การผลิตและอายุการเก็บปลาผงเพื่อใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจล

นางสาว ภาราได พืชสะกะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0602-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PRODUCTION AND SHELF-LIFE OF FISH POWDER FOR GEL FORMING PRODUCT

Miss Paradai Pustsaka

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Food Technology
Department of Food Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2000

ISBN 974-13-0602-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตและอายุการเก็บปลาผงเพื่อใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจล
โดย	นางสาวภาราได พืชสะกะ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. พันธิพา จันทวัฒน์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. พัชรี ปานกุล)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. พันธิพา จันทวัฒน์)

....กรรมการ
(อ. ดร. รมณี สงวนดีกุล)

....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. นงนุช รักสกุลไทย)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาราได พืชสะกะ : การผลิตและอายุการเก็บปลาผงเพื่อใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจล (PRODUCTION AND SHELF-LIFE OF FISH POWDER FOR GEL-FORMING PRODUCT) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.พันธิพา จันทวัฒน์, 129 หน้า ISBN 974-13-0602-4

งานวิจัยนี้ทำขึ้นเพื่อศึกษากระบวนการผลิตและอายุการเก็บปลาผงสำหรับผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจล วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง คือ เนื้อปลาทรายแดง (*Nemipterus spp.*) ซึ่งมีค่า ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า คาร์โบไฮเดรต และ โปรตีนที่ละลายในเกลือต่อโปรตีนทั้งหมด ร้อยละ 79.84, 15.89, 2.78, 0.98, 0.51 และ 48.80 ตามลำดับ ขณะที่มีค่า total volatile base (TVB), trimethylamine (TMA) และ ค่าความเป็นกรดด่าง 17.54 mg/100 g, 5.62 mg/100 g และ 6.75 ตามลำดับ การผลิตปลาผงมีขั้นตอนที่สำคัญ ได้แก่ การล้างเนื้อปลา การเตรียม slurry และ การทำแห้ง จากการทดลองพบว่า เนื้อปลาที่ผ่านการล้างมีไขมันลดลงเป็นร้อยละ 0.40 และโปรตีนที่ละลายในเกลือต่อโปรตีนทั้งหมดเพิ่มขึ้น เป็นร้อยละ 70.00 ในการเตรียม slurry ได้แปรปริมาณของแข็งเป็นร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก เลือกภาวะที่ดีที่สุด โดยพิจารณาปริมาณผลผลิตและเวลาในการทำแห้ง พบว่า slurry ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ให้ผลผลิตสูงและใช้เวลาในการทำแห้ง 62.50 นาที ภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง จากการศึกษาอุณหภูมิลมร้อนเข้าที่ 150, 170 และ 190 $^{\circ}$C และ sucrose ร้อยละ 0, 3 และ 5 โดยน้ำหนัก คือ 150 $^{\circ}$C และ sucrose ร้อยละ 5 ซึ่งปลาผงที่ได้เมื่อเตรียมเจลมีค่า gel strength ความสามารถในการพับ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความจุอิมัลชั่น ปริมาณผลผลิต และ ความขาวสูงสุด ต่อมาศึกษาชนิดและปริมาณสารที่ใช้ปรับปรุงสมบัติในการเกิดเจล คือ แป้งมันฝรั่งร้อยละ 2, 5, 8 และ 11 โดยน้ำหนัก และ เอนไซม์ transglutaminase (TGase) ร้อยละ 0.01, 0.02, 0.03 และ 0.04 โดยน้ำหนัก พบว่า แป้งมันฝรั่งร้อยละ 11 ให้ตัวอย่างเจลที่มีความขาวสูงสุด ขณะที่การใช้เอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.03 ให้เจลที่มีค่า gel strength ความสามารถในการพับ และ ความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุด และ คุณภาพทางประสาทสัมผัสดีที่สุด สุดท้าย ได้ศึกษาอายุการเก็บรักษาปลาผง โดยบรรจุปลาผงในถุง Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 $^{\circ}$C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 $^{\circ}$C) เป็นเวลา 3 เดือน พบว่า ที่อุณหภูมิตู้เย็นร่วมกับภาวะสุญญากาศ เก็บปลาผงได้ 12 สัปดาห์ โดยความสามารถในการอุ้มน้ำ ความจุอิมัลชั่น ค่า gel strength และ ความสามารถในการพับ ของเจลที่ได้ และ คุณภาพทางประสาทสัมผัสยังอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้

ภาควิชา……เทคโนโลยีทางอาหาร…………..ลายมือชื่อนิสิต……………………………………..
สาขาวิชา…..เทคโนโลยีทางอาหาร...…………ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา…………………………
ปีการศึกษา……………2000..………………..ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม…………………….

4072348423 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY
KEYWORD : FISH POWDER / GEL FORMING PRODUCT

PARADAI PUSTSAKA : PRODUCTION AND SHELF-LIFE OF FISH POWDER FOR GEL-FORMING PRODUCT. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PANTIPA JANTAWAT, Ph.D. 129 pp.

Production and shelf-life of fish powder for gel forming product were studied. Threadfin bream, *Nemipterus spp*., meat used was composed of 79.84% moisture, 15.89% protein, 2.78% fat, 0.98% ash, 0.51% carbohydrate and 48.80% of the salt soluble protein (SSP) to total protein. The total volatile base (TVB) and trimethylamine (TMA) contents of the fish flesh were 17.54 and 5.62 mg/100 g respectively while its pH was 6.75. The significant steps in the preparation of the fish powder were washing, slurry preparation and spray drying. After washing the fat content in the flesh reduced to 0.40% while its SSP increased 70.00%. Four levels of the solid contents, 10, 20, 30 and 40%, were studied in the slurry preparation. The highest yield was obtained at 30% solid content and 62.50 min. of spray drying. The spray-drying experiment on 3 levels of inlet temperature, 150, 170,190 ^{o}C and 3 levels of sucrose, 0, 3, 5% by weight, were conducted. The result indicated that with 5% sucrose and 150 ^{o}C inlet temp., the value of gel strength, folding ability, water holding capacity (WHC), emulsion capacity (EC), yield and whiteness of the resulting gel were the highest. The study on improving of gel forming ability of the fish powder was later conducted. Potato starch at 2, 5, 8 and 11% by weight and Transglutaminase (TGase) at 0.01, 0.02, 0.03 and 0.04% by weight were selected as additives in this study. The results revealed that potato starch at 11% provided the fish gel with the highest whiteness value while the TGase at 0.03% provided the product with the highest gel strength, folding ability and WHC. The sensory evaluation results also confirmed those of the objective tests. For the shelf-life study, the fish powder vacuum packaged in linear low density polyethylene coated with nylon bag, at 5 ^{o}C can be kept for 12 weeks.

Department……..Food Technology………..ลายมือชื่อนิสิต………………………………………….
Field of study….Food Technology………..ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา…………………………..
Academic year…………2000……………..ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม………………………

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.พันธิพา จันทวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ ในงานวิจัย ตลอดจนแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

กราบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.พัชรี ปานกุล อาจารย์ ดร.รมณี สงวนดีกุล และ รองศาสตราจารย์ ดร.นงนุช รักสกุลไทย ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอบพระคุณ ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ รวมทั้งอนุญาตให้ใช้สถานที่ในการวิจัย

ขอบพระคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย

ขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย

ขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ น้องๆ ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความร่วมมือและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง

ขอบพระคุณ คุณวรดลต์ แจ่มจำรูญ ที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือตลอดการวิจัย

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่สนับสนุนในด้านการเงิน คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือทุกอย่างแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ภาราได พืชสะกะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย…………………………………………………………ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ…………………………………………………………จ

กิตติกรรมประกาศ…………………………………………………………ฉ

สารบัญตาราง…………………………………………………………ซ

สารบัญรูป…………………………………………………………ฏ

บทที่

1. บทนำ…………………………………………………………1
2. วารสารปริทัศน์…………………………………………………………2
3. การทดลอง…………………………………………………………25
4. ผลการทดลอง…………………………………………………………35
5. วิจารณ์ผลการทดลอง…………………………………………………………73
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ…………………………………………………………90

รายการอ้างอิง…………………………………………………………92

ภาคผนวก…………………………………………………………104

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 เกณฑ์การวัดคุณภาพของเจลโดยวิธีการพับ..31
4.1 องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือของเนื้อปลาทรายแดง...............35
4.2 คุณภาพทางกายภาพของเนื้อปลาทรายแดง...36
4.3 คุณภาพทางเคมีของเนื้อปลาทรายแดง..37
4.4 องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือของเนื้อปลาบดหลัง
ผ่านการล้าง...38
4.5 คุณภาพด้านความสดของเนื้อปลาบดที่ผ่านการล้างแล้ว......................................38
4.6 ค่าความหนืด slurry ของเนื้อปลาบดที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 10-40 โดยน้ำหนัก.........39
4.7 ปริมาณผลผลิตและเวลาที่ใช้ในการทำแห้ง slurry ของเนื้อปลาบดที่มีปริมาณ
ของแข็ง ร้อยละ10-40 โดยน้ำหนัก..39
4.8 ปริมาณความชื้นของปลาผงที่ทำแห้งโดยผสม sucrose ร้อยละ 0-5 โดยน้ำหนัก
และ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150-190°C...41
4.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นของปลาผงที่ทำแห้งโดยผสม
sucrose ร้อยละ 0-5 โดยน้ำหนัก และ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150-190 °C......................41
4.10 ปริมาณความชื้นของปลาผงที่ทำแห้งโดยผสม sucrose ร้อยละ 0-5 โดยน้ำหนัก และ
อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150-190 °C เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนเข้า........42
4.11 ปริมาณความชื้นของปลาผงที่ทำแห้งโดยผสม sucrose ร้อยละ 0-5 โดยน้ำหนัก และ
อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150-190 °C เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของปริมาณ sucrose...........42
4.12 ปริมาณผลผลิตและค่าความขาวของปลาผงที่ทำแห้งโดยผสม sucrose ร้อยละ 0-5
โดยน้ำหนัก และ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150-190 °C...43
4.13 ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความจุอิมัลชั่นของปลาผง และ gel strength ของเจล
ที่เตรียมจากปลาผง (เติมแป้งมันฝรั่งร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก) ที่ทำแห้งโดยผสม
sucrose ร้อยละ 0-5 โดยน้ำหนัก และ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150-190 °C........................44
4.14 ความสามารถในการพับของเจลที่เตรียมจากปลาผง (เติมแป้งมันฝรั่งร้อยละ 8
โดยน้ำหนัก) ที่ทำแห้งโดยผสม sucrose ร้อยละ 0-5 และ อุณหภูมิลมร้อนเข้า
150-190 °C...45
4.15 องค์ประกอบทางเคมีของปลาผง...46

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.16 ค่าความขาว ความสามารถในการอุ้มน้ำ gel strength และ ความสามารถในการพับของเจลที่เตรียมจากปลาบดสดและปลาผงที่ทำแห้งโดยผสม sucrose ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150 °C.....................................46
4.17 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเจลที่เตรียมจากปลาผงที่ทำแห้งโดยผสม sucrose ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150 °C................47
4.18 ค่าความขาว ความสามารถในการอุ้มน้ำ gel strength และ ความสามารถในการพับของเจลที่เตรียมจากปลาผงที่เติมแป้งมันฝรั่งร้อยละ 2-11 โดยน้ำหนัก หรือ เอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.01-0.04 โดยน้ำหนัก...48
4.19 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเจลที่เตรียมจากปลาผงที่เติมแป้งมันฝรั่งร้อยละ 2-11 โดยน้ำหนัก หรือ เอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.01-0.04 โดยน้ำหนัก...49
4.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นและค่า A_w ของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน............52
4.21 ผลของอายุการเก็บต่อปริมาณความชื้นและค่า A_w ของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน พิจารณาเฉพาะอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับสภาวะการเก็บรักษา..53
4.22 ผลของอายุการเก็บต่อปริมาณความชื้นและค่า A_w ของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน พิจารณาเฉพาะอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับอายุการเก็บรักษา..54
4.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขาวและค่า TBA ของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศและเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน........................57

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.24 ผลของอายุการเก็บต่อค่าความขาวและค่า TBA ของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน.................................58

4.25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการอุ้มน้ำและความจุอิมัลชั่นของปลาผง และ gel strength ของเจลที่เตรียมจากปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน.................................62

4.26 ผลของอายุการเก็บต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของปลาผง และ gel strength ของเจลที่เตรียมจากปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับอายุการเก็บรักษา.................................63

4.27 ผลของอายุการเก็บต่อความจุอิมัลชั่นของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของอุณหภูมิในการเก็บรักษา.................................64

4.28 ความสามารถในการพับของตัวอย่างเจลที่เตรียมจากปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน.................................65

4.29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนน สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม ของเจลที่เตรียมจากปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน.................................70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.30 ผลของอายุการเก็บต่อคะแนน สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม ของเจลที่เตรียมจากปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรืออุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน เมื่อพิจารณาเฉพาะอุณหภูมิและอายุการเก็บรักษา..71
4.31 ผลของอายุการเก็บต่อคะแนน สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม ของเจลที่เตรียมจากปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรืออุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของสภาวะการเก็บรักษา..72

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

4.1 ปลาทรายแดงที่ใช้ในการทดลอง.....36
4.2 ลักษณะของปลาผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นกระจาย.....40
4.3 ปริมาณความชื้นของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน.....50
4.4 ค่า A_w ของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน.....51
4.5 ค่าความขาวของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน.....55
4.6 ค่า TBA ของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน.....56
4.7 ความสามารถในการอุ้มน้ำของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน.....59
4.8 gel strength ของเจลที่เตรียมจากปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน.....60
4.9 ความจุอิมัลชั่นของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน.....61

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.10 ค่า log ของจุลินทรีย์ทั้งหมดของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน..........64
4.11 คะแนนสีของเจลที่เตรียมจากปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน..........66
4.12 คะแนนกลิ่นของเจลที่เตรียมจากปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน..........67
4.13 คะแนนลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลที่เตรียมจากปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน..........68
4.14 คะแนนการยอมรับรวมของเจลที่เตรียมจากปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน..........69

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันปลาและผลิตภัณฑ์จากปลาเป็นที่นิยมบริโภคอย่างแพร่หลาย เพราะโปรตีนจากเนื้อปลาย่อยง่ายกว่าโปรตีนจากเนื้อแดง และไขมันในเนื้อปลาโดยเฉพาะปลาทะเลยังมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง อีกทั้งยังมีกรดไขมันโอเมก้า-3 คือ กรด Eicosapentaenoic (EPA) และ Docosahexaenoic (DHA) ซึ่งมีรายงานว่ามีผลต่อการลด cholesterol ในเส้นเลือด ทำให้อัตราเสี่ยงของการเป็นโรคความดันโลหิตลดลง (Hamilton, 1995) นอกจากนั้นปลายังเป็นแหล่งโปรตีนที่ราคาต่ำกว่าเนื้อแดงและประเทศไทยสามารถผลิตได้มาก โดยในแต่ละปีประเทศไทยจับปลาทะเลได้ในปริมาณถึง 2,231,784 ตัน (สถิติและสารสนเทศการประมง, 2540) ปลาที่จับได้ส่วนใหญ่ใช้บริโภคสดหรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ อาทิ ไส้กรอก ลูกชิ้น ปลาเส้น ปัญหาสำคัญอันหนึ่งที่พบมากในการบริโภคเนื้อปลาสด หรือ ในกระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ได้แก่คุณภาพด้านความสดของวัตถุดิบ เนื่องจากปลาเป็นสัตว์ที่เน่าเสียง่าย จากปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนและจากเอนไซม์ต่างๆ ของปลาเอง ได้มีความพยายามที่จะรักษาคุณภาพด้านความสดหรือยืดอายุการเก็บปลาด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การแช่แข็งปลาทั้งตัว หรือ การเก็บรักษาในรูปเนื้อปลาบดแช่เยือกแข็ง ซึ่งในการเก็บรักษาทั้ง 2 วิธีนี้ โปรตีนเนื้อปลาเกิดการแปลงสภาพ (denature) ไม่มากนัก เมื่อนำมาละลายน้ำแข็ง (thaw) แล้วยังสามารถนำเนื้อปลามาใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการการเกิดเจล (gel) เช่น ลูกชิ้น ปลาเส้น อย่างไรก็ตามการเก็บวัตถุดิบในรูปของการแช่แข็งปลาทั้งตัวและปลาบดแช่เยือกแข็ง ต้องมีการลงทุนสูงด้านการสร้างห้องเย็น การเก็บรักษา และการขนส่ง จึงได้มีแนวคิดในการเก็บปลาในรูปของปลาผง ซึ่งการเก็บปลาในรูปแบบนี้เป็นแนวทางหนึ่งในการลดต้นทุนการผลิต นอกจากนั้นยังสะดวกในการเก็บ การขนส่ง รวมทั้งสะดวกในการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ซึ่งไม่มีอาณาเขตติดกับทะเล ได้แก่ ภาคเหนือ ภาคอีสาน ของประเทศไทย ก็อาจใช้ปลาผงเป็นวัตถุดิบได้ทุกฤดูกาลโดยไม่ต้องคำนึงถึงคุณภาพด้านความสดของวัตถุดิบ ซึ่งแปรปรวนค่อนข้างมาก อีกทั้งปริมาณการจับได้ยังมากน้อยตามฤดูกาล อย่างไรก็ตามปลาผงที่ผลิตขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าวนี้ต้องสามารถรักษาสมบัติด้านการเกิดเจลและสมบัติด้านหน้าที่ (functional property) อื่นๆ บางอย่างไว้ได้ใกล้เคียงกับเนื้อปลาสดหรือปลาบด จากลักษณะที่ได้เปรียบของการเก็บวัตถุดิบในรูปของปลาผง จึงได้กำหนดโครงการวิจัยนี้ขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อ ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตปลาผงโดยการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย ศึกษาระดับที่เหมาะสมของสารที่ใช้ป้องกันโปรตีนแปลงสภาพในขณะทำแห้ง เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารที่ใช้ปรับปรุงคุณสมบัติในการเกิดเจลของปลาผง และ ศึกษาอายุการเก็บปลาผง

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

ปลาทรายแดง

สัตว์น้ำหน้าดินในอ่าวไทย มีหลายชนิด ประกอบด้วย กุ้ง หอย ปู ปลา และ ปลาหมึก ปลาหน้าดินจัดเป็นสัตว์น้ำ ที่มีความสำคัญในอ่าวไทย มีประมาณ 30 ครอบครัว ซึ่งมีสมาชิกมากกว่า 300 ชนิด (Wongratana, 1970) ปลาหน้าดินจับได้จากเครื่องมืออวนลากเป็นส่วนใหญ่ ปัจจุบันปริมาณการจับปลาหน้าดินลดลง เนื่องจากผลผลิตทางธรรมชาติ ไม่สมดุลย์กับการลงแรงงานประมงที่เพิ่มขึ้น ในปี 2540 ปลาหน้าดินที่จับได้มีปริมาณร้อยละ 16.99 ของปริมาณปลาที่จับทั่วประเทศ มีมูลค่า 7,820.40 ล้านบาท (สถิติและสารสนเทศการประมง, 2540) ปลาหน้าดินที่รู้จักและจับได้มาก มีอยู่หลายชนิด ที่สำคัญ คือ ปลาปากคม ปลาตาโต และ ปลาทรายแดง

ปลาทรายแดง เป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง มีปริมาณการจับทั่วประเทศไทยในปี 2540 ร้อยละ 3.92 ของปริมาณการจับปลาทั้งหมด มีมูลค่า 1,192.10 ล้านบาท (สถิติและสารสนเทศการประมง, 2540) ผลจากการสำรวจเครื่องมืออวนลากพานิชย์ในอ่าวไทย แสดงให้เห็นว่าจากปริมาณการจับปลาโดยเฉลี่ยทั้งสิ้นร้อยละ 3.17 ในปี 2532-2536 พบปลาทรายแดงในปลาเศรษฐกิจร้อยละ 2.09 และในปลาเป็ดร้อยละ 1.08 (พิศมร อิศระ, 2539) ปลาทรายแดงเป็นปลาในครอบครัว Nemipteridae เป็นพวกกินเนื้อสัตว์ (carnivorous) อาหารเป็นพวกกุ้ง Copepod กับ Ostrapod (สุมณฑา อินทอง, 2521) มีลักษณะลำตัวป้อม เป็นสีชมพูตรงกลาง หางเป็นแถบสีเหลือง ทางยาวตลอด พบแพร่กระจายอยู่ทั่วไปในอ่าวไทย ในทุกระดับความลึก ตั้งแต่ 20-30 เมตร (สมศักดิ์ ปราโมกข์ชุติมา, 2521) เป็นปลาที่มีการวางไข่ตลอดปี ตั้งแต่ระดับน้ำลึก 30-50 เมตร และมีความเค็มตั้งแต่ร้อยละ 32.51-32.94 ในอ่าวไทยปลาทรายแดงที่พบมีหลายชนิด (Wongratana, 1970) ที่สำคัญและพบมาก คือ *Nemipterus mesoprion* และ *Nemipterus hexodon* (ปรียนาฏ สุขะวิสิษฐ์, 2532) ปลาทรายแดงนอกจากจะเป็นสินค้าขายสดแล้ว ยังมีผู้นำไปแปรรูปเป็นปลาตากแห้ง ทำเค็ม ทำลูกชิ้น ทำปลาบดแช่แข็งหรือซูริมิ ซึ่งใช้ประโยชน์ในการปูเทียม หอยเชลล์เทียม และผลิตภัณฑ์อื่นๆที่นิยมบริโภคภายในประเทศ และยังสามารถส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศได้อีกด้วย (อุดม สุนทรวิภาต และคณะ, 2530)

โครงสร้างของกล้ามเนื้อปลา

กล้ามเนื้อที่นำมาใช้เป็นอาหารส่วนมากเป็นกล้ามเนื้อลาย (striated muscle) ซึ่งจากการสรุปลักษณะโครงสร้างเนื้อสัตว์ของ Wong (1989) และ Cassens (1987) กล้ามเนื้อลายประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fibers) เรียงตัวขนานตามความยาวของมัดกล้ามเนื้อและมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissues) หุ้มอยู่โดยรอบมัดกล้ามเนื้อและเส้นใยกล้ามเนื้อ ในแต่ละเส้นใยกล้ามเนื้อมีผนังเซลที่เรียกว่า sarcolemma หุ้ม โดยมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน endomysium หุ้มทับอีกชั้นหนึ่ง เส้นใยกล้ามเนื้อประมาณ 20-40 เส้น รวมตัวเป็นมัดกล้ามเนื้อเบื้องต้น (primary bundle) และมัดกล้ามเนื้อเบื้องต้นจำนวนไม่แน่นอนจะรวมตัวกันเป็นมัดกล้ามเนื้อรอง (secondary bundle) ซึ่งมัดกล้ามเนื้อทั้งสองมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน perimysium หุ้มอยู่ และท้ายสุดมัดกล้ามเนื้อรองจำนวนต่างๆ กันจะรวมตัวกันเป็นกล้ามเนื้อมัดใหญ่ที่มีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิดหนา หรือ epimysium หุ้มอยู่ชั้นนอกสุด Lanier (2000) กล่าวว่า กล้ามเนื้อของปลามี 2 ชนิด คือ กล้ามเนื้อแดง (dark muscle) และ กล้ามเนื้อขาว (light muscle) การที่กล้ามเนื้อจะมีสีแดงหรือสีขาวขึ้นกับอัตราส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อขาวและเส้นใยกล้ามเนื้อแดงที่รวมกลุ่มเป็นโครงสร้างมัดกล้ามเนื้อ เส้นใยกล้ามเนื้อจะเป็นชนิดแดงหรือขาวขึ้นกับปริมาณรงควัตถุ (pigments) คือ myoglobin ที่อยู่ในกล้ามเนื้อนั้น

เมื่อพิจารณาภายในโครงสร้างเส้นใยกล้ามเนื้อ Cassens (1987) สรุปว่า เส้นใยกล้ามเนื้อมีลักษณะเป็นเส้นเล็กยาว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-100 ไมครอน และภายในมีสารโปรตีน แร่ธาตุ วิตามิน และ รงควัตถุกระจายอยู่ทั่วไป ซึ่งโปรตีนภายในเส้นใยกล้ามเนื้อมีลักษณะบางกว่าเส้นใยกล้ามเนื้อ เรียกว่า myofibril มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-3 ไมครอน ถ้านำเส้นใยกล้ามเนื้อมาส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะเห็นว่ามีลักษณะเป็นสายตามยาวและมีสีเข้มสลับสีจาง ซึ่งเกิดจากการจัดเรียงตัวของ myofibril myofibril ประกอบด้วย myofilament 2 ชนิด คือ ชนิดหนา (เส้นผ่านศูนย์กลาง 100 อังสตรอม) และ ชนิดบาง (เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 อังสตรอม) ซึ่งส่วนประกอบของ myofilament ชนิดหนา และ บาง คือ โปรตีน myosin และ actin ตามลำดับ

องค์ประกอบทางเคมีของกล้ามเนื้อปลา

ในเนื้อปลาที่นำมาเป็นอาหารประกอบด้วย โปรตีน ไขมัน และ น้ำ ซึ่งมีสมบัติและหน้าที่ต่างๆ ดังต่อไปนี้

โปรตีน เนื้อปลามีโปรตีนร้อยละ 11-27 ของส่วนเนื้อทั้งหมด (Shahidi, 1994) และอาจแบ่งประเภทตามลักษณะโครงสร้างและสมบัติด้านการละลายได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ sarco plasmic proteins, myofibrillar proteins และ โปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue proteins)

sarcoplasmic proteins มีปริมาณร้อยละ 25-30 ของโปรตีนทั้งหมด เป็นโปรตีนที่สามารถสกัดหรือละลายได้ในน้ำหรือสารละลายเกลือเจือจางที่มีค่า ionic strength น้อยกว่า 0.15 (Scopes, 1970) ประกอบด้วย myoglobin, hemoglobin และ เอนไซม์หลายชนิด hemoglobin ซึ่งเป็นโปรตีนในเลือด ทำหน้าที่นำออกซิเจนเข้าสู่กล้ามเนื้อ และ myoglobin ที่อยู่ภายในเส้นใยกล้ามเนื้อรับออกซิเจนจาก hemoglobin เพื่อนำมาใช้เผาผลาญสารอาหารเป็นพลังงานใน tricarboxylic acid cycle (TCA cycle) โปรตีนทั้งสองชนิดนี้เป็นรงควัตถุให้สีในเลือดและในเนื้อปลา ปลาชนิดที่มีเนื้อสีคล้ำ เช่น ปลาทูน่า, ปลาซาร์ดีน จะมีปริมาณ myoglobin สูงกว่าปลาชนิดที่มีเนื้อสีขาว เช่น ปลาทรายแดง, ปลาจาระเม็ด Lanier (2000) กล่าวว่า การผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจลจำเป็นอย่างยิ่งต้องกำจัดโปรตีนชนิดนี้ เนื่องจาก myoglobin และ hemoglobin จะทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้น (sensitizer) เพื่อเปลี่ยนระดับพลังงานของออกซิเจนในอากาศซึ่งอยู่ในระดับต่ำ ไปอยู่ในระดับพลังงานสูง ซึ่งออกซิเจนในระดับพลังงานนี้สามารถเร่งให้เกิดอนุมูลอิสระตัวแรก (Nawar, 1996) ในปฏิกิริยา oxidation ของไขมัน โดยอนุมูลอิสระนี้จะทำปฏิกิริยากับ myoglobin และ hemoglobin มีผลให้สีของเนื้อปลาเข้มขึ้น (Chen และคณะ, 1999) นอกจากนี้เอนไซม์ในเนื้อปลา เช่น proteases และ trimethylamine oxide demethylase (TMAO demethylase) ยังมีผลให้คุณภาพของเจลด้อยลง โดยที่เอนไซม์ proteases จะย่อยโครงสร้างร่างแหของเจล จึงได้เจลมีลักษณะนุ่มไม่ยืดหยุ่น เอนไซม์ชนิดนี้ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 50-70 $^{\circ}$C และที่ค่าความเป็นกรดด่างที่เป็นกลางหรือเป็นด่าง ขณะที่เอนไซม์ TMAO demethylase ซึ่งพบมากที่ตับและไตของปลาจะย่อย trimethylamine oxide (TMAO) ให้เป็น formaldehyde และ dimethylamine ซึ่ง formaldehyde เป็นสารที่ก่อให้เกิดการแปลงสภาพของโปรตีน

myofibrillar proteins มีปริมาณร้อยละ 65-70 ของโปรตีนทั้งหมด เป็นโปรตีนที่สามารถสกัดหรือละลายได้ด้วยสารละลายเกลือที่มี ionic strength 0.3-1.0 (Scopes, 1970) องค์ประกอบสำคัญของ myofibrillar proteins ได้แก่ โปรตีน myosin และ actin ส่วนองค์ประกอบอื่นที่มีอยู่ในปริมาณเล็กน้อย ได้แก่ tropomyosin, troponin C I และ T ซึ่งมีความสำคัญน้อยกว่า (Bendall, 1969 ; Forrest และคณะ, 1975)

myosin มีอยู่ในปริมาณร้อยละ 50-60 ของ myofibrillar proteins (Shahidi, 1994) myosin เป็นโปรตีนที่มีโมเลกุลเป็นสายยาวขนาดใหญ่มีความยาว 155-160 nm และมวลโมเลกุลประมาณ 500,000 ดาลตัน ประกอบด้วยโปรตีน 2 หน่วยย่อย (subunit) คือ myosin heavy chain (MHC) และ myosin light chain (MLC) MHC ประกอบด้วยส่วนหัวซึ่งมีรูปร่างเป็นก้อนกลม เรียกว่า globular head จำนวน 2 หัว และ ส่วนหางซึ่งประกอบด้วย polypeptides สายยาว 2 สายพันรอบซึ่งกันและกัน เกิดเป็นโครงสร้าง α-helix ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่ง (rod shape) แต่ละสายของ MHC มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 200,000 ดาลตัน Lee (1983) กล่าวว่า globular head ของ MHC สามารถทำหน้าที่เป็นเอนไซม์ adenosine triphosphatase (ATPase) ซึ่งสลาย adenosine triphosphate (ATP) เป็น adenosine diphosphate (ADP) และ inorganic phosphate ได้พลังงานออกมา การทำงานในลักษณะดังกล่าวมีความสำคัญในการหดตัวของกล้ามเนื้อ ซึ่งเร่งได้ด้วยแคลเซียมอิออน (Ca^{+2}) และยับยั้งด้วยแมกนีเซียมอิออน (Mg^{+2}) สำหรับ MLC ประกอบด้วยโปรตีน 4 หน่วยย่อย ซึ่งแต่ละหน่วยเกาะติดกับส่วน globular head ของ MHC น้ำหนักโมเลกุลของ MLC ขึ้นกับชนิดของสัตว์ โดยอยู่ระหว่าง 16,000 ถึง 27,000 ดาลตัน และมี 2 ชนิด คือ alkaline light chain และ 5,5-dithiobis-2-nitrobenzoic acid alkaline light chain แยกจาก globular head ของ MHC ได้ในภาวะที่เป็นด่าง ขณะที่ชนิดหลังเกิดขึ้นเมื่อมีกรด 5,5-dithiobis-2-nitrobenzoic ซึ่งทั้งสองภาวะจะทำให้ myosin สูญเสียสมบัติตามธรรมชาติไป Azuma และ Konno (1999) กล่าวว่า การที่ MLC เชื่อมกับ globular head ของ MHC จะช่วยรักษาสมบัติตามธรรมชาติของ myosin แม้ว่าส่วนอื่นๆ ของ globular head โดยเฉพาะส่วนที่ทำหน้าที่เป็นเอนไซม์ ATPase ถูกทำลายไปแล้วก็ตาม

myosin ย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ proteases เช่น trypsin หรือ chymotrypsin ซึ่งจะย่อยส่วนหางของ myosin ออกเป็น heavy meromyosin (HMM) และ light meromyosin (LMM) ซึ่ง HMM ทำหน้าที่เป็นเอนไซม์ ATPase และเป็นส่วนที่ทำหน้าที่จับกับ actin ส่วน globular head ของ myosin ย่อยสลายได้ด้วย papain ได้ส่วนที่เรียกว่า subfragment 1 ซึ่งทำหน้าที่เช่นเดียวกับ HMM (McCormick, 1994) myosin เป็นโปรตีนที่มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดเจล โดยองค์ประกอบสำคัญของ myosin ซึ่งทำหน้าที่นี้คือ MHC (Samejima และคณะ, 1984 ; Chan, Gill และ Paulson, 1992a,b) Yongsawatdigul, Park และ Kolbe (1997) ศึกษาความยืดหยุ่น ของเจลและรายงานว่าเจลของปลา Pacific whiting มีค่าความยืดหยุ่นแปรผันตามปริมาณ MHC เจลที่ผลิตจากปลาที่มีเอ็นไซม์ proteases อยู่ในกล้ามเนื้อเป็นจำนวนมากมักจะมีลักษณะนุ่มไม่ยืดหยุ่น เนื่องจากเอ็นไซม์เหล่านี้เร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายของ myosin โดยใช้ MHC เป็นสารตั้งต้นได้เป็นอย่างดี

actin มีอยู่ในปริมาณร้อยละ 20 ของ myofibrillar proteins (Shahidi, 1994) actin มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 60,000 ดาลตัน และมี 2 รูปแบบ ได้แก่ G-actin ที่มีลักษณะกลม ซึ่งเมื่ออยู่ในสารละลายเกลือเกิด polymerization และเปลี่ยนรูปไปเป็น F-actin ที่เป็นสายยาว F-actin กับ myosin เมื่อเชื่อมต่อกัน (associate) ด้วยพันธะ ionic เกิดเป็นโครงสร้างเชิงซ้อน เรียกว่า actomyosin (Lee, 1983) actin ไม่มีสมบัติในการจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างสามมิติ แต่อย่างไรก็ตาม Yasui, Ishioroshi และ Samejima (1980) พบว่า ตัวอย่างเจลที่มี actin เป็นส่วนผสมมีค่า gel strength มากกว่าตัวอย่างที่มี myosin เพียงอย่างเดียว จึงถือว่า actin มีส่วนเสริมฤทธิ์ (synergistic effect) กับ myosin Yasui และคณะ (1982) ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่าง myosin และ actin ที่จะให้ค่า gel strength สูง พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ 2.7 ต่อ 1 ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนต่อน้ำหนัก 15 ต่อ 1 ผลการเสริมฤทธิ์ของ actin เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่าง F-actin และ myosin บางส่วนเกิดเป็น actomyosin ซึ่ง F-actin ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมข้าม (crosslinker) กับ myosin ที่เหลืออยู่ในรูปอิสระทำให้เกิดโครงสร้างเจลที่แข็งแรงขึ้น และผลของ actin ต่อการเสริมความสามารถในการเกิดเจลสอดคล้องกับงานวิจัยของ Runglerdkriangkrai และคณะ (1999a) ซึ่งพบว่า การเกิด polymerization เพื่อก่อตัวเป็นโครงสร้างสามมิติจะเกิดระหว่าง globular head และ actin

โปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน มีปริมาณร้อยละ 3-10 ของโปรตีนทั้งหมด (Foegeding, Lanier และ Hultin, 1996) เป็นโปรตีนที่ไม่สามารถสกัดหรือละลายได้ด้วยน้ำ กรด และ ด่าง ได้แก่ collagen, elastin ซึ่ง collagen สามารถเปลี่ยนไปเป็น gelatin เมื่อได้รับความร้อน gelatin ที่เกิดขึ้นจะรบกวนการเกิดโปรตีนเจลของเนื้อปลา และทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นหลุมไม่น่าดู

น้ำ ทำหน้าที่เป็นตัวกลาง ในการเคลื่อนย้าย สารอาหาร ออกซิเจน ฮอร์โมน และ ของเสียเข้าและออกจากเซลกล้ามเนื้อ เป็นส่วนประกอบที่มีปริมาณมากที่สุดของเนื้อเยื่อ ในเนื้อไม่ติดมัน (lean meat) จะมีน้ำถึงร้อยละ 76 ขององค์ประกอบในเนื้อเยื่อทั้งหมด (Pederson, 1987) น้ำในกล้ามเนื้อสัตว์แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ constitutional water, interfacial water และ bulk water

Constitutional water มีอยู่ประมาณร้อยละ 0.1 ของน้ำทั้งหมด (0.5 กรัมต่อโปรตีน 100 กรัม) เป็นน้ำชั้นแรกที่ยึดติดกับโมเลกุลโปรตีนจากการที่ประจุบวกและลบของโมเลกุลน้ำกับโมเลกุลโปรตีนเกิดพันธะ ionic โดยโครงสร้างพื้นฐานของโปรตีนในเนื้อสัตว์ เช่น

myosin และ tropomyosin จะมีกรดอะมิโนที่เป็นกรดและด่างที่ทราบกันว่ามีประจุไฟฟ้าอยู่บนโมเลกุล ประจุเหล่านี้เป็นส่วนที่จับอยู่กับโมเลกุลของน้ำ (Foegeding และคณะ, 1996)

Interfacial water มีอยู่ประมาณร้อยละ 5-10 ของน้ำทั้งหมด มีการเคลื่อนที่ค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับ bulk water เนื่องจากอยู่ในระยะห่างที่ยังมีผลจากประจุไฟฟ้าของโปรตีนอยู่ (Hamm, 1975)

Bulk water หรือที่รู้จักกันในชื่อน้ำอิสระ (free water) มีอยู่ประมาณร้อยละ 90-95 ของน้ำทั้งหมด เป็นน้ำที่อยู่ชั้นนอกสุด และเชื่อว่าไม่ได้รับอิทธิพลจากประจุของโปรตีน แต่คงสภาพอยู่ภายในเนื้อสัตว์ได้ด้วย capillary force (Honikel และ Hamm, 1994)

ไขมัน ทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงาน เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ และมีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบฮอร์โมนและการดูดซึมวิตามินในสัตว์ ไขมันในกล้ามเนื้อมีปริมาณร้อยละ 0.56-3.36 ของน้ำหนักทั้งหมด (Lawrie, 1966) ประกอบด้วย phospholipids, triglycerides, free fatty acids และ sterols fatty acids ในเนื้อปลาส่วนใหญ่จะเป็นประเภทไม่อิ่มตัว ชนิดที่สำคัญและรู้จักกันดี คือ EPA และ DHA ซึ่งมีผลต่อการลด cholesterol ในเส้นเลือด ทำให้อัตราเสี่ยงของการเป็นโรคความดันโลหิตลดลง (Hamilton, 1995) แต่การมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในกล้ามเนื้อ อาจก่อให้เกิดปฏิกิริยา oxidation ทำให้ปลามีกลิ่นหืนและมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค

การเกิดเจลของโปรตีนเนื้อปลา

กลไกการเกิดเจล

Park, Korhonen และ Lanier (1990) กล่าวถึงกลไกการเกิดเจลของโปรตีนเนื้อปลาว่า เกิดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและฟิสิกส์ของโปรตีนในเนื้อปลา เมื่อสับผสมเนื้อปลากับเกลือแกงร้อยละ 2-3 ของน้ำหนักเนื้อปลา myofibrillar proteins ซึ่งประกอบด้วย myosin และ actin จะถูกสกัดออกมาในสารละลายเกลือ โดยโซเดียมอิออน (Na^{+1}) จับกับกรดอะมิโนชนิดที่เป็นกรด ส่วนคลอไรด์อิออน (Cl^{-1}) จับกับกรดอะมิโนชนิดที่เป็นด่าง ทำให้สาย peptides คลายตัวออกจากกัน (unfolding) และกระจายตัวออกมาอยู่ในน้ำ เกิดเป็นสารละลายโปรตีน เรียกว่า โซล (sol) เมื่อให้ความร้อนสารละลายดังกล่าวนี้ด้วยวิธีที่ถูกต้อง sol จะแปลงสภาพเป็นเจลที่เหนียวและยืดหยุ่น Suzuki (1981) อธิบายถึงกลไกการเกิดเจลในขณะให้ความร้อนไว้ว่ามี 3 ขั้นตอน ได้แก่ ซูวาริ โมโดริ และ อาชิ

ซูวาริ (suwari) หรือ การเรียงตัว (gel setting) ที่อุณหภูมิ 5-50 °C sol จะจับกับน้ำด้วยพันธะ hydrogen และเอนไซม์ transglutaminase ซึ่งมีตามธรรมชาติกระตุ้นให้เกิดพันธะ covalent ระหว่าง lysine และ glutamine (Imai และคณะ, 1996) ซึ่งเอนไซม์ชนิดนี้สามารถละลายน้ำได้จึงสามารถถูกกำจัดได้ง่ายเมื่อผ่านการล้างที่มากจนเกินพอดี ดังนั้นปลาที่จับได้ทันทีจะมีเอนไซม์ในปริมาณมาก แต่เมื่อปลาผ่านการขนส่งจากเรือมายังฝั่งจะต้องมีการลดอุณหภูมิในตัวปลาโดยการแช่น้ำแข็ง จึงทำให้เอนไซม์ถูกชะล้างไปพร้อมกับน้ำจากน้ำแข็งที่ละลายออกมา นอกจากนี้พันธะที่ช่วยส่งเสริมต่อการเกิดเจลในขั้นตอนนี้ ยังรวมทั้งพันธะ hydrophobic ด้วย เนื่องจากผิวหน้าของสายโมเลกุลโปรตีนมีหมู่ไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้นในระหว่างซูวาริ (Niwa, 1992) พันธะต่างๆ ที่กล่าวมาทั้งหมดจะทำให้เกิดโครงสร้างร่างแหอย่างหลวมๆ และมีการกักน้ำอยู่ภายใน (Niwa, Matsubara และ Hamada, 1982) ซูวาริ เกิดได้ 2 แบบตามระดับอุณหภูมิ โดย แบบแรกเป็นการจัดเรียงตัวที่อุณหภูมิต่ำ เกิดเมื่อเก็บเนื้อปลาที่อุณหภูมิ 5-10 °C เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง เจลที่ได้มีลักษณะใสและยืดหยุ่น เนื่องจากมีการสร้างพันธะ hydrogen ของโมเลกุลน้ำภายในร่างแหมากขึ้นจึงทำให้ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น ซูวาริแบบที่สอง เป็นการจัดเรียงตัวที่อุณหภูมิสูง เกิดจากการให้ความร้อนเนื้อปลาที่อุณหภูมิ 30-50 °C นาน 30-90 นาที เจลที่ได้มีลักษณะขุ่นและยืดหยุ่น ซึ่งการจัดเรียงแบบนี้ความแข็งแรงของเจลจะต่ำกว่าแบบแรก เพราะการพัฒนาของเจลแบบแรกนั้นจะค่อยๆ เกิดขึ้นอย่างช้าๆ การเกิดเจลจึงเกิดได้อย่างสมบูรณ์และให้เจลที่แข็งแรงกว่า (Lanier, 2000)

ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการจัดเรียงตัวก่อนการนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะให้เจลที่มีความแข็งแรงมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ผ่านการจัดเรียงตัว (Lee, 1984 : MFRD, 1987a) Park, Yongsawatdigul และ Lin (1994) รายงานว่าเนื้อปลา Pacific whiting ให้เจลที่มีความแข็งแรงสูงสุดเมื่อจัดเรียงตัวที่ 25 °C 3 ชั่วโมง แล้วให้ความร้อนที่ 90 °C 15 นาที ในขณะที่เนื้อปลา Alaska pollock และ Atlantic croaker มีภาวะที่เหมาะสมสำหรับการจัดเรียงตัวเป็น 4 °C 24 ชั่วโมง และ 40 °C 30 นาที ตามลำดับ และปลาต่างชนิดกันจะมีอุณหภูมิจัดเรียงตัวที่เหมาะสมแตกต่างกันขึ้นกับเสถียรภาพของโปรตีนในเนื้อปลาชนิดนั้น (Kim, 1987)

โมโดริ (modori) หรือ การแตกตัว (disintegration) คือ การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60-70 °C เพื่อทำให้เกิดการแตกสลายของโครงสร้างเจลบางส่วน ทำให้ความแข็งแรงของเจลลดลง การลดลงนี้เป็นผลมาจากเอนไซม์ alkaline proteases ที่ทนความร้อน (Autio, Kiesvaara และ Polvinen, 1989) ซึ่งพบในปลาบางชนิด เช่น ปลา Atlantic croaker (Lin และ Lanier, 1980) ปลา white croaker (Deng และคณะ, 1979) และ Atlantic menhaden (Boye และ Lanier, 1988) Boye และ Lanier (1988) อธิบายว่าเอนไซม์ alkaline proteases ในเนื้อปลา Atlantic

menhaden (*Brevoorti tyrannus*) มีกิจกรรมสูงสุดที่อุณหภูมิ 60 °C pH 7.5-8.0 และกิจกรรมของเอนไซม์จะลดลงอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำกว่า 45 °C และ สูงกว่า 70 °C pH ต่ำกว่า 7.0 หรือสูงกว่า 8.0 ในขณะที่เอนไซม์ชนิดเดียวกันนี้ในเนื้อปลา rainbow trout (*Salmo gairdneri*) มีกิจกรรมสูงสุดที่อุณหภูมิ 65 °C pH 8.0 Autio และคณะ (1989) กล่าวว่าเอนไซม์ alkaline proteases ไม่ก่อให้เกิดปัญหาในผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจล ซึ่งผ่านการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง (80 °C หรือ 90 °C) แต่จะก่อให้เกิดปัญหากับผลิตภัณฑ์ชนิดอิมัลชั่น ซึ่งต้องให้ความร้อนอย่างช้าๆ จนได้อุณหภูมิ 70 °C ดังนั้นการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วผ่านอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดโมโดริจึงเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าว นอกจากนี้อาจใช้สารยับยั้งเอนไซม์ในการป้องกันโมโดริ สารเหล่านี้ ได้แก่ โปรตีนสกัดจากเลือดวัว ไข่ขาว และ น้ำสกัดจากมันฝรั่ง Morrissey และคณะ (1993) รายงานว่า โปรตีนสกัดจากเลือดวัว ไข่ขาว และ น้ำสกัดจากมันฝรั่งเข้มข้นร้อยละ 1 ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ alkaline proteases ในเนื้อปลา Pacific whiting ได้ร้อยละ 90, 60 และ 50 ตามลำดับ โดยโปรตีนสกัดจากเลือดวัวและไข่ขาวมีสาร α_2-macroglobulin ซึ่งยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าวได้ (Hamann และคณะ, 1990)

อาชิ (ashi) หรือ การตรึง (elasticity fixation) เกิดเมื่อให้ความร้อนแก่เจลต่อที่อุณหภูมิ 80-90 °C ที่ภาวะดังกล่าวนี้ myofibrillar proteins จะเกิดการรวมกลุ่มแบบสุ่ม (aggregation) มากขึ้น (Montejano, Hamann และ Lanier, 1984) พันธะที่เกิดขึ้นในช่วงนี้เป็นพันธะ hydrophobic และ disulfide เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นผลให้โครงสร้างร่างแหมีความคงตัวมากขึ้น เจลที่ได้มีลักษณะทึบและเสถียรมาก (Shimizu และ Simidu, 1960)

Sano และคณะ (1990a,b) กล่าวว่า การพัฒนาโครงสร้างในการเกิดเจล ขั้นแรกจะเกิดเนื่องจากการเชื่อมของส่วนหางของ MHC ต่อมาจึงเกิดการเชื่อมต่อกันระหว่างกรดอะมิโนกลุ่มไม่ชอบน้ำที่บริเวณ globular head ของ MHC ซึ่งบริเวณนี้จะมีกรดอะมิโนกลุ่มนี้อยู่มาก Runglerdkriangkrai และคณะ (1999b) พบว่า การรวมกลุ่มของส่วนหางของ myosin ในปลา carp เกิดที่อุณหภูมิ 30 °C ส่วน globular head จะเกิดการคลายตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า 30 °C นอกจากนี้ Sano และคณะ (1990b) พบว่า HMM ไม่สามารถเกิดเจลได้ในขณะที่ LMM เกิดการเรียงตัวเป็นร่างแห ซึ่งสอดคล้องกับ Samejima, Ishioroshi และ Yasui (1981) ที่พบว่า ค่า gel strength ของเจลที่เตรียมจาก myosin ส่วนหางสูงกว่าตัวอย่างที่ได้จากส่วน globular head ของ myosin โดยเจลที่เตรียมจาก globular head มีโครงสร้างซึ่งมีลักษณะคล้ายการต่อเรียงกันของลูกปัด (bead-like structure) ไม่ใช่โครงสร้างร่างแหสามมิติ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีลักษณะเป็นตะกอนโปรตีน (curd) มากกว่าเจล ในขณะที่เจลที่เตรียมจากส่วนหางมีลักษณะเนื้อสัมผัสและ

โครงสร้างใกล้เคียงกับเจลที่เตรียมจาก myosin ดังนั้นส่วนหางของ MHC จึงเป็นบริเวณที่เกิดการเชื่อมต่อระหว่างโมเลกุล (intermolecular) สำหรับการเกิดเป็นร่างแหสามมิติ อย่างไรก็ตาม Taguchi และคณะ (1987) ได้เสนอกลไกการเกิดเจลที่แตกต่างออกไป กล่าวคือ การจัดเรียงตัวของ HMM โดยเฉพาะส่วน globular head เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 30-40 $^{\circ}$C และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 50 $^{\circ}$C ส่วนของ LMM เริ่มคลายตัวออกจากกันและจัดเรียงเป็นร่างแห ข้อเสนอดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gill และ Conway (1989) ซึ่งรายงานว่า ส่วนหางของ myosin จากปลา cod คลายตัวออกที่อุณหภูมิ 40-50 $^{\circ}$C ทำให้กรดอะมิโนที่ไม่ชอบน้ำเปิดตัวออกสู่ภายนอกและเกิดพันธะ hydrophobic ระหว่างสายโมเลกุลของ myosin นอกจากนี้ Chan และคณะ (1993) พบว่า การจับตัวของ myosin จากปลา cod และ herring เริ่มต้นที่บริเวณ HMM ที่อุณหภูมิ 30-40 $^{\circ}$C ส่วนของ LMM เริ่มจับตัวเป็นร่างแหที่อุณหภูมิ 40-50 $^{\circ}$C

การแปลงสภาพ (denaturation) และการรวมกัน (aggregation) ของ myosin แตกต่างตามชนิดของปลา อาทิปลา rainbow trout การแปลงสภาพ myosin เกิดที่อุณหภูมิ 25, 34 และ 40 $^{\circ}$C ในขณะที่ปลา horse mackerel เกิดที่อุณหภูมิ 44 $^{\circ}$C เท่านั้น (Okawa และคณะ, 1993) การจับกลุ่มของ myosin ก็เช่นกัน Chan และคณะ (1992a) พบว่า myosin ของปลา cod และ silver hake มีความสามารถในการรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่ (polymerization) ได้มากกว่าปลา herring และการแปลงสภาพและจับกลุ่มของ myosin จากปลาทั้ง 3 ชนิด เกิดโดยเรียงลำดับมากไปน้อย จากปลา cod, silver hake และ herring (Chan และคณะ, 1992b) และจากสมบัติที่แตกต่างนี้ ความสามารถในการเกิดเจลจึงแตกต่างกัน โดย myosin ของปลา cod และ silver hake เกิดเจลได้ดีกว่าของปลา herring (Gill และคณะ, 1992)

พันธะที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจล

พันธะที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลของ myofibrillar proteins จากเนื้อปลามีอยู่หลายชนิด ได้แก่ พันธะ hydrogen, ionic, hydrophobic และ disulfide

พันธะ hydrogen เป็นพันธะที่มีความแข็งแรงน้อย ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดเจลของ myofibrillar proteins โดยตรง แต่เกี่ยวข้องกับความคงตัวของน้ำอิสระ (free water) ภายในเจลของผลิตภัณฑ์ ซึ่งพันธะชนิดนี้จะเกิดขึ้นในช่วงการจัดเรียงตัวที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากในภาวะนี้โปรตีนจะหันด้านที่มีกรดอะมิโนชนิดที่ชอบน้ำออกสู่ภายนอกและกรดอะมิโนเหล่านี้จะจับกับโมเลกุลของน้ำอิสระจำนวนมากด้วยพันธะชนิดนี้ นอกจากนั้น Howe และคณะ (1994) ยังพบว่า

การเก็บผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจลไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะเกิดพันธะ hydrogen ระหว่างโมเลกุลของโปรตีน เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแน่นเพิ่มขึ้น

พันธะ ionic เป็นพันธะที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างประจุที่แตกต่างกัน ที่ pH ปกติของเนื้อปลา หมู่ carboxyl (COO^{-1}) ของกรดอะมิโน จะแสดงประจุลบ ในขณะที่หมู่ amino (NH_3^{+1}) ของกรดอะมิโน จะแสดงประจุบวก ดังนั้นจะเกิดการดึงดูดระหว่างประจุที่ต่างกันเหล่านี้ ทำให้ myofibrillar proteins รวมตัวกัน (associate) และไม่ละลายน้ำ ดังนั้นในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจลจะต้องเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เพื่อทำลายแรงดึงดูดเหล่านี้ เนื่องจากโซเดียมอิออน และ คลอไรด์อิออน เกิดแรงดึงดูดกับกรดอะมิโนที่มีประจุตรงข้าม ทำให้สาย peptides ของโปรตีนคลายตัวออกจากกัน และปรากฏหมู่ชอบน้ำเพิ่มขึ้น เป็นผลให้โปรตีนกระจายตัวในน้ำได้ดีขึ้น ซึ่งการกระจายของโปรตีนมีความจำเป็นต่อการพัฒนาของเจลในผลิตภัณฑ์ (Niwa, 1992)

พันธะ hydrophobic พันธะชนิดนี้ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างกรดอะมิโนไม่ชอบน้ำ เช่น alanine, valine, leucine, isoleucine, proline, tryptophane และ phenylalanine ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีมากบริเวณ globular head ของ myosin พันธะชนิดนี้จะเกิดมากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจาก 30 $^{\circ}$C ถึง 80 $^{\circ}$C เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสาย peptides บริเวณ globular head จะเกิดการคลายตัว ส่งผลให้กรดอะมิโนไม่ชอบน้ำถูกเปิดออกสู่ภายนอกและสัมผัสกับโมเลกุลของน้ำ โมเลกุลของน้ำซึ่งอยู่ใกล้กับกรดอะมิโนที่ไม่ชอบน้ำเหล่านี้จะจัดเรียงตัวใหม่โดยเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำที่อยู่ใกล้เคียง ส่งผลให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำลดลง และเกิดการเชื่อมกันระหว่างกรดอะมิโนที่ไม่ชอบน้ำในสายของโมเลกุลโปรตีนที่อยู่ใกล้เคียงกัน (Howe และคณะ, 1994) Acton และ Dick (1989) กล่าวว่า การเกิดเจลในระหว่างให้ความร้อนซึ่งเกิดจากการเชื่อมต่อของ globular head เกิดเนื่องจากพันธะ hydrophobic ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Sharp และ Offer (1992) ที่ยืนยันว่าการรวมตัวกัน (aggregation) ของ globular head เกิดเนื่องจากพันธะ hydrophobic จริง เนื่องจากเมื่อให้ความร้อนจะเกิดการเคลื่อนย้ายของ MLC จากบริเวณ globular head ของ myosin ทำให้ส่วนที่ไม่ชอบน้ำของโมเลกุลโปรตีนเปิดออกสู่ภายนอกและเกิดการเชื่อมต่อกันของส่วนที่ไม่ชอบน้ำเหล่านี้

พันธะ disulfide เป็นพันธะที่เกิดจากการเกิด oxidation ของกรดอะมิโนที่มีหมู่ซัลฟ์ไฮดริล (sulfhydryl group, -SH) เช่น cysteine 2 โมเลกุล อาจเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ S-S ได้เป็นโครงสร้าง protein-S-S-protein โดยจำนวนหมู่ sulfhydryl ใน globular head ลดลงเมื่ออุณหภูมิในการเกิดเจลเพิ่มขึ้น และเมื่อเติมสารต่อต้านการเกิดพันธะ sulfhydryl คือ dithiothreitol จะทำให้

ความแข็งแรงของเจลที่เกิดจากการเชื่อมต่อของ globular head ลดลง (Samejima และคณะ, 1981) จากผลที่ได้นี้จึงยืนยันว่า เกิดปฏิกิริยา oxidation ของหมู่ sulfhydryl group ได้เป็นพันธะ disulfide และพันธะชนิดนี้เกิดขึ้นช้าๆ ที่อุณหภูมิ 40-45 °C และเพิ่มมากขึ้นที่อุณหภูมิ 80-90 °C เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูง globular head จะคลายตัว ทำให้หมู่ sulfhydryl ที่อยู่ภายในโมเลกุลเปิดออกสู่ภายนอก เป็นผลให้เกิด polymerization และพันธะ disulfide ระหว่างโปรตีนโมเลกุล (Kishi, Itoh และ Obatake, 1995) Runglerdkriangkrai และคณะ (1999b) รายงานว่า ปฏิกิริยา oxidation ของหมู่ sulfhydryl ของ MHC ในปลา carp เกิดในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 30-80 °C

การเติม potassium bromate หรือ hydrogen peroxide ซึ่งเป็น oxidizing agent มีผลทำให้ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารเหล่านี้ช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยา oxidation ของหมู่ sulfhydryl นอกจากนี้สารทั้งสองชนิดนี้ยังสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ proteases ในเนื้อปลา จึงช่วยให้การเกิดเจลมีประสิทธิภาพมากขึ้น สุเพรวพันธ์ ชุมเรียง (2539) ศึกษาผลของ potassium bromate ต่อความสามารถในการเกิดเจลของซูริมิที่ผลิตจากปลา 2 ชนิด คือ ปลาทรายแดง และ ปลาเบญจพรรณ โดยใช้ในปริมาณ ร้อยละ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.25 พบว่า ปริมาณที่ทำให้เจลของซูริมิที่ผลิตจากปลาทรายแดงและปลาเบญจพรรณมีค่าความแข็งแรงสูงสุด คือ ร้อยละ 0.20 และ 0.25 ตามลำดับ ขณะที่ Pacheco-Aguilar และ Crawford (1994) ซึ่งศึกษาการใช้ potassime bromate ร้อยละ 0.0, 0.025, 0.05, 0.075, 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.25 ในการปรับปรุงสมบัติการเกิดเจลของซูริมิที่ผลิตจากปลา Pacific whiting พบว่า ปริมาณร้อยละ 0.15 เหมาะสมที่สุดสำหรับการยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ proteases และให้เจลที่มีความแข็งแรง

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจล

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเจล ประกอบด้วย ชนิดของปลา ความสดของปลา ความเป็นกรดด่างของเนื้อปลา ความเข้มข้นของเกลือ อุณหภูมิ และ สารปรับปรุงคุณภาพของเจล

ชนิดของปลา เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเกิดเจล ปลาแต่ละชนิดมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน องค์ประกอบที่มีบทบาทในการเกิดเจลที่สำคัญ คือ myofibrillar proteins ซึ่งปลาแต่ละชนิดจะมีในปริมาณที่แตกต่างกัน ขณะที่ไขมันเป็นองค์ประกอบที่ไม่เป็นที่ต้องการในผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจล เนื่องจากไขมันขัดขวางการเกิดโครงสร้างร่างแหของเจล ดังนั้นปลาที่เลือกใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจลควรมีปริมาณของ myofibrillar proteins สูงและมีไขมันต่ำ (Holmes, Noguchi และ MacDonald, 1992) ในประเทศญี่ปุ่นปลาที่นิยมใช้ ได้แก่ Alaska pollock, blue

whiting, sardine, menhaden และ cod (MFRD, 1987a) ส่วนในประเทศไทย ได้แก่ ปลาทรายแดง ปลาตาหวาน และ ปลาจวด (ผ่องเพ็ญ รัตตกุล, 2532)

ความสดของปลา ปลาที่ตายแล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีต่างๆ มากมาย เริ่มตั้งแต่เมื่อหยุดหายใจ การขนส่งออกซิเจนจะหยุดชะงัก ทำให้เนื้อเยื่อขาดออกซิเจน แต่เซลล์กล้ามเนื้อยังต้องการพลังงานเพื่อใช้ในการหดตัว ซึ่งพลังงานนี้สะสมอยู่ในรูป ATP ขณะสัตว์เริ่มหยุดหายใจใหม่ๆ การสร้างและการใช้ ATP ยังอยู่ในภาวะสมดุล ATP ในเนื้อเยื่อจึงมีปริมาณคงที่อยู่ชั่วเวลาหนึ่ง แต่เมื่อเนื้อเยื่ออยู่ในภาวะขาดออกซิเจนนานขึ้นจะเกิดการสร้าง ATP จากกลูโคสแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยผ่านทางปฏิกิริยา glycolysis ซึ่งผลิตภัณฑ์สุดท้าย คือ กรด lactic จึงทำให้ pH ของเนื้อเยื่อลดต่ำลง ต่อมาเมื่อปริมาณ ATP ในเนื้อเยื่อลดต่ำลงมากจนแทบไม่มีเหลืออยู่จะทำให้ actomyosin ที่เกิดไม่อาจแยกออกจากกันเป็น actin และ myosin การสกัดโปรตีนออกจากเนื้อเยื่อในระยะนี้จึงทำได้ยาก ปลาที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจลจึงควรเลือกปลาที่มีความสดมาก โดยเฉพาะเมื่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมียังไม่เกิดถึงระยะที่ทำให้เกิดการรวมตัวอย่างถาวรของโปรตีนทั้งสองชนิดที่กล่าวมา ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากเนื้อปลาที่มีความสดสูง จะให้เจลที่มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นสูง เนื่องจากสกัด myofibrillar proteins ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีบทบาทสำคัญในการเกิดเจลออกจากเนื้อเยื่อได้ง่ายและในปริมาณมาก (Tanikawa, 1971)

ความเป็นกรดด่างของเนื้อปลา เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการเกิดเจล โดยปกติในช่วง pH 5.5 กรดอะมิโนในโปรตีนกล้ามเนื้อมีประจุสุทธิเป็น 0 (pI) เพราะเกิดพันธะ ionic ซึ่งกันและกันจนหมด เป็นผลให้โปรตีนเกาะรวมตัวกันแน่น ความสามารถในการละลายจึงลดลง แต่เมื่อ pH สูงกว่าจุด pI โปรตีนจะมีประจุสุทธิเพิ่มขึ้น จึงจับกับโมเลกุลของน้ำได้มากขึ้น ความสามารถในการละลายก็เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย Miyaki และ Kawakami (1966) กล่าวว่า สมบัติการละลายของโปรตีนสำคัญ เพราะในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจลจำเป็นต้องสกัด myofibrillar proteins ออกมาให้มากที่สุด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์มีเจลที่แข็งแรงและยืดหยุ่น และ พบว่า myofibrillar proteins ของเนื้อปลาละลายได้มากที่สุดที่ pH 6.5-7.0

ความเข้มข้นของเกลือ เกลือสำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจล โดยเกลือทำหน้าที่ในการเพิ่มอิออน (ionic strength) ของเนื้อปลา จากการที่โซเดียมอิออน และ คลอไรด์อิออน ของเกลือเกิดแรงดึงดูดกับกรดอะมิโนที่มีประจุตรงข้ามทำให้สาย peptides ของโปรตีนคลายตัวออกจากกันและปรากฏหมู่ชอบน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ myofibrillar proteins ละลายออกมาได้มาก ปริมาณเกลือที่เหมาะสมเพื่อการสกัดให้ได้โปรตีนที่มีปริมาณและคุณภาพสูงสุด ซึ่งให้เจลที่มีความแข็งแรงอยู่ในช่วงร้อยละ 2-3 (Suzuki, 1981) การใช้เกลือในระดับความเข้มข้นสูงเกินกว่าร้อยละ 3

ทำให้โปรตีนมีความคงทนต่อความร้อนลดลง ซึ่งมีผลให้โปรตีนเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำ (Pigott และ Tucker, 1990) แต่การเติมเกลือในปริมาณที่สูงเกินไปอาจก่อให้เกิดปรากฏการณ์ "salting out" คือ โปรตีนตกตะกอนออกมาเพราะเกลือไปแย่งน้ำซึ่งละลายโปรตีนอยู่มาละลายตัวเองทำให้โปรตีนไม่ละลาย ส่งผลให้ความแข็งแรงของเจลลดลง

อุณหภูมิ การผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจลต้องมีการควบคุมอุณหภูมิในการสับผสมกับเกลือ เพื่อให้การสกัด myofibrillar proteins เกิดอย่างสมบูรณ์ Lee และ Toledo (1974) แนะนำว่าอุณหภูมิของเนื้อปลาขณะสับผสมควรต่ำกว่า 16 °C ซึ่งปัจจุบันในประเทศญี่ปุ่นมีกฎหมายกำหนดว่า อุณหภูมิในการสับผสมที่เหมาะสมสำหรับเนื้อปลาซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตซูริมิต้องไม่สูงเกิน 10 °C อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่เหมาะสมในขั้นตอนนี้ขึ้นกับชนิดของปลาด้วย โดยพบว่าปลาในเขตร้อนจะทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดีกว่าปลาในเขตอบอุ่น และสามารถทนอุณหภูมิขณะสับได้สูงถึง 16 °C (Lanier, 2000)

สารปรับปรุงคุณภาพของเจล เป็นสารที่ใช้เพื่อพัฒนาคุณสมบัติในการเกิดเจล ได้แก่ แป้ง เอนไซม์ transglutaminase ไข่ขาว และ กลูเตน

แป้ง ใช้มากในผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจล เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัส แป้งที่ใช้มาก ได้แก่ แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวโพด และ แป้งมันสำปะหลัง กลไกการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเจลเกิดโดยโมเลกุลของแป้งจับกับน้ำเกิดการพองตัวและเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนเกิด gelatinization แป้งที่พองตัวเป็นเจลจะแทรกอยู่ตามช่องว่างของโครงสร้างโปรตีนมีผลให้โครงสร้างของเจลแข็งแรงขึ้น (Okada, 1985) ชนิดของแป้งมีผลโดยตรงต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเจล เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกัน สมบัติที่สำคัญต่อการเกิดเจล ได้แก่ สมบัติด้านการไหลของแป้งในสภาวะ gelatinization และ ปริมาณ amylopectin พบว่า เจลของโปรตีนจากเนื้อปลาจะมีความแน่น (firmness) และการยึดเกาะ (cohesiveness) มากขึ้น เมื่อความหนืดและความสามารถในการจับกับน้ำของเจลแป้งเพิ่มขึ้น แป้งที่มีปริมาณ amylopectin สูง เช่น แป้งมันฝรั่ง จะให้โปรตีนเจลที่ยึดเกาะกันแน่น ส่วนแป้งซึ่งมีปริมาณ amylopectin ต่ำ เช่น แป้งข้าวโพด จะให้โปรตีนเจลที่อ่อนและเปราะบาง แป้งสาลีให้โปรตีนเจลที่มีลักษณะยืดหยุ่นคล้ายแป้งมันฝรั่ง แต่มีลักษณะยึดเกาะน้อยกว่า ในทางการค้าแป้งมันฝรั่งให้โปรตีนเจลที่แน่นที่สุดและมีคุณสมบัติยึดเกาะกันมากที่สุด (Lee, Wu และ Okada, 1992) การเกิด gelatinization ของแป้งก่อให้เกิดความแข็งแรงของโปรตีนเจล แต่การเติมแป้ง pregelatinized โดยตรง จะให้โปรตีนเจลที่เปราะและไม่แข็งแรง เนื่องจากการสูญเสียโครงสร้างของแป้งทำให้แป้งมีความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงการพองตัวจึงเกิดขึ้นได้ไม่ดี ดังนั้นการเพิ่มความแข็งแรงของโปรตีนเจลโดยแป้งนั้นจะให้ผลดีเมื่อ gelatinization เกิดขึ้น

ระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์เท่านั้น Suzuki (1981) สรุปกลไกการเพิ่มความแข็งแรงของโปรตีนเจลด้วยแป้งไว้ดังนี้ คือ ขั้นแรกการเกิด gelatinization ของแป้งต้องเกิดเฉพาะเม็ดแป้งเท่านั้น และขณะเกิด gelatinization เม็ดแป้งจะดูดซับน้ำในระบบและให้เจลที่มีลักษณะยืดหยุ่นและแทรกอยู่ตามช่องว่างของโครงสร้างโปรตีน ซึ่งมีผลต่อการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ และสุดท้ายเม็ดแป้งที่ผ่านการเกิด gelatinization ในระหว่างกระบวนการเกิดโปรตีนเจลของเนื้อปลาจะมีความทนทานต่อแรงต่างๆ มากกว่าโปรตีนเจลจากเนื้อปลาเองซึ่งส่งผลให้ความแข็งแรงของเจลของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น Kim และ Lee (1987) พบว่าการเติมแป้งชนิดต่างๆ มีผลให้โปรตีนเจลมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยแป้งมันฝรั่งจะให้ค่าความแข็งแรงสูงสุด และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ที่ผสมแป้งที่อุณหภูมิ 4 $^{\circ}$C เป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่า เจลของผลิตภัณฑ์นั้นๆ มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลจากการเกิด retrogradation ของแป้ง และแป้งที่มีสัดส่วนของ amylose สูงเกิด retrogradation ได้มากกว่าแป้งที่มี amylopectin สูง

เอนไซม์ transglutaminase (TGase) เป็นเอนไซม์ที่พบในสัตว์หลายชนิด เช่น ปลา หอย ปู กุ้ง ปลาหมึก (Kumazawa และคณะ, 1996) และ ในจุลินทรีย์บางสายพันธุ์ เช่น *Streptoverticillium mobarense* (Gerber และคณะ, 1994), *Streptoverticillium sp.* (ando และคณะ, 1989) และ *Bacillus subtilis* (Ramanujam และ Hageman, 1990) การทำงานของเอนไซม์ TGase แบ่งเป็น 3 แบบ คือ แบบแรกเป็นปฏิกิริยาการย้ายหมู่ acyl โดยมีหมู่ primary amine เป็นตัวรับ แบบที่ 2 เป็นการเกิดพันธะเชื่อมข้ามระหว่าง glutamine กับ lysine ในโปรตีน และแบบที่ 3 เป็นปฏิกิริยาการตัดหมู่ amino (deamidation) โดยทำปฏิกิริยากับน้ำ เอนไซม์ TGase ทำงานได้ดีในช่วง pH 5-8 และอุณหภูมิ 40-50 $^{\circ}$C และสูญเสียประสิทธิภาพอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 80 $^{\circ}$C เนื่องจากเอนไซม์ชนิดนี้มีความสามารถในการสร้างพันธะเชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุลของโปรตีน จึงได้นำมาใช้ปรับปรุงความสามารถในการเกิดเจลในช่วงการจัดเรียงตัว Chan และคณะ (1995) สันนิษฐานว่าพันธะ covalent ที่ไม่ใช่ disulfide ที่เกิดขึ้นในโพลิเมอร์ของ MHC ของปลา Herring ระหว่างช่วงการจัดเรียงตัวของเจลที่ 10 $^{\circ}$C น่าจะเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ TGase Seguro และคณะ (1995) รายงานว่า เมื่อเติมเอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.03 ในเนื้อปลาบดที่ได้จากปลา Alaska pollock เจลที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น โดยทนแรงกดและคงรูปได้มากกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมหรือเติมในปริมาณน้อยกว่า Asagami และคณะ (1995) พบว่าผลการเติมเอนไซม์ TGase ต่อการเพิ่มคุณภาพของเจลนั้นแตกต่างกันตามชนิดของปลา การเติมเอนไซม์ TGase ปริมาณตั้งแต่ร้อยละ 0.01-0.03 มีผลทำให้คุณภาพของเจลที่เตรียมจากเนื้อปลาชนิดต่างๆ เช่น Alaska pollock, white croaker, bigeye ดีขึ้น แต่ให้ผลตรงข้ามในเจลที่เตรียมจากปลา southern blue whiting

ไข่ขาว มีใช้ทั้งในรูปสดและผ่านการแช่เยือกแข็งมาแล้ว เพื่อช่วยให้ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันจะช่วยเพิ่มความมันวาวให้กับผิวของผลิตภัณฑ์ด้วย (glossiness) กลไกการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเจลเนื้อปลา เกิดจากการเกิดเจลของโปรตีนในไข่ขาว ซึ่งการเกิดเจลนี้ประกอบด้วยการแปลงสภาพ (denaturation) และการจับก้อน (coagulation) ของโปรตีน โดยขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ระยะเวลาการให้ความร้อน ค่าความเป็นกรดด่าง ปริมาณโปรตีน และ ปริมาณเกลือ ความแข็งแรงของเจลเนื้อปลาจะมากหรือน้อยแปรตามอัตราการดูดซึมน้ำของไข่ขาว และประสิทธิภาพของไข่ขาวจะมากขึ้นเมื่อมีการปรับอุณหภูมิในช่วงของการเกิดเจลเนื้อปลาอย่างเหมาะสม เช่น ช่วงแรกเก็บเนื้อปลาที่ 6 $^{\circ}$C 21 ชั่วโมง หรือ 40 $^{\circ}$C 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงให้ความร้อนที่ 90 $^{\circ}$C 30 นาที (Okada, 1985) Burgarella, Lanier และ Hamann (1985) ศึกษาการพัฒนาความแข็งแรงของเจลในซูริมิด้วยไข่ขาว พบว่า ซูริมิและไข่ขาวจะให้เจลที่มีความแข็งแรงสูงสุดที่ 63 และ 85 $^{\circ}$C ตามลำดับ อย่างไรก็ตามจากการที่โปรตีนของปลาและไข่ขาวทนต่อความร้อนได้ต่างกัน ไข่ขาวจึงไม่มีผลโดยตรงต่อการเกิดเจลของเนื้อปลา แต่จะมีผลช่วยเสริมให้โครงสร้างของเจลแข็งแรงขึ้น โดยการแทรกอยู่ตามช่องว่างของโครงสร้างเจลโปรตีนจากเนื้อปลา

กลูเตน มีใช้ทั้งในรูปที่ผ่านและไม่ผ่านการทำแห้ง ประสิทธิภาพของกลูเตนในการเสริมสร้างความแข็งแรงของเจลเปลี่ยนตามกรรมวิธีในการทำแห้ง โดย กลูเตนที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นกระจาย (spray drying) มีสมบัติดีกว่าตัวอย่างที่ทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสูญญากาศ (vacuum drying) กลูเตนช่วยเสริมให้โครงสร้างของเจลเนื้อปลาแข็งแรงขึ้น โดยการเกิดเจลและแทรกตามช่องว่างของโครงสร้างเจลโปรตีนเนื้อปลา ข้อแนะนำสำหรับการใช้กลูเตนที่ผ่านการทำแห้งแล้วคือต้องนำมาคืนตัวในน้ำที่ปริมาณ 3 เท่าของน้ำหนักกลูเตนก่อนไม่เช่นนั้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่กระด้าง (tough) และการใช้กลูเตนในปริมาณมากจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีและกลิ่นไม่ดี ดังนั้นจึงกำหนดให้ใช้ไม่เกินร้อยละ 4 ของน้ำหนักเนื้อปลาบด (Okada, 1985)

การผลิตปลาผง

การผลิตปลาผง เพื่อใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจลมีขั้นตอนในกระบวนการผลิตที่สำคัญ คือ การล้างเนื้อปลา การเตรียม slurry และ การทำแห้ง

การล้างเนื้อปลา ทำโดยนำปลามาตัดหัว ควักไส้ แยกเนื้อออกจากก้างด้วยเครื่องแยกเนื้อ (mechanically deboning machine) เนื้อปลาบดที่ได้จะมีสีชมพูเข้ม เนื่องจากมี sarcoplasmic proteins ในปริมาณค่อนข้างสูง จึงต้องนำมาล้างด้วยน้ำ เพื่อกำจัด sarcoplasmic proteins และ

ไขมันบางส่วนออกไป เพราะองค์ประกอบเหล่านี้ทำให้ความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของเจลลดลง จากการขัดขวางการเรียงตัวของ myosin ทำให้โครงสร้างร่างแหเกิดขึ้นได้ยาก (Lanier, 2000) นอกจากนั้นการล้างยังช่วยปรับปรุงสีและกลิ่นของเนื้อปลาให้ดีขึ้น Garcia Zepeda และคณะ (1993) กล่าวว่า การล้างเนื้อปลาสามารถลดปริมาณสารต่างๆ ที่ก่อให้เกิดกลิ่นคาวออกจากเนื้อปลา ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับมากขึ้น แต่การล้างหลายครั้งมีผลในการเพิ่มสมบัติด้านการชอบน้ำ ของโปรตีนทำให้กำจัดน้ำยาก ดังนั้นในการล้างครั้งสุดท้ายจึงต้องใช้สารละลาย sodium chloride เข้มข้นร้อยละ 0.1-0.3 เพื่อให้กำจัดน้ำออกจากเนื้อปลาได้ดียิ่งขึ้น (Suziki, 1981) นอกจากที่กล่าวมาแล้วการล้างเนื้อปลายังทำให้ปริมาณ myofibrillar proteins เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งโปรตีนชนิดนี้เป็นปัจจัยที่สำคัญในการเกิดเจล (Toyoda และคณะ, 1992) ปัจจัยในกระบวนการล้างที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อปลา ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำ ความเป็นกรดด่างของน้ำ ปริมาณเกลือในน้ำ อัตราส่วนระหว่างน้ำและเนื้อปลา จำนวนครั้งและเวลาที่ใช้ล้าง (Green, 1989)

อุณหภูมิของน้ำล้าง โดยทั่วไปสมบัติด้านหน้าที่ของโปรตีนจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิของน้ำล้างควรอยู่ในช่วง 3-10 $^{\circ}$C ในปลาแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับน้ำล้างต่างกัน ขึ้นกับ เสถียรภาพของ myofibrillar proteins ต่ออุณหภูมิของเนื้อปลาชนิดนั้น พบว่า ปลาที่อาศัยในเขตอบอุ่นจะทนอุณหภูมิสูงได้ดีกว่าปลาในเขตหนาว น้ำในบริเวณเดียวกันแต่ระดับความลึกต่างกันก็มีผลต่อเสถียรภาพของโปรตีนด้วย โดยปลาที่อาศัยในที่ลึกจะทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดีกว่าปลาผิวน้ำ (Lanier, 2000) Douglas-Schwarz และ Lee (1988) พบว่า myofibrillar proteins ของปลา red hake และ Alaska pollock ทนอุณหภูมิสูงได้เพียง 15 และ 10 $^{\circ}$C ตามลำดับ Toyoda และคณะ (1992) กล่าวว่าในทางทฤษฎีนั้น แม้น้ำที่อุณหภูมิสูงจะสกัด sarcoplasmic proteins ได้ดีกว่า แต่การใช้น้ำที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการแปลงสภาพของโปรตีนได้มากกว่า

ความเป็นกรดด่างของน้ำล้าง ในช่วง pH 5.5 ซึ่งเป็น pI ของเนื้อปลาทั่วๆ ไป กรดอะมิโนของโปรตีนในกล้ามเนื้อมีประจุสุทธิเป็น 0 ซึ่งที่ภาวะนี้โปรตีนของกล้ามเนื้อจะยึดติดกันแน่นและน้ำจะถูกขับออกมา แต่ในภาวะที่ pH สูงกว่า pI โปรตีนจะมีจำนวนของประจุลบมาก ส่งผลให้กล้ามเนื้อเกิดแรงผลักออกห่างจากกัน น้ำจึงแทรกเข้าไปในช่องว่างระหว่างสาย peptides ได้ ดังนั้นเมื่อ pH เพิ่มขึ้น จะทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำสูงขึ้นและการกำจัดน้ำออกจากกล้ามเนื้อทำได้ยาก แต่การปรับ pH ให้ลดลง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำนั้น อาจเป็นผลให้โปรตีนเกิดการแปลงสภาพและสูญเสียความสามารถในการเกิดเจล อย่างไรก็ตาม pH ของน้ำที่ใช้ควรขึ้นอยู่กับ pH ของเนื้อปลาก่อนล้าง และต้องปรับให้เนื้อปลาหลังล้างมี pH อยู่ในช่วง 6.5-7.0 เพื่อให้โปรตีนมีเสถียรภาพสูงสุด ในกรณีของปลาเนื้อแดง เช่น ปลา sardine pH ของ

เนื้อปลาจะอยู่ในช่วง 5.7-6.0 ดังนั้นจึงต้องใช้สารละลายด่าง เช่น sodium bicarbonate เติมลงไปในน้ำ เพื่อปรับ pH ของเนื้อปลาให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม แต่กรณีของปลาเนื้อขาว เช่น Alaska pollock ไม่ต้องปฏิบัติเช่นนี้ (Toyoda และคณะ, 1992)

ปริมาณเกลือในน้ำล้าง ปกติกล้ามเนื้อปลามี ionic strength ต่ำ เมื่อผ่านการล้างค่า ionic strength ของเนื้อปลาจะใกล้ 0 เนื่องจากการล้างมีผลให้เกลือละลายออกจากกล้ามเนื้อ ค่า ionic strength มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการอุ้มน้ำของกล้ามเนื้อ โดยทั่วไปพบว่ากล้ามเนื้อที่มีค่า ionic strength ใกล้ 0 หรือ มีค่าสูงกว่า 0.1 มีสมบัติในการอุ้มน้ำดี ในขณะที่กล้ามเนื้อซึ่งมีค่า ionic strength ระหว่าง 0.005-0.1 จะไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้ (Toyoda และคณะ, 1992) ดังนั้นในการล้างครั้งสุดท้ายมักใช้สารละลาย sodium chloride เข้มข้นระหว่างร้อยละ 0.03-0.6 เพื่อทดแทนเกลือที่ถูกชะล้างออกไป เพื่อช่วยให้ความชื้นสุดท้ายของเนื้อปลาลดลง และปริมาณ myofibrillar proteins เพิ่มสูงขึ้น

อัตราส่วนระหว่างน้ำและเนื้อปลา อัตราส่วนของน้ำล้างและเนื้อปลาที่ใช้จะอยู่ในช่วง 4:1 ถึง 8:1 Lin และ Park (1996) รายงานว่า การใช้น้ำต่อเนื้อปลา 5:1 นั้น เมื่อจำนวนครั้งและระยะเวลาในการล้างเพิ่มขึ้น จะมีโอกาสที่ myofibrillar proteins จะสูญเสียไป แต่ถ้าใช้อัตราส่วน 2:1 หรือ 1:1 การเพิ่มจำนวนครั้งและระยะเวลาในการล้าง ไม่มีผลต่อการสูญเสียของโปรตีนดังกล่าว นอกจากนี้ Lin และ Park (1997) ศึกษา อัตราส่วนระหว่างน้ำและเนื้อปลา ที่ 4:1, 2:1 และ 1:1 จำนวนครั้งในการล้าง 3 และ 4 ระยะเวลาในการล้าง 5 และ 10 นาที พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนของน้ำและเนื้อปลาจาก 2:1 เป็น 4:1 จะสกัด sarcoplasmic proteins ได้เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 19.5 เป็น 25.5 และความสามารถจะยิ่งเพิ่มขึ้นอีกเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งและเวลาในการล้าง แต่เมื่ออัตราส่วนของน้ำต่อเนื้อปลาเป็น 1:1 การเพิ่มเวลาการล้างให้นานขึ้นไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ เนื่องจากเกิดภาวะสมดุลระหว่างโปรตีนในเนื้อปลาและในน้ำล้าง

จำนวนครั้งและเวลาที่ล้าง จำนวนครั้งและเวลาในการล้างมีผลต่อการดูดซับน้ำของเนื้อปลา และปริมาณ myofibrillar proteins สุดท้ายในเนื้อปลา Lin และ Park (1996) รายงานว่า sarcoplasmic proteins ละลายในน้ำล้างได้ดีในการล้างครั้งแรก แต่เมื่อล้างในครั้งต่อไปจะมี myofibrillar proteins ละลายออกมาด้วย มีการประเมินกันว่ามีการสูญเสียโปรตีน (sarcoplasmic และ myofibrillar) ถึงร้อยละ 50 ระหว่างล้าง และมีน้ำเสียเกิดขึ้น 30 ลิตร ต่อการผลิตซูริมิ 1 กิโลกรัม ดังนั้นการล้างที่มากครั้งเกินไปไม่เพียงแต่เป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตแต่ยังทำให้เกิดการสูญเสียโปรตีนชนิดที่มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดเจลอีกด้วย รวมทั้งทำให้เกิดมลภาวะกับสิ่งแวดล้อม นอกจากนั้นการเพิ่มเวลาในการล้างแต่ละครั้งถ้ามากเกินความจำเป็นจะยิ่งเพิ่มการสูญเสีย myofibrillar proteins Toyoda และคณะ (1992) กล่าวว่า เวลาในการล้าง ขึ้นกับความสดและ

ขนาดของปลาเป็นสำคัญ แต่โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมการล้างแต่ละครั้งจะใช้เวลา 15-20 นาที อย่างไรก็ตามจำนวนครั้งและเวลาที่ใช้จะสัมพันธ์กัน โดยถ้าลดจำนวนครั้งลงก็ต้องเพิ่มเวลาในแต่ละครั้งให้นานขึ้น Lin และ Park (1997) แนะนำว่าการล้างโดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อเนื้อปลา 3:1 ล้าง 3 ครั้ง และล้างแต่ละครั้งใช้เวลา 15-20 นาที ก็เพียงพอที่จะกำจัดองค์ประกอบส่วนที่ไม่ต้องการออกไปจากเนื้อปลา

การล้างเนื้อปลาเพื่อผลิตเนื้อปลาผงนั้น โดยทั่วไปควรปฏิบัติเช่นเดียวกับการล้างเพื่อผลิตซูริมิ เพราะทั้งการผลิตเนื้อปลาผงและซูริมิ มีวัตถุประสงค์สำคัญเหมือนกัน คือ เนื้อปลาที่ได้ต้องใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจลได้

การเตรียม slurry ก่อนการทำแห้งเนื้อปลาบดแบบพ่นกระจายเพื่อผลิตปลาผงจำเป็นต้องเตรียม slurry เพื่อปรับให้เนื้อปลามีรูปแบบเหมาะสมสำหรับการทำแห้งด้วยวิธีนี้ โดยเติมน้ำผสมกับเนื้อปลาที่ผ่านการล้างให้มีปริมาณของแข็งที่เหมาะสม จากนั้นปรับ pH ให้มีค่าเป็นกลางหรือเกือบเป็นกลาง ซึ่งเป็นช่วง pH ที่โปรตีนมีเสถียรภาพดีที่สุด (Niki และ Igarashi, 1982) โดยปกติ pH ของเนื้อปลาจะอยู่ในช่วง 6.8-7.1 แต่ที่ pH ในช่วงนี้ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนเนื้อปลามีค่าสูง ซึ่งจะส่งผลให้ slurry มีความหนืดเพิ่มขึ้น ความหนืดของ slurry เป็นปัจจัยที่มีผลต่อเสถียรภาพของโปรตีนในการทำแห้ง โดยถ้า slurry มีความหนืดสูงเกินไป เครื่องทำแห้งจะไม่สามารถฉีดพ่นออกมาในลักษณะละอองฝอยได้ และมักติดตามด้านข้างของห้องทำแห้ง (chamber) กรณีเช่นนี้ยังมีผลให้พื้นที่ผิวในการสัมผัสลมร้อนลดลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมักมีความชื้นสูงหรือเกิดการไหม้ และอาจสูญเสียสมบัติด้านหน้าที่ (functional property) ได้ในที่สุด (Hasegawa, 1975) จึงควรปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 6.4-6.6 ด้วยกรดอินทรีย์ เช่น acetic หรือ citric เพื่อลดความสามารถในการอุ้มน้ำลงเล็กน้อย และ slurry มีความหนืดลดลง แต่สิ่งหนึ่งที่ควรคำนึงถึง คือ การปรับ pH ให้ลดลงมากเกินไป (ต่ำกว่า 6.0) อาจจะทำให้เกิดการแปลงสภาพของโปรตีนได้

การทำแห้ง การทำแห้งเนื้อปลาด้วยวิธีทำแห้งที่ใช้อยู่ทั่วไปนั้น มีความเหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน และการเลือกวิธีทำแห้งจะคำนึงถึงสมบัติที่ต้องการหลังผ่านการทำแห้ง โดยทั่วไปโปรตีนเป็นสารอาหารที่เสียคุณสมบัติที่ดีได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน จึงต้องเลือกวิธีทำแห้งอย่างระมัดระวัง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติตามต้องการ โดยทั่วไปวิธีทำแห้งปลาผงที่นิยมใช้มี 2 วิธี คือ ทำแห้งแบบพ่นกระจาย และ ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying)

การทำแห้งแบบพ่นกระจาย เป็นวิธีที่นิยมใช้ทำแห้งผลิตภัณฑ์ที่มีโปรตีนสูงชนิดต่างๆ เช่น นมผง, เคซีน และพลาสมา เนื่องจากในการทำแห้งด้วยวิธีนี้ โปรตีนจะสัมผัสอุณหภูมิสูงใน

เวลาสั้น ทำให้คงสมบัติต่างๆ ในด้านการใช้งานไว้ได้ การทำแห้งแบบพ่นกระจาย มีปัจจัยต่างๆ ซึ่งต้องควบคุมเพราะมีผลต่อเสถียรภาพของโปรตีน ปัจจัยดังกล่าวนี้ ได้แก่ อุณหภูมิลมร้อนเข้าและออก อัตราการป้อน ความหนืดของ slurry และการใช้สารลดการแปลงสภาพของโปรตีน

อุณหภูมิลมร้อนเข้าและออก Finley (1989) กล่าวว่า อุณหภูมิลมร้อนตั้งแต่ 100-150 °C มีผลต่อโครงสร้างของโปรตีนมากกว่าช่วงอุณหภูมิ 70-100 °C Tybor, Dill และ Landmann (1973) อธิบายว่า ในการพิจารณาอิทธิพลของพลังงานความร้อนในการทำแห้งโดยวิธีพ่นกระจาย ควรเลือกพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนออก เพราะเป็นอุณหภูมิภายในห้องทำแห้งและอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ขณะทำแห้งจะไม่สูงเกินอุณหภูมิลมร้อนออก อย่างไรก็ตามการแปลงสภาพของโปรตีนยังขึ้นกับเวลาในการทำแห้ง และ pH (Tybor และคณะ, 1970) Niki และ Igarashi (1982) ศึกษาอิทธิพลของลมร้อนเข้าและลมร้อนออกในการทำแห้งแบบพ่นกระจายโดยแปรอุณหภูมิลมร้อนเข้าเป็น 150, 160, 170, 180 และ 190 °C แปรอุณหภูมิลมร้อนออกเป็น 60, 70 และ 80 °C พบว่า เนื้อปลาผงที่ทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150 °C และอุณหภูมิลมร้อนออก 60 °C ให้ค่า gel strength และ ATPase activiity สูงสุด คือ 400 g . cm และ 130 หน่วย ตามลำดับ และ Niki และคณะ (1983) ศึกษาสมบัติของปลาผงที่ทำแห้งแบบพ่นกระจาย ซึ่งใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150 °C อุณหภูมิลมร้อนออก 60 °C และใช้ sucrose เป็นสารป้องกันการแปลงสภาพของโปรตีน จากการทดลอง พบว่า ค่า water holding capacity และ ค่า emulsion capacity เป็น 40 g ของน้ำ/ g โปรตีน และ 220 g ของน้ำมัน/ g ของโปรตีน ตามลำดับ สุปราณี แย้มพราย (2539) ศึกษาสมบัติของโปรตีนจากน้ำล้างเนื้อปลาในกระบวนการผลิตซูริมิที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นกระจาย โดยแปรอุณหภูมิลมร้อนเข้าเป็น 160 และ 170 °C และแปรความดันลมเป็น 4 และ 5 kg/cm^2 พบว่า ที่อุณหภูมิ 160 °C ความดันลม 5 kg/cm^2 ผลิตภัณฑ์มีค่า emulsion capacity และ ค่าดัชนีการละลาย สูงสุด

อัตราการป้อน เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของเนื้อปลาผงที่ผลิตได้ อัตราการป้อนจะสัมพันธ์กับขนาดของละอองฝอยที่ฉีดพ่นออกจากหัวฉีด ละอองฝอยที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสพลังงานความร้อนมากกว่า ทำให้การทำแห้งเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปพบว่าอัตราการป้อนที่ทำให้ละอองฝอยที่ได้จะมีขนาดใหญ่เป็นอัตราการป้อนในช่วงที่สูงกว่า 1.25 l/hr อย่างไรก็ตามการเลือกอัตราการป้อนขึ้นกับประสิทธิภาพของหัวฉีด (atomizer) และความดันลมในการหมุนเหวี่ยงหัวฉีดของเครื่องทำแห้งแต่ละขนาดด้วย

ความหนืดของ slurry เป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อเสถียรภาพของโปรตีนขณะทำแห้ง ในการทำแห้งแบบพ่นกระจาย slurry ควรมีความหนืดไม่เกิน 20,000 cps (Hasegawa, 1975) แต่ในการผลิตปลาผงโดยทั่วไป slurry ที่เตรียมได้จะมีค่าความหนืดสูงกว่า 20,000 cps ค่าความหนืดจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์ที่ได้ การลดความหนืดของ slurry ปลาทำได้ 2 วิธี คือ เติมเกลือ หรือ ปรับ pH การเติมเกลือ ทำเพื่อปรับค่า ionic strength ให้สูงขึ้นเล็กน้อย ซึ่งในภาวะเช่นนี้เนื้อปลาจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ ซึ่งทำให้ค่าความหนืดลดลงตามไปด้วย Niki, Doi และ Igarashi (1984) ศึกษาการลดความหนืดของ slurry จากปลา Alaska pollock โดยเติมเกลือ potassium chloride หรือ calcium chloride ร้อยละ 0.15 โดยน้ำหนักเนื้อปลา ปรับ pH ให้อยู่ระหว่าง 7.0-7.3 พบว่าลดความหนืดของ slurry ลงได้ 1000-2000 cps แต่การมี divalent ion เช่น Ca^{+2} ทำให้ความสามารถในการเกิดเจลของปลาผงที่ได้ลดลง จึงต้องกำจัดออกโดยล้างด้วยสารละลาย sodium pyrophosphate (SPP) หรือ polyphosphates อื่นๆ จากการทดลองพบว่า slurry ที่ไม่ได้เติม SPP มีค่า gel strength 220 g . cm ขณะที่ตัวอย่างซึ่งเติม SPP มีค่า gel strength 380 g.cm Niki และคณะ (1984) ทดลองปรับ pH ของ slurry ให้เป็นกรด เพื่อให้ pH ของเนื้อปลาเข้าใกล้ pI และความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนเนื้อปลาและความหนืดของ slurry ลดลง หลังจากปรับ pH แล้วทำแห้ง กรดที่อยู่ใน slurry จะสลายไปทำให้ pH ของเนื้อปลาเปลี่ยนกลับเป็นกลางเหมือนเดิม ที่ภาวะดังกล่าวนี้ โปรตีนจะเสถียรต่อพลังงานความร้อนและการเสียน้ำออกจากเซลล์ เป็นผลให้การแปลงสภาพของโปรตีนเกิดขึ้นได้น้อย และผู้ทดลอง พบว่า slurry ที่เติมและไม่เติมกรดมีค่าความหนืด 14,000 และ 15,000 cps ตามลำดับ ค่า gel strength 410 g . cm และ 390 g . cm ตามลำดับ

สารลดการแปลงสภาพของโปรตีน Park และ Lanier (1987) กล่าวว่ากลไกในการแปลงสภาพของโปรตีนขณะให้ความร้อนมีลักษณะใกล้เคียงกับการแปลงสภาพของโปรตีนระหว่างการแช่เยือกแข็งและเก็บที่อุณหภูมิเยือกแข็ง เพราะมีการเสียน้ำออกจากเซลล์เหมือนกันต่างกันตรงที่การให้ความร้อนมีความรุนแรงมากกว่าเนื่องจากมีผลของพลังงานความร้อนร่วมด้วย ซึ่งการผลิตปลาผงในประเทศญี่ปุ่นใช้ sucrose, sorbitol และ glucose เป็นสารป้องกันการแปลงสภาพของโปรตีนขณะทำแห้ง (Niki, Matsuda และ Suzuki, 1992) Fujimoto และคณะ (1989) ศึกษาการใช้ sorbitol ป้องกันการแปลงสภาพของโปรตีน และอธิบายว่าการที่หมู่ -OH ของ sorbitol มีสมบัติซึ่งมีขั้วจึงทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ของโปรตีนโมเลกุล การแปลงสภาพของโปรตีนจึงไม่เกิดขึ้น Hasegawa (1975) ศึกษาผลของการใช้เอสเตอร์ระหว่างกรด oleic และ sorbitol และพบว่าป้องกันการแปลงสภาพของโปรตีนได้ เนื่องจากหมู่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของเอสเตอร์ดังกล่าว จะอยู่ที่ผิวหรือระหว่างเส้นใยโปรตีนจึงป้องกันพันธะไฮโดรเจนที่อยู่ภายในหรือระหว่างโมเลกุลไม่ให้เกิดการแตกสลาย และยังช่วยรักษาปริมาณความชื้นในปลาผง เป็น

ผลให้โปรตีนยังคงรักษาสภาพตามธรรมชาติไว้ได้โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง Matsuda (1979a) ศึกษาการใช้ sodium glutamate และ sucrose ในการป้องกันการแปลงสภาพของโปรตีนขณะทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ -40 $^{\circ}$C อุณหภูมิทำแห้ง 60 $^{\circ}$C ความดัน 0.02-0.10 Torr. พบว่า ประสิทธิภาพในการป้องกันการแปลงสภาพโปรตีนของ sodium glutamate น้อยกว่า sucrose Matsuda (1979b) ศึกษาการใช้น้ำตาล glucose, galactose, mannose, lactose, maltose และ sucrose ป้องกันการแปลงสภาพของโปรตีนขณะทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ที่อุณหภูมิเยือกแข็ง -40 $^{\circ}$C อุณหภูมิทำแห้ง 60 $^{\circ}$C ความดัน 0.02-0.10 Torr. พบว่า sucrose มีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมา คือ fructose ในขณะที่ arabinose, ribose และ xylose ป้องกันการแปลงสภาพของโปรตีนไม่ได้ นอกจากนั้น sucrose ยังไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Maillard reaction) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการแปลงสภาพของโปรตีนด้วย

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การทำแห้งแบบนี้มีหลักการสำคัญในการลดปริมาณน้ำโดยเปลี่ยนน้ำในผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในสถานะของแข็ง แล้วระเหิดน้ำในสถานะนี้ให้กลายเป็นไอ การทำแห้งวิธีนี้เป็นผลให้เกิดโครงสร้างภายในของอาหารหลายรูปแบบ เช่น เกิดช่องว่าง (cavitation) การยุบ (collapse) การพอง (puffing) และ โฟม (foaming) ปรากฏการณ์หนึ่งซึ่งสำคัญและเกิดขึ้นในระหว่างการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง คือ การยุบตัว (collapse phenomenon) ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำแห้ง โดยเมื่อเกิดการยุบตัวจะทำให้โครงสร้างดั้งเดิมของอาหารแตกออกจากกัน และซ้อนทับกันอย่างไม่เป็นระเบียบ เป็นผลให้ความเป็นรูพรุนของอาหารลดลง จึงทำให้การระเหยของน้ำในขณะทำแห้งเกิดได้ไม่ดี นอกจากนี้การยุบตัวที่เกิดขึ้นจะทำให้การดูดน้ำคืนของอาหารเกิดขึ้นได้ยากเช่นกัน ปัจจัยที่มีผลต่อการยุบตัวของโครงสร้าง ได้แก่ น้ำหนักโมเลกุล, รูปแบบโครงสร้าง และองค์ประกอบของส่วนที่ละลายได้ (Niki และคณะ, 1992) ซึ่งองค์ประกอบที่ละลายได้จะรวมทั้งสารที่ใช้เพื่อลดการแปลงสภาพของโปรตีนในขณะทำแห้ง โดยจะเป็นสารในกลุ่มน้ำตาลเสียเป็นส่วนใหญ่ MacKenzie (1975) แบ่งกลุ่มน้ำตาลเหล่านี้ตามความสามารถในการลดการแปลงสภาพของโปรตีนเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีประสิทธิภาพสูง (sucrose, glucose) ปานกลาง (fructose, sorbitol) และ ไม่มีประสิทธิภาพเลย (arabinose, ribose, xylose) เกณฑ์การแบ่งนี้จะขึ้นกับอุณหภูมิที่เกิดการยุบตัวด้วย โดยแต่ละกลุ่มจะเกิดยุบตัวที่ $>$-40 $^{\circ}$C -45 ถึง -50 $^{\circ}$C และ $<$-50 $^{\circ}$C ตามลำดับ ดังนั้นประสิทธิภาพในการป้องกันการแปลงสภาพของโปรตีนจะขึ้นกับอุณหภูมิที่เกิดการยุบตัวของสารเหล่านี้

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนี้จะเหมาะอย่างยิ่งกับผลิตภัณฑ์ที่เสี่ยงต่อการแปลงสภาพเนื่องจากความร้อน จึงมีผู้นำการทำแห้งวิธีนี้มาผลิตปลาผง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเหมาะสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจล Matsuda (1981) ผลิตปลาผงด้วยวิธีทำแห้ง

แบบแช่เยือกแข็ง โดยนำปลามาตัดหัว ควักไส้ แยกเนื้อออกจากก้างด้วยเครื่องแยกเนื้อ แล้วล้างด้วยน้ำและน้ำเกลือ จากนั้นผสมเนื้อปลากับ sucrose และ สาร polyphosphate ร้อยละ 5 และ 0.2 โดยน้ำหนักเนื้อปลาตามลำดับ ทำแห้งที่อุณหภูมิเยือกแข็ง -40 °C อุณหภูมิทำแห้ง 60 °C ความดัน 0.02-0.10 Torr. พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่า gel strength 400 g . cm และสมบัติด้านการเกิดเจลใกล้เคียงกับเนื้อปลาสด นอกจากนี้ในประเทศญี่ปุ่นยังมีการใช้กรรมวิธีดังกล่าวในการผลิตสารเชื่อม (binder) สำหรับใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ชนิดต่างๆด้วย (Niki และคณะ, 1992)

การเก็บรักษาปลาผง

ปลาผงที่ผลิตได้ควรมีการเก็บรักษาในสภาวะที่เหมาะสม เพื่อลดความเสี่ยงต่อการแปลงสภาพของโปรตีนในเนื้อปลา ซึ่งการแปลงสภาพนี้อาจจะมีผลต่อสมบัติด้านการเกิดเจลได้ในที่สุด ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของปลาผงระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่ อุณหภูมิ สภาวะการเก็บ และเวลาเก็บ Niki และคณะ (1983) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเก็บปลาผงที่ทำแห้งแบบพ่นกระจาย โดยนำปลาผงที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 6.1 บรรจุถุง nylon ในสภาวะสุญญากาศ แปรอุณหภูมิการเก็บเป็น 5, 18 และ 30 °C พบว่า ปลาผงซึ่งเก็บที่อุณหภูมิ 5 °C เกิดการแปลงสภาพของโปรตีนน้อยที่สุด และจะเกิดขึ้นเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น Matsuda (1983a) ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บปลาผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ที่อุณหภูมิเยือกแข็ง -40 °C อุณหภูมิทำแห้ง 60 °C และความดัน 0.02-0.10 Torr. บรรจุถุง polyethylene แปรอุณหภูมิการเก็บเป็น -15, 0, 15, 20, 25 และ 35 °C เป็นเวลา 12 เดือน พบว่า ปลาผงซึ่งเก็บที่อุณหภูมิตั้งแต่ 15 °C ขึ้นไป เกิดการแปลงสภาพของโปรตีนอย่างรวดเร็วในช่วงหนึ่งเดือนแรกของการเก็บรักษา ในขณะที่ตัวอย่างซึ่งเก็บที่อุณหภูมิ -15 และ 0 °C ไม่เกิดแปลงสภาพของโปรตีนเมื่อเก็บเป็นเวลา 6 เดือน แต่หลังจากนั้นเกิดการแปลงสภาพของโปรตีน Matsuda (1983b) ยังได้ศึกษาชนิดของก๊าซที่มีอิทธิพลกับการเกิดปฏิกิริยา oxidation ซึ่งมีผลต่อการแปลงสภาพของโปรตีนในปลาผงระหว่างการเก็บรักษา โดยนำปลาผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิเยือกแข็ง -40 °C อุณหภูมิทำแห้ง 35 °C และความดัน 0.02-0.10 Torr. หุ้มด้วย paraffin และบรรจุในขวด แปรชนิดของก๊าซเป็น oxygen, nitrogen, hydrogen, carbondioxide และ ภาวะสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิ 20 °C เป็นเวลา 12 เดือน พบว่า ปลาผงที่บรรจุด้วย nitrogen, carbondioxide และสุญญากาศ มีคุณภาพสูงกว่า oxygen และ hydrogen แต่อย่างไรก็ตาม ปลาผงที่เก็บในสภาวะที่มี oxygen และ hydrogen ก็ยังได้รับการยอมรับ

การใช้ปลาผง

Niki และคณะ (1992) ศึกษาการใช้ปลาผงที่ผลิตโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในการผลิต kamaboko โดยนำปลาผงผสมน้ำ 4 เท่า ปลาผงจะคืนสภาพและมีลักษณะเหมือนเนื้อปลาสด และเติมเกลือร้อยละ 3 โดยน้ำหนักเนื้อปลา นวดให้เข้ากัน แล้วนำไปให้ความร้อน ผู้วิจัยอธิบายว่ากลไกการเกิดเจลของปลาผงคืนรูปในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้เกิดเจลเหมือนกันกับเจลที่ผลิตจากเนื้อปลาสดโดย myofibrillar proteins ในกล้ามเนื้อปลาเปลี่ยนไปเป็น sol ในขั้นตอนการสกัดด้วยเกลือ (Suzuki, 1981) โดยเมื่อเติมเกลือร้อยละ 2-3 แล้วนวดผสมจะทำให้เนื้อปลาบดมีลักษณะข้นหนืด โปรตีนที่ละลายออกมานี้จะเกิดปฏิกิริยา polymerization และก่อตัวเป็นโครงสร้างร่างแหเมื่อให้ความร้อน (Hennigar และคณะ, 1988) จากการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่า gel strength 340 g . cm Niki และคณะ (1992) กล่าวว่าปลาผงสามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการการเกิดเจลอื่นๆ เช่น ลูกชิ้น ปลาเส้น และผลิตภัณฑ์ที่ใช้ซูริมิเป็นวัตถุดิบได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การทดลอง

วัตถุดิบ

ปลาทรายแดง (*Nemipterus spp.*) ซื้อจากตลาดคอมรพันธ์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ นำมายังห้องทดลองโดยบรรจุในกล่องโฟมพร้อมน้ำแข็ง เพื่อควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 4 °C ปลาที่ใช้มีน้ำหนักตัวและความยาวโดยเฉลี่ย 200-250 g และ 18-20 cm ตามลำดับ เลือกเฉพาะที่มี ลูกตาใส เหงือกสีแดงสด ผิวหนังเป็นมันเงา เนื้อแน่นไม่นุ่มตามแรงกดของมือ

สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

Sulfuric acid	(A.R.)
Copper sulfate	(A.R.)
Potassium sulphate	(A.R.)
Sodium hydroxide	(A.R.)
Boric acid	(A.R.)
Methyl red	(A.R.)
Bromocresol green	(A.R.)
Trichloroacetic acid	(A.R.)
Potassium carbonate	(A.R.)
Formaldehyde	(A.R.)
Ethyl alcohol	(A.R.)
Hydrochloric acid	(A.R.)
Potassium chloride	(A.R.)
Potassium di-hydrogen phosphate	(A.R.)
Di-sodium hydrogen phosphate	(A.R.)
Petroleum ether	(A.R.)
Thiobarbituric acid	(A.R.)
Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA)	(A.R.)
Chloroform	(A.R.)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Butylated hydroxytoluene	(A.R.)
Butylated hydroxyanisole	(A.R.)
Propylene glycol	(A.R.)
Tween 20	(A.R.)

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางแบคทีเรีย

Plate Count Agar	(Difco laboratory)
Peptone	(Life Technologies)
Ethyl alcohol	(Commercial grade)

สารเคมีที่ใช้ในปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของปลาผง

เอนไซม์ TGase ชื่อรหัสของ Enzyme Commission คือ E.C.2.3.3.13 เป็นเอนไซม์ที่เร่งการเคลื่อนย้ายหมู่ acyl จาก γ-carboxyamide group ของ glutamic acid ไปยัง ε-amino group ของ lysine สกัดได้จากจุลินทรีย์ มีลักษณะเป็นผงสีขาว มีปริมาณความชื้นร้อยละ 2.15 โดยน้ำหนัก มีช่วงอุณหภูมิ และ pH ที่เหมาะสม คือ 40-50 ^{o}C และ 5-8 ตามลำดับ (บริษัทอะยิโนะโมะโต๊ะ จำกัด)

Sodium tripolyphosphate (บริษัทวินเนอร์กรุ๊ป เอนเตอร์ไพรซ์ จำกัด) (Food grade)

Sucrose (บริษัทน้ำตาลมิตรกาฬสินธุ์ จำกัด)

แป้งมันฝรั่ง (บริษัทวินเนอร์กรุ๊ป เอนเตอร์ไพรซ์ จำกัด)

เกลือป่น (บริษัทอุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด)

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้เตรียมผลิตภัณฑ์และเก็บรักษา

เครื่องบดเนื้อ ที่มีรูเปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm (Kenwood, A-9070)

เครื่องสับผสมเนื้อ (Moulinex, Masterchef 30)

เครื่องผสมอาหาร (Kenwood, A-9070)

เครื่องวัดความหนืด (Rheotec, RC 20)

เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย (Niro, Mobile Minor)

เครื่องบันทึกอุณหภูมิ โดยใช้สาย thermocouple ชนิด copper-constant ช่วงการวัดอุณหภูมิ 30-400 ^{o}C (Microprocessor Based, S-506)

เครื่องปั๊มของเหลว (Masterflex, 7518-12)

เครื่องปิดผนึกแบบสุญญากาศ (Henkovax, Mobile 1602)

เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartorius, BP 3100S)

นาฬิกาจับเวลา (Alba, SW01-X002)

Screw press (บริษัทกิตติวัฒนา)

ถุงพลาสติกชนิด LLDPE เคลือบด้วย nylon ขนาด 17.85 x 15 cm ความหนา 80 μm มีความสามารถในการซึมผ่านของน้ำ และ ออกซิเจน เป็น 0.5-1 $g/100\ in^2$. day ที่ 30 °C และ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 และ 1-2 $cm^3/100\ in^2$. day . atm ที่ 28 °C และ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 25 ตามลำดับ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

ตู้อบ (WTB Binder, E-53)

เครื่องวัดความชื้น (Sartorius, MA30)

เครื่องวัด A_w (Novasina, TH 500)

เตาเผา (Isotemp, FT01/138)

เตาให้ความร้อน (Corning, PC-320)

เครื่องกวนผสมแบบแม่เหล็ก (Corning, PC-320)

อ่างน้ำเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ (Hetotherm, CB6D-VS-01)

เครื่องหมุนเหวี่ยงแยกสารละลาย (Hettich, EBA 12)

เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Stable Micro System, TA-XT2I)

เครื่องวัดสี (Minolta, CR 300)

อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Mammert, D-91126)

เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius, A200S)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ชุดวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Soxhlet Apparatus, Gerhardt)

ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Kjeldathem and Vapodest I, Gerhardt, KT 85)

เครื่องกวนผสมแบบแม่เหล็ก (Corning, PC-320)

เครื่องหมุนเหวี่ยงแยกสารละลายแบบควบคุมอุณหภูมิต่ำ (Heraeus-Christ, Verifuge K)

เครื่องหมุนเหวี่ยงแยกสารละลาย (Hettich, EBA 12)

เครื่องวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง (UV-Visible, Spectronic 601 Milton Roy)

เครื่องเขย่า (Vortex, Genie 2)

เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (Schott, CG 825)

ตู้บ่มเลี้ยงเชื้อ (Heraeus, B6)

เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius, A200S)

จานคอนเวย์ (Conway) สำหรับวิเคราะห์ค่า total volatile base (TVB) และ trimethylamine (TMA) ทำจากแก้วเนื้อหนา เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 75 mm ลึก 15-20 mm ขอบวงในสูง 10 mm และมีฝาปิด

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

ตู้บ่มเลี้ยงเชื้อ (Heraeus, B6)

Autoclave (TOMY, SS-320)

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบ

ปลาทรายแดงเมื่อนำมาถึงห้องทดลอง ล้างด้วยน้ำเย็นอุณหภูมิไม่เกิน 10 $^{\circ}$C วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และ เถ้า ตามวิธีของ AOAC (1995) โปรตีนที่ละลายในเกลือ ตามวิธีของ MFRD (1987b) คุณภาพทางกายภาพ (การตรวจพินิจ) โดยตรวจ สีของเหงือก ลักษณะตา ผิวหนัง และ ลักษณะเนื้อสัมผัส คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่า TVB, TMA ตามวิธีของ MFRD (1987b) และ ค่าความเป็นกรดด่าง วิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ (วิธีวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ก)

3.2 ล้างและวิเคราะห์คุณภาพเนื้อปลาบด

แล่ปลาให้มีลักษณะเป็น fillet นำไปผ่านเครื่องบด ที่มีรูเปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm จากนั้นนำมาล้างโดยใช้อัตราส่วนของน้ำต่อเนื้อปลาบด 4 : 1 อุณหภูมิขณะล้างควบคุมไม่ให้เกิน 10 $^{\circ}$C ล้างครั้งละ 15 นาที ขณะล้างกวนอย่างสม่ำเสมอด้วยเครื่องผสมอาหาร และหัวกวนรูปตัวเค อัตราเร็ว 90 round per minute (rpm) เมื่อครบตามเวลากำจัดน้ำออกด้วยเครื่อง screw press (Venugopal และคณะ 1994) ล้างทั้งหมด 3 ครั้ง สุ่มเนื้อปลาบดที่ผ่านการล้างมาวิเคราะห์ความชื้น โปรตีน ไขมัน โปรตีนที่ละลายในเกลือ ค่า TVB, TMA และ ค่าความเป็นกรดด่าง วิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

3.3 เตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้ง

เนื้อปลาบดที่ผ่านการล้าง นำมาสับด้วยเครื่องสับผสมเนื้อให้ละเอียด เป็นเวลา 15 นาที ควบคุมอุณหภูมิขณะสับไม่ให้เกิน 10 °C เนื้อปลาที่ได้เติม sucrose และ sodium tripolyphosphate (STPP) ปริมาณร้อยละ 5 และ 0.5 โดยน้ำหนักเนื้อปลา ตามลำดับ เพื่อลดการแปลงสภาพของโปรตีนในขณะทำแห้ง แล้วจึงผสมน้ำ โดยแปรปริมาณของแข็ง (solid content) เป็นร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ตัวอย่าง slurry ที่เตรียมได้นำมาวิเคราะห์ค่าความหนืด ด้วยเครื่องวัดความหนืด (วิธีใช้แสดงในภาคผนวก ข.3) ต่อมานำ slurry ไปทำแห้งแบบพ่นกระจาย ที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150 °C ออก 60 °C อัตราป้อน 1 l/hr บันทึกเวลาในการทำแห้ง และวิเคราะห์ปริมาณผลผลิต

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Experiment (CRD) ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป MSTAT (Nissin, 1986) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1985)

3.4 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง

เตรียม slurry ให้มีปริมาณของแข็ง ตามที่เลือกได้จากข้อ 3.3 นำมาศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งแบบพ่นกระจาย เครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจายที่ใช้มีห้องทำแห้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 62 cm สูง 80 cm อุปกรณ์ฉีดพ่นตัวอย่างเข้าในห้องทำแห้งเป็นชนิดหัวเหวี่ยงซึ่งหมุนด้วยความเร็ว 18,000 rpm ความดันลม 5 kg/cm^2 และชนิดของการสัมผัสระหว่างตัวอย่างที่ทำแห้งกับลมร้อนเป็นแบบไหลในทิศทางเดียวกัน (co-current) (รายละเอียดของเครื่องดังแสดงในภาคผนวก จ) แปรอุณหภูมิลมร้อนเข้าเป็น 3 ระดับ คือ 150, 170 และ 190 °C และสารที่ใช้ลดการแปลงสภาพของโปรตีน คือ sucrose เป็นร้อยละ 0, 3 และ 5 โดยน้ำหนักเนื้อปลา

ประเมินคุณภาพด้านต่างๆ ของปลาผง ดังต่อไปนี้

3.4.1 ปริมาณความชื้น (AOAC, 1995)

3.4.2 ปริมาณผลผลิต (yield)

$$\text{ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)} = \frac{\text{ปริมาณของแข็งในปลาผง (g)}}{\left[\text{ปริมาณของแข็งในเนื้อปลา (g)} + \text{ปริมาณ sucrose (g)}\right]} \times 100$$

3.4.3 ความขาว วัดด้วยเครื่อง Hunterlab Digital Color Difference Meter (วิธีใช้แสดงในภาคผนวก ข.2) วัดในระบบ L* a* b* สุ่มวัด 5 จุดต่อตัวอย่าง นำค่า L* a* b* ที่อ่านได้มาคำนวณความขาวของปลาผงโดยใช้สูตร (Lanier, 1992)

$$\text{ความขาว (ร้อยละ)} = 100 - \left[(100-L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}\right]^{0.5}$$

3.4.4 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity) ดัดแปลงจากวิธีของ McMahon และ Dawson (1975) โดย ชั่งตัวอย่าง 0.5 g ผสมน้ำกลั่น 50 ml กวนตัวอย่างอย่างสม่ำเสมอด้วยเครื่องกวนผสมแบบแม่เหล็ก ที่อุณหภูมิ 25 °C ด้วยความเร็ว 400 rpm เป็นเวลา 30 นาที นำมาให้ความร้อนในอ่างน้ำเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่ 80 °C เป็นเวลา 30 นาที ขณะให้ความร้อนเขย่าตลอดเวลา ที่ความเร็ว 125 rpm จากนั้นหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกสารละลายด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 3500 rpm เป็นเวลา 15 นาที รินส่วนใสทิ้งแล้วเอียงให้สะเด็ดน้ำประมาณ 15 วินาที นำไปวิเคราะห์ความชื้นและคำนวณความสามารถในการอุ้มน้ำ โดยใช้สูตร

$$\text{ความสามารถในการอุ้มน้ำ (g/g)} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ (g)} - \text{น้ำหนักหลังอบ (g)}}{\text{น้ำหนักหลังอบ (g)}}$$

3.4.5 ความจุของอิมัลชั่น (Emulsion Capacity) ตามวิธีของ Rasekh และ Metz (1973) โดย ชั่งตัวอย่าง 0.5 g ผสมน้ำกลั่น 20 ml และน้ำมันถั่วเหลือง 25 ml กวนตัวอย่างอย่างสม่ำเสมอด้วยเครื่องกวนผสมแบบแม่เหล็ก ที่ความเร็ว 300 rpm เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกสารละลาย ด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 4000 rpm เป็นเวลา 30 นาที บันทึกปริมาณน้ำมันที่แยกออกมา คำนวณความจุอิมัลชั่น โดยใช้สูตร

$$\text{ความจุอิมัลชั่น (ml/g)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำมันตั้งต้น (ml)} - \text{ปริมาณน้ำมันที่แยกออก (ml)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}$$

3.4.6 gel strength ตามวิธีของ MFRD (1987a) เตรียมตัวอย่างเจลโดยนำปลาผงมาคืนตัวด้วยน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 4 °C ให้มีปริมาณความชื้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก (วิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก.8) เติมเกลือ แป้งมันฝรั่ง และ STPP ร้อยละ 3, 8 และ 0.5 โดยน้ำหนักเนื้อปลา ตามลำดับ นวดให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที ควบคุมอุณหภูมิขณะนวดไม่ให้เกิน 10 °C จากนั้นอัดตัวอย่างใส่แท่ง stainless ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 cm สูง 2.5 cm ให้ความร้อนที่

40 $^{\circ}$C 20 นาที ตามด้วย 90 $^{\circ}$C 20 นาที แล้วทำให้เย็น และเก็บรักษาที่ 5 $^{\circ}$C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัด gel strength ด้วยเครื่อง Texturometer (วิธีใช้แสดงในภาคผนวก ข.1) โดยใช้หัววัดแบบกด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 mm กำหนดให้อัตราเร็วของหัวกดคงที่ที่ 1.1 mm/s

gel strength (g . cm) = แรง (g) x ระยะทาง (cm) ที่กดให้ตัวอย่างเจลแตก

3.4.7 ความสามารถในการพับ (Folding Test) ตามวิธีของ MFRD (1987a) เตรียมตัวอย่างเจล เช่นเดียวกับข้อ 3.4.6 แล้วตัดตัวอย่างเป็นชิ้นขนาดหนา 3 mm พับ และบันทึกผลดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เกณฑ์การวัดคุณภาพของเจลโดยวิธีการพับ

วิธีพับและลักษณะการแตก	ระดับความเหนียวของเจล	ระดับคุณภาพของเจล
พับแผ่นตัวอย่างให้มีขนาด 1 ใน 4 ของขนาดเดิมได้โดยตัวอย่างหลังพับไม่แตก	ดีมาก	AA
พับแผ่นตัวอย่างให้มีขนาด 1 ใน 2 ของขนาดเดิมได้โดยตัวอย่างหลังพับไม่แตก	ปานกลาง	A
พับแผ่นตัวอย่างให้มีขนาด 1 ใน 2 ของขนาดเดิมโดยตัวอย่างหลังพับแตกปริเล็กน้อย	พอใช้	B
พับแผ่นตัวอย่างให้มีขนาด 1 ใน 2 ของขนาดเดิมโดยตัวอย่างหลังพับแตกทันที	ไม่มีความเหนียว	C
แผ่นตัวอย่างแตกทันที (โดยไม่ต้องพับ) เมื่อใช้นิ้วกด	ไม่มีความเหนียว	D

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การประเมินคุณภาพด้านต่างๆ ของปลาผง วางแผนการทดลองแบบ Symmetric Factorial Experiment ขนาด 3 x 3 ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป MSTAT (Nissin, 1986) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1985)

3.5 คุณภาพของเจลจากปลาผงเปรียบเทียบกับเจลจากเนื้อปลาสด

ปลาผงที่ได้จากการทำแห้ง ด้วยภาวะที่ดีที่สุด จากข้อ 3.4 และเนื้อปลาบดจากข้อ 3.2 นำมาเตรียมตัวอย่างเจล เช่นเดียวกับข้อ 3.4.6 โดยไม่เติมแป้งมันฝรั่ง แล้วประเมินคุณภาพด้านต่างๆ ต่อไปนี้

3.5.1 ความขาว ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.4.3

3.5.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ ตามวิธีของ National Fisheries Institute (1991) โดยตัดตัวอย่างให้มีความหนา 0.3 cm ชั่งน้ำหนัก แล้ววางประกบตัวอย่างด้วยกระดาษกรองทั้งด้านบนและด้านล่าง กดด้วยความดัน 10 kg/cm^2 ด้วยแท่งเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 cm สูง 5 cm เป็นเวลา 20 นาที ชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังผ่านการกด แล้วนำตัวอย่างอีกส่วนหนึ่งไปหาความชื้น (AOAC, 1995) แล้วคำนวณความสามารถในการอุ้มน้ำ โดยใช้สูตร

$$\text{ความสามารถในการอุ้มน้ำ (ร้อยละ)} = 100 - \left(\frac{\text{น้ำหนักที่ซึมบนกระดาษกรอง (g)} \times 100}{\text{น้ำหนักก่อนกด (g)} \times \text{ร้อยละของปริมาณความชื้นในตัวอย่าง}} \right)$$

3.5.3 gel strength วัดโดยใช้วิธีเช่นเดียวกับข้อ 3.4.6

3.5.4 ความสามารถในการพับ การวัดทำเช่นเดียวกับข้อ 3.4.7

3.5.5 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และ การยอมรับรวม ใช้แบบทดสอบชนิด Quantitative Descriptive Analysis with Scoring (แบบทดสอบแสดงในภาคผนวก ค.2) ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน ด้วยวิธีของ Meilgaard, Coville และ Carr (1987) จำนวน 10 คน (ขั้นตอนการฝึกฝนและคัดเลือกแสดงในภาคผนวก ง)

3.6 ปรับปรุงคุณภาพของเจลจากปลาผง

ปลาผงที่ได้จากการทำแห้ง ด้วยภาวะที่ดีที่สุด จากข้อ 3.4 นำมาศึกษาประสิทธิภาพของสารปรับปรุงคุณภาพแต่ละชนิด ดังต่อไปนี้

เตรียมตัวอย่างเจล โดยนำปลาผงมาคืนตัวด้วยน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 4 °C ให้มีปริมาณความชื้นร้อยละ 80 เติมเกลือ และ STPP ร้อยละ 3 และ 0.5 โดยน้ำหนักเนื้อปลา ตามลำดับ นวดให้เข้ากัน แล้วเติมสารที่ใช้ปรับปรุงสมบัติการเกิดเจล 2 ชนิด คือ แป้งมันฝรั่ง และเอนไซม์ TGase โดยสารแต่ละชนิดแปรปริมาณดังนี้ แป้งมันฝรั่ง แปรปริมาณเป็นร้อยละ 2, 5,

8 และ 11 โดยน้ำหนัก และ เอนไซม์ TGase แปรปริมาณเป็นร้อยละ 0.01, 0.02, 0.03 และ 0.04 โดยน้ำหนัก นวดให้ส่วนผสมต่างๆ เข้ากัน เป็นเวลา 5 นาที ควบคุมอุณหภูมิขณะนวดไม่ให้เกิน 10 $^{\circ}$C จากนั้นนำตัวอย่างอัดใส่แท่ง stainless ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 cm สูง 2.5 cm แล้วนำมาให้ความร้อนที่ 40 $^{\circ}$C 20 นาที ตามด้วย 90 $^{\circ}$C 20 นาที ทำให้เย็น แล้วเก็บรักษาที่ 5 $^{\circ}$C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ประเมินคุณภาพตัวอย่างเจลด้าน ความขาว ความสามารถในการอุ้มน้ำ ค่า gel strength ความสามารถในการพับ และ ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีเดียวกันกับที่ใช้ในข้อ 3.4 และ 3.5

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 2 ซ้ำ ส่วนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Experiment (RCBD) ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป MSTAT (Nissin, 1986) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1985)

3.7 ศึกษาอายุการเก็บรักษาปลาผง

ปลาผงที่ได้จากการทำแห้ง ด้วยภาวะที่ดีที่สุด จากข้อ 3.4 นำมาบรรจุถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปริมาณ 180 g ต่อถุง ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และ เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 $^{\circ}$C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 $^{\circ}$C) เป็นเวลา 3 เดือน ระหว่างการเก็บสุ่มตัวอย่างทุก 15 วัน

ประเมินคุณภาพของปลาผงโดยการวิเคราะห์ค่าต่างๆ ต่อไปนี้

3.7.1 ปริมาณความชื้น (AOAC, 1995)

3.7.2 A_w ด้วยเครื่อง AW Sprint

3.7.3 ความขาว เช่นเดียวกับข้อ 3.4.3

3.7.4 ความสามารถในการอุ้มน้ำ ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.4.4

3.7.5 ความจุของอิมัลชั่น ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.4.5

3.7.6 gel strength ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.4.6

3.7.7 ความสามารถในการพับ ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.4.7

3.7.8 ค่า TBA ตามวิธีของ Shibata และ Kinumaki (1979) โดยชั่งตัวอย่าง 0.5 g ใส่หลอดทดลองชนิดฝาเกลียวขนาด 50 ml ผสมน้ำกลั่น 3 ml ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน

ด้วยเครื่องเขย่า เป็นเวลา 2 นาที เติมสารละลายกันหืน 3 หยด สารละลาย 1 ml สารละลายกรด thiobarbituric 3 ml และ สารละลายกรด trichloroacetic ผสมกรด hydrochloric 17 ml (การเตรียมสารละลายแสดงในภาคผนวก ก.9) ผ่านก๊าซไนโตรเจนลงไปแทนที่อากาศภายในหลอดทดลอง ปิดฝาให้แน่น เขย่าเป็นเวลา 1 นาที แล้วนำไปต้มในน้ำเดือด เป็นเวลา 30 นาที ทำให้เย็นทันที เติม chloroform 5 ml เขย่าเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกสารละลาย ด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 3000 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงนำส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 535 nm ด้วยเครื่องวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง คำนวณค่า TBA โดยใช้สูตร

$$\text{TBA (mg/1 kg)} = 46 \times \text{O.D.}$$

3.7.9 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ตามวิธีของ Atlas และคณะ (1984) โดยชั่งตัวอย่าง 1 g ผสม peptone water 9 ml ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องเขย่า เป็นเวลา 2 นาที จะได้สารละลาย dilution 10^{-1} แล้วเจือจางให้ได้ dilution 10^{-2} และ 10^{-3} ปิเปตสารละลาย dilution 10^{-1}, 10^{-2} และ 10^{-3} 1 ml ลงใน sterile plate โดยปิเปต dilution ละ 2 plate แล้วจึง pour plate ด้วย plate count agar บ่มเชื้อที่ 37 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับ plate ที่มีจำนวนโคโลนีระหว่าง 30-300 โคโลนี คำนวณเป็นจำนวนโคโลนีต่อกรัมของตัวอย่าง

3.7.10 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และ การยอมรับรวม ใช้แบบทดสอบชนิด Quantitative Descriptive Analysis with Scoring (แบบทดสอบแสดงในภาคผนวก ค.3) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนชุดเดียวกับข้อ 3.5.5

การประเมินคุณภาพทางกายภาพและสมบัติด้านหน้าที่ของปลาผงในข้อ 3.6.1-3.6.9 วางแผนการทดลองแบบ Asymmetric Factorial Experiment ขนาด 2 x 2 x 6 ทดลอง 2 ซ้ำ การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ Factorial Randomized Complete Block Experiment (FRCBD) ขนาด 2 x 2 x 6 ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป MSTAT (Nissin, 1986) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan 's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1985)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 วิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบ

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของเนื้อปลาทรายแดง ปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือ คุณภาพด้านความสดโดยการตรวจพินิจ และวัดค่า TVB, TMA รวมทั้งค่าความเป็นกรดด่าง ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.1-4.3 และลักษณะปรากฏของปลาทรายแดงแสดงในรูปที่ 4.1

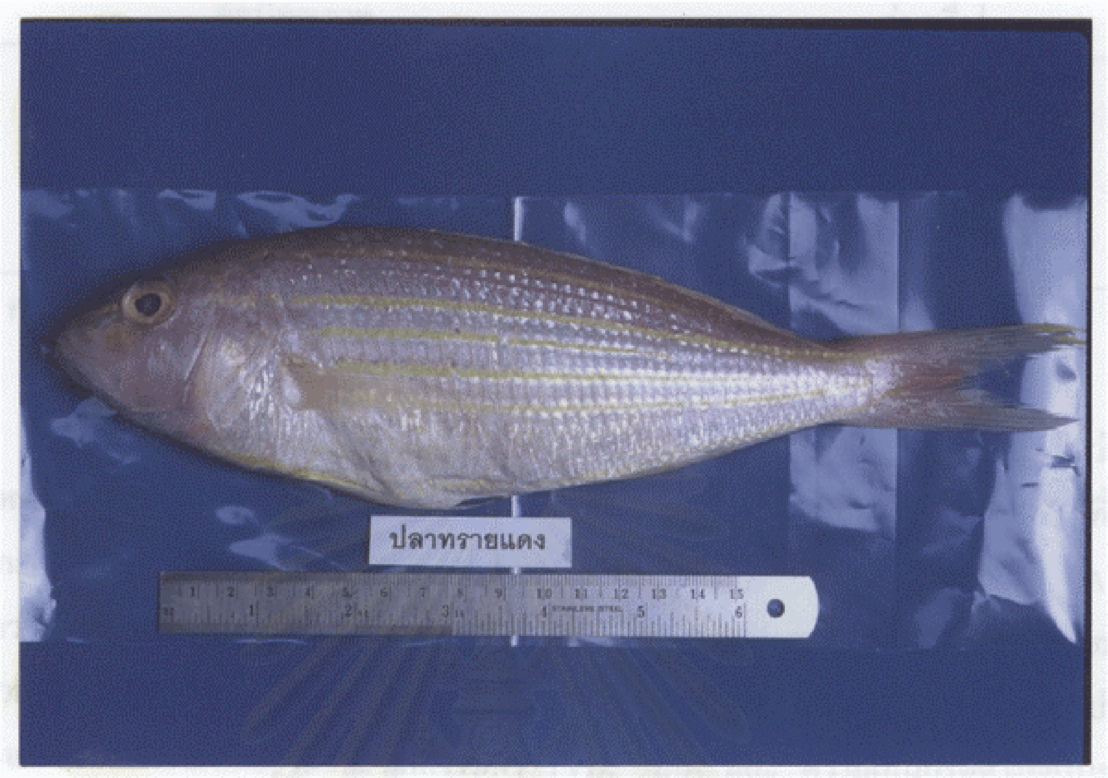
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือของเนื้อปลาทรายแดง

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย[1]
ความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	79.84 ± 0.32
โปรตีน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	15.89 ± 0.64
ไขมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	2.78 ± 0.11
เถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	0.98 ± 0.06
คาร์โบไฮเดรต[2] (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	0.51 ± 0.54
โปรตีนที่ละลายในเกลือ (ร้อยละโดยปริมาณโปรตีนทั้งหมด)	48.80 ± 0.63

[1] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

[2] คำนวณจากผลต่างของ 100 กับปริมาณองค์ประกอบอื่นๆ ยกเว้นปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 ปลาทรายแดงที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 4.2 คุณภาพทางกายภาพของเนื้อปลาทรายแดง

ลักษณะที่ตรวจ	ผลการตรวจพินิจ
-เหงือก	ไม่มีกลิ่นคาว, สีแดงสด, มีเมือกไม่มาก
-ลูกตา	เป็นสีดำมัน, ตาดำไม่ขุ่น, ไม่มีเลือดบริเวณรอบตา
-ผิวหนัง	มีความเป็นมันเงา, ไม่ขุ่นมัว
-เนื้อสัมผัส	ไม่นุ่มตามแรงมือกด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 คุณภาพทางเคมีของเนื้อปลาทรายแดง

ดัชนีคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย[1]
ค่า TVB (mg/100 g)	17.54 $\pm$ 0.76
ค่า TMA (mg/100 g)	5.62 $\pm$ 0.35
ค่าความเป็นกรดด่าง	6.75 $\pm$ 0.78

[1] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบและคุณภาพด้านความสดของปลาทรายแดง พบว่า มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตตัวอย่างที่เกิดเจล เพราะมีปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือสูง และไขมันต่ำ ส่วนคุณภาพด้านความสด พบว่า ตัวอย่างที่ใช้มีค่า TVB, TMA และ ค่าความเป็นกรดด่าง 17.54 mg/100 g, 5.62 mg/100 g และ 6.75 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์คุณภาพด้านความสดของปลาทะเลโดย Uchiyama (1978) ซึ่งกล่าวไว้ว่าปลาทะเลที่คุณภาพด้านความสดอยู่ในเกณฑ์ดีควรมีค่า TVB, TMA และ ความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 6-20 mg/100 g, 0-10 mg/100 g และ 6.4-6.8 ตามลำดับ สรุปได้ว่าปลาทรายแดงที่ใช้เป็นวัตถุดิบในงานทดลองนี้มีคุณภาพด้านความสดอยู่ในเกณฑ์ดี

4.2 ล้างและวิเคราะห์คุณภาพเนื้อปลาบด

ล้างเนื้อปลาบดตามวิธีในข้อ 3.2 ตัวอย่างที่ล้างนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือ และวัดค่า TVB, TMA รวมทั้งความเป็นกรดด่าง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4 และ 4.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือของเนื้อปลาบดหลังผ่านการล้าง

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย[1]
ความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	90.63 ± 0.28
โปรตีน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	7.21 ± 0.02
ไขมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	0.40 ± 0.47
โปรตีนที่ละลายในเกลือ (ร้อยละโดยปริมาณโปรตีนทั้งหมด)	70.00 ± 0.72

[1] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ตารางที่ 4.5 คุณภาพด้านความสดของเนื้อปลาบดที่ผ่านการล้างแล้ว

ดัชนีคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย[1]
ค่า TVB (mg/100 g)	12.58 ± 0.85
ค่า TMA (mg/100 g)	3.32 ± 0.53
ค่าความเป็นกรดด่าง	6.63 ± 0.25

[1] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ผลจากการวิเคราะห์ที่แสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.4 จะเห็นได้ว่าเนื้อปลาที่ผ่านการล้างมีปริมาณความชื้นและสัดส่วนของโปรตีนที่ละลายในเกลือต่อโปรตีนทั้งหมดเพิ่มขึ้น ไขมันต่ำลง ขณะที่คุณภาพด้านความสดใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการล้าง (ตารางที่ 4.3 และ 4.5)

4.3 เตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้ง

เนื้อปลาบดที่ล้างแล้ว นำมาเตรียม slurry ที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก วิเคราะห์ค่าความหนืดของ slurry แล้วทำแห้งแบบพ่นกระจายตามวิธีในข้อ 3.4 วัดปริมาณผลผลิตและเวลาที่ใช้ในการทำแห้ง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.6-4.7

ตารางที่ 4.6 ค่าความหนืด slurry ของเนื้อปลาบดที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 10-40 โดยน้ำหนัก

ปริมาณของแข็ง (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความหนืด (cps)
10	1200 ± 8.25
20	1750 ± 6.54
30	2000 ± 7.02
40	2500 ± 5.55

ตารางที่ 4.7 ปริมาณผลผลิตและเวลาที่ใช้ในการทำแห้ง slurry ของเนื้อปลาบดที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 10-40 โดยน้ำหนัก

ปริมาณของแข็ง (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	เวลา (นาที)	ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)
10	$55.00^{b} \pm 7.07$	$21.81^{d} \pm 1.01$
20	$62.50^{b} \pm 3.54$	$31.79^{b} \pm 0.12$
30	$62.50^{b} \pm 3.54$	$38.89^{a} \pm 0.52$
40	$90.00^{a} \pm 14.14$	$25.27^{c} \pm 0.27$

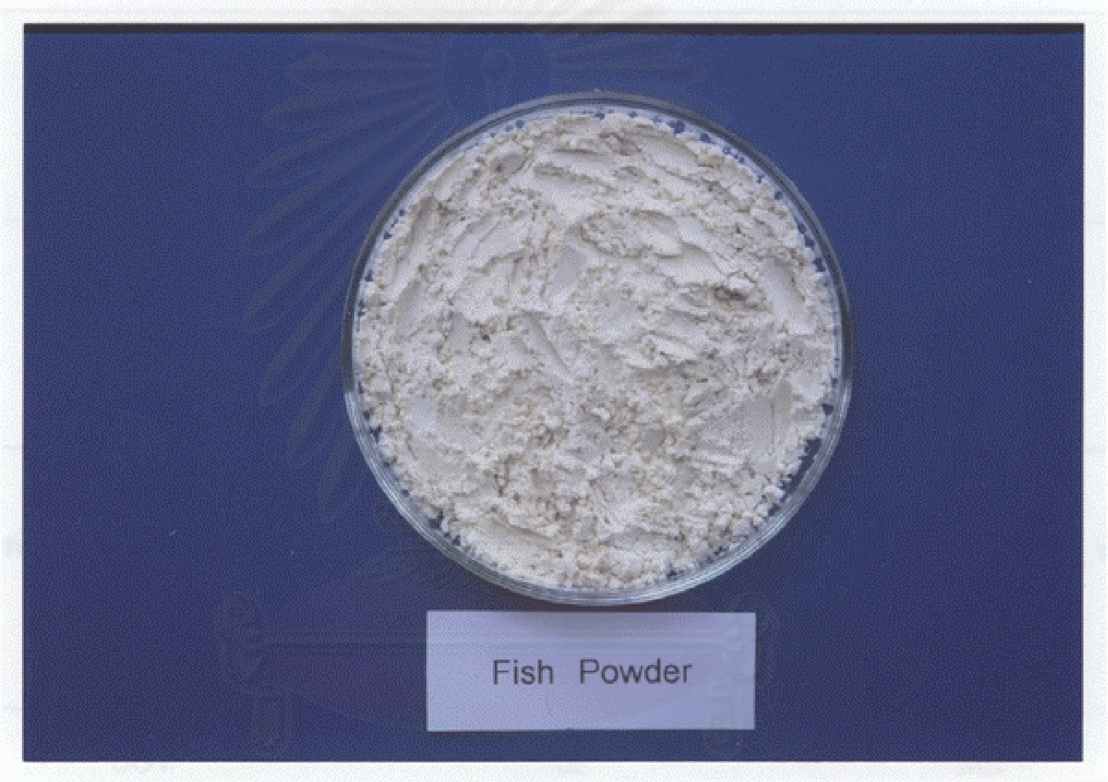
a,b,c,d ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

หมายเหตุ เวลาที่ใช้ในการทำแห้ง slurry ปริมาณ 1 l

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบอิทธิพลของปริมาณของแข็งใน slurry เนื้อปลาบดต่อเวลาในการทำแห้งและปริมาณผลผลิต ($P \leq 0.05$) โดยค่าต่างๆ ที่กล่าวมาเพิ่มสูงขึ้น เมื่อของแข็งใน slurry เพิ่มขึ้น และของแข็งที่เหมาะสมมีปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

4.4 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง

ทำแห้ง slurry เนื้อปลาบดที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย แปรอุณหภูมิลมร้อนเข้าเป็น 150, 170 และ 190 °C ปริมาณ sucrose เป็นร้อยละ 0, 3 และ 5 โดยน้ำหนัก ตัวอย่างปลาผงที่ได้วิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณผลผลิต ความขาว ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความจุอิมัลชั่น gel strength และ ความสามารถในการพับ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.8-4.14 และรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ลักษณะของปลาผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นกระจาย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ปริมาณความชื้นของปลาผงที่ทำแห้งโดยผสม sucrose ร้อยละ 0-5 โดยน้ำหนัก และ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150-190 °C

อุณหภูมิลมร้อนเข้า (°C)	ปริมาณ sucrose (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
150	0	5.95 ± 0.14
	3	6.01 ± 0.10
	5	6.78 + 0.11
170	0	3.95 ± 0.11
	3	4.32 ± 0.10
	5	4.46 ± 0.34
190	0	3.02 + 0.07
	3	3.29 ± 0.20
	5	3.37 ± 0.06

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นของปลาผงที่ทำแห้งโดยผสม sucrose ร้อยละ 0-5 โดยน้ำหนัก และ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150-190 °C

SOV	df	MS
อุณหภูมิลมร้อนเข้า (A)	2	14.181*
ปริมาณ sucrose (B)	2	0.478*
AB	4	0.075
error	9	0.025

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ไม่พบอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิลมร้อนเข้าและปริมาณ sucrose ($P>0.05$) จึงแยกวิเคราะห์ตามปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณความชื้น ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.10 และ 4.11

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10 ปริมาณความชื้นของปลาผงที่ทำแห้งโดยผสม sucrose ร้อยละ 0-5 โดยน้ำหนัก และ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150-190 °C เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนเข้า

อุณหภูมิลมร้อนเข้า (°C)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
150	$6.25^{a} \pm 0.42$
170	$4.24^{b} \pm 0.29$
190	$3.23^{c} \pm 0.19$

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.11 ปริมาณความชื้นของปลาผงที่ทำแห้งโดยผสม sucrose ร้อยละ 0-5 โดยน้ำหนัก และ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150-190 °C เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของปริมาณ sucrose

ปริมาณ sucrose (ร้อยละ)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
0	$4.31^{c} \pm 1.34$
3	$4.54^{b} \pm 1.23$
5	$4.87^{a} \pm 1.57$

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ผลการเปรียบเทียบปริมาณความชื้นของปลาผง เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนเข้า (ตารางที่ 4.10) และ ปริมาณ sucrose (ตารางที่ 4.11) พบว่า เมื่ออุณหภูมิลมร้อนเข้าเพิ่ม ความชื้นลดลง ขณะที่ปริมาณ sucrose ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความชื้นเพิ่มขึ้น และตัวอย่างที่มีความชื้นต่ำสุดได้เมื่อทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 190 °C และ sucrose ร้อยละ 0 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 4.12 ปริมาณผลผลิตและค่าความขาวของปลาผงที่ทำแห้งโดยผสม sucrose ร้อยละ 0-5 โดยน้ำหนัก และ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150-190 $^{\circ}$C

อุณหภูมิลมร้อนเข้า ($^{\circ}$C)	ปริมาณ sucrose (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)	ค่าความขาว (ร้อยละ)
150	0	$39.25^{d} \pm 0.18$	$85.54^{f} \pm 0.44$
	3	$46.85^{abc} \pm 0.28$	$88.58^{c} \pm 0.02$
	5	$47.88^{a} \pm 0.18$	$91.00^{a} \pm 0.32$
170	0	$38.19^{d} \pm 0.14$	$84.20^{g} \pm 0.11$
	3	$45.73^{c} \pm 1.09$	$87.97^{d} \pm 0.03$
	5	$47.38^{ab} \pm 0.38$	$89.87^{b} \pm 0.42$
190	0	$39.45^{d} \pm 0.28$	$83.75^{g} \pm 0.07$
	3	$46.42^{bc} \pm 0.24$	$86.27^{e} \pm 0.20$
	5	$47.42^{ab} \pm 0.10$	$87.72^{d} \pm 0.07$

a,b,...,g ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13 ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความจุอิมัลชั่นของปลาผง และ gel strength ของเจลที่เตรียมจากปลาผง (เติมแป้งมันฝรั่งร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก) ที่ทำแห้งโดยผสม sucrose ร้อยละ 0-5 โดยน้ำหนัก และ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150-190 °C

อุณหภูมิลมร้อนเข้า (°C)	ปริมาณ sucrose (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (g/g)	ความจุอิมัลชั่น (ml/g)	gel strength (g . cm)
150	0	$21.19^{d} \pm 0.48$	$91.25^{f} \pm 1.77$	$194.51^{g} \pm 1.97$
	3	$28.10^{b} \pm 0.11$	$181.00^{b} \pm 1.41$	$352.81^{b} \pm 6.40$
	5	$36.46^{a} \pm 0.16$	$258.50^{a} \pm 2.12$	$391.09^{a} + 6.87$
170	0	$19.24^{e} \pm 0.31$	$84.00^{g} \pm 1.41$	$182.20^{g} \pm 2.05$
	3	$24.63^{c} \pm 0.41$	$108.50^{e} \pm 2.12$	$263.35^{d} \pm 5.90$
	5	$25.20^{c} \pm 0.40$	$132.50^{c} \pm 3.53$	$291.95^{c} \pm 9.31$
190	0	$18.75^{e} \pm 0.42$	$79.50^{g} \pm 0.71$	$153.18^{h} \pm 4.16$
	3	$22.10^{d} \pm 0.48$	$93.50^{f} \pm 4.24$	$223.09^{f} \pm 4.04$
	5	$22.19^{d} \pm 0.97$	$122.25^{d} \pm 3.18$	$243.50^{e} \pm 4.77$

a,b,...,h ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 ความสามารถในการพับของเจลที่เตรียมจากปลาผง (เติมแป้งมันฝรั่งร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก) ที่ทำแห้งโดยผสม sucrose ร้อยละ 0-5 และ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150-190 °C

อุณหภูมิลมร้อนเข้า (°C)	ปริมาณ sucrose (ร้อยละ)	ความสามารถในการพับ
150	0	B
	3	AA
	5	AA
170	0	B
	3	A
	5	A
190	0	B
	3	A
	5	A

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิลมร้อนเข้าและปริมาณ sucrose ต่อ ปริมาณผลผลิต ค่าความขาว ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความจุอิมัลชั่น gel strength และ ความสามารถในการพับ ($P \leq 0.05$) ของปลาผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นกระจาย และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย พบว่า คุณภาพของปลาผงในทุกๆ ด้านที่กล่าวมาดีที่สุด เมื่อทำแห้งโดยผสม sucrose ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150 °C ดังนั้นจึงเลือกภาวะการทำแห้งดังกล่าวเนื่องจากมีผลต่อคุณภาพของปลาผงน้อยที่สุด นอกจากนี้ที่ภาวะนี้ปลาผงมีปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความชื้นของปลาแห้งป่นที่กำหนดโดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2530) ซึ่งต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก และที่ภาวะดังกล่าวปลาผงมีองค์ประกอบทางเคมีแสดงดังตารางที่ 4.15

4.5 คุณภาพของเจลจากปลาผงเปรียบเทียบกับเจลจากปลาบดสด

ปลาผงที่ได้จากการทำแห้ง ด้วยภาวะที่ดีที่สุด จากข้อ 3.4 ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมี ดังตารางที่ 4.15 และปลาบดสด จากข้อ 3.2 นำมาเตรียมตัวอย่างเจลตามขั้นตอนในการทดลอง ข้อ 3.4.6 โดยไม่เติมแป้งมันฝรั่ง แล้วประเมินคุณภาพด้าน ความขาว ความสามารถในการอุ้มน้ำ gel strength ความสามารถในการพับ และ คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และ การยอมรับรวม ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.16-4.17

ตารางที่ 4.15 องค์ประกอบทางเคมีของปลาผง

องค์ประกอบ	ปริมาณ[1] (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
ความชื้น	6.01 ± 0.10
โปรตีน	64.25 ± 0.38
ไขมัน	1.93 ± 0.06
เถ้า	2.78 ± 0.27
คาร์โบไฮเดรต[2]	25.03 ± 0.44

[1] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

[2] คำนวณจากผลต่างของ 100 กับปริมาณองค์ประกอบอื่นๆ ยกเว้นปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือ

ตารางที่ 4.16 ค่าความขาว ความสามารถในการอุ้มน้ำ gel strength และ ความสามารถในการพับของเจลที่เตรียมจากปลาบดสดและปลาผงที่ทำแห้งโดยผสม sucrose ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150 °C

การประเมิน	ค่าเฉลี่ย	
	ปลาสด	ปลาผง
ค่าความขาว (ร้อยละ)	67.59 ± 0.57	63.74 ± 0.42
ความสามารถในการอุ้มน้ำ (ร้อยละ)	69.84 ± 0.69	59.03 ± 0.12
gel strength (g . cm)	535.50 ± 3.58	119.40 ± 1.17
ความสามารถในการพับ	AA	C

ตารางที่ 4.17 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเจลที่เตรียมจากปลาผงที่ทำแห้งโดยผสม sucrose ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150 °C

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส	คะแนน
สี	6.20 $\pm$ 0.42
กลิ่นรส	6.20 $\pm$ 0.42
ลักษณะเนื้อสัมผัส	3.30 $\pm$ 0.82
การยอมรับรวม	4.00 $\pm$ 0.67

จากผลการทดลองจะเห็นว่าเจลจากปลาผงมีคุณภาพด้อยกว่าเจลจากปลาบดสดทั้งในด้านความแข็งแรงของเจลและความสามารถในการอุ้มน้ำ นอกจากนั้นยังไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคอีกด้วย

4.6 ปรับปรุงคุณภาพของเจลจากปลาผง

ปลาผงที่ได้จากการทำแห้ง ด้วยภาวะที่ดีที่สุด จากข้อ 3.4 นำมาเตรียมตัวอย่างเจลตามขั้นตอนในการทดลองข้อ 3.6 แล้วประเมินคุณภาพด้าน ความขาว ความสามารถในการอุ้มน้ำ gel strength ความสามารถในการพับ พร้อมทั้งคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และ การยอมรับรวม ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.18-4.19

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 ค่าความขาว ความสามารถในการอุ้มน้ำ gel strength และ ความสามารถในการพับของเจลที่เตรียมจากปลาผงที่เติมแป้งมันฝรั่งร้อยละ 2-11 โดยน้ำหนัก หรือเอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.01-0.04 โดยน้ำหนัก

	ค่าความขาว (ร้อยละ)	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (ร้อยละ)	gel strength (g . cm)	ความสามารถในการพับ
แป้งมันฝรั่ง (ร้อยละ)				
2	64.72[d] ± 0.48	60.06[d] ± 0.33	194.48[f] ± 2.87	C
5	65.52[c] ± 0.11	64.26[c] ± 0.86	250.26[e] ± 3.40	A
8	68.24[ab] ± 0.12	66.22[ab] ± 0.22	312.35[d] ± 4.41	AA
11	69.21[a] ± 0.47	65.95[ab] ± 0.56	315.74[d] ± 4.46	AA
เอนไซม์ TGase (ร้อยละ)				
0.01	63.23[f] ± 0.08	65.88[ab] ± 1.07	386.63[c] ± 1.34	AA
0.02	63.36[ef] ± 0.08	66.53[a] ± 0.21	483.78[b] ± 5.95	AA
0.03	63.51[ef] ± 0.03	66.82[a] ± 0.10	520.23[a] ± 1.15	AA
0.04	63.93[e] ± 0.21	64.74[bc] ± 0.54	490.46[b] ± 1.00	AA

a,b,…,f ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเจลที่เตรียมจากปลาผงที่เติมแป้งมันฝรั่ง ร้อยละ 2-11 โดยน้ำหนัก หรือ เอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.01-0.04 โดยน้ำหนัก

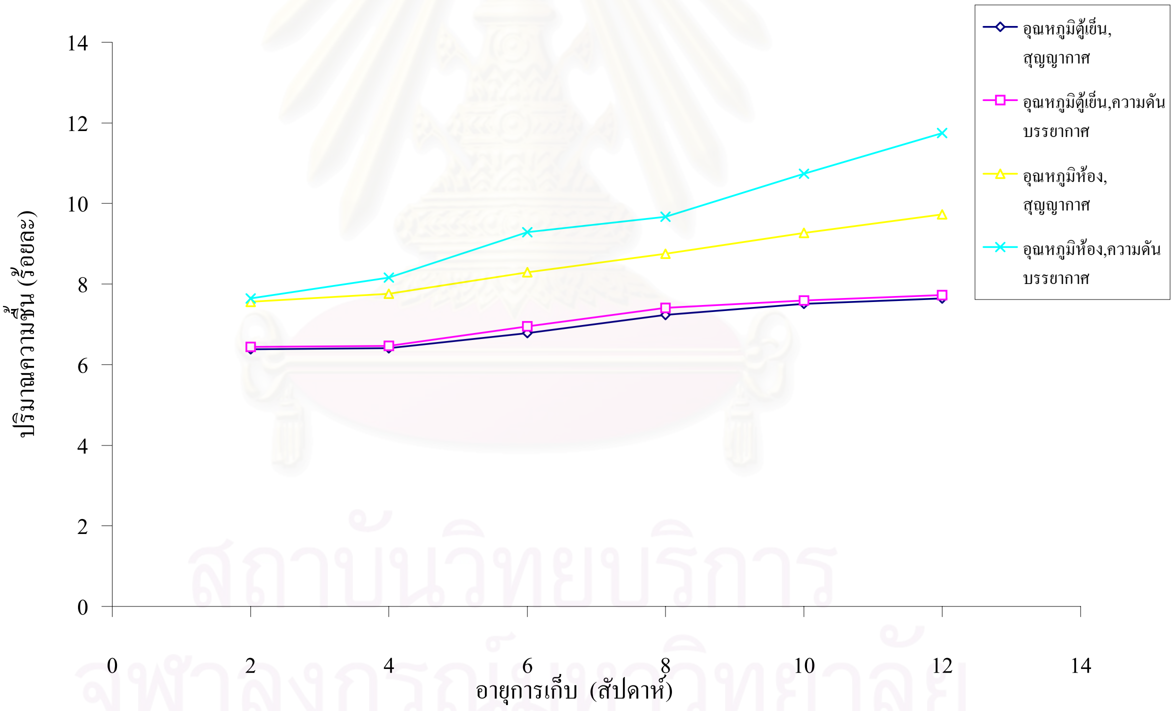
	คะแนนเฉลี่ย			
	สี	กลิ่นรส	ลักษณะเนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
แป้งมันฝรั่ง (ร้อยละ)				
2	$7.60^{c} \pm 0.52$	$6.30^{ef} \pm 0.48$	$4.90^{d} \pm 0.74$	$4.80^{e} \pm 0.79$
5	$7.90^{b} \pm 0.32$	$7.10^{cd} \pm 0.32$	$6.30^{c} \pm 0.48$	$6.10^{d} \pm 0.57$
8	$8.10^{a} \pm 0.42$	$7.90^{ab} \pm 0.42$	$7.50^{b} \pm 0.53$	$7.80^{ab} \pm 0.48$
11	$8.30^{a} \pm 0.67$	$8.30^{a} \pm 0.48$	$7.70^{b} \pm 0.82$	$7.90^{ab} \pm 0.57$
เอนไซม์ TGase (ร้อยละ)				
0.01	$6.90^{de} \pm 0.52$	$6.10^{f} \pm 0.32$	$6.80^{c} \pm 0.42$	$6.50^{d} \pm 0.53$
0.02	$7.00^{d} \pm 0.00$	$6.15^{f} \pm 0.52$	$7.60^{b} \pm 0.70$	$7.50^{bc} \pm 0.71$
0.03	$7.00^{d} \pm 0.00$	$6.20^{f} \pm 0.67$	$8.40^{a} \pm 0.70$	$8.20^{a} \pm 0.79$
0.04	$7.00^{d} \pm 0.00$	$6.20^{f} \pm 0.63$	$7.70^{b} \pm 0.67$	$7.90^{ab} \pm 0.57$

a,b,…,f ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบอิทธิพลของชนิดและปริมาณสารที่ใช้ปรับปรุงสมบัติในการเกิดเจลต่อค่าความขาว ความสามารถในการอุ้มน้ำ gel strength ความสามารถในการพับ และ คุณภาพทางประสาทสัมผัส ($P \leq 0.05$) ของเจลที่เตรียมจากปลาผง ซึ่งเห็นได้ว่า เจลที่เติมแป้งมันฝรั่งร้อยละ 11 โดยน้ำหนัก มีความขาวสูงสุด ส่วนเจลที่เติมเอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.03 โดยน้ำหนัก ให้ตัวอย่างเจลที่มี gel strength ความสามารถในการพับ และ ความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุด ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า ตัวอย่างเจลที่เติมแป้งมันฝรั่งร้อยละ 11 โดยน้ำหนัก มีคะแนนด้านสี และ กลิ่นรสสูงสุด ตัวอย่างเจลที่เติมเอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.03 โดยน้ำหนัก มีคะแนนด้านลักษณะเนื้อสัมผัส และ การยอมรับรวมสูงสุด ดังนั้นตัวอย่างเจลที่เติมเอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.03 โดยน้ำหนัก ให้เจลที่มีคุณภาพด้านต่างๆ สูงที่สุด

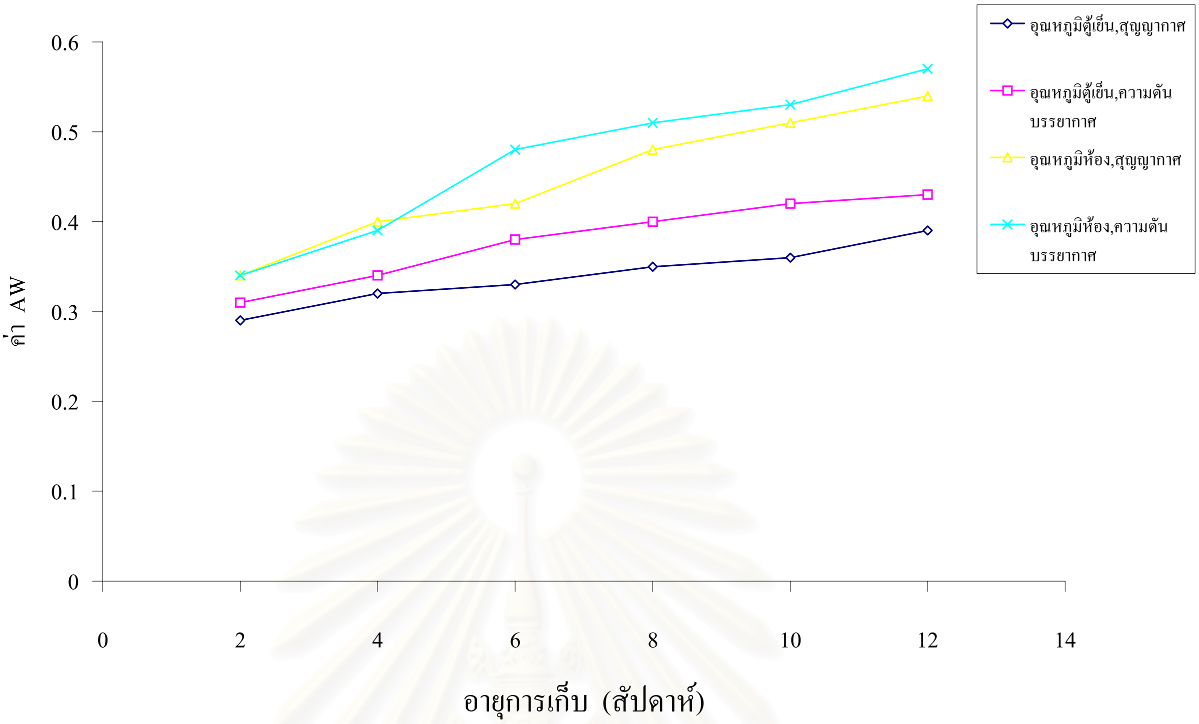
4.7 ศึกษาอายุการเก็บรักษาปลาผง

ปลาผงที่ได้จากการทำแห้ง ด้วยภาวะที่ดีที่สุด จากข้อ 3.4 นำมาบรรจุถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปริมาณ 180 g ต่อถุง ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน ระหว่างการเก็บสุ่มตัวอย่างทุก 15 วัน เพื่อประเมินคุณภาพด้าน ความชื้น ค่า A_w ความขาว ค่า TBA ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความจุของอิมัลชั่น gel strength ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และ คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และ การยอมรับรวม ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.3-4.14 และ ตารางที่ 4.20-4.31



รูปที่ 4.3 ปริมาณความชื้นของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 ค่า A_w ของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 $^{\circ}$C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 $^{\circ}$C) เป็นเวลา 3 เดือน

ตารางที่ 4.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นและค่า A_w ของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน

SOV	df	MS	
		ปริมาณความชื้น	ค่า A_w
อุณหภูมิการเก็บรักษา (A)	1	48.381*	0.117*
สภาวะการเก็บรักษา (B)	1	3.359*	0.001
อายุการเก็บรักษา (C)	5	6.062*	0.029*
AB	1	2.328*	0.011*
AC	5	0.892*	0.004*
BC	5	0.255	0.001
ABC	5	0.239	0.000
error	24	0.168	0.001

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ แบบ Asymmetric Factorial Experiment ขนาด 2 x 2 x 6 พบ อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับสภาวะการเก็บรักษา (AB) และ อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับอายุการเก็บรักษา (AC) ต่อปริมาณความชื้น และ ค่า A_w ($P \leq 0.05$) จึงวิเคราะห์ตามปัจจัยที่มีผลต่อค่าดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 4.21-4.22

ตารางที่ 4.21 ผลของอายุการเก็บต่อปริมาณความชื้นและค่า A_w ของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน พิจารณาเฉพาะอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับสภาวะการเก็บรักษา

อุณหภูมิการเก็บ (°C)	สภาวะการเก็บ	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ค่า A_w
อุณหภูมิตู้เย็น	สุญญากาศ	$6.99^{c} \pm 0.57$	$0.34^{c} \pm 0.03$
	ปกติ	$7.10^{c} \pm 0.63$	$0.36^{c} \pm 0.04$
อุณหภูมิห้อง	สุญญากาศ	$8.56^{b} \pm 0.86$	$0.40^{b} \pm 0.08$
	ปกติ	$9.54^{a} \pm 1.51$	$0.47^{a} \pm 0.09$

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

จากตารางดังกล่าวพบว่า ปลาผงซึ่งเก็บที่อุณหภูมิห้องทั้งที่ภาวะปกติและสุญญากาศมีค่าความชื้นและ A_w สูงกว่าตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นทั้ง 2 สภาวะ และ ปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องที่ภาวะปกติ มีค่าความชื้นและ A_w สูงที่สุด ($P \leq 0.05$)

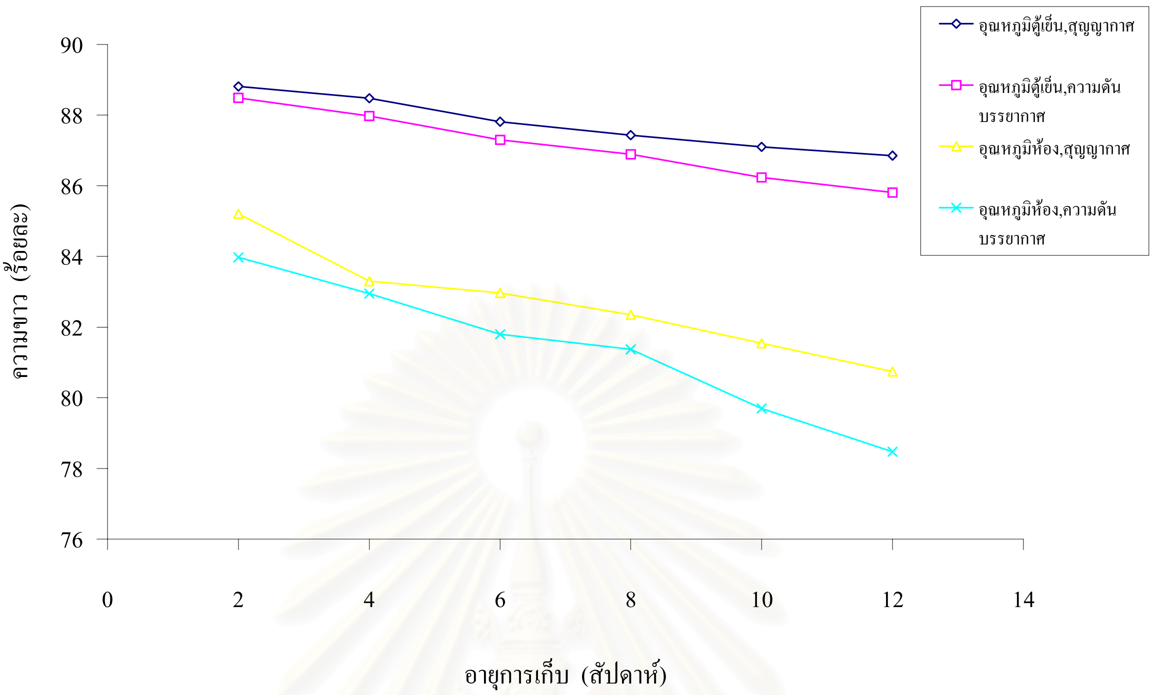
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.22 ผลของอายุการเก็บต่อปริมาณความชื้นและค่า A_w ของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน พิจารณาเฉพาะอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับอายุการเก็บรักษา

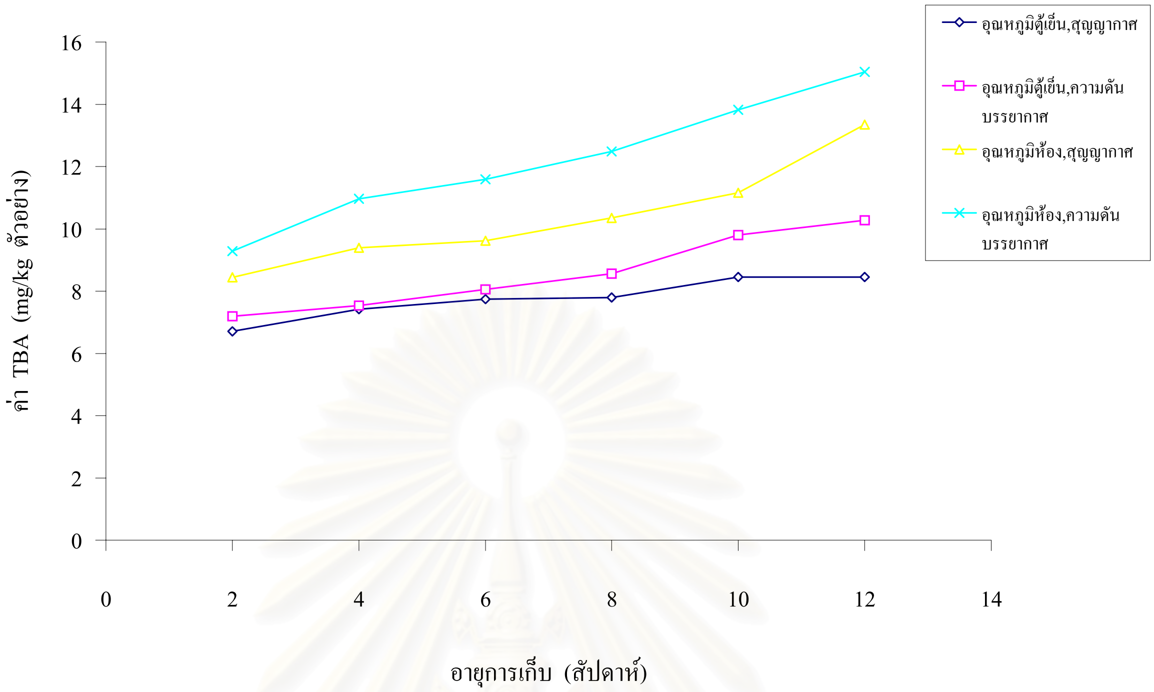
อุณหภูมิการเก็บ (°C)	อายุการเก็บ (สัปดาห์)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ค่า A_w
อุณหภูมิตู้เย็น	2	$6.41^{h} \pm 0.57$	$0.30^{h} \pm 0.02$
	4	$7.44^{h} \pm 0.63$	$0.33^{gh} \pm 0.01$
	6	$6.86^{g} \pm 0.33$	$0.36^{fg} \pm 0.03$
	8	$7.32^{f} \pm 0.31$	$0.37^{ef} \pm 0.03$
	10	$7.55^{ef} \pm 0.33$	$0.39^{def} \pm 0.03$
	12	$7.68^{ef} \pm 0.38$	$0.41^{d} \pm 0.02$
อุณหภูมิห้อง	2	$7.60^{ef} \pm 0.38$	$0.34^{g} \pm 0.05$
	4	$7.96^{e} \pm 0.33$	$0.39^{de} \pm 0.04$
	6	$8.79^{d} \pm 0.68$	$0.46^{c} \pm 0.03$
	8	$9.22^{c} \pm 0.63$	$0.49^{b} \pm 0.02$
	10	$10.00^{b} \pm 0.94$	$0.52^{b} \pm 0.01$
	12	$10.74^{a} \pm 1.23$	$0.56^{a} \pm 0.02$

a,b,…,h ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิเก็บรักษาและอายุการเก็บ แสดงให้เห็นว่าค่าความชื้นและ A_w ของปลาผงทั้ง 2 อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเวลาเก็บเพิ่มขึ้น และปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องมีค่าความชื้น และ A_w สูงกว่าปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นที่เวลาเก็บเดียวกัน



รูปที่ 4.5 ค่าความขาวของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน



รูปที่ 4.6 ค่า TBA ของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน

ตารางที่ 4.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขาวและค่า TBA ของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศและเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน

SOV	df	MS	
		ค่าความขาว	ค่า TBA
อุณหภูมิการเก็บรักษา (A)	1	117.350*	350.168*
สภาวะการเก็บรักษา (B)	1	20.633*	11.277*
อายุการเก็บรักษา (C)	5	15.591*	14.189*
AB	1	3.032*	1.374*
AC	5	1.924*	1.644*
BC	5	0.551*	0.404*
ABC	5	0.261	0.121
error	24	0.171	0.047

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ แบบ Asymmetric Factorial Experiment ขนาด 2 x 2 x 6 พบ อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับสภาวะการเก็บรักษา (AB), อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับอายุการเก็บรักษา (AC) และ อิทธิพลร่วมระหว่างสภาวะกับอายุการเก็บรักษา (BC) ต่อค่าความขาวและ ค่า TBA ($P \leq 0.05$) จึงวิเคราะห์อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสามดังตารางที่ 4.24

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.24 ผลของอายุการเก็บต่อค่าความขาวและค่า TBA ของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน

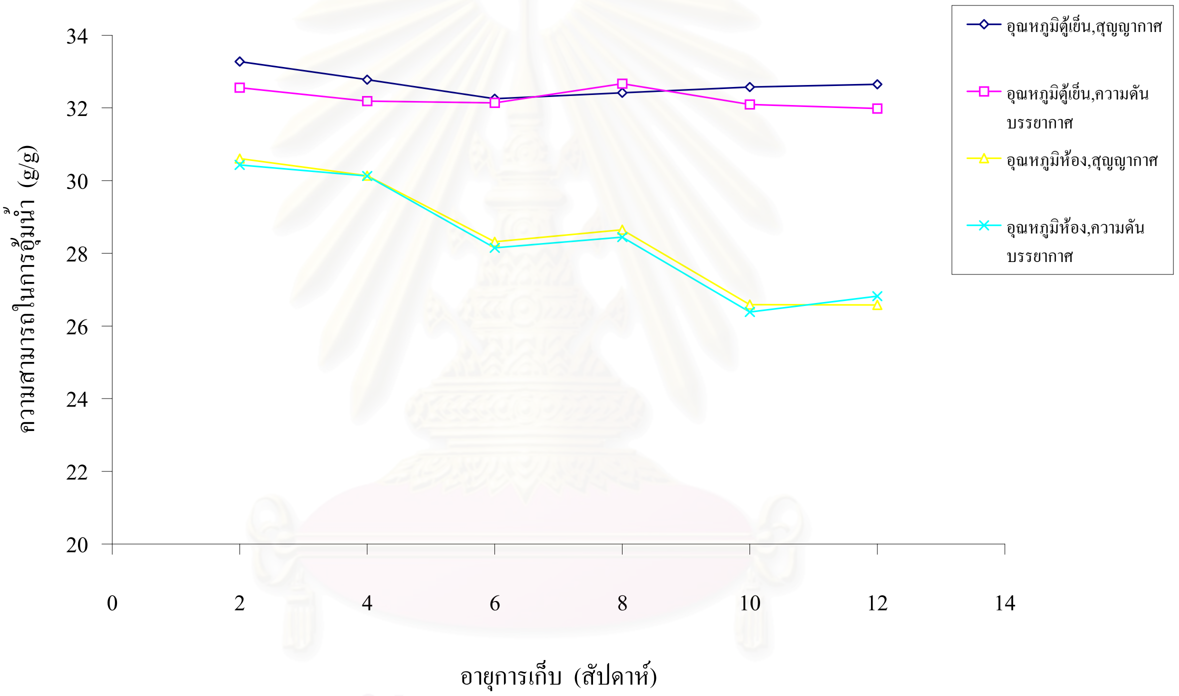
อุณหภูมิการเก็บ (°C)	สภาวะการเก็บ	อายุการเก็บ (สัปดาห์)	ความขาว (ร้อยละ)	ค่า TBA (mg/kg)
อุณหภูมิตู้เย็น	สุญญากาศ	2	$88.81^{a} \pm 0.26$	$6.71^{p} \pm 0.24$
		4	$88.48^{b} \pm 0.42$	$7.42^{no} \pm 0.30$
		6	$87.81^{c} \pm 0.00$	$7.74^{lmn} \pm 0.30$
		8	$87.43^{d} \pm 0.03$	$7.80^{lm} \pm 0.21$
		10	$87.10^{e} \pm 0.01$	$8.45^{k} \pm 0.29$
		12	$86.85^{f} \pm 0.09$	$8.45^{k} \pm 0.21$
	ความดันบรรยากาศ	2	$88.49^{b} \pm 0.04$	$7.19^{o} \pm 0.38$
		4	$87.98^{c} \pm 0.56$	$7.54^{mn} \pm 0.46$
		6	$87.30^{d} \pm 0.28$	$8.05^{l} \pm 0.27$
		8	$86.89^{f} \pm 0.00$	$8.56^{k} \pm 0.52$
		10	$86.24^{g} \pm 0.08$	$9.80^{h} \pm 0.13$
		12	$85.81^{h} \pm 0.16$	$10.28^{g} \pm 0.36$
อุณหภูมิห้อง	สุญญากาศ	2	$85.21^{i} \pm 0.15$	$8.44^{k} \pm 0.36$
		4	$83.30^{k} \pm 0.39$	$9.39^{ij} \pm 0.60$
		6	$82.97^{l} \pm 0.03$	$9.62^{hi} \pm 0.42$
		8	$82.35^{m} \pm 0.20$	$10.35^{g} \pm 0.46$
		10	$81.54^{o} \pm 0.20$	$11.16^{f} \pm 0.88$
		12	$80.74^{q} \pm 0.27$	$13.35^{c} \pm 0.56$
	ความดันบรรยากาศ	2	$83.97^{j} \pm 0.05$	$9.28^{j} \pm 0.59$
		4	$82.95^{l} \pm 0.04$	$10.97^{f} \pm 0.62$
		6	$81.80^{n} \pm 0.00$	$11.59^{e} \pm 0.26$
		8	$81.37^{p} \pm 0.04$	$12.49^{d} \pm 0.13$
		10	$79.70^{r} \pm 0.07$	$13.82^{b} \pm 0.10$
		12	$78.47^{s} \pm 0.12$	$15.04^{a} \pm 0.26$

a,b,c,…,p ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

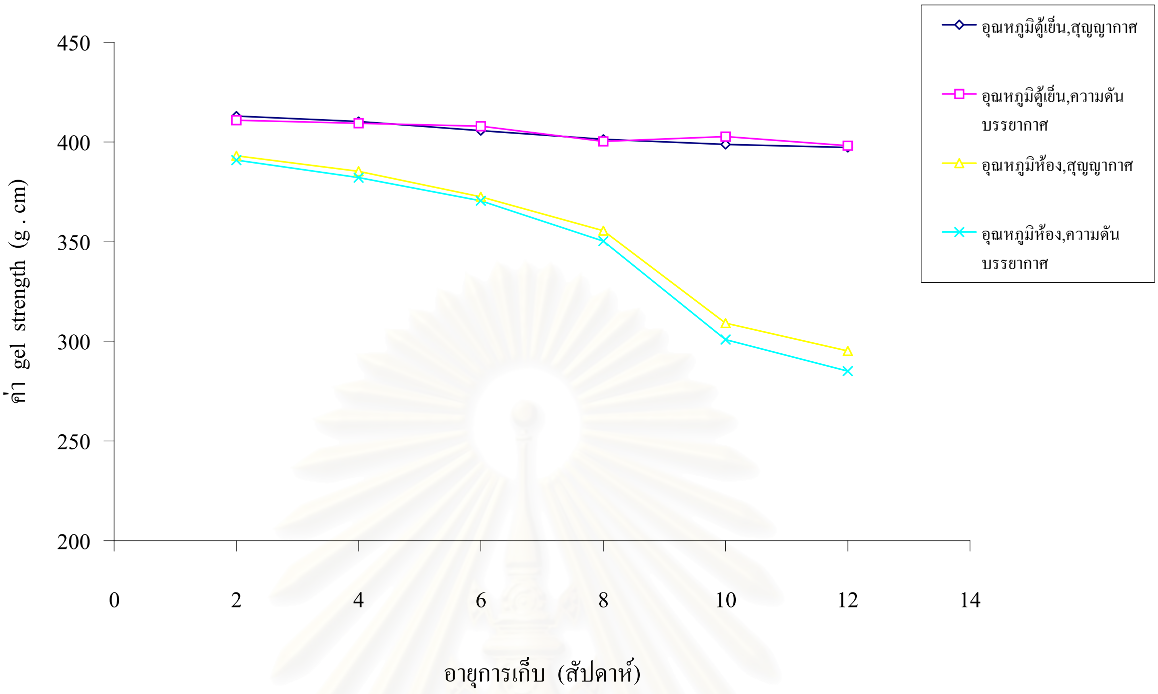
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลของอิทธิพลร่วมของทั้งสามปัจจัย แสดงให้เห็นว่า ปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นมีความขาวมากกว่าปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องที่เวลาเก็บเดียวกัน โดยทั้ง 2 อุณหภูมิที่เก็บปลาผงมีความขาวมากกว่าเมื่อเก็บในสภาวะสุญญากาศ

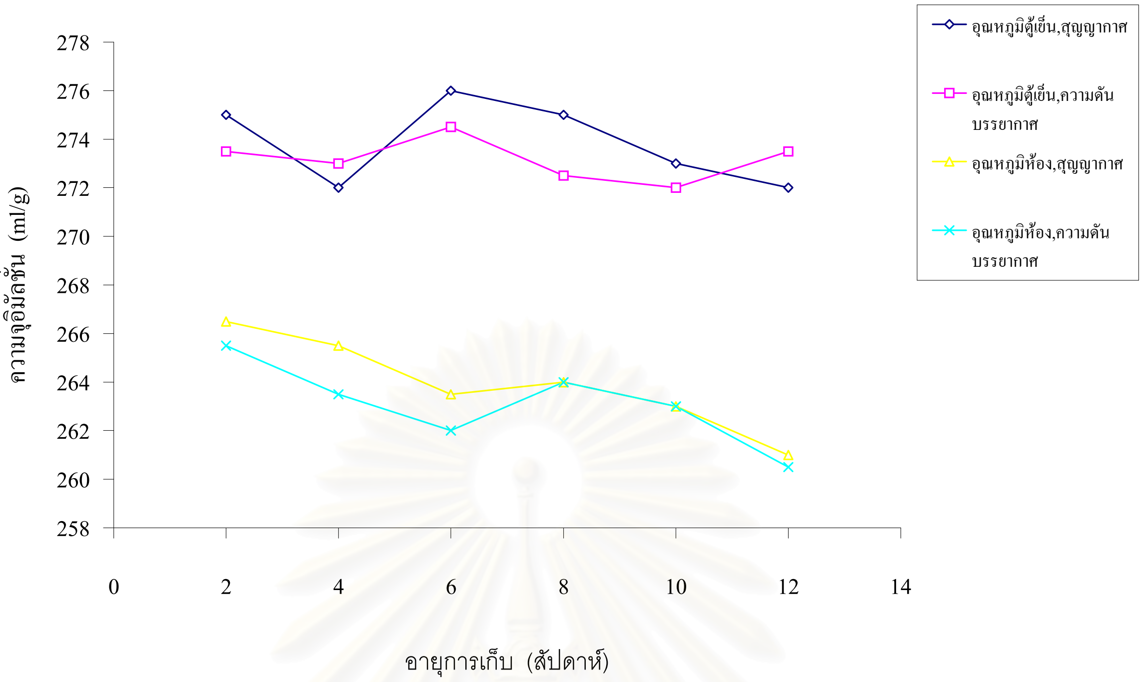
ผลของอิทธิพลร่วมของทั้งสามปัจจัย แสดงให้เห็นว่า ปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องมีค่า TBA สูงกว่าปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นที่เวลาเก็บเดียวกัน โดยทั้ง 2 อุณหภูมิที่เก็บปลาผงมีค่า TBA ต่ำกว่าเมื่อเก็บในสภาวะสุญญากาศ



รูปที่ 4.7 ความสามารถในการอุ้มน้ำของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 $^{\circ}$C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 $^{\circ}$C) เป็นเวลา 3 เดือน



รูปที่ 4.8 gel strength ของเจลที่เตรียมจากปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรืออุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน



รูปที่ 4.9 ความจุอิมัลชั่นของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการอุ้มน้ำและความจุอิมัลชั่นของปลาผงและ gel strength ของเจลที่เตรียมจากปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน

SOV	df	MS		
		ความสามารถในการอุ้มน้ำ	gel strength	ความจุอิมัลชั่น
อุณหภูมิการเก็บรักษา (A)	1	194.810*	36884.236*	1200.000*
สภาวะการเก็บรักษา (B)	1	0.667	63.342	6.750
อายุการเก็บรักษา (C)	5	6.995*	4542.070*	10.650
AB	1	0.267	93.130	0.083
AC	5	4.530*	2766.987*	7.050
BC	5	0.055	4.720	1.100
ABC	5	0.119	11.674	2.033
error	24	1.321	35.749	22.292

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ แบบ Asymmetric Factorial Experiment ขนาด 2 x 2 x 6 พบ อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับอายุการเก็บรักษา (AC) มีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ และ ค่า gel strength ($P \leq 0.05$) และพบอิทธิพลของอุณหภูมิในการเก็บรักษา (A) มีผลต่อความจุอิมัลชั่น ($P \leq 0.05$) จึงแยกวิเคราะห์ตามปัจจัยที่มีผลต่อค่าดังกล่าวดังตารางที่ 4.26-4.27

ตารางที่ 4.26 ผลของอายุการเก็บต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของปลาผง และ gel strength ของเจลที่เตรียมจากปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดัน บรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับอายุการเก็บรักษา

อุณหภูมิการเก็บ (°C)	อายุการเก็บ (สัปดาห์)	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (ร้อยละ)	gel strength (g . cm)
อุณหภูมิตู้เย็น	2	$32.92^{a} \pm 0.80$	$411.92^{a} \pm 7.44$
	4	$32.49^{a} \pm 0.84$	$409.85^{a} \pm 5.06$
	6	$32.19^{a} \pm 0.47$	$406.83^{a} \pm 5.83$
	8	$32.54^{a} \pm 0.55$	$400.74^{b} \pm 4.91$
	10	$32.34^{a} \pm 0.53$	$400.74^{b} \pm 5.16$
	12	$32.32^{a} \pm 0.77$	$397.67^{b} \pm 2.28$
อุณหภูมิห้อง	2	$30.52^{b} \pm 1.14$	$391.92^{c} \pm 4.88$
	4	$30.14^{b} \pm 0.96$	$383.72^{d} \pm 2.59$
	6	$28.24^{c} \pm 1.32$	$371.47^{e} \pm 4.72$
	8	$28.55^{c} \pm 0.90$	$352.88^{f} \pm 5.47$
	10	$26.49^{d} \pm 1.24$	$305.04^{g} \pm 7.86$
	12	$26.70^{d} \pm 1.46$	$290.08^{h} \pm 7.07$

a,b,…,h ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและอายุการเก็บรักษา พบว่า ปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงกว่าปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องที่เวลาเก็บเดียวกัน โดยปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นความสามารถในการอุ้มน้ำไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่ปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

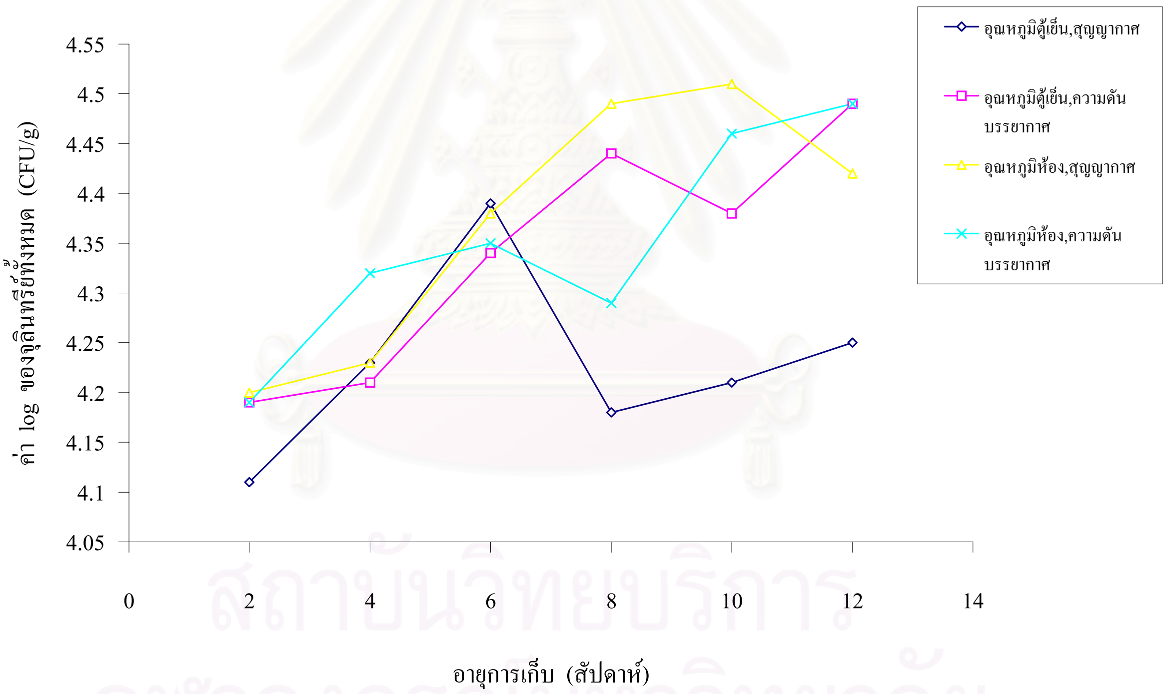
ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและอายุการเก็บรักษา พบว่า เจลที่เตรียมจากปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นมี gel strength สูงกว่าการเก็บที่อุณหภูมิห้องที่เวลาเก็บเดียวกัน โดยเจลที่เตรียมจากปลาผงที่เก็บทั้ง 2 อุณหภูมิ มี gel strength ลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.27 ผลของอายุการเก็บต่อความจุอิมัลชั่นของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของอุณหภูมิในการเก็บรักษา

อุณหภูมิการเก็บ (°C)	ความจุอิมัลชั่น (ml/g)
อุณหภูมิตู้เย็น	$373.50^{a} \pm 3.16$
อุณหภูมิห้อง	$263.50^{b} \pm 4.25$

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

จากตารางดังกล่าว พบว่า ปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นมีความจุอิมัลชั่นสูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง



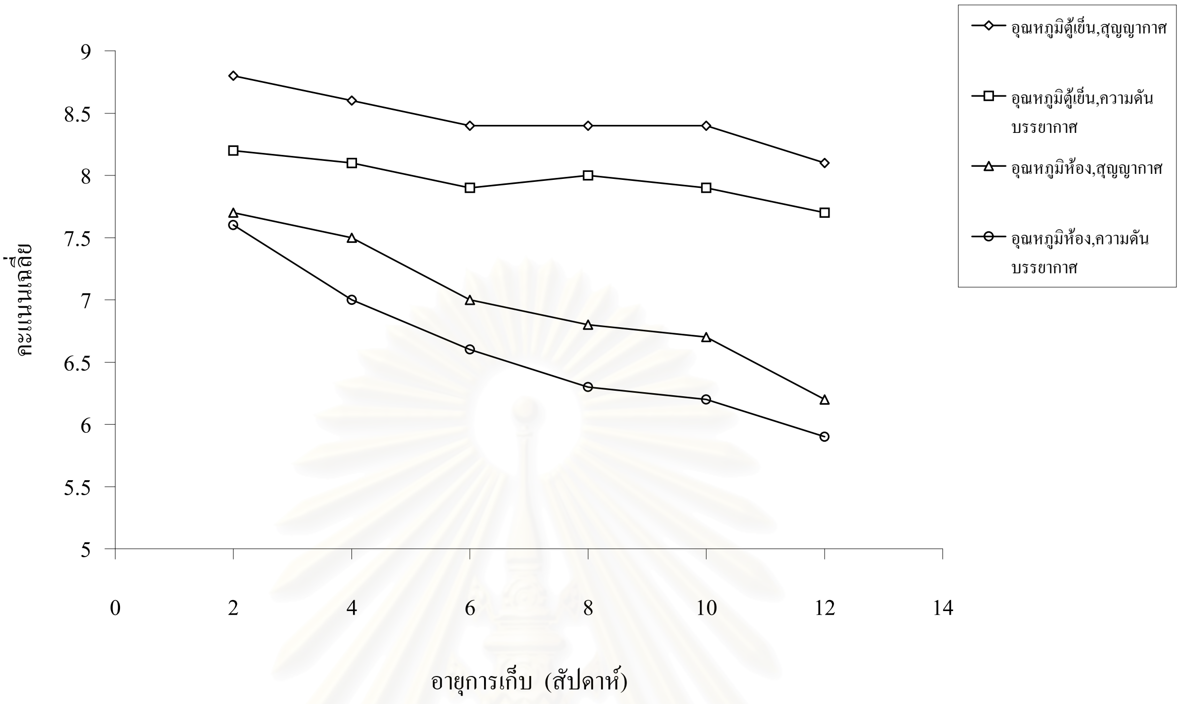
รูปที่ 4.10 ค่า log ของจุลินทรีย์ทั้งหมดของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ แบบ Asymmetric Factorial Experiment ขนาด 2 x 2 x 6 ไม่พบ อิทธิพลของอุณหภูมิ สภาวะการเก็บ และอายุการเก็บต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ($P > 0.05$)

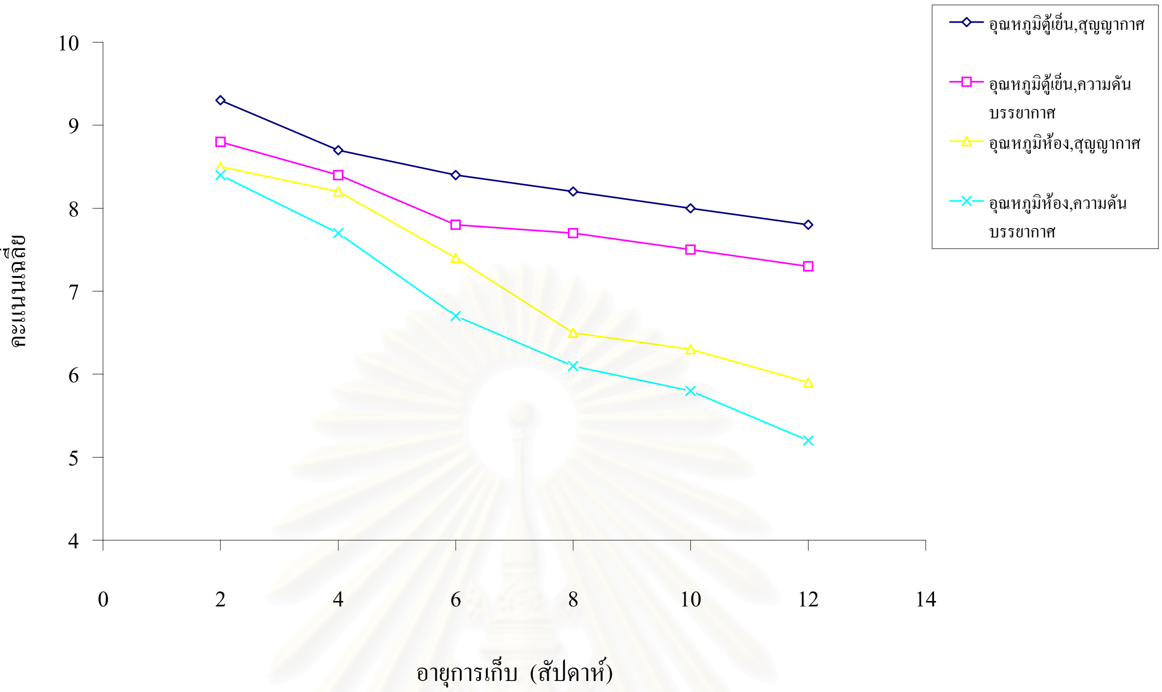
ตารางที่ 4.28 ความสามารถในการพับของตัวอย่างเจลที่เตรียมจากปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน

อุณหภูมิการเก็บ (°C)	สภาวะการเก็บ	อายุการเก็บ (สัปดาห์)	ความสามารถในการพับ
อุณหภูมิตู้เย็น	สุญญากาศ	2	AA
		4	AA
		6	AA
		8	AA
		10	AA
		12	AA
	ความดันบรรยากาศ	2	AA
		4	AA
		6	AA
		8	AA
		10	A
		12	A
อุณหภูมิห้อง	สุญญากาศ	2	AA
		4	AA
		6	A
		8	A
		10	B
		12	C
	ความดันบรรยากาศ	2	AA
		4	AA
		6	A
		8	B
		10	B
		12	C

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

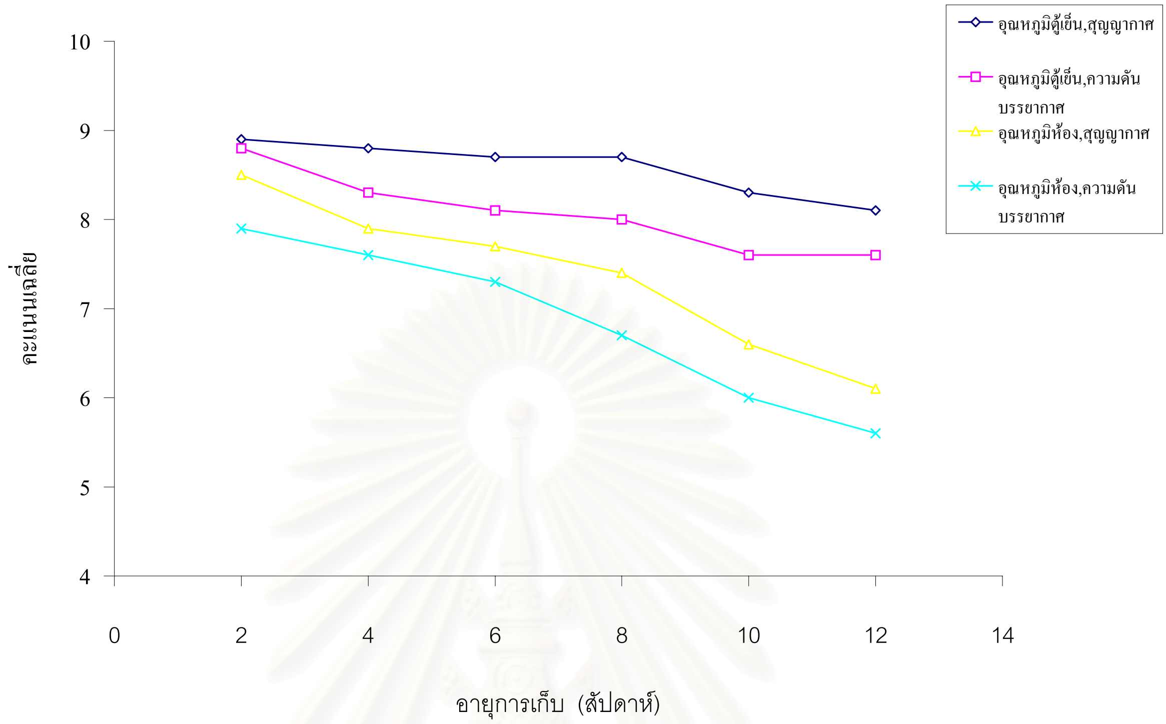


รูปที่ 4.11 คะแนนสีของเจลที่เตรียมจากปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรืออุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน



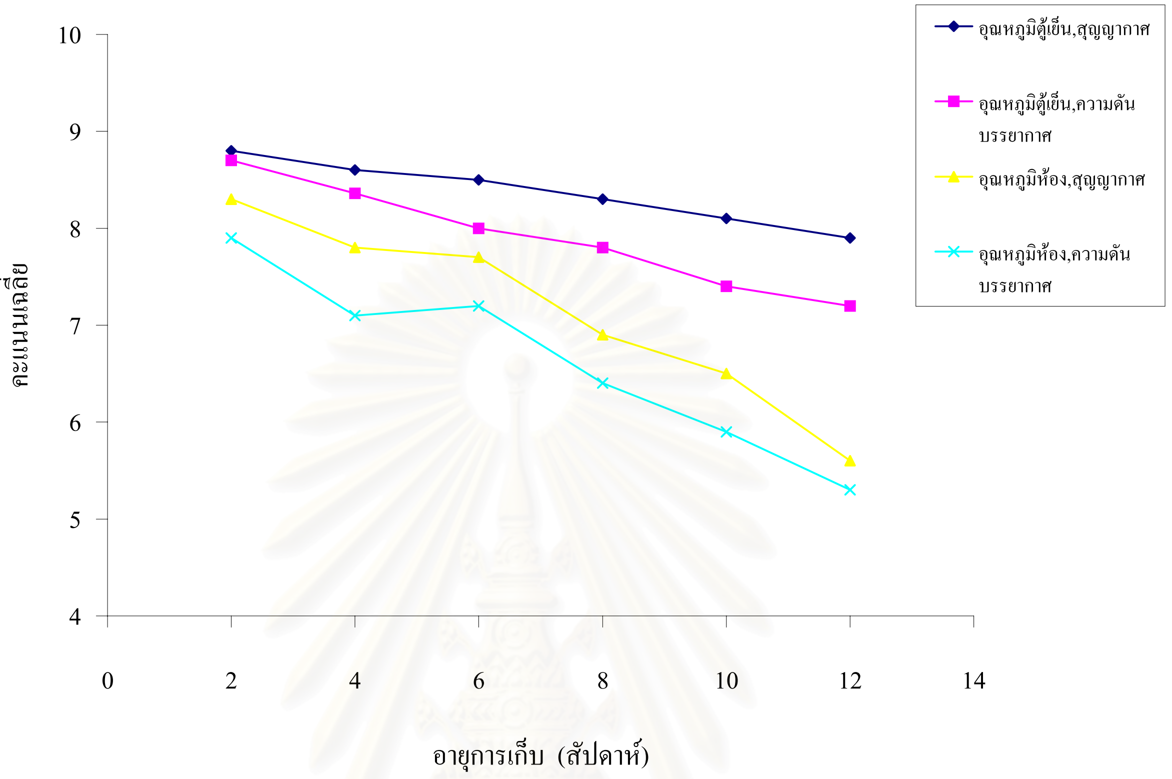
รูปที่ 4.12 คะแนนกลิ่นของเจลที่เตรียมจากปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรืออุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.13 คะแนนลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลที่เตรียมจากปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 $^{\circ}$C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 $^{\circ}$C) เป็นเวลา 3 เดือน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.14 คะแนนการยอมรับรวมของเจลที่เตรียมจากปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนน สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และ การยอมรับรวม ของเจลที่เตรียมจากปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรืออุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน

SOV	df	MS			
		สี	กลิ่น	ลักษณะเนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
อุณหภูมิการเก็บรักษา (A)	1	119.004*	96.267*	88.817*	97.538*
สภาวะการเก็บรักษา (B)	1	10.837*	14.017*	16.017*	12.604*
อายุการเก็บรักษา (C)	5	6.008	28.240*	15.977*	20.294*
AB	1	0.038	0.000	0.000	0.104
AC	5	1.734*	3.617*	2.807*	2.707*
BC	5	0.027	0.167	0.187	0.174
ABC	5	0.148	0.130	0.170	0.254
Block	9	0.760*	1.659*	0.544*	2.234*
error	207	0.298	0.202	0.229	0.195

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ แบบ Asymmetric Factorial Experiment ขนาด 2 * 2 * 6 พบ อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับอายุการเก็บรักษา (AC) และอิทธิพลของสภาวะการเก็บรักษา (B) มีผลต่อคะแนน สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม ($P \leq 0.05$) จึงวิเคราะห์ตามปัจจัยที่มีผลต่อค่าดังกล่าวดังตารางที่ 4.30-4.31

ตารางที่ 4.30 ผลของอายุการเก็บต่อคะแนน สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม ของเจลที่เตรียมจากปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน เมื่อพิจารณาเฉพาะอุณหภูมิและอายุการเก็บรักษา

อุณหภูมิการเก็บ (°C)	อายุการเก็บ (สัปดาห์)	คะแนน			
		สี	กลิ่น	ลักษณะเนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
อุณหภูมิตู้เย็น	2	$8.50^{a} \pm 0.61$	$9.05^{a} \pm 0.60$	$8.85^{a} \pm 0.37$	$8.75^{a} \pm 0.44$
	4	$8.25^{ab} \pm 0.55$	$8.55^{b} \pm 0.51$	$8.55^{ab} \pm 0.51$	$8.50^{ab} \pm 0.51$
	6	$8.15^{abc} \pm 0.49$	$8.10^{cd} \pm 0.55$	$8.40^{bc} \pm 0.50$	$8.35^{abc} \pm 0.49$
	8	$8.20^{ab} + 0.62$	$7.95^{de} \pm 0.51$	$8.35^{bd} + 0.49$	$8.05^{cd} \pm 0.51$
	10	$8.15^{abc} \pm 0.59$	$7.75^{de} \pm 0.79$	$7.95^{cde} \pm 0.60$	$7.75^{de} \pm 0.72$
	12	$7.90^{bc} \pm 0.72$	$7.55^{e} \pm 0.51$	$7.85^{de} \pm 0.67$	$7.55^{e} \pm 0.76$
อุณหภูมิห้อง	2	$7.65^{cd} \pm 0.49$	$8.45^{bd} \pm 0.51$	$8.20^{bcd} \pm 0.52$	$8.10^{bcd} \pm 0.45$
	4	$7.25^{de} \pm 0.55$	$7.95^{de} \pm 0.51$	$7.75^{de} \pm 0.44$	$7.45^{e} \pm 0.51$
	6	$6.80^{ef} \pm 0.52$	$7.05^{f} \pm 0.60$	$7.50^{e} \pm 0.51$	$7.45^{e} \pm 0.60$
	8	$6.55^{f} \pm 0.76$	$6.30^{g} \pm 0.47$	$7.05^{f} \pm 0.60$	$6.65^{f} \pm 0.75$
	10	$6.45^{fg} \pm 0.60$	$6.05^{g} \pm 0.51$	$6.30^{g} \pm 0.73$	$6.20^{g} \pm 0.52$
	12	$6.00^{g} \pm 0.60$	$5.55^{h} \pm 0.60$	$5.85^{h} \pm 0.59$	$5.45^{h} \pm 0.51$

a,b,…,h ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและอายุการเก็บรักษาต่อคะแนน สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และ การยอมรับรวม ของเจลที่เตรียมจากปลาผง พบว่า เจลที่เตรียมจากปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นมีคะแนนด้าน สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และ การยอมรับรวม สูงกว่าเจลที่เตรียมจากปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องที่เวลาเก็บเดียวกัน และเจลที่เตรียมจากปลาผงที่เก็บทั้ง 2 อุณหภูมิมีคะแนนในด้านต่างๆ ลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.31 ผลของอายุการเก็บต่อคะแนน สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของเจลที่เตรียมจากปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของสภาวะการเก็บรักษา

สภาวะการเก็บ	คะแนนเฉลี่ย			
	สี	กลิ่น	ลักษณะเนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
สุญญากาศ	$7.70^{a} \pm 0.86$	$7.77^{a} \pm 1.11$	$7.96^{a} \pm 0.98$	$7.75^{a} \pm 1.23$
ความดันบรรยากาศ	$7.23^{b} \pm 0.96$	$7.28^{b} \pm 01.18$	$7.46^{b} \pm 1.00$	$7.29^{b} \pm 1.15$

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

จากตารางดังกล่าว พบว่า เจลที่เตรียมจากปลาผงที่เก็บในสภาวะสุญญากาศได้รับคะแนนด้าน สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และ การยอมรับรวม สูงกว่าเจลที่เตรียมจากปลาผงที่เก็บในสภาวะความดันบรรยากาศ

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 วิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปลาทรายแดง ดังตารางที่ 4.1 พบ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า คาร์โบไฮเดรต และ สัดส่วนของปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือต่อโปรตีนทั้งหมด ร้อยละ 79.84, 15.89, 2.78, 0.98, 0.51 และ 48.80 ตามลำดับ ผลดังกล่าวใกล้เคียงกับองค์ประกอบของปลาทรายแดงซึ่งวิเคราะห์โดย Holland, Brown, และ Buss (1993) ซึ่งรายงานว่าปลาทรายแดงมี ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และ คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 78.10, 18.40, 2.70, 0.80 และ 0 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ การที่ปลาทรายแดงมีปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือร้อยละ 48.80 โดยน้ำหนักของโปรตีนทั้งหมด และปริมาณไขมันร้อยละ 2.78 โดยน้ำหนัก นั้นนับว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการนำมาผลิตซูริมิ โดย Roussel และ Cheftel (1988) กล่าวว่า วัตถุดิบที่นำมาผลิตซูริมิควรมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 2-10 โดยน้ำหนัก จึงมีการนำปลาทรายแดงมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อผลิตซูริมิ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจล ได้แก่ ลูกชิ้น ปลาเส้น (ผ่องเพ็ญ รัตตกุล, 2532) และด้วยเหตุนี้จึงเลือกใช้ปลาชนิดนี้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตปลาผง เพราะทั้งการผลิตปลาผงและซูริมิ มีวัตถุประสงค์สำคัญเหมือนกัน คือเนื้อปลาที่ได้ต้องใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจลได้

เมื่อพิจารณาคุณภาพด้านความสดของปลาทรายแดง โดยวิเคราะห์ คุณภาพทางกายภาพ (โดยการตรวจพินิจ) และ คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่า TVB, TMA และ ค่าความเป็นกรดด่าง ดังตารางที่ 4.2 และ 4.3 พบปลามี ลูกตาใส เหงือกสีแดงสด ผิวหนังเป็นมันเงา เนื้อแน่นไม่นุ่มตามแรงมือกด ซึ่งสอดคล้องกับข้อกำหนดลักษณะปลาสด โดย Fishery Technological Development Division (1981) ส่วนคุณภาพทางเคมีพบว่าปลาทรายแดงที่ใช้ มีค่า TVB 17.54 mg/100 g TMA 5.62 mg/100 g และ ค่าความเป็นกรดด่าง 6.75 ซึ่ง TVB คือ ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด การหาค่า TVB เป็นการตรวจค่ารวมของปริมาณ TMA, dimethylamine (DMA) และ แอมโมเนีย (Connell, 1975) ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะเกิดขึ้นเมื่อปลาเริ่มเสื่อมคุณภาพ จากปฏิกิริยาของเอนไซม์ในตัวปลาและเอนไซม์จากจุลินทรีย์ ค่า TVB และ TMA จึงเป็นดัชนีในการวัดความสดของเนื้อปลา (นงลักษณ์ สุทธิวนิช, 2531) โดยค่า TVB จะสามารถบ่งชี้ความสดได้ดีกว่า เพราะการวัดค่า TVB จะวัดจากปริมาณสารหลายๆ ชนิดข้างต้น จึงมีโอกาสตรวจพบได้มากกว่าการวัดปริมาณ TMA เพียงชนิดเดียว นอกจากนี้การวัดปริมาณ

TMA ยังมีข้อจำกัดที่สามารถตรวจพบได้เฉพาะในปลาทะเลเท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์คุณภาพด้านความสดของปลาทะเล โดย Uchiyama (1978) ซึ่งกล่าวไว้ว่าปลาทะเลที่มีคุณภาพด้านความสดอยู่ในเกณฑ์ดีพอที่จะใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจลนั้นควรมีค่า TVB, TMA และ ค่าความเป็นกรดด่าง อยู่ในช่วง 6-20 mg/100 g, 0-10 mg/100 g และ 6.4-6.8 ตามลำดับ จึงอาจกล่าวได้ว่าปลาทรายแดงที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีคุณภาพด้านความสดเหมาะสมที่จะใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตปลาผงซึ่งใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจลเช่นกัน

5.2 ล้างและวิเคราะห์เนื้อปลาบด

การล้างเนื้อปลามีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ เพื่อ กำจัด sarcoplasmic proteins และ ไขมันบางส่วนออกไป รวมทั้งเป็นการปรับปรุงสีของเนื้อปลาบดให้ขาวขึ้น เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบของเนื้อปลาบดก่อนและหลังล้าง ดังตารางที่ 4.1 และ 4.4 พบว่าเนื้อปลาบดก่อนล้างซึ่งมีปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือเป็นร้อยละ 48.80 โดยน้ำหนักของโปรตีนทั้งหมด นั้นจะมีสารดังกล่าวเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 70.00 เมื่อผ่านการล้าง เนื่องจากเมื่อผ่านการล้างเนื้อปลาจะมีปริมาณโปรตีนทั้งหมดลดลง เพราะโปรตีนที่ละลายในน้ำถูกสกัดออกไป ในขณะที่ปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือยังมีอยู่ในสัดส่วนเดิม ปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือต่อโปรตีนทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นการล้างยังทำให้ปริมาณไขมันซึ่งไม่เป็นที่ต้องการสำหรับผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจลลดลงจากร้อยละ 2.78 เป็น 0.40 อีกด้วย มีรายงานว่าไขมันขัดขวางการเรียงตัวของ myosin ทำให้โครงสร้างร่างแหเกิดได้ยาก (Lanier, 2000) เนื่องจากในกระบวนการเกิดเจลจะต้องใช้ความร้อนเพื่อให้ส่วน globular head ของ myosin คลายตัวและหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำออกมา และเกิดการรวมตัวกันเกิดเป็นโครงสร้างร่างแหในที่สุด แต่ถ้าหากมีไขมัน ไขมันจะไปขัดขวางการรวมตัวของหมู่ที่ไม่ชอบน้ำดังกล่าว โดยหมู่ที่ไม่ชอบน้ำของไขมันจะไปรวมตัวกับหมู่ที่ไม่ชอบน้ำของ myosin แทนจึงเป็นการขัดขวางการเกิดโครงสร้างร่างแห เป็นผลให้เจลที่ได้ไม่แข็งแรง (Shimizu, Toyohara และ Lanier, 1992) เนื้อปลาบดที่ได้จึงเหมาะสำหรับนำไปผลิตปลาผง Uno และ Nakamura (1958) พบว่า ซูริมิที่ผลิตจากเนื้อปลาบดที่ผ่านการล้างและไม่ล้าง มีค่า gel strength 650 และ 350 g . cm ตามลำดับ นอกจากนั้นการล้างยังช่วยปรับปรุงสีของเนื้อปลาบดอีกด้วย Lin และ Chen (1989) และ Wimmer, Sebranek และ Mckeith (1993) รายงานว่า การล้างมีผลต่อการกำจัด hemoglobin และ myoglobin ตลอดจนโปรตีนที่ละลายได้ในน้ำ จากการทดลองพบว่า เนื้อปลาบดหลังล้างมีค่าความขาว (L*) เพิ่มขึ้น และ ค่าสีแดง (a*) ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Chen, Chow, และ Ochiai (1999) ซึ่งผลิตซูริมิจากปลา horse mackerel พบว่าการล้างมีผลช่วยเพิ่มความสว่าง (L*) และลดค่าสีแดง (a*) ของผลิตภัณฑ์อย่างชัดเจน ขณะที่ค่าสีเหลือง (b*) ไม่เปลี่ยนแปลง

5.3 เตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้ง

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาปริมาณของแข็งที่เหมาะสมในการเตรียม slurry ของเนื้อปลาบด เพื่อปรับให้เนื้อปลามีรูปแบบเหมาะสมสำหรับการทำแห้งแบบพ่นกระจาย โดยพิจารณาเลือกภาวะที่เหมาะสมจากปริมาณผลผลิต และ เวลาในการทำแห้ง ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.7

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นว่าปริมาณของแข็งมีผลต่อเวลาในการทำแห้งและปริมาณผลผลิต ($P \leq 0.05$) โดย slurry ที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 40 โดยน้ำหนักใช้เวลาในการทำแห้งมากกว่าตัวอย่างที่มีของแข็งร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ($P \leq 0.05$) ขณะที่ตัวอย่างที่มีของแข็งร้อยละ 10-30 โดยน้ำหนัก ไม่ต่างกัน ซึ่งอธิบายได้ว่า เมื่อ slurry มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นความหนืดจะสูงขึ้นตามไปด้วย (ตารางที่ 4.6) Coulter และ Breene (1966) รายงานว่า ความหนืดของของผสมที่ป้อนเข้าเครื่องมีผลต่อการหมุนเหวี่ยงของหัวฉีดและขนาดอนุภาคที่ได้เป็นสัดส่วนตรงกับรากที่สองของความหนืด (Seltzer และ Settlemeyer, 1949) แต่ในระหว่างการทำแห้งจำเป็นจะต้องควบคุมอัตราการป้อนให้คงที่ที่ 1 ลิตรต่อชั่วโมง เพื่อให้สัมพันธ์กับประสิทธิภาพของหัวฉีดและความดันลมในการหมุนเหวี่ยง จนสามารถฉีดพ่น slurry ออกมาเป็นละอองฝอยได้ เพราะการทำแห้งแบบพ่นกระจายนี้ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำให้ละอองฝอยมีขนาดเล็ก เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับพลังงานความร้อนและส่งผลให้การระเหยของน้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ แต่เมื่อ slurry มีความหนืดสูงเกินเกณฑ์ที่พอดี ละอองที่ฉีดพ่นออกมาจะมีขนาดใหญ่ พื้นที่ผิวในการสัมผัสกับพลังงานความร้อนลดลง ประสิทธิภาพในการระเหยน้ำออกจึงลดลง ทำให้ต้องใช้เวลาในการทำแห้งนานขึ้น

เมื่อพิจารณาปริมาณผลผลิต จากการทดลองพบว่า ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นตามปริมาณของแข็งที่สูงขึ้นจนปริมาณของแข็งเป็นร้อยละ 40 ปริมาณผลผลิตจึงลดลง อธิบายได้ว่า slurry ที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 10-30 นั้น มีความหนืดเหมาะกับประสิทธิภาพของหัวฉีดพ่นและความดันลมในการหมุนเหวี่ยง จึงสามารถฉีดพ่นออกมาเป็นละอองฝอยที่มีขนาดเล็ก พื้นที่ผิวในการสัมผัสกับพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้น และส่งผลให้การระเหยของน้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ปริมาณปลาผงที่ติดตามห้องทำแห้งและท่อจึงน้อย ปริมาณผลผลิตที่ได้จึงสูง ส่วน slurry ที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก จะมีความหนืดสูงเกินกว่าประสิทธิภาพของหัวฉีดพ่นและความดันลมของเครื่องทำแห้งจะสามารถฉีดพ่นออกมาเป็นละอองฝอยขนาดเล็กได้ ส่งผลให้ละอองฝอยมีขนาดใหญ่ พื้นที่ผิวในการสัมผัสกับพลังงานความร้อนจึงลดลง การระเหยของน้ำจึงมีประสิทธิภาพลดลงและความชื้นของปลาผงจะสูงขึ้น โดยเมื่อความชื้นสูงร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก โอกาสที่จะติดตามห้องทำแห้งและท่อมีมากขึ้น (Master, 1979) ปริมาณผลผลิตจึงต่ำลง แต่

อย่างไรก็ตาม หากมีเครื่องทำแห้งที่มีประสิทธิภาพของหัวฉีดและความดันลมในการหมุนเหวี่ยงสูงกว่านี้ ก็เตรียม slurry ให้มีปริมาณของแข็งสูงกว่านี้ได้ และปริมาณผลผลิตที่ได้อาจเพิ่มขึ้น

จากผลสรุปทั้งเวลาในการทำแห้ง และ ปริมาณผลผลิต จึงเลือกเตรียม slurry ของเนื้อปลาบด ให้มีปริมาณของแข็งเป็นร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก เนื่องจากที่ภาวะนี้ให้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุด และ ใช้เวลาในการทำแห้งไม่นานเกินไป

5.4 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งแบบพ่นกระจาย ที่ขนาดของห้องทำแห้ง มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 62 cm สูง 80 cm มีอุปกรณ์ส่งตัวอย่างเข้าในห้องทำแห้งแบบหัวเหวี่ยงด้วยความเร็ว 18,000 rpm ความดันลม 5 kg/cm^2 และ ชนิดของการสัมผัสระหว่างตัวอย่างที่ทำแห้งกับลมร้อนเป็นแบบไหลในทิศทางเดียวกัน โดยแปรอุณหภูมิลมร้อนเข้าเป็น 3 ระดับ คือ 150, 170 และ 190 $^{\circ}C$ (อุณหภูมิลมร้อนออกที่วัดได้ 70, 90 และ 110 $^{\circ}C$ ตามลำดับ) และแปรปริมาณสารที่ใช้ลดการแปลงสภาพของโปรตีน คือ sucrose เป็นร้อยละ 0, 3 และ 5 ประเมินคุณภาพโดยวัด ปริมาณความชื้น ปริมาณผลผลิต ความขาว ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความจุอิมัลชั่น gel strength และ ความสามารถในการพับของปลาผงที่ได้ ผลการวัดดังแสดงในตารางที่ 4.8-4.14

ปริมาณความชื้น (ตารางที่ 4.9) จากการทดลองพบ อิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนเข้าและปริมาณ sucrose ต่อปริมาณความชื้น ($P \leq 0.05$) แต่ไม่พบอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อปริมาณความชื้น ($P > 0.05$) โดยเมื่ออุณหภูมิลมร้อนเข้าสูงขึ้น ปริมาณความชื้นของปลาผงลดลง ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากการทำแห้งจะต้องควบคุมอัตราการป้อนให้คงที่ที่ 1 ลิตรต่อชั่วโมง เพื่อให้สัมพันธ์กับประสิทธิภาพของหัวฉีดพ่นและความดันลมในการหมุนเหวี่ยง จนสามารถฉีดพ่น slurry ออกมาเป็นละอองฝอยได้ และละอองฝอยที่ได้จะมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับพลังงานความร้อนเท่ากัน เมื่ออุณหภูมิลมร้อนเข้าสูงขึ้น พลังงานความร้อนภายในห้องทำแห้งเพิ่มขึ้น ผลต่างของอุณหภูมิลมร้อนกับอุณหภูมิของน้ำภายในละอองฝอยมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย การระเหยของน้ำจึงเกิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เมื่อปริมาณ sucrose เพิ่ม ความชื้นของปลาผงเพิ่มขึ้น เนื่องจาก sucrose สามารถละลายน้ำและแขวนตัวอยู่ในรูปสารละลาย เมื่อ sucrose เพิ่ม slurry จะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ซึ่งสารละลายเมื่อเพิ่มความเข้มข้นจุดเดือดจะยิ่งสูงขึ้น (Reiser, Birch และ Mathlouthi, 1995) และเมื่อให้พลังงานความร้อนคงที่ค่าหนึ่ง แต่ยิ่งเพิ่มความเข้มข้นของสาร

ละลาย จะมีผลให้ผลต่างของอุณหภูมิลมร้อนกับอุณหภูมิของน้ำในละอองฝอยของสารละลายลดลง ส่งผลให้การระเหยของน้ำเกิดขึ้นน้อยลง ปริมาณความชื้นจึงเพิ่มขึ้น

ปริมาณผลผลิต (ตารางที่ 4.12) จากการทดลองพบอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิลมร้อนเข้าและปริมาณ sucrose ต่อปริมาณผลผลิต ($P \leq 0.05$) และเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิลมร้อนเข้าที่ระดับเดียวกัน ปริมาณผลผลิตมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่ม sucrose ($P \leq 0.05$) จากผลที่ได้อธิบายได้ว่า เมื่อเพิ่ม sucrose นั่นคือปริมาณของแข็งใน slurry เพิ่มขึ้น ซึ่ง sucrose จะนำน้ำส่วนหนึ่งมาละลายตัวเอง จึงทำให้มีปริมาณน้ำที่ต้องระเหยออกจากหยดของเหลวที่ถูกพ่นออกมาจากหัวฉีดพ่นมีน้อยลง ดังนั้นจึงมีอัตราการทำแห้งที่สูงขึ้น ผลผลิตที่ได้จึงเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาการเติม sucrose ที่ระดับเดียวกัน เมื่ออุณหภูมิลมร้อนเข้าสูงขึ้น ปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) เนื่องจากเมื่อ sucrose เท่ากัน นั่นคือปริมาณของแข็งและปริมาณน้ำที่ต้องระเหยใน slurry มีปริมาณเท่ากัน ดังนั้นจึงต้องใช้พลังงานความร้อนในการระเหยน้ำที่เท่ากัน ถึงแม้ว่าจะมีพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นก็ตาม จึงมีผลให้ปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกัน

ความขาว (ตารางที่ 4.12) จากการทดลองพบอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิลมร้อนเข้าและปริมาณ sucrose ต่อค่าความขาว ($P \leq 0.05$) โดยเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิลมร้อนเข้าที่ระดับเดียวกัน ความขาวจะยิ่งเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ sucrose ($P \leq 0.05$) จากผลที่ได้อธิบายได้ว่า เนื่องจาก ใน slurry ก่อนทำแห้ง sucrose จะละลายน้ำและคงสภาพอยู่ในรูปสารละลาย แต่เมื่อผ่านการทำแห้งน้ำจากสารละลาย sucrose จะถูกดึงออกไป sucrose จะเปลี่ยนกลับมาอยู่ในรูปของของแข็ง ซึ่งโครงสร้างภายในจะไม่เป็นระเบียบ (amorphous) ซึ่งโครงสร้างเช่นนี้เมื่อส่องด้วยแสง จะมีแสงสะท้อนกลับมามาก โดยแสงที่สะท้อนกลับมาจะแสดงถึงความสว่าง ซึ่งถ้ามีแสงสะท้อนกลับมามาก จะสว่างมาก โดยเมื่อมีความสว่างมากจะส่งผลให้ความขาวเพิ่มขึ้น (Shaw, 1992) ดังนั้นเมื่อ sucrose เพิ่ม ปลาผงจึงมีค่าความขาวสูงขึ้น เมื่อพิจารณาการเติมปริมาณ sucrose ที่ระดับเดียวกัน เมื่ออุณหภูมิลมร้อนเข้าสูงขึ้น ปลาผงมีความขาวลดลง เนื่องจาก พลังงานความร้อน จะช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของ sucrose (caramelization) (Clarke, 1995) จึงทำให้ปลาผงมีความขาวลดลง

ความสามารถในการอุ้มน้ำ (ตารางที่ 4.13) จากการทดลองพบอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิลมร้อนเข้าและปริมาณ sucrose ต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ ($P \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิลมร้อนเข้าที่ 150 $^{\circ}$C ปลาผงมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ sucrose ($P \leq 0.05$) เนื่องจาก sucrose จะเข้าไปแทนที่โมเลกุลของน้ำโดยหมู่ hydroxyl ของ sucrose จะ

เกิดพันธะ hydrogen กับหมู่ carbonyl และ amino ของโปรตีน ดังนั้นจึงป้องกันการเกิดการยุบตัว (collapse) ของโครงสร้างโปรตีนดังกล่าว (Aguilera และ Karel, 1997) ซึ่งการยุบตัวจะทำให้โครงสร้างดั้งเดิมของโปรตีนแตกออกจากกัน และลักษณะเช่นนี้เองที่ทำให้โปรตีนแปลงสภาพ (Niki และคณะ, 1992) Carpenter, Crowe และ Arakawa (1990) รายงานว่าน้ำตาลโมเลกุลคู่สามารถช่วยรักษาโครงสร้างตามธรรมชาติของโปรตีน และ กิจกรรม (activity) ของเอนไซม์ ในระหว่างการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและการทำแห้งแบบพ่นกระจาย โดยน้ำตาลจะเข้าไปแทนที่โมเลกุลของน้ำ แล้วเกิดพันธะ hydrogen กับหมู่ที่มีขั้วบนผิวของโปรตีน จากเหตุผลดังกล่าวแสดงว่า sucrose มีผลทำให้การแปลงสภาพของโปรตีนลดลง ประจุอิสระบนสาย polypeptides จึงมีมากพอที่จะจับ (bind) กับโมเลกุลของน้ำ (Price และ Schweigert, 1971) แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนเข้าเป็น 170 และ 190 $^{\circ}$C การเติม sucrose ร้อยละ 3 และ 5 โดยน้ำหนัก ไม่มีผลแตกต่างกันต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของปลาผง ($P>0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิที่สูงขึ้นในระดับดังกล่าวมีผลมากกว่าอิทธิพลของปริมาณ sucrose เนื่องจาก เมื่ออุณหภูมิลมร้อนเข้าสูงขึ้น เป็นผลให้พลังงานความร้อนเพิ่มขึ้น พลังงานดังกล่าวจะทำให้ globular head ของ myosin คลายตัวและหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำออกมา ทำให้ที่ผิวของโมเลกุลโปรตีนมีสัดส่วนโดยน้ำหนัก (mass ratio) ของส่วนที่ไม่ชอบน้ำมากกว่าส่วนที่ชอบน้ำ จึงทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงด้วย (Damodaran, 1996) ผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ ดวงฤทัย กฤษทวี (2536) ซึ่งผลิตพลาสมาผงโดยการทำแห้งแบบพ่นกระจาย และพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้าสูงขึ้น ความสามารถในการอุ้มน้ำของพลาสมาผงลดลง ดังนั้นปลาผงที่ทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150 $^{\circ}$C และเติม sucrose ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก จึงมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุด เพราะในภาวะนี้ปริมาณ sucrose ที่ใช้สามารถเข้าไปแทนที่น้ำที่ระเหยไปโดยพลังงานความร้อนที่ได้รับ จึงไม่มีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนและมีผลต่อประจุอิสระที่ผิวของโปรตีนน้อยที่สุด ขณะที่ปลาผงที่ทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 170 และ 190 $^{\circ}$C โดยไม่เติม sucrose มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำสุด เพราะในภาวะนี้ไม่มี sucrose สำหรับไปแทนที่น้ำ รวมทั้งมีการใช้อุณหภูมิสูงร่วมด้วย จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีน ทำให้ประจุอิสระที่ผิวของโปรตีนลดลง ความสามารถในการอุ้มน้ำจึงลดลงตามไปด้วย

ความจุอิมัลชั่น (ตารางที่ 4.13) จากการทดลองพบอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิลมร้อนเข้าและปริมาณ sucrose ต่อความจุอิมัลชั่น ($P\leq0.05$) โดยเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิลมร้อนเข้าที่ระดับเดียวกัน ความจุอิมัลชั่นจะสูงขึ้นเมื่อปริมาณ sucrose เพิ่มขึ้น ($P\leq0.05$) ซึ่ง Park และ Lanier (1987) กล่าวว่า กลไกการแปลงสภาพของโปรตีน เกิดเพราะมีการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์ แล้วการเปลี่ยนแปลงโครงร่าง (protein conformation) ของโปรตีนจึงเกิดตามมา ดังนั้นในการผลิตปลาผง โดยเติม sucrose ลงไปเพื่อแทนที่โมเลกุลของน้ำ ทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

ของโครงสร้างโปรตีน ดังเหตุผลที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงไม่มีผลต่อสมบัติด้านการลดแรงตึงผิว (ความจุอิมัลชั่น) ของโปรตีน เพราะเมื่อโครงสร้างของโปรตีนเปลี่ยนจะทำให้เสถียรภาพของสาย polypeptides เปลี่ยนแปลงไป และมีผลต่อการกระจายของส่วนที่ชอบและไม่ชอบน้ำบริเวณผิวของโปรตีน (Damodaran, 1996) ซึ่งความจุอิมัลชั่นเกิดจากการที่โปรตีนมีผลในการช่วยลดแรงตึงผิวบริเวณผิวหน้าน้ำมันและน้ำ โดยจะเกิดฟิล์มบางๆ ล้อมรอบหยดน้ำมันไว้ไม่ให้เกิดการรวมตัวใหม่ ขั้นตอนการเกิดฟิล์มโปรตีน คือ โมเลกุลของโปรตีนกระจายตัวและแพร่สู่ส่วนผิวหน้าของน้ำมันและน้ำ ส่วนของโมเลกุลที่ไม่ชอบน้ำจับกับน้ำมันเกิดเป็นฟิล์มบางล้อมรอบหยดน้ำมันไว้ ส่วนที่ชอบน้ำจับกับน้ำซึ่งอยู่ล้อมรอบหยดน้ำมัน (Kinsella, 1979) เมื่อพิจารณาที่ปริมาณ sucrose ระดับเดียวกัน เมื่ออุณหภูมิลมร้อนเข้าเพิ่มขึ้น ผลคือพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งพลังงานความร้อนทำให้โปรตีนเกิดการแปลงสภาพจนอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับโครงสร้างของโมเลกุลโปรตีน ซึ่งจะเป็นผลให้เกิดการเสียสมดุลย์ของอัตราส่วนของส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของโมเลกุลโปรตีน (Whitaker และ Tannenbaum, 1977) ค่าความจุอิมัลชั่นจึงลดลง ดังนั้นปลาผงที่ทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150 $^{\circ}$C และเติม sucrose ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีความจุอิมัลชั่นสูงสุด เพราะในภาวะนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงโครงร่างของโปรตีนน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับปลาผงที่ทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 170 และ 190 $^{\circ}$C โดยไม่เติม sucrose ซึ่งมีความจุอิมัลชั่นต่ำสุด

gel strength (ตารางที่ 4.13) จากการทดลองพบอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิลมร้อนเข้าและปริมาณ sucrose ต่อค่า gel strength ($P \leq 0.05$) โดยเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิลมร้อนเข้าที่ระดับเดียวกัน ค่า gel strength ของตัวอย่างเจลสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ sucrose ($P \leq 0.05$) เนื่องจาก sucrose มีผลให้การแปลงสภาพของโปรตีนลดลง ดังเหตุผลที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้มีประจุอิสระบนสาย polypeptides มากพอที่จะจับกับโมเลกุลของน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำของปลาผงจึงสูงขึ้น ซึ่ง Lin และ Zayas (1987) กล่าวว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำเป็นสมบัติสำคัญของโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจล เนื่องจากเมื่อความสามารถในการอุ้มน้ำสูง นั่นแสดงว่าโปรตีนยังสามารถรักษาโครงสร้างตามธรรมชาติไว้ได้ ดังนั้นการสกัดโปรตีนที่ละลายในเกลือซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการเกิดเจลจะเกิดได้ง่าย จึงได้โปรตีนในปริมาณมาก เมื่อให้ความร้อน และเกิดเป็นโครงสร้างร่างแหจำนวนมาก ความแข็งแรงของเจลจึงสูงขึ้น จึงมีผลให้ค่า gel strength ของเจลสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งค่า gel strength เป็นค่าที่บอกถึงสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจล ซึ่งสามารถประเมินได้จากค่าทางกายภาพ คือ ความเค้น (stress) และ ความเครียด (strain) ที่ให้กับตัวอย่างเจลแล้วทำให้ตัวอย่างเจลแตกออกจากกัน โดยค่าความเค้นจะบอกถึงแรงต้านของเจลในด้านความแน่น (firmness) ส่วนค่าความเครียดจะบอกถึงความสามารถในการยึดเกาะของเจล (cohesiveness) นอกจากนี้ พบว่า เจลที่เตรียมจากปลาผงที่ทำแห้งที่อุณหภูมิ 150 $^{\circ}$C เติม

sucrose ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ให้ค่า gel strength สูงกว่า เจลที่เตรียมจากปลาผงที่ทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 170 $^{\circ}$C เติม sucrose ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ($P \leq 0.05$) ที่เป็นเช่นนี้แสดงว่าอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของเจลมากกว่า sucrose เนื่องจาก เมื่ออุณหภูมิลมร้อนเข้าสูงขึ้น ผลคือ พลังงานความร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งพลังงานความร้อนนี้ทำให้เกิดการแปลงสภาพของโปรตีน เป็นผลให้ประจุอิสระบนสาย polypeptides เหลือน้อยลง การสกัดโปรตีนที่ละลายในเกลือจึงทำได้ยาก เนื่องจากกระบวนการสกัดโปรตีนที่ละลายในเกลือนั้น โซเดียมอิออน (Na^{+}) และ คลอไรด์อิออน (Cl^{-}) จะจับกับประจุบนสาย polypeptides ทำให้สาย polypeptides คลายตัวและกระจายตัวออกมาอยู่ในน้ำเกิดเป็นสารละลายโปรตีนที่เรียกว่าโซล (sol) ซึ่งเมื่อให้ความร้อนโซลจะแปลงสภาพไปเป็นเจล แต่ถ้าหากเหลือประจุบนสาย polypeptides น้อย โปรตีนที่สกัดได้จะมีปริมาณน้อยลง ส่งผลให้ความแข็งแรงของเจลด้อยลง ค่า gel strength ของเจลจึงต่ำลง ดังนั้นเจลที่เตรียมจากปลาผงที่ทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150 $^{\circ}$C เติม sucrose ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีค่า gel strength สูงสุด เพราะในภาวะนี้จะมีผลต่อการแปลงสภาพของโปรตีนน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเจลที่เตรียมจากปลาผงที่ทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 190 $^{\circ}$C โดยไม่เติม sucrose ซึ่งมีค่า gel strength ต่ำสุด ดังนั้นการทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150 $^{\circ}$C เติม sucrose ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก โปรตีนจึงมีประจุอิสระมากพอที่จะจับกับโมเลกุลของน้ำ จึงป้องกันการเกิดพันธะที่ยึดกันแน่นของโมเลกุลโปรตีน การสกัดโปรตีนที่ละลายในเกลือจึงทำได้ง่ายและสกัดได้ในปริมาณมาก ผลคือ เกิดโครงสร้างร่างแหจำนวนมาก ความแข็งแรงของเจลจึงสูง

ความสามารถในการพับ (ตารางที่ 4.14) เป็นเกณฑ์สำหรับประเมินคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเจลจากซูริมิอีกวิธีหนึ่ง (Lanier, 1992) ซึ่งการวัดคุณภาพเจลโดยการพับจะพิจารณาความสามารถในการยึดเกาะของเจล โดยเจลที่มีความยึดเกาะตัวกันดีจะมีความสามารถในการพับสูง ถ้าพิจารณาค่า gel strength ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่านี้มาจากแรงต้านของเจลในด้านความแน่นและความสามารถในการยึดเกาะของเจล ดังนั้นความสามารถในการพับจะมีแนวโน้มไปในทางเดียวกับ gel strength แต่ความแตกต่างของวิธีการวัดคุณภาพเจลของทั้งสองวิธี คือ ความสามารถในการพับแยกความแตกต่างของเจลที่มีคุณภาพต่ำและคุณภาพสูงได้ แต่ไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างเจลที่มีคุณภาพดีกับดีมากได้ ในขณะที่ gel strength สามารถบ่งชี้ได้

จากเกณฑ์ที่ใช้ประเมินคุณภาพทางกายภาพและสมบัติการใช้ประโยชน์ของปลาผง จึงเลือกภาวะการทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150 $^{\circ}$C และ ปริมาณ sucrose ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ซึ่งภาวะดังกล่าวส่งผลต่อคุณภาพของปลาผงน้อยที่สุด

5.5 คุณภาพเจลจากปลาผงเปรียบเทียบกับเจลที่เตรียมจากปลาบดสด

ขั้นตอนนี้เป็นการประเมินคุณภาพด้าน ความขาว ความสามารถในการอุ้มน้ำ ค่า gel strength ความสามารถในการพับ และ ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้าน สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม ของเจลที่เตรียมจากปลาผงเปรียบเทียบกับปลาบดสด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาว่าสมบัติด้านการเกิดเจลของปลาผงที่ด้อยลง เนื่องจากพลังงานความร้อนมีแนวโน้มอย่างไร เมื่อเปรียบเทียบกับเจลที่เตรียมจากปลาบดสด ซึ่งการเปรียบเทียบจะไม่เติมแป้งมันฝรั่งในตัวอย่างเจล เพราะแป้งมันฝรั่งมีผลในการปรับปรุงสมบัติด้านการเกิดเจล ดังนั้นสมบัติของเจลที่ได้อาจเป็นผลมาจากสมบัติของเจลแป้งมันฝรั่ง ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.16-4.17

จากผลการทดลอง พบว่า สมบัติของเจลจากปลาผงด้านความขาว ความสามารถในการอุ้มน้ำ gel strength และความสามารถในการพับ ด้อยกว่าเจลจากปลาบดสด เนื่องจากพลังงานความร้อนที่โปรตีนได้รับระหว่างการทำแห้ง ทำให้โปรตีนเกิดการแปลงสภาพ โดยความร้อนจะทำให้โปรตีนคลายตัวและหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำออกมาทำให้ผิวของโมเลกุลโปรตีนมีสัดส่วนของส่วนที่ไม่ชอบน้ำมากกว่าส่วนที่ชอบน้ำ มีผลให้ส่วนที่ชอบน้ำบนสายโปรตีนลดลง ความสามารถในการอุ้มน้ำจึงลดลง มีผลให้การสกัดโปรตีนที่ละลายในเกลือเป็นไปได้ยาก เจลที่ได้จากวัตถุดิบดังกล่าวนี้จึงมีความแข็งแรงของเจลที่ด้อยลง เมื่อพิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสแสดงให้เห็นว่าเจลจากปลาผงยังไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ดังนั้นจึงศึกษาชนิดและปริมาณของสารที่นำมาใช้ปรับรุงคุณภาพเจลจากปลาผงในขั้นตอนต่อไป

5.6 ปรับปรุงคุณภาพของเจลจากปลาผง

การทดลองนี้ทำเพื่อพิสูจน์ว่าสมบัติด้านการเกิดเจลของปลาผงที่ด้อยลงจากพลังงานความร้อนที่ได้รับระหว่างการทำแห้งนั้นจะสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้อีกหรือไม่ โดยศึกษาผลการใช้สาร 2 ชนิด คือ แป้งมันฝรั่ง และ เอนไซม์ TGase ซึ่ง แป้งมันฝรั่ง แปรปริมาณเป็นร้อยละ 2, 5, 8 และ 11 โดยน้ำหนัก และ เอนไซม์ TGase แปรปริมาณเป็นร้อยละ 0.01, 0.02, 0.03 และ 0.04 โดยน้ำหนัก ประเมินคุณภาพด้าน ความขาว ความสามารถในการอุ้มน้ำ gel strength ความสามารถในการพับ และ คุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้าน สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม ของเจลที่เตรียมขึ้น ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.18-4.19

การปรับปรุงคุณภาพของเจลจากปลาผงด้วยแป้งมันฝรั่ง พบอิทธิพลของปริมาณแป้งมันฝรั่งต่อค่าความขาว ความสามารถในการอุ้มน้ำ gel strength ความสามารถในการพับ และ การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และ การยอมรับรวม ($P \leq 0.05$) พบว่า เมื่อปริมาณแป้งมันฝรั่งเพิ่มขึ้น ความขาว ความสามารถในการอุ้มน้ำ gel strength และ ความสามารถในการพับของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากในระหว่างการให้ความร้อนในกระบวนการการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจลนี้ แป้งจะดูดซับน้ำและเกิด gelatinization แป้งที่พองตัวจะมีลักษณะใส ส่งผลให้ค่าความขาวของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น เม็ดแป้งที่พองตัวเป็นเจลจะแทรกอยู่ภายในโครงสร้างร่างแหของโปรตีน น้ำที่เม็ดแป้งดูดกลืนไว้ส่งผลให้ปริมาณน้ำในเจลสูงขึ้น ความสามารถในการอุ้มน้ำโดยรวมของผลิตภัณฑ์จึงสูงขึ้น และเจลแป้งเสริมความแข็งแรงให้เจลโปรตีน gel strength จึงเพิ่มขึ้น (Okada, 1985) ความสามารถในการพับจึงสูงขึ้นตามไปด้วย และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านสี พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันฝรั่งผลิตภัณฑ์จะได้คะแนนสูงขึ้น โดยเมื่อเติมแป้งมันฝรั่งร้อยละ 2, 5, 8 และ 11 โดยน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์จะได้คะแนนเป็น 7.60, 7.90, 8.10 และ 8.30 ตามลำดับ ซึ่งคะแนนสีสอดคล้องกับค่าความขาว (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.958) แสดงว่าผู้ชิมเห็นชัดเจนว่าผลิตภัณฑ์มีความขาวเพิ่มขึ้นเมื่อเติมแป้งมันฝรั่งในปริมาณที่สูงขึ้น ด้านกลิ่นรส พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันฝรั่งผลิตภัณฑ์จะได้คะแนนสูงขึ้น โดยเมื่อเติมแป้งมันฝรั่งร้อยละ 2, 5, 8 และ 11 โดยน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์ได้คะแนนเป็น 6.30, 7.10, 7.90 และ 8.30 ตามลำดับ เนื่องจากแป้งที่เติมลงไปในปริมาณมากจะช่วยเจือจางกลิ่นปลาและความเข้มข้นของ sucrose การรับกลิ่นปลาและรับรสของ sucrose จึงลดลง คะแนนกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์จึงเพิ่มขึ้น ด้านลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่า การเติมแป้งมันฝรั่งร้อยละ 2, 5, 8 และ 11 โดยน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์จะได้คะแนนเป็น 4.90, 6.30, 7.50 และ 7.70 ตามลำดับ ซึ่งผลิตภัณฑ์จะได้คะแนนเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันฝรั่ง โดยคะแนนด้านลักษณะเนื้อสัมผัสสอดคล้องกับ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.977) และ gel strength (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.998) แสดงว่าผู้ชิมเห็นชัดเจนว่าลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นเมื่อแป้งมันฝรั่งเพิ่มขึ้น ด้านการยอมรับรวม พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันฝรั่ง จะได้คะแนนด้านการยอมรับรวมสูงขึ้น โดยเมื่อเติมแป้งมันฝรั่งร้อยละ 2, 5, 8 และ 11 โดยน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์จะได้คะแนนเป็น 4.80, 6.10, 7.80 และ 7.90 ซึ่งผู้ชิมจะได้รับอิทธิพลจากสีและกลิ่นรสมากที่สุด

การปรับปรุงคุณภาพของเจลจากปลาผงด้วยเอนไซม์ TGase พบอิทธิพลของปริมาณเอนไซม์ TGase ต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ gel strength ความสามารถในการพับ ($P \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่าความขาว ($P > 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มปริมาณเอนไซม์จากร้อยละ 0.01 เป็น 0.03 โดยน้ำหนัก ความสามารถในการอุ้มน้ำ ค่า gel strength และ ความสามารถในการพับของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากเอนไซม์ TGase ช่วยเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมข้ามระหว่าง glutamine และ lysine ด้วย

พันธะ covalent ทำให้เกิดโครงสร้างร่างแห ซึ่งสามารถอุ้มน้ำอยู่ภายใน โดยน้ำจะเกิดพันธะ hydrogen กับโมเลกุลของโปรตีน ส่งผลให้เจลของผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง และพันธะ covalent ที่ทำให้เกิดการเชื่อมข้ามระหว่าง glutamine และ lysine มีความแข็งแรงสูงไม่สามารถทำลายได้ด้วยพลังงานความร้อนหรือพลังงานกล จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า gel strength สูงขึ้นด้วย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเอนไซม์เป็นร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนัก ความสามารถในการอุ้มน้ำ และค่า gel strength ของผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจากปริมาณเอนไซม์ที่มากทำให้เกิดการเชื่อมข้ามที่มากเกินไป มีผลไปยับยั้งการพัฒนาการเกิดเครือข่ายโครงเจล เจลที่ได้จึงไม่แข็งแรง น้ำจึงถูกปลดปล่อยออกมา ผลคือ ความสามารถในการอุ้มน้ำ และ ค่า gel strength ของผลิตภัณฑ์จึงลดลง แต่เอนไซม์ไม่มีผลในการปรับปรุงความขาวของผลิตภัณฑ์ ค่าความขาวจึงไม่มีความแตกต่างกันในทุกๆระดับของเอนไซม์ เนื่องจากงานวิจัยของ Asagami และคณะ (1995) พบว่า การเติมเอนไซม์ TGase เพื่อปรับปรุงสมบัติการเกิดเจลจากปลา Alaska pollock, white croaker และ bigeye มีข้อจำกัดของเอนไซม์ที่ไม่สามารถใช้ในปริมาณที่สูงมากกว่าร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนักได้ เพราะเมื่อใช้เอนไซม์ในปริมาณมาก ทำให้เกิดการเชื่อมข้ามที่มากเกินไป มีผลไปยับยั้งการพัฒนาการเกิดเครือข่ายโครงเจล จากการทดลองจึงใช้เอนไซม์อยู่ในช่วงร้อยละ 0.01-0.04 ซึ่งใช้ในปริมาณน้อยเกินกว่าที่จะช่วยปรับปรุงด้านความขาวของเจลได้ และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านสี พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเอนไซม์ TGase ผลิตภัณฑ์จะได้คะแนนสีไม่แตกต่างกัน โดยเมื่อเติมเอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.01, 0.02, 0.03 และ 0.04 โดยน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์จะได้คะแนนเป็น 6.90, 7.00, 7.00 และ 7.00 ตามลำดับ ซึ่งคะแนนสีไม่สอดคล้องกับค่าความขาว (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.609) แสดงว่าผู้ชิมไม่สามารถแยกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ในแต่ละระดับแตกต่างกันน้อย ในขณะที่เครื่องมือวัดสีมีความละเอียดมากพอที่จะแยกความแตกต่างได้ ด้านกลิ่นรส พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเอนไซม์ TGase ผลิตภัณฑ์มีคะแนนกลิ่นรสไม่แตกต่างเช่นกัน โดยเมื่อเติมเอนไซม์ร้อยละ 0.01, 0.02, 0.03 และ 0.04 ผลิตภัณฑ์มีคะแนนเป็น 6.10, 6.15, 6.20 และ 6.20 ตามลำดับ เนื่องจากเอนไซม์ที่ใช้มีปริมาณที่น้อย จึงไม่ช่วยเจือจางกลิ่นปลาและความเข้มข้นของ sucrose ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงยังคงได้รับกลิ่นปลาและรสชาติของ sucrose คะแนนกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์จึงต่ำ นอกจากนี้ปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ในแต่ละระดับนั้นแตกต่างกันน้อย ผู้ชิมจึงไม่สามารถแยกความแตกต่างของกลิ่นรสได้ ด้านลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่า เมื่อเติมเอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.01, 0.02, 0.03 และ 0.04 โดยน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์มีคะแนนเป็น 6.80, 7.60, 8.40 และ 7.70 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเอนไซม์เป็นร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคะแนนลดลง เนื่องจากปริมาณเอนไซม์ที่มากเกินไปมีผลไปยับยั้งการพัฒนาเครือข่ายโครงเจล ซึ่งคะแนนด้านลักษณะเนื้อสัมผัสสอดคล้องกับ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.867) และ gel strength (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.956) แสดงว่าผู้ชิมเห็นชัดเจนว่าลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จะดีขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเอนไซม์จากร้อยละ 0.01-0.03 โดยน้ำหนัก

ขณะที่ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จะด้อยลงเมื่อเพิ่มปริมาณเอนไซม์เป็นร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนัก ด้านการยอมรับรวม พบว่า เมื่อเพิ่มเอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.01, 0.02, 0.03 และ 0.04 โดยน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์จะได้คะแนนเป็น 6.50, 7.50, 8.20 และ 7.90 ตามลำดับ โดยเมื่อเพิ่มปริมาณเอนไซม์เป็นร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคะแนนลดลง แสดงว่าผู้ชิมจะได้รับอิทธิพลจากลักษณะเนื้อสัมผัสมากที่สุด

การเปรียบเทียบผลของแป้งมันฝรั่งและเอนไซม์ TGase ที่ปริมาณต่างๆ ในการปรับปรุงคุณภาพของเจล พบว่า ในด้านของความขาว ผลิตภัณฑ์ที่เติมแป้งมันฝรั่งมีค่าความขาวสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมเอนไซม์ TGase ทุกๆ ระดับ ส่วนความสามารถในการอุ้มน้ำ พบว่า การใช้แป้งมันฝรั่งเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 8 เป็น 11 โดยน้ำหนัก ความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างจากการใช้เอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.01-0.03 โดยน้ำหนัก เนื่องจากการใช้แป้งมันฝรั่งที่เพิ่มขึ้น เจลแป้งที่ได้จะมากขึ้น ซึ่งเจลแป้งที่เกิดขึ้นสามารถอุ้มน้ำไว้ได้ในระดับเดียวกับที่โครงสร้างร่างแหที่มีการโยงใยมากขึ้นสามารถกักโมเลกุลของน้ำไว้ได้เนื่องจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ แต่เมื่อใช้เอนไซม์เพิ่มเป็นร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนัก ความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์จะลดลง ดังเหตุผลที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สำหรับ gel strength พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่เติมเอนไซม์ TGase มีค่า gel strength สูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมแป้งมันฝรั่งทุกๆ ระดับ เนื่องจากเอนไซม์ช่วยเร่งปฏิกิริยาการเกิดพันธะ covalent ที่ทำให้เกิดการเชื่อมข้ามระหว่าง glutamine และ lysine ซึ่งพันธะชนิดนี้มีความแข็งแรงสูงไม่สามารถทำลายได้ด้วยพลังงานความร้อนหรือพลังงานกล ขณะที่การใช้แป้งมันฝรั่ง เจลแป้งที่เกิดขึ้นจะเพียงแค่แทรกอยู่ภายในโครงสร้างร่างแหของโปรตีนเท่านั้น ด้วยเหตุดังกล่าว จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เติมเอนไซม์เพื่อปรับปรุงสมบัติการเกิดเจลมีค่า gel strength ที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมแป้งมันฝรั่ง และ ความสามารถในการพับ จะมีแนวโน้มในทางเดียวกับ gel strength การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านสี พบว่า การเติมแป้งมันฝรั่งร้อยละ 2, 5, 8 และ 11 โดยน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์ได้คะแนนเป็น 7.60, 7.90, 8.10 และ 8.30 ตามลำดับ ขณะที่การเติมเอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.01, 0.02, 0.03 และ 0.04 โดยน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์ได้คะแนนเป็น 6.90, 7.00, 7.00 และ 7.00 ตามลำดับ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เติมแป้งมันฝรั่งมีคะแนนสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมเอนไซม์ทุกๆ ระดับ ดังเหตุผลที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งคะแนนสีสอดคล้องกับค่าความขาว (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.943) แสดงว่าผู้ชิมเห็นชัดเจนว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมแป้งมันฝรั่งขาวกว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมเอนไซม์ ด้านกลิ่นรส พบว่า การเติมแป้งมันฝรั่งร้อยละ 2, 5, 8 และ 11 โดยน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์ได้คะแนนเป็น 6.30, 7.10, 7.90 และ 7.30 ตามลำดับ ขณะที่การเติมเอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.01, 0.02, 0.03 และ 0.04 โดยน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์มีคะแนนเป็น 6.10, 6.15, 6.20 และ 6.20 ตามลำดับ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เติมแป้งมันฝรั่งมีคะแนนสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมเอนไซม์ TGase ทุกระดับ ดังเหตุผลที่กล่าวมาแล้ว ด้านลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่เติมแป้งมันฝรั่งร้อยละ 2, 5, 8 และ 11 โดยน้ำหนัก มี

คะแนนเป็น 4.90, 6.30, 7.50 และ 7.70 ตามลำดับ ขณะที่การเติมเอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.01, 0.02, 0.03 และ 0.04 มีคะแนนเป็น 6.80, 7.60, 8.40 และ 7.70 ตามลำดับ ซึ่งการใช้เอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.03 โดยน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์ได้คะแนนมากที่สุด ขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งมันฝรั่งเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 8 เป็น 11 โดยน้ำหนัก มีคะแนนไม่แตกต่างจากการใช้เอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.02 และ 0.04 โดยน้ำหนัก เนื่องจากการใช้แป้งมันฝรั่งที่เพิ่มขึ้น จะมีเจลแป้งที่แทรกภายในโครงสร้างร่างแหมากขึ้นจึงส่งผลให้ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นในระดับเดียวกับที่เกิดโครงสร้างร่างแหที่มากขึ้นจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ ซึ่งคะแนนด้านลักษณะเนื้อสัมผัสสอดคล้องกับ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.904) และ gel strength (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.807) การยอมรับรวม ผลิตภัณฑ์ที่เติมแป้งมันฝรั่งร้อยละ 2, 5, 8 และ 11 โดยน้ำหนัก มีคะแนนเป็น 4.80, 6.10, 7.80 และ 7.90 ตามลำดับ ขณะที่การเติมเอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.01, 0.02, 0.03 และ 0.04 มีคะแนนเป็น 6.50, 7.50, 8.20 และ 7.90 ตามลำดับ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เติมแป้งมันฝรั่งร้อยละ 8 และ 11 โดยน้ำหนักได้คะแนนไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่เติมเอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.03 และ 0.04 โดยน้ำหนัก ซึ่งผู้ชิมจะได้รับอิทธิพลจากลักษณะเนื้อสัมผัสมากที่สุด

5.7 ศึกษาอายุการเก็บรักษาปลาผง

ขั้นตอนนี้ศึกษาอายุการเก็บรักษาปลาผง ที่บรรจุถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ซึ่งปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 $^{\circ}$C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 $^{\circ}$C) เป็นเวลา 3 เดือน ผลจากการวิเคราะห์ ความชื้น ค่า A_w ความขาว ค่า TBA ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความจุของอิมัลชั่น gel strength ความสามารถในการพับ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และ คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส การยอมรับรวม มีดังแสดงในรูปที่ 4.3-4.14 และตารางที่ 4.20-4.31

ความชื้นและค่า A_w พบอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับสภาวะการเก็บต่อปริมาณความชื้นและ ค่า A_w ($P \leq 0.05$) โดยความชื้นเป็นค่าที่แสดงสมบัติทางกายภาพของของแห้ง โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2530) ของปลาแห้งป่น กำหนดไว้ว่าต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก โดยตลอดการเก็บรักษาปลาผงมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 6.38-11.75 โดยน้ำหนัก ซึ่งไม่เกินจากเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนค่า A_w เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณน้ำอิสระในอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโต และการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ เช่น ปฏิกิริยา oxidation ของไขมัน และ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เป็นต้น จากการทดลองพบว่าปลาผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องที่เวลาเก็บเดียวกัน เนื่องจากที่อุณหภูมิห้องมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าอุณหภูมิตู้เย็น ความแตกต่างระหว่างปริมาณไอน้ำภายในและภายนอกถุง

จึงมีค่าสูงกว่า รวมทั้งสมบัติในการซึมผ่านของน้ำของบรรจุภัณฑ์จะสูงขึ้นเมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งถุงบรรจุชนิด LLDPE เคลือบด้วย nylon มีความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ และออกซิเจน เป็น 0.5-1 g/100 in^2 . day ที่ 30 $^{\circ}C$ และ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 และ 1-2 $cm^3/100\ in^2$. day . atm ที่ 28 $^{\circ}C$ และ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 25 ตามลำดับ โดยเมื่อความชื้นสูง nylon ที่เคลือบอยู่ภายนอกถุงจะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างมีผลให้ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 2-3 g/100 in^2 . day ที่ 30 $^{\circ}C$ และ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 (Jenkins และ Harrington, 1991) และทำให้ความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำลดลง ไอน้ำจึงสามารถแพร่เข้าไปในถุงบรรจุได้ดีเมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นความชื้นและค่า A_w ของปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องจึงสูงกว่าการเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น เมื่อพิจารณาการเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น พบว่าความชื้นและค่า A_w ในการเก็บแบบสุญญากาศไม่แตกต่างจากการเก็บที่ความดันบรรยากาศ เพราะอุณหภูมิตู้เย็นมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จึงมีไอน้ำในอากาศในปริมาณน้อยการแพร่จึงเกิดขึ้นไม่ดี ทำให้ไม่มีความแตกต่างระหว่างสภาวะการเก็บดังกล่าว แต่เมื่อพิจารณาการเก็บที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์สูง ปริมาณไอน้ำในอากาศมีปริมาณมากรวมทั้งสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำที่ลดลงของบรรจุภัณฑ์ การแพร่จึงเกิดขึ้นได้ดี จึงมีความแตกต่างของความชื้นและค่า A_w ของปลาผงเมื่อเก็บที่สภาวะต่างกัน โดยความชื้นของปลาผงที่เก็บที่ความดันบรรยากาศมีค่าสูงกว่าการเก็บที่สุญญากาศ เนื่องจากการเก็บที่ความดันบรรยากาศจะมีไอน้ำภายในถุงอยู่ในปริมาณหนึ่ง ทำให้ความชื้นและค่า A_w ของปลาผงในถุงบรรจุดังกล่าวมีค่ามากกว่า

ความขาว ปัจจัยที่มีผลต่อความขาวของปลาผง คือ อุณหภูมิ และ ค่า A_w ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการเร่งให้เกิดสารสีน้ำตาล เรียกว่า melanoidin ในปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล จากโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต การเกิดสีมี 3 ขั้นตอน คือ ระยะแรกจะเกิดสารประกอบ glycosylamine หลังจากนั้นสารชนิดนี้จะจัดตัวใหม่ ซึ่งทำได้ 2 แบบ แบบแรก เรียกว่า Amadori rearrangement ให้สารประกอบ 1-amino-1-deoxy-2-ketone (Amadori compound) แบบที่สอง เรียกว่า Heyns rearrangement ให้สารประกอบ Heyns compound ซึ่งสารเหล่านี้จะเปลี่ยนไปเป็น melanoidin ในที่สุด (Clarke, 1995) โดย Leung (1987) กล่าวว่า อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า A_w สูงขึ้นในภาวะที่มีความชื้นต่ำ และอัตราเร็วของปฏิกิริยาสูงสุดจะเกิดในช่วงค่า A_w ระหว่าง 0.4-0.8 จากผลการทดลองพบว่าปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นมีค่าความขาวสูงกว่าปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องที่เวลาเก็บเดียวกัน ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นผลเนื่องจากอุณหภูมิและค่า A_w ซึ่งเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิตู้เย็น พบว่า ค่า A_w ของปลาผงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น แต่ค่า A_w ตลอดระยะเวลาการเก็บมีค่าอยู่ในช่วง 0.29-0.43 ซึ่งมีแนวโน้มต่ำกว่า 0.4 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจะเกิดได้ช้า ผลคือ ความขาวของปลาผงมีค่าลดลงไม่มากนัก ส่วนการเก็บที่อุณหภูมิห้องค่า A_w มีค่าเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บ โดยค่า A_w มีค่าอยู่ในช่วง 0.40-0.57 ซึ่งอยู่ในช่วงที่มีอัตรา

เร็วของการเกิดปฏิกิริยาสูงสุด ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจะเกิดได้เร็ว ความขาวของปลาผงจึงลดลงอย่างรวดเร็ว

ค่า TBA เป็นดัชนีในการวัดความหืนของผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งสารที่ให้กลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์จะเป็นสารในกลุ่ม aldehyde และ ketone ซึ่งรวมเรียกว่า carbonyl compounds สารเหล่านี้จะเกิดจากปฏิกิริยา oxidation ของไขมัน โดยมีพลังงานความร้อน ออกซิเจน และ ค่า A_w เป็นปัจจัยเร่งในการทำปฏิกิริยา (Leung, 1987) โดยพบว่าปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นจะมีค่า TBA น้อยกว่าปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องเมื่อเวลาเก็บเดียวกัน นั่นแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยา oxidation ของไขมัน หากพิจารณาค่า A_w ของปลาผงเมื่อเก็บที่อุณหภูมิทั้งสองพบว่า ปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นมีค่า A_w ตลอดอายุการเก็บอยู่ในช่วง 0.29-0.43 ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดปฏิกิริยา oxidation ของไขมัน ได้ช้า แต่ปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องมีค่า A_w เพิ่มขึ้นมากกว่าเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น โดยมีค่า A_w อยู่ในช่วง 0.40-0.57 จึงมีผลให้ปฏิกิริยา oxidation ของไขมัน เกิดได้เร็วกว่า ซึ่ง A_w จะช่วยเร่งปฏิกิริยาดังกล่าว โดยถ้ามี A_w ต่ำ แสดงว่าน้ำอิสระน้อย ดังนั้นน้ำจะไปจับ (hydration) กับตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทไอออนของโลหะหนัก เช่น Fe, Cu จึงทำให้ปฏิกิริยา oxidation ของไขมันเกิดได้ช้า ในขณะที่เมื่อมี A_w สูง จะมีน้ำมาก ดังนั้นน้ำจะเป็นตัวช่วยพาให้ตัวเร่งปฏิกิริยามาเจอกับสารตั้งต้น ปฏิกิริยาจึงเกิดได้เร็วขึ้น (Leung, 1987) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาภาวะในการเก็บพบว่า ปลาผงที่เก็บที่ภาวะความดันบรรยากาศจะมีค่า TBA สูงกว่าปลาผงที่เก็บที่สุญญากาศเมื่อเวลาเก็บเดียวกัน นั่นแสดงให้เห็นว่าออกซิเจนเป็นปัจจัยที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยา oxidation ของไขมัน โดยออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นเกิดเป็นสารประกอบ hydroperoxide ซึ่งสารประกอบนี้สามารถเกิดการสลายตัวเป็น oxy radical และ peroxy radical โดยสารเหล่านี้สามารถชักนำให้เกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่เข้าสู่กระบวนการ oxidation ของไขมันต่อไปและสารเหล่านี้อีกส่วนหนึ่งจะเกิดปฏิกิริยาต่อไปจนเกิดเป็น carbonyl compounds ซึ่งมีผลให้เกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์

ความสามารถในการอุ้มน้ำ พบอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับอายุการเก็บรักษาต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ ($P \leq 0.05$) จากผลการทดลองพบว่า ปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงกว่าปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องที่เวลาเก็บเดียวกัน และปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น ความสามารถในการอุ้มน้ำไม่เปลี่ยนแปลงตลอดอายุการเก็บ ขณะที่ปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงหลังจากอายุการเก็บ 4 สัปดาห์ Boye, Ma และ Harwalkar (1997) กล่าวว่า ทุกอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 10 $^{\circ}$C จะทำให้อัตราการแปลงสภาพของโปรตีนเพิ่มขึ้น 600 เท่า ส่วน Mulvihill และ Donovan (1987) ยังกล่าวอีกว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 7.5 $^{\circ}$C โปรตีนจะลดการม้วนตัว (folding) ลง 10 เท่า ทำให้โปรตีนเกิดการคลายตัวและหัน

ส่วนที่ไม่ชอบน้ำออกมาภายนอกสาย polypeptides มากขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าจากเหตุผลดังกล่าว จึงทำให้ปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำกว่าปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นที่เวลาเก็บเดียวกันตลอดอายุการเก็บรักษา

gel strength และ ความสามารถในการพับ พบอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับอายุการเก็บรักษาต่อ gel strength ($P \leq 0.05$) พบว่า เจลที่เตรียมจากปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นมีค่า gel strength สูงกว่าเจลที่เตรียมจากปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องที่เวลาเก็บเดียวกัน โดยเจลของปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น มีค่า gel strength ลดลงหลังจากอายุการเก็บ 6 สัปดาห์ไปแล้ว ส่วนเจลจากปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง ค่า gel strength จะลดลงทันทีเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น ซึ่งสมบัติด้านการเกิดเจลของโปรตีนจะมีความสัมพันธ์ในแนวเดียวกับความสามารถในการอุ้มน้ำ (Lin และ Zayas, 1987) ซึ่งความสามารถในการอุ้มน้ำของปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องจะต่ำกว่าปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น นั่นแสดงว่าปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องจะเกิดการแปลงสภาพของโปรตีนมากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น ดังนั้นจึงมีผลต่อ gel strength เนื่องจากเมื่อโปรตีนเกิดการแปลงสภาพการสกัดโปรตีนที่ละลายในเกลือจะทำได้ยาก จึงได้โปรตีนที่ละลายในเกลือในปริมาณน้อย เจลที่ได้จึงไม่แข็งแรง ค่า gel strength จึงลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อเก็บปลาผงที่อุณหภูมิห้องการเกิดปฏิกิริยา oxidation ของไขมันในปลาผงและปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของปลาผงจะเกิดได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิที่สูง และ ค่า A_w ของปลาผงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีดังกล่าว ซึ่งปฏิกิริยาทั้งสองนี้มีผลให้เกิดการแปลงสภาพของโปรตีนด้วยทั้งสิ้น และเมื่อการแปลงสภาพของโปรตีนเกิดขึ้นก็จะมีผลต่อค่า gel strength ในที่สุด ดังเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้ว และความสามารถในการพับเป็นไปในแนวทางเดียวกับ ค่า gel strength

ความจุอิมัลชั่น พบ อิทธิพลของอุณหภูมิต่อความจุอิมัลชั่นของปลาผง ($P \leq 0.05$) โดยที่ปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นมีความจุอิมัลชั่นสูงกว่าปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากอุณหภูมิสูงมีผลต่อการแปลงสภาพของโปรตีนมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ดังคำอธิบายของ Boye, Ma และ Harwalkar (1997) ที่ว่า ทุกอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 10 $^{\circ}$C จะทำให้อัตราการแปลงสภาพของโปรตีนเพิ่มขึ้น 600 เท่า นั่นแสดงว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลให้เกิดการแปลงสภาพของโปรตีน ซึ่งเมื่อโปรตีนแปลงสภาพจะเกิดการจับก้อน และมีผลทำลายฟิล์มของโปรตีนที่ทำหน้าที่ลดแรงตึงผิว (Damodaran, 1996) นอกจากนี้จากการทดลองยังพบว่า เมื่อเก็บปลาผงที่อุณหภูมิห้องการเกิดปฏิกิริยา oxidation ของไขมันในปลาผงและปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของปลาผงจะเกิดได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิที่สูง และ ค่า A_w ของปลาผงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีดังกล่าว ซึ่งปฏิกิริยาทั้งสองนี้มีผลให้เกิดการแปลงสภาพของโปรตีน จึงทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของปลาผง และค่า gel strength ของเจลที่เตรียมจากปลาผงมีค่าต่ำกว่า

ปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นแทบทั้งสิ้น ซึ่งเป็นการยืนยันว่าอุณหภูมิที่สูงกว่าจะมีผลให้เกิดการแปลงสภาพของโปรตีนที่มากขึ้น เพราะโปรตีนจะมีสมบัติด้านต่างๆ ที่ดีได้โปรตีนจะต้องยังสามารถรักษาโครงสร้างตามธรรมชาติไว้ได้

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ไม่พบอิทธิพลของอุณหภูมิ สภาวะการเก็บ และ อายุการเก็บรักษา ต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ($P > 0.05$) จากการทดลองพบว่าค่า A_w ของปลาผงตลอดอายุการเก็บรักษามีค่าอยู่ในช่วง 0.29-0.57 โดย A_w จะเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณน้ำอิสระในอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้ ซึ่ง Beuchat (1983) กล่าวว่าค่า A_w ที่จุลินทรีย์จะสามารถเจริญเติบโตได้นั่นจะเริ่มตั้งแต่ 0.70 เป็นต้นไป แต่ตลอดอายุการเก็บปลาผงนั้น ปลาผงมีค่า A_w สูงสุด คือ 0.57 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่า A_w ที่จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ ดังนั้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จึงไม่เกิดขึ้น แต่ยังสามารถที่จะมีชีวิตอยู่ได้ ดังนั้นเมื่อตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดจึงยังสามารถตรวจพบ

คุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านสี พบว่า เจลจากปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นจะมีคะแนนสีสูงกว่าเจลจากปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องที่เวลาเก็บเดียวกัน เนื่องจากส่งผลต่อค่าความขาวที่ดีกว่า ซึ่งคะแนนสีสอดคล้องกับค่าความขาว (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.975) แสดงว่าผู้ชิมเห็นชัดเจนว่าขาวกว่าจริง ด้านกลิ่นรส พบว่า เจลจากปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องจะมีคะแนนกลิ่นรสต่ำกว่าเจลจากปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นที่เวลาเก็บเดียวกัน เนื่องจากมีค่า TBA ที่สูงกว่า ซึ่งคะแนนกลิ่นรสสอดคล้องกับค่า TBA (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ -0.941) แสดงว่าผู้ชิมได้รับกลิ่นหืนจริง โดยผู้ชิมสามารถรับกลิ่นหืนจากเจลที่เตรียมจากปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นและอุณหภูมิห้อง เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 12 และ 6 สัปดาห์ ตามลำดับ และผู้ชิมสามารถรับกลิ่นหืนได้เมื่อปลาผงมีค่า TBA เริ่มตั้งแต่ 8.05 mg/kg ตัวอย่าง ด้านลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่า เจลจากปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นจะมีคะแนนลักษณะเนื้อสัมผัสสูงกว่าเจลจากปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องที่เวลาเก็บเดียวกัน ซึ่งคะแนนด้านลักษณะเนื้อสัมผัสสอดคล้องกับความสามารถในการอุ้มน้ำ (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.804) และ gel strength (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.933) แสดงว่าผู้ชิมเห็นชัดเจนว่าลักษณะเนื้อสัมผัสดีจริง ด้านการยอมรับรวม พบว่า เจลจากปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นจะมีคะแนนการยอมรับรวมสูงกว่าเจลจากปลาผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องที่เวลาเก็บเดียวกัน ซึ่งผู้ชิมจะได้รับอิทธิพลจากลักษณะเนื้อสัมผัสมากที่สุด

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1.วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองมีคุณภาพด้านความสดอยู่ในเกณฑ์ดีเหมาะสำหรับนำมาใช้ผลิตปลาผงเพื่อใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจล

2.การล้างเนื้อปลาก่อนการเตรียม slurry มีผลทำให้สัดส่วนของปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือต่อปริมาณโปรตีนทั้งหมดสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณไขมันลดลง

3.ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียม slurry เนื้อปลาบด คือ ปริมาณของแข็งร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

4.ภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นกระจาย ที่มีอุปกรณ์ส่งตัวอย่างเข้าในห้องทำแห้งแบบหัวเหวี่ยงด้วยความเร็ว 18,000 rpm ความดันลม 5 kg/cm^2 ชนิดของการสัมผัสระหว่างตัวอย่างที่ทำแห้งกับลมร้อนเป็นแบบไหลในทิศทางเดียวกัน และ ใช้อัตราการป้อน 1 l/hr คือ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150 $^{\circ}C$ และ ปริมาณ sucrose ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

5.ชนิดและปริมาณสารที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติการเกิดเจล คือ แป้งมันฝรั่งร้อยละ 11 และ เอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.03 โดยน้ำหนัก โดยการใช้แป้งมันฝรั่งจะให้เจลที่มีความขาวสูงสุด ขณะที่การใช้เอนไซม์ TGase จะให้เจลที่มีค่า gel strength ความสามารถในการพับ และ ความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุด

6.ปลาผงที่ผลิตได้ บรรจุในถุงชนิด LLDPE เคลือบด้วย nylon ภายใต้สภาวะสุญญากาศ สามารถเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นได้นานอย่างน้อย 12 สัปดาห์ โดยไม่ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำ gel strength และ ความจุอิมัลชั่น ของปลาผงเปลี่ยนแปลงไปมากนัก

ข้อเสนอแนะ

1.ควรมีการศึกษาดัดแปลงกรรมวิธีการผลิตปลาผงในระดับการทดลองไปสู่อุตสาหกรรม

2.ควรมีการศึกษาโดยนำปลาชนิดอื่นมาใช้เป็นวัตถุดิบ เพราะอาจจะได้มาซึ่งปลาผงที่มีคุณภาพที่ดีกว่า

3.ควรมีการศึกษาสารลดการแปลงสภาพของโปรตีนชนิดอื่นๆ เช่น sorbitol

4.ควรศึกษาสารปรับปรุงสมบัติการเกิดเจลชนิดอื่น เช่น กลูเตน แป้งมันสำปะหลัง นอกจากนี้ควรมีการศึกษาการใช้แป้งมันฝรั่งร่วมกับเอนไซม์ TGase เพื่อให้ได้เจลที่มีลักษณะที่ดีทั้งด้านสีและลักษณะเนื้อสัมผัส

5.ควรศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการเก็บรักษา เพื่อให้สามารถเก็บรักษาปลาผงได้ในระยะเวลาที่นานขึ้นโดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านหน้าที่ต่างๆ ของปลาผง

6.ควรมีการศึกษาหาวิธีการเพิ่มปริมาณผลผลิตให้สูงขึ้น เพื่อให้โอกาสที่จะนำไปสู่อุตสาหกรรมมีมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

เอกสารภาษาไทย

ดวงฤทัย กฤษทวี. 2536. การผลิตพลาสมาผงเพื่อใช้กับไส้กรอกเวียนนา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์.

นงลักษณ์ สุทธิวนิช. 2531. คุณภาพสัตว์น้ำ. สงขลา : ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ปรียนาฏ สุขะวิสิษฐ์. 2532. รายชื่อปลาทะเลในน่านน้ำไทย. กรุงเทพมหานคร : กองประมงทะเล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ผ่องเพ็ญ รัตตกุล. 2532. Surimi production. กรุงเทพมหานคร : กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พิศมร อิศระ. 2539. สภาวะการประมงอวนลาก บริเวณจังหวัดประจวบคีรีขันธ์-ชุมพร-สุราษฎร์ธานี ปี 2532-2536. รายงานวิชาการ กลุ่มประเมินสภาวะทรัพยากรและการประมง ศูนย์พัฒนาประมงทะเลอ่าวไทยตอนบน กองประมงทะเล. กรุงเทพมหานคร : กองประมงทะเล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สถิติและสารสนเทศการประมง, ฝ่าย. 2540. สถิติการประมงแห่งประเทศไทย ปี พ.ศ. 2540. กรุงเทพมหานคร : กองเศรษฐกิจการประมง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สมศักดิ์ ปราโมกข์ชุติมา. 2521. การแพร่กระจายและความชุกชุมของปลาหน้าดินบางชนิดในอ่าวไทยปี 2520. รายงานปลาหน้าดิน กองประมงทะเล กรมประมง. กรุงเทพมหานคร : กองประมงทะเล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุปราณี แย้มพราย. 2539. การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซทจากของเหลือจากโรงงานผลิตซูริมิเพื่อใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุแพรวพรรณ ชุมเรียง. 2539. ผลของโปแตสเซียมโบรเมตและไข่ขาวต่อความสามารถในการเกิดเจลของซูริมิ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุมณฑา อินทอง. 2521. ชนิดและองค์ประกอบของอาหารในกระเพาะปลาทรายแดง *Nemipterus mesoprion* (Bleeker) ในบริเวณอ่าวไทย พ.ศ. 2520. รายงานปลาหน้าดิน กองประมงทะเล กรมประมง. กรุงเทพมหานคร : กองประมงทะเล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. 2530. ปลาหยอง ปลาเกล็ด และ ปลาแห้งป่น 700-2530. กรุงเทพมหานคร : กระทรวงอุตสาหรรม.

อุดม สุนทรวิภาต, จิราวรรณ แย้มประยูร, ผ่องเพ็ญ รัตตกุล และ เฉลิม พัฒนวิบูล. 2530. ซูริมิ. วารสารการประมง 40 : 70-71.

เอกสารภาษาอังกฤษ

Acton, J. C. and Dick, R. L. 1989. Functional roles of heat protein gelation in processed meat. In J. E. Kinsella, and W. G. Soucie (eds.), Food proteins, pp. 185-287. New York : Academic Press.

Aguilera, J. M., and Karel, M. 1997. Preservation of biological materials under desiccation. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 37 (3) : 287-309.

Ando, H., Adachi, M., Umeda, K.,Matsura, A., Nonaka, M., Uchio, R., Tanka, H., and Motoki, M. 1989. Purification and characteristics of a novel transglutaminase derived from microorganism. Agric. Biol. Chem. 53 : 2613-2617.

AOAC. 1995. Official Method of Analysis. The Association of Official Analytical Chemists. 16rd ed. Washington D.C.

Asagami, T., Ogiwara, M., Wakameda, A., and Noguchi, S. F. 1995. Effect of microbial transglutaminase on the quality of frozen surimi made from varius kinds of fish species. Fisheries Science 61 (2) : 267-272.

Atlas, R. M., Brown, A. E., Dobra, W. K., and Miller, L. 1984. Experimental microbiology : Fundalmentals and applications. New York : MacMillan.

Autio, K., Kiesvaara, M., and Polvinen, K. 1989. Heat-induced gelation of mince rainbow trout (*Salmo gairdneri*) : effect of pH, sodium chloride and setting. J. Food Sci. 54 (4) : 665-669.

Azuma, Y., and Konno, K. 1999. Freeze denaturation of carp myosin subfragment-1 as compared with thermal denaturation. Fisheries Science 65 (3) : 455-458.

Bendall, J. R. 1969. Muscle, Molecules and Movement. London : Heinemann Educational Books.

Beuchat, L. R. 1983. Influence of water activity on growth, metabolic activities and survival of yeasts and molds. J. Food Prot. 46 : 135-142.

Boye, S. W., and Lanier, T. C. 1988. Effects of heat-stable alkaline protease activity of Atlantic menhaden (*Brevoorti tyrannus*) on surimi gels. J. Food Sci. 53 (5) : 1340-1342, 1398.

Boye, J. I., Ma, C.-Y, and Harwalkar, V. R. 1997. Thermal denaturation and coagulation on proteins. In S. Damodaran, and A. Paraf (eds.), Food proteins and their applications, pp. 25-56. New York : Marcel Dekker.

Burgarella, J. C., Lanier, T. C., and Hamann, D. D. 1985. Effects of added egg white or whey protein concentrate on thermal transitions in rigidity of croaker surimi. J. Food Sci. 50 (9) : 1588-1595.

Carpenter, J. F., Crowe, J. H., and Arakawa, T. 1990. Comparison of the solute-induced protein stabilization in aqueous solution and in the frozen and dried state. J. Dairy Sci. 73 : 3627-3636.

Cassens, R. G. 1987. Structure of muscle. In J. F. Price, and B. S. Schweigert (eds.), The science of meat and meat products, 3^{rd} ed., pp. 11-59. Connecticut : Food & Nutrition press.

Chan, J.K., Gill, T.A., and Paulson, A.T. 1992a. Cross-linking of myosin heavy chains from cod, herring and silver hake during thermal setting. J. Food Sci. 57 (4) : 906-912.

Chan, J.K., Gill, T.A., and Paulson, A.T. 1992b. The dynamic of thermal denaturation of fish myosins. Food Research Inter. 25 : 117-123.

Chan, J.K., Gill, T.A., and Paulson, A.T. 1993. Thermal aggregation of myosin subfragments from cod and herring. J. Food Sci. 58 (5) : 1057-1061, 1069.

Chan, J. K., Gill, T. A., Thompson, J. W., and Singer, D. S. 1995. Herring surimi during low temperature setting, physicochemical and textural properties. J. Food Sci. 60 (6) : 1248-1253.

Chen, Wen-Lee, Chow, Chau-Jen, and Ochiai, Y. 1999. Effects of some food additives on the gel- forming ability and color of milkfish meat paste. Fisheries Science 65 (5) : 777-783.

Chen, X., Jo, C., Lee, I., and Ahn, D. U. 1999. Lipid oxidation, volatiles and color changes of irradiated pork patties as affected by antioxidant. J. Food Sci. 64 (2) : 16-19.

Clarke, M. A. 1995. Technological value of sucrose in food products. M. Mathlouthi, and P. Reiser (eds.), Sucrose : Properties and applications, pp. 223-247. London : Blackie Academic & Profession.

Cochran, W. C., and Cox, G. M. 1985. Experimental design. New York : John Wiley & Sons.

Connell, J. J. 1975. Control of fish quality. London : Fishing News.

Coulter, S. T., and Breene, W. M. 1966. Spray drying fruits and vegetables using skimmilk as a carrier. J. Dairy Sci. 49 : 762-767.

Damodaran, S. 1996. Amino acid, peptides, and proteins. In O. W. Fennema (ed.), Food chemistry, 3rd ed., pp. 321-429. New York : Marcel Dekker.

Deng, C. S., Hamann, D. D., Nebb, N. B., and Akahane, T. 1979. Effect of species and storage time on minced fish gel texture. J. Food Sci. 44 (2) : 515-518.

Douglas-Schwarz, M., and Lee, C. M. 1988. Comparison of thermostability of red hake and Alaska pollock surimi during processing. J. Food Sci. 53 (5) : 1347-1351.

Finley, J. W. 1989. Effects of processing on protein. In R. D. Phillips, and J. W. Finley, Protein quality and the effects of processing, pp. 1-8. New York : Marcel Dekker.

Fishery Technological Development Division. 1981. First year report of fish processing (Thailand) project to IDRC (Canada). Thailand : Fishery Technological Development Division, Department of Fisheries.

Foegeding, E. A, Lanier, T. C., and Hultin, H. O. 1996. Characteristics of edible muscle tissue. In O. W. Fennema (ed.), Food chemistry, 3rd ed., pp. 891-896. New York : Marcel Dekker.

Forrest, J. C., Aberle, E. D., Hendrick, H. B., Judge, M. D., and Merkel, F. A. 1975. Principles of meat science. New York : W. H. Freemand and Company.

Fujimoto, M., Endo, Y., Cho, S., Watabe, R., Suzuki, Y., Konno, M., Shoji, K., Arai, K., and Saito, S. 1989. Chemical characterization of sardine meat powder produced by dehydration with high osmotic pressure resin and defatting with high pressure carbon dioxide. J. Food Sci. 54 (2) : 265-268.

Garcia Zepeda, C. M., Kastner, C. L., Kropf, D. H., Hunt, M. C., Kenny, P. R., Schwenkn, J. R., and Schleusener, D. S. 1993. Utilization of surimi-like products from pork with sex-odor in restructured precooked pork. J. Food Sci. 58 (1) : 53-58.

Gerber, U., Jucknischke, U., Putzien, S., and Fuchsbauer, H. L. 1994. A rapid and simple method for the purification of transglutaminase from *Streptoverticillium mobaraense*. Biochem J. 299 : 825-829.

Gill, T. A., and Conway, J. T. 1989. Thermal aggregation of cod muscle proteins using 1-ethyl-3-(dimethylaminopropyl) carbodiimide as a zero-length cross-linker. Agric. Biol. Chem. 53 : 2553-2562.

Gill, T.A., Chan, J.K., Phonchareon, K.F., and Paulson, A.T. 1992. Effect of salt concentration and temperature on heat-induced aggregation and gelation of fish myosin. Food Research Inter. 25 : 333-341.

Green, D.P. 1989. Leaching of soluble nitrogeneous component from Atlantic menhaden muscle in surimi technology. Ph.D.thesis, North Carolina State University.

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) : 665-669, 795.

Hamilton, R.J. 1995. Developments in oils and fats. London : Chapman & Hall.

Hamm, R. 1975. Water holding capacity of meat. In D. J. A. Cole, and R. A. Lawrie (eds.), Meat, p. 321. London : Butterworths.

Hasegawa, Y. 1975. Process for the production of fish flour having gel-forming ability. United State Patent No. 3,922,372.

Hennigar, C.J., Buck, E.M., Hultin, H.O., Peleg, M., and Vareltzis, K. 1988. Effect of washing and sodium chloride on mechanical properties in fish muscle gel. J. Food Sci. 53 (3) : 963-964.

Holland, B., Brown, J., and Buss, D. H. 1993. Fish and fish product. United Kingdom : The Royal Society of Chemistry and Ministry of Agriculture Fisheries and Food.

Holmes, K. L., Noguchi, S. F., and MacDonald, G. A. 1992. The Alaska pollock resource and other species used for surimi. In T. C. Lanier, and C. M. Lee (eds.), Surimi Technology, pp. 41-76. New York : Marcel Dekker.

Honikel, K. O., and Hamm, R. 1994. Measurement of water holding capacity and juiciness. In A. M. Pearson, and T. R. Dutson (eds.), Quality attributes and their mearsurement in meat, poultry and fish products, pp. 125-161. London : Blackie Academic & Professional.

Howe, J. R., Hamann, D. D., Lanier. T. C., and Park, J. W. 1994. Fracture of Alaska pollock gel in water : effect of minced muscle processing and test temperature. J. Food Sci. 59 (4) : 777-780.

Imai, C., Tsukamasa, Y., Sugiyama, M., Minegishi, Y., and Shimizu, Y. 1996. The effect of setting temperature on the relationship between ε - (γ-glutamyl) lysine crosslink content and brreaking strength in salt-ground meat of sardine and Alaska pollock. Nippon Suisan Gakkaishi 61 (1) : 104-111.

Jenkins, W. A., and Harrington, J. P. 1991. Packaging of foods with plastics. United State : Technomic Publishing Company.

Kim, B. Y. 1987. Rheological investigation of gel structure formation by fish proteins during setting and heat processing. Ph. D. dissertation, North Carolina State University.

Kim, J. M., and Lee, C. M. 1987. Effect of starch on texture properties of surimi gel. J. Food Sci. 52 (3) : 722-725.

Kinsella, J. E. 1979. Functional properties of soy proteins. J. Am. Oil Chem. Soc. 56 : 242-258.

Kishi, A., Itoh, Y., and Obatake, A. 1995. The polymerization of protein through disulfide bonding during the heating of carp myosin. Nippon Suisan Gakkaishi 61 (1) : 75-80.

Kumazawa, Y., Sakamoto, H., Kawajiri, H., Seguro, K., and Motoki, M. 1996. Determination of ε - (γ-glutamyl) lysine in several fish eggs and muscle proteins. Fisheries Science 62 (2) : 331-332.

Lanier, T. C. 1992. Measurement of surimi composition and functional properties. In T. C. Lanier, and C. M. Lee (eds.), Surimi Technology, pp. 123-163. New York : Marcel Dekker.

Lanier, T. C. 2000. Surimi gelation chemistry. In J. W. Park (ed.), Surimi and surimi seafood, pp. 237-265. New York : Marcel Dekker.

Lawrie, R. A. 1966. Meat science. New York : Pergamon.

Lee, C. M., and Toledo, R. I. 1974. Factors affecting textural characteristics of cooked comminuted fish muscle. J. Food Sci. 41 (2) : 391-397.

Lee, F. A. 1983. Basic food chemistry. Connecticut : AVI Publishing.

Lee, C. M. 1984. Surimi process technology. Food Technol. 38 (11) : 69-80.

Lee, C. M., Wu, M. C., and Okada, M. 1992. Ingredients and formation technology for surimi-based products. In T. C. Lanier, and C. M. Lee (eds.), Surimi Technology, pp. 273-302. New York : Marcel Dekker.

Leung, H. K. 1987. Influence of water activity on chemical reactivity. In L. B. Rockland, and L. R. Beuchat (eds.), Water activity : Theory and applications to foods, pp. 27-50. New York : Marcel Dekker.

Lin, T. S., and Lanier, T. C. 1980. Properties of alkaline protease from the skeleton muscle of Atlantic croaker. J. Food Biochem. 4 : 17-20.

Lin, C. S., and Zayas, J. F. 1987. Microstructural comparisons of meat emulsions prepared with corn protein emulsified and unemulsified fat J. Food Sci. 52 (1) : 267-270.

Lin, S. W., and Chen, T. C. 1989. Yield, color and composition of washed, kneaded and heated mechanically deboned poultry meat. J. Food Sci. 54 (3) : 561-563.

Lin, T. M., and Park, J. W. 1996. Extraction of proteins from Pacific whiting mince at various washing condition. J. Food Sci. 61 (2) : 432-438.

Lin, T. M., and Park, J. W. 1997. Effective washing conditions reduce water usage for surimi processing. Journal of Aquatic Food Product Technology 6 (2) : 65-79.

MacKenzie, A. P. 1975. Freeze drying and advanced food technology. London : Academic Press.

Master, K. 1979. Spray drying hamdbook. London : George Godwin Limited.

Matsuda, Y. 1979a. Influence of sodium glutamate on the protein denaturation of lyophilized carp myofibrils during storage. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish 45 (6) : 733-736.

Matsuda, Y. 1979b. Influence of sugar on the protein denaturation of lyophilized carp myofibrils during storage. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish 45 (6) : 737-743.

Matsuda, Y. 1981. Protein denaturation during freeze-drying of carp myofibrils. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish 47 (6) : 813-815.

Matsuda, Y. 1983a. Influence of storage temperature on the protein denaturation of lyophilized carp myofibrils. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish 49 (5) : 783-785.

Matsuda, Y. 1983b. Influence of oxidation on the protein denaturation of lyophilized carp myofibrils during storage. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish 49 (7) : 1117-1119.

McCormick, R. J. 1994. Structure and properties of tissue. In D. M. Kinsman, A. M. Kotula, and B. C. Breidenstein (eds.), Muscle food, pp. 42-43. New York : Chapman & Hall.

McMahon, E.F., and Dawson, L.E. 1975. Effects of salt and phosphates on some funcional characteristics of hand and mechanically deboned turkey meat. Poultry Science 55 : 573-578.

Meilgaard, M., Coville, V. G., and Carr, B. T. 1987. Sensory evaluation techniques. Florida : CRC Press.

MFRD. (Marine Fisheries Research Development). 1987a. Handbook on the processing of frozen surimi and fish gelly products. Singapore : Southeast Asian Fisheries Development Center.

MFRD. (Marine Fisheries Research Development). 1987b. Laboratory manual on analytical methods and procedures for fish and fish product. Singapore : Southeast Asian Fisheries Development Center.

Miyaki, M., and Kawakami, K. 1966. Studies on fish meat gellies VIII : effect of amino acid on the elasticity of fish meat gellies. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 32 (2) : 446-449.

Montejano, J. G., Hamann, D. D., and Lanier, T. C. 1984. Thermally induced gelation of selected comminuted muscle system-rheological changes during processing, final strengths and micro structure. J. Food Sci. 49 (6) : 1496-1505.

Morrissey, M. T., Wu, J. W., Lin, D., and An, H. 1993. Protease inhibitor effects on torsion measurements and autolysis of Pacific whiting surimi. J. Foos Sci. 58 (5) : 1050-1054.

Mulvihill, D. M., and Donovan, M. 1987. Whey proteins and their thermal denaturation. A review Irish J. Food Sci. Technol. 11-43-52.

National Fisheries Institute. 1991. A manual of standard methods for measuring and specifying the properties of surimi. Washington D. C. : National Fisheries Institute.

Nawar, W. W. 1996. Lipids. In O. W. Fennema (ed.), Food chemistry, 3rd ed., pp. 225-319. New York : Marcel Dekker.

Niki, H., and Igarashi, S. 1982. Some factor in the production of active fish protein powder. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish 48 (8) : 1133-1137.

Niki, H., Kato, T., Deya, E., and Igarashi, S. 1983. Water holding capacity, emulsifying capacity and storage ability of active fish protein powder. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 49 (1) : 91-96.

Niki, H., Doi, T., and Igarashi, S. 1984. Method of reducing the viscosity of fish meat sol and kamaboko forming property of active fish protein powder. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 50 (9) : 1545-1550.

Niki, H., Matsuda, Y., and Suzuki, T. 1992. Dried forms of surimi. In T. C. Lanier, and C. M. Lee (eds.), Surimi technology, pp. 209-244. New York : Marcel Dekker.

Nissin, O. 1986. MSTAT (computer program). Michigan State University : Department of Crop and Soil Science.

Niwa, E., Matsubara, I., and Hamada, I. 1982. Hydrogen and other polar bonding in fish flesh gel and setting gel. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 48 (4) : 667-670.

Niwa, E. 1992. Chemistry of surimi gelation. In T. C. Lanier, and C. M. Lee (eds.), Surimi technology, pp. 389-427, New York : Marcel Dekker.

Okada, M. 1985. Ingredients on gel texture. In R. E. Martin, and R. L. Colletle (eds.), Proceedings of the international symposium on engineered seafood including surimi, pp. 515-528, Washington D. C. : National Fisheries Institute.

Okawa, M., Ehara, T., Tamiya, T., and Tsuchiya, T. 1993. Thermal stability of fish myosin. Comp. Biochem. Physiol. 106B (3) : 517-521.

Pacheco-Aguilar, R., and Crawford, D. L. 1994. Potassium bromate effects on gel-forming ability of Pacific whiting surimi. J. Food Sci. 59 (4) : 486-791.

Park, J.W., and Lanier, T.C. 1987. Combined effects of phosphate and sugar or polyol on protein stabilization of fish myofibrils. J. Food Sci. 52 (6) : 1509-1513.

Park, J. W., Korhonen, R. W., and Lanier, T. C. 1990. Effect of rigor mortis on gel forming properties of surimi and unwashed minced prepared from tilapia. J. Food Sci. 55 (2) : 353-355.

Park, J. W., Yongsawatdigul, J., and Lin, T. M. 1994. Rheological behavior and potential cross-linking of Pacific whiting (*Merluccius productus*) surimi gel. J. Food Sci. 59 (4) : 773-776.

Pederson, J. W. 1987. Muscle function and postmortem changes. In J. F. Price, and B. S. Schewigert (eds.), The science of meat and meat products, 3^{rd} ed., p. 141. Connecticut : Food & Nutrition press.

Pigott, G. M., and Tucker, B. W. 1990. Seafood : Effect of technology in nutrition. New York : Marcel Dekker.

Price, J. F., and Schweigert, B. S. 1971. The science of meat and meat product 2^{nd} ed. London : W. H. Freeman and Company.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Ramanujam, M. V., and Hageman, J. H. 1990. Intracellular tranglutaminase (EC 2.3.2.13) in a prokaryote : evidence from vegetative and sporulating cells of *Bacillus subtilis* 168. FASEB J. 4 : A2321.

Rasekh, J., and Metz, A. 1973. Acid precipitated fish protein isolate exhibits good functional properties. Food Prod. Dev. 7 : 18-24.

Reiser, P., Birch, G. G., and Mathlouthi. M. 1995. Physical properties. M. Mathlouthi, and P. Reiser (eds.), Sucrose : Properties and applications, pp. 186-222. London : Blackie Academic & Profession.

Roussel, H., and Cheftel, J. C. 1988. Characteristics of surimi and kamaboko from sardines. International Journal of Food Science and Technology 23 : 607-623.

Runglerdkriangkrai, J., Itoh, Y., Kishi, A., and Obatake, A. 1999a. Responsibility of myosin S-1 and rod for the polymerization of myosin heavy chain through disulfide bonding upon heating of actomyosin. Fisheries Science 65 (2) : 310-314.

Runglerdkriangkrai, J., Itoh, Y., Kishi, A., and Obatake, A. 1999b. Polymerization behavior of various actomyosin through disulfide bonding upon heating. Fisheries Science 65 (2) : 304-309.

Samejima, K., Ishioroshi, M., and Yasui, T. 1981. Relative role of the head and the tail portions of the molecule in heat-induced gelation of myosin. J. Food Sci. 46 (5) : 1412-1418.

Samejima, K., Yamauchi, H., Asghar, A., and Yasui, T. 1984. Role of myosin heavy chains from rabbit skeletal muscle in the heat induced gelation mechanism. Agric. Biol. Chem. 48 : 2225-2232.

Sano, T., Noguchi, S.F., Matsumoto, J. J., and Tsuchiya, T. 1990a. Effect of ionic strength dynamic viscoelastic behavior of myosin during thermal gelation. J. Food Sci. 55 (1) : 51-54, 70.

Sano, T., Noguchi, S.F., Matsumoto, J. J., and Tsuchiya, T. 1990b. Thermal gelation characteristics of myosin subfragment. J. Food Sci. 55 (1) : 55-58, 70.

Scopes, R. K. 1970. Characterization and study of sarcoplasmic protein. In E. J. Brisker, R. G. Cassen, and B. B. Marsh (eds.), The physiology and biochemistry of muscle as food, pp. 471-490. Madison : The University of Wisconsin Press.

Seguro, K., Kumazawa, Y., Ohtsuka, T., Toiguchi, S., and Motoki, M. 1995. Microbial transglutaminase and of ε-(γ-glutamyl) lysine crosslink effects on elastic properties of kamaboko gel. J. Food Sci. 60 (2) : 305-311.

Seltzer, E., and Settlemeyer, J. T. 1949. Spray drying of food. In C. O. Chichester, and B. S. Schweigert (eds.), Advances in food research, pp. 399-520. New York : Academic Press.

Shahidi, F. 1994. Seafood proteins and preparation of protein concentrates. In F. Shahidi, and J. R. Botta (eds.), Seafoods chemistry, processing technology and quality, pp. 3-9. London : Chapman & Hall.

Sharp, A., and Offer, G. 1992. The mechanism of formation of gels from myosin molecules. J. Sci. Food Agric. 58 : 63-73.

Shaw, D. J. 1992. Introduction to colloid and surface chemistry. Oxford : Butterworth-Heinemann.

Shibata, N., and Kinumaki, Y. 1979. An improvement of TBA procedure as the measure of the oxidative deterioration occurring in fish oil II intact sample procedure. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 45 (2) : 505-509.

Shimizu, Y., and Simidu, W. 1960. Ashi of kamaboko XI : evaluation of ashi. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 26 (9) : 911-916.

Shimizu, Y., Toyohara, H., and Lanier, T. C. 1992. Surimi production from fatty and dark-fleshed fish species. In T. C. Lanier, and C. M. Lee (eds.), Surimi technology, pp. 181-207, New York : Marcel Dekker.

Suzuki, T. 1981. Fish and krill protein : Processing technology. London : Applied Science Plub.

Taguchi, T., Ishizaka, M., Tanaka, M., Nakashima, Y., and Amano, K. 1987. Protein-protein interaction of fish myosin fragment. J. Food Sci. 52 (4) : 1103-1104.

Tanikawa, E. 1971. Marine products in Japan. Tokyo : Koseisha-Koseikaku Company.

Toyoda, T., Kimura. I., Fujita, T., Noguchi, Satochi F., and Lee, C. M. 1992. The surimi manufacturing process. In T. C. Lanier, and C. M. Lee (eds.), Surimi technology, pp. 79-112. New York : Marcel Dekker.

Tybor, P.T., Dill, C.W., and Landmann, W.A. 1973. Functional properties of proteins isolated from bovine blood by a continuous pilot process. J. Food Sci. 40 (1) : 155-159.

Tybor, P. T.,Dill, C. W., Bryant, J. N., and Landmann, W. A. 1970. Heat denaturation of blood serum proteins measured in saturated sodium chloride. J. Agr. Food Chem. 18 (4) : 629-631.

Uchiyama, H. 1978. Analytical method for estimating freshness of fish. Thailand : Training Department Southeast Asia Fisheries Development Center.

Uno, T., and Nakamura. 1958. Studies on the characteristic quality of fish meat. Bull. Hokkaido Reg. Fish Res. Lab. 18 : 45-53.

Venugopal, V., Martin, A.M., Omar, S., and Patel, T.R. 1994. Protein concentrate from Capelin (*Mallotus villosus*) by spray drying process and its properties. Journal of Food Processing and Preservation 18 : 509-519.

Whitaker, J. R., and Tannenbaum, S. R. 1977. Food Protein. Connecticut : AVI Publishing.

Wimmer, M. P, Sebranek, J. G., and Mckeith, F. 1993. Washed mechanically seperated pork as a surimi-like meat product ingredient. J. Food Sci. 58 (1) : 254-258.

Wong, D. W. S. 1989. Mechanism and theory in food chemistry. New York : Van Nostrand Reinhold.

Wongratana, T. 1970. Identification of *Nemipterus* in Thailand. In proceedings of the second Symposium on the results of the cooperative study of the Kuroshio and Adjacent Region, September 28 - October 1, pp. 465-487. Tokyo : Saikon Publishing Company.

Yasui, T., Ishioroshi, M., and Samejima, K. 1980. Heat-induced gelation of myosin in the presence of actin. J. Food Biochem. 4 : 61-78.

Yasui, T., Ishioroshi, M., and Samejima, K. 1982. Effect of actomyosin on heat-induced gelation of myosin. Agric. Biol Chem. 46 : 1049-1059.

Yongsawatdigul, J., Park, J.W., and Kolbe, E. 1997. Degradation kinetics of myosin heavy chain of Pacific whiting surimi. J. Food Sci. 62 (4) : 724-728.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์และวิธีคำนวณ

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ตามวิธีของ AOAC (1995)

อุปกรณ์

ตู้อบ

วิธีทดลอง

1.ชั่งตัวอย่าง 5 g ใส่ในภาชนะอลูมิเนียมซึ่งอบแห้ง และชั่งน้ำหนักไว้แล้ว

2.นำตัวอย่างเข้าอบแห้งในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 105 $^{\circ}$C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่

3.นำมาทิ้งให้เย็นใน dessiccator แล้วชั่งน้ำหนัก คำนวณปริมาณความชื้นโดยใช้สูตร

$$\text{ความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{[\text{น้ำหนักก่อนอบแห้ง (g)} - \text{น้ำหนักหลังอบแห้ง (g)}] \times 100}{\text{น้ำหนักก่อนอบแห้ง (g)}}$$

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

ตามวิธีของ AOAC (1995)

อุปกรณ์

ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

สารเคมี

1.สารละลายกรด sulfuric เข้มข้น

2.สารละลายกรด sulfuric ความเข้มข้น 0.1 N

3.สารละลาย sodium hydroxide ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร

4.สารละลายกรด boric ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยปริมาตร

5.Catalyst (ส่วนผสมของ potassium sulphate 1.8 g และ copper sulphate 0.32 g)

วิธีทดลอง

1.ชั่งตัวอย่าง 2 g ใส่ลงในขวดย่อย

2.เติม catalyst

3.เติมสารละลายกรด sulfuric เข้มข้น 30 ml

4.ย่อยตัวอย่างด้วยเครื่อง Kjeldatherm จนกระทั่งได้สารละลายสีเหลืองอ่อน

5.กลั่นตัวอย่างที่ย่อยได้ด้วยเครื่อง Vapodest I โดยใช้สารละลาย sodium hydroxide เป็นตัวทำปฏิกิริยา และเก็บสารที่กลั่นได้ในสารละลายกรด boric ซึ่งเติม methyl red-methylene blue เพื่อใช้เป็น indicator 5-6 หยด

6.ไตเตรทสารละลายที่กลั่นได้ด้วยสารละลายกรด sulphuric ความเข้มข้น 0.1 N คำนวณปริมาณโปรตีนโดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{A \times B \times 6.25 \times 1.4}{C}$$

A = ความเข้มข้นของกรด sulphuric ที่ใช้ไตเตรท

B = ปริมาตรของกรด sulphuric ที่ใช้ไตเตรท (ml)

C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (g)

ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือ

ตามวิธีของ MFRD (1987b)

อุปกรณ์

1.เครื่องกวนผสมแบบแม่เหล็ก

2.เครื่องหมุนเหวี่ยงแยกสารละลายแบบควบคุมอุณหภูมิต่ำ

3. ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

สารเคมี

1.สารละลาย phosphate buffer เตรียมโดย ผสมสารละลาย potassium di-hydrogen phosphate ความเข้มข้น 0.03 M กับ di-sodium hydrogen phosphate ความเข้มข้น 0.03 M ในอัตราส่วน 1 : 1 แล้วปรับ pH เป็น 6.85

2.สารละลาย potassium chloride phosphate buffer ความเข้มข้น 0.6 M

3.สารละลายกรด sulfuric เข้มข้น

4.สารละลายกรด sulfuric ความเข้มข้น 0.1 N

5.สารละลาย sodium hydroxide ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร

6.สารละลายกรด boric ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยปริมาตร

7.Catalyst (ส่วนผสมของ potassium sulphate 1.8 g และ copper sulphate 0.32 g)

วิธีทดลอง

1.ชั่งตัวอย่าง 10 g เติมสารละลาย potassium chloride phosphate buffer จำนวน 200 ml ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนผสมแบบแม่เหล็ก เป็นเวลา 4 นาที

2.ตั้งตัวอย่างทิ้งไว้ในน้ำแข็ง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.หมุนเหวี่ยงเพื่อแยกสารละลายด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิต่ำที่ความเร็ว 9,000 rpm เป็นเวลา 20 นาที ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 0-5 $^{\circ}$C

4.นำส่วนใสจำนวน 20 ml ไปวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ตามวิธีที่แสดงไว้ในภาคผนวก ก.2

5.คำนวณปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือ โดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือ (mgN/100 g)} = \frac{A \times B \times 14 \times 100}{C}$$

A = ความเข้มข้นของกรด sulphuric ที่ใช้ไตเตรท

B = ปริมาตรของกรด sulphuric ที่ใช้ไตเตรท (ml)

C = น้ำหนักของปลา (g) x $\left[20 / (\text{น้ำหนักของปลา (g)} + 200)\right]$

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

ตามวิธีของ AOAC (1995)

อุปกรณ์

1.ชุดวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

2.ตู้อบ

3.อ่างควบคุมอุณหภูมิ

สารเคมี

Petroleum ether

วิธีทดลอง

1.ชั่งตัวอย่างแห้ง 2 g แล้วห่อด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 โดยห่อ 2 ชั้น

2.ใส่ห่อตัวอย่างลงใน thimble ซึ่งบรรจุในขวดสกัดที่แห้งสนิทและทราบน้ำหนักที่แน่นอน

3.เติม petroleum ether เป็นตัวสกัด 100 ml ลงในขวดสกัด

4.สกัดไขมันเป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง โดยควบคุมอุณหภูมิของ silicone oil ซึ่งเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อนที่ 150 $^{\circ}$C

5.ระเหย petroleum ether ออกจากไขมันที่สกัดได้ แล้วอบขวดสกัดที่ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่

6.ทำให้เย็นใน dessiccator แล้วชั่งน้ำหนักขวดสกัด คำนวณปริมาณไขมันโดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{\text{ปริมาณไขมันที่สกัดได้ (g)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}$$

ก.5 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

ตามวิธีของ AOAC (1995)

อุปกรณ์

1.เตาเผา

2.เตาให้ความร้อน

วิธีทดลอง

1.ชั่งตัวอย่าง 5 g ใส่ใน crucible ที่แห้งสนิทและทราบน้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำตัวอย่างไปเผาจนกระทั่งตัวอย่างไม่มีควัน

2.นำตัวอย่างไปเผาต่อใน muffle furnace ที่ 500-550 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หรือ จนกระทั่งได้เถ้าที่มีสีขาว

3.ทำให้เย็นใน dessiccator แล้วชั่งน้ำหนัก คำนวณปริมาณเถ้าโดยใช้สูตร

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

ก.6 ปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB)

ตามวิธีของ MFRD (1987b)

อุปกรณ์

1.จานคอนเวย์

2.ตู้บ่มเลี้ยงเชื้อ

สารเคมี

1.สารละลายกรด trichloroacetic ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยปริมาตร

2.สารละลาย potassium carbonate อิ่มตัว โดยละลาย potassium carbonate 112 g ในน้ำกลั่น 100 ml

3.สารละลายกรด boric ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร ผสมอินดิเคเตอร์ โดยละลายกรด boric 10 g ใน ethyl alcohol 200 ml ผสมกับอินดิเคเตอร์ (bromocresol green ร้อยละ 0.1 และ methyl red ร้อยละ 0.2 ใน ethyl alcohol) 10 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1 l

4.สารละลายกรด sulfuric ความเข้มข้น 0.02 N

การเตรียมตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่าง 2 g เติมสารละลายกรด trichloroacetic 8 ml ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้และคนเป็นครั้งคราวเป็นเวลา 30 นาที แล้วกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 นำส่วนใสที่กรองได้ไปวิเคราะห์

วิธีทดลอง

1.ปิเปตสารละลายกรด boric 1 ml ใส่ในจานระเหยแบบคอนเวย์ชั้นใน

2.ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 ml ใส่ในจานระเหยแบบคอนเวย์ชั้นนอก

3.ปิเปตสารละลาย potassium carbonate อิ่มตัว 1 ml ใส่ในจานระเหยแบบคอนเวย์ชั้นนอก รีบปิดฝาคอนเวย์ให้สนิททิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 $^{\circ}$C

4.ไตเตรทชั้นในของจานระเหยแบบคอนเวย์ด้วยกรด sulfuric ความเข้มข้น 0.02 N จนสีเขียวเริ่มหายไป คำนวณค่า TVB โดยใช้สูตร

$$\text{TVB (mg/100 g)} = \frac{A \times B \times 14 \times \left[(C \times M/100) + V\right] \times 100}{C}$$

A = ความเข้มข้นของกรด sulphuric ที่ใช้ไตเตรต

B = ปริมาตรของกรด sulphuric ที่ใช้ไตเตรท (ml)

C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (g)

M = ปริมาณความชื้นในตัวอย่าง (ร้อยละ)

V = ปริมาตรของกรด trichloroacetic ที่ใช้ในการสกัด (ml)

ก.7 ปริมาณ trimethylamine (TMA)

ตามวิธีของ MFRD (1987b)

อุปกรณ์

1.จานคอนเวย์

2.ตู้บ่มเลี้ยงเชื้อ

สารเคมี

1.สารละลายกรด trichloroacetic ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยปริมาตร

2.สารละลาย potassium carbonate อิ่มตัว โดยละลาย potassium carbonate 112 g ในน้ำกลั่น 100 ml

3.สารละลายกรด boric ความเข้มข้นร้อยละ 1 ผสมอินดิเคเตอร์ โดยละลายกรด boric 10 g ใน ethyl alcohol 200 ml ผสมกับอินดิเคเตอร์ (bromocresol green ร้อยละ 0.1 และ methyl red ร้อยละ 0.2 ใน ethyl alcohol) 10 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1 l

4.สารละลายกรด sulfuric ความเข้มข้น 0.02 N

5.สารละลาย formaldehyde ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร

การเตรียมตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่าง 2 g เติมสารละลายกรด trichloroacetic 8 ml ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้พร้อมทั้งคนเป็นครั้งคราวเป็นเวลา 30 นาที แล้วกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 นำส่วนใสที่กรองได้ไปวิเคราะห์

วิธีทดลอง

1.ปิเปตสารละลายกรด boric 1 ml ใส่ในจานระเหยแบบคอนเวย์ชั้นใน

2.ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 ml ใส่ในจานระเหยแบบคอนเวย์ชั้นนอก

3.ปิเปตสารละลาย formaldehyde ใส่ในจานระเหยแบบคอนเวย์ชั้นนอก

4.ปิเปตสารละลาย potassium carbonate อิ่มตัว 1 ml ใส่ในจานระเหยแบบคอนเวย์ชั้นนอก รีบปิดฝาคอนเวย์ให้สนิททิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 °C

5.ไตเตรทชั้นในของจานระเหยแบบคอนเวย์ด้วยกรด sulfuric ความเข้มข้น 0.02 N จนสีเขียวเริ่มหายไป คำนวณค่า TMA โดยใช้สูตร

$$\text{TMA (mg/100 g)} = \frac{A \times B \times 14 \times [(C \times M/100) + V] \times 100}{C}$$

A = ความเข้มข้นของกรด sulphuric ที่ใช้ไตเตรท

B = ปริมาตรของกรด sulphuric ที่ใช้ไตเตรท (ml)

C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (g)

M = ปริมาณความชื้นในตัวอย่าง (ร้อยละ)

V = ปริมาตรของกรด trichloroacetic ที่ใช้ในการสกัด (ml)

ก.8 การคำนวณการปรับความชื้นเพื่อคืนตัวปลาผงสำหรับเตรียมตัวอย่างเจล

เมื่อชั่งปลาผงน้ำหนัก 10 g ที่มีความชื้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก

แสดงว่าปลาผง 100 g มีน้ำหนักแห้ง 94 g และมีความชื้น 6 g

ถ้าปลาผง 10 g มีน้ำหนักแห้ง 9.4 g และมีความชื้น 0.6 g

ถ้าต้องการเตรียมตัวอย่างปลาผงให้มีความชื้นร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก

นั่นคือตัวอย่างปลาผง 100 g

มีน้ำหนักปลาผงแห้ง 20 g และมีความชื้น 80 g

ถ้ามีปลาผงแห้ง 9.4 g จะมีความชื้น (9.4 x 80) / 20 = 37.6 g

แต่เนื่องจากในปลาผงมีความชื้น 0.6 g เพราะฉะนั้นต้องเติมน้ำ 37.6 - 0.6 = 37.0 g

นั่นคือเมื่อต้องการปรับความชื้นปลาผงน้ำหนัก 10 g ที่มีความชื้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก ให้มีความชื้นเป็นร้อยละ 80 จะต้องเติมน้ำ 37 g

ก.9 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่า TBA

1.สารละลายกรด thiobarbituric เตรียมโดย ละลายกรด thiobarbituric 1 g ใน สารละลาย sodium hydroxide ความเข้มข้น 0.1 N จำนวน 75 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 ml

2.สารละลายกรด trichloroacetic ผสม กรด hydrochloric (TCA-HCL) เตรียมโดย ผสมสารละลายกรด trichloroacetic ความเข้มข้นร้อยละ 25 โดยปริมาตร จำนวน 50 ml และ กรด hydrochoric ความเข้มข้น 0.6 N จำนวน 30 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 500 ml

3.สารละลาย EDTA ความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยปริมาตร

4.สารละลายกันหืน เตรียมโดย ละลาย BHA 0.3 g ในสารละลายของ propyleneglycol 5.4 g และ BHT 0.3 g ในสารละลาย Tween 20 ที่อุ่นแล้ว

ภาคผนวก ข

วิธีใช้เครื่องมือ

ข.1 เครื่อง Texturometer

วิธีใช้

1.ติดตั้งหัวกดเข้ากับ load cell ของเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส

2.ตั้งค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวกด 1.1 mm/s

3.วางตัวอย่างบนบริเวณตรงกลางของแท่นวาง

4.กดปุ่มวัด เพื่อเลื่อนหัวกดลงมากดตัวอย่างจนกระทั่งตัวอย่างแตก

5.บันทึกค่าแรง (g) และ ระยะทาง (cm) สูงสุดที่กดให้ตัวอย่างเจลแตก

ข.2 เครื่อง Hunterlab Digital Color Difference Meter

วิธีใช้

1.เลื่อนสวิทซ์ POWER ON พร้อมกับกดปุ่ม ALL DATA CLEAR

2.กดปุ่ม INDEX SET

3.เลือกแหล่งแสง C หรือ D_{65} แล้วกดปุ่ม ENTER

4.กดปุ่ม CALIBRATE เพื่อป้อนค่า Y, x, y ตามแหล่งแสงที่เลือกไว้ในข้อ 3.

5.นำหัววัดวางลงบนแผ่น CALIBRATE

6.กดปุ่ม MEASURE แล้วรอจนเกิดการ reflect ของแสงครบ 3 ครั้ง

7.กดปุ่ม COLOR SPACE SELECT เพื่อเลือกระบบสีที่ต้องการ เช่น L, a, b เป็นต้น

8.วัดตัวอย่างโดยกดปุ่ม MEASURE

9.ถ้าต้องการวิเคราะห์สถิติ กดปุ่ม STAT เครื่องจะแสดงค่า Max, Min, Mean และ SD

ข.3 เครื่องวัดความหนืด

วิธีใช้

1.นำตัวอย่างใส่ใน Chamber พร้อมใส่แกนปั่น (Spindle)

2.กดสวิทซ์ ON/OFF ทางด้านหลังเครื่อง

3.หน้าจอแสดง MAIN MENU กดปุ่ม △▽ เพื่อเลื่อนแถบไฟไปยังตำแหน่ง RUN SINGLE แล้วกด OK.

4.หน้าจอแสดง SELECT MEASURE SYSTEM กดปุ่ม△▽ เพื่อเลื่อนแถบไฟไปยังตำแหน่ง CC 48 แล้วกด OK.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.หน้าจอแสดง SELECT INPUT MODE กดปุ่ม △▽ เพื่อเลื่อนแถบไฟไปยังตำแหน่ง rpm แล้วกด OK.

6.หน้าจอแสดง INPUT VALUES โดยให้ป้อนค่าต่างๆ ดังนี้

-Val (ค่าความเร็วรอบ)

-Nr (ความถี่ในการวัด)

-Time (เวลาในการวัด)

กดปุ่ม △▽ เพื่อเปลี่ยนตัวเลขในตำแหน่งที่แถบไฟอยู่ และกด OK. เพื่อเลื่อนแถบไฟไปยังตำแหน่งต่อไป หรือ ST เพื่อย้อนกลับสู่การตั้งค่าใหม่

7.หน้าจอแสดง INPUT MEASURING Id. ให้ใส่ชื่อในการวัดแต่ละครั้งโดยกด △▽ เพื่อเปลี่ยนตัวอักษร แล้วกด OK.

8.หน้าจอแสดง OUTPUT OF MPS TO

กด ST เพื่อเริ่มทำงาน

<u>หมายเหตุ</u>

ควรมีการ CALIBRATE เครื่องไม่น้อยกว่า 1 ครั้งต่อสัปดาห์ โดยวิธีดังนี้

1.กดสวิทซ์ ON/OFF ทางด้านหลังเครื่อง โดยไม่ต้องต่อ chamber และ spindle เข้ากับเครื่อง

2.หน้าจอแสดง MAIN MENU กดปุ่ม △▽ เพื่อเลื่อนแถบไฟไปยังตำแหน่ง UTILITY แล้วกด OK.

3.หน้าจอแสดง UTILITY MENU กดปุ่ม △▽ เพื่อเลื่อนแถบไฟไปยังตำแหน่ง ZERO-CALIBRATION แล้วกด OK.

4.เมื่อเครื่องทำการ CALIBRATE เสร็จสิ้น กด ST เพื่อย้อนสู่ MAIN MENU

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

แบบทดสอบการประเมินทางประสาทสัมผัส

ค.1 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้น

TRIANGLE TEST

วันที่.......................................

ผู้ทดสอบ.................................

ข้อแนะนำ ต่อไปนี้จะมีตัวอย่างลูกชิ้น 3 ตัวอย่างให้ทดสอบ 2 ใน 3 ตัวอย่างจะเหมือนกัน แล้วแยกตัวอย่างที่มีความแตกต่างออกจากตัวอย่างที่เหมือนกัน

รหัสตัวอย่างที่ทดสอบ ได้แก่ 235, 432 และ 103

ตัวอย่างที่แตกต่าง คือ....................

แสดงระดับของความแตกต่างระหว่างตัวอย่างที่เหมือนกัน 2 ตัวอย่าง กับ ตัวอย่างที่แตกต่างกัน

เล็กน้อย (Slight)....................

ปานกลาง (Moderate)..............

มาก (Much)..........................

มากที่สุด (Extreme)................

การยอมรับ (Acceptability)

ตัวอย่างที่แตกต่างมีการยอมรับมากกว่า...............

ตัวอย่างที่เหมือนกันมีการยอมรับมากกว่า............

ข้อเสนอแนะ...

....

....

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.2 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นที่ผลิตจากปลาผง

SCORING TEST DESCRIPTIVE ANALYSIS

วันที่…………………………………..

ผู้ทดสอบ……………………………..

คำแนะนำ ตัวอย่างที่ท่านกำลังทดสอบในครั้งนี้ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากปลาผง โปรดอาศัยความสามารถด้านประสาทสัมผัสของท่าน ในการอธิบายความแตกต่างของคุณภาพต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ โดยการให้คะแนนของแต่ละลักษณะต่างๆ ดังต่อไปนี้

คุณภาพด้าน	รายละเอียด				
1.สี (color)	มีสีแปลกไปจากปกติ เช่น สีน้ำตาลเข้ม (1-4) มีสีผิดปกติเล็กน้อย แต่ยังเป็นที่ยอมรับ (5-7) มีสีขาวที่ดี (8-10)				
2.กลิ่นรส (flavor)	มีรสหวานและกลิ่นปลาเด่นชัด (1-4) มีรสหวานและกลิ่นปลาปานกลาง แต่ยังเป็นที่ยอมรับ (5-7) ไม่มีรสหวานและกลิ่นปลาเด่นชัด (8-10)				
3.ลักษณะเนื้อสัมผัส (texture)	ไม่มีความเหนียวและความยืดหยุ่น (1-4) มีความเหนียวและความยืดหยุ่นปานกลาง (5-7) มีความเหนียวและความยืดหยุ่นมาก (8-10)				
4.การยอมรับรวม (overall acceptability)	ไม่ชอบมากที่สุด, ไม่ชอบมาก, ไม่ชอบปานกลาง (1-4) ไม่ชอบเล็กน้อย, เฉยๆ, ชอบเล็กน้อย (5-7) ชอบปานกลาง, ชอบมาก, ชอบมากที่สุด (8-10)				

ข้อเสนอแนะ…………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.3 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นที่ผลิตจากปลาผงในช่วงเวลาการเก็บรักษา

SCORING TEST DESCRIPTIVE ANALYSIS

วันที่…………………………………..

ผู้ทดสอบ……………………………..

คำแนะนำ ตัวอย่างที่ท่านกำลังทดสอบในครั้งนี้ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากปลาผง โปรดอาศัยความสามารถด้านประสาทสัมผัสของท่าน ในการอธิบายความแตกต่างของคุณภาพต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ โดยการให้คะแนนของแต่ละลักษณะต่างๆ ดังต่อไปนี้

คุณภาพด้าน	รายละเอียด				
1.สี (color)	มีสีแปลกไปจากปกติ เช่น สีน้ำตาลเข้ม (1-4) มีสีผิดปกติเล็กน้อย แต่ยังเป็นที่ยอมรับ (5-7) มีสีขาวที่ดี (8-10)				
2.กลิ่น (odor)	มีกลิ่นหืนอย่างเด่นชัด (1-4) มีกลิ่นหืนปานกลาง แต่ยังเป็นที่ยอมรับ (5-7) ไม่มีกลิ่นหืนเด่นชัด (8-10)				
3.ลักษณะเนื้อสัมผัส (texture)	ไม่มีความเหนียวและความยืดหยุ่น (1-4) มีความเหนียวและความยืดหยุ่นปานกลาง (5-7) มีความเหนียวและความยืดหยุ่นมาก (8-10)				
4.การยอมรับรวม (overall acceptability)	ไม่ชอบมากที่สุด, ไม่ชอบมาก, ไม่ชอบปานกลาง (1-4) ไม่ชอบเล็กน้อย, เฉยๆ, ชอบเล็กน้อย (5-7) ชอบปานกลาง, ชอบมาก, ชอบมากที่สุด (8-10)				

ข้อเสนอแนะ……………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

วิธีการฝึกฝนและคัดเลือกผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส

ใช้วิธีการคัดเลือกและฝึกฝนที่ดัดแปลงจาก International Standard Organization (ISO 8586-1) และวิธีของ Meilgaard, Coville และ Carr (1987) ตามขั้นตอนดังนี้

1.Screening เป็นขั้นตอนคัดเลือกผู้ที่มีพื้นฐาน ไม่มีโรคประจำตัวที่ขัดขวางการประเมิน และมีเวลาว่างตลอดการฝึกฝนและการทดลอง โดยใช้แบบสอบภามของ Meilgaard, Coville และ Carr (1987) หน้า 172 คัดเลือกผู้ทดสอบ 20 คน

2.Training เป็นขั้นตอนสร้างความคุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์ลูกชิ้น ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส และ ลักษณะเนื้อสัมผัส เพื่อให้ผู้ทดสอบทุกคนมีความเข้าใจในคุณสมบัติเฉพาะที่กำลังประเมินอยู่ และตอบสนองในลักษณะที่เหมือนกัน โดยอธิบายธรรมชาติของการทดลองทางประสาทสัมผัส แล้วใช้ผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นในท้องตลาดให้ผู้ทดสอบอธิบายลักษณะต่างๆในความเข้าใจของตน ประชุมกลุ่มผู้ทดสอบเพื่อสร้างความเข้าใจร่วมกัน

3.Selecting เป็นขั้นตอนเลือกผู้ทดสอบ โดยนำผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นในท้องตลาด 2 ชนิด คือ ลูกชิ้นปลานายฮั้งเพ้ง และ ลูกชิ้นปลาแต้จิ๋ว มาให้ผู้ทดสอบแยกความแตกต่าง โดยใช้แบบทดสอบ Triangle Test (แบบทดสอบแสดงดังภาคผนวก ค.1) เลือกผู้ทดสอบที่สามารถแยกความแตกต่างได้ 10 คน เป็นผู้ทดสอบตลอดการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

รายละเอียดเครื่องทำแห้ง

เครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย

Chamber:	ϕ620 * 800 mm / 60°, cladding of palnted mild steel
Exhaust system:	Cyclone ϕ140 CHE. Option : Cartridge Filter
Heating:	El-Heater 7.5 Kw, Maximum inlet temperature 350 $^{\circ}$C
Atomizing equipment:	Rotary Atomizer, pneumatic driven, with standard or abrasive resistant wheel Co-current Two-fluid Nozzle
Powder collection:	Single point under the cyclone
Pump:	Peristaltic pump, infinitely variable control, locally
Control Panel:	Included. Cabeling to power consumers and instruments included.

Motors and field instruments : Included.

Fan:	Exhaust fan
Material:	Parts coming into contact with product are made of Stainless steel, AISI 316.
Equipment avallable:	Exhaust gas Cartridge filter

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	Air Compressor Extension section for drying chamber, ϕ620 * 230 w /three windows Components for drying by Swirl Fluidzier concept Special equipment on request
Drying air rate:	80 Kg/h.
Drying capacity:	Between 1-7 Kg water evaporation/h. depending on parameters chosen

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ ฉ.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณผลผลิตของ slurry ของเนื้อปลาบดที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 10-40 โดยน้ำหนัก

SOV	df	MS
ปริมาณของแข็ง	3	111.920*
error	4	0.340

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ฉ.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นกระจายของ slurry ของเนื้อปลาบดที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 10-40 โดยน้ำหนัก

SOV	df	MS
ปริมาณของแข็ง	3	475.000*
error	4	68.750

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ฉ.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขาวของปลาผงที่ทำแห้งโดยผสม sucrose ร้อยละ 0-5 โดยน้ำหนัก และ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150-190 $^{\circ}$C

SOV	df	MS
อุณหภูมิลมร้อนเข้า (A)	2	9.137*
ปริมาณ sucrose (B)	2	38.679*
A X B	4	0.496*
error	9	0.063

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณผลผลิตของปลาผงที่ทำแห้งโดยผสม sucrose ร้อยละ 0-5 โดยน้ำหนัก และ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150-190 °C

SOV	df	MS
อุณหภูมิลมร้อนเข้า (A)	2	0.475
ปริมาณ sucrose (B)	2	119.302*
A X B	4	7.177*
error	9	0.283

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ฉ.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการอุ้มน้ำของปลาผงที่ทำแห้งโดยผสม sucrose ร้อยละ 0-5 โดยน้ำหนัก และ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150-190 °C

SOV	df	MS
อุณหภูมิลมร้อนเข้า (A)	2	91.523*
ปริมาณ sucrose (B)	2	104.101*
A X B	4	21.217*
error	9	0.190

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ฉ.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความจุอิมัลชั่นของปลาผงที่ทำแห้งโดยผสม sucrose ร้อยละ 0-5 โดยน้ำหนัก และ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150-190 °C

SOV	df	MS
อุณหภูมิลมร้อนเข้า (A)	2	10964.264*
ปริมาณ sucrose (B)	2	11137.264*
A X B	4	2500.118*
error	9	6.361

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ฉ.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ gel strength ของเจลที่เตรียมจากปลาผง (เติมแป้งมันฝรั่งร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก) ที่ทำแห้งโดยผสม sucrose ร้อยละ 0-5 โดยน้ำหนัก และ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150-190 °C

SOV	df	MS
อุณหภูมิลมร้อนเข้า (A)	2	17306.293*
ปริมาณ sucrose (B)	2	28961.599*
A X B	4	1865.366*
error	9	30.465

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ฉ.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขาวของเจลที่เตรียมจากปลาผงที่ไม่ได้เติมหรือเติมแป้งมันฝรั่งร้อยละ 2-11 โดยน้ำหนัก หรือ เติมเอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.01-0.04 โดยน้ำหนัก

SOV	df	MS
ปริมาณสารที่ใช้ปรับปรุงคุณสมบัติในการเกิดเจล	8	8.460*
error	9	0.080

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ฉ.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ gel strength ของเจลที่เตรียมจากปลาผงที่ไม่ได้เติมหรือเติมแป้งมันฝรั่งร้อยละ 2-11 โดยน้ำหนัก หรือ เติมเอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.01-0.04 โดยน้ำหนัก

SOV	df	MS
ปริมาณสารที่ใช้ปรับปรุงคุณสมบัติในการเกิดเจล	8	39297.780*
error	9	11.110

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ฉ.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการอุ้มน้ำของเจลที่เตรียมจากปลาผงที่ไม่ได้เติมหรือเติมแป้งมันฝรั่งร้อยละ 2-11 โดยน้ำหนัก หรือ เติมเอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.01-0.04 โดยน้ำหนัก

SOV	df	MS
ปริมาณสารที่ใช้ปรับปรุงคุณสมบัติในการเกิดเจล	8	17.290*
error	9	0.350

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ฉ.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเจลที่เตรียมจากปลาผงที่ไม่ได้เติมหรือเติมแป้งมันฝรั่งร้อยละ 2-11 โดยน้ำหนัก หรือ เติมเอนไซม์ TGase ร้อยละ 0.01-0.04 โดยน้ำหนัก

SOV	df	MS			
		สี	กลิ่นรส	ลักษณะเนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
ปริมาณสารที่ใช้ปรับปรุงคุณสมบัติในการเกิดเจล	8	4.103*	5.850*	26.636*	21.786*
Block	9	0.400*	0.480*	1.205*	1.156*
error	72	0.131	0.208	0.352	0.314

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.12 ปริมาณความชื้นและค่า A_w ของปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรืออุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน

อุณหภูมิการเก็บ (°C)	ภาวะการเก็บ	อายุการเก็บ (สัปดาห์)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ค่า A_w
อุณหภูมิตู้เย็น	สุญญากาศ	2	6.38 ± 0.34	0.29 ± 0.03
		4	6.41 ± 0.13	0.32 ± 0.02
		6	6.78 ± 0.28	0.33 ± 0.01
		8	7.23 ± 0.31	0.35 ± 0.01
		10	7.51 ± 0.37	0.36 ± 0.01
		12	7.64 ± 0.37	0.39 ± 0.00
	ปกติ	2	6.44 ± 0.35	0.31 ± 0.02
		4	6.47 ± 0.50	0.34 ± 0.00
		6	6.95 ± 0.46	0.38 ± 0.01
		8	7.41 ± 0.40	0.40 ± 0.00
		10	7.59 ± 0.42	0.42 ± 0.01
		12	7.73 ± 0.53	0.43 ± 0.00
อุณหภูมิห้อง	สุญญากาศ	2	7.56 ± 0.48	0.34 ± 0.05
		4	7.76 ± 0.28	0.40 ± 0.05
		6	8.29 ± 0.40	0.42 ± 0.03
		8	8.75 ± 0.25	0.48 ± 0.00
		10	9.27 ± 0.42	0.51 ± 0.00
		12	9.73 ± 0.34	0.54 ± 0.01
	ปกติ	2	7.64 ± 0.45	0.34 ± 0.06
		4	8.16 ± 0.30	0.39 ± 0.05
		6	9.29 ± 0.48	0.48 ± 0.03
		8	9.67 ± 0.47	0.51 ± 0.01
		10	10.74 ± 0.59	0.53 ± 0.01
		12	11.75 ± 0.57	0.57 ± 0.01

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.13 ความสามารถในการอุ้มน้ำของปลาผงและ gel strength ของเจลที่เตรียมจากปลาผงที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศและเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 $^{\circ}$C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 $^{\circ}$C) เป็นเวลา 3 เดือน

อุณหภูมิการเก็บ ($^{\circ}$C)	ภาวะการเก็บ	อายุการเก็บ (สัปดาห์)	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (g/g)	ค่า gel strength (g cm)
อุณหภูมิตู้เย็น	สุญญากาศ	2	33.28 ± 0.61	412.99 ± 7.55
		4	32.78 ± 1.09	410.32 ± 6.97
		6	32.25 ± 0.54	405.69 ± 9.05
		8	32.42 ± 0.66	401.23 ± 8.13
		10	32.58 ± 0.75	398.82 ± 4.10
		12	32.65 ± 0.59	397.23 ± 3.79
	ปกติ	2	32.56 ± 1.00	410.85 ± 10.22
		4	32.19 ± 0.76	409.38 ± 5.22
		6	32.14 ± 0.59	407.96 ± 3.86
		8	32.67 ± 0.62	400.25 ± 2.31
		10	32.10 ± 0.21	402.65 ± 6.96
		12	31.99 ± 0.99	398.12 ± 0.66
อุณหภูมิห้อง	สุญญากาศ	2	30.61 ± 1.07	392.98 ± 6.39
		4	30.14 ± 1.44	385.25 ± 1.46
		6	28.32 ± 1.60	372.49 ± 4.53
		8	28.65 ± 1.43	355.42 ± 3.66
		10	26.59 ± 1.87	309.09 ± 8.61
		12	26.58 ± 1.87	295.12 ± 3.95
	ปกติ	2	30.43 ± 1.64	390.86 ± 5.12
		4	30.13 ± 0.83	382.19 ± 2.93
		6	28.15 ± 1.63	370.45 ± 6.49
		8	28.45 ± 0.61	350.34 ± 7.10
		10	26.39 ± 1.05	300.98 ± 6.75
		12	26.82 ± 1.64	285.03 ± 5.73

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.14 ความจุอิมัลชั่นและค่า log ของจุลินทรีย์ทั้งหมดของปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน

อุณหภูมิการเก็บ (°C)	ภาวะการเก็บ	อายุการเก็บ (สัปดาห์)	ความจุอิมัลชั่น (ml/g)	ค่า log ของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)
อุณหภูมิตู้เย็น	สุญญากาศ	2	275.00 ± 2.83	4.11 ± 0.65
		4	272.00 ± 4.24	4.23 ± 0.82
		6	276.00 ± 5.66	4.39 ± 0.57
		8	275.00 ± 1.41	4.18 ± 0.25
		10	273.00 ± 5.66	4.21 ± 0.35
		12	272.00 ± 2.83	4.25 ± 0.38
	ปกติ	2	273.50 ± 2.12	4.19 ± 0.66
		4	273.00 ± 0.00	4.21 ± 0.54
		6	274.50 ± 6.36	4.34 ± 0.57
		8	272.50 ± 3.54	4.44 ± 0.44
		10	272.00 ± 2.83	4.38 ± 0.51
		12	273.50 ± 4.95	4.49 ± 0.85
อุณหภูมิห้อง	สุญญากาศ	2	266.50 ± 4.95	4.20 ± 0.78
		4	265.50 ± 6.36	4.23 ± 0.62
		6	263.50 ± 3.54	4.38 ± 0.85
		8	264.00 ± 7.07	4.49 ± 0.81
		10	263.00 ± 5.66	4.51 ± 0.57
		12	261.00 ± 0.00	4.42 ± 0.33
	ปกติ	2	265.50 ± 3.51	4.19 ± 0.74
		4	263.50 ± 7.79	4.32 ± 0.61
		6	262.00 ± 7.07	4.35 ± 0.85
		8	264.00 ± 0.00	4.29 ± 0.61
		10	263.00 ± 1.41	4.46 ± 0.52
		12	260.50 ± 7.79	4.49 ± 0.48

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.15 คะแนนสี และ กลิ่น ของเจลที่เตรียมจากปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 $^{\circ}$C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 $^{\circ}$C) เป็นเวลา 3 เดือน

อุณหภูมิการเก็บ ($^{\circ}$C)	ภาวะการเก็บ	อายุการเก็บ (สัปดาห์)	สี	กลิ่น
อุณหภูมิตู้เย็น	สุญญากาศ	2	8.80 ± 0.63	9.30 ± 0.43
		4	8.60 ± 0.84	8.70 ± 0.48
		6	8.40 ± 0.52	8.40 ± 0.51
		8	8.40 ± 0.50	8.20 ± 0.42
		10	8.40 ± 0.52	8.00 ± 0.67
		12	8.10 ± 0.74	7.80 ± 0.42
	ปกติ	2	8.20 ± 0.42	8.80 ± 0.63
		4	8.10 ± 0.32	8.40 ± 0.52
		6	7.90 ± 0.32	7.80 ± 0.42
		8	8.00 ± 0.67	7.70 ± 0.48
		10	7.90 ± 0.57	7.50 ± 0.85
		12	7.70 ± 0.67	7.30 ± 0.48
อุณหภูมิห้อง	สุญญากาศ	2	7.70 ± 0.49	8.50 ± 0.53
		4	7.50 ± 0.53	8.20 ± 0.42
		6	7.00 ± 0.47	7.40 ± 0.52
		8	6.80 ± 0.89	6.50 ± 0.53
		10	6.70 ± 0.67	6.30 ± 0.48
		12	6.20 ± 0.63	5.90 ± 0.57
	ปกติ	2	7.60 ± 0.52	8.40 ± 0.52
		4	7.00 ± 0.47	7.70 ± 0.48
		6	6.60 ± 0.52	6.70 ± 0.48
		8	6.30 ± 0.67	6.10 ± 0.32
		10	6.20 ± 0.63	5.80 ± 0.42
		12	5.90 ± 0.57	5.20 ± 0.42

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.16 คะแนนลักษณะเนื้อสัมผัส และ การยอมรับรวม ของเจลที่เตรียมจากปลาผง ที่บรรจุในถุง LLDPE เคลือบด้วย nylon ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 °C) หรือ อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 3 เดือน

อุณหภูมิการเก็บ (°C)	ภาวะการเก็บ	อายุการเก็บ (สัปดาห์)	ลักษณะเนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
อุณหภูมิตู้เย็น	สุญญากาศ	2	8.90 ± 0.82	8.80 ± 0.42
		4	8.80 ± 0.42	8.60 ± 0.52
		6	8.70 ± 0.48	8.50 ± 0.53
		8	8.70 ± 0.29	8.30 ± 0.48
		10	8.30 ± 0.79	8.10 ± 0.74
		12	8.10 ± 0.22	7.90 ± 0.57
	ปกติ	2	8.80 ± 0.42	8.70 ± 0.48
		4	8.30 ± 0.48	8.36 ± 0.50
		6	8.10 ± 0.32	8.00 ± 0.42
		8	8.00 ± 0.53	7.80 ± 0.42
		10	7.60 ± 0.22	7.40 ± 0.52
		12	7.60 ± 0.56	7.20 ± 0.79
อุณหภูมิห้อง	สุญญากาศ	2	8.50 ± 0.53	8.30 ± 0.47
		4	7.90 ± 0.32	7.80 ± 0.42
		6	7.70 ± 0.48	7.70 ± 0.48
		8	7.40 ± 0.35	6.90 ± 0.88
		10	6.60 ± 0.45	6.50 ± 0.53
		12	6.10 ± 0.74	5.60 ± 0.52
	ปกติ	2	7.90 ± 0.32	7.90 ± 0.32
		4	7.60 ± 0.52	7.10 ± 0.32
		6	7.30 ± 0.63	7.20 ± 0.63
		8	6.70 ± 0.42	6.40 ± 0.52
		10	6.00 ± 0.48	5.90 ± 0.32
		12	5.60 ± 0.79	5.30 ± 0.43

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวภาราไต พืชสะกะ เกิดวันที่ 14 ตุลาคม 2516 ที่จังหวัดสงขลา ได้รับปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปีการศึกษา 2538

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย