตาล ทรีฮาโลสไม่มีหมู่คาร์บอนิลอิสระ ส่งผลให้ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนเกิดเป็น สารประกอบ สีน้ำตาลได้ Hayashibara groups (2000) ได้รายงานไว้ว่า น้ำตาลทรีฮาโลสมีค่าความหวานสัมพัทธ์เพียง 0.45 ของสารละลายน้ำตาลซูโครสเข้มข้นร้อยละ 10 นอกจากนี้พบว่า น้ำตาลทรีฮาโลสมีบทบาทช่วยรักษาเสถียรภาพของโปรตีน ป้องกันสิ่งมีชีวิตในสภาวะที่ขาดแคลนน้ำหรือแช่แข็ง (Ball, 2000) สมบัติที่สำคัญของน้ำตาลทรีฮาโลสอีกประการคือ น้ำตาลทรีฮาโลสส่งผลให้ T_g ของสารละลายที่ได้สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลเชิงคู่ชนิดอื่น ซึ่งสมบัติดังกล่าวทำให้น้ำตาลทรีฮาโลสมีเสถียรภาพในอุณหภูมิช่วงกว้างและทำให้สถานะเหมือนแก้วมีเสถียรภาพสูง (Fennema, 1996; Hayashibara groups, 2000) น้ำตาลทรีฮาโลสเป็นสารเติมแต่งอาหาร (Ingredient) ที่ได้รับการรับรองให้อยู่ในรายการของสารเติมแต่งอาหารที่มีความปลอดภัย (General Recognized As Safe : GRAS) โดยปริมาณสูงสุดที่บริโภคต่อวันไม่ควรเกิน 8 กรัม (Bar, 2000)

Hunt, Park และ Zoerb (2002) ได้ศึกษาผลของการใช้ทรีฮาโลส ซูโครส ซอร์บิทอล โพลีฟอสเฟตและโซเดียมไบคาร์บอเนต ในซูริมิแช่เยือกแข็ง และได้กล่าวไว้ว่า การใช้ โซเดียมไบคาร์บอเนต 0.3% w/w ร่วมกับน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ช่วยรักษาค่าเนื้อสัมผัสของซูริมิได้ดีที่สุด ตามมาด้วยการใช้ทรีฮาโลส 4% ร่วมกับน้ำตาลซูโครส 5% ทั้งนี้อาจเนื่องจากโซเดียมไบคาร์บอเนต มีอิทธิพลต่อค่า pH หรือมีบทบาทเสริม (synergistic) การทำงานของน้ำตาลทรีฮาโลสและซูโครส

2.8 สถานะเหมือนแก้ว (glassy state)

ในระหว่างการแช่เยือกแข็งซึ่งทำให้มีผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นในอาหาร สารละลายที่อยู่ในอาหารซึ่งยังไม่แข็งตัวจะมีความเข้มข้นสูงขึ้น เมื่อถึงความร้อนออกจากอาหารแช่เยือกแข็งต่อไป แม้จะมีผลเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายที่เหลืออีกแต่จะมีความเข้มข้นเพิ่มได้ถึงระดับหนึ่งเท่านั้นซึ่งเป็นสภาวะที่สารละลายที่ยังไม่แข็งตัวมีความเข้มข้นสูงสุด ในขณะที่เดียวกันก็จะเป็นสภาวะที่ผลึกน้ำแข็งเกิดได้สูงสุดเช่นกัน การถึงความร้อนออกจากอาหารต่อไปจึงมีผลเพิ่มความหนืดของสารละลายที่เหลืออย่างรวดเร็ว และเมื่อสารละลายมีความหนืดสูงประมาณ 10^{12} - 10^{14} Pa.s ระบบจะมีคุณลักษณะก้ำกึ่งระหว่างของแข็งและของเหลวที่เรียกว่า สถานะเหมือนแก้ว (glassy state) และเรียกอุณหภูมิที่สารละลายมีความหนืดสูงเปลี่ยนเป็นมีโครงสร้างคล้ายแก้วนี้ว่า glass transition temperature (T_g) (Franks, 1985) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบ second-order transitions การเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนจำเพาะ (specific heat) เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบ step change สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงได้โดย Differential scanning calorimetry (Fennema, 1996) สำหรับ T_g' คือ T_g ที่ประยุกต์ใช้กับสารละลายที่ประกอบด้วยผลึกน้ำแข็ง ในสภาวะที่สารละลายมีความเข้มข้นสูงสุดเท่านั้น (maximum freeze concentration) (Fennema, 1996)

ลักษณะที่สำคัญของสถานะเหมือนแก้วคือ ความหนืดมีค่าสูงมาก ส่งผลให้ปฏิกิริยาถูกจำกัด เพราะโมเลกุลน้ำถูกตรึงอยู่ในโครงสร้างของตัวถูกละลาย (Treloar, 1970) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อ interaction ระหว่างตัวถูกละลายแทนที่การจับตัวกันระหว่างน้ำและตัวถูกละลาย (MacDonald และ Lanier, 1991) การเปลี่ยนแปลงสถานะของสารละลายในอาหารแช่เยือกแข็งไปเป็นสถานะเหมือนแก้วด้วยวิธีใด ๆ จึงน่าจะเป็นแนวทางที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งได้

Lim (2002) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนทางกายภาพในแบบจำลองของสารละลายโปรตีนสกัด เมื่อมีมอลโตเดกซ์ทรินความเข้มข้น 10% ซึ่งมีค่า T_g' ประมาณ -11 ถึง -12 °C เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ได้แก่ -22, -15.2, -12.2, -9.4 และ -6.4 °C พบว่าตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า T_g' ของมอลโตเดกซ์ทรินมีลักษณะใส ในขณะที่สารละลายโปรตีนสกัดเมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูงกว่า T_g' มีลักษณะขุ่น อาจเนื่องจากเกิด aggregation ของโปรตีน

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย

วัตถุดิบ

- ปลายี่สกเทศและปลานวลจันทร์ น้ำหนักตัวโดยเฉลี่ย 200 – 300 กรัม ชื้อจากตลาดขายปลาสดสะพานปลากรุงเทพฯ บรรจุงูลงพลาสติกพร้อมน้ำแข็ง ขนส่งมายังห้องปฏิบัติการอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (บริษัทมิตรผล จำกัด)
- น้ำตาลซอร์บิทอล (food grade) บริษัทยูไนเต็ดฟลาวมิลล์ จำกัด (มหาชน)
- น้ำตาลทรีฮาโลส (food grade) บริษัท Hayashibara จำกัด
- โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (food grade)

สารเคมี

การผลิตซูริมิ

- Sodium chloride (commercial grade)

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

- Sulfuric acid (A.R. grade)
- Selenium mixture (A.R. grade)
- Sodium hydroxide (A.R. grade)
- Boric acid (A.R. grade)

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

- Petroleum ether (A.R. grade)

การสกัดโปรตีน

- Tris-HCl (A.R. grade)
- Hydrochloric acid (HCl) (A.R. grade)
- Urea (A.R. grade)
- 2-mercaptoethanol (A.R. grade)

การหาความเข้มข้นโปรตีน

- Sodium deoxycholate (DOC) 0.15% (A.R. grade)
- Trichloroacetic acid (TCA) 72% (A.R. grade)
- Sodium carbonate (A.R. grade)
- Bovine serum albumin (BSA) (A.R. grade)

- Copper sulfate (A.R. grade)
- Potassium tartrate (A.R. grade)
- Sodium dodecyl sulfate (SDS) (A.R. grade)
- Sodium hydroxide (A.R. grade)
- Folin – Ciocalteu phenol reagent (A.R. grade)

การศึกษารูปแบบโปรตีนด้วยวิธี SDS-polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE)

- Tris-HCl (A.R. grade)
- 2-mercaptoethanol (A.R. grade)
- Bromphenol blue (A.R. grade)
- Glycerol (A.R. grade)
- Glycine (A.R. grade)
- SDS (A.R. grade)
- HCl (A.R. grade)
- Acetic acid (A.R. grade)
- Methanol (A.R. grade)
- Standard Protein Marker ; MW. 6.5 – 205 kDa (A.R. grade, Sigma)

อุปกรณ์

การผลิตซูริมิ

- เครื่องบดและเครื่องผสม (Kenwood, A907)
- เครื่องบีบอัดไฮดรอลิก (Hydraulic press) (รูปที่ 1 ภาคผนวก ค)
- ถุงพลาสติก nylon/PE (ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทสตรองแพค จำกัด (มหาชน))
- เครื่องปิดผนึกแบบสุญญากาศ (Multivac type, AG500)
- เครื่องทำความเย็นไนโตรเจนเหลว (Cryogenic chamber ของบริษัทบางกอกอินดัสเทรียลแก๊ส จำกัด)
- ตู้แช่เยือกแข็ง (Sanyo SF-C95)

การเตรียมเจลซูริมิ

- เครื่องวัดความชื้น (Moisture Analyzer Sartorius, MA30)
- เครื่องปั่นผสม (National MK-K77-W; ประเทศญี่ปุ่น)

- หลอดสแตนเลสทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร สำหรับอัดซูริมิเฟสท์
- แผ่นยางและแผ่นสแตนเลสขนาด 3 x 3 เซนติเมตร
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)

การวิเคราะห์ทางเคมี

- เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius, A200S)
- เครื่องชั่งหยาบ ทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartorius, B3100S)
- ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์โปรตีน ประกอบด้วยชุดย่อยและกลั่นโปรตีน (K-424 และ B-324, BUCHI)
- ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์ไขมัน (Soxlet Apparatus EV-16, Gerhardt)
- เตาอบวิเคราะห์ความชื้น ช่วงอุณหภูมิ 5 – 300 °C (WTB Binder, E53)
- เตาเผาช่วงอุณหภูมิ 500 – 700 °C (Furnace Calbolite, MEL 11-2)
- ถ้วยอะลูมิเนียม
- กระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman)
- เดซิเคเตอร์

การวัดสีเจลซูริมิ

- เครื่องวัดสี (Minolta, CR300 series)

การวัดเนื้อสัมผัสเจลซูริมิ

- เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, TA-XT2) (รูปที่ 2 ภาคผนวก ค)
- หัววัดสแตนเลส P100 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร (รูปที่ 2 ภาคผนวก ค)

การวิเคราะห์ DSC

- เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler, AE200)
- Differential Scanning Calorimeter (Netzsch DSC, DSC 200) ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) (รูปที่ 3 ภาคผนวก ค)
- ถ้วยอะลูมิเนียม (aluminum pan; Netzsch) ขนาด 25 μ l
- เครื่องปิดผนึก aluminum pan (รูปที่ 4 ภาคผนวก ค)

การสกัดโปรตีน

- Dialysis tube ; Molecular weight cut-off 12000 – 14000
- See – saw shaker (Model BC-700) (รูปที่ 5 ภาคผนวก ค)

- Stirrer และ magnetic bar

การหาความเข้มข้นโปรตีน

- Spectrophotometer (Jasco, V-530)
- Vortex

การศึกษารูปแบบโปรตีนโดย SDS-PAGE

- แผ่นเจลอะคริลลาไมด์สำเร็จรูป 5-12% (บริษัท ATTO จำกัด, At- 2331600) (รูปที่ 6 ภาคผนวก ค)
- Electrophoresis Unit Compact PAGE (บริษัท ATTO จำกัด, รุ่น AE-7300) (รูปที่ 6 ภาคผนวก ค)
- ไมโครปิเปต ขนาด 1-5 ml; 100-1000 μ l; 100-200 μ l และ 2-20 μ l (Finnpipette, Labssystem)
- Pipette Tip

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและรูปแบบโปรตีนของวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้คือ ปลาน้ำจืด 2 ชนิด ได้แก่ ปลานวลจันทร์ (*Cirrhina microlepis*) และปลา ยี่สก (*Labeo rohita*)

3.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลา ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า ตามวิธี A.O.A.C. (1995) (ขั้นตอนแสดงในภาคผนวก ก1-4)

3.1.2 รูปแบบโปรตีน (protein pattern) ของเนื้อปลาน้ำจืดทั้ง 2 ชนิด สกัดโปรตีนตามวิธีของ Ni, Nozawa และ Seki (1999) (ขั้นตอนแสดงในภาคผนวก ก5) ศึกษาารูปแบบโปรตีนโดยวิธี SDS-PAGE ตามวิธีของ Bollag, Rozycki และ Edelstein (1996) (ขั้นตอนแสดงในภาคผนวก ก7)

3.2 ศึกษาผลของชนิดปลาน้ำจืดและสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเจลซูริมิ

การเตรียมเนื้อปลาบด ดัดแปลงจากวิธีของห้องปฏิบัติการ Food Processing Tokyo University of Fisheries (TUF) ดังนี้

นำปลามาตัดหัวและครีบ ผ่าท้องเอาเครื่องในออก ล้างทำความสะอาด เก็บปลาไว้ในกล่องโฟมที่บรรจุน้ำแข็งเพื่อคงความสดของปลาไว้ขณะรอทำการทดลองขั้นต่อไป แล้วเนื้อปลา

และเลือกใช้เฉพาะส่วนของเนื้อปลาที่เป็นเนื้อสีขาว (white meat) บดเนื้อปลาด้วยเครื่องบด ซึ่งเนื้อปลาที่บดได้ และล้างเนื้อปลาด้วยน้ำเย็นอุณหภูมิไม่เกิน 10°C ปริมาตร 4 เท่า ต่อน้ำหนักเนื้อปลาบด ขณะล้างคนด้วยไม้พายสม่ำเสมอเป็นเวลา 10 นาที กรองน้ำออกโดยใช้ผ้าขาวบางล้างเนื้อปลาบด 3 ครั้ง โดยน้ำสุดท้ายใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.3% (w/v) บีบน้ำออกโดยใช้ hydraulic press บดผสมเนื้อปลาบดที่บีบน้ำออกแล้วกับโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.3% (w/w) และน้ำตาลซูโครส/ซอร์บิทอล (1:1) 8% (w/w) ด้วยเครื่องบดผสมที่ได้รายงานไว้ข้างต้น ใช้เวลาประมาณ 5 นาทีและควบคุมอุณหภูมิขณะผสมให้ต่ำด้วยการหล่อเย็นด้วยน้ำแข็ง เก็บเนื้อปลาบดที่บดผสมแล้วในถุงพลาสติก nylon/PE ปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึกแบบสุญญากาศ ทำให้เย็นอย่างรวดเร็วโดยใช้เครื่องทำความเย็นไนโตรเจนเหลว ให้อุณหภูมิจุดกึ่งกลางของเนื้อปลาบดลดลงถึง -25°C จากนั้นเก็บเนื้อปลาบดในตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -25°C เพื่อทำการทดลองต่อไป

การเตรียมเจลซูริมิ ดัดแปลงจากวิธีของ Auh และคณะ (1999)

นำซูริมิออกจากตู้แช่เยือกแข็ง ทำให้ละลายในภาชนะที่บรรจุน้ำแข็ง แบ่งซูริมิบางส่วนไปวัดปริมาณความชื้นโดยใช้เครื่องวัดความชื้น บดผสมซูริมิที่ละลายแล้วเป็นเวลา 2 นาที ด้วยเครื่องบดผสม ปรับปริมาณความชื้นของซูริมิเป็น 80% โดยใช้ น้ำกลั่นแช่เย็น บดผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 2 นาที เติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ให้มีความเข้มข้น 2.5% (w/w) บดผสมต่ออีกประมาณ 2 นาที จนได้ซูริมิเพสต์เป็นเนื้อเดียวกัน อัดซูริมิเพสต์ที่ได้ลงในหลอดสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร ยาว 3 เซนติเมตร ปิดปลาย 2 ข้างของหลอดสแตนเลสด้วยแผ่นยางและแผ่นสแตนเลส รััดด้วยหนังยาง ระหว่างรอทำการทดลองแช่หลอดดังกล่าวไว้ในภาชนะที่บรรจุน้ำแข็ง

เตรียมซูริมิและเจลซูริมิจากปลาเยือกเทศและปลานวลจันทร์ ตามขั้นตอนการเตรียมเนื้อปลาบดและการเตรียมเจลซูริมิดังกล่าวไว้ข้างต้น ให้ความร้อนซูริมิเพสต์ที่อุณหภูมิ 2 ระดับ (two - step heating) โดยนำซูริมิเพสต์ไปทำให้เกิดเจล (set gel) ที่อุณหภูมิต่ำและต้มเจลให้สุกที่อุณหภูมิสูงในอ่างให้ความร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ ศึกษาผลของอุณหภูมิต่ำ (1^{st} step heating) ต่อการเกิดเจลซูริมิ 4 ระดับ คือ $30, 40, 50$ และ 60°C ศึกษาผลของเวลาในการทำให้เกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำ 3 ระดับ คือ $30, 60$ และ 120 นาที นำซูริมิที่ผ่านการทำให้เกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำ แล้วไปต้มที่อุณหภูมิ 85°C (2^{nd} step heating) เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำเจลให้เย็นทันทีโดยแช่หลอด สแตนเลสในน้ำผสมน้ำแข็ง 10 นาที เจลซูริมิที่แข็งตัวที่ได้เรียกอีกอย่างว่า คามาโบโกะ นำออกจากหลอดสแตนเลส บรรจุในถุงพลาสติก LDPE เก็บที่อุณหภูมิ 4°C ที่ตู้แช่เย็นก่อนนำไปทดสอบ

วัดเนื้อสัมผัสของเจลซูริมิโดยวิธี Texture Profile Analysis ตามวิธีที่ดัดแปลงมาจาก Bourne (1978) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข1 ใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัสและหัววัดสแตนเลส P100 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ลักษณะการวัดเนื้อสัมผัสแสดงดังรูปที่ 2 ภาคผนวก ค

วัดสีของเจลซูริมิโดยใช้เครื่องวัดสี ในระบบ CIE L* a* b* คำนวณค่าความขาวโดยใช้สูตรดังนี้ (Auh และคณะ, 1999)

$$\text{Whiteness} = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$$

วิเคราะห์และประเมินผลเพื่อเลือกชนิดปลา น้ำจืดและสภาวะในการเตรียมเจลที่ให้ค่าความแข็ง (hardness) ความสามารถเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness) ความยืดหยุ่น (springiness) และเจลซูริมิที่ให้ค่าความขาว (whiteness) สูง โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial Randomized Complete Block Design ขนาด 2x4x3 ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistical Processing System (SPS) ร่วมกับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1992)

3.3 ศึกษาผลการใช้สารทรีฮาโลส น้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอลต่อค่า Tg' และคุณภาพของซูริมิ

เตรียมซูริมิจากปลาชนิดที่เลือกได้จากข้อ 3.2 ตามขั้นตอนการเตรียมเนื้อปลาบดในข้อเดียวกัน บดผสมเนื้อปลาบดที่บีบน้ำออกแล้วกับโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.3% (w/w) แบ่งซูริมิออกเป็น 6 ชุดการทดลองเท่า ๆ กัน และบดผสมกับไครโอโพรเทกแทนต์ ดังนี้

1. ซูโครส : ซอร์บิทอล 4 : 4 % (w/w)
2. ซูโครส : ซอร์บิทอล : ทรีฮาโลส 4 : 3 : 1 % (w/w)
3. ซูโครส : ซอร์บิทอล : ทรีฮาโลส 4 : 2 : 2 % (w/w)
4. ซูโครส : ซอร์บิทอล : ทรีฮาโลส 4 : 1 : 3 % (w/w)
5. ซูโครส : ทรีฮาโลส 4 : 4 % (w/w)
6. ทรีฮาโลส 8 % (w/w)

ชั่งน้ำหนักเนื้อปลาบดแต่ละชุดการทดลองประมาณ 150 กรัม ทำให้เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดโดยประมาณ 15X15 ซม.หนา 1 ซม. ทำให้เย็นอย่างรวดเร็วโดยใช้เครื่องทำความเย็นไนโตรเจนเหลว ให้อุณหภูมิจุดกึ่งกลางของเนื้อปลาบดลดลงถึง -25 °C บรรจุซูริมิลงในถุงพลาสติก nylon/PE ปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึกแบบสุญญากาศ เก็บเนื้อปลาบดในตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -25 °C เป็นเวลา 2 สัปดาห์ นำไปทดสอบ

ผลของการใช้สารทรีฮาโลส น้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอลต่อค่า glass transition temperature (Tg') ของซูริมิ

วัดค่า Tg' ตามวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ Roos และ Karel (1991) นำซูริมิแช่เยือกแข็งที่ละลายแล้วบางส่วนบดด้วยโกร่งแช่เย็น ก่อนนำไปวิเคราะห์หาค่า Tg' ซึ่งซูริมิหนัก 20–30 มิลลิกรัม ใส่ใน aluminum pan ขนาด 25 ไมโครลิตร ปิดฝา aluminum pan ด้วยเครื่องปิดฝา นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ใช้ aluminum pan แปล่าเป็นตัวอย่างแข็ง ศึกษาอุณหภูมิในช่วง -80 ถึง 25 °C โดยตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์เริ่มต้นที่อุณหภูมิห้อง (20°C) ทำให้เย็นโดยใช้ไนโตรเจนเหลว จนถึงอุณหภูมิ -80 °C คงไว้ที่อุณหภูมินี้นาน 1 นาที ให้ความร้อนแก่ aluminum pan จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 25 °C สำหรับอัตราการลดและเพิ่มอุณหภูมิเท่ากับ 5 °C/นาที พิจารณากราฟ DSC (DSC thermograms) ที่ได้ในแต่ละชุดการทดลอง (ตัวอย่างแสดงในภาคผนวก จ) วิเคราะห์หาค่า Tg' 2 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย

ผลของการใช้สารทรีฮาโลส น้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอลต่อคุณภาพของเจลซูริมิ

เตรียมเจลซูริมิจากตัวอย่างทุกชุดการทดลองตามสภาวะที่เลือกได้จากข้อ 3.2 เก็บเจลซูริมิที่อุณหภูมิ 4 °C ซ้ำมคืนก่อนนำไปทดสอบ

วัดเนื้อสัมผัสของเจลซูริมิโดยวิธี TPA ตามวิธีที่ดัดแปลงมาจาก Bourne (1978) ใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัสและหัววัดสแตนเลส P100

วัดค่าสีของเจลซูริมิโดยใช้เครื่องวัดสี ในระบบ CIE L* a* b* คำนวณค่าความขาวของเจลซูริมิในแต่ละชุดการทดลอง ตามสูตรที่แสดงไว้ในข้อ 3.2

วิเคราะห์และประเมินผลเพื่อเลือกชนิดและปริมาณโครโอโพรเทกแทนต์ที่ให้ค่า Tg' ของซูริมิสูง ค่า hardness cohesiveness และ springiness และความขาวของเจลซูริมิสูง วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistical Processing System (SPS) ร่วมกับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1992)

3.4 ศึกษาผลของของระยะเวลาในการเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็งต่อการเปลี่ยนแปลงโปรตีน สมบัติทางกายภาพ ประสาทสัมผัสและค่า Tg' ของซูริมิ

เตรียมซูริมิปลานวลจันทร์ ตามวิธีข้อ 3.2 บดผสมซูริมิด้วยไซเดียมไทรโพลฟอสเฟต 0.3% (w/w) และบดผสมกับชนิดและปริมาณโครโอโพรเทกแทนต์ที่เลือกได้จากข้อ 3.3 ดังนี้

1. ซูโครส : ซอร์บิทอล 4:4 % (w/w)
2. ซูโครส : ซอร์บิทอล : ทรีฮาโลส 4:2:2 % (w/w)

3. ซูโครส : ทรีฮาโลส 4:4 %(w/w)

แช่เยือกแข็งซูโครสอย่างรวดเร็วโดยใช้เครื่องทำความเย็นไนโตรเจนเหลว ให้อุณหภูมิจุดกึ่งกลางของซูโครสลดลงถึง -25°C บรรจุลงในถุงพลาสติก nylon/PE ปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึกแบบสุญญากาศ เก็บซูโครสในตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ $-27 \pm 2^{\circ}\text{C}$ สุ่มตรวจคุณภาพตัวอย่างทุกเดือน ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 5 เดือน ประเมินผลโดย

ตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนด้วยวิธี SDS-PAGE ตามวิธีในข้อ 3.1.2

ลักษณะทางกายภาพของเจลซูโครส เตรียมเจลซูโครสปลานวลดจันท์ตามวิธีในข้อ 3.2 ให้ความร้อนแบบ 2-step heating โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40°C 30 นาที ตามด้วย 85°C 30 นาที ประเมินลักษณะทางกายภาพโดยการวัดเนื้อสัมผัสและสีของเจลซูโครสตามวิธีในข้อ 3.2

วิเคราะห์และประเมินผลเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเนื้อสัมผัส สีและความขาวของเจลซูโครสในแต่ละชุดการทดลองเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistical Processing System (SPS) ร่วมกับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1992)

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส เตรียมเจลซูโครสปลานวลดจันท์ตามวิธีในข้อ 3.2 ให้ความร้อนแบบ 2-step heating โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40°C 30 นาที ตามด้วย 85°C 30 นาที ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติและการยอมรับโดยรวม ใช้แบบทดสอบชนิด Quantitative Descriptive Analysis with Scoring (แบบทดสอบแสดงในภาคผนวก ง) ใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝนซึ่งเป็นนิสิตปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 15 คน

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistical Processing System (SPS) ร่วมกับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1992)

วัดการเปลี่ยนแปลงค่า T_g' ของซูโครส ตามวิธีในข้อ 3.3 ในแต่ละชุดการทดลองวัดค่า T_g' 2 ครั้ง เปรียบเทียบความคงตัวของค่า T_g' ซูโครสที่ได้ โดยตรวจวัดค่า T_g' ของซูโครสในเดือนที่ 2 และ 4

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 องค์ประกอบทางเคมีและรูปแบบโปรตีนของวัตถุดิบ

4.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลา

วัตถุดิบที่ใช้เป็นปลาน้ำจืด 2 ชนิด ได้แก่ ปลายี่สกเทศและปลานวลจันทร์ วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และลักษณะปรากฏของปลายี่สกเทศและปลานวลจันทร์ แสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของปลายี่สกเทศและปลานวลจันทร์

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย ¹ (%) \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ปลายี่สกเทศ	ปลานวลจันทร์
ความชื้น	79.47 \pm 0.29	79.51 \pm 0.02
โปรตีน	17.52 \pm 0.03	17.75 \pm 0.06
ไขมัน	1.73 \pm 0.09	1.25 \pm 0.03
เถ้า	1.15 \pm 0.01	1.06 \pm 0.01

หมายเหตุ¹ ค่าเฉลี่ยจากการทำ 3 ซ้ำ



รูปที่ 4.1 ปลายี่สกเทศ



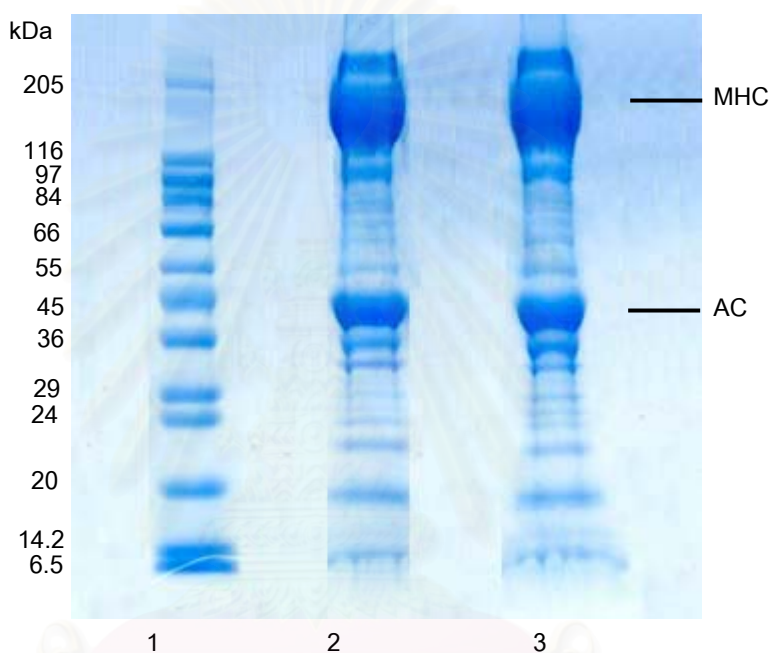
รูปที่ 4.2 ปลานวลจันทร์

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาเยือกเทศและปลานวลจันทร์ พบว่า ปลาทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกัน โดยปลาเยือกเทศมีความชื้น โปรตีน ไขมันและเถ้า 79.47, 17.52, 1.73 และ 1.15% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ปลานวลจันทร์มีความชื้น โปรตีน ไขมันและเถ้า 79.51, 17.75, 1.25 และ 1.06% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปริมาณไขมันของปลาทั้งสองชนิด พบว่าปลาเยือกเทศและปลานวลจันทร์มีค่าเฉลี่ยปริมาณไขมันคิดเป็นร้อยละ 1.73 และ 1.25 ตามลำดับ จากการที่ปลาเยือกเทศและปลานวลจันทร์มีปริมาณไขมันน้อยกว่าร้อยละ 2 ปลาน้ำจืดทั้งสองชนิดจึงจัดเป็นปลาที่มีไขมันต่ำ หรือ Lean-fat fish (Spinelli และ Dassow, 1982; Judprasong และคณะ, 1997) การที่ปลาเยือกเทศและปลานวลจันทร์มีปริมาณโปรตีนสูงแต่มีปริมาณไขมันต่ำจึงเหมาะสมในการนำไปเป็นวัตถุดิบผลิตซูริมิ เพราะคุณลักษณะที่สำคัญของซูริมิคือ มีความสามารถในการเกิดเจลดี มีปริมาณไขมันต่ำและมีสีขาว (Park, 1995) Shimizu, Toyohara และ Lanier (1992) กล่าวว่าไว้ว่าไขมันจะขัดขวางการเกิดเจลของโปรตีนไมโอซิน ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีบทบาทสำคัญในการเกิดเจลของซูริมิ โดยส่วนไม่ชอบน้ำของไขมันจะไปรวมตัวกับหมู่ไม่ชอบน้ำของไมโอซิน จึงขัดขวางการรวมตัวเป็นร่างแหของโปรตีนไมโอซิน ส่งผลให้เจลที่ได้ไม่แข็งแรง นอกจากนี้ไขมันเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติในระหว่างการเก็บโดยการแช่เยือกแข็ง (Fennema, 1996) กล่าวคือ ปฏิกริยาออกซิเดชันของไขมันเกิดได้ในระหว่างการเก็บรักษาอาหารโดยการแช่เยือกแข็ง ไขมันที่ถูกออกซิไดส์สามารถเกิด interaction กับโปรตีน ทำให้หมู่ไม่ชอบน้ำของโปรตีนเปิดออกสู่ภายนอกเพิ่มขึ้น โปรตีนจึงจับตัวกันและเป็นสาเหตุให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ ส่วนโปรตีนเป็นองค์ประกอบสำคัญที่จะให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความสามารถในการเกิดเจลดี โดยเฉพาะโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์เป็นโปรตีนที่ทำให้เกิดโครงสร้างเจลของเนื้อปลาเมื่อได้รับความร้อน (Chan และคณะ, 1993) จากการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของเนื้อปลาทั้ง 2 ชนิด พบปริมาณโปรตีนของปลาเยือกเทศและปลานวลจันทร์เป็น 17.52 และ 17.75 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้ไม่

แตกต่างจากเนื้อปลาเศรษฐกิจทั่ว ๆ ไปที่มีโปรตีนเฉลี่ย 16-19% (ประเสริฐ สายสิทธิ์, 2524) อย่างไรก็ตามได้ศึกษาองค์ประกอบหลักโปรตีนเนื้อปลาทั้ง 2 ชนิด ในการทดลองขั้นต่อไป

4.1.2 รูปแบบโปรตีน (protein pattern) ของเนื้อปลาน้ำจืดที่เลือกใช้

ศึกษา protein pattern ของเนื้อปลาเยือกเทศและปลานวลจันทร์โดยวิธี SDS-PAGE ตามขั้นตอนที่แสดงในภาคผนวก ก4-ก7 ความเข้มข้นโปรตีนในแต่ละ well ประมาณ 10 μ l พิจารณา protein pattern ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 รูปแบบโปรตีนของเนื้อปลาจากการวิเคราะห์ด้วย SDS-PAGE ความเข้มข้นโปรตีน 10 μ l/well : จากซ้ายมาขวา 1. standard protein markers; 2. ปลาเยือกเทศ; 3. ปลานวลจันทร์
ตัวย่อ: MHC = myosin heavy chain; AC = actin

จากรูปที่ 4.3 พบ protein pattern ของเนื้อปลาน้ำจืดทั้ง 2 ชนิด คล้ายคลึงกันซึ่งเห็นเป็นเส้นสีน้ำเงินดังรูป เส้นสีน้ำเงินหลายเส้นที่แยกได้แสดงถึงองค์ประกอบโปรตีนในตัวอย่างที่ศึกษา เมื่อพิจารณาระยะทางการเคลื่อนที่ของโปรตีนในเนื้อปลาเยือกเทศและปลานวลจันทร์เทียบกับโปรตีนมาตรฐาน โปรตีนของเนื้อปลาประกอบไปด้วยไมโอซินและแอกติน สอดคล้องกับการศึกษาองค์ประกอบโปรตีนในเนื้อปลาซาร์ดีนและปลาแมคเคอเรลของ Hashimoto และคณะ (1979) โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์โดยเฉพาะโปรตีนไมโอซินและแอกตินเป็นโปรตีนที่มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดโครงร่างเจลเมื่อให้ความร้อนแก่ซูริมที่สับผสมด้วยเกลือ 2-3% (Lanier และคณะ, 1982; Chan และคณะ, 1993) ขั้นตอนนี้จึงศึกษา protein pattern ของเนื้อปลาน้ำจืดทั้ง 2 ชนิด

ที่จะนำมาเป็นวัตถุบผลิตซูริมิด้วยวิธี SDS-PAGE เมื่อพิจารณา protein pattern ของเนื้อปลา- ปลายี่สกเทศและปลานวลจันทร์พบส่วนโปรตีนดังกล่าวอย่างชัดเจน โดยแถบ (band) สีน้ำเงินตรงช่วง น้ำหนักโมเลกุล 205 และ 45 kDa คือโปรตีนไมโอซินและแอกติน ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการ ประเมินความแตกต่างของ band โปรตีน อาจใช้เครื่อง densitometer เพื่อ scan หาความเข้ม ของ band โปรตีน อาจทำให้แปรผลเชื่อมโยงกับปริมาณไมโอซินและแอกตินที่มีอยู่ในปลาได้ชัดเจนยิ่งขึ้น (Suwansakornkul และคณะ, 1993) เนื่องจากปลาที่มีปริมาณไมโอซินสูง น่าจะ มีความสามารถในการเกิดเจลได้ดี

การที่ protein pattern ของปลาน้ำจืดทั้ง 2 ชนิดคล้ายคลึงกัน ผลดังกล่าวอาจเนื่องจาก ปลายี่สกเทศและปลานวลจันทร์ เป็นปลาน้ำจืดที่จัดอยู่ในวงศ์ปลาตะเพียน (Cyprinidae) เช่น เดียวกัน มีความเกี่ยวข้องกันทางพันธุกรรม เมื่อศึกษาโดยวิธี SDS-PAGE จึงได้ protein pattern คล้ายกัน (Nakagawa, Watabe และ Hashimoto, 1988)

4.2 ผลของชนิดปลาน้ำจืดและสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเจลซูริมิ

ผลิตและเตรียมเจลซูริมิตามขั้นตอนในข้อ 3.2 ให้ความร้อนแก่เจลซูริมิด้วยอุณหภูมิ 2 ระดับ (two-step heating) โดยแปรอุณหภูมิในการทำให้เกิดเจลในช่วงอุณหภูมิต่ำ (1st step) 4 ระดับ คือ 30 40 50 และ 60 °C แปรเวลา 3 ระดับเป็น 30 60 และ 120 นาที ตามด้วยการให้ ความร้อนที่อุณหภูมิสูง (2nd step) เป็น 85 °C นาน 30 นาที เจลซูริมิแข็งตัวที่ได้เรียกอีกอย่างว่า คามา-โบโกะ นำมาวัดเนื้อสัมผัส สี ($L^* a^* b^*$) และคำนวณค่าความขาว (ตามสูตรในข้อ 3.2) ได้ ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2-4.7

ประเมินคุณภาพเนื้อสัมผัสของเจลซูริมิโดยใช้ Texture Profile Analysis (TPA) ผลดัง แสดงในตารางที่ 4.2 จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติผลดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบอิทธิพล ร่วมระหว่างชนิดปลาและอุณหภูมิในการทำให้เกิดเจล (1st step heating) ต่อค่า hardness และ cohesiveness ของเจลซูริมิ ($p \leq 0.05$) จึงแยกวิเคราะห์ค่า hardness และ cohesiveness โดยพิจารณาเฉพาะอิทธิพลร่วมของชนิดปลาและอุณหภูมิในการทำให้เกิดเจล ผลดังแสดงในตา รางที่ 4.4 โดยค่าดังกล่าวมีความสอดคล้องกัน กล่าวคือเจลซูริมิที่มีค่า cohesiveness สูง จะให้ ค่า hardness สูงเช่นกัน เจลซูริมิปลายี่สกเทศและปลานวลจันทร์ที่ผ่านการทำให้เกิดเจลที่ อุณหภูมิ 40 °C ตามด้วยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 °C 30 นาที มีค่า hardness และ cohesiveness สูง สำหรับค่า springiness ถึงแม้อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดปลาและอุณหภูมิไม่มี ผลต่อค่าดังกล่าว แต่เมื่อพิจารณาแยกแต่ละปัจจัยคือ ชนิดปลาและอุณหภูมิในการทำให้เกิด เจล ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ พบอิทธิพลของชนิดปลาและอุณหภูมิในการทำให้ เกิดเจลต่อค่า springiness ($p \leq 0.05$) โดยชนิดปลาและอุณหภูมิในการทำให้เกิดเจลที่ให้เจลซูริมิ

มีค่า springiness ต่ำที่สุดคือ ปลานวลจันทร์ ทำให้เกิดเจลที่อุณหภูมิ 40 °C ให้ค่า springiness 0.74 และ 0.77 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ค่า hardness, cohesiveness และ springiness ของเจลซูริมิปลาเยือกแข็งและ ปลานวลจันทร์ทำให้เกิดเจลด้วยสภาวะต่างกัน

ชนิดปลา	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ย ¹ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
			hardness (N)	cohesiveness	springiness
ปลาเยือกแข็ง	30	1 st step	108.15 ± 11.12	0.48 ± 0.09	0.72 ± 0.04
		30	116.81 ± 4.78	0.53 ± 0.04	0.71 ± 0.06
		60	115.36 ± 2.79	0.53 ± 0.04	0.71 ± 0.05
	40	30	118.93 ± 9.81	0.58 ± 0.01	0.73 ± 0.01
		60	128.93 ± 8.06	0.59 ± 0.01	0.75 ± 0.06
		120	141.44 ± 11.3	0.60 ± 0.01	0.75 ± 0.03
	50	30	0.09 ± 0.01	0.31 ± 0.06	0.70 ± 0.01
		60	0.10 ± 0.01	0.33 ± 0.01	0.70 ± 0.01
		120	0.09 ± 0.01	0.23 ± 0.03	0.58 ± 0.14
	60	30	0.09 ± 0.01	0.37 ± 0.06	0.65 ± 0.03
		60	0.10 ± 0.01	0.35 ± 0.06	0.64 ± 0.03
		120	0.097 ± 0.00	0.27 ± 0.01	0.63 ± 0.04
ปลานวลจันทร์	30	30	162.33 ± 3.06	0.59 ± 0.01	0.77 ± 0.02
		60	177.68 ± 2.66	0.61 ± 0.01	0.76 ± 0.03
		120	182.74 ± 5.82	0.63 ± 0.01	0.77 ± 0.02
	40	30	203.39 ± 7.01	0.65 ± 0.01	0.79 ± 0.02
		60	212.88 ± 8.53	0.67 ± 0.01	0.80 ± 0.02
		120	229.72 ± 13.30	0.69 ± 0.01	0.81 ± 0.02
	50	30	166.89 ± 10.24	0.60 ± 0.02	0.72 ± 0.03
		60	169.41 ± 16.49	0.60 ± 0.02	0.72 ± 0.03
		120	165.37 ± 16.22	0.60 ± 0.03	0.71 ± 0.01
	60	30	150.81 ± 26.03	0.59 ± 0.01	0.70 ± 0.02
		60	134.81 ± 11.35	0.56 ± 0.03	0.70 ± 0.03
		120	125.82 ± 35.37	0.53 ± 0.03	0.67 ± 0.02

¹ ค่าเฉลี่ยจากการทำ 2 ซ้ำ

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า hardness, cohesiveness และ springiness ของเจลซูริมิปลาเยื่อสกัดและปลานวลจันทร์ ที่ทำให้เกิดเจลด้วยสภาวะต่างกัน

SOV	d.f.	MS		
		hardness	cohesiveness	springiness
ชนิดปลา (A)	1	1522235.3*	.383*	3.545x10 ^{-2*}
อุณหภูมิ (B)	3	29037.237*	.102*	2.933x10 ^{-2*}
เวลา (C)	2	157.572	1.669x10 ⁻³	1.661x10 ⁻³
AB	3	6983.989*	3.618x10 ^{-2*}	1.005x10 ⁻⁴
AC	2	6.245	2.357x10 ⁻³	1.074x10 ⁻³
BC	6	278.993	3.798x10 ⁻³	1.937x10 ⁻³
ABC	6	69.356	4.849x10 ⁻⁴	1.154x10 ⁻³
Block	1	93.027	1.120x10 ⁻³	1.694x10 ⁻²
Error	23	147.786	1.112x10 ⁻³	1.335x10 ⁻³

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ย hardness และ cohesiveness ของเจลซูริมีปลา ยีสกเทศและปลานวลจันทร์ ที่ทำให้เกิดเจลที่สภาวะต่างกัน โดยพิจารณาเฉพาะอิทธิพลร่วม ระหว่างชนิดปลาและอุณหภูมิการทำให้เกิดเจล

ตัวแปรที่ศึกษา	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	hardness (N)	cohesiveness
อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดปลาและอุณหภูมิ		
ปลาเยีสกเทศ - 30 °C	113.45 ^c \pm 1.18	0.51 ^c \pm 0.06
ปลาเยีสกเทศ - 40 °C	129.77 ^c \pm 9.90	0.59 ^b \pm 0.00
ปลาเยีสกเทศ - 50 °C	0.09 ^d \pm 0.00	0.29 ^d \pm 0.03
ปลาเยีสกเทศ - 60 °C	0.10 ^d \pm 0.01	0.33 ^d \pm 0.04
ปลานวลจันทร์ - 30 °C	174.25 ^b \pm 2.07	0.67 ^a \pm 0.01
ปลานวลจันทร์ - 40 °C	215.33 ^a \pm 9.62	0.67 ^a \pm 0.01
ปลานวลจันทร์ - 50 °C	167.22 ^b \pm 14.32	0.60 ^b \pm 0.03
ปลานวลจันทร์ - 60 °C	137.13 ^c \pm 24.22	0.56 ^{bc} \pm 0.01

a,b,c,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวดิ่งเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ย springiness ของเจลซูริมีปลาเยีสกเทศและปลานวลจันทร์ ที่ทำให้เกิดเจลที่สภาวะต่างกัน เมื่อพิจารณาอิทธิพลของชนิดปลา

ตัวแปรที่ศึกษา	springiness \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ชนิดปลา	
ปลาเยีสกเทศ	0.69 ^b \pm 0.03
ปลานวลจันทร์	0.74 ^a \pm 0.02

a,b ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวดิ่งเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ย springiness ของเจลซูริมิปลาเย่สกเทศและปลานวลจันทร์ ที่ทำให้เกิดเจลที่สภาวะต่างกัน เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิ

ตัวแปรที่ศึกษา	springiness \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$; 1 st step heating)	
30	0.74 ^b \pm 0.04
40	0.77 ^a \pm 0.04
50	0.69 ^c \pm 0.04
60	0.66 ^c \pm 0.01

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

การประเมินผลเนื้อสัมผัสในงานวิจัยเลือกใช้ TPA เพราะวิธีดังกล่าวเป็นการเลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ โดยเครื่องจะทำการกดลงบนอาหารสองครั้ง และแสดงผลในรูปกราฟระหว่างค่าแรงกับเวลา ทำให้ได้ค่าตัวแปรทางเนื้อสัมผัสที่สัมพันธ์กับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส (นุชนารถ ททรัพย์พาณิชย์, 2544) พารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบ TPA ได้แก่ ความแข็ง (hardness), ความแตกเปราะ (fracturability), ความสามารถเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness), การเกาะติดพื้นผิว (adhesiveness), ความยืดหยุ่น (springiness), ความเหนียว (gumminess) และการทนต่อการเคี้ยว (chewiness) โดย cohesiveness เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุดในการแสดงความสามารถในการเกิดเจลซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดพันธะเชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุลของสายโปรตีน นอกจากนี้ยังเป็นผลมาจากคุณภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ (functionality) ของโปรตีนซูริมิ (Lanier, 1986; Auh และคณะ, 1999) ดังนั้นการประเมินผลเนื้อสัมผัสในงานวิจัยจึงเลือกพิจารณาค่า hardness, cohesiveness และ springiness เป็นหลัก เนื่องจาก เป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรง (gel strength) ความสามารถในการเกิดเจลและความยืดหยุ่นของเจล ซึ่งปัจจัยดังกล่าวเป็นคุณลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์

การทำให้เกิดเจลที่อุณหภูมิ 40 $^{\circ}\text{C}$ ให้ค่าเนื้อสัมผัสที่ดีที่สุด ผลดังกล่าวอาจเนื่องจากที่อุณหภูมิในการทำให้เกิดเจล 1st step heating คือ 40 $^{\circ}\text{C}$ นั้น โปรตีนเกิดการคลายตัวอย่างช้า ๆ เกิดอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างโปรตีนที่คลายตัวออกมานั้นอย่างมีระเบียบ โครงสร้างเจลจึงมีความต่อเนื่อง เมื่อนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง (85 $^{\circ}\text{C}$) อีกครั้ง โครงสร้างเจลจะจับตัวกันแน่นขึ้น จึงได้เจลซูริมิที่มีเนื้อสัมผัสแข็งแรงและมีความยืดหยุ่น (Suzuki, 1981) การให้ความร้อน 2 ระดับ (2-step heating) แก่ซูริมิเพสท์หลังสับผสมซูริมิด้วยเกลือ โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลาหนึ่งก่อนให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง จุดประสงค์เพื่อให้ได้เจลที่มี

ความคงตัวและมีความแข็งแรง ซึ่งสภาวะของการให้ความร้อนที่เหมาะสมจะแตกต่างกันออกไปในปลาแต่ละชนิด (Ureda และคณะ, 1968) Luo และคณะ (2001) ได้ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของเจลซูริมิจากปลาน้ำจืด 3 ชนิด ได้แก่ common carp, grass carp และ silver carp โดยแปรอุณหภูมิต่ำในการให้ความร้อนแก่เจลซูริมิ ก่อนนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง พบว่า อุณหภูมิต่ำที่เหมาะสมในการเตรียมเจลแตกต่างกันตามชนิดปลา โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง $30 - 40^{\circ}\text{C}$ สำหรับอิทธิพลของชนิดปลา เมื่อผ่านการทำให้เกิดเจลภายใต้สภาวะเดียวกัน ซูริมิปลานวลจันทร์ให้เจลซูริมิที่มีลักษณะดีกว่า ซูริมิปลาเย่สกเทศในทุก ๆ สภาวะที่ศึกษา ผลดังกล่าวอาจเนื่องจากปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อความสามารถในการเกิดเจลของซูริมิ เช่น โครงร่างโมเลกุลที่สมบูรณ์ตามธรรมชาติของโปรตีนไมโอซิน (Samejima และคณะ, 1981; Chan และคณะ, 1993) และเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่มีอยู่ในเนื้อปลาซึ่งมีรายงานกล่าวไว้ว่ามีบทบาทต่อการเกิดเจลของซูริมิ (An และคณะ, 1996)

สำหรับเจลซูริมิปลาเย่สกเทศเมื่อผ่านการทำให้เกิดเจลที่อุณหภูมิ 50 และ 60°C ก่อนนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง พบว่าเจลซูริมิที่ได้มีเนื้อสัมผัสนุ่มค่อนข้างละเอียด ทำให้ได้ค่า hardness, cohesiveness ต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ผลดังกล่าวอาจเนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวเจลซึ่งมีลักษณะเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติ (three-dimensional protein network) ที่เกิดขึ้น ถูกทำลายไปบางส่วนโดยเอนไซม์โปรติเอสที่มีอยู่ในเนื้อปลา เป็นสาเหตุให้โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์โดยเฉพาะโปรตีนไมโอซินเกิดการแตกตัว (degradation) อย่างรวดเร็วและรุนแรง ซึ่งการแตกตัวของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ส่งผลเสียต่อเนื้อสัมผัสของเจลซูริมิ ทำให้ได้เจลที่มีความแข็งแรงต่ำ (Boye และ Lanier, 1988) อย่างไรก็ตาม Ni, Nozawa และ Seki (1999) ได้กล่าวไว้ว่า กลไกที่ทำให้เจลซูริมิอ่อนตัวมี 2 ประการ ได้แก่ กลไกที่ไม่ได้เกิดจากเอนไซม์ (non-proteolytic enzyme) และ กลไกที่เกิดจากเอนไซม์ (proteolytic enzyme) กลไกแรกอาจเกิดจากการแตกออก (dissociation) และ depolymerization ของสายโปรตีนแอกตินในระหว่างการให้ความร้อนเจล รวมทั้งความร้อนทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ ทำให้ความสามารถในการเกิดเจลของโปรตีนไม่ดี สำหรับกลไกที่เกิดจากเอนไซม์ เป็นการทำงานของเอนไซม์โปรติเอส เนื่องจากความร้อนช่วยให้เอนไซม์มีกิจกรรมไปตัดสายโปรตีน คุณสมบัติการเกิดเจลจึงด้อยลง กลไกทั้งสองนี้สามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงอุณหภูมิเดียวกันคือ $50 - 60^{\circ}\text{C}$ สำหรับเจลซูริมิปลาเย่สกเทศเมื่อผ่านการทำให้เกิดเจลที่อุณหภูมิ 50 และ 60°C เนื้อสัมผัสด้อยกว่าเจลซูริมิปลานวลจันทร์ที่ผ่านการทำให้เกิดเจลที่อุณหภูมิเดียวกัน อาจเนื่องจากปริมาณเอนไซม์โปรติเอสที่มีอยู่ในเนื้อปลาแตกต่างกันหรือ optimum temperature ของเอนไซม์โปรติเอสชนิดต่างกันแตกต่างกัน.

Luo และคณะ (2001) ได้รายงานอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำให้เกิดเจลในช่วง 1st step heating ไว้ดังนี้ ปลา common carp, grass carp, silver carp ซึ่งเป็นปลาน้ำจืด มีอุณหภูมิใน

การทำให้เกิดเจลอยู่ในช่วง 30-35, 40-50 และ 35-40 °C ตามลำดับ สำหรับปลาทะเลคือ ปลา alaska pollock คุณสมบัติในการทำให้เกิดเจลอยู่ในช่วง 30-35 °C เห็นได้ว่าคุณสมบัติในการทำให้เกิดเจลของปลาน้ำจืดและปลาทะเลใกล้เคียงกัน โดยมากจะอยู่ในช่วง 30-35 °C ขึ้นกับชนิดปลา สอดคล้องกับคุณสมบัติในการทำให้เกิดเจลของปลาเยือกเทศและปลานวลจันทร์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมคือ 40 °C

ผลการวัดสีของเจลซูริมิหรือคามาโบโกะดังแสดงในตารางที่ 4.7 จากตารางค่า L^* คือค่าที่แสดงถึงความสว่าง (lightness) a^* คือค่าที่แสดงสีเขียว - สีแดง (-,+) และ b^* คือค่าที่แสดงสีน้ำเงิน - สีเหลือง (-,+) ค่าความขาวได้จากการคำนวณโดยใช้สูตรตามข้อ 3.2



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ค่าสีและความขาวของเจลซูริมิปลาเยือกเทศและปลานวลจันทร์ที่ทำให้เกิดเจลด้วยสภาวะต่างกัน

ชนิดปลา	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) (1 st step)	เวลา (ช.ม.) (1 st step)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
			ค่าสี			
			L	a*	b*	whiteness ^{ns}
ปลาเยือกเทศ	30	0.5	73.08 \pm 1.41	-2.74 \pm 0.35	-0.61 \pm 1.72	72.9 \pm 1.47
		1	73.27 \pm 1.82	-2.75 \pm 0.37	-0.75 \pm 1.63	73.1 \pm 1.90
		2	73.08 \pm 1.48	-2.8 \pm 0.31	-0.73 \pm 1.79	72.9 \pm 1.55
	40	0.5	72.72 \pm 2.59	-2.79 \pm 0.40	-1.17 \pm 1.87	72.53 \pm 2.69
		1	72.37 \pm 2.81	-2.84 \pm 0.43	-1.44 \pm 2.39	72.14 \pm 2.96
		2	71.63 \pm 3.37	-2.91 \pm 0.40	-2.07 \pm 2.11	72.91 \pm 1.36
	50	0.5	71.72 \pm 0.53	-2.83 \pm 0.19	-1.7 \pm 1.39	71.51 \pm 0.63
		1	71.54 \pm 0.58	-2.86 \pm 0.19	-1.69 \pm 1.41	71.33 \pm 0.68
		2	71.47 \pm 0.65	-2.87 \pm 0.23	-1.84 \pm 1.17	71.26 \pm 0.74
	60	0.5	73.97 \pm 0.82	-2.72 \pm 0.18	-0.43 \pm 1.25	73.81 \pm 0.85
		1	73.89 \pm 0.45	-2.69 \pm 0.16	-0.6 \pm 1.57	73.73 \pm 0.49
		2	74.08 \pm 0.96	-2.64 \pm 0.06	-0.49 \pm 1.77	73.91 \pm 0.99
ปลานวลจันทร์	30	0.5	75.48 \pm 1.63	-3.07 \pm 0.16	-0.40 \pm 1.07	75.27 \pm 1.65
		1	75.25 \pm 2.29	-3.09 \pm 0.31	-0.56 \pm 1.09	75.04 \pm 2.34
		2	74.97 \pm 2.16	-3.18 \pm 0.30	-0.85 \pm 0.66	74.75 \pm 2.21
	40	0.5	74.88 \pm 2.29	-3.17 \pm 0.21	-1.51 \pm .03	74.62 \pm 2.36
		1	73.45 \pm 1.85	-3.2 \pm 0.34	-2 \pm 0.78	73.18 \pm 1.94
		2	72.5 \pm 2.71	-3.30 \pm 0.28	-2.61 \pm 1.17	72.17 \pm 2.81
	50	0.5	74.71 \pm 0.93	-3.01 \pm 0.21	-0.90 \pm 0.41	74.51 \pm 0.87
		1	75.06 \pm 1.00	-3.11 \pm 0.22	-0.91 \pm 0.45	74.84 \pm 0.95
		2	74.86 \pm 1.28	-3.14 \pm 0.16	-0.74 \pm 0.30	74.65 \pm 1.24
	60	0.5	77.2 \pm 1.58	-2.92 \pm 0.15	-0.25 \pm 0.09	77.01 \pm 1.55
		1	76.72 \pm 1.48	-2.86 \pm 0.07	-0.18 \pm 0.18	76.54 \pm 1.46
		2	77.09 \pm 1.77	-2.91 \pm 0.14	-0.03 \pm 0.01	76.91 \pm 1.73

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ไม่พบอิทธิพลของชนิดปลา อุณหภูมิและเวลาในการทำให้เกิดเจลในการให้ความร้อนครั้งแรก (1^{st} step heating) ต่อค่าความขาวของเจลซูริมิ ($p > 0.05$) ผลดังกล่าวอาจเป็นเพราะปลาที่สกปรกและปลานวลจันทร์มีลักษณะเนื้อปลาเมื่อดูด้วยตาเปล่าจะเห็นเนื้อสีขาว (white meat) มากกว่าเนื้อสีแดง (red meat) ส่วนของเนื้อสีแดงมีองค์ประกอบส่วนใหญ่คือ ไขมัน กรดไขมัน โมโนโกลบิน ฮีโมโกลบินและ เอนไซม์ (Spinelli และ Dassow, 1982) โดยมากจะอยู่บริเวณแนวกลางลำตัวและบริเวณที่ติดกับหนังปลา การแล่ปลาด้วยมือจึงสามารถแยกเนื้อปลาสีแดงออกได้ง่าย ลักษณะปรากฏของเจลซูริมิมีสีขาวที่ผิวมีความเงามัน อาจเนื่องจากความเรียบของผิวนอกและลักษณะการเกิดเจลที่แข็งแรงสม่ำเสมอ ทำให้โปรตีนจับตัวกันแน่นจนเกิดลักษณะเรียบและมีความเงามันดังกล่าว ค่าความขาวของเจลซูริมิที่ได้จากปลาน้ำจืด 2 ชนิดอยู่ในช่วง 71.26-77.01 ซึ่งตามที่ Anonymous (1984) ได้แบ่งระดับความขาวของคามาโบโกะหรือเจลซูริมิออกเป็น 6 ระดับ คือคามาโบโกะที่อยู่ในระดับดีมากและเติมแป้งเป็นส่วนผสมควรมีค่าความขาวสูงกว่า 60 สำหรับคามาโบโกะที่ไม่เติมแป้งควรมีค่าความขาวสูงกว่า 46 จึงอาจสรุปได้ว่าเจลซูริมิปลาที่สกปรกและปลานวลจันทร์มีความขาวอยู่ในระดับดีมาก สามารถนำไปเป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากซูริมิ (surimi based on product) ที่ต้องการความขาวสูงได้ อย่างไรก็ตามค่าความขาวของเจลซูริมิอาจขึ้นอยู่กับกระบวนการล้างเนื้อปลาสด ซึ่งการล้างเป็นการกำจัดองค์ประกอบทางเคมีที่ละลายน้ำได้ เช่น เลือดและโปรตีนซาร์โคพลาสซึม นอกจากนี้ยังช่วยกำจัดไขมันในเนื้อปลาสดได้เช่นกัน (Jiang และคณะ, 1998)

จากการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่า ชนิดปลาน้ำจืด อุณหภูมิและเวลาในการทำให้เกิดเจลที่ 1^{st} step มีผลต่อเนื้อสัมผัสของเจลซูริมิ แต่ไม่มีผลต่อความขาวของเจลซูริมิ ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกชนิดปลาและสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเจลซูริมิได้เป็น ปลานวลจันทร์ อุณหภูมิและเวลาในการทำให้เกิดเจล (1^{st} step) 40°C และ 30 นาที ตามด้วยการให้ความร้อนที่ (2^{nd} step) 85°C นาน 30 นาที เนื่องจากซูริมิที่ผลิตจากปลาชนิดนี้และผ่านการทำให้เกิดเจลที่สภาวะดังกล่าว ให้เนื้อสัมผัสซูริมิที่มีค่า hardness, cohesiveness และ springiness สูง เหมาะแก่การนำมาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

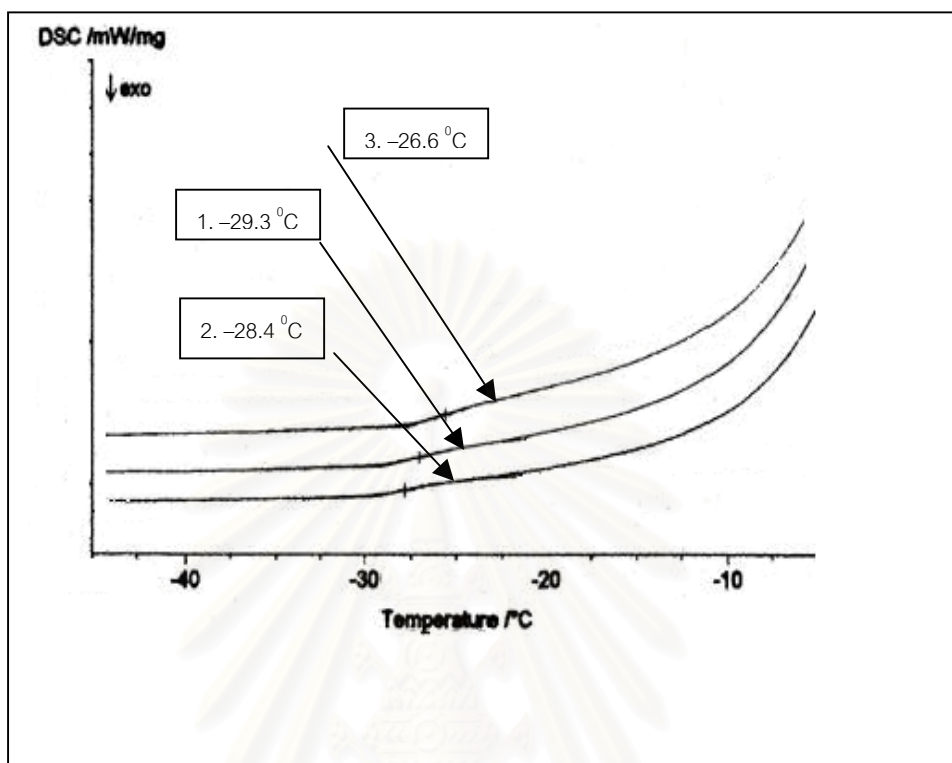
4.3 ผลการใช้สารทรีฮาโลส น้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอลต่อค่า T_g' และคุณภาพของซูริมิ

ทรีฮาโลสเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ต่อเชื่อมด้วยพันธะ $\alpha 1-\alpha 1$ glucosidic ได้มีรายงานกล่าวไว้ว่า ทรีฮาโลสมีบทบาทป้องกันสิ่งมีชีวิตในสภาวะที่ขาดแคลนน้ำหรือแช่แข็ง (Ball, 2000; Bar, 2000) จึงคาดว่าทรีฮาโลสน่าจะช่วยรักษาเสถียรภาพของโปรตีนซูริมิในระหว่างการแช่เยือกแข็ง สมบัติที่สำคัญของทรีฮาโลสอีกประการคือ มีค่า T_g' สูงเมื่อเทียบกับน้ำตาลโมเลกุลคู่ชนิดอื่น

ทรีฮาโลสจึงน่าจะทำให้ Tg' ของซูริมิเพิ่มสูงขึ้น การเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า Tg' ของอาหารนั้น ๆ จะช่วยรักษาเสถียรภาพและลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ในอาหาร (Levine และ Slade, 1988) จากโครงสร้างโมเลกุลของทรีฮาโลสไม่มีหมู่ reducing จึงไม่น่าเป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ซูริมิ ในงานวิจัยจึงนำน้ำตาลชนิดนี้มาใช้เป็นไครโอ-โพรเทกแทนต์ในซูริมির่วมกับน้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอลซึ่งเป็นน้ำตาลที่นิยมใช้ในระดับอุตสาหกรรม ในการศึกษาผลของการใช้สารทรีฮาโลส น้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอลเป็นไครโอ-โพรเทกแทนต์ต่อคุณภาพของซูริมิ ได้แบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอนหลักคือ การศึกษาผลของการใช้สารทรีฮาโลส น้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอลต่อค่า Tg' ของซูริมิ พิจารณาว่าไครโอโพรเทก-แทนต์แต่ละชนิดและปริมาณที่ศึกษานั้น มีผลต่อค่า Tg' หรือไม่ อย่างไร และศึกษาผลของ ไครโอโพรเทกแทนต์นั้น ๆ ต่อความสามารถในการป้องกันโปรตีนซูริมิเสียสภาพธรรมชาติจากการแช่เยือกแข็งและสีของผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาคุณภาพเนื้อสัมผัสและสีของเจลซูริมิ ตามลำดับ

ผลการใช้สารทรีฮาโลส น้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอลต่อค่า Tg' ของซูริมิ

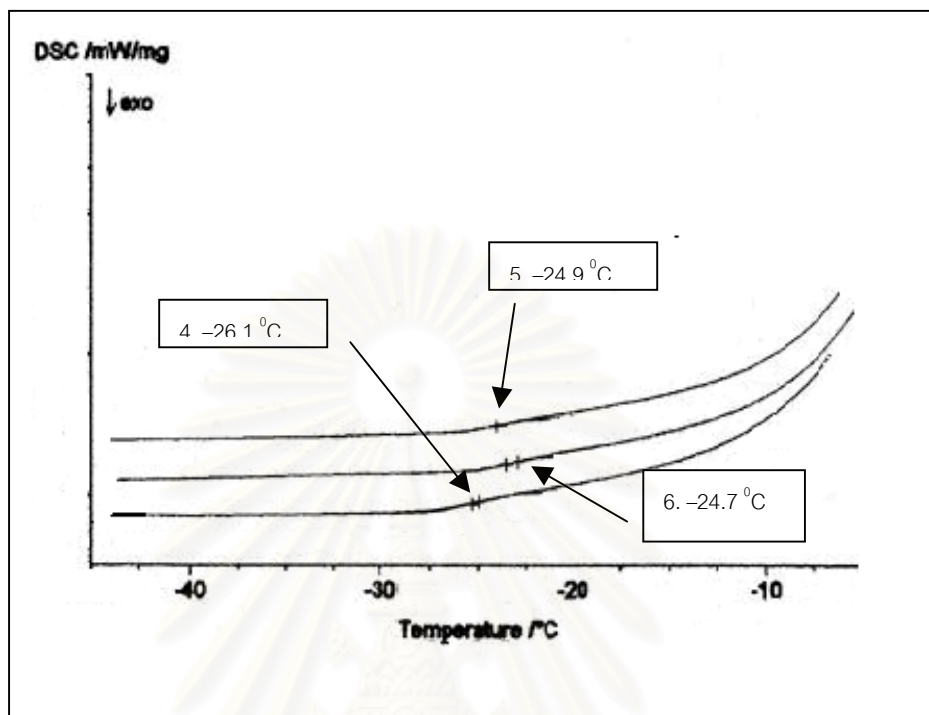
เตรียมซูริมิปลานวลจันทร์ ตามขั้นตอนที่ 3.2 แปรชนิดและปริมาณไครโอโพรเทกแทนต์เป็น ซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4; ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:3:1, 4:2:2, 4:1:3; ซูโครส:ทรีฮาโลส 4:4 และทรีฮาโลส 8 % (w/w) วัดค่า Tg' ของซูริมิโดยใช้ DSC ตามขั้นตอนที่ 3.3 ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.4-4.5 และตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.4 DSC curve ของซูริมิที่ผสมไมโครไฮโดรเทอร์มแทนต์ในชุดการทดลองที่ 1-3

1. ซูโครส : ซอร์บิทอล 4:4 % (w/w)
2. ซูโครส : ซอร์บิทอล : ทรีฮาโลส 4:3:1 % (w/w)
3. ซูโครส : ซอร์บิทอล : ทรีฮาโลส 4:2:2 % (w/w)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 DSC curve ของซูริมิที่ผสมไครโอโพรเทกแทนต์ในชุดการทดลองที่ 4-6

4. ซูโครส : ซอร์บิทอล : ทรีฮาโลส 4:1:3 % (w/w)
5. ซูโครส : ทรีฮาโลส 4:4 % (w/w)
6. ทรีฮาโลส 8 % (w/w)

จาก DSC curve ที่ได้พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลง ณ จุด T_g' เป็นการดูดความร้อน (endothermic heating) และได้รายงานค่า T_g' เป็นค่า $T_{g' \text{ onset}}$ ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงจากสถานะเหมือนแก้ว (glassy) ไปเป็นของเหลวหนืด (viscous) นั้น เกิดขึ้นได้ในช่วงอุณหภูมิกว้าง (Sperling, 1986) การรายงานค่า T_g' เป็นจุดเริ่มต้น (onset) จึงน่าจะเป็นค่าที่เหมาะสม เพราะอาจตรงกับจุดที่เกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลในระบบที่ศึกษา (Sperling, 1986)

ตารางที่ 4.8 ค่า Tg'_{onset} ¹ ของซูริมิที่เติมไครโอโพรเทกแทนต์ต่างชนิด

ไครโอโพรเทกแทนต์ % (w/w)	Tg'_{onset} ($^{\circ}C$)
	ค่าเฉลี่ย ² \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1. ซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4	-29.5 ± 0.28
2. ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:3:1	-28.5 ± 0.14
3. ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:2:2	-26.9 ± 0.42
4. ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:1:3	-26.1 ± 0
5. ซูโครส:ทรีฮาโลส 4:4	-25.1 ± 0.28
6. ทรีฮาโลส 8	-24.7 ± 0

หมายเหตุ ¹ Tg' คือ Tg ที่ประยุกต์ใช้กับสารละลายที่ประกอบด้วยผลึกน้ำแข็ง ในสภาวะที่สารละลายมีความเข้มข้นสูงสุด (maximum freeze concentration)

²ค่าเฉลี่ยจากการทำ 2 ครั้ง

จากตารางที่ 4.8 พบอิทธิพลของชนิดและปริมาณไครโอโพรเทกแทนต์ต่อค่า Tg' ของซูริมิ โดยซูริมิที่มีทรีฮาโลสเป็นไครโอโพรเทกแทนต์มีแนวโน้มให้ค่า Tg'_{onset} สูงขึ้นตามปริมาณทรีฮาโลสที่ใช้เพิ่มขึ้น ชุดการทดลองที่ใช้ทรีฮาโลส 8% (w/w) ให้ค่า Tg'_{onset} สูงสุดคือ $-24.7^{\circ}C$ ชุดการทดลองที่ใช้ซูโครส:ทรีฮาโลส 4:4% (w/w) ให้ค่า Tg'_{onset} $-25.1^{\circ}C$ ในขณะที่ชุดการทดลองที่ใช้ซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4% (w/w) ให้ค่า Tg'_{onset} ต่ำสุดคือ $-29.5^{\circ}C$ ผลดังกล่าวอาจเนื่องจากการลดอุณหภูมิของซูริมิที่มีไครโอโพรเทกแทนต์ต่างชนิดและปริมาณนั้น ส่งผลให้ไครโอโพรเทกแทนต์ดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในลักษณะที่เป็น amorphous จึงพบช่วง glass transition เมื่อวัดหาค่า Tg' โดยใช้ DSC การนำซูริมิไปวิเคราะห์หาค่า Tg' โดยใช้ DSC เป็นการวัดลักษณะทางความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไปของระบบเมื่อเทียบกับตัวอย่างอ้างอิง ในที่นี้คือ aluminum pan เปล่าภายใต้สภาวะเดียวกัน ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าการเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ของระบบนั้น ๆ การที่ได้ค่า Tg'_{onset} แตกต่างกันตามชนิดและปริมาณไครโอโพรเทกแทนต์อาจเนื่องมาจากสมบัติเฉพาะตัวของไครโอโพรเทกแทนต์นั้น ๆ ได้มีรายงานค่า Tg' ของทรีฮาโลสไว้ในช่วง -27 ถึง $-30^{\circ}C$ ในขณะที่ค่า

Tg' ของน้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอลมีค่าต่ำกว่าคือ -32 ถึง -46 และ -43 ถึง -44 °C ตามลำดับ (Roos, 1995; Fennema, 1996) การ cooling หรือ drying อาหารทำให้องค์ประกอบที่มีอยู่ในอาหารนั้น เช่น น้ำตาลและโพลีเมอร์ form glasses มีลักษณะเป็น amorphous solid โครงสร้างคล้ายของเหลว (liquid-like structure) ที่มีความหนืดสูง (MacDonald และ Lanier, 1991; Ohshima, Suzuki และ Koizumi, 1993; Fennema, 1996) เรียกอุณหภูมิที่สารละลายมีความหนืดสูงเปลี่ยนเป็นมีโครงสร้างเหมือนแก้วนั้นว่า glass transition temperature (Tg') Tg' ของระบบขึ้นอยู่กับชนิดตัวถูกละลาย น้ำหนักโมเลกุลของตัวถูกละลายและ water content (Roos, 1995; Fennema, 1996) ดังนั้นการเติมสาร biopolymer ลงในอาหารจึงช่วยเพิ่มค่า Tg' ของระบบได้ (Brake และ Fennema, 1999) อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีเพียงมอลโตเดกซ์ตรินและโพลีเมอร์ของน้ำตาลบางชนิดเท่านั้นที่ได้รับการศึกษาสมบัติการเป็นไครโอโพรเทกแทนต์เกี่ยวกับการช่วยเพิ่ม Tg' ของอาหาร (MacDonald และคณะ, 2000)

ผลของการใช้สารทรีฮาโลส น้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอลต่อคุณภาพของเจลซูริมิ

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาผลของการใช้สารทรีฮาโลส ร่วมกับน้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอลเป็นไครโอโพรเทกแทนต์ในซูริมิ โดยการแปรชนิดและปริมาณไครโอโพรเทกแทนต์ เมื่อกำหนดปริมาณการใช้ไครโอโพรเทกแทนต์ทั้งหมดเท่ากันคือ 8 % w/w ประเมินประสิทธิภาพของไครโอโพรเทกแทนต์โดยการวัดเนื้อสัมผัสและสีของเจลซูริมิ เหตุผลในการใช้คุณลักษณะดังกล่าว ประเมินประสิทธิภาพของไครโอโพรเทกแทนต์เนื่องจาก ไครโอโพรเทกแทนต์แต่ละชนิดมีความสามารถในการป้องกันการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนจากการแช่เยือกแข็งแตกต่างกัน (Park และคณะ, 1988; Sych และคณะ, 1990) เมื่อโปรตีนเสียสภาพจากการแช่เยือกแข็ง จึงคาดว่าน่าจะมีผลต่อความสามารถในการเกิดเจลของซูริมิ และเนื้อสัมผัสที่ได้ ข้อจำกัดของการเลือกใช้ไครโอโพรเทกแทนต์ในซูริมิอีกประการคือ ไครโอโพรเทกแทนต์ไม่ควรเป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ (Auh และคณะ, 1999) จากโครงสร้างของทรีฮาโลส น้ำตาลซูโครส เป็น non-reducing sugar และซอร์บิทอลเป็น sugar alcohol จึงไม่น่าเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ซูริมิ

นำซูริมิปลานววจันท์ที่เตรียมตามขั้นตอนที่ 3.2 และบดผสมไครโอโพรเทกแทนต์ชนิดและปริมาณตามขั้นตอนที่ 3.3 มาเตรียมเจลซูริมิตามสภาวะที่เลือกได้จากข้อ 4.2 คือ ให้ความร้อนซูริมิเฟสท์ 1st step ที่อุณหภูมิ 40 °C 30 นาที ตามด้วยให้ความร้อนที่ 85 °C นาน 30 นาที ประเมินประสิทธิภาพของไครโอโพรเทกแทนต์โดยการวัดเนื้อสัมผัส สีและคำนวณความขาวของเจลซูริมิ ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.9-4.12

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ย hardness, cohesiveness และ springiness ของเจลซูริมิที่เตรียมจากซูริมิปลานวอลจันท์เมื่อแปรชนิดและปริมาณไครโอโพรเทกแทนต์

ตัวแปรที่ศึกษา % (w/w)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	hardness ^{ns} (N)	cohesiveness ^{ns}	springiness ^{ns}
1. ซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4	205.69 \pm 9.64	0.64 \pm 0.01	0.79 \pm 0.01
2. ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:3:1	199.46 \pm 4.99	0.64 \pm 0.01	0.80 \pm 0.01
3. ซูโครส ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:2:2	202.63 \pm 2.21	0.65 \pm 0.01	0.79 \pm 0.02
4. ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:1:3	194.60 \pm 4.54	0.64 \pm 0.01	0.79 \pm 0.02
5. ซูโครส:ทรีฮาโลส 4:4	203.80 \pm 0.60	0.64 \pm 0.01	0.79 \pm 0.01
6. ทรีฮาโลส 8	195.55 \pm 3.23	0.65 \pm 0.01	0.78 \pm 0.01

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ย hardness, cohesiveness และ springiness ของเจลซูริมิที่เตรียมจากซูริมิปลานวอลจันท์ โดยแปรชนิดและปริมาณไครโอโพรเทกแทนต์

SOV	d.f.	MS		
		hardness ^{ns}	cohesiveness ^{ns}	springiness ^{ns}
Treatment	5	40.541	3.272x10 ⁻⁵	1.055x10 ⁻⁴
Error	12	29.758	8.494x10 ⁻⁵	1.736x10 ⁻⁴

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เจลซูริมิทุกชุดการทดลองเตรียมจากซูริมิที่เก็บแช่เยือกแข็งไว้ที่อุณหภูมิ -25 ± 2 °C เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ทั้งนี้เพราะได้มีผู้รายงานไว้ว่า ระยะเวลา 2 สัปดาห์ ไครโอโพรเทกแทนต์ที่เติมลงในสารละลายโปรตีนสกัดเริ่มแสดงความสามารถในการป้องกันการเสียสภาพของโปรตีน (cryoprotective effect) อย่างเห็นได้ชัด (Syeh และคณะ, 1990) จากการวิเคราะห์ข้อมูลทาง

สถิติไม่พบอิทธิพลของชนิดและปริมาณไครโอโพรเทกแทนต์ต่อค่า hardness, cohesiveness และ springiness ของเจลซูริมิ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4.10)

การที่เนื้อสัมผัสของเจลซูริมิทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) อาจจะเป็นเพราะว่าไครโอโพรเทกแทนต์ที่ศึกษานั้นให้ผลป้องกันการเสียสภาพธรรมชาติโปรตีนได้เหมือนกัน ค่าเนื้อสัมผัสที่วัดได้จึงไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาโครงสร้างของไครโอโพรเทกแทนต์ทั้ง 3 ชนิด ที่ใช้ในงานวิจัยได้แก่ ทรีฮาโลส น้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอล พบว่าโมเลกุลต่างก็ประกอบด้วยหมู่ $-OH$ ซึ่งเป็นลักษณะประการหนึ่งของสารที่มีความสามารถในการเป็นไครโอโพรเทกแทนต์ (Noguchi, 1974) อย่างไรก็ตามสมบัติการเกิด เจลของโปรตีนซูริมิ อาจได้รับอิทธิพลจากปัจจัยอื่นนอกเหนือจากการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน (Auh และคณะ, 1999)

ค่าสีและความขาวของเจลซูริมิ ดังแสดงในตารางที่ 4.11 จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ แสดงในตารางที่ 4.12 ไม่พบอิทธิพลของชนิดและปริมาณไครโอโพรเทกแทนต์ต่อค่าสีและความขาวของเจลซูริมิ ($p > 0.05$) โดยเจลซูริมิมีค่าความสว่าง (L^*) อยู่ในช่วง 75.50-75.89 ค่าสีแดง-สีเขียว (a^*) อยู่ในช่วง -2.73 ถึง -2.89 ค่าสีเหลือง-สีน้ำเงิน อยู่ในช่วง -0.77 ถึง -0.97 และมีค่าความขาวอยู่ในช่วง 75.32-75.71

ตารางที่ 4.11 ค่าสีและความขาวของเจลซูริมิเมื่อแปรชนิดและปริมาณไครโอโพรเทกแทนต์

ตัวแปรที่ศึกษา	ค่าเฉลี่ย + ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	L* ^{ns}	a* ^{ns}	b* ^{ns}	whiteness ^{ns}
1. ซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4	75.54 ± 0.30	-2.73 ± 0.1	-0.77 ± 0.02	75.37 ± 0.30
2. ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:3:1	75.65 ± 0.25	-2.79 ± 0.05	-0.85 ± 0.16	75.47 ± 0.26
3. ซูโครส ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:2:2	75.52 ± 0.12	-2.89 ± 0.09	-0.86 ± 0.03	75.34 ± 0.12
4. ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:1:3	75.89 ± 0.19	-2.85 ± 0.07	-0.79 ± 0.22	75.71 ± 0.20
5. ซูโครส:ทรีฮาโลส 4:4	75.50 ± 0.09	-2.83 ± 0.14	-0.90 ± 0.01	75.32 ± 0.10
6. ทรีฮาโลส 8	75.78 ± 0.24	-2.84 ± 0.20	-0.97 ± 0.02	75.59 ± 0.26

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ย ค่า L*, a*, b* และความขาวของเจลซูริมิที่เตรียมจากซูริมิปลานวลจันทร์ โดยแปรชนิดและปริมาณไครโอโพรเทกแทนต์

SOV	d.f.	MS			
		L*	a*	b*	ความขาว
Treatment	5	7.639x10 ⁻²	9.699x10 ⁻³	1.606x10 ⁻²	7.472x10 ⁻²
Error	12	4.434x10 ⁻²	1.401x10 ⁻²	1.296x10 ⁻²	4.749x10 ⁻²

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.11) ไม่พบอิทธิพลของชนิดและปริมาณไครโอโพรเทกแทนต์ที่ใช้ในซูริมิต่อค่าสี (L* a* b*) และความขาวของเจลซูริมิ ($p > 0.05$) อาจกล่าวได้ว่าชนิดและปริมาณไครโอโพรเทกแทนต์ที่ศึกษานั้นไม่ได้ทำให้ค่าสีและความขาวของเจลซูริมิแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า ไครโอโพรเทกแทนต์ทุกชนิดและปริมาณที่ศึกษาให้ cryoprotective effect ดีเทียบเท่ากับการใช้น้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอล 4:4 % w/w ซึ่งเป็นชนิดและปริมาณ

ไครโอโพรเทกแทนต์ที่นิยมใช้ในระดับอุตสาหกรรม ทั้งการใช้ทรีฮาโลสเดี่ยว ๆ และใช้ร่วมกับน้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอล ทำให้ได้คุณภาพเนื้อสัมผัสและสีของเจลซูริมิไม่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองทั้งหมดพิจารณาเลือกชนิดและปริมาณไครโอโพรเทกแทนต์ที่ใช้เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ในซูริมิปลานวอลจันท์ เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็งในขั้นตอนต่อไปได้เป็น ซูโครส:ซอร์บิทอล (4:4), ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:2:2 และ ซูโครส:ทรีฮาโลส 4:4 % (w/w) โดยการใช้ชุดการทดลองซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4 % (w/w) เป็นชุดการทดลองควบคุม สำหรับเหตุผลในการเลือก 2 ชุดการทดลองที่เหลือเนื่องจาก ชนิดและปริมาณไครโอโพรเทกแทนต์นั้นให้ค่า Tg'_{onset} สูง โดยชุดการทดลอง ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:2:2 และซูโครส:ทรีฮาโลส 4:4 % (w/w) ให้ค่า Tg'_{onset} -26.9 และ -25.1 ตามลำดับ จากค่า Tg'_{onset} ของซูริมิที่วัดได้สันนิษฐานว่า ถ้าเก็บซูริมิแช่เยือกแข็งในแต่ละชุดการทดลองไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า Tg'_{onset} ของชุดการทดลองนั้น ๆ ซูริมิจะมีเสถียรภาพสูงและเก็บได้นาน อย่างไรก็ตามค่า Tg'_{onset} ในชุดการทดลองที่ใช้ทรีฮาโลส 8% (w/w) ให้ค่า Tg'_{onset} สูงสุดคือ -24.7 °C แต่ค่าที่ได้แตกต่างกับชุดการทดลองที่ใช้ซูโครส:ทรีฮาโลส 4:4 % (w/w) เพียงเล็กน้อยเท่านั้น (0.4 °C) เมื่อพิจารณาต้นทุนของน้ำตาลทั้ง 2 ชนิด การเลือกใช้ชุดการทดลองซูโครส:ทรีฮาโลส 4:4 % (w/w) เป็นไครโอโพรเทกแทนต์เพื่อศึกษาผลของอายุการเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็งในขั้นตอนต่อไปนั้น จึงน่าจะเหมาะสมกว่า

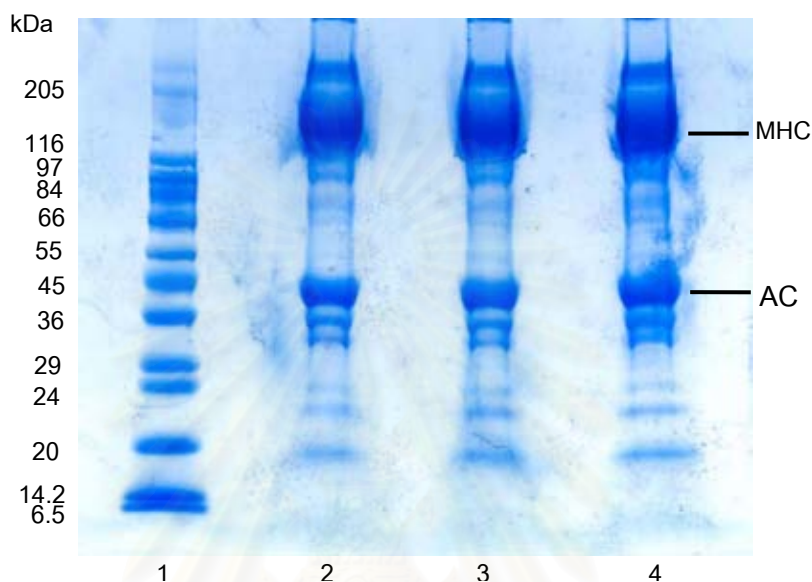
4.4 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็งต่อการเปลี่ยนแปลงโปรตีนสมบัติทางกายภาพ ประสาทสัมผัสและค่า Tg' ของซูริมิ

จากการเตรียมซูริมิปลานวอลจันท์ แปรชนิดและปริมาณไครโอโพรเทกแทนต์เป็น ซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4, ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:2:2 และ ซูโครส:ทรีฮาโลส 4:4 % (w/w) เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -27 ± 2 °C สุ่มตรวจคุณภาพตัวอย่างทุกเดือนตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ได้ผลดังนี้

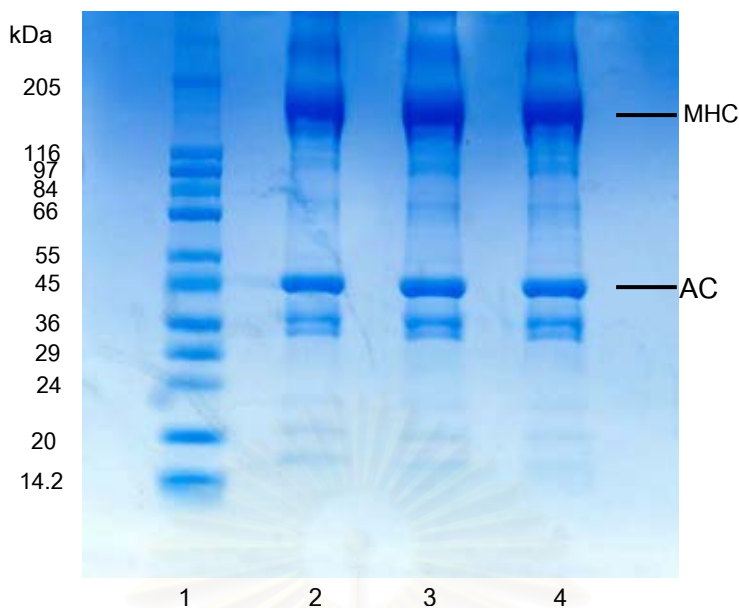
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเปลี่ยนแปลงของโปรตีน

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนด้วยวิธี SDS-PAGE ตามวิธีที่แสดงในภาคผนวก ก.7 ได้ protien pattern แสดงดังรูปที่ 4.6-4.12

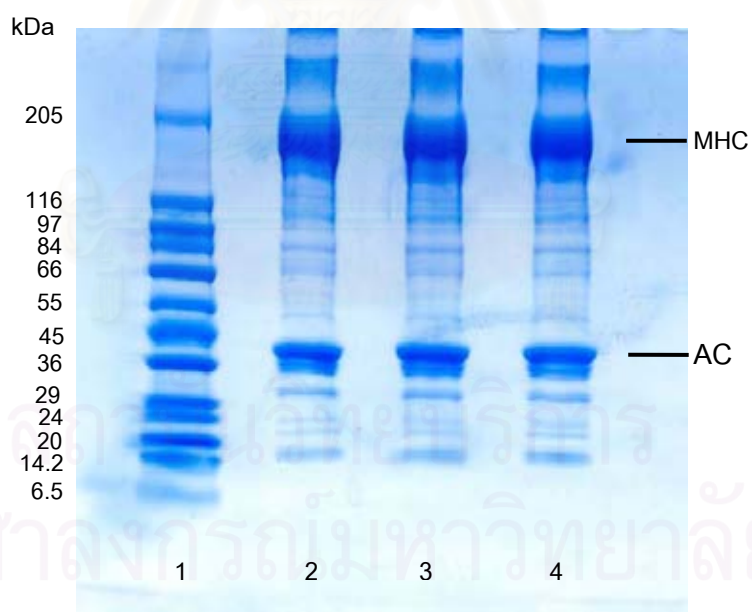


รูปที่ 4.6 protien pattern ของซูริมิเริ่มต้น จากการวิเคราะห์ด้วย SDS-PAGE ความเข้มข้นโปรตีน 10 μ l/well : 1.standard protein markers; 2. sucrose:sorbitol 4:4, 3. sucrose:sorbitol:trehalose 4:2:2 และ 4. sucrose:trehalose 4:4 % (w/w)
ตัวย่อ : MHC = myosin heavy chain; AC = actin



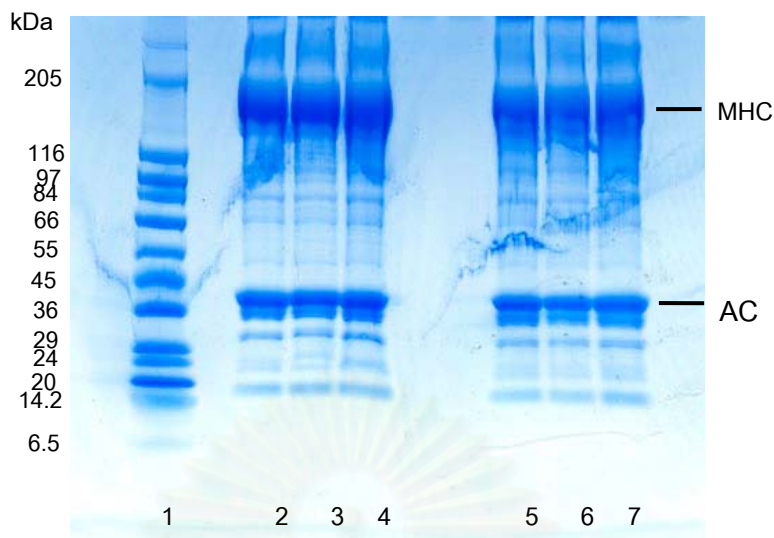
รูปที่ 4.7 protien pattern ของชูริมิหลังเก็บ 1 เดือน จากการวิเคราะห์ด้วย SDS-PAGE ความเข้มข้นโปรตีน 10 μl /well : 1. standard protein markers; 2. sucrose:sorbitol 4:4; 3. sucrose:sorbitol:trehalose 4:2:2 และ 4. sucrose:trehalose 4:4 % (w/w)

ตัวย่อ : MHC = myosin heavy chain; AC = actin



รูปที่ 4.8 protien pattern ของชูริมิหลังเก็บ 2 เดือน จากการวิเคราะห์ด้วย SDS-PAGE ความเข้มข้นโปรตีน 10 μl /well : 1. standard protein markers; 2. sucrose:sorbitol 4:4; 3. sucrose:sorbitol:trehalose 4:2:2 และ 4. sucrose:trehalose 4:4 % (w/w)

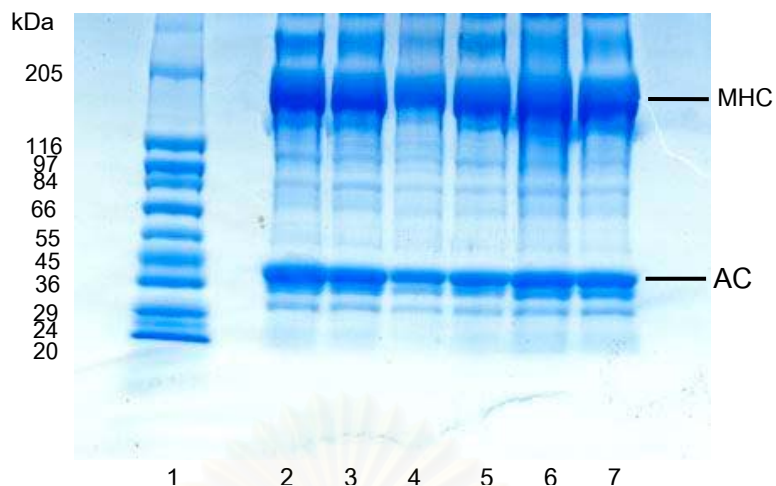
ตัวย่อ : MHC = myosin heavy chain; AC = actin



รูปที่ 4.9 protien pattern ของซูริมิหลังเก็บ 3 และ 4 เดือน จากการวิเคราะห์ด้วย SDS-PAGE ความเข้มข้นโปรตีน 10 μ l/well : 1. standard protein markers; 2. 3. และ 4. คือ sucrose:sorbitol 4:4, sucrose:sorbitol:trehalose 4:2:2 และ sucrose:trehalose 4:4 % (w/w) เดือน 3; 5. 6. และ 7 คือ sucrose:sorbitol 4:4, sucrose:sorbitol:trehalose 4:2:2 และ sucrose:trehalose 4:4 % (w/w) เดือน 4 ตามลำดับ
ตัวย่อ : MHC = myosin heavy chain; AC = actin

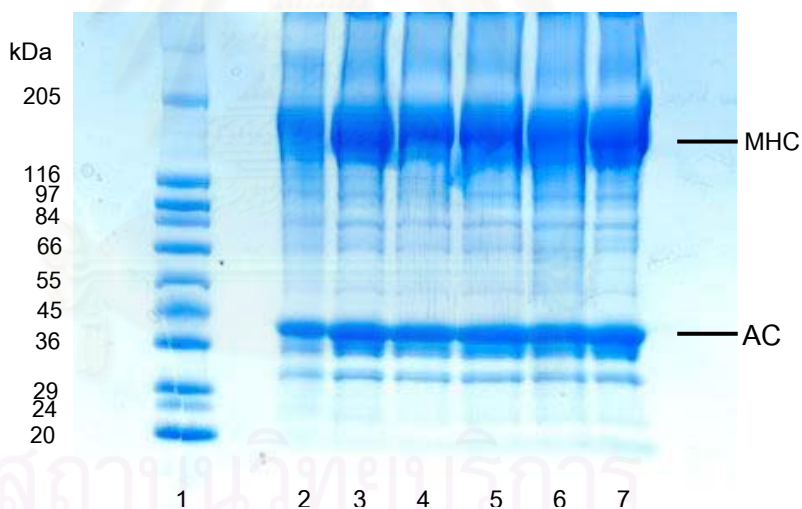
จุดประสงค์การเติมโครโอโพรเทกแทนต์เพื่อป้องกันการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน โดยเฉพาะโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเกิดเจลของซูริมิ (Chan และคณะ, 1993) และได้ตรวจติดตามการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนด้วยวิธี SDS-PAGE และพิจารณา protein pattern ที่เปลี่ยนแปลง ในระหว่างการเก็บซูริมิแช่เยือกแข็งอาจเกิดการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน สันนิษฐานว่าเกิดจากการแตกตัวของพันธะต่าง ๆ ใน native formation ของโปรตีนและเกิด intermolecular cross-linkages ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนทำให้โปรตีนจับตัวกัน (aggregation) ส่งผลให้ส่วนของโปรตีนน้ำหนักโมเลกุลสูงเพิ่มมากขึ้น (high molecular weight polymers) (Santos-Yap, 1996) อันอาจเห็นการเปลี่ยนแปลงเมื่อตรวจติดตามด้วยวิธี SDS-PAGE

จากรูปที่ 4.6 - 4.9 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงโปรตีนของซูริมิในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อพิจารณาจาก protien pattern โดยเฉพาะโปรตีนไมโอซินและแอกตินตรงช่วงน้ำหนักโมเลกุล 205 และ 45 kDa ตามลำดับ ไม่พบความแตกต่างของ protien pattern ในระหว่างชุดการทดลองที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกัน



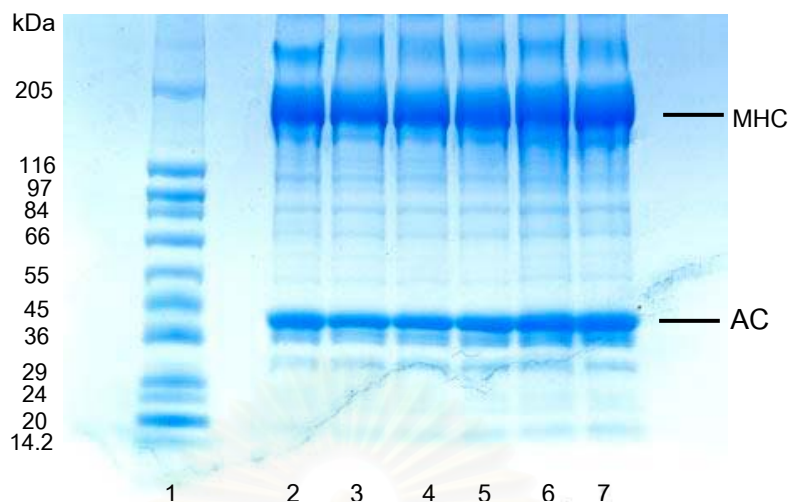
รูปที่ 4.10 protien pattern ของซูริมิที่เติม sucrose:sorbitol 4:4 % (w/w) เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษาแช่เยือกแข็ง จากการวิเคราะห์ด้วย SDS-PAGE ความเข้มข้นโปรตีน 10 μ l/well : 1. standard protein markers; 2-7 ซูริมิหลังเก็บเดือน 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

ตัวย่อ : MHC = myosin heavy chain; AC = actin



รูปที่ 4.11 protien patternของซูริมิที่เติม sucrose:sorbitol:trehalose 4:2:2 % (w/w) เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษาแช่เยือกแข็ง จากการวิเคราะห์ด้วย SDS-PAGE ความเข้มข้นโปรตีน 10 μ l/well : 1. standard protein markers; 2-7 ซูริมิหลังเก็บเดือน 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

ตัวย่อ : MHC = myosin heavy chain; AC = actin



รูปที่ 4.12 protien pattern ของซูริมิที่เติม sucrose:trehalose 4:4 % (w/w) เป็น ไครโอโพรเทกแทนต์ ตามระยะเวลาการเก็บรักษาแช่เยือกแข็ง จากการวิเคราะห์ด้วย SDS-PAGE ความเข้มข้นโปรตีน 10 $\mu\text{l/well}$: 1. standard protein markers; 2-7 ซูริมิหลังเก็บเดือน 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

ตัวย่อ : MHC = myosin heavy chain; AC = actin

จากรูปที่ 4.10-4.12 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงโปรตีนของซูริมิ เมื่อเติมไครโอโพรเทกแทนต์ชนิดเดียวกันตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง พิจารณา protien pattern ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนทุกชุดการทดลอง กล่าวคือ ไม่พบส่วนของ high molecular weight polymers (band protein ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 205 kDa) เพิ่มขึ้นซึ่งอาจเกิดเนื่องมาจากการเสถียรภาพธรรมชาติของโปรตีนและจับตัวกัน ประกอบกับ band ของโปรตีนไมโอซินและแอกตินตรงช่วงน้ำหนักโมเลกุล 205 และ 45 kDa ยังมีลักษณะคงเดิม เมื่อหยุดตัวอย่างความเข้มข้นโดยประมาณเท่ากันคือ 10 $\mu\text{l/well}$ อาจหมายความว่าตลอดอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง โปรตีนไมโอซินและแอกตินในซูริมียังคงอยู่ในรูปเดิม ไม่เกิดการเสถียรภาพธรรมชาติอันเนื่องจากการเกิด cross-linking ทั้ง inter- และ intramolecular จนทำให้ protein pattern เปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า การเติมทรีฮาโลสร่วมกับน้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอลเป็นไครโอโพรเทกแทนต์ช่วยป้องกันการเสถียรภาพธรรมชาติได้เช่นเดียวกับการเติมน้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอล 4:4 % (w/w)

ลักษณะทางกายภาพของซูริมิ

เตรียมเจลซูริมิปลานวลจันทร์ในแต่ละชุดการทดลองตามวิธีในข้อ 3.2 ให้ความร้อนแบบ 2-step heating ประเมินสมบัติทางกายภาพโดยการวัดเนื้อสัมผัส และสีของเจลซูริมิ

ค่าเนื้อสัมผัสของเจลซูริมิตามระยะเวลาการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง ดังแสดงในตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าเนื้อสัมผัสชุดการทดลองที่เติมซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4 ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาไลต์ 4:2:2 และซูโครส:ทรีฮาไลต์ 4:4 % (w/w) ดังแสดงในตารางที่ 4.14 - 4.16 ตามลำดับ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ย hardness, cohesiveness และ springiness ของเจลซูริมิแต่ละชุดการทดลองตามระยะเวลาการเก็บรักษาแช่เยือกแข็ง

ชุดการทดลอง (% w/w)	ระยะเวลา (เดือน)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
		hardness (N)	cohesiveness	springiness
ซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4	0	248.69 ^{ab} \pm 4.61	0.66 ^{ab} \pm 0.02	0.80 ^a \pm 0.01
	1	258.78 ^a \pm 1.85	0.67 ^a \pm 0.01	0.79 ^b \pm 0.00
	2	259.80 ^a \pm 0.01	0.64 ^b \pm 0.01	0.81 ^a \pm 0.01
	3	257.01 ^a \pm 19.47	0.65 ^{ab} \pm 0.01	0.78 ^b \pm 0.01
	4	228.82 ^b \pm 8.67	0.66 ^{ab} \pm 0.01	0.76 ^c \pm 0.01
	5	226.73 ^b \pm 4.36	0.65 ^{ab} \pm 0.01	0.79 ^b \pm 0.01
ซูโครส:ซอร์บิทอล: ทรีฮาโลส 4:2:2	0	234.48 ^{ab} \pm 7.05	0.65 \pm 0.03	0.79 ^a \pm 0.01
	1	245.25 ^a \pm 9.61	0.67 \pm 0.01	0.79 ^{ab} \pm 0.01
	2	247.84 ^a \pm 3.44	0.64 \pm 0.01	0.80 ^a \pm 0.01
	3	244.74 ^a \pm 13.41	0.65 \pm 0.04	0.77 ^c \pm 0.01
	4	217.16 ^b \pm 0.38	0.66 \pm 0.01	0.76 ^c \pm 0.01
	5	217.13 ^b \pm 2.43	0.65 \pm 0.01	0.77 ^{bc} \pm 0.01
ซูโครส:ทรีฮาโลส 4:4	0	234.91 ^a \pm 1.48	0.65 \pm 0.03	0.79 ^a \pm 0.01
	1	238.33 ^a \pm 3.95	0.67 \pm 0.01	0.79 ^{ab} \pm 0.01
	2	247.77 ^a \pm 9.28	0.64 \pm 0.01	0.80 ^a \pm 0.01
	3	236.33 ^a \pm 10.99	0.65 \pm 0.01	0.77 ^{bc} \pm 0.01
	4	212.45 ^b \pm 10.32	0.66 \pm 0.01	0.76 ^c \pm 0.01
	5	229.02 ^{ab} \pm 6.90	0.64 \pm 0.01	0.77 ^{bc} \pm 0.01

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

ตารางที่ 4.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ย hardness, cohesiveness และ springiness ของเจลซูริมิชุดการทดลองที่เติมซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4 % (w/w) เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ ตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง

SOV	d.f.	MS		
		hardness	cohesiveness	springiness
Treatment	5	458.586*	2.320×10^{-4} *	6.746×10^{-4} *
Error	6	83.017	1.004×10^{-4}	2.383×10^{-5}

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ย hardness, cohesiveness และ springiness ของเจลซูริมิชุดการทดลองที่เติมซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:2:2 % (w/w) เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ ตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง

SOV	d.f.	MS		
		hardness (N)	cohesiveness	springiness
Treatment	5	400.271*	2.287×10^{-4}	4.847×10^{-4} *
Error	6	56.678	1.492×10^{-4}	5.258×10^{-5}

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

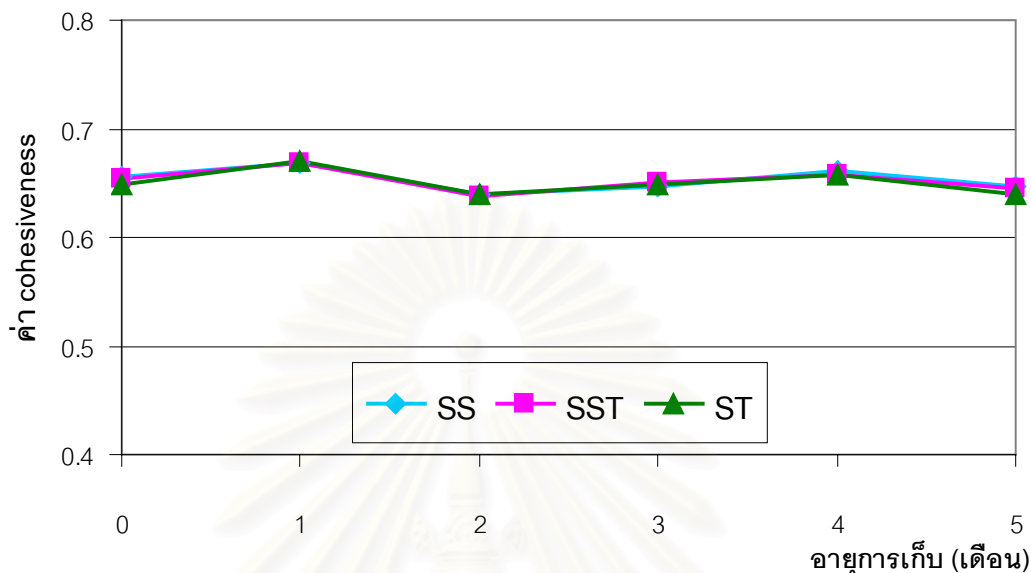
ตารางที่ 4.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ย hardness, cohesiveness และ springiness ของเจลซูริมิชุดการทดลองที่เติมซูโครส:ทรีฮาโลส 4:4 % (w/w) เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ ตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง

SOV	d.f.	MS		
		hardness (N)	cohesiveness	springiness
Treatment	5	279.650*	3.245×10^{-4}	4.616×10^{-4} *
Error	6	63.202	1.940×10^{-4}	7.542×10^{-5}

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น ค่า hardness และ springiness ของเจลซูริมิทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4.14 - 4.16) สำหรับค่า cohesiveness ชุดการทดลองซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4 % (w/w) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.14) เพื่อให้พิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าเนื้อสัมผัสเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาซูริมิโดยการแช่เยือกแข็ง

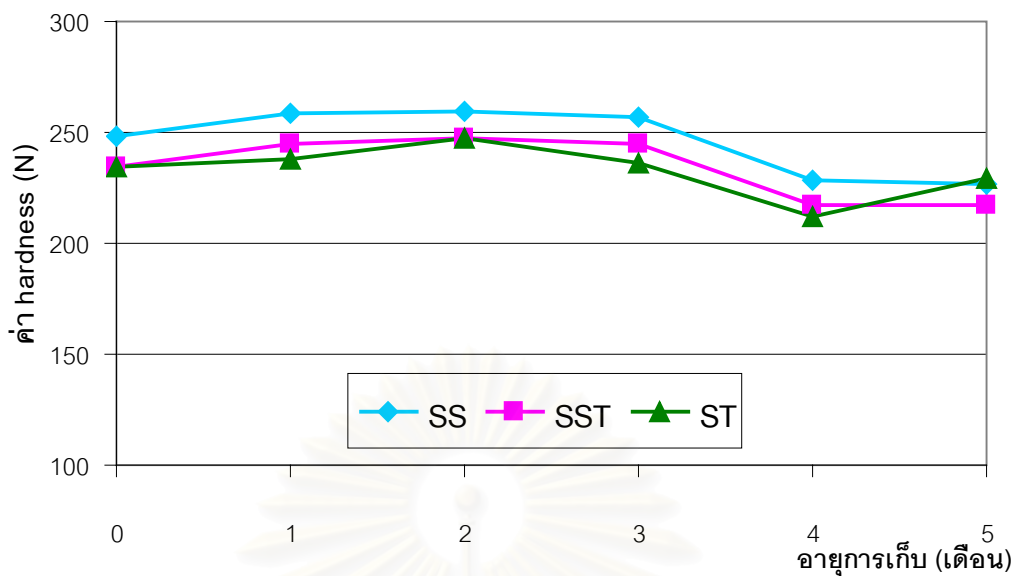
เพิ่มขึ้นในแต่ละชุดการทดลองง่ายขึ้น จึงแสดงผลเป็นกราฟ ดังรูปที่ 4.13 – 4.15 ซึ่งเป็นรูปที่แสดงค่า cohesiveness, hardness และ springiness ของเจลซูริมิ ตามลำดับ



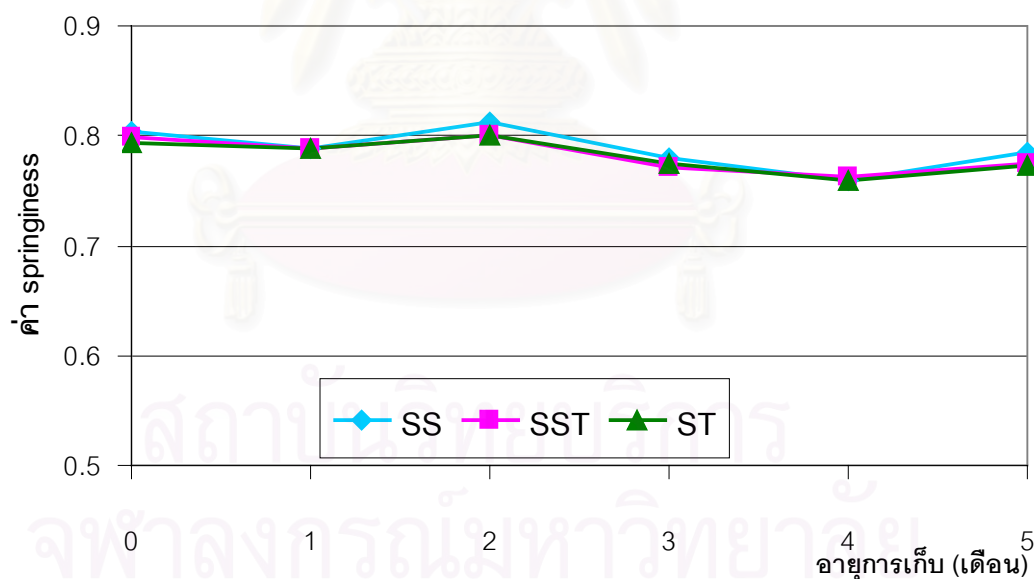
รูปที่ 4.13 ค่า cohesiveness ของเจลซูริมิทุกชุดการทดลองตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง ตัวอย่าง : SS = ซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4; SST = ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:2:2; ST = ซูโครส:ทรีฮาโลส 4:4 % (w/w)

จากรูปที่ 4.13 พิจารณาค่า cohesiveness ของเจลซูริมิในแต่ละชุดการทดลองตลอดอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 5 เดือน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยและเมื่อพิจารณาระหว่างชุดการทดลองก็พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน โดยเริ่มต้นเจลซูริมิมีค่า cohesiveness อยู่ในช่วง 0.65-0.66 และลดลงเหลือ 0.64-0.65 เมื่ออายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็งผ่านไป 5 เดือน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.14 ค่า hardness ของเจลซูริมิทุกชุดการทดลองตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง
 ตัวอย่าง : SS = ซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4; SST = ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:2:2; ST = ซูโครส:
 ทรีฮาโลส 4:4 % (w/w)



รูปที่ 4.15 ค่า springiness ของเจลซูริมิทุกชุดการทดลองตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง
 ตัวอย่าง : SS = ซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4; SST = ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:2:2; ST = ซูโครส:
 ทรีฮาโลส 4:4 % (w/w)

จากรูปที่ 4.14 และ 4.15 พบว่าในช่วง 2 เดือนแรกของการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง ค่า hardness และ springiness ของเจลซูริมิทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและค่อย ๆ ลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา 5 เดือน แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า ชุดการทดลองที่เติมซูโครส:ซอร์บิทอลให้เจลซูริมิที่มีค่า hardness สูงกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ ตลอดอายุการเก็บรักษา อาจเนื่องจากสมบัติเฉพาะตัวของน้ำตาลซอร์บิทอล ได้มีรายงานกล่าวไว้ว่าการใช้ซอร์บิทอลในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความแข็งสูง (Lanier และ Akahane, 1986) นั่นอาจเป็นเพราะซอร์บิทอลมีบทบาทช่วยให้โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ละลาย (solubilize) เพิ่มขึ้นเมื่อสัมผัสกับเกลือ (Konno, Yamanodera และ Kiuchi, 1997) อย่างไรก็ตามควรพิจารณาผลของการทดสอบทางประสาทสัมผัสร่วมด้วย ซึ่งได้แสดงให้เห็นในส่วนของการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า cohesiveness ของเจลซูริมิเป็นตัวแทนที่บ่งบอกถึงคุณภาพและ functionality ของโปรตีนซูริมิ (Lanier, 1986) ดังนั้นค่า cohesiveness ที่ลดลงอาจหมายถึง การสูญเสียความสามารถในการเกิดเจลที่เป็นผลมาจากการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน จากงานวิจัยพบว่า ค่า cohesiveness ของเจลซูริมิทุกชุดการทดลองค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา 5 เดือน ผลดังกล่าวอาจเนื่องจากไครโอโพรเทกแทนต์ให้ผลป้องกันการเสียสภาพธรรมชาติโปรตีนได้ดี ศึกษาคูณภาพเนื้อสัมผัสของเจลซูริมิสรุปได้ว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น การใช้ทรีฮาโลสร่วมกับน้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอลให้ cryoprotective effect ช่วยป้องกันการเสียสภาพธรรมชาติโปรตีนได้ดี ใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่ใช้ซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4 % (w/w) สอดคล้องกับการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงโปรตีนโดยวิธี SDS-PAGE

ค่าสีและความขาวของเจลซูริมิตามระยะเวลาการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง ดังแสดงในตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าเนื้อสัมผัสชุดการทดลองที่เติมซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4 ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:2:2 และซูโครส:ทรีฮาโลส 4:4 % (w/w) ดังแสดงในตารางที่ 4.18-4.20 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.17 ค่าเฉลี่ย L^* , a^* , b^* และความขาวของเจลซูริมิแต่ละชุดการทดลอง ตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง

ชุดการทดลอง	ระยะเวลา (เดือน)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
		L^*	a^*	b^*	whiteness	
SS ¹	0	77.43 ^{ab} \pm 0.30	-2.92 ^{bc} \pm 0.08	-0.70 ^a \pm 0.05	77.23 ^{ab} \pm 0.31	
	4:4	1	77.77 ^{ab} \pm 0.42	-3.02 ^{cd} \pm 0.11	-0.77 ^{ab} \pm 0	77.55 ^{ab} \pm 0.43
		2	77.06 ^{ab} \pm 0.54	-2.99 ^{bcd} \pm 0.01	-0.88 ^{bc} \pm 0.03	76.85 ^{ab} \pm 0.53
		3	76.67 ^b \pm 0.12	-3.18 ^d \pm 0.06	-1.02 ^{cd} \pm 0.11	76.43 ^b \pm 0.12
		4	77.90 ^a \pm 0.18	-2.77 ^a \pm 0.01	-1.06 ^d \pm 0.08	77.69 ^a \pm 0.17
		5	77.79 ^a \pm 0.46	-2.84 ^{ab} \pm 0.18	-1.05 ^d \pm 0.06	77.58 ^a \pm 0.48
SST ²	0	77.42 ^{ab} \pm 0.16	-3.02 ^{ab} \pm 0.11	-1.05 \pm 0.05	77.19 ^{ab} \pm 0.17	
	4:2:2	1	77.19 ^{ab} \pm 0.25	-2.99 ^a \pm 0.21	-0.97 \pm 0.03	76.97 ^{ab} \pm 0.28
		2	76.38 ^b \pm 0.12	-3.09 ^b \pm 0	-1.19 \pm 0.02	76.15 ^b \pm 0.12
		3	77.13 ^{ab} \pm 1.03	-3.16 ^b \pm 0.18	-1.11 \pm 0.34	76.89 ^{ab} \pm 1.06
		4	78.01 ^a \pm 0.08	-2.79 ^a \pm 0.04	-1.36 \pm 0.01	77.79 ^a \pm 0.08
		5	77.48 ^{ab} \pm 0.06	-2.83 ^a \pm 0.04	-1.32 \pm 0.01	77.26 ^{ab} \pm 0.07
ST ³	0	77.34 ^a \pm 0.15	-2.87 ^a \pm 0.02	-1.14 ^a \pm 0.06	77.13 ^a \pm 0.14	
	4:4	1	77.2 ^{ab} \pm 0.96	-2.95 ^{ab} \pm 0.13	-1.15 ^{ab} \pm 0.06	76.98 ^{ab} \pm 0.97
		2	76.12 ^b \pm 0.34	-3.15 ^b \pm 0.04	-1.27 ^{abc} \pm 0.02	75.87 ^b \pm 0.03
		3	76.35 ^{ab} \pm 0.53	-3.18 ^b \pm 0.12	-1.21 ^{bc} \pm 0.06	76.11 ^{ab} \pm 0.55
		4	77.355 ^a \pm 0.22	-2.86 ^a \pm 0.12	-1.47 ^c \pm 0.14	77.13 ^a \pm 0.24
		5	77.14 ^{ab} \pm 0.12	-2.81 ^a \pm 0	-1.24 ^{ab} \pm 0.11	76.93 ^{ab} \pm 0.13

หมายเหตุ : ¹ ซูโครส:ซอร์บิทอล; ² ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส; ³ ซูโครส:ทรีฮาโลส

a, b, c, d ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันของแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ย ค่า L^* , a^* , b^* และความขาวของเจลซูริมิชุด การทดลองที่เติมซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4 % (w/w) เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ ตามอายุการเก็บรักษา ซูริมิแช่เยือกแข็ง

SOV	d.f.	MS			
		L^*	a^*	b^*	ความขาว
Treatment	5	0.418**	$4.848 \times 10^{-2**}$	$4.609 \times 10^{-2**}$	0.443**
Error	6	0.114	5.844×10^{-3}	4.116×10^{-3}	0.117

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ย ค่า L^* , a^* , b^* และความขาวของเจลซูริมิชุด การทดลองที่เติมซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:2:2 % (w/w) เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ ตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง

SOV	d.f.	MS			
		L^*	a^*	b^*	ความขาว
Treatment	5	0.561**	$4.600 \times 10^{-2**}$	4.295×10^{-2}	0.577**
Error	6	0.182	8.725×10^{-3}	1.946×10^{-2}	0.195

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

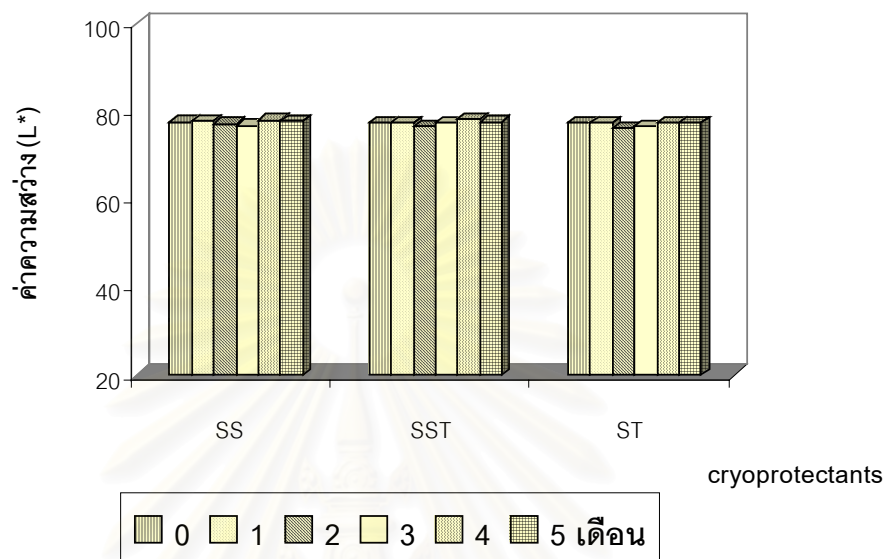
ตารางที่ 4.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ย ค่า L^* , a^* , b^* และความขาวของเจลซูริมิชุด การทดลองที่เติมซูโครส:ทรีฮาโลส 4:4 % (w/w) เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ ตามอายุการเก็บรักษา ซูริมิแช่เยือกแข็ง

SOV	d.f.	MS			
		L^*	a^*	b^*	ความขาว
Treatment	5	0.581**	$4.991 \times 10^{-2**}$	$3.073 \times 10^{-2**}$	0.619**
Error	6	0.251	8.400×10^{-3}	7.452×10^{-2}	0.223

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

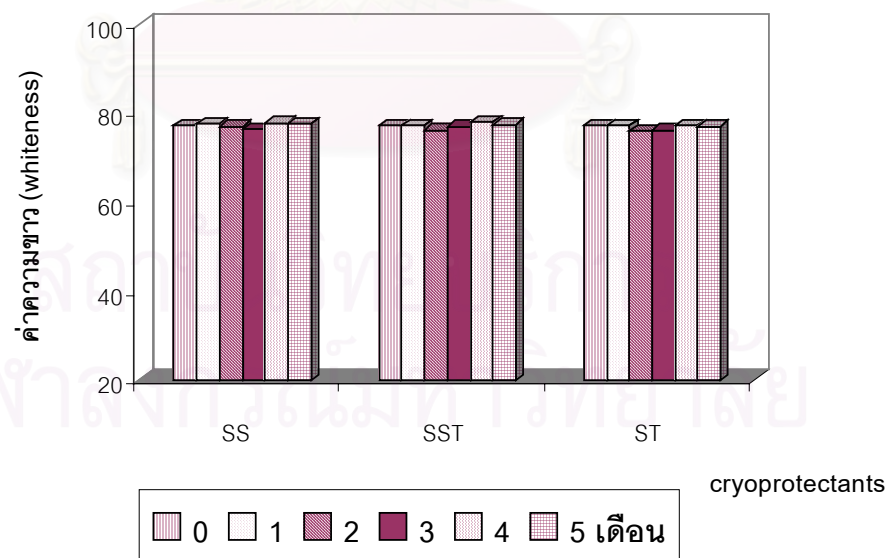
จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็งมีผลต่อค่าสีและความขาวของเจลซูริมิทุกชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.18 – 4.20) เพื่อให้พิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสีและความขาวของเจลซูริมิทุกชุดการทดลองได้ง่ายขึ้น จึงแสดงผลเป็นกราฟ ดังรูปที่ 4.16 และ 4.17 ซึ่งเป็นรูปที่แสดงค่าความสว่าง L^* และ

ค่าความขาวของเจลซูริมิ ตามลำดับ การเลือกพิจารณาเฉพาะค่า L^* และความขาวของเจลซูริมิ เพราะการเก็บรักษาอาหารโดยการแช่เยือกแข็งทำให้เกิดการสูญเสียน้ำและเป็นสาเหตุให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำ (Fennema, 1996) จึงน่าจะส่งผลต่อค่า L^* และความขาวของเจลซูริมิ



รูปที่ 4.16 ค่า L^* ของเจลซูริมิทุกชุดการทดลอง ตามอายุการเก็บรักษาซูริมิเยือกแข็ง

ตัวย่อ : SS = ซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4; SST = ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาไลต์ 4:2:2; ST = ซูโครส:ทรีฮาไลต์ 4:4 % (w/w)



รูปที่ 4.17 ค่าความขาวของเจลซูริมิทุกชุดการทดลอง ตลอดอายุการเก็บรักษาซูริมิเยือกแข็ง

ตัวย่อ : SS = ซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4; SST = ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาไลต์ 4:2:2; ST = ซูโครส:ทรีฮาไลต์ 4:4 % (w/w)

จากรูปที่ 4.16, 4.17 พบว่า เจลซูริมิทุกชุดการทดลองมีค่า L^* และความขาวเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตลอดอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 5 เดือน อย่างไรก็ตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าวไม่คงที่ เมื่อคำนวณหาความแตกต่างของค่าสี (ΔE) ในแต่ละชุดการทดลอง โดยใช้สูตร $\Delta E = [\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}]^{1/2}$ พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็งผ่านไป 5 เดือน เจลซูริมิชุดการทดลองซูโครส:ซอร์บิทอล, ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส และซูโครส:ทรีฮาโลส มีค่า ΔE เท่ากับ 0.51, 0.34 และ 0.23 ตามลำดับ (คำนวณจากข้อมูลในตารางที่ 4.17) ค่าที่ได้น้อยกว่า 2 ซึ่งเกณฑ์ดังกล่าวใช้บ่งบอกความแตกต่างของสีผลิตภัณฑ์ (Hutchings, 1999) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าเจลซูริมิในแต่ละชุดการทดลองเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น สีของผลิตภัณฑ์ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยเจลซูริมิชุดการทดลองซูโครส:ซอร์บิทอล, ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส และซูโครส:ทรีฮาโลส มีความขาวอยู่ในช่วง 76.43 – 77.69, 76.15 – 77.18 และ 75.87- 77.13 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาค่าสีและความขาวของเจลซูริมิทุกชุดการทดลอง พบว่าโครโมโพรเทกแทนต์ทุกชุดการทดลองให้ค่าสีและความขาวเจลซูริมิใกล้เคียงกัน ตลอดอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน และยังคงอยู่ในเกณฑ์ดีมาก (Anonymous, 1984) โดยค่าสีและความขาวของเจลซูริมิที่น่าจะเป็นผลจากการใช้โครโมโพรเทกแทนต์ ไม่ใช่การสูญเสียสีของซูริมิอันเนื่องมาจากการแช่เยือกแข็ง เพราะปริมาณความชื้นของซูริมิทุกชุดการทดลองเมื่อผ่านระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ยังคงใกล้เคียงกัน โดยมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 64.05-73.40 %

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

เตรียมเจลซูริมิปลานวลจันทร์ทุกชุดการทดลองตามวิธีในข้อ 3.2 ให้ความร้อน 1st step ที่อุณหภูมิ 40 °C 30 นาที ตามด้วยให้ความร้อนที่ 85 °C 30 นาที ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเจลซูริมิด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติและการยอมรับโดยรวม ให้คะแนนเปรียบเทียบกับชุดตัวอย่างทางการค้าซึ่งเป็นคามาโบโกะขาว ผลิตโดยบริษัทคิบุน ไทยแลนด์ จำกัด วางขายอยู่ในร้านสะดวกซื้อขนาดใหญ่ โดยกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสพิจารณาจากคุณลักษณะที่ดีของผลิตภัณฑ์และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ที่อาจเกิดขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสตลอดอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน แสดงในตารางที่ 4.21 และผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติการทดสอบทางประสาทสัมผัสในแต่ละชุดการทดลอง แสดงในตารางที่ 4.22 – 4.21

ตารางที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยคะแนนลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติและการยอมรับโดยรวมของเจลชูริมิแต่ละชุดการทดลอง ตามระยะเวลาการเก็บรักษาชูริมิแช่เยือกแข็ง

ชุดการทดลอง	ระยะเวลา (เดือน)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
		ลักษณะปรากฏ ^{ns}	เนื้อสัมผัส	รสชาติ	การยอมรับโดยรวม ^{ns}
SS ¹	0	7.90 \pm 1.13	7.30 ^{ab} \pm 1.82	7.23 ^b \pm 1.81	7.10 \pm 1.03
4:4	1	7.97 \pm 1.03	7.10 ^{ab} \pm 1.69	8.33 ^a \pm 1.03	7.37 \pm 0.89
	2	7.93 \pm 1.44	6.73 ^{ab} \pm 1.99	7.83 ^{ab} \pm 1.37	7.37 \pm 1.33
	3	7.87 \pm 0.94	6.73 ^{ab} \pm 1.39	7.87 ^{ab} \pm 1.36	7.17 \pm 0.83
	4	7.97 \pm 0.72	7.47 ^a \pm 1.38	8.03 ^a \pm 1.35	7.23 \pm 1.10
	5	7.93 \pm 0.78	6.40 ^b \pm 2.47	7.67 ^{ab} \pm 1.37	6.83 \pm 1.23
SST ²	0	8.10 \pm 0.87	6.66 \pm 2.01	7.43 \pm 1.72	7.17 \pm 1.18
4:2:2	1	8.17 \pm 0.91	7.30 \pm 1.53	8.17 \pm 1.09	7.17 \pm 1.26
	2	8.03 \pm 1.12	6.83 \pm 2.05	7.87 \pm 1.31	7.63 \pm 7.30
	3	7.97 \pm 0.72	6.83 \pm 1.49	7.80 \pm 1.31	7.30 \pm 0.95
	4	7.93 \pm 0.78	7.33 \pm 1.12	7.80 \pm 1.63	7.20 \pm 1.27
	5	8.00 \pm 0.74	6.40 \pm 2.29	7.77 \pm 1.38	7.17 \pm 1.18
ST ³	0	8.10 \pm 0.76	7.07 ^{abc} \pm 2.05	7.20 \pm 1.90	6.90 \pm 1.58
4:4	1	8.03 \pm 0.85	7.37 ^a \pm 1.65	8.03 \pm 1.35	7.27 \pm 1.08
	2	7.90 \pm 1.24	6.40 ^{abc} \pm 2.11	7.83 \pm 1.39	7.30 \pm 1.42
	3	7.67 \pm 1.03	6.13 ^c \pm 1.63	7.77 \pm 1.45	7.03 \pm 1.22
	4	7.73 \pm 1.05	7.23 ^{ab} \pm 1.36	7.87 \pm 1.38	7.13 \pm 1.11
	5	7.63 \pm 1.19	6.33 ^{bc} \pm 2.38	7.87 \pm 1.14	6.90 \pm 1.09

หมายเหตุ : ¹ ชูโครส:ซอร์บิทอล; ² ชูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส; ³ ชูโครส:ทรีฮาโลส

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

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติและการยอมรับโดยรวมของเจลซูริมิซูดการทดลองที่เติมซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4 % (w/w) เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ ตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแซ่เยือกแข็ง

SOV	d.f.	MS			
		ลักษณะปรากฏ	เนื้อสัมผัส	รสชาติ	การยอมรับโดยรวม
Treatment	5	4.56×10^{-2}	4.849*	4.072*	1.196
Panelist	14	0.867	6.225*	3.315*	2.356*
Error	160	1.086	3.102	1.843	1.071

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติและการยอมรับโดยรวมของเจลซูริมิซูดการทดลองที่เติมซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาลอส 4:2:2 % (w/w) เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ ตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแซ่เยือกแข็ง

SOV	d.f.	MS			
		ลักษณะปรากฏ	เนื้อสัมผัส	รสชาติ	การยอมรับโดยรวม
Treatment	5	0.206	3.966*	1.646	1.019
Panelist	14	0.770	6.803*	4.520*	2.220*
Error	160	0.757	2.962	1.867	1.247

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

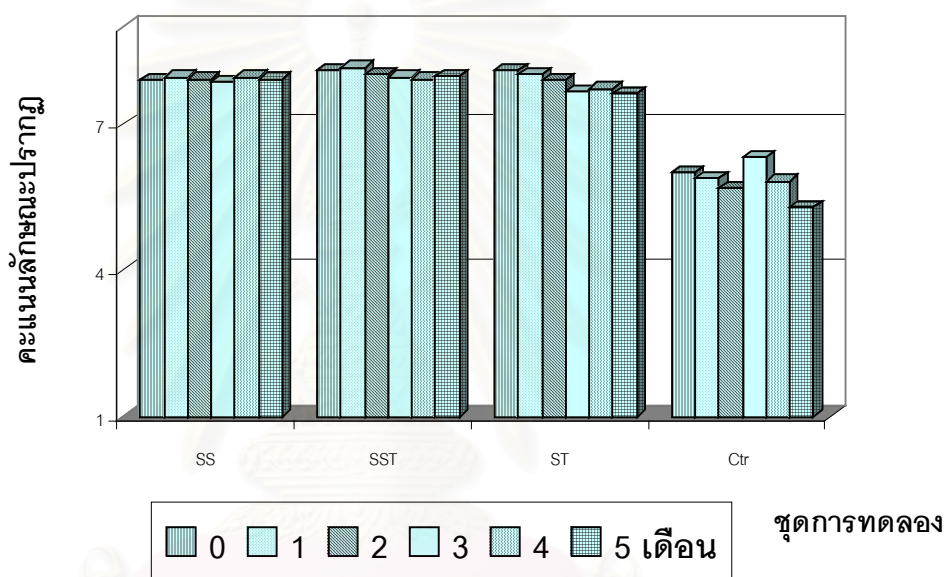
ตารางที่ 4.24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติและการยอมรับโดยรวมของเจลซูริมิซูดการทดลองที่เติมซูโครส:ทรีฮาลอส 4:2:2 % (w/w) เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ ตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแซ่เยือกแข็ง

SOV	d.f.	MS			
		ลักษณะปรากฏ	เนื้อสัมผัส	รสชาติ	การยอมรับโดยรวม
Treatment	5	1.156	8.342*	2.499	0.916
Panelist	14	1.665	7.708*	4.106*	2.648*
Error	160	1.016	3.235	1.942	1.506

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติค่าเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านเนื้อสัมผัสพบว่า ทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บ

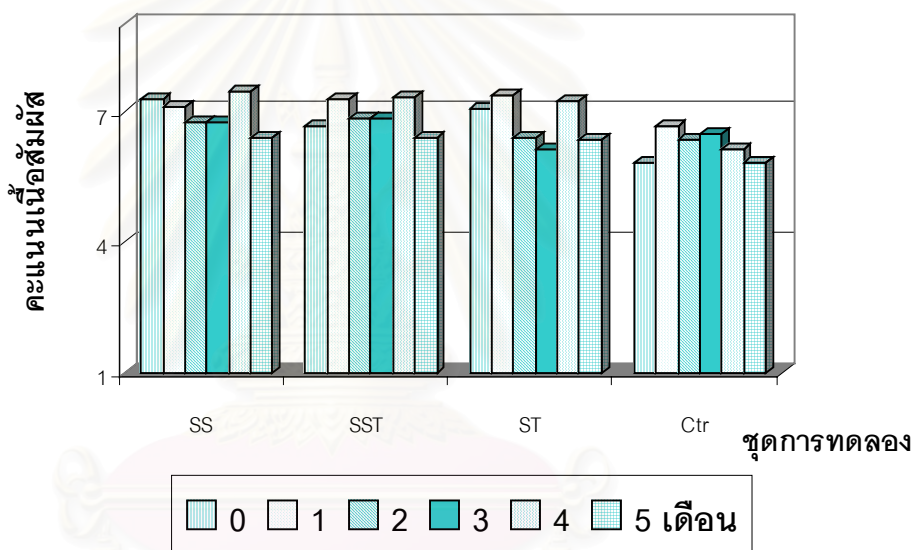
รักษาซูริมิแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น แต่แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านเนื้อสัมผัสไม่คงที่ (ตารางที่ 4.21) สำหรับการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสทางด้านลักษณะปรากฏ รสชาติและการยอมรับโดยรวม จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็งไม่มีผลต่อคุณลักษณะดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในเจลซูริมิทุกชุดการทดลอง (ตารางที่ 4.22 – 4.24) เพื่อให้พิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสคุณลักษณะในด้านต่าง ๆ ได้ง่ายขึ้น จึงแสดงผลเป็นกราฟ ดังรูปที่ 4.18 – 4.21 ซึ่งเป็นคะแนนลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติและการยอมรับโดยรวม ตามลำดับ



รูปที่ 4.18 คะแนนลักษณะปรากฏของเจลซูริมิแต่ละชุดการทดลอง ตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง ตัวอย่าง : SS = ซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4; SST = ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:2:2; ST = ซูโครส:ทรีฮาโลส 4:4 % (w/w); Ctr = ตัวอย่างทางการค้า

ประเมินลักษณะปรากฏโดยพิจารณาความขาวของเจลซูริมิ กำหนดการให้คะแนนออกเป็น 3 ช่วง คือ 1-3 หมายถึงสีของเจลซูริมิค่อนข้างคล้ำ 4-6 หมายถึงมีสีขาวปนเหลืองมาก และ 7-9 หมายถึงมีสีขาวปนเหลืองน้อย จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าเจลซูริมิทุกชุดการทดลองมีคะแนนความขาวอยู่ในช่วง 7.63-8.13 หมายถึงเจลซูริมิมีสีขาวปนเหลืองน้อย สำหรับชุดตัวอย่างทางการค้าได้รับคะแนนอยู่ในช่วงขาวปนเหลืองมาก การที่ชุดตัวอย่างทางการค้าได้รับคะแนนความขาวต่ำ อาจเนื่องจาก คามาโบโกะหรือเจลซูริมิในทางการค้าได้มีการเติมสารปรุงแต่งต่าง ๆ ลงไปในผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีขาวปนเหลือง อาจกล่าวได้ว่าเจลซูริมิปลานวอลจันท์ทุกชุดการทดลองมีลักษณะปรากฏที่ดีกว่าเจลซูริมิในทางการค้า

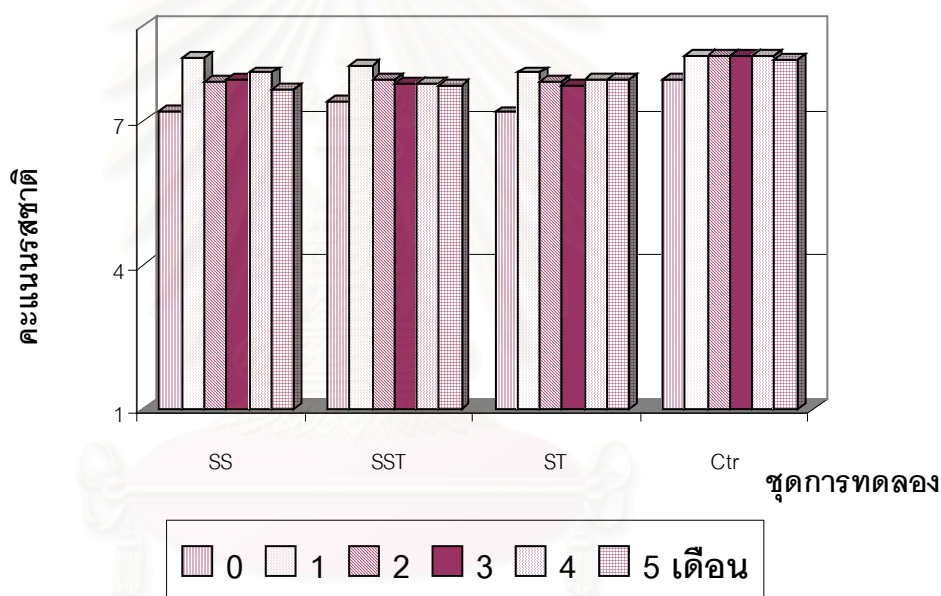
เพราะคุณลักษณะที่ดีของผลิตภัณฑ์ซูริมิจะต้องมีสีขาว นอกจากนี้คะแนนลักษณะปรากฏของเจลซูริมิแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ตลอดอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง 5 เดือน นั่นคือเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้นไม่ทำให้ลักษณะปรากฏของเจลซูริมิที่ได้เปลี่ยนแปลงไป อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าสีและความขาวของเจลซูริมิที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดสี พบว่าในแต่ละชุดการทดลอง เจลซูริมิมีค่าสีและความขาวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลที่ได้ไม่สอดคล้องกัน อาจเนื่องจากซูริมิเกิดการเปลี่ยนแปลงสีและความขาวน้อยมากจนผู้ทดสอบไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงและผู้ทดสอบยังคงให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ในด้านลักษณะปรากฏ โดยคะแนนความขาวของผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในเกณฑ์ดี



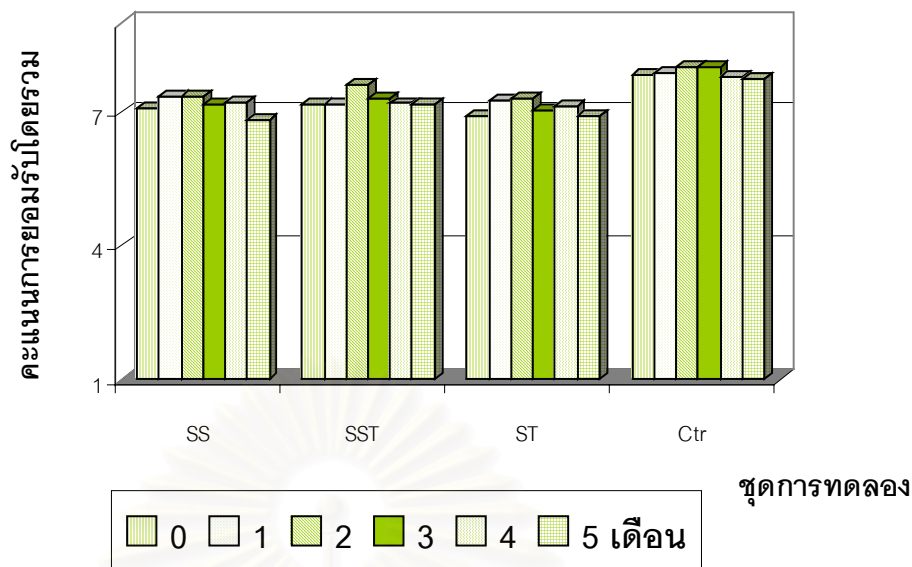
รูปที่ 4.19 คะแนนเนื้อสัมผัสของเจลซูริมิแต่ละชุดการทดลอง ตามอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็ง ตัวอย่าง : SS = ซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4; SST = ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:2:2; ST = ซูโครส:ทรีฮาโลส 4:4 % (w/w); Ctr = ตัวอย่างทางการค้า

ประเมินผลทางด้านเนื้อสัมผัสโดยการชิมทดสอบความเหนียวและยืดหยุ่นของเจลซูริมิเกณฑ์การให้คะแนนมีดังนี้ 1-3 หมายถึงเนื้อสัมผัสนุ่ม และหรือเหนียวมากเกินไป 4-6 หมายถึงมีเนื้อสัมผัสเหนียวและยืดหยุ่นดีพอควร และ 7-9 หมายถึงเหนียวและยืดหยุ่นดีมาก การแบ่งเกณฑ์การให้คะแนนดังกล่าวเนื่องจาก การเสียดสภาพธรรมชาติของโปรตีนซูริมิในระหว่างการแช่เยือกแข็งย่อมส่งผลกระทบต่อความสามารถในการเกิดเจลและเนื้อสัมผัสของเจลซูริมิที่ได้ โดยอาจทำให้เนื้อสัมผัสนุ่มมีความยืดหยุ่นน้อยลง หรือเหนียวขึ้น จนทำให้ผู้บริโภคประเมินได้ จากคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสของเจลซูริมิ พบว่าเจลซูริมิทุกชุดการทดลอง

มีคะแนนเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วง 6.13-7.47 หมายถึงเจลซูริมมีเนื้อสัมผัสเหนียวและยืดหยุ่นดี โดยคะแนนเนื้อสัมผัสเจลซูริมชุดการทดลองที่เติมซูโครส:ซอร์บิทอล (4:4) % w/w เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ มีแนวโน้มว่ามีคะแนนสูงกว่าชุดการทดลองซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส และ ซูโครส:ทรีฮาโลส สอดคล้องกับค่า hardness ของเจลซูริมที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส อาจเนื่องจากการใช้ซอร์บิทอลในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ให้เนื้อสัมผัสที่มีความแข็งสูง (Lanier และ Akahane, 1986) เมื่อเปรียบเทียบกับคะแนนเนื้อสัมผัสของชุดตัวอย่างทางการค้า พบว่าเจลซูริมทุกชุดการทดลองเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นยังคงได้รับคะแนนใกล้เคียงกัน อาจสรุปได้ว่าซูริมทุกชุดการทดลองยังคงคุณภาพที่ดีของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 4.20 คะแนนรสชาติของเจลซูริมแต่ละชุดการทดลอง ตามอายุการเก็บรักษาซูริมแช่เยือกแข็ง ตัวอย่าง : SS = ซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4; SST = ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:2:2; ST = ซูโครส:ทรีฮาโลส 4:4 % (w/w); Ctr = ตัวอย่างทางการค้า



รูปที่ 4.21 คะแนนการยอมรับโดยรวมของเจลซูริมิแต่ละชุดการทดลอง ตามอายุการเก็บรักษา ซูริมิแช่เยือกแข็ง ตัวอย่าง : SS = ซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4; SST = ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส 4:2:2; ST = ซูโครส:ทรีฮาโลส 4:4 % (w/w); Ctrl = ตัวอย่างทางการค้า

ประเมินผลรสชาติโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสกลิ่นรสแปลกปลอม ได้แก่ กลิ่นผิดปกติอันเนื่องมาจากการใช้ไครโอโพรเทกแทนต์ในซูริมิรวมทั้งกลิ่นหืน หรือกลิ่นผิดปกติที่เกิดจากสารประกอบจำพวกคีโตนหรือแอลดีไฮด์ ซึ่งเป็นผลมาจากกิจกรรมของเอนไซม์ TMAO demethylase ที่หลงเหลืออยู่ในเนื้อปลาสดทำให้ trimethylamine oxide แตกตัวจนเกิดกลิ่นแปลกปลอมได้ในที่สุด เกณฑ์การให้คะแนนแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ 1-3 หมายถึงมีกลิ่นรสแปลกปลอมมาก 4-6 หมายถึงมีกลิ่นรสแปลกปลอมเล็กน้อย และ 7-9 หมายถึงไม่มีกลิ่นรสแปลกปลอม จากคะแนนการทดสอบเจลซูริมิทุกชุดการทดลองเปรียบเทียบกับชุดตัวอย่างทางการค้า พบว่า เจลซูริมิและชุดตัวอย่างทางการค้าได้รับคะแนนอยู่ในช่วงไม่มีกลิ่นรสแปลกปลอม อาจกล่าวได้ว่าทรีฮาโลสที่ใช้เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ในซูริมิไม่ทำให้เกิดกลิ่นรสแปลกปลอม อย่างไรก็ตามชุดตัวอย่างทางการค้าได้รับคะแนนสูงกว่าเล็กน้อย อาจเนื่องจากการปรุงแต่งกลิ่นรสของชุดตัวอย่างในการทางการค้า สำหรับการประเมินผลการยอมรับโดยรวม เกณฑ์การให้คะแนนแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ 1-3 หมายถึงไม่ชอบมากที่สุด-ไม่ชอบปานกลาง 4-6 หมายถึงไม่ชอบเล็กน้อย-ชอบเล็กน้อย และ 7-9 หมายถึงชอบปานกลาง-ชอบมากที่สุด คะแนนการยอมรับโดยรวมของเจลซูริมิทุกชุดการทดลองตลอดอายุการเก็บรักษาอยู่ในช่วง ชอบปานกลาง โดยคะแนนในแต่ละชุดการทดลองเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นไม่มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบคะแนนการยอมรับโดยรวมกับชุดตัวอย่างทางการค้า พบว่าได้รับคะแนนการยอมรับต่ำกว่า อาจเนื่องจากปัจจัยทางด้านรสชาติ เห็นได้

จากคะแนนทางด้านรสชาติในชุดตัวอย่างทางการค้าได้รับสูงกว่า ดังนั้นผู้ทดสอบจึงให้คะแนนการยอมรับโดยรวมสูงกว่า

จากผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเจลซูริมิ ตลอดอายุการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 5 เดือน ไม่พบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่าง ๆ อย่างชัดเจน อาจสรุปได้ว่าโครโอโพรเทกแทนต์ที่ใช้ช่วยรักษาคุณภาพของซูริมิได้ดีเช่นเดียวกัน

การเปลี่ยนแปลงค่า T_g' ของซูริมิ

จากการวัดหาค่า T_g' ของซูริมิทุกชุดการทดลอง ตามวิธีที่แสดงไว้ในข้อ 3.3 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเดือนที่ 2 และ 4 ได้ค่า T_g' แสดงดังตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 ค่า $T_g'_{onset}$ ของซูริมิที่เติมโครโอโพรเทกแทนต์ต่างชนิด ตามระยะเวลาการเก็บรักษาแช่เยือกแข็ง

ชุดการทดลอง	ระยะเวลา (เดือน)	ค่าเฉลี่ย ¹ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $T_g'_{onset}$ ($^{\circ}C$)
% (w/w)		
SS	2	-29.0 ± 0.35
4:4	4	-28.6 ± 0.17
SST	2	-26.95 ± 0.21
4:2:2	4	-27.6 ± 0.14
ST	2	-24.9 ± 0
4:4	4	-24.95 ± 0.07

¹ ค่าเฉลี่ยจากการทำ 2 ครั้ง

จากค่า $T_g'_{onset}$ ของซูริมิในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาซูริมิแช่เยือกแข็งผ่านไป 4 เดือน พบว่าค่า $T_g'_{onset}$ ค่อนข้างคงที่ ผลดังกล่าวอาจเนื่องจากโครโอโพรเทกแทนต์ที่มีอยู่ในซูริมิ ยังคงแสดงผลการ form glasses เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง จึงพบช่วง glass transition ได้จากการวัดโดยใช้ DSC

จากผลการศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพซูริมิในด้านต่าง ๆ อาจกล่าวได้ว่าโครโอโพรเทกแทนต์ที่ศึกษาช่วยป้องกันการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน เห็นได้จากการศึกษา SDS-PAGE ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของ protien pattern อย่างมีนัยสำคัญ ไม่ว่าจะป็นระหว่างชุดการทดลองที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกันหรือภายในชุดการทดลองนั้น ๆ ที่ระยะเวลาการเก็บซูริมิแช่เยือกแข็งต่างกัน สอดคล้องกับค่า cohesiveness ของเจลซูริมิที่ได้จาก

การวัดเนื้อสัมผัส ซึ่งมีแนวโน้มคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามเมื่อระยะเวลาการเก็บซุริมิแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้นค่า hardness และ springiness ของเจลซุริมิทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เพราะความสามารถในการเกิดเจล อาจได้รับอิทธิพลจากปัจจัยอื่น ๆ นอกเหนือจากการเสียดสภาพธรรมชาติของโปรตีน (Syich และคณะ, 1991; Reynolds, Park และ Choi, 2002) สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าสีและความขาวของเจล ซุริมิจากการใช้โครโอโพรเทกแทนต์ต่างกัน เมื่อพิจารณาค่า L^* และคำนวณค่าความขาวของเจลซุริมิพบว่า เจลซุริมิทุกชุดการทดลองให้ค่าความขาวใกล้เคียงกัน และผู้ทดสอบไม่สามารถประเมินความแตกต่างของความขาวเจลซุริมิได้เมื่อทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส ถึงแม้อายุการเก็บรักษาซุริมิแช่เยือกแข็งผ่านไป 5 เดือน สมบัติต่าง ๆ ของเจลซุริมิที่ประเมินผลทางประสาทสัมผัสค่อนข้างคงที่และยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า การใช้ทรีฮาโลสร่วมกับน้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอลให้ผลป้องกันการเสียดสภาพธรรมชาติโปรตีนซุริมิและช่วยรักษาคุณภาพของซุริมิได้ดีเทียบเท่ากับการใช้ซูโครส:ซอร์บิทอล ซึ่งเป็นโครโอโพรเทกแทนต์ที่ใช้กันทั่วไปในระดับอุตสาหกรรม

พิจารณาถึงค่า T_g' จากงานวิจัยได้เก็บซุริมิทุกชุดการทดลองไว้ที่สภาวะเดียวกันคือ อุณหภูมิ -27 ± 2 °C จากค่า T_g' ของซุริมิทุกชุดการทดลองที่วัดได้ กล่าวได้ว่าชุดการทดลองซูโครส:ทรีฮาโลส และซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า T_g' ของตัวมันเองจากข้อสันนิษฐานที่วางไว้ว่า ถ้าเก็บรักษาซุริมิไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า T_g' ของระบบจะทำให้ซุริมิมีเสถียรภาพ ชะลอการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นในระบบได้นั้น สอดคล้องกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนโดยวิธี SDS-PAGE ซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน แต่ขัดแย้งกับค่า hardness และ springiness ของเจลซุริมิที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัสซึ่งไม่คงที่ในระหว่างอายุการเก็บรักษา จากการที่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนตลอดอายุการเก็บรักษาประกอบค่า cohesiveness ของเจลซุริมิค่อนข้างคงที่ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า hardness และ springiness ที่เปลี่ยนแปลงนั้นอาจเกิดจากปัจจัยอื่นนอกเหนือจากการเสียดสภาพของโปรตีน สำหรับค่าสีและความขาวของซุริมิทุกชุดการทดลองที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาซุริมิโดยการแช่เยือกแข็งนั้น เมื่อพิจารณาค่าความสว่าง (L^*) และความขาวของเจลซุริมิซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของผลิตภัณฑ์ซุริมินั้น พบว่าทุกชุดการทดลองยังคงมีค่าความสว่างและความขาวสูงและจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส ผู้ทดสอบไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลง อาจกล่าวได้ว่าโครโอโพรเทกแทนต์ที่เติมในซุริมิทุกชุดการทดลองยังคงช่วยรักษาคุณภาพของซุริมิไว้ได้ดีไม่แตกต่างกัน

การเก็บซุริมิแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -27 ± 2 °C สูงกว่าชุดการทดลองซูโครส:ซอร์บิทอล 4:4 % (w/w) จากข้อสันนิษฐานที่ว่า การเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า T_g' ของ

อาหารนั้นจะทำให้อาหารมีเสถียรภาพ อย่างไรก็ตามเมื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของซูริมิในชุดการทดลองนี้ พบว่าซูริมียังคงมีคุณภาพดี กล่าวได้ว่าซูโครสและซอร์บิทอลช่วยรักษาเสถียรภาพของซูริมิไว้ได้ อาจเนื่องจากกลไกการป้องกันโปรตีนเสียสภาพจากการแช่เยือกแข็งอื่น ๆ นอกเหนือจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า T_g' Lim และ Reid (1991) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาแช่เยือกแข็งต่อการละลายของ actomyosin ในสารละลายมอลโต - เด็กซ์ตรินและซูโครส พบว่าเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า T_g' ของมอลโตเด็กซ์ตริน สารละลาย actomyosin ยังคงสภาพเดิมได้ แต่เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิสูงกว่า T_g' actomyosin จะสูญเสียการละลายอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม actomyosin ในสารละลายซูโครสเมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูงกว่า T_g' พบว่ายังคงรักษาการละลายไว้ได้ดี

จากผลการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่า การใช้ทรีฮาโลสร่วมกับน้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอลให้ผลในการเป็นไครโอโพรเทกแทนต์ได้ดีเทียบเท่ากับการใช้ซูโครส:ซอร์บิทอล ถึงแม้เจลซูริมิในชุดการทดลองที่เติมซูโครส:ทรีฮาโลส และซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลสให้ค่าเนื้อสัมผัสด้อยกว่าเจลซูริมิชุดการทดลองซูโครส:ซอร์บิทอล แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงโปรตีนอย่างชัดเจนในทุกชุดการทดลองเมื่อศึกษาโดยวิธี SDS-PAGE ตลอดอายุการเก็บรักษาแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 5 เดือน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

ปลาน้ำจืดที่ใช้ในงานวิจัยทั้ง 2 ชนิด คือ ปลาเยือกเทศและปลานวลจันทร์จัดเป็นปลาที่มีปริมาณไขมันต่ำ เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ผลิตซูริมิ เมื่อศึกษา protein pattern ด้วยวิธี SDS-PAGE พบว่าปลาทั้ง 2 ชนิด มี protein pattern คล้ายคลึงกัน โดยองค์ประกอบโปรตีนที่พบมากในปลา คือ โปรตีนไมโอซินและแอกติน

จากการศึกษาผลของชนิดปลาน้ำจืด และสภาวะที่เหมาะสมเพื่อทำให้ซูริมิเกิดเจล โดยให้ความร้อนแก่ซูริมิเพสท์แบบ 2-step heating ศึกษาแปรอุณหภูมิและเวลาในช่วงอุณหภูมิต่ำ พบว่าชนิดปลาน้ำจืดและสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้ซูริมิเกิดเจลคือ ปลานวลจันทร์ ให้ความร้อน 1st step ที่อุณหภูมิ 40 °C เวลา 30 นาที ตามด้วยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 30 นาที

ผลการใช้สารทรีฮาโลส น้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอลต่อค่า Tg' และคุณภาพของซูริมิ ปลานวลจันทร์ โดยกำหนดปริมาณไครโอโพรเทกแทนต์ 8% w/w แปรชนิดและปริมาณไครโอโพรเทกแทนต์คือ ซูโครส:ซอร์บิทอล (4:4) ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส (4:3:1); (4:2:2); (4:1:3) ซูโครส:ทรีฮาโลส (4:4) และทรีฮาโลส (8) % w/w พบว่าชุดการทดลองที่เติมทรีฮาโลสเป็นไครโอโพรเทกแทนต์มีแนวโน้มให้ค่า Tg' เพิ่มสูงขึ้น อาจเนื่องจากสมบัติเฉพาะตัวของสารทรีฮาโลสที่มีค่า Tg' สูงเมื่อเทียบกับน้ำตาลโมเลกุลคู่ชนิดอื่น อย่างไรก็ตามเมื่อประเมินประสิทธิภาพของไครโอโพรเทกแทนต์ทุกชุดการทดลองต่อคุณภาพของเจลซูริมิโดยการวัดเนื้อสัมผัสและสีของเจลซูริมิ พบว่าชนิดและปริมาณไครโอโพรเทกแทนต์ทุกชุดการทดลองให้ผลไม่แตกต่างกัน อาจเนื่องจากน้ำตาลทุกชนิดที่ใช้ในงานวิจัยมีสมบัติในการเป็นไครโอโพรเทกแทนต์ได้เช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาโครงสร้างของน้ำตาลทั้ง 3 ชนิด พบว่า ในโมเลกุลต่างก็ประกอบด้วยหมู่ -OH ซึ่งเป็นลักษณะประการหนึ่งของสารที่มีความสามารถในการเป็นไครโอโพรเทกแทนต์ พิจารณาเลือกชุดการทดลองที่ใช้ ซูโครส:ซอร์บิทอล (4:4) ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส (4:2:2) และซูโครส:ทรีฮาโลส (4:4) % w/w เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ในซูริมิปลานวลจันทร์

จากการศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาซูริมิโดยการแช่เยือกแข็งต่อการเปลี่ยนแปลงโปรตีน สมบัติทางกายภาพ ประสาทสัมผัสและค่า Tg' ของซูริมิที่เติมไครโอโพรเทกแทนต์ ทั้ง 3 ชุดการทดลอง ได้แก่ ซูโครส:ซอร์บิทอล (4:4) ซูโครส:ซอร์บิทอล:ทรีฮาโลส (4:2:2) และ

ซูโครส:ทรีฮาโลส (4:4) % w/w ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของ protein pattern เมื่อศึกษาด้วยวิธี SDS-PAGE ค่าเนื้อสัมผัสและสีของเจลซูโครมิทุกชุดการทดลองเกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยค่า hardness และ springiness มีแนวโน้มลดลง แต่ค่า cohesiveness ค่อนข้างคงที่ อย่างไรก็ตามซูโครมียังคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีเมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยทุกชุดการทดลองได้รับคะแนนการยอมรับโดยรวมอยู่ในช่วง 6.83 – 7.63 จากคะแนนเต็ม 9 และตลอดอายุการเก็บรักษาค่า Tg' ของซูโครมิทุกชุดการทดลองค่อนข้างคงที่

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการดัดแปลงการผลิตซูโครมิจากปลาน้ำจืดเศรษฐกิจของไทยระดับการทดลอง ไปสู่ อุตสาหกรรม
2. ควรมีการศึกษาปริมาณผลผลิต (yield) ของเนื้อปลาที่ได้ เพราะโดยทั่วไปปลาน้ำจืดมี yield ต่ำ เพื่อประโยชน์ในการดัดแปลงการผลิตซูโครมิปลาน้ำจืดในระดับอุตสาหกรรม
3. ควรมีการศึกษาแปรคุณภูมิตามการเก็บรักษาซูโครมิในชุดการทดลองที่เติมทรีฮาโลสเป็นไครโอโพรเทกแทนต์ เพื่อดูผลของค่า Tg' ต่อคุณภาพของซูโครมิ
4. ควรมีการศึกษาเก็บรักษาซูโครมิโดยการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิสูงขึ้น เพื่อให้เห็นความแตกต่างของการใช้ทรีฮาโลสเป็นไครโอโพรเทกแทนต์
5. ควรมีการศึกษาผลของการใช้น้ำตาลซูโครส ซอร์บิทอลและทรีฮาโลสเป็นไครโอโพรเทกแทนต์ โดยไม่เติมสารประกอบฟอสเฟตร่วมด้วย เพื่อดูผลของน้ำตาลเหล่านั้นอย่างแท้จริง

รายการอ้างอิง

- กรมประมง, กรม. 2540. ภาพปลาและสัตว์น้ำของไทย. กรุงเทพมหานคร: กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- นุชนารถ ทวีทรัพย์พานิชย์. 2544. เทคนิคการวัดเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์. วารสารจารย์พา. (พ.ย.-ธ.ค.): 28-32.
- ประเสริฐ สหายสิทธิ์. 2524. ผลผลิตอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พิมพ์ใจ ทองคำ. 2541. การศึกษาคุณภาพของซูริมิจากปลานิล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. 2533. เนื้อปลาบด (ซูริมิ) เยือกแข็ง มอก. 935-2533. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- เศรษฐกิจการประมง, กอง. 2545. สถิติผลผลิตการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดปี 2540. กรุงเทพมหานคร: กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สุภรัตน์ ชวนะ. 2529. ซูริมิกับการผลิตอาหารทะเลเทียม. วารสารอาหาร 16 (เม.ย.- มิ.ย.): 76-78.
- อรรชรณ คงพันธุ์. 2539. ผลผลิตคุณภาพของซูริมิจากปลาดุกลูกผสมและผลของการใช้สารปรุงแต่งคุณสมบัติในการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์. วารสารการประมง. 49(1): 48-54.
- Akahane, Y., and Shimizu, Y. 1988. Classification of existing state of water in kamaboko by expressing absorbing and thermogravimetric methods. Nippon Suisan Gakkaishi 54: 1237-1241.
- Akahane, Y., and Shimizu, Y. 1989. Effects of pH and sodium chloride on the water holding capacity of surimi and its gel. Nippon Suisan Gakkaishi 55: 1827-1832.
- An, H., Peter, M.Y., and Seymour, T.A. 1996. Roles of endogenous enzyme in surimi gelation. Trend in Food Sci&Tech. 7: 321-327.
- Anonymous. 1984. Surimi Workshop. III. Primary processing of surimi. Japan Deep Sea Trawler Assoc., Seattle, W.A. Cited in T.C. Lanier; and C.M. Lee (eds.), Surimi Technology, pp. 41-76. New York: Marcel Dekker, 1992.

- A.O.A.C. 1995. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 15 th ed. Washington D.C.
- Arakawa, T., and Timasheff, S.N. 1982. Stabilization of protein structure by sugar. Biochem. 21: 6536.
- Arakawa, J., Carpenter, J.F., Kita, Y.A. and Crowe, J.H. 1990. Study of toxicity of certain cryoprotectants. A hypothesis Cryobiology. 27: 401. Cited in G.A. MacDonald and T. Lanier. Carbohydrates as cryoprotectants for meats and surimi. Food Technol. 45: 150-159, 1991.
- Araki, H., and Seki, N. 1993. Comparison of rigidity of transglutaminase to various fish actomyosin. Bull. Jap. Soc. Fish. 59(4): 711-716.
- Auh, J.H., Lee, H.G., Kim, J.C., Yoon, H.S. and Park, K.H. 1999. Highly concentrated branched oligosaccharides as cryoprotectant for surimi. J. Food Sci. 64(3): 418-422.
- Back, J.F., Oakenfull, D. and Smith, M.B. 1979. Increased thermal stability of proteins in the presence of sugars and polyols. Biochem. 18: 5191.
- Ball, P. 2000. Fresh and dry. [online]. Available from :
<http://www.nature.com/nsu/000720/000720-3.html>. [2000, October 13]
- Bollag, D.M., Rozycki, M.D., and Edelstein, S.J. 1996. Proteins Methods, pp.107-154. New York: Wiley-Liss.
- Bar, A. 2000. Trehalose produced by a novel enzymatic process. [Online]. Available from: <http://www.Cargill.com/sfi/treprop.html> [2000, November 5]
- Bourne, M.C. 1978. Texture profile analysis. Food Technol. 32: 62-66,72.
- Boye, S.W., and Lanier, T.C. 1988. Effects of heat-stable alkaline protease activity of atlantic menhaden (*Brerooti tyrannus*) on surimi gel. J. Food Sci. 53: 1340-1342,1398.
- Brake, N.C., Fennema, O.R. 1999. Glass transition values of muscle tissue. J. Food Sci. 64: 10-15.
- Carpenter, J.F., and Crown, J.W. 1988. The mechanism of cryoprotection of proteins by solutes. Cryobiology. 25: 244.
- Chan, J.K., Grill, T.A., and Poulson, A.T. 1993. Thermal aggregation of myosin subfragments from cod and herring. J. Food Sci. 58: 1057-1061,1069.

- Chang, M.V., Lampila, L.E., and Crowford. 1990. Yield and composition of surimi from Pacific whiting (*Merluccius* products) and the effect of various protein additives on gel strength. J. Food Sci. 55(1): 83-86.
- Cochran, W.C., and Cox, G.M. 1992. Experimental Design, pp.611. New York: John Wiley & Sons.
- Damodaran, S. 1996. Amino acids, peptides, and proteins. In O.R. Fennema (ed.) 3rd ed., Food Chemistry, pp.321-430. New York: Marcel Dekker.
- Fennema, O.R. 1996. Water and ice. In O.R. Fennema (ed.), Food Chemistry, pp.17-94. New York: Marcel Dekker.
- Fennema, O. 1993. Frozen foods: challenges for the future. Food Australia. 45(8): 374-380.
- Franks, F. 1985. Biophysics and biochemistry at low temperatures, p. 206. Cambridge, UK: University Press.
- Hall, G.M. and Ahmad, N.H. 1997. Surimi and fish mince products. In G.M. Hall (ed.), Fish Processing Technology, pp. 74-92. London: Chapman&Hall.
- Hamann, D.D., Amato, P.M., Wu, M.C., Foegeding, E.A. 1990. Inhibition of modori (gel weakening) in surimi by plasma hydrolysate and egg white. J. Food Sci. 55: 665-669.
- Hashimoto, K., Watabe, S., Kono, M., and Shiro, K. 1979. Muscle protein composition of sardine and merkerel. Bulletin of the Japanese of Scientific Fisheries 45(11); 1435-1441.
- Hasting, R.J., Keay, J.N. and Young, K.W. 1990. The properties of surimi and kamaboko gels from nine British species of fish. Int. J. Food Sci.Tech. 25:281.
- Hayashibara groups. 2000. Trehalose description and manufacturing. [Online]. Available from: <http://www.Cargill.com/sfi/treprop.html> [2000,October 13]
- Holmes, K.L., Noguchi, S.F. and MacDonald, G.A. 1992. The Alaska Pollock resource and other species used for surimi. In T.C. Lanier and C.M. Lee (eds.), Surimi Technology, pp.41-76. New York: Marcel Dekker.
- Holmquist, J.F. 1982. Interrelations between salt-extractable protein, actomyosin, Ca-ATPase activity, and kamaboko quality prepared from frozen red hake fillets,

- mince and surimi: MS Thesis University of Massachusetts. Cited in J.W. Park (ed.), Surimi and Surimi seafood. New York: Marcel Dekker, 2000.
- Hunt, A.H., Park, J.W. and Zoerb, H. 2002. Trehalose as functional cryoprotectant for fishproteins. [Online], Available from: http://www.ift.confex.com/ift/2002/techprogram/paper_11920.html [2002, December 8]
- Hutchings, J.B. 1999. Food color and appearance. 2 nd ed. Gaithersburg: Chapman&Hall.
- Jiang, S., Ho, M., jiang, S., Lo, L., and Chen, H. 1998. Color and quality of mackerel surimi as affected by alkaline washing and ozontion. J. Food Sci. 63(4): 652-655.
- Judprasong, K., Puwastein, P., Sungpuag, P. and Kosulwat, S. 1997. Nutritive value of commonly consumed fish: proximate composition and cholesterol. Mahidol University Annual Research Abstract 24: 489.
- Kimura, I., Sugimoto, M., Toyoda, K., Seki, N., Arai, K. and Fujita, T. 1991. A study on the cross-linking reactions of myosin in kamaboko "suwari" gels. Nippon Suisan Gakkaishi 57: 1389-1396.
- Kinsella, J.F. 1982. Relationship between structure and functional properties of food proteins. In P.F. Fox, and J.J. Condon (eds.), Food Proteins, pp. 51-104. New York: Applied Science.
- Konno, K., Yamanodera, K.I., and Kiuchi, H. 1997. Solubilization of fish muscle myosin by sorbitol. J. Food Sci. 50: 14-19.
- Kumazawa, Y., Numazawa, K., Seguro, K. and Motoki, M. 1995. Suppression of surimi gel setting by transglutaminase inhibitors. J. Food Sci. 60: 715-717,726.
- Lanier, T.C. 1986. Functional properties of surimi. Food Technol. 40: 107-114.
- Lanier, T.C. 2000. Surimi gelation chemistry . In J.W. park (ed.), Surimi and Surimi Seafood, pp. 237-265. New York: Marcel Dekker.
- Lanier, T.C. and Akahane, T. 1986. Method of retarding denaturation of meat products. U.S. Patent . No.4572838.
- Lanier, T.C., and Lee, C.M. 1992. Surimi Technology. New York: Marcel Dekker.
- Lanier, T.C., Lin, T.S. and Hamann, D.D. 1985. Rigidity and viscosity of croaker actomyosin during thermal gelation. J. Food Sci. 50: 14-19.

- Lanier, T.C., Lin, T.S., Liu, Y.M., and Hamann, D.D. 1982. Heat gelation properties of actomyosin and surimi prepared from Atlantic croaker. J. Food Sci. 47: 1921.
- Lee, C. 1984. Surimi processing technology. Food Technol. 38(11): 69.
- Lee, J.C., and Timasheff, S.N. 1981. The stabilization of proteins by sucrose. J. Biol. Chem. 256: 7193.
- Lee, N.G., and Park, J.W. 1997. Calcium compounds to improve gel functionality of pacific whiting and Alaska Pollock surimi. J. Food Sci. 63(6): 969-974.
- Leonar, M., Mendes, R., Campos, R.M., and Bandarra, N. 1990. Characterization of fatty acids and lipid classes of sardine (*Sardina pilchardus*) and its variation with season. In Proceedings of the meeting of: Commission C2, Chilling and freezing of new fish products, Sep.18-20,1990, pp.123-130. International Institute of Refrigeration, Paris, France.
- Levine, H., and Slade, L. 1988. Principle of "cryostabilization" technology from structure/property relationships of carbohydrate/water systems. A review. Cryo-Lett. 9:21. Cited in O.R. Fennema (ed.), Food chemistry. New York: Marcel Dekker, 1996.
- Lin, T.M., and Park, J.W. 1996. Extraction of proteins from Pacific whiting mince at various washing conditions. J. Food Sci. 61: 432-438.
- Lim, M.H. 2002. Application of glass transition concept on frozen foods. Proceedings of Application of glass transition to ice cream, frozen food and snacks. Kasetsart University, Bangkok.
- Lim, M.H., and Reid, D.S. 1991. Studies of reaction kinetics in relation to the Tg' of polymers in frozen model systems. Cited in Y.H. Roos (ed.), Phase Transitions in Foods. San Diego: Academic Press, 1995.
- Luo, Y.K., Kuwahara, R., Kaneniwa, M., Murata, Y., and Yokoyama, M. 2001. Comparison of gel properties of surimi from Alaska Pollock and three freshwater fish species: effects of thermal processing and protein concentration. J. Food Sci. 66(4): 548-554.
- MacDonald, G.A., and Lanier, T. 1991. Carbohydrates as cryoprotectants for meats and surimi. Food Technol. 45: 150-159.

- MacDonald, G.A., Lanier, T., and Carvajal, P.A. 2000. Stabilization of proteins in surimi. In J.W. Park (ed.), Surimi and Surimi Seafood, pp.91-125. New York: Marcel Dekker.
- MacDonald, G.A., Lanier, T., Swaisgood, H.E., and Hamann, D.D. 1996. Mechanism for stabilization of fish actomyosin by sodium lactate. J. Agric food Chem. 44: 106-112.
- Makinodan, Y., and Ikeda, S. 1971. Relation between himodori of kamoboko and muscle proteinase. Nippon Suisan Gakkaishi 37: 518-523.
- Makinodan, Y. Yamamoto, M. and Simidu, W. 1963. Protease in fish. Nippon Suisan Gakkaishi 29: 776-780.
- Matsumoto, J.J. 1979. Denaturation of fish muscle proteins during frozen storage. In T.H. Grenby (ed.), Advances in sweeteners, pp.187-207. Glasgow: Chapman&Hall.
- Matsumoto, J.J., and Noguchi, S.F. 1992. Cryostabilization of protein in surimi. In T.C. Lanier; and C.M. Lee (eds.), Surimi Technology, pp. 357-388. New York: Marcel Dekker.
- Miyake, M., and Hayashi, K. 1956. Content of myosin fraction in fish muscle. Nippon Suisan Gakkaishi 22: 48-50.
- Morioka, K., Nishimura, T., Obatake, A., and Shimizu, Y. 1997. Relationship between the myofibrillar protein gel strengthening effect and the composition of sarcoplasmic proteins from Pacific mackerel. Fisheries Sci. 63(1): 111-114.
- Nakagawa, T., Nagayama, F., Ozaki, H., Watabe, S., and Hashimoto, K. 1989. Effect of glycolytic enzymes on the gel-forming ability of fish muscle. Nippon Suisan Gakkaishi 55: 1045-1050.
- Nakagawa, T., Watanabe, S., and Hashimoto, K. 1988. Electrophoretic analysis of sarcoplasmic proteins from fish muscle on polyacrylamide gels. Bull Japan Soc. Sci. Fish. 54: 993-998.
- Ni, S., Nozawa, H., and Seki, N. 1999. The combined effect of transglutaminase and protease inhibitors on the thermal gelation of actomyosin sol from carp and salmon muscles. Fisheries Sci. 65(4): 606-612.

- Niwa, E. 1992. Chemistry of surimi gelation. In T.C. Lanier; and C.M. Lee(eds.), Surimi Technology, pp. 389-427. New York: Marcel Dekker.
- Niwa, E., Nakayama, T., and Hamada, I. 1981. Effect of arylation for setting of muscle proteins. Agr. Biol. Chem. 46:341-344.
- Niwa, E., Suzuki, R., Sato, K., Nakayama, T., and Hamada, I. 1980. Setting of flesh sol induced by ethylsulfonylation. Nippon Suisan Gakkaishi 47: 915-919.
- Niwa, E., Suzumura, T., Nowsad, A., and Kaha, S. 1993. Setting of actomyosin paste containing few amounts of transglutaminase. Nippon Suisan Gakkaishi 59(12): 2043-2046.
- Noguchi, S. 1974. Studies on the control of denaturation of fish muscle proteins during frozen storage. SC PhD Thesis, Sophia. Tokyo. Cited in T.C. Lanier and C.M. Lee (eds.), Surimi Technology. New York: Marcel Dekker, 1992.
- Nowsad, A., Katoh, E., Kanoh, S., and Niwa, E. 1995. Effect of sarcoplasmic proteins on the setting of transglutaminase-free paste. Fisheries Sci. 61(6): 1039-1040.
- Ohshima, T., Suzuki, T., and Koizumi, C. 1993. New developments in surimi technology. Trend in Food Sci&Tech. 4: 157-163.
- Park, J.W. 1995. Surimi gels colors as affected by moisture content and physical conditions. J. Food Sci. 60(1): 15-18.
- Park, J.W. 2000. Ingredient technology and formulation development. In J.W. Park (ed.), Surimi and Surimi Seafood, pp. 343-391. New York: Marcel Dekker.
- Park, J.W., Lanier, T.C., and Green, D.P. 1988. Cryoprotective effects of sugar, polyols, and/or phosphates on Alaska Pollock surimi. J. Food Sci. 53(1): 1-3.
- Park, J.W., Lanier, T.C., Keeton, J.T., and Hamonn, D.D. 1987. Use of cryoprotectants to stabilize functional properties of prerigor salted beef during frozen. J. Food Sci. 52:537-542.
- Peterson, G.L. 1983. Determination of total protein. Methods Enzymol. 91: 95-119.
- Portmann, M.O., and Birch, G.G. 1996. Sweet taste and solution properties of α,α -trehalose as a new cryoprotectant sugar. In T.H. Grenby (ed.), Advances in sweeteners. Glasgow: Chapman&Hall.

- Reynolds, J., Park, J.W. and Choi, Y.J. 2002. Physicochemical properties of pacific whiting surimi as affected various freezing and storage condition. J. Food Sci. 67 (6): 2072-2078.
- Roos, Y.H. 1995. Food components and polymers. In Y.H. Roos (ed.), Phase Transition in Foods, pp. 149-156. San Diego: Academic Press.
- Roos, Y. and Karel, M. 1991. Water and molecular weight effects on glass transitions in amorphous carbohydrates and carbohydrate solution. J. Food Sci. 56(6): 1676-1681.
- Rosenthal, A.J. 1999. Food Texture Measurement and Proception. Maryland: A. Chapman&Hall Food Science Book.
- Samejima, K., Ishioroshi, M. and Yasui, T. 1981. Relative role of head and tail portions of the molecule on heat-induced gelation of myosin. J. Food Chem. 46: 1412-1418.
- Samejima, K., Ishioroshi, M., and Yasui, T. 1982. Heat induced gelling properties of actomyosin: Effect of tropomyosin and troponin. Agric Biol Chem. 46: 535-540.
- Santos-Yap En. E.M. 1996. Fish and seafood. In L.E. Jeremiah (ed.), Freezing Effects on Food Quality, pp. 109-133. New York: Marcel Dekker.
- Shenouda, S.Y.K. 1980. Theories of protein denaturation during frozen storage of fish flesh. Adv. Food Res. 26: 275.
- Shimizu, Y., Hosokawa, Y., and Simidu, W. 1962. Change in viscosity of fish muscle sol during heating. Carbohydrates as cryoprotectants for meats and surimi. 28: 616-622.
- Shimizu, Y., Machida, R. and Takenami, S. 1981. Species variation in the gel-forming characteristics of fish meat paste. Bull Japan Soc. Sci. Fish. 47: 95.
- Shimizu, Y., Nishioka, F., Machida, R., and Shiue, C.M. 1983. Gelation characteristics of salt-added myosin sol. Nippon Suisan Gakkaishi. 49: 1239-1243.
- Shimizu, Y., Toyohara, H., and Lanier, I.C. 1992. Surimi production from fatty and dark fleshed fish species. In T.C. Lanier; and C.M. Lee (eds.), Surimi Technology, pp.181-207. New York: Marcel Dekker.
- Sigurgisladdottir, S., Torrissen, O., Lie, O., Thomassen, M., and Hafsteinsson, H. 1997. Salmon quality: Method to determine the quality parameters. Rev Fish. Sci.

- 5: 1-30. Cited in นุชนารถ ททรัพย์พาณิชย์. เทคนิคการวัดเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์. วารสารจารย์พา (พ.ย.-ธ.ค.): 28-32, 2544.
- Sonu, S.C. 1986. Surimi. NOAA-TM-NMFS-SWR-013.US Government Printing Office, Washington, DC.
- Sperling, L.H. 1986. Introduction to Polymer Science. New York: John Wiley&Sons. Cited in Y.H. Roos (ed), Phase Transitions in Foods. San Diego: Academic Press, 1995.
- Spinelli, J., and Dassow, J. 1982. Fish protein: their modification and potential uses in the food industry. In C.E. Hebard; and D.R. Ward (eds.), Chemistry and Biochemistry of Marine Food Products, pp. 13-25. New York: AVI.
- Steffansson, G., and Hultin, H.O. 1994. On the solubility of cod muscle proteins in water. J. Agr. Food Chem. 42: 2656-2664.
- Suwansakornkul, P., Itoh, Y., Hara, S., and Obatake, A. 1993. The gel-forming characteristics of lizard fish. Nippon Suisan Gakkaishi 59(6): 1029-1037.
- Suzuki, T. 1981. Fish and Krill Protein: Processing Technology. London: Applied Science Publishers.
- Sych, J., Lacroix, C., Adambounou, L.T., and Castaigue, F. 1990. Cryoprotective effects of some materials on cod-surimi proteins during frozen storage. J. Food Sci. 55(5): 1222-1227.
- Sych, J., Lacroix, C., Adambounou, L.T., and Castaigue, F. 1991. The effect of low- or non- sweet additives on the stability of protein functional properties of frozen cod surimi. Int J Food Sci and Technol. 26: 185-197.
- Treloar, L.R.G. 1970. "Introduction to Polymer Science". New York: Springer Pub. Cited in MacDonald, G.A. and Lanier, T. Carbohydrates as cryoprotectants for meats and surimi. Food Technol, 1991.
- Tsukamasa, Y. and Shimizu, Y. 1989. The gel-forming properties of the dorsal muscle from *Clupeiformes* and *Salmonoidei*. Nippon Suisan Gakkaishi 55: 529-534.
- Ureda, T., Shimizu, Y., Simida, W. 1968. Species difference in fish muscle I. The gel forming ability of heated ground muscle. Nippon Suisan Gakkaishi 34: 357-361.
- Wan, J., Kimura, I. and Satake, M. 1995. Causes of inferior gel-forming ability of salmon surimi paste. Fisheries Sci. 61: 711-715.

- Webb, E.C. 1992. Enzyme Nomenclature 1992. Recommendations of the Nomenclature Committee of the International Union of Biochemistry and Molecular Biology on the Nomenclature and Classification of Enzymes. Academic Press, Inc. San Diego.
- Wesson, J.B., Lindsay, R.C., and Stuibler, D.A. 1979. Discrimination of fish and seafood quality by consumer populations. J. Food Sci. 44: 878.
- Wicker, L., Lanier, T.C., Hamann, D.D., and Akahane, T. 1986. Thermal transitions in myosin-ANS fluorescence and gel rigidity. J. Food Sci. 51:1540-1543.
- Yasui, T., and Samajima, K. 1990. Recent advances in meat science in Japan: Functionality of muscle proteins in gelation mechanism of structured meat products. Japan Agri Res Q. 24: 131-137.
- Yoon, K.S., and Lee, C.M. 1990. Cryoprotectant effects in surimi and surimi/mince based extruded products. J. Food Sci. 55(5): 1210-1216.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ก1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 1995)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 5 กรัม ใส่ลงในภาชนะสำหรับหาความชื้น (moisture content) ที่ผ่านการอบแห้งมาแล้ว
2. นำตัวอย่างไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 – 105 °C นานประมาณ 6 ชั่วโมง
3. นำออกจากตู้อบและทิ้งไว้ให้เย็น ในโถดูดความชื้น (desiccator) และชั่งน้ำหนัก
4. นำไปอบต่ออีกประมาณ 1 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่
5. คำนวณปริมาณความชื้นหรือน้ำหนักที่หายไป

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

ก2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (A.O.A.C., 1995)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อย ทำ blank โดยใช้ น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง
2. เติมคະตะลิสต์ประมาณ 1 กรัม และ sulfuric เข้มข้นจำนวน 20 มิลลิลิตร นำไปย่อยบนเตาย่อยจนตัวอย่างในฟาสก์เปลี่ยนเป็นสีเขียวอ่อน (ประมาณ 1 ชั่วโมง) ปลดปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น
3. เตรียมฟลาสก์ที่หยดอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด สำหรับรับสารกลั่นที่ปลาย condenser ของเครื่องกลั่น
4. นำหลอดตัวอย่างที่ผ่านการย่อยต่อเข้ากับเครื่องกลั่น โดยตั้งค่าสภาวะการกลั่นใช้สารละลาย NaOH 40% 65 ml., boric acid 70 ml. และน้ำ 50 ml. ใช้เวลาในการกลั่น 4 นาที (สารละลายที่กลั่นได้จะมีสีเขียว)
5. ล้างส่วนปลาย condenser ด้วยน้ำกลั่นใส่ลงในขวดรับสารที่กลั่น นำสารละลายทั้งหมดไปไตเตรทกับ hydrochloric acid ความเข้มข้น 0.1 N จนได้จุดยุติเป็นสีชมพู
6. คำนวณหาปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีน

$$\text{ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด} = \frac{(V_a - V_b) \times N \times 14/100 \times 100}{g. \text{ sample}}$$

g. sample

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{(V_a - V_b) \times N \times 14/100 \times 100 \times CF}{g. \text{ sample}}$$

g. sample

กำหนดให้

V_a = ปริมาตรของ hydrochloric acid ที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง

V_b = ปริมาตรของ hydrochloric acid ที่ใช้ไตเตรท blank

N = normality หรือความเข้มข้นของ hydrochloric acid ที่ใช้ไตเตรท

14 = น้ำหนักโมเลกุลของไนโตรเจน

CF = conversion factor สำหรับเปลี่ยนไนโตรเจนให้เป็นโปรตีน (6.25)

ก3. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (A.O.A.C, 1995)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งประมาณ 5 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1
2. ใส่ตัวอย่างใน timble ปิดด้วยสำลีที่สกัดเอาไขมันออกแล้ว (defatted cotton wool)
3. ใส่ timble ลงในชุดแยกสกัด (extraction unit) ของเครื่องวิเคราะห์ เต็มปิโตรเลียมอีเธอร์ประมาณ 250 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นแบนหรือ soxhlet flask แล้วต่อเข้าชุดสกัด ใช้เวลาสกัดไขมันนาน 6 – 8 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาระเหยเอาปิโตรเลียมอีเธอร์ออกจนหมด
4. นำ soxhlet flask ไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C นานประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น
5. ชั่งน้ำหนักน้ำมันที่ได้จากการสกัด คำนวณหาปริมาณไขมัน

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันที่สกัดได้ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

ก4. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าทั้งหมด (A.O.A.C., 1995)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนจำนวน 5 กรัม ใสใน crucible ที่ผ่านการเผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว
2. เผาตัวอย่างด้วย hot plate จนกระทั่งตัวอย่างไม่มีควัน

3. เผาตัวอย่างต่อในเตาเผาเถ้าที่อุณหภูมิ 500 – 550 °C นาน 4 ชั่วโมงหรือจนกระทั่งได้เถ้าสีขาว ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
4. ชั่งน้ำหนักเถ้าเพื่อคำนวณหาปริมาณเถ้า

$$\text{ปริมาณเถ้าทั้งหมด} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้าหลังเผา (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

ก5. การสกัดโปรตีน (Ni, Nozawa และ Seki, 1995)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างหนัก 0.4 กรัม ใส่ลงในสารละลายสกัดโปรตีน (SDS 2%, urea 8 M, Tris-HCl 20 mM, 2-mercaptoethanol 2%; pH 8) ปริมาตร 7.5 ml. ให้ความร้อนที่ 100 °C เป็นเวลา 3 นาที
2. เขย่าด้วย See-saw shaker ซ้ำมคีน
3. ทำ dialysis สารละลายโปรตีนด้วย dialysis solution (SDS 1%, Tris-HCl 10 mM; pH 6.8) ซ้ำมคีน จะได้สารละลายโปรตีนสกัด

ก6. การหาความเข้มข้นสารละลายโปรตีน (Peterson, 1983)

วิธีทดลอง

1. สารละลายโปรตีนที่เจือจางด้วยน้ำกลั่น (1:100) 1 ml. เติมสารละลาย DOC 0.15% ปริมาตร 0.1 ml. เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 10 นาที
2. เติม TCA 72% ปริมาตร 0.1 ml. เขย่าให้เข้ากัน
3. บั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 3000 x g เป็นเวลา 15 นาที
4. เทส่วนใสทิ้ง ซับด้วยกระดาษทิชชู
5. เติม reagent C (reagent A* + reagent B*) ปริมาตร 2.5 ml. เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 10 นาที ให้ทำ blank โดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง
6. เติม Folin reagent (เจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:5) ปริมาตร 0.25 ml. สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีฟ้า ทิ้งไว้ 30 นาที
7. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร
8. คำนวณความเข้มข้นสารละลายโปรตีน

$$\text{ความเข้มข้นสารละลายโปรตีน (mg/ml)} = \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสง} \times V_a \times 1/100}{S_{\text{BSA}} \text{ (ml/}\mu\text{g)} \times V_b}$$

$$S_{\text{BSA}} \text{ (ml/}\mu\text{g)} \times V_b$$

เมื่อ S_{BSA} = slope ของ standard curve ที่เตรียมจากสารละลาย Bovine serum albumin

V_a = ปริมาตรรวมของสารละลายโปรตีนที่เจือจางด้วยน้ำกลั่น

V_b = ปริมาตรรวมของสารละลายโปรตีนก่อนเจือจาง

หมายเหตุ * reagent A = Na_2CO_3 2% ใน NaOH 0.1 N

reagent B = $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0.5% ใน Potassium sodium tartrate 1%

ก7. SDS-Polyacrylamide Gel Electrophoresis (Bollag, Rozycki และ Edelstein, 1996)

1. ผสมสารละลายโปรตีนสกัดกับ sample buffer (Tris-HCl 60 mM pH 6.8 , glycerol 25%, SDS 2%, 2-mercaptoethanol 14.4 mM, bromophenol blue 0.1%)
2. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ $100^\circ C$ เป็นเวลา 3 นาที
3. ประกอบแผ่นเจลอะคริลลาไมด์สำเร็จรูปเข้ากับเครื่อง run electrophoresis ที่เติม electrophoresis buffer (Tris-HCl 25 mM, glycine 192 mM, SDS 2%) ไว้แล้ว
4. ใช้ micro syringe load ตัวอย่างลงใน well ให้ความเข้มข้นของโปรตีน $10 \mu g$
5. เปิดเครื่อง run electrophoresis ใช้เวลาประมาณ 30 นาที สิ้นสุดการ run
6. ย้อมสีแผ่นเจลอะคริลลาไมด์ด้วย staining solution (Coomassie blue 0.001%, methanol 45%, acetic acid 10%, DI water) นาน 30 นาที
7. Destain ด้วย gel destain (methanol 10%, acetic acid 10%, DI water) 2-3 ครั้ง จนแผ่นเจลอะคริลลาไมด์ใสและเห็น electrophoresis patterns ชัดเจน

ภาคผนวก ข

ข1. วัดเนื้อสัมผัส

วิธีใช้เครื่อง

1. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และเข้าไปโปรแกรม Texture expert
2. เข้า menu TA เลือก calibrate force และ calibrate โดยใช้ตุ้มน้ำหนัก 5 kg.
3. เข้า menu TA เลือก TA setting ตั้งค่าต่าง ๆ ดังนี้

Test Mode and Option T.P.A.

Parameter

Pre Test Speed: 1.0 mm/s
Test Speed: 1.0 mm/s
Post Test Speed: 1.0 mm/s
Distance: 75%
Time: 3 sec.

Trigger

Type: Auto
Force: 10 g
Step plot at Final
Auto Tare: x

Break

Detect: off

Units

Force: Grams
Distance: % strain

4. สร้างสูตร เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าต่าง ๆ (TPA มีสูตรให้ไว้ในโปรแกรมแล้ว)
5. ใส่หัว P100 เข้ากับตัวเครื่อง
6. เข้า menu TA เลือก calibrate probe ตั้งค่าความสูงที่ให้ probe คืบกลับไว้ที่ 35 mm.
7. วัดเนื้อสัมผัสโดยนำตัวอย่างวางบนแท่น เข้า menu TA เลือก run a test กรอกข้อมูลรายละเอียดตัวอย่าง ระบุชนิดของหัววัด และเลือกช่อง run macro เพื่อให้โปรแกรมคำนวณค่าที่ต้องการอัตโนมัติ



ข2. วัดสี

วิธีใช้เครื่อง

1. เลื่อนสวิตช์ Power On พร้อมกับกดปุ่ม all data clear
2. กดปุ่ม INDEX SET
3. เลือกแหล่งแสง D₆₅ แล้วกดปุ่ม ENTER
4. กดปุ่ม calibrate เพื่อป้อนค่า Y,x,y ที่ระบุไว้ในแผ่น calibrate ตามชนิดแหล่งแสงที่เลือกใช้
5. นำหัววัดวางบนแผ่น calibrate กดปุ่ม measure เครื่องจะทำการ calibrate และจะมีแสงกระพริบ 3 ครั้ง เป็นการเสร็จสิ้นการ calibrate
6. กดปุ่ม color space select เพื่อเลือกระบบสีที่ต้องการ
7. วัดตัวอย่างโดยกดปุ่ม measure
8. ถ้าต้องการวิเคราะห์ทางสถิติ กดปุ่ม STAT เครื่องจะแสดงค่า Max, Min, Mean และ SD

ข3. การหาปริมาณความชื้นด้วยเครื่อง moisture analyzer (Sartorius, MA-30)

วิธีการ

1. เสียบปลั๊ก หน้าจอ LCD บนเครื่องจะปรากฏสัญลักษณ์ 
2. กดปุ่ม On/Off
3. เมื่อปรากฏอักษร "TAR" set zero โดยวางถาดอลูมิเนียมเปล่าที่ผ่านการอบแห้งลงบนเครื่องและกด "Enter" (ถ้าไม่ปรากฏ 0.000 กรัม ให้กด "CF" แล้วตามด้วย "Enter")
4. ใส่ตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์หาความชื้นบนถาดอลูมิเนียม กระจายตัวอย่างให้สม่ำเสมอ ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ต้องมีน้ำหนักมากกว่า 96 มิลลิกรัม
5. ปิดฝาเครื่องเพิ่มเริ่มวิเคราะห์หาความชื้น (ขณะเครื่องทำงานจะปรากฏ "  "

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

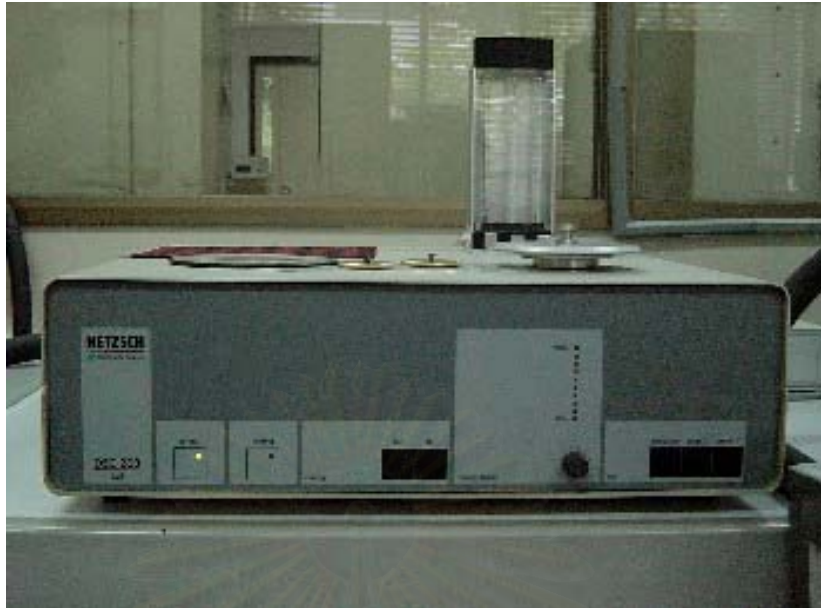
ภาคผนวก ค



ค1. เครื่องบีบอัดไฮดรอลิก



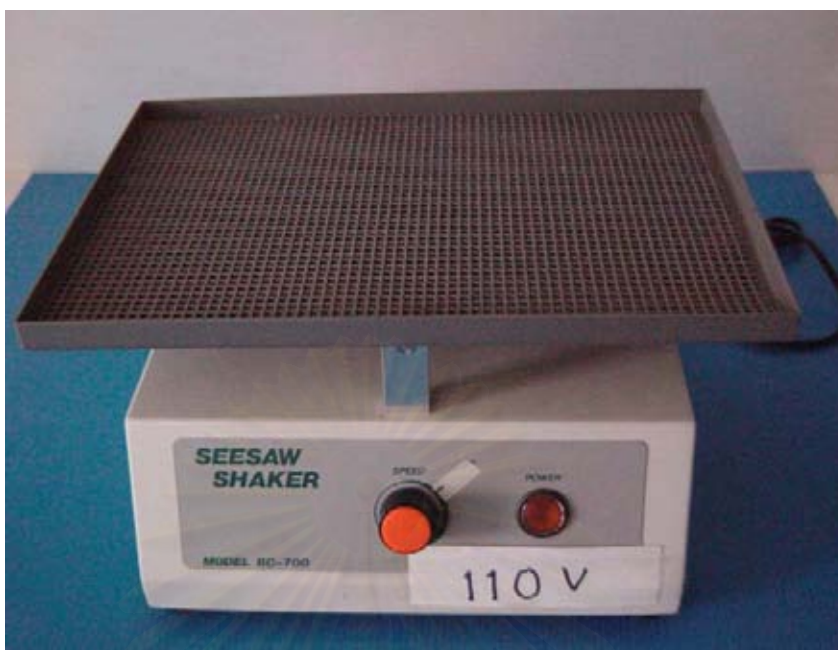
ค2. เครื่องวัดเนื้อสัมผัสพร้อมหัววัด P100



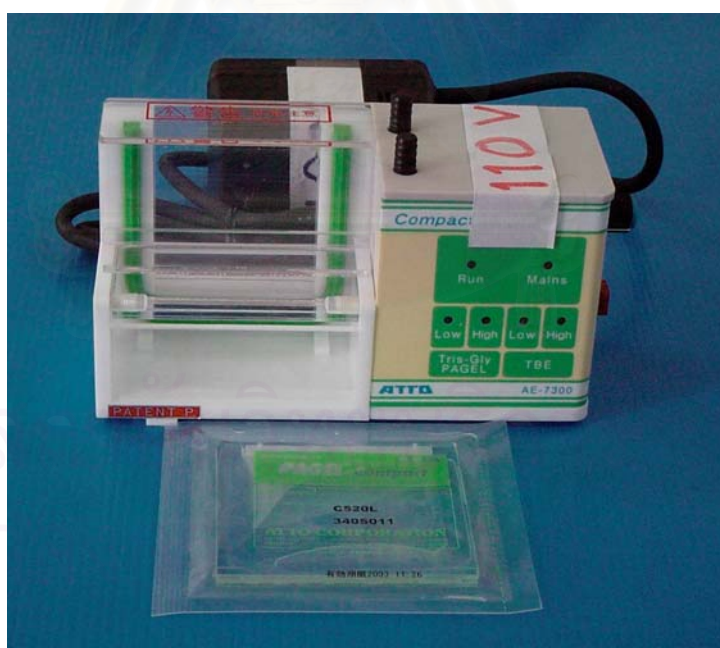
ค3. เครื่อง DSC



ค4. เครื่องปิดฝืนัก aluminum pans



ค5. See-saw shaker



ค6. เครื่อง run electrophoresis (Compact PAGE) พร้อมแผ่นเจลอะคริลลาไมด์สำเร็จรูป

ภาคผนวก ง

แบบประเมินทางประสาทสัมผัสสมาธิโยคะ

SCORING TEST DESCRIPTIVE ANALYSIS

ชื่อผู้ทดสอบ.....อายุ.....เพศ.....วันที่.....

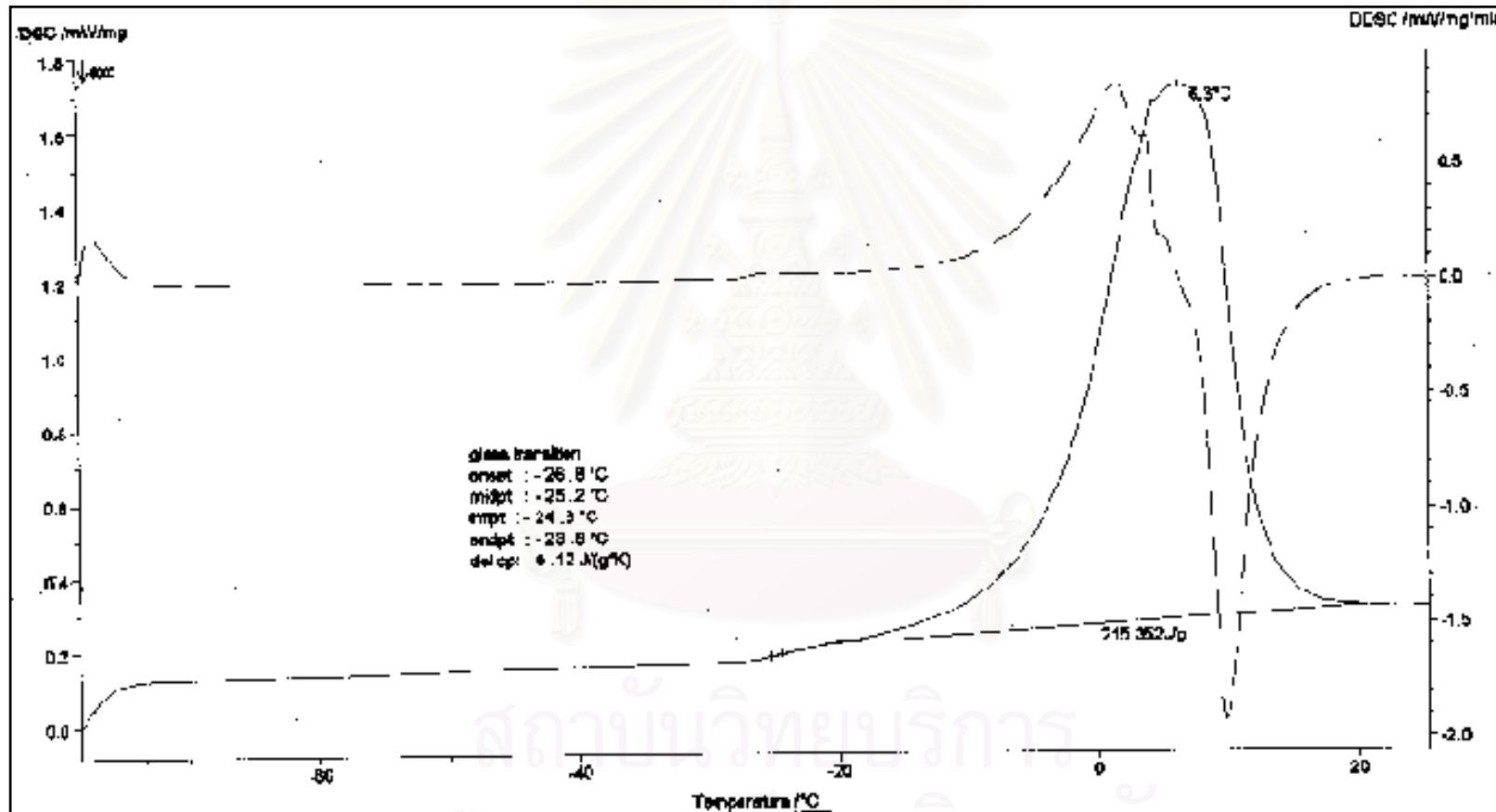
โปรดพิจารณาประเมินตัวอย่างสมาธิโยคะโดยชิมตัวอย่างตามลำดับที่ให้ไว้ แล้วให้คะแนนตามเกณฑ์ที่กำหนด

ลักษณะที่ประเมิน	คะแนน			
1. ลักษณะปรากฏ ความขาว 1 - 3 ค่อนข้างคล้ำ 4 - 6 ขาวปนเหลืองมาก 7 - 9 ขาวปนเหลืองน้อย				
2. เนื้อสัมผัส ความเหนียวและยืดหยุ่น 1 - 3 นิ่ม และหรือเหนียวมากเกินไป 4 - 6 เหนียวและยืดหยุ่นดีพอควร 7 - 9 เหนียวและยืดหยุ่นดีมาก				
3. รสชาติ กลิ่นรสแปลกปลอม 1 - 3 กลิ่นรสแปลกปลอมมาก 4 - 6 กลิ่นรสแปลกปลอมเล็กน้อย 7 - 9 ไม่มีกลิ่นรสแปลกปลอม				
4. การยอมรับโดยรวม 1 - 3 ไม่ชอบมากที่สุด, ไม่ชอบมาก, ไม่ชอบปานกลาง 4 - 6 ไม่ชอบเล็กน้อย, เฉย ๆ, ชอบเล็กน้อย 7 - 9 ชอบปานกลาง, ชอบมาก, ชอบมากที่สุด				

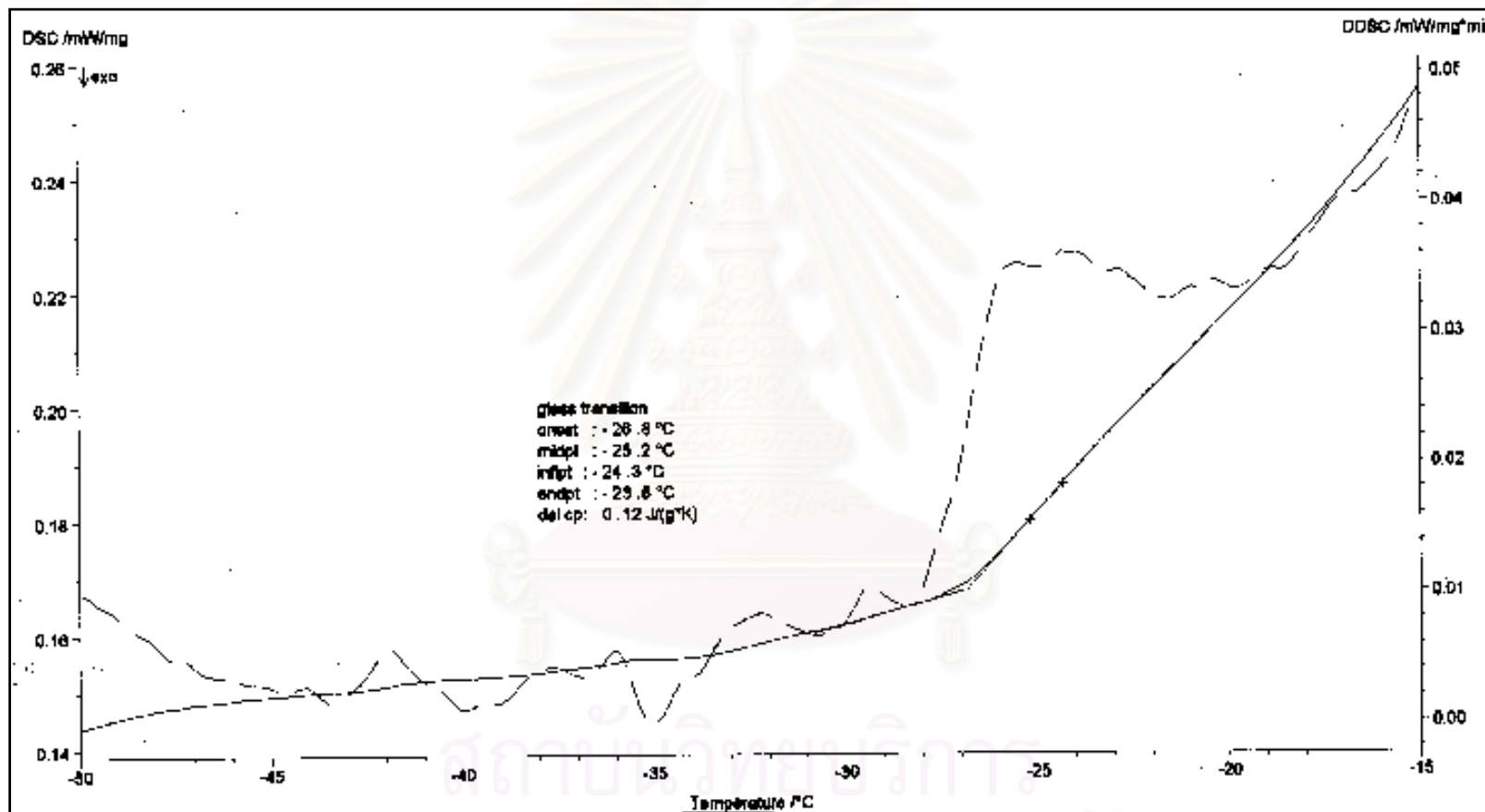
ข้อเสนอนี้.....

ขอบคุณค่ะ

ภาคผนวก จ



จ1. ตัวอย่าง DSC curve



จ2. DSC curve ณ จุด Tg'

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเขมวัลย์ เพชรฤทธิ เกิดวันที่ 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดตรัง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2542 เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2543



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย