# รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

**การใช้หนังปลาที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอาหารเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลา**

**Using fish skin by-product from food industry to develop as similar fish maw product**


| | |
|---|---|
| **อ.ดร.นิสานารถ กระแสร์ชล** | **หัวหน้าโครงการวิจัย** |
| **ผศ.ดร.วิชมณี ยืนยงพุทธกาล** | **ผู้ร่วมวิจัย** |
| **อ.ดร.สิริมา ชินสาร** | **ผู้ร่วมวิจัย** |



**โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้**

**(เงินอุดหนุนจากรัฐบาล)**

**ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561**

**มหาวิทยาลัยบูรพา**

รหัสโครงการ 256107A1080050
สัญญาเลขที่ 134/2561

# รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

## การใช้หนังปลาที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอาหารเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลา

## Using fish skin by-product from food industry to develop as similar fish maw product

อ.ดร.นิสานารถ กระแสร์ชล
ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา

# กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 134-2561 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย ได้แก่ นางสาวมัธญาณี โลมจะบก นางสาวปวีณา เกิดวัน และนางสาวศศิธร ลาญมีชัย ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์และสถานที่สำหรับการทำงานวิจัย รวมถึงขอขบคุณเจ้าหน้าที่และนิสิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

หากงานวิจัยนี้มีความดีอันได้บังเกิด ผู้วิจัยขอมอบแด่ บิดา มารดา พี่ ครู อาจารย์ ลูกศิษย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

# บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการเตรียมขั้นต้นคอลลาเจนจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารทะเล ตอนที่ 1 ศึกษาผลของชนิดของสารละลายในการเตรียมคอลลาเจนที่มีผลต่อคุณภาพของเจลาตินจากผลพลอยได้ในอุตสาหกรรมซูริมิ โดยแปรชนิดของสารละลายเป็น ไม่แช่สารละลาย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M สารละลายกรดอะซิติก 0.05 M และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M ร่วมกับกรดอะซิติก 0.05 M พบว่าชนิดของสารละลายมีผลต่อร้อยละผลได้และค่าความขาวของแผ่นเจลาตินอบแห้ง และมีผลต่อความกรอบ ปริมาตรการพองตัว อัตราการพองตัวและการดูดซับน้ำมันของแผ่นเจลาตินทอด ($p \leq 0.05$) โดย ร้อยละผลได้ของแผ่นเจลาตินอบแห้งที่มีค่ามากที่สุดคือเจลาตินที่ไม่ผ่านการแช่สารละลาย ค่าความขาวของแผ่นเจลาตินอบแห้งที่มีค่ามากที่สุดคือเจลาตินที่ผ่านการแช่สารละลายกรดอะซิติก 0.05 M ค่าความกรอบของเจลาตินทอดที่มีค่าสูงสุดคือแผ่นเจลาตินที่ผ่านการแช่สารละลายกรดอะซิติกและแผ่นเจลาตินที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M ร่วมกับกรดอะซิติก 0.05 M ปริมาตรที่มีค่าสูงที่สุดคือแผ่นเจลาตินที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับกรดอะซิติก และค่าการดูดซับน้ำมันที่มีค่ามากที่สุดคือแผ่นเจลาตินที่ผ่านการแช่สารละลายกรดอะซิติก 0.05 M และความเป็นรูพรุนของแผ่นเจลาตินทอด พบว่าแผ่นเจลาตินที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายมีลักษณะรูพรุนที่ใหญ่กว่าแผ่นเจลาตินชนิดอื่น แต่ชนิดของสารละลายไม่มีผลต่อร้อยละผลได้ ค่าความขาว ความแข็ง อัตราการพองตัวของแผ่นเจลาตินทอด ($p > 0.05$) ตอนที่ 2 ศึกษาวิธีการสกัดเจลาตินจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารทะเล โดยศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดเจลาติน โดยการแปรอุณหภูมิในการสกัดเป็น 55 และ 95 องศาเซลเซียส พบว่าการสกัดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส มีร้อยละผลได้ของคอลลาเจนอบแห้งและภายหลังการทอด รวมทั้งมีอัตราการพองตัวสูงกว่าการสกัดที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ตอนที่ 3 ศึกษากรรมวิธีในการผลิตผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารทะเล โดยศึกษาผลของปริมาณความชื้นที่มีต่อคุณภาพของแผ่นเจลาตินทอด โดยการแปรปริมาณความชื้นของแผ่นเจลาตินอบแห้งเป็น 13 18 และ 23% พบว่าแผ่นเจลาตินอบแห้งที่มีปริมาณความชื้น 13% มีอัตราการพองตัวของแผ่นเจลาตินทอดสูงสุด และมีแนวโน้มว่าแผ่นเจลาตินอบแห้งที่มีปริมาณความชื้น 23% มีคะแนนความชอบโดยรวมของแผ่นเจลาตินทอดสูงสุด และตอนที่ 4 ศึกษาคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาเปรียบเทียบกับกระเพาะปลาทางการค้า พบว่าผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลามีปริมาณความชื้น โปรตีน และค่าความแข็งต่ำกว่า แต่มีประมาณไขมันเถ้า และคาร์โบไฮเดรตสูงกว่ากระเพาะปลาแท้และกระเพาะปลาเทียม และเมื่อทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่าผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาได้รับคะแนนความชอบโดยรวม 5.33 คะแนน อยู่ในเกณฑ์เฉยๆ ทั้งนี้นวัตกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารทะเลมีศักยภาพและสามารถเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจให้ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารทะเลได้

# สารบัญ

หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
สารบัญ..... จ
สารบัญตาราง..... ฉ
สารบัญภาพ..... ช
บทที่
1 บทนำ..... 1
2 การตรวจเอกสาร..... 3
ผลพลอยได้ทางการประมง..... 3
ปลาทรายแดง..... 4
หนังปลา..... 10
คอลลาเจน..... 11
เจลาติน..... 15
ผลิตภัณฑ์อาหารทอด..... 27
กลไกการดูดซับน้ำมัน..... 30
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 32
3 วิธีดำเนินการทดลอง..... 34
วัตถุดิบ..... 34
สารเคมีและอุปกรณ์..... 34
วิธีดำเนินการทดลอง..... 35
4 ผลการทดลองและวิจารณ์..... 43
5 สรุปผลการทดลอง..... 63
รายการอ้างอิง..... 65
ภาคผนวก..... 69
ประวัตินักวิจัยและคณะ..... 84

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2-1 สัดส่วนโดยประมาณขององค์ประกอบปลา....4
2-2 สัดส่วนโดยประมาณขององค์ประกอบกุ้ง....4
2-3 ชนิดและปริมาณเป็นร้อยละของกรดอะมิโนที่พบในเจลาติน ที่ผลิตได้จากหนังปลา 4 ชนิด....20
2-4 ชนิดและปริมาณเป็นร้อยละของกรดอะมิโนที่พบในเลาตินที่ผลิตได้จากสัตว์เลี้ยงลูก ด้วยนมชนิดต่างๆ....21
2-5 ตัวอย่างชนิดของปลาและวิธีการสกัดเจลาติน....24
2-6 ผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้เจลาติน....27
3-1 สิ่งทดลองที่มีชนิดของสารละลายต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียมคอลลาเจนจากผลพลอยได้....35
3-2 สิ่งทดลองที่มีปริมาณความชื้นในระดับต่างๆ ที่ใช้ในวิธีการเตรียมคอลลาเจน จากผลพลอยได้ของปลาทรายแดง....39
4-1 ร้อยละผลได้ของแผ่นเจลาตินอบแห้งและแผ่นเจลาตินทอด ที่ผ่านการแช่สารละลายต่างชนิดกัน....43
4-2 ค่าสีของแผ่นเจลาตินอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายต่างชนิดกัน....44
4-3 ค่าสีของแผ่นเจลาตินทอดที่ผ่านการแช่สารละลายต่างชนิดกัน....45
4-4 ค่าความกรอบและความแข็งของแผ่นเจลาตินทอดที่ผ่านการแช่สารละลายต่างชนิดกัน....46
4-5 ค่าปริมาตรและปริมาตรจำเพาะจากการแทนที่เมล็ดงาของแผ่นเจลาตินทอด ที่ผ่านการแช่สารละลายต่างชนิดกัน....47
4-6 ค่าการดูดซับน้ำมันของแผ่นเจลาตินทอดที่ผ่านกระแช่สารละลายต่างชนิดกัน....47
4-7 ร้อยละผลได้และค่าความขาวของแผ่นเจลาตินอบและทอดที่ผ่านการอบไล่ความชื้น จนมีปริมาณความชื้นในระดับต่างๆ....49
4-8 ค่าความแข็ง ความกรอบ ปริมาตร อัตราการพองตัว การดูดซับน้ำมันของแผ่นเจลาตินทอด ที่ผ่านการอบไล่ความชื้นจนมีปริมาณความชื้นในระดับต่างๆ ....49
4-9 ร้อยละผลได้ของแผ่นคอลลาเจนอบแห้งและแผ่นคอลลาเจนทอดที่ผ่านการสกัดด้วย อุณหภูมิต่าง ๆ....50
4-10 ค่าปริมาตรและอัตราการะพองตัวของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ผ่านการสกัดด้วยอุณหภูมิ ต่างๆ....50
4-11 ร้อยละผลได้ของแผ่นคอลลาเจนอบแห้งและแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ....53
4-12 องค์ประกอบทางเคมีของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ปริมาณความชื้นต่าง ๆ....54
4-13 ค่าสีของแผ่นคอลลาเจนอบทอดที่ปริมาณความชื้นต่าง ๆ....54
4-14 ค่าความแข็งของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ....55
4-15 ค่าปริมาตรและอัตราการะพองตัวของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ....55

4-16 ค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ.....57
4-17 ร้อยละผลได้และค่าความขาวของแผ่นเจลาตินอบแห้งและแผ่นเจลาตินทอดที่ผ่านการอบไล่ความชื้นจนมีปริมาณความชื้นในระดับต่างๆ.....58
4-18 ค่าความแข็ง ค่าความกรอบ ปริมาตร อัตราการพองตัว และการดูดซับน้ำมันของแผ่นเจลาตินทอดที่ผ่านการอบไล่ความชื้นจนมีปริมาณความชื้นในระดับต่างๆ.....58
4-19 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาเปรียบเทียบกับกระเพาะปลาทางการค้า (กระเพาะปลาและหนังสุกร).....60
4-20 ค่าสีของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาเปรียบเทียบกับกระเพาะปลาทางการค้า (กระเพาะปลาและหนังสุกร).....60
4-21 ค่าความแข็งกระเพาะปลาที่มีความชื้น 23% เปรียบเทียบกับกระเพาะปลาทางการค้า (กระเพาะปลาและหนังสุกร).....61
4-22 ค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสกระเพาะปลาที่มีความชื้น 23% เปรียบเทียบกับกระเพาะปลาทางการค้า (กระเพาะปลาและหนังสุกร).....62

# สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่

2-1 ปลาทรายแดงใหญ่.....5
2-2 ปลาทรายแดงกระโดง.....6
2-3 ปลาทรายแดงญี่ปุ่น.....7
2-4 ปลาทรายแดงโม่ง.....8
2-5 ปลาทรายแดงหางส้ม.....9
2-6 ปลาทรายแดงแก้ว.....10
2-7 ลักษณะการจัดเรียงตัวของโครงสร้างคอลลาเจน.....12
2-8 ชั้นของผิวหนังปลา.....13
2-9 การเปลี่ยนคอลลาเจนไปเป็นเจลาติน.....17
2-10 ลักษณะสายเกลียวของ $\alpha$, $\beta$ และ $\gamma$ ที่พบได้ในสารละลายคอลลาเจน.....18
3-1 ขั้นตอนการผลิตแผ่นเจลาตินที่แปรชนิดของสารละลายในการเตรียมคอลลาเจน ที่มีผลต่อคุณภาพของเจลาตินจากผลพลอยได้ในอุตสาหกรรมซูริมิ.....36
3-2 ขั้นตอนการผลิตแผ่นเจลาตินที่แปรของปริมาณความชื้นที่มีต่อคุณภาพของแผ่นเจลาตินทอด.....40
4-1 ลักษณะความเป็นรูพรุนของแผ่นเจลาตินทอดที่ผ่านการแช่สารละลายต่างชนิดกัน.....48
4-2 ลักษณะความเป็นรูพรุนของแผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้นแตกต่างกัน.....51
4-3 ลักษณะของแผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้นแตกต่างกัน (A) แผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้น 13% (B) แผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้น 18% (C) แผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้น 23%.....56
4-4 ลักษณะความเป็นรูพรุนของแผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้นแตกต่างกัน (A) แผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้น 13% (B) แผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้น 18% (C) แผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้น 23%.....56
4-5 ลักษณะความเป็นรูพรุนของแผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้นแตกต่างกัน (A) แผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้น 13% (B) แผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้น 18% (C) แผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้น 23%.....58
4-6 ลักษณะของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลา (A) กับกระเพาะปลาทางการค้า ได้แก่ กระเพาะปลาแท้ (B) กับกระเพาะปลาเทียม (ผลิตจากหนังสุกร) (C).....61

# บทที่ 1
# บทนำ

## ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยถือเป็นประเทศที่ประสบความสำเร็จในด้านการพัฒนาการประมง และได้มีการจัดลำดับโดยเป็นหนึ่งในสิบของโลกที่มีผลผลิตสูงอีกทั้งยังติดอันดับต้นๆ ของการเป็นผู้ส่งออกสินค้าประมงอีกด้วย (สำนักงานเลขานุการ คณะอนุกรรมการจัดการความรู้เพื่อผลประโยชน์แห่งชาติทางทะเล, 2554) การส่งออกอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารทะเลของไทยประกอบไปด้วยการส่งออกอาหารทะเลสด อาหารทะเลแช่เย็น อาหารทะเลแช่แข็ง และอาหารทะเลแปรรูปซึ่งได้แก่ อาหารทะเลบรรจุกระป๋อง และผลิตภัณฑ์ซูริมิ เป็นต้น (กระทรวงพาณิชย์, 2559) ผลิตภัณฑ์อาหารทะเลส่งออกที่สำคัญของประเทศได้แก่ ผลิตภัณฑ์ซูริมิหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเนื้อปลาบดแช่แข็งโดยในการผลิตซูริมินั้นมักมีการใช้ปลาทะเลที่มีขนาดเล็ก ราคาถูก และไม่นิยมในการบริโภคสดมาใช้เป็นวัตถุดิบ ปลาที่นิยมนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ซูริมิเป็นปลาทะเลได้แก่ ปลาทรายแดง รองลงมาคือปลาตาหวานและปลาทรายดำ ส่วนปลาน้ำจืดไม่นิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเนื่องจากมักพบปัญหาเรื่องของกลิ่นโคลนและคุณสมบัติในการเกิดเจล (มาลินี อัศวดิษฐเลิศ และนิธิกานต์ อินทร, 2551) ในระหว่างกระบวนการผลิตซูริมิมักจะมีผลพลอยได้จากการผลิตเช่น หัว เกล็ด หนัง ก้าง เศษเนื้อและอวัยวะภายในสูงถึงร้อยละ 40-60 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของปลา ความสด และกรรมวิธีการแยกเนื้อปลาออก ผลพลอยได้ดังกล่าวประกอบไปด้วยโปรตีน แร่ธาตุและสารอาหารอื่นๆ ในปริมาณสูง ซึ่งในปัจจุบันยังมีการนำผลพลอยได้เหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างไม่คุ้มค่า โดยส่วนมากมักนำไปจำหน่ายให้แก่โรงงานผลิตปลาป่นเพื่อผสมในอาหารสัตว์ และนำมาทำปุ๋ย (มัทนา แสงจินดาวงษ์ และคณะ, 2552) ดังนั้นการนำผลพลอยได้จากโรงงานมาทำเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ จึงถือเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลพลอยได้อีกทางหนึ่ง โดยผลพลอยได้เหล่านี้มักมีองค์ประกอบของคอลลาเจนอยู่เป็นจำนวนมากซึ่งเป็นแหล่งที่ดีในการนำมาใช้ในผลิต เจลาติน โดยเจลาตินที่ได้สามารถนำมาทำผลิตภัณฑ์เลียนแบบผลิตภัณฑ์ดั้งเดิมที่มีลักษณะโครงสร้างและเนื้อสัมผัสที่คอลลาเจนและเจลาตินสามารถช่วยตอบโจทย์ได้เช่น กระเพาะปลา หูฉลาม แคบหมู น้ำหนัง เป็นต้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น

คอลลาเจนเป็นโปรตีนโครงสร้างหลักในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน พบมากที่สุดในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมโดยคิดเป็นร้อยละ 25-35 ของโปรตีนทั้งหมดในร่างกาย เนื่องจากคอลลาเจนมีโครงสร้างเป็นแบบเส้นใยลักษณะเป็นสายเกลียวโปรตีน 3 สายโมเลกุลเกี่ยวพันกัน เมื่อคอลลาเจนผ่านการสลายด้วยความร้อนและน้ำ (hydrolysis) คอลลาเจนจะแตกตัวออกเป็นสารเชิงซ้อนของคอลลาเจนเปปไทด์แบบ Polyproline II (PPII) หรือเจลาติน สามารถนำไปใช้เป็นอาหาร ส่วนประกอบของยาและเครื่องสำอาง การบริโภคอาหารที่เป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยคอลลาเจนหรือเจลาตินอย่างปลาตัวเล็กที่ทานได้ทั้งกระดูก หนังปลาทอด แคบหมู หรือกระเพาะปลา เป็นต้น ทำให้ผู้บริโภคได้รับคอลลาเจนหรือเจลาตินได้เช่นเดียวกัน ในกรรมวิธีการผลิตเจลาตินสามารถแบ่งวิธีการสกัดออกเป็น 4 ประเภท คือการใช้กรด การใช้ด่าง การใช้เอนไซม์ และการใช้ความร้อน ซึ่งในการสกัดเจลาตินจากหนังปลานั้นมักจะใช้กระบวนการเตรียมวัตถุดิบเริ่มต้นด้วยการใช้สารเคมีที่ไม่รุนแรง และใช้อุณหภูมิปานกลางใน

การสกัด (สาโรจน์ รอดคืน, 2557) กระเพาะปลาเป็นอาหารอีกประเภทหนึ่งที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคโดยเฉพาะชาวจีนที่เชื่อกันว่ากระเพาะปลาสามารถเป็นยาบำรุงและเพิ่มกำลังให้ร่างกายได้ รูปแบบของอาหารที่นิยมปรุงคือกระเพาะปลาน้ำแดง และกระเพาะปลาผัดแห้ง เป็นต้น โดยทั่วไปกระเพาะปลามักทำมาจากส่วนของถุงลมปลาซึ่งเป็นอวัยวะที่ช่วยในการลอยตัวของปลา กระเพาะปลาสามารถแบ่งได้หลายชนิดตามระดับของราคา โดยพบว่ากระเพาะปลาที่มีราคาสูงเป็นกระเพาะปลาที่ได้จากปลาน้ำลึกในตระกูลของปลากุเลา นอกจากการแบ่งชนิดของกระเพาะปลาตามระดับราคาแล้วยังสามารถแบ่งตามลักษณะของกระเพาะปลาได้อีกด้วย ซึ่งลักษณะของกระเพาะปลาสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ กระเพาะปลาสดตากแห้ง นิยมใช้บำรุงร่างกายราคาจะขึ้นอยู่กับชนิดของปลาและระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยลักษณะของกระเพาะปลาสดที่ได้มักจะมีลักษณะเป็นสีเหลืองและแข็ง มีรสหวาน ช่วยบำรุงไต บำรุงเซลล์เนื้อเยื่อ บำรุงปอดและจัดเป็นยาอายุวัฒนะ พันธุ์ปลาที่นิยมนำมาทำได้แก่ปลาริวกิว ปลากด ปลาม้า ปลาตาหวานและปลากระพงเป็นต้น ส่วนลักษณะของกระเพาะปลาอีกอย่างหนึ่งคือกระเพาะปลาทอด ซึ่งมีราคาถูกและหาได้ง่ายแต่ไม่สามารถเก็บรักษาไว้ได้เป็นระยะเวลานาน และการแบ่งลักษณะของกระเพาะปลาเป็นกระเพาะปลาทอด ทำได้โดยการนำกระเพาะปลาสดไปตากแห้งแล้วทอดจนมีลักษณะพองตัวคล้ายหนังหมู แต่โพรงอากาศจะเล็กละเอียดกว่าของหนังหมู นอกจากกระเพาะปลาจะทำมาจากถุงลมของปลาแล้วยังมีการทำกระเพาะปลาเลียนแบบโดยการใช้หนังหมูซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยคอลลาเจน คุณสมบัติของกระเพาะปลาชนิดนี้มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับกระเพาะปลาแท้อีกทั้งยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเนื่องจากมีราคาถูก (Misterbuffet, 2011) แต่อย่างไรก็ตามกระเพาะปลาเทียมซึ่งผลิตจากหนังหมูไม่สามารถใช้ได้ในอาหารอิสลามและยิวตามข้อกำหนดทางศาสนา (Kittiphattanabawon, Benjakul, Visessanguan & Shahidi, 2010)

ดังนั้นการนำคอลลาเจนจากหนังปลาที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอาหารมาใช้ผลิตเจลาตินทอดที่มีลักษณะพองตัวคล้ายกระเพาะปลาจึงมีความน่าสนใจและเป็นทางเลือกใหม่ที่น่าจะได้ประโยชน์หลายประการ งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาเกี่ยวกับวิธีการเตรียมขั้นต้น วิธีการสกัด กรรมวิธีในการผลิตผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารทะเล เพื่อเป็นการสร้างนวัตกรรมอาหารและเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจให้ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารทะเล

## วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาวิธีการเตรียมขั้นต้นคอลลาเจนจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารทะเล
2. ศึกษาวิธีการสกัดเจลาตินจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารทะเล
3. ศึกษากรรมวิธีในการผลิตผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารทะเล
4. ศึกษาคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาเปรียบเทียบกับกระเพาะปลาทางการค้า

# บทที่ 2
# การตรวจเอกสาร

## ผลพลอยได้ทางการประมง

1. จากการทิ้งหรือการยกเลิก (discards) หรือการจับทางประมงโดยไม่ได้ตั้งใจ (by-catch) เนื่องจากไม่ใช่สัตว์น้ำเป้าหมาย หรือไม่มีค่าทางเศรษฐกิจ หรือมีผลต่อข้อกำหนดทางกฎหมาย ในทุกกรณีดังกล่าว เป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางว่าส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างโดยรวมของห่วงโซ่อาหร (food chain) และสายใยอาหาร (food wed) สัตว์น้ำอย่างมีนัยสำคัญ มีรายงานการประมาณปริมาณผลพลอยได้จากการทิ้งหรือการยกเลิกสูงถึง 7.3 ล้านตันต่อปี (Kelleher, 2005)

2. จากการแปรรูปเบื้องต้นบนเรือประมง เกิดขึ้นบนเรือประมงที่มีการแปรรูปเบื้องต้นหลังการจับ จัดเป็นผลพลอยได้อย่างหนึ่ง ในอดีตอาจมีการกำจัดเศษเหลือหลังการตัดแต่งหรือแปรรูปเบื้องต้นลงไปในทะเล ซึ่งนอกจากเป็นการสูญเสียทรัพยากรธรรมชาติบางส่วนแล้ว ยังมีผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อมในทะเลอีกด้วย เช่น มีรายงานว่าการจับปลาคอด (cod) นอกชายฝั่งในประเทศนอร์เวล์ มีการตัดส่วนหัวปลาซึ่งมีน้ำหนักประมาณร้อยละ 20 ของปลาที่จับได้ทิ้งลงทะเล (Arnesen & Gildberg, 2006)

3. จากอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำ ปริมาณผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณความต้องการบริโภคเพิ่มขึ้นตามปริมาณประชากรโลกที่เพิ่มขึ้น แม้ว่าผลพลอยได้เหล่านี้มีการนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์บ้างแล้ว เช่น การทำเป็นผลิตภัณฑ์ปลาป่น (fish meal) หรือน้ำปลา (fish oil) ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ยังไม่เต็มที่เมื่อเทียบกับความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี มีการประมาณปริมาณปลาที่จับได้ว่ามีการนำไปใช้ในรูปแบบการบริโภคสดร้อยละ 30-40 ที่เหลืออีกร้อยละ 60-70 นำไปแปรรูปอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำจึงเป็นแหล่งที่มาของผลพลอยได้ทางประมงที่สำคัญและมีปริมาณสูงสุด

**ลักษณะและสมบัติทางเคมีกายภาพ**

ลักษณะและสมบัติทางเคมีกายภาพของผลพลอยได้ทางประมง เป็นสิ่งจำเป็นเบื้องต้นที่ต้องทราบก่อนนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการทำผลิตภัณฑ์ ผลพลอยได้สามารถแบ่งตามลักษณะทางกายภาพเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ส่วนที่เป็นของแข็งและส่วนที่เป็นของเหลวดังนี้

1. ผลพลอยได้ส่วนที่เป็นของแข็ง ได้แก่ เศษเนื้อ กระดูก หนัง หัวและลำไส้ของปลา ไส้และเศษเนื้อปลาหมึก เปลือกและหัวกุ้ง เปลือกหอย กระดอง และเศษเนื้อปู แสดงดังตารางที่ 2-1 และ 2-2 แสดงสัดส่วนโดยประมาณเป็นร้อยละขององค์ประกอบปลาและกุ้งตามลำดับ พบว่าปริมาณ ร้อยละ 40-60 เท่านั้นที่ใช้สำหรับการบริโภคที่เหลือจัดเป็นผลพลอยได้ที่ยังมีศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์

ตารางที่ 2-1 สัดส่วนโดยประมาณขององค์ประกอบปลา

| องค์ประกอบปลา | ปริมาณ (ร้อยละ) |
|---|---|
| ชิ้นเนื้อ (fillet) | 40-60 |
| เศษเนื้อแยกจากกระดูก (deboned meat) | 15-20 |
| หัว (head) | 9-12 |
| ก้าง (bone) | 9-15 |
| หนัง (skin) | 1-3 |
| เครื่องใน (viscera) | 12-18 |

ที่มา: Gildberg et al. (2002)

ตารางที่ 2-2 สัดส่วนโดยประมาณขององค์ประกอบกุ้ง

| องค์ประกอบกุ้ง | ปริมาณ (ร้อยละ) |
|---|---|
| เนื้อ (muscle) | 48.1-48.3 |
| หัว (head) | 37.9-38.9 |
| เปลือก (shell) | 10.7-11.5 |
| หาง (tail) | 2.3 |

ที่มา: Heu et al. (2003)

2. ผลพลอยได้ส่วนที่เป็นของเหลว มาจากกระบวนการแปรรูปในขั้นตอนต่างๆ ได้แก่ น้ำนึ่งปลา เลือด น้ำทิ้ง พบว่าน้ำทิ้งมีสมบัติแตกต่างกันขึ้นกับขั้นตอนกระบวนการแปรรูปและประเภทผลิตภัณฑ์

**ผลิตภัณฑ์ประมงจากผลพลอยได้**

ผลิตภัณฑ์ประมูลจากผลพลอยได้ส่วนใหญ่มาจากการกระบวนการแปรรูปปลา กุ้ง และปู ได้แก่ปลาป่น น้ำมันปลา ปลาหมัก (fish silage) คอลาเจน (collagen) โปรตีนไฮโดรไลเสต (protein hydrolysate) ไคติน (chitin) ไคโตซาน (Chitosan) เอนไซม์ (enzyme) รงควัตถุ (pigment) สารสกัดไข่มุก (pearl essence) และแคลเซียม (calcium)

**ปลาทรายแดง** (นิธิยา รัตนาปนนท์ และ พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ม.ป.ป)

ปลาทรายแดง (Threadfin bream) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Nemipterus hexodon* ลักษณะทั่วไปของปลาทรายแดงคือ เป็นปลาทะเลมีรูปร่างเรียวยาว ลำตัวท่อนโตทู่ ท่อนหางยาว จะงอยปากค่อนข้างสั้นปากกว้างและเฉียงขึ้นเล็กน้อย มีฟันแหลมคม ส่วนที่ครีบแข็งและครีบอ่อนมีความสูงสม่ำเสมอกันปลายครีบแหลมยืดออกเป็นเส้นเดี่ยวเช่นเดียวกับปลายครีบก้น ครีบท้องอยู่ใกล้กับครีบหูมีปลายแหลมเหมือนกัน หรือหางแยกแฉกเว้า พื้นลำตัวสีขาว หลังสีชมพูปนม่วง มีแถบสีเหลืองที่ครีบหลัง 2 แถบ ลำตัว 6-7 แถบ และครีบก้น 1 แบบ แฉกบนครีบหางมีแถบสีเหลืองหนึ่งแถบมีจุดสีส้มอยู่เหนือช่องเหงือกข้างละจุด ถิ่นอาศัยอยู่รวมกันเป็นฝูง หากินบริเวณท้องทะเลที่เป็นโคลนหรือโคลนปนทรายพบทั่วไปบริเวณอ่าวไทยและทะเล อันดามันอาหาร กินสัตว์น้ำที่มีขนาดเล็กกว่าซึ่งอยู่

บริเวณหน้าดิน ขนาด ความยาวประมาณ 20 - 30 ซม. (นิธิยา รัตนาปนนท์ และ พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ม.ป.ป.)

**การแปรรูป**

1. แช่เยือกแข็ง (freezing) ทั้งตัว หรือ แล่เป็นชิ้น (fillet)
2. ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตซูริมิ (surimi)

ปลาทรายแดงมีหลายชนิดได้แก่

**1. ทรายแดงใหญ่**

ภาพที่ 2-1 ปลาทรายแดงใหญ่

ชื่อสามัญภาษาอังกฤษ SHARPTOOTH SNAPPER
ชื่อวิทยาศาสตร์ *Pristipomoides typus*
ชื่อไทยอื่นๆ กะพงสีน้ำเงิน

ลักษณะทั่วไป

ลักษณะของทรายแดงใหญ่ เป็นปลาทะเลซึ่งมีรูปร่างยาวเรียว ลำตัวด้านข้างแบน ท่องหางค่อนข้างสั้น จะงอยปากยาว ปากกว้าง มีฟันแข็งแรง แหลมคมอยู่บนขากรรไกรบนและล่างนัยน์ตาโตอยู่ใกล้แนวสันกะโหลก ครีบหลังยาว ครีบท้องอยู่ใกล้ครีบหู มีปลายเรียวแหลม ครีบหางมีขนาดใหญ่ปลายเว้า พื้นลำตัวมีแดงปนชมพู หน้านัยน์ตาและแก้มสีเทา ครีบ ต่าง ๆ สีเหลืองที่ปลายระหว่างหนังครีบหลังมีลวดลายสีชมพู สามารถพบทรายแดงใหญ่บริเวณหน้าดินชายฝั่งที่มีน้ำลึก อาหารสำหรับทรายแดงใหญ่กินปลาและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง ขนาดความยาวประมาณ 50-70 ซ.ม.

**2. ทรายแดงกระโดง**

ภาพที่ 2-2 ปลาทรายแดงกระโดง

ชื่อสามัญภาษาอังกฤษ NOTCHED THREADFIN BREAM
ชื่อวิทยาศาสตร์ *Nemipterus peronei*
ลักษณะทั่วไป

ลักษณะของทรายแดงกระโดง เป็นปลาที่มีรูปร่างยาวเรียว ลำตัวด้านข้างแบน หัวโต จะงอยปากโค้งยาว นัยน์ตาโต ปากกว้าง มีฟันแหลมคมบนขากรรไกรบนและล่าง ครีบหลังยาว ส่วนที่เป็นก้านครีบแข็งปลายโผล่ยื่นออกจากตัวครีบ ครีบอันอ่อนมีขนาดเกือบเท่ากับครีบก้น ครีบหางเป็นแฉกลึก ครีบท้องอยู่ใกล้กับครีบหู มีปลายเรียวแหลม พื้นลำตัวสีเหลือง แนวหลังมีแถบแดง ใต้ครีบหลังมีจุดแดงขนาดนัยน์ตาหนึ่งจุด ปลายของก้านครีบแข็งที่โผล่ออกมาเป็นสีแดง มีแถบเหลืองบนครีบหลังข้างตัวและครีบก้น อาศัยบริเวณพื้นดินที่เป็นโคลน และโคลนปนทราย บริเวณอ่าวไทยและทะเลอันดามัน ทรายแดงกระโดงกินลูกปลา ลูกกุ้ง และสัตว์น้ำขนาดเล็ก ขนาดความยาวประมาณ 14-29 ซ.ม.

**3. ทรายแดงญี่ปุ่น**

ภาพที่ 2-3 ปลาทรายแดงญี่ปุ่น

ชื่ออังกฤษ Japanese threadfin bream
ชื่อวิทยาศาสตร์ *Nemipterus japonicus* (Bloch, 1791)
ลักษณะทั่วไป

ปลาชนิดนี้มีรูปร่างทรงกระสวยหัวค่อนข้างโต ท้องโต นัยน์ตาโต มีขนาดใกล้เคียงกับความยาวจะงอยปาก มีฟันเขี้ยว 4 หรือ 5 คู่ ที่ปลายขากรรไกรบน ครีบหลังมีก้านครีบเดี่ยว 10 ก้าน และก้านครีบแขนง 9 ก้าน ครีบก้นมีก้านครีบเดี่ยว 3 ก้าน และก้านครีบแขนง 7 ก้าน ปลายครีบหลังและครีบก้นยื่นเป็นมุมแหลม ครีบอกยาวปลายเรียวแหลม ครีบท้องอยู่ใต้ครีบอก มีปลายครีบเรียวแหลม ครีบหางเป็นแฉกไม่ลึกนัก แฉกบนครีบหางยื่นเป็นเส้นเดี่ยวยาวมาก สีของลำตัวซีกบนเป็นสีชมพู ถัดลงมาเป็นสีชมพูจางๆ ท้องสีขาวเงิน บริเวณหลังนัยน์ตาสีเหลืองทอง มีแถบสีเหลืองจางๆ 11-12 แถบ พาดยาวตามลำตัว เหนือฐานครีบหลัง ครีบก้นมีเส้นเหลืองเป็นตาข่าย ปลายแฉกบนของครีบหางสีเหลือง ขนาดใหญ่ที่สุดยาวประมาณ 28 ซม. อาศัยบริเวณชายฝั่งที่พื้นเป็นโคลนปนทรายในอ่าวไทยและฝั่งอันดามัน มักนำเนื้อใช้ประกอบอาหารประเภททอด นึ่ง แกง ทำเนื้อปูเทียม หรือซูริมิ

**4. ทรายแดงโม่ง**

ภาพที่ 2-4 ปลาทรายแดงโม่ง

ชื่ออังกฤษ Ornate threadfin bream
ชื่อวิทยาศาสตร์ *Nemipterus hexodon* (Qouy & Gaimard, 1824)
ลักษณะทั่วไป

ปลาชนิดนี้มีลำตัวยาว ท่อนหัวโต ท่อนหางเรียวยาว นัยน์ตาโตโปน ความยาวจะงอยปากขนาดใกล้เคียงขนาดของนัยน์ตา ปากกว้างและเฉียงขึ้นเล็กน้อย มีฟันเขี้ยว 3 หรือ 4 คู่ บนขากรรไกรบนครีบหลังมีฐานยาว ประกอบด้วยก้านครีบเดี่ยว 10 ก้าน และก้านครีบแขนง 9 ก้าน ครีบก้นมีก้านครีบเดี่ยว 3 ก้าน และก้านครีบแขนง 7 ก้าน ปลายครีบหลังและครีบก้นยื่นเป็นมุมแหลม ครีบอกและครีบท้องมีปลายเรียวแหลม ครีบหางเป็นแฉกลึก ปลายแกหู่ หลังสีชมพู สีข้างสีชมพูจางๆ ท้องสีขาวเงิน ครีบหลังมีแถบสีเหลืองยาวขนานกับฐานครีบ มีแถบสีเหลือง 6-8 แถบ พาดยาวตามลำตัว ที่เหนือช่องเหงือกมีแต้มสีเหลืองอมแดง 1 แต้ม และที่ปลายแฉกบนของครีบหางมีแถบสีเหลือง 1 แถบ ขนาดใหญ่ที่สุดยาวประมาณ 25 ซม. อาศัยบริเวณชายฝั่งที่เป็นพื้นทราย ที่ระดับน้ำลึก 10-80 ม. ในอ่าวไทยและฝั่งอันดามัน มักนำเนื้อใช้ประกอบอาหารประเภททอด นึ่ง ทำเนื้อปูเทียม หรือซูริมิ

**5. ทรายแดงหางส้ม**

ภาพที่ 2-5 ปลาทรายแดงหางส้ม

ชื่ออังกฤษ Mauvelip threadfin
ชื่อวิทยาศาสตร์ *Nemipterus mesoprion* (Bleeker, 1853)
ลักษณะทั่วไป

ปลาชนิดนี้มีขนาดเล็กในกลุ่มของปลาทรายแดง ลำตัวเรียวยาว หัวเล็ก นัยน์ตาโปน และมีขนาดมีขนาดใกล้เคียงกับความยาวจะงอยปาก ครีบหลังมีฐานยาว ปลายยื่นเป็นมุมแหลม มีก้านครีบเดี่ยว 10 ก้าน และก้านครีบแขนง 10 ก้าน ครีบก้นมีก้านครีบเดี่ยว 3 ก้าน และก้านครีบแขนง 7 ก้าน ครีบอกและครีบท้องมีขนาดใกล้เคียงกัน ส่วนหน้าครีบทั้งสองยื่นเป็นเส้นเดี่ยว ครีบก้นมีส่วนปลายยื่นเป็นมุมแหลม ครีบหางเว้าลึก ริมแฉกบนยื่นออกเป็นเส้นเดี่ยว ลำตัวสีชมพูอ่อน มีแถบสีเหลืองข้างยาวตามลำตัว 2 แถบ มีจุดสีแดง 1 จุด บนลำตัวเหนือช่องเหงือก บริเวณแก้มมีแถบสีเหลืองพาดจากใต้นัยน์ตาถึงริมฝีปาก ปลายครีบหลังสีเหลือง มีแถบสีเหลือง 1 แถบอยู่ตรงกลางครีบ พาดยาวตามลำตัว ครีบหางบริเวณตรงกลางเป็นสีส้มสด ครีบก้นมีสีชมพู มีเส้นสีเหลือง 2 เส้นพาดตามยาว ขนาดใหญ่ที่สุด 14 ซม. อาศัยบริเวณพื้นทรายหรือพื้นโคลนที่มีความลึกของน้ำ 30-80 ม.มักนำเนื้อใช้ประกอบอาหารประเภทนึ่ง ทอด หรือแกง ทำเนื้อปูเทียม หรือซูริมิ

**6. ทรายแดงแก้ว**

ภาพที่ 2-6 ปลาทรายแดงแก้ว

ชื่ออังกฤษ Dawn threadfin bream
ชื่อวิทยาศาสตร์ *Nemipterus aurora* (Russell, 1993)
ลักษณะทั่วไป

ปลาชนิดนี้มีลำตัวยาว แบนข้าง หัวโต จะงอยปากค่อนข้างแหลม นัยน์ตาอยู่เหนือปลายจะงอยปาก ครีบหลังมีจุดเริ่มต้นหลังครีบอกเล็กน้อย ขอบครีบหลังเป็นแนวเส้นตรง ประกอบด้วยก้านครีบเดี่ยว 10 ก้าน และก้านครีบแขนง 6-7 ก้าน ครีบอกยาวปลายแหลม ครีบท้องมีก้านครีบแขนงยื่นยาวเป็นเส้นเดี่ยว ครีบหางปลายเป็นแฉกลึก ปลายแฉกทู่ ลำตัวด้านบนสีชมพู ท้องสีขาวเงิน บนลำตัวมีแถบสีขาว 4 แถบ ยาวตามลำตัวเป็นแนวเฉียง ริมบนสีเหลือง มีเส้นสีเหลืองจากปลายจะงอยปากถึงหลังนัยน์ตา ขนาดใหญ่ที่สุดยาวประมาณ 25 ซม. อาศัยบริเวณพื้นทรายหรือโคลน ในอ่าวไทยและฝั่งอันดามัน มักนำเนื้อใช้ประกอบอาหารประเภทนึ่ง ทอด แกง ทำลูกชิ้น หรือเนื้อปูเทียม

## หนังปลา

หนังปลาเป็นนอวัยวะหุ้มลำตัว ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 2 ชั้น (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2544) ได้แก่ ชั้นนอก (epidermis) ประกอบด้วย epithelial cell ซึ่งมีรูปแบบเรียงตัวซ้อนกันหลายชั้น เมื่อเซลล์ชั้นนอกหลุดไป ผิวชั้นในก็สร้างเซลล์ใหม่ออกมาแทน ระหว่างเซลล์ประกอบด้วยต่อมเมือก เพื่อเคลือบผิวหนังปลา แต่ละชนิดจะมีปริมาณเมือกแตกต่างกัน ปลาที่มีเกล็ดโดยทั่วไปมีเมือกน้อยกว่าปลาที่ไม่มีเกล็ด ชั้นใน (dermis) เป็นหนังปลาแท้ประกอบด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันประสานกันอย่างหนาแน่นกับคอลลาเจน โดยมีอีลาสติน (elastin) กระจายอยู่ทั่วไป ผิวหนังชั้นในอยู่ถัดจากผิวหนังชั้นนอกและอยู่เหนือกล้ามเนื้อประกอบด้วยเส้นเลือด เส้นประสาทและเกล็ด ฝังอยู่ผิวหนังชั้นนี้ทำหน้าที่ในการสร้างเกล็ด

หนังปลามีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก โดยเฉพาะโปรตีนกลุ่มเนื้อเยื่อเกี่ยวพันพวกคอลลาเจน และมีไขมัน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (Aidos et al., 2003) หนังปลาเป็นวัสดุเศษเหลือชนิดหนึ่งมีปริมาณร้อยละ 4 (Archer, 2001) มาจากกระบวนการคัดแยกเอาส่วนเนื้อปลาไปใช้ในกระบวนการผลิต จากอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเล ได้แก่ อุตสาหกรรมปลากระป๋อง อาหารทะเลสำเร็จรูปแช่เยือกแข็ง เป็นต้น

**คอลลาเจน**

เจลาตินผลิตได้จากแหล่งสารประกอบที่สำคัญ คือ คอลลาเจน ซึ่งคอลลาเจนนั้นมาจากภาษากรีก หมายถึง สิ่งที่ให้ผลผลิตเป็นเจลาติน หรือกาว คอลลาเจนจัดเป็นพวกโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble protein) โดยจะไม่ละลายในน้ำเย็น กรดอ่อน ด่างอ่อน แต่สามารถละลายได้ในน้ำร้อน (Moulton, 1948 อ้างถึงใน วรรณวิมล คล้ายประดิษฐ์, 2540) และจัดอยู่ในโปรตีนประเภทโครงสร้าง (Structure protein) พบได้ทั่วไปในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective tissue) ต่างๆ เช่น หนัง กระดูก เอ็น เขาสัตว์ เป็นต้น โดยคอลลาเจนจะทำหน้าที่สร้างความแข็งแกร่ง และยึดเหนี่ยวส่วนต่างๆ เหล่านั้นได้ คอลลาเจนจะมีอยู่ประมาณร้อยละ 30 ของส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ทั้งหมดในสัตว์ หรือประมาณร้อยละ 60 ของส่วนที่เป็นโปรตีนทั้งหมด คอลลาเจนมีน้ำตาลกาแลคโตสและกลูโคสปนอยู่ด้วยในปริมาณเล็กน้อย และมีสีขาวเนื่องจากกรดอะมิโนไฮดรอกซีโพรลีนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย (เยาวลักษณ์ สุรพันธพิสิษฐ์, 2536) คอลลาเจนพองตัวได้ดีในน้ำที่เป็นกรดหรือเป็นด่าง เมื่อได้รับความร้อน คอลลาเจนจะหดตัวเหลือความยาวเพียง 1 ใน 3 เท่านั้น เมื่อโมเลกุลคอลลาเจนแยกออกจากกันละลายอยู่ในน้ำสิ่งที่ได้คือ เจลาติน ซึ่งจะเกิดเจลเมื่ออุณหภูมิลดลงปริมาณการเปลี่ยนเป็นเจลาตินขึ้นกับอายุของสัตว์และอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538)

**ชนิดคอลลาเจน**

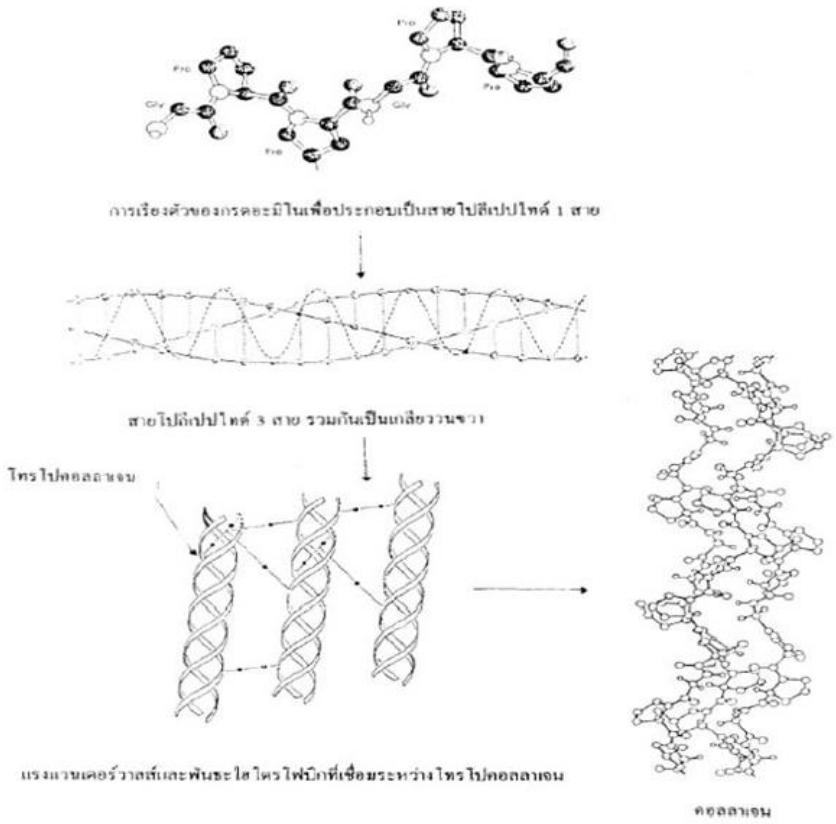
สามารถแบ่งออกได้เป็น 13 ชนิด ตามลำดับของกรดอะมิโน แต่ทั่วไปพบมากเพียง 4 ชนิด นอกนั้น พบในปริมาณน้อยมาก ได้แก่

1. คอลลาเจน type I ส่วนใหญ่พบในสัตว์ชั้นสูง บริเวณหนัง เอ็น และกระดูกประกอบด้วย 3 สาย ได้แก่ สาย $\alpha$1 (I) จำนวน 2 สาย และ $\alpha$2 (I) จำนวน 1 สาย คอลลาเจนชนิดนี้ประกอบด้วยกรดอะมิโนไกลซีนประมาณ 1 ใน 3 ของกรดอะมิโนทั้งหมด และส่วนของกรดอะมิโนที่ไม่บิดเป็นเกลียวสั้นที่ประกอบด้วยไทโรซีน และฮิสติดีน
2. คอลลาเจน type II ส่วนใหญ่พบในกระดูกอ่อน ประกอบด้วยสาย $\alpha$1 (II) จำนวน 3 สายมีลักษณะคล้ายสาย $\alpha$1 (I) คอลลาเจนชนิดนี้มีปริมาณไฮดรอกซีไลซีนสูงกว่า type I ถึง 3 เท่า
3. คอลลาเจน type III พบได้ปริมาณน้อย (ประมาณ 10%) มักพบในเส้นเลือด และมีการจับ กับคอลลาเจน type I จึงพบ type III ปนกับคอลลาเจน type I หลังการสกัดคอลลาเจน
4. คอลลาเจน type IV เป็นคอลลาเจนที่มีลักษณะความจำเพาะ พบได้เฉพาะบริเวณเส้นใยฝอยในเยื่อแผ่นบางๆ บริเวณนอกเซลล์

**โครงสร้างคอลลาเจน**

คอลลาเจนมีลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นใย (Fibrous protein) ซึ่งลักษณะที่เป็นเส้นใยนี้จะเกิดจากการจัดเรียงตัวกันของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในคอลลาเจน โดยมีพันธะต่างๆทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวให้โครงสร้างของคอลลาเจนมีความคงตัว แข็งแรง (สิรินทร์ จิโมกสินตว์ และคณะ, 2523) โดยทั่วไปถ้าไม่มีการคำนึงว่าคอลลาเจนจะได้มาจากแหล่งไหนและเนื้อเยื่อชนิดใดส่วนประกอบโดยทั่วไปของคอลลาเจนจะมีกรดอะมิโนชนิดไกลซีน (Glycine) ประมาณ 1 ใน 3 (33%) ของกรดอะมิโนทั้งหมด มี imino acid ประมาณ 1 ใน 4 โดยจะแยกเป็นโพรลีนร้อยละ 12 และไฮดรอกซีโพรลีน ร้อยละ11 (Ward, 1977) ซึ่งลักษณะการเรียงตัวของกรดอะมิโนจะมีลักษณะ

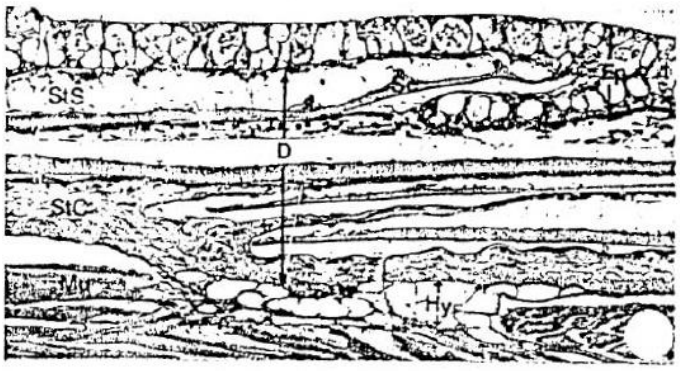
$(-\mathrm{Gly}-\mathrm{X}-\mathrm{Hydro}-)_m$ หรือ $(-\mathrm{Gly}-\mathrm{X}-\mathrm{Pro}-)_m$ โดยที่ X จะเป็นกรดอะมิโนชนิดอื่นๆ (Stryer, 1975) ระหว่างกรดอะมิโนแต่ละชนิดจะมีพันธะเปปไทด์เชื่ออยู่เพื่อประกอบเป็นสายโพลีเปปไทด์ สายโพลีเปปไทด์จะมีการบิดเป็นเกลียววนซ้าย (Left-handed-helix) โดยมีพันธะไฮโดรเจนเชื่อมอยู่โดยจะทำการเชื่อมระหว่าง imino acid เพื่อทำให้โครงสร้างที่เป็นเกลียว (เกลียว $\alpha$) เกิดความคงตัว ดังนั้นคอลลาเจนที่มี imino acid เป็นจำนวนมากก็จะทำให้โครงสร้างคอลลาเจนมีความแข็งแรง คงตัวมากขึ้นด้วย (Harris, 1990) หลังจากนั้นสายโพเปปไทด์ *3* สายจะพันรอบตัวเองเป็นเกลียววนขวาขนาดใหญ่ (Right-handed-helix) โดยมีพันธะไฮโดรเจนเชื่อมระหว่างสายโพลีเปปไทด์แต่ละสาย ซึ่งสายโพลีเปปไทด์ *3* สายที่มาบิดรวมกันเป็นเกลียวนี้จะเรียกว่า โทรโปคอลลาเจน (Tropocollagen) (มนตรี จุฬาวัฒนทล และคณะ, 2530) ซึ่งการที่โครงสร้างของคอลลาเจนมีความแข็งแรง มีความคงตัวสูงและทำให้เกิดการทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นๆ ได้ยาก เช่น ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของน้ำได้ยาก ดังนั้นคอลลาเจนจึงไม่สามารถละลายน้ำได้ หลังจากนั้นโทรโปคอลลาเจนจะมาเรียงขนานกัน โดยมีแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) และพันธะของไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) เชื่อมระหว่างโทรโปคอลลาเจน ทำให้เกิดลักษณะโครงสร้างที่เป็นเส้นใยของคอลลาเจน (Creighton, 1993) ลักษณะการเรียงตัวของกรดอะมิโนจนกระทั่งได้โครงสร้างที่เป็นเส้นใยของคอลลาเจน แสดงดังภาพที่ 2-8




ภาพที่ 2-7 ลักษณะการจัดเรียงตัวของโครงสร้างคอลลาเจน

**คุณสมบัติของคอลลาเจนในหนังปลา**

ในหนังปลาพบคอลลาเจนได้ในชั้น dermis ซึ่งเป็นชั้นของหนังปลาที่อยู่ถัดจาก epidermis ลงมา ส่วนของชั้น dermis สามารถแยกออกได้เป็น 2 ชั้น คือ ชั้นบนเรียกว่า stratum spongiosum ชั้นนี้ประกอบด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิด collagen fibers ที่เรียกตัวกันอย่างหลวมๆ ถัดจากชั้น stratum spongiosum เป็นชั้นของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิด collagen fibers ที่เรียกตัวกันแน่น ในชั้นนี้คอลลาเจนจะมีการเรียงตัวกันในแนวตั้ง แทรกเป็นระยะๆ แสดงดังภาพที่ 2-9 (วรรณวิมล คล้ายประดิษฐ์, 2540)




StS = Stratum Spongiosum　　Mu = Muscle
StC = Stratum Compactum　　Sc = Scales
Hy = Hypodermis　　D = Dermis

ภาพที่ 2-8 ชั้นของผิวหนังปลา

ในปลาโดยทั่วไป พบว่าในคอลลาเจนจะมีปริมาณของ imino acid (โพรลีน และไฮครอกซีโพรลีน) ในปริมาณที่ต่ำ ซึ่งปริมาณต่ำลงนี้จะมีการทดแทนโดยการที่มีปริมาณของ htdroxyl amino acid ชนิดอื่นๆอยู่ในปริมาณที่สูง เช่น Serine และ Threonine จากการที่มีปริมาณของ imino acid ในปริมาณที่ต่ำจึงเป็นเหตุที่ทำให้น่าพิจารณาว่าอุณหภูมิที่จะทำให้คอลลาเจนเกิดการคลายตัวออกน่าจะต่ำลงไปด้วย (Ward, 1977) ได้มีการศึกษาถึงการผลิตเจลาตินที่ได้จากคอลลาเจนจากแหล่งต่างๆ กันพบว่าเจลาตินที่ผลิตได้จากคอลลาเจนที่แตกต่างกันจะให้ความแข็งแรงของเจลที่แตกต่างกันด้วย ซึ่งความแข็งแรงของเจลจะเกี่ยวข้องกับการที่มีปริมาณของโพรลีน และไฮดรอกซีโพลีน ยิ่งคอลลาเจนที่นำมาทำการผลิตเจลาตินมีปริมาณของ imino acid สูง ก็จะทำให้เจลาตินที่ได้มีความแข็งแรงของเจลสูง และเจลาตินที่ได้จากปลาจะได้เจลาตินที่มีความแข็งแรงของเจลต่ำ โดยเปรียบเทียบกับเจลาตินที่ได้จากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม ซึ่งจะให้เจลาตินที่มีความแข็งแรงสูงกว่าเนื่องจากมีปริมาณ imino acid สูงกว่า (Harris, 1990)

**แหล่งคอลลาเจนที่สกัดได้**

1. คอลลาเจนที่ได้จากเนื้อวัว (Bovine Collagen Filler)

คอลลลาเจนชนิดนี้ถูกใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอางมานานกว่า 30 ปี แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ชนิด phosphate buffered saline เหมาะกับรอยย่นตื้นๆ และชนิด cross-linked bovine collagen fibril ที่ทนต่อการถูกทำลายด้วยเอนไซม์ collagenase เหมาะสำหรับรอยย่นลึก เช่น บริเวณร่องปากรอยย่นบริเวณหน้าผากแต่มีข้อเสียคือมักพบอาการแพ้

2. คอลลาเจนที่ได้จากมนุษย์ (Human Collagen Filler)

เป็นคอลลาเจนที่ได้จากเซลล์ไฟโบบลาสท์จากการเพาะเลี้ยง ใช้สำหรับการเติมเต็มบริเวณริมฝีปาก และแก้ปัญหาริ้วรอย รอยแผลเป็น รวมถึงปัญหาเนื้อเยื่ออ่อนที่มีลักษณะผิดปกติ ประสิทธิภาพการรักษาจะเหมือนกับคอลลาเจนที่ได้จากเนื้อวัว แต่ระยะความคงทนจะสั้นกว่า แต่มีข้อดี คือ ไม่พบอาการแพ้เหมือนคอลลาเจนจากเนื้อวัว

3. คอลลาเจนที่ได้จากหมู (Porcine Collagen Filler)

เป็นคอลลาเจนที่ผลิตจากเนื้อหมู ซึ่งประเทศสหรัฐอเมริกาได้รับรองผลการใช้ และอนุญาตให้ใช้สำหรับการลบเรือนริ้วลอย และร่องลึกได้ แต่ต้องระวังสำหรับผู้มีประวัติ anaphylactic shock หรือมีปฏิกิริยาภูมิไว ข้อดีของคอลลาเจนชนิดนี้ คือไม่พบอาการแพ้ และให้ประสิทธิภาพการรักษาคงทนได้นานกว่าคอลลาเจนที่ได้จากเนื้อวัว และมนุษย์ ซึ่งอาจได้นานมากกว่า 1 ปี

4. คอลลาเจนที่ได้จากปลา (Fish Collagen Filler)

เป็นคอลลาเจนที่ผลิตได้จากส่วนต่างๆของปลา เช่น เนื้อ และเกล็ด ถือเป็นแหล่งคอลลาเจนที่มีมาก และหาได้ง่าย

**การสกัดคอลลาเจน**

การสกัดคอลลาเจนจะเริ่มต้นจากการล้างทำความสะอาดวัตถุดิบ เพื่อกำจัดสารอื่น เช่น โปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ และสารอื่นๆที่ไม่ใช่คอลลาเจน แล้วทำการสกัดคอลลาเจนให้ละลายออกมาด้วยหลายวิธี ได้แก่

1. การสกัดคอลลาเจนด้วยสารละลายเกลือ (Neutral salt soluble collagen)
2. คอลลาเจนสามารถละลายได้น้อยในสารละลายเกลือที่เป็นกลาง (1 M NaCl หรือ 0.05 M HCl ที่ pH 7.4) แต่ยังพบคอลลาเจนที่ไม่มีการสร้างพันธะข้ามที่สามารถสกัดได้ดีด้วยสารละลายเกลือ
3. การสกัดคอลลาเจนด้วยสารละลายกรด (Acid soluble collagen) คอลลาเจนละลายได้ดีในสารละลายกรดเจือจาง เช่น กรดอะซิติก 0.5 M และมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้สารละลายเกลือ ปฏิกิยาที่เกิดขึ้นจะทำให้พันธะโมเลกุลของคอลลาเจนแตกตัวเป็นประจุเกิดการผลักกันจนโครงสร้างของเส้นใยพองตัว และแยกตัวออก
4. การสกัดคอลลาเจนด้วยเอนไซม์เปปซิน (Pepsin soluble collagen) เป็นการสกัดด้วยเอนไซม์เปปซินที่สภาวะความเป็นกรด pH 2.5

การสกัดคอลลาเจนด้วยการใช้กรดเพียงอย่างเดียวจะทำให้จะยังคงเหลือคอลลาเจนบริเวณที่ไม่บิดเป็นเกลียว (โลเปปไทด์) ซึ่งสาเหตุทำให้เกิดการแพ้ ดังนั้นกำจัดส่วนนี้ออกจำเป็นต้องใช้เอนไซม์สลายอีกขั้นหนึ่ง (Saimchemi, 2016)

## เจลาติน

เป็นโปรตีนที่ได้จากการย่อยสลายคอลลาเจน การเปลี่ยนคอลลาเจนเป็นเจลาตินทำได้โดยการสลายพันธะอื่นที่ไม่ใช่พันธะอื่นที่ไม่ใช่พันธะโควาเลนต์ (non-covalent bonds) และการจัดเรียงตัวของโปรตีนในคอลลาเจนใหม่ ตามด้วยการใช้ความร้อนช่วยสลายพันธะไฮโดรเจน และพันธะโควาเลนต์ทำให้โครงสร้าง triple helix ถูกทำลาย องค์ประกอบเจลาตินประกอบด้วยกรดอะมิโนใกล้เคียงกับคอลลาเจนที่ใช้เป็นวัตถุดิบ เป็ฯชุดของกรดอะมิโน Gly-X-Y triblets โดย Gly คือ glycine X ส่วนใหญ่เป็น proline and Y ส่วนใหญ่ hydroxyproline เจลาตินส่วนใหญ่ผลิตจากหนังสุกร (ร้อยละ 46) หนังวัว ความ (ร้อยละ 29.4) กระดูก (ร้อยละ 23.1) และแหล่งอื่นๆ (ร้อลละ 1.5) (Karim and Bhat, 2009) การผลิตเจลาตินจากปลายังคงมีปริมาณต่ำมาก เจลาตินจากปลาได้รับความสนใจมากขึ้นเมื่อเกิดการระบาดของโรควัวบ้า (mad cow disease หรือ Bovine Spongiform Encephalopathy; BSE) และเพื่อตอบสนองข้อจำกัดบางอย่างทางศาสนา สำหรับตลาดมุสลิม ยิว และฮินดู

เจลาตินเป็นโปรตีนในกลุ่มของโปรตีนที่เกิดจากการย่อยสลายโปรตีนอนุพันธ์ใหญ่ด้วยเอนไซม์หรืออาศัยปฏิกิริยาทางเคมีซึ่งโปรตีนเจลาตินที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีนคอลลาเจน ซึ่งพบมากในหนังปลา กระดูก เอ็น เป็นต้น ส่วนใหญ่นิยมสกัดเจลาตินจากหนังสัตว์มากกว่าวัตถุดิบชนิดอื่นๆ เพราะสกัดได้ง่าย การสกัดเจลาตินนั้นต้องมีขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบเพื่อให้คอลลาเจนที่มีอยู่ในวัตถุดิบเกิดการพองตัวเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปสกัดด้วยความร้อน

การเตรียมวัตถุดิบเพื่อสกัดเจลาตินทำให้สามารถเปลี่ยนคอลลาเจนให้เป็นเจลาตินได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถขจัดสารที่ไม่ต้องการได้แก่ สารพวกนอนคอลลาจีนัสโปรตีน (Non-collagenous proteins) มิวโคโพลีแซคคาไรด์ (Mucopolysaccharides) เป็นต้น ทำให้เจลาตินที่ได้ใสและมีสีที่ดีขึ้น (Ward, 1977) โดยทั่วไปการเตรียมวัตถุดิบมี 2 คือ การเตรียมโดยใช้กรด เจลาตินที่ได้จะจัดเป็นชนิด A และการเตรียมโดยใช้ด่างเจลาตินที่ได้จะจัดเป็นชนิด B การสกัดเจลาตินอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดเจลาตินอยู่ในช่วง 5-100 องศาเซลเซียส (Loeven, 1954) แต่ส่วนมากนิยมสกัดที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เพราะจะได้เจลาตินที่มีคุณภาพดี คือมีความแข็งแรงของเจลสูง สีไม่คล้ำ ปริมาณการผลิตสูงและผลผลิตที่ได้ดีว่าการสกัดที่อุณหภูมิสูง (Hinterwaldner, 1977)

การสกัดเจลาติน นอกจากจะต้องคำนึงถึงอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดแล้ว pH ในการสกัดก็เป็นสิ่งหนึ่งที่ควรคำนึง ที่ pH เท่ากับ 4 จะทำให้สารพวกนอนคอลลาจีนัสโปรตีนและมิวโคโพลีแซคคาไรด์ตกตะกอนในระหว่างการสกัดทำให้ปริมาณเจลาตินที่ผลิตได้ค่อนข้างสูง

### 1. การผลิตเจลาติน

จุดประสงค์ในการผลิตเจลาติน คือต้องการควบคุมการย่อยสลาย (Hydrolysis) ของคอลลาเจน ซึ่งอยู่ในรูปที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่สามารถละลายน้ำได้พร้อมกับมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ต้องการ เช่น ความแข็งแรงของเจล (Gel strength) ความหนืด เป็นต้น (Ockermam, 1988) โดยชนิดและอายุของคอลลาเจนที่นำมาทำการผลิตจะมีอิทธิพลสำคัญต่อคุณสมบัติของเจลาตินที่ผลิตได้ กระบวนการผลิต เจลาตินจะมีอยู่ 3 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ

1.1 เตรียมวัตถุดิบ
1.2 การสกัด
1.3 การทำเจลาตินให้แห้ง

**1.1 เตรียมวัตถุดิบ**

โดยทั่วไปการเตรียมวัตถุดิบจะมีอยู่ 2 วิธี คือ

1.1.1 Acid Process เป็นการเตรียมวัตถุดิบโดยการแช่วัตถุดิบในกรดที่ใช้ส่วนมาก ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดซัลฟูริก ($H_2SO_4$) และกรดฟอสฟอริก ($H_3PO_4$) ตัวอย่างที่มักจะทำการเตรียมวัตถุดิบโดยวิธีนี้ คือ หนังหมู เจลาตินที่ได้จะเรียกว่า เจลาตินชนิดเอ (gelatin type-A)

1.1.2 Alkaline Process เป็นการเตรียมวัตถุดิบโดยการแช่วัตถุดิบในด่าง ด่างที่นิยมใช้ คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ตัวอย่างที่มักจะทำการเตรียมโดยวิธีนี้ คือ หนังและกระดูกของโค กระบือ เจลาตินที่ได้จะเรียกว่า เจลาตินชนิดบี (gelatin type-B)

การใช้วิธี Acid Process จะใช้เวลาในการเตรียมวัตถุดิบประมาณ 10-30 ชั่วโมง โดยจะเร็วกว่าวิธี Alkaline Process ซึ่งใช้เวลาประมาณ 5-12 สัปดาห์

จุดประสงค์ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก็เพื่อต้องการที่จะเปลี่ยนคอลลาเจนให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมต่อการสกัด โดยจะทำให้คอลลาเจนที่มีอยู่ในวัตถุดิบเกิดการพองตัว ซึ่งลักษณะการพองตัวเป็นลักษณะที่สำคัญในขั้นนี้ การพองตัวจะมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ osmotic และ lyotropic การพองตัวเนื่องจากกรดหรือด่างจะเป็นแบบ osmotic ส่วนการพองตัวเนื่องจากน้ำจะเป็นแบบ lyotropic การพองตัวจะแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของคอลลาเจนที่มีลักษณะเป็นเส้นใยถูกทำให้แยกออกจากกันบางส่วน เป็นการไปทำลายแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) มีผลทำให้คอลลาเจนสามารถเปลี่ยนไปเป็นเจลาตินได้ง่ายขึ้น การแช่ด่างจะทำให้คอลลาเจนเกิดการเปลี่ยนแปลงในทางปฏิกิริยาไฮโดรไลซีส โดยที่จะไม่ทำให้คอลลาเจนเกิดการละลาย แต่ด่างจะทำให้พวกที่ไม่ใช่คอลลาเจน (Non-collagen) เช่น keratin, globulin, mucopolysaccharide, elastin, mucins เป็นต้น สามารถละลายและตกตะกอนในระหว่างการผลิตได้ การที่สารเหล่านี้จะเกิดการละลายได้มากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับลักษณะของวัตถุดิบด้วย ถ้าวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตมีคุณภาพดีก็จะทำให้สารต่างๆสามารถละลายได้ดี แต่ถ้าใช้วัตถุดิบคุณภาพไม่ดี สารเหล่านั้นอาจมีการละลายได้บางส่วน ซึ่งจะทำให้เพิ่มสี ความขุ่น และกลิ่นให้กับผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ นอกจากนี้ด่างจะทำให้ไขมันบางอย่างเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขั้ว ซึ่งสามารถถูกกำจัดออกได้โดยการล้างน้ำ พบว่าการแช่ในกรดจะทำให้คอลลาเจนเกิดการจัดโครงสร้างทางกายภาพใหม่เท่านั้น ส่วนการทำให้เกิดการละลายได้ของสารต่างๆ นั้นจะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย (Ockerman, 1988) เวลาในการแช่และชนิดของกรดหรือด่างที่ใช้จะมีผลต่อลักษณะของเจลาติน โดยวัตถุดิบที่แตกต่างกันต้องการการเตรียมวัตถุดิบที่แตกต่างกัน

ในทางการค้าจะนิยมเตรียมวัตถุดิบโดยการแช่วัตถุดิบในแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่เรียกว่าการ limimg แต่วิธีนี้จะใช้เวลานานประมาณ 7 วัน ถึง 3 เดือน ซึ่งการที่ใช้เวลาแช่นานเกินไปจะมีผลเสีย คือ คอลลาเจนมีคุณภาพลดลง คือคอลลาเจนจะเกิดการแตกหักออกจากกันทั้งหมด ทำให้ไม่สามารถที่จะสกัดเจลาตินออกมาได้

เนื่องจากไม่มีวิธีการทดสอบที่แน่นอนที่ชี้ให้เห็นถึงช่วงระยะเวลาของการเตรียมวัตถุดิบที่สมบูรณ์ได้ จึงต้องอาศัยจากประสบการณ์ที่ได้เคยทำมาใช้ในการพิจารณาถึงความเหมาะสม (วรรณ วิมล คล้ายประดิษฐ์, 2540)

1.2 **การสกัด**

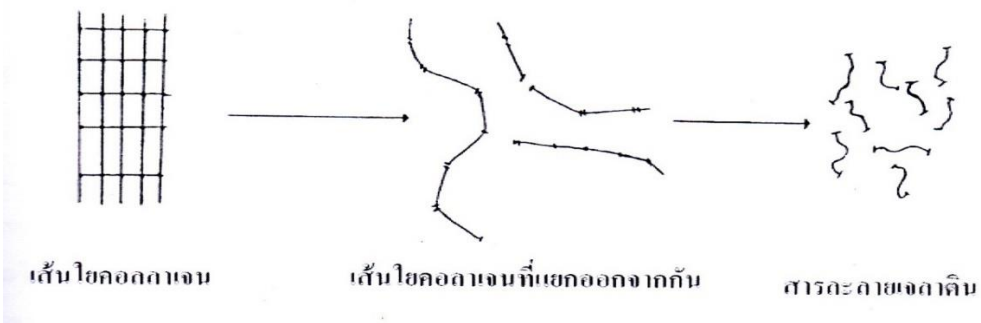
ในขั้นตอนของการสกัดจะเป็นการเปลี่ยนคอลลาเจน ซึ่งไม่ละลายน้ำ (Insoluble collagen) ให้กลายเป็นสารละลายที่สามารถละลายน้ำได้หรือเรียกว่า สารละลายเจลาติน (Soluble gelatin) โดยปกตินั้นคอลลาเจนไม่สามารถละลายในน้ำ โดยเฉพาะในน้ำเย็น เนื่องจากคอลลาเจนจะมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนชนิดโพรลีนในปริมาณสูง ดังนั้นในการเปลี่ยนคอลลาเจนให้เป็นเจลาตินนั้นจะเกี่ยวข้องกับการใช้ความร้อนเพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนสภาพ (Denature) ของสารละลายคอลลาเจน ซึ่งในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบนั้นมีการใช้สารละลายกรด หรือด่าง ซึ่งกรด ด่าง จะมีส่วนไปรบกวนพันธะที่เชื่อมระหว่างโมเลกุลทั้งหมด หรือบางส่วนของพันธะระหว่างโมเลกุล ช่วยให้คอลลาเจนเกิดการ denature ได้ง่ายขึ้น โดยการเกิด denature ของคอลลาเจนเพื่อเปลี่ยนไปเป็นเจลาตินนั้นจะเกิด 2 ขั้นตอนดังนี้

1.2.1 การใช้ความร้อนในระดับต่ำ จะทำให้เกิดการทำลายพันธะของไฮโดรเจนและพันธะไฮโดรโฟบิก ซึ่งพันธะเหล่านี้เป็นพันธะที่ทำให้โครงสร้างที่เป็นเกลียว 3 เส้นของคอลลาเจนเกิดความคงตัว มีผลทำให้คอลลาเจนเกิดการจัดเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบ โดยเกลียวทั้ง 3 เส้นของสายโปรตีนจะแยกออกจากกัน ทำให้เกิดการละลายได้เป็น random gelatin (ลักษณะเป็น random coil 1, 2 หรือ 3 เส้น)

1.2.2 การใช้ความร้อนที่สูงกว่าขั้นแรก จะทำให้เกิดการแตกหักออกของพันธะโควาเลนต์ (พันธะเปปไทด์ที่ทำหน้าที่เชื่อกรดอะมิโนในโปรตีน) อย่างน้อย 1 พันธะ ทำให้เกิดการละลายได้เป็นสารละลายเจลาติน (Ward & Courts, 1977)

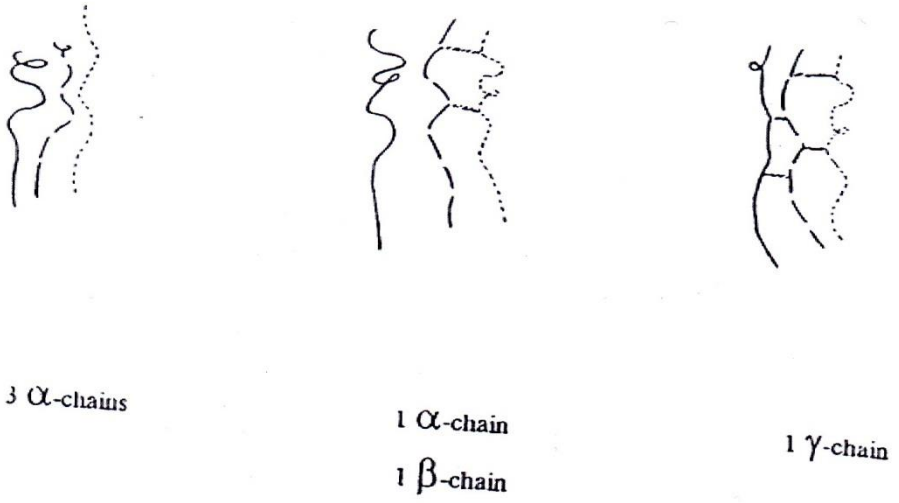
การเปลี่ยนคอลลาเจนไปเป็นเจลาตินแสดงดังสมการ (Moulton, 1948) และดังภาพที่ 2-10 (Marh, & Stewart, 1957)

$$\underset{\text{คอลลาเจน}}{C_{102}H_{149}H_{38}N_{31}} + H_2O \rightarrow \underset{\text{เจลาติน}}{C_{102}H_{151}O_{39}N_{31}}$$




ภาพที่ 2-9 การเปลี่ยนคอลลาเจนไปเป็นเจลาติน

ในการทำลายพันธะในคอลลาเจน เพื่อทำให้ได้สารละลายเจลาตินออกมานั้น ส่วนประกอบหลักที่พบได้ในสารละลายเจลาตินจะเป็นสายเกลียวของอัลฟา ($\alpha$), เบต้า ($\beta$) และแกมมา ($\gamma$) ซึ่งถ้าพันธะในคอลลาเจนถูกทำลายหมด สายเกลียวที่พบมากที่สุดจะเป็นชนิด $\alpha$ ลักษณะของสาย $\alpha, \beta$ และ $\gamma$ แสดงดังภาพที่ 2-11




ภาพที่ 2-10 ลักษณะสายเกลียวของ $\alpha, \beta$ และ $\gamma$ ที่พบได้ในสารละลายคอลลาเจน

ในขั้นตอนนี้พบว่า อุณหภูมิ เวลา และ pH ในการสกัดจะมีความสำคัญต่อคุณลักษณะของเจลาตินที่ได้ ในการสกัดโดยส่วนใหญ่พบว่าการสกัดที่อุณหภูมิสูงๆจะทำให้ได้ปริมาณของเจลลาตินในปริมาณสูง แต่จะทำให้ได้คุณสมบัติทางกายภาพที่ไม่ดี การสกัดที่อุณหภูมิต่ำๆ จะทำให้ได้เจลาตินในปริมาณต่ำแต่มีคุณสมบัติทางกายยภาพที่ดี การใช้ pH ต่ำๆในการสกัดจะทำให้ได้เจลาตินในปริมาณสูงแต่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ไม่ดี ถ้าใช้ pH ในการสกัดในช่วงกลางๆจะทำให้ได้เจลาตินที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี (Harris, 1990) การสกัดที่ใช้เวลานานต่อเนื่องกันเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักและสูญเสียคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีได้ (Ockerman, 1988) นอกจากนี้ถ้าใช้เวลาในการเตรียมวัตถุดิบนานๆจะทำให้ได้เจลาตินในปริมาณสูง แต่เจลาตินจะมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนในปริมาณต่ำถ้าใช้เวลาในการเตรียมวัตถุดิบไม่นาน จะต้องใช้ pH ต่ำๆ ในการสกัด วัตถุดิบที่แตกต่างกันก็จะต้องใช้ปัจจัยในการสกัดที่แตกต่างกัน สิ่งที่เหลือจากการสกัดจะนำไปทำแห้งและขายเป็นอาหารสัตว์หรือปุ๋ย (Ockerman, 1988)

1.3 **การทำเจลาตินให้แห้ง**

หลังจากสกัดเจลาตินได้ในลักษณะเป็นสารละลายแล้วจะนำสารละลายที่ได้มากรองและระเหยเอาน้ำออกเพื่อว่าในขั้นการทำแห้งจะได้ง่ายและพเร็วขึ้น ก่อนการกรองบางครั้งจะมีการเติม

(Decolorize) ทำให้สารละลายเจลาตินมีความใสขึ้น นอกจากนี้ในงานวิจัยบางครั้งได้มีการใช้ activated carbon เป็นสารฟอกสี โดยใช้ในปริมาณร้อยละ 5 ในสารละลายเจลาตินที่มีอุณหภูมิ 55-60ºC เวลา 4-6 ชั่วโมง และสารเหล่านี้จะถูกกำจัดออกโดยการกรอง การกรองยังมีส่วนช่วยกำจัดสิ่งแขวนลอยที่ไม่สามารถละลายได้ เช่น ไขมัน หรือพวกเส้นใยคอลลาเจนที่ไม่สามารถละลายได้ (Unextracted collagen fibres) ทำให้ช่วยเพิ่มความใสให้กับสารละลายเจลาตินได้ โดยมากสารละลายเจลาตินมักจะกรองได้ยากเนื่องจากจะทำให้เกิดการอุดตันที่รูของเครื่องกรอง (Ocker man, 1988) ส่วนการระเหยน้ำออกจะใช้เครื่องระเหยน้ำ (Evaporator) ระเหยน้ำออกประมาณ ร้อยละ 50-75 เนื่องจากสารละลายเจลาตินมีความไวต่ออุณหภูมิ (Thermosensitive fluid) (Ward, Courts, 1977) ดังนั้นสิ่งที่พึงระวังในขั้นตอนการระเหยน้ำออก คืออุณหภูมิที่ใช้ ต้องใช้อุณหภูมิต่ำๆ เนื่องจากถ้าใช้อุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เจลาตินที่ได้มีค่าความแข็งแรงของเจล (Gelstrength) ที่ต่ำ เพราะความร้อนที่สูงจะทำให้พันธะเปปไทด์เกิดการย่อยสลายขึ้นได้ เวลาที่ใช้ในการระเหยก็ไม่ควรที่จะนานเกินไป เพราะจะทำให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญขึ้นได้ ซึ่งจะมีผลทำให้ เจลาตินที่ได้มีค่าความแข็งแรงของเจลต่ำ นอกจากนี้ในระหว่างการระเหยน้ำออกต้องป้องกันการเกิดฟองของสารละลายขึ้น การเกิดฟองจะเกิดได้ดีขึ้นเมื่อมีสัดส่วนของกรดอะมิโนไม่มีขั้วมากขึ้น การให้ความร้อนและการเพิ่มความหนืดจะมีผลทำให้สัดส่วนของกรดอะมิโนไม่มีขั้วสูงขึ้น สารละลายเจลาตินจะมีกรดอะมิโนชนิดไม่มีขั้วอยู่ด้วย จึงทำให้สารละลายเจลาตินสามารถเกิดฟองได้ง่าย นอกจากนี้การตกตะกอนของโปรตีนจะทำให้ผนังของฟองแข็งตัว ซึ่งจะทำให้ฟองอยู่ตัวมากขึ้น นอกจากนี้การตกตะกอนของโปรตีนจะทำให้ผนังของฟองแข็งตัว ซึ่งจะทำให้ฟองอยู่ตัวมากขึ้น (Mitchell, 1986) การเกิดฟองจะมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเจลาตินได้ หลังจากระเหยน้ำแล้วสารละลายเจลาตินที่ได้จะมีความเข้มข้นขึ้น (Concentration gelatin) หลังจากนั้นก็จะนำไปทำให้แห้ง ซึ่งเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดต่อคุณภาพของเจลาตินคือ freeze dryer เจลาตินที่ได้จะมีคุณภาพดีเนื่องจากไม่ต้องเสี่ยงต่อการถูกทำลายโครงสร้างของเจลาติน เนื่องจากความร้อน ถึงแม้ freeze dryer จะมีผลดีแต่ก็มีข้อเสียในแง่ราคาแพงและใช้พลังงานมาก ดังนั้นในการใช้งานจึงมีการประยุกต์ใช้เครื่องมือชนิดอื่นๆ เช่น การทำแห้งแบบอุโมงค์ (Drying tunnels) การทำแห้งแบบนี้จะต้องคำนึงถึงอากาศที่ผ่านเข้าไปในอุโมงค์จะต้องมีการล้างและกรองให้สะอาด อุณหภูมิภายในอุโมงค์จะค่อยๆสูงขึ้น เพื่อป้องกันการเกิด case hardening เวลาที่ใช้ในการทำแห้ง 8-12 ชั่วโมง (The Committee on textbooks of The American Meat Institute, 1985) การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum drying) วิธีการทำแห้งแบบนี้มีข้อดีคือ สามารถทำได้รวดเร็ว แต่มีข้อเสียคือ จะใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่สูงมาก ทำให้เจลาตินเสียคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีได้ นอกจากนี้มีการใช้เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum oven) และตู้อบไฟฟ้าแบบควบคุมอุณหภูมิได้ (Hot air oven) ซึ่งการที่จะใช้เครื่องมือชนิดไหนนั้น จะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม (Mann, 1962)

เจลาตินที่ได้จะมีองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่เป็นกรดอะมิโน ตัวอย่างชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนที่พบในเจลาตินที่ผลิตได้จากหนังปลา 4 ชนิด เทียบในปริมาณ 100 หน่วย แสดงดังตารางที่ 2-1 และตัวอย่างชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนที่พบในเจลาตินที่ผลิตได้จากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2-2 ซึ่งทั้งชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนสามารถเปลี่ยนแปลงขึ้นลงได้

ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่นำมาทำการสกัด และวิธีที่ใช้ในการสกัดเป็นสำคัญ (Ward & Courts, 1977)

ตารางที่ 2-3 ชนิดและปริมาณเป็นร้อยละของกรดอะมิโนที่พบในเจลาตินที่ผลิตได้จากหนังปลา 4 ชนิด

| Amino acid | Shark ski | Codskin | Carp skin | Lungfish skin |
|---|---|---|---|---|
| Alanine | 11.9 | 10.7 | 12.0 | 12.6 |
| Glysine | 33.3 | 34.5 | 31.7 | 32.7 |
| Valine | 2.19 | 1.9 | 1.9 | 1.78 |
| Leucine | 2.39 | 2.3 | 2.5 | 1.98 |
| Isoleucine | 1.94 | 1.1 | 1.2 | 0.96 |
| Proline | 11.34 | 10.2 | 12.4 | 12.9 |
| Phenylalanine | 1.39 | 1.3 | 1.4 | 1.37 |
| Tyrosine | 0.14 | 0.35 | 0.32 | 0.08 |
| Serine | 4.45 | 6.9 | 4.3 | 4.21 |
| Threonine | 2.58 | 2.5 | 2.7 | 2.36 |
| Cystine | | <1 | <1 | |
| Methionine | 1.0 | 1.3 | 1.2 | 0.34 |
| Arginine | 5.03 | 5.1 | 5.3 | 5.35 |
| Histidine | 0.74 | 0.75 | 0.45 | 0.45 |
| Lysine | 2.43 | 2.5 | 2.7 | 2.35 |
| Aspartic acid | 4.26 | 5.2 | 4.7 | 4.39 |
| Glutamic acid | 6.58 | 7.5 | 7.4 | 7.65 |
| Hydroxyproline | 7.85 | 5.3 | 7.3 | 7.82 |
| Hydroxylysine | 0.47 | 0.6 | 0.45 | 0.63 |

ที่มา: ดัดแปลงจาก Ward and Courts (1977)

ตารางที่ 2-4 ชนิดและปริมาณเป็นร้อยละของกรดอะมิโนที่พบในเลาตินที่ผลิตได้จากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมชนิดต่างๆ

| Amino acid | Rabbit skin | Whale skin | Pigskin | Ox skin | Ox bone |
|---|---|---|---|---|---|
| Alanine | 10.50 | 11.05 | 11.17 | 11.20 | 11.66 |
| Glysine | 32.50 | 32.60 | 33.0 | 33.30 | 33.50 |
| Valine | 2.07 | 2.06 | 2.59 | 2.01 | 2.19 |
| Leucine | 2.22 | 2.48 | 2.40 | 2.31 | 2.43 |
| Isoleucine | 1.30 | 1.10 | 0.95 | 1.20 | 1.08 |
| Proline | 13.20 | 12.82 | 13.19 | 12.90 | 12.42 |
| Phenylalanine | 1.40 | 1.30 | 1.36 | 1.23 | 1.40 |
| Tyrosine | 0.30 | 0.36 | 0.26 | 0.15 | 0.12 |
| Serine | 3.47 | 4.10 | 3.47 | 3.65 | 3.28 |
| Threonine | 2.00 | 2.40 | 1.79 | 1.69 | 1.83 |
| Cystine | 0.05 | | | | |
| Methionine | 0.54 | 0.47 | 0.36 | 0.55 | 0.39 |
| Arginine | 4.73 | 5.01 | 4.90 | 4.62 | 4.80 |
| Histidine | 0.55 | 0.57 | 0.40 | 0.45 | 0.42 |
| Lysine | 2.74 | 2.59 | 2.66 | 2.78 | 2.76 |
| Aspartic acid | 4.75 | 4.63 | 4.58 | 4.60 | 4.67 |
| Glutamic acid | 6.75 | 6.96 | 7.21 | 7.07 | 7.26 |
| Hydroxyproline | 10.51 | 8.91 | 9.07 | 9.76 | 9.33 |
| Hydroxylysine | 0.44 | 0.58 | 0.64 | 0.55 | 0.43 |

ที่มา: ดัดแปลงจาก Ward and Courts (1977)

**2. คุณสมบัติและการทดสอบคุณภาพของเจลาติน**

เจลาตินมีคุณสมบัติโดยทั่วไปดังนี้คือ เป็นของแข็งลักษณะโปร่งใส ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสชาติ มีความหนาแน่น 1.3-1.4 kg/l เจลาตินละลายน้ำเย็นแจะดูดน้ำและเกิดการพองตัว เมื่อนำมาให้ความร้อนจะเกิดกาละลายได้ นอกจากนี้เจลาตินยังสามรถละลายได้ในพวก polyhydric alcohol เช่น กลีเซอรอล (Glycerol) หรือโพพีลีนไกลคอล (Propylene glycol) แต่ไม่สามรถละลายในสารละลายอินทรีย์ เช่น เบนซีน (Benzene) อีเธอร์ (Ether) อะซีโตน (Acetone) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbontetrachloride) เจลาตินมีคุณสมบัติเป็น amphoteric คือเป็นได้ทั้งกรดและด่างขึ้นอยู่กับ pH ของน้ำที่ใช้ในการทำละลาย คุณสมบัติในด้านความแข็งแรงของเจล (Gel strength) และความหนืด (Viscosity) เป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญที่สุดองเจลาติน ในการทำหน้าที่เป็นสารพวก hydrocolloid เจลาตินที่ให้ค่าความแข็งแรงของเจลสูงมักจะให้ค่าความหนืดสูงด้วย ซึ่งจะทำให้เจลตินสมารถเกิดเป็นเจลได้เร็ว เจลาติน สามารถเกิดเป็นเจลได้เร็ว เจลาตินที่มีความหนืดต่ำจะทำให้เจลาตินละลายได้เร็ว ดังนั้นในการแบ่งเกรดเจลาตินมักจะใช้คุณสมบัติที่สำคัญสองอย่างดังกล่าว แต่

เจลาตินที่มีเกรดแตกต่างกันก็สามารถที่จะผสมรวมกันได้ เพื่อให้ได้เจลาตินที่มีคุณสมบัติตามต้องการ เจลาตินในทางการค้าจะมีปริมาณโปรตีนบริสุทธิ์ในปริมาณสูง โดยมีองค์ประกอบโดยประมาณดังนี้ คาร์บอนร้อยละ 50.5 ไฮโดรเจนร้อยละ 6.8 ไนโตรเจนร้อยละ 17 ออกซิเจนร้อยละ 25.2 (Ockerman, 1988)

เจลาตินจะเหมือนกับผลิตภัณฑ์อาหารทั่วไป ที่จะต้องมีการกำหนดมาตรฐานในการตรวจสอบขึ้นเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ต้องการ ซึ่งคุณภาพองเจลาตินที่มักจะทำการตรวจสอบคือ

2.1 ความแข็งแรงของเจล (Gel strength) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของเจลาติน ซึ่งเป็นการวัดความแข็งหรือความหนาแน่นของเจล โดยทำการวัดการต้านทานแรงต่อแรงกด เครื่องมือที่ใช้ในกาวัดเรียกว่า Bloom Gelometer ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานทีใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วๆไป (Marh & Stewart, 1957)

2.2 ความหนืด (Viscosity) เป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญรองลงมาจากความแข็งแรงของเจลสิ่งสำคัญที่จะต้องมีการควบคุมในระหว่างการวัดคือ อุณหภูมิ เนื่องจากถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจะทำให้ค่าความหนืดเปลี่ยนด้วย พบว่าค่าความแข็งแรงของเจลและค่าความหนืดจะมีความสำคัญกันโดยตรง ถ้าค่าความแข็งแรงของเจลสูง ค่าคามหนืดก็จะสูงด้วย (Ward & Courts, 1977)

2.3 สี (color) สีของเจลาตินเกรดสูงในสารละลายเจือจาง ควรจะไม่มีสีจนถึงสีสว่างอำพันหรือสีเหลืองจางๆ เจลาตินเกรดต่ำๆ จะให้ลักษณะสีไม่โปร่งใสจนถึงขุ่นหรือมีสีเหลืองส้ม ความขุ่นของเจลาตินมักเกิดเนื่องจากใช้กระบวนการผลิตไม่ดีหรือมีวัตถุเจือปนอื่นๆ ผสมอยู่ด้วยในรูปของ emulsion หรือ dispersion นอกจากนี้เจลาตินจะต้องไม่มีกลิ่นแปลกปลอม (Odourless) และไม่มีรสชาติ (Tasteless) (Brody, 1965)

2.4 การทดสอบทางเคมี เช่น ความชื้น เถ้า pH โดยทั่วไปเจลาตินมีความชื้นประมาณร้อยละ 10-12 ปริมาณความชื้นนี้สามารถเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอยู่ในช่วงร้อยละ 7-15 ได้ขึ้นกับระยะเวลาการอบแห้ง ระยะเวลาการเก็บรักษา ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของห้องที่เป็นภาชนะบรรจุที่ใช้มีการให้อากาศผ่านเข้าออกทำให้มีความชื้นเพิ่มขึ้นได้ (The Committee on Textbooks of The American Meat Institute, 1985) ปริมาณเถ้ากำหนดไม่เกินร้อยละ 2 แต่ถ้าเป็นเจลาตินคุณภาพสูงๆ จะมีปริมาณเถ้าน้อยกว่าร้อยละ 0.5 ซึ่งปริมาณเถ้านี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่นำมาทำการสกัดด้วย ถ้าจะทำให้ได้เจลาตินที่มีคุณภาพดีๆ ระดับเถ้าต่ำๆ จะต้องนำเจลาตินผ่าน ion-exchange เพื่อกำจัดพวกแร่ธาตุต่างๆ (Demineralizing) ออก pH จะอยู่ในช่วง 4-7 ถ้าเป็นเจลาตินคุณภาพสูงๆจะมี pH อยู่ในช่วง 5-5.8 (Harris, 1990)

**3. คุณค่าทาอาหารของเจลาติน**

ในแง่คุณค่าทางอาหาร เจลาตินถือเป็น incomplete protein เนื่องจากในส่วนประกอบของเจลาตินจะขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นตัวหนึ่งคือ ทริปโตแฟน (Tryptophan) แต่เจลาตินจะมีปริมาณของไลซีน (Lysine) และเมไธโอนีน (Methionine) อยู่ในปริมาณสูง ซึ่งในพวกธัญพืชทั้งหลายจากกรดอะมิโนสองตัวนี้ การรบประทานอาหารที่มีเจลาตินเป็นส่วนประกอบร่วมกับโปรตีนชนิดอื่นๆจะช่วยในการเพิ่มค่า biological value ให้สูงขึ้น (Brody, 1965) และพบว่าการรับประทานอาหารที่มีเจลาตินเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วยในปริมาณเพียงเล็กน้อยคือ ประมาณ 15 กรัม ในอาหารแต่ละวัน

สามารถจะใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนที่ดีได้ และเมื่อนำเจลาตินมาผสมกับ beef protein จะทำให้อาหารมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 84 เป็นร้อยละ 90 (Moulton, 1948)

นอกจากนี้เมื่อนำเจลาตินไปผสมกับส่วนอื่นๆ เช่น น้ำตาลกลายเป็น gelatin dessert ทำให้ได้เป็นอาหารลดความอ้วนที่ดี เนื่องจากเมื่อรับประทานเจลาตินไป ร่างกายจะต้องใช้พลังงานในการย่อยมากกว่าพลังงานที่ได้รับ โดยเจลาตินจะให้พลังงาน 3.5 kcal/g และในบางครั้งมีการใช้เจลาตินเป็นยารักษาโรคได้ เช่น โรคเกี่ยวกับระบบย่อยอาหาร แผลเป็นหนอง กล้ามเนื้อไม่ทำงานตามสั่ง (Ockerman, 1988)

**เจลาตินจากปลา**

เป็นเจลาตินจากวัสดุเศษเหลือประเภทหนัง กระดูก และ ครีบ ของปลาน้ำเค็ม (ทั้งเขตน้ำอุ่นและเขตน้ำเย็น) จัดเป็นแหล่งวัตถุดิบทางเลือกในการใช้สาหรับการผลิตเจลาตินได้เป็นอย่างดี โดยแหล่งดังกล่าวนี้มีข้อดีในด้านไม่มีความเสี่ยงจากการปนเปื้อนโรคร้ายจากสัตว์ที่อาจจะถูกส่งผ่านมายังคนโดยเฉพาะโรควัวบ้า (Bovine Spongiform Encephalopathy: BSE) นอกจากนั้นเจลาตินจากปลายังเป็นที่ยอมรับในกลุ่มผู้บริโภคอิสลาม หรือพวกเคร่งศาสนาอย่างยิวและฮินดูได้อีกด้วย เจลาตินจากปลายังมีข้อดีอีกอย่างคือเป็นผลิตผลพลอยได้ที่มีคุณค่าสูงจากวัสดุเศษเหลือซึ่งปกติจะเป็นสาเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อม Nagai and Suzuki (2000) รายงานว่าปริมาณคอลลาเจนที่แยกได้จากเศษเหลือของหนังในการแปรรูปปลา Japaness sea-bass, chub mackerel และปลา bullhead shark มีค่าสูงถึงร้อยละ 51.4 49.8 และ 50.1 ตามลาดับ ซึ่งการผลิตเจลาตินจากเศษเหลือของปลานั้นไม่ได้เป็นสิ่งค้นพบใหม่ แต่ในความเป็นจริงมีการรายงานมาตั้งแต่สมัยปี 1960 แล้วถึงการสกัดเจลาตินจากหนังปลาโดยการใช้วิธีการสกัดด้วยกรดและมีการนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรม มีการจดลิขสิทธิ์เรื่องการสกัดและศึกษาสมบัติด้านต่าง ๆ ของเจลาตินในสหรัฐอเมริกา (US patent) ซึ่งหลังจากนั้นเป็นต้นมานักวิจัยก็พยายามศึกษาค้นคว้าในด้านต่าง ๆ เกี่ยวกับการสกัดเจลาตินจากวัสดุเศษเหลือจากการแปรรูปปลากันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นปลาเขตน้ำเย็น (cod, hake, Alaska pollock and salmon) หรือปลาเขตน้ำอุ่น (tuna, catfish, tilapia, Nile perch, shark and megrim)

**การสกัดเจลาตินจากปลา**

การเปลี่ยนรูปของคอลลาเจนเป็นเจลาตินทำได้โดยการให้ความร้อนกับตัวอย่างคอลลาเจนทั้งในระบบที่มีสารละลายกรดหรือสารละลายด่างความสามารถในการละลายด้วยความร้อนของคอลลาเจนเกิดจากการที่พันธะโควาเลนท์ซึ่งทำหน้าที่ยึดจับกันของแต่ละสายเปปไทด์ถูกทำลาย วิธีการในการสกัดคอลลาเจนหรือเจลาตินมีอิทธิพลต่อความยาวของสายพันธะเปปไทด์และสมบัติเชิงหน้าที่ของเจลาตินที่ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ใช้ในการสกัด เช่น อุณหภูมิ เวลา และ ความเป็นกรด-ด่างรวมกึงขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบและขั้นตอนการสกัดเบื้องต้น โดยทั่วไปขั้นตอนหลัก ๆ ในการผลิตเจลาตินนั้นประกอบด้วย 3 ขั้นตอนสำคัญได้แก่ การเตรียมตัวอย่างวัตถุดิบเบื้องต้น (pre-treatment process) การสกัดเจลาติน (extraction) และการทำบริสุทธิ์ การทำแห้งเจลาติน (purification and drying) และเนื่องด้วยวิธีการในการทรีตตัวอย่างเริ่มต้นทำให้ได้เจลาตินออกมา 2 ประเภทตามวิธีการทรีตตัวอย่าง คือ เจลาติน type A ซึ่งจะมีค่า pI ที่ 6-9 ได้จากการผลิตเจลาตินด้วยกระบวนการสกัดด้วยสภาวะที่เป็นกรด และเจลาติน type B ซึ่งจะมีค่า pI ที่ประมาณ 5 โดย

ได้มาจากการสกัดด้วยสภาวะที่เป็นด่าง (Stainsby, 1987) การทำ pre-treatment ด้วยสารละลายกรดเป็นวิธีการที่เป็นที่นิยมสาหรับการใช้ในการสกัดเจลาตินจากหนังหมูหรือหนังปลา ในขณะที่การทรีตด้วยสภาวะที่เป็นด่างมักนิยมใช้กับหนังสัตว์ใหญ่ซึ่งมีโครงสร้างที่ค่อนซับซ้อนและมีความแข็งแรง เช่น หนังวัว หนังควาย เป็นต้น มีการศึกษาวิธีการสกัดเจลาตินจากหนังปลาอย่างหลากหลายโดยสรุปได้บางส่วนดังแสดงในตารางที่ 2-3 โดยภาพรวมของการสกัดเจลาตินจากปลาจะเป็นกระบวนการสกัดด้วยสารเคมีที่ไม่รุนแรงและใช้อุณหภูมิปานกลางในการสกัด ซึ่งวิธีที่นิยมใช้สำหรับการทรีตตัวอย่างเริ่มต้นก่อนการสกัดเจลาตินจากปลาคือการทรีตด้วยสารละลายกรดอย่างอ่อน

ตารางที่ 2-5 ตัวอย่างชนิดของปลาและวิธีการสกัดเจลาติน

| ตัวอย่างปลา | การทรีตตัวอย่างเบื้องต้น | การสกัด | อ้างอิง |
|---|---|---|---|
| **Megrim (Lepidorhombus boscii)** | ทรีตด้วย NaCl และสารละลายเจือจาง NaOH แล้วบวมหนังด้วย 0.05 M กรดอะซิติก | น้ำอุ่นที่ 45°C | Montero & Gomez-Guillen (2000). |
| **Nile perch *(Lates niloticus)* Skins were pretreated by acidulation** | ทรีตด้วย0.01 M กรดซัลฟิวริก (pH of 2.5–3.0) สำหรับกระดูกกำจัดแร่ธาตุ โดยทรีตด้วย 3% HCl | น้ำอุ่นที่ 60°C | Muyonga et al. (2004) |
| **Grass carp *(Ctenopharyngodon idella)*** | ทรีตด้วย 0.1-0.3% HCl เป็นเวลานาน 7 ชั่วโมงก่อนล้างกรดออก | น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40-80°C พร้อมกับการเขย่าด้วยความเร็ว 180 rpm | Kasankala et al. (2007) |
| **Channel catfish *(Ictalurus punctatus)*** | ทรีตด้วย 50 mM กรดแลกติกในสัดส่วน 1: 8 เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ก่อนล้างและปรับ pH 3.5–4.0 | น้ำอุ่นที่ 45°C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง | Liu et al. (2008) |
| **Yellowfin tuna *(Thunnus albacares)*** | 1. แช่แข็งที่ -15 องศาเซลเซียส<br>2. แช่ด้วย 1-3% NaOH สัดส่วน 8เท่าที่ 10 องศาเซลเซียส พร้อมกับเขย่าด้วยความเร็ว 200 rpm นาน 1-5 วัน ก่อนนำมาบวมด้วย 6 N HCl | น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40-80°C 1-9 ชั่วโมง สัดส่วนต่อน้ำ 6 เท่า | Cho et al. (2005) |
| **Dover sole *(S. vulgaris)*** | บวมหนังด้วย 50 mM กรดอะซิติก หรือ 25 mM กรดแลกติก | น้ำอุ่นที่ 45°C ข้ามคืน | Gimenez et al. (2005b) |

| ตัวอย่างปลา | การทรีตตัวอย่างเบื้องต้น | การสกัด | อ้างอิง |
|---|---|---|---|
| Dover sole *(Solea vulgaris)* | 1. การแช่แข็ง<br>2. ทรีตด้วยเอทานอล<br>3. ทรีตด้วยสารละลาย เอทานอล-กลีเซอรอล 80-20 แล้วทำแห้ง<br>4. ทำแห้งด้วยเกลือทะเล | บวมหนังด้วย 0.05 กรดอะซิติก และตามด้วยการสกัดด้วยน้ำอุ่นที่ 45°C ข้ามคืน | Gimenez et al. (2005a) |

ที่มา: Karim and Bhat (2009)

**การใช้ประโยชน์เจลาติน**

เจลาติน เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ ซึ่งได้รับความนิยมและเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆอย่างกว้างขวาง เช่น อุตสาหกรรมอาหาร มีการนำเจลาตินมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น ขนมขบเคี้ยว ผลิตภัณฑ์ไขมันต่ำ ผลิตภัณฑ์นม ผลิตภัณฑ์ขนมอบ และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ โดยในแต่ละผลิตภัณฑ์ต้องการสมบัติที่แตกต่างกันซึ่งมีอยู่ในเจลาติน มีการใช้เจลาตินในผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นเจลหรือใช้เพื่อเพิ่มลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยพบว่าเจลาตินสามารถลดปัญหาการไหลเยิ้มของน้ำออกจากตัวผลิตภัณฑ์ในการผลิตภัณฑ์เจลขึ้นรูปบางชนิดเจลาตินที่สามารถเกิดเจลในอุณหภูมิต่ำ สามารถใช้กับอาหารได้อย่างหลากหลาย ตัวอย่างเช่น สารเก็บกักกลิ่น และเก็บกักวิตามินซี ซึ่งไวต่อการเสื่อมเสีย

ในอุตสาหกรรมยาใช้เจลาตินสำหรับเป็นตัวนำส่งยา การผ่าตัด การปลูกถ่ายเนื้อเยื่อ การสมานแผล และการนำเจลาตินมาใช้เป็นแคปซูลยาทั้งชนิดอ่อนและชนิดแข็ง เป็นต้น เนื่องด้วยเจลาตินมีแคลอรี่ต่ำดังนั้นจึงมักจะถูกแนะนำให้ใช้เป็นส่วนประกอบอาหารเพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนให้กับผู้บริโภคโดยเฉพาะในผู้บริโภคที่ต้องการสร้างกล้ามเนื้อให้กับร่างกาย นอกจากนั้นเจลาตินยังถูกใช้เป็นส่วนประกอบอาหารเพื่อทดแทนปริมาณคาร์โบไฮเดรตในสูตรอาหารควบคุมสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานอีกด้วย (Karim & Bhat, 2009)

**เจลาตินที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร**

ปริมาณของเจลาตินที่ใส่ในอาหารมักใช้ในปริมาณเล็กน้อย โดยมีจุดประสงค์เพื่อใช้ปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของอาหาร เช่นใน gelatin dessert จะใช้เจลาตินประมาณร้อยละ 1.5-2 ซึ่งเจลาตินนี้จะมีการใช้ร่วมกับส่วนผสมอื่นๆ เช่น น้ำตาล หรือพวกสารให้ความหวานพลังงานต่ำ กรดชนิดต่างๆ เช่น กรดซิตริก (Citric acid) กรดทาทาริก (Tartaric acid) กรดฟูมาริก (Fumaric acid) นอกจากนี้ก็อาจมีพวกสารให้สี หรือให้กลิ่นรสเพิ่มเข้าไปอีกด้วย ใน marshmallows จะใช้เจลาตินประมาณร้อยละ 1-2 ผสมกับน้ำเชื่อมร้อยละ 20 เจลาตินจะทำหน้าที่เป็น whipping agent ช่วยเพิ่มความหนืดให้กับผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นผงหรือของแข็งในไอศกรีม จะใช้เจลาตินประมาณร้อยละ 0.3-0.5 เจลาตินจะทำหน้าที่เป็นสารให้ความคงตัว (Stabilizer) ช่วยป้องกันการเกิดผลึกของน้ำแข็งและน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษา ในผลิตภัณฑ์นมจะใช้เจลาตินในปริมาณเพียงเล็กน้อย โดยเจลาตินจะช่วยรักษาลักษณะเนื้อสัมผัสให้เรียบ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยให้มากขึ้น ในผลิตภัณฑ์แช่แข็งจะมีกาใช้เจลาตินเพื่อป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่และป้องกัน

การม้วนงอและการแยกออกจากกัน ในผลิตภัณฑ์พวกเนื้อกระป๋อง เจลาตินจะทำหน้าที่จับกับน้ำและของเหลว เพื่อทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่แน่นคงทน ในแฮมเจลาตินจะทำหน้าที่เชื่อมเนื้อเข้าด้วยกัน ในผลิตภัณฑ์พวกเบียร์ ไวน์ น้ำผลไม้ น้ำส้ม เจลาตินจะไม่ได้ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัส แต่จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ใส โดยเจลาตินจะไปทำปฏิกิริยากับพวกแทนนิน (Tannin) เพคติน (Pectin) และสารอื่นที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการขุ่นขึ้น ในยุโรปมักใช้เจลาตินในผลิตภัณฑ์น้ำตาลก้อน และขนมปัง wafers เพื่อที่จะช่วยทำให้รูปร่างของผลิตภัณฑ์เกิดความคงตัว (Ockerman, 1988) นอกจากทที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ปัจจุบันยังมีการนำเจลาตินมาใช้ทำแคปซูลบรรจุอาหาร การบรรจุอาหารลงในแคปซูลถือว่าเป็นวิธีการบรรจุหีบห่อแบบหนึ่งโดยอาหารที่ถูกบรรจุอาจเป็นอนุภาคของแข็งหรือเป็นของเหลวก็ได้ เทคนิคเช่นนี้เคยนำมาใช้กับยามาก่อน ต่อมาก็มีการนำมาใช้กับอาหาร โดยใช้เจลาตินผสมกับกัมอาราบิก ส่วนใหญ่จะใช้กับกลิ่นผง เพื่อนำไปใช้กับแป้งผสมสำหรับทำเค้ก หมากฝรั่ง ลูกกวาด กาแฟ เป็นต้น การบรรจุแคปซูลจะป้องกันมิให้น้ำมันเหม็นหืน ทำให้ส่วนผสมที่ไวต่อปฏิกิริยาเคมีไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้เก็บรักษากลิ่นรสไว้ได้นาน กลิ่นไม่ระเหยออกไปถึงแม้จะผ่านขั้นตอนการผลิตที่รุนแรง สำหรับวิธีการผลิตนั้นจะใช้สารโพลีแซคคาไรด์ 2 ชนิด ชนิดหนึ่งมีประจุบวก อีกชนิดหนึ่งมีประจุลบนำมาผสมกันใส่สารที่ต้องการบรรจุลงไป กวนให้เข้ากันปรับความเข้มข้นให้เหมาะสมและปรับ pH เพื่อให้เกิดตะกอนในขณะผสม จะต้องรักษาอุณหภูมิไว้ให้สูงพอที่จะป้องกันการเกิดเจล หลังจากนั้นจึงปล่อยให้เย็นตัวแล้วนำมาทำแห้ง (Glicksman, 1982)

เจลาตินถูกนำมาใช้กับอาหารและเครื่องดื่มได้หลายชนิด โดยผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะใช้ปริมาณเจลาตินและต้องการเจลาตินที่มีค่าความแข็งแรงของเจลแตกต่างกันออกไป ผลิตภัณฑ์ที่นำเจลาตินมาใช้คือ ผลิตภัณฑ์นม อาหารแช่แข็ง ขนมหวานพวกลูกอม ขนมอบ ผลิตภัณฑ์เนื้อ ไวน์ เบียร์ และน้ำผลไม้ เป็นต้น ปริมาณและความแข็งแรงของเจลาตินที่ใช้กับผลิตภัณฑ์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2-6 ผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้เจลาติน

| ผลิตภัณฑ์ | ปริมาณที่ใช้ (ร้อยละ) | ค่าความแข็งแรงของเจล (กรัม.เซนติเมตร) |
|---|---|---|
| ผลิตภัณฑ์นม | 0.2-1.0 | 150-250 |
| อาหารแช่แข็ง | 0.1-0.5 | 225-250 |
| ของหวาน | 7-9 | 175-275 |
| ขนมหวาน | | |
| • กัม | 7-9 | 200-250 |
| • ถั่วตัด | 2.0-2.5 | 225-250 |
| • ยาอม | 0.5-1.0 | 50-100 |
| เบเกอรี่ | 1.0-2.0 | 50-100 |
| ผลิตภัณฑ์เนื้อ | 1.0-5.0 | 175-275 |
| ไวน์ เบียร์ น้ำผลไม้ | 0.002-0.015 | 100-200 |

ที่มา: GMIA (1986)

## ผลิตภัณฑ์อาหารทอด (จันทร์จิรา ตั้งสันทัศน์กุล, 2554)

**ลักษณะของอาหารทอด**

โดยทั่วไปแล้วในระหว่างทอดนั้นเมื่ออาหารสัมผัสกับน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูง จะทำให้อุณหภูมิที่บริเวณผิวหน้าของอาหารนั้นเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นน้ำที่บริเวณผิวหน้าก็จะเริ่มเดือดอย่างทันที ทำให้น้ำมันบริเวณโดยรอบนั้นถูกทำให้เย็นลงเนื่องจากไอน้ำที่ระเหยออกมา อุณหภูมิที่ลดลงของน้ำมันนี้จะได้รับทดแทนจากการพาความร้อนของแหล่งความร้อนที่ให้มายังน้ำมัน ทำให้น้ำบริเวณผิวหน้าของอาหารนั้นเกิดการเดือดและระเหยกลายเป็นไอน้ำออกมาได้อีก เป็นผลให้บริเวณผิวหน้าของอาหารนั้นเกิดลักษณะที่แห้งและการระเหยของน้ำ ทำให้บริเวณผิวนั้นเกิดลักษณะที่เป็นรูพรุนและขรุขระโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าน้ำนั้นเกิดการระเหยออกมาอย่างรุนแรงจะก่อให้เกิดรูพรุนที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งจะก่อให้เกิดโอกาสการดูดซับน้ำมันได้ค่อนข้างมาก

**กระบวนการทอด**

กระบวนการทอดจัดเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารที่สำคัญและแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม (Hein et al., 1998) การทอดเป็นกระบวนการหนึ่งที่ช่วยเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภคของอาหาร ทำให้เกิดลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ คุณลักษณะทางด้านสี กลิ่น รส และลักษณะเนื้อสัมผัสที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว เนื่องจากการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวล (Fellow, 2000) การทอดเป็นกรรมวิธีที่รวดเร็วและไม่ทำให้สูญเสียคุณค่าทางอาหารมากนักจึงทำให้เป็นกรรมวิธีได้รับความนิยมในระดับครัวเรือนและอุตสาหกรรม

กระบวนการทอดจัดเป็นการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารให้สามารถบริโภคได้โดยอาศัยน้ำมันเป็นตัวกลางในการส่งผ่านความร้อน โดยใช้อุณหภูมิระหว่าง 150-200 ºC (Mir-Bel et.al, 2009) ซึ่งในช่วงอุณหภูมินี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบในน้ำมัน แป้ง และโปรตีน

(Singh, 1995) ในระหว่างกระบวนการทอดความร้อนจะซึมผ่านจากด้านนอกเข้าสู่ด้านในของอาหาร ในเวลาเดียวกันความชื้นจากภายในจะถูกสกัดและระเหยออกมาสู่ตัวพาความร้อนซึ่งก็คือน้ำมัน (Schneriter, 1993) โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์อาหารทอดจะมีปริมาณน้ำมันร้อยละ 35-40 ปริมาณการดูดซับน้ำมันในอาหารทอดจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยทั้งสภาวะการทอดและปัจจัยของวัตถุดิบ การทอดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลักหลักคือการทอดแบบน้ำมันตื่น (Shallow (pan) frying) และการทอดแบบน้ำมันท่วม (deep fat frying) (Podmore, 2002)

**1. การทอดน้ำมันตื้น**

วิธีนี้เหมาะสำหรับอาหารที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงเช่น เบคอน ไข่ เบอร์เกอร์ เป็นต้น ความร้อนจากผิวของกระทะร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นน้ำมันบางบางไปยังอาหารความหนาของชั้นน้ำมันมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของผิวหน้าอาหาร ถ้าชั้นน้ำมันบางฟองไอน้ำเดือดทำให้อาหารเคลื่อนที่ขึ้นลงบนผิวร้อนของกระทะการกระจายความร้อนจึงไม่สม่ำเสมอ ทำให้ผิวหน้าของอาหารที่ทอดแบบน้ำมันตื้นมีสีน้ำตาลไม่สม่ำเสมอ

**2. การทอดแบบน้ำมันท่วม**

การทอดแบบน้ำมันท่วมได้รับความนิยมอย่างสูงในการแปรรูปอาหารพร้อมมีความรวดเร็ว กรรมวิธีผลิตง่ายทำให้เกิดลักษณะกลิ่นรสดี อาหารเป็นสีเหลืองทองและเนื้อสัมผัสกรอบ (Podmore, 2002) การถ่ายเทความร้อนในการทอดแบบนี้มีทั้งการพาความร้อนในน้ำมันร้อนและการนำความร้อนสู่ภายในอาหาร อาหารทั้งหมดจะได้รับความร้อนใกล้เคียงกัน ทำให้เกิดสีและลักษณะภายนอกที่สม่ำเสมอ การทอดแบบน้ำมันท่วมนี้เหมาะสำหรับอาหารทุกรูปร่าง แต่อาหารที่มีรูปร่างไม่แน่นอนจะอมน้ำมันมากกว่าอาหารที่มีรูปร่างแน่นอน

เมื่อวางอาหารลงในน้ำมันร้อนอุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว น้ำเกิดการระเหยโดยในระหว่างการทอดผลิตภัณฑ์จะสูญเสียน้ำถึงร้อยละ 90 ของปริมาณความชื้นเริ่มต้นภายในเวลาไม่กี่นาทีของกระบวนการทอด (Totte et al., 1996) นอกจากนี้ยังเกิดเจลาติไนซ์เซชั่นของสตาร์ช โปรตีนเกิดการเสียสภาพ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซลล์อาหารถูกทำลาย เกิดการขยายตัว เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ผิวหน้าเริ่มแห้งและเกิดเปลือกนอกขึ้น อุณหภูมิที่ผิวอาหารจะเพิ่มขึ้นจนเท่ากับอุณหภูมิน้ำมันร้อน และอุณหภูมิภายในจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าช้าๆ จนถึง 100ºC (Fellows, 2000) ใช้เกิดการดูดซับน้ำมัน การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมันทอดที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอดได้แก่ การมีปริมาณกรดไขมันอิสระสารประกอบคาร์บอนิล โมเลกุลสูงเพิ่มขึ้นแต่ความอิ่มตัว กลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนาการลดลง ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอดได้แก่ การมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และจุดเกิดควันลดลง (Podmore, 2002)

Bemiller-Whistler et al., (2003) พบว่าเมื่อวางอาหารลงในน้ำมันร้อนอุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและน้ำที่อยู่ในอาหารจะเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ทำให้น้ำมันบริเวณรอบรอบนั้นลดอุณหภูมิลง เนื่องจากไอน้ำที่ระเหยออกมาผิวหน้าอาหารจึงเริ่มแห้งและเกิดลักษณะรูพรุน ถ้ามีการระเหยของน้ำออกมาอย่างรุนแรงจะก่อให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่ได้น้ำที่อยู่ในอาหารแต่เริ่มอุณหภูมิที่สูงขึ้นเรื่อยๆ จนสามารถทำให้อาหารนั้นสุกได้ ยิ่งใช้เวลาในการทอดนานขึ้นจะทำให้ปริมาณความชื้นที่บริเวณผิวหน้าอาหารที่เป็นเปลือกแข็งมีปริมาณลดน้อยลง

**การเปลี่ยนแปลงของอาหารที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการทอด (Bank และ Lusas, 2000)**

วัตถุประสงค์หลักของกระบวนการทอดคือการปรับปรุงสี กลิ่น และรสในเปลือกนอกของอาหารโดยอาศัยปฏิกิริยาเมลลาร์ดและการดูดซับสารระเหยจากน้ำมัน (Fellows, 2000) ในขณะทอดอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพ และทางเคมี เช่น เกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ช โปรตีนเสียสภาพ การระเหยของน้ำ การดูดซับของน้ำมัน การเกิดชั้นเปลือกนอกนำไปสู่การเกิดรูปร่างและเนื้อสัมผัสเช่นความหนาลดลง เกิดความเป็นรูพรุนมาก ปริมาตรจำเพาะลดลง ปัจจัยหลักที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงของสีกลิ่นและลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารทอดได้แก่ ชนิดของน้ำมันที่ใช้ในการทอด อายุการใช้งานของน้ำมัน อุณภูมิและเวลาในการทอด ขนาดและลักษณะผิวหน้าของอาหาร หรือการจัดการหลังการทอด เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงของอาหารในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการทอดมีดังนี้

**1. การนำวัตถุดิบลงสูตรน้ำมันทอด (fryer entry)**

เมื่อนำวัตถุดิบรวมสูตรน้ำมันร้อน สตาร์ชบริเวณผิวจะเกิดเจลาติไนเซชั่นอย่างรวดเร็ว และผลิตภัณฑ์จะถูกปกคลุมด้วยฟองอากาศเล็กๆ เนื่องจากความชื้นบริเวณผิวเกิดการระเหยเป็นไอน้ำและบอกอากาศจะเริ่มค่อยๆ เพิ่มอย่างรวดเร็วบริเวณผิวและช่วยให้ชิ้นของผลิตภัณฑ์ไม่เกาะตัวกัน การเกิดไอน้ำอย่างรวดเร็วจะจำกัดอุณหภูมิของอาหารให้ถึงเพียงแค่อุณหภูมิน้ำเดือดและจำกัดปริมาณน้ำมันที่แทรกเข้าสู่อาหาร

**2. เริ่มเกิดชั้นเปลือกนอก (Case hardening)**

ชั้นผิวด้านนอกของอาหารจะมีการสูญเสียน้ำและมีลักษณะโครงสร้างเป็นแผ่นบางๆ การระเหยของไอน้ำถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยแสดงว่ากำลังมีการเกิดชั้นเปลือกแข็งด้านนอกบริเวณพื้นผิวบางแห่งจะเกิดฟองอากาศเร็วกว่าบริเวณอื่น บริเวณพื้นที่ผิวที่มีความชื้นลดลงความชื้นที่อยู่ภายในจะถูกเปลี่ยนเป็นไอน้ำและแยกออกไปตามช่องว่างในโครงสร้างอาหาร ที่จุดนี้ของการทอดการสูญเสียน้ำไม่ได้ก่อให้เกิดผิวนอกที่มีลักษณะแห้งแข็ง แต่ก่อให้เกิดโครงสร้างอาหารที่สมบูรณ์เช่น ในมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบ ระยะนี้ของการทอดจะทำให้เกิดการบิดงอและหลังจากนั้นจึงนำไปสู่โครงร่างเดิม

**3. ชั้นเปลือกนอกหนามากขึ้น (Surface firming)**

หลังจากที่ชั้นเปลือกนอกเริ่มเกิดการสูญเสียน้ำและเริ่มเกิดชั้นเปลือกนอกแล้วอาหารจะมีลักษณะชั้นเปลือกนอกบางๆ เมื่อทอดที่อุณหภูมิต่ำโดยใช้เวลานานจะทำให้ชั้นเปลือกนอกยิ่งมีความกรอบและหนามากขึ้นโครงสร้างที่อยู่ต่ำกว่าชั้นเปลือกนอกจะถูกทำให้แตกออกทำให้มีลักษณะเป็นรูพรุนในระยะนี้จะเกิดชั้นเปลือกนอกและโครงสร้างภายในยังไม่สมบูรณ์

**4. การซึมผ่านความร้อนและการลดลงของความชื้น (Cooking/moisture reduction)**

การเปลี่ยนแปลงสำคัญที่เกิดขึ้นในช่วงนี้คือการซึมผ่านของความร้อนและการลดลงของปริมาณความชื้น

**5. ช่วงสุดท้ายของการทอด (Finish frying)**

ในระหว่างช่วงสุดท้ายของการทอดอุณหภูมิที่ผิวผลิตภัณฑ์จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิน้ำมันทอด การที่มีปริมาณความชื้นต่ำและอุณหภูมิสูงจะช่วยส่งเสริมการเกิดกลิ่นรสจากกรดอะมิโน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ลดปริมาณความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดชั้นเปลือกนอกที่มีความกรอบ และสีเข้มขึ้น ปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นในระหว่างเสร็จสิ้นกระบวนการทอดแต่น้ำมันบางส่วนจะยังคงอยู่บริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์

**6. เกิดการดูดซับน้ำมัน (Oil adsorption)**

ปริมาณน้ำมันในอาหารทอดจะเกิดขึ้นเนื่องจากแรงดันแคปปิลารี่และภาวะสุญญากาศบริเวณผิวนอกที่เปียกชุ่มน้ำมัน โดยในระหว่างช่วงเริ่มต้นของการทอดการเกิดไอน้ำจะมีผลจำกัดการดูดซับน้ำมันแต่ช่วงต่อมาของการทอดน้ำมันจะถูกดูดซับโดยแรงแคปปิลารี่จากช่องว่างที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ แต่น้ำมันส่วนใหญ่ยังคงเกาะอยู่บริเวณผิวหน้าส่งผลให้ในระหว่างการเย็นตัวของอาหารในน้ำภายในอาหารจะเกิดการควบแน่นทำให้เกิดลักษณะสุญญากาศขึ้นน้ำมันบริเวณผิวจึงถูกดูดซับได้อย่างรวดเร็ว

ส่วนการให้ของอาหารในระหว่างกระบวนการทอดจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วง (Garayo & Moreira, 2002) ช่วงเริ่มต้นของกระบวนการทอด องค์ประกอบของอาหารที่เป็นของแข็งจะดูดซับความร้อนจากตัวกลางส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากอุณหภูมิเริ่มต้นจนถึงอุณหภูมิที่น้ำเริ่มระเหยออกจากอาหาร ในการทอดแบบสูญญากาศเวลาที่อุณหภูมิช่วงแรกเพิ่มสูงขึ้นจะสั้นมาก ช่วงต่อมาจะเป็นช่วงที่มีความคงที่ซึ่งจากอัตราการทำแห้งถูกจำกัดด้วยอัตราการถ่ายเทความร้อนจากตัวกลางไปสู่ผลิตภัณฑ์อาหาร อัตราการทำแห้งจะคงที่ไปจนกว่าผิวหน้าของอาหารจะเริ่มแห้งและเมื่อปริมาณน้ำในอาหารต่ำลงมากจนผิวหน้าอาหารแห้งอัตราการทำแห้งจะลดลง ช่วงนี้อัตราการทำแห้งจะถูกควบคุมโดยกลไกลการแพร่ของน้ำซึ่งน้ำในช่วงนี้จะเกาะกลับตัวการดูดซับของโมเลกุลและเกิดการควบแน่นในรูพรุนของอาหาร

## กลไกการดูดซับน้ำมัน (สิริมา ชินสาร, 2559)

กลไกลการดูดซับน้ำมันของอาหารขณะทอดแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือกลไกการควบแน่นและกลไกคาปิลลารี

1. กลไกการควบแน่น (condensation-mechanism)

กลไกการควบแน่นเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้อาหารเกิดการดูดซับน้ำมันภายหลังการทอด ufheil and Escher (1996) พบว่า การดูดซับน้ำมันในมันฝรั่งทอด 80% จะเกิดขึ้นในช่วงของการทำให้เย็นภายหลังจากการนำมันฝรั่งขึ้นจากน้ำมันทอดแล้ว เช่นเดียวกับ Moreira et al. (1997) ที่ตรวจสอบปริมาณน้ำมันทันทีที่นำ tortilla ขึ้นจากน้ำมันทอด พบว่า lortille ดูดซับน้ำมันในระหว่างการทอดเพียง 20% ในระหว่างการทอดเท่านั้น น้ำมันอีก 80% ยังคงเกาะอยู่ที่ผิวนอกและน้ำมันที่ผิวนอกจำนวนนี้จะถูกดูดซับเข้าไปภายในอาหารในช่วงของการทำให้เย็นถึง 64% ของปริมาณน้ำมันที่ผิวนอกทั้งหมด ปรากฏการณ์การดูดซับน้ำมันในช่วงการทำให้เย็นนี้ สามารถอธิบายได้ด้วยกลไกการควบแน่น โดยระหว่างการทอดน้ำในอาหารจะเคลื่อนที่มาที่เปลือกนอกและกลายเป็นไอน้ำระเหยออกจากผิวอาหาร แรงดันไอที่เกิดไอน้ำจะทำให้ความดันภายในอาหารสูงกว่าภายนอก ด้วยสาเหตุนี้น้ำมัน

จึงไม่สามารถซึมผ่านรูพรุนที่มีไอน้ำอยู่เข้าไปภายในอาหารระหว่างการทอดได้ กลไกการป้องกันการซึมผ่านของน้ำมันจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งหลังจากนำอาหารขึ้นจากน้ำมันเป็นเวลา 2-3 วินาที ที่สภาวะนี้อุณหภูมิของอาหารจะลดลงและไอน้ำเกิดการควบแน่น ความดันภายท่อคาปิลลารี่จะลดลงต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ทำให้เกิดแรงดูดให้น้ำมันที่ผิวอาหารเคลื่อนที่เข้าสู่รูพรุนได้ดีขึ้น ดังนั้นสภาวะภายหลังการนำอาหารขึ้นจากน้ำมันจึงมีความสำคัญต่อการดูดซับน้ำมันของอาหาร

2. กลไกคาปิลลารี่ (capillary-mechanism)

รูพรุนที่เปลือนอกของอาหารประกอบไปด้วยท่อคาปิลลารี่ขนาดต่างๆ ซึ่งไอน้ำภายในอาหารและน้ำมันที่ผิวนอกของอาหารจะเคลื่อนที่ผ่านท่อคาปิลลารี่เหล่านี้ ความสามารถในการดูดซับน้ำมันในระหว่างและภายหลังการทอดอาหารจึงขึ้นอยู่กับสภาวะของรูพรุนในขณะนั้น ซึ่งสภาวะของรูพรุนสามารถแบ่งได้เป็น 4 สภาวะดังนี้

1) สภาวะที่รูพรุนมีน้ำอยู่ น้ำมันจะไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปได้เพราะน้ำทำให้รูพรุนมีสมบัติเป็น ไฮโดรฟิลิก (hydrophilic)

2) สภาวะที่น้ำนรูพรุนเปลี่ยนสถานะเป็นไอ ซึ่งไอน้ำจะทำให้ในรูพรุนมีสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) น้ำมันจึงซึมผ่านเข้าไปได้บางส่วน เพราะน้ำมันสามารถเปียกบนผิวของรูพรุนได้ดีกว่าไอน้ำซึ่งความสามารถในการเปียกผิวของน้ำมันขึ้นอยู่กับแรงตึงผิวของน้ำมัน ระหว่างน้ำมันกับอาหารหากมีแรงตึงผิวมากจะลดการดูดซับน้ำมันได้

3) และ 4) เป็นสภาวะที่รูพรุนมีทั้งน้ำและไอน้ำอยู่รวมกัน โดย 3) ลักษณะการซึมผ่านของน้ำมันยังคงมีลักษณะเช่นเดียวกันสภาวะ 2) ในขณะที่ 4) เป็นสภาวะที่อาหารเกิดการดูดซับน้ำมันเนื่องจากการควบแน่นของไอน้ำ (Mellema, 2003)

นอกจากนี้ Dana and Saguy (2006) กล่าวว่า กลไกการดูดซับน้ำมันของอาหารทอดอาจเกิดจาก 3 กลไกหลัก ซึ่งประกอบด้วย กลไกลการแทนที่น้ำ (water replacement) กลไกการเย็นตัวของอาหาร (coolimg-phase effect) กลไกการเกิดสารลดแรงตึงผิว (surface-active agents) สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. กลไกการแทนที่น้ำ (water replacement) ในระหว่างกระบวนการทอด น้ำมันเข้าไปแทนที่น้ำซึ่งเกิดการระเหยออกจากอาหาร เมื่ออาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการทอด น้ำจะเกิดการระเหยออกจากหารอย่างรวดเร็ว พื้นผิวภายนอกของอาหารทอดเริ่มแห้งและเกิดชั้นเปลือกนอก ความชื้นที่อยู่ภายในอาหารถูกเปลี่ยนรูปให้กลายเป็นไอน้ำซึ่งเพิ่มความอตกตางของความดันส่งผลให้ไอน้ำภายในอาหารมีการเคลื่อนที่ออกจากอาหารทางรอยแตกหรือรูเปิดที่อยู่ในโครงสร้างเซลล์หรือเนื้อเยื่อของอาหาร เมื่อน้ำมันเข้าสู่ชิ้นอาหารทางชองว่างหรือรูพรุนที่เกิดจากการระเหยของน้ำ จะมีบทาทที่สำคัญ 2 ประการคือ สามารถช่วยคงรูปร่างของอาหารได้โดยป้องกันการหดหรือยุบตัว ละมีผลให้เกิดการสูญเสียความชื้นระหว่างกระบวนการทอด กลไกการแทนที่น้ำมีความสัมพันธ์อย่างมากกับขนาดของรูพรุนหรือรอยแตก โดยส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปหรือชุบแป้งเป็นหลัก รูพรุนของชิ้นอาหารส่วนใหญ่เต็มไปด้วยน้ำในช่วงแรกของการทอด และจะไม่เกิดการดูดซับน้ำมันไปจนกว่าน้ำจะเริ่มระเหย ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าว จะถูกอธิบายด้วยหลักการระเบิด ซึ่งเกิดจากแรงดันไอน้ำมีค่าสูงขึ้นและหาทางออกจากชิ้นอาหาร ถ้ารูพรุนของอาหารถูกปิดอยู่ข้างหนึ่ง

น้ำมันจะไม่สามารถเกิดการแพร่เข้าสู่รูพรุนได้ เนื่องจากมีความดันไอน้ำอยู่ภายในรูพรุนเป็นเครื่องป้องกันการดูดซับน้ำมัน

2. กลไกการเย็นตัวลงของอาหาร (cooling-phase effect) เมื่อกระบวนการทอดสิ้นสุดลง ในขณะนำอาหารออกจากหม้อทอด อาหารจะเริ่มเกิดการเย็นตัวลง ส่งผลให้ไอน้ำเกิดการควบแน่นและต่อมาเกิดลดความดันภายในอาหาร น้ำมันที่เกาะอยู่ที่ผิวอาหารจึงถูกดูดซับ ลักษณะผิวหน้าของอาหารที่เกิดขึ้นระหว่างการทอดมีบทบาทสำคัญต่อการดูดซับน้ำมันและการกระจายตัวของน้ำมัน

3. กลไกการเกิดสารลดแรงตึงผิว (surface-active agents) ในระหว่างการทอด น้ำมันจะเกิดการเสื่อมเสียและเปลี่ยนรูปจากไตรกลีเซอรอลบริสุทธิ์ไปเป็นสารประกอบอื่นๆ หลายชนิด น้ำที่ระเหยออกจากชิ้นอาหารในระหว่างกระบวนการทอดเป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการแตกของพันธะระหว่างกลีเซรอลและกรดไขมัน นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงมาก ซึ่งเป็นการเร่งให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิวว และปฏิกิริยาอื่นๆ ตามมา ทำให้เกิดสารไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ และกลีเซอรอล

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sinthusamran et al. (2014) ศึกษาลักษณะทางเคมีกายภาพและคุณสมบัติการเกิดเจลเจลาตินจากหนังปลากระพงขาวที่ได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิและเวลาในการสกัดที่แตกต่างกัน โดยทำการสกัดด้วยความร้อนที่ระดับต่างๆ ได้แก่ 45 และ 55ºC รวมกับเวลาที่ใช้ในการสกัดที่ 3 6 และ12 ชั่วโมง พบว่าเจลาตินที่สกัดที่อุณหภูมิ 55ºC เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ให้คุณภาพและร้อยละผลได้ของการสกัดดีที่สุด โดยพบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดที่มากขึ้นจะให้ร้อยละผลได้ที่เพิ่มขึ้นแต่คุณภาพของเจลเจลาตินลดต่ำลง

สินีนาถ สุขไกว (2555) ศึกษาเกี่ยวกับสภาวะในการสกัดเจลาตินจากหนังปลาตาหวานพันธุ์หนังหนาที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.025 N เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และกรดแอซิติกความเข้มข้น 0.02 M เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ก่อนมาสกัดที่อุณหภูมิ 80 90 และ 100ºC เป็นเวลา 1 2 และ 3 ชั่วโมง และสกัดที่อุณหภูมิ 110 120 และ 130ºC เป็นเวลา 30 นาที พบว่าปริมาณผลผลิตในรูปของไฮดรอกซีโพรลีนของการสกัดที่อุณหภูมิ 120 และ 130ºC เป็นเวลา 30 นาที และการสกัดที่อุณหภูมิ 100ºC เป็นเวลา 3 ชั่วโมงให้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุด เจลาตินที่ผ่านการอบแห้งจะประกอบไปด้วยโปรตีนได้ร้อยละ 83.14 ความชื้นร้อยละ 6.65 เถ้าร้อยละ 8.54 โดยเจลาตินมีความสามารถในการละลายสูงร้อยละ 95 ที่ pH 1-10 แต่ความสามารถในการเกิดโฟมลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นของเจลาตินไฮโดรไลเสทเพิ่มขึ้น

มัทนา แสงจินดาวงษ์, วันชัย วรวัฒนเมธีกุล และวรรณวิมล คล้ายประดิษฐ์ (2558) ศึกษาการผลิตเจลาตินจากเศษเหลือของกระบวนการซูริมิ โดยการนำเศษเนื้อปลาและหนังที่ผสมก้างปลาทรายแดงมาสกัดที่อุณหภูมิ 45ºC เป็นเวลา 18 ชั่วโมง เปรียบเทียบกัน พบว่าปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีที่มากที่สุดในกากปลาและหนังรวมกับก้างปลาคือโปรตีน รองลงมาคือความชื้น เถ้า เกลือ และไขมัน ตามลำดับ คุณสมบัติทางกายภาพของหนังที่ผสมก้างปลาเมื่อเทียบกับเจลาตินทางการค้าพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

อรวรรณ ติวเถาว์ (2557) ศึกษาการพองตัวในหนังปลาแซลมอนกรอบโดยการใช้ไมโครเวฟและการทอด โดยนำหนังปลาแซลมอนลวกที่อุณหภูมิ 40 45 และ 50ºC เป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นให้มีความชื้นเท่ากับร้อยละ 12-13 แล้วทอดที่อุณหภูมิ 170ºC ในเวลา 30 วินาที พบว่าหนังปลาที่อุณหภูมิ 40ºC มีค่า $a_w$ และอัตราการพองตัวที่น้อยกว่า 45 และ 50ºCเมื่อพิจารณาระดับความร้อนในการทอดที่อุณหภูมิ 160 170 และ 180ºC พบว่าอุณหภูมิ 180ºC มีอัตราการพองตัวดีที่สุดและมีค่าความชื้นและ $a_w$ น้อยที่สุด

ฉลองขวัญ พิพัฒน์เจริญวงศ์, วรรณวิบูลย์ กาญจนกุนชร, วรรณี จิรภาคย์กุล (ม.ป.ป.) ศึกษาการสกัดคอลลาเจนจากเกล็ดปลากระพงแดง (*Litjanus argentmaiculatus*) โดยศึกษาเกี่ยวกับวิธีการกำจัดแคลเซียม พบว่าการแช่เกล็ดปลาในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1.2 N เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ให้ปริมาณเถ้าที่เหลืออยู่น้อยกว่าร้อยละ 1 ของน้ำหนักแห้ง จากนั้นนำเกล็ดปลาที่กำจัดเถ้าแล้วมาสกัดคอลลาเจนซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอนได้แก่ การสกัดด้วยกรดร่วมกับความร้อนตามด้วยการสกัดด้วยกรดร่วมกับเอนไซม์เปปซิน พบว่าผลของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดด้วยกรดร่วมกับความร้อนที่อุณหภูมิ 90ºC เป็นเวลา 9 ชั่วโมง ตามด้วยการสกัดด้วยกรดร่วมกับเอนไซม์ที่อุณหภูมิ 37ºC เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ให้ปริมาณโปรตีนสูงสุด ผลของ SDS-PAGE ของการสกัดด้วยกรดร่วมกับเอนไซม์เพียงอย่างเดียวแสดงให้เห็นว่า คอลลาเจนที่ได้เป็นคอลลาเจน type I ประกอบด้วยหน่วยย่อย $\beta$, $\alpha 1$ และ $\alpha 2$

มะลิวัลย์ คุตะโค, ทนงศักดิ์ โตเจริญ, มลฤดี สนธิ, รชนิมุข หิรัญสัจจาเลิศ และ จันทร์จรัส วัฒนะโชติ (2558) ศึกษาปริมาณผลผลิตและรูปแบบโปรตีนคอลลาเจนจากเกล็ดปลากระบอกดำ (*Liza subviridis*) ที่สกัดด้วยเปปซินความเข้มข้นแตกต่างกัน โดยนำเกล็ดปลามาล้างน้ำกลั่น ตากแห้ง กำจัดแคลเซียม เม็ดสี และโปรตีนที่ไม่ใช่คอลลาเจนออก จากนั้นจึงสกัดคอลลาเจนโดยแช่เกล็ดปลาในกรดอะซิติก 0.5 M (pH 2.5) ร่วมกับเอนไซม์เปปซินที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน คือร้อยละ 0, 1.25, 2.5 และ 5 ของน้ำหนักเกล็ดปลา เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าการใช้เปปซินร้อยละ 5 ของน้ำหนักเกล็ดปลา ให้ปริมาณผลผลิตของคอลลาเจนสูงที่สุดร้อยละ 0.89 ซึ่งสูงกว่าการใช้เปปซินร้อยละ 1.25 และ 2.5 และให้ปริมาณผลผลิตของคอลลาเจนสูงกว่าการสกัดแบบไม่ใช้เปปซินถึง 11 เท่า จากการวิเคราะห์รูปแบบโปรตีนของคอลลาเจนด้วยเทคนิค SDS-PAGE พบว่าคอลลาเจนที่สกัดได้เป็น type I ซึ่งประกอบด้วยสาย $\beta$, $\alpha 1$ และ $\alpha 2$ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 233 122 และ 110 kDaตามลำดับ

พันธิพา จันทวัฒน์ และคณะ (2532) ศึกษาการลดความชื้นเพื่อป้องกันการติดกันของหนังสุกรระหว่างการทอด พบว่าในหนังสุกรที่ผ่านการอบแล้วและมีความชื้นเท่ากับหรือต่ำกว่าร้อยละ 25 .3 จะไม่มีการจับตัวกันเป็นก้อนขณะการทอด การนำหนังสุกรมาต้มให้สุกในน้ำเดือด 15 นาที ขูดเนื้อและไขมันออกให้หมด แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 50, 60, 80, 90 และ 100 °C โดยใช้เวลาต่างๆ กัน นำมาทอดที่อุณหภูมิ 110°C พบว่าการอบหนังสุกรต้มสุก จะต้องใช้เวลา 8 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50 °C ใช้เวลา 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 60C และใช้เวลา 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 70C หรือ 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 80 ถึง 100 °C

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการทดลอง

## วัตถุดิบ

ผลพลอยได้จากปลาทรายแดง (*Nemipterus* spp.) จากบริษัท อนุสรณ์มหาชัยซูริมิ จำกัด จังหวัดสมุทรสาคร โดยนำผลพลอยได้จากการผลิตซูริมิ ซึ่งประกอบด้วยเนื้อ ก้าง เกล็ดและครีบ แช่แข็งในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -18°C จนกระทั่งนำมาใช้แต่เก็บไม่เกิน 3 เดือน ก่อนใช้นำผลพลอยได้แช่แข็งมาทำละลายก่อน

## สารเคมี

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)
2. กรดอะซิติก (Acetic acid)

## วัสดุอุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) Binder รุ่น FD 53 ประเทศเยอรมนี
2. ตู้แช่แข็ง Sanyo รุ่น SF-C1497WG ประเทศไทย
3. เครื่องผสม (Mixer) Thai mixer รุ่น KV-05 บริษัท กิตติวัฒนา ประเทศไทย
4. เครื่องวัดค่าสี Hunter Lab รุ่น Mini Scan XE Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. เครื่องชั่งไฟฟ้า (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) Sartorius รุ่น BA 610 ประเทศเยอรมนี
6. เครื่องชั่งไฟฟ้า (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) Sartorius รุ่น BA 610 ประเทศเยอรมนี
7. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH-meter) Schott รุ่น CG 842 ประเทศเยอรมนี
8. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Stable Micro System รุ่น TA.XT plus ประเทศอังกฤษ
9. เครื่องกำจัดไอกรด (Scrubber unit) Buchi รุ่น B 414 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
10. กล้องดิจิตอล Canon EOS 1100D Lens 18-55 mm. ประเทศญี่ปุ่น
11. โถดูดความชื้น (Desicator)
12. ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 1000 กรัม
13. อุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น บีกเกอร์ แท่งแก้ว ช้อนตักสาร เป็นต้น
14. อุปกรณ์งานครัว เช่น กระทะ เตาแก๊ส มีด เขียง ไม้พาย ที่คีบอาหาร กระชอนกรอง และอ่างสแตนเลส เป็นต้น
15. วัสดุอื่นๆ เช่น กระดาษห่ออาหาร ถุงพลาสติก ผ้าขาวบาง กรรไกร เมล็ดงา เป็นต้น

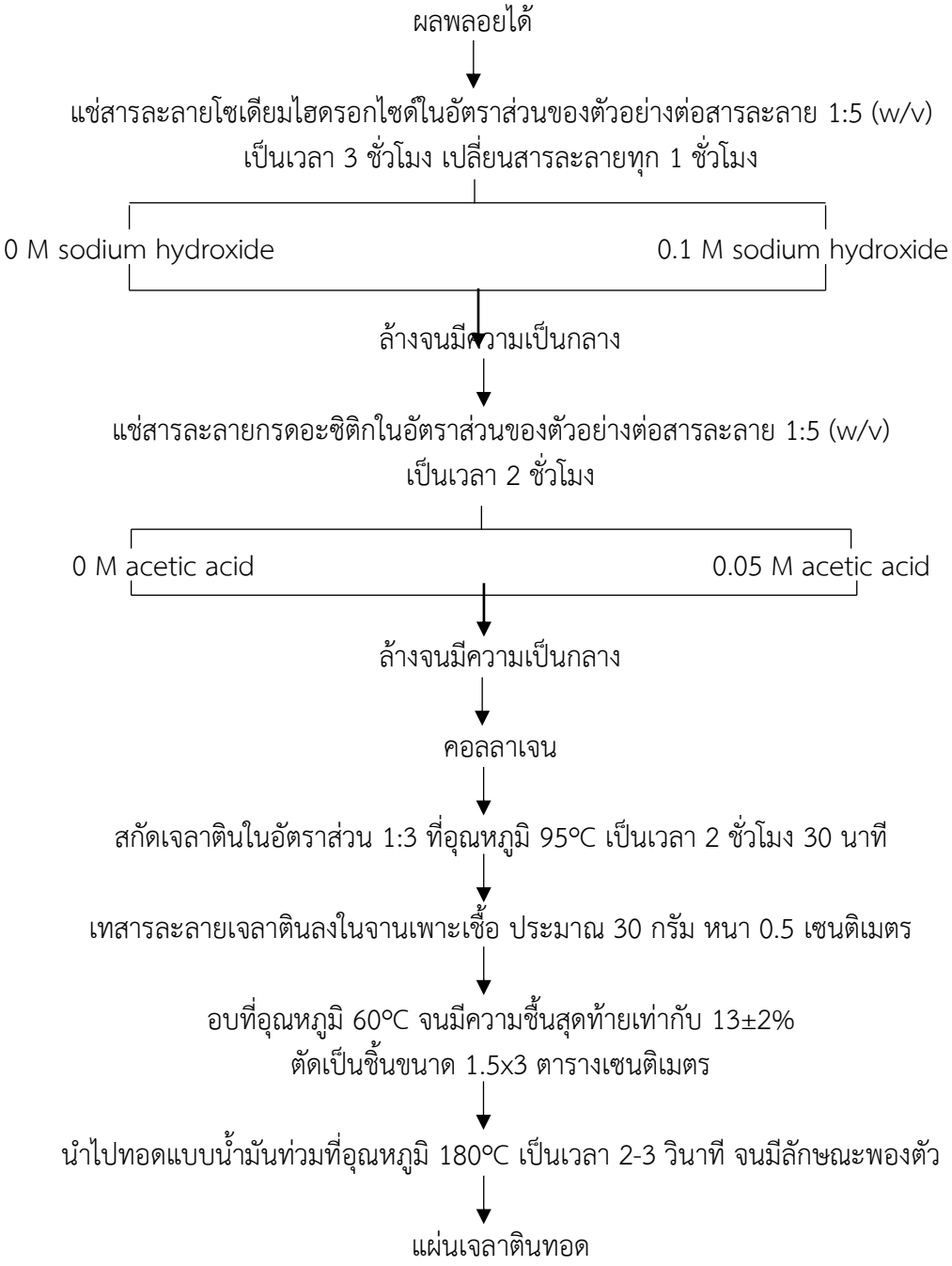
## วิธีดำเนินการทดลอง

**3.1 ศึกษาผลของชนิดของสารละลายในการเตรียมคอลลาเจนที่มีผลต่อคุณภาพของเจลาตินจากผลพลอยได้ในอุตสาหกรรมอาหารทะเล**

นำผลพลอยได้จากการผลิตซูริมิที่ละลายแล้ว แช่ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 2 ระดับคือ 0 และ 0.1 M ในอัตราส่วนของตัวอย่างต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 1:5 (w/v) เพื่อกำจัดโปรตีนส่วนที่ไม่ใช่คอลลาเจนทั้งหมดออก กวนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยเปลี่ยนสารละลายทุก 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาล้างจนมีความเป็นกลาง แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดอะซิติกที่ระดับความเข้มข้น 2 ระดับคือ 0 และ 0.05 M ในอัตราส่วนของตัวอย่างต่อสารละลาย 1:5 (w/v) เพื่อให้ส่วนประกอบของคอลลาเจนที่เชื่อมระหว่างเซลล์หนังปลาเกิดการขยายตัวออกเป็นเวลา 2 ชั่วโมง (Kittiphatthanabawon et al., 2004) ได้สิ่งทดลองทั้งหมดดังตารางที่ 3-1 จากนั้นนำไปล้างจนกระทั่งมีความเป็นกลาง สกัดเจลาตินในอัตราส่วนของตัวอย่างต่อน้ำ 1:3 (ตัวอย่าง 1000 กรัม เติมน้ำลงไป 1000 มิลลิลิตร สกัด 40 นาทีแล้วเติมน้ำอีก 1000 มิลลิลิตร ทำเช่นนี้จนได้ปริมาณน้ำครบ 3000 มิลลิลิตร) ที่อุณหภูมิ 95°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที จากนั้นนำสารละลายเจลาตินที่ได้จากการสกัดมาทำให้เกิดการพองตัวตามวิธีการทำหนังปองและน้ำหนัง (ดัดแปลงจาก บุญยัง ชุมศรี, 2542) โดยใส่ลงในจานเพาะเชื้อ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร และสูง 15 มิลลิเมตร) ที่มีกระดาษห่ออาหารรองก้นจาน ปริมาณเจลาติน 30 กรัม ความหนา 0.5 เซนติเมตร อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60°C จนมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 13±2% (ได้ความหนาของแผ่นเจลาติน 0.8 มิลลิเมตร) ตัดเป็นชิ้นขนาด 1.5x3 ตารางเซนติเมตร นำไปทอดที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 2-3 วินาที จนเจลาตินที่ได้มีลักษณะพองตัว ทำให้สะเด็ดน้ำมันและพักให้เย็นเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ต่อไป

ตารางที่ 3-1 สิ่งทดลองที่มีชนิดของสารละลายต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียมคอลลาเจนจากผลพลอยได้

| สิ่งทดลอง | ชนิดของสารละลาย |
|---|---|
| 1 | ไม่แช่สารละลาย |
| 2 | สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M |
| 3 | สารละลายกรดอะซิติก 0.05 M |
| 4 | สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M ร่วมกับกรดอะซิติก 0.05 M |




ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนการผลิตแผ่นเจลาตินที่แปรชนิดของสารละลายในการเตรียมคอลลาเจน
ที่มีผลต่อคุณภาพของเจลาตินจากผลพลอยได้ในอุตสาหกรรมซูริมิ

**การวิเคราะห์คุณภาพ**

3.1.1 วิเคราะห์ปริมาณร้อยละผลได้เจลาตินอบแห้งและเจลาตินทอด (% yield)

ร้อยละผลได้ของเจลาตินอบแห้ง (% yield) = $\frac{\text{น้ำหนักของเจลาตินอบแห้ง} \times 100}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น}}$

ร้อยละผลได้ของเจลาตินทอด (% yield) = $\frac{\text{น้ำหนักของเจลาตินทอด} \times 100}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น}}$

3.1.2 วิเคราะห์ค่าสี

วิเคราะห์ค่าสี L* a* และ b* ในระบบ Hunter lab ด้วยเครื่อง Colorimeter โดยค่า L* เป็นค่าบ่งบอกถึงความสว่างมีค่าอยู่ระหว่าง 0-100 ค่า a* เป็นค่าที่บ่งบอกความเป็นสีแดงและสีเขียว โดยถ้าค่า a* เป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีแดง ถ้าค่า a* เป็นลบแสดงถึงความป็นสีเขียว ค่า b* เป็นค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงินโดยถ้าค่า b* เป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีเหลืองและถ้าค่า b* เป็นลบแสดงถึงความเป็นสีน้ำเงิน และคำนวนค่าความขาว (Whiteness) ดังภาคผนวก ข-1

3.1.3 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธีดัดแปลงจาก Anon (1996) วัดค่าความแข็งและความกรอบ โดยนำชิ้นแผ่นเจลาตินทอดวางบนเครื่อง Texture analyzer TA-XT2 โดยใช้ลูกตุ้มขนาด 1000 กรัม ติดหัวเข็ม (Spherical ; P/20) และฐานวางตัวอย่าง (HDP/90) ความเร็วของหัววัดขณะทดสอบ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของหัววัดหลังทดสอบ 20 mm ต่อวินาทีและให้หัวกรดตัวอย่างลงเป็นระยะทาง 10 mm ดังภาคผนวก ข-2

3.1.4 วิเคราะห์ปริมาตรและอัตราการพองตัวของแผ่นเจลาตินทอด

3.1.4.1 ปริมาตรของแผ่นเจลาตินอบแห้งและแผ่นเจลาตินทอด จากวิธีการแทนที่ด้วยเมล็ดงา (ดัดแปลงจาก อรวรรณ ติวเถาว์, 2557) ดังภาคผนวก ข-3

ปริมาตรตัวอย่าง ($cm^3$) = $\frac{\text{น้ำหนักของงาที่เกิน}}{\text{ความหนาแน่นของงา}}$

3.1.4.2 อัตราการพองตัวของแผ่นเจลาตินทอด จากวิธีการแทนที่ด้วยเมล็ดงา (ดัดแปลงจาก อรวรรณ ติวเถาว์, 2557) ดังภาคผนวก ข-3

อัตราการพองตัว (%) = (ปริมาตรแผ่นเจลาตินทอด – ปริมาตรแผ่นเจลาตินอบแห้ง) X 100

3.1.5 วิเคราะห์การดูดซับน้ำมันของแผ่นเจลาตินทอด (dry basis)

วิเคราะหการดูดซับน้ำมัน ดังภาคผนวก ข-4

การดูดซับน้ำมันของแผ่นเจลาตินทอด (%) = $\frac{(\text{น้ำหนักของเจลาตินหลังทอด} - \text{น้ำหนักของเจลาตินอบแห้ง}) \times 100}{\text{น้ำหนักของเจลาตินอบแห้ง}}$

3.1.6 ลักษณะความเป็นรูพรุน

ถ่ายภาพลักษณะรูพรุนโดยใช้กล้องดิจิตอล Cannon EOS 1100D Lens 18-55 mm.

การวิเคราะห์ร้อยละผลได้ ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส ปริมาตรและอัตราการพองตัว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์

ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ด้วยโปรแกรม SPSS version 21.0 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

คัดเลือกชนิดของสารละลายที่ใช้ในวิธีการเตรียมคอลลาเจนจากผลพลอยได้ในอุตสาหกรรมซูริมิโดยพิจารณาสิ่งทดลองที่มีค่าความกรอบและปริมาตรของแผ่นเจลาตินทอดที่ดีที่สุดเพื่อนำไปทดลองในข้อ 3.2 ต่อไป

**3.2 ศึกษาวิธีการสกัดคอลลาเจนจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารทะเล**

เมื่อได้คอลลาเจนทีผ่านการเตรียมขั้นต้นที่มีคุณภาพที่เหมาะสำหรับนำมาสกัดจากตอนที่ 1 แล้วจึงนำมาศึกษาวิธีการสกัดที่เหมาะสม ทั้งนี้มองถึงการนำไปใช้โดยผู้ประกอบการซึ่งน่าจะเป็นวิธีที่สะดวกและเหมาะสมในการนี้ ซึ่งการศึกษาวิธีการสกัดสารสกัดจากคอลลาเจนในผลพลอยได้ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหนังและกระดูกปลาเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลา ทำโดยนำผลพลอยได้ที่ได้จากข้อ 1 มาสกัดด้วยวิธีที่เหมาะสม โดยแปรระดับปัจจัยที่ศึกษา คืออุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดเจลาติน นำผลพลอยได้จากการผลิตซูริมิที่ละลายแล้ว แช่ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 2 ระดับคือ 0.1 M ในอัตราส่วนของตัวอย่างต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 1:5 (w/v) กวนเป็นเวลา 3 ชั่วโมงโดยเปลี่ยนสารละลายทุก 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาล้างจนมีความเป็นกลาง แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดอะซิติกที่ระดับความเข้มข้น 2 ระดับคือ 0.05 M ในอัตราส่วนของตัวอย่างต่อสารละลาย 1:5 (w/v) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (Kittiphatthanabawon et al., 2004) จากนั้นนำไปล้างจนกระทั่งมีความเป็นกลาง สกัดเจลาตินในอัตราส่วนของตัวอย่างต่อน้ำ 1:3 ที่อุณหภูมิ 55 °C และ 95°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที จากนั้นนำสารละลายเจลาตินที่ได้โดยใส่ลงในพิมพ์ขนมปัง (ความกว้างฐาน 13.5 × 6.5 เซนติเมตร ความกว้างปาก 17 × 9 เซนติเมตร และสูง 6.5 เซนติเมตร) ที่มีกระดาษห่ออาหารรองก้นพิมพ์ใส่ปริมาณเจลาตินของปัจจัย 55 องศาเซลเซียส ให้มีความหนา 2 เซนติเมตร และ 55 องศาเซลเซียส ให้มีความหนา 1 เซนติเมตร เพื่อหลังจากการอบแล้วมีขนาดความหนาของแผ่นที่เท่ากัน จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60°C จนมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 13±2% (ได้ความหนาของแผ่นเจลาติน 0.3 มิลลิเมตร) ตัดเป็นชิ้นขนาด 1.5x3 ตารางเซนติเมตร นำไปทอดที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 2-3 วินาที จนเจลาตินที่ได้มีลักษณะพองตัว ทำให้สะเด็ดน้ำมันและพักให้เย็นเพื่อนำเจลาตินที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพต่าง ๆ ดังนี้

3.2.1. องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดที่ได้ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ด้วยวิธี AOAC (2000)

3.2.2. ค่าสี (L*, a* และ b*)

วิเคราะห์ค่าสี L* a* และ b* ในระบบ Hunter lab ด้วยเครื่อง Colorimeter โดยค่า L* เป็นค่าบ่งบอกถึงความสว่างมีค่าอยู่ระหว่าง 0-100 ค่า a* เป็นค่าที่บ่งบอกความเป็นสีแดงและสีเขียว โดยถ้าค่า a* เป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีแดง ถ้าค่า a* เป็นลบแสดงถึงความป็นสีเขียว ค่า b* เป็น

ค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงินโดยถ้าค่า b* เป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีเหลืองและถ้าค่า b* เป็นลบแสดงถึงความเป็นสีน้ำเงิน และคำนวณค่าความขาว (Whiteness)

3.2.3. ร้อยละผลผลิต (% yield)

$$\text{ร้อยละผลได้ของแผ่นเจลาตินอบแห้ง (\% yield)} = \frac{\text{น้ำหนักของแผ่นเจลาตินอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละผลได้ของแผ่นเจลาตินทอด (\% yield)} = \frac{\text{น้ำหนักของแผ่นเจลาตินทอด}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

3.2.4. สมบัติการพอง โดยนำเจลาตินมาผลิตเป็นแผ่นเจลาตินที่พองตัว เช่น นำมาทอดแล้วหาค่าการขยายตัว (Expansion ratio) (Arimi et al., 2008) เป็นต้น

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design : CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยโปรแกรม Minitab® 18 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Tukey's Multiple Comparison test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

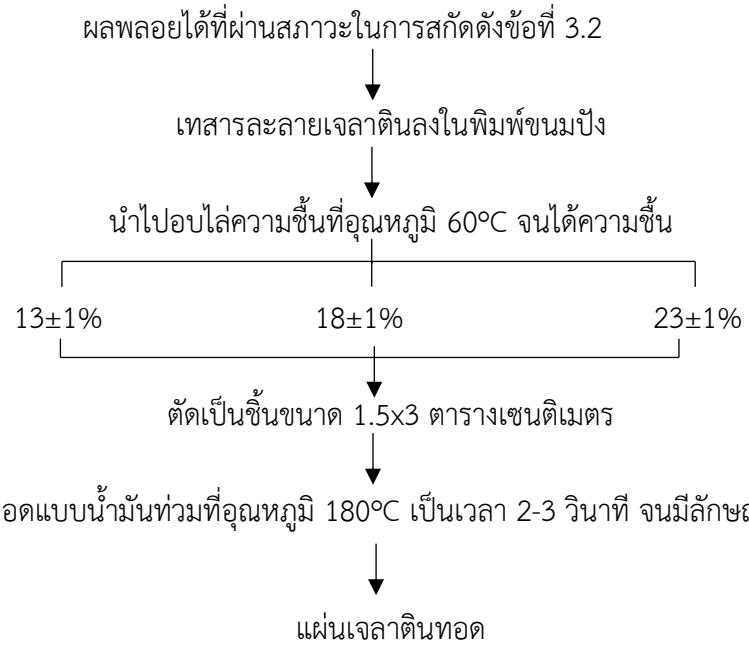
คัดเลือกสภาวะที่ใช้ในการสกัดที่มีสมบัติการพองมากที่สุดเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

**3.3 ศึกษากรรมวิธีในการผลิตผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารทะเล โดยศึกษาผลของปริมาณความชื้นที่มีต่อคุณภาพของแผ่นเจลาตินทอด**

โดยนำผลพลอยได้จากปลาทรายแดงที่ผ่านสภาวะในการสกัดดังข้อที่ 3.2 มาสกัดจะได้สารละลายเจลาติน จากนั้นนำสารละลายเจลาตินที่ได้จากการสกัดมาทำให้เกิดการพองตัวตามวิธีการทำหนังปองและน้ำหนัง (ดัดแปลงจาก บุญยัง ชุมศรี, 2542) โดยนำสารละลายเจลาตินเทลงในพิมพ์ขนมปัง (ความกว้างฐาน 13.5 × 6.5 เซนติเมตร ความกว้างปาก 17 × 9 เซนติเมตร และสูง 6.5 เซนติเมตร) ที่มีกระดาษห่ออาหารรองก้นพิมพ์ ก่อนอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60°C จนได้ความชื้น 3 ระดับ ได้แก่ 13±1% 18±1% และ 23±1% โดยมีการปรับความชื้นด้วยวิธีการพรมน้ำลงบนแผ่นเจลาตินแล้วนำไปอบต่อจนได้ปริมาณความชื้นตามที่ต้องการ แล้วตัดเป็นชิ้นขนาด 1.5x3 ตารางเซนติเมตร จากนั้นนำไปทอดแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 2 วินาที จนเจลาตินที่ได้มีลักษณะพองตัว ทำให้สะเด็ดน้ำมันและพักให้เย็นเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ต่อไป

ตารางที่ 3-2 สิ่งทดลองที่มีปริมาณความชื้นในระดับต่าง ๆ ที่ใช้ในวิธีการเตรียมคอลลาเจนจากผลพลอยได้ในอุตสาหกรรมซูริมิ

| สิ่งทดลอง | ปริมาณความชื้น (%) ของแผ่นเจลาตินอบแห้ง |
|---|---|
| 1 | 13±1 |
| 2 | 18±1 |
| 3 | 23±1 |




ภาพที่ 3-2 ขั้นตอนการผลิตแผ่นเจลาตินที่แปรของปริมาณความชื้นที่มีต่อคุณภาพของแผ่นเจลาตินทอด

**การวิเคราะห์คุณภาพ**

3.3.1. องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดที่ได้ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ด้วยวิธี AOAC (2000)

3.3.2. วิเคราะห์ปริมาณร้อยละผลได้ของเจลาติน

$$\text{ร้อยละผลได้ของแผ่นเจลาตินอบแห้ง (\% yield)} = \frac{\text{น้ำหนักของแผ่นเจลาตินอบแห้ง} \times 100}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

$$\text{ร้อยละผลได้ของแผ่นเจลาตินทอด (\% yield)} = \frac{\text{น้ำหนักของแผ่นเจลาตินทอด} \times 100}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

3.3.3. วิเคราะห์ค่าสี

วิเคราะห์ค่าสี L* a* และ b* ในระบบ Hunter lab ด้วยเครื่อง Colorimeter โดยค่า L* เป็นค่าบ่งบอกถึงความสว่างมีค่าอยู่ระหว่าง 0-100 ค่า a* เป็นค่าที่บ่งบอกความเป็นสีแดงและสีเขียว โดยถ้าค่า a* เป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีแดง ถ้าค่า a* เป็นลบแสดงถึงความป็นสีเขียว ค่า b* เป็นค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงินโดยถ้าค่า b* เป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีเหลืองและถ้าค่า b* เป็นลบแสดงถึงความเป็นสีน้ำเงิน และคำนวณค่าความขาว (Whiteness)

3.3.4. วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสหลังทอด

วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธีดัดแปลงจาก Anon (1996) วัดค่าความแข็ง โดยนำชิ้นแผ่นเจลาตินทอดวางบนเครื่อง Texture analyzer TA-XT2 โดยใช้ลูกตุ้มขนาด 1000 กรัม ติดหัวเข็ม (Crisp Fracture Support Rig ; HDP/CFS) และฐานวางตัวอย่าง (HDP/90) ความเร็วของหัววัด

ขณะทดสอบ 10 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของหัววัดหลังทดสอบ 30 mm ต่อวินาทีและให้หัวกรดตัวอย่างลงเป็นระยะทาง 10 mm

3.3.5. วิเคราะห์การพองตัวของแผ่นเจลาตินทอด

วิเคราะห์ความพองด้วยวิธีดัดแปลงจาก อรวรรณ ติวเถาว์ (2557) แสดงดังภาคผนวก ข-3

3.3.5.1 ปริมาตรของแผ่นเจลาตินอบแห้งและแผ่นเจลาตินทอด จากวิธีการแทนที่ด้วยเมล็ดงา (ดัดแปลงจาก อรวรรณ ติวเถาว์, 2557) ดังภาคผนวก ข-3

$$\text{ปริมาตรตัวอย่าง } (cm^3) = \frac{\text{น้ำหนักของงาที่เกิน}}{\text{ความหนาแน่นของงา}}$$

3.3.5.2 อัตราการพองตัวของแผ่นเจลาตินทอดจากวิธีการแทนที่ด้วยเมล็ดงา (ดัดแปลงจาก อรวรรณ ติวเถาว์, 2557) ดังภาคผนวก ข-3

อัตราการพองตัว (%) = (ปริมาตรแผ่นเจลาตินทอด – ปริมาตรแผ่นเจลาตินอบแห้ง) X 100

3.3.6. ลักษณะความเป็นรูพรุน

ถ่ายลักษณะรูพรุนโดยใช้กล้องดิจิตอล Cannon EOS 1100D Lens 18-55 mm.

3.3.7. ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale (1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด ส่วน 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด) ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านเกณฑ์การฝึกฝนจำนวน 30 คน โดยนำผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาน้ำแดงใส่ลงในถ้วยทดสอบตัวอย่าง ถ้วยละ 1 ชิ้น (ชิ้นพอดีคำ) เพื่อพิจารณาความชอบคุณลักษณะด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยนำผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาที่ได้มาเติมน้ำสต็อกที่ผ่านการปรุงเป็นผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาน้ำแดง (โดยใช้น้ำสต็อกไก่ไปปรุงรสด้วยเครื่องปรุง ได้แก่ น้ำตาลทราย ซีอิ้วขาว น้ำมันหอย พริกไทย และแป้งข้าวโพด) จากนั้นเสิร์ฟให้ผู้ชิม แล้วให้ผู้ทดสอบให้คะแนนการทดสอบในเอกสารแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส ซึ่งในการชิมแต่ละตัวอย่างจะมีการใช้น้ำเปล่ากลั้วปากก่อนชิมตัวอย่างถัดไป

การวิเคราะห์ร้อยละผลได้ องค์ประกอบทางเคมี ค่าสี ความพองตัว และลักษณะเนื้อสัมผัส วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design : CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ ส่วนทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomize Complete Block Design : RCRD) โดยจัดให้ผู้ทดสอบเป็นบล็อก (Block) โดยมีปัจจัย คือ ความชื้น มี 3 ระดับ ได้แก่ 13 18 และ 23% วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ด้วยโปรแกรม Minitab® 18 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey’s Multiple Comparison test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

คัดเลือกปริมาณความชื้นที่มีความชอบโดยรวมมากที่สุดเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

**3.4 ศึกษาคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาเปรียบเทียบกับกระเพาะปลาทางการค้า**

โดยนำผลพลอยได้จากปลาทรายแดงที่ผ่านสภาวะในการสกัดดังข้อที่ 3.3 ได้เป็นผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลามาเปรียบเทียบกับกระเพาะปลาทางการค้า ได้แก่กระเพาะปลาแท้และกระเพาะปลาเทียม (ผลิตจากหนังสุกร) โดยวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

**การวิเคราะห์คุณภาพ**

3.4.1 องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดที่ได้ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ด้วยวิธี AOAC (2000)

3.4.2 วิเคราะห์ค่าสี

วิเคราะห์ค่าสี L* a* และ b* ในระบบ Hunter lab ด้วยเครื่อง Colorimeter โดยค่า L* เป็นค่าบ่งบอกถึงความสว่างมีค่าอยู่ระหว่าง 0-100 ค่า a* เป็นค่าที่บ่งบอกความเป็นสีแดงและสีเขียว โดยถ้าค่า a* เป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีแดง ถ้าค่า a* เป็นลบแสดงถึงความป็นสีเขียว ค่า b* เป็นค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงินโดยถ้าค่า b* เป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีเหลืองและถ้าค่า b* เป็นลบแสดงถึงความเป็นสีน้ำเงิน และคำนวณค่าความขาว (Whiteness)

3.3.3 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสหลังทอด

วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธีดัดแปลงจาก Anon (1996) วัดค่าความแข็ง โดยนำชิ้นแผ่นเจลาตินทอดวางบนเครื่อง Texture analyzer TA-XT2 โดยใช้ลูกตุ้มขนาด 1000 กรัม ติดหัวเข็ม (Crisp Fracture Support Rig ; HDP/CFS) และฐานวางตัวอย่าง (HDP/90) ความเร็วของหัววัดขณะทดสอบ 10 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของหัววัดหลังทดสอบ 30 mm ต่อวินาทีและให้หัวกรดตัวอย่างลงเป็นระยะทาง 10 mm

3.3.4. ลักษณะความเป็นรูพรุน

ถ่ายลักษณะรูพรุนโดยใช้กล้องดิจิตอล Cannon EOS 1100D Lens 18-55 mm.

3.3.5. ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale (1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด ส่วน 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด) ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านเกณฑ์การฝึกฝนจำนวน 30 คน โดยนำผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาน้ำแดงใส่ลงในถ้วยทดสอบตัวอย่าง ถ้วยละ 1 ชิ้น (ชิ้นพอดีคำ) เพื่อพิจารณาความชอบคุณลักษณะด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยนำผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาที่ได้มาเติมน้ำสต็อกที่ผ่านการปรุงเป็นผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลานน้ำแดง (โดยใช้น้ำสต็อกไก่ไปปรุงรสด้วยเครื่องปรุง ได้แก่ น้ำตาลทราย ซีอิ้วขาว น้ำมันหอย พริกไทย และแป้งข้าวโพด) จากนั้นเสิร์ฟให้ผู้ชิม แล้วให้ผู้ทดสอบให้คะแนนการทดสอบในเอกสารแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส ซึ่งในการชิมแต่ละตัวอย่างจะมีการใช้น้ำเปล่ากลั้วปากก่อนชิมตัวอย่างถัดไป

การวิเคราะห์ร้อยละผลได้ องค์ประกอบทางเคมี ค่าสี ความพองตัว และลักษณะเนื้อสัมผัส วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design : CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ ส่วนทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomize Complete Block Design : RCRD) โดยจัดให้ผุ้ทดสอบเป็นบล็อก (Block) โดยมีปัจจัย คือ ความชื้นมี 3 ระดับ ได้แก่ 13 18 และ 23% วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ด้วยโปรแกรม Minitab® 18 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey’s Multiple Comparison test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

# บทที่ 4
# ผลการทดลองและวิจารณ์

## 4.1 ผลของชนิดของสารละลายในการเตรียมคอลลาเจนที่มีผลต่อคุณภาพของเจลาตินจากผลพลอยได้ในอุตสาหกรรมอาหารทะเล

จากศึกษาความเป็นไปได้ของชนิดของสารละลายในการเตรียมคอลลาเจนต่อคุณภาพของแผ่นคอลลาเจนทอด โดยแปรชนิดของสารละลายเป็น ไม่แช่สารละลาย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M สารละลายกรดอะซิติก 0.05 M และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M ร่วมกับสารละลายกรดอะซิติก 0.05 M ในอัตราส่วนผลพลอยได้ต่อสารละลาย 1:5 โดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ใช้ระยะเวลาในการแช่ 3 ชั่วโมง และสารละลายกรดอะซิติกใช้ระยะเวลาในการแช่ 2 ชั่วโมง ล้างจนมีความเป็นกลางดังตารางที่ 3-1 หลังจากผลิตเป็นแผ่นคอลลาเจนทอดแล้ว จึงนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี การพองตัว ลักษณะเนื้อสัมผัส เพื่อคัดเลือกชนิดของสารละลายที่ใช้แช่ผลพลอยได้ในวิธีการเตรียมคอลลาเจน เพื่อนำไปทดลองต่อไป

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลได้ของแผ่นคอลลาเจนทอด

การวิเคราะห์ปริมาณร้อยละผลได้ของแผ่นคอลลาเจนอบแห้งและแผ่นคอลลาเจนทอดที่มีการแปรชนิดของสารละลายในเตรียมคอลลาเจนออกเป็น 4 ชนิด แสดงดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ร้อยละผลได้ของแผ่นคอลลาเจนอบแห้งและแผ่นคอลลาเจนทอดที่ผ่านการแช่สารละลายต่างชนิด

| สิ่งทดลองที่ | ชนิดของสารละลาย | ร้อยละผลได้ (%) | |
|---|---|---|---|
| | | คอลลาเจนอบแห้ง | คอลลาเจนทอด$^{ns}$ |
| 1 | ไม่แช่สารละลาย | 6.57 ± 0.75$^{a}$ | 18.46 ± 2.72 |
| 2 | สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M | 4.75 ± 0.13$^{b}$ | 23.98 ± 7.56 |
| 3 | สารละลายกรดอะซิติก 0.05 M | 4.99 ± 0.17$^{b}$ | 45.18 ± 10.82 |
| 4 | สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M ร่วมกับกรดอะซิติก 0.05 M | 4.85 ± 0.21$^{b}$ | 31.85 ± 4.79 |

a, b หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง$^{*}$แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของแผ่นคอลลาเจนอบแห้งและแผ่นคอลลาเจนทอด

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของแผ่นคอลลาเจนอบแห้งและแผ่นคอลลาเจนทอดที่มีการแปรชนิดของสารละลายในการเตรียมคอลลาเจน ซึ่งวิเคราะห์ค่าออกมาเป็นค่า L* a* b* และค่าความขาว แสดงดังตารางที่ 4-2 และ 4-3

ตารางที่ 4-2 ค่าสีของแผ่นคอลลาเจนอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายต่างชนิดกัน

| สิ่งทดลองที่ | ชนิดของสารละลาย | ค่าสี | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | L* | a* | b* | ค่าความขาว |
| 1 | ไม่แช่สารละลาย | 55.27 ± 1.25$^{b}$ | 8.47 ± 0.01$^{a}$ | 34.64 ± 0.36$^{a}$ | 42.79 ± 0.46$^{c}$ |
| 2 | สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M | 45.81 ± 2.04$^{c}$ | 3.90 ± 0.89$^{b}$ | 19.44 ± 2.54$^{c}$ | 42.25 ± 1.00$^{c}$ |
| 3 | สารละลายกรดอะซิติก 0.05 M | 60.89 ± 0.78$^{a}$ | 1.94 ± 0.13$^{c}$ | 25.83 ± 0.24$^{b}$ | 53.12 ± 0.52$^{a}$ |
| 4 | สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M ร่วมกับกรดอะซิติก 0.05 M | 48.41 ± 2.27$^{c}$ | 2.88 ± 0.78$^{bc}$ | 17.54 ± 2.42$^{c}$ | 45.39 ± 1.33$^{b}$ |

ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

a, b, c หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง $^{*}$แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4-3 ค่าสีของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ผ่านการแช่สารละลายต่างชนิดกัน

| สิ่งทดลองที่ | ชนิดของสารละลาย | ค่าสี | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $L^{*ns}$ | a* | b* | ค่าความขาว$^{ns}$ |
| 1 | ไม่แช่สารละลาย | 51.86 ± 7.45 | 1.77 ± 0.82$^{a}$ | 21.52 ± 0.57$^{a}$ | 47.31 ± 7.07 |
| 2 | สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M | 56.97 ± 9.61 | 0.51 ± 0.47$^{ab}$ | 17.03 ± 0.61$^{b}$ | 53.62 ± 8.69 |
| 3 | สารละลายกรดอะซิติก 0.05 M | 60.26 ± 0.001 | -1.83 ± 0.24$^{c}$ | 17.12 ± 2.05$^{b}$ | 56.67 ± 0.82 |
| 4 | สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M ร่วมกับกรดอะซิติก 0.05 M | 55.91 ± 7.03 | -0.61 ± 0.13$^{bc}$ | 14.85 ± 0.72$^{b}$ | 53.46 ± 6.89 |

ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

a, b, c หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง $^{*}$แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของแผ่นคอลลาเจนทอด

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของแผ่นคอลลาเจนทอดโดยแปรชนิดของสารละลายเป็น 4 ชนิด โดยนำมาวัดเนื้อสัมผัสด้วยหัววัด (P/20) ซึ่งวิเคราะห์ค่าออกมาเป็นค่าความแข็งและค่าความกรอบ แสดงดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ค่าความกรอบและความแข็งของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ผ่านการแช่สารละลายต่างกัน

| สิ่งทดลองที่ | ชนิดของสารละลาย | ค่าความแข็ง$^{ns}$ (kg force) | ค่าความกรอบ (kg.sec) |
|---|---|---|---|
| 1 | ไม่แช่สารละลาย | 0.09 ± 0.04 | 1.59 ± 0.06$^{c}$ |
| 2 | สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M | 0.04 ± 0.01 | 1.44 ± 0.18$^{bc}$ |
| 3 | สารละลายกรดอะซิติก 0.05 M | 0.07 ± 0.03 | 1.17 ± 0.04$^{ab}$ |
| 4 | สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M ร่วมกับกรดอะซิติก 0.05 M | 0.12 ± 0.01 | 1.11 ± 0.11$^{a}$ |

a, b, c หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง$^{*}$แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.1.4 ผลการวิเคราะห์การพองตัวของแผ่นคอลลาเจนหลังทอด

ผลการวิเคราะห์การพองตัวของแผ่นคอลลาเจนทอดที่มีการแปรชนิดของสารละลายเป็น 4 ชนิด วิเคราะห์ค่าปริมาตรและปริมาตรจำเพาะซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการพองตัว ดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ค่าปริมาตรและอัตราการะพองตัวของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ผ่านการแช่สารละลายต่างชนิดกัน

| สิ่งทดลองที่ | ชนิดของสารละลาย | ปริมาตร ($cm^3$) | อัตราการพองตัว$^{ns}$ (%) |
|---|---|---|---|
| 1 | ไม่แช่สารละลาย | 24.80 ± 0.97$^b$ | 36.38 ± 16.07 |
| 2 | สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M | 24.65 ± 0.73$^b$ | 7.32 ± 1.05 |
| 3 | สารละลายกรดอะซิติก 0.05 M | 23.55 ± 0.01$^b$ | 26.80 ± 4.11 |
| 4 | สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M ร่วมกับกรดอะซิติก 0.05 M | 30.09 ± 0.40$^a$ | 39.97 ± 2.11 |

a, b หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง*แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.1.5 ผลการวิเคราะห์การดูดซับน้ำมัน (dry basis) ของแผ่นคอลลาเจนหลังทอดที่ผ่านการแช่สารละลายต่างชนิดในขั้นตอนการเตรียมคอลลาเจน

ผลการวิเคราะห์การดูดซับน้ำมัน (dry basis) ของแผ่นคอลลาเจนทอดที่มีการแปรชนิดของสารละลายเป็น 4 ชนิด ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4-6

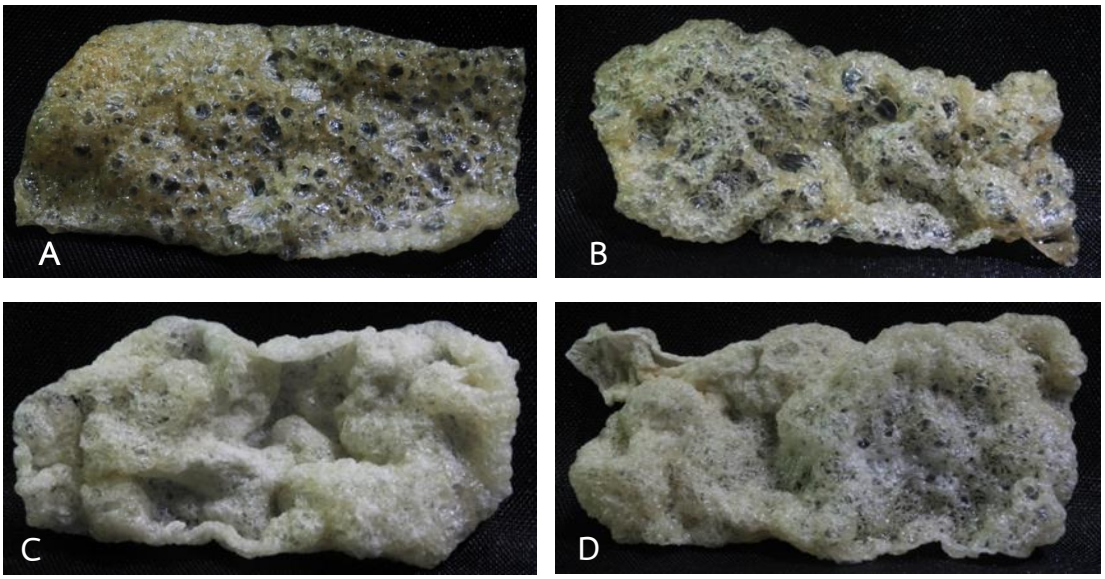
ตารางที่ 4-6 ค่าการดูดซับน้ำมัน (dry basis) ของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ผ่านกระแช่สารละลายต่างชนิดกัน

| สิ่งทดลองที่ | ชนิดของสารละลาย | การดูดซับน้ำมัน (%) |
|---|---|---|
| 1 | ไม่แช่สารละลาย | 272.02 ± 23.81$^d$ |
| 2 | สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M | 425.27 ± 30.55$^c$ |
| 3 | สารละลายกรดอะซิติก 0.05 M | 823.85 ± 49.99$^a$ |
| 4 | สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M ร่วมกับกรดอะซิติก 0.05 M | 614.26 ± 42.35$^b$ |

ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

a, b หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง*แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)




ภาพที่ 4-1 ลักษณะความเป็นรูพรุนของแผ่นเจลาตินทอดที่ผ่านการแช่สารละลายต่างชนิดกัน (A) แผ่นเจลาตินทอดที่ไม่ผ่านการแช่สารละลาย (B) แผ่นเจลาตินทอดที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M (C) แผ่นเจลาตินทอดที่ผ่านการแช่สารละลายกรดอะซิติก 0.05 M และ (D) แผ่นเจลาตินทอดที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M ร่วมกับกรดอะซิติก 0.05 M

เกณฑ์ในการคัดเลือกสิ่งทดลองที่กำหนดไว้ คือ เลือกสิ่งทดลองที่มีค่าความกรอบต่ำสุด (กรอบมาก) และปริมาตรสูงสุด พิจารณาได้ว่าสิ่งทดลองที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมไฮดอรกไซด์ 0.1 M ร่วมกับกรดอะซิตก 0.05 M ในการเตรียมคอลลาเจนเหมาะสมสุด เนื่องจากมีค่าความกรอบต่ำสุด และมีปริมาตรสูงสุด

**4.2 ศึกษาวิธีการสกัดคอลลาเจนจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารทะเล**

4.2.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดที่ได้

จากศึกษาความเป็นไปได้ของอุณหภูมิในการสกัดต่อคุณภาพของแผ่นคอลลาเจนทอด โดยแปรอุณหภูมิเป็นในการสกัดเป็น 55 องศาเซลเซียส และ 95 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 4-7

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของแผ่นคอลลาเจนอบแห้งและแผ่นคอลลาเจนทอด

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของแผ่นคอลลาเจนทอดที่มีการแปรอุณหภูมิเป็นในการสกัด ซึ่งวิเคราะห์ค่าออกมาเป็นค่า L* a* b* และค่าความขาว แสดงดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-7 องค์ประกอบทางเคมีของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ผ่านการสกัดด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ

| สิ่งทดลองที่ | อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | องค์ประกอบทางเคมี (%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ความชื้น | โปรตีน$^{ns}$ | ไขมัน | เถ้า | คาร์โบไฮเดต |
| 1 | 55 | 1.17 ± 0.04$^{a}$ | 12.66 ± 0.24 | 84.72 ± 0.34$^{a}$ | 0.50 ± 0.02$^{a}$ | 0.94 ± 0.06$^{b}$ |
| 2 | 95 | 0.05 ± 0.00$^{b}$ | 13.02± 0.37 | 77.67 ± 0.89$^{b}$ | 0.26 ± 0.02$^{b}$ | 8.99 ± 0.66$^{a}$ |

a, b หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง$^{*}$แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันในแนวตั้ง$^{*}$แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางที่ 4-8 ค่าสีของแผ่นคอลลาเจนอบทอดที่ผ่านการสกัดด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ

| สิ่งทดลองที่ | อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | ค่าสี | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | L*$^{ns}$ | a* | b* | ค่าความขาว |
| 1 | 55 | 53.13 ± 1.80 | 4.70 ± 0.62$^{a}$ | 27.64 ± 1.33$^{a}$ | 45.36 ± 1.50$^{b}$ |
| 2 | 95 | 56.09 ± 1.35 | 1.40 ± 0.59$^{b}$ | 19.27 ± 1.82$^{b}$ | 51.99 ± 1.36$^{a}$ |

a, b หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง$^{*}$แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันในแนวตั้ง$^{*}$แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลได้ของแผ่นคอลลาเจนทอด

ตารางที่ 4-9 ร้อยละผลได้ของแผ่นคอลลาเจนอบแห้งและแผ่นคอลลาเจนทอดที่ผ่านการสกัดด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ

| สิ่งทดลองที่ | อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | ร้อยละผลได้ (%) | |
|---|---|---|---|
| | | คอลลาเจนอบแห้ง | คอลลาเจนทอด |
| 1 | 55 | $1.06 \pm 0.04^{b}$ | $8.90 \pm 0.28^{b}$ |
| 2 | 95 | $2.89 \pm 0.08^{a}$ | $30.19 \pm 1.11^{a}$ |

a, b หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง*แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.2.4 ผลการวิเคราะห์การพองตัวของแผ่นคอลลาเจนหลังทอด

ผลการวิเคราะห์การพองตัวของแผ่นคอลลาเจนทอดที่มีการแปรการสกัดด้วยอุณหภูมิเป็น 2 อุณหภูมิ วิเคราะห์ค่าปริมาตรและปริมาตรจำเพาะซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการพองตัว ดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 ค่าปริมาตรและอัตราการะพองตัวของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ผ่านการสกัดด้วยอุณหภูมิต่างๆ

| สิ่งทดลองที่ | อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | ปริมาตร ($cm^3$) | อัตราการพองตัว (%) |
|---|---|---|---|
| 1 | 55 | $25.08 \pm 0.86^{a}$ | $520.53 \pm 28.70^{b}$ |
| 2 | 95 | $15.65 \pm 0.84^{b}$ | $851.60 \pm 36.20^{a}$ |

a, b หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง*แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A

B

55 องศาเซลเซียส

95 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4-2 ลักษณะของแผ่นเจลาติน (A) และแผ่นเจลาตินทอด (B) ที่ผ่านการสกัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 55 และ 95 องศาเซลเซียส

เมื่อได้คอลลาเจนทีผ่านการเตรียมขั้นต้นที่มีคุณภาพที่เหมาะสำหรับนำมาสกัดจากตอนที่ 1 แล้วจึงนำมาศึกษาวิธีการสกัดที่เหมาะสม โดยแปรระดับปัจจัยที่ศึกษา คือ สภาวะที่ใช้ในการสกัด แล้วนำสารละลายไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ให้ได้ปริมาณความชื้น ร้อยละ 6 จะได้เป็นเจลาตินแห้ง (ดัดแปลงจาก Sinthusamran, Benjakul & Kishimura, 2014) จากนั้นนำเจลาตินที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพต่างๆ ซึ่งได้แผ่นเจลาตินอบแห้งดังภาพที่ 4-2 A และเมื่อนำไปทอดจะได้แผ่นเจลาตินทอดที่มีลักษณะพองแตกต่างกันตามสภาวะที่ใช้ในการสกัด ดังภาพที่ 4.2 B

จากการวิเคราะห์คุณภาพของเจลาตินที่สกัดจากอุณหภูมิ 55 และ 95 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการสกัด 95 องศาเซลเซียส อัตราการพองที่มากที่สุดเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

**4.3 ผลการศึกษากรรมวิธีในการผลิตผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารทะเล โดยศึกษาผลของปริมาณความชื้นที่มีต่อคุณภาพของแผ่นเจลาตินทอด**

ปริมาณความชื้นของแผ่นเจลาตินอบแห้งมีผลต่อร้อยละผลได้ของแผ่นเจลาตินอบแห้ง ($p \leq 0.05$) แสดงดังตารางที่ 11 ทั้งนี้การที่มีปริมาณความชื้นสูงจะแสดงถึงการมีน้ำในอาหารมาก จึงทำให้ร้อยละผลได้ของเจลาตินมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย และพบว่าแผ่นเจลาตินอบแห้งที่มีปริมาณความชื้น 13% มีอัตราการพองตัวของแผ่นเจลลาตินทอดสูงสุด แต่เมื่อทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบวาแผ่นเจลาตินทอดของทั้ง 3 ความชื้น ได้รับคะแนนความชอบแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มว่าแผ่นเจลาตินอบแห้งที่มีปริมาณความชื้น 23% มีคะแนนความชอบโดยรวมของแผ่นเจลลาตินทอดสูงสุด

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลได้ของแผ่นคอลลาเจนทอด

จากศึกษาความเป็นไปได้ของปริมาณความชื้นต่อร้อยละผลได้ของแผ่นคอลลาเจนทอด โดยแปรปริมาณความชื้นของแผ่นเจลาตินอบแห้งเป็น 13% 18% และ 23% แสดงดังตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-11 ร้อยละผลได้ของแผ่นคอลลาเจนอบแห้งและแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ

| สิ่งทดลองที่ | ความชื้น (%) | ร้อยละผลได้ (%) | |
|---|---|---|---|
| | | คอลลาเจนอบแห้ง | คอลลาเจนทอด |
| 1 | 13 | $2.89 \pm 0.08^{c}$ | $30.19 \pm 1.11^{a}$ |
| 2 | 18 | $3.13 \pm 0.04^{b}$ | $20.09 \pm 0.66^{b}$ |
| 3 | 23 | $3.41 \pm 0.05^{a}$ | $13.14 \pm 1.28^{c}$ |

a, b, c หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง * แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดที่ได้

จากศึกษาความเป็นไปได้ของปริมาณความชื้นต่อคุณภาพของแผ่นคอลลาเจนทอด โดยแปรปริมาณความชื้นของแผ่นเจลาตินอบแห้งเป็น 13% 18% และ 23% แสดงดังตารางที่ 4-12

4.3.3 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของแผ่นคอลลาเจนอบแห้งและแผ่นคอลลาเจนทอด

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของแผ่นคอลลาเจนทอดที่มีการแปรปริมาณความชื้นของแผ่นเจลาตินอบแห้ง ซึ่งวิเคราะห์ค่าออกมาเป็นค่า L* a* b* และค่าความขาว แสดงดังตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-12 องค์ประกอบทางเคมีของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ปริมาณความชื้นต่าง ๆ

| สิ่งทดลองที่ | ความชื้น (%) | องค์ประกอบทางเคมี (%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า | คาร์โบไฮเดต |
| 1 | 13 | 0.05 ± 0.00$^{b}$ | 13.02 ± 0.37$^{b}$ | 77.61 ± 0.96$^{a}$ | 0.26 ± 0.02$^{b}$ | 9.05 ± 0.74$^{b}$ |
| 2 | 18 | 0.61 ± 0.04$^{b}$ | 13.72 ± 1.25$^{b}$ | 64.96 ± 1.83$^{b}$ | 0.24 ± 0.02$^{b}$ | 20.47 ± 1.45$^{a}$ |
| 3 | 23 | 2.64 ± 0.23$^{a}$ | 22.29 ± 0.94$^{a}$ | 55.20 ± 0.46$^{c}$ | 0.37 ± 0.03$^{a}$ | 19.50 ± 1.58$^{a}$ |

a, b, c หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง$^{*}$แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-13 ค่าสีของแผ่นคอลลาเจนอบทอดที่ปริมาณความชื้นต่าง ๆ

| สิ่งทดลองที่ | ความชื้น (%) | ค่าสี | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | L* | a* | b*$^{ns}$ | ค่าความขาว |
| 1 | 13 | 56.09 ± 1.35$^{a}$ | 1.40 ± 0.59$^{b}$ | 19.27 ± 1.82 | 51.99 ± 1.36$^{a}$ |
| 2 | 18 | 48.03 ± 0.86$^{b}$ | 1.51 ± 0.40$^{b}$ | 18.96 ± 1.17 | 44.65 ± 1.16$^{b}$ |
| 3 | 23 | 46.14 ± 2.22$^{b}$ | 2.81 ± 0.29$^{a}$ | 19.36 ± 1.36 | 42.67 ± 1.92$^{b}$ |

a, b หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง$^{*}$แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันในแนวตั้ง$^{*}$แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.3.4 ผลการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสของแผ่นคอลลาเจนทอด

ผลการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสของแผ่นคอลลาเจนทอดที่มีการแปรปริมาณความชื้นของแผ่นเจลาตินอบแห้ง ซึ่งวิเคราะห์ค่าความแข็ง แสดงดังตารางที่ 4-14

ตารางที่ 4-14 ค่าความแข็งของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ

| สิ่งทดลองที่ | ความชื้น (%) | ค่าความแข็ง (g force)$^{ns}$ |
|---|---|---|
| 1 | 13 | 262.94 ± 24.98 |
| 2 | 18 | 327.87 ± 54.24 |
| 3 | 23 | 351.21 ± 17.52 |

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันในแนวตั้ง$^{*}$แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

4.3.5 ผลการวิเคราะห์การพองตัวของแผ่นคอลลาเจนหลังทอด

ผลการวิเคราะห์การพองตัวของแผ่นคอลลาเจนทอดที่มีการแปรปริมาณความชื้นของแผ่นเจลาตินอบแห้ง วิเคราะห์ค่าปริมาตรและปริมาตรจำเพาะซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการพองตัว ดังตารางที่ 4-15

ตารางที่ 4-15 ค่าปริมาตรและอัตราการะพองตัวของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ

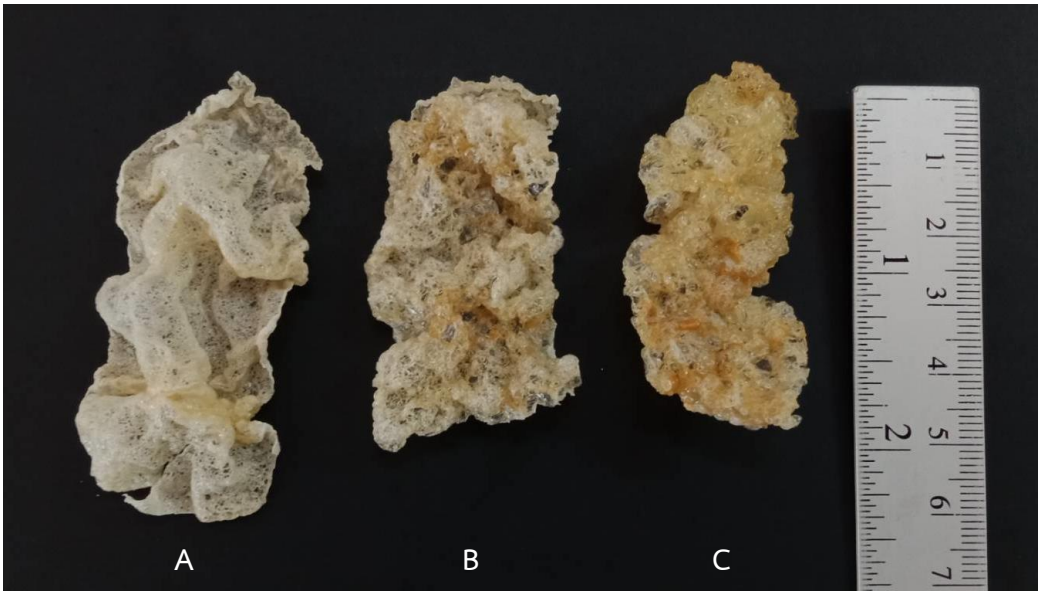
| สิ่งทดลองที่ | ความชื้น (%) | ปริมาตร ($cm^3$) | อัตราการพองตัว (%) |
|---|---|---|---|
| 1 | 13 | 15.65 ± 0.84$^{c}$ | 851.60 ± 36.20$^{a}$ |
| 2 | 18 | 30.88 ± 0.64$^{b}$ | 285.41 ± 5.33$^{b}$ |
| 3 | 23 | 40.17 ± 1.29$^{a}$ | 254.28 ± 8.41$^{b}$ |

a, b, c หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง$^{*}$แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

4.3.6 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคของแผ่นคอลลาเจนทอด

ผลการวิเคราะห์ค่าโครงสร้างทางจุลภาคของแผ่นคอลลาเจนทอดโดยเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลากับกระเพาะปลาทางการค้า ได้แก่กระเพาะปลาแท้กับกระเพาะปลาเทียม (ผลิตจากหนังสุกร) แสดงดังภาพที่ 4-4

ภาพที่ 4-3 ลักษณะของแผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้นแตกต่างกัน (A) แผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้น 13% (B) แผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้น 18% (C) แผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้น 23%




ภาพที่ 4-4 ลักษณะความเป็นรูพรุนของแผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้นแตกต่างกัน (A) แผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้น 13% (B) แผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้น 18% (C) แผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้น 23%

4.3.7 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแผ่นคอลลาเจนหลังทอด

ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแผ่นคอลลาเจนทอดที่มีการแปรปริมาณความชื้นของแผ่นเจลาตินอบแห้ง วิเคราะห์ค่าปริมาตรและปริมาตรจำเพาะซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการพองตัว ดังตารางที่ 4-16

ตารางที่ 4-16 ค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ

| สิ่งทดลองที่ | ความชื้น (%) | คุณภาพทางประสาทสัมผัส | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ลักษณะปรากฏ | สี | กลิ่น$^{ns}$ | รสชาติ$^{ns}$ | เนื้อสัมผัส$^{ns}$ | ความชอบโดยรวม$^{ns}$ |
| 1 | 13 | 4.70 ± 1.90$^{b}$ | 5.50 ± 1.55$^{b}$ | 6.03 ± 1.50 | 5.43 ± 1.63 | 4.90 ± 1.63 | 5.27 ± 1.34 |
| 2 | 18 | 5.27 ± 1.74$^{ab}$ | 6.13 ± 1.28$^{a}$ | 6.13 ± 1.57 | 5.30 ± 1.56 | 4.60 ± 1.94 | 5.20 ± 1.73 |
| 3 | 23 | 5.63 ± 1.79$^{a}$ | 6.47 ± 1.25$^{a}$ | 6.33 ± 1.45 | 5.23 ± 1.72 | 4.33 ±1.94 | 5.33 ± 1.67 |

a, b หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง$^{*}$แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันในแนวตั้ง$^{*}$แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4-17 ร้อยละผลได้และค่าความขาวของแผ่นเจลาตินอบแห้งและแผ่นเจลาตินทอดที่ผ่านการอบไล่ความชื้นจนมีปริมาณความชื้นในระดับต่างๆ

| ปริมาณความชื้น (%) | ร้อยละผลได้ (%) | | ค่าความขาว | |
|---|---|---|---|---|
| ของแผ่นเจลาตินอบแห้ง | เจลาตินอบแห้ง | เจลาตินทอด$^{ns}$ | เจลาตินอบแห้ง$^{ns}$ | เจลาตินทอด$^{ns}$ |
| 13 | 4.41$^{b}$ | 119.98 | 37.91 | 47.51 |
| 18 | 4.50$^{b}$ | 103.08 | 35.27 | 47.76 |
| 23 | 4.74$^{a}$ | 126.75 | 33.10 | 45.13 |

$^{a,b,}$ คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

$^{ns}$ คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-18 ค่าความแข็ง ค่าความกรอบ ปริมาตร อัตราการพองตัว และการดูดซับน้ำมันของแผ่นเจลาตินทอดที่ผ่านการอบไล่ความชื้นจนมีปริมาณความชื้นในระดับต่างๆ

| ปริมาณความชื้น (%) ของแผ่นเจลาตินอบแห้ง | ความแข็ง$^{ns}$ (kg force) | ความกรอบ$^{ns}$ (kg.sec) | ปริมาตร$^{ns}$ ($cm^3$) | อัตราการพองตัว $^{ns}$ (%) | การดูดซับน้ำมัน$^{ns}$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 13 | 0.11 | 1.39 | 16.60 | 84.05 | 629.4927 |
| 18 | 0.10 | 1.34 | 19.69 | 98.00 | 514.7015 |
| 23 | 0.09 | 1.35 | 22.08 | 147.51 | 361.7413 |

$^{ns}$ คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ภาพที่ 4-5 ลักษณะความเป็นรูพรุนของแผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้นแตกต่างกัน (A) แผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้น 13% (B) แผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้น 18% (C) แผ่นเจลาตินที่มีปริมาณความชื้น 23%

จากการวิเคราะห์คุณภาพของเจลาตินที่ปริมาณความชื้นในระดับต่าง ๆ ได้แก่ 13 18 และ23% พบว่าเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ร้อยละผลได้ของเจลาตินอบแห้ง ค่าความกรอบ ปริมาตร และอัตราการพองตัวของเจลาตินมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น แต่ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความแข็งและการดูดซับน้ำมันของแผ่นเจลาตินทอดมีแนวโน้มลดลง

**4.4 ผลการศึกษาคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาเปรียบเทียบกับกระเพาะปลาทางการค้า**

ปริมาณความชื้นของแผ่นเจลาตินอบแห้งมีผลต่อความชอบโดยรวมของแผ่นเจลาตินอบแห้ง โดยมีปริมาณความชื้น 23% มีค่าความชอบโดยรวมมากที่สุด จึงนำมาเป็นผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาเพื่อเปรียบเทียบกับกระเพาะปลาทางการค้า ได้แก่กระเพาะปลาแท้กับกระเพาะปลาเทียม (ผลิตจากหนังสุกร)

4.4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดที่ได้

จากศึกษาคุณภาพของแผ่นคอลลาเจนทอดหรือผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลา โดยเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาที่มีปริมาณความชื้น 23% กับกระเพาะปลาทางการค้า ได้แก่กระเพาะปลาแท้กับกระเพาะปลาเทียม (ผลิตจากหนังสุกร) แสดงดังตารางที่ 4-19

4.4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของแผ่นคอลลาเจนอบแห้งและแผ่นคอลลาเจนทอด

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของแผ่นคอลลาเจนทอดที่มีการแปรปริมาณความชื้นของแผ่นเจลาตินอบแห้ง ซึ่งวิเคราะห์ค่าออกมาเป็นค่า L* a* b* และค่าความขาว แสดงดังตารางที่ 4-20

ตารางที่ 4-19 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาเปรียบเทียบกับกระเพาะปลาทางการค้า (กระเพาะปลาและหนังสุกร)

| สิ่งทดลองที่ | ตัวอย่าง | องค์ประกอบทางเคมี (%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า | คาร์โบไฮเดต |
| 1 | ผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลา | 2.64 ± 0.23$^{c}$ | 22.29 ± 0.94$^{c}$ | 56.07 ± 0.63$^{a}$ | 0.36 ± 0.03$^{a}$ | 18.64 ± 1.00$^{a}$ |
| 2 | กระเพาะปลาแท้ | 3.71 ± 0.33$^{b}$ | 33.29 ± 0.73$^{b}$ | 47.70 ± 0.09$^{b}$ | 0.08 ± 0.00$^{c}$ | 15.22 ± 0.73$^{b}$ |
| 3 | หนังสุกร | 10.89 ± 0.41$^{a}$ | 65.22 ± 0.06$^{a}$ | 23.58 ± 0.36$^{c}$ | 0.13 ± 0.01$^{b}$ | 0.18 ± 0.01$^{c}$ |

a, b, c หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง*แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-20 ค่าสีของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาเปรียบเทียบกับกระเพาะปลาทางการค้า (กระเพาะปลาและหนังสุกร)

| สิ่งทดลองที่ | ตัวอย่าง | ค่าสี | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | L* | a* | b* | ค่าความขาว |
| 1 | ผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลา | 46.14 ± 2.22$^{b}$ | 2.81 ± 0.29$^{b}$ | 19.36 ± 1.36$^{b}$ | 42.67 ± 1.92$^{b}$ |
| 2 | กระเพาะปลาแท้ | 55.95 ± 3.17$^{a}$ | 4.78 ± 0.89$^{a}$ | 31.32 ± 3.51$^{a}$ | 45.55 ± 1.41$^{b}$ |
| 3 | หนังสุกร | 59.30 ± 3.28$^{a}$ | -1.06 ± 0.21$^{c}$ | 19.71 ± 2.12$^{b}$ | 54.66 ± 2.19$^{a}$ |

a, b, หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง*แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสของแผ่นคอลลาเจนทอด

ผลการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสของแผ่นคอลลาเจนทอดโดยค่าความแข็งเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลากับกระเพาะปลาทางการค้า ได้แก่กระเพาะปลาแท้กับกระเพาะปลาเทียม (ผลิตจากหนังสุกร) แสดงดังตารางที่ 4-21

ตารางที่ 4-21 ค่าความแข็งกระเพาะปลาที่มีความชื้น 23% เปรียบเทียบกับกระเพาะปลาทางการค้า (กระเพาะปลาและหนังสุกร)

| สิ่งทดลองที่ | ตัวอย่าง | ค่าความแข็ง (g force) |
|---|---|---|
| 1 | ผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลา | $351.21 \pm 17.52^{c}$ |
| 2 | กระเพาะปลาแท้ | $2,489.66 \pm 251.75^{b}$ |
| 3 | หนังสุกร | $16,666.95 \pm 478.30^{a}$ |

a, b, c หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง * แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.4.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคของแผ่นคอลลาเจนทอด

ผลการวิเคราะห์ค่าโครงสร้างทางจุลภาคของแผ่นคอลลาเจนทอดโดยเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลากับกระเพาะปลาทางการค้า ได้แก่กระเพาะปลาแท้กับกระเพาะปลาเทียม (ผลิตจากหนังสุกร) แสดงดังภาพที่ 4-6

A B C

ภาพที่ 4-6 ลักษณะของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลา (A) กับกระเพาะปลาทางการค้า ได้แก่ กระเพาะปลาแท้ (B) กับกระเพาะปลาเทียม (ผลิตจากหนังสุกร) (C)

4.3.5 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแผ่นคอลลาเจนหลังทอด

ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแผ่นคอลลาเจนทอดโดยเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลากับกระเพาะปลาทางการค้า ได้แก่กระเพาะปลาแท้กับกระเพาะปลาเทียม (ผลิตจากหนังสุกร) แสดงดังตารางที่ 4-22

ตารางที่ 4-22 ค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสกระเพาะปลาที่มีความชื้น 23% เปรียบเทียบกับกระเพาะปลาทางการค้า (กระเพาะปลาและหนังสุกร)

| สิ่งทดลองที่ | ตัวอย่าง | คุณภาพทางประสาทสัมผัส | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ลักษณะปรากฏ | สี | กลิ่น$^{ns}$ | รสชาติ | เนื้อสัมผัส | ความชอบโดยรวม |
| 1 | ผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลา | 5.63 ± 1.79$^{b}$ | 6.47 ± 1.25$^{b}$ | 6.33 ± 1.45 | 5.23 ± 1.72$^{b}$ | 4.33 ± 1.94$^{b}$ | 5.33 ± 1.67$^{b}$ |
| 2 | กระเพาะปลาแท้ | 7.43 ± 1.10$^{a}$ | 7.20 ± 1.10$^{a}$ | 6.97 ± 1.27 | 7.30 ± 1.43$^{a}$ | 7.83 ± 1.02$^{a}$ | 7.77 ± 0.94$^{a}$ |
| 3 | หนังสุกร | 7.13 ± 1.11$^{a}$ | 7.27 ± 1.11$^{a}$ | 6.47 ± 1.74 | 6.57 ± 1.72$^{a}$ | 7.23 ± 1.30$^{a}$ | 7.27 ± 1.14$^{a}$ |

a, b หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง$^{*}$แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันในแนวตั้ง$^{*}$แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

# บทที่ 5
# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการทดลอง

1. การศึกษาวิธีการเตรียมขั้นต้นคอลลาเจนจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารทะเล โดยศึกษาผลของชนิดของสารละลายในการเตรียมคอลลาเจนที่มีผลต่อคุณภาพของเจลาตินจากผลพลอยได้ในอุตสาหกรรมซูริมิ โดยแปรชนิดของสารละลายเป็น ไม่แช่สารละลาย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M สารละลายกรดอะซิติก 0.05 M และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M ร่วมกับกรดอะซิติก 0.05 M พบว่าชนิดของสารละลายมีผลต่อร้อยละผลได้และค่าความขาวของแผ่นเจลาตินอบแห้ง และมีผลต่อความกรอบ ปริมาตรการพองตัว อัตราการพองตัวและการดูดซับน้ำมันของแผ่นเจลาตินทอด ($p \leq 0.05$) โดย ร้อยละผลได้ของแผ่นเจลาตินอบแห้งที่มีค่ามากที่สุดคือเจลาตินที่ไม่ผ่านการแช่สารละลาย ค่าความขาวของแผ่นเจลาตินอบแห้งที่มีค่ามากที่สุดคือเจลาตินที่ผ่านการแช่สารละลายกรดอะซิติก 0.05 M ค่าความกรอบของเจลาตินทอดที่มีค่าสูงสุดคือแผ่นเจลาตินที่ผ่านการแช่สารละลายกรดอะซิติกและแผ่นเจลาตินที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M ร่วมกับกรดอะซิติก 0.05 M ปริมาตรที่มีค่าสูงที่สุดคือแผ่นเจลาตินที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับกรดอะซิติก และค่าการดูดซับน้ำมันที่มีค่ามากที่สุดคือแผ่นเจลาตินที่ผ่านการแช่สารละลายกรดอะซิติก 0.05 M และความเป็นรูพรุนของแผ่นเจลาตินทอด พบว่าแผ่นเจลาตินที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายมีลักษณะรูพรุนที่ใหญ่กว่าแผ่นเจลาตินชนิดอื่น แต่ชนิดของสารละลายไม่มีผลต่อร้อยละผลได้ ค่าความขาว ความแข็ง อัตราการพองตัวของแผ่นเจลาตินทอด ($p > 0.05$)

2. การศึกษาวิธีการสกัดเจลาตินจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารทะเล โดยศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดเจลาติน โดยการแปรอุณหภูมิในการสกัดเป็น 55 และ 95 องศาเซลเซียส พบว่าการสกัดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส มีร้อยละผลได้ของคอลลาเจนอบแห้งและภายหลังการทอด รวมทั้งมีอัตราการพองตัวสูงกว่าการสกัดที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

3. การศึกษากรรมวิธีในการผลิตผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารทะเล โดยศึกษาผลของปริมาณความชื้นที่มีต่อคุณภาพของแผ่นเจลาตินทอด โดยการแปรปริมาณความชื้นของแผ่นเจลาตินอบแห้งเป็น 13 18 และ 23% พบว่าแผ่นเจลาตินอบแห้งที่มีปริมาณความชื้น 13% มีอัตราการพองตัวของแผ่นเจลลาตินทอดสูงสุด และมีแนวโน้มว่าแผ่นเจลาตินอบแห้งที่มีปริมาณความชื้น 23% มีคะแนนความชอบโดยรวมของแผ่นเจลลาตินทอดสูงสุด

4. การศึกษาคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาเปรียบเทียบกับกระเพาะปลาทางการค้า พบว่าผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลามีปริมาณความชื้น โปรตีน และค่าความแข็งต่ำกว่า แต่มีประมาณไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตสูงกว่ากระเพาะปลาแท้และกระเพาะปลา

เทียม และเมื่อทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่าผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลาได้รับคะแนนความชอบโดยรวม 5.33 คะแนนอยู่ในเกณฑ์เฉยๆ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาความหนืดของเจลาตินที่สกัดได้เพิ่มเพื่อให้ได้ความหนืดที่เหมาะสมในการขึ้นรูปของแผ่นเจลาติน

2. ควรมีการศึกษาความหนาของแผ่นเจลาตินอบแห้งและการทำให้พองตัววิธีอื่นๆ เพื่อให้ได้คุณสมบัติเหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีลักษณะคล้ายผลิตภัณฑ์กระเพาะปลาได้

3. ควรมีการศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลา เช่น เพิ่มความคงตัวเนื่องจากพบว่าผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลามีความคงตัวต่ำในสารละลาย

4. ควรมีการศึกษาผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ที่ทำจากคอลลาเจนหรือเจลลาติน เช่น หูฉลามเทียมเพื่อทดแทนการบริโภคหูฉลาม

5. สร้างนวัตกรรมสำหรับผลิตภัณฑ์จากคอลลาเจนเพื่อเพิ่มมูลค่าให้ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอาหารเพื่อรักษาสิ่งแวดล้อม

## ผลผลิต

1. ตีพิมพ์ผลงานในวารสารวิชาการในระดับชาติ

2. นำผลงานวิจัยที่ได้ไปใช้เป็นกรณีศึกษาสำหรับนิสิต โดยใช้ประกอบการเรียนการสอนนิสิตนักศึกษาที่กำลังศึกษาด้านวิทยาศาสตร์การอาหาร ของมหาวิทยาลัยบูรพาและประชาชนทั่วไปที่เข้ารับการอบรมสัมมนาเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ สัตว์ปีกและสัตว์ทะเล

# รายการอ้างอิง


กรมประมง. (2543). *การแปรรูปสัตว์น้ำ*. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กระทรวจพาณิชย์. (2559). อาหารทะเลสด แช่เย็น แช่แข็งและแปรรูป.วันที่สืบค้นข้อมูล 26 มกราคม 2560, เข้าถึงได้จาก http://www.moc.go.th.

คณาจารย์ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง. (2558). *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จันทร์จิรา ตั้งสันทิศน์กุล. (2554). การศึกษาปัจจัยและสภาวะการผลิตเพื่อพัฒนาระบบการทอดแบบพ่นฝอย (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศิลปากร, หน้า 4-41.

ฉลองขวัญ พิพัฒน์เจริญวงศ์, วรรวิบูลย์ กาญจนกุญชร และวรรณี จิรภาคย์กุล. (ม.ป.ป.). การสกัดคอลลาเจนจากเกล็ดปลาทรายแดง (Lutjanus argentimaculatus). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 2-3.

ณรงค์ นิยมวิทย์. (2538). *องค์ประกอบและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของอาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: บริษัทฟอร์แมทพริ้นติ้ง จำกัด.

ธนวันต์ คงแก้ว. สมบัติของโปรตีน. วันที่สืบค้นข้มูล 22 เมษายน 2560, เข้าถึงได้จาก http://www.student.chula.ac.th/~56370431/protein.html

ธิราพร จุลยุเสน. (2559). การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส. วันที่สืบค้นข้อมูล 23 เมษายน 2560, เข้าถึงได้จาก http://eng.sut.ac.th

นิธิยา รัตนาปนนท์ และ พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. ปลาทรายแดง. วันที่ค้นข้อมูล 20 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1931/

นิธิยา รัตนาปนนท์ และ พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. การทอด. วันที่ค้นข้อมูล 22 เมษายน 2560, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0347/frying

บุญยัง ชุมศรี. (2542). อาหารพื้นบ้านล้านนา. วันที่สืบค้นข้อมูล 20 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://library.cmu.ac.th

บุษบา มะโนแสน, จิรรัตน์ กันทะขู้, จริยา มามาตร และพรพรรณ ธิตา. (ม.ป.ป.). ผลของไมโครเวฟต่อการพองตัวของผลิตภัณฑ์ข้าวแคบกึ่งสำเจรูป. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยราชมงคลล้านนาน่าน, หน้า 2-3.

พันธิพา จันทวัฒน์, ณรงค์ นิยมวิทย์ และธเนศ แก้วกำเนิด. (2532). การลดความชื้นเพื่อป้องกันการติดกันของหนังสุกรระหว่างการทอด. หน้า 75-78.

มนตรี จุฬาวัฒนทล. (2530). *ชีวเคมี*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล. อ้างถึงใน วรรณวิมล คล้ายประดิษฐ์. (2540). *การผลิตเจลาตินจากหนังปลากะพงแดง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาผลิตภัณฑ์ประมง, คณะผลิตภัณฑ์ประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มัทนา แสงจินดาวงษ์, วันชัย วรวัฒนเมธีกุล และวรรณวิมล คล้ายประดิษฐ์. (2558). การผลิตเจลาตินตากเศษเหลือของกระบวนการผลิตซูริมิ. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มัทนา แสงจินดาวงษ์. (2548). *ผลิตภัณฑ์ประมงของไทย* (พิมพ์ครั้งที่) 2. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มะลิวัลย์ ดุตะโค, ทนงศักดิ์ โตเจริญ, มลฤดี สนธิ, รชนิมุข หิรัญสัจจาเลิศ และจันทร์จรัส วัฒนะโชติ. (2558). ปริมาณผลผลิตและแปรรูปโปรตีนคอลลาเจนจากเกล็ดปลากระบอกดำ (Liza subviridis) ที่สกัดด้วยเปปซินความเข้มข้นที่แตกต่างกัน. แก่นเกษตร, หน้า 563-564.

มัทนา แสงจินดาวงษ์, วันชัย วรวัฒนเมธีกุล, พงษ์เทพ วิไลพันธ์, จุฑา มุกดาสนิท และวรรณวิมล คล้ายประดิษฐ์. (2552). การใช้ประโยชน์จากเศษเหลือของปลาซึ่งใช้ในการผลิตซูริมิ. วันที่ค้นข้อมูล 20 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.rdi.ku.ac.th/kasetresearch52/06 technology

เยาวลักษณ์ สุรพันธพิสิษฐ์. (2536). *เทคโนโลยีเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์สหมิตรออฟเซต.

วรรณวิมล คล้ายประดิษฐ์. (2540). *การผลิตเจลาตินจากหนังปลากะพงแดง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาผลิตภัณฑ์ประมง, คณะผลิตภัณฑ์ประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิภาดา มุนินทร์นพมาศ และภารดี พละไชย. (2558). การพัฒนาผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบปลารสกระเทียมพริกไทยดำ. มหาวิยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 7(1) ,หน้า 15-19.

วลัย หุตะโกวิท, บุษบา สร้อยระย้า, ชมภูนุช เผื่อนพิภพ และดวงกลม ตั้งสถิตพร. (2558). การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูปจากแป้งกล้วยด้วยเทคโนโลยีเอกซ์ทรูชัน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระนครเหนือ, หน้า 17-27.

สิริมา ชินสาร. (2559). เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชา 311476 เทคโนโลยีไขมันและน้ำมันบริโภค. มหาวิทยาลัยบูรพา, หน้า1-8.

สิรินทร์ จิโมกสินตว์. (2523). *ชีวเคมี*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล. อ้างถึงใน วรรณวิมล คล้ายประดิษฐ์. (2540). *การผลิตเจลาตินจากหนังปลากะพงแดง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาผลิตภัณฑ์ประมง, คณะผลิตภัณฑ์ประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สินีนาถ สุขไกว. (2555). การผลิตเจลาตินไฮโดรไลเลสจากหนังปลาสำหรับการพัฒนาเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, หน้า 32-35.

สุภานุกุล ไชยประ. *การแปลงสภาพโปรตีน*. วันที่ค้นข้อมูล 22 เมษายน 2560, เข้าถึงได้จาก https://sites.google.com/site/biomolecules797/kar-paelng-sphaph-portin

สาโรจน์ รอดคืน. (2557). การสกัดและแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์. วันที่ค้นข้อมูล 12 มกราคม 2560, เข้าถึงได้จาก http://www.mfu.ac.th

สำนักงานเลขานุการ คณะอนุกรรมการจัดการความรู้เพื่อผลประโยชน์แห่งชาติทางทะเล. (2554). ฐานข้อมูลความรู้ทางทะเล. วันที่สืบค้นข้อมูล 24 มกราคม 2560, เข้าถึงได้จาก http://www.mkh.in.th/

อรวรรณ ติวเถาว์. (2557). การศึกษาการพองตัวในหนังปลาแซลมอนกรอบโดยใช้เตาอบไมโครเวฟ

และการทอด (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, หน้า 100-105.

Arnesen, J. A., & Gildberg, A. (2006). Extraction of muscle proteins and gelatin from cod head. *Process Biochemistry*. 41: 697-700

Brody, J. (1965). Fishery by Product Technology. Westport: The Avi- Publishing Company.

Creighton, T.E. (1993). *Protein: Structures an Molecular Properties*. New York: Freeman, H. M. and Company.

Glicksman, M. (1982). *Food Hydrocolloids*. Florida: Vol.I.CRC Press.

GMIA. (1986). *Standard methods for the sampling and testing of gelatins*. New York: Gelatin Manufacturers Institute of America.

Harris, P. (1990). *Food Gel*: Gelatin. London: Elsevier Applied Science, 66, 213-6.

Harris, P. (1990). *Food Gel*: Gelatin. London: Elsevier Applied Science, 66, 213-6.

Hinterwaldner, P. I. (1977). *Photographic gelain II*. London: Academic Press.

Jongjareonrak, A., Benjakul, S., Visessanguan, W., & Tanaka, M. (2006). Skin gelatin from bigeye snapper and brownstripe red snapper: Chemical compositions and effect of microbial transglutaminase on gel properties. Food Hydrocolloids, 20(8), 1216–1222.

Karim, A. A., & Bhat, R. (2009). Fish gelatin: properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins. Food Hydrocolloids, 23: 563-576.

Kelleher, K. (2005). *Discards in the world's marine fisheries*. An update. FAO Fisheries Technical Paper N 470. Rome.

Krokida, M.K., Oreopoulou, V. and Maroulis, Z.B. 2000b. Effect of frying conditions on shrinkage and porosity of fried potatoes. Journal of Food Engineering. 43: 147-154. อ้างถึงใน จันทร์จิรา ตั้งสันทิศน์กุล. (2554). *การศึกษาปัจจัยและสภาวะการผลิตเพื่อพัฒนาระบบการทอดแบบพ่นฝอย* (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศิลปากร, หน้า 4-41.

Loeven, G. I. (1954). *Photographic gelain II*. London: Academic Press.

Mann, I. (1962). *Animal by-Products: Processig and Utilization*. Food and Agriculture Oganization of the United Nations.

Marh, E.M., & Steward, G. F. (1957). *Advanced in Food Research Volumn VII*. Pubblisher: Academic Press INC.

Moulton, C. R. (1948). *Meat Through The Microscope*. Chicago: Institute f Met Packing The University of Chicago. อ้างถึงใน วรรณวิมล คล้ายประดิษฐ์. (2540). *การผลิตเจลาตินจากหนังปลากะพงแดง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาผลิตภัณฑ์ประมง, คณะผลิตภัณฑ์ประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Ockerman, H.W. (1988). *Animal By-Product Processing*. Ellis Horwood Inernational Publishers in Science and Technology.

Saguy, I. S. and Dana, D. (2003). Integrated approach to deep fat frying: engineering nutririon, health and consumer aspects. Journal of Food Engineering. 56: 143-152.

Stryer, L. (1975). *Biochemistry*. Sanfrancisco: Freeman, H.M. and Company.

Sinthusamran, S., Benjakul, S., & Kishimura, H. (2014). Characteristics and gel properties of gelatin from skin of seabass (Lates calcarifer) as influenced by extraction conditions. *Food Chemistry*, 152, 276–284.

Tacon, A. G. J., & M. Metian. (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and fure prospects. *Aquaculture*. 285: 146-158.

Ward, A. G., & Courts, A. (1977). The Science and Technology of Geatin. Academic Press, London. 564.

# ภาคผนวก ก
## ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางภาคผนวก ก-1 ผลการวิเคราะห์ความชื้นของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ผ่านการสกัดด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 1 | 1.87890 | 1.87890 | 1924.00 | 0.000[sig] |
| Error | 4 | 0.00391 | 0.00098 | | |
| Total | 5 | 1.88280 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ก-2 ผลการวิเคราะห์โปรตีนของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ผ่านการสกัดด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 1 | 0.2014 | 0.20141 | 2.10 | 0.221[ns] |
| Error | 4 | 0.3840 | 0.09599 | | |
| Total | 5 | 0.5854 | | | |

ns หมายถึง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางภาคผนวก ก-3 ผลการวิเคราะห์ไขมันของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ผ่านการสกัดด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 1 | 74.703 | 74.7034 | 163.79 | 0.000[sig] |
| Error | 4 | 1.824 | 0.4561 | | |
| Total | 5 | 76.528 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ก-4 ผลการวิเคราะห์เถ้าของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ผ่านการสกัดด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 1 | 0.088057 | 0.088057 | 240.61 | 0.000[sig] |
| Error | 4 | 0.001464 | 0.000366 | | |
| Total | 5 | 0.089521 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ก-5 ผลการวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรตของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ผ่านการสกัดด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 1 | 97.2550 | 97.2550 | 448.79 | 0.000[sig] |
| Error | 4 | 0.8668 | 0.2167 | | |
| Total | 5 | 98.1219 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ก-6 ผลการวิเคราะห์ค่าสี $L^*$ ของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ผ่านการสกัดด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 1 | 13.148 | 13.148 | 6.46 | 0.064[ns] |
| Error | 4 | 8.143 | 2.036 | | |
| Total | 5 | 21.291 | | | |

ns หมายถึง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางภาคผนวก ก-7 ผลการวิเคราะห์ค่าสี $a^*$ ของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ผ่านการสกัดด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 1 | 16.276 | 16.2757 | 33.00 | 0.005[sig] |
| Error | 4 | 1.973 | 0.4932 | | |
| Total | 5 | 18.248 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ก-8 ผลการวิเคราะห์ค่าสี $b^*$ ของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ผ่านการสกัดด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 1 | 104.95 | 104.951 | 30.82 | 0.005 |
| Error | 4 | 13.62 | 3.406 | | |
| Total | 5 | 118.57 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ก-9 ผลการวิเคราะห์ค่าความขาวของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ผ่านการสกัดด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 1 | 65.985 | 65.985 | 33.79 | 0.004[sig] |
| Error | 4 | 7.811 | 1.953 | | |
| Total | 5 | 73.796 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ก-10 ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลได้ของแผ่นคอลลาเจนอบที่ผ่านการสกัดด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 1 | 8.30620 | 8.30620 | 2090.17 | 0.000[sig] |
| Error | 8 | 0.03179 | 0.00397 | | |
| Total | 9 | 8.33799 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-11 ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลได้ของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ผ่านการสกัดด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 1 | 1133.71 | 1133.71 | 1720.13 | 0.000[sig] |
| Error | 8 | 5.27 | 0.66 | | |
| Total | 9 | 1138.98 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-12 ผลการวิเคราะห์ปริมาตรตัวอย่างของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ผ่านการสกัดด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 1 | 133.318 | 133.318 | 184.98 | 0.000[sig] |
| Error | 4 | 2.883 | 0.721 | | |
| Total | 5 | 136.201 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-13 ผลการวิเคราะห์อัตราการพองตัวของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ผ่านการสกัดด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 1 | 164414 | 164414 | 154.12 | 0.000[sig] |
| Error | 4 | 4267 | 1067 | | |
| Total | 5 | 168681 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-14 ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลได้ของแผ่นคอลลาเจนอบที่ความชื้นต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 0.68020 | 0.340102 | 103.65 | 0.000[sig] |
| Error | 12 | 0.03937 | 0.003281 | | |
| Total | 14 | 0.71958 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-15 ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลได้ของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 734.92 | 367.458 | 331.93 | 0.000[sig] |
| Error | 12 | 13.28 | 1.107 | | |
| Total | 14 | 748.20 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-16 ผลการวิเคราะห์ความชื้นของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 11.1008 | 5.55040 | 305.84 | 0.000[sig] |
| Error | 6 | 0.1089 | 0.01815 | | |
| Total | 8 | 11.2097 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-17 ผลการวิเคราะห์โปรตีนของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 159.815 | 79.9074 | 92.99 | 0.000[sig] |
| Error | 6 | 5.156 | 0.8593 | | |
| Total | 8 | 164.971 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-18 ผลการวิเคราะห์ไขมันของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 757.296 | 378.648 | 253.53 | 0.000[sig] |
| Error | 6 | 8.961 | 1.494 | | |
| Total | 8 | 766.257 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-19 ผลการวิเคราะห์เถ้าของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 0.027714 | 0.013857 | 23.22 | 0.001[sig] |
| Error | 6 | 0.003581 | 0.000597 | | |
| Total | 8 | 0.031295 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-20 ผลการวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรตของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 240.69 | 120.345 | 70.13 | 0.000[sig] |
| Error | 6 | 10.30 | 1.716 | | |
| Total | 8 | 250.99 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-21 ผลการวิเคราะห์ค่าสี $L^*$ ของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 167.63 | 83.813 | 27.61 | 0.001[sig] |
| Error | 6 | 18.22 | 3.036 | | |
| Total | 8 | 185.84 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ก-22 ผลการวิเคราะห์ค่าสี $a^*$ ของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 3.691 | 1.8454 | 7.20 | 0.025[sig] |
| Error | 6 | 1.539 | 0.2564 | | |
| Total | 8 | 5.229 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ก-23 ผลการวิเคราะห์ค่าสี $b^*$ ของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 0.2578 | 0.1289 | 0.04 | 0.958[ns] |
| Error | 6 | 17.8217 | 2.9703 | | |
| Total | 8 | 18.0795 | | | |

ns หมายถึง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางภาคผนวก ก-24 ผลการวิเคราะห์ค่าความขาวของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 144.72 | 72.360 | 25.39 | 0.001[sig] |
| Error | 6 | 17.10 | 2.850 | | |
| Total | 8 | 161.82 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ก-25 ผลการวิเคราะห์ความแข็งของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 12552 | 6276 | 4.86 | 0.056$^{ns}$ |
| Error | 6 | 7746 | 1291 | | |
| Total | 8 | 20298 | | | |

ns หมายถึง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางภาคผนวก ก-26 ผลการวิเคราะห์ปริมาตรตัวอย่างของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 919.530 | 459.765 | 497.19 | 0.000$^{sig}$ |
| Error | 6 | 5.548 | 0.925 | | |
| Total | 8 | 925.078 | | | |

$^{Sig}$ หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-27 ผลการวิเคราะห์อัตราการพองของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 678342 | 339171 | 721.95 | 0.000$^{sig}$ |
| Error | 6 | 2819 | 470 | | |
| Total | 8 | 681160 | | | |

$^{Sig}$ หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-28 ผลการวิเคราะห์ลักษณะปรากฏของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 13.27 | 6.633 | 5.01 | 0.010$^{sig}$ |
| block | 29 | 208.40 | 7.186 | 5.43 | 0.000 |
| Error | 58 | 76.73 | 1.323 | | |
| Total | 89 | 298.40 | | | |

$^{Sig}$ หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-29 ผลการวิเคราะห์สีของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 14.47 | 7.2333 | 8.59 | 0.001[sig] |
| block | 29 | 113.57 | 3.9161 | 4.65 | 0.000 |
| Error | 58 | 48.87 | 0.8425 | | |
| Total | 89 | 176.90 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-30 ผลการวิเคราะห์กลิ่นของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 1.400 | 0.7000 | 0.95 | 0.392[ns] |
| block | 29 | 154.500 | 5.3276 | 7.25 | 0.000 |
| Error | 58 | 42.600 | 0.7345 | | |
| Total | 89 | 198.500 | | | |

ns หมายถึง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางภาคผนวก ก-31 ผลการวิเคราะห์รสชาติของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 0.622 | 0.3111 | 0.33 | 0.723[ns] |
| block | 29 | 177.656 | 6.1261 | 6.42 | 0.000 |
| Error | 58 | 55.378 | 0.9548 | | |
| Total | 89 | 233.656 | | | |

ns หมายถึง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางภาคผนวก ก-32 ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 4.822 | 2.411 | 1.98 | 0.147$^{ns}$ |
| block | 29 | 224.056 | 7.726 | 6.36 | 0.000 |
| Error | 58 | 70.511 | 1.216 | | |
| Total | 89 | 299.389 | | | |

ns หมายถึง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางภาคผนวก ก-33 ผลการวิเคราะห์ความชอบโดยรวมของแผ่นคอลลาเจนทอดที่ความชื้นต่าง ๆ

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 0.267 | 0.1333 | 0.17 | 0.847$^{ns}$ |
| block | 29 | 172.933 | 5.9632 | 7.45 | 0.000 |
| Error | 58 | 46.400 | 0.8000 | | |
| Total | 89 | 219.600 | | | |

ns หมายถึง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางภาคผนวก ก-34 ผลการวิเคราะห์ความชื้นของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลากับกระเพาะปลาทางการค้า

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 120.817 | 60.4087 | 550.44 | 0.000$^{sig}$ |
| Error | 6 | 0.658 | 0.1097 | | |
| Total | 8 | 121.476 | | | |

$^{Sig}$ หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-35 ผลการวิเคราะห์โปรตีนของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลากับกระเพาะปลาทางการค้า

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 2982.79 | 1491.39 | 3163.62 | 0.000[sig] |
| Error | 6 | 2.83 | 0.47 | | |
| Total | 8 | 2985.62 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-36 ผลการวิเคราะห์ไขมันของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลากับกระเพาะปลาทางการค้า

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 1707.43 | 853.714 | 4772.22 | 0.000[sig] |
| Error | 6 | 1.07 | 0.179 | | |
| Total | 8 | 1708.50 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-37 ผลการวิเคราะห์เถ้าของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลากับกระเพาะปลาทางการค้า

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 0.133099 | 0.066550 | 198.82 | 0.000[sig] |
| Error | 6 | 0.002008 | 0.000335 | | |
| Total | 8 | 0.135108 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-38 ผลการวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรตของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลากับกระเพาะปลาทางการค้า

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 578.666 | 289.333 | 565.99 | 0.000[sig] |
| Error | 6 | 3.067 | 0.511 | | |
| Total | 8 | 581.733 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ก-39 ผลการวิเคราะห์ค่าสี $L^*$ ของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลากับกระเพาะปลาทางการค้า

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 280.88 | 140.438 | 15.62 | 0.004[sig] |
| Error | 6 | 53.95 | 8.992 | | |
| Total | 8 | 334.83 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ก-40 ผลการวิเคราะห์ค่าสี $a^*$ ของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลากับกระเพาะปลาทางการค้า

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 52.815 | 26.4077 | 70.17 | 0.000[sig] |
| Error | 6 | 2.258 | 0.3764 | | |
| Total | 8 | 55.074 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ก-41 ผลการวิเคราะห์ค่าสี b* ของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลากับกระเพาะปลาทางการค้า

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 278.15 | 139.075 | 19.34 | 0.002[sig] |
| Error | 6 | 43.15 | 7.192 | | |
| Total | 8 | 321.30 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-42 ผลการวิเคราะห์ค่าความขาวของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลากับกระเพาะปลาทางการค้า

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 235.02 | 117.508 | 32.12 | 0.001[sig] |
| Error | 6 | 21.95 | 3.659 | | |
| Total | 8 | 256.97 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-43 ผลการวิเคราะห์ความแข็งของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลากับกระเพาะปลาทางการค้า

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 471771695 | 235885847 | 2419.70 | 0.000[sig] |
| Error | 6 | 584913 | 97485 | | |
| Total | 8 | 472356608 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-44 ผลการวิเคราะห์ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลากับกระเพาะปลาทางการค้า

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 55.80 | 27.900 | 16.94 | 0.000[sig] |
| block | 29 | 68.27 | 2.354 | 1.43 | 0.123 |
| Error | 58 | 95.53 | 1.647 | | |
| Total | 89 | 219.60 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-45 ผลการวิเคราะห์สีของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลากับกระเพาะปลาทางการค้า

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 11.82 | 5.9111 | 6.18 | 0.004[sig] |
| block | 29 | 60.62 | 2.0904 | 2.18 | 0.006 |
| Error | 58 | 55.51 | 0.9571 | | |
| Total | 89 | 127.96 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-46 ผลการวิเคราะห์กลิ่นของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลากับกระเพาะปลาทางการค้า

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 6.689 | 3.344 | 2.43 | 0.097[ns] |
| block | 29 | 115.122 | 3.970 | 2.88 | 0.000 |
| Error | 58 | 79.978 | 1.379 | | |
| Total | 89 | 201.789 | | | |

ns หมายถึง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางภาคผนวก ก-47 ผลการวิเคราะห์รสชาติของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลากับกระเพาะปลาทางการค้า

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 52.36 | 26.178 | 13.28 | 0.000[sig] |
| block | 29 | 115.39 | 3.979 | 2.02 | 0.012 |
| Error | 58 | 114.31 | 1.971 | | |
| Total | 89 | 282.06 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-48 ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลากับกระเพาะปลาทางการค้า

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 210.20 | 105.100 | 68.91 | 0.000[sig] |
| block | 29 | 99.73 | 3.439 | 2.25 | 0.004 |
| Error | 58 | 88.47 | 1.525 | | |
| Total | 89 | 398.40 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางภาคผนวก ก-49 ผลการวิเคราะห์ความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์คล้ายกระเพาะปลากับกระเพาะปลาทางการค้า

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2 | 99.09 | 49.544 | 34.38 | 0.000[sig] |
| block | 29 | 60.32 | 2.080 | 1.44 | 0.117 |
| Error | 58 | 83.58 | 1.441 | | |
| Total | 89 | 242.99 | | | |

[Sig] หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)