

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงค่าความเหนียวของเจลของซูริมิจากปลานิล

GEL STRENGTH IMPROVEMENT OF SURIMI FROM
TILAPIA NILOTICA.



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

ISBN 974 - 9680 - 12 - X

ฉพ.

๘๘/๘ ก

๒๕๔๗

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 51087

วัน,เดือน,ปี - 2 ก.ค. 2547

ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารฉบับนี้

b. ๗ ๑๑๖๘ 1๕๕๖
i.

**GEL STRENGTH IMPROVEMENT OF SURIMI FROM
TILAPIA NILOTICA.**



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

2004

ISBN 974 – 9680 – 12 – X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงค่าความเหนียวของเจลของซูริมิจากปลานิล
นักศึกษา	นางสาวสุนิสา ภูรินทร์
รหัสประจำตัว	43066003
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ระดิพร หาเรือนกิจ

บทคัดย่อ

การปรับปรุงความแข็งแรงของเจลซูริมิจากปลานิลโดยการให้ความร้อน 3 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 ให้ความร้อน 90 องศาเซลเซียส 30 นาที รูปแบบที่ 2 การให้เซ็ทตัวที่อุณหภูมิห้อง และ ให้ความร้อน 90 องศาเซลเซียส 20 นาที และรูปแบบที่ 3 ให้ความร้อนที่ 40 องศาเซลเซียส 5,10,15, 20 นาทีและ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที พบว่าการให้ความร้อนที่ 2 ระดับคือ 40 องศาเซลเซียส 20 นาทีและ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลสูงสุด ผลของการทดลองเติมไข่ขาวผงก่อนและหลังการแช่เยือกแข็งพบว่าการเติมไข่ขาวผงหลังการแช่เยือกแข็งให้ค่าความแข็งแรงของเจลสูงกว่าไข่ขาวผงก่อนการแช่เยือกแข็ง ผลของการเติมสารเสริมอาหาร 5 ชนิด เพื่อเพิ่มค่าความแข็งแรงของเจล คือ โปรตีนไข่ขาวผง 3 %, โปรตีนหางนมเข้มข้น , โปรตีนถั่วเหลือง, โปแตสเซียมโบรเมต และโซเดียมแอสคอร์เบต พบว่าซูริมิปลานิลมีค่าความแข็งแรงของเจลสูงสุดเมื่อเติมโปรตีนไข่ขาวผง 3 %, โปรตีนถั่วเหลือง 4 %, โปแตสเซียมโบรเมตที่ระดับ 0.2 % และโซเดียมแอสคอร์เบตที่ระดับ 0.25 % สำหรับโปรตีนหางนมที่ระดับ 1 – 7% ทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในการใช้โปรตีนไข่ขาวผงที่ระดับ 3 % ร่วมกับโปแตสเซียมโบรเมตที่ระดับ 0.2 % ทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลสูงสุด

Thesis Title	Gel Strength improvement of Surimi from <i>Tilapia nilotica</i> .
Student	Miss Sunisa Phummarin
Student ID.	43066003
Degree	Master of Science
Programme	Food Science
Year	2004
Thesis advisor	Assist. Prof. Dr. Ratiporn Haruenkit

ABSTRACT

Gel Strength improvement of Surimi from *Tilapia nilotica* by used of 3 heat treatments, these include the first treatment was heating at 90 °c for 30 min, the second treatment treatment was setting at room temperature followed by 90 °c for 20 min and the last treatment was heating at 40 °c for 5, 10, 15, 20 min followed by 90 °c for 20 min. It was found that two – step heating, 40 °c for 20 min followed by 90 °c for 20 min produced the highest gel strength values. The results of adding egg white protein before and after freezing was adding egg white protein after freezing produced the highest gel strength values. The effects of adding 5 types of food additives , which proposed to increase gel strength value of surimi, as follows egg white protein, whey protein concentrate, soy protein isolate, potassium bromate and sodium ascorbate were studied. It was found that surimi had the highest gel strength values by adding level of egg white protein at 3%, soy protein isolate at 4%, potassium bromate at 0.2% and sodium ascorbate at 0.25% respectively. No significant effects of whey protein concentrate were found at any concentration used. (P>0.05) The highest gel strength was obtained using egg white protein 3% combined with 0.2% of potassium bromate.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ ที่ได้เกียรติเป็นอาจารย์ผู้ควบคุม วิทยานิพนธ์ รวมทั้งกรุณาให้ความรู้ ขอบคิดเห็น คำแนะนำและคำปรึกษาต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่ ข้าพเจ้าในการทำวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนสำเร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร. พอใจ งามากร และ ผศ. เขียวลักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์ ที่ได้ให้เกียรติเป็น คณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ช่วยตรวจสอบ และแก้ไข รวมทั้งให้คำแนะนำจน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ในด้านวิทยาศาสตร์ การอาหาร ให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ช่างเทคนิค และเจ้าหน้าที่ของโครงการคณะ อุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ปริญญาโท ที่เป็นกำลังใจให้กันและกัน และให้ความ ช่วยเหลือกันด้วยดีตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และญาติพี่น้องทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนและให้ กำลังใจตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

สุนิสา ภูรินทร์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 นิยามของซูริมิและผลิตภัณฑ์จากซูริมิ.....	3
2.2 ปลาชนิด.....	6
2.3 โปรตีนจากกล้ามเนื้อปลา.....	7
2.4 พันธะภายในและระหว่างโมเลกุล.....	8
2.5 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน.....	11
2.6 เจลของโปรตีนปลา.....	12
2.7 กระบวนการผลิตซูริมิ.....	16
2.8 การใช้สารเสริมอาหาร (Food additives) ในการปรับปรุงความแข็งแรงของเจลซูริมิ.....	17
2.9 การวัดค่าเนื้อสัมผัส.....	23
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ.....	25
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี.....	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 อุปกรณ์ในการผลิต.....	25
3.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์.....	26
3.4 สถานที่ดำเนินงาน	26
3.5 วิธีการทดลอง.....	26
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	30
4.1 ผลการศึกษาการให้ความร้อนแก่ซูริมิที่มีต่อค่าความแข็งแรงของเจลของซูริมิ ปลานิล.....	30
4.2 ผลของการศึกษาการเติมสารอาหาร ในซูริมิปลานิลก่อนและหลังการแช่เยือก แข็งต่อค่าความแข็งแรงของเจล.....	32
4.3 ผลของการศึกษาการใช้สารเสริมอาหารชนิดต่าง ๆ ในการทำให้เกิด ค่าความ แข็งแรงของเจลสูงสุด.....	33
4.4 ผลของการศึกษาการใช้ สารเสริมอาหารร่วมกันเพื่อเสริมค่าความแข็งแรงของ เจลของซูริมิปลานิล.....	38
4.5 การตรวจสอบคุณภาพของซูริมิ.....	39
4.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัสที่มีต่อซูริมิปลานิล.....	42
4.7 การคำนวณ Yield ของซูริมิปลานิล.....	43
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	44
ข้อเสนอแนะ.....	46
บรรณานุกรม.....	47
ภาคผนวก	
ก. กระบวนการผลิตซูริมิปลานิลและการผลิตลูกชิ้นปลา.....	48
ข. วิธีการตรวจสอบคุณภาพของซูริมิ.....	52
ค. การทดสอบทางประสาทสัมผัส.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา แลvต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
จ. ตารางการวิเคราะห์ทางสถิติ.....	61
ประวัติผู้เขียน.....	68



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงผลของ โปแตสเซียม โบรเมตต่อการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ในซูริมิโซลที่เตรียมจาก Pacific Whiting.....	21
4.1 คะแนนการทดสอบด้วยการพับ.....	40
4.2 แสดงค่า L^* ค่าความขาว เปอร์เซ็นต์ความชื้นและค่า pH ของเจลซูริมิปลานิล	41
4.3 คะแนนที่ได้จากการทดสอบโดยการกัด (Teeth Cutting test) เจลซูริมิปลานิล	42
4.4 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อซูริมิปลานิล	42
4.5 ค่าการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลานิล	43
ง.1 แสดงการผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่าแรงกด ค่าระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตกและความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน.....	61
ง.2 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าแรงกด ค่าระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตกและความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติมโปรตีนไข่ขาวผงก่อนและหลังการแช่เยือกแข็ง	62
ง.3 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าแรงกด ค่าระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตก และความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติมโปรตีนไข่ขาวผงระดับต่าง ๆ กัน.....	62
ง.4 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าแรงกด ค่าระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตก และความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติมโปรตีนหางนมเข้มข้นระดับต่าง ๆ กัน.....	63
ง.5 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าแรงกด ค่าระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตก และความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติมโปรตีนถั่วเหลืองระดับต่าง ๆ กัน.....	63
ง.6 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าแรงกด ค่าระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตก และความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติม โปแตสเซียม โบรเมตระดับต่าง ๆ กัน.....	64
ง.7 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าแรงกด ค่าระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตก และความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติม โซเดียมแอสคอร์เบตระดับต่าง ๆ กัน.....	64
ง.8 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าแรงกด ค่าระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตก และความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติมสารเสริมอาหารระดับต่าง ๆ ร่วมกัน.....	65
ง.9 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน.....	65

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง.10 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติมโปรตีนไข่ขาวผง ก่อนและหลังการแช่เยือกแข็ง.....	66
ง.11 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติมโปรตีนไข่ขาวผงระดับต่าง ๆ กัน.....	66
ง.12 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติมโปรตีนหางนมระดับต่าง ๆ กัน.....	66
ง.13 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติมโปรตีนถั่วเหลืองระดับต่าง ๆ กัน.....	66
ง.14 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติมโปรตีนถั่วเขียวโบรเมตระดับต่าง ๆ กัน.....	67
ง.15 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติมโซเดียมแอสคอร์เบตระดับต่าง ๆ กัน.....	67
ง.16 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติมสารเสริมอาหารระดับต่าง ๆ ร่วมกัน.....	67

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ปลานิล.....	6
2.2 โครงสร้างของโปรตีนไม โอซินและหน่วยย่อย (sub fragment) ต่าง ๆ.....	8
2.3 พันธะที่สามารถเกิดขึ้นได้ระหว่างกระบวนการแปรรูป.....	9
2.4 การแลกเปลี่ยนหมู่ซัลไฮดริลและพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างโมเลกุลของโปรตีน....	11
2.5 จำนวนพันธะระหว่างโมเลกุลโปรตีนต่อการเกิดโครงร่างตาข่าย 3 มิติ.....	13
2.6 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของโซลของซูริมิในระยะต่าง ๆ ขณะให้ความร้อน.....	16
2.7 ขั้นตอนของการผลิตซูริมิ.....	17
2.8 แบบจำลองการละลายของ โปรตีนไม โอไฟบริลลาร์ในสารละลายเกลือ.....	18
4.1 ค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ กัน.....	30
4.2 ค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติม โปรตีน ไข่ขาวผง 1% ก่อนและหลังการแช่เยือกแข็ง.....	32
4.3 ค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติม โปรตีน ไข่ขาวผงบดต่าง ๆ กัน.....	33
4.4 ค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติม โปรตีนหางนมระดับต่าง ๆ กัน.....	34
4.5 ค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติม โปรตีนถั่วเหลืองระดับต่าง ๆ กัน.....	35
4.6 ค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติม โปรตีนเต้าหู้ระดับต่าง ๆ กัน.....	36
4.7 ค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติม โซเดียมแอสคอร์เบตระดับต่าง ๆ กัน.....	37
4.8 ค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติมสารเสริมอาหารระดับต่าง ๆ ร่วมกัน.....	38
ก.1 ขั้นตอนการเตรียมซูริมิจากปลานิล.....	48
ก.2 เนื้อปลานิลที่ผ่านการลอกหนังแล้ว.....	49
ก.3 เครื่องบดสับเนื้อ.....	49
ก.4 เครื่องบดเนื้อ.....	49
ก.5 เครื่องบีบน้ำ.....	50

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก.6 เครื่องบีบซูริมิ.....	50
ก.7 ขั้นตอนการเตรียมลูกชิ้น โดยใช้ซูริมิจากปลานิล.....	51
ข.1 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) และหัววัด	53
ข.2 การวัดค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิล.....	54
ข.3 การทดสอบการพับเจลซูริมิปลานิลด้วยการพับครึ่งและพับสี่ส่วน.....	54
ข.4 เครื่องวัดสี.....	55



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สัตว์น้ำโดยเฉพาะปลาน้ำจืดเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่สำคัญของมนุษย์ แต่ด้วยเหตุผลหลายประการยังคงพบว่ามีปลาหลายชนิดที่ไม่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค ดังจะเห็นว่ามีปลาเพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้นที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง จึงได้มีการพิจารณาเพื่อแสวงหาแนวทางเพิ่มการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจแก่ ปลาที่มีการใช้ประโยชน์ต่ำหรือเศษเหลือจากกระบวนการผลิตที่ยังคงมีคุณภาพในระดับที่สามารถใช้ผลิตอาหารได้ เช่น เนื้อปลาที่ติดกับก้างปลาจากขั้นตอนการแล่ เป็นต้น ซูริมิเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่สามารถเพิ่มแนวทางการใช้ประโยชน์จากปลาตามวัตถุประสงค์ดังกล่าวได้ ทั้งยังสามารถนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ได้อีกหลากหลายชนิด แต่เนื่องจากคุณลักษณะที่สำคัญของซูริมิคือการมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดี ได้แก่ ความสามารถในการเกิดเจล ซึ่งส่วนประกอบหลักที่จะทำให้ซูริมามีความสามารถในการเกิดเจลที่ดี นั้นคือโปรตีน โดยทั่วไปโปรตีนมักเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติได้ง่าย จากภาวะแวดล้อมภายนอก เช่น อุณหภูมิสูง การจัดการหลังการจับปลาที่ไม่ถูกต้อง กิจกรรมของเอนไซม์และจุลินทรีย์ เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงมีการศึกษาถึงวิธีการที่จะส่งเสริมหรือเพิ่มความสามารถในการเกิดเจลของซูริมิ เช่น การเติมส่วนผสมที่ช่วยในการสกัด โปรตีนและสร้างโครงสร้างร่างแหของโปรตีน และส่วนผสมที่ช่วยเสริมความแข็งแรงของเจล สำหรับปลานิลเป็นปลาจำพวกกินพืชเป็นอาหาร เลี้ยงง่ายมีรสชาติของเนื้อดีเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว มีโปรตีนสูง และราคาค่อนข้างถูกเมื่อเปรียบเทียบกับราคาของเนื้อสัตว์ชนิดอื่น ๆ มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด สามารถประกอบเป็นอาหารได้หลายอย่าง ในส่วนของการแปรรูปปลานิลให้คุณภาพเจลที่ดีกว่าปลาบางชนิด เหมาะสมต่อการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำที่มีมูลค่าสูงและส่งจำหน่ายต่างประเทศ (พิมพ์ใจ, 2541)

การวิจัยครั้งนี้จึงเกี่ยวข้องกับการหาวิธีหรือส่วนผสมจำพวกสารเสริมอาหาร (Food additives) เพื่อช่วยเพิ่มค่าความแข็งแรงของเจล (Gel strength) ซูริมิปลานิลเพื่อให้ได้ซูริมิที่มีคุณภาพดี

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของการให้ความร้อน ในการปรับปรุงค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิต
2. ศึกษาผลของการเติมสารเสริมอาหารในซูริมิปลานิตก่อนและหลังการแช่เยือกแข็งต่อค่าความแข็งแรงของเจล
3. ศึกษาระดับที่เหมาะสมของการเติมสารเสริมอาหาร 2 กลุ่ม คือ กลุ่มโปรตีนจากแหล่งอื่น และกลุ่มสารออกซิแดนซ์ ลงในซูริมิปลานิตเพื่อทำให้เกิดค่าความแข็งแรงของเจลสูงสุด
4. ศึกษาผลของการใช้สารเสริมอาหารร่วมกันระหว่างกลุ่มโปรตีนจากแหล่งอื่นกับกลุ่มสารออกซิแดนซ์ เพื่อเพิ่มค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิต
5. ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อซูริมิปลานิตที่มีค่าความแข็งแรงของเจลสูงสุด

1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงผลของการให้ความร้อนและการใช้สารเสริมอาหารประเภทต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิต รวมทั้งการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อซูริมิปลานิต

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ปรับปรุงคุณภาพของซูริมิปลานิตให้มีเจลที่แข็งแรง สามารถมีคุณภาพเทียบเท่ากับซูริมิปลาทะเลที่ใช้ในทางการค้า เพื่อเป็นแหล่งของซูริมิ ในการใช้เป็นวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์เลียนแบบ (analog products) และผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปหลายชนิด เช่น เนื้อปูเทียม ลูกชิ้น ทอดมัน ไส้กรอก เบอร์เกอร์ปลา เป็นต้น อีกทั้งยังเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ คือมีส่วนของโปรตีนสูงมาก และไขมันต่ำ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ควรปรับปรุงคุณภาพให้เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค และสามารถนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้สำหรับการผลิตในระดับอุตสาหกรรมได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยามของซูริมิและผลิตภัณฑ์จากซูริมิ

ซูริมิ (Surimi) หรือเนื้อปลาบด หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำปลาสดที่ผ่านการตัดหัวควักไส้ ผ่านกรรมวิธี แยกเนื้อปลาแล้วบด จากนั้นนำเนื้อปลามาล้าง ผ่านกรรมวิธีบีบน้ำแล้วผสมกับวัตถุเจือปนอาหาร นวดให้เข้ากันและเหนียว ทำเป็นก้อนรูปสี่เหลี่ยมหรือรูปอื่น ๆ นำไปผ่านกรรมวิธีเยือกแข็งโดยให้มีระยะเวลาการเกิดผลึกน้ำแข็งอย่างรวดเร็ว แล้วจึงลดอุณหภูมิที่บริเวณจุดกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์ให้ต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงนำไปเก็บรักษาโดยควบคุมอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ไว้ที่ -18 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่าให้สม่ำเสมอตลอดเวลา (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2533)

ซูริมิ คือ เนื้อปลาบดที่ผ่านการล้าง (washing) และสะเด็ดน้ำ (dewatering) เพื่อกำจัดซาร์โคพลาสมิคโปรตีน (sarcoplasmic proteins) และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) ออกเพื่อทำให้โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ (myofibrillar proteins) เข้มข้นมากขึ้น เหตุผลหลักในการกำจัดซาร์โคพลาสมิคโปรตีนคือ โปรตีนเหล่านี้ไม่มีคุณสมบัติในการเกิดเจล นอกจากนี้เอนไซม์ที่อยู่ในเซลล์กล้ามเนื้อโดยเฉพาะ โปรตีนเนส (proteinase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สามารถเร่งการย่อยสลายโปรตีนและโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นต่อการเกิดเจลได้ จึงทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของซูริมิที่ปนเปื้อนด้วยเอนไซม์ชนิดนี้ไม่มีความเหนียวยืดหยุ่น และมีคุณภาพต่ำ (จิรวัดน์ ยงสวัสดิกุล , 2541)

ซูริมิเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อปลาบดที่ผ่านการล้างน้ำทำให้มีสีค่อนข้างขาว และลคกลิ้นควาปลา มีคุณสมบัติเด่นในการเกิดเจลที่ให้ความเหนียวและยืดหยุ่น ซูริมิเป็นผลิตภัณฑ์มัธยันต์ (intermediate product) กล่าวคือ ซูริมิจะถูกนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปได้มากมาย เช่น เนื้อปูเทียม ลูกชิ้น ทอดมัน ไส้กรอก fish burger เป็นต้น หรือเรียกรวมว่า “surimi-based product” (วรรณวิบูลย์ กาญจนกฤษกร , 2533)

ซูริมิ คือ เนื้อปลาบดที่ผ่านการล้างและสะเด็ดน้ำ เพื่อแยกเอาส่วนประกอบที่ไม่ต้องการออก เช่น ไขมัน และ โปรตีนที่ไม่มีคุณสมบัติในการเกิดเจล ทำให้โปรตีนที่มีคุณสมบัติในการเกิดเจลเข้มข้นสูงขึ้น เมื่อได้รับความร้อน ซูริมิที่มีคุณภาพดีจะให้เจลที่มีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นสูง จึงสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารได้มากมายหลายอย่าง เช่น

ลูกชิ้น ไส้กรอก ปลาเส้น เนื้อหอยเทียม เนื้อกุ้งเทียม และเนื้อปูเทียมหรือปูอัด เป็นต้น (สุวรรณ วิรัชกุล, 2543)

ผลิตภัณฑ์จากซูริมิ (Surimi – based product) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำซูริมิแช่เยือกแข็งที่ผ่านการละลายอย่างไม่สมบูรณ์ (Tempering) หรือซูริมิสดสับผสมกับเกลือในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อละลาย โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ พร้อม ๆ กับการเติมส่วนผสมอื่น ๆ ที่ต้องการ เช่น แป้ง ไข่ขาว ผงชูรส และสารให้กลิ่นรส แล้วขึ้นรูปด้วยการใช้ความดัน (Extruded) การทำให้เกิดลักษณะเส้นใย (Fiberized) หรือขึ้นรูปด้วยการใช้เข้าประกอบ (Composite – molded) โดยขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการ พร้อม ๆ กับการให้ความร้อนเพื่อสร้างความคงตัวของรูปร่าง สร้างเนื้อสัมผัส และลดปริมาณจุลินทรีย์ โดยที่สูตรในการผลิตผลิตภัณฑ์จากซูริมิจะขึ้นอยู่กับลักษณะที่เป็นที่ต้องการ ราคา และข้อจำกัดของส่วนผสม (ingredients) ต่าง ๆ ความคงตัวของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการและการให้คุณค่าทางโภชนาการแก่ผู้บริโภค วัตถุดิบหลักที่ใช้ในสูตรการผลิตโดยทั่วไป ได้แก่ ซูริมิ น้ำ สตาร์ช (starch) เกลือ และสารปรุงแต่งกลิ่นรส คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต (จักรี ทองเรือง, 2544)

กระบวนการผลิตซูริมิสามารถจัดคุณลักษณะที่ผู้บริโภคไม่ต้องการของปลาบางชนิดได้ รวมทั้งลักษณะที่สำคัญอื่น ๆ ของซูริมิ เช่น การมีรสชาติและกลิ่นคาวปลาต่ำ มีสีขาว และสามารถดัดแปลงเพื่อสร้างเนื้อสัมผัส ตลอดจนสามารถปรุงแต่งสีหรือกลิ่นรสเพื่อให้มีคุณลักษณะตามที่ผู้บริโภคต้องการ ได้เป็นอย่างดี เทคโนโลยีการผลิตซูริมิจึงมีความสำคัญต่อการเพิ่มการใช้ประโยชน์ปลาที่ยังใช้ประโยชน์ได้ต่ำ เช่น ปลาที่มีก้างเล็ก ๆ จำนวนมาก มีกลิ่นคาวปลาหรือกลิ่นผิดปกติอื่น ๆ ที่รุนแรง มีเนื้อสีเข้ม หรือกรรมของปลาบางชนิดซึ่งสูญเสียลักษณะของเนื้อสัมผัสที่ดีได้ง่ายเมื่อแปรรูปโดยวิธีการปกติ ทำให้มีการขยายตัวของอุตสาหกรรมผลิตซูริมิและผลิตภัณฑ์กล่าวได้ว่าเป็นผลจากลักษณะเด่นที่สำคัญ 3 ประการของซูริมิ คือ การสามารถใช้ปลาที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจต่ำในกระบวนการผลิตได้ การสามารถเก็บรักษาซูริมิด้วยการแช่เยือกแข็งร่วมกับการเติมสารที่มีคุณสมบัติป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของ โปรตีนก่อนการแช่เยือกแข็ง ซึ่งทำให้สามารถเก็บรักษาซูริมิได้เป็นระยะเวลาาน โดยยังคงมีสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดี และการมีสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดีของซูริมิที่สามารถใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย

ความก้าวหน้าของอุตสาหกรรมซูริมิเป็นผลจากความสำเร็จของการวิจัยในด้านต่าง ๆ ซึ่งพัฒนาการที่มีผลต่อการขยายตัวของอุตสาหกรรมผลิตซูริมิที่สำคัญ ได้แก่

1. ความเข้าใจต่อกลไกการเกิดเจลของ โปรตีนปลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของโปรตีนปลาในระหว่างการให้ความร้อน มีผลให้สามารถกำหนดวิธีการเตรียมเจลที่ให้เจลที่มีคุณภาพเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์หลากหลายขึ้น ซึ่งวิธีการเตรียมเจลที่สำคัญที่ได้กำหนดขึ้น คือการเก็บ โซลของซูริมิไว้ที่อุณหภูมิต่ำหรือการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำเป็น

ระยะเวลาหนึ่ง ตามด้วยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงในระยะสุดท้าย ตลอดจนการเลือกใช้สารเติมแต่งอาหารเพื่อคัดแปลงคุณสมบัติของเจลให้เป็นไปตามที่ต้องการ

2. การยับยั้งการอ่อนตัวของเจลในช่วงอุณหภูมิ 50 – 60 องศาเซลเซียสของชูริมิจากปลา ที่มีกิจกรรมของเอนไซม์ย่อยโปรตีนสูงหรือถูกปนเปื้อนโดยปรสิติ โดยใช้สารเติมแต่งอาหารที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ หรือ โดยการเปลี่ยนวิธีการให้ความร้อนแก่ไซล

3. การเก็บรักษาชูริมิ โดยการแช่เยือกแข็งร่วมกับการเติมสารเติมแต่งอาหารที่สามารถป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน ซึ่งเป็นความก้าวหน้าของการถนอมรักษาชูริมิที่มีผลต่อการขยายตัวของอุตสาหกรรมการผลิตชูริมิและผลิตภัณฑ์มากที่สุด ในปัจจุบันยังคงมีการวิจัยเพื่อค้นหาสารชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น ตลอดจนความพยายามทำความเข้าใจกลไกการทำงานของสารที่มีคุณสมบัติดังกล่าว

4. การด่างเนื้อปลาลบจากปลาที่มีไขมันสูงและเนื้อสีเข้มด้วยสารละลายต่าง ซึ่งช่วยปรับความเป็นกรดเป็นด่างของเนื้อปลาลบ ทำให้การผลิตชูริมิในระดับการค้ามีความเป็นไปได้ และกระทั่งได้พัฒนาจนนำไปสู่การผลิตในเชิงการค้าในระยะไม่นานมานี้

5. การพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อปู จากการประสบความสำเร็จในการพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ในปี ค.ศ. 1975 มีผลให้ผลิตภัณฑ์เจลจากชูริมิเข้าสู่ยุคใหม่ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคชาวตะวันตกจนส่งผลให้ชูริมิกลายเป็นสินค้าของตลาดโลก

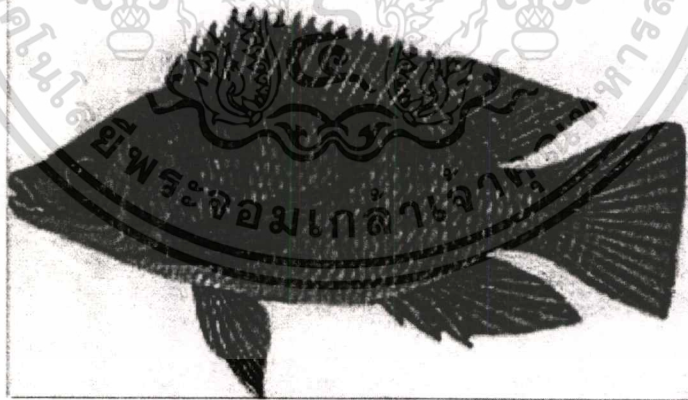
6. ความก้าวหน้าของการพัฒนาเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิตชูริมิและผลิตภัณฑ์เป็นอีกด้านหนึ่งของความก้าวหน้าของอุตสาหกรรมชูริมิ เครื่องจักรทำงานอย่างต่อเนื่องและอัตโนมัติ และมีอัตราการทำงานสูง ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแทนที่กระบวนการผลิตแบบกะซึ่งมีกำลังการผลิตต่ำ ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ไม่สม่ำเสมอ และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย

ประเทศไทยจัดเป็นประเทศผู้ผลิตชูริมิที่สำคัญประเทศหนึ่ง ที่ผ่านมานักอุตสาหกรรมสัตว์น้ำได้ใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีของชูริมิเพิ่มมูลค่าและการใช้ประโยชน์ปลาที่มีมูลค่าต่ำหลายชนิดให้สูงขึ้น แม้กระทั่งปัจจุบันการศึกษาเพื่อปรับปรุงการใช้ปลาชนิดต่าง ๆ เพื่อการผลิต ชูริมิกียังคงดำเนินอยู่ เช่น คณะวิจัยของมหาวิทยาลัยขอนแก่นร่วมกับกรมประมงได้เริ่มโครงการวิจัยที่มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตชูริมิจากปลานิล

2.2 ปลานิล (*Tilapia nilotica*)

ปลานิลมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Tilapia nilotica* เป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่งอยู่ในตระกูล Cichlidae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกา พบได้ทั่วไปตามทะเลสาบและแม่น้ำ สำหรับประเทศไทย นั้น เมื่อวันที่ 25 มีนาคม พ.ศ. 2508 เจ้าชายอากิฮิโตะ มกุฎราชกุมารแห่งประเทศญี่ปุ่นได้จัดส่งปลานิลจำนวน 50 ตัว มีความยาวเฉลี่ยตัวละประมาณ 9 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 14 กรัม มาทูลเกล้าถวายแด่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ได้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้ปล่อยลงเลี้ยงในบ่อดินเนื้อที่ประมาณ 10 ตารางเมตร ในบริเวณสวนจิตรลดา พระราชวังดุสิต ปลานิลจัดได้ว่าเป็นอาหารที่มีโปรตีนสูง และราคาค่อนข้างถูกเมื่อเปรียบเทียบกับราคาของเนื้อวัว เนื้อหมู เนื้อเป็ด และเนื้อไก่ จากการวิเคราะห์ทางด้านคุณค่าทางโภชนาการของปลานิลจะประกอบไปด้วย (เพิ่มพูน ศักดิ์เกษม, 2531)

โปรตีน	19.05	เปอร์เซ็นต์
ไขมัน	0.95	เปอร์เซ็นต์
ความชื้น	78.90	เปอร์เซ็นต์
เถ้า	1.1	เปอร์เซ็นต์
คาร์โบไฮเดรต	-	เปอร์เซ็นต์
พลังงาน (แคลอรี/100 กรัม)	91.0	เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 1 ปลานิล (*Tilapia nilotica*)

ปลานิลมีรูปร่างลักษณะคล้ายกับปลาหมอเทศ เป็นปลาที่กินอาหารได้ทุกชนิด ดังนั้นปลานิลนี้จึงเป็นปลาที่ให้ผลผลิตสูง ลักษณะพิเศษของปลานิลนั้นมีริมฝีปากบนและล่างเสมอกัน มีเกล็ด 4 แถวบริเวณแก้ม และจะมีลายพาดขวางลำตัวประมาณ 9 – 10 แถบ ดังภาพที่ 1 มีนิสัยชอบอาศัยอยู่รวมกันเป็นฝูงตามแม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง และทะเลสาบ เป็นปลาที่อยู่ได้ทั้งน้ำจืดและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำกร่อย มีความอดทน และสามารถปรับปรุงตัวให้เข้ากับธรรมชาติได้ง่าย เหมาะสมที่จะนำมาเพาะเลี้ยงในบ่อได้เป็นอย่างดี สำหรับแหล่งผลิตปลานิลที่สำคัญที่สุดอยู่ในแถบภาคกลาง โดยมีกรุงเทพฯ ปทุมธานี สุพรรณบุรี นครปฐม ฉะเชิงเทรา สมุทรสงครามและสมุทรสาคร เป็นต้น ในส่วนของการแปรรูปปลานิลให้คุณภาพเจลที่ดีกว่าปลาบางชนิด เหมาะสมต่อการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำที่มีมูลค่าสูงและส่งจำหน่ายต่างประเทศ จึงควรมีการวิจัยเพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์จากปลานิลให้มากยิ่งขึ้น (พิมพ์ใจ ทองคำ, 2541)

แนวโน้มการขาดแคลนวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตสุริมิของประเทศไทย ส่งผลให้นักวิจัยไทยเริ่มสนใจหาวัตถุดิบใหม่ ๆ โดยพบว่าปลานิล (tropical tilapia) เป็นปลาที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการผลิตสุริมิ เนื่องจากเป็นปลาที่มีปริมาณไขมันต่ำ มีเนื้อสีอ่อนข้างขาวง่ายต่อการผลิต มีการเพาะเลี้ยงแพร่หลายทุกภูมิภาคของประเทศ มีปริมาณผลผลิตสูงถึงร้อยละ 16 ของผลผลิตปลาน้ำจืดของประเทศ และมีราคาอ่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับราคาปลาน้ำจืดชนิดอื่น ๆ (สุวรรณ วิรัชกุล, 2543)

สุวรรณ วิรัชกุล (2543) ทำการวิจัยเกี่ยวกับคุณภาพการผลิตสุริมิด้วยปลานิล เปรียบเทียบกับปลาชนิดอื่น ทำการศึกษาผลของการเกิดเจลและอุณหภูมิการเกิดเจล ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสและสีของสุริมิจากปลานิล พบว่าสุริมิจะให้ที่เจลแข็งที่สุด เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ตามด้วยการต้มที่ 90 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าปลานิลซึ่งเป็นปลาเขตร้อนสามารถให้เจลที่อุณหภูมิสูง ส่วนค่าความขาวปลานิลและปลา Pacific whiting ให้ความขาวเท่าเทียมกัน ซึ่งสรุปได้ว่าปลานิลให้เจลที่มีคุณสมบัติที่ดีพอที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสุริมิได้

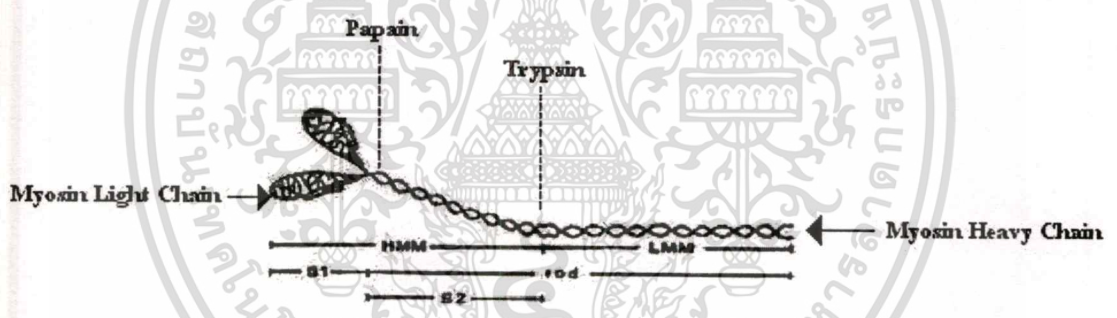
2.3 โปรตีนจากกล้ามเนื้อปลา

โปรตีนของปลาสามารถแบ่งได้ 3 ชนิด เช่นเดียวกับโปรตีนของเนื้อสัตว์ชนิดอื่น ๆ คือ โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ (Myofibrillar proteins) โปรตีนซาร์โคพลาสมิก (Sarcoplasmic proteins) และโปรตีนสโตรมา (Stroma proteins) โดยโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์มีปริมาณสูงถึงร้อยละ 40 – 60 ของปริมาณโปรตีนทั้งหมด โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ที่พบในปลา คือ ไมโอซิน (Myosin) แอกติน (Actin) โทรโปไมโอซิน (Tropomyosin) และโทรโปนิน (Troponin) โปรตีนเหล่านี้ละลายได้ในสารละลายเกลือจึงสามารถแยกออกจากเนื้อปลาบดได้โดยการล้างเนื้อปลาบดด้วยสารละลายเกลือที่มีความเป็นกลาง ความสามารถละลายในสารละลายเกลือของโปรตีนชนิดนี้พบว่า มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับระดับการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน ไมโอซินเป็น โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ที่พบในปริมาณมากที่สุดคือ ร้อยละ 50 – 60 ของปริมาณโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ แอกตินเป็น โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ที่พบรองลงมาด้วยปริมาณร้อยละ 20 ของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์

สัดส่วนของโปรตีนไมโอซินและแอกตินในกล้ามเนื้อของปลานั้นพบว่าแปรปรวนไปตามฤดูกาล (จักรี ทองเรือง, 2544)

โปรตีนไมโอซิน

ไมโอซินเป็นโมเลกุลสายยาวขนาดใหญ่ มีปริมาณคิดเป็นร้อยละ 43 ของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ทั้งหมด ประกอบด้วยโปรตีน 2 หน่วยย่อย (sub unit) คือ myosin heavy chain (MHC) และ myosin light chain (MLC) ส่วนของ MHC แบ่งออกเป็น ส่วนหัวซึ่งมีรูปร่างเป็นโปรตีนทรงกลม เรียกว่า globular head และส่วนหาง (tail) ซึ่งเป็น โพลีเปปไทด์สายยาว ส่วนหางของ MHC 2 สายจะพันรอบซึ่งกันและกัน เกิดเป็น โครงสร้างแอลฟา – ฮีลิกซ์ (α - helix) ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่ง (rod shape) เมื่อไมโอซินถูกย่อยด้วยเอนไซม์ทริปซิน (trypsin) จะทำให้โมเลกุลถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของ heavy meromyosin (HMM) ซึ่งประกอบด้วยส่วนต้นของสายแอลฟา – ฮีลิกซ์ ส่วนที่ 2 คือ light meromyosin (LMM) ซึ่งเป็นส่วนที่เหลือของแท่งแอลฟา – ฮีลิกซ์ทั้งหมด เมื่อนำส่วนของ HMM มาย่อยต่อด้วยเอนไซม์ปาเปน (papain) เกิดเป็นส่วนย่อยเอส – 1 (s-1) และเอส – 2 (s – 2) ซึ่งก็คือส่วนของ globular head และส่วนแท่งคอนคีน ดังภาพที่ 2 (จิรวัดน์ ยงสวัสดิกุล,2541)



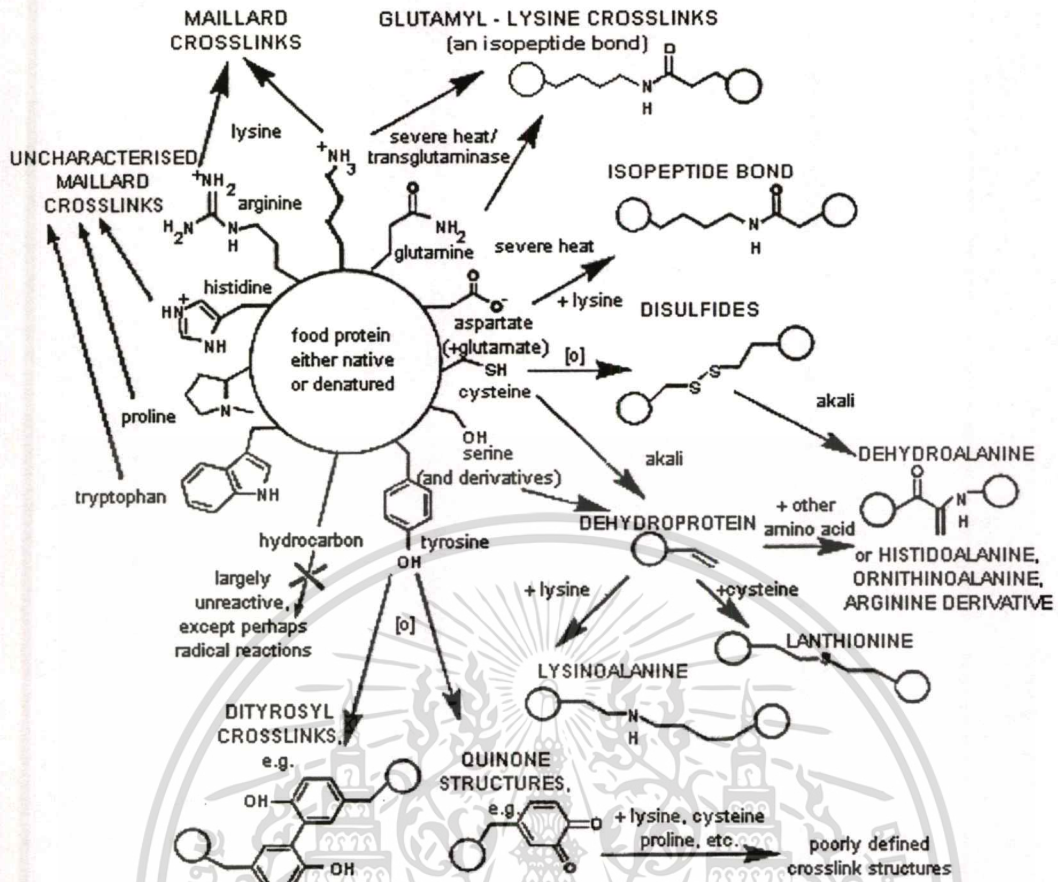
ภาพที่ 2 โครงสร้างของโปรตีนไมโอซินและหน่วยย่อย (sub fragment) ต่าง ๆ
ที่มา : จักรี ทองเรือง (2544)

หมายเหตุ : HMM: Heavy meromyosin; LMM: Light meromyosin; S1: Subfragment-1; S2: Subfragment-2

2.4 พันธะภายในและระหว่างโมเลกุล

การเกิดเจลของโปรตีนอยู่บนพื้นฐานของการเกิดพันธะระหว่างโมเลกุลของโปรตีนได้แก่ แรงแวนเดอร์วาลส์ พันธะไฮโดรเจน แรงระหว่างขั้วไฟฟ้า แรงกระทำระหว่างหมู่ไม่ชอบน้ำและพันธะไดซัลไฟด์ (Chung and Lee, 1990) ดังภาพที่ 3 ซึ่งแสดงพันธะที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหารประเภทโปรตีน ทั้งในลักษณะโมเลกุลโปรตีนตามธรรมชาติและโมเลกุลโปรตีนที่มีการเสียสภาพธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3 พันธะที่สามารถเกิดขึ้นได้ระหว่างกระบวนการแปรรูป
ที่มา : Gerrard (2002)

2.4.1 แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals interactions)

แรงแวนเดอร์วาลส์เป็นแรงดึงดูดระหว่างอะตอมหรือโมเลกุล หรือระหว่างส่วนต่าง ๆ ภายใน โมเลกุลที่อยู่ใกล้กัน เป็นแรงดึงดูดที่เกิดขึ้นเนื่องจากอะตอมหรือโมเลกุลที่อยู่ใกล้กันมีขั้วไฟฟ้าต่างกัน ซึ่งขั้วไฟฟ้างกล่าวเป็นขั้วไฟฟ้าที่ไม่เสถียรที่เกิดจากการกระจายของอิเล็กตรอนในอะตอมหรือโมเลกุลอย่างไม่สม่ำเสมอ แม้ว่าแรงแวนเดอร์วาลส์จะได้รับการพิจารณาว่าเป็นแรงดึงดูดที่มีความแข็งแรงต่ำแต่เนื่องจากตำแหน่งภายในโมเลกุลของโปรตีนประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าในลักษณะดังกล่าวจำนวนมากแรงแวนเดอร์วาลส์จึงเป็นแรงดึงดูดพื้นฐานในโมเลกุลโปรตีน และเนื่องจากเป็นแรงที่เกิดขึ้นระหว่างอะตอมหลายชนิดและหลายคู่จึงทำให้ความแข็งแรงสุทธิมีค่าสูง

2.4.2 พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond)

เมื่ออะตอมของไฮโดรเจนซึ่งจับอยู่กับอะตอมใด ๆ (A) ด้วยพันธะโควาเลนต์ แล้วถูกดึงดูดด้วยอะตอมของสารอื่นอีก (B) สภาวะที่อะตอมทั้งสองเชื่อมกันผ่านอะตอมของไฮโดรเจนนั้น กล่าวได้ว่าอะตอมทั้งสอง (A-H-B) เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างกัน ตัวอย่างของการเกิดพันธะนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

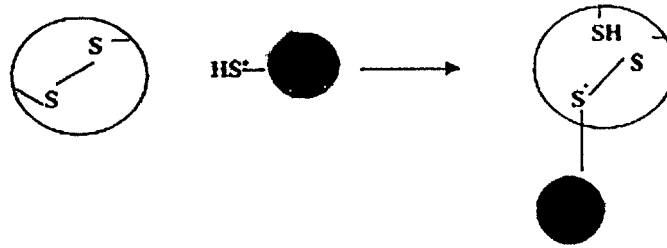
ได้แก่ พันธะที่เกิดขึ้นระหว่างอะตอมของออกซิเจนในหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) หรือของหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group) กับอะตอมของไนโตรเจน ออกซิเจน หรือซัลเฟอร์ ดังนั้นในโมเลกุลของโปรตีนจึงประกอบด้วยหมู่ที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างกันได้หลายหมู่ ความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจนมีความสำคัญต่อความคงตัวของโครงสร้างแบบเกลียวแอลฟาและเบต้าฟลิทเททซ์

2.4.3 แรงระหว่างขั้วไฟฟ้า (Electrostatic Interactions)

เนื่องจากภายในโมเลกุลโปรตีนประกอบด้วยหมู่ไอออนิกที่สามารถแตกตัวและมีประจุบวกหรือลบ จึงสามารถเกิดแรงดึงดูดหรือแรงผลักระหว่างกันได้ หมู่ไอออนิกที่มีประจุต่างกันจึงสามารถเกิดสะพานเชื่อมระหว่างกันได้ แต่สะพานเชื่อมชนิดนี้จะเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อค่าความเป็นกรดต่างและความแรงไอออนของระบบเปลี่ยนไป เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดต่างของระบบจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประจุของหมู่ไอออนิก ขณะที่การเพิ่มความแรงของไอออนของระบบจะมีผลให้ความแข็งแรงชนิดนี้ลดลง โดยอาจจะเป็นผลจากไอออนที่เพิ่มขึ้นในระบบของโปรตีนไปกีดขวางการเกิดแรงดึงดูดหรือไปแย่งกันจับกับหมู่ไอออนิกที่มีประจุตรงข้ามกัน อย่างไรก็ตามแรงดึงดูดระหว่างขั้วไฟฟ้าระหว่างโมเลกุลโปรตีนจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อโมเลกุลโปรตีนเข้าใกล้กันมากพอจนสามารถสร้างพันธะระหว่างหมู่ที่มีประจุต่างกัน และมีความแข็งแรงพอที่จะสร้างความสมดุลกับความแข็งแรงระหว่างโมเลกุลอื่นเนื่องจากความแตกต่างกันของประจุสุทธิบนโมเลกุลทั้งสอง

2.4.4 พันธะไดซัลไฟด์ (Disulphide Bond)

พันธะไดซัลไฟด์เป็นพันธะโควาเลนต์ที่มีความสำคัญต่อความคงตัวของโครงสร้างตติยภูมิ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อโปรตีนอยู่ในสภาวะที่แรงดึงดูดอื่น ๆ ที่ไม่ใช่พันธะโควาเลนต์มีความแข็งแรงลดลง พันธะชนิดนี้อาจจะเกิดขึ้นภายในโมเลกุลหรือระหว่างโมเลกุลโปรตีน (ภาพที่ 4) สำหรับพันธะที่เกิดขึ้นภายในโมเลกุลนั้นเกิดจากการทับตัวของโมเลกุลจนมีผลให้กรดอะมิโนซิสตีอีนเข้าใกล้กันและอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการสร้างพันธะต่อกันได้ โปรตีนที่มีพันธะไดซัลไฟด์ในโมเลกุลจะมีความคงตัวต่อความร้อนมากกว่าโปรตีนที่ไม่มีพันธะชนิดนี้ การเพิ่มพันธะไดซัลไฟด์ในโมเลกุลโปรตีนสามารถทำได้โดยทำให้หมู่ซัลไฮดริล (Sulfhydryl group) เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในกรณีของปลา มีรายงานว่าปฏิกิริยาชนิดนี้จะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส และมีความเข้มข้นของโปรตีนสูงพอ ขณะที่การลดจำนวนของพันธะไดซัลไฟด์โดยแรงดึงดูดที่เปลี่ยนพันธะไดซัลไฟด์เป็นหมู่ซัลไฮดริล (Sulfhydryl – disulphide interaction) มีผลให้ความคงตัวของโปรตีนลดลง ซึ่งเกิดขึ้นได้ในระบบของโปรตีนที่มีทั้งกรดอะมิโนซิสตีอีนและซิสตีอีน



ภาพที่ 4 การแลกเปลี่ยนหมู่ซัลไฟด์และพันธะไดซัลไฟด์ระหว่าง โมเลกุลของ โปรตีน
ที่มา : จักรี ทองเรือง (2544)

2.4.5 แรงแระหว่างหมู่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic Interaction)

แรงชนิดนี้เกิดขึ้นเนื่องจากความเข้ากัน ไม่ได้ทางเทอร์โมไดนามิกส์ระหว่างหมู่โซ่ข้างที่ไม่
มีขั้วของกรดอะมิโนกับน้ำมีผลให้โปรตีนม้วนพับเพื่อแยกหมู่โซ่ข้างดังกล่าวออกจาก โมเลกุล
น้ำ สำหรับ โมเลกุลของน้ำที่อยู่ใกล้กับหมู่โซ่ข้างจะมีความเป็นระเบียบกว่าปกติและมีค่าพลังงาน
อิสระต่ำกว่าโมเลกุลของน้ำในส่วนอื่น ๆ ในกรณีที่ไม่มีอุปสรรคใด ๆ โมเลกุลของโปรตีนจะม้วน
พับเพื่อปิดบังหมู่ไม่ชอบน้ำได้อย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตามการขัดขวางโดยแรงชนิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น
ระหว่างกรดอะมิโน และ/หรือ โดยหมู่โซ่ข้างใน โมเลกุลทำให้การพับตัวของโปรตีนเกิดขึ้นได้ไม่
สมบูรณ์ บนผิวหน้า โมเลกุลของโปรตีนจึงยังคงมีหมู่ที่ไม่ชอบน้ำปรากฏอยู่บ้าง ในระหว่างการให้
ความร้อนมักพบว่าปริมาณหมู่ที่ไม่ชอบน้ำบนผิวหน้า โมเลกุล โปรตีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อโปรตีน
ได้รับความร้อนจะมีผลให้ความแข็งแรงของแรงนี้ลดลง โมเลกุลของโปรตีนจึงเกิดการคลายตัวซึ่ง
ส่งผลให้หมู่ที่ไม่ชอบน้ำที่อยู่ภายใน โครงสร้าง โมเลกุลปรากฏออกมา ปริมาณของหมู่ที่ไม่ชอบน้ำที่
เพิ่มขึ้นบนผิวหน้าของ โมเลกุล โปรตีนขณะเตรียมเจลจากซูรินนั้นพบว่าจะกำหนดคุณภาพเจลของ
ซูรินและความแข็งแรงของแรงชนิดนี้มีผลต่อความยืดหยุ่นของเจล

2.5 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน (Functional properties of proteins)

สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน (Functional properties of proteins) คือสมบัติทางกายภาพและ
เคมีของ โปรตีนที่มีผลต่อพฤติกรรมของโปรตีนในอาหารในระหว่างการผลิต การเก็บรักษา การ
เตรียมก่อนใช้บริโภค และการบริโภค สมบัติเชิงหน้าที่จึงเป็นสมบัติที่มีผลต่อคุณภาพ และการ
ยอมรับทางประสาทสัมผัสต่ออาหาร อาจจะกล่าวโดยทั่วไปได้ว่าสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนคือ
สมบัติใด ๆ ของโปรตีนที่มีผลต่อการใช้ประโยชน์โปรตีนนอกเหนือจากคุณค่าทางโภชนาการ จึง
เป็นสมบัติที่กำหนดความสำคัญและประโยชน์ของโปรตีนที่อยู่ในอาหารนั้น ๆ ด้วยเหตุนี้สมบัติเชิง
หน้าที่ของโปรตีนในปลาจึงมีบทบาทที่สำคัญและกำหนดสภาวะที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลา ไม่ว่าจะเพื่อใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่ผลิตด้วยกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิมหรือกระบวนการผลิตที่ได้รับการพัฒนาขึ้น เช่น ความสามารถในการเป็นอิมัลซิฟายเออร์ (Emulsifying capacity) ของโปรตีนปลาพบว่าแตกต่างกันไปตามชนิดของปลา และในปลาชนิดเดียวกันยังพบว่าความสามารถดังกล่าวแตกต่างกันไปในแต่ละฤดูกาลโดยจะสัมพันธ์กับปริมาณไขมันในตัวปลา

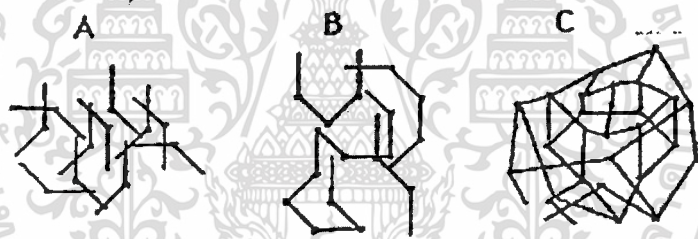
ปัจจัยที่พบว่ามีส่วนต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนสามารถจำแนกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ปัจจัยจากคุณสมบัติภายในของโปรตีนเอง โดยเฉพาะ โครงสร้าง โมเลกุลทั้งที่เป็น โครงสร้างตามธรรมชาติและ โครงสร้างภายหลังการสูญเสียสภาพธรรมชาติแล้ว สภาพวะของระบบที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบและสภาพวะของกระบวนการผลิต

อาหารแต่ละชนิดต้องการสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนที่แตกต่างกันไป เช่น สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนที่เป็นที่ต้องการในผลิตภัณฑ์เนื้อ ได้แก่ ความสามารถจับน้ำ (Water binding) ความสามารถละลาย (Solubility) ความสามารถพองตัว (Swelling) ความหนืด (Viscosity) ความสามารถเกิดแรงดึงดูบนผิวหน้าโมเลกุล (Surface activity) และความสามารถเกิดเจล (Gelation) เป็นต้น ดังนั้นความสามารถแสดงสมบัติเชิงหน้าที่ที่กล่าวมาได้ของโปรตีนชนิดใด ๆ จึงกำหนดคุณสมบัติประโยชน์ของโปรตีนชนิดนั้น ๆ ในการใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เนื้อและยังมีส่วนกำหนดระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายอีกด้วย สำหรับสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดีของซูริมีคือ ความสามารถเกิดเจลที่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้ในปริมาณสูงและมีความยืดหยุ่น คุณสมบัติดังกล่าวนี้มีความสัมพันธ์กับความสมบูรณ์ตามธรรมชาติของ โมเลกุล โปรตีน แอกโตไมโอซิน และการเปลี่ยนแปลงโครงร่างของ โมเลกุล โปรตีน โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับ โปรตีนไมโอซิน ในระหว่างการให้ความร้อน ดังนั้นเพื่อให้การใช้ประโยชน์โปรตีนเกิดขึ้นสูงสุดจำเป็นต้องมีความเข้าใจต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน

2.6 เจลของโปรตีนปลา

การเกิดเจลของซูริมีจัดเป็นคุณสมบัติเชิงหน้าที่ (Functional property) ที่สำคัญประการหนึ่ง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสหลากหลายชนิดที่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ดังนั้น คุณภาพและราคาซื้อขายของซูริมีจึงแบ่งตามคุณภาพของเจลที่ได้ เจลจัดเป็นวัสดุภาคที่มีลักษณะก้ำกึ่งระหว่างของแข็งและของเหลว โครงสร้างของเจล โปรตีนเกิดจาก โมเลกุลของโปรตีนจับกันด้วยพันธะชนิดต่าง ๆ เป็น โครงร่างคาข่าย 3 มิติ ที่สามารถจับน้ำหรือสารอื่นที่มีน้ำหนัก โมเลกุลต่ำไว้ภายในได้ เจลของโปรตีนเป็นผลจากกระบวนการที่ประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงโครงร่าง โมเลกุลของโปรตีนซึ่งมักจะเป็นผลจากการได้รับความร้อน หรือเกิดจากโปรตีนสูญเสียสภาพธรรมชาติไปบางส่วนด้วยปัจจัยอื่น เมื่อการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนเกิดขึ้นจะพบว่าความหนืดของระบบ โปรตีนเพิ่มขึ้น เนื่องจาก

ขนาดของโมเลกุลโปรตีนเกิดขึ้นซึ่งเป็นผลจากการคลายตัวของโมเลกุลร่วมกับการเริ่มจับตัวกันระหว่างโมเลกุลโปรตีนบางส่วนที่คลายตัวออกมา ต่อจากนั้นในขั้นตอนที่สองโปรตีนซึ่งสูญเสียสภาพธรรมชาติหรือโมเลกุลที่คลายตัวอย่างสมบูรณ์แล้วจะรวมตัวกันหรือจับกันอย่างช้า ๆ ในระหว่างการจับตัวเพื่อเกิดเป็นโครงสร้างตาข่าย ความหนืดของระบบโปรตีนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และในระยะสุดท้ายระบบของเจลก็จะมีคุณสมบัติบางประการของของแข็งที่มีความยืดหยุ่น อัตราการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในทั้งสองขั้นตอนจะต้องเกิดขึ้นในระดับที่เหมาะสมกล่าวคือ ถ้าการทำโปรตีนสูญเสียสภาพธรรมชาติเกิดขึ้นเร็วกว่าการจับตัวกันของโปรตีน โครงสร้างตาข่าย 3 มิติที่ได้จะไม่มีคุณสมบัติเหมาะสม เจลที่ได้ก็จะมี ความแข็งแรงและมีความยืดหยุ่นต่ำ แต่ถ้าการทำโปรตีนสูญเสียสภาพธรรมชาติเกิดขึ้นในอัตราที่ไม่สูงมากนัก เจลที่ได้ก็จะมี ความยืดหยุ่นและแข็งแรง ขณะที่การรวมตัวกันของโปรตีนที่สูญเสียสภาพธรรมชาติในขั้นตอนที่สองถ้าเกิดอย่างรวดเร็วก็จะมีผลให้โปรตีนจับตัวกันแบบสุ่มซึ่งทำให้โครงสร้างที่ได้สามารถอุ้มน้ำไว้ได้น้อย เมื่อพิจารณาถึงการเกิดพันธะระหว่างโมเลกุลของโปรตีนในระยะรวมนั้น จำนวนพันธะที่เกิดขึ้นจะต้องไม่น้อยกว่า 3 พันธะ (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 จำนวนพันธะระหว่างโมเลกุล โปรตีนต่อการเกิด โครงสร้างตาข่าย 3 มิติ
ที่มา : จักรี ทองเรือง (2544)

หมายเหตุ : (A) เกิดพันธะระหว่างโปรตีน 1 พันธะ (B) เกิดพันธะระหว่างโปรตีน 2 พันธะ
(C) เกิดพันธะระหว่างโปรตีน 3 พันธะ

การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนแอคโตไมโอซินระหว่างการให้ความร้อนเพื่อเตรียมเจลจากซูริมิ ความร้อนจะมีผลให้โปรตีนแอคโตไมโอซินเริ่มคลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส และการคลายตัวของโปรตีนจะเกิดเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อระบบมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วง 30 – 50 องศาเซลเซียส การคลายตัวดังกล่าวจะมีผลให้หมู่มะกอกไม่ชอบน้ำและหมู่มะกอกไฮดรอลิฟิเคชันบนผิวหน้าของโมเลกุลโปรตีนอันคทีเรียระหว่างหมู่มะกอกไม่ชอบน้ำและพันธะไดซัลไฟด์จึงเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมินี้ ดังนั้นในระยะนี้การจับตัวกันของโปรตีนจะเริ่มเกิดขึ้นเช่นกัน โดยการรวมตัวของโปรตีนจะเกิดขึ้นสูงสุดระหว่างอุณหภูมิ 40 – 60 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิของระบบสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส โปรตีนไมโอซินจะแยกตัวออกจากโปรตีนแอคโตไมโอซิน ดังนั้นระบบในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะนี้จึงประกอบด้วยโปรตีนไมโอซินและโปรตีนอื่น ๆ ที่แตกตัวออกมาจากโปรตีนแอคโตไมโอซิน ทั้งนี้โปรตีนเหล่านี้สามารถจับตัวระหว่างกันและกันได้ โดยผลจากการจับตัวดังกล่าวจะก่อให้เกิดโพลีเมอร์ของโปรตีนที่ละลายน้ำได้ต่ำ การจับตัวกันของโปรตีนที่อุณหภูมิสูงนี้ได้รับการเสนอว่าพันธะไคซัลไฟด์เป็นพันธะที่มีบทบาทมากที่สุด ขณะที่การเกิดอันตติริยาระหว่างหมู่ที่ไม่ชอบน้ำมีความสำคัญรองลงมา

การเตรียมเจลจะเริ่มจากการสับผสมชูริมิกับเกลือปริมาณร้อยละ 2 – 3 เพื่อละลายโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ซึ่งทำให้เจลที่เตรียมได้มีคุณสมบัติยืดหยุ่นและมีความคงตัวที่ดีในระหว่างการสับผสมจะสามารถสังเกตการละลายของโปรตีนได้จากการเปลี่ยนแปลงความหนืดและลักษณะปรากฏของชูริมิ ในขณะที่ระบบของชูริมิจะมีคุณสมบัติของโซล (Sol) คือสารละลายของอนุภาคคอลลอยด์ซึ่งมีขนาดอนุภาคหรือโมเลกุลต่ำกว่า 1 นาโนเมตร แต่ไม่เกิน 0.5 ไมโครเมตร การให้ความร้อนแก่โซลหรือการเก็บโซลไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้องทำให้โซลเปลี่ยนเป็นเจลที่เรียกว่าชวารี โปรตีนไมโอซินและแอคโตไมโอซินจะจับกันเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ ทั้งนี้พบว่าความสามารถเกิดเจลชวารีและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลชวารีแตกต่างกันไปตามชนิดของปลา

ชวารีเป็นปรากฏการณ์การจัดเรียงตัว (setting) ของโมเลกุลโปรตีนในเนื้อปลาเป็นโครงสร้าง 3 มิติ ณ อุณหภูมิ ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้โปรตีนตกตะกอน สามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ แต่ไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส การเกิดชวารีทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ภายหลังการให้ความร้อนสูงมีลักษณะเนื้อละเอียด โปร่งแสง มีความเหนียว มีความยืดหยุ่น และมีการคงรูปดีกว่าเนื้อปลาสดที่ไม่ได้ทำการเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ (สุทรวัฒน์ เบญจกุล และวรรณพ วัชยสงวน, 2541ก)

เมื่อให้ความร้อนจนอุณหภูมิของเจลชวารีสูงกว่า 45 – 50 องศาเซลเซียส โครงสร้างตาข่าย 3 มิติของเจลชวารีที่จับกันอย่างหลวม ๆ จะถูกทำลายไปบางส่วน เรียกเจลในระยะนี้ว่าเจลโมโคริ เช่นเดียวกับระยะชวารีการเปลี่ยนแปลงของเจลในช่วงนี้พบว่าขึ้นกับชนิดของปลาเช่นกัน การทำลายโครงสร้างตาข่ายบางส่วนนั้นเป็นผลจากกิจกรรมของเอนไซม์อัลคาไลน์โปรติเอส (Alkaline protease) เนื่องจากเป็นเอนไซม์ที่พบอยู่ในเนื้อปลาและมีกิจกรรมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (จักรี ทองเรือง, 2544)

กล้ามเนื้อสัตว์น้ำประกอบด้วยเอนไซม์หลายชนิด คือ โปรติเอส (protease) หรือเปปติเดส (peptidase) เป็นเอนไซม์ที่สามารถย่อยโปรตีน ประกอบด้วย เอนโดเปปติเดส (endopeptidase) หรือบางครั้งเรียกว่า โปรตีนเนส (proteinase) และเอกโซเปปติเดส (exopeptidase) เอนไซม์เหล่านี้มีผลโดยตรงต่อคุณภาพของสัตว์น้ำภายหลังการตาย เอนไซม์โปรติเอสสามารถพบได้ในส่วนของเหลวภายในเซลล์ หรืออาจจับอยู่กับเซลล์ของอวัยวะภายในหรือกล้ามเนื้อของสัตว์น้ำ โปรติเอสมีบทบาทสำคัญต่อการย่อยสลายโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียโครงข่ายของเจล และผลิตภัณฑ์ชูริมิที่ได้มีลักษณะอ่อนตัว (softening) เรียกปรากฏการณ์ดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

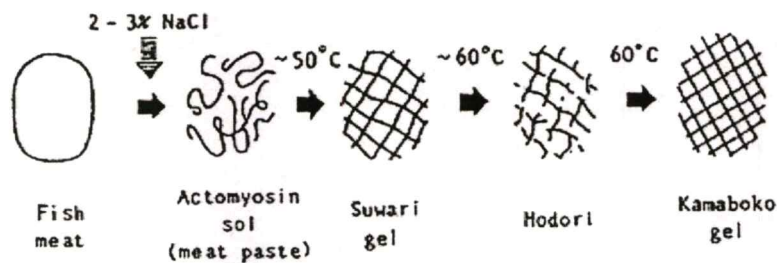
ว่า โมโดริ (modori) โดยทั่วไปปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นขณะที่ให้ความร้อนกับซูริมที่อุณหภูมิ 50 – 70 องศาเซลเซียส (สุทรวัดน์ เบญจกุล และวรวรรณ พิเศษสงวน, 2541ข)

อย่างไรก็ตามการอ่อนตัวของโครงสร้างเจลพบว่ายังเกิดขึ้นได้แม้แต่ในระบบที่ปราศจากเอนไซม์ดังกล่าวหรือในระบบที่มีสารยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ย่อยโปรตีน และเมื่อให้ความร้อนแก่เจล โมโดริต่อไปจนเจลมีอุณหภูมิสูงขึ้นมีผลให้โครงสร้างตาข่ายจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมากขึ้น มีลักษณะทึบแสง มีความยืดเกาะและความยืดหยุ่นดี และมีความสามารถอุ้มน้ำได้ในปริมาณสูง (ภาพที่ 6) คุณสมบัติเหล่านี้เป็นผลจากการจัดเรียงตัวของโปรตีนเป็นโครงสร้างตาข่ายอย่างช้า ๆ ในช่วงซูวารี ระยะซูวารีจึงมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (จักรี ทองเรือง, 2544)

Kongpun (1999) ศึกษาการเกิดเจลในเนื้อปลาปากคมและปลานิลกล่าวว่า การให้ความร้อนในการจัดเรียงตัวที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส จะมีผลเพิ่มค่าความสามารถในการเกิดเจลของปลาทั้งสองชนิด แต่ค่านี้จะลดลงที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส

Sano *et al.* (1990) ศึกษาลักษณะของไมโอซินระหว่างการเกิดเจลเนื่องจากความร้อน (Thermal gelation) กล่าวว่าในช่วงอุณหภูมิ 30 – 44 องศาเซลเซียส เจลที่เกิดขึ้นจะเริ่มมีความยืดหยุ่นเล็กน้อย เนื่องจากการคลายตัวของแอลฟา – ฮีลิซซ์ที่ส่วนหาง (tail) ของโมเลกุลไมโอซินที่อยู่ใกล้เคียงกันเกิดพันธะและแรงกระทำต่อกัน จากนั้นในช่วงอุณหภูมิ 51 -80 องศาเซลเซียส จะเกิดพันธะและแรงกระทำที่ส่วนหัว (globular head) ซึ่งทำให้ความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ Hamann *et al.* (1990) รายงานว่าการให้ความร้อน 2 ระดับ มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลซูริมสูงสุด ทั้งในตัวอย่างซูริมที่เค็มและไม่เค็มเสริมอาหารเสริมอาหาร

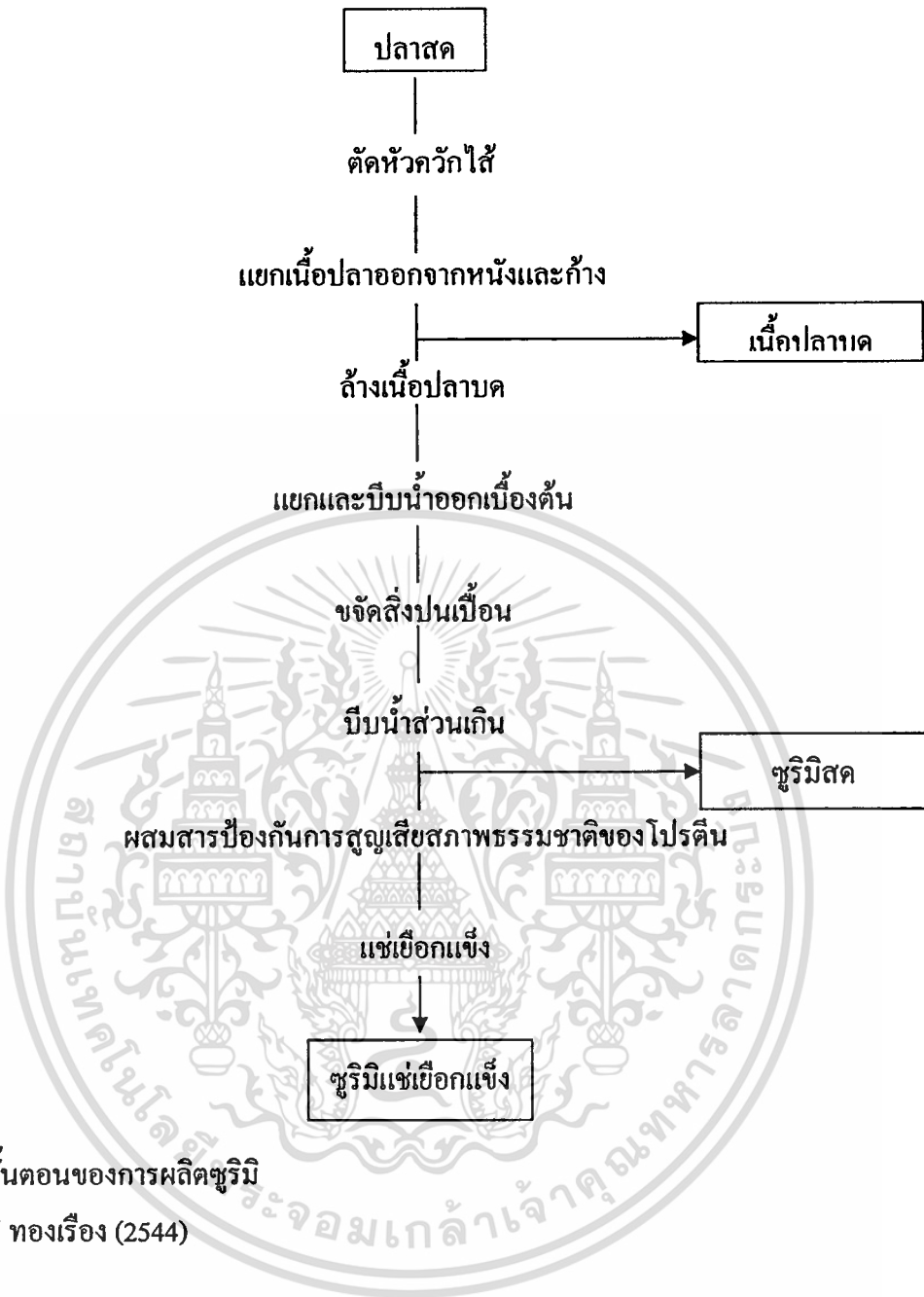
สำหรับสถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง ซึ่งเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบงานวิจัยและทดลองเกี่ยวกับเนื้อปลาคอดและซูริม อธิบายถึงวิธีการเตรียมเจล (Gel preparation) ทำโดยการนำซูริมที่ละลายแล้วมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วผสมกับเกลือและน้ำผสมน้ำแข็ง เพื่อปรับปริมาณความชื้นให้ได้ตามที่กำหนด (โดยปริมาณน้ำผสมน้ำแข็งที่ใส่นี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นเริ่มต้นของซูริมที่ผลิต) จากนั้นนวดผสม โดยเครื่องผสม จากนั้นนำซูริมที่ผสมอัดใส่ใส่เทียม แล้วมัดหัวท้ายให้แน่น แล้วนำไปให้ความร้อนโดยการต้มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที หรือให้ความร้อน 2 ระดับ คือ แช่ในน้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที แล้วต้มต่อที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 20 นาที หลังจากนั้นแช่ในน้ำเย็นเพื่อปรับอุณหภูมิให้เท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วนำไปเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส 1 คืน แล้วจึงนำไปตรวจสอบคุณภาพ (สถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ, 2541)



ภาพที่ 6 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของโซลของซูริมิในระยะต่าง ๆ ขณะให้ความร้อน
ที่มา : จักรี ทองเรือง (2544)

2.7 กระบวนการผลิตซูริมิ

“ซูริมิ” (Surimi) เป็นเนื้อปลาบด (minced fish) ที่ผ่านการล้าง (washing) เพื่อกำจัดโปรตีนที่ละลายน้ำ ไขมัน เลือด และสารที่ให้กลิ่นคาว แล้วบีบน้ำ (dewatering) และคัดแยกสิ่งปลอมปน จะได้ซูริมิสด (Raw surimi) ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือโปรตีนไมโอไฟบริลลาเข้มข้น (myofibrillar protein) จากนั้นจึงเติมสารป้องกันการสูญเสียสภาพของโปรตีนระหว่างการแช่เยือกแข็ง (cryoprotectant) บรรจุและนำไปแช่เยือกแข็ง (freezing) โดยให้อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของซูริมิลดลงถึง -18 องศาเซลเซียส เพื่อให้โปรตีนไมโอไฟบริลลายังคงคุณสมบัติที่ดีได้นานหลายเดือนในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งและเรียกว่าซูริมิแช่เยือกแข็ง (frozen surimi) ดังภาพที่ 7 (จักรี ทองเรือง, 2544)



ภาพที่ 7 ขั้นตอนของการผลิตซูริมิ

ที่มา : จักรี ทองเรือง (2544)

2.8 การใช้สารเสริมอาหาร (Food additives) ในการปรับปรุงความแข็งแรงของเจลซูริมิ

2.8.1 สารที่เพิ่มความสามารถในการละลายของโพรตีน

เกลือ

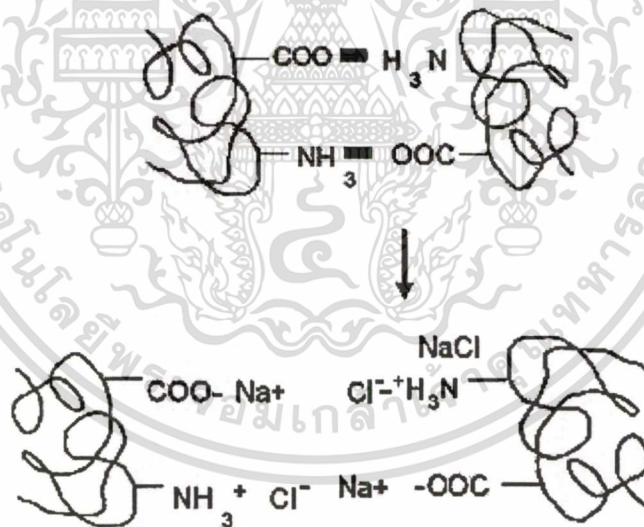
การใช้เกลือสำหรับเตรียมเจลจากซูริมินั้นเป็นที่ยอมรับกันว่ามีผลสำคัญมาก แม้ว่าในปัจจุบันจะมีความพยายามผลิตผลิตภัณฑ์เจลจากซูริมิโดยใช้เกลือน้อยลงเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่มีความกังวลต่อการบริโภคอาหารที่มีเกลือสูง บทบาทของเกลือต่อการเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจลของซูริมีคือ การช่วยละลายโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ออกจากเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อปลา จากการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างของเจลที่เตรียมโดยใช้เกลือในปริมาณที่ต่างกันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แสดงให้เห็นว่าเจลที่ได้จากการใช้เกลือในปริมาณที่ต่ำ โปรตีนจะจับกันแน่นและไม่ต่อเนื่อง ซึ่งสังเกตได้จากช่องว่างในโครงสร้างร่างแหของเจลที่เกิดจากการจับกันของโปรตีนมีขนาดไม่สม่ำเสมอ ขณะที่เจลที่ได้จากการใช้เกลือในปริมาณสูงจะจับกันอย่างต่อเนื่อง ช่องว่างในโครงสร้างมีขนาดและการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ

การเพิ่มความสามารถละลายโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์โดยเกลือได้รับการอธิบายว่าเป็นผลจากอิออนของโซเดียมและคลอไรด์สามารถจับกับตำแหน่งบนผิวหน้าโมเลกุลโปรตีนที่มีประจุตรงข้ามซึ่งมีผลให้พันธะระหว่างขั้วไฟฟ้าระหว่างโมเลกุลของโปรตีนถูกทำลาย โมเลกุลของโปรตีนจึงแยกออกเป็นโมเลกุลเดี่ยว ๆ กระจายตัวอยู่ในน้ำ (ภาพที่ 8) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การใช้เกลือสับผสมกับซูริมีมีผลให้เกิดเจลซูวารีของโซลซึ่งปกติจะถูกยับยั้งโดยน้ำตาลที่ใช้เป็นสารป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนในซูริมีเกิดขึ้นได้ ซึ่งอาจจะเป็นผลจากเกลือ ทำให้ความคงตัวของความร้อนของโปรตีนลดลงจนสามารถเกิดเจลซูวารีได้ที่อุณหภูมิต่ำ (จักรี ทองเรือง, 2544)



ภาพที่ 8 แบบจำลองการละลายของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ในสารละลายเกลือ
ที่มา : จักรี ทองเรือง (2544)

ความแข็งแรงของเจลพบว่ามีความสัมพันธ์กับปริมาณเกลือที่ใช้เตรียมโซล เมื่อปริมาณของเกลือที่ใช้เพิ่มขึ้นพบว่าความแข็งแรงของเจลจะเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการพบว่าเมื่อปริมาณเกลือที่ใช้ในการเตรียมโซลเพิ่มขึ้นมีผลให้อัตราการลดลงของโปรตีน MHC และอัตราการเกิดขึ้นของโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าโปรตีน MHC เพิ่มขึ้นอย่างมีความสัมพันธ์กันในระยะซูวารี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 สารป้องกันการสูญเสียสภาพของโปรตีนระหว่างการแช่เยือกแข็ง (Cryoprotectants)

2.8.2.1 สารประกอบฟอสเฟต

การเติมสารประกอบฟอสเฟตร้อยละ 0.2 – 0.3 ลงในซูริมก่อนการแช่เยือกแข็ง เป็นวิธีที่ปฏิบัติอยู่ในกระบวนการผลิตซูริมระดับอุตสาหกรรมเพื่อป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนในระหว่างการเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็ง การใช้สารประกอบฟอสเฟตในซูริมมีผลให้ความแข็งแรงและความสามารถอุ้มน้ำของเจลเพิ่มขึ้น โดยใช้โซเดียม ไพโรฟอสเฟต (Sodium pyrophosphate) และโซเดียม ไตรโพลีฟอสเฟต (Sodium tripolyphosphate) มีประสิทธิภาพเพิ่มความแข็งแรงและความสามารถอุ้มน้ำของเจลซูริมได้ดี Chang และ Regenstein (1997) กล่าวว่าโซเดียม ไตรโพลีฟอสเฟตเป็นฟอสเฟตที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการลดการสูญเสียน้ำในระหว่างการแช่เยือกแข็งปลา

ความสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เจลของสารประกอบฟอสเฟตอาจเกิดจากการเพิ่มความสามารถละลายของโปรตีน ไมโอไฟบริลลาร์ โดยเป็นผลจากปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการ คือการรักษาความเป็นกรดค้างของสารละลาย การเพิ่มความแรงของออสโมน และการเกิดพันธะกับโปรตีน

2.8.2.2 น้ำตาลและซอร์บิทอล

ส่วนผสมทั้งสองชนิดนี้ถูกเติมลงในซูริมก่อนการแช่เยือกแข็งด้วยจุดประสงค์เพื่อป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน ไมโอไฟบริลลาร์ในระหว่างการเก็บรักษาในสภาพแช่เยือกแข็ง ผลึกกันต์จากซูริมที่ใช้ซูริมแช่เยือกแข็งเป็นวัตถุดิบจึงมีสารทั้งสองชนิดผสมอยู่ด้วยโดยปริยาย สารทั้งสองชนิดยังมีบทบาทช่วยเพิ่มความสามารถละลายของโปรตีน ไมโอไฟบริลลาร์ได้อีกด้วย กลไกที่ได้รับการเสนอเพื่ออธิบายความสามารถดังกล่าวคือ หมู่ไฮดรอกซิลของน้ำตาลจะสร้างพันธะไฮโดรเจนกับกรดอะมิโนบนโมเลกุลของโปรตีน แอกลูโตไมโอซินหรือไมโอซิน โดยเฉพาะกรดอะมิโนซึ่งมีประจุและอยู่บนส่วนหางของไมโอซิน การเกิดพันธะชนิดนี้จะมีผลให้จำนวนพันธะไฮโดรเจน หรือแรงระหว่างขั้วไฟฟ้าที่จำเป็นต่อการยึดส่วนหางของโมเลกุลไมโอซินหรือที่จำเป็นต่อการจับเป็น โมเลกุลแอกลูโตไมโอซินลดลงทำให้โมเลกุลดังกล่าวแตกตัวออกเป็นส่วนย่อยจึงทำให้สามารถจับหรือละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น

2.8.3 สารเสริมอาหารที่เสริมการเกิดพันธะของโปรตีน

2.8.3.1 กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid)

กรดแอสคอร์บิกมีการใช้กันอย่างกว้างขวางในการปรับปรุงคุณภาพโดจากแป้ง ซึ่งกลไกที่กรดแอสคอร์บิกสามารถปรับปรุงคุณภาพของโดได้รับการเสนอว่า กรดแอสคอร์บิกที่เติมลงไปจะถูกออกซิไดซ์อย่างรวดเร็วโดยเอนไซม์หรือปัจจัยอื่น ๆ ให้กลายเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (Dehydroascorbic acid: DHA) ซึ่ง DHA ที่เกิดขึ้นนี้จะออกซิไดซ์กรดกลูตาไธออน (Glutathione acid) แล้วมีผลให้เกิดสะพานเชื่อมไดซัลไฟด์ขึ้นระหว่างโมเลกุลของโปรตีน สำหรับการโซเดียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอสคอร์เบต (Sodium ascorbate) อิริโทเรต (Erythroate) หรือดีไฮโดรแอสคอร์เบต (Dehydroascorbate) ในซูริมิร่วมกับเกลือมีรายงานว่ามีความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น โซเดียมแอสคอร์เบตเป็นสารที่ช่วยกระตุ้นการสร้างพันธะเชื่อมข้ามเช่นเดียวกันกับโบรเมต โดยทั่วไปมักใช้ในอุตสาหกรรมขนมงีในการเป็นสารปรับสภาพของโด (dough conditioner) เพื่อเพิ่มพันธะเชื่อมข้ามโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันของหมู่ซัลไฮดริล ในการนำมาใช้ปรับปรุงความแข็งแรงของเจล ซูริมิพบว่าให้ค่าความแข็งแรงของเจลสูงสุดเมื่อใช้แอสคอร์เบตร้อยละ 0.2 สำหรับกลไกการเพิ่มความแข็งแรงของเจลโดย แอสคอร์เบต พบว่าแอสคอร์เบตยังสามารถเพิ่มหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) ที่บริเวณผิวของโปรตีน ทำให้มีการเกิดการรวมตัว (polymerization) ของโปรตีนมากขึ้น และความแข็งแรงของเจลก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

2.8.3.2 โปแตสเซียมโบรเมต (Potassium Bromate)

Pacheco – Aguilar และ Crawford (1994) ศึกษาผลการใช้โปแตสเซียมโบรเมตต่อความสามารถในการเกิดเจลของซูริมิจากปลา Pacific whiting พบว่าการเติม โปแตสเซียมโบรเมตจะมีการเหนี่ยวนำการออกซิเดชันของหมู่ซัลไฮดริลในซูริมิให้เกิดพันธะไคซัลไฟด์ระหว่างสายโพลีเปปไทด์และจากนั้นจึงเกิดการรวมตัวกันของโปรตีน ซึ่งมีผลทำให้ค่าความหนืดของระบบเพิ่มขึ้นด้วย สุแพรวพันธ์ ชุมเรียง และคณะ (2542) ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของโปแตสเซียมโบรเมต ในการปรับปรุงความสามารถในการเกิดเจลของซูริมิจากปลาทรายแดงและปลาเบญจพรรณ กล่าวว่าโปแตสเซียมโบรเมตเป็นตัวเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากหมู่ซัลไฮดริลไปเป็นพันธะไคซัลไฟด์ ซึ่งมีความสำคัญต่อการเกิดเจลของซูริมิ ทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลสูงขึ้น นอกจากนี้เมื่อนำโปแตสเซียมโบรเมตมาทดสอบร่วมกับการใช้ไข่ขาวพบว่ามีความสามารถในการช่วยปรับปรุงคุณภาพของซูริมิ โดยไข่ขาวและโปแตสเซียมโบรเมตจะมีความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์อัลคาไลน์โปรตีเอส (alkaline protease) (ตารางที่ 1) เมื่อทำปฏิกิริยาร่วมกันจึงมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลสูงสุด โดยโปแตสเซียมโบรเมตทำให้เจลมีความแข็งแรงขึ้น โดยการเหนี่ยวนำให้เกิดพันธะไคซัลไฟด์ และไข่ขาวจะสร้างเจลขึ้นในระหว่างการให้ความร้อน

ตารางที่ 2.1 แสดงผลของโพแทสเซียมโบรเมตต่อการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ใน surimi sol ที่เตรียมจาก Pacific Whiting

KBrO ₃ (%)	Proteinase activity (μ g tyrosine/min/g protein)	Inhibition (%)
0.000	231.8 ^a	0.0
0.025	63.8 ^b	72.5
0.050	38.9 ^c	83.2
0.075	23.5 ^{c,d}	89.9
0.100	22.1 ^{c,d}	90.5
0.150	13.1 ^d	94.3
0.200	14.9 ^d	93.6
0.250	14.4 ^d	93.8

หมายเหตุ ตัวเลขที่แตกต่างกันในแต่ละ column หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ที่มา : สุพรรณพันธ์ ชุมเรียง และคณะ (2542)

2.8.4 ส่วนผสมที่สามารถเกิดเจลได้

ส่วนผสมที่สามารถเกิดเจลได้ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์จากซูริมิมียู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น สารประกอบไฮโดรคอลลอยด์ กัม แป้ง และโปรตีนอื่น ๆ วัตถุประสงค์ของการใช้ส่วนผสมต่าง ๆ ที่กล่าวมาในผลิตภัณฑ์จากซูริมินั้นมีความแตกต่างกันไป นอกจากนี้ส่วนผสมต่าง ๆ ดังกล่าวยังมีผลคัดแปลงสมบัติของเจลซูริมิได้แตกต่างกันอีกด้วย

แป้ง

แป้งที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์จากซูริมิมียู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น แป้งมันฝรั่ง แป้งสาลี แป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลัง การผสมแป้งในโซลของซูริมิโดยทั่วไปมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญสองประการ คือ การปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเจลและลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากการใช้แป้งจะทำให้สามารถเติมน้ำในซูริมิได้มากขึ้น ในขณะที่มีผลให้เจลซูริมิมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นและมีเนื้อสัมผัสแน่นขึ้น

2.8.5 โปรตีนอื่นที่ไม่ใช่โปรตีนปลา

โปรตีนจากแหล่งอื่น ๆ ที่ใช้เติมในซูริมิที่สำคัญ ได้แก่ โปรตีนไข่ขาวที่อยู่ในรูปต่าง ๆ โปรตีนพลาสมาจากเลือดวัว โปรตีนถั่วเหลือง และโปรตีนหางนมเข้มข้น ซึ่งผลของการเติมโปรตีนดังกล่าวแต่ละชนิดต่อคุณภาพเจลของซูริมิจะแตกต่างกันออกไป ความสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เจลของซูริมิโดยโปรตีนชนิดอื่น ๆ นั้นได้มีการเสนอว่ามีความสัมพันธ์กับปริมาณกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะมิโนที่มีซัลเฟอร์ในโปรตีนต่าง ๆ ดังกล่าว มีการแบ่งโปรตีนที่เติมลงในซุริมียออกเป็น 2 กลุ่มตามคุณสมบัติของโปรตีนที่ใช้ซึ่งได้แก่ โปรตีนที่มีผลปรับปรุงคุณภาพเจล (Functional binder) ซึ่งการใช้โปรตีนในกลุ่มนี้จะมีผลปรับปรุงทั้งค่าความเครียดเฉือนและความเค้นเฉือนของเจล และโปรตีนที่มีผลให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น (Functional fillers) การใช้โปรตีนในกลุ่มนี้เติมลงในซุริมียจะมีผลให้เฉพาะค่าความเครียดเฉือนเพิ่มขึ้นขณะที่มีผลให้ค่าความเค้นเฉือนลดลง ซึ่ง โปรตีนไข่ขาว โปรตีนพลาสติกจากเลือดวัวจัดอยู่ในโปรตีนกลุ่มแรก ขณะที่กลูเตน โปรตีนถั่วเหลืองสกัด และโปรตีนหางนมเข้มข้นจัดอยู่ในกลุ่มหลัง

2.8.5.1 ไข่ขาว (Egg White)

ไข่ขาวหรือ albumin มักใช้ในผลิตภัณฑ์เลียนแบบทั่วไป ทั้งในรูปไข่ขาวดิบแช่เยือกแข็ง (frozen raw form) และรูปที่ทำให้แห้ง (dried form) ที่ระดับร้อยละ 3 – 10 โดยการใช้ในรูปที่ทำให้แห้งที่ระดับต่ำกว่าร้อยละ 3 คือนำหนักซุริมีย สำหรับการใช้ในรูปไข่ขาวดิบแช่เยือกแข็งที่ระดับร้อยละ 6 จะเพิ่มความแข็งแรงของเจลและเจลมีลักษณะเป็นมันและมีสีขาวขึ้น ซึ่งผลของการเพิ่มความแข็งแรงของเจลอย่างมีนัยสำคัญจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ (0 – 4 องศาเซลเซียส) ในการทำให้มีการจัดเรียงตัวของเจลก่อนที่จะนำไปให้ความร้อน อย่างไรก็ตาม ไข่ขาวมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติได้เมื่อใช้อุณหภูมิสูงและการให้ความร้อนเป็นเวลานาน โดยเฉพาะในเจลซุริมียที่ใช้ไข่ขาวในปริมาณสูง

สุพรรณพันธ์ ชุมเรียง และคณะ (2542) ได้ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของไข่ขาวต่อความสามารถในการเกิดเจลของซุริมีย กล่าวว่าซุริมียที่มีการเติมไข่ขาวจะมีค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น การที่ไข่ขาวมีผลต่อค่าความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นเนื่องจากการให้ความร้อน เพื่อให้โปรตีนคงตัวที่อุณหภูมิต่ำ (40 องศาเซลเซียส) โปรตีนจากไข่ขาวและโปรตีนจากเนื้อปลาสูญเสียสภาพมีการคลายตัวของสายโพลีเปปไทด์ ทำให้โครงสร้างโปรตีนเกิดเป็นสายยาวโดยมีโซ่ข้างที่ยังเกิดปฏิกิริยาได้ จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีทั้งพันธะไฮโดรเจนและพันธะโควาเลนต์ โดยเกิดปฏิกิริยาของหมู่ซัลไฮดริล (-SH) ไปเป็นพันธะไดซัลไฟด์ (-S-S-) ทำให้การยึดเกาะของเนื้อปลาที่นำมาขึ้นรูปดีขึ้น เมื่อมีการให้ความร้อนแก่เนื้อปลาจนสุกพร้อมที่จะบริโภค โปรตีนจากเนื้อปลาและโปรตีนจากไข่ขาวทำปฏิกิริยากันเกิดการสูญเสียสภาพอย่างสมบูรณ์ และปฏิกิริยานี้มีมากยิ่งขึ้น จึงทำให้ซุริมียที่ผ่านการให้ความร้อนมีค่าความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น สำหรับซุริมียที่มีการใช้ไข่ขาวสูงกว่าร้อยละ 3 มีค่าความแข็งแรงของเจลต่ำลง เนื่องจากปริมาณไข่ขาวที่เติมลงไปนั้น ส่วนหนึ่งไปทำปฏิกิริยากับโปรตีนไมโอซินของเนื้อปลาและอีกส่วนหนึ่งทำปฏิกิริยากันเอง แต่เนื่องจากโปรตีนที่มีบทบาทต่อความแข็งแรงของเจลคือ โปรตีนส่วนที่ทำปฏิกิริยากับโปรตีนของเนื้อปลา ส่วนโปรตีนจากไข่ขาวที่ทำปฏิกิริยากันเองมีผลทำให้ความแข็งแรงของเจลซุริมียน้อยกว่าและถ้าโปรตีนส่วนนี้มีปริมาณเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการยึดเกาะของโปรตีนลดลง เนื่องจากโปรตีนของไข่ขาวที่ทำปฏิกิริยากันเอง เมื่อเกิดการสูญเสียสภาพอย่างสมบูรณ์จะมีคุณสมบัติเปราะและแตกหักง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.5.2 โปรตีนถั่วเหลือง หรือ Soy Protein Isolate (SPI)

ใช้มากในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับเนื้อสัตว์ เนื่องจากมีความสามารถในการจับกับน้ำและไขมันได้ และมีความสามารถในการเกิดเจลระหว่างการทำความร้อน แต่การใช้ในปริมาณมากจะมีผลทำให้สีของผลิตภัณฑ์ไม่ขาว มีสีครีมและมึนกลืนรสของถั่ว ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีสีและรสชาติไม่เป็นที่ต้องการ การหลีกเลี่ยงปัญหานี้ทำได้โดยการใช้โปรตีนถั่วเหลืองในรูปของอิมัลชันซึ่งทำโดยการปั่นน้ำมันขณะทำการระเหย ซึ่งการกระจายตัวของหยดน้ำมันจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีขาวขึ้น ถั่วเหลืองในรูปแบบอื่น ๆ ก็สามารถนำมาใช้ได้ เช่น โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น (Soy Protein Concentrate) หรือ เต้าหู้ (tofu) แต่ก็ยังคงมีสีและกลิ่นรสที่ส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ (Lee *et al.*, 1992)

2.8.5.3 โปรตีนหางนม หรือ Whey Protein Concentrate (WPC)

โปรตีนหางนม สามารถใช้เป็นส่วนประกอบที่ทำให้เกิดเจลหรือเพิ่มความสามารถในการจับกับโมเลกุลของน้ำ มีจุดประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการผลิต โปรตีนจากนมชนิดอื่น ๆ ได้แก่ เคซีน, โปรตีนสกัดจากนม, โปรตีนสกัดจากเวย์ และ แลคโตบูมินเมื่อมีการเปรียบเทียบกับโปรตีนจากนมอื่น ๆ แล้ว โปรตีนจากนมเหล่านี้มีความสามารถในการเพิ่มความแข็งแรงของเจลซูริมีต่ำ ซึ่งมีความแตกต่างจากความแตกต่างกันของคุณสมบัติการจับกับ โมเลกุลของน้ำ รูปแบบการกระจายตัวของสารเสริมอาหาร (Ingredient dispersion pattern) ที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของซูริมีพบว่าอนุภาคของโปรตีนหางนมมีขนาดเล็กและสามารถกระจายตัวได้ดีมากในเฟสต่อเนื่องของเจลซูริมี ซึ่งทำให้เกิดการขัดขวางการเกาะตัวกันของ โครงสร้างของเจล โปรตีน ไมโอไฟบริลลาร์ ทำให้โครงสร้างของเจลที่เกิดขึ้นมีความอ่อนตัว ผลจากการที่มีความสามารถในการจับกับ โมเลกุลของน้ำต่ำ (ยกเว้นโปรตีนสกัดจากเวย์) ทำให้เจลที่ได้มีลักษณะอ่อนและมีความคงตัวต่อการละลาย (freeze – thaw stability) ต่ำ เนื่องจากน้ำที่จับไว้ในโครงสร้างหลุดออกไป (Lee *et al.*, 1992)

2.9 การวัดค่าเนื้อสัมผัส

เนื้อสัมผัสของอาหาร (food texture) มีความสำคัญต่อการยอมรับในคุณภาพอาหารของผู้บริโภคซึ่งส่วนใหญ่ได้รับความรู้สึกทางปากหรือจากการกิน เริ่มจากกัดอาหาร (bite) ครั้งแรก ความรู้สึกเมื่อเคี้ยวอาหาร (chewing) และความรู้สึกเมื่อบดอาหารในปาก (mastication) การรับรู้ความรู้สึกในเนื้อสัมผัสอาหารนี้เป็นการรับรู้ความรู้สึกทั้งทางกายภาพและทางสรีรวิทยาาร่วมกันในด้านสรีรวิทยานี้มีประสาทสัมผัสอื่น ๆ ของร่างกายเข้ามามีส่วนในการร่วมกับความรู้สึกเนื้อสัมผัสของอาหารด้วย คือ การเห็น การสัมผัส และการ ได้ยิน ทำให้มีการร่วมรับรู้สัมผัสซับซ้อนขึ้นจากประสาทสัมผัสเหล่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดค่าเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร คือ การวัดค่าความรู้สึกลสัมผัส (Kinesthetic) โดยพยายามออกแบบเครื่องมือเพื่อใช้วัดค่าทางกายภาพที่แสดงถึงความรู้สึกลสัมผัสของมนุษย์ ทั้งความรู้สึกลสัมผัสที่เกิดจากมือ (finger feel) ความรู้สึกลสัมผัสที่เกิดจากปาก (mouth feel) เช่นการเคี้ยวอาหาร และความรู้สึกลสัมผัสที่เกิดขึ้นกับร่างกาย ส่วนใหญ่เป็นเครื่องมือวัดค่าแรงต้านที่เกิดจากการสัมผัส (นฤคม บุญ-หลง และ จินตนา อุปคิสสกุล, 2544)

สุทธวัฒน์ เบญจกุล (2536) อธิบายการวัดความแข็งแรงของเจลโดยวิธีคอมเพรสชัน เรสโปนส์ เทสต์ (compression response test) ซึ่งจะใช้หัวเจาะ (plunger) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2 นิ้ว (5 มิลลิเมตร) ให้หัวเจาะกดผ่านตัวอย่างด้วยความเร็วคงที่ อ่านค่าที่ได้ดังต่อไปนี้

ค่าความเค้น (Stress at failure) ค่าความเค้นหมายถึงแรงกดที่ทำให้เจลทะลุ (หน่วยเป็นกรัม) เป็นแรงต้านทานของเจลซึ่งบ่งบอกถึงความแน่น (firmness)

ค่าความเครียด (Strain at failure) ค่าความเครียดหมายถึงระยะทางที่หัวเจาะกดลงบนตัวอย่าง ก่อนที่หัวเจาะทะลุผ่านตัวอย่าง ค่าความเครียดจะบ่งบอกความสามารถในการยึดเกาะของเจล (cohesiveness)



บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัตถุดิบ และสารเคมี

3.1.1 ปลานิล (*Tilapia nilotica*)

3.1.2 สารเคมีที่ใช้ทำซูริมิ

- น้ำตาลทราย (Sucrose)
- เกลือ (Sodium chloride)
- โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (Sodium– Tri Polyphosphate)

3.1.3 สารเสริมอาหารที่ใช้ในการปรับปรุงค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิ โดยจะใช้สารเสริมอาหารที่ใช้สำหรับอาหาร

3.1.3.1 กลุ่มโปรตีนจากแหล่งอื่น ได้แก่

- โปรตีนไข่ขาวผง (Egg white protein)
- โปรตีนถั่วเหลือง (Soy protein isolate)
- โปรตีนหางนมเข้มข้น (Whey protein concentrate)

3.1.3.2 กลุ่มสารออกซิแดนท์ ได้แก่

- โพแทสเซียมโบรเมต (Potassium Bromate)
- โซเดียมแอสคอร์เบต (Sodium Ascorbate)

3.2 อุปกรณ์ในการผลิต

3.2.1 ตู้แช่แข็ง

3.2.2 เครื่องบีบเนื้อปลาสด

3.2.3 เครื่องอัดซูริมิ

3.2.4 เทอร์โมมิเตอร์

3.2.5 เครื่องชั่ง

- ขนาด 1 กิโลกรัม
- ขนาด 10 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 เครื่องบดผสม Moulinex รุ่น masterchef 350 (ภาคผนวก ก)

3.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์

- เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส Texture Expert for Windows รุ่น Stable Micro Systems TA-XT2
- เครื่องวัดสี (Chroma meter) ยี่ห้อ Minolta รุ่น CR-300 (ภาคผนวก ข)

3.4 สถานที่ดำเนินงาน

ห้องปฏิบัติการ โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 ศึกษาผลของการให้ความร้อน แก่ซูริมิที่มีต่อค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิล

นำซูริมิปลานิล (ภาคผนวก ก) ที่ผ่านการละลายมาบดผสมกับเกลือ 3% นำมาบรรจุในถุงโพลีโพรพิลีนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.7 ซม. โดยใช้เครื่องอัดซูริมิ (ภาคผนวก ก) มัดปลายทั้ง 2 ข้างด้วยยางให้แน่น นำไปให้ความร้อน โดยในการทดลองมีการให้ความร้อน 3 รูปแบบ ดังนี้

รูปแบบที่ 1 ต้มซูริมิในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แล้วแช่ในน้ำเย็น เพื่อปรับอุณหภูมิให้เท่ากับอุณหภูมิห้อง จากนั้นเก็บในตู้เย็น 1 คืน

รูปแบบที่ 2 ให้ซูริมิผ่านการจัดเรียงตัว (setting) ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงนำไปต้มในน้ำร้อน 90 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที แล้วแช่ในน้ำเย็น เพื่อปรับอุณหภูมิให้เท่ากับอุณหภูมิห้อง จากนั้นเก็บในตู้เย็น 1 คืน

รูปแบบที่ 3 ความร้อน 2 ระดับ คือระดับที่ 1 ต้มในน้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีระยะเวลาแตกต่างกันคือ 5, 10, 15 และ 20 นาที และระดับที่ 2 ต้มในน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที แล้วแช่ในน้ำเย็น เพื่อปรับอุณหภูมิให้เท่ากับอุณหภูมิห้อง จากนั้นเก็บในตู้เย็น 1 คืน

จากนั้นนำเจลซูริมิปลานิลที่ได้มาทดสอบค่าความแข็งแรงของเจลด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (ภาคผนวก ข)

การทดลองศึกษาผลของการให้ความร้อนแก่ซูริมิทำ 3 ชั่วโมง วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistical Package for the Social Science (SPSS) Version 9.0

3.5.2 ศึกษาผลของการเติมสารเสริมอาหารในซูริมิปลานิลก่อนและหลังการแช่เยือกแข็งต่อค่าความแข็งแรงของเจล

3.5.2.1 ตัวอย่างที่ 1 นำเนื้อปลานิลมาบดผสมกับสาร cryoprotectants (น้ำตาลทราย 4% และ โซเดียมไตร โพลีฟอสเฟต 0.3%) ไข่ขาวผง (Egg white protein) 1.0% บรรจุในถุงและปิดผนึกแบบสุญญากาศ นำไปแช่เยือกแข็งโดยใช้อุณหภูมิประมาณ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาละลาย และบดผสมกับเกลือ 3% บรรจุในถุง โพลีโพรพิลีน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.7 ซม. มัดปลายทั้ง 2 ข้างด้วยยางให้แน่น

3.5.2.2 ตัวอย่างที่ 2 นำซูริมิปลานิลที่ผ่านการละลายมาบดผสมกับเกลือ 3% และไข่ขาวผง (Egg white protein) 1.0% นำมาบรรจุในถุงโพลีโพรพิลีน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.7 ซม. มัดปลายทั้ง 2 ข้างด้วยยางให้แน่น

นำซูริมิทั้ง 2 ตัวอย่าง มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่ได้จากข้อ 3.5.1 แล้วแช่ในน้ำเย็น เพื่อปรับอุณหภูมิให้เท่ากับอุณหภูมิห้อง จากนั้นเก็บในตู้เย็น 1 คืน จากนั้นทดสอบค่าความแข็งแรงของเจลด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (ภาคผนวก ข)

การทดลองศึกษาผลของการเติมสารเสริมอาหารในซูริมิก่อนและหลังการแช่เยือกแข็งทำ 3 ชั่วโมง วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistical Package for the Social Science (SPSS) Version 9.0

3.5.3 ศึกษาระดับที่เหมาะสมของการใช้สารเสริมอาหารชนิดต่าง ๆ ในการทำให้เกิดค่าความแข็งแรงของเจลสูงสุด

นำซูริมิปลานิลที่ผ่านการละลายมาบดผสมกับเกลือ 3% และสารเสริมอาหาร นำมาบรรจุในถุงโพลีโพรพิลีน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.7 ซม. มัดปลายทั้ง 2 ข้างด้วยยางให้แน่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่ได้จาก 3.5.1 แล้วแช่ในน้ำเย็น เพื่อปรับอุณหภูมิให้เท่ากับอุณหภูมิห้อง จากนั้นเก็บในตู้เย็น 1 คืน จากนั้นทดสอบค่าความแข็งแรงของเจลด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (ภาคผนวก ข) โดยชนิดและระดับของสารเสริมอาหารที่ใช้ ดังนี้

3.5.3.1 กลุ่มโปรตีนจากแหล่งอื่น ได้แก่

- โปรตีนไข่ขาวผง (Egg white protein) ความเข้มข้นที่ใช้ 7 ระดับ คือ 1.0%, 2.0%, 3.0%, 4.0%, 5.0%, 6.0% และ 7.0% ตามลำดับ โดยน้ำหนักของชูริมิ
- โปรตีนถั่วเหลือง (Soy protein isolate) ความเข้มข้นที่ใช้ 7 ระดับ คือ 1.0%, 2.0%, 3.0%, 4.0%, 5.0%, 6.0% และ 7.0% ตามลำดับ โดยน้ำหนักของชูริมิ
- โปรตีนหางนม (Whey protein concentrate) ความเข้มข้นที่ใช้ 7 ระดับ คือ 1.0%, 2.0%, 3.0%, 4.0%, 5.0%, 6.0% และ 7.0% ตามลำดับ โดยน้ำหนักของชูริมิ

3.5.3.2 กลุ่มสารออกซิแดนซ์ ได้แก่

- โปแตสเซียมโบรเมต (Potassium bromate) ความเข้มข้นที่ใช้ 7 ระดับ คือ 0.05 %, 0.1%, 0.015%, 0.2%, 0.25%, 0.3% และ 0.4% ตามลำดับ โดยน้ำหนักของชูริมิ
- โซเดียมแอสคอร์เบต (Sodium ascorbate) ความเข้มข้นที่ใช้ 7 ระดับ คือ 0.05 %, 0.1%, 0.015%, 0.2%, 0.25%, 0.3% และ 0.4% ตามลำดับ โดยน้ำหนักของชูริมิ

การทดลองศึกษาผลของการเติมสารเสริมอาหารชนิดต่าง ๆ ในชูริมิทำ 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistical Package for the Social Science (SPSS) Version 9.0

3.5.4 ศึกษาผลของการใช้สารเสริมอาหารร่วมกันเพื่อเพิ่มค่าความแข็งแรงของเจลชูริมิปลา

นำชูริมิปลาที่ผ่านการละลายมาผสมกับเกลือ 3% และสารเสริมอาหารที่ได้ศึกษาจากข้อ 3.5.3 คือ สารกลุ่มโปรตีนจากแหล่งอื่น (โปรตีนไข่ขาวผง, โปรตีนหางนม และ โปรตีนถั่วเหลือง) มาใช้ร่วมกับกลุ่มสารออกซิแดนซ์ (โปแตสเซียมโบรเมตและ โซเดียมแอสคอร์เบต) โดยเลือกระดับของสารแต่ละชนิดในระดับที่ให้ค่าความแข็งแรงของเจลชูริมิปลาชนิดสูงที่สุด

นำชูริมิที่บดผสมแล้วมาบรรจุในถุงโพลีโพรพิลีนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.7 ซม. มัดปลายทั้ง 2 ข้างด้วยยางให้แน่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่ได้จากข้อ 3.5.1 แล้วแช่ในน้ำเย็น เพื่อปรับอุณหภูมิให้เท่ากับอุณหภูมิห้อง จากนั้นเก็บในตู้เย็น 1 คืน จากนั้นทดสอบค่าความแข็งแรงของเจลด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส และตรวจสอบคุณภาพของชูริมิ (ภาคผนวก ข) ดังนี้

3.5.4.1 การทดสอบด้วยการพับหรือ Folding test (สถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ, 2533)

3.5.4.2 การวัดสีโดยใช้เครื่องวัดสี (สถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ, 2533)

3.5.4.3 การหาความชื้น (AOAC, 1995)

3.5.4.4 การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (สถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ, 2533)

การทดลองศึกษาผลของการใช้สารเสริมอาหารร่วมกันในชูริมีท่า 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistical Package for the Social Science (SPSS) Version 9.0 เพื่อเปรียบเทียบการใช้สารเสริมอาหารร่วมกันที่ทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลสูงสุด

3.5.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัสที่มีต่อชูริมีปลานิล (ภาคผนวก ก)

3.5.5.5 การทดสอบโดยการกัด หรือ Teeth cutting test โดยทดสอบชูริมีตัวอย่างที่ใช้สารเสริมอาหารร่วมกันแล้วให้ค่าความแข็งแรงของเจลสูงสุดเปรียบเทียบกับชูริมีที่เป็นตัวอย่างควบคุม (สถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ, 2533)

3.5.5.6 นำชูริมีที่ผ่านการคัดเลือกทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลสูงสุดที่สุด ไปผลิตเป็นลูกชิ้นปลา (ภาคผนวก ก) จากนั้นทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้ชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน 20 คน โดยการให้คะแนนความชอบแบบ 9 – point Hedonic Scale ประเมินคุณค่าทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รส และการยอมรับโดยรวม

3.5.6 การคำนวณ Yield ของชูริมีปลานิล

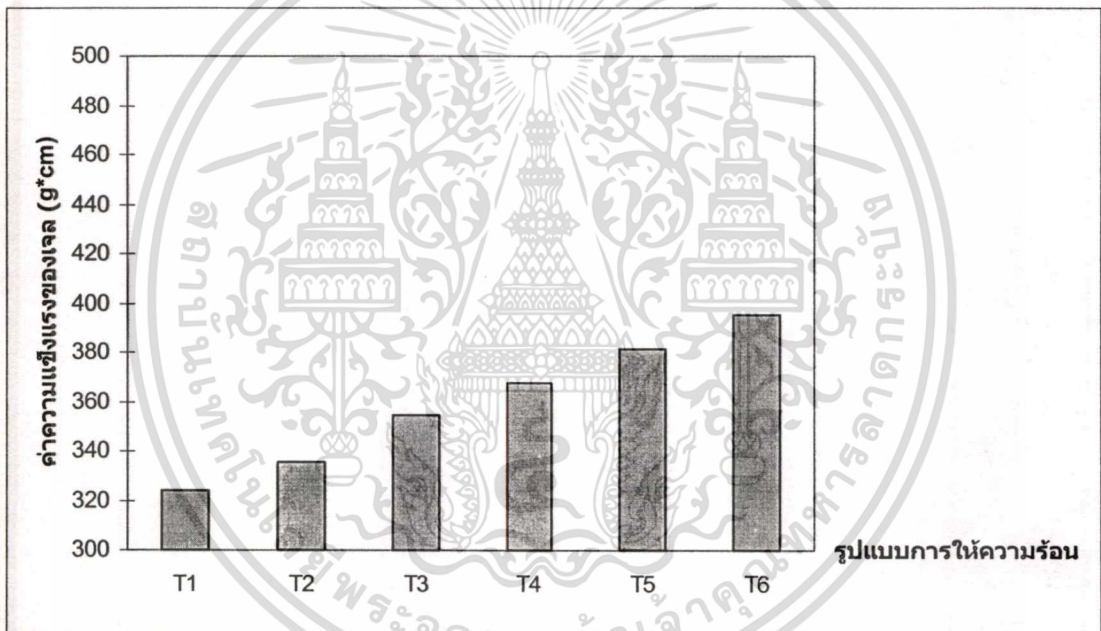
คำนวณหาค่า Yield ของชูริมี โดยชั่งน้ำหนัก (A) ของปลานิลเริ่มต้นที่ใช้ จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักครั้งที่ 2 หลังจากขั้นตอนการบดเนื้อปลานิลที่แยกออกจากก้างและหนังแล้ว ทำการชั่งน้ำหนักครั้งที่ 3 (B) เมื่อบีบน้ำออกจากเนื้อปลาภายหลังการล้างน้ำเกลือเย็นซึ่งเป็นการล้างครั้งสุดท้าย นำมาคำนวณค่า Yield ของชูริมีปลานิลจากสูตร

$$\text{Yield ของชูริมีปลานิล} = \frac{B \times 100}{A}$$

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาการให้ความร้อนแก่ชูริมิที่มีต่อค่าความแข็งแรงของเจลชูริมิปลานิด

จากการศึกษาผลของการให้ความร้อนแก่ชูริมิปลานิดที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกัน พบว่าในการให้ความร้อน 2 ระดับ คือ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จะเป็นช่วงการให้ความร้อนที่ทำให้ชูริมิปลานิดมีค่าความแข็งแรงของเจลสูงสุด คือมีค่าความแข็งแรงของเจลเฉลี่ยอยู่ที่ 395 กรัม-เซนติเมตร (ภาพที่ 4.1)



ภาพที่ 4.1 ค่าความแข็งแรงของเจลชูริมิปลานิดที่ผ่านการให้ความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ กัน

โดยที่ T1 คือ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 30 นาที

T2 คือ อุณหภูมิห้อง 20 นาที และ 90 องศาเซลเซียส 20 นาที

T3 คือ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 5 นาที และ 90 องศาเซลเซียส 20 นาที

T4 คือ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 10 นาที และ 90 องศาเซลเซียส 20 นาที

T5 คือ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 15 นาที และ 90 องศาเซลเซียส 20 นาที

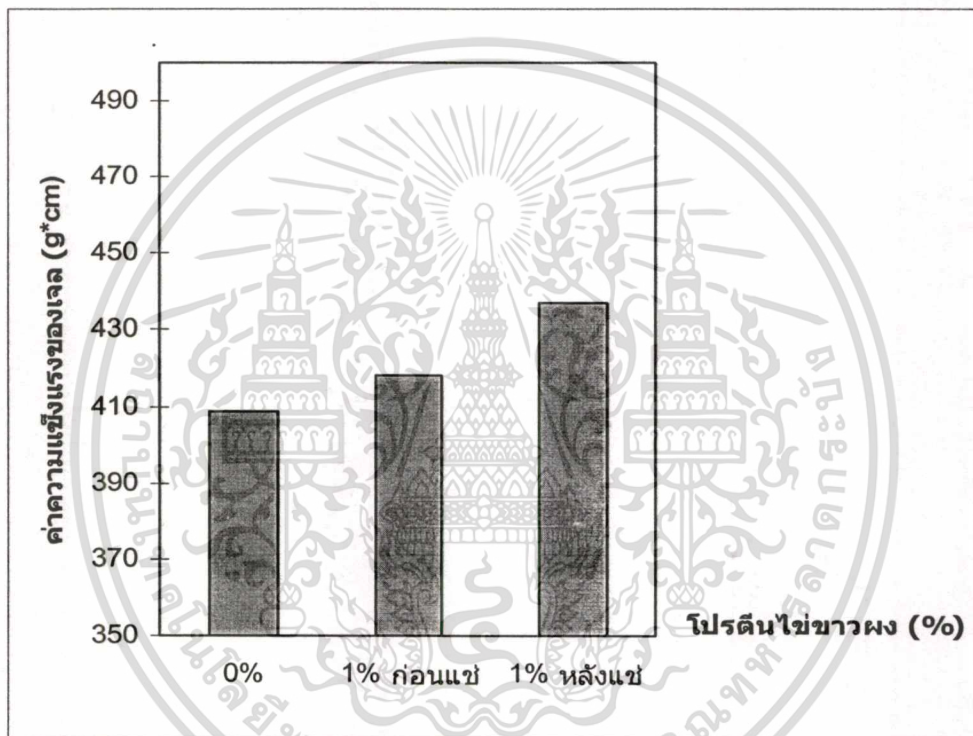
T6 คือ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 20 นาที และ 90 องศาเซลเซียส 20 นาที

เนื่องจากการให้ความร้อนเพื่อให้โปรตีนมีการจัดเรียงตัว (setting) ที่ 40 – 50 องศาเซลเซียส จะเพิ่มความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของเจลซูริมิ เพราะส่วนของโซลเมื่อได้รับความร้อนประมาณ 50 องศาเซลเซียส โซลจะเปลี่ยนเป็นเจลซึ่งเรียกว่า ซูวาริเจล (suwari gel) มีลักษณะค่อนข้างยืดหยุ่น และให้เจลที่แข็งแรงกว่า จากนั้นเจลของซูริมิจะเกิดอย่างรวดเร็วเมื่อได้รับความร้อนที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่ทำให้เจลแข็งแรง โปรตีนจะเกิดการการจัดเรียงตัวอย่างสมบูรณ์ ทำให้เกิดเจลที่แข็งแรง เรียกว่า อาชิ (ashi) และในการทดลองเมื่อให้ความร้อนที่ 40 องศาเซลเซียสแล้ว จะทำการให้ความร้อนที่ 90 องศาเซลเซียสทันที เพื่อให้ผ่านช่วงความร้อน 60 – 70 องศาเซลเซียส ไปโดยเร็ว เนื่องจากที่อุณหภูมินี้ เจลซูริมิจะมีลักษณะนิ่มลงเรียกว่า โมโคริ (modori) เนื่องจากโครงสร้างบางส่วนถูกทำลายโดยเอนไซม์อัลคาไลน์โปรตีเอสที่ทนความร้อน การออกซิเดชันของหมู่ซัลไฮดริล (SH) เป็นพันธะไดซัลไฟด์ (SS) จะเริ่มต้นอย่างช้า ๆ ที่อุณหภูมิ 40 – 45 องศาเซลเซียส ในส่วนของแอคโตไมโอซินและไมโอซินที่อยู่ในเนื้อปลา (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2536; Smyth *et al.*, 1998)

สำหรับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เจลที่ได้มีค่าความแข็งแรงของเจลต่ำ อาจเกิดจากการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนเกิดขึ้นเร็วกว่าการจับตัวกันของโปรตีน ทำให้โครงร่าง 3 มิติที่ได้ ไม่มีความสม่ำเสมอ นอกจากนี้ฤทธิ์ เป็ยมปริดาและจิราพร รุ่งเลิศเกียรติ (2546) ศึกษาการผลิตลูกชิ้นปลาจากเนื้อปลาสองชนิดรายงานว่า ระยะเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อค่าความแข็งแรงของเจลปลานิล โดยปลานิลที่ผ่านการล้าง เมื่อให้ความร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที มีค่าความแข็งแรงสูงกว่าที่เวลา 2 ชั่วโมง เมื่อเพิ่มเวลาในการให้ความร้อน ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของเจลลดลง ซึ่งอาจเป็นผลของเอนไซม์โปรตีเนสที่ไม่สามารถขจัดออกไปได้หมดด้วยการล้างคั้งนั้นจึงเลือกการให้ความร้อนที่ 40 องศาเซลเซียส 20 นาที แล้วให้ความร้อน 90 องศาเซลเซียส 20 นาที ในการศึกษาขั้นต่อไป

4.2 ผลของการศึกษาการเติมสารเสริมอาหารในซูริมิปลานิลก่อนและหลังการแช่เยือกแข็งต่อค่าความแข็งแรงของเจล

จากการทดลองใช้ไข่ขาวผง 1 เปอร์เซ็นต์ ในการศึกษาผลของการเติมสารเสริมอาหารก่อนและหลังการแช่เยือกแข็ง ที่มีต่อค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิล พบว่าตัวอย่างเจลซูริมิที่ได้จากการเติมไข่ขาวผงในเนื้อปลานิลที่บดผสมกับสาร cryoprotectants (น้ำตาลทราย 4% และ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.3%) ก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง มีค่าความแข็งแรงของเจลต่ำกว่าตัวอย่างเจลซูริมิที่เติมไข่ขาวผงหลังจากที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแล้ว



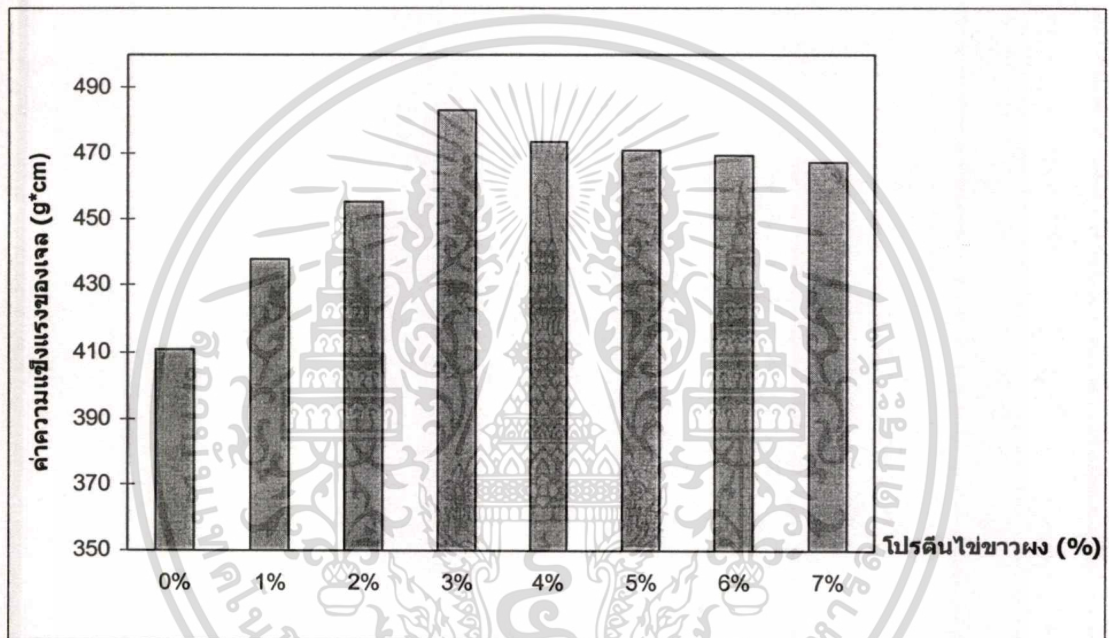
ภาพที่ 4.2 ค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติมโปรตีนไข่ขาวผง 1 เปอร์เซ็นต์ ก่อนและหลังการแช่เยือกแข็ง

อาจกล่าวได้ว่าการแช่เยือกแข็งมีผลทำให้โปรตีนไข่ขาวผงสูญเสียคุณสมบัติเชิงหน้าที่ไปบางส่วน ซึ่งมีผลให้ความสามารถในการเพิ่มค่าความแข็งแรงของเจลต่ำกว่าการเติมไข่ขาวผงในซูริมิที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแล้ว จึงเลือกวิธีการทดลองแบบการเติมสารเสริมอาหารลงในซูริมิปลานิลหลังการแช่เยือกแข็งในการทดลองขั้นต่อไป

4.3 ผลของการศึกษาการใช้สารเสริมอาหารชนิดต่าง ๆ ในการทำให้เกิด ค่าความแข็งแรงของเจลสูงสุด

4.3.1 การเติมโปรตีนไข่ขาวผง

ผลของการเติมโปรตีนไข่ขาวผงลงในซูริมิปลานิตที่ระดับต่าง ๆ กัน พบว่าเจลซูริมิปลานิตที่มีการเติมโปรตีนไข่ขาวผง 3 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่าแรงกดและค่าระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตกสูงที่สุด และเมื่อคำนวณออกมาเป็นค่าความแข็งแรงของเจลก็ให้ค่าสูงที่สุดด้วยเช่นเดียวกัน คือมีค่าความแข็งแรงของเจลเฉลี่ยอยู่ที่ 483 กรัม-เซนติเมตร คิดเป็น 17.70 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่มีค่าความแข็งแรงของเจลเฉลี่ยอยู่ที่ 410 กรัม-เซนติเมตร



ภาพที่ 4.3 ค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิตที่เติมโปรตีนไข่ขาวผงระดับต่าง ๆ กัน

เมื่อมีการให้ความร้อนเพื่อให้โปรตีนคงตัวหรือ setting (40 องศาเซลเซียส) โปรตีนจากไข่ขาวและโปรตีนจากเนื้อปลาสูญเสียสภาพ มีการคลายตัวของสายโพลีเปปไทด์ ทำให้โครงสร้างโปรตีนเกิดเป็นสายยาวโดยมีโซ่ข้างที่ยังเกิดปฏิกิริยาหรือเกิดพันธะได้ จะเกิดทั้งพันธะไฮโดรเจนและพันธะโควาเลนต์ของหมู่ซัลไฮดริล (-SH) ไปเป็นพันธะไดซัลไฟด์ (-S-S-) ทำให้การยึดเกาะของเนื้อปลาที่นำมาขึ้นรูปดีขึ้น เมื่อมีการให้ความร้อนแก่เนื้อปลาจนสุกพร้อมที่จะบริโภคโปรตีนจากเนื้อปลาและโปรตีนจากไข่ขาวที่มีการสร้างพันธะเชื่อมข้ามต่อกันเกิดการสูญเสียสภาพอย่างสมบูรณ์ จึงทำให้ซูริมิที่ผ่านการให้ความร้อนมีค่าความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น กล่าวได้ว่าโปรตีนไข่ขาวผงสามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิตได้สำหรับซูริมิที่มีการใช้โปรตีนไข่ขาวสูงกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความแข็งแรงของเจลต่ำลง เนื่องจากปริมาณไข่ขาวผงที่เติมลงไปนั้นส่วนหนึ่งเกิดพันธะเชื่อมข้ามกับโปรตีนไมโอซินของเนื้อปลา และอีกส่วนหนึ่งเกิดพันธะระหว่าง

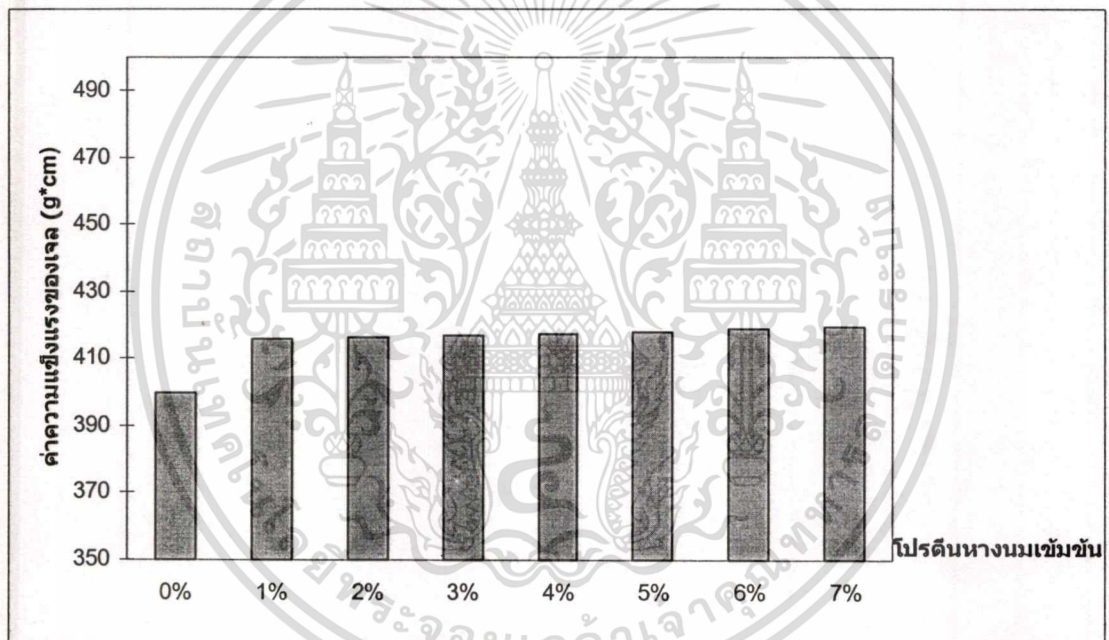
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเลกุลของไข่ขาวผงดด้วยตัวเอง ซึ่งให้ความแข็งแรงของเจลชูริมีน้อยกว่า เนื่องจากโปรตีนของไข่ขาวผงดเมื่อเกิดการสูญเสียสภาพอย่างสมบูรณ์จะมีคุณสมบัติเปราะ (brittle) และแตกง่าย (สุพรรณพันธ์ ชุมเรียงและคณะ, 2542)

4.3.2 การเติมโปรตีนหางนม

ผลของการเติมโปรตีนหางนมลงในชูริมีปลานิลที่ระดับต่าง ๆ กันพบว่า ชูริมีที่มีการเติมโปรตีนหางนมมีค่าความแข็งแรงของเจลสูงขึ้นมากว่าเดิมอย่างควบคุม โดยเจลชูริมีปลานิลที่มีการเติมโปรตีนหางนมที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความแข็งแรงของเจลเฉลี่ย 415 กรัม-เซนติเมตร คิดเป็น 3.97 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่มีค่าความแข็งแรงของเจลเฉลี่ยอยู่ที่ 399 กรัม-เซนติเมตร



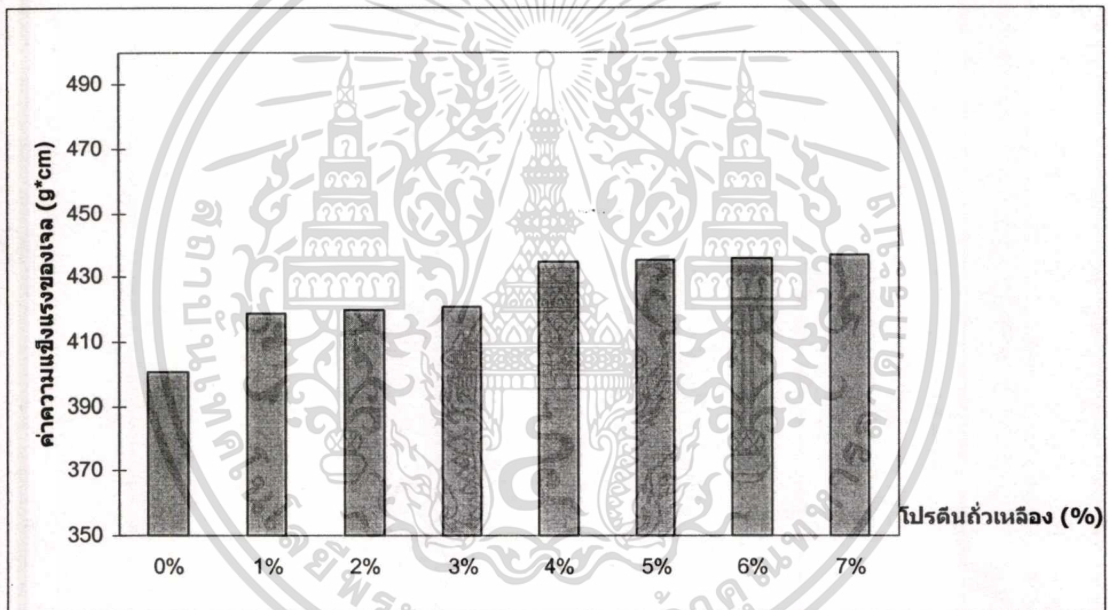
ภาพที่ 4.4 ค่าความแข็งแรงของเจลชูริมีปลานิลที่เติมโปรตีนหางนมระดับต่าง ๆ กัน

โปรตีนหางนมมีผลในการเพิ่มค่าแรงกดและค่าระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตก รวมไปถึงค่าความแข็งแรงของเจลที่เพิ่มขึ้นจากตัวอย่างควบคุม โปรตีนหางนมที่เติมลงในชูริมีปลานิลระดับ 1 – 7 เปอร์เซ็นต์ มีความสามารถในการเพิ่มความแข็งแรงของเจลชูริมีต่ำ ซึ่งมีสาเหตุมาจากความแตกต่างกับโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ ในด้านของคุณสมบัติการจับกับโมเลกุลของน้ำ รูปแบบการกระจายตัว และระดับการรบกวนการสร้างเจลของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ ผลจากการที่โปรตีนหางนมมีความสามารถในการจับกับโมเลกุลของน้ำต่ำ ทำให้ได้เจลที่มีลักษณะอ่อน เนื่องจากโมเลกุลของน้ำหลุดออกมาจากช่องว่างในโครงสร้างของเจล (Lee et al., 1992; Chung and

Lee, 1990) สำหรับลักษณะปรากฏของซูริมิปลานิลที่มีการเติมโปรตีนหางนั้น เจลที่ได้มีความอ่อน มีสีขาวและมีกลิ่นของนมชัดเจน ดังนั้นจึงเลือกโปรตีนหางนมที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ ในการศึกษา ขั้นตอนต่อไป

4.3.3 การเติมโปรตีนถั่วเหลือง

ผลของการเติมโปรตีนถั่วเหลืองลงในซูริมิปลานิลที่ระดับต่าง ๆ กัน พบว่าเจลซูริมิปลานิลที่มีการเติมโปรตีนถั่วเหลือง 4 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่าแรงกด ค่าระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตกสูงที่สุด และเมื่อคำนวณออกมาเป็นค่าความแข็งแรงของเจลก็ให้ค่าสูงที่สุดด้วยเช่นเดียวกัน คือมีค่าความแข็งแรงของเจลเฉลี่ยอยู่ที่ 434 กรัม-เซนติเมตร คิดเป็น 8.56 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่มีค่าความแข็งแรงของเจลเฉลี่ยอยู่ที่ 400 กรัม-เซนติเมตร



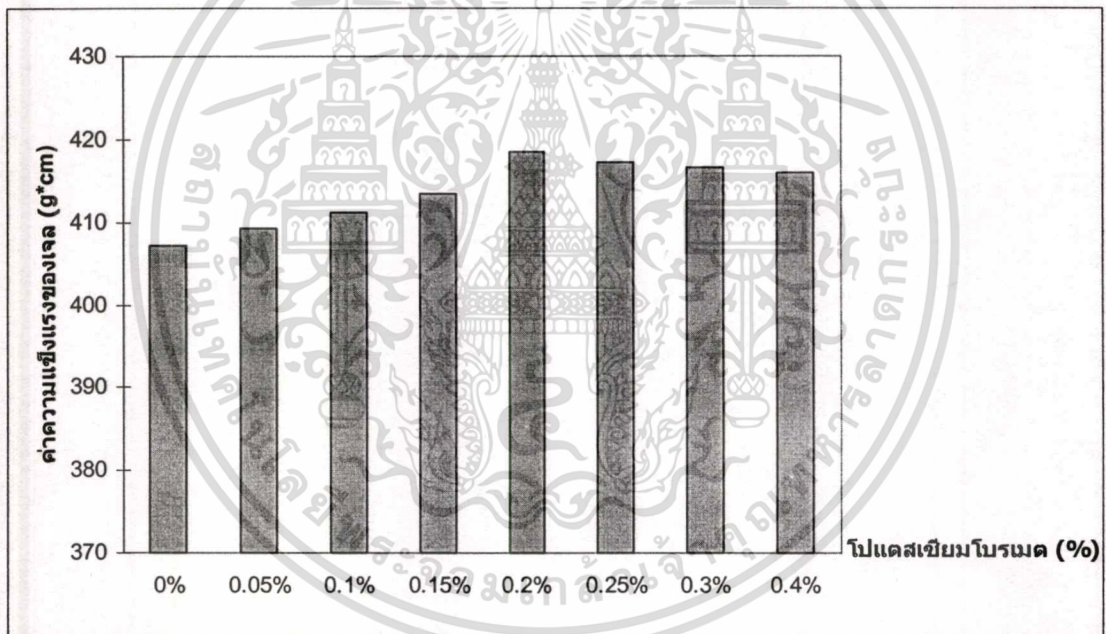
ภาพที่ 4.5 ค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติมโปรตีนถั่วเหลืองระดับต่าง ๆ กัน

การเติมโปรตีนถั่วเหลืองที่ระดับ 4 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่าแรงกดสูงที่สุด และเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมของซูริมิปลานิลแล้วพบว่าการเติมโปรตีนถั่วเหลืองที่ระดับ 4 เปอร์เซ็นต์ ซูริมิปลานิลมีค่าความแข็งแรงของเจลสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณมากขึ้นค่าแรงกดและค่าความแข็งแรงของเจลจะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของจักริ (2544) ที่พบว่าโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมในปริมาณร้อยละ 5 หรือ 10 จะขัดขวางการเกิดเจลซูวารี เนื่องจากการเจือจางโปรตีนไมโอซินในซูริมิและขัดขวางการเกิดสะพานเชื่อม (crosslinking) ระหว่าง MHC โปรตีนถั่วเหลืองทำให้เจลของซูริมิปลานิลมีความแข็งหรือกระด้าง (rigidity) ขึ้น เป็นผลจากการเพิ่มปริมาณของแข็ง แต่ไม่เพิ่มความเหนียวหรือความยืดหยุ่นของเจล สำหรับลักษณะปรากฏของเจลซูริมิปลานิลที่เติมโปรตีนถั่วเหลือง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจลที่ได้จะมีความแข็ง มีสีเหลืองอ่อนจนถึงสีเหลืองเข้มมากขึ้นตามระดับของโปรตีนถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้น โดยที่ระดับความเข้มข้นของโปรตีนถั่วเหลืองสูง ๆ จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีครีม (creamy color) และมีกลิ่นรสของถั่ว ซึ่งมีผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีกลิ่นและรสชาติไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (Lee et. al., 1992)

4.3.4 การเติมโปแตสเซียมโบรเมต

ผลการเติมโปแตสเซียมโบรเมตลงในซูริมิจากปลานิลที่ระดับต่าง ๆ กัน พบว่าเจลซูริมิจานิลที่เติมโปแตสเซียมโบรเมต ที่ระดับ 0.2 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่าแรงกด ค่าระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตก รวมทั้งค่าความแข็งแรงของเจลสูงที่สุด คือมีค่าความแข็งแรงของเจลเฉลี่ยอยู่ที่ 418 กรัม-เซนติเมตร คิดเป็น 2.75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่มีค่าความแข็งแรงของเจลเฉลี่ยอยู่ที่ 407 กรัม-เซนติเมตร



ภาพที่ 4.6 ค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิจานิลที่เติม โปแตสเซียมโบรเมตระดับต่าง ๆ กัน

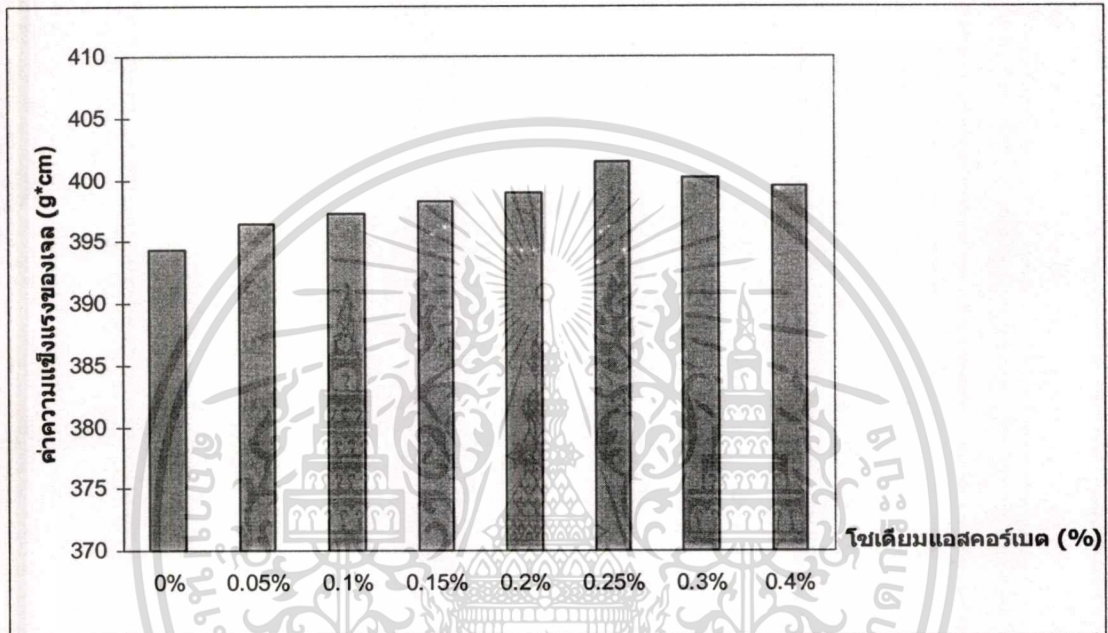
การเพิ่มพันธะไดซัลไฟด์ในโมเลกุลของโปรตีนสามารถทำได้โดย ทำให้หมู่ซัลไฮดริลเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือการเติมสารออกซิเดนต์ลงในซูริมิ เช่น โปแตสเซียมโบรเมต ซึ่งเป็นตัวเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากหมู่ซัลไฮดริลไปเป็นพันธะไดซัลไฟด์ เนื่องจากมีส่วนเพิ่มออกซิเดชัน – รีดักชัน โปเทนเชียล (oxidation – reduction potential) (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2536) ระหว่างสายโพลีเปปไทด์และจากนั้นจึงเกิดการรวมตัวกันของโปรตีน ซึ่งมีผลทำให้ค่าความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น ซึ่งมีความสำคัญต่อการเกิดเจลของซูริมิ ทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลสูงขึ้น (สุพรรณพันธ์ และ คณะ, 2542; Lee et al., 1997; Pacheco and Crawford, 1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 การเติมโซเดียมแอสคอร์เบต

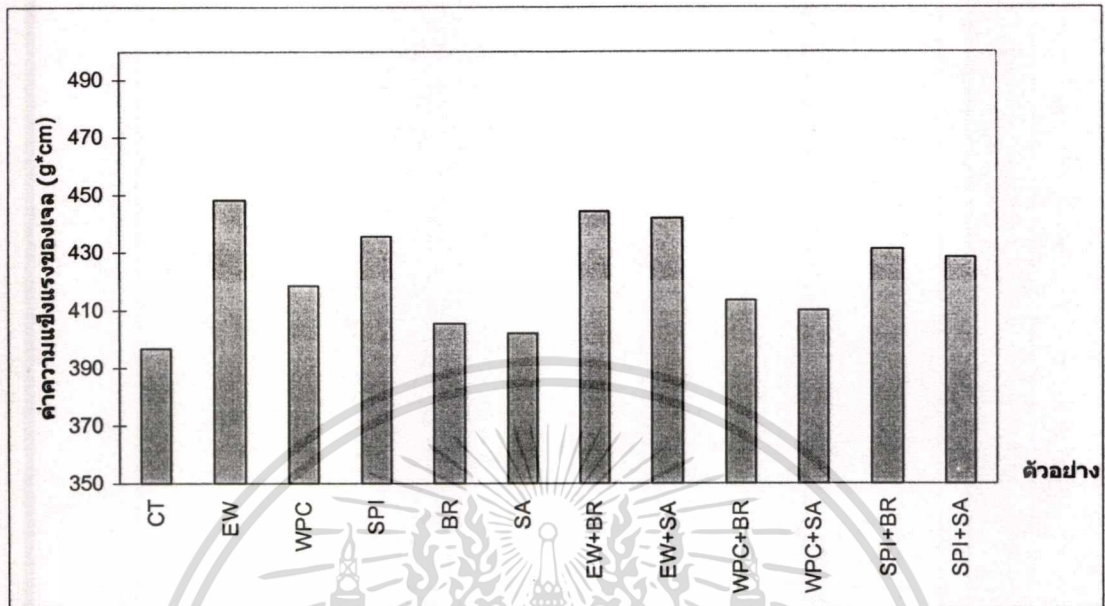
การทดลองเติม โซเดียมแอสคอร์เบตในซูริมิจากปลาชนิดที่เติม โซเดียมแอสคอร์เบต ที่ระดับ 0.25 เปอร์เซ็นต์ จะให้ค่าแรงกด ค่าระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตก รวมทั้งค่าความแข็งแรงของเจลสูงที่สุด คือมีค่าความแข็งแรงของเจลเฉลี่ยอยู่ที่ 401 กรัม-เซนติเมตร คิดเป็น 1.81 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่มีค่าความแข็งแรงของเจลเฉลี่ยอยู่ที่ 394 กรัม-เซนติเมตร



ภาพที่ 4.7 ค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลาชนิดที่เติม โซเดียมแอสคอร์เบตระดับต่าง ๆ กัน

สำหรับกลไกการเพิ่มความแข็งแรงของเจลซูริมิ เกิดจากการที่โซเดียมแอสคอร์เบตเป็นสารที่ช่วยเหนี่ยวนำการสร้างพันธะเชื่อมข้ามเช่นเดียวกับโบรเมต โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันของหมู่ซัลไฮดริล นอกจากนี้แอสคอร์เบตยังเพิ่มหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) ที่บริเวณผิวของโปรตีน ทำให้มีการเกิดการรวมตัวกัน (polymerization) ของโปรตีนมากขึ้น มีผลให้ค่าความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น Kimio และคณะ (1996) ได้ศึกษาผลของกรดแอสคอร์บิกที่มีต่อซูริมิจากปลาปลาสก้าพอลแลก พบว่ากรดแอสคอร์บิกมีผลเหนี่ยวนำการเกิดพันธะไดซัลไฟด์เชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุลของ myosin heavy chain (MHC) เกิดเป็นโพลิเมอร์ของ myosin heavy chain โดยพบว่าเกิดการเชื่อมต่อกันของไดซัลไฟด์ (disulfide bridging) ระหว่างอนุมูลไทอิล (thiyl) ของกรดอะมิโนซิสตีอีน (cysteine) ในซูริมิ

4.4 ผลของการศึกษาการใช้ สารเสริมอาหารร่วมกันเพื่อเสริมค่าความแข็งแรงของเจล ชูริมิปลานิด



ภาพที่ 4.8 ค่าความแข็งแรงของเจลชูริมิปลานิดที่เติมสารเสริมอาหารระดับต่าง ๆ ร่วมกัน

โดยที่ CT คือ ตัวอย่างควบคุม

EW คือ โปรตีนไข่ขาวผง 3 %

WPC คือ โปรตีนหางนม 1%

SPI คือ โปรตีนถั่วเหลือง 4 %

BR คือ โปแตสเซียมโบรเมต 0.2 %

SA คือ โซเดียมแอสคอร์เบต 0.25 %

EW + BR คือ โปรตีนไข่ขาวผง 3 % ร่วมกับ โปแตสเซียมโบรเมต 0.2 %

EW + SA คือ โปรตีนไข่ขาวผง 3 % ร่วมกับ โซเดียมแอสคอร์เบต 0.25 %

WPC + BR คือ โปรตีนหางนม 1% ร่วมกับ โปแตสเซียมโบรเมต 0.2 %

WPC + SA คือ โปรตีนหางนม 1% ร่วมกับ โซเดียมแอสคอร์เบต 0.25 %

SPI + BR คือ โปรตีนถั่วเหลือง 4 % ร่วมกับ โปแตสเซียมโบรเมต 0.2 %

SPI + SA คือ โปรตีนถั่วเหลือง 4 % ร่วมกับ โซเดียมแอสคอร์เบต 0.25 %

ในการทดลองใช้สารเสริมอาหารร่วมกัน เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลของการเติมสารเสริมอาหารแต่ละชนิดที่มีต่อค่าความแข็งแรงของเจลชูริมิปลานิด พบว่า เจลชูริมิปลานิดที่เติมไข่ขาวผงระดับ 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความแข็งแรงของเจลเท่ากับ 448 กรัม-เซนติเมตร ไข่ขาวผงทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลสูงขึ้น 13.11 เปอร์เซ็นต์ เจลชูริมิปลานิดที่เติมโปแตสเซียมโบรเมต 0.2 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าความแข็งแรงของเจลเท่ากับ 405 กรัม-เซนติเมตร ทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลสูงขึ้น 2.28 เปอร์เซ็นต์ ในเจลซูริมิปลานิตที่มีการเติมโปรตีนไข่ขาวผง 3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับโปแตสเซียมโบรเมต 0.2 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่าแรงกดและค่าความแข็งแรงของเจลสูงสุด คือมีค่าความแข็งแรงของเจลเท่ากับ 444 กรัม-เซนติเมตร คิดเป็น 12.07 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่มีค่าความแข็งแรงของเจลเท่ากับ 396 กรัม-เซนติเมตร เนื่องจากในช่วงอุณหภูมิการจัดเรียงตัว เป็นช่วงที่โมเลกุลของโปรตีนเกิดการคลายตัวของโครงสร้างบางส่วน โปรตีนไข่ขาวผงมีการทำปฏิกิริยากับโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ในเนื้อปลา และโปแตสเซียมโบรเมตมีบทบาทในการเหนี่ยวนำหมู่ซัลไฮดริล (-SH) ของโมเลกุลโปรตีนให้เป็นพันธะไดซัลไฟด์ (-S-S-) เกิดกระบวนการจัดเรียงตัวและสร้างพันธะระหว่างโมเลกุลเป็นโครงสร้าง 3 มิติ จึงทำให้โปรตีนเกิดการจับตัวกันเป็นเจลได้ดีขึ้น และเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง (90 องศาเซลเซียส) เจลที่ผ่านช่วงของการจัดเรียงตัวมีการสูญเสียสภาพธรรมชาติอย่างสมบูรณ์ เจลซูริมิปลานิตที่ได้จะมีค่าความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น

4.5 การตรวจสอบคุณภาพของซูริมิ

4.5.1 การทดสอบด้วยการพับ (Folding test)

จากการทดสอบโดยการพับชิ้นเจลของซูริมิจากปลานิตโดยการพับครึ่ง หรือ 1/2 จากนั้นพับอีกครั้งอีกครั้ง หรือ 1/4 พบว่าทุกตัวอย่าง ได้คะแนนเป็น AA นั่นคือ ไม่แตกเมื่อพับเป็นส่วนแสดงผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คะแนนการทดสอบด้วยการพับ เมื่อทำการพับเป็นส่วน

ตัวอย่าง	คะแนน
ตัวอย่างควบคุม	AA
โปรตีนไข่ขาวผง 3%	AA
โปรตีนหางนมเข้มข้น 1%	AA
โปรตีนถั่วเหลือง 4%	AA
โปแตสเซียมโบรเมต 0.2%	AA
โซเดียมแอสคอร์เบต 0.25%	AA
โปรตีนไข่ขาวผง 3% และ โปแตสเซียม โบรเมต 0.2%	AA
โปรตีนไข่ขาวผง 3% และ โซเดียมแอสคอร์เบต 0.25%	AA
โปรตีนหางนมเข้มข้น 1% และ โปแตสเซียม โบรเมต 0.2%	AA
โปรตีนหางนมเข้มข้น 1%และ โซเดียมแอสคอร์เบต 0.25%	AA
โปรตีนถั่วเหลือง 4% และ โปแตสเซียม โบรเมต 0.2%	AA
โปรตีนถั่วเหลือง 4% และ โซเดียมแอสคอร์เบต 0.25%	AA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 ค่า L* เพอร์เซ็นต์ความชื้นและค่า pH ของเจลชูริมิปลานิล

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า L* เพอร์เซ็นต์ความชื้นและค่า pH ของเจลชูริมิปลานิล

ตัวอย่าง	ค่าที่ได้จากการวัดสีโดยใช้ค่า L*	เปอร์เซ็นต์ความชื้น	pH
ตัวอย่างควบคุม	82.40	74.96	6.6
โปรตีนไข่ขาวผง 3%	81.10	74.36	6.6
โปรตีนหางนมเข้มข้น 1%	82.86	72.51	6.6
โปรตีนถั่วเหลือง 4%	81.41	73.39	6.6
โปแตสเซียมโบรเมต 0.2%	82.91	72.72	6.6
โซเดียมแอสคอร์เบต 0.25%	83.40	74.91	6.7
โปรตีนไข่ขาวผง 3% และ โปแตสเซียมโบรเมต 0.2%	82.75	75.46	6.6
โปรตีนไข่ขาวผง 3% และ โซเดียมแอสคอร์เบต 0.25%	82.27	74.11	6.7
โปรตีนหางนมเข้มข้น 1% และ โปแตสเซียมโบรเมต 0.2%	81.97	72.95	6.6
โปรตีนหางนมเข้มข้น 1%และ โซเดียมแอสคอร์เบต 0.25%	82.88	72.43	6.7
โปรตีนถั่วเหลือง 4% และ โปแตสเซียมโบรเมต 0.2%	80.71	74.36	6.6
โปรตีนถั่วเหลือง 4% และ โซเดียมแอสคอร์เบต 0.25%	80.56	73.88	6.7

จากการวัดสีชูริมิปลานิลพบว่า ทุกตัวอย่างมีค่าความสว่าง (L*) ใกล้เคียงกัน แต่ในชูริมิปลานิลที่มีการเติมถั่วเหลือง จะมีสีเหลืองของถั่วเหลืองอย่างชัดเจน มีผลให้ค่าความสว่าง (L*) ก่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่น ๆ ส่วนเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเจลชูริมิปลานิลอยู่ในช่วง 72 – 75 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า pH ประมาณ 6.6

~

4.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัสที่มีต่อชูริมิปลานิล

4.6.1 การทดสอบโดยการกัด (Teeth Cutting test)

ตารางที่ 4.3 คะแนนที่ได้จากการทดสอบโดยการกัด (Teeth Cutting test) เจลชูริมิปลานิล

ลักษณะที่ทดสอบ	ตัวอย่าง	
	ตัวอย่างควบคุม	ชูริมิปลานิลเดิม โปรตีนไข่ขาวผงและโปแตสเซียมโบรเมต
ความเหนียว	8.05 ± 1.191 ^{ns}	8.10 ± 0.912 ^{ns}

หมายเหตุ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนเดียวกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ผลจากการทดสอบโดยการกัดเจลของชูริมิปลานิลทั้งตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างชูริมิจากปลานิลที่มีการเติม โปรตีนไข่ขาวผง 3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับโปแตสเซียมโบรเมต 0.2 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.4 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภครวมที่มีต่อชูริมิปลานิล

ลักษณะที่ทดสอบ	ตัวอย่าง	
	ตัวอย่างควบคุม	ชูริมิปลานิลเดิม โปรตีนไข่ขาวผงและโปแตสเซียมโบรเมต
ลักษณะปรากฏ	7.10 ± 1.29 ^{ns}	7.35 ± 0.99 ^{ns}
สี	7.10 ± 1.29 ^{ns}	7.55 ± 1.15 ^{ns}
กลิ่น	5.40 ± 1.76 ^a	6.35 ± 1.73 ^b
รสชาติ	5.60 ± 1.39 ^a	6.10 ± 1.29 ^b
เนื้อสัมผัส	6.80 ± 1.40 ^{ns}	7.10 ± 1.12 ^{ns}
การยอมรับ	6.60 ± 0.94 ^{ns}	6.95 ± 0.94 ^{ns}

หมายเหตุ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนเดียวกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภครวมที่มีต่อชูริมิปลานิล พบว่าไม่มีความแตกต่างกันในลักษณะที่ทดสอบ ยกเว้นในส่วนกลิ่นและรสชาติของชูริมิที่เป็นตัวอย่างควบคุมที่จะมีรสค่อนข้างเค็มและยังมีกลิ่นค่อนข้างคาวกว่าในตัวอย่างชูริมิปลานิลที่มีการเติมสารเสริมอาหารคือ โปรตีนไข่ขาวผง 3 เปอร์เซ็นต์ และโปแตสเซียมโบรเมต 0.2 เปอร์เซ็นต์

4.6.2 การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อลูกชิ้นที่ผลิตจากซูริมิปลานิล

ตารางที่ 4.5 ค่าการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลานิล

ลักษณะที่ทดสอบ	คะแนนเฉลี่ย
ลักษณะปรากฏ	6.95
สี	7.25
กลิ่น	7.05
รสชาติ	6.65
เนื้อสัมผัส	7.35
การยอมรับ	7.40

ในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลานิลที่มีการเติมสารเสริมอาหารคือ โปรตีนไข่ขาวผง 3 เปอร์เซ็นต์ และ โปแตสเซียมโบรเมต 0.2 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ในส่วนของลักษณะเนื้อสัมผัสผู้ชิมได้อธิบายว่า เมื่อกัดจะเกิดการแตก ซึ่งอาจเป็นผลมาจากโปรตีนของไข่ขาว ซึ่งเมื่อได้รับความร้อน เจลที่ได้จะมีลักษณะแตกง่าย ในส่วนของความชอบโดยรวมผู้ชิมให้การยอมรับในลักษณะโดยรวมของผลิตภัณฑ์

4.7 การคำนวณ Yield ของซูริมิปลานิล

ในการผลิตซูริมิปลานิล น้ำหนักปลานิลที่ใช้ทั้งหมด 7 กิโลกรัม โดยปลานิลมีน้ำหนักเฉลี่ยตัวละ 430 กรัม คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ Yield เมื่อผ่านขั้นตอนต่าง ๆ ได้ ดังนี้

น้ำหนักหัว เกล็ด หนังและก้าง	72.01 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปลานิลทั้งหมด
น้ำหนักเนื้อปลาบดก่อนทำการล้าง	27.99 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปลานิลทั้งหมด
น้ำหนักซูริมิปลานิล	22.69 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปลานิลทั้งหมด

โดยส่วนใหญ่จะเกิดการสูญเสียไปกับขั้นตอนการตัดหัวและท้องปลานิล การแล่เพื่อแยกเกล็ด หนังและก้างออกจากเนื้อปลา รวมถึงการล้างเนื้อปลาบด โดยในงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้แรงงานคนในทุก ๆ ขั้นตอน จึงมีการสูญเสียในขั้นตอนต่าง ๆ ก่อนข้างสูง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. ผลของการศึกษาการให้ความร้อนที่มีต่อการจัดเรียงตัวของเจลซูริมิปลานิลพบว่า การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 20 นาที แล้วจึงให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 20 นาที จะเป็นช่วงการให้ความร้อนที่ทำให้ซูริมิมียุคความแข็งแรงของเจลสูงที่สุด

2. ผลของการเติมสารเสริมอาหารก่อนและหลังการแช่เยือกแข็ง ที่มีต่อค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิล พบว่าตัวอย่างเจลซูริมิที่ได้จากการเติมไข่ขาวผงในเนื้อปลานิลที่บดผสมกับสารป้องกันการสูญเสียสภาพระหว่างการแช่เยือกแข็ง (cryoprotectants) ก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง มีค่าความแข็งแรงของเจลต่ำกว่าตัวอย่างเจลซูริมิที่เติมไข่ขาวผงหลังจากที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแล้ว อาจกล่าวได้ว่าการแช่เยือกแข็งมีผลทำให้โปรตีนไข่ขาวผงสูญเสียคุณสมบัติเชิงหน้าที่ไปบางส่วน ซึ่งมีผลให้ความสามารถในการเพิ่มค่าความแข็งแรงของเจลต่ำกว่าการเติมไข่ขาวผงในซูริมิที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแล้ว

3. ผลของการเติมโปรตีนไข่ขาวผงในซูริมิจากปลานิลที่ระดับต่าง ๆ กัน พบว่าโปรตีนไข่ขาวผงร้อยละ 3 จะมีค่าแรงกดและค่าระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตกสูงที่สุด และเมื่อคำนวณออกมาเป็นค่าความแข็งแรงของเจลก็ให้ค่าสูงที่สุดด้วยเช่นเดียวกัน เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมของซูริมิปลานิลแล้วพบว่า การเติมโปรตีนไข่ขาวผงร้อยละ 3 มีผลให้ซูริมิปลานิลมีค่าความแข็งแรงของเจลสูงขึ้นจากตัวอย่างควบคุมร้อยละ 17.70

4. ผลของการเติมโปรตีนหางนมในซูริมิปลานิลพบว่า โปรตีนหางนมมีผลในการเพิ่มค่าความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นจากตัวอย่างควบคุมร้อยละ 3.97 แต่เมื่อเพิ่มระดับของโปรตีนหางนมเข้มข้นที่เติมลงในซูริมิปลานิลตั้งแต่ร้อยละ 1-7 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับลักษณะปรากฏของซูริมิจากปลานิลที่มีการเติมโปรตีนหางนมเข้มข้นนั้น เจลที่ได้มีความอ่อนนุ่ม มีสีขาวและมีกลิ่นของนมชัดเจน

5. ผลของการเติมโปรตีนถั่วเหลืองที่ระดับร้อยละ 4 ในเจลซูริมิปลานิลพบว่าจะมีค่าความแข็งแรงของเจลสูงขึ้นจากตัวอย่างควบคุมร้อยละ 8.56 โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 4 ทำให้เจลของซูริมิปลานิลแข็งขึ้น แต่มีสีเหลืองและมีกลิ่นของถั่วเหลืองซึ่งเป็นคุณลักษณะผู้บริโภคไม่ต้องการ

6. ผลของการเติมโปแตสเซียมโบรเมตในเจลซูริมิปลานิลพบว่าโปแตสเซียมโบรเมตที่ระดับร้อยละ 0.2 มีค่าความแข็งแรงของเจลสูงขึ้นจากตัวอย่างควบคุมร้อยละ 2.75

7. ผลของการทดลองเติมโซเดียมแอสคอร์เบตในเจลซูริมิปลานิลพบว่าโซเดียมแอสคอร์เบตที่ระดับร้อยละ 0.25 จะให้ค่าความแข็งแรงของเจลสูงจากตัวอย่างควบคุมร้อยละ 1.81

8. ผลของการใช้สารเสริมอาหารร่วมกันในเจลชูริมิปลานิลพบว่า การใช้โปรตีนไข่ขาวผงร้อยละ 3 ร่วมกับโปแตสเซียมโบรเมตร้อยละ 0.2 จะให้ค่าแรงกดและค่าความแข็งแรงของเจลสูงที่สุด โดยจะเพิ่มค่าความแข็งแรงของเจลสูงขึ้นร้อยละ 12.07

9. ผลของการพับขึ้นเจลของชูริมิปลานิลโดยการพับครึ่ง จากนั้นพับอีกครั้งหนึ่ง พบว่า ทุกตัวอย่าง ได้คะแนนเป็น AA นั่นคือ ไม่แตกเมื่อพับสี่ส่วน ซึ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเนื้อปลาสด (ชูริมิ) เขือกแข็ง (มอก. 935 – 2533) นั้น ได้กำหนดการทดสอบด้วยวิธีการพับซึ่งต้องได้คะแนนเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 4 หรือเท่ากับ A

10. ผลของการวัดสีชูริมิปลานิลพบว่า ทุกตัวอย่างมีค่าความสว่าง (L*) ใกล้เคียงกัน แต่ในชูริมิจากปลานิลที่มีการเติมถั่วเหลือง จะมีสีเหลืองของถั่วเหลืองอย่างชัดเจน มีผลให้ค่าความสว่างค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่น ๆ

11. ผลของการทดสอบโดยการกดเจลของชูริมิปลานิลทั้งตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างชูริมิปลานิลที่มีการเติมโปรตีนไข่ขาวผงร้อยละ 3 ร่วมกับโปแตสเซียมโบรเมตร้อยละ 0.2 พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน และได้คะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8 – คะแนน ซึ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเนื้อปลาสด (ชูริมิ) เขือกแข็ง (มอก. 935 – 2533) นั้น ได้กำหนดการทดสอบด้วยวิธีพันกัต ต้องได้คะแนนเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 6 คะแนน

12. ในการผลิตชูริมิปลานิลคำนวณเปอร์เซ็นต์ Yield ของชูริมิปลานิลได้ 22.69 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปลานิลทั้งหมด ซึ่งส่วนใหญ่การสูญเสียจะเกิดขึ้นตอนในการตัดหัวและควักไส้ การแล้ รวมถึงการล้างเนื้อปลาสด โดยในงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้แรงงานคนในทุก ๆ ขั้นตอน จึงมีการสูญเสียในขั้นตอนต่าง ๆ ค่อนข้างสูง

13. ในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากชูริมิจากปลานิลที่มีการเติมสารเสริมอาหารคือ โปรตีนไข่ขาวร้อยละ 3 และโปแตสเซียมโบรเมตร้อยละ 0.2 พบว่า ในส่วนของลักษณะเนื้อสัมผัสผู้ชิมได้อธิบายว่ามีความยืดหยุ่น ในส่วนของความชอบโดยรวมผู้ชิมให้การยอมรับในลักษณะโดยรวมของผลิตภัณฑ์

14. ผลของการเติมสารเสริมอาหารประเภทโปรตีนที่ไม่ใช่โปรตีนจากเนื้อปลา (nonfish protein) จะมีผลในการเจือจางความเข้มข้นของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ในเนื้อปลาและยังขัดขวางการเกิดเจลของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดพันธะเชื่อมข้ามหรือ cross linking ที่มีความสำคัญอย่างมากต่อการเกิดเจลและค่าความแข็งแรงของเจล

15. การเติมสารเสริมอาหารกลุ่มสารออกซิแดนซ์ มีผลในการเพิ่มความสามารถในการเกิดเจลผ่านการเหนี่ยวนำให้เกิดพันธะเชื่อมข้ามหรือ cross linking แต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลในการเพิ่มความสามารถในการเกิดเจลของชูริมิปลานิลกับสารกลุ่มโปรตีนที่ไม่ใช่โปรตีนจากเนื้อปลาพบว่า กลุ่มสารออกซิแดนซ์ มีผลในการเพิ่มความสามารถในการเกิดเจลต่ำกว่ากลุ่มโปรตีนที่ไม่ใช่โปรตีนจากเนื้อปลาซึ่งเป็นสารกลุ่มที่มีความสามารถในการเกิดเจลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้แรงงานคนในทุก ๆ ขั้นตอน จึงมีการสูญเสียในขั้นตอนต่าง ๆ ก่อนข้างสูง โดยเฉพาะในขั้นตอนการตัดหัวและควักไส้ การแล่ รวมถึงการล้างเนื้อปลาสด แต่โดยรวมแล้ว ปลานิลมีเนื้อมาก และมีสีขาว มีความเหมาะสมในการผลิตซูริมิ ดังนั้น หากได้มีการใช้เครื่องมือที่มีความเหมาะสมมาใช้ในกระบวนการผลิต น่าจะสามารถทำให้การผลิตมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. ผลของการใช้สารเสริมอาหารร่วมกันในเจลซูริมิปลานิลพบว่า การใช้โปรตีนไข่ขาว ผงร้อยละ 3 ร่วมกับโปแตสเซียมโบรเมตร้อยละ 0.2 จะให้ค่าแรงกดและค่าความแข็งแรงของเจลสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารเสริมอาหารชนิดอื่น ๆ ร่วมกัน แต่มีค่าความแข็งแรงของเจลต่ำกว่าการเติมโปรตีนไข่ขาวผงร้อยละ 3 เพียงชนิดเดียว เนื่องจากเนื้อปลานิลมีคุณสมบัติในการเกิดเจลซูริมิที่ติดอยู่แล้ว และไข่ขาวผงมีคุณสมบัติในการเกิดเจลระหว่างการให้ความร้อน ขณะที่การเติมสารเสริมอาหารกลุ่มสารออกซิแดนซ์ มีผลในการเพิ่มความสามารถในการเกิดเจลผ่านการเหนี่ยวนำให้เกิดพันธะเชื่อมข้ามมีผลในการเพิ่มความสามารถในการเกิดเจลต่ำกว่าไข่ขาวผง และเมื่อนำมาใช้ร่วมกันก็อาจเกิดการรบกวนการเกิดเจลหรือประสิทธิภาพของไข่ขาวผงได้ ดังนั้นจึงอาจเลือกใช้โปรตีนไข่ขาวผงเพียงอย่างเดียวในการปรับปรุงความสามารถในการเกิดเจลของซูริมิปลานิล

บรรณานุกรม

- จักรี ทองเรือง. 2544. ชูริมิ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
- จิรวัดน์ ยงสวัสดิกุล. 2541. “การเกิดเจลของโปรตีนกลีมาเนื้อปลา.” วารสารอาหาร. 28 (4) : 245 – 254.
- พิมพ์ใจ ทองคำ. 2541. “การศึกษาคุณภาพของชูริมิจากปลานิล.” วิทยานิพนธ์ สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 81 น.
- นฤดม บุญหลง และ จินตนา อุปลิศสกุล. 2544. “ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร.” [Online]. Available : http://www.charpa.co.th/bulletin/food_texture.html
- เพิ่มพูน ศักดิ์เกษม. 2531. ปลานิล. ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพเกษตรกร : 5 – 13.
- วรรณวิบูลย์ กาญจนกฤษกร. 2533. ชูริมิผลิตภัณฑ์ที่น่าจับตามอง. วารสารอุตสาหกรรมเกษตร. ปีที่ 1. ฉบับที่ 1. 20-26.
- สถาบันวิจัยและพัฒนาสัตว์น้ำ. 2541. การตรวจสอบคุณภาพชูริมิ. เอกสารเผยแพร่ฉบับที่ 1/2541. กรมประมง. กรุงเทพฯ. 63 น.
- สุทธวัฒน์ เบญจกุล. 2536. ชูริมิและผลิตภัณฑ์จากชูริมิ. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุทธวัฒน์ เบญจกุล และวรรณพ วิเศษสงวน. 2541ก. “บทบาทของเอ็นไซม์ในชูริมิ : ซูวาริ.” วารสารอาหาร. : 28 (1): 5 – 15.
- สุทธวัฒน์ เบญจกุล และวรรณพ วิเศษสงวน. 2541ข. “บทบาทของเอ็นไซม์ในชูริมิ : โมโคริ.” วารสารอาหาร. : 28 (4): 235 - 244.
- สุวรรณ วิรัชกุล. 2543. “ชูริมิจากปลานิล.” [Online]. Available : http://rdi.kku.ac.th/Journal/journal3_43/.
- สุพรรณพันธ์ ชุมเรียง มัทนา แสงจินดาวงษ์ และคำนึ่ง พฤกษวานิช. 2542. “การใช้โปแตสเซียมโบรเมตและไข่ขาวเพื่อเพิ่มความสามารถในการเกิดเจลของชูริมิ.” วารสารเกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์. : 33 (1). 102 – 110.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2533. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เนื้อปลาบด (ชูริมิ) เยือกแข็ง. มอก. 935-2533. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 13 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อรทัย เปี่ยมปรีดา และจิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร. 2546. “การผลิตลูกชิ้นปลาจากเนื้อปลาสองชนิด.”
วารสารอาหาร.:33(1).35 – 44.
- AOAC. **Official Method of Analysis**. 1995. 16th ed. The Association of Analysis Chemists.
Arlington, Virginia.
- Burgarella, J.C., Lanier, T.C., Hamann, D.D. and Wu, M.C. 1985. “Gel strength development
during heating of surimi in combination with egg white or whey protein concentrate.”
J. Food Sci. 50: 1595 – 1597.
- Chang – Lee, M.V., Lampila, L.E. and Crawford, D.L. 1990. “Yeild and composition of surimi
from Pacific Whiting (*Merluccius productus*) and the effect of various protein additives
on gel strength.” **J. Food Sci.** 55: 83 – 86.
- Chang, C.C. and Regenstein, J.M. 1997. “Water uptake, protein solubility, and protein changes of
Cod mince stored on ice as affected by polyphosphates.” **J. Food Sci.** 62: 305 – 309.
- Chung, K.H and Lee, C.M. 1990. “Relationships between physicochemical properties of nonfish
protein and textural properties of protein incorporated surimi gel.” **J. Food Sci.** 55(4):
972 -975.
- Chung, K.H and Lee, C.M. 1991. “Water binding and ingredient dispersion pattern effects on
surimi gel texture.” **J. Food Sci.** 56(5): 1263 – 1266.
- Gerrard, J. 2002. “Protein – protein crosslinking in food: methods, consequences, applications.”
Trends in Food Science & Technology. 13. 391 – 399.
- Hamann, D.D., Amato, P.M., Wu, M.C. and Foegeding, E.A. 1990. “Inhibition of modori (gel
weakening) in surimi by plasma hydrolysate and egg white.” **J. Food Sci.** 55 (3): 665 -
795.
- Lee, H.G, Lee, C.M., Chung, K.H. and Lavery, S.A. 1992. “Sodium ascorbate affect surimi gel
– forming properties.” **J. Food Sci.** 57(6): 1343 – 1347.
- Lee, H.G., Lanier, T.C. and Hamann, D.D. 1997. “Chemical induced covalent crosslinks affect
thermo – rheological profiles of fish protein gels.” **J. Food Sci.** 62(1): 29 - 32.
- Lee, C.M., Wu, M.C. and M. Okada. 1992. “Ingredient and formulation technology for surimi
based products”. *In Surimi Technology*. Marcel Dekker, Inc. , New York. 273 – 302.
- Kongpun, O. 1999. “The gel forming ability of washed and unwashed fish meat (Lizardfish and
Nile tilapia.” **Kasetsart J. (Nat. Sci.)**. 33: 258 – 269.

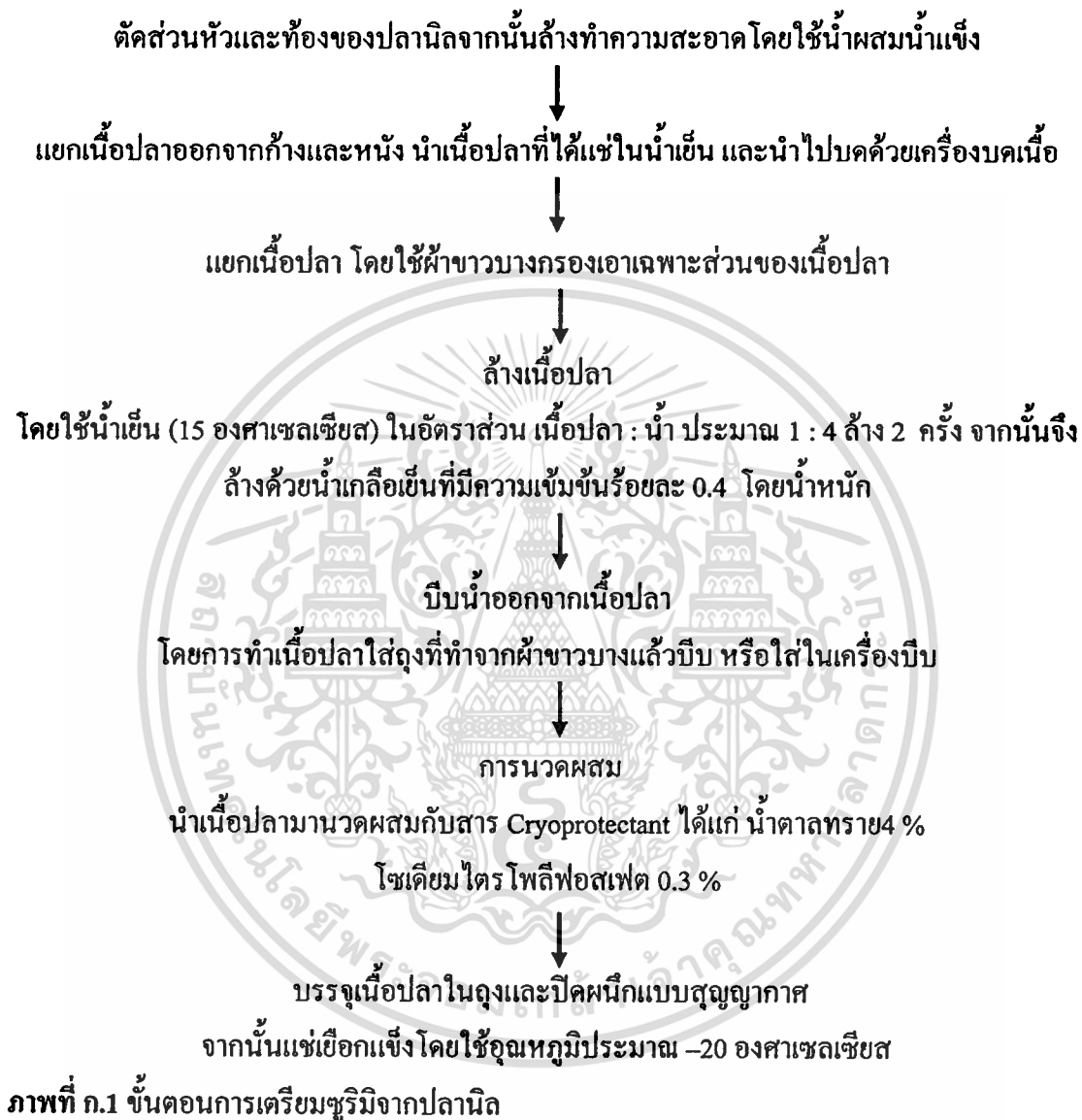
- Nishimura, K., Goto, M. and Mano J.. 1996. **“Participation of the Superoxide Radical in the Beneficial Effect of Ascorbic Acid on Heat-induced Fish Meat Gel (Kamaboko).”** [Online]. Available : http://www.jsbba.or.jp/e/e_05/bbb6012e.html.
- Pacheco – Aguilar, R. and Crawford, D.L. 1994. “Potassium bromate effects on gel – forming ability of pacific whiting surimi.” **J. Food Sci.** 59(40):786 -791.
- Sano, T., Noguchi, S.T., Masumoto, J.J. and Tsuchiya, T. 1990. “Thermal gelation characteristic of myosin subfragments.” **J. Food Sci.** 55(1):55 -58, 70.
- Smyth, A.B., Smith, D.M. and O’neill, E. 1998. “Disulfide bonds influence the heat – induced gel properties of chicken breast muscle myosin.” **J. Food Sci.** 63(4):584 -588.

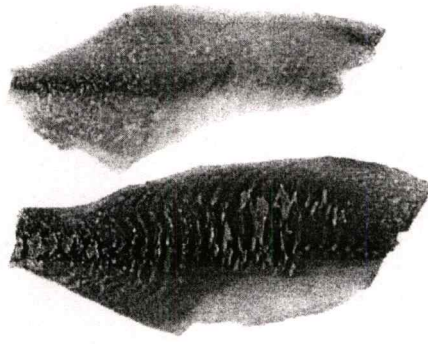


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

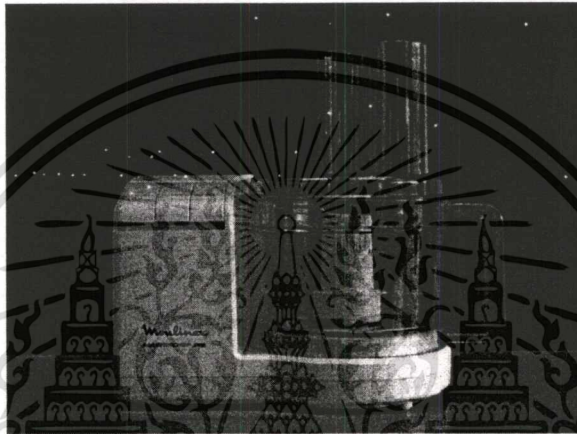
ภาคผนวก ก

กระบวนการผลิตซูริมิปลา

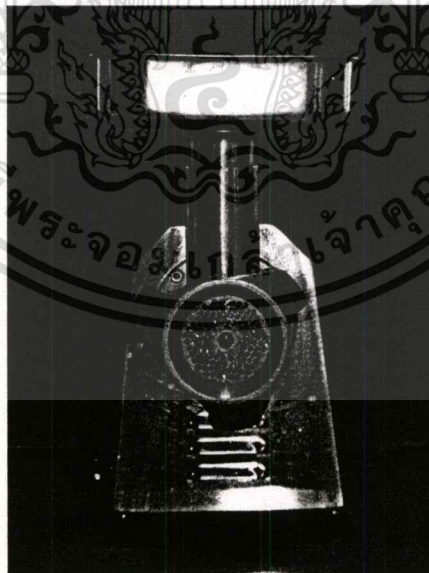




ภาพที่ ก.2 เนื้อปาลานิลที่ผ่านการลอกหนังแล้ว

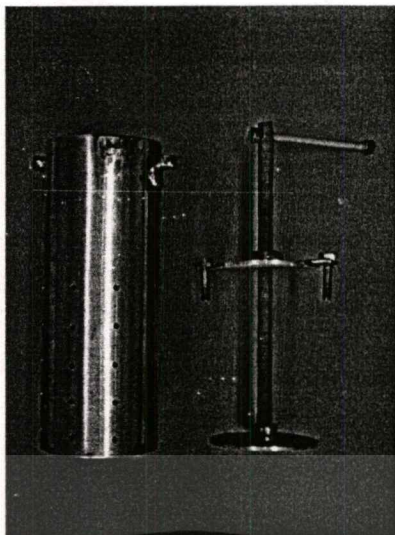


ภาพที่ ก.3 เครื่องบดสับเนื้อ



ภาพที่ ก.4 เครื่องบดเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.5 เครื่องบีบน้ำ



ภาพที่ ก.6 เครื่องอัดสุรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซูริมิ ที่ผ่านการทำให้คืนตัว



นวดผสมกับเกลือ และสารปรุงแต่งกลิ่นรส



ปั้นเป็นลูก



ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที



ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที



ทำให้เย็น



ลูกชิ้น

ภาพที่ ก.7 ขั้นตอนการเตรียมลูกชิ้น โดยใช้ซูริมิจากปลาชนิด

ภาคผนวก ข

วิธีการตรวจสอบคุณภาพของซูริมิ

ข.1 วิธีการวัดค่าความแข็งแรงของเจล

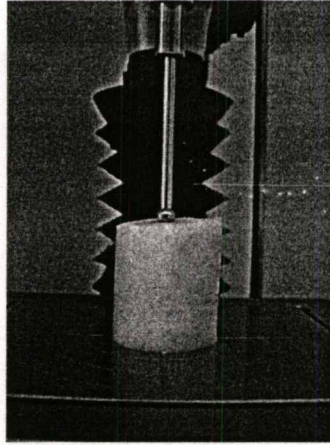
การทดสอบค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิจากปลาชนิดใดก็ตาม ทำการตัดชิ้นซูริมิที่ได้ออกเป็นท่อนยาว 3 เซนติเมตร จากนั้นทดสอบค่าความแข็งแรงของเจลด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) โดยใช้หัววัดลูกค้อนทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร และตรวจสอบค่าความแข็งแรงของเจลโดยจะคำนวณจาก

$$\text{Gel strength (g*cm)} = F \times D$$

เมื่อ F คือ ค่าแรงกด (Force) มีหน่วยเป็นกรัม

D คือ ค่าระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตก (Distance) มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

ค่าแรงกดเป็นแรงที่ใช้ในการกดหัววัดลงบนผิวหน้าของชิ้นตัวอย่างซูริมิจากปลาชนิดใดก็ตามที่เตรียมได้จะแสดงถึงความแข็ง (Hardness) ของผลิตภัณฑ์ ส่วนค่าระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตกหรือค่า D นั้นจะแสดงถึงความเหนียวของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ โดยมีการตั้งค่าก่อนการทดสอบดังนี้



ภาพที่ ข.2 การวัดค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิล

ข.2 การทดสอบด้วยการพับ (Folding test)

ตามวิธีการตรวจสอบคุณภาพซูริมิของสถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ (สถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ, 2541) ตัดตัวอย่างซูริมิ แต่ละตัวอย่างหนา 5 มิลลิเมตร พับครึ่ง และพับครึ่งต่ออีกครึ่งและ/หรือพับเป็นหนึ่งในที่ และคงไว้นาน 5 วินาที ตรวจสอบการแตกของซูริมิ แล้วให้คะแนน ดังนี้

เกรด

AA

A

B

C

D

ลักษณะ

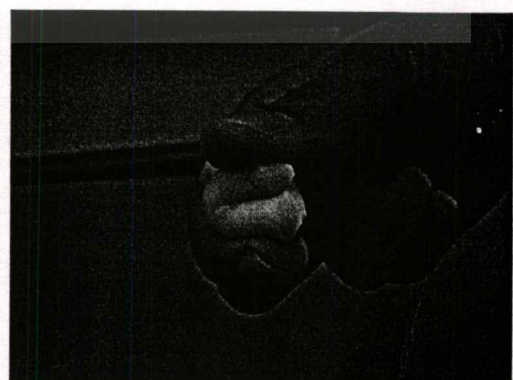
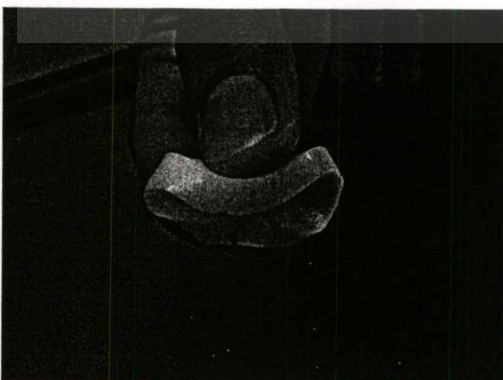
ไม่แตกเมื่อพับสี่ส่วน

แตกเล็กน้อยเมื่อพับสี่ส่วน

แตกเล็กน้อยเมื่อพับครึ่ง

แตก (แต่ 2 ชิ้น ยังติดกัน) เมื่อพับครึ่ง

แตกขาดออกจากกันเมื่อพับครึ่ง



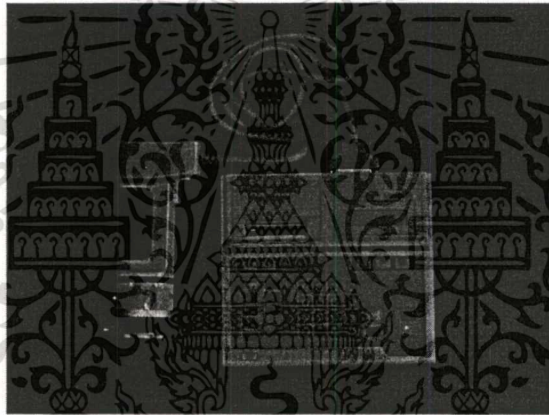
ภาพที่ ข.3 การทดสอบด้วยการพับเจลซูริมิปลานิลแบบพับครึ่ง และพับสี่ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.3 การวัดสีโดยใช้เครื่องวัดสี

ตามวิธีการตรวจสอบคุณภาพซูริมิของสถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ (อรรวรรณ และคณะ, 2541) การวัดสีโดยใช้เครื่องมือวัดค่าสีแบบ $L^* a^* b^*$ โดยค่า L^* เป็นความสว่างหมายถึงระดับของสีดำถึงสีขาวซึ่งเป็นคะแนน 0 ถึง 100 ค่า a^* หมายถึงระดับของสีแดงถึงเขียว ซึ่งคะแนน + คือ สีแดง และคะแนน - คือ สีเขียว และค่า b^* หมายถึงระดับของสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน โดยคะแนน + คือ สีเหลือง และคะแนน - คือ สีน้ำเงิน สีของซูริมิโดยทั่วไป ค่า L^* จะสูงกว่า 50 ส่วนค่า a^* และ b^* จะเป็น (+) และค่าใกล้ 0

ก่อนนำเครื่องมือไปวัดสีของซูริมิ ต้องปรับเครื่องมือกับสีขาวมาตรฐานก่อน แล้วจึงนำตัวอย่างซูริมิ (หนา 5 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร) มาวัดสี ทำการวัด 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย



ภาพที่ ข.4 เครื่องวัดสี

ข.4 การหาปริมาณความชื้น (AOAC, 1995)

- อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็น จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก

- ทำการอบภาชนะซ้ำ จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1 – 3 มิลลิกรัม

- ชั่งตัวอย่างอาหารที่ต้องการหาความชื้นให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 1 – 3 กรัม ใส่ลงในภาชนะหาความชื้นซึ่งทราบน้ำหนักแล้ว นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5 – 6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักภาชนะ ทำซ้ำจนกว่าน้ำหนัก

จะคงที่หรือมีผลต่างของน้ำหนักไม่เกิน 1 – 3 มิลลิกรัม จากนั้นนำค่าของน้ำหนักที่ชั่งได้มาคำนวณปริมาณความชื้น

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{100 \times \text{ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบและหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

ข.5 การหาความเป็นกรด - ด่าง (pH)

วิธีการตรวจคุณภาพซูริมิของประเทศญี่ปุ่นในส่วนของ การหาความเป็นกรด - ด่าง ทำการชั่งตัวอย่างซูริมิที่ละลายแล้วมา 5 กรัม ปั่นผสมกับน้ำกลั่น 45 มิลลิลิตร วัดความเป็นกรดด้วยเครื่อง pH meter ควรทำตัวอย่างละ 2 ซ้ำ (สถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ, 2541)

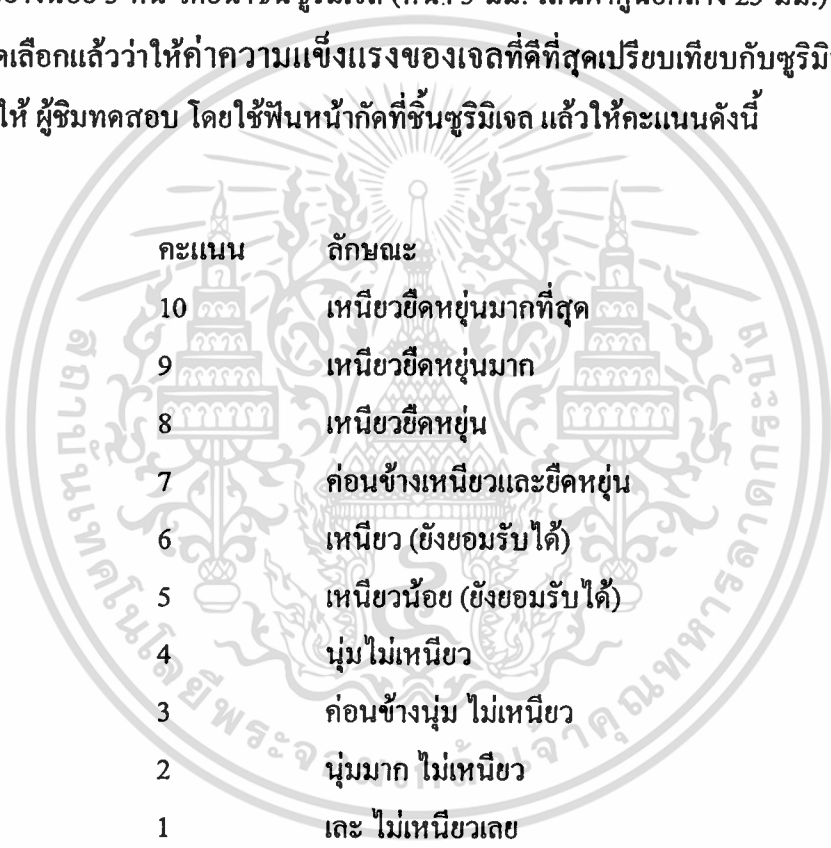


ภาคผนวก ก

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ก.1 การทดสอบโดยการกัด (Teeth cutting test)

ตามวิธีการตรวจสอบคุณภาพชงูริมิของสถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ (อรวรรม และคณะ, 2541) การทดสอบ โดยใช้ฟันกัดต้องใช้ผู้ชิมที่ผ่านการฝึกฝน (Trained panelist) อย่างน้อย 3 คน โดยนำชิ้นชงูริมิเจล (หนา 5 มม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มม.) ซึ่งเป็นชงูริมิที่ผ่านการคัดเลือกแล้วว่าให้ค่าความแข็งแรงของเจลที่ดีที่สุดเปรียบเทียบกับชงูริมิที่เป็นตัวอย่างควบคุมมาให้ ผู้ชิมทดสอบ โดยใช้ฟันหน้ากัดที่ชิ้นชงูริมิเจล แล้วให้คะแนนดังนี้



คะแนน	ลักษณะ
10	เหนียวยืดหยุ่นมากที่สุด
9	เหนียวยืดหยุ่นมาก
8	เหนียวยืดหยุ่น
7	ค่อนข้างเหนียวและยืดหยุ่น
6	เหนียว (ยังยอมรับได้)
5	เหนียวน้อย (ยังยอมรับได้)
4	นุ่มไม่เหนียว
3	ค่อนข้างนุ่ม ไม่เหนียว
2	นุ่มมาก ไม่เหนียว
1	ละ ไม่เหนียวเลย

ค.2 การทดสอบยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อลูกชิ้นที่ผลิตจากชูริมิจากปลานิล

นำชูริมิที่ผ่านการคัดเลือกมาให้ค่าความแข็งแรงของเจลสูงที่สุด ไปผลิตเป็นลูกชิ้น จากนั้นทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้ชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน 20 คน โดยการให้คะแนนความชอบแบบ 9 – point Hedonic Scale ประเมินคุณค่าทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รส และการยอมรับโดยรวม โดยให้คะแนนดังนี้

คะแนน	ลักษณะ
9	ชอบมากที่สุด
8	ชอบมาก
7	ชอบปานกลาง
6	ชอบเล็กน้อย
5	เฉยๆ
4	ไม่ชอบเล็กน้อย
3	ไม่ชอบปานกลาง
2	ไม่ชอบมาก
1	ไม่ชอบมากที่สุด

แบบประเมินผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์ซูริมิจากปลานิล

ชื่อผู้ทดสอบ _____ วันที่ _____

ตอนที่ 1 กรุณาทดสอบโดยใช้ฟันหน้ากัดที่ชิ้นซูริมิ แล้วให้คะแนน ดังนี้

- | | |
|-----------------------------|--------------------------------|
| 10 เนื้อแข็งหนึบมากที่สุด | 5 เนื้อนิ่มน้อย (ยังยอมรับได้) |
| 9 เนื้อแข็งหนึบมาก | 4 หนึบไม่เหนียว |
| 8 เนื้อแข็งหนึบ | 3 ค่อนข้างหนึบ ไม่เหนียว |
| 7 ค่อนข้างเหนียวและแข็งหนึบ | 2 หนึบมาก ไม่เหนียว |
| 6 เนื้อนิ่ม (ยังยอมรับได้) | 1 และ ไม่เหนียวเลย |

รหัสตัวอย่าง _____

ลักษณะเนื้อสัมผัส _____

ตอนที่ 2 กรุณาทดสอบตัวอย่าง แล้วให้คะแนนคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ซูริมิจากปลานิล ตาม

คำอธิบายการให้คะแนน กรณীবัวปากระหว่างการทดสอบตัวอย่าง

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

ลักษณะที่ทดสอบ	รหัสตัวอย่าง	
ลักษณะปรากฏ		
สี		
กลิ่น		
รสชาติ		
ลักษณะเนื้อสัมผัส		
การยอมรับโดยรวม		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบประเมินผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลา

ชื่อผู้ทดสอบ _____ วันที่ _____

คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่าง แล้วให้คะแนนคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลา ตาม

คำอธิบายการให้คะแนน กรณียบัวนปากะหว่างการทดสอบตัวอย่าง

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

ลักษณะปรากฏ _____

สี _____

กลิ่น _____

รสชาติ _____

ลักษณะเนื้อสัมผัส _____

ความชอบโดยรวม _____

ข้อเสนอแนะ

.....

ภาคผนวก ง

ตารางการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ ง.1 แสดงการผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่าแรงกด ค่าระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตก และความแข็งแรงของเจลของซูริมิปลานิลที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน

ระดับความร้อน	ค่าแรงกด (g)	ค่าระยะทางที่ถูกกดจนแตก (cm)	ค่าความแข็งแรงของเจล (g.cm)
อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 30 นาที	318.419 ± 0.294^a	1.018 ± 0.006^a	324.256 ± 0.463^a
อุณหภูมิห้อง 20 นาที /90 องศาเซลเซียส 20 นาที	328.584 ± 0.233^b	1.021 ± 0.000^b	335.484 ± 0.238^b
อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 5 นาที /90 องศาเซลเซียส 20 นาที	346.328 ± 0.305^c	1.023 ± 0.006^c	354.409 ± 0.491^c
อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 10 นาที /90 องศาเซลเซียส 20 นาที	358.520 ± 0.188^d	1.026 ± 0.000^d	367.842 ± 0.193^d
อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 15 นาที /90 องศาเซลเซียส 20 นาที	370.880 ± 0.191^e	1.028 ± 0.006^e	381.389 ± 0.393^e
อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 20 นาที /90 องศาเซลเซียส 20 นาที	382.687 ± 0.263^f	1.033 ± 0.006^f	395.443 ± 0.475^f

หมายเหตุ : ตัวอักษรกำกับต่างการในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ๓.2 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าแรงกด ค่าระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตก และค่าความแข็งแรงของเจลชურიพลาเนลที่เติมโปรตีนไข่ขาวก่อนและหลังการแช่เยือกแข็ง

ตัวอย่าง	ค่าแรงกด (g)	ค่าระยะทางที่ถูกกดจนแตก (cm)	ค่าความแข็งแรงของเจล (g.cm)
โปรตีนไข่ขาวผง 0%	393.647 ± 0.374 ^a	1.038 ± 0.001 ^a	408.737 ± 0.593 ^a
เติมโปรตีนไข่ขาวผง 1% ก่อนแช่เยือกแข็ง	401.644 ± 0.263 ^b	1.041 ± 0.000 ^b	418.112 ± 0.273 ^b
เติมโปรตีนไข่ขาวผง 1% หลังแช่เยือกแข็ง	418.160 ± 0.328 ^c	1.044 ± 0.001 ^c	436.839 ± 0.557 ^c

หมายเหตุ : ตัวอักษรกำกับต่างการในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ๓.3 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าแรงกด ค่าระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตก และค่าความแข็งแรงของเจลชურიพลาเนลที่เติมโปรตีนไข่ขาวผงระดับต่าง ๆ กัน

โปรตีนไข่ขาวผง (%)	ค่าแรงกด (g)	ค่าระยะทางที่ถูกกดจนแตก (cm)	ค่าความแข็งแรงของเจล (g.cm)
โปรตีนไข่ขาวผง 0%	394.852 ± 0.173 ^a	1.039 ± 0.006 ^a	410.383 ± 0.387 ^a
โปรตีนไข่ขาวผง 1%	419.644 ± 0.263 ^b	1.044 ± 0.006 ^b	438.249 ± 0.497 ^b
โปรตีนไข่ขาวผง 2%	434.059 ± 0.265 ^c	1.049 ± 0.000 ^c	455.328 ± 0.278 ^c
โปรตีนไข่ขาวผง 3%	455.963 ± 0.296 ^b	1.059 ± 0.006 ^e	483.017 ± 0.552 ^b
โปรตีนไข่ขาวผง 4%	448.273 ± 0.235 ^e	1.057 ± 0.006 ^f	473.675 ± 0.495 ^e
โปรตีนไข่ขาวผง 5%	446.394 ± 0.362 ^f	1.056 ± 0.006 ^c	471.243 ± 0.172 ^f
โปรตีนไข่ขาวผง 6%	445.026 ± 0.234 ^c	1.055 ± 0.000 ^{de}	469.503 ± 0.247 ^c
โปรตีนไข่ขาวผง 7%	443.046 ± 0.256 ^d	1.054 ± 0.006 ^d	467.266 ± 0.503 ^d

หมายเหตุ : ตัวอักษรกำกับต่างการในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ๓.4 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าแรงกด ค่าระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตก และค่าความแข็งแรงของเจลชურიพลาเน็ตที่เติมโปรตีนหางนมระดับต่าง ๆ กัน

โปรตีนหางนม (%)	ค่าแรงกด (g)	ค่าระยะทางที่ถูกกดจนแตก (cm)	ค่าความแข็งแรงของเจล (g.cm)
โปรตีนหางนม 0%	383.953 ± 0.280 ^a	1.036 ± 0.000 ^a	399.878 ± 0.291 ^a
โปรตีนหางนม 1%	400.541 ± 0.233 ^b	1.038 ± 0.000 ^b	415.762 ± 0.242 ^b
โปรตีนหางนม 2%	400.940 ± 0.107 ^c	1.038 ± 0.006 ^b	416.309 ± 0.325 ^c
โปรตีนหางนม 3%	401.219 ± 0.173 ^c	1.039 ± 0.000 ^c	416.866 ± 0.180 ^d
โปรตีนหางนม 4%	401.703 ± 0.186 ^d	1.039 ± 0.006 ^c	417.503 ± 0.410 ^e
โปรตีนหางนม 5%	402.119 ± 0.195 ^e	1.040 ± 0.000 ^d	418.204 ± 0.203 ^f
โปรตีนหางนม 6%	402.642 ± 0.116 ^f	1.041 ± 0.006 ^e	419.017 ± 0.349 ^g
โปรตีนหางนม 7%	403.155 ± 0.241 ^g	1.041 ± 0.000 ^e	419.685 ± 0.251 ^h

หมายเหตุ : ตัวอักษรกำกับต่างการในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ๓.5 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าแรงกด ค่าระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตก และค่าความแข็งแรงของเจลชურიพลาเน็ตที่เติมโปรตีนถั่วเหลืองระดับต่าง ๆ กัน

โปรตีนถั่วเหลือง (%)	ค่าแรงกด (g)	ค่าระยะทางที่ถูกกดจนแตก (cm)	ค่าความแข็งแรงของเจล (g.cm)
โปรตีนถั่วเหลือง 0%	386.534 ± 0.223 ^a	1.036 ± 0.000 ^a	400.450 ± 0.231 ^a
โปรตีนถั่วเหลือง 1%	402.813 ± 0.190 ^b	1.040 ± 0.000 ^b	418.926 ± 0.198 ^b
โปรตีนถั่วเหลือง 2%	403.322 ± 0.208 ^c	1.041 ± 0.000 ^c	419.858 ± 0.217 ^c
โปรตีนถั่วเหลือง 3%	403.981 ± 0.139 ^d	1.042 ± 0.006 ^d	420.814 ± 0.370 ^d
โปรตีนถั่วเหลือง 4%	415.619 ± 0.198 ^h	1.046 ± 0.000 ^e	434.737 ± 0.207 ^h
โปรตีนถั่วเหลือง 5%	412.522 ± 0.242 ^g	1.045 ± 0.006 ^f	430.948 ± 0.471 ^g
โปรตีนถั่วเหลือง 6%	410.637 ± 0.272 ^f	1.044 ± 0.006 ^{ef}	428.842 ± 0.503 ^f
โปรตีนถั่วเหลือง 7%	408.944 ± 0.197 ^e	1.044 ± 0.000 ^e	426.938 ± 0.206 ^e

หมายเหตุ : ตัวอักษรกำกับต่างการในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.6 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าแรงกด ค่าระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตก และค่าความแข็งแรงของเจลชuurimipolanil ที่เติม โปแตสเซียม โบรเมตระดับต่าง ๆ กัน

โปแตสเซียม โบรเมต (%)	ค่าแรงกด (g)	ค่าระยะทางที่ถูกกด จนแตก (cm)	ค่าความแข็งแรงของ เจล (g.cm)
โปแตสเซียม โบรเมต 0%	392.741 ± 0.182 ^a	1.037 ± 0.000 ^a	407.272 ± 0.189 ^a
โปแตสเซียม โบรเมต 0.05%	394.298 ± 0.294 ^b	1.038 ± 0.000 ^b	409.281 ± 0.306 ^b
โปแตสเซียม โบรเมต 0.1%	395.727 ± 0.224 ^c	1.039 ± 0.000 ^c	411.160 ± 0.233 ^c
โปแตสเซียม โบรเมต 0.15%	397.491 ± 0.310 ^d	1.040 ± 0.000 ^d	413.391 ± 0.323 ^d
โปแตสเซียม โบรเมต 0.2%	401.615 ± 0.269 ^b	1.042 ± 0.000 ^f	418.483 ± 0.280 ^b
โปแตสเซียม โบรเมต 0.25%	400.774 ± 0.201 ^e	1.041 ± 0.000 ^c	417.205 ± 0.210 ^e
โปแตสเซียม โบรเมต 0.3%	400.288 ± 0.181 ^f	1.041 ± 0.000 ^c	416.700 ± 0.188 ^f
โปแตสเซียม โบรเมต 0.4%	399.682 ± 0.223 ^e	1.040 ± 0.006 ^c	415.936 ± 0.455 ^c

หมายเหตุ : ตัวอักษรกำกับต่างการในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.7 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าแรงกด ค่าระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตก และค่าความแข็งแรงของเจลชuurimipolanil ที่เติม โซเดียมแอสคอร์เบตระดับต่าง ๆ กัน

โซเดียมแอสคอร์เบต (%)	ค่าแรงกด (g)	ค่าระยะทางที่ถูกกด จนแตก (cm)	ค่าความแข็งแรงของ เจล (g.cm)
โซเดียมแอสคอร์เบต 0%	381.801 ± 0.192 ^a	1.033 ± 0.000 ^a	394.400 ± 0.198 ^a
โซเดียมแอสคอร์เบต 0.05%	383.361 ± 0.200 ^b	1.034 ± 0.000 ^b	396.396 ± 0.206 ^b
โซเดียมแอสคอร์เบต 0.1%	384.092 ± 0.125 ^c	1.034 ± 0.006 ^b	397.280 ± 0.341 ^c
โซเดียมแอสคอร์เบต 0.15%	384.748 ± 0.244 ^d	1.035 ± 0.000 ^c	398.214 ± 0.252 ^d
โซเดียมแอสคอร์เบต 0.2%	385.422 ± 0.166 ^c	1.035 ± 0.000 ^c	398.912 ± 0.172 ^c
โซเดียมแอสคอร์เบต 0.25%	387.585 ± 0.290 ^b	1.036 ± 0.000 ^d	401.536 ± 0.300 ^b
โซเดียมแอสคอร์เบต 0.3%	386.690 ± 0.226 ^e	1.035 ± 0.000 ^c	400.224 ± 0.234 ^e
โซเดียมแอสคอร์เบต 0.4%	386.033 ± 0.155 ^f	1.035 ± 0.000 ^c	399.544 ± 0.160 ^f

หมายเหตุ : ตัวอักษรกำกับต่างการในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ๖.8 แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าแรงกด ค่าระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตก และค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติมสารเสริมอาหารระดับต่าง ๆ ร่วมกัน

ตัวอย่าง	ค่าแรงกด (g)	ค่าระยะทางที่ถูกกดจนแตก (cm)	ค่าความแข็งแรงของเจล (g.cm)
ตัวอย่างควบคุม	383.432 ± 0.480 ^a	1.035 ± 0.006 ^a	396.724 ± 0.701 ^a
โปรตีนไข่ขาวผง 3%	423.604 ± 0.402 ⁱ	1.059 ± 0.006 ⁱ	448.738 ± 0.650 ⁱ
โปรตีนหางนม 1%	399.964 ± 0.447 ^f	1.046 ± 0.006 ^f	418.500 ± 0.670 ^f
โปรตีนถั่วเหลือง 4%	413.882 ± 0.444 ⁱ	1.053 ± 0.006 ⁱ	435.956 ± 0.693 ⁱ
โปแตสเซียมโบรเมต 0.2%	390.803 ± 0.632 ^c	1.038 ± 0.006 ^c	405.784 ± 0.855 ^c
โซเดียมแอสคอร์เบต 0.25%	387.954 ± 0.674 ^b	1.036 ± 0.006 ^b	402.050 ± 0.901 ^b
โปรตีนไข่ขาวผง 3% และโปแตสเซียมโบรเมต 0.2%	420.612 ± 0.429 ^k	1.057 ± 0.000 ^k	444.587 ± 0.453 ^k
โปรตีนไข่ขาวผง 3% และโซเดียมแอสคอร์เบต 0.25%	418.852 ± 0.486 ^j	1.056 ± 0.000 ^j	442.308 ± 0.513 ^j
โปรตีนหางนม 1% และโปแตสเซียมโบรเมต 0.2%	396.180 ± 0.422 ^e	1.044 ± 0.006 ^e	413.480 ± 0.642 ^e
โปรตีนหางนม 1% และโซเดียมแอสคอร์เบต 0.25%	393.822 ± 0.469 ^d	1.041 ± 0.006 ^d	410.100 ± 0.687 ^d
โปรตีนถั่วเหลือง 4% และโปแตสเซียมโบรเมต 0.2%	410.112 ± 0.407 ^h	1.051 ± 0.006 ^h	431.165 ± 0.655 ^h
โปรตีนถั่วเหลือง 4% และโซเดียมแอสคอร์เบต 0.25%	407.976 ± 0.405 ^g	1.050 ± 0.000 ^g	428.375 ± 0.425 ^g

หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับต่างการในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ๖.9 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน

SOV	df	SS	MS	F
ระดับอุณหภูมิและระยะเวลา	5	87509.081	17501.816	346.131
Error	12	606.771	50.564	
Total	18	204888.207		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.10 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติม
โปรตีนไข่ขาวผงก่อนและหลังการแช่เยือกแข็ง

SOV	df	SS	MS	F
รูปแบบการเติมไข่ขาวผง	2	1228.262	614.131	2500.784
Error	6	1.473	0.246	
Total	8	1229.735		

ตารางที่ ง.11 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติม
โปรตีนไข่ขาวผงระดับต่าง ๆ กัน

SOV	df	SS	MS	F
ระดับโปรตีนไข่ขาวผง	7	230746.511	32963.787	117.721
Error	16	4480.241	280.015	
Total	24	3065381.891		

ตารางที่ ง.12 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติม
โปรตีนหางนมระดับต่าง ๆ กัน

SOV	df	SS	MS	F
ระดับโปรตีนหางนมเข้มข้น	7	48641.026	6948.718	153.384
Error	16	724.845	45.303	
Total	24	2571750.404		

ตารางที่ ง.13 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติม
โปรตีนถั่วเหลืองระดับต่าง ๆ กัน

SOV	df	SS	MS	F
ระดับโปรตีนถั่วเหลือง	7	9857.842	1408.263	50.735
Error	16	444.120	27.757	
Total	24	2045250.225		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.14 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติม
โปแตสเซียมโบรเมตระดับต่าง ๆ กัน

SOV	df	SS	MS	F
ระดับโปแตสเซียมโบรเมต	7	14098.551	2014.079	120.502
Error	16	267.424	16.714	
Total	24	1340746.589		

ตารางที่ ง.15 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติม
โซเดียมแอสคอร์เบตระดับต่าง ๆ กัน

SOV	df	SS	MS	F
ระดับโซเดียมแอสคอร์เบต	7	3901.678	557.383	191.549
Error	16	46.558	2.910	
Total	24	7456961.685		

ตารางที่ ง.16 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิปลานิลที่เติมสาร
เสริมอาหารระดับต่าง ๆ ร่วมกัน

SOV	df	SS	MS	F
ระดับสารเสริมอาหาร	3	304076.282	101358.761	985.054
Error	8	823.173	102.897	
Total	12	6221762.997		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาว สุนิสา ภูมรินทร์ เกิดเมื่อวันที่ 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2520 ที่อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ปีการศึกษา 2542 และในปีการศึกษา 2543 ได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2547



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้