บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ เพื่อวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากปลาแป้นซึ่งผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาจากแนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งหลักวิชาต่างๆ ที่นำมาใช้สำหรับประกอบในการศึกษา ได้แก่

1. ทรัพยากรสัตว์น้ำจากการประมงชายฝั่ง
2. แหล่งประมงชายฝั่ง
3. เครื่องมือประมงชายฝั่ง
4. การจำแนกชนิดของปลา
5. ชนิดของสัตว์น้ำชายฝั่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ
6. การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากปลาแป้น
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ทรัพยากรสัตว์น้ำจากการประมงชายฝั่ง

การทำประมงทะเล หมายถึง กิจกรรมเชิงเศรษฐกิจในการจับ ดัก ล่อ ทำอันตราย ฆ่า หรือเก็บสัตว์น้ำที่ยังมีชีวิตอยู่ในที่จับสัตว์น้ำซึ่งเจริญเติบโตโดยธรรมชาติ และไม่เป็นของบุคคลหนึ่งบุคคลใด ด้วยเครื่องมือทำการประมงในบริเวณน้ำเค็มและน้ำกร่อย และหมายความรวมถึงการไล่ต้อน การเรียก การล่อ เพื่อการกระทำดังกล่าวหรือด้วยวิธีใดๆ เพื่อใช้บริโภค ขาย หรือนำมาแปรรูป

การทำประมงชายฝั่ง (inshore fisheries) หรือประมงพื้นบ้าน (artisanal fisheries) หมายถึง การประมงเพื่อยังชีพ หรือประมงขนาดเล็ก โดยทั่วไปใช้เรือขนาดเล็ก หรือเรือพื้นบ้าน ใช้เครื่องมือประมงแบบง่ายๆ ทำประมงเพื่อยังชีพ หาอาหาร สร้างรายได้และก่อให้เกิดการสร้างงานในท้องถิ่น ปริมาณการจับสัตว์น้ำคิดเป็นร้อยละ 10 จากปริมาณผลผลิตสัตว์น้ำจากการทำประมงทะเลทั้งหมด (สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553 : 6)

2. แหล่งประมงชายฝั่ง

การทำประมงชายของประเทศไทย มีแหล่งประมงชายฝั่ง แบ่งออกได้เป็น 2 แหล่ง (สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553 : 7) คือ

1. แหล่งธรรมชาติ เป็นแหล่งน้ำบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลซึ่งมีสัตว์น้ำชายฝั่งหลายชนิดอาศัยอยู่ ชาวประมงจะเก็บเกี่ยวผลผลิตด้วยการใช้เครื่องมือประมงจับสัตว์น้ำที่มีขนาดเล็ก ซึ่งปริมาณสัตว์น้ำที่จับได้จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพพื้นที่ เนื่องจากสัตว์น้ำชายฝั่งชนิดต่างๆ เลือกอาศัยอยู่ในบริเวณที่มีความเหมาะสมเฉพาะเจาะจงกับอุปนิสัยของมัน การทำประมงชายฝั่งใช้เรือประกอบการทำประมง เรือที่ใช้จะมีขนาดความยาวไม่เกิน 14 เมตรระวางขับน้ำกิน 10 ตันกรอส ทำประมงทั้งแบบในครัวเรือน แบบยังชีพ และแบบธุรกิจ ผลผลิตของสัตว์น้ำชายฝั่งที่จับได้ปัจจุบันยังทรงตัวอยู่ แต่ในอนาคตก็จะมีแนวโน้มลดลง

2. แหล่งเพาะเลี้ยง เป็นแหล่งที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อเพิ่มผลผลิตทดแทนในแหล่งธรรมชาติตอบสนองความต้องการด้านอาหารทั้งภายในและต่างประเทศที่เพิ่มขึ้น โดยมีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจหลายชนิด ตามบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเล ปากแม่น้ำ ทะเล รวมถึงการใช้ประโยชน์พื้นที่ชายทะเลที่น้ำทะเลท่วมถึง ซึ่งหมายถึงบริเวณที่ดอนชายเลนและป่าชายเลนที่

3. เครื่องมือประมงชายฝั่ง

เครื่องมือจับสัตว์น้ำชายฝั่งมีหลายชนิดบางชนิดคล้ายกับเครื่องมือประมงน้ำจืด แต่บางชนิดมีความแตกต่าง ซับซ้อนและมีขนาดใหญ่กว่า อาจมีการประกอบกับเรือยนต์ขนาดเล็กความยาวไม่เกิน 14 เมตร สามารถแบ่งประเภทของเครื่องมือได้เป็น 2 ประเภท (กรมประมง, 2557 : 3) คือ

1. เครื่องมือประเภทประจำที่ (moveable fishing gears) หมายถึง เครื่องมือประเภทที่ขณะทำการประมง เครื่องมือดังกล่าวมีการเคลื่อนที่และห่างออกไปจากตำแหน่งที่เริ่มต้นด้วยแรงของกระแสลม กระแสน้ำ คนหรือเครื่องยนต์เรือ ได้แก่ โป๊ะ โพงพาง รั้วไซมานจะมุ จั่นปู ลอบปลา ลอบปู (เชงเลง) เฝือกรัง บาม อวนติดตา เบ็ดราว เป็นต้น

2. เครื่องมือประเภทเคลื่อนที่ (stationary fishing gears) หมายถึง เครื่องมือประเภทที่ใช้วิธีลงหลักปกผูกขึงรั้งถ่วง หรือวิธีอื่นใดอันทำให้เครื่องมือและส่วนประกอบอยู่กับที่ในเวลาทำการประมงและทำการจับสัตว์น้ำตรงจุดที่ตั้งเครื่องมือนั้นๆ ทุกครั้ง ได้แก่ อวนลากคานถ่าง อวนลากแผ่นตะเฆ่ อวนล้อมบางชนิด อวนรุน อวนทับตลิ่ง ระวะ(ชิป) แห เป็นต้น

3. เครื่องมือประเภทกึ่งประจำที่ (semi-stationary fishing gears) หมายถึง เครื่องมือประเภทที่ขณะทำการประมง เครื่องมือจะถูกยึดถ่วงรั้งให้อยู่กับที่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง

หรือจนสิ้นสุดการจับสัตว์น้ำแต่ละครั้งเสร็จแล้วเก็บอุปกรณ์ขึ้นเรือเพื่อนำไปใช้ในบริเวณ อื่นๆได้อีก

สัตว์น้ำที่จับได้จากการประมง แบ่งออกเป็น 2 พวกใหญ่ๆ (กรมประมง, 2554 : 20) คือ

1) ปลาเลย หมายถึงสัตว์น้ำที่มีมูลคุณค่าทางเศรษฐกิจ ได้แก่ ปลาทรายแดง ปลาสาก ปลาปากคม ปลาตาโต ปลากะพง ปลาจาระเม็ด กุ้ง และหมึกต่างๆ ฯลฯ

2) ปลาเป็ด หมายถึงสัตว์น้ำที่มีมูลคุณค่าทางเศรษฐกิจน้อยไม่ใช้บริโภค ได้แก่ ปลาแป้น ปลาอมไข่ ปลาวัว ปลาสลิดหิน และปลาต่างๆ ที่มีขนาดเล็ก

ผลจากการประมงทะเลของประเทศไทย มาจาก 2 แหล่งสำคัญ คือ อ่าวไทย และทะเลอันดามันมีปริมาณผลจับรวมกันเฉลี่ยอยู่ที่ 2.5 ล้านตันต่อปี โดยสัดส่วนอยู่ที่ร้อยละ 68.5 และ 31.5 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณผลการจับระหว่างประมงพื้นบ้าน (small-scale fisheries) กับการประมงพาณิชย์ (large-scale fisheries) พบว่าสัตว์น้ำจำพวกกุ้ง ปู ปลาหมึก และปลาที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจต่ำส่วนใหญ่ถูกจับโดยประมงพื้นบ้าน ในขณะปลาที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงจะถูกจับโดยประมงพาณิชย์ (กรมประมง, 2554 : 23)

4. การจำแนกชนิดของปลา

ปลาในประเทศไทยมีมากมายหลายชนิด ซึ่งแตกต่างไปตามขนาด รูปร่าง แหล่งที่อยู่อาศัย และชนิดของอาหาร การจำแนกปลาสามารถกระทำได้หลายวิธี (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2554 : 3) เช่น

1. การจัดแบ่งตามชั้น (class) มีดังนี้

1.1 Cephalaspidomorphi เป็นปลาที่ไม่มีขากรรไกร เช่น ปลาตระกูลปลาไหล

1.2 Chondrichthyes (cartilaginous) เช่น ปลาฉลาม ปลากระเบน

1.3 Osteichtyes ประกอบด้วยปลากระดูกแข็งทั่วไป

2. การจัดแบ่งตามลักษณะการอยู่รอดและอุปนิสัย มีดังนี้

2.1 ปลาทะเล (marine) อาศัยอยู่ในน้ำทะเล มีลักษณะที่อยู่อาศัยแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

2.1.1 ปลาผิวน้ำ (pelagic) เช่น ปลาซาร์ดีน ปลาทูน่า

2.1.2 ปลาหน้าดิน (demersal) เป็นปลาที่อาศัยและหากินอยู่ใกล้ท้องทะเล เช่น ปลาทรายแดง ปลาเก๋า

2.2 ปลาน้ำจืด (fresh water fish) อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำจืดต่างๆ

5. ชนิดของสัตว์น้ำชายฝั่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ

สัตว์น้ำชายฝั่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจที่จับได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติและจากแหล่งเพาะเลี้ยงมีชนิดของปลาที่ได้จากการทำประมง เช่น ปลากะพงแดง ปลากะพงขาว ปลาเก๋า ปลานวลจันทร์ และปลากระบอก ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สัตว์น้ำชายฝั่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ

ลำดับที่	ชื่อไทย	ชื่อสามัญ
1	กุ้งแชบ๊วย	Banana shrimp
2	กุ้งกุลาดำ	Jumbo tiger prawn
3	กุ้งกุลาลาย	Tiger shrimp
4	กุ้งเตะกาด	Jingo prawn
5	กุ้งขาว	Indian white prawn
6	ปลากะพงแดง	Snapper
7	ปลากะพงขาว	Giant seaparch
8	ปลาเก๋า	Grouper
9	ปลานวลจันทร์ทะเล	Milk fish
10	ปลากระบอก	Mullet
11	หอยแครง	Blood cockles
12	หอยแมลงภู่	Green mussel
13	หอยนางรม	Oysters
14	หอยกะพง	Horse mussel
15	ปูม้า	Swimming crabs
16	ปูทะเล	Mud crabs
17	ไรน้ำเค็ม	Brine shrimp

ที่มา : (กรมประมง, 2554 : 24)

ปริมาณของปลาที่จับได้จากการทำประมงของจังหวัดเพชรบุรี ในปี 2554 มีทั้งสิ้น 4,736 ตัน (กรมประมง, 2554 : 26) แยกได้ดังนี้

- รวมปลา จำนวน 3,702 ตัน
- ปลาเศรษฐกิจ จำนวน 1,944 ตัน
- ปลาเป็ด จำนวน 1,758 ตัน

ปริมาณของสัตว์น้ำที่มีการนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ลูกชิ้น และทอดมันทั้งประเทศและของจังหวัดเพชรบุรี ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณของสัตว์น้ำที่นำมาผลิตลูกชิ้น/ทอดมัน ของประเทศและจังหวัดเพชรบุรี ปี 2550 ถึง 2554

ปี พ.ศ.	ปริมาณสัตว์น้ำที่ใช้ (ตัน)	
	ทั้งประเทศ	จังหวัดเพชรบุรี
2550	8,833	181
2551	8,126	181
2552	7,907	181
2553	4,443	181
2554	4,323	181

ที่มา : (กรมประมง, 2554 : 19)

ปลาเป็ดหรือปลาไก่ คือ ปลาที่มีขนาดเล็ก หรือ ปลาที่คนไม่นิยมนำมาบริโภค แต่ถูกจับขึ้นมาโดยไม่ได้ตั้งใจ ซึ่งปลาเป็ดหรือปลาไก่เหล่านี้จะถูกนำมาแปรรูปเป็นปลาป่นเพื่อใช้เลี้ยงสัตว์ เป็นเนื้อปลาบด หรือ ทำเป็นซูริมิ และยังนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ย สัตว์ทะเลที่ถูกจับจากการใช้อวนลากนั้น พบว่ามีสัดส่วนดังนี้ สัตว์น้ำเศรษฐกิจ ร้อยละ 40 ปลาเป็ดร้อยละ 40.8 และสัตว์น้ำเศรษฐกิจวัยอ่อน 19.2 (เมธี แก้วเนิน และศันสนีย์ หวังวรลักษณ์, 2548 : 336)

6. การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากปลาแป้น

ปลาแป้น (Pony fish) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Leiognathus* spp. เป็นปลาหน้าดินจับได้โดยการใช้อวนลากหน้าดินหรืออวนลากแผ่นตะเฆ่ การจัดลำดับอนุกรมวิธานของปลาแป้น (ศิรประภา เปรมเจริญ, 2535 : 39) จัดได้ดังนี้

Phylum Chordata

Class Actinopterygii

Order Perciformes

Suborder Percoidei

Family Leiognathidae

ลักษณะของปลาแป้น มีลำตัวป้อมสั้น ด้านข้างแบน ส่วนหลังโค้งนูน ปากสามารถยืดหดได้ ปากเมื่อยืดจะโค้งลงเล็กน้อย ครีบหูยาวจนถึงบริเวณใกล้จุดเริ่มต้นของครีบก้น ลำตัวสีบรอนซ์เงินและมีแถบเล็กๆ สีดำพาดในแนวขวางลำตัว เกล็ดขนาดเล็ก มีสันกระดูกบริเวณส่วนหัว (bonyridge) จะงอยปากสามารถยืดหดได้มาก (hightly protrusible) ฐานครีบหลังและครีบก้นเชื่อมต่อกันเป็นแนวยาว หางรูปส้อม สีลำตัวส่วนบนเป็นสีน้ำเงินอมเขียว มีแถบสีและลวดลายแตกต่างกันไปตามแต่ละชนิด ลำตัวส่วนล่างเป็นสีขาวเหลือบเงิน ในบางชนิดส่วนท้องสามารถเรืองแสงได้ ปลาแป้นเป็นปลาที่อาศัยอยู่ตามพื้นท้องน้ำในบริเวณทะเลชายฝั่งและเขตน้ำกร่อย ส่วนใหญ่แพร่กระจายอยู่ในเขตน่านน้ำ Indo-West Pacific โดยอาศัยอยู่รวมกันเป็นฝูงและกินสัตว์หน้าดินจำพวกครัสตาเซียนและหอยขนาดเล็กเป็นอาหาร สามารถจัดจำแนกปลากลุ่มนี้ได้เป็น 3 สกุล 24 ชนิด ได้แก่สกุล *Gazza* จำนวน 2 ชนิด สกุล *Leiognathus* จำนวน 19 ชนิด และสกุล *Secutor* จำนวน 3 ชนิด สกุล *Gazza* และ *Leiognathus* มีความยาวเฉลี่ย 8 – 24 เซนติเมตร ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่เมื่อเทียบกับสกุล *Secutor* (ศิรประภา เปรมเจริญ, 2535 : 39)

แหล่งที่พบปลาแป้น พบได้โดยทั่วไปบริเวณอ่าวไทยและทะเลอันดามัน ได้แก่ สมุทรสาคร สมุทรสงคราม เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ สุราษฎร์ธานี สงขลา ภูเก็ต กระบี่ ระนอง และตรัง (กรมประมง, 2554 : 25)

1. ผลิตภัณฑ์เนื้อปลาบด

เนื้อปลาบดเป็นผลิตภัณฑ์ลดขนาด (comminuted products) หมายถึง ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่ได้จากการนำเนื้อสดไปบดลดขนาดให้เล็ก ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะมีลักษณะที่เป็นชิ้นเล็กๆ ผ่านการผสมด้วยเครื่องปรุงแต่งและกลิ่นรส ผลิตภัณฑ์ลดขนาดคงรูปร่างอยู่ได้ด้วยการบรรจุไส้หรือการแปลงรูปร่าง ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ตามลักษณะโครงสร้างสุดท้ายของเส้นใยกล้ามเนื้อ (เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์, 2536 : 62) ดังนี้

1.1 กลุ่มบดหยาบ

ผลิตภัณฑ์ลดขนาดกลุ่มบดหยาบ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ถูกบดลดขนาด

ด้วยเครื่องบดเนื้อธรรมดาหรือสับด้วยมีดธรรมดาให้เนื้อมีลักษณะหยาบ แล้วนำมาผสมกับส่วนผสมอื่นๆ ผ่านการบรรจุไส้หรือการแปลงรูปร่าง ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระดับเส้นใยกล้ามเนื้อ อาจมีการรมควันและการทำให้สุกร่วมด้วย ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น กุนเชียง ไส้กรอกอีสาน แหนม เป็นต้น

1.2 กลุ่มบดละเอียดอิมัลชัน

ผลิตภัณฑ์ลดขนาดกลุ่มบดละเอียดอิมัลชัน (emulsion) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดเนื้อและสร้างอิมัลชัน โครงสร้างในระดับเส้นใยกล้ามเนื้อจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยไมโอซินจะถูกสกัดละลายออกมาจากเส้นใยกล้ามเนื้อ เพื่อทำหน้าที่ช่วยให้เกิดสภาพเป็นอิมัลชัน ทำให้ได้ส่วนผสมที่มีลักษณะเหนียว ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น ลูกชิ้น หมู ไส้กรอก ซูริมิ เป็นต้น

เนื้อปลาบด (minced fish) คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำปลาที่ผ่านการตัดหัว ควักไส้ หรือชิ้นเนื้อปลาที่ได้จากการแล่ไปแยกเอาเนื้อออกจากส่วนก้างและหนังปลาด้วยเครื่องแยกเนื้อ ดังนั้นเนื้อปลาที่ได้จึงยังคงมีองค์ประกอบทางเคมี สี และกลิ่น เช่นเดียวกับเนื้อปลาปกติ

เยาวลักษณ์ สุรพันธ์พิศิฐ์ (2536 : 65) กล่าวว่าการเกิดอิมัลชัน (emulsion) คุณสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อความคงตัวของอาหารประเภทอิมัลชัน ซึ่งมีความสำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์อิมัลชันที่ไม่มีความคงตัวจะไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เช่น น้ำสลัดที่ไม่มีความคงตัวของระบบอิมัลชัน จะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการแยกชั้น หรือไส้กรอกอิมัลชันที่ไม่มีความคงตัว จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสหยาบ

ผลิตภัณฑ์แบบอิมัลชันจากเนื้อปลาบด ได้มีการพัฒนาขึ้นมาจากเนื้อปลาหลายชนิด นำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ เช่น ปลายอ และลูกชิ้นปลา เพราะว่าเนื้อปลามีความนุ่ม ย่อยง่ายกว่าเนื้อสัตว์ประเภทอื่น

นอกจากนี้โปรตีนจากเนื้อปลาเป็นโปรตีนชนิดที่ร่างกายมนุษย์สามารถนำไปใช้ได้อย่างรวดเร็ว และยังมีโปรตีนสูงถึงร้อยละ 20 มีไขมันเพียงร้อยละ 0.1 นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งของวิตามินบีต่างๆ เช่นวิตามินบี 1 วิตามินบี 2 และวิตามินบี 6 (จิรวัฒน์ ยงสวัสดิกุล, 2541 : 246)

เมื่อทำการผสม น้ำ น้ำมัน และโปรตีน ให้เป็นเนื้อเดียวกัน สายของโปรตีนจะเกิดการคลายตัวและแทรกไปอยู่ที่ผิวระหว่างอนุภาคของน้ำมันและน้ำ บางส่วนของโปรตีนจะเข้าไปดูดซับอยู่บริเวณพื้นผิวของอนุภาคไขมันส่งผลให้แรงตึงผิวระหว่างน้ำมันและน้ำลดลง ทำให้เกิดการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำมันได้ดีขึ้น โดยโครงสร้างของโปรตีนจะป้องกันไม่ให้อนุภาคของน้ำมันเกิดการรวมตัวกันได้

หน้าที่ของเนื้อปลาในการทำผลิตภัณฑ์ คือ

1. ให้คุณค่าทางอาหาร เพราะมีองค์ประกอบของโปรตีนอยู่ร้อยละ 19.05 และเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูง เนื่องจากโปรตีนในเนื้อปลาประกอบด้วย กรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายสูง โดยเฉพาะไลซีน และทรีโอนีน ยังพบว่า มีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันน้อยเมื่อเทียบกับเนื้อสัตว์ชนิดอื่น ดังนั้น เนื้อปลาจึงมีลักษณะอ่อนนิ่ม เคี้ยวง่าย และร่างกายนำไปใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ (สำนักโภชนาการ กรมอนามัย, 2550 : 2)

2. ให้ลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) เนื่องจากโปรตีนจะจับตัวเป็นก้อน (coagulation) เมื่อถูกความร้อนเป็นลักษณะกึ่งแข็ง โปรตีนที่ละลายได้จะทำหน้าที่ห่อหุ้มไขมันและตรึงน้ำในส่วนผสมไม่ให้แยกออกจากกันทั้งก่อนและหลังการให้ความร้อน ซึ่งเป็นเนื้อสัมผัสที่สำคัญของผลิตภัณฑ์อิมัลชัน (จิรวัฒน์ ยงสวัสดิกุล, 2541 : 245)

กลไกการเกิดเจลของโปรตีน เป็นปรากฏการณ์ที่โปรตีนเรียงตัวประสานกันอย่างมีแบบแผนเกิดเป็นโครงสร้างร่างแห 3 มิติ โดยมีโมเลกุลของน้ำระหว่างร่างแหเหล่านั้นเรียกว่า การเกิดเจล (gelation) เจลที่ได้มีความสามารถอุ้มน้ำได้ดี ทำให้เกิดเนื้อสัมผัสที่มีความยืดหยุ่น ความสามารถในการเกิดเจลเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของซูริมิ โดยซูริมิที่ดีควรมีเนื้อสัมผัสที่ยืดหยุ่นสูง (จิรวัฒน์ ยงสวัสดิกุล, 2541 : 246)

ขั้นตอนการผลิตเนื้อปลาบด

คุณสมบัติที่สำคัญของเจลซูริมิ ได้แก่ คุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัส ความแข็งแรงของเจล และความยืดหยุ่น ซึ่งชี้ให้เห็นถึงคุณภาพในการบริโภคและยังมีผลต่อลักษณะปรากฏ ตลอดจนคุณสมบัติในการเก็บรักษา ความยืดหยุ่นของซูริมิเจลมีความสัมพันธ์กับชนิดของปลา ความสด เทคนิคที่ใช้ในการแปรรูป และใช้ส่วนประกอบที่เหมาะสมเพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของเจล ขั้นตอนการผลิตเนื้อปลาบด มีดังนี้

1. วัตถุดิบ

ปลาที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตซูริมิควรมีความสดสูง ซึ่งความสดของปลาจัดเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อคุณภาพของเจลในการผลิตซูริมิ (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549 :2) การประเมินความสดของปลาอาจใช้วิธีทางประสาทสัมผัส เช่น ลักษณะของตา สีของลำตัวปลา สีของเหงือก เมือก กลิ่น การใช้นิ้วกดเนื้อ

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของสัตว์น้ำ

การเปลี่ยนแปลงหลังสัตว์น้ำตาย จะเกิดการย่อยตัวเองของเนื้อเยื่อในตัวปลา ควบคู่ไปกับการเกิดการแข็งตัว และมีการละลายของนิวคลิโอไทด์ (nucleotide) โดยเอนไซม์ได้แก่ เปปซิน (pepsin) ทริปซิน (trypsin) และคาเทปซิน (cathepsin) ที่อยู่บริเวณลำไส้ ตับ

กระเพาะ และผนังท้อง การเน่าเปื่อยของสัตว์น้ำทั้งสองขั้นตอน มักจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว สัตว์น้ำเมื่อออกจากน้ำก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีขึ้นอยู่กับพันธุ์สัตว์ สิ่งแวดล้อม และอุณหภูมิ โดยทั่วไป สัตว์น้ำที่ว่ายอยู่บนผิวน้ำจะเปลี่ยนแปลงค่อนข้างเร็ว ส่วนสัตว์น้ำที่ว่ายในน้ำลึกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างช้ากว่า ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมีการขับน้ำเมือกออกจากผิวหนัง มีอาการแข็งตัวซึ่งเกิดจากการย่อยสลายตัวเอง และเน่าเปื่อยในที่สุด

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัตว์น้ำที่เกิดขึ้น (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2554 :6-7) มีดังนี้

1) มีน้ำเมือกขับออกจากผิวหนังเป็นปฏิกิริยาอย่างหนึ่ง ในการปกป้องสมรรถนะทางกายภาพเพื่อให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม สัตว์น้ำเมื่อออกจากผิวน้ำจะมีน้ำเมือกขับออกจากผิวหนัง ส่วนประกอบสำคัญจะเป็นโปรตีน น้ำเมือกสีใสจะกลายเป็นอาหารของเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย

2) สัตว์น้ำภายหลังจากตายแล้ว กล้ามเนื้อมีการขับไกลโคเจนออกมาผ่านกระบวนการสังเคราะห์ที่ไม่ออกซิเจนเกิดเป็นกรดแลคติก (lactic acid) เมื่อกล้ามเนื้อมีสภาพเป็นกรด ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) จะอยู่ที่ 6.0 ถึง 6.5 ในขณะเดียวกันคอลลาเจน (collagen) จะดูดซับน้ำทำให้เกิดการพองตัว และแอกโทไมโอซิน (actomyosin) ที่ละลายได้จะมีอาการแข็งตัวกลายเป็นแอกทิน (actin) และแอกโทไมโอซิน ที่ละลายไม่ได้ ทำให้กล้ามเนื้อแข็งตัว ร่างของสัตว์ทั้งตัวจะแข็ง เมื่อความเป็นกรดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้โปรตีนในกล้ามเนื้อเกิดการแข็งตัว คอลลาเจนในกล้ามเนื้อจะมีความสามารถในการเก็บรักษาน้ำลดลง ทำให้สภาพการแข็งตัวจะค่อยๆ เลือนหายไป

3) การละลายตัวเองของสัตว์น้ำระหว่างยังมีชีวิตอยู่ ต้องเสริมสร้างสิ่งใหม่ทดแทนสิ่งเก่าโดยตลอด รวมทั้งการแยกสลายภายใต้ปฏิกิริยาการย่อยแบบแอสซิมิเลชัน (assimilation) และมีการสลายตัว (dissulation) เป็นผลมาจากการดำเนินการโดยเอนไซม์เปปซิน ทริปซิน และคาเทปซิน เมื่อสัตว์ตายแล้วเอนไซม์จะยังคงมีชีวิตอยู่ในขณะนั้น ปฏิกิริยาการย่อยแบบแอสซิมิเลชันจะยุติกระบวนการลงแต่การสลายตัวเองยังคงดำเนินต่อไป โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทำให้โปรตีนแยกสลายอย่างต่อเนื่องกลายเป็นไนโตรเจนที่ละลายได้ (soluble nitrogen) และกรดอะมิโน (amino acid) ทำให้ส่วนประกอบที่เป็นของเหลวในร่างกายสัตว์อ่อนตัวลง ลักษณะตึงตัวที่มีอยู่สูญหายไป เอนไซม์ในร่างกายสัตว์น้ำทนต่ออุณหภูมิต่ำได้ดี สำหรับเอนไซม์โปรติเอส (proteinase) โดยทั่วไปถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส ก็จะหยุดการดำเนินกิจกรรม แต่เอนไซม์ไลเปส (lipase) เมื่ออยู่ในอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ก็สามารถทำงานได้ดี เอนไซม์ไลเปสในร่างของปลาเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 23 องศาเซลเซียส จึงจะหยุดกิจกรรม เกลือจำนวน

เล็กน้อยมีส่วนกระตุ้นต่อเอนไซม์ให้ทำงานได้ แต่ถ้าเกลือมีสัดส่วนเกินร้อยละ 3 จะเกิดปฏิกิริยายับยั้งต่อการทำงานของเอนไซม์ได้

4) การเน่าเสีย ซากสัตว์หลังตายแล้ว ส่วนประกอบของกล้ามเนื้อจะคลายตัวลง ทำให้จุลินทรีย์เข้าแทรกและเพิ่มจำนวนได้เร็วมาก จะย่อยสลายกรดอะมิโนกลายเป็นสารที่ให้กลิ่นพวกอินโดล (indole) ฟีนอล (phenol) พิวเทรสซีน (putrescine) คาดาเวอรีน (cadaverine) ซากสัตว์น้ำจะอ่อนตัวลงและเปลี่ยนเป็นสีดำ มีกลิ่นเน่าเหม็น ทำให้มีคุณภาพด้อยลง การเหม็นเน่า (putrefaction) เกิดจากแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ย่อยโปรตีนได้ การเหม็นเน่า แบ่งได้เป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างเอนไซม์ และสามารถย่อยสลายโปรตีนได้ เช่น มัยโคแบคทีเรียม (mycobacterium) กลุ่มที่สองเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างเอนไซม์อีเรบซิน (erepsin) ได้ เช่น *Escherichia diploccuo, Xanthacin prodigiosustoxin, Bacillus cereus, Lampropeolia* เป็นต้น

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของสัตว์น้ำ (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2554 :197-198) มีดังนี้

1. ชนิดของสัตว์น้ำ ชนิดของสัตว์น้ำมีผลต่อความชอบ การยอมรับที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ ชนิดของสัตว์น้ำมีผลต่อการอัตราการเสื่อมเสีย เช่น ปลาที่มีไขมันสูงมีอัตราการเสื่อมเสียเร็วกว่าปลาที่มีไขมันต่ำ

2. ขนาดของสัตว์น้ำ สัตว์น้ำขนาดใหญ่ มักได้รับความนิยมมากกว่าสัตว์น้ำขนาดเล็ก ผู้ผลิตหรือผู้ประกอบการแปรรูปสัตว์น้ำ มักนิยมสัตว์น้ำที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากให้ผลผลิตของเนื้อสูงกว่า และการจัดการสามารถทำได้ง่าย นอกจากนี้ขนาดของสัตว์น้ำมีผลต่อการแปรรูป เช่น การตัดหัว

3. เพศของสัตว์น้ำ ปลาเพศเมียบางชนิดให้ไข่ที่มีราคาแพง เช่น ปลาสเตอร์เจียน และปลาต่างเพศยังให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคุณภาพต่างกัน

4. สภาวะ ปกติปลามักสะสมอาหารต่างๆ ในเนื้อและตับ แต่จะถูกขนย้ายไปบำรุงไข่ในช่วงวางไข่ ดังนั้นเนื้อปลาจะมีโปรตีนและไขมันน้อยกว่าปกติ โดยเนื้อจะมีน้ำสูง มีลักษณะนิ่ม

5. ปรสิตและสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เช่น พยาธิเป็นปัญหาต่อการยอมรับของผู้บริโภค

6. สารพิษและสารปนเปื้อนจากแหล่งน้ำ เช่น โลหะหนักต่างๆ

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของโปรตีนเนื้อปลา

คุณสมบัติของเจลมีความสัมพันธ์กับชนิดของปลา ความสดของวัตถุดิบ และเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิต นอกจากนี้คุณภาพของเจลที่เตรียมได้จากซูริมิของปลาชนิดใดๆยังขึ้นอยู่กับเทคนิคที่ใช้เตรียมเจล และการใช้ส่วนผสมหรือสารเติมแต่งอาหารอย่างเหมาะสม (Shimizu and Shimidu อ้างถึงใน สุญานีพร ตุลยพงศ์รักษ์, 2551: 22-23) ได้ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของโปรตีนจากปลาชนิดต่างๆ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ชนิดของปลา อัตราการเกิดเจลในปลาแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน นั่นคือ ปลาที่อาศัยในเขตหนาวสามารถเกิดเจลได้เร็วกว่าในปลาเขตร้อน ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยทางด้านความคงตัวต่อความร้อนของโปรตีนแอคโตไมโอซิน โดยทั่วไปปลาเนื้อแดงจะว่องไวกับปรากฏการณ์โมโดริมากกว่าปลาเนื้อขาว

2. อายุ จากการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างปลาวัยอ่อนและโตเต็มที่ในปลา Mackerel และHorse mackerel พบว่าอายุของปลาทั้ง 2 ชนิดมีผลต่อศักยภาพการเกิดเจล โดยปลาที่อยู่ในวัยอ่อนจะมีความว่องไวต่อการเกิดโมโดริมากกว่าปลาที่โตเต็มที่

3. ความสดของปลา ความสดมีผลโดยตรงต่อความสามารถในการเกิดเจลของปลา โดยอัตราความสามารถในการเกิดเจลลดลงในปลาที่มีความสดต่ำและแปรผันตามชนิดของปลา ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากความแปรปรวนในความคงตัวของไมโอไฟบริลลาร์ ระดับการเกิดกรดในกล้ามเนื้อ และการทำงานของเอนไซม์ย่อยโปรตีนในกล้ามเนื้อ แต่ก็ยังไม่เป็นที่ชัดเจน

4. ฤดูกาล ความแปรปรวนของฤดูกาลมีผลต่อคุณภาพของเนื้อปลา จากการศึกษาจากปลา Horse mackerel ในทะเลตะวันออกของจีน พบว่ามีค่าความสามารถในการเกิดเจลต่ำในเดือนมิถุนายน-สิงหาคม และในทะเลแปซิฟิกเหนือ Alaska pollock มีค่าความสามารถในการเกิดเจลต่ำในเดือน พฤษภาคม-สิงหาคม เนื่องจากฤดูนี้เป็นช่วงวางไข่ของปลาเหล่านี้ อย่างไรก็ตามเหตุผลที่แท้จริงก็ยังไม่สามารถตรวจพบได้ อาจเนื่องจากในช่วงฤดูวางไข่ปลาจะมีค่า pH สูงขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อความคงตัวของไมโอไฟบริลลาร์

5. แหล่งที่จับปลามีผลต่อความสามารถในการเกิดเจลของปลา โดยปลาที่จับจากแหล่งต่างกันจะมีความสามารถในการเกิดเจล และความว่องไวต่อการเกิดปรากฏการณ์โมโดริต่างกัน โดยปลาที่มีไขมันสูงและ pH ต่ำจะมีความสามารถในการเกิดเจลต่ำ ทั้งนี้ปริมาณไขมันและ pH อาจเกิดจากแหล่งอาหารที่ปลากิน

การตรวจสอบคุณภาพภายนอกของปลา

คุณภาพของปลาที่ใช้ในการศึกษาจะต้องมีคุณลักษณะอยู่ในสภาพที่สดใหม่ โดยทำการตรวจคุณภาพของปลา ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ลักษณะคุณภาพของปลาสด

รายการ	สดใหม่	ค่อนข้างสดใหม่	ไม่สด
ส่วนตา	ลูกตาเต็มอิ่ม เยื่อกระจกใส	เยื่อกระจกตามีรอยย่น ขุ่น หมองเล็กน้อย บางครั้งมีเลือดแดงออกมานิดๆ	ลูกตา เยื่อกระจกตาขุ่น หมอง ช่องตามีเลือดซึม
ส่วนครีบ	ครีบใสสีแดงสด น้ำเมือกใส ไม่มีกลิ่นผิดปกติ	เริ่มเปลี่ยนสีคล้ำหรือสีแดงคล้ำ หรือ สีแดงอมม่วง น้ำเมือกมีรสเปรี้ยว	สีแดงคล้ำถึงกับสีเทาขาว น้ำเมือกขุ่นหมอง มีรสเหม็นเปรี้ยวและเน่า
กล้ามเนื้อ	แน่น มีความยืดหยุ่นดี มีสีสันแวววาว ไม่มีกลิ่นผิดปกติ	กล้ามเนื้ออ่อนตัวลงบ้าง มีความยืดหยุ่นปานกลาง หลังใช้มือกดเนื้อที่ยุบลงไม่กลับตึงทันที มีกลิ่นเปรี้ยว สีสันไม่แวววาว	ลักษณะเนื้ออ่อนตัว หลังใช้มือกดเนื้อจะยุบลงไปนาน ง่ายต่อการแยกตัวกับกระดูก มีกลิ่นเน่าเหม็น กลิ่นเปรี้ยว
รูปร่างภายนอก	แน่น มีความยืดหยุ่นดี มีสีสัน แวววาว ไม่มีกลิ่นผิดปกติ	กล้ามเนื้ออ่อนตัวลงบ้าง มีความยืดหยุ่นปานกลาง หลังใช้มือกดดูเนื้อที่ยุบลงไม่กลับตึงทันที มีกลิ่นเปรี้ยว สีสีนไม่แวววาว	ลักษณะเนื้ออ่อนตัว หลังใช้มือกดเนื้อจะยุบลงไปนาน ง่ายต่อการแยกตัวกับกระดูก มีกลิ่นเน่าเหม็น กลิ่นเปรี้ยว
ส่วนท้อง	สมบูรณ์ไม่พอง ตัวเครื่องในใสชัดไม่มีกลิ่นผิดปกติ	สมบูณ์ การพองตัวไม่ชัดเจน เครื่องในใสชัดมีกลิ่นเปรี้ยวคาวบ้าง	ไม่สมบูรณ์ พองแตกหรือยุบลง น้ำเมือกเครื่องในไม่สดใส มีกลิ่นผิดปกติ

ที่มา : (สถาบันอาหาร, 2548 : 32)

วิธีการตรวจสอบความสดของปลาจากลักษณะภายนอกและภายใน (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549 :12-13) มีดังนี้

ลักษณะภายนอก

1. สีตาและผิวหนัง คงความเป็นมันเงา ไม่ขุ่นมัว
2. เกล็ดอาจหลุดเล็กน้อย
3. ลักษณะเนื้อสัมผัสไม่นุ่มตามแรงกดของมือ
4. เหงือกไม่มีกลิ่น สีเลือดแดงสดไม่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เขียวหรือเหลือง

5. ลูกตา เป็นสีดำ นูนพอเหมาะ ปราศจากเลือดบริเวณรอบตา และตาดำไม่ขุ่นมัว

6. บริเวณท้องไม่บวมหรือแตก

7. เยื่อบุผนังท้อง (peritoneum) และก้างปลาไม่หลุดออกจากเนื้อและอวัยวะภายใน

ลักษณะภายใน

เนื้อใส และสภาพการจัดเรียงตัวของกล้ามเนื้อชัดเจน ไม่เละหรือเปื่อยยุ่ย

2. การล้างทำความสะอาด

เมื่อรับวัตถุดิบมาแล้วก่อนทำการผลิตต้องมีการล้างทำความสะอาดปลาเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนต่างๆ เช่น โคลน ทราย และจุลินทรีย์ ที่อาจติดมากับปลาเพื่อป้องกันการปนเปื้อนในกระบวนการผลิต การล้างควรควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 10 องศาเซลเซียส และเก็บในภาชนะที่สะอาดรอการผลิตในขั้นตอนต่อไป (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549 : 13)

3. การตัดหัวและควักไส้

เป็นขั้นตอนที่ส่วนมากมักจะอาศัยแรงงานคน แต่สามารถใช้เครื่องตัดหัวและควักไส้ได้ในกรณีที่ปลามีขนาดใกล้เคียงกัน โดยควรทำอย่างรวดเร็วหลังจากพ้นระยะของการเกร็งตัว (rigor mortis) แล้ว สาเหตุที่ต้องมีการตัดหัวควักไส้เพื่อกำจัดส่วนของไขมันสะสม (depot fat) ที่มีอยู่ในส่วนหัวและลำไส้ ซึ่งจะสลายตัวออกมาระหว่างการเก็บรักษา ทำให้ความเหนียวลดลงและเอนไซม์ที่อยู่ในลำไส้ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการย่อยโปรตีนและทำให้เนื้อปลาบดมีสีคล้ำ เมื่อตัดหัวและควักไส้แล้ว ควรล้างทำความสะอาดปลาด้วยน้ำเย็นอุณหภูมิ 2 ถึง 5 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อน เช่น เศษอวัยวะ เลือด และเอนไซม์จากทางเดินอาหารซึ่งอาจปนเปื้อนออกมาได้ (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549 : 15)

4. การแยกเนื้อปลา

ปัจจัยสำคัญในการแยกเนื้อปลาบด คือการเลือกขนาดรูของลูกกลิ้งทรงกระบอกของเครื่องแยกเนื้อปลา (deboner) ซึ่งอาจจะมีขนาดตั้งแต่ 1 ถึง 5 มิลลิเมตร ปลาที่ตัดหัวและควักไส้แล้วจะถูกส่งเข้าไปอยู่ในช่องระหว่างสายพานและลูกกลิ้งทรงกระบอก เนื้อจะผ่านรูของลูกกลิ้งมาอยู่ส่วนในของลูกกลิ้งขณะที่หนังและก้างปลาจะติดสายพานออกมาอีกทางหนึ่ง ขนาดของรูจะกำหนดปริมาณเนื้อปลาที่ได้ ขนาดรู 3 ถึง 4 มิลลิเมตร ให้ปริมาณเนื้อปลาสูงที่สุด ขนาดที่เล็กเกินไป (1 ถึง 2 มิลลิเมตร) จะทำให้เกิดการสูญเสียมากในช่วงการล้างเนื่องจากเนื้อปลาบดมีขนาดละเอียด ส่วนการใช้ลูกกลิ้งขนาด 4 ถึง 5 มิลลิเมตร จะให้เนื้อปลาที่หยาบกว่าทำให้ได้ผลผลิตมากกว่า แต่สีของเนื้อปลาบดหลังจากการล้างจะคล้ำกว่า เนื่องจากการล้างไม่ทั่วถึงเท่าชิ้นเนื้อที่มีขนาดเล็ก และสิ่งที่ต้องระวัง คือระดับความดันภายในเครื่อง

ในการกดเนื้อปลาผ่านรูของลูกกลิ้ง ซึ่งถ้าแรงกดมากจะทำให้เนื้อปลาออกมามาก ผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 2 ถึง 3 แต่จะทำให้คุณภาพต่ำลง เนื่องจากมีกระดูกและหนังปนออกมาด้วย

การแยกเนื้อปลาควรทำ 2 ครั้งโดยการบีบอัดครั้งแรกใช้ความดันต่ำจะได้เนื้อปลาที่มีสีขาวและจะมีคุณภาพดี ในการบีบครั้งที่ 2 จะใช้ความดันเพิ่มขึ้นอีก เนื้อปลาที่ได้จะมีสีคล้ำกว่าและให้คุณภาพต่ำกว่า ชิ้นปลาที่ป้อนเข้าสู่เครื่องแยกเนื้อปลาอาจเป็นชิ้นปลาที่ได้จากขั้นตอนการแล่ หรือปลาที่ผ่านการตัดหัวและควักไส้ สำหรับชิ้นปลาที่มีหนังติดอยู่ควรป้อนปลาในลักษณะที่ทำให้ส่วนที่เป็นด้านของเนื้อปลาสัมผัสกับผิวหน้าของลูกกลิ้งซึ่งทำให้การแยกเนื้อปลามีประสิทธิภาพมากขึ้นเนื่องจากส่วนของหนังปลาจะไม่กีดขวางการอัดเนื้อปลาผ่านรูบนลูกกลิ้งและมีผลให้ได้เนื้อปลาบดที่มีคุณภาพ (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549 : 19)

ในกระบวนการผลิตในระหว่างการแยกเนื้อปลาบด สิ่งปนเปื้อนต่างๆ เช่น ก้อนเลือด และเศษก้างปลาที่มีขนาดเล็กจะสามารถผ่านรูของลูกกลิ้งทรงกระบอกและผสมกับเนื้อปลาบด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ต้องการเพิ่มผลผลิตเนื้อปลาบดโดยการปรับความดันที่กดชิ้นปลาให้มีค่าสูง แม้ว่าการปนเปื้อนของสิ่งต่างๆ ดังกล่าวมีผลให้คุณภาพของลดลง แต่ในทางปฏิบัติก็มักจะยอมให้มีการปนเปื้อนสิ่งดังกล่าวในเนื้อปลาบดระดับหนึ่ง เนื่องจากสามารถแยกสิ่งปนเปื้อนเหล่านั้นออกจากเนื้อปลาบดได้ในขั้นตอนการผลิตถัดไป สำหรับเลือดปลาเนื่องจากสามารถถูกออกซิไดซ์ได้อย่างรวดเร็วเมื่อสัมผัสกับอากาศและมีผลให้สีของเนื้อปลาบดเปลี่ยนแปลง ประกอบกับไม่สามารถหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนของเลือดปลาในเนื้อปลาบดได้ ด้วยเหตุนี้เนื้อปลาบดที่แยกได้จึงต้องแช่ในน้ำเย็นทันทีที่ออกจากเครื่องแยกเนื้อปลา และเนื่องจากการล้างเนื้อปลาบดในขั้นตอนถัดไปจะต้องใช้อัตราส่วนระหว่างเนื้อปลาต่อน้ำที่แน่นอน โดยปริมาณน้ำที่ใช้ล้างตลอดจนจำนวนครั้งที่ล้างจะถูกกำหนดโดยชนิดและสภาพของปลาที่ใช้ ดังนั้นถังที่ใช้รับเนื้อปลาบดจากเครื่องแยกเนื้อปลาจึงอาจออกแบบเพื่อให้ทำหน้าที่ปรับอัตราส่วนระหว่างเนื้อปลาบดต่อน้ำเย็นไปด้วย (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549 : 22-23)

5. การล้างเนื้อปลา

เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอีกขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการผลิตโดยมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ คือ การกำจัดไขมัน องค์ประกอบทางเคมีที่ละลายน้ำได้ และกลิ่นคาวออกจากเนื้อปลาบด ประสิทธิภาพของการล้างขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น วิธีการล้าง อัตราส่วนระหว่างเนื้อปลาบดต่อน้ำที่ใช้ล้าง จำนวนครั้งที่ล้าง และคุณภาพของน้ำ อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ล้างเนื้อปลาที่นิยมใช้ในวงการอุตสาหกรรมทั่วไป คือ อัตราส่วนของน้ำต่อเนื้อปลา เท่ากับ 3 ต่อ 1 หรือ 4 ต่อ 1 โดยการควบคุมอุณหภูมิของน้ำประมาณ 5 ถึง 10 องศาเซลเซียส การกวนในระหว่าง

การล้างจะช่วยให้การล้างเนื้อปลาบดมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เนื่องจากมีผลให้เกิดการแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากเนื้อปลาบด โดยเฉพาะการแยกไขมันและน้ำมันออกจากเนื้อปลาบด ขณะเดียวกันจะช่วยให้สิ่งดังกล่าวลอยขึ้นสู่ผิวหน้า น้ำที่ใช้ล้างจะทำหน้าที่สกัดองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ออกจากเนื้อปลาบด โดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรตีนซาร์โคพลาสมิก ซึ่งจะไปขัดขวางการเกิดของเจลซูริมิ (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549 : 22-23)

การแยกโปรตีนชนิดนี้ออกไปจึงมีผลให้ปริมาณโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ที่จำเป็นต่อการเกิดเจลมีสัดส่วนเพิ่มขึ้น จำนวนครั้งที่ใช้ในการล้างเนื้อปลาประมาณ 3 ถึง 5 ครั้ง ขึ้นอยู่กับชนิดของปลา ชนิดของเครื่องมือ ความสดของปลา คุณภาพของที่ต้องการ และประสิทธิภาพของการล้าง (จิรวัฒน์ ยงสวัสดิกุล, 2541 : 245)

กระบวนการล้างเนื้อปลาบด นิยมล้างด้วยน้ำเย็นอุณหภูมิ 5 – 10 องศาเซลเซียสหรือล้างด้วยน้ำเกลือเย็นความเข้มข้นร้อยละ 0.2 – 2.3 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนของเนื้อปลาบดต่อน้ำประมาณ 1 ต่อ 4 และทำการล้างจำนวน 2 – 3 ครั้ง การล้างช่วยปรับปรุงความสามารถในการเกิดเจลทำให้เนื้อปลามีความขาวขึ้น และยังช่วยกำจัดกลิ่นที่ไม่ดี การล้างเป็นจำนวนหลายๆ ครั้งจะมีผลทำให้คุณภาพของซูริมิดีขึ้น แต่ก็มีผลทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักได้ถึงร้อยละ 30 – 50 (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549 : 25)

ประโยชน์ของการล้างเนื้อปลาบด (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549 : 22) มีดังนี้

1. สามารถปรับปรุงความสามารถในการเกิดเจล (gel forming ability)

2. สามารถยับยั้งการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนจากการแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีสาเหตุมาจากเกลือและสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำ เมื่อมีความเข้มข้นสูงขึ้นน้ำในเซลล์จะเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็งส่งผลต่อค่าความแรงของอิออน และค่าความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน

3. ปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของซูริมิ ทำให้มีเนื้อสัมผัสที่เหนียวและแข็งแรงมากขึ้น

4. ลดปริมาณเอนไซม์โปรติเอสในกล้ามเนื้อปลา กระบวนการล้างและกำจัดน้ำของซูริมิ สามารถกำจัดเอนไซม์โปรติเอสได้ในระหว่างกระบวนการแปรรูปประมาณร้อยละ 83 ในการผลิตซูริมิจากปลาแปซิฟิคไวทิ้ง โดยใช้สัดส่วนของเนื้อปลาบดต่อน้ำล้างเท่ากับ 1 ต่อ 3

5. ลดกลิ่นคาวปลาในเนื้อปลาบด การล้างเนื้อปลาบดสามารถลดปริมาณสารต่างๆ ที่ก่อให้เกิดกลิ่นคาวหรือกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ออกจากเนื้อปลาได้ มีผลทำให้เกิดการยอมรับในผลิตภัณฑ์มากขึ้น

6. ปรับปรุงสีของซูริมิ การล้างมีผลในการลดลีของเนื้อปลาบด โดยพบว่าการล้างจำนวนครั้งที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้สีมีการยอมรับมากขึ้น อย่างไรก็ตามการล้างด้วยจำนวนครั้งที่มากขึ้นมีผลทำให้เนื้อปลาบดมีการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้นและมีผลให้การย่อยสลายของโปรตีนไมโอไฟบริลเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้การบีบน้ำยากขึ้น ตลอดจนมีผลให้ความสามารถในการเกิดเจลลดลง

หวัง (Wang et al., 2013 :) ทำการวิจัยอิทธิพลของน้ำ และน้ำเกลือในกระบวนการล้าง ซูริมิจากปลาคาร์พ พบว่าน้ำ และน้ำเกลือที่ใช้ล้างสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของเจลซูริมิ ในขณะที่ความเป็นด่างจะช่วยลดไขมันได้ ซึ่งการล้างทั้งหมด 3 ครั้งสามารถปรับปรุงคุณสมบัติการอุ้มน้ำ (WHC) ได้ โดยน้ำเกลือจะช่วยการอุ้มน้ำที่ดีที่สุด ส่วนวิธีการล้างที่ดี คือ สองครั้งแรกล้างด้วยน้ำและน้ำเกลือ ส่วนครั้งที่ 3 ล้างด้วยน้ำ สามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของเจลซูริมิได้ดีขึ้น

สุธีรา ขันทพันธ์ และ อมราภรณ์ แก้วชะฎา (2556 :42) ได้ศึกษาระยะเวลาของการกวนระหว่างการล้างต่อประสิทธิภาพการล้าง พบว่า ความเข้มข้นของโปรตีนจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการกวนมากขึ้น การกวนเพียง 9 นาที ก็เพียงพอสำหรับการล้างเนื้อปลาบดในแต่ละครั้ง สำหรับอัตราส่วนของน้ำล้างต่อเนื้อปลา พบว่า อัตราส่วน 3 ต่อ 1 และ 4 ต่อ 1 เพียงพอสำหรับการล้างการล้างเนื้อปลาบด เพื่อกำจัดโปรตีนที่ละลายน้ำได้ เลือด เอนไซม์ ออกจากโปรตีนไมโอ ไฟบริล และเพื่อแยกไขมัน หนัง สิ่งเจือปน กลิ่นที่ไม่ดี ช่วยปรับปรุงความสามารถในการเกิดเจลทำให้เนื้อปลาบด มีความขาวขึ้น โดยใช้อัตราส่วนของเนื้อปลาต่อน้ำประมาณ 1 ต่อ 4 ล้าง 2 ถึง 3 ครั้ง อาจใช้น้ำเกลือเย็นความเข้มข้นร้อยละ 0.2-0.3 โดยน้ำหนัก ในการล้างครั้งสุดท้ายเพื่อช่วยให้การขจัดน้ำมีประสิทธิภาพดีขึ้น คุณภาพของน้ำล้างมีมาตรฐานระดับน้ำบริโภค ควรมีค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ประมาณ 7 และควรมีความกระด้าง (water hardness) ในรูปของเกลือแคลเซียมคาร์บอเนตประมาณ 100 ส่วนในล้านส่วน ไม่ควรนำน้ำล้างกลับมาใช้อีกยกเว้นว่ามีการควบคุมคุณภาพทางจุลินทรีย์อย่างเหมาะสม ควรทำให้เนื้อปลา บดกระจายตัวในน้ำล้างอย่างสม่ำเสมออุณหภูมิของ น้ำล้างอยู่ที่ 10 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า เพื่อควบคุมการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ก่อโรคและป้องกันการย่อยสลายจากเอนไซม์โปรตีเอส

6. การคัดแยกสิ่งปลอมปนในเนื้อปลา

หลังจากผ่านการล้างน้ำแล้วจะผ่านขั้นตอนการกำจัดเศษก้าง เกล็ด อวัยวะภายใน และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่เหลือออก โดยก่อนที่จะเข้ารีไฟเนอร์จะผ่านตะแกรงที่หมุนเหวี่ยง (rotary screen) ก่อนเพื่อกำจัดน้ำออกไปบางส่วนจนมีน้ำเหลือประมาณร้อยละ 87 ถึง 90 แล้วจึง ผ่านรีไฟเนอร์ ทำให้เศษก้างชิ้นเล็กๆ เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เยื่อบุช่องท้องที่มีสีดำถูกกำจัดออกไป (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549 : 33)

7. การกำจัดน้ำออกจากเนื้อปลาบด

เนื้อปลาบดที่ผ่านขั้นตอนของการล้างน้ำนั้นจะต้องมีการกำจัดน้ำออกให้เหลือความชื้นในเนื้อปลาบดประมาณร้อยละ 80 – 85 ในขั้นตอนนี้จะใช้แรงบีบอัดด้วยเครื่องโดยระบบไฮดรอลิก หรือแบบเกลียว (hydraulic หรือ screw press) หรือแบบการใช้แรงหมุนเหวี่ยง (centrifuge) (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549 : 34)

โกศล เลิศวิทยานนท์ และคณะ (Kosol Lertwittayanon et at., 2013 : 1) ได้ศึกษากระบวนการล้างในการผลิตซูริมิ เพื่อกำจัดสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ที่เป็นส่วนประกอบในเนื้อปลาบดทำให้กล้ามเนื้อโปรตีนมีความเข้มข้นขึ้น แต่การกำจัดน้ำออก (dewatering) จะมีประสิทธิภาพน้อยสำหรับปลาบางชนิด ดังนั้นการใช้เกลือในปริมาณที่เหมาะสมจะสามารถเพิ่มการกำจัดน้ำออกได้ และพร้อมกับปรับปรุงคุณสมบัติการเกิดเจลของซูริมิด้วย ผลของการใช้โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.45 แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) หรือ แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ล้างจำนวน 3 ครั้ง จะช่วยเพิ่มความสามารถในการเกิดเจลซูริมิจากปลาสากหางเหลือง และการกำจัดน้ำออกได้

8. การบดและการผสม

ขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการผสมสารป้องกันโปรตีนเสื่อมสภาพจากการแช่แข็งให้เป็นเนื้อเดียวกันกับเนื้อปลาบด การทำงานของเครื่องมือผสมยังช่วยให้โครงสร้างของเซลล์กล้ามเนื้อแยกหลุดจากกัน ซึ่งมีผลต่อการนวดเพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำให้สามารถสกัดโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือสะดวกขึ้น และทำให้สารป้องกันโปรตีนเสื่อมสภาพจากการแช่แข็งกระจายตัวเข้าสู่โมเลกุลโปรตีนของซูริมิดียิ่งขึ้น อุณหภูมิของเนื้อปลาบดในระหว่างการสับผสมไม่ควรเกิน 10 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นมาตรฐานในการผลิตซูริมิจากปลาอลาสก้าพอลลอค และไม่เกิน 16 องศาเซลเซียส ถ้าผลิตจากปลาแมคเคอเรล อุณหภูมิของเนื้อปลาในระหว่างการสับผสมที่ยอมได้สูงสุดขึ้นกับความคงทนต่อความร้อนของแอคโตไมโอซินและขึ้นกับอุณหภูมิของตัวปลาและแหล่งน้ำที่ปลาอาศัย (เปรมวดี เทพวงศ์ และคณะ, 2548, มกราคม-กุมภาพันธ์)

2. ผลิตภัณฑ์ซูริมิ

ซูริมิ (surimi) หมายถึง เนื้อปลาบดที่ผ่านการแยกก้างออกแล้วล้างด้วยน้ำเพื่อขจัดไขมันและองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่โปรตีนที่ละลายน้ำได้ออกไป จากนั้นกำจัดน้ำบางส่วนออกผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจนำไปทำผลิตภัณฑ์ทันทีหรือผสมสารเจือปนอาหารเช่น น้ำตาลทราย ซอร์บิทอล พอลิฟอสเฟต ร้อยละ 0.2 – 0.3 แล้วเก็บไว้ในรูปผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งเพื่อแปรรูปต่อไป (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549 : 35)

ผลิตภัณฑ์จากซูริมิ (surimi based products) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำซูริมิแช่เยือกแข็งที่ผ่านการทำละลายอย่างไม่สมบูรณ์ (tempering) หรือซูริมิสดสับผสมกับเกลือในปริมาณที่เหมาะเพื่อละลายโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์พร้อมๆ กับการเติมส่วนผสมอื่นๆ ที่ต้องการ เช่น แป้ง ไข่ขาว ผงชูรส และสารให้กลิ่นรส (จิรวัฒน์ ยงสวัสดิกุล, 2541 : 245)

ซูริมิ เป็นผลิตภัณฑ์เนื้อปลาบดที่ผ่านการล้างด้วยน้ำและน้ำเกลือ เพื่อขจัดไขมัน เลือด โปรตีนที่ละลายน้ำได้ เม็ดสี และเอนไซม์ เหลือแต่โปรตีนไมโครไฟบริลลาร์ (microfibrillar protein) ซึ่งเป็นโปรตีนที่ทำให้เนื้อปลามีคุณสมบัติในการเกิดเจล หลังจากนั้นนำมาบีบน้ำออกจนกระทั่งเนื้อปลามีความชื้นไม่เกินร้อยละ 80 เนื้อปลาที่ได้จะผ่านเครื่องกรองเพื่อกำจัดก้าง เกล็ด หนัง และเยื่อบุท้อง นำมาบดผสมกับสารป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน เช่น ฟอสเฟต ซอร์บิทอล ทั้งนี้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาโดยการแช่แข็งให้นาน (จิรวัฒน์ ยงสวัสดิกุล, 2541 : 245)

กระบวนการในการผลิตซูริมิเริ่มจากการตัดหัว ควักไส้ และแยกเนื้อออกจากกระดูกในลักษณะเนื้อปลาบด ล้างเนื้อปลาด้วยน้ำ กำจัดน้ำและสิ่งแปลกปลอม แล้วผสมกับสารป้องกันการสูญเสียสภาพของโปรตีนระหว่างการแช่เยือกแข็งก่อนนำไปแช่เยือกแข็งและบรรจุ

การแยกเนื้อปลา ปลามีเนื้อที่อ่อนนุ่ม ดังนั้นจึงสามารถแยกเนื้อปลาออกจากกระดูกได้ง่ายกว่าสัตว์ชนิดอื่นๆ แต่เนื่องจากปลาที่ใช้ในการผลิตมีจำนวนมากและมีขนาดเล็ก จึงจำเป็นต้องใช้แรงงานคนและเสียค่าใช้จ่ายมาก จึงนิยมใช้เครื่องจักรในการแยกเนื้อ

การล้าง สามารถกำจัดโปรตีนที่ละลายน้ำ และองค์ประกอบที่ไม่ต้องการออกไป เช่น เลือด ไขมัน รวมทั้งเอนไซม์ต่างๆ ดังนั้นการล้างเนื้อปลาบด จึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการผลิตซูริมิ

ขั้นตอนการเกิดเจลระหว่างการให้ความร้อน ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ (Suzuki กล่าวถึงใน วุฒิพจน์ ศุภวิริยากร, 2553 : 5-6) ดังนี้

1. โครงสร้างโมเลกุลกล้ามเนื้อของปลาจะถูกทำลายระหว่างการแยกเนื้อและการบดผสม เมื่อเติมเกลือในเนื้อปลา อิออนของเกลือที่จับโมเลกุลน้ำจะถูกดูดซับบริเวณผิวหน้าของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ ส่งผลให้ความสามารถในการจับน้ำเพิ่มขึ้น การละลายของโปรตีนดังกล่าวส่งผลต่อความหนืดของเนื้อปลา

2. เมื่อมีการเก็บเนื้อปลาบดที่ผสมเกลือแล้วที่อุณหภูมิต่ำ โปรตีนจะคลายตัวเล็กน้อยส่งผลให้กรดอะมิโนที่ไม่ชอบน้ำสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลข้างเคียง ปฏิกิริยาดังกล่าวก่อให้เกิดเจล ถ้าเซ็ทตัวที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และใช้เวลาเพียงพอ พันธะไดซัลไฟด์จะเกิดขึ้นโดยเชื่อมระหว่างโมเลกุล ซีสเตอีน นอกจากนี้พันธะโควาเลนท์ชนิดอื่นอาจเกิดขึ้นที่

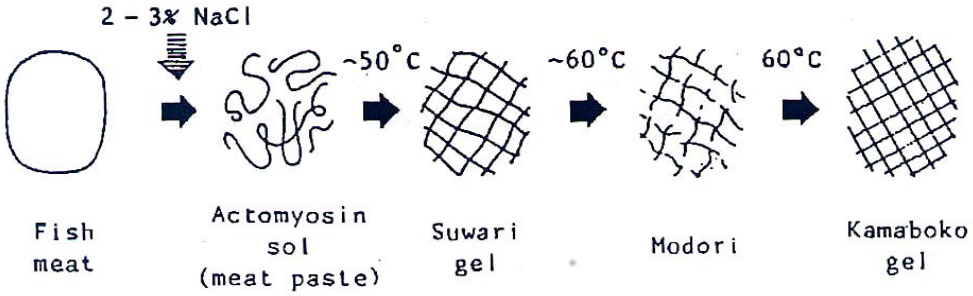
อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นการเซ็ทตัวของเจล จึงประกอบด้วยการกระจายตัวของโปรตีน โปรตีนดังกล่าวสามารถจับน้ำได้สูง เจลที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ยังคงมีลักษณะคล้ายโซล คือ มีลักษณะขุ่น และค่อนข้างยืดหยุ่น

3. เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในระหว่างการให้ความร้อน จะเกิดการออกซิเดชั่นของหมู่ซัลไฮดริลและการเกิดพันธะไดซัลไฟด์จะเพิ่มขึ้น ไมโอซินจะคลายตัวส่งผลให้มีหมู่อะมิโนที่ไม่ชอบน้ำที่เป็นอิสระมากขึ้นก่อให้เกิดพันธะไฮโดรโฟบิคเพิ่มขึ้น การรวมตัวของโปรตีนในเมตริกซ์ของเจลมีความสม่ำเสมอเพิ่มขึ้น ดังนั้น ความแข็งแรงของเจลจะเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดและเจลมีความขาวขึ้น

4. การให้ความร้อนกับโปรตีนจากปลาที่อุณหภูมิสูง (80 องศาเซลเซียส) จะให้เจลที่มีความแข็งแรงน้อยกว่าการปล่อยให้เจลเซทตัวที่อุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลาอันสั้นก่อนการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น

5. การทำให้เจลเย็นลงภายหลังการให้ความร้อน ส่งผลให้เกิดพันธะไฮโดรเจน ซึ่งจะเพิ่มความแข็งแรงและความเหนียวให้กับผลิตภัณฑ์ โดยโครงสร้างแบบเกลียวแอลฟาอาจเกิดขึ้นใหม่ ขณะเดียวกันโครงสร้างชนิดเบต้าพลีทเตทชีท จะเกิดขึ้นระหว่างโซ่ของโปรตีนในขณะให้ความร้อน โมเลกุลของน้ำบางส่วนถูกกักไว้ในโครงข่ายของเจล ทำให้เจลที่ได้มีสีขาว เนื้อปลาที่สับผสมกับส่วนต่างๆ แล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ คือ ความเหนียว (gel strength) ตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป

อุณหภูมิมีส่วนสำคัญในการควบคุมความเหนียวอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง ดังภาพที่ 2.1 (Suzuki กล่าวถึงใน วุฒิพจน์ ศุภวิริยากร, 2553 : 5-6) ได้อธิบายขั้นตอนการเกิดเจลดังนี้



ภาพที่ 2.1 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของโซลในระยะต่าง ๆ ขณะให้ความร้อน
ที่มา : (Suzuki กล่าวถึงใน วุฒิพจน์ ศุภวิริยากร, 2553 : 5)

5.1 ซูวาริ (suwari) คือ เจลที่เกิดจากการเซทตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้โปรตีนตกตะกอน (coagulation temperature) ซึ่งอยู่ที่ประมาณ 40-50 องศาเซลเซียส แอคโตไมโอซินในเนื้อปลาจะจับกับน้ำและเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของโปรตีนเกิดโครงร่างตาข่าย (network) อย่างหลวม ๆ มีการกักน้ำอยู่ภายในร่างแห ซึ่งจะทำให้เกิดโครงสร้างใหม่ของแอคโตไมโอซินเป็นผลให้เนื้อปลาบดมีลักษณะแข็งตัวขึ้น เรียกปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ว่า setting หรือ suwari ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอนตามระดับอุณหภูมิดังนี้

5.1.1 การเซ็ทตัวที่อุณหภูมิต่ำ (low temperature setting) คือ การเก็บซูริมิไว้ที่อุณหภูมิ 5 ถึง 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ถึง 24 ชั่วโมง การเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำๆ จะสามารถเกิดได้อย่างช้าๆ ให้ลักษณะเจลที่ใสและยืดหยุ่น เนื่องจากมีการสร้างพันธะไฮโดรเจนของโมเลกุลน้ำภายในโครงร่างตาข่ายเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น

5.1.2 การเซ็ทตัวที่อุณหภูมิสูง (high temperature setting) คือ การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30 ถึง 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 ถึง 90 นาที เกิดเป็นเจลค่อนข้างขุ่น และมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น การเซ็ทตัวของโปรตีนแตกต่างกันตามชนิดของปลา ทั้งนี้เกิดจากความแตกต่างของโมเลกุลไมโอซิน และความแตกต่างในความสามารถการเกิดโครงข่ายของโปรตีน

5.2 โมโดริ (modori) หรือการอ่อนตัวของเจล (gel-weakening) เมื่อให้ความร้อนแก่ซูริมิจนอุณหภูมิสูงกว่า 45 ถึง 50 องศาเซลเซียส โครงสร้างบางส่วนของซูวาริถูกทำลายส่งผลให้เจลมีความอ่อนตัว ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า โมโดริ ปรากฏการณ์ดังกล่าวขึ้นอยู่กับชนิดของปลา กลไกการเกิดโมโดริมีสาเหตุจากเอนไซม์โปรติเนส ซึ่งมีอยู่ในกล้ามเนื้อของปลาหรือโปรติเนสที่พบในส่วนของซาร์โคพลาสมิก ซึ่งสามารถชะล้างออกไปบางส่วนระหว่างการล้างเนื้อปลาบด เอนไซม์โปรติเอสสามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้เกิดการย่อยสลายของโปรตีนกล้ามเนื้อ นอกจากนี้เอนไซม์คาเธปซิน ซึ่งพบมากในปลาบางชนิด เช่น Pacific whiting มีผลต่อการเกิดโมโดริ

5.3 คามาโบโกะ (kamaboko gel) เจลซึ่งเกิดจากโครงสร้างโปรตีนที่มีการจับเรียงตัวอย่างมีระเบียบ สามารถเกิดขึ้นเมื่อให้ความร้อนต่อโซล ณ อุณหภูมิสูงกว่า 60 ถึง 70 องศาเซลเซียส จะทำให้โครงสร้างโมเลกุลแอคโตไมโอซิน และโปรตีนชนิดอื่นๆ แข็งตัว ซึ่งพันธะที่เกิดขึ้นในช่วงนี้จะเป็นพันธะไฮโดรโฟบิคและพันธะไดซัลไฟด์เป็นส่วนใหญ่ ทำให้โครงสร้างตาข่ายมีความแข็งแรงมาก เจลมีลักษณะทึบและเสถียรมากขึ้น และความเหนียวหลังจากช่วงนี้เสร็จสิ้นแล้วจะไม่เกิดเปลี่ยนแปลง

การเกิดพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างโมเลกุลโปรตีนโดยผ่านกระบวนการ S-S interchange หรือ SH-SS-interchange มีผลต่อการเกิดโครงข่ายของเจล การเกิดปฏิกิริยาระหว่าง

โปรตีนในช่วงอุณหภูมิ 50 ถึง 80 องศาเซลเซียส เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลส่วนหัว (head-head type) เนื่องจากส่วนหัวของไมโอซินประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดไฮโดรโฟบิคจำนวนมาก และสามารถถูกปล่อยระหว่างการให้ความร้อน (Chan และคณะ กล่าวถึงใน สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549 : 117)

ดังนั้น พันธะไฮโดรโฟบิคอาจจะมีส่วนต่อการจับเรียงตัวของบริเวณส่วนหัวเข้าด้วยกัน (head portion aggregation) การเกิดเจลของไมโอซินเกิดจากการเกิดพันธะไดซัลไฟด์ของส่วนหัวในช่วงอุณหภูมิ 30 ถึง 40 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่วนหางจะเกิดการคลายตัวของเกลียวแอลฟา (helix-coil transition) และเกิดการจับเรียงตัวโดยพันธะชนิดที่ไม่ใช่พันธะไดซัลไฟด์เกิดเป็นโครงข่ายของเจล อย่างไรก็ตาม การจับเรียงตัวของไมโอซินระหว่างการให้ความร้อนเกิดจากการคลายตัวของส่วนหาง heavy meromyosin (HMM) และ light meromyosin (LMM) ส่งผลให้กรดอะมิโนชนิดไฮโดรโฟบิคปลดปล่อยออกมา และเกิดปฏิกิริยาซึ่งกันและกันโดยพันธะไฮโดรโฟบิค ดังนั้น การจับเรียงตัวเกิดจากส่วนหางมากกว่าส่วนหัว (Park กล่าวถึงใน สุญาณีพร ตุลยพงศ์รักษ์, 2551 : 19-20)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจล (จักรี ทองเรือง อ้างถึงใน สุญาณีพร ตุลยพงศ์รักษ์, 2551 : 15-16) มีดังต่อไปนี้

1. โปรตีนของเนื้อปลา

โปรตีนในเนื้อปลาสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ (myofibril proteins) โปรตีนซาร์โคพลาสมิก (sarcoplasmic proteins) และโปรตีนสโตรมา (stroma proteins) โดยโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์มีปริมาณสูงถึงร้อยละ 40 ถึง 60 ของปริมาณโปรตีนทั้งหมด สำหรับโปรตีนซาร์โคพลาสมิกที่พบมากได้แก่ อัลบูมิน (albumins) ซึ่งมีปริมาณถึงร้อยละ 30 ของโปรตีนทั้งหมด อย่างไรก็ตามโปรตีนซาร์โคพลาสมิกที่พบมากในกล้ามเนื้อแดงอาจได้แก่ ฮีโมโปรตีน (haemoproteins) ขณะที่โปรตีนสโตรมาซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ คอลลาเจน (collagen) เป็นโปรตีนที่พบในกล้ามเนื้อปลาน้อยมาก

โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ที่พบในปลาทั่วๆ ไป คือ ไมโอซิน (myosin) แอกติน (actin) โทรโป-ไมโอซิน (tropomyosin) และโทรโปนิน (troponin) โทรโปนินชนิด C โทรโปนินชนิด I และโทรโปนิน ชนิด T โดยโปรตีนเหล่านี้ละลายได้ดีในสารละลายเกลือ จึงสามารถแยกออกจากเนื้อปลาบดได้โดยการล้างเนื้อปลาบด ด้วยสารละลายเกลือที่มีสภาพความเป็นกลาง และมีความแรงอิออนมากกว่า 300 มิลลิโมลาร์ (mM) อย่างไรก็ตามได้มีการศึกษาและพบว่าโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ของปลาสามารถละลายได้ในสารละลายที่มีความแรงอิออนต่ำ และในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด - ด่างต่ำหรือสูง

นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อนำโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์มาเชื่อมพันธะกับแอลจิเนตโอลิโก แซคคาไรด์ ทำให้โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ สามารถละลายได้ที่ความเข้มข้นของเกลือต่ำ และปรับปรุงคุณสมบัติเชิงหน้าที่อื่นๆ ได้ดีขึ้น ไมโอซินเป็นโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ที่พบในปริมาณมากที่สุด คือ ร้อยละ 50 ถึงร้อยละ 60 ของปริมาณโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ แอกตินเป็นโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ที่พบรองลงมาด้วยปริมาณร้อยละ 20 หน่วยย่อยของแอกติน คือ 16 จีแอกติน (G-actin) ซึ่งจับตัวกันเป็นเส้นใย (F-actin) สำหรับโปรตีนชนิดอื่นๆ ในที่อยู่กลุ่มของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์คือ โทรโปไมโอซิน และโทรโปนินมีอยู่ในปริมาณร้อยละ 10 ของโปรตีนชนิดนี้ โดยโปรตีนในกลุ่มซาร์โคพลาสมิกได้แก่ ไมโอโกลบิน (myoglobin) เอนไซม์ (enzyme) และโปรตีนอัลบลูมิน (albumin) ชนิดต่างๆ คุณสมบัติที่สำคัญของโปรตีนในกลุ่มนี้คือสามารถละลายได้ในน้ำ

สำหรับการกำจัดโปรตีนชนิดนี้ออกจากเนื้อปลาบด ซึ่งทำได้โดยการล้างในน้ำหรือในสารละลายของเกลือที่มีความแรงอิออนต่ำ โดยโปรตีนสโตรมาที่พบในกล้ามเนื้อปลาได้แก่ คอลลาเจน และอิลาสติน (elastin) ปริมาณของโปรตีนสโตรมาขึ้นอยู่กับชนิดของปลา อาหารที่ปลากิน และระยะการเจริญของปลา โดยทั่วไปปลาประกอบด้วยคอลลาเจน ร้อยละ 0.2 ถึง 2.2 สำหรับในปลาไม่พบว่าปริมาณของคอลลาเจนทำให้เนื้อสัมผัสของปลามีลักษณะเหนียวเช่นเดียวกับในเนื้อกุ้งหรือ เนื้อวัว

2. การแตกตัวของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์

การเกิดเจลของโปรตีนกล้ามเนื้อ ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์สามารถเกิดขึ้นได้ในสภาวะที่มีเกลือร้อยละ 2 ถึง 3 ภายใต้สภาวะดังกล่าวโปรตีนมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนและอิออน (โซเดียมและคลอไรด์อิออน) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าว (Xiong อ้างถึงใน สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549 : 113) ประกอบด้วย

2.1 การบวม (swelling) ของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ เนื่องจากแรงผลักของประจุระหว่างเส้นใยโปรตีน (myofilament)

2.2 การแยก (depolymerization) ของเส้นใยโปรตีน

2.3 การแยกของแอคตินจากไมโอซินหรือการแยกของแอคโตไมโอซินจากโครงสร้างโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์

การเติมเกลือมีผลไปละลายโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ในกล้ามเนื้อกลายเป็นโซล ซึ่งโซลจะเกิดขึ้นเมื่อสับผสมเนื้อปลากับเกลือร้อยละ 2 ถึง 3 ทำให้ไมโอซินที่ละลายสามารถรวมตัวกับแอคตินเกิดเป็นแอคโตไมโอซิน ไมโอซินและแอคโตไมโอซินมีบทบาทสำคัญต่อการเกิดเจลของซูริมิ สำหรับโทรโปนินและโทรโปไมโอซินนั้น ไม่มีผลต่อการเกิดเจลของแอคโต

ไมโอซิน อย่างไรก็ตามไมโอซินจัดเป็นโปรตีนที่มีความสำคัญที่สุดในการเกิดเจล เมื่อโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์จับกับน้ำจะได้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า เพสท์ (paste) เมื่อนำเพสท์ไปให้ความร้อนจึงเกิดการเปลี่ยนสภาวะเป็นเจล (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549 : 114)

ส่วนประกอบที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสหรือลักษณะของเจล ประกอบด้วย

1. ส่วนผสมที่ช่วยในการสกัดโปรตีนและสร้างโครงสร้างร่างแหโปรตีน

1.1 สารเพิ่มความสามารถในการสกัดโปรตีน (protein extraction enhancer) ได้แก่

1.1.1 เกลือแกง (NaCl) เป็นส่วนผสมที่จำเป็นในการเกิดเจลของซูริมิ ทั้งนี้เนื่องจากขั้นตอนแรกในการผลิตคามาโบโกะ คือการสกัดไมโอไฟบิลาโปรตีนซึ่งเป็นโปรตีนที่สามารถละลายในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ นอกจากนี้เกลือยังลดเสถียรภาพแรงดึงดูดทางประจุระหว่างโมเลกุลของโปรตีนไมโอไฟบริลลง ทำให้โปรตีนคลายตัวออกบางส่วน โดยเกลือทำหน้าที่เพิ่มแรงของอิออน (ionic strength) ของเนื้อปลาส่งผลต่อการละลายของแอคโตไมโอซิน ปริมาณของเกลือที่เติมเพื่อให้การละลายและการทำหน้าที่ของแอคโตไมโอซินสูงสุดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของปลา การเติมเกลือจะต้องควบคู่กับการกวนเพื่อเพิ่มการละลายของโปรตีน (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549 : 116) โดยอาศัยการสับผสมระหว่างเนื้อปลากับเกลือ จะได้เนื้อปลาที่มีลักษณะข้นหนืด (viscous batter) และเมื่อได้รับความร้อนจะให้เจลที่มีลักษณะยืดหยุน ความเข้มข้นของสารละลายเกลือที่เหมาะสมอยู่ในช่วงร้อยละ 2 ถึง 3 ของน้ำหนักซูริมิ (Suzuki กล่าวถึงใน วุฒิพจน์ ศุภวิริยากร, 2553 : 5) ความเข้มข้นของเกลือสูงเกินไปจะทำให้ความแข็งแรงของเจลต่ำลง โดยทั่วไปในทางการค้าใช้ความเข้มข้นของเกลือที่ร้อยละ 2.5 เป็นความเข้มข้นของเกลือต่ำสุดที่สามารถสกัดโปรตีนได้สูงสุด

1.1.2 ฟอสเฟต (phosphate) การใช้ฟอสเฟตทำให้มีการละลายของโปรตีนเพิ่มขึ้นเพราะมีการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอช (pH) และค่าความแรงไอออน (ionic strength) ความสามารถในการละลายของโปรตีนจะมีค่าต่ำสุดในช่วงไอโซอิเล็คทริคโซน (isoelectric zone) ที่ช่วง pH 5 ถึง 6 โดยจะได้เจลที่มีความแข็งแรงต่ำที่สุด และเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงของเจลจะเพิ่มขึ้น และเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำของเจล ประสิทธิภาพของฟอสเฟตที่เหมาะสมเมื่อใช้ฟอสเฟตร้อยละ 0.2 ถึง 0.3 ส่วนค่า pH ที่เหมาะสมคือ ช่วง pH 6.5 ถึง 7.5 ฟอสเฟตที่นิยม ได้แก่ โซเดียม ไพโรฟอสเฟต (sodium pyrophosphate) หรือโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (sodium tripolyphosphate) และเมื่อผสมโซเดียมไพโรฟอสเฟต และโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตในอัตราส่วน 6 ต่อ 4 จะให้ประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นมากกว่าการใช้โพลีฟอสเฟตชนิดใดชนิดหนึ่ง โดยการใช้สารทั้งสองชนิดรวมกันในปริมาณ ร้อยละ 0.1 ถึง 0.3 จะทำให้ความแข็งแรงของเจลดีที่สุด (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549 : 280)

1.2 สารที่ช่วยสร้างและเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างร่างแห (network-reinforcer) (Park กล่าวถึงใน สุญาณีพร ตุลยพงศ์รักษ์, 2551 : 23) มีดังนี้

1.2.1 เกลือแคลเซียม (calcium salt) การเติมแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ร้อยละ 0.05 ถึง 0.2 จะเร่งให้เกิดซูวาริ (suwari) เร็วขึ้นและมีการเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำ และเมื่อนำไปผ่าน กระบวนการให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์คามาโบโกะจะมีค่าความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น การที่เกลือของแคลเซียมไปเสริม สร้างให้เจลแข็งแรงขึ้น เนื่องจากมีการจับยึดกันระหว่างกลุ่มประจุลบของพอลิเปปไทด์ (polypeptide) กับแคลเซียมอิออน (Ca^{2+}) ซึ่งแคลเซียมอิออนมีผลในการเร่งกิจกรรมของเอนไซม์ทรานสกลูตามิเนสให้เกิดพันธะ ε-(γ-glutamyl) lysine ซึ่งสามารถเพิ่มความแข็งแรงของเจลได้โดยปริมาณของแคลเซียมอิออนที่เหมาะสมในการเร่งกิจกรรมของเอนไซม์ทรานสกลูตามิเนส คือ ร้อยละ 2 ถึง 5 มิลลิโมล

1.2.2 โซเดียมคลอไรด์ แอสคอร์เบท (sodium ascorbate)

1.2.3 กรดแอสคอร์บิกค (ascorbic acid)

1.2.4 ดีไฮโดรแอสคอร์เบท (dehydroascorbate) ใช้ในผลิตภัณฑ์ซูริมิที่ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่อผสมอยู่ในซูริมิ และได้รับความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (oxidation) ไดเป็นดีไฮโดรแอสคอร์เบท ซึ่งสารชนิดนี้จะไปทำปฏิกิริยากับหมู่ซัลไฮดริล (sulfhydryl group) เกิดพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) ระหว่างโมเลกุลของโปรตีน การใช้โซเดียมแอสคอร์เบทในระดับร้อยละ 0.1 ถึง 0.2 สามารถเพิ่มความแข็งแรงเจล แต่เมื่อใช้โซเดียมแอสคอร์เบทมากกว่าร้อยละ 0.2 จะขัดขวางการเกิดพันธะไดซัลไฟด์ ทำให้ความแข็งแรงเจลลดลง

2. ส่วนผสมที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเจล ได้แก่

2.1 ไข่ขาว (albumin) นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์หลายชนิด รูปแบบการใช้ไข่ขาวมีทั้งลักษณะผงแห้ง และไข่ขาวแช่เข็ง ปริมาณการใช้ ร้อยละ 3 ถึง 10 มีผลต่อการเพิ่มความแข็งแรงของเจล และให้เจลที่มีลักษณะขาว เป็นมันวาวมากขึ้น แต่ไข่ขาวจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีคล้ำ เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง โดยเฉพาะเมื่อใช้ในปริมาณสูง (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549 : 262)

2.2 กลูเตน (gluten) กลูเตนจากแป้งสาลี มีผลลดความแข็งแรงของเจลของผลิตภัณฑ์ชนิดขึ้นรูป (molded product) ตลอดจนลดความแน่นแข็ง (firmness) ของผลิตภัณฑ์เลียนแบบชนิดเส้นใย อย่างไรก็ตามกลูเตนสามารถป้องกันเจลซูริมิไม่ให้มีลักษณะเหนียวคล้ายยางมากเกินไปในระหว่างการเก็บรักษาในสภาพแช่แข็ง ปริมาณสูงสุดที่ใช้คือร้อยละ 2 โดยใช้ร่วมกับแป้งร้อยละ 6 ถ้าใช้ปริมาณมากกว่าร้อยละ 5 มีผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำและมีกลิ่นธัญพืช (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549 : 262)

2.3 แป้ง (starch) แป้งทำหน้าที่ปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้าย และเพื่อประโยชน์ทางการค้า เพื่อลดต้นทุนสำหรับการผลิต สัดส่วนของแป้งมีความสำคัญต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ การใช้แป้งในปริมาณสูงเกินไปเป็นสาเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเปราะและแตกหักง่าย นอกจากนี้การใช้แป้งเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัส หรือเป็นสารเพิ่มเนื้อเพื่อความคงตัวขณะแช่แข็งและละลาย (freezed-thaw stability) แป้งที่โดยทั่วไป เช่น แป้งสาลี แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพดเหนียว (waxy maize) และแป้งดัดแปร (modified starch) ในขั้นตอนระหว่างการให้ความร้อน แป้งจะมีดูดซับน้ำจากเนื้อปลาแล้วเกิดเจลาติไนซ์บางส่วน และจะไปแทรกตามช่องว่างของโครงสร้างโปรตีน มีผลให้โครงสร้างของเจลมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และแป้งจะทำหน้าที่เป็นสารดูดความชื้น (Humectant) และเพิ่มความคงตัวของเนื้อปลาบด ผลจากการเกิดเจลาติไนเซชันจะทำให้ปริมาณน้ำอิสระจะลดลง เม็ดแป้งจะฝังตัวในโปรตีนแมททริกสของซูริมิ การพองตัวของแป้ง จึงเสริมสร้างความแข็งแรงของเจลมากยิ่งขึ้น (packing effect) (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549 : 253)

แป้งที่มีปริมาณอะไมโลส (amylose) สูง เช่น แป้งขาวโพด แป้งสาลี และแป้งมันฝรั่ง จะให้เจลที่มีลักษณะขุ่นมัว เปราะแตกง่าย และแป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพคติน (amylopectin) สูง เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพดเหนียว จะให้เจลที่ใส เหนียว และเกาะติดกันดี ส่วนการใช้แป้งดัดแปรจะให้เจลที่ใส หรือไม่ใสแต่ไม่ทึบแสง (translucent) ความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดแป้ง ซึ่งแป้งมันฝรั่งมีความสามารถในการพองตัวสูงที่สุด รองลงมา คือ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพดเหนียว แป้งขาวโพด และแป้งสาลี ตามลำดับ ระดับของแป้งที่ใช้โดยทั่วไปอยู่ในช่วงร้อยละ 5 ถึง 8 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมากกว่าร้อยละ 8 ของซูริมิโดยน้ำหนักจะทำให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสที่ อ่อนและเหนียว กล่าวว่ากระบวนการเจลาติไนเซชันเกิดขึ้นในเนื้อปลาบด พอสรุปกลไก (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549 : 255-256) ได้ดังนี้

1) กระบวนการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งจะต้องเกิดขึ้นจากเม็ดแป้งเท่านั้น

2) ขณะเกิดกระบวนการเจลติไนซ์เม็ดแป้งจะดูดซับน้ำและมีลักษณะยืดหยุ่น มีผลต่อการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

3) เม็ดแป้งที่ผ่านกระบวนการเจลาติไนซ์จะมีความทนทานต่อแรงต่างๆ มากกว่าโปรตีนจากเนื้อปลา ส่งผลให้ความแข็งแรงของเจลของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

แป้งที่มีปริมาณอะไมโลส (amylose) สูง เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี และแป้งมันฝรั่งจะให้เจลที่มีลักษณะขุ่นมัวเปราะแตกง่าย และแป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพคติน (amylopectin) สูง เช่นแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพดเหนียว เป็นแป้งชนิดที่สกัดเอาเฉพาะคาร์โบไฮเดรตจะให้เจลที่ใส เหนียว และเกาะติดกันดี

มันสำปะหลัง (cassava) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* (L.) Crantz อยู่ในวงศ์ : *Euphorbiaceae* ชื่อสามัญ : Cassava, Tapioca มันสำปะหลังเป็นพืชอาหารที่สำคัญเป็นอันดับ 5 ของโลกรองจากข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว และมันฝรั่ง เป็นพืชอาหารของประเทศในเขตร้อนโดยเฉพาะประเทศต่างๆ ในทวีปอัฟริกา อเมริกาใต้ และเอเชีย โดยประเทศอินโดนีเซียและอินเดียมีการบริโภคมันสำปะหลังเป็นจำนวนมาก ปริมาณผลผลิตที่ได้ในแต่ละปีร้อยละ 60 ใช้เป็นอาหารของมนุษย์ ร้อยละ 27.5 ใช้ทำเป็นอาหารสัตว์ และร้อยละ 12.5 ใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ (กรมวิชาการเกษตร, 2557 :1)

ในประเทศไทยมันสำปะหลังเป็นพืชที่ทำรายได้ให้เกษตรกรมากเป็นอันดับที่ 4 รองจากยางพารา อ้อยและข้าว ผลผลิตมันสำปะหลัง ภายในประเทศนำไปใช้ทำมันเส้นและมันอัดเม็ด ร้อยละ 45 - 50 ใช้แปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลัง ร้อยละ 50 - 55 (กรมวิชาการเกษตร, 2557 :1)

การปลูกมันสำปะหลังในประเทศไทยมีทั่วประเทศ แต่ที่ปลูกเป็นการค้าจำนวนมากเพื่อส่งเข้าสู่โรงงานแปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลัง ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคกลางบางส่วน ประเทศไทย เป็นประเทศที่นำ มันสำปะหลังมาแปรรูปผลิตเป็นแป้งมากที่สุด และถือเป็นผู้ผลิตแป้งรายใหญ่ของโลก มีโรงงานทั่วประเทศทั้งหมด 90 โรง มันสำปะหลังมีองค์ประกอบที่สำคัญคือแป้ง ร้อยละ 70 – 85 จึงถือว่ามันสำปะหลังเป็นพืชที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ให้พลังงานที่สำคัญกับมนุษย์ (กรมวิชาการเกษตร, 2557 : 3)

ประเทศไทย เป็นประเทศที่ส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังออกมากที่สุดในโลก ประเทศที่ไทย ส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในรูปของมันอัดเม็ดไปขายมากที่สุดคือ ประเทศในกลุ่มประชาคมยุโรป (เนเธอร์แลนด์ สเปน เยอรมัน โปรตุเกส) เกาหลีใต้และญี่ปุ่น ส่วนในรูปของแป้งมันสำปะหลัง ประเทศญี่ปุ่นสั่งซื้อ มากที่สุด รองลงมาคือฮ่องกง สหรัฐอเมริกา มาเลเซีย สิงคโปร์ และไต้หวัน (กรมวิชาการเกษตร, 2557 : 6)

แป้งสาลี (wheat flour) เป็นอาหารที่สำคัญที่สุดชนิดหนึ่งของประชากรโลก แป้งสาลีทำจากเมล็ดข้าวสาลี มีลักษณะเป็นผงมีสีขาวเมื่อทำให้สุกจะมีลักษณะร่วนเหลว ไม่อยู่ตัวคุณภาพของแป้งสาลีขึ้นอยู่กับปริมาณโปรตีนในเมล็ดขาวสาลี ซึ่งทำให้ได้ลักษณะของขนมต่างๆ กัน การปลูกข้าวสาลี สามารถปลูกได้ในเขตพื้นที่อบอุ่นบริเวณเหนือ และใต้เส้นศูนย์สูตร ประเทศไทยพยายามมีการศึกษาการปลูกข้าวสาลีในพื้นที่ทางตอนเหนือที่มีอากาศหนาวแต่พบว่าให้ผลผลิตน้อย ไม่พอกับปริมาณความต้องการที่คนทั่วไปชอบบริโภค ดังนั้นประเทศไทยจึงต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศปีละหลายพันล้านบาท โดยเฉพาะการซื้อจากประเทศออสเตรเลีย ซึ่งประเทศไทยนำเข้าข้าวสาลีมากที่สุด (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532 : 36)

แป้งสาลี แบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ตามคุณสมบัติของแป้ง (อรอนงค์ นัยวิกุล , 2532 : 43) คือ

1. แป้งขนมปัง (bread flour) ทำจากข้าวสาลีชนิดหนัก มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 12-14 แป้งมีสีขาวนวล เมื่อสัมผัสผิวแป้งจะหยาบกว่าแป้งสาลีชนิดอื่น ปริมาณโปรตีนสูงทำให้แป้งขนมปังสามารถดูดน้ำได้มาก มีความยืดหยุ่น เหนียว เหมาะสำหรับการทำขนมปังปาท่องโก๋

2. แป้งอเนกประสงค์ (all purpose flour) ทำจากข้าวสาลีชนิดหมัก และชนิดเบาผสมรวมกัน มีโปรตีนร้อยละ 10-12 แป้งมีสีขาวนวล ลักษณะหยาบแต่น้อยกว่าแป้งขนมปัง ให้ความเหนียวพอควร แต่คุณภาพจะสู้แป้งขนมปังไม่ได้ ใช้ทำผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิดเช่น คุกกี้ พายปาท่องโก๋ เพสตรี และพิซซ่า เป็นต้น

3. แป้งเค้ก (cake flour) ทำจากข้าวสาลีชนิดเบา มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 7 - 9 สีขาวเนื้อแป้งละเอียด เมื่อนำมาผสมน้ำจะดูดซึมน้ำได้น้อยได้ก้อนแป้งที่เหนียวติด คือ เหมาะสำหรับทำเค้ก และคุกกี้

แป้งสาลี มีโปรตีนที่สำคัญสองชนิดที่รวมกันอยู่ในอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ กลูเตนิน (glutenin) และไกลอะดิน (gliadin) ซึ่งเมื่อนำแป้งสาลีมาผสมน้ำในอัตราส่วนที่ถูกต้อง จะทำให้เกิดกลูเตน (gluten) มีลักษณะเป็นยางเหนียว ยืดหยุ่นได้ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532 : 33)

ความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดแป้ง ซึ่งแป้งมันฝรั่งมีความสามารถในการพองตัวสูงที่สุด รองลงมาคือ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพดเหนียว แป้งข้าวโพด และแป้งสาลี ตามลำดับ ระดับของแป้งที่ใช้โดยทั่วไปอยู่ในช่วงร้อยละ 5 ถึง 8 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมากกว่า ร้อยละ 8 ของซูริมิโดยน้ำหนักจะทำให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสที่อ่อนและเหนียว (อรทัย เปี่ยมปรีดา และจิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร, 2546 : 22)

2.4 เอนไซม์ทรานสกลูตามิเนส (protein glutamine:amine γ-glutamyltransferase) (EC 2.3.3.13) เป็นเอนไซม์ที่สามารถกระตุ้นให้เอมีนปฐมภูมิกับโปรตีนหรือโพลีเปปไทด์รวมตัวกันผ่านปฏิกิริยาแทนที่แล้วมีผลให้เกิดพันธะโควาเลนท์ ε-(γ-glutamyl) lysine ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีผลให้โมเลกุลโปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลงและไดแอมโมเนียออกมาโดยเอนไซม์จะใช้หมู่ γ-caboxylamide บน glutaminyl residues ของโปรตีนเปนตัวให้หมูเอซิล (acyl) แกสารที่เปนตัวรับ โดยมีสารหลายชนิดที่สามารถเป็นตัวรับหมู่ดังกล่าวนี้ เช่น เอมีนปฐมภูมิของกรดอะมิโนอิสระ หรือ กรดอะมิโนไลซีน ของพันธะเปปไทดทั้งนี้การแสดงกิจกรรมของเอนไซม์จำเป็นต้องมีอนุมูลแคลเซียมอิออน (Ca^{2+}) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (เปรมวดี เทพวงศ์ และคณะ, 2549 : 103)

3. ผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลา

ลูกชิ้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมรับประทานกันมาก โดยลูกชิ้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีหลากหลายรูปแบบ เช่น ลูกชิ้นหมู ลูกชิ้นเนื้อ ลูกชิ้นปลาลูกชิ้นเอ็น เป็นต้น สามารถนำไปประกอบอาหารได้หลากหลายรูปแบบ

ลูกชิ้นเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเนื้อสัตว์ที่ผสมกับเครื่องเทศ เครื่องปรุงรส และวัตถุเจือปนอาหารอื่นๆ โดยการนำมาบดผสมกันอย่างละเอียดจนรวมเป็นเนื้อเดียวกันแล้วทำให้เป็นรูปร่างตามต้องการ ลวกเพื่อทำให้สุก

ลูกชิ้นปลาเป็นผลิตภัณฑ์จากกระบวนการทำให้เกิดสภาพเป็นอิมัลชัน โครงสร้างในระดับเส้นใยกล้ามเนื้อจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยไมโอซินจะถูกสกัดละลายออกมาจากเส้นใยกล้ามเนื้อ นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายทั้งในและต่างประเทศ ลูกชิ้นปลาที่ดีควรมีสีขาว ไม่มีกลิ่นคาว และมีเนื้อสัมผัสยืดหยุ่น แต่จากการสำรวจพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีขายในท้องตลาดทั่วไปมักมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอและมีเนื้อสัมผัสยุ่ย (อรทัย เปี่ยมปรีดา และจิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร, 2546 :1)

ลูกชิ้นปลา ในประเทศไทยมีการผลิตทั้งในระดับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ขนาดกลางและอุตสาหกรรมในครัวเรือน ทั้งเพื่อจำหน่ายภายในประเทศและส่งเป็นสินค้าออก โดยลูกชิ้นปลาเป็นผลิตภัณฑ์จากเนื้อปลาบด (minced fish) ลักษณะคุณภาพที่ดีของลูกชิ้นปลาควรมีสีขาว ไมมีกลิ่นคาวปลานุ่มและเนื้อสัมผัสต้องมีความยืดหยุ่น (elastic)

นอกจากนี้การใช้ซูริมิ (surimi) เป็นวัตถุดิบพื้นฐานในการผลิตลูกชิ้น สามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงได้ แต่ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ คือ ชนิดของปลา ความสดของปลา กรรมวิธีการผลิต การควบคุมปริมาณความชื้น และสารเติมแต่ง เป็นต้น

ลูกชิ้นปลาเกิดจากเจล (gel) ของโปรตีนในเนื้อปลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากได้รับความร้อน ร่วมกับการใช้สารละลายเกลือ และการทำให้เจลเย็นลงภายหลังการให้ความร้อน ส่งผลให้เกิดพันธะไฮโดรเจน ซึ่งจะเพิ่มความแข็งแรงของเจล (gel-strength) และความยืดหยุ่น (elasticity) อีกทั้งยังพบว่า ความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้ง ซึ่งเป็นวัตถุดิบหนึ่งที่สำคัญในการผลิตลูกชิ้น และมีผลต่อความแข็งแรงของเจล (อรทัย เปี่ยมปรีดา และจิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร, 2546 :35)

การเกิดเจลของลูกชิ้นปลา

โปรตีนไมโอไฟบริล เป็นโปรตีนชนิดที่ละลายได้ในสารละลายเกลือ เมื่อนำเนื้อปลาบดซึ่งมีโปรตีนไมโอไฟบริลปริมาณสูงบดผสมกับเกลือ จะมีผลทำให้เกิดการคลายตัวของขดโปรตีนและเกิดเป็นร่างแหของโปรตีน ดังนั้น การเซ็ทตัวของเนื้อปลาบดที่อุณหภูมิต่ำกว่า

อุณหภูมิห้องจะมีผลทำให้เกิดการคลายตัวของโปรตีนและเพิ่มการทำปฏิกิริยาระหว่างหมู่ที่ไม่ชอบน้ำบนสายโซ่โปรตีน ส่งผลให้ลูกชิ้นมีโครงข่ายเจลที่แข็งแรงกว่าก่อนการให้ความร้อน นอกจากนี้โครงข่ายที่แข็งแรงของเจลเกิดจากสมดุลระหว่างโปรตีนกับโปรตีน และโปรตีนกับน้ำ ส่วนการจับตัวของหมู่ที่ไม่ชอบน้ำและพันธะไดซัลไฟด์เป็นสิ่งสำคัญต่อความแข็งแรงของโครงสร้างภายในเจล นอกจากนี้การแลกเปลี่ยนหมู่ซัลฟ์ไฮดริล (sulfhydryl group) ของโปรตีนไมโอไฟบริลกับสารที่มีหมู่ซัลฟ์ไฮดริล มีผลให้ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549 : 117)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจลของลูกชิ้นปลา ประกอบด้วยปัจจัย (จิรวัฒน์ ยงสวัสดิกุล , 2541 : 9) ดังนี้

1. อุณหภูมิ ความร้อนจะมีบทบาทที่สำคัญต่อการกำหนดสัดส่วนการคลายตัวของโปรตีนและการเชื่อมประสานกันของโปรตีนทำให้เกิดเป็นร่างแห ดังนั้นในการเลือกอุณหภูมิการเกิดเจล ควรเลือกที่มีระดับอัตราการเรียงตัวและการคลายตัวของโปรตีนที่สมดุลกัน

2. ความเข้มข้นของโปรตีน หากโปรตีนมีระดับความเข้มข้นที่ต่ำกว่าที่จะนำไปใช้ในการเกิดโครงสร้างแล้วก็ไม่สามารถทำให้เกิดเจลได้เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเรียงตัวร่วมกันเป็นโครงสร้าง แต่เมื่อมีการเพิ่มระดับความเข้มข้นของโปรตีนก็จะทำให้มีการเกิดโครงสร้างได้บ้าง และในระดับความเข้มข้นของโปรตีนที่เหมาะสมก็จะทำให้สามารถเกิดเจลได้ การเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีนจะมีผลทำให้ความแข็งแรงและลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลแข็งขึ้น

3. ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระดับความเป็นกรด-ด่าง จะส่งผลต่อประจุรวมของโปรตีน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการละลาย นอกจากนี้ยังมีผลต่อการคลายตัว และการเสียสภาพธรรมชาติโครงสร้างของโปรตีน ดังนั้นการรักษาระดับความเป็นกรด-ด่างให้เหมาะสมจะช่วยให้โครงสร้างของเจลมีความคงตัว โดยเกิดสมดุลระหว่างแรงดึงดูดและผลักกัน อีกทั้งยังสามารถช่วยปรับให้อัตราการละลายตัวของโปรตีนและอัตราการเรียงตัวระหว่างโปรตีนเกิดความสมดุล

4. ค่าแรงของอิออน (ionic strength) การเพิ่มค่าแรงของอิออน ให้กับสารละลายโปรตีน โดยการเติมเกลือจะมีผลทำให้โปรตีนมีความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้เจลที่ได้มีคุณภาพดี มีความสามารถในการยึดจับน้ำ แต่อย่างไรก็ตามที่ระดับค่าแรงของอิออนที่สูงขึ้นจะมีผลทำให้โปรตีนสูญเสียความสามารถในการละลาย และตกตะกอนในที่สุด ทำให้เจลเสียความสามารถในการอุ้มน้ำได้

การผลิตลูกชิ้นปลา

เนื้อปลาบดที่ไม่ผ่านการล้างน้ำ เมื่อนำมาผสมเกลือ สามารถให้ลักษณะข้นเหนียว (sticky paste) อาจมีการเติมส่วนผสมเพื่อเพิ่มกลิ่นและรส แล้วขึ้นรูปก่อนให้ความร้อน ผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นอาจขึ้นรูปเป็นลักษณะกลมหรือแท่ง ความยืดหยุ่น สี และรสชาติเป็นคุณลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ ก่อนนำไปบริโภคควรผ่านการต้มหรือทอด (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549 :307)

คุณสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ซูริมิเป็นวัตถุดิบ คือ ความแข็งแรงของเจล (gel strength) และความยืดหยุ่น (lasticity) โดยการเกิดเจลของเนื้อปลาเป็นการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนเมื่อได้รับความร้อนขั้นตอนแรกของการเกิดเจล คือการทำให้โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ (myofibrillar protein) ซึ่งได้แก่ไมโอซิน (myosin) และแอคติน (actin) ในกล้ามเนื้อกลายเป็นโซล (sol) ด้วยเกลือ ซึ่งการเกิดโซลจะเกิดเมื่อสับผสมเนื้อปลากับเกลือความเข้มข้น 0.47 ถึง 0.68 โมลาร หรือปริมาณร้อยละ 2 ถึง 3 ของน้ำหนักซูริมิ โดยไมโอซินและแอกตินจะจับตัวกันเป็นแอคโตไมโอซิน (actomyosin) ทำให้เนื้อปลามีความหนืด จากนั้นนำไปให้ความร้อนทำให้โซลแปรสภาพเป็นเจลที่เหนียวและยืดหยุ่น (อรทัย เปี่ยมปรีดา และจิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร, 2546 :35)

ขั้นตอนการผลิตลูกชิ้นปลา (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549 : 307) มีขั้นตอนดังนี้

1. การบด (grinding) การบดมีผลให้เส้นใยกล้ามเนื้อแยกออกจากกัน ส่งผลให้การสกัดโปรตีนโดยเกลือกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. การเติมเกลือ (salting) การเติมเกลือมีวัตถุประสงค์ 2 ประการ คือ สกัดโปรตีนที่ละลายในเกลือและเพิ่มรสชาติให้ผลิตภัณฑ์ ปริมาณเกลือที่เติมอยู่ในช่วงร้อยละ 3 ถึง 5 ของน้ำหนักเนื้อปลาบด แต่ปริมาณเกลือในผลิตภัณฑ์จะลดลงภายหลังการเซทตัวในน้ำหรือในระหว่างการให้ความร้อน

3. การขึ้นรูป (forming) ในเขตร้อนเนื้อปลาบดที่ผ่านการผสมเกลือ สามารถเซ็ทตัวที่อุณหภูมิห้อง จึงควรเก็บเนื้อปลาที่ผสมเกลือแล้วไว้ที่อุณหภูมิต่ำ หรือควรขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ให้เร็วที่สุด

4. การเซ็ทตัว (setting) การเซ็ทตัวของเจล สามารถทำได้ที่อุณหภูมิ 40 ถึง 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ถึง 30 นาที

5. การให้ความร้อน (heating) ภายหลังการเซ็ทตัว ผลิตภัณฑ์จะผ่านการให้ความร้อนโดยการต้มในน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส การต้มในน้ำเดือดมีผลให้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์หยาบกว่า เนื่องจากการระเหยน้ำจากภายใน อุณหภูมิจุดศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ ควรมี

ค่าอย่างน้อย 80 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ขึ้นอยู่กับขนาดของผลิตภัณฑ์ แต่เพียงพอสำหรับการทำลายเชื้อแบคทีเรีย โดยทั่วไปจะให้ความร้อนลูกชิ้นที่อุณหภูมิ90 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที

สันตกิจ นิลอุดมศักดิ์ (2544, : 45) กล่าวว่า ลูกชิ้นปลาที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังดัดแปร และแป้งสาลีในปริมาณมากขึ้น มีผลทำให้ค่าความแน่นแข็ง (hardness) ลดลง ในทางตรงข้ามค่าความยืดหยุ่น (springiness) จะสูงขึ้น ส่วนค่าความเกาะติดกัน (cohesiveness) จะสูงขึ้นเมื่อมีการเติมปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่ร้อยละ 4 แล้วจะมีแนวโน้มลดลง สำหรับลูกชิ้นปลาที่มีการเติมไข่ขาวผงมีผลทำให้ค่าความแน่นแข็ง สูงขึ้นเมื่อปริมาณไข่ขาวผงร้อยละ 1 แล้ว จะมีแนวโน้มลดลง แต่มีผลให้ค่าความเกาะติดกัน และค่าความยืดหยุ่น มีแนวโน้มที่สูงขึ้น และเมื่อพิจารณาผลของปัจจัยร่วม พบว่า การเติมไข่ขาวผงร่วมกับแป้งมันสำปะหลังดัดแปร มีผลทำให้ค่าความแน่นแข็ง มีแนวโน้มที่ลดลง แต่อย่างไรก็ตาม ค่าความแน่นแข็งจะสูงกว่าตัวอย่างที่เติมแป้งมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว ส่วนค่าความเกาะติดกัน และค่าความยืดหยุ่น มีแนวโน้มสูงขึ้น ดังนั้นจากการศึกษาหาปริมาณของส่วนประกอบที่เหมาะสมโดยการใช้วิธีทางสถิติ ประกอบกับวิธีการสร้างสมการการถดถอย เพื่อใช้ในการทำนาย พบว่าการผลิตลูกชิ้นปลาเพื่อให้ได้ลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับผลจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ผู้บริโภคยอมรับ การใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่ร้อยละ 8 และไข่ขาวที่ร้อยละ 3

4. ผลิตภัณฑ์ก้างปลาปรุงรสอบกรอบ

เป็นการใช้ประโยชน์จากเศษเหลือทิ้งของการกระบวนการผลิตที่เป็นผลิตภัณฑ์หลัก ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าและแนวทางใช้ประโยชน์ที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น ผลิตภัณฑ์ก้างปลาปรุงรสกรอบ ผู้บริโภคนิยมทานเป็นอาหารว่าง หรือของทานเล่น จัดเป็นกลุ่มอาหารที่ให้คุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะแร่ธาตุ

ก้างปลากรอบ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำก้างของปลา มาตัดแต่งเอาเฉพาะส่วนก้างอ่อน ล้างให้สะอาด ปรุงรสด้วยเครื่องปรุงรสและเครื่องเทศ เช่น เกลือ น้ำตาล และพริกไทย อาจทำให้แห้งโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ หรือแหล่งพลังงานอื่นๆ นำไปทอดให้สุก อาจนำไปอบและอาจเติมสมุนไพรและส่วนประกอบอื่น เช่น ใบมะกรูด เมล็ดงา (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2548 : 1)

กรรณิการ์ รอดเข็มและ ชุลีพร ประมวลพิมพ์ (2540 : 38) ได้ศึกษากรรมวิธีในการผลิตก้างปลาปรุงรส โดยใช้ก้างปลาตาโตเป็นวัตถุดิบ พบว่า การหมักก้างปลาที่ใช้น้ำตาลทราย ร้อยละ 10 ซอสปรุงรส ร้อยละ 6 เกลือ ร้อยละ 0.08 น้ำ ร้อยละ 10 พริกไทย ร้อยละ 2.26 และลูกผักชี ร้อยละ 3.39 นาน 3 ชั่วโมง แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ให้การยอมรับด้านความชอบสูงกว่าการปรุงรสด้วยวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

เกรียงไกร ศรีสว่าง และ คัมภีร์ วัฒนาอรัญญากุล (2550 : 40) ได้ทำการศึกษากรรมวิธีในการผลิตก้างปลาปรุงรสเครื่องเทศไทย โดยใช้ก้างปลาทรายเป็นวัตถุดิบ พบว่า การหมักก้างปลาปรุงรสในน้ำปรุงรส ซึ่งประกอบด้วย น้ำตาลทราย ร้อยละ 9.6 ซีอิ๊วขาว ร้อยละ 5.6 เกลือ ร้อยละ 1.1 ซอร์บิทอล ร้อยละ 4.6 น้ำส้มสายชู ร้อยละ 1 ผงชูรส ร้อยละ 1 น้ำมันงา ร้อยละ 1 และน้ำ ร้อยละ 10 สัดส่วนก้างปลาต่อน้ำปรุงรส 3 : 1 หมักนาน 90 นาที แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงและอบให้สุก ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ให้การยอมรับด้านความชอบสูงกว่าการปรุงรสด้วยวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

ส่วนประกอบของก้างปลาปรุงรสอบกรอบ มีดังนี้

1. พริกไทย (pepper, black pepper, white pepper)

พริกไทย มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Piper nigrum* มีผลเป็นพวง เม็ดมีขนาดเล็ก และเป็นเครื่องเทศที่ให้รสเผ็ดร้อน สามารถนำมาทำพริกไทยแห้งเป็นเครื่องปรุงสำหรับอาหาร ซึ่งถ้าทำแห้งทั้งเปลือกจะได้พริกไทยดำเนื่องจากผงของเปลือกเป็นสีดำปนอยู่ ส่วนพริกไทยขาวได้จากการลอกเปลือกออกก่อนทำเป็นผง

จัดเป็นประเภทไม้เลื้อย มีความสูงประมาณ 5 เมตร ลักษณะของลำต้นเป็นข้อๆ เป็นต้นไม้ที่มีอายุยืน ระบบรากของต้นพริกไทยจะมีเกิดบริเวณข้อตามลำต้นเป็นรากเล็กๆ จะเป็นรากที่ช่วยยึดเกาะ และมีรากที่อยู่ในดินขนาดใหญ่ประมาณ 3 ถึง 6 ราก แต่ละรากจะมีรากฝอย ลักษณะใบจะมีสีเขียวสด ใบใหญ่คล้ายใบโพ ดอกของพริกไทยจะมีขนาดเล็ก จะออกช่อตามข้อเป็นพวง เมล็ดจะมีลักษณะกลมติดกันเป็นพวง

2. เกลือ (salt)

เกลือ (salt) หมายถึง เกลือแกง หรือเกลือโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride) เกลือที่ไม่มีน้ำหรือความชื้นเลยจะมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 95.5 ถึง 98.5 และมีสารอื่นเจือปนในปริมาณเล็กน้อย เช่น แมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) และซัลเฟต (SO_4) (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2551 : 31)

เกลือแกงหรือโซเดียมคลอไรด์ จะมีลักษณะสีขาวเป็นผลึก รูปร่างไม่คงที่ ทำหน้าที่ปรับปรุงด้านรสชาติ และกลิ่นรสอาหาร เกลือโซเดียมคลอไรด์มีบทบาทอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากมีราคาถูก และสามารถใช้ได้หลากหลายทั้งในการปรุงอาหาร และถนอมอาหาร

ชนิดของเกลือที่ใช้ในอาหาร มีอยู่ 3 ชนิด คือ

1. เกลือสมุทร
2. เกลือสินเธาว์
3. เกลือบริโภคเสริมไอโอดีน

ปัจจุบันเกลือมีผลิตโดยการระเหยของน้ำทะเล หรือ น้ำเค็ม (brine) จากแหล่งอื่นๆ เช่น บ่อน้ำเค็ม ทะเลสาบน้ำเค็ม (salt lake) และการทำเหมืองเกลือที่เรียกว่า ร็อกซอลต์ (rock salt หรือ ฮาไลต์) เกลือปรุงอาหาร มีสถานะเป็นผลึกสีขาว มีรสเค็ม ละลายน้ำได้ ดี มีคุณสมบัติในการดูดความชื้น เมื่อเกลือละลายน้ำจะแตกตัวให้อิออนของโซเดียม และคลอไรด์อิออน โซเดียมจะเข้าไปกระตุ้นต่อมรับรสในลิ้นของมนุษย์ทำให้เกิดความรู้สึก เมื่อชิมอาหารที่มีเกลือเป็นองค์ประกอบ (อรวรรณ ชินตระกูล, 2543 : 34)

ประโยชน์ของเกลือในอาหาร

เกลือโซเดียมคลอไรด์มีบทบาท อย่างมากในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากราคาถูกและใช้ได้หลากหลายเพื่อ เป็นเครื่องปรุงรสหรือใช้เพื่อการถนอมอาหาร เช่น การหมักเกลือ (salt curing) ช่วยลดแอคทิวิตี้ของน้ำ (water activity) ทำให้ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย (microbial spoilage) และจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) อาหารที่มีปริมาณเกลือสูงได้แก่ กะปิ กุ้งแห้ง น้ำปลา ปลาร้า ปลาจ่อม กุ้งจ่อม ปลาส้ม ไตปลา ปูเค็ม เครื่องพริกแกง ผักดอง ปลาเค็ม ปลาแห้ง ไข่เค็ม เต้าเจี้ยว ซีอิ้วขาว (อรวรรณ ชินตระกูล, 2543 : 37)

ในกระบวนการผลิตลูกชิ้นจะนิยมใช้เกลือแกงหรือเกลือโซเดียมคลอไรด์ (table salt, NaCl) ในการช่วยลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (a_w) ช่วยลดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ เพิ่มอายุการเก็บรักษา (shelf life) เพิ่มรสชาติ สกัดโปรตีนจากเนื้อสัตว์ ปรับปรุงความสามารถในการอุ้มน้ำโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เป็นอิมัลชัน (สุภเวท มานิยม และพัชรีย์ พัฒนาตระกูล, 2550 : 22) ในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นทั่วไปจะใช้เกลือที่ระดับร้อยละ 1.5 – 3.0 โดยเมื่อคิดปริมาณโซเดียมที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ เกลือแกงโดยทั่วไปประกอบด้วยโซเดียมร้อยละ 39.3 และคลอไรด์ร้อยละ 60.7 คิดเป็น 589.5 – 1,179 มิลลิกรัมต่อลูกชิ้น 100 กรัม โซเดียมมีหน้าที่ควบคุมความดันโลหิต ควบคุมสมดุลของร่างกาย ส่วนโพแทสเซียมจะทำหน้าที่ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ แคลเซียมควบคุมการคลายตัวของกล้ามเนื้อ (นันทยา จงใจเทศ และคณะ, 2554 : 1)

3. น้ำตาลทราย (sugar)

น้ำตาลทราย คือ เป็นสารให้ความหวานตามธรรมชาติชนิดหนึ่ง มีชื่อเรียกในทางเคมีว่า ซูโครส (sucrose) ที่มีลักษณะเป็นผลึกของแข็งสีขาว น้ำตาลเป็นสารเพิ่มความหวานที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ขนมหวาน และ

เครื่องดื่ม โมเลกุลของน้ำตาลซูโครส ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อกับน้ำตาลฟรักโทส น้ำตาลซูโครสไม่คงตัวในสารละลายกรด จะถูกไฮโดรไลซ์ได้เป็นน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรักโทส และถ้าให้ความร้อนถึงอุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส จะเกิดการสลายตัวได้เป็นคาราเมล (caramel) มีสีน้ำตาล ในทางการค้า น้ำตาลผลิตจาก อ้อย (sugar cane) นอกจากนี้ยังมีน้ำชนิดอื่นที่ผลิตได้จากพืช เช่น น้ำตาลโตนดได้จากต้นตาล (sugar palm) และน้ำตาลมะพร้าวได้จากต้นมะพร้าว (coconut palm) เป็นต้น น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรักโทส มีองค์ประกอบทางเคมีแบบโมเลกุลเดี่ยวหรือโมโนแซคคาไรด์ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2551 :147)

4. น้ำ

น้ำมีที่มีอิทธิพลต่อสมบัติ และคุณภาพด้านต่างๆ ของอาหาร ทั้งสมบัติทางกายภาพ ความหนืด และสมบัติด้านเนื้อสัมผัส บทบาทของน้ำที่สำคัญที่มีต่ออาหาร ช่วยให้เกิดการละลายของส่วนผสมต่างๆ เป็นตัวกลางสำคัญในการถ่ายเทความร้อน โดยเกิดจากน้ำเป็นส่วนผสมและน้ำจากวัตถุดิบ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พัชรี อ่องดี และอารยา โปรดสกุล (2555 : 39) ได้ศึกษาปริมาณผลได้ (% yield) ของเนื้อปลาจำนวน 3 ชนิด จากการทำประมงในตำบลบ้านแหลม อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ดังนี้ตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ปริมาณผลได้ (% yield) ของเนื้อปลา 3 ชนิด

ชนิดของปลา	น้ำหนักเนื้อปลาที่ได้ (กรัม)	ปริมาณผลได้ (% yield)	ราคา/กิโลกรัม
ปลาน้ำดอกไม้	550	55	30
ปลาข้างเหลือง	700	70	30
ปลากระทุงเหว	650	65	20

ที่มา : (พัชรี อ่องดี และอารยา โปรดสกุล, 2555 : 39)

อรทัย เปี่ยมปรีดา และจิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร (2546 : 21) ได้ศึกษาคุณสมบัติการเกิด เจลของเนื้อปลาลิ้นหมาและปลานิล ตลอดจนศึกษาถึงสัดส่วนของเนื้อปลาที่นำมาผสม ชนิดและปริมาณแป้งที่ใช้เป็นส่วนผสม พบว่าปลาลิ้นหมาไม่ผ่านการล้าง และปลานิลผ่านการล้างให้ค่าความแข็งแรงของเจลสูง เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที และ 50 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที ตามลำดับ โดยปลาลิ้นหมาให้ส่วนเนื้อที่บริโภคได้มากที่สุด

เมื่อทดลองเติมแป้งสาลี แป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่ปริมาณร้อยละ 5 ในสูตรการผลิตลูกชิ้นจากปลาลิ้นหมา พบว่าแป้งทั้ง 3 ชนิดให้ผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นปลาไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่แป้งมันสำปะหลังดัดแปรให้ค่าความแข็งแรงเจลของลูกชิ้นสูงสุด และให้คะแนนความชอบรวมสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับแป้งมันสำปะหลัง

ส่วนการแปรผันสัดส่วนเนื้อปลาลิ้นหมาและปลานิลในการผลิตลูกชิ้นเป็น 80 : 20 50 : 50 และ 20 : 80 โดยใช้แป้งมันสำปะหลังร้อยละ 5 และแปรสภาวะการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที และ 50 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที ก่อนนำไปให้ความร้อนต่อที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที พบว่าลักษณะทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) จึงเลือกสัดส่วนเนื้อปลาลิ้นหมาและปลานิลที่ 80 ต่อ 20 มาผลิตเป็นลูกชิ้นที่สภาวะการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 20 นาที แล้วให้ความร้อนต่อที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 20 นาที เนื่องจากให้ค่าความแข็งแรงเจลสูงสุด โดยแปรผันปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ร้อยละ 5 7 และ 10 พบว่าผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลาได้คะแนนการยอมรับทางด้านกลิ่นสูงที่สุด และความแข็งแรงของเจลมากที่สุด

เชาวนีย์ ลือประเสริฐ และคณะ (2544 : 355) ได้ศึกษาผลของค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของน้ำล้างครั้งที่ 1 และกระบวนการให้ความร้อนในการเกิดเจลต่อคุณภาพของซูริมิปลาสีกุนข้างเหลือง พบว่าค่าพีเอชของน้ำล้างที่ 7.0 ครั้งที่หนึ่งไม่มีผลต่อความเหนียวและความขาวของเจล แต่กระบวนการให้ความร้อนในการเกิดเจลมีผลต่อความเหนียวของเจลอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) การพัฒนาลูกชิ้นปลาจากซูริมิปลาสีกุนข้างเหลือง พบว่าสูตรที่เหมาะสมประกอบด้วยซูริมิ น้ำแข็งร้อยละ 25 เกลือร้อยละ 3.5 แป้งมันสำปะหลัง ร้อยละ 9 น้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 1.5 พริกไทยร้อยละ 0.25 สาหร่ายร้อยละ 1.5 และเห็ดหอมร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักซูริมิ ลูกชิ้นปลาที่พัฒนาได้มีค่า Bloom 4.01 นิวตัน ได้คะแนนความชอบรวมในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถเก็บที่อุณหภูมิ 2 ถึง 4 องศาเซลเซียสได้นานกว่า 2 สัปดาห์ โดยบรรจุผลิตภัณฑ์ 135 กรัมในถุงลามิเนต (O-nylon/LLDPE) แบบสุญญากาศ พาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิภายในเท่ากับ 66 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที

จันทร์จิรา ชาวสวนและนิสานารถ กระแสร์ชล (2552 : 273) ได้ศึกษาปริมาณแป้งบุกที่เหมาะสมในการผลิตลูกชิ้นปลาสีกุนข้างเหลืองผันแปรปริมาณแป้งบุกเป็น 6 ระดับ คือ ร้อยละ 0 1 2 3 4 และ 5 โดยน้ำหนักของเนื้อปลา พบว่าลูกชิ้นปลาสีกุนข้างเหลืองผสมแป้งบุกร้อยละ 2 มีค่าความแข็งแรง ความเกาะติดกัน ความยืดหยุ่น และความแข็งแรงของเจลมากที่สุด และได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด ส่วนปริมาณไข่ขาวผงต่อคุณภาพของลูกชิ้นปลาสีกุนข้างเหลือง

ผสมแป้งบุกร้อยละ 2 โดยแปรปริมาณปริมาณไข่ขาวผงเป็น 6 ระดับ คือ ร้อยละ 0 2 4 6 8 และ 10 โดยน้ำหนักของเนื้อปลา พบว่าลูกชิ้นปลาสีกุนข้างเหลืองผสมแป้งบุกร้อยละ 2 และเติมปริมาณไข่ขาวผงเพิ่มขึ้นจะมีค่าความแข็งแรง ความเกาะติดกัน ความยืดหยุ่น ความแข็งแรงของเจลและค่าความขาวเพิ่มขึ้น โดยลูกชิ้นปลาสีกุนข้างเหลืองผสมแป้งบุกร้อยละ2 และเติมปริมาณไข่ขาวผงร้อยละ 10 พบว่ามีค่าความแข็งแรง ความเกาะติดกัน ความยืดหยุ่น และความแข็งแรงของเจลและค่าความขาวมากที่สุด และลูกชิ้นปลาสีกุนข้างเหลืองผสมแป้งบุกร้อยละ 2 และเติมปริมาณไข่ขาวผงร้อยละ 8 ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด

หยวน (Yuan และคณะ, 2011: 24) ได้ศึกษาผลของการเพิ่มแป้งข้าวโพดและแป้งมันฝรั่ง เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเจลของซูริมิจากปลาคาร์พ ในด้านลักษณะเนื้อสัมผัส และความแข็งแรงของเจล พบว่าการเพิ่มแป้งทั้งสองชนิดสามารถปรับปรุงคุณสมบัติเจลของซูริมิจากปลาคาร์พและปริมาณสารเติมแต่งที่เหมาะสมสำหรับแป้งทั้งสองชนิดเป็นร้อยละ 10.8 และร้อยละ 7.2 ตามลำดับ และผลการปรับปรุงของแป้งทั้งสองชนิดแตกต่างกัน พบว่าแป้งมันฝรั่งมีผลชัดเจนมากขึ้นในการปรับปรุงคุณสมบัติของเจลซูริมิปลาคาร์พดีกว่าแป้งข้าวโพด

จากการศึกษาของอรทัย เปี่ยมปรีดา และ จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร (2546 : 39) ศึกษาปริมาณของแป้งที่ใช้ในการผลิตลูกชิ้นจากเนื้อปลาลิ้นหมาและปลานิลโดยผันแปรปริมาณแป้ง มันสำปะหลัง ร้อยละ 5 7 และ 10 พบว่าผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลาที่เติมแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 10 ได้คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นสูง และความแข็งแรงเจลมากที่สุด

ชุติมา ไชยเชาวน์ (2545 : 596) ได้มีการศึกษาปริมาณของแป้งที่ใช้ในการผลิตลูกชิ้นปลานิลในปริมาณร้อยละ 0 3 5 และ 8 พบว่าลูกชิ้นที่ใส่แป้งมันสำปะหลัง ร้อยละ 8 ให้ลักษณะผิวภายนอกเรียบมีความเงามันและชุ่มน้ำกว่าไม่ใส่แป้ง และลูกชิ้นที่ใส่แป้งจะมีความแข็งมากกว่าและผู้ทดสอบให้การยอมรับว่ามีคุณภาพดีที่สุด

เสน่ห์ บัวสนิท (2554 : 42) ได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นจากปลานิล สูตรที่เหมาะสมคือเนื้อปลานิล ร้อยละ 75 แป้ง มันสำปะหลัง ร้อยละ 1 เกลือ ร้อยละ 1 ต้นหอมซอย ร้อยละ 1.9 พริกไทยป่น ร้อยละ 1 น้ำแข็ง ร้อยละ 20 โซเดียมไบคาร์บอเนต ร้อยละ 0.1 ฟอสเฟต ร้อยละ 0.03 มีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 79.42 โปรตีนร้อยละ 17.92 ไขมันร้อยละ 0.30 เยื่อใย ร้อยละ 0.26 เถ้าร้อยละ 1.33 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 0.71 ค่าสีโดย มีค่า L^* เท่ากับ 63.16, ค่า a* เท่ากับ 3.14 และ ค่า b* เท่ากับ 9.10 และค่าความยืดหยุ่นเท่ากับ 517.56 กรัม คะแนนความชอบด้านลักษณะที่ปรากฏ ด้านสี ด้านกลิ่น ด้านรสชาติ ด้านเนื้อสัมผัส และด้านความชอบโดยรวม เท่ากับ 6.28,6.15,6.08, 6.28, 6.27, 6.43 คะแนน (p<0.05)

สรุปแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จึงเห็นว่าการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรสัตว์น้ำที่ได้จากการทำประมงชายฝั่งซึ่งเป็นปลาที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจต่ำ เป็นงานที่สำคัญในการพัฒนาและสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ประมง จากการใช้เนื้อปลาและก้างปลาที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจต่ำ นำมาพัฒนาและสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ช่วยสร้างรายได้ที่ส่งผลต่อการพัฒนาทั้งด้านสังคม เศรษฐกิจในชุมชนและผู้ประกอบการ จึงควรได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อค้นหาแนวทางการพัฒนาและเพิ่มมูลค่าของปลาที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจต่ำ โดยการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลาและก้างปลาปรุงรสอบกรอบที่มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น ให้เป็นโมเดลหรือรูปแบบของการพัฒนาต่อไป