

Principle of Fishery Product Techonology

หลักเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง



ยุพา บุญมี

หลักเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง

Principle of Fishery Product Techonology

ยุพา บุญมี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

หลักเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง

Principle of Fishery Product Technology

ยุพา บุญมี

พิมพ์ครั้งที่ 1 เดือนมิถุนายน พ.ศ.2566 (e-book)

ข้อมูลทางบรรณานุกรมหอสมุดแห่งชาติ

ยุพา บุญมี.

หลักเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง = Principle of Fishery Product Technology.--

ชลบุรี : สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ตะวันออก, 2566.

141 หน้า.

1. ประมง. 2. ประมง -- การถ่ายทอดเทคโนโลยี. 3. ประมง -- แง่เศรษฐกิจ. I. ชื่อเรื่อง

639.2

ISBN 978-974-625-998-9

จัดทำโดย

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

<https://arit.rmutto.ac.th/e-book>

คำนำ

ผู้เขียนได้เรียบเรียงตำรา **วิชาหลักเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง** เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอน โดยเรียบเรียงจากแหล่งความรู้ต่างๆ และจากประสบการณ์การสอน รวมทั้งจากการทำงานวิจัย และการบริการวิชาการให้แก่ชุมชนในเขตพื้นที่ภาคตะวันออก เนื้อหาในหนังสือครอบคลุมตั้งแต่ส่วนที่เป็นความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมง ได้แก่ ความสำคัญทางเศรษฐกิจของสัตว์น้ำ ความสำคัญของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ประมง การพัฒนาผลิตภัณฑ์ประมงในประเทศไทย เทคโนโลยีการแปรรูปสัตว์น้ำ ส่วนประกอบที่ 2 คือ องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของสัตว์น้ำ ได้แก่ น้ำในสัตว์น้ำ โปรตีนในสัตว์น้ำ ลิพิดในสัตว์น้ำ และวิตามินและแร่ธาตุในสัตว์น้ำ ส่วนประกอบที่ 3 เน้นกระบวนการแปรรูปสัตว์น้ำที่สำคัญ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำตากแห้งและรมควัน ผลิตภัณฑ์ประมงแช่เย็นและแช่แข็ง และผลิตภัณฑ์ประมงที่ผ่านการหมัก ในแต่ละบทจะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และมีคำถามท้ายบทเพื่อให้ผู้อ่านสามารถทบทวนและทำความเข้าใจได้ดีขึ้น

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณครู อาจารย์ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้ตั้งแต่เล็กจนถึงปัจจุบัน ผู้ที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จต่างๆ ที่ผู้เขียนรำลึกถึงอยู่เสมอ คือ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง สมาชิกในครอบครัว อาจารย์และเจ้าหน้าที่ในสาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง นักศึกษา และศิษย์ที่ทำให้ได้ข้อมูลเชิงวิชาการต่างๆ มากมาย ผู้เขียนใคร่ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.นงนุช รักสกุลไทย ที่ได้ให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการปรับปรุงตำรา ขอขอบคุณแหล่งวิชาการต่างๆ ที่นำมาอ้างอิง หากตำราเล่มนี้จะเกิดประโยชน์แก่ผู้อ่านบ้าง ขอมอบความดีทั้งหมดให้แก่ผู้มีพระคุณ และผู้ให้การสนับสนุน ผู้เขียนยินดีรับฟังข้อเสนอแนะติชม เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขในการพิมพ์ครั้งต่อไป

ยุพา บุญมี

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 ความสำคัญทางเศรษฐกิจของสัตว์น้ำ	1
1.1 ความสำคัญของสัตว์น้ำ	1
1.2 สัตว์น้ำเศรษฐกิจของประเทศไทย	2
1.3 การใช้ประโยชน์จากสัตว์น้ำ	9
1.4 ความสำคัญของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ประมง	13
1.5 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ประมงในประเทศไทย	14
1.6 เทคโนโลยีการแปรรูปผลิตภัณฑ์ประมง	15
บทสรุป	17
คำถามท้ายบท	18
เอกสารอ้างอิง	19
 บทที่ 2 น้ำในสัตว์น้ำ	 21
2.1 โมเลกุลของน้ำ	21
2.2 น้ำในสัตว์น้ำ	23
2.3 วอเตอร์แอคทิวิตี	25
2.4 ผลของค่า a_w ต่อคุณภาพของสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมง	26
บทสรุป	28
คำถามท้ายบท	28
เอกสารอ้างอิง	29
 บทที่ 3 โปรตีนในสัตว์น้ำ	 30
3.1 โมเลกุลของโปรตีน	30
3.2 กรดอะมิโน	32
3.3 ประเภทโปรตีน	34
3.4 คุณภาพของโปรตีน	35
3.5 กล้ามเนื้อสัตว์น้ำ	40

3.6 สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน	45
3.7 การสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน	47
3.8 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนสัตว์น้ำ	48
3.9 การประยุกต์ใช้โปรตีนสัตว์น้ำ	52
บทสรุป	53
คำถามท้ายบท	53
เอกสารอ้างอิง	54
บทที่ 4 ลิพิดในสัตว์น้ำ	56
4.1 โมเลกุลลิพิด	56
4.2 กรดไขมันในสัตว์น้ำ	58
4.3 กรดไขมันชนิดโอเมก้า	60
4.4 ชนิดลิพิดในสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมงที่มีประโยชน์ทางโภชนาการ	63
4.5 การประยุกต์ใช้ลิพิดในสัตว์น้ำ	65
4.6 ผลของการแปรรูปต่อลิพิดในสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์	66
บทสรุป	68
คำถามท้ายบท	68
เอกสารอ้างอิง	69
บทที่ 5 วิตามินและแร่ธาตุในสัตว์น้ำ	70
5.1 วิตามินในสัตว์น้ำ	70
5.2 ผลของกระบวนการแปรรูปที่มีต่อวิตามินในสัตว์น้ำ	71
5.3 แร่ธาตุในสัตว์น้ำ	73
5.4 โลหะหนักที่พบในสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมง	77
บทสรุป	79
คำถามท้ายบท	79
เอกสารอ้างอิง	80

บทที่ 6 ผลិតภัณฑ์ประมงแช่เย็นและแช่แข็ง	81
6.1 ความหมายของแช่เย็นและแช่แข็ง	81
6.2 วิธีการให้ความเย็น	82
6.3 เครื่องแช่แข็งและห้องเย็น	83
6.4 ผลิตภัณฑ์ประมงแช่แข็ง	94
6.5 ชูริมิและผลิตภัณฑ์จากชูริมิ	95
บทสรุป	98
คำถามท้ายบท	98
เอกสารอ้างอิง	99
 บทที่ 7 ผลิตภัณฑ์ประมงตากแห้งและรมควัน	 100
7.1 ความหมายของการตากแห้งและรมควัน	100
7.2 กระบวนการตากแห้ง	101
7.3 การเตรียมวัตถุดิบก่อนการตากแห้ง	111
7.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการถนอมอาหารแบบแห้ง	112
7.5 การบรรจุและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ประมงตากแห้ง	113
7.6 คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ประมงตากแห้ง	113
7.7 กระบวนการรมควัน	114
7.8 สมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ของควัน	117
บทสรุป	117
คำถามท้ายบท	117
เอกสารอ้างอิง	118
 บทที่ 8 ผลิตภัณฑ์ประมงที่ผ่านการหมัก	 119
8.1 ความสำคัญของผลิตภัณฑ์ประมงที่ผ่านการหมักกับเศรษฐกิจใน ภูมิภาคอาเซียน	119

8.2 ความหมายของการหมัก	119
8.3 ประเภทของการหมัก	120
8.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการหมัก	122
8.5 คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ประมงที่ผ่านการหมัก	126
8.6 ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ประมงที่ผ่านการหมัก	127
8.7 เทคโนโลยีการหมักสัตว์น้ำ	127
บทสรุป	128
คำถามท้ายบท	128
เอกสารอ้างอิง	129
 บรรณานุกรม	 131
ดัชนี	137

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 สถิติปริมาณการจับสัตว์น้ำของประเทศต่าง ๆ ที่สำคัญทั่วโลก ปี 2553-2557	9
ตารางที่ 1.2 สถิติปริมาณการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของประเทศต่าง ๆ ที่สำคัญทั่วโลก ปี 2553-2557	11
ตารางที่ 1.3 การใช้ประโยชน์สัตว์น้ำเค็มเป็นร้อยละ (%) จำแนกเป็นราย ชนิดสัตว์น้ำปี 2558	12
ตารางที่ 1.4 การใช้ประโยชน์สัตว์น้ำจืดเป็นร้อยละ (%) จำแนกเป็นราย ชนิดสัตว์น้ำปี 2558	12
ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพของน้ำและน้ำแข็ง	22
ตารางที่ 2.2 ค่า a_w ที่จุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ สามารถเจริญเติบโตได้	27
ตารางที่ 3.1 ปริมาณโปรตีนกล้ามเนื้อของปลา	42
ตารางที่ 3.2 การเปลี่ยนแปลงโปรตีนสัตว์น้ำด้วยความร้อน	50
ตารางที่ 3.3 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากแหล่งต่าง ๆ	51
ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างชนิดของสัตว์น้ำตามปริมาณของไขมัน	65
ตารางที่ 5.1 วิตามิน และแร่ธาตุของปลาชนิดต่าง ๆ	72
ตารางที่ 5.2 วิตามิน และแร่ธาตุของกุ้ง หมึก ปู และหอย	73
ตารางที่ 5.3 วิตามิน และแร่ธาตุของผลิตภัณฑ์ประมงชนิดต่าง ๆ	75
ตารางที่ 5.4 ปริมาณวิตามินที่ละลายในน้ำของปลาทะเลสดเฉพาะส่วนที่บริโภคได้	76
ตารางที่ 5.5 ปริมาณวิตามินที่ละลายในน้ำของสัตว์น้ำที่ไม่มีกระดูกสันหลังเฉพาะ ส่วนที่บริโภคได้	76
ตารางที่ 8.1 คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ประมงที่ผ่านการหมักชนิดต่าง ๆ	126

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 กุ้งขาว	2
ภาพที่ 1.2 กุ้งก้ามกราม	3
ภาพที่ 1.3 ปูทะเล	4
ภาพที่ 1.4 ปลาสลิด	5
ภาพที่ 1.5 ปลาแซลมอนแอตแลนติก	6
ภาพที่ 1.6 ปลาโอแถบ	7
ภาพที่ 1.7 ปลาหูช้างครีบลีเอียง	7
ภาพที่ 1.8 ปลาหูช้างครีบบาว	8
ภาพที่ 3.1 การเกิดพันธะเพปไทด์ของโมเลกุลโปรตีน	31
ภาพที่ 3.2 ชนิดของกรดอะมิโน	33
ภาพที่ 3.3 โครงสร้างกล้ามเนื้อปลา	41
ภาพที่ 4.1 โมเลกุลกลีเซอไรด์ และลิพิดชนิดต่าง ๆ	57
ภาพที่ 4.2 การแยกสลายด้วยน้ำของไตรกลีเซอไรด์	58
ภาพที่ 4.3 โครงสร้างของตัวอย่างกรดไขมันกลุ่มโอเมก้าสาม และโอเมก้าหก	62
ภาพที่ 6.1 เครื่องแซ่แข็งแบบอากาศนิ่ง	85
ภาพที่ 6.2 เครื่องแซ่แข็งแบบสัมผัส	86
ภาพที่ 6.3 เครื่องแซ่แข็งแบบลมเย็น	86
ภาพที่ 6.4 เครื่องแซ่แข็งแบบอุโมงค์ลมเย็น	87
ภาพที่ 6.5 เครื่องแซ่แข็งแบบลมเย็นชนิดต่อเนื่องมีสายพาน	88
ภาพที่ 6.6 เครื่องแซ่แข็งแบบลมเย็นฟลูอิดไคซ์	89
ภาพที่ 6.7 เครื่องแซ่แข็งแบบโครโอจิฟิก	90
ภาพที่ 6.8 เครื่องแซ่แข็งแบบจุ่มสารทำความเย็น	92
ภาพที่ 6.9 ห้องเย็น	93
ภาพที่ 6.10 ห้องกักกันความเย็น	94

ภาพที่ 7.1 การ ทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์	102
ภาพที่ 7.2 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	102
ภาพที่ 7.3 การทำแห้งโดยวิธีการรมควัน	103
ภาพที่ 7.4 การทำแห้งแบบถาดหรือห้องอบ	104
ภาพที่ 7.5 เครื่องทำแห้งแบบอุโมงค์	105
ภาพที่ 7.6 เครื่องทำแห้งแบบสายพาน	106
ภาพที่ 7.7 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	107
ภาพที่ 7.8 เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดซ์	108
ภาพที่ 7.9 การทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก	109
ภาพที่ 7.10 เครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง	110
ภาพที่ 7.11 เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ	111

บทที่ 1

ความสำคัญทางเศรษฐกิจของสัตว์น้ำ

1.1 ความสำคัญของสัตว์น้ำ

สัตว์น้ำเป็นแหล่งของสารอาหารประเภทโปรตีนสูง และเป็นแหล่งรายได้หลักของประเทศ รวมทั้งเป็นภาคการผลิตที่สำคัญอย่างมากของระบบเศรษฐกิจไทย เนื่องจากการประมงของไทยมีส่วนสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจ จากข้อมูลของปี 2557 รายได้จากการทำประมง คิดเป็นร้อยละ 8 ของ GDP ภาคการเกษตร มีผลผลิตรวม 2.56 ล้านตัน โดยเป็นผลผลิตจากการจับในธรรมชาติ 1.67 ล้านตัน (ร้อยละ 65) และจากการเพาะเลี้ยง 0.89 ล้านตัน (ร้อยละ 35) และมีมูลค่ารวม 145,414.10 ล้านบาท โดยมีมูลค่าจากการจับในธรรมชาติ 62,403.90 ล้านบาท (ร้อยละ 43) และมูลค่าจากการเพาะเลี้ยง 83,050.23 ล้านบาท (ร้อยละ 57) ซึ่งจะเห็นได้ว่ามูลค่าจากการเพาะเลี้ยงสูงกว่ามูลค่าของผลผลิตจากการจับในธรรมชาติ 20,646.33 ล้านบาท (ร้อยละ 14) เป็นผลมาจากการความสำเร็จของการพัฒนาด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยสามารถผสมเทียมสัตว์น้ำได้หลายชนิด จากข้อมูลย้อนหลังช่วง 10 ปี (ปี 2547-2557) สามารถสร้างมูลค่าของผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพิ่มสูงขึ้น 14,451.49 ล้านบาท (ร้อยละ 21) โดยปี 2547 คิดเป็นมูลค่า 68,598.74 ล้านบาท และปี 2557 คิดเป็นมูลค่า 83,050.23 ล้านบาท โดยมีชนิดสัตว์น้ำเพื่อการบริโภคที่สำคัญ ได้แก่ กุ้งทะเล หอยทะเล ปลานิล ปลาดุก ปลาสร้อย และกุ้งก้ามกราม นอกจากนั้นยังมีการเพาะเลี้ยงปลาสวยงาม ซึ่งเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย จำหน่ายทั้งภายในประเทศและส่งออก ส่วนการส่งออกผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำแปรรูป ได้แก่ สัตว์น้ำทะเลกระป๋อง กุ้งสด กุ้งแช่เย็น และแช่แข็ง ซึ่งมีกระบวนการผลิต การรักษาคุณภาพ มาตรฐานด้านอาหารและความปลอดภัยได้ดีที่สุดในอาเซียน และเป็นที่ยอมรับของทั่วโลก โดยสามารถสร้างรายได้ให้กับประเทศปีละกว่าสองแสนล้านบาท แต่อย่างไรก็ตาม ปัจจัยหลักของอุตสาหกรรมสัตว์น้ำแปรรูป คือ ขาดแคลนวัตถุดิบ และจำนวนแรงงานในประเทศทำให้อัตราค่าจ้างแรงงานไทยเพิ่มสูงขึ้น จึงควรมีแผนพัฒนาประมงแห่งชาติ เพื่อทำให้ผู้ประกอบการอาชีพประมงมีคุณภาพชีวิตที่ดี

1.2 สัตว์น้ำเศรษฐกิจของประเทศไทย

1.2.1 กุ้งขาวแวนนาไม (Pacific white Shrimp)



ภาพที่ 1.1 กุ้งขาว

ที่มา : <https://gurumavin.com/kerala-hooks-vannamei-for-the-first-time/>

กุ้งขาวแปซิฟิก (*Litopenaeus vannamei*) หรือ Pacific white Shrimp หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า White Legs Shrimp เป็นกุ้งพื้นเมืองในทวีปอเมริกาใต้ พบอยู่ทั่วไปในบริเวณชายฝั่งของมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันออก จากตอนเหนือของประเทศเม็กซิโกจนถึงตอนเหนือของประเทศเปรู กุ้งชนิดนี้มีการเลี้ยงกันมากในประเทศเอกวาดอร์ เม็กซิโก เปรู ปานามา ฮอนดูรัส โคลัมเบีย และประเทศบราซิล เกษตรกรในประเทศไทยนิยมเรียกว่ากุ้งขาวแวนนาไม หรือเรียกกันว่า “กุ้งขาว” ลักษณะเฉพาะของกุ้งขาวที่สามารถสังเกตเห็นเด่นชัดคือ บริเวณพนักกรี (หนาม) ด้านบนจะหยักและถี่ปลายกริจะตรง โดยที่พนักกริด้านล่าง 2 อัน และด้านบน 8 อัน ความยาวของกริจะยาวกว่าลูกตาไม่มาก และที่สังเกตเห็นได้ชัด คือ จะเห็นลำไส้กุ้งชนิดนี้ชัดกว่ากุ้งขาวอื่น ๆ ขณะที่โตเต็มวัยสมบูรณ์เต็มที่ของกุ้งชนิดนี้将有ความยาวทั้งหมด (Total Length) 230 มิลลิเมตร หรือ 9 นิ้ว เป็นกุ้งที่เลี้ยงง่ายมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เนื่องจากกุ้งขาวเป็นกุ้งที่มีการเลี้ยงอย่างแพร่หลายทั่วโลกมากกว่า 30 ประเทศ ดังนั้นในอนาคตการผลิตกุ้งขาวออกสู่ตลาดโลกจะมีปริมาณมาก โดยเฉพาะ ปี พ.ศ. 2559 ประเทศจีนซึ่งเป็นประเทศที่มีการผลิตกุ้งมากที่สุดในโลกถึง 500,000 ตันต่อปี พบว่าจำนวนมากกว่าครึ่งหนึ่งของผลผลิตจะมาจากกุ้งขาว ส่วนในประเทศไทย เมื่อปี พ.ศ. 2559 มีการผลิตกุ้งขาวประมาณ 251,818 ตัน แต่ในปี พ.ศ. 2560 ประเทศไทยสามารถผลิตกุ้งขาวได้ประมาณ 245,784

ตัน จะเห็นได้ว่ามีปริมาณลดลงร้อยละ -2.40 สำหรับปี 2561 ผลผลิตกุ้งขาวน่าจะสูงขึ้นถึง 300,000 ตัน หากไม่มีปัญหาด้านภัยธรรมชาติที่รุนแรง และโรคระบาดที่จะส่งผลกระทบต่อการผลิต

1.2.2 กุ้งก้ามกราม (Giant freshwater prawn)



ภาพที่ 1.2 กุ้งก้ามกราม

ที่มา : <https://farmerspace.co/wp-content/uploads/2018/12/Picture2.jpg>

กุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*) หรือ Giant freshwater prawn เป็นกุ้งน้ำจืดที่มีขนาดใหญ่ที่สุด อาศัยในแหล่งน้ำจืดที่มีทางติดต่อกับทะเล เนื่องจากตอนวางไข่ และระยะที่เป็นตัวอ่อนต้องอาศัยอยู่ในน้ำกร่อย ปัจจุบันนำมาเลี้ยงในบ่อหรือคอนโด เมื่อมีรสชาติดี ราคาค่อนข้างสูง แหล่งเลี้ยงที่สำคัญ คือ ภาคกลาง รองลงมาคือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในปี พ.ศ. 2561 มีเนื้อที่เลี้ยงกุ้งก้ามกรามทั่วประเทศประมาณ 80,092 ไร่ กรมประมงได้ประมาณการผลผลิตกุ้งก้ามกรามจากการเพาะเลี้ยงมีปริมาณ 16,738 ตัน และมูลค่า 4,828 ล้านบาท ตลาดภายในประเทศมีความต้องการกุ้งก้ามกรามในช่วงเทศกาลค่อนข้างสูง แม้ว่าเกษตรกรส่วนใหญ่จะวางแผนการเลี้ยงกุ้งเพื่อให้จับขายได้ในช่วงเทศกาลก็ตาม แต่ผลผลิตยังไม่เพียงพอ และส่งผลให้กุ้งขาดตลาดต่อเนื่องหลังเทศกาล 1-2 เดือน ประเทศไทยนำเข้ากุ้งก้ามกราม ปริมาณ 710.4 ตัน มูลค่า 153.0 ล้านบาท ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าเป็นกุ้งก้ามกรามสดแช่เย็น ร้อยละ 91.3 กุ้งก้ามกรามแช่แข็ง ร้อยละ 8.5 กุ้งมีชีวิตและกุ้งสำหรับทำพันธุ์ร้อยละ 0.2 โดยกุ้งก้ามกรามสดแช่เย็นนำเข้า

จากอินเดีย ร้อยละ 50.1 ศรีลังการ้อยละ 30.4 เมียนมาร์ร้อยละ 11.6 บังคลาเทศ ร้อยละ 7.8 และประเทศอื่นๆ ร้อยละ 0.1 กุ้งก้ามกรามแช่แข็งนำเข้าจากบังคลาเทศ ร้อยละ 74.3 และประเทศอื่นๆ ร้อยละ 25.7 กุ้งมีชีวิตนำเข้าจากอิสราเอล ร้อยละ 37.0 สหรัฐอเมริกา ร้อยละ 34.5 และประเทศอื่นๆ ร้อยละ 28.5 ส่วนกุ้งสำหรับทำพันธุ์นำเข้าจากเมียนมาร์ทั้งหมด การส่งออกกุ้งก้ามกรามของไทยไปยังตลาดต่างประเทศ มีปริมาณ 2,873.6 ตัน มูลค่า 344.0 ล้านบาท เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2560 มีปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 91.6 แต่มูลค่าลดลงร้อยละ 13.6 เนื่องจากการส่งออกกุ้งก้ามกรามแช่แข็งลดลง ในขณะที่มีการส่งออกกุ้งก้ามกรามสดแช่เย็นเพิ่มขึ้นแต่มูลค่าต่ำกว่ากุ้งก้ามกรามแช่แข็ง สำหรับผลิตภัณฑ์กุ้งก้ามกรามที่ส่งออกส่วนใหญ่ยังคงเป็นกุ้งก้ามกรามแช่แข็ง ร้อยละ 65.2 กุ้งก้ามกรามสดแช่เย็น ร้อยละ 28.9 กุ้งก้ามกรามมีชีวิตและทำเป็นพ่อแม่พันธุ์ร้อยละ 5.9 ในส่วนของกุ้งก้ามกรามปรุงแต่งไม่มีการส่งออก (จันทิมา, 2561)

1.2.3 ปูทะเล (*Serrated Mud Crab*)



ภาพที่ 1.3 ปูทะเล

ที่มา : <https://phuketaquarium.org/%E0%B8%9B%E0%B8%B9%E0%B8%94%E0%B8%B3-scylla-serrata-serrated-mud-crab/>

ปูทะเล (*Scylla* spp.) จัดว่ามีความสำคัญต่อเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยเป็นอย่างยิ่งในปัจจุบันเพราะนอกจากจะนิยมบริโภคกันภายในประเทศแล้ว ยังเป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศอีกด้วย คุณภาพของเนื้อและไข่ที่แน่นและมีรสชาติดี จึงเป็นที่นิยมบริโภคในหลายประเทศ ทั้งในรูปของปูเนื้อ ปูไข่ และปูนึ่ง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดความพยายามทำการประมงทะเลในหลากหลายรูปแบบ เช่น การจับปูทะเลขนาดเล็กมาขุนเป็นปูเนื้อ ปูไข่ หรือเลี้ยง เป็นปูนึ่ง

เพื่อให้มีปริมาณมากพอสำหรับป้อนสู่ตลาดทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ปัจจุบันประเทศไทยต้องนำเข้าปูทะเลจากต่างประเทศเพื่อการบริโภคและส่งต่อไปยังต่างประเทศ โดยมีการนำเข้าจากประเทศ อินเดีย ปากีสถาน ศรีลังกา บังคลาเทศ พม่า และเวียดนาม เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่ยังต้องอาศัยการจับจากธรรมชาติเพียงอย่างเดียวจนเกินกำลังการผลิตจากธรรมชาติ ปริมาณการส่งออกปูทะเลทางด้านตรวจสัตว์น้ำท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ พ.ศ. 2560 รวม 1,463,301.54 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่ารวม 158,685,823.30 บาท โดยส่งออกไปยัง สาธารณรัฐประชาชนจีนสูงสุด 1,286,901.90 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 137,319,813.00 บาท คิดเป็นร้อยละ 88 ของปริมาณการส่งออกปูทะเลทั้งปี (กรมประมง, 2561)

1.2.4 ปลาสลิด (Sepat siam)



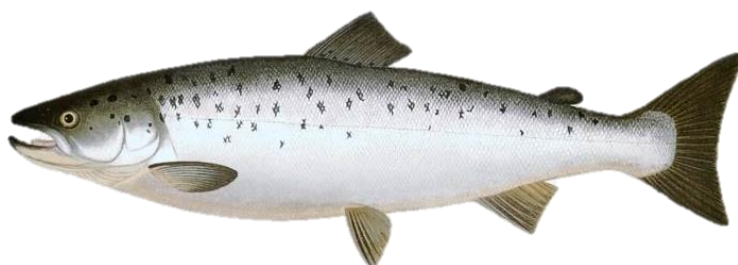
ภาพที่ 1.4 ปลาสลิด

ที่มา : https://www.aquariumglaser.de/en/fish-archives/trichogaster_pectoralis_en/

ปลาสลิด (*Trichogaster pectoralis*) หรือ Sepat siam เป็นปลาพื้นเมืองของไทยมีรูปร่างคล้ายปลาไหม้ จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างว่าปลาไหม้ ชอบอาศัยในแหล่งน้ำนิ่ง โดยเฉพาะแถบลุ่มน้ำภาคกลางจึงเจริญเติบโตได้ดีในบ่อและในนา จัดเป็นปลากินพืช เช่น พวักแห่น ตะไคร่น้ำ ผักบุ้ง รำ เป็นต้น โดยจากข้อมูลของสำนักงานประมงจังหวัดในกลุ่มจังหวัดภาคกลางตอนกลาง พบว่ามีเกษตรกรที่เลี้ยงปลาสลิดรวม 1,880 ราย ในพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 54,265.85 ไร่ ผลผลิตรวมทั้งสิ้น 12,720.16 ตันต่อปี ซึ่งปลาสลิดสดจะมีมูลค่าเฉลี่ยรวม 661,448,320 บาท (ปลาสลิดสด

ราคากิโลกรัมละ 52 บาท) และเมื่อนำมาแปรรูปเป็นพลาสติกตากแห้งจะสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มได้อีกร้อยละ 60 ของราคาพลาสติกสด โดยพลาสติกนิยมเลี้ยงกันมากในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา มีเกษตรกร 814 ราย ในพื้นที่ 27,973 ไร่ ผลผลิต 6,062 ตันต่อปี จังหวัดสมุทรปราการ มีเกษตรกร 1,006 ราย ในพื้นที่ 25,959 ไร่ ผลผลิต 6,577 ตันต่อปี จังหวัดนครนายกมีเกษตรกร 49 ราย ในพื้นที่ 278.6 ไร่ ผลผลิต 28.91 ตันต่อปี จังหวัดปราจีนบุรี 11 ราย ในพื้นที่ 55.25 ไร่ ผลผลิต 52.25 ตันต่อปี (พรรณราย และคณะ, 2561)

1.2.5 ปลาแซลมอน



ภาพที่ 1.5 ปลาแซลมอนแอตแลนติก (*Salmo Salar*)

ที่มา : <http://www.luontoportti.com/suomi/en/kalat/atlantic-salmon>

ปลาแซลมอนมี 2 สกุลที่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจ ได้แก่ *Salmo* และ *Oncorhynchus* ปลาแซลมอนแอตแลนติก (*Salmo salar*) หรือ Atlantic salmon เป็นชนิดที่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจมากที่สุดของสกุล *Salmo* ส่วนสกุล *Oncorhynchus* หรือ Pacific salmon มี 5 ชนิด ได้แก่ *Oncorhynchus gorbuscha* (Pink salmon), *O. tshawytscha* (Chinook salmon), *O. neka* (Sockeye salmon), *O. keto* (Chum salmon) และ *O. kitsch* (Coho salmon) ในประเทศไทย มีแนวโน้มการแปรรูปปลาแซลมอนที่นำเข้าจากต่างประเทศเพิ่มสูงขึ้น โดยอาจจำหน่ายปลาแซลมอนสด ทั้งตัวแช่เยือกแข็ง หรือปลาแซลมอนควักไส้แช่แข็ง นอกจากนี้ยังมีปลา แซลมอนแล่ ปลาแซลมอนนึ่งสุกแช่เยือกแข็ง ปลาแซลมอนบรรจุกระป๋อง และปลาแซลมอนรมควัน สหรัฐอเมริกาเป็นประเทศที่บริโภคแซลมอนที่มาจากทะเลเลี้ยงรายใหญ่ที่สุดในโลก โดยคาดว่าในปี 2563 ความต้องการแซลมอนของผู้บริโภคทั่วโลกจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า

1.2.6 ปลาทูน่า

แหล่งที่มาของปลาทูน่าที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทูน่าบรรจุกระป๋องมี 2 แหล่ง ได้แก่ การจับภายในประเทศ และนำเข้าจากต่างประเทศ

ชนิดของปลาทูน่าที่ได้จากการจับภายในประเทศ ได้แก่

1. ปลาโอแถบ (skipjack tuna)



ภาพที่ 1.6 ปลาโอแถบ (*Katsuwonus pelamis*)

ที่มา : <http://fishesofaustralia.net.au/home/species/724>

ปลาโอแถบเป็นปลาทูน่าขนาดเล็ก ลำตัวเป็นรูปทรงเรียวยาวแบบกระสวย ฟันเป็นแถวเดียว รูปโคน ครีบหลังอันแรกแยกจากครีบหลังอันที่สองอย่างสมบูรณ์ ครีบเล็ก (finlet) มีจำนวน 7-10 คู่ ด้านหลังเป็นสีม่วงดำ ลำตัวด้านข้างและท้องมีสีเงิน มีแถบสีดำด้านข้างลำตัวทอดตามยาวกับลำตัว 4-5 แถบ ปลาโอแถบนิยมรับประทานสด มีปริมาณ และคุณภาพเนื้อต่ำกว่าชนิดทูน่าครีบลีลองและทูน่าครีบบยาว

2. ปลาทูน่าครีบลีลอง (yellow fin)



ภาพที่ 1.7 ปลาทูน่าครีบลีลอง (*Thunnus albacares*)

ที่มา : <http://fishesofaustralia.net.au/home/species/731#summary>

ปลาหูฉลามเป็นปลาหูขนาดใหญ่ ลำตัวปลาอยู่บริเวณกึ่งกลางของครีบหลัง อันแรก ครีบหลังอันแรกแยกจากครีบหลังอันที่สองอย่างสมบูรณ์ ครีบเล็กสีเหลือง มีจำนวน 7-10 คู่ และที่ปลายครีบเล็กจะเป็นแถบสีดำ ครีบหลังและครีบกันมีสีเหลืองสด ด้านหลังเป็นสีน้ำเงินดำ ลำตัวด้านข้างพบจุดสีเข้มเป็นแถวตามแนวโค้งประมาณ 20 แถว ด้านล่างของลำตัวมีสีเงิน ปลาหูฉลามนิยมนำมาปรุงรส เนื้อปลาแน่น ไม่ยุ่ย มีสีแดงหากถูกความร้อนจะกลายเป็นสีขาว สะดวกต่อการบรรจุลงกระป๋องจึงนิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปลาหูฉลามกระป๋องรองลงมาจากปลาหูฉลาม

3. ปลาหูฉลาม (albacore tuna)



ภาพที่ 1.8 ปลาหูฉลาม

ที่มา : <http://www.unitedfisheries.co.nz/content/albacore-tuna-thunnus-alalunga>

ปลาหูฉลามเป็นปลาหูขนาดเล็ก เมื่อเทียบกับปลาหูชนิดอื่นด้านท้ายของลำตัวปลามีความกว้างมากที่สุด ครีบหลังสองอันแยกจากกันอย่างสมบูรณ์ ครีบหูยาวมากมีปลายที่งอนเข้าหากัน ครีบหางมีแถบแนวโค้งสีขาว มีครีบเล็กจำนวน 7-8 คู่ ด้านหลังเป็นสีน้ำเงินดำ ปลาหูฉลามได้รับการขนานนามว่าเป็นไก่ทะเล (sea chicken) จึงจัดว่าเป็นวัตถุดิบชนิดเดียวที่สามารถใช้ผลิตปลาหูเนื้อขาวบรรจุกระป๋องที่มีคุณภาพสูงที่สุด

ในปีพ.ศ. 2558 ตลาดนำเข้าปลาหูฉลามรายใหญ่ 6 ประเทศ คือ สหรัฐอเมริกา อิตาลี สหราชอาณาจักร ฝรั่งเศส สเปน และเยอรมัน ประเทศไทยนับว่าเป็นผู้ส่งออกปลาหูฉลามแปรรูปแบบพร้อมรับประทานเป็นอันดับหนึ่งของโลก คิดเป็นร้อยละ 32.8 ของการส่งออกผลิตภัณฑ์อาหารทะเลบรรจุกระป๋องของโลก ประเทศอินโดนีเซียอยู่ในอันดับที่ 5 โดยส่งออกร้อยละ 4.9 ในขณะที่ประเทศฟิลิปปินส์ส่งออกเป็นอันดับที่ 7 คิดเป็นร้อยละ 3.8 ซึ่งทั้ง 3 ประเทศนี้เป็นประเทศผู้ผลิตปลาหูฉลามบรรจุกระป๋องชั้นนำที่ส่งออกไปยังตลาดโลกของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

1.3 การใช้ประโยชน์จากสัตว์น้ำ

จากรายงานสถิติปริมาณการจับสัตว์น้ำของประเทศต่าง ๆ ที่สำคัญทั่วโลก ในปี 2553-2557 (ตารางที่ 1.1) พบว่า ในปี 2557 ประเทศสามอันดับแรกของโลกที่สามารถจับสัตว์น้ำได้มากที่สุด ได้แก่ จีน มีปริมาณการจับ เท่ากับ 17,106.5 พันตัน อินโดนีเซีย มีปริมาณการจับเท่ากับ 6,436.7 พันตัน และสหรัฐอเมริกา มีปริมาณการจับ เท่ากับ 4,975.9 พันตัน ตามลำดับ ส่วนสถิติปริมาณเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของประเทศต่าง ๆ ที่สำคัญทั่วโลก ในปี 2553-2557 (ตารางที่ 1.2) พบว่า ในปี 2557 ประเทศที่สามารถเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้มากที่สุดสามอันดับแรกของโลก ได้แก่ จีน มีปริมาณการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เท่ากับ 45,469.0 พันตัน อินเดีย มีปริมาณการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เท่ากับ 4,881.0 พันตัน และอินโดนีเซีย มีปริมาณการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เท่ากับ 4,253.9 พันตัน ตามลำดับ แม้ว่าในปีเดียวกันประเทศไทยมีปริมาณการจับ และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพียง 1,769.5 พันตัน และ 934.8 พันตัน ตามลำดับ แต่ประเทศไทยสามารถนำสัตว์น้ำมาใช้ประโยชน์ทั้งเพื่อการบริโภคสด และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ รวมทั้งเป็นอาหารสัตว์น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพดังแสดงในตารางที่ 1.3 และ 1.4 และจากตารางดังกล่าวข้างต้นสถิติการใช้ประโยชน์ของสัตว์น้ำเค็มและสัตว์น้ำจืด พบว่า สัตว์น้ำเค็มนิยมแปรรูป เป็นผลิตภัณฑ์ประมงปรุงแต่งแช่เย็น แช่แข็งเพื่อการส่งออกมากที่สุด โดยเฉพาะกุ้ง และกั้ง (ตารางที่ 1.3) ส่วนสัตว์น้ำจืดนิยมบริโภคสด และแปรรูปเป็นปลาร้า และปลาเจ๋ามากที่สุด (ตารางที่ 1.4)

ตารางที่ 1.1 สถิติปริมาณการจับสัตว์น้ำของประเทศต่างๆ ที่สำคัญทั่วโลก ปี2553 -2557

ปริมาณ (Unit) : 1,000 ตัน (Ton)

ประเทศ	2553	2554	2555	2556	2557
รวมทั่วโลก	89,130.1	93,682.9	91,310.9	92,669.2	93,445.2
จีน	15,414.8	15,768.6	16,167.4	16,274.9	17,106.5
อินโดนีเซีย	5,373.5	5,648.0	5,719.0	6,037.8	6,436.7
สหรัฐอเมริกา	4,387.5	5,113.5	5,091.4	5,141.9	4,975.9
อินเดีย	4,689.3	4,311.1	4,872.1	4,645.2	4,718.8
รัสเซีย	4,069.9	4,254.9	4,331.4	4,348.4	4,225.6
พม่า	3,063.2	3,333.0	3,579.3	3,786.8	4,083.3

ตารางที่ 1.1 (ต่อ) สถิติปริมาณการจับสัตว์น้ำของประเทศต่างๆ ที่สำคัญทั่วโลก ปี2553 -2557

ปริมาณ (Unit) : 1,000 ตัน (Ton)

ประเทศ	2553	2554	2555	2556	2557
รวมทั่วโลก	89,130.1	93,682.9	91,310.9	92,669.2	93,445.2
ญี่ปุ่น	4,066.9	3,776.5	3,651.0	3,655.7	3,661.0
เปรู	4,301.6	8,249.2	4,849.2	5,854.3	3,573.4
เวียดนาม	2,414.4	2,514.3	2,705.4	2,803.8	2,919.2
ฟิลิปปินส์	2,611.8	2,363.2	2,323.0	2,331.7	2,350.9
นอร์เวย์	2,679.9	2,282.3	2,150.3	2,079.3	2,301.6
ชิลี	2,679.7	3,063.5	2,572.9	1,770.9	2,175.5
ไทย	1,810.6	1,835.1	1,719.6	1,824.8	1,769.5
เกาหลีใต้	1,721.9	1,741.6	1,666.4	1,593.2	1,727.6
บังคลาเทศ	1,726.6	1,600.9	1,535.7	1,550.4	1,591.2
เม็กซิโก	1,526.5	1,566.1	1,575.0	1,615.9	1,519.9
มาเลเซีย	1,433.4	1,378.8	1,477.3	1,488.7	1,464.1
สเปน	975.2	1,009.6	927.6	987.5	1,109.5
ไอซ์แลนด์	1,060.6	1,138.5	1,358.6	1,366.7	1,076.8
ไต้หวัน	851.8	905.0	908.1	925.3	1,068.3
แคนาดา	936.1	865.3	818.8	852.1	862.4
อาร์เจนตินา	811.7	793.3	738.1	870.7	829.9
บราซิล	785.4	765.4	820.1	765.3	767.0
สหราชอาณาจักร	612.6	600.6	631.5	632.3	755.7
เดนมาร์ก	828.1	716.4	502.8	668.5	745.1
เอกวาดอร์	399.9	506.4	513.4	514.6	663.5
กัมพูชา	490.1	560.8	566.7	639.5	625.3
แอฟริกาใต้	628.3	533.4	702.8	417.9	596.3
ศรีลังกา	389.1	426.8	473.8	492.1	535.1
ฝรั่งเศส	447.5	480.5	460.5	496.2	521.4

ที่มา : กรมประมง (2561)

ตารางที่ 1.2 สถิติปริมาณการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของประเทศต่างๆ ที่สำคัญทั่วโลก ปี2553 -2557

ปริมาณ (Unit) : 1,000 ตัน(Ton)

ประเทศ	2553	2554	2555	2556	2557
รวมทั่วโลก	58,972.8	61,809.0	66,465.6	70,260.7	73,783.7
จีน	36,734.2	38,621.3	41,108.3	43,549.7	45,469.0
อินเดีย	3,785.8	3,673.1	4,209.5	4,550.7	4,881.0
อินโดนีเซีย	2,304.8	2,718.4	3,067.7	3,973.8	4,253.9
เวียดนาม	2,670.6	2,845.6	3,084.8	3,206.5	3,397.1
บังคลาเทศ	1,308.5	1,523.8	1,726.1	1,859.8	1,956.9
นอร์เวย์	1,019.8	1,143.9	1,321.1	1,247.9	1,332.5
ชิลี	701.1	954.8	1,071.4	1,033.2	1,214.5
อียิปต์	919.6	986.8	1,017.7	1,097.5	1,137.1
พม่า	850.7	816.8	885.2	929.2	962.2
ไทย	1,286.1	1,201.5	127.1	997.5	934.8
ฟิลิปปินส์	774.7	767.3	790.9	815.0	788.0
ญี่ปุ่น	718.3	556.8	633.0	608.8	657.0
บราซิล	411.0	435.4	480.1	477.0	561.8
เกาหลีใต้	475.6	507.0	486.9	402.1	480.4
สหรัฐอเมริกา	496.7	397.3	420.4	421.5	425.9
เอกวาดอร์	272.5	309.5	322.5	332.2	368.2
ไต้หวัน	310.3	314.4	344.4	344.5	339.6
สเปน	252.4	272.0	264.2	223.7	282.2
มาเลเซีย	373.4	287.2	303.4	261.3	275.7
สหราชอาณาจักร	201.4	199.0	205.6	203.3	204.6
ฝรั่งเศส	224.4	206.9	204.9	200.4	204.0
เม็กซิโก	126.2	137.1	143.7	171.8	194.2
อิตาลี	153.5	164.1	162.6	162.6	162.5
รัสเซีย	120.4	128.8	144.9	154.9	161.2

ที่มา : กรมประมง (2561)

ตารางที่ 1.3 การใช้ประโยชน์สัตว์น้ำเค็ม เป็นร้อยละ (%) จำแนกเป็นรายชนิดสัตว์น้ำ ปี 2558

ชนิดสัตว์น้ำ	สัตว์น้ำสำหรับใช้บริโภค						
	บริโภค	สด	กระ	หมักดอง		ทำเค็ม	ตากแห้ง
	สด	แช่เย็น	ปอง	น้ำปลา	กะปิ	ทำเค็ม	ตากแห้ง
รวม	24.18	27.04	8.98	4.22	0.13	7.66	0.92
ปลาเบญจพรรณ	12.27	26.25	18.42	9.49	-	7.79	-
ปลาเป็ด	-	-	-	-	-	-	-
กุ้ง, กั้ง	25.07	72.76	1.29	-	-	-	0.82
เคย	-	-	-	-	100	-	-
ปู	63.24	15.03	21.73	-	-	-	-
หอย	97.92	0.19	0.92	-	-	-	0.97
หมึก	40.13	44.34	2.28	-	-	-	13.25
สัตว์น้ำอื่นๆ	-	-	-	-	-	100	-

ที่มา : กรมประมง (2561)

ตารางที่ 1.4 การใช้ประโยชน์สัตว์น้ำจืด เป็นร้อยละ (%) จำแนกเป็นรายชนิดสัตว์น้ำ ปี 2558

ชนิดสัตว์น้ำ	สัตว์น้ำสำหรับใช้บริโภค					
	บริโภค	ทำเค็ม	นึ่ง-ย่าง	หมักดอง		
	สด			น้ำปลา	ปลาร้า	กะปิ
รวม	78.26	6.38	6.37	0.30	7.15	0.04
ปลาช่อน	80.07	11.41	5.13	-	3.25	0.01
ปลาดุก	82.54	5.05	8.99	-	3.38	-
ปลาหมอ	75.45	2.68	2.48	0.16	19.01	0.06
ปลาตะเพียน	74.19	4.71	4.80	0.64	9.34	0.02
ปลานิล	84.71	4.46	5.70	0.02	4.58	0.02
ปลาไน	89.82	2.03	3.67	0.11	3.74	0.03
ปลาสลิิด	78.18	20.66	0.20	0.04	0.89	0.01

ตารางที่ 1.4 (ต่อ) การใช้ประโยชน์สัตว์น้ำจืด เป็นร้อยละ (%) จำแนกเป็นรายชนิดสัตว์น้ำปี 2558

ชนิดสัตว์น้ำ	สัตว์น้ำสำหรับใช้บริโภค					
	บริโภค	ทำเค็ม	นึ่ง-ย่าง	หมักดอง		
				น้ำปลา	ปลาร้า	กะปิ
ปลาซวาย	71.46	14.17	8.73	0.40	4.07	-
ปลาแรด	90.09	2.82	6.02	0.26	0.75	-
ปลาไหล	96.36	0.53	1.82	-	0.01	-
ปลาอื่นๆ	70.09	6.05	3.93	1.63	15.18	0.19
กุ้งก้ามกราม	98.03	0.00	1.967	-	-	-
กุ้งฝอย	83.16	0.41	0.03	0.29	8.14	3.90
ตะพาบน้ำ	99.10	-	0.960	-	-	-
สัตว์น้ำอื่นๆ	86.37	3.96	3.64	0.04	5.14	0.07

ที่มา : กรมประมง (2561)

1.4 ความสำคัญของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ประมง

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ประมงที่ไม่เพียงแต่ดูดีมีสีสันและให้รสชาติอร่อยเท่านั้น ผลิตภัณฑ์ประมงยังเป็นแหล่งของสารอาหารที่มีคุณภาพซึ่งควรรับประทานทุกวัน ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความหลากหลายของสัตว์น้ำมาก คนไทยจึงโชคดีที่สามารถบริโภคสัตว์น้ำได้หลากหลายชนิด นอกจากการบริโภคสดแล้ว ยังมีสัตว์น้ำแปรรูปชนิดต่างๆ มากมาย เช่น หนุ่นกระป๋อง กุ้งสดแช่เยือกแข็ง กุ้งปรุงแต่ง ปูกระป๋อง หมึกแห้ง น้ำปลา ปลาร้า ปลาตากแห้ง ในปี 2558 ประเทศไทยมีการส่งออกสัตว์น้ำสดและสัตว์น้ำแปรรูปในปริมาณ และมูลค่าสูงกว่าแสนล้านบาทต่อปี เนื่องจากผลิตภัณฑ์ประมงไทยมีความหลากหลาย และมีรสชาติเฉพาะตัว สำหรับผลิตภัณฑ์ประมงไทยที่ตลาดมีความต้องการสูง ได้แก่ หนุ่นกระป๋อง กุ้งสดแช่เยือกแข็ง กุ้งกระป๋อง และกุ้งปรุงแต่ง สำหรับตลาดส่งออกที่สำคัญ คือ ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา อิตาลี สหราชอาณาจักร และเวียดนาม อุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำจึงมีความสำคัญมาก เพราะนอกจากจะเป็นการนำเงินตราจากต่างประเทศเข้ามาแล้ว ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้ผลผลิตสัตว์น้ำซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ผลิตโดยชาวประมงไทย การบริหารจัดการทั้งในด้านการเพาะเลี้ยง การจับ รวมทั้งเทคโนโลยีในการแปรรูปสัตว์น้ำอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ

สัตว์น้ำเป็นสิ่งมีชีวิตที่ยังมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีอย่างต่อเนื่อง สัตว์น้ำภายหลังการจับ การหายใจจะหยุดการหมุนเวียนของเลือดก็หยุดกิจกรรมการเจริญของจุลินทรีย์จะทำให้ความสดของสัตว์น้ำลดลงจนส่งผลให้สัตว์น้ำ และผลิตภัณฑ์ประมงเสื่อมคุณภาพลง คุณภาพของสัตว์น้ำ และผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ ได้แก่ การดูแลหลังการจับสัตว์น้ำ กระบวนการแปรรูปสัตว์น้ำ การบรรจุสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ การเก็บรักษา การขนส่งสัตว์น้ำ และผลิตภัณฑ์ไปยังโรงงานแปรรูปหรือผู้บริโภค ดังนั้นจึงต้องมีการนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยดังกล่าวมาใช้จึงจะทำให้ได้สัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ

1.5 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ประมงในประเทศไทย

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังจัดทำโครงการเมืองนวัตกรรมอาหารหรือ “Food Innopolis” โดยรัฐบาลจัดสรรงบประมาณด้านการวิจัยและพัฒนาการถนอม และแปรรูปอาหารเพิ่มขึ้นเพื่อเชื่อมโยงธุรกิจในวงจรห่วงโซ่อาหารสู่ระดับสากล การเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์จากผลผลิตทางการเกษตร และบริการของอุตสาหกรรมอาหารให้กลายเป็นตัวขับเคลื่อนสำคัญทางเศรษฐกิจ ในปัจจุบันการดำเนินธุรกิจที่มีการแข่งขันสูง และมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านเศรษฐกิจตลอดเวลา จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว การพัฒนาผลผลิตทางเกษตรอาจเป็นแนวทางที่จะนำประเทศไทยไปสู่เวทีเศรษฐกิจโลกได้อย่างมั่นคง เนื่องจากประชากร ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกร การส่งออกเพียงวัตถุดิบทางการเกษตรอย่างเดียวอาจไม่สามารถทำให้เกษตรกรมีคุณภาพชีวิตที่ดีตามความคาดหวังได้ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2562 รัฐบาลได้กำหนดนโยบายให้ประเทศไทยเป็นครัวโลก ได้กำหนดวิสัยทัศน์ในการพัฒนาประเทศไทยไว้ว่า มั่นคง มั่งคั่ง ยั่งยืน กรมประมงจึงได้ปรับวิสัยทัศน์และยุทธศาสตร์กรมประมงให้สอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบัน และเพื่อให้เกิดการบริหารจัดการและการใช้ประโยชน์ทรัพยากรอย่างยั่งยืน มีความมั่นคงทางอาหาร กรมประมงแก้ไขปรับปรุงแนวทางการทำงานในด้านต่าง ๆ ได้แก่ พัฒนาเทคโนโลยี พัฒนาระบบในการพัฒนาผลผลิตประมง เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มตรงตามความต้องการของตลาดและเป็นไปตามกฎระเบียบของนานาชาติ และมีความปลอดภัยด้านอาหารตามที่กำหนด โดยจะต้องมีการประสานสอดคล้องกับการปฏิบัติงานของหน่วยงานในส่วนงานด้านการเพาะเลี้ยง และการบริหารจัดการทรัพยากรประมงด้วย

ดังนั้น การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากผลผลิตทางการเกษตร โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ประมงทั้งในระบบอุตสาหกรรมขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ควรต้องพิจารณารูปแบบของผลิตภัณฑ์ให้มีขีดความสามารถในการแข่งขันทางการตลาดได้ โดยอาศัยภูมิปัญญาท้องถิ่นซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของไทยร่วมกับการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมจนสามารถยกระดับของผลิตภัณฑ์ไปสู่สากลได้ ตัวอย่าง

ผลิตภัณฑ์ประมงที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายรูปแบบ คือ ชูริมิ หรือเนื้อปลาบด โดยใช้เป็นวัตถุดิบหลักในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้น ปูอัด เต้าหู้ปลา ชิกูวะ และ คามาโบโกะ นอกจากนี้แล้วยังสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์จากเศษเหลือของกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์จากสัตว์น้ำ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เช่น คอลลาเจน ไคโตซาน และน้ำมันปลา ทั้งสามชนิดจัดเป็นผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพ รวมถึงเจลาตินซึ่งสามารถนำไปใช้ใน ผลิตภัณฑ์ประเภทอื่น เช่น เยลลี่ และพุดดิ้ง ได้อีกด้วย

คอลลาเจน มีคุณสมบัติเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีความสามารถในการต้านความดันโลหิตสูง สร้างภูมิคุ้มกัน ต้านจุลินทรีย์ การทดสอบทางคลินิกพบว่าการฉีดคอลลาเจนไฮโดรไลเซท ช่วยลดความเจ็บปวดของผู้ป่วยที่ทรมานจากโรคข้อเข่าเสื่อม นอกจากนี้คอลลาเจนที่ย่อยแล้วมีส่วนสำคัญในการสังเคราะห์กระดูกอ่อน ตามกฎหมายอาหารยังไม่พบว่ามีข้อจำกัดในเรื่องปริมาณการใช้คอลลาเจนในอาหาร จึงควรบริโภคคอลลาเจนเพื่อเติมเต็มความต้องการคอลลาเจนของร่างกายเท่านั้น

ไคโตซาน มีคุณสมบัติเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีความสามารถลดระดับไขมันและระดับโคเลสเตอรอล ในกระแสเลือด (Aranaz *et al.*, 2009) หรือมีสมบัติเป็นสารตกตะกอนหรือสารช่วยให้ใส (clarifying agent) เพื่อทำให้น้ำผักและผลไม้ใส (Rungsardthong *et al.*, 2006) หรือพัฒนาไคโตซานเป็นฟิล์มเคลือบอาหาร (edible film) เพื่อรักษาความสดของผักและผลไม้ (Martinon *et al.*, 2014)

น้ำมันปลา มีคุณสมบัติเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีความสามารถลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคความดันโลหิตสูง ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน และโรคหลอดเลือดสมอง (stroke) รวมทั้งโรคมะเร็ง เนื่องจากน้ำมันปลาประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน โดยเฉพาะกลุ่มโอเมก้าสาม (ω -3 fatty acids) เช่น EPA และ DHA หรือโอเมก้าหก (ω -6 fatty acids) เช่น กรดไขมันลิโนเลนิก กรดไขมันเอราซิโดนิก เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย มนุษย์ควรได้รับน้ำมันปลาจากการรับประทานปลาขนาดกลางทั้งตัว โดยเลือกปลาที่แปรรูปด้วยการลวก นึ่ง ยกเว้นการทอด จึงจะได้รับคุณค่าทางโภชนาการที่ดีของน้ำมันปลา

1.6 เทคโนโลยีการแปรรูปผลิตภัณฑ์ประมง

ปัจจุบันอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารมีอัตราการแข่งขันด้านเทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร ทำให้เกิดการพัฒนารูปแบบการแปรรูปผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่มีความต้องการด้านการรักษา กลิ่น สี รสของอาหารแปรรูปให้ใกล้เคียงกับอาหารสด ส่งผลทำให้

เกิดการแข่งขันด้านนวัตกรรมการผลิตด้วยเทคโนโลยีที่สามารถรักษาคุณภาพของอาหาร เทคนิคเฮอเดิล (hurdle technology) ก็เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่ยิมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณลักษณะ สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางประสาทสัมผัสของอาหาร (กลิ่น สี รส) เทียบเคียงอาหารสด

หลักการของเทคนิคเฮอเดิล (hurdle technology) คือ การเลือกนำข้อดีของวิธีการถนอมอาหารหลายๆ วิธีมาใช้ร่วมกันเพื่อควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหารซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเสื่อมคุณภาพในสัตว์น้ำ เฮอเดิลที่นิยมใช้กันมากในการถนอมอาหาร ได้แก่ การลด water activity (a_w) การใช้อุณหภูมิต่ำ การใช้อุณหภูมิสูง การเพิ่มความเข้มข้นกรด การลดศักย์ภาพ การเกิดออกซิเดชัน รีดักชัน (oxidation reduction potential, Eh) การใช้สารกันเสีย (preservatives) การใช้จุลินทรีย์คู่แข่ง (competitive flora) ในการถนอมอาหารควรมีการเตรียมอาหารให้ถูกสุขลักษณะ ลดการปนเปื้อน และลดจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นให้น้อยที่สุด เพื่อให้การถนอมอาหารโดยใช้เทคนิคเฮอเดิลมีประสิทธิภาพมากที่สุด และแต่ละเฮอเดิลที่ใช้มีความรุนแรงน้อย

ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ใช้เทคนิคเฮอเดิล เช่น

1. อาหารแช่เย็น (chilled foods) ทำได้โดยให้ความร้อน 65-95 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดแบคทีเรีย สปอร์ที่รอดชีวิตซึ่งสามารถเพิ่มจำนวนได้ง่ายโดยไม่มีแบคทีเรียคู่แข่ง หากบรรจุอาหารในสภาพไม่มีออกซิเจนจะเกิดความเสี่ยงต่อการเจริญของสปอร์ที่ทนความร้อน เช่น แบคทีเรีย *Clostridium botulinum* กลุ่มที่ไม่ย่อยสลายโปรตีน (nonproteolytic group) ซึ่งสามารถเพิ่มจำนวนและสร้างสารพิษได้ที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงต้องใช้เทคนิคอื่นเข้ามาร่วม เช่น แบคทีเรียโอซิน การใช้กรดอินทรีย์ สารกันเสียจากธรรมชาติ เช่น เครื่องเทศ สมุนไพร ผลของการใช้เฮอเดิลในอาหารประเภทนี้ คือ สามารถยืดอายุการเก็บของอาหารแช่เย็นได้ที่อุณหภูมิ 1-8 องศาเซลเซียส นาน 42 วัน

2. อาหารหมักดอง (fermented food) ทำได้โดยให้ความร้อน 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ร่วมกับการเพิ่มความเข้มข้นกรดให้ไส้กรอกอิมัลชัน (brühwurst) ทำให้สปอร์ของแบคทีเรียที่เหลืออยู่ถูกควบคุมโดย pH ขณะที่เชื้อราที่ผิวไส้กรอกถูกยับยั้งการเจริญด้วยการรมควัน และการใช้สารยับยั้งเชื้อรา ผลของการใช้เฮอเดิล คือ สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย นอกจากนั้นการเพิ่มความเข้มข้นกรดให้ไส้กรอกอิมัลชัน (brühwurst) ร่วมกับการให้ความร้อน 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3. อาหารกึ่งแห้ง (Intermediate moisture foods: IMF) ทำได้โดยให้ความร้อน 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที ร่วมกับการใช้เทคนิคการลด a_w ด้วยเกลือ และกลีเซอรอล การ

เต็มโปแตสเชียมซอร์เบต เช่น ปลาแมคเคอเรลกึ่งแห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรสหวานปานกลาง เนื้อไม่แห้ง และไม่มีรสขม (Sanchez Pascua *et al.*, 1994)

บทสรุป

การประมงมีความสำคัญทั้งด้านเศรษฐกิจและสังคม โดยเป็นแหล่งรายได้ และการจ้างงานที่สำคัญ ผลผลิตทางการประมงที่สำคัญ คือ สัตว์น้ำ มีประโยชน์อย่างกว้างขวางต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ได้แก่ เป็นอาหารที่มีคุณภาพ ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม เป็นตัวอย่างเพื่อการศึกษา เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ และการประดับโลก จรรโลงจิตให้งดงาม สำหรับการนำสัตว์น้ำไปใช้ประโยชน์โดยมนุษย์นั้น แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ สัตว์น้ำเค็ม และสัตว์น้ำจืด ในสัตว์น้ำเค็มใช้บริโภคสดเพียงร้อยละ 20-30 เท่านั้น ที่เหลือจะถูกนำไปใช้เพื่อการบริโภค รูปแบบอื่น เช่น อาหารสดแช่แข็ง อาหารกระป๋อง อาหารนึ่งรมควัน ทำเค็มตากแห้ง และอาหารหมักดอง เป็นต้น บางส่วนของสัตว์น้ำเค็ม คือ ปลาเบ็ด และปลาเบญจพรรณขนาดเล็ก จะถูกนำไปทำปลาป่นหรือใช้เป็นอาหารสัตว์เลี้ยงสัตว์ สำหรับในสัตว์น้ำจืดนิยมใช้บริโภคสดในอัตราค่อนข้างสูงถึงร้อยละ 94-99 ในสัตว์น้ำพวกปลาไหล กุ้งก้ามกราม และตะพาบน้ำ ส่วนปลาทั่วไปใช้บริโภคสดร้อยละ 70-90 ยกเว้นในปลาชนิดที่มักนิยมทำเค็มตากแห้งถึงร้อยละ 83.3 สัตว์น้ำจืดที่เหลือจะถูกนำไปใช้ประโยชน์โดยการแปรรูปอย่างง่าย เช่น ทำเค็ม ตากแห้ง นึ่งย่าง น้ำปลา ปลาร้า ปลาเจ่า กะปิ ฯลฯ และใช้เป็นอาหารสัตว์อื่นๆ เพียงร้อยละ 1-2 เท่านั้น จากการที่ทรัพยากรประมงมีประโยชน์มากมายและมีการนำผลผลิตทางการประมงไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง จึงได้มีการวางแผนการพัฒนาการประมงอย่างต่อเนื่อง สำหรับใน ปีพ.ศ. 2556-2559 ยุทธศาสตร์กรมประมง มีเป้าหมายเพื่อให้เกษตรกรประมงมีคุณภาพชีวิตที่ดี มีการรวมกลุ่มกันเป็นองค์กรที่เข้มแข็ง ทำการประมงแบบรับผิดชอบเพื่อฟื้นฟูทรัพยากรและสภาพแวดล้อมทางการประมงให้ยั่งยืน ส่งเสริมให้มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั้งน้ำจืดและชายฝั่ง เพื่อทดแทนการจับสัตว์น้ำจากธรรมชาติซึ่งมีปริมาณลดน้อยลงทุกวัน ขณะเดียวกันก็ส่งเสริมให้ชาวประมงที่มีความรู้ความสามารถและเพียงพอทำการประมงนอกน่านน้ำมากขึ้น ทั้งในน่านน้ำสากลและน่านน้ำของประเทศชายฝั่งบางประเทศ รวมทั้งสนับสนุนอุตสาหกรรมและธุรกิจการประมง เพื่อให้มีการใช้ประโยชน์จากสัตว์น้ำเต็มศักยภาพ มีมูลค่าทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้น สร้างรายได้ไม่ต่ำกว่าปีละ 1 แสนล้านบาท และสามารถกระจายสินค้าสัตว์น้ำให้ คนไทยได้บริโภคไม่ต่ำกว่า 30 กิโลกรัมต่อคนต่อปี

คำถามท้ายบท

1. จงยกตัวอย่างความสำคัญของสัตว์น้ำที่มีต่อตัวเอง ครอบครัว สังคม และเศรษฐกิจ
2. ยกตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้เทคโนโลยีการแปรรูปสัตว์น้ำที่ท่านรู้จักมา 3 ชนิด
3. จงอธิบายประโยชน์ของเทคโนโลยีการแปรรูปสัตว์น้ำที่มีต่อตัวเอง ครอบครัว สังคม และเศรษฐกิจ
4. จงอธิบายเหตุผล และความจำเป็นของการสร้างแหล่งอุตสาหกรรมสัตว์น้ำในประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

- กรมประมง. (2561). การวิเคราะห์เส้นทางการส่งออกปูทะเลมีชีวิตมีชีวิตไปยังประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน. สืบค้น 20 กันยายน 2563, จาก <https://www4.fisheries.go.th/index.php/doffile/fkey/ref15125>
- กรมประมง. (2561). สถิติผลผลิตการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดประจำปี 2559. [เอกสารฉบับที่ 12/2561]: กรมประมง, กรุงเทพฯ
- จันทิมา เพียรผล. (2561). สืบค้นจาก สืบค้น 23 กันยายน 2563, จาก www.fisheries.go.th/strategy/fisheconomic/Monthly%20report/กึ่งกัมกรามไตรมาส%203-61.pdf
- พรณราย แสงวิเชียร มรกต กำแพงเพชร แวมยุรา คำสุข บรรเจิดศักดิ์ สันท์ศักดิ์ ชรินทร์งามกมล และกัณฑ์ติมาฐ รัตนปริญญานุกุล. (2561). แผนธุรกิจเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ปลาสดแปรรูปตามความต้องการของผู้บริโภค. สืบค้น 20 กันยายน 2563, จาก <https://so01.tci-thaijo.org/index.php/bahcuoj/article/download/145064/107207/>
- Aguilera, J. M. Francke. A., Figueroa, G., Bornharth, C., & Cifuentes, A. (1992). Preservation of minced pelagic fish by combined methods. *International Journal of Food Science & Technology*, 27(2), 171-177.
- Aranaz, I., Mengibar, M., Harris, R., Panos, I., Miralles, B., Acosta, N., et al. (2009). Functional characterization of chitin and chitosan. *Current Chemical Biology*, 3(2), 203-230.
- Martiñon, M. E., Moreira, R. G., Castell-Perez, M. E., & Gomes C. (2014). Development of a multilayered antimicrobial edible coating for shelf-life extension of fresh-cut cantaloupe (*Cucumis melo* L.) stored at 4°C. *LWT-Food Science and Technology*, 56(2), 341-350. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.11.043>
- Rungsardthong, V., Wongvuttanakul, N., Kongpien, N., & Chotiwaranon, P. (2006). Application of fungal chitosan for clarification of apple juice. *Process Biochemistry*, 41(3), 589-593. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.08.003>

Sanchez Pascua, G.L., Casales, M.R., & Yeannes M.I. (1994). Preliminary development of intermediate moisture, pasteurized mackerel (*Scomber japonicus marplatensis*) chunks. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 64(2), 199-204.

บทที่ 2

น้ำในสัตว์น้ำ

น้ำหรือความชื้น เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในสัตว์น้ำ ปริมาณน้ำขึ้นอยู่กับชนิด และสภาวะทางโภชนาการของสัตว์น้ำ ในกล้ามเนื้อของสัตว์น้ำมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 50-85 น้ำในกล้ามเนื้อของสัตว์น้ำมีความสำคัญต่อคุณภาพสัตว์น้ำ และผลิตภัณฑ์จากสัตว์น้ำ เนื่องจากน้ำมีความสามารถในการเป็นตัวทำละลายจึงมีผลต่อลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และกลิ่นรส อีกทั้งน้ำยังมีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของสารอาหารที่เป็นองค์ประกอบชนิดอื่น ๆ เช่น โปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุ เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียม ตลอดจนกระบวนการแปรรูปสัตว์น้ำ นอกจากนี้ การลดปริมาณน้ำในสัตว์น้ำจะส่งผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษา สัตว์น้ำได้ ดังนั้นความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสมบัติและประโยชน์ของน้ำในสัตว์น้ำจึงมีความสำคัญต่อการเลือกกระบวนการผลิตสัตว์น้ำ และผลิตภัณฑ์ประมงเป็นอย่างมาก ตัวอย่างสัตว์น้ำที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภค เช่น กลุ่มหอยมีปริมาณน้ำสูงสุด ได้แก่ หอยกะพงมีปริมาณน้ำ 90.3 กรัมต่อเนื้อ 100 กรัม หอยแมลงภู่มีปริมาณน้ำ 85.5 กรัมต่อเนื้อ 100 กรัม รองลงมา คือ กลุ่มกุ้ง ได้แก่ เนื้อกุ้งขาวปริมาณน้ำ 84.4 กรัมต่อเนื้อ 100 กรัม เนื้อกุ้งกุลาดำมีปริมาณน้ำ 80.3 กรัมต่อเนื้อ 100 กรัม ส่วนกลุ่มปู ได้แก่ ปูม้า 80.1 กรัมต่อเนื้อ 100 กรัม ปูทะเลมีปริมาณน้ำ 74.4 กรัมต่อเนื้อ 100 กรัม และกลุ่มปลาที่มีปริมาณน้ำต่ำสุด ได้แก่ ปลาช่อนมีปริมาณน้ำ 73.1 กรัมต่อเนื้อ 100 กรัม ปลาทุสด มีปริมาณน้ำ 72.0 กรัมต่อเนื้อ 100 กรัม เป็นต้น (กองโภชนาการ, 2544)

2.1 โมเลกุลของน้ำ

น้ำ (water) ประกอบด้วยอะตอมของออกซิเจน 1 อะตอม และอะตอมของไฮโดรเจน 2 อะตอมเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ โดยอะตอมของออกซิเจนมีความสามารถในการดึงอิเล็กตรอนเข้าหาตัวเอง หรือเรียกว่า ค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี (electronegativity) สูงกว่าอะตอมของไฮโดรเจน

อิเล็กตรอนจึงกระจายตัวไม่เท่ากัน ทำให้พันธะโคเวเลนต์ที่เชื่อมต่อสองอะตอมเข้าด้วยกันจะอยู่ใกล้กับอะตอมของออกซิเจนมากกว่าอะตอมของไฮโดรเจน ส่งผลให้ปลายพันธะโคเวเลนต์ด้านออกซิเจนของโมเลกุลน้ำมีคุณสมบัติเป็นขั้วลบส่วนปลายพันธะโคเวเลนต์ด้านไฮโดรเจนมีคุณสมบัติเป็นขั้วบวก โดยมีมุมระหว่างพันธะภายในโมเลกุลของน้ำในสถานะก๊าซเท่ากับ 104.5 องศา มีสูตรโครงสร้างเป็น H_2O แต่ละโมเลกุลของน้ำเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนมากถึง 4 พันธะ เกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนรูปสามมิติแบบเตตระฮีดรอน (tetrahedron) ทำให้น้ำมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลแบบแวนเดอร์วาลส์ (van de Waals) มาก ส่งผลทำให้คุณสมบัติทางกายภาพบางประการของน้ำมีค่าสูงกว่าโมเลกุลอื่น ๆ ที่เป็นแบบเตตระฮีดรอน เหมือนกัน เช่น ความจุความร้อน จุดหลอมเหลว จุดเดือด แรงตึงผิว ความร้อนของการระเหย และความร้อนของการระเหิด เป็นต้น นอกจากนี้โมเลกุลน้ำมีทั้งขั้วบวกและลบ จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน กับโมเลกุลที่มีขั้วอื่น ๆ ได้ เช่น แอลกอฮอล์ กรดคาร์บอกซิลิก แอลดีไฮด์ และคีโตน เป็นต้น (ตารางที่ 2.1) ปัจจัยสำคัญที่ทำให้สมบัติทางกายภาพของโมเลกุลของน้ำเปลี่ยนแปลงคือ อุณหภูมิ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้อัตราส่วนของพันธะไฮโดรเจนรูปสามมิติเปลี่ยนไปด้วยเช่นกัน ซึ่งพันธะไฮโดรเจนมีบทบาทสำคัญต่อปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับน้ำ ได้แก่ การเติมน้ำ (hydration), การกำจัดน้ำ (dehydration) และการไฮโดรไลส์ (hydrolysis) การศึกษาสมบัติ และบทบาทของน้ำในสถานะของเหลว ของแข็ง และก๊าซจะสามารถช่วยให้เข้าใจหลักการถนอมสัตว์น้ำได้ง่ายยิ่งขึ้น

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพของน้ำและน้ำแข็ง

สมบัติ	ค่า
น้ำหนักโมเลกุล	18.0153
จุดหลอมละลาย (ที่ความดัน 101.3 กิโลพาสคาล)	0.00 °C
จุดเดือด(ที่ความดัน 101.3 กิโลพาสคาล)	100.00 °C
อุณหภูมิวิกฤต	373.99°C
ความดันวิกฤต	22.064 เมกกะพาสคาล
อุณหภูมิที่จุดร่วมสาม (Triple point temperature)	0.01°C
ความดันที่จุดร่วมสาม (Triple point pressure)	611.73 พาสคาล
เอนทัลปีของการกลายเป็นไอที่ 100°C	40.647 กิโลจูล/โมล
เอนทัลปีของการระเหิดที่ 0 °C	50.91 กิโลจูล/โมล
เอนทัลปีของการหลอมเหลวที่ 0 °C	6.002 กิโลจูล/โมล

ที่มา : ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง (2558)

2.2 น้ำในสัตว์น้ำ

2.2.1 น้ำในสัตว์น้ำแบ่งตามความสามารถในการยึดเกาะของน้ำกับสารอาหารชนิดอื่น ๆ เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. น้ำอิสระ (free water) คือ น้ำที่สามารถกำจัดออกจากกล้ามเนื้อของสัตว์น้ำได้ง่าย น้ำอิสระอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์กล้ามเนื้อของสัตว์น้ำ เมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยการตัด หั่น หรือตากแห้งเนื้อสัตว์น้ำ น้ำส่วนนี้จะระเหยออกไป ทำให้มีผลต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ประมง นอกจากนั้นยังมีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลาย และเป็นตัวกลางให้สารแพร่กระจายแบบคอลลอยด์

2. น้ำยึดเหนี่ยว (bound water) คือ น้ำที่กำจัดออกจากกล้ามเนื้อของสัตว์น้ำได้ยาก น้ำยึดเหนี่ยวจะเชื่อมต่อกับโมเลกุลขนาดใหญ่ขององค์ประกอบอื่น ๆ ในสัตว์น้ำ เช่น โปรตีน ด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลแบบแวนเดอร์วาลส์ ทำให้น้ำส่วนนี้มีแรงยึดเกาะกับโมเลกุลขนาดใหญ่ในสัตว์น้ำที่แน่นพอควร อย่างไรก็ตาม น้ำยึดเหนี่ยวบางส่วนมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลแบบไดโพล-ไอออน (dipole-ion interaction) จะทำให้น้ำส่วนนี้มีแรงยึดเกาะกับโมเลกุลขนาดใหญ่ในสัตว์น้ำแน่นที่สุด และจะกำจัดออกได้ยากมาก ตัวอย่างเช่น น้ำที่มีพันธะโคออดิเนตกับไอออน โปรตีน และเกลืออนินทรีย์ เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) น้ำยึดเหนี่ยวไม่สามารถทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายได้ แข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำมากหรือไม่แข็งตัวเลย หรืออีกความหมายหนึ่งก็คือ ความเย็นจัดและความร้อนสูงไม่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำยึดเหนี่ยว ไม่ระเหยง่ายเหมือนน้ำอิสระจึงไม่มีความดันไอ และโมเลกุลของน้ำยึดเหนี่ยวเกาะกันอย่างหนาแน่นมากกว่าน้ำในสภาวะของเหลวจึงทำให้มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำอิสระ

2.2.2 บทบาทของน้ำในสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมง

น้ำมีความสำคัญต่อสมบัติของสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมงหลาย ๆ ด้าน ทั้งสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ความหนืด (viscosity) สมบัติด้านเนื้อสัมผัส (textural properties) รวมถึงมีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของสารอาหารอื่น ๆ นอกจากนั้นน้ำยังมีผลต่อการเสื่อมเสียของสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมงด้วย ตัวอย่างบทบาทสำคัญของน้ำที่มีต่อสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมง ได้แก่

1. การทำหน้าที่เป็นตัวนำความร้อน

น้ำทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนจาก แหล่งกำเนิดความร้อนไปสู่สัตว์น้ำ เช่น การนำปลาไปวางบนกระทะแล้วให้ความร้อน กระทะและปลาจะไหม้เกรียมก่อนที่จะปลาจะสุกทั่วทั้งตัว หากเติมน้ำลงในกระทะระหว่างการให้ความร้อนปลาจะไม่ไหม้ เนื่องจากน้ำจะช่วยนำและพาความร้อน โดยกระจายความร้อนส่งไปให้ปลา ทำให้ปลาสุกทั่วทั้งตัวอย่างสม่ำเสมอ

2. การทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย

น้ำทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย และเป็นตัวกลางให้สารแพร่กระจายแบบคอลลอยด์ เนื่องจากน้ำเป็นโมเลกุลมีขั้วจึงสามารถละลายสารประกอบที่มีประจุได้เพราะปลายด้านที่มีประจุของน้ำจะเข้าไปหาปลายที่มีประจุตรงข้ามของสารประกอบนั้นและดึงโมเลกุลนั้นให้ละลายในน้ำความสามารถในการเป็นตัวทำละลายของน้ำขึ้นกับขนาดโมเลกุลของตัวถูกละลายด้วย หากโมเลกุลของตัวถูกละลายมีขนาดเล็กจะละลายได้ดีกว่าขนาดใหญ่ และเรียกว่า สารละลาย เช่น น้ำตาล วิตามินที่ละลายน้ำได้ สารให้กลิ่นรส และการละลายเกลือแกง (โซเดียมคลอไรด์) ซึ่งเป็นสารละลายไอออนิกที่เกิดจากการละลายสารที่สามารถแตกตัวเป็นไอออนในน้ำได้ โดยปลายด้านอะตอมออกซิเจนของโมเลกุลน้ำซึ่งมีประจุเป็นลบจะเชื่อมต่อกับโซเดียมในเกลือแกงซึ่งมีประจุเป็นบวก ในทางตรงข้ามปลายด้านอะตอมไฮโดรเจนของโมเลกุลน้ำซึ่งมีประจุเป็นบวกจะเชื่อมต่อกับคลอไรด์ในเกลือแกงซึ่งมีประจุเป็นลบ คุณสมบัติดังกล่าวจึงมีประโยชน์เป็นอย่างมากในกระบวนการแปรรูปสัตว์น้ำ เช่น การทำเค็ม การทำลูกชิ้นปลา เป็นต้น

3. การทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้สารแพร่กระจายแบบคอลลอยด์

น้ำเป็นตัวกลางในการกระจายตัวของคอลลอยด์ (colloid) หรือโมเลกุลที่ใหญ่เกินกว่าจะเกิดเป็นสารละลายที่แท้จริง (true solution) ในน้ำ จึงกระจายตัวในน้ำเกิดเป็นคอลลอยด์ หรือ ซอล (sol) ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคคอลลอยด์และส่วนที่เป็นตัวกลาง คอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่าอะตอมและโมเลกุลแต่ก็ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ โปรตีนเป็นกลุ่มที่สามารถเกิดการกระจายตัวในน้ำเกิดเป็นคอลลอยด์ เช่น เจลาตินซึ่งเป็นโปรตีนที่สกัดจากหนังปลาสามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำร้อนซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของการนำเจลาตินของปลาไปใช้ประโยชน์ ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเสถียรของการกระจายตัวในน้ำของคอลลอยด์ในผลิตภัณฑ์ประมง คือ ความร้อน การแช่แข็ง การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) การเปลี่ยนแปลงสภาวะในขณะที่การกระจายตัวเสถียรอาจนำไปสู่การเกิดสมบัติเชิงหน้าที่บางอย่าง เช่น ความสามารถในการเกิดเจล (gelation)

4. การทำหน้าที่ในการควบคุมลักษณะเนื้อของสัตว์น้ำ

โปรตีนกล้ามเนื้อปลาที่สดจะมีความสามารถในการยึดเกาะกับน้ำได้ดี โดยจัดประเภทเป็น bound water แต่เมื่อสัตว์น้ำมีความสดลดลงจะส่งผลให้โปรตีนมีความสามารถในการยึดเกาะ กับน้ำได้น้อยลง และเปลี่ยนประเภทเป็น free water มากขึ้น ซึ่งเป็นน้ำที่สามารถกำจัด และระเหยได้ง่ายด้วยกระบวนการแปรรูปเบื้องต้น เช่น การหั่น จึงทำให้ลักษณะ เนื้อสัมผัสด้านความฉ่ำน้ำของเนื้อ (juiciness) และความแข็งของเนื้อ (hardness) ของสัตว์น้ำลดลง

5. การทำหน้าที่ควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บรักษาสัตว์น้ำ

กระบวนการถนอมสัตว์น้ำด้วยการลดความชื้น เช่น การตากแห้ง การใส่เกลือ และวิธีอื่น ๆ ซึ่งการลดความชื้นทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ช้า และสามารถลดการทำงานของเอนไซม์หรือทำลายเอนไซม์ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบต่าง ๆ จนนำไปสู่การเสื่อมเสียของสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์

2.3 วอเตอร์แอทวิตี (water activity)

ค่าวอเตอร์แอทวิตี หรือ ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) คือ อัตราส่วนของความดันไอของน้ำในอาหาร (p) ต่อความดันไออิ่มตัวของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน (p_0) ดังแสดงในสมการ (1)

$$a_w = p/p_0 \dots \dots \dots (1)$$

ความดันที่โมเลกุลของไอน้ำที่ระเหยตลอดเวลาในภาชนะปิดภายใต้สภาวะสมดุลมีผลต่อผิวน้ำ เรียกว่า ความดันไอ ความดันไอของน้ำที่เป็นองค์ประกอบในสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมงมีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อค่าความดันไอของน้ำในอาหาร เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เป็นต้น ภายใต้อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเดียวกัน ความดันไอของสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมงจะสามารถบอกได้ว่าอาหารจากสัตว์น้ำเกิดการดูดหรือคายความชื้นให้กับอากาศที่แวดล้อม ณ ขณะนั้นได้ ดังนั้น ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอ้อมตัวจึงมีความสัมพันธ์กับค่า a_w ซึ่งเป็นการวัดความดันไอน้ำในอาหารซึ่งเป็นน้ำประเภทที่สามารถดูดและคายความชื้นจากอากาศมาไว้ในตัวได้ (hygroscopic) โดยคำนวณจากค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอ้อมตัว (equilibrium relative humidity; ERH) หารด้วย 100 ดังแสดงในสมการ (2)

$$a_w = ERH/100 \dots \dots \dots (2)$$

ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศอ้อมตัว หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศขณะนั้นต่อปริมาณไอน้ำสูงสุดที่อากาศจะรับได้หรือปริมาณไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิเดียวกัน บอกค่าเป็นร้อยละ ERH 100 % หมายถึง อากาศอ้อมตัวด้วยไอน้ำ อากาศไม่สามารถรับไอน้ำได้อีก หากมีไอน้ำเพิ่มขึ้นจะเกิดเป็นหมอก หรือไอน้ำขนาดเล็กที่อยู่ในสถานะของเหลวกระจายในอากาศ

ค่า a_w มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 1 และต่ำที่สุด เท่ากับ 0 อาหารที่มีปริมาณน้ำประเภไฮโกรสโคปิกมากกว่าจะมีค่า a_w ใกล้เคียง 1 ส่วนอาหารที่มีปริมาณน้ำประเภไฮโกรสโคปิกน้อยจะมีค่า a_w ต่ำกว่า 1

2.4 ผลของค่า a_w ต่อคุณภาพของสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมง

น้ำ หรือความชื้นในสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมง แบ่งตามความสามารถในการยึดเกาะของน้ำกับสารอาหารชนิดอื่น ๆ เป็น 2 ประเภท คือ น้ำอิสระ และน้ำยึดเหนี่ยว ปริมาณน้ำอิสระแสดงได้ด้วยค่าวอเตอร์แอคทิวิตี หรือ ค่า a_w น้ำในสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมงทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดี ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้ง่าย แต่น้ำอิสระนั้นสามารถกำจัดออกจากสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมงได้ง่ายกว่าน้ำยึดเหนี่ยว การกำจัดน้ำออกจากสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมงสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวข้างต้นซึ่งเป็นสาเหตุการเสื่อมเสียของสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมง และยังช่วยยืดอายุการเก็บรักษาสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมงให้นานขึ้น นอกจากนั้น ค่า a_w ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางชีวเคมีของสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมง โดยมีผลต่อปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมง ดังนี้

2.4.1 ผลของ a_w ต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ต้องการน้ำเพื่อใช้ในการดำรงชีวิต แบคทีเรียต้องการน้ำในการเจริญเติบโตมากที่สุด รองลงมา คือ ยีสต์และรา สัตว์น้ำเป็นอาหารที่มีความชื้นสูง และมีค่า a_w ประมาณ 1.00-0.95 จึงมีโอกาสเสื่อมเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ได้ง่าย ดังนั้น การถนอมสัตว์น้ำด้วยการกำจัดน้ำออกหรือลดค่า a_w จนถึงจุดที่เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ก็จะสามารถรักษาคุณภาพของสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมงได้ และเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ผู้บริโภคด้วย ตัวอย่างวิธีการถนอมอาหารที่สามารถลดค่า a_w เช่น การตากแห้ง การแช่แข็ง และการทำเค็ม

อาหารที่มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.91 แบคทีเรียส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ แต่แบคทีเรียที่ทนความเข้มข้นเกลือสูงสามารถเจริญเติบโตได้จนถึงค่า a_w ต่ำสุดประมาณ 0.75 ส่วนยีสต์และราส่วนใหญ่เริ่มเจริญเติบโตที่ค่า a_w ประมาณ 0.91 และ 0.87 ตามลำดับ แต่ยีสต์ที่ทนความเข้มข้นของน้ำตาลสูง (osmophilic yeast) ยังเจริญเติบโตได้จนถึงค่า a_w ต่ำสุดประมาณ 0.60 อย่างไรก็ตาม ยีสต์กลุ่มนี้ก็ไม่ใช่ว่าจะสำคัญที่ทำให้สัตว์น้ำเน่าเสียจาก (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 ค่า a_w ที่จุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ สามารถเจริญเติบโตได้

จุลินทรีย์	ช่วง a_w	a_w ขั้นต่ำ
แบคทีเรียส่วนใหญ่	1.00-0.91	0.91
ยีสต์ส่วนใหญ่	0.91-0.87	0.87
ราส่วนใหญ่	0.87-0.80	0.80
แบคทีเรียที่ทนความเข้มข้นเกลือสูง (halophilic bacteria)	0.80-0.75	0.75
ราที่ทนความแห้งแล้งสูง (xerophilic molds)	0.75-0.65	0.65
ยีสต์ที่ทนความเข้มข้นของน้ำตาลสูง (osmophilic yeast)	0.65-0.60	0.60
ไม่มีการแพร่ของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด	0.50-0.25	-

ที่มา : ดัดแปลงจาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1728/>

2.4.2 ผลของ a_w ต่อการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (non-enzymatic reaction หรือ maillard reaction)

ในสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมงที่มีค่า a_w ช่วง 0.3-0.8 จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีสาเหตุมาจากแบคทีเรียชนิดที่สามารถสร้างกลูโคสและไรโบสให้ไปทำปฏิกิริยากับโปรตีนเกิดสารสีน้ำตาล

2.4.3 ผลของ a_w ต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิปิด

สัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมงที่มีค่า a_w ช่วง 0-0.30 จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ และไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้ แต่เพิ่มอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชันได้ อาหารที่มีค่า a_w ต่ำมากก็สามารถเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันในลิพิดได้ด้วย เนื่องจากขาดแคลนโมเลกุลน้ำที่สามารถทำลายอนุมูลอิสระ หรือใช้ป้องกันมิให้ออกซิเจนเข้าถึงโมเลกุลของลิพิด อย่างไรก็ตาม อาหารที่มีค่า a_w สูง ช่วง 0.55-0.85 จะเกิดการแพร่ของโลหะที่เป็นปัจจัยหนึ่งในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันในลิพิดได้

บทสรุป

ในสัตว์น้ำ และผลิตภัณฑ์ประมงทุกชนิดมีน้ำเป็นองค์ประกอบ ปริมาณความชื้นและชนิดของน้ำในสัตว์น้ำ ค่า a_w ความเข้มข้น สารเคมี ปริมาณออกซิเจน อุณหภูมิ และสภาพความเป็นกรดเป็นด่าง มีผลต่อลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส นอกจากนั้นยังมีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของสารอาหารที่เป็นองค์ประกอบหลักชนิดอื่น ๆ เช่น โปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุ หากในสัตว์น้ำ และผลิตภัณฑ์ประมงที่มีปริมาณน้ำมากจุลินทรีย์ประเภทแบคทีเรียจะสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุด รองลงมาคือ ยีสต์และรา ดังนั้นการเลือกกระบวนการแปรรูปสัตว์น้ำให้เหมาะสม เพื่อลดปริมาณน้ำในสัตว์น้ำชนิด free water ซึ่งเป็นน้ำชนิดที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้ จึงทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาสัตว์น้ำ และผลิตภัณฑ์ประมงได้

คำถามท้ายบท

1. น้ำในสัตว์น้ำแบ่งออกเป็นกี่ประเภท มีอะไรบ้าง
2. จงอธิบายความหมาย และความสำคัญของ ค่า a_w
3. จงบอกประโยชน์ของการทราบค่า a_w ของจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ที่สามารถเจริญเติบโตได้ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ประมง
4. จงบอกความสำคัญของน้ำในสัตว์น้ำที่มีต่อคุณภาพของสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมง

เอกสารอ้างอิง

ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง. (2558). วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง.

กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บทที่ 3

โปรตีนในสัตว์น้ำ

โปรตีน (protein) ประกอบด้วยกรดอะมิโน (amino acid) ที่จำเป็นต่อร่างกาย เป็นสารอาหารที่นำไปใช้สร้างกล้ามเนื้อและซ่อมแซมกล้ามเนื้อส่วนที่สึกหรอ เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต โดยให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรีต่อกรัม ร่างกายมนุษย์สามารถสังเคราะห์โปรตีนโดยใช้กรดอะมิโนที่ได้รับจากพืชและสัตว์ รวมทั้งสังเคราะห์กรดอะมิโนหลายชนิดเองได้ นอกจากนั้นยังมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการชีวเคมีภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต เช่น เป็นโครงสร้างโมเลกุลของผนังเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ทำหน้าที่ยึดระหว่างเซลล์เนื้อเยื่อในสิ่งมีชีวิต ช่วยรักษาสมดุลของน้ำในเซลล์ นำไปสร้างเป็นฮอร์โมน เอนไซม์ และสารภูมิคุ้มกันในกระแสเลือด (antibodies)

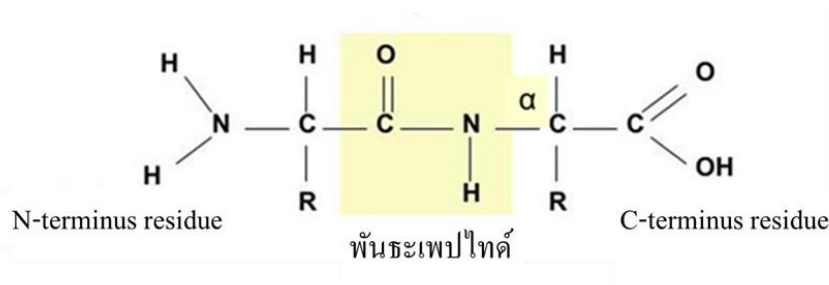
3.1 โมเลกุลของโปรตีน

โปรตีนเป็นสารชีวโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยธาตุหลายชนิด ได้แก่ C H O N บางชนิดมี P S Fe Zn Cu I เป็นต้น ธาตุต่างๆ คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักคือคาร์บอน 50-55 ออกซิเจน 20-23 ไนโตรเจน 12-19 ไฮโดรเจน 6-7 กำมะถัน 0.2-3.0 ฟอสฟอรัสเล็กน้อย รวมทั้งบางชนิดมีโลหะ เช่น เหล็ก ทองแดง และสังกะสีเป็นองค์ประกอบแต่มีในปริมาณน้อยมาก ซึ่งจะพบว่าการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธีเคห์ดัลตั้งสมมุติฐานว่าโปรตีนประกอบด้วยไนโตรเจน ร้อยละ 16

หน่วยที่เล็กที่สุดของโปรตีน คือ กรดอะมิโน ซึ่งประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิลิก (COOH) มีคุณสมบัติให้ไฮโดรเจนอะตอม (H^+) และหมู่อะมิโน (NH_2) มีคุณสมบัติรับ H^+ มีสูตรทางเคมี คือ $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}(\text{R})-\text{COOH}$ กรดอะมิโนเกือบทั้งหมดมีหมู่อะมิโนหลักอยู่ในตำแหน่งแอลฟา คืออยู่ที่อะตอมของคาร์บอนที่อยู่ติดกับหมู่คาร์บอกซิล (α -carbon atom) จึงเรียกรดอะมิโนเหล่านี้ว่า กรดแอลฟาอะมิโนคาร์บอกซิลิก (α -aminocarboxylic acids) มีเพียงกรดอะมิโนโพรลีนและ

ไฮดรอกซีโพรลีนเท่านั้นที่หมู่เอมิโน (α -amino acids) จะต่ออยู่ในวงแหวนเรียกว่าหมู่เอมิโน (imino group) จึงเรียกว่ากรดแอลฟาเอมิโน (α -imino acids) เมื่อหมู่คาร์บอกซิลิกของกรดอะมิโนตัวที่หนึ่งเชื่อมต่อกับหมู่เอมิโนของกรดอะมิโนตัวที่สองโดยสูญเสียน้ำไป 1 โมเลกุล ทำให้โมเลกุลยึดกันอยู่ด้วยพันธะเพปไทด์ ($-\text{CO}-\text{NH}-$) ซึ่งเป็นพันธะแบบเอไมด์ (amide bond) (ภาพที่ 3.1) และเกิดต่อเนื่องกันไปเรื่อย ๆ ต่อกันอยู่เป็นสายจนกลายเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ของโปรตีนเรียกว่า ห่วงโซ่โพลีเพปไทด์ (polypeptide chain) ในแต่ละสายเพปไทด์จะมีกรดอะมิโนที่มีหมู่เอมิโนอิสระ (free amino group; $-\text{NH}$) อยู่ที่ปลายสุดด้านหนึ่งเรียกว่า N-terminus residue และมีหมู่คาร์บอกซิลิกอิสระ (free acid group: COOH) อยู่ที่ปลายอีกด้านหนึ่ง เรียกว่า C-terminus residue

หนึ่งโมเลกุลของโปรตีนอาจประกอบด้วยห่วงโซ่เพปไทด์มากกว่า 1 สาย มาเชื่อมด้วยพันธะชนิดต่าง ๆ เช่น พันธะไฮโดรเจน พันธะไอออน (ionic bond) พันธะไดซัลไฟด์ อันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก และแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals) ก่อให้เกิดโครงรูป (conformation) โปรตีนแตกต่างกัน แต่ละชนิดมีการจัดเรียงตัวเป็นแบบเฉพาะเจาะจงจนเป็นโครงสร้างโปรตีนชนิดที่พบในธรรมชาติ แต่การเชื่อมของห่วงโซ่เพปไทด์อาจผันแปรตามสภาวะแวดล้อม ปัจจัยสำคัญที่ทำให้โครงรูปเปลี่ยนไปจนส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีของโปรตีน ได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าคงตัวไดอิเล็กทริก (dielectric constant) ความแรงไอออน (ionic strength) และโมเลกุลอื่น ๆ เช่น อากาศ ไขมัน สารทำให้เกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติ (denaturant) เป็นต้น



ภาพที่ 3.1 การเกิดพันธะเพปไทด์ของโมเลกุลโปรตีน

ที่มา : ดัดแปลงจาก <https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Biotechnology/>

3.2 กรดอะมิโน

กรดอะมิโนเป็นหน่วยย่อยของโปรตีน ซึ่งได้จากการย่อยสายโพลีเพปไทด์ด้วยเอนไซม์ซึ่งประกอบด้วยหมู่แอลฟาคาร์บอกซิลิก หมู่แอลฟาอะมิโน และ หมู่ R หรือเรียกว่าสายข้าง (side chain) ซึ่งเป็นกลุ่มของธาตุที่มีโครงสร้างต่างๆ กัน ทำให้มีกรดอะมิโนจำนวนมากถึง 20 ชนิด

3.2.1 กรดอะมิโนจำแนกชนิดตามลักษณะห่วงโซ่ของคาร์บอน หรือ หมู่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของหมู่ R ได้ดังนี้

1. Aliphatic amino acid คือ กรดอะมิโนที่มีหมู่ R เป็นแอลิแฟติก ไฮโดรคาร์บอน (aliphatic hydrocarbon) ได้แก่ ไกลซีน (glycine) อะลานีน (alanine) แวลีน (valine) ลิวซีน (leucine) ไอโซลิวซีน (isoleucine) และ โพรลีน (proline)

2. Aromatic amino acid คือ กรดอะมิโนที่มีหมู่ R เป็นแอโรแมติก ได้แก่ ฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) ไทโรซีน (tyrosine) และ ทริปโตเฟน (tryptophan)

3. Basic amino acid คือ กรดอะมิโนที่มีโมเลกุลประกอบด้วยหมู่อะมิโนมากกว่า 1 หมู่ จึงมีสมบัติเป็นด่าง ได้แก่ ไลซีน (lysine) อาร์จินีน (arginine) และ ฮิสติดีน (histidine)

4. Acidic amino acid คือ กรดอะมิโนที่มีโมเลกุลประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิลมากกว่า 1 หมู่ จึงมีสมบัติเป็นกรด ได้แก่ กรดแอสปาร์ติก (aspartic acid) และกรดกลูตามิก (glutamic acid)

5. Amide amino acid คือ กรดอะมิโนที่มีสายข้างเป็นเอมีน ได้แก่ แอสพาราจีน (asparagine) และ กลูตามีน (glutamine)

6. Hydroxy amino acid คือ กรดอะมิโนที่มีหมู่ไฮดรอกซี (OH) ได้แก่ ซีรีน (Serine) และ ทรีโอนีน (threonine)

7. Sulfur amino acid คือ กรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบได้แก่ ซีสเทอีน (cysteine) เมไธโอนีน (methionine) และ ซีลีโนซีสเทอีน (selenocysteine)

3.2.2 กรดอะมิโนจำแนกชนิดตามสมบัติทางเคมีของหมู่ R ได้ 3 กลุ่ม (ภาพที่ 3.2) คือ

1. กรดอะมิโนที่มีหมู่ R ไม่มีขั้ว (non-polar side chains) หรือไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) จะไม่ชอบน้ำ จึงละลายน้ำได้ยาก มีแนวโน้มที่จะรวมอยู่ด้วยกันเกิดเป็นบริเวณพิเศษที่ไม่มีน้ำ เรียกว่า hydrophobic zone ซึ่งมักจะอยู่ที่ส่วนในของโครงสร้างโปรตีน หรือบริเวณที่ทำหน้าที่พิเศษ เช่น active site ของเอนไซม์ หรือบริเวณผิวนอกของโปรตีนตำแหน่งที่จะไปรวมกับไขมันหรือหน่วยย่อยอื่น

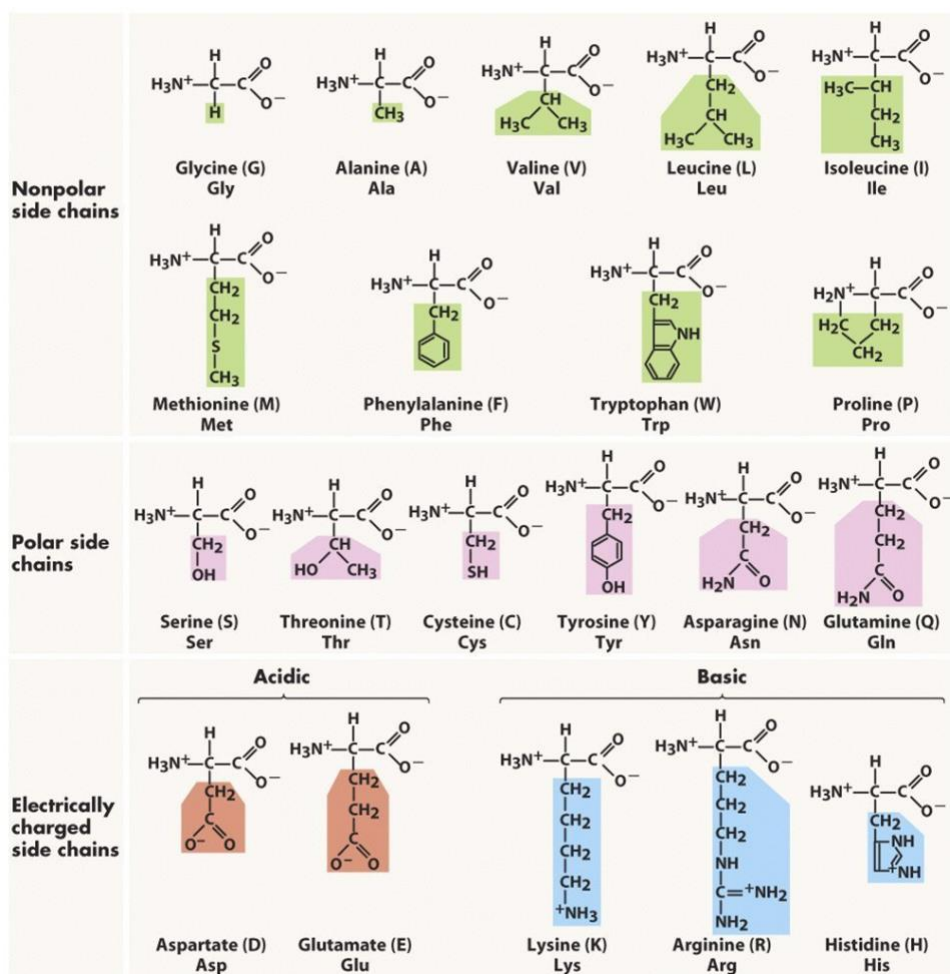
2. กรดอะมิโนที่มีหมู่ R มีขั้ว (polar side chains) หรือไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) เป็นพวกที่ชอบน้ำ

3. กรดอะมิโนที่มีหมู่ R มีประจุที่ pH 7 (electrically charged side chains)

3.1 กรดอะมิโนที่มีหมู่ R มีประจุ+ เรียกว่า acidic amino acid

3.2 กรดอะมิโนที่มีหมู่ R มีประจุ- เรียกว่า basic amino acid

กลุ่มซึ่งมีหมู่ R เป็นพวกที่ชอบน้ำและมีประจุจะสามารถต่อต้านด้วยพันธะไอออน มีส่วนทำให้ห่วงโซ่พอลิเพปไทด์มีการขดงอเกิดเป็นโปรตีนรูปร่างต่างๆ



ภาพที่ 3.2 ชนิดของกรดอะมิโน

ที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1276/>

กรดอะมิโนละลายน้ำได้ดี ไม่ละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว มีสมบัติเป็นได้ทั้งกรดและด่าง (amphoteric) เนื่องจากในโมเลกุลมีหมู่คาร์บอกซิลิกที่เป็นกรดและหมู่อะมิโนที่เป็นด่าง การที่ H^+ เคลื่อนที่ไปมาระหว่างหมู่ทั้งสองทำให้เกิดเป็นไอออนขั้วคู่ (dipolar ion: zwitterion) จึงทำให้กรดอะมิโนมีจุดหลอมเหลวสูง สัตว์ส่วนและการกระจายของกรดอะมิโนแต่ละกลุ่มในสายโซ่พอลิเพปไทด์บ่งบอกถึงสมบัติบางประการของโปรตีน เช่น สมบัติการละลาย เป็นต้น

ค่า pH มีผลต่อสภาพไอออนของกรดอะมิโนและค่าประจุของโปรตีนในสารละลายต่าง โปรตอนจะถูกดึงออกไปทำให้โปรตีนมีประจุลบ ส่วนในสารละลายกรด โปรตีนได้รับโปรตอนทำให้มีประจุบวก

3.3 ประเภทโปรตีน

โปรตีนของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันและแสดงลักษณะเฉพาะตัว โปรตีนจากพืชและสัตว์ต้องถูกย่อยเป็นสารโมเลกุลเล็กกลึง คือ กรดอะมิโน แล้วจึงจะถูกดูดซึม และนำไปใช้ในร่างกายของมนุษย์ได้ ประเภทโปรตีนจำแนกตามคุณสมบัติได้ดังนี้

1) จำแนกตามรูปร่าง 3 ประเภท ได้แก่

1. โปรตีนไฟบรัส (fibrous protein) โปรตีนที่มีรูปร่างเป็นสายยาวประกอบ ด้วยขดเพปไทด์ที่เป็นรูปคอยล์ (coil) เชื่อมติดกันแน่น เป็นโปรตีนของสัตว์ ไม่ละลายน้ำ โดยมักทำหน้าที่เป็นโครงสร้าง เช่น คอลลาเจน (Collagen) อีลาสติน (elastin) คีราติน (keratin) และโทรโปไมโอซิน (tropomyosin)

2. โปรตีนกลอบูลาร์ (globular protein) โปรตีนที่มีรูปร่างกลมหรือเป็นโปรตีนที่ละลายในน้ำ สารละลายเกลือ กรด ด่าง หรือ เอทานอล มีหลายชนิดเช่น เอนไซม์ ฮอร์โมน อัลบูมิน (albumins) กลอบูลิน (globulins) ชนิดต่าง ๆ ฮิสโตน (histones) และ โปรตามีน (protamines) ซึ่งแต่ละชนิดมักจะทำหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่ง

3. โปรตีนอื่น ๆ โปรตีนบางชนิดมีสมบัติและรูปร่างก้ำกึ่งกันระหว่างไฟบรัสโปรตีนกับกลอบูลาร์โปรตีน เช่น ไมโอซิน (myosin) ในกล้ามเนื้อ มีทั้งส่วนที่เป็นก้อนกลมและส่วนที่เป็นสายยาวอยู่ในโมเลกุลเดียวกัน มีสมบัติละลายในสารละลาย เกลือได้

2) จำแนกตามส่วนประกอบทางเคมี จากผลของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

1. โปรตีนเชิงเดี่ยว (Simple proteins) คือ โปรตีนที่ประกอบขึ้นด้วยกรดอะมิโนล้วนไม่มีสารอื่นเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย เมื่อจัดเป็นกลุ่มแยกได้เป็น อัลบูมิน โกลบูลิน กูเทลิน (glutelins) โปรลามิน (prolamins) สเคลโรโปรตีน (scleroproteins) ฮิสโตน และ โปรตามีน

2. โปรตีนเชิงซ้อน (compound proteins หรือ conjugated proteins) ประกอบด้วยโปรตีนเชิงเดี่ยวส่วนหนึ่งและสารอื่น ๆ ที่ไม่ใช่โปรตีน เรียกว่า หมู่พอสเทติก (prosthetic group) อีกส่วนหนึ่ง ตัวอย่างโปรตีนเชิงซ้อน ได้แก่ ฟอสโฟโปรตีน (phosphoproteins) ไลโปโปรตีน (lipoproteins) นิวคลีโอโปรตีน (nucleoproteins) ไกลโคโปรตีน (glycoproteins) มิวโคโปรตีน (mucoproteins) โครโมโปรตีน (Chromoprotein) และ เมทัลโลโปรตีน (metalloprotein)

3. โปรตีนอนุพันธ์ (derived proteins) คือ โปรตีนที่ถูกเปลี่ยนแปลงไปแล้วโดยปฏิกิริยาของ ด่าง กรด ความร้อน หรือ เอนไซม์ อาจทำให้สมบัติบางอย่างเปลี่ยนไป เรียกว่า primary derivative เช่น โปรตีนที่สูญเสียสภาพธรรมชาติ (denatured protein) เป็นต้น หรืออาจถึงขั้นเกิดการสลายพันธะ หรือ ไฮโดรไลซิส เรียกว่า secondary derivative ได้สารพวกโปรติโอส (proteoses) เพปโทน (peptones) และเพปไทด์ การเปลี่ยนแปลงขั้นนี้อาจพบในระหว่างการแปรรูป เช่น การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสต การบ่มเนยแข็ง เป็นต้น

3) จำแนกตามคุณค่าทางโภชนาการ โปรตีนแต่ละชนิดแตกต่างกันตามปริมาณและชนิดของกรดอะมิโนที่เป็นส่วนประกอบ

1. โปรตีนสมบูรณ์ (complete protein) เป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโนที่จำเป็นครบถ้วนและมีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตที่ดีของคนและสัตว์ที่อายุน้อย มักได้โปรตีนจากสัตว์ เช่น น้านม ไข่ เนื้อสัตว์ ปลา

2. โปรตีนกึ่งสมบูรณ์ (partially complete protein) คือ โปรตีนซึ่งขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นบางชนิด แต่ยังคงสภาวะความต้องการของไนโตรเจนในสัตว์โตเต็มที่ ในสัตว์หรือคนที่อายุน้อยจะให้การเจริญเติบโตในระดับปานกลาง ได้แก่ โปรตีนจาก ธัญพืช และ พืชตระกูลถั่ว

3. โปรตีนไม่สมบูรณ์ (incomplete protein) คือ โปรตีนที่ขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นบางชนิด และมีผลทำให้การเจริญเติบโตหยุดชะงัก และไม่สามารถคงสภาวะความต้องการของไนโตรเจนในคนและสัตว์ที่โตเต็มที่ไว้ได้ เช่น เจลาติน

3.4 คุณภาพของโปรตีน

คุณภาพของโปรตีนในอาหาร สามารถแสดงได้ด้วยค่าต่อไปนี้

1) ปริมาณโปรตีนในสัตว์น้ำ

ปลา และสัตว์น้ำที่มีเปลือกหรือกระดอง เช่น ปู กุ้ง จัดเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่ดี เช่น ใน 100 กรัมของส่วนที่บริโภคได้ ปลาให้โปรตีนประมาณ 15-24 กรัม หอย 7-14 กรัม กุ้งให้

โปรตีน 12-20 กรัม (กองโภชนาการ, 2544) ไข่ปลาและไข่คาร์เวียร์ (caviar) มีโปรตีนสูงถึงร้อยละ 20-25 องค์ประกอบทางเคมีของปลาแตกต่างกันมากตามสายพันธุ์และแต่ละตัวซึ่งขึ้นกับ อายุ เพศ สิ่งแวดล้อมและฤดูกาล แม้ว่าปริมาณโปรตีนค่อนข้างคงที่ในสัตว์น้ำส่วนใหญ่ แต่ความแปรปรวนอาจพบได้ เช่น ในช่วงปลาอพยพเพื่อวางไข่เป็นเวลานาน เช่น ปลาแซลมอน

2) ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acids)

กรดอะมิโนที่จำเป็น คือกรดอะมิโนที่สิ่งมีชีวิตไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นมาได้ ต้องได้จากแหล่งอาหารที่รับประทานเข้าไปถ้าร่างกายได้กรดอะมิโนเหล่านี้จากอาหารไม่เพียงพอ จะทำให้ร่างกายไม่เจริญเติบโตและทำให้สมดุลของไนโตรเจนเสียไป สำหรับผู้ใหญ่กรดอะมิโนที่จำเป็นมีอยู่ 9 ชนิด ได้แก่ เมไทโอนีน ทรีโอนีน ทรีโตนีน ไอโซลิวซีน ลิวซีน แอลานีน ฟีนิลอะลานีน และฮิสทีดีน สำหรับเด็กทารกการทำงานของเอนไซม์ยังไม่สมบูรณ์ ยังสร้างกรดอะมิโนชนิดอาร์จินีนไม่ได้ จึงต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็น 10 ชนิด ซึ่งกรดอะมิโนเหล่านี้รวมกันอยู่ในโปรตีนจะบ่งถึงคุณภาพและคุณค่าทางอาหารของโปรตีนนั้น อย่างไรก็ตามบางคนอาจต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็นแตกต่างกันได้ ส่วนกรดอะมิโนที่เหลือคือกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (non-essential amino acids) ซึ่งร่างกายสามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้จากกรดอะมิโนตัวอื่น ๆ หากได้รับจากอาหารไม่เพียงพอ ได้แก่ อะลานีน อาร์จินีน กรดแอสพาทิก กรดกลูตามิก ซีสเทอีน ซีสทีน ไกลซีน โพรลีน ไฮดรอกซีโพรลีน ซีรีน และ ไทโรซีน ธัญพืชมี กรดอะมิโนที่จำเป็นชนิด ลิวซีน และ เมไทโอนีนต่ำ ขณะที่โปรตีนปลาประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นครบทุกชนิดเช่นเดียวกับโปรตีนในนม ไข่ และเนื้อสัตว์ นอกจากนั้นยังเป็นแหล่งที่ดีของไลซีน เมไทโอนีน และ ซีสเทอีน ดังนั้นการบริโภคสัตว์น้ำจึงสามารถเสริมกรดอะมิโนที่จำเป็นและขาดแคลนในเมนูอาหารที่เน้นธัญพืชได้

3) ค่าเคมีคัลสกอร์ (chemical score)

เป็นการประเมินคุณภาพโปรตีนทางเคมีโดยการหาปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นแต่ละชนิดในอาหารโปรตีน คิดเป็นมิลลิกรัมต่อกรดอะมิโนจำเป็นทั้งหมด 1 กรัม นำมาเปรียบเทียบกับร้อยละกับปริมาณกรดอะมิโนชนิดเดียวกันที่ควรมีในโปรตีนที่ได้กำหนดขึ้นเป็นมาตรฐาน เช่นในไข่ ดังสมการ (1) แสดงเป็นค่าเคมีคัลสกอร์ของกรดอะมิโนแต่ละชนิด ซึ่งค่าเคมีคัลสกอร์ของกรดอะมิโนจำเป็นที่เปรียบเทียบแล้วมีค่าร้อยละต่ำที่สุด คือกรดอะมิโนจำกัด (limiting amino acid) ของโปรตีนนั้น และใช้เป็นค่าเคมีคัลสกอร์ของโปรตีนจากอาหารนั้น

สมการที่ (1)

$$\text{Chemical score} = \frac{\text{mg amino acid per g test protein}}{\text{mg same amino acid per g reference protein}} \times 100$$

4) ความสามารถในการถูกย่อย (digestibility) และ การดูดซึม

วิธีการนี้เป็นการประเมินคุณค่าของอาหารโปรตีนโดยใช้วิธีทดสอบทางชีววิทยา และโดยใช้อินซิมได้แก่

1. การประเมินทางชีววิทยา เป็นการประเมินประสิทธิผลของการใช้โปรตีนในร่างกาย โดยประเมินจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น หรือ ปริมาณไนโตรเจนที่มีอยู่ภายหลังจากการให้อาหารทดสอบ ที่มีโปรตีนกับสัตว์ทดลองในช่วงเวลาหนึ่ง ในแต่ละวันบันทึกข้อมูลปริมาณอาหารที่บริโภค น้ำหนักตัวของสัตว์ทดลอง และรวบรวมอุจจาระและปัสสาวะเพื่อวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ประเมินคุณภาพของโปรตีนจากข้อมูลที่ได้ โดยแสดงค่าการประเมินโดยวิธีคำนวณได้ 6 ค่าดังนี้ ดังนี้

Protein Efficiency Ratio (PER) คือ น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นต่อโปรตีน 1 กรัม ดังสมการ (2) โปรตีนที่มีคุณภาพดีจะทำให้น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นมากกว่าโปรตีนที่มีคุณภาพไม่ดี โดยทั่วไป ค่า PER ต่ำกว่า 1.5 แสดงว่าโปรตีนมีคุณภาพต่ำ ระหว่าง 1.5-2.0 มีคุณภาพปานกลาง และ มากกว่า 2 มีคุณภาพดี ซึ่งโปรตีนไข่ น้ำนมวัว เนื้อวัว และ ปลา มีค่า PER เป็น 3.9, 3.1, 3.0 และ 3.5 ตามลำดับ

สมการที่ (2)

$$\text{PER} = \frac{\text{weight gain of test group (g)}}{\text{weight of protein consumed (g)}}$$

Net Protein Ratio (NPR) บอกถึงความสามารถของโปรตีนที่ดูแลรักษาและส่งเสริมการเจริญเติบโตของร่างกาย ดังสมการ (3)

สมการที่ (3)

$$\text{NPR} = \frac{\text{weight gain of test animals} + \text{weight loss of animals fed nonprotein basal diet}}{\text{weight of protein consumed}}$$

Protein Digestibility (D) คือ ปริมาณโปรตีนที่ร่างกายย่อยได้เมื่อกินอาหารโปรตีนที่มีไนโตรเจน 100 กรัม หรือ ปริมาณที่ไม่ถูกขับถ่ายเมื่อกินโปรตีนที่มีไนโตรเจน 100 กรัม ดังสมการ(4) โปรตีนจากสัตว์น้ำถูกย่อยง่าย ส่วนใหญ่มีค่า digestibility สูงกว่าร้อยละ 90 อย่างไรก็ตามปริมาณไนโตรเจนในสิ่งขับถ่ายอาจมีไนโตรเจนที่มีอยู่เดิมในอาหารหรือเกิดจากเมแทบอลิซึมในร่างกาย เพื่อความถูกต้องควรคำนวณเป็นค่า true protein digestibility (TD) โดยรวมค่า metabolic nitrogen ที่ได้จากการให้อาหารที่ไม่มีโปรตีนกับสัตว์ทดลอง ดังสมการ (5)

สมการที่ (4)

$$D = \frac{\text{absorbed}}{\text{consumed nitrogen}} = \frac{N \text{ consumed (test animals)} - N \text{ excreted in faces (test group)} \times 100}{N \text{ consumed (test animals)}}$$

สมการ (5)

$$TD = \frac{N \text{ consumed (test animals)} - N \text{ excreted in faces (test group)} + \text{metabolic N in faces} \times 100}{N \text{ consumed (test animals)}}$$

Biological Value (BV) คือ ร้อยละของปริมาณไนโตรเจนที่ร่างกายนำไปใช้ได้ ต่อปริมาณไนโตรเจนที่ถูกดูดซึมได้ โดยประมาณจากปริมาณไนโตรเจนที่คงอยู่ในร่างกายหลังจากถูกขับออกไปทางอุจจาระและปัสสาวะ ดังสมการ (6) Δ fecal N และ Δ urinary N เป็นผลต่างของไนโตรเจนที่ขับออกมาระหว่างการกินอาหารที่ต้องการทดลองกับอาหารควบคุมที่ไม่มีโปรตีนหรือไนโตรเจนเลย โปรตีนของไข่ขาวประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีปริมาณและสัดส่วนพอเหมาะ ส่วนที่ถูกดูดซึมร่างกายนำไปใช้ได้ทั้งหมด จึงใช้เป็นโปรตีนมาตรฐานไว้เปรียบเทียบกับคุณค่าของโปรตีนชนิดอื่น โปรตีนไข่ น้านมวัว เนื้อวัว ปลา และ ถั่วเหลือง มีค่า BV เป็น 94, 84, 74, 76 และ 73 ตามลำดับ

สมการที่ (6)

$$BV = \frac{\text{retained nitrogen} \times 100}{\text{absorbed nitrogen}} = \frac{(\text{food N} - \Delta \text{fecal N} - \Delta \text{urinary N}) \times 100}{\text{food N} - \Delta \text{fecal N}}$$

Net Protein Utilization (NPU) คือ ร้อยละของปริมาณไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในร่างกายต่อปริมาณไนโตรเจนที่กินเข้าไป ดังสมการ (7) โปรตีนไข่ เนื้อปลา และ เนื้อวัว มีค่า NPU เป็น 94, 79, และ 67 ตามลำดับ

สมการที่ (7)

$$NPU = \frac{\text{retained N} \times 100}{\text{consumed N}} = \frac{D \times BV}{100}$$

Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score (PDCAAS) คือ การประเมินคุณภาพของโปรตีนโดยพิจารณาทั้งความต้องการกรดอะมิโนของมนุษย์ และความสามารถในการย่อยอาหาร ดังสมการ (8) ค่า PDCAAS ตั้งแต่ 1 ขึ้นไป แสดงว่า เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี

สมการ (8)

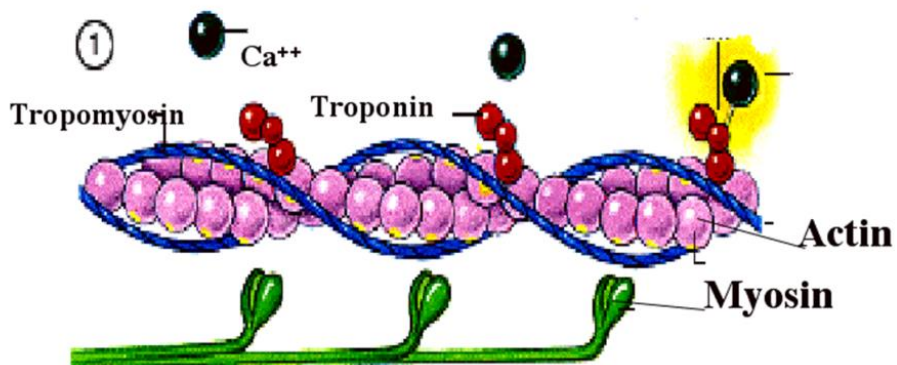
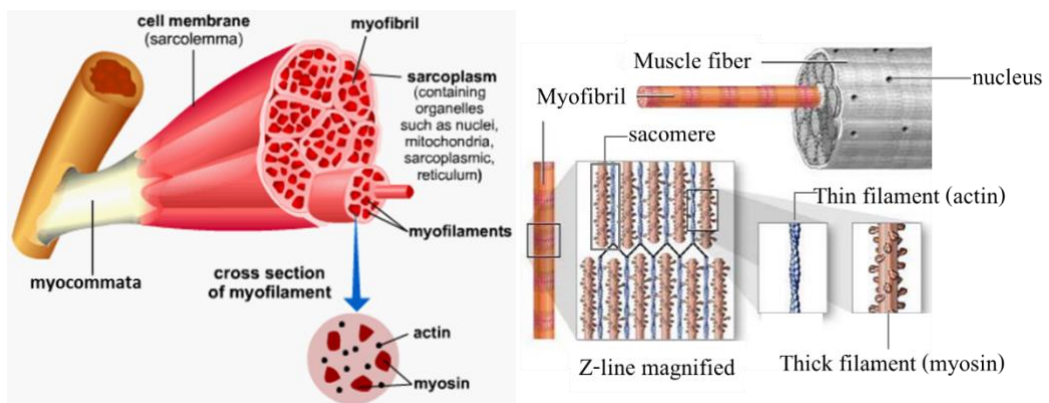
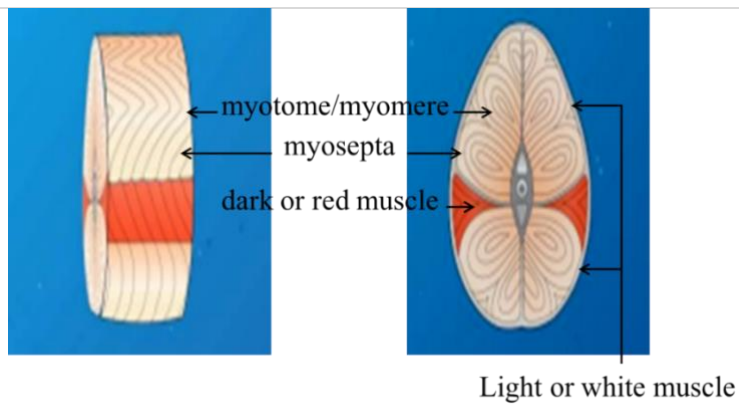
$$PDCAAS = \frac{\text{mg of limiting amino acid in 1 g of test prorein} \times \text{fecal true digestibility percentage}}{\text{mg of same amino acid in 1 g reference protein}}$$

2. การประเมินโดยใช้เอนไซม์เป็นการวัดความสามารถในการถูกย่อยและการปล่อยกรดอะมิโนที่จำเป็นออกมา โดยการใส่เอนไซม์ลงไปโปรตีน อาจใช้เอนไซม์หลายชนิดและเติมลงไปหลายขั้นตอน

สรุปคุณภาพของโปรตีนประเมินเบื้องต้นจากแหล่งของโปรตีนซึ่งได้รับมาจากพืชหรือสัตว์ หรือ ประเมินจากการตรวจสอบคุณภาพโปรตีนทางเคมี โดยการวิเคราะห์หาค่าเคมีคัลสกอร์ หรือประเมินจากประสิทธิภาพของการใช้โปรตีนในร่างกาย โดยวิเคราะห์ค่า PER, BV และ NPU

3.5 กล้ามเนื้อสัตว์น้ำ

ในแต่ละมัดกล้ามเนื้อแบ่งตามแนวขวางเป็นบั้ง ๆ แต่ละบั้งเรียกว่า ไมโอโตม (myotome หรือ myomere) โดยมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันบาง ๆ เรียกว่า ไมโอคอมมาตา (myocommata) หุ้มอยู่ที่ปลายของมัดกล้ามเนื้อตามแนวขวาง และมีไมโอเซปตา (myosepta) หุ้มตามแนวนอน ในแต่ละ ไมโอโตมประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber) หลาย ๆ เส้น เส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละเส้น คือ เซลล์กล้ามเนื้อ (muscle cell) หนึ่งเซลล์ แต่ละเซลล์หุ้มด้วยเยื่อบาง ๆ เรียกว่า ซาร์โคเลมมา (sarcolemma) ซึ่งจะไปเชื่อมต่อกับไมโอคอมมาตาที่บริเวณรอยต่อระหว่างไมโอโตมและไมโอคอมมาตา เซลล์กล้ามเนื้อมีโครงสร้างที่ซับซ้อนซึ่งประกอบด้วย เส้นใยเล็ก ๆ เรียกว่า ไมโอไฟบิล (myofibril) เซลล์นิวเคลียส (nucleus) ซาร์โคพลาสซึม (sarcoplasma) ไมโทครอนเดรีย (mitochondria) และซาร์โคพลาสมิกเรติคูลัม (sarcoplasmic reticulum) แต่ละไมโอไฟบิลมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 ไมโครเมตร ประกอบด้วยโปรตีนหลักที่สำคัญ คือ แอกทิน (actin) และไมโอซิน (myosin) จัดเรียงตัวในลักษณะกล้ามเนื้อลาย (striated muscle) โดยมีหน่วยย่อยของกล้ามเนื้อลาย คือ ซาร์โคเมีย (sarcomeres) ซึ่งประกอบด้วย thin filament มีโปรตีนแอกทินเป็นส่วนประกอบหลัก และ thick filament มีโปรตีนไมโอซินเป็นส่วนประกอบหลักทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ (ภาพที่ 3.3) โดยมัดกล้ามเนื้อปลาประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อจำนวนมาก เรียงขนานตามแนวยาวของลำตัวปลา มีขนาดสั้น เมื่อทำให้ปลาสุกด้วยความร้อนจึงเห็นเนื้อปลายกออกเป็นชั้น โดยมีความยาวน้อยกว่า 20 มิลลิเมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.02-1 มิลลิเมตร เส้นใยกล้ามเนื้อหรือเซลล์กล้ามเนื้อปลาแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ กล้ามเนื้อขาว (light muscle) และกล้ามเนื้อดำ (dark muscle) กล้ามเนื้อขาวมีสีขาถึงขาวหม่นประกอบด้วย glycolytic enzyme ซึ่งใช้ในปฏิกิริยาไกลโคไลซิสเพื่อให้พลังงานสำหรับการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว เช่น ในขณะหลบหนีหรือต่อสู้กับศัตรู ส่วนกล้ามเนื้อดำมีสีคล้ำมักพบใต้ผิวหนังข้างลำตัวประกอบด้วย เฮโมโกลบิน ไมโอโกลบิน ไมโทครอนเดีย ไนโตรเจนที่สกัดได้ (extractive nitrogen) ครีเอทีน (creatin) และมีไขมันอยู่มาก ใช้ในการเคลื่อนที่ปกติของปลา สัตว์ส่วนของกล้ามเนื้อดำและกล้ามเนื้อขาว ขึ้นกับพฤติกรรมการว่ายน้ำของปลา ปลาผิวน้ำที่มีการเคลื่อนที่ว่องไว และตลอดเวลา เช่น ปลาหูฉลาม ปลาแมคเคอเรล อาจมีกล้ามเนื้อดำมากถึงร้อยละ 48 ของน้ำหนักตัว ส่วนปลาผิวดินมักพบกล้ามเนื้อดำในปริมาณน้อยโดยจะเรียงตามเส้นข้างลำตัวใต้ผิวหนัง



ภาพที่ 3.3 โครงสร้างกล้ามเนื้อปลา

ที่มา : ดัดแปลงจาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1325/myofibril>

ตารางที่ 3.1 ปริมาณโปรตีนกล้ามเนื้อของปลา

ชนิดของโปรตีน	ปริมาณ (ร้อยละ)
sarcoplasmic protein	20-30
contractile or myofibrillar protein	65-75
stroma protein or connective tissue protein	1-3

ที่มา : ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง (2558)

กล้ามเนื้อสัตว์น้ำประกอบด้วยโปรตีน 3 ชนิด โดยแบ่งตามความสามารถของการละลายในน้ำ (ตารางที่ 3.1) ได้แก่

3.5.1 โปรตีนซาร์โคพลาสมิก (sarcoplasmic protein) หรือไมโอเจน (myogen)

เป็นโปรตีนจากส่วนซาร์โคพลาสซึมซึ่งอยู่ภายในเซลล์กล้ามเนื้อและหล่อเลี้ยงอยู่รอบ ๆ ไมโอไฟบริล เมื่อนำโปรตีนซาร์โคพลาสมิกไปแยกสลายด้วยไฟฟ้า (electrophoresis) จะได้โปรตีนที่มีรูปแบบเฉพาะตามชนิดสัตว์น้ำ จึงสามารถใช้วิธีการนี้ระบุชนิดของสัตว์น้ำได้ โปรตีนซาร์โคพลาสมิกมีปริมาณร้อยละ 20-30 ของโปรตีนกล้ามเนื้อทั้งหมด มีความสามารถในการละลายน้ำหรือสารละลายเกลือเจือจางที่มีความเข้มข้นของไอออน (ionic strength) ต่ำกว่า 0.15 M โปรตีนกลุ่มนี้ได้แก่ เอนไซม์ (enzyme) ไมโอโกลบิน (myoglobin) เฮโมโกลบิน (hemoglobin) และ อัลบูมิน (albumin) มักพบโปรตีนซาร์โคพลาสมิกปริมาณมากในกลุ่มปลาฉวีน้ำ เช่น ปลาซาร์ดิน ปลาแมคเคอเรล แต่พบน้อยในปลาหน้าดิน เช่น ปลากระพง

1. เอนไซม์สำคัญที่พบในโปรตีนซาร์โคพลาสมิกซึ่งมีบทบาทโดยตรงต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของสัตว์น้ำมี 3 กลุ่ม ได้แก่

1.1 ไฮโดรเลส (hydrolase) หมายถึง เอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งกระบวนการไฮโดรไลซิสหรือเร่งปฏิกิริยาที่มีการเติมน้ำ ตัวอย่างของกลุ่มเอนไซม์นี้ เช่น esterases, glycosidases, peptidases, phosphatases, thiolases, phospholipases, amidases, deaminases, และ ribonucleases ตัวอย่างของ ribonucleases คือ คาร์บอกซีเพปติเดสเอ (carboxypeptidase A; EC 3.4.17.1) เร่งการตัดพันธะเพปไทด์บนสายโพลีเพปไทด์ (polypeptide) ด้วยน้ำ

ไฮโดรเลสมีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงภายหลังการตายของสัตว์น้ำ คือ เอนไซม์กลุ่มนี้ทำหน้าที่เร่งกระบวนการไฮโดรไลซิสขององค์ประกอบทางเคมีของสัตว์น้ำจนเกิดเป็นสารที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสีย (spoilage compound) เช่น เอนไซม์ phospholipases ย่อยสลายฟอสโฟลิพิดและไตรกลีเซอไรด์ในกล้ามเนื้อสัตว์น้ำได้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอิสระซึ่งสามารถทำให้เกิด

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันเพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำมันมีกลิ่นหืน นอกจากนั้นการแปรรูปสัตว์น้ำด้วยการแล่เป็นชิ้นหรือบดจะมีผลให้ออกซิเจนเข้าไปสัมผัสและทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันเพิ่มขึ้นอีก หากต้องการแปรรูปสัตว์น้ำด้วยวิธีการดังกล่าวควรหาวิธีการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันรักษาคุณภาพของสัตว์น้ำไว้ อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาสัตว์น้ำที่แล่เป็นชิ้นหรือบดโดยใช้อุณหภูมิต่ำสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันทั้งที่มีสาเหตุมาจากเอนไซม์และไม่เอนไซม์ลงได้แต่อาจเพิ่มความสามารถของเมมเบรนในการยอมให้สารซึมผ่านได้ด้วยเช่นกัน

1.2 ออกซิโดรีดักเตส (oxidoreductase) หมายถึง เอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแล้วให้มีการเติมหรือดึงไฮโดรเจนอะตอม ตัวอย่างกลุ่มเอนไซม์ที่พบในสัตว์น้ำ เช่น polyphenoloxidases ได้แก่ tyrosinases, monophenol oxidases, diphenol oxidases และ lipoxigenases

ออกซิโดรีดักเตสมีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงสีในสัตว์กลุ่มครัสเตเชีย คือ ทำให้เกิดจุดดำ (black spot) ในกุ้งสด หรือที่เรียกว่าเมลานโนซิส (melanosis) ซึ่งมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ลักษณะดังกล่าวของกุ้งเกิดจาก diphenol oxidases เร่งกระบวนการไฮดรอกซิเลชันและเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันจนได้เป็นสารเมลานิน ส่วน lipoxigenases เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ทำให้สีของสัตว์น้ำจางลง รวมทั้ง monophenol oxidases ในเลือดปูสามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารฟีนอลที่พบในโปรตีนกล้ามเนื้อของสัตว์น้ำทำให้เกิดสีน้ำเงินในเนื้อปู (blueing)

1.3 ทรานส์เฟอเรส (transferase) เช่น เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (transglutaminase; TGase) มีบทบาทต่อการเชื่อมแต่ละโมเลกุลโปรตีนให้รวมกันเป็นโพลีเมอร์ ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาเชื่อมขวางระหว่างกรดอะมิโนกลูตามีนก่อให้เกิดสายโปรตีนสายใหม่ที่มีบทบาทต่อคุณสมบัติทางกายภาพของโปรตีนหลายประการ เช่น โปรตีนมีความสามารถในการอุ้มน้ำดีขึ้น โปรตีนยืดหยุ่นมากขึ้น โปรตีนทนต่อการตกตะกอนด้วยความร้อนได้มากขึ้น ซึ่งลักษณะดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสัตว์น้ำ เช่น ซูริมิ (surimi) ไส้กรอก แฮม และบะหมี่ โดยเอนไซม์ TGase จะทำให้เนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏของอาหารเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น ในปัจจุบันมีการนำ TGase มาใช้ในการพัฒนานมเปรี้ยว และ Yoghurt ให้มีเนื้อสัมผัสนุ่มเนียน (creamier)

อย่างไรก็ตามลักษณะผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างกันไป ด้วยการเพิ่มหรือลดบทบาทของเอนไซม์ และซับสเตรตที่จำเป็น คือ โปรตีน ในโปรตีนกล้ามเนื้อปลาชนิด

ไมโอซิน (myosin heavy chain, MHC) ตามธรรมชาติ ส่วน TGase อาจจะต้องอาศัยเพิ่มจากแหล่งภายนอก ตัวอย่างโปรตีนที่พบในโปรตีนกล้ามเนื้อปลารวมทั้งสัตว์น้ำอื่น และมักจะก่อปัญหาการย่อยสลายเนื้อได้เอง (autolysis) คือเอนไซม์ย่อยสลายไมโอซินเป็นหลัก ได้แก่ โปรตีนเอสชนิดเซริน โปรตีนเอสชนิดมีหมู่ไทออล หรือโปรตีนเอสชนิดซิสเทอีน และโปรตีนที่มีโลหะร่วมในปฏิกิริยาหรือในโครงสร้าง เรียก เมทัลโลโปรตีนเอส รวมทั้งแอซิดโปรตีนเอส ได้แก่ คาเทปซิน ส่วนเอนไซม์อีกชนิดหนึ่ง คือ ไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ดีเมทิลเลส (TMAO demethylase) สามารถเปลี่ยน TMAO ซึ่งเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่สารโปรตีนเป็นไดเมทิลเอมีน (dimethylamine: DMA) และฟอร์มาลดีไฮด์ได้ การที่สัตว์น้ำหรือผลิตภัณฑ์มีสารดังกล่าวสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกระดับการเสื่อมคุณภาพของสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์จนอาจไม่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคได้

2. โปรตีนเม็ดสี ได้แก่ ไมโอโกลบิน เฮโมโกลบิน และไซโตโครมพบมากในกล้ามเนื้อดำ โดยทั่วไปไม่พบเฮโมโกลบินในสัตว์น้ำจำพวกครัสเตเชีย มอลลัส และปลาบางชนิดที่เลือดไม่มีสี โดยสัตว์กลุ่มครัสเตเชียประกอบด้วย เฮโมไซยานินเป็นเม็ดสีหลัก โปรตีนเม็ดสีมีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงสีของสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไมโอโกลบินทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของกล้ามเนื้อสัตว์น้ำ ส่วนการเกิด greening ในกล้ามเนื้อปลาทูน่าเกิดจากการให้ความร้อนเมทไมโอโกลบินซึ่งเป็นสารที่เกิดจากกระบวนการออกซิเดชันของไมโอโกลบินทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนซินเตอินภายใต้ในสภาวะที่มีไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ และการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) ซึ่งมีผลให้สีของสัตว์น้ำเข้มแข็ง สัตว์น้ำตากแห้ง สัตว์น้ำที่ผ่านการหมักเกลือหรือสัตว์น้ำที่ผ่านการแปรรูปโดยใช้ความร้อนเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล แต่ในขณะเดียวกันอาจทำให้เกิดการยอมรับของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์รมควัน

3.5.2 โปรตีนไมโอไฟบิลลาร์ (myofibrillar protein) หรือโปรตีนโครงสร้าง (structural protein)

เป็นโปรตีนจากเส้นใยกล้ามเนื้อที่ใช้ในการยึดหรือหดตัวของกล้ามเนื้อทำให้เกิดการเคลื่อนที่ สามารถละลายได้ในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นออสโมติกประมาณ 0.45-0.60 M โดยทั่วไปละลายได้ในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นร้อยละ 20-30 ของน้ำหนักปลา โปรตีนไมโอไฟบิลมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 40-60 ของโปรตีนกล้ามเนื้อทั้งหมด มีแอกทินและไมโอซินเป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังมีโปรตีนที่ทำหน้าที่ควบคุมการจับตัวกันระหว่างแอกทินและไมโอซินเป็นแอกโทไมโอซิน ได้แก่ โทรโปไมโอซิน และโทรโปนิน ส่วนในกล้ามเนื้อของสัตว์น้ำกลุ่มมอลลัส เช่น ปลาหมึก หอย พบพาราไมโอซินซึ่งมีกรดอะมิโนที่มีลักษณะจำเพาะเป็นองค์ประกอบ โดยมีปริมาณอาร์จินีนร้อยละ 12 และไลซีนร้อยละ 9 ซึ่งนับว่าสูง มีโปรตีนเล็กน้อย ในการเกิดเจลพบ □ ไมโอซินมีบทบาท

ช่วยให้เกิดความเหนียว และเจลมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี เนื่องจากโมเลกุลของไมโอซิน มีหมู่ซัลไฮดริลที่เป็นอิสระและว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีจึงทำให้โมเลกุลไมโอซินเกิดการเปลี่ยนแปลงง่าย โดยถูกย่อยได้ง่ายด้วยเอนไซม์ทริปซิน และไคโมทริปซิน แอ็กโทไมโอซินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของแอ็กทิน และไมโอซินซึ่งเกี่ยวข้องกับการยึดหรือหดตัวของกล้ามเนื้อ หากกล้ามเนื้อสัตว์น้ำส่วนที่ใช้ในการยึดหรือหดตัวเกิดการเกร็งตัว คือ เกิดสภาวะที่พลังงานภายในกล้ามเนื้อเหลืออยู่น้อยส่งผลให้แอ็กทินและไมโอซินรวมตัวเป็นแอ็กโทไมโอซินทำให้กล้ามเนื้อสูญเสียความสามารถในการยึดหดตัวอย่างถาวร เกิดการแยกตัวของกล้ามเนื้อ (gapping) จะมีการสูญเสียน้ำสูงมาก และหลังจากให้ความร้อนแล้วจะทำให้เนื้อสัตว์น้ำเหนียว จากนั้นเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายตัวเอง (autolysis) จนทำให้เกิดสารโมเลกุลเล็กๆ รวมทั้งมีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ส่งผลทำให้สัตว์น้ำเกิดสี กลิ่นรสที่ผิดปกติ

3.5.3 โปรตีนสโตรมา (stroma protein)

เป็นโปรตีนจากส่วนมัดกล้ามเนื้อที่เหลือจากการสกัดเอาโปรตีนซาร์โคพลาสมิคและโปรตีนไมโอโปรตีนออกแล้ว ประกอบด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ส่วนเส้นใย คือ คอลลาเจนปริมาณร้อยละ 90 ที่เหลือ คือ อีลาสติน ในกล้ามเนื้อปลากระดูกอ่อน (elasmobranchi) พบโปรตีนสโตรมาร้อยละ 10 ของโปรตีนทั้งหมด ส่วนปลากระดูกแข็ง (teleostei) พบร้อยละ 3 ของโปรตีน โดยคอลลาเจนและอีลาสตินไม่ละลายในน้ำ กรดหรือด่างเจือจาง และสารละลายเกลือ แต่จะถูกสกัดออกมาได้ด้วยความร้อนขึ้นรวมกับการใช้กรดหรือด่างเพื่อไปสลายพันธะกลายเป็นเจลาตินที่ละลายน้ำ (water soluble gelatin) ส่วนคอลลาเจนของสัตว์น้ำเมื่อได้ รับความร้อนที่ 45 องศาเซลเซียส จะเกิดการหดตัวก่อนคอลลาเจนจากสัตว์บกและมีความสามารถในการละลายดีกว่าสัตว์บกอีกด้วย ซึ่งเป็นผลมาจากคอลลาเจนของสัตว์น้ำมีปริมาณกรดอะมิโนชนิด ไฮดรอกซีโพรลีนน้อยกว่าของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ดังนั้นเนื้อปลาจึงมีความนุ่มมากกว่าเนื้อของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม สำหรับปลาที่มีปริมาณโปรตีนสโตรมาสูงอาจมีผลทำให้ความสามารถในการเกิดเจล ในผลิตภัณฑ์ลดลงเพราะโปรตีนสโตรมา สามารถลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเกี่ยวพันข้ามพันธะ (cross-linking) ระหว่างโมเลกุลของแอ็กโท-ไมโอซินเป็นสาเหตุให้ความเหนียวของผลิตภัณฑ์ลดลง

3.6 สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen; NPN)

NPN พบมากในสัตว์น้ำมากกว่าสัตว์เลือดอุ่น มีปริมาณร้อยละ 9-18 ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในปลากระดูกแข็ง และ ร้อยละ 33-38 ในปลากระดูกอ่อน มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ละลายน้ำ มีบทบาทต่อคุณลักษณะของอาหาร เช่น ให้กลิ่นรสและรสชาติของสัตว์น้ำ รวมทั้งมีผล

ต่อการเสื่อมเสียของสัตว์น้ำหลังเก็บเกี่ยว และก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษา องค์ประกอบส่วนใหญ่ ได้แก่

3.6.1 ต่างระเหย

1. แอมโมเนียเป็นผลิตภัณฑ์จากการย่อยหรือกระบวนการแยกหมู่อะมิโนออกจากโปรตีน เพปไทด์ กรดอะมิโน และยูเรียโดยเอนไซม์ยูเรียเอส จากจุลินทรีย์ ยูเรียมีความสามารถในการละลายน้ำ ดังนั้นหากต้องการลดปริมาณยูเรียในกล้ามเนื้อสัตว์น้ำก็ทำได้โดยการล้างน้ำสะอาด แอมโมเนียสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกระดับการเสื่อมคุณภาพด้านกลิ่นของสัตว์น้ำกลุ่มปลากระดูกอ่อน ครีเอทีน และหมึกได้ แต่ไม่เหมาะสมใช้เป็นดัชนีบ่งบอกระดับการเสื่อมคุณภาพของสัตว์น้ำกลุ่มของปลากระดูกแข็งเนื่องจากปลากลุ่มนี้มีปริมาณยูเรียเป็นองค์ประกอบน้อยกว่าปลากระดูกอ่อน

2. ไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ (trimethylamine oxide; TMAO) ส่วนหนึ่งสัตว์น้ำสามารถสังเคราะห์ได้เองแต่ในปริมาณที่น้อย ส่วนใหญ่เกิดจากการที่สัตว์น้ำกินแพลงตอนก่สัตว์เป็นอาหาร โดยแพลงตอนก่สัตว์สามารถสังเคราะห์ได้เอง หากสัตว์น้ำหรือผลิตภัณฑ์มีสารดังกล่าวมากจะสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกระดับการเสื่อม ในกระบวนการแปรรูปสัตว์น้ำไตรเมทิลเอมีนออกไซด์เป็นสารให้รสหวานในกุ้งสด หากเลือกวิธีการแปรรูปที่ผ่านการให้ความร้อนจะมีผลทำให้ไตรเมทิลเอมีนออกไซด์สลายตัวเกิดเป็น TMA หรือ DMA บทบาทของไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ต่อคุณภาพสัตว์น้ำ คือ คุณภาพของสัตว์น้ำสดอันมีสาเหตุมาจากแบคทีเรียสร้างเอนไซม์เพื่อใช้ในกระบวนการเปลี่ยนไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ของกระบวนการหายใจแล้วให้ผลิตภัณฑ์เป็นไตรเมทิลเอมีน ซึ่งจะให้กลิ่นคาว

3.6.2 สารประกอบกัวนิติน (guanidine)

สารประกอบกัวนิติน เช่น ฟอสฟาเจน (phosphagen) ครีเอทีน (creatine) อาร์จินีน พบในกล้ามเนื้อของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง และครีเอทีนฟอสเฟต (creatinephosphate) เป็นสารประกอบพลังงานสูงในเซลล์ใช้เป็นแหล่งพลังงานสะสม สารประกอบกัวนิตินที่สำคัญ คือ ครีเอทีนสามารถใช้เป็นสารตั้งต้นในการสร้าง ATP โดยทั่วไปมักอยู่ในสารประกอบฟอสเฟต เช่น ครีเอทีนฟอสเฟต (CP) ซึ่งพบในเนื้อปลาในช่วง 300-700 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และพบในกล้ามเนื้อดำของปลาสูงกว่ากล้ามเนื้อขาว ส่วนครีเอทีน พบในปริมาณที่น้อยมาก 10-50 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม แต่ในกุ้งพบว่ามีปริมาณครีเอทีนสูงกว่าครีเอทีน

3.6.3 กรดอะมิโนอิสระ

สัตว์กลุ่มครัสเตเชียเช่น กุ้ง ปู มีกรดอะมิโนอิสระมากที่สุด รองลงมา คือ มอลลัส สัตว์น้ำ คือ ปลา โดยในปลามีไกลซีน ทอรีน (taurine) อะลานีน และไลซีนในปริมาณสูง ปลาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงมีกรดอะมิโนอิสระน้อยกว่าปลาในธรรมชาติ ปลาที่มีกล้ามเนื้อดำ เช่น ปลาแมคเคอเรล ปลาทูน่าจะมีกรดอะมิโนอิสระอิสระที่ติดอยู่มาก (ร้อยละ 0.6-1.3 ของน้ำหนักเนื้อปลา) หากเกิดการเน่าเสียแบคทีเรียสามารถเปลี่ยนฮิสทีดีนเป็นฮิสตามีน ก่อให้เกิดพิษกับร่างกายได้ สัตว์กลุ่มครัสเตเชียพบ กรดกลูตามิก ทอรีน โพรลีน ไกลซีน อะลานีน และอาร์จินีนสูง ไกลซีนพบในกล้ามเนื้อกุ้งมากกว่าปูซึ่งมีบทบาทต่อรสหวาน แต่ในระยะของการตายในกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) จะไม่พบเมไทโอนีน ฟีนิลอะลานีน ไทโรซีน และไอโซลิวซีนและเมื่อนำไปแช่เย็นจะเพิ่มขึ้น ส่วนในกลุ่มปลากระดูกอ่อนมีเพปไทด์ และนิวคลีโอไทด์ที่เป็นอนุพันธ์ของพิวรีน (purine) ซึ่งมีบทบาทต่อรสชาติของสัตว์น้ำ เช่น IMP GMP

ไกลซีน อะลานีน ซีรีน และทรีโอนีน มีบทบาทในการให้รสหวานในสัตว์น้ำ และอาร์จินีนก็มีส่วนช่วยเพิ่มรสหวานและให้กลิ่นรสของสัตว์น้ำ ส่วนลิวซีน วาลีน เมไทโอนีน ฟีนิลอะลานีน ฮิสทีดีน และไอโซลิวซีนให้รสขม

3.7 การสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน (protein denaturation)

การสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน หมายถึง กระบวนการที่ทำให้ห่วงโซ่พอลิเพปไทด์ในโครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนเกิดการคลายตัว โดยไม่ทำลายพันธะโควาเลนต์หรือพันธะเพปไทด์ในโมเลกุล จึงไม่มีการเปลี่ยนลำดับของกรดอะมิโน โดยโครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนอาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากแบบจตุรภูมิหรือแบบตติยภูมิเป็นแบบทุติยภูมิหรือแบบปฐมภูมิ ผลของการสูญเสียสภาพดังกล่าวนี้ทำให้โปรตีนสูญเสียสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และหน้าที่ ตัวอย่างการทำให้โปรตีนสูญเสียสมบัติทางชีวภาพ เช่น ทำลายการทำงานของเอนไซม์ ตัวอย่างการทำให้สมบัติทางกายภาพของโปรตีนเปลี่ยนแปลง เช่น เนื้อปลาหดตัว เกิดการรวมกลุ่มของโปรตีน (protein aggregation) และตกตะกอน นอกจากนี้ยังเกิดการสูญเสียสมบัติเชิงหน้าที่ เช่น ความสามารถในการจับกับน้ำลดลงหรือเสียไป ส่งผลทำให้ความสามารถในการละลายลดลง ความหนืดเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะเกิดขึ้นได้เนื่องจากอิทธิพลของความร้อน ความเย็น การเคี้ยว ความดัน ตัวทำละลาย ความเป็นกรดต่าง ความเข้มข้นของเกลือ และผลของแรงยึดเหนี่ยวที่ผิวของโครงสร้างโปรตีน กล้ามเนื้อของสัตว์น้ำไม่คงตัวเท่าโปรตีนของกล้ามเนื้อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เช่น ทนต่อสภาวะ การให้ความร้อน หรือการย่อยโดยเอนไซม์ ส่งผลให้โปรตีนจากปลาละลายง่ายกว่า การสูญเสียสภาพ

ธรรมชาติของโปรตีนมีความสำคัญมากในการแปรรูปอาหาร การเก็บรักษา และการนำไปใช้ประโยชน์ เช่น การใช้ความร้อนในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ การสูญเสียสภาพบางส่วน (partial denaturation) การทำให้โปรตีนถูกย่อยได้ง่ายกว่าโปรตีนธรรมชาติ (native protein) การจับตัวเป็นก้อน (coagulation) ทำให้ร่างกายสามารถนำโปรตีนไปใช้ได้ดี การทำให้อาหารเข้มข้นเมื่อให้ความร้อน ช่วยปรับปรุงสมบัติการเกิดฟองและการเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ได้ด้วยบางครั้ง การเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนก็เป็นสิ่งที่ควรระวัง เช่น โปรตีนจากสัตว์จะเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติในช่วงอุณหภูมิ 57-75 องศาเซลเซียส ซึ่งมีผลต่อเนื้อสัมผัส การอุ้มน้ำ และการหดตัวของเนื้อ การแช่เยือกแข็งเนื้อปลาด้วยวิธีการที่ไม่เหมาะสมทำให้เนื้อปลาเหนียวกระด้าง และสูญเสียน้ำ

3.8 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนสัตว์น้ำ (functionality of fish protein)

สมบัติเชิงหน้าที่เป็นผลเนื่องมาจากโปรตีนเกิดอันตรกิริยากับสารอื่น ๆ ในระบบอาหาร เช่น เกิดกับโมเลกุลของตัวทำละลาย โมเลกุลของตัวถูกละลาย โปรตีนอื่น ๆ สารแขวนลอย ตัวทำละลาย เช่น น้ำมัน อากาศ โดยโปรตีนอาจเคลื่อนที่ไปทำปฏิกิริยาหรือโปรตีนเปลี่ยนโครงสร้างเพื่อให้การทำปฏิกิริยามีโอกาสมากขึ้น ตัวอย่างของสมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ การให้คุณภาพทางการบริโภค (ให้สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส) ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความหนืด การเกิดเจล การยึดเกาะ ความยืดหยุ่น การจับกับไขมัน การเพิ่มความคงตัวให้แก่ฟอง เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของโมเลกุล เช่น การปั่นผสมจะทำให้ขนาดของโมเลกุลไขมันเล็กลง รวมทั้งโครงรูปของโมเลกุลโปรตีนเปลี่ยนแปลง สมบัติเชิงหน้าที่เป็นสมบัติที่มีผลต่อคุณภาพ และมีบทบาทที่สำคัญในการกำหนดสถานะที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสัตว์น้ำ ส่วนใหญ่โปรตีนในสัตว์น้ำชนิดที่แสดงสมบัติเชิงหน้าที่ คือ โปรตีนกล้ามเนื้อ และคอลลาเจน โดยสมบัติเชิงหน้าที่ที่สามารถพบได้จากผลิตภัณฑ์ประมง ได้แก่ การเกิดเจล การอุ้มน้ำ และการเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ (ตารางที่ 3.3)

3.8.1 การเกิดเจลของโปรตีนกล้ามเนื้อปลา (gelation of fish muscle proteins)

การเกิดเจลเป็นคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญของโปรตีนปลา ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสหลากหลายชนิดซึ่งเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การเกิดเจลของโปรตีนสามารถใช้เป็นวิธีในการปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่อื่น ๆ ของโปรตีน เช่น การดูดซึมน้ำ การพองตัว การเกิดอิมัลชัน และการรักษาความคงตัวของโฟม โครงสร้างของเจลโปรตีนเกิดจากโมเลกุลของโปรตีนจับกันด้วยพันธะชนิดต่าง ๆ เป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติ ที่สามารถจับน้ำหรือสารอื่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำไว้

ภายในโครงร่างตาข่ายได้ เจลมีลักษณะเป็นของกึ่งแข็ง ยืดหยุ่น โปรตีนชนิดเจลาตินมีสมบัติเชิงหน้าที่ทำให้เกิดเจล การเกิดเจลแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ในขั้นแรกเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงบางส่วนของโมเลกุลโปรตีนโดยการที่โปรตีนคลายตัว (unfolding) และจับกับน้ำ (water binding) ซึ่งมักจะเป็นผลจากการได้รับความร้อน หรือเกิดจากโปรตีนสูญเสียสภาพธรรมชาติด้วย ปัจจัยอื่นเมื่อโปรตีนสูญเสียสภาพธรรมชาติจะพบว่าความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการคลายตัวของโมเลกุลรวมกับการจับตัวรวมกันระหว่างโมเลกุลโปรตีนบางส่วนที่คลายตัวออกต่อนั้นในขั้นตอนที่สองโปรตีนซึ่งสูญเสียสภาพธรรมชาติหรือโมเลกุลที่คลายตัวออก อย่างสมบูรณ์แล้วจะรวมตัวกันหรือจับกันอย่างซ้ำ ๆ (aggregation) ในระหว่างการจับตัวเพื่อเกิดเป็นโครงร่างตาข่าย ความหนืดของระบบจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และในระยะสุดท้ายระบบของเจลจะมีคุณสมบัติบางประการของของแข็งที่มีความยืดหยุ่น ผลิตภัณฑ์ยืดหยุ่น ได้แก่ ลูกชิ้นปลา ผลิตภัณฑ์จากซูริมิ เช่น คามาโบกะ เนื้อปูเทียม ต้องการสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดีของเจลโปรตีน คือ ความสามารถเกิดเจลที่อุ้มน้ำไว้ได้ในปริมาณสูงและมีความยืดหยุ่น สมบัติดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับคุณภาพของโมเลกุลแอคโทไมโอซินและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลโปรตีนในระหว่างการให้ความร้อน โปรตีนกล้ามเนื้อปลาชนิดไมโอไฟบริลที่ละลายด้วยเกลือเข้มข้น 0.47-0.68 โมลาร์ หรือร้อยละ 2-3 ของน้ำหนักเนื้อปลาเกิดเป็นแอคโทไมโอซินโซล (actomyosin sol) ซึ่งมีลักษณะหนืด หลังให้ความร้อนแอคโทไมโอซินโซลจะเริ่มคลายตัว มีผลให้หมู่มิชอบน้ำ (hydrophobic) และหมู่ซัลไฟไฮดริลของโมเลกุลโปรตีนเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างหมู่มิชอบน้ำและพันธะไดซัลไฟด์ เกิดการรวมตัวของโปรตีนอีกครั้ง และเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงขึ้นอีกโปรตีนไมโอซินจะแยกตัวออกจากโปรตีนแอคโทไมโอซินแต่ยังคงสามารถจับตัวระหว่างกันและกันได้เป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติ จึงก่อให้เกิดเจลโปรตีนที่ละลายน้ำได้ต่ำ และเมื่อนำเจลมามาทำให้เย็นความแข็งแรงของเจลจะเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากบทบาทของพันธะไฮโดรเจน นอกจากนี้ในขั้นตอนของการบ่มซูริมิที่อุณหภูมิที่เหมาะสมก่อนนำไปทำให้สุก หรือการ “setting” ความแข็งแรงของเจลยังเกี่ยวข้องกับพันธะ ϵ -(γ -glutamyl)-lysine ซึ่งเป็นพันธะโควาเลนต์ที่เกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างกลุ่มแกมมา-คาร์บอกซีเอไมด์ (γ -carboxy amide) ของกรดอะมิโนกลูตามีน (glutamine) และกลุ่มแอมป์ซิลอน-อะมิโน (ϵ -amino) ของกรด อะมิโนไลซีน (Lysine) โดยการทำงานของเอนไซม์ทรานสกลูตามิเนส (transglutaminase) อีกด้วย (ตารางที่ 3.2)

ตารางที่ 3.2 การเปลี่ยนแปลงโปรตีนสัตว์น้ำด้วยความร้อน

อุณหภูมิ (°C)	การเปลี่ยนแปลง
70-80	-พันธะไดซัลไฟด์แยกออก -โครงสร้างเฮลิคซ์เปิดออก -โปรตีนที่ไวต่อความร้อนเกิดการตกตะกอน
80-100	-สูญเสียพันธะไดซัลไฟด์ -โครงสร้างโปรตีนคลายตัวมากขึ้น
100-150	-กรดอะมิโนไลซีนสลายตัว -เกิดไลซีนอะลานีน
200-250	เกิดไพโรไลซิสของกรดอะมิโนทุกชนิด
>300	เกิดไพโรไลซิสได้เป็นสารก่อมะเร็ง

ที่มา : <https://slideplayer.in.th/slide/15162541/>

3.8.2 สมบัติการอุ้มน้ำ (water holding capacity)

สมบัติการอุ้มน้ำของโปรตีนที่ดีมีความสำคัญต่อลักษณะเนื้อที่นุ่ม มีความชุ่มฉ่ำ (juiciness) รสชาติดี และสีอาหารปกติ อีกทั้งทำให้การสูญเสียของเหลวในระหว่างการแปรรูปลดลง เป็นประโยชน์ต่อคุณภาพเชิงบริโภคและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น น้ำที่ถูกกักไว้ในโครงสร้างของโปรตีนมี 2 ลักษณะ คือ ลักษณะแรกเป็นส่วนของน้ำที่จับ (bounding) กับหมู่ R ของกรดอะมิโนในโมเลกุลโปรตีน ซึ่งความสามารถในการจับกับน้ำขึ้นกับชนิดของโปรตีน ความเข้มข้นของโปรตีน จำนวนหมู่ที่มีขั้ว pH เกลือ และอุณหภูมิ ลักษณะที่สองคือ น้ำที่แทรกอยู่ในช่องว่างของโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ ของโปรตีนขณะเกิดเจล โดยขึ้นกับความแข็งแรงของโครงสร้างตาข่ายนั้น หากอัตราการสูญเสียสภาพธรรมชาติเกิดขึ้นเร็วกว่าอัตราการจับตัวกันของโปรตีน โครงสร้างตาข่ายสามมิติที่ได้จะไม่มีความสม่ำเสมอ เจลที่ได้จะมีความแข็งแรงและยืดหยุ่นต่ำ แต่ถ้าหากการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนเกิดขึ้นในอัตราที่ไม่สูงเจลที่ได้จะมีความยืดหยุ่นและแข็งแรง ทั้งนี้อัตราการสูญเสียสภาพธรรมชาติและอัตราการจับตัวกันของโปรตีนมีการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสม จะเป็นการเอื้ออำนวยให้โมเลกุลโปรตีนมีเวลาในการจัดเรียงตัวอย่างมีระเบียบ และยึดเหนี่ยวซึ่งกันและกัน เกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายสามมิติที่แข็งแรงมีความสมบูรณ์มากขึ้น หากการรวมตัวของโปรตีนที่สูญเสียสภาพธรรมชาติเกิดอย่างรวดเร็วจะมีผลทำให้โปรตีนจับตัวกันแบบสุ่ม อย่างไม่เป็นระเบียบ โครงสร้างของเจลที่ได้จะมีความสามารถในการอุ้มน้ำน้อย

ตารางที่ 3.3 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากแหล่งต่างๆ

โปรตีน	อิมัลซิไฟเออร์	การเกิดโฟม	การเกิดเจล	การเกิดฟิมส์	ความคงตัว
ปลา	medium	low	high- medium	low-medium	ไม่คงตัวต่อความร้อน
ไข่ขาว	low	high	high	medium	ไม่คงตัวต่อความร้อน
ไข่แดง	high	low	medium	low	ไม่คงตัวต่อความร้อน
เคซีน	high	medium	low	high	คงตัวต่อความร้อน แต่ไม่คงตัวต่อกรด
เวย์	medium	low-high	low-high	medium	คงตัวต่อกรด แต่ไม่คงตัวต่อความร้อน
โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง	medium - high	low-medium	medium	Medium-high	ไม่คงตัวต่อความร้อนและกรด

ที่มา : ดัดแปลงจาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1276/>

3.8.3 การเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier)

อิมัลชัน หมายถึง ระบบของของเหลวที่ประกอบด้วยของเหลวตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปที่ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันมากระจายตัวอยู่ด้วยกันโดยไม่แยกชั้น โดยของเหลวส่วนหนึ่งแตกตัวเป็นหยดเล็กๆ เรียกว่า ส่วนที่กระจายตัว (disperse phase) ซึ่งจะกระจายตัวแทรกอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่งที่มีปริมาณมากกว่า เรียกว่า ส่วนต่อเนื่อง (continuous phase) ซึ่งทางด้านอาหารแบ่งอิมัลชันเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดน้ำมันในน้ำ และน้ำในน้ำมัน

สารอิมัลซิไฟเออร์ หมายถึง สารที่ช่วยลดแรงตึงผิว (surface tension) ของของเหลว โดยช่วยป้องกันอิมัลชันไม่ให้แยกเป็นชั้น ซึ่งโมเลกุลของอิมัลซิไฟเออร์ มีทั้งส่วนที่ชอบน้ำ และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ โดยจะหันส่วนที่ชอบน้ำเข้าหาน้ำ และหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้าหาน้ำมัน เกิดเป็นฟิมส์หุ้มส่วนที่กระจายตัวไว้ ตัวอย่างของอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในอาหาร เช่น มอโนกลีเซอไรด์

(monoglyceride) ไดกลีเซอไรด์ (diglyceride) ฟอสโฟลิพิด (phospholipid) เช่น เลซิทีน (lecithin) ในกรณีของ meat emulsion ชนิดน้ำมันในน้ำ เช่น ในไส้กรอก เกลลี่จะละลายไมโอซิน มาอยู่ที่ผิวระหว่างน้ำมันและน้ำ โปรตีนไมโอซินที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่ไม่มีซัลฟิวจะถูกดูดซับไว้บนผิวของหยดไขมัน และหันส่วนที่มีซัลฟิวออกสัมผัสกับน้ำ นอกจากนั้นโปรตีนยังจับกันเป็นฟิล์มที่ต่อเนื่องและมีแรงยึดเกาะดี ทำให้อิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น การรักษาเสถียรภาพของอิมัลชันทำได้โดยเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ที่สามารถถูกดูดซับ และลดแรงตึงผิวบริเวณระหว่างผิวของน้ำมันกับน้ำ (oil-water interface)

3.9 การประยุกต์ใช้โปรตีนสัตว์น้ำ (application of fish protein)

โปรตีนไฮโดรไลเซตจากส่วนก้างของปลาทูน่าและเจลาตินไฮโดรไลเซตจากหนังปลาแปซิฟิกคอด (*Gadus macrocephalus*) (Lee *et al.*, 2010; Himaya *et al.*, 2012) มีความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์แองจิโอเทนซินวัน-คอนเวอร์ติง (angiotensin I-converting enzyme, ACE) ได้ ซึ่งการใช้สารยับยั้ง ACE เป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาภาวะความดันโลหิตสูงได้ดี ซึ่งสารยับยั้ง ACE ทางการค้า ได้แก่ enalaprilat, enalapril และ lisinopril โดยยาทั้งสามชนิดมีความสามารถในการยับยั้งการทำงานของ ACE ได้ดีแต่มีผลข้างเคียง เช่น ไอแห้ง เป็นผื่นที่ผิวหนัง สูญเสียการรับรส มีภาวะโพแทสเซียมในเลือดสูง เป็นต้น (Atkinson และ Roberston, 1979; Saica, 2003) ส่วนโปรตีนไฮโดรไลเซตจากการย่อยโปรตีนสกัดจากกระดูกปลานิลสามารถกระตุ้นให้เซลล์สร้างกระดูก (MC3T3-E1) เพิ่มจำนวนได้ และสามารถเพิ่มการสะสมแคลเซียมของเซลล์สร้างกระดูกได้อีกด้วย (สุภาวดี, 2556) นักวิจัยจาก New Zealand Plant and Food Research (ศูนย์วิจัยเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร, 2558) รายงานว่า เอนไซม์จากปลาเหมาะกับการใช้ในปฏิกิริยาย่อยไขมันในนม (hydrolysis of milk fat) ซึ่งจะผลิตกรดไขมันกลีเซอรอเลตเฉพาะตัวของชีส และผลิตภัณฑ์นมอื่น ๆ และมีรายงานว่าโปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้จากส่วนต่าง ๆ ของปลา เช่น ก้าง กระดูก เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน และเกล็ดมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (Wiriayaphan *et al.*, 2012; Ngo *et al.*, 2010) ซึ่งอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคข้ออักเสบและโรคอัลไซเมอร์ นอกจากนี้ยังมีผลการวิจัยของหัตถดาว และคณะ (2559) เรื่องคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเจลาตินจากเศษเหลือของปลาเขี้ยวมรกต (*P. bocourti* x *P. larnaudii*) รายงานว่า เจลาตินมีสมบัติเชิงหน้าที่แตกต่างกัน ทำให้มีศักยภาพในการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายชนิด เช่น เจลาตินจากหนังปลาเป็นตัวก่อเจลที่ดี จึงเหมาะต่อการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทวุ้น เช่น เยลลี่ และพุดดิ้ง รวมทั้งมีความ

สามารถในการเกิดโฟมและประสิทธิภาพในการทำให้โฟมคงตัว จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทเมลโลว์ เช่น มาร์ชเมลโลว์ (marshmallow) เมอแรง (meringue) ขนมฟองนม และไอศกรีม

บทสรุป

โปรตีนเป็นสารชีวโมเลกุลขนาดใหญ่ประกอบด้วยกรดอะมิโนยึดกันด้วยพันธะเพปไทด์ เป็นสายจนกลายเป็นโมเลกุลของโปรตีน เรียกว่า ห่วงโซ่พอลิเพปไทด์ (polypeptide chain) หนึ่งโมเลกุลของโปรตีนอาจประกอบด้วยห่วงโซ่เพปไทด์มากกว่า 1 สาย ในกล้ามเนื้อสัตว์น้ำ ประกอบด้วยโปรตีน 3 ชนิด แบ่งตามความสามารถของการละลายในน้ำ ได้แก่ โปรตีนชาร์โค-พลาสติก โปรตีนไมโอไฟบริล และโปรตีนสโตรมา กล้ามเนื้อปลา มีโปรตีนไมโอไฟบริล และ NPN มากกว่าในสัตว์บก แต่มีโปรตีนชาร์โคพลาสติกและโปรตีนสโตรมาน้อยกว่าในสัตว์บก และในกล้ามเนื้อชาวปลา มีโปรตีนชาร์โคพลาสติกมากกว่ากล้ามเนื้อดำ ส่วน NPN มีบทบาทต่อคุณลักษณะของอาหาร เช่น ให้กลิ่นรสและรสชาติของสัตว์น้ำ โปรตีนจากสัตว์จะเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติในช่วงอุณหภูมิ 57-75 องศาเซลเซียส ซึ่งมีผลต่อเนื้อสัมผัส การอึมน้ำ และการหดตัวของเนื้อสัตว์น้ำ ข้อมูลดังกล่าวข้างต้นของโปรตีนมีความสำคัญต่อการพิจารณาเลือกวิธีการถนอมสัตว์น้ำ และแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสัตว์น้ำเพื่อให้เกิดประโยชน์จากสัตว์น้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด

คำถามท้ายบท

1. จงบอกความหมายของโปรตีนตามความเข้าใจของตนเอง
2. กรดอะมิโนแบ่งออกเป็นกี่ประเภท มีอะไรบ้าง
3. จงบอกประเภทของโปรตีนที่จำแนกตามคุณสมบัติด้านต่าง ๆ
4. จงยกตัวอย่างวิธีการประเมินคุณภาพของโปรตีน
5. จงบอกความสำคัญของโปรตีนที่มีต่อผลิตภัณฑ์ประมง
6. จงอธิบายลักษณะของโปรตีนที่สูญเสียธรรมชาติ
7. จงบอกประโยชน์ของสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนสัตว์น้ำมาอย่างน้อย 3 ข้อ
8. จงบอกประโยชน์ของโปรตีนสัตว์น้ำที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหาร

เอกสารอ้างอิง

- ทัดดาว ภาษีผล, ชลัดดา ชัยวิเศษ, นิตยา กระแสจันทร์, และสุประภา บุญตา. (2559). สมบัติเชิงหน้าที่ของเจลาตินจากวัสดุเศษเหลือของปลาเขี้ยวมรกต. ใน *การประชุมวิชาการ “มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ครั้งที่ 12 ”* (น. 298-304). มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง. (2558). *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ศูนย์วิจัยเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร. (2558). *ผงปรุงรส*. สืบค้น 20 มิถุนายน 2560 จาก http://fic.nfi.or.th/foodsectordatabank-all2_detail.php?cat=11&type=2
- สุภาวดี จอดนาค, (2556). *กิจกรรมทางชีวภาพของโปรตีนไฮโดรไลเซตจากกระดูกปลานิลและผลต่อเซลล์สร้างกระดูก* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ). สืบค้นจาก <https://core.ac.uk/download/pdf/32429424.pdf>
- Atkinson, A.B., & Rovertson, J. (1979). Captopril in the treatment of clinical hypertension and cardiac failure. *Lancet*, 2, 836-839.
- Himaya, S.W.A., Ngo, D.H., Ryu, B., & Kim, S.K. (2012). An active peptide purified from gastrointestinal enzyme hydrolysate of Pacific cod skin gelatine attenuates angiotensin-1 converting enzyme (ACE) activity and cellular oxidative stress. *Food Chemistry*, 132, 1872-1882.
- Lee, S.H., Qian, Z.J., & Kim, S.K. (2010). A novel angiotensin I converting enzyme inhibitory peptide from tuna frame protein hydrolysates and its antihypertensive effect in spontaneously hypertensive rats. *Food Chemistry*, 118, 96-102.
- Ngo, D.H., Qian, Z.J., Ryu, B., Park, J.W., & Kim, S.K. (2010). In vitro antioxidant activity of a peptide isolated from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) scale gelatin in free radical-mediated oxidative systems. *Journal of Functional Foods*, 2, 107-117.

- Saiga, A., Iwai, K., Hayakawa, T., Takahata, Y., Kitamura, S., Nishimura, T., & Morimatsu, F. (2008). Angiotensin I converting enzyme-inhibitory peptides obtained from chicken collagen hydrolysate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 9586-9591.
- Wiriyaphan, C., Chitsomboon, B., & Yongsawadigul, J. (2012). Antioxidant activity of protein hydrolysates derived from threadfin bream surimi byproducts. *Food Chemistry*, 132, 104-111.

บทที่ 4

ลิพิดในสัตว์น้ำ

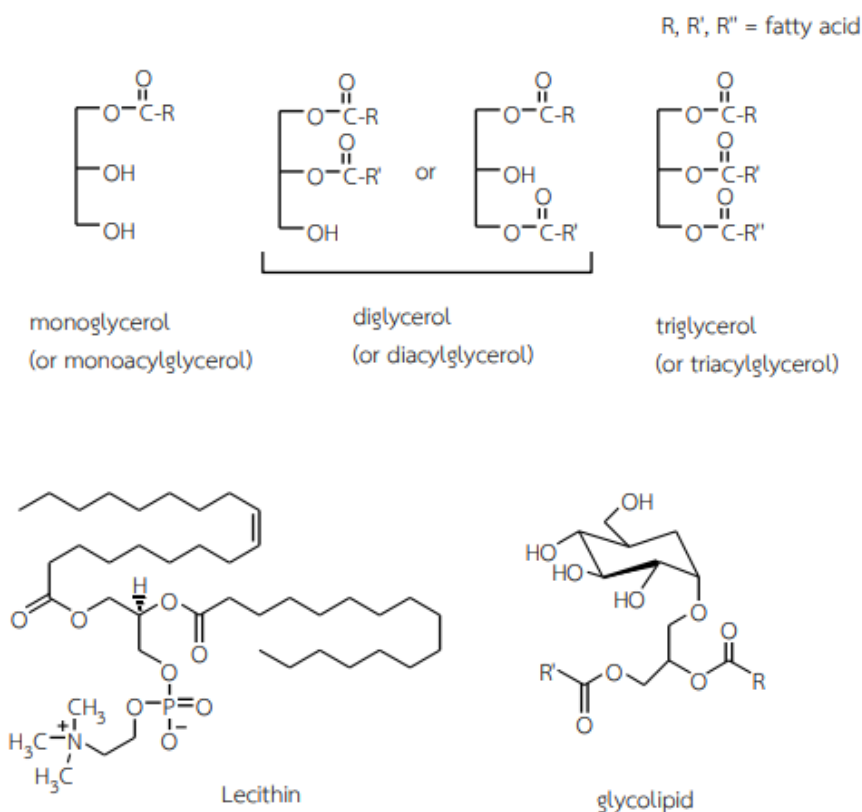
ลิพิด (lipid) ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนเชื่อมต่อกับอะตอมของไฮโดรเจนเป็นสายยาวโมเลกุล โดยทั่วไปแล้วมักเรียกลิพิดว่าไขมัน แต่แท้จริงแล้วไขมันเป็นลิพิดประเภทหนึ่ง ลิพิดไม่สามารถละลายในน้ำ แต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดไม่มีขั้ว (non-polar organic solvent) ได้แก่ แอลกอฮอล์ คลอโรฟอร์ม เมทานอล เบนซีน เฮกเซน และไดเอทิลอีเทอร์ อย่างไรก็ตาม กรดไขมันชนิดสำคัญที่พบมากในนม คือ กรดบิวทิริก ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของลิพิดด้วยเช่นกัน แต่มีสมบัติตรงกันข้ามกับลิพิดโดยมีความสามารถในการละลายน้ำดี แต่ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดไม่มีขั้ว นอกจากนั้นลิพิดยังมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการชีวเคมีภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต เช่น เป็นโครงสร้างโมเลกุลของผนังเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ของแบคทีเรียและพืชชั้นสูง ทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันการกระทบกระเทือนของอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย นำไปสร้างเป็นผิวหนัง สารสื่อประสาท ฮอรโมน และวิตามิน

4.1 โมเลกุลลิพิด

ลิพิดประกอบด้วยธาตุหลัก 3 ชนิด ได้แก่ C H O บางชนิดอาจมี P หรือ N เป็นองค์ประกอบด้วย ลิพิดมีจำนวน O ในโมเลกุลน้อยกว่า C และ H ลิพิดที่เกิดจากการรวมตัวระหว่างกลีเซอรอลกับกรดไขมัน เรียกว่า กลีเซอไรด์ หรือ แอซิลกลีเซอรอล (acylglycerol) จัดเป็นสารอินทรีย์ประเภทเอสเทอร์ระหว่างกลีเซอรอลและกรดไขมัน โครงสร้างมีกรดไขมัน 1 โมเลกุล หรือพันธะเอสเทอร์ 1 พันธะ เรียกว่า มอนोगลิเซอไรด์ (monoglyceride) กรดไขมัน 2 โมเลกุล เรียกว่า ไดกลีเซอไรด์ (diglyceride) และกรดไขมัน 3 โมเลกุล เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ ดังภาพที่ 4.1 ในธรรมชาติส่วนใหญ่พบในรูปไตรกลีเซอไรด์ อีกทั้งยังพบว่า หมู่ไฮดรอกซิล (OH) ทั้ง 3 หมู่ ของกลีเซอรอลจะเกิดพันธะเอสเทอร์กับกรดไขมันหลายชนิด เรียกว่า กลีเซอไรด์เชิงผสม

(mixed glyceride) มากกว่าเกิดพันธะเอสเทอร์กับกรดไขมันชนิดเดียว เรียกว่า กลีเซอไรด์เชิงเดี่ยว (simple glyceride) นอกจากนั้น อาจพบกลีเซอไรด์เกิดพันธะกับสารอื่นที่ไม่ใช่กรดไขมัน ได้แก่ หมูฟอสเฟต เรียกว่า ฟอสโฟลิพิดหรือฟอสโฟกลีเซอไรด์ (phosphoglyceride) เช่น เลซิทีน (lecithin) ทำหน้าที่เป็นตัวกระทำอิมัลชัน (emulsifier) และสารกันหืน หรือเกิดพันธะกับคาร์โบไฮเดรต เรียกว่า ไกลโคลิพิด

ส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์อาหารทั้งที่ผลิตจากพืช และสัตว์ล้วนแล้วมีลิพิดเป็นองค์ประกอบทั้งสิ้น ลิพิดในสัตว์น้ำแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันตามชนิด และปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งอาจเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว หรือไม่อิ่มตัว ในสัตว์น้ำพบลิพิดชนิดไตรกลีเซอไรด์ที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวได้มากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรดไขมันกลุ่มโอเมก้าสามเป็นกลุ่มกรดไขมันที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่อร่างกาย

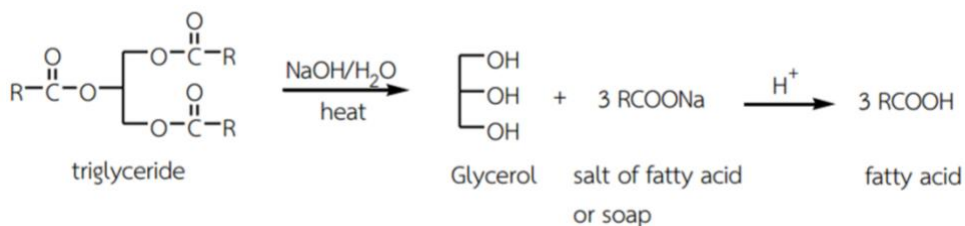


ภาพที่ 4.1 โมเลกุลกลีเซอไรด์ และลิพิดชนิดต่าง ๆ

ที่มา : ดัดแปลงจาก อรุณรัตน์ (2560)

4.2 กรดไขมันในสัตว์น้ำ

กรดไขมันเป็นสารอินทรีย์ประเภทกรดคาร์บอกซิลิก ลักษณะโครงสร้างเป็นโซ่ยาว และไม่มีกิ่ง สิ่งมีชีวิตสังเคราะห์ผ่านวิถีโพลีคีไทด์ โดยแอสทิลโคเอ ซึ่งมีจำนวนอะตอมคาร์บอน เท่ากับ 2 อะตอม เป็นสารตั้งต้นทำให้กรดไขมันมีอะตอมคาร์บอนเป็นเลขคู่ โดยหมู่คาร์บอกซิลอยู่ที่ปลายด้านหนึ่ง ในธรรมชาติพบกรดไขมันมีจำนวนอะตอมคาร์บอนตั้งแต่ 12-20 อะตอม ในสัตว์น้ำประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนในสัดส่วนหรือปริมาณที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ปัจจัยทางชีววิทยา อาหาร ฤดูกาล เป็นต้น แต่ยังพบอีกว่าในสัตว์น้ำมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมากที่สุด โดยไขมันของปลาในเขตหนาวจะมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูงกว่าปลาในเขตร้อน มักพบบริเวณชั้นไขมันใต้ผิวหนังของปลาไขมันสูง และในกล้ามเนื้อของปลาไขมันต่ำ ชนิดที่พบมากคือ กรดโอเลอิก (oleic acid; C18, n-9) กรดปาล์มมิโตเลอิก (palmitoleic acid; C16:1,n-7) กรดไขมันแกโดเลอิก (gadoleic acid; C20:1, n-11) และซีโตเลอิก (cetoleic acid; C22:1, n-11) โดยไม่พบกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) แต่พบในรูปของไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) หรือเป็น ลิพิดเชิงซ้อนกลุ่มโอเมก้าสาม (Ω-3) โดยเฉพาะอีพีเอ (EPA, eicosapentaenoic acid; C20:5, n-3) ดีเอชเอ (DHA, docosahexaenoic acid; C22:6, n-3) และดีพีเอ (DPA, docosapentaenoic acid; C22:5, n-3) เมื่อไตรกลีเซอไรด์ถูกแยกสลายด้วยน้ำในสภาวะต่าง จะได้เกลือของกรดไขมัน (salt of fatty acid) หรือสบู่ และกลีเซอรอล จากนั้นปรับสภาวะละลายให้มีสภาวะเป็นกรด จะได้กรดไขมัน ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 การแยกสลายด้วยน้ำของไตรกลีเซอไรด์

ที่มา : ดัดแปลงจาก อรุณรัตน์ (2560)

กรดไขมัน แบ่งตามลักษณะโครงสร้างได้ 2 ประเภท ได้แก่

4.2.1 กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid)

โครงสร้างในหมู่ R มีจำนวนอะตอมคาร์บอนตั้งแต่ 10 อะตอมขึ้นไป ประกอบด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมดไม่สามารถรับอะตอมของไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุลได้อีก จะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าอุณหภูมิห้องจึงจับตัวเป็นก้อนแข็งเมื่อเก็บไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำ กรดไขมันอิ่มตัวที่พบในสัตว์น้ำมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 90 ของไขมันทั้งหมด คือ กรดปาล์มมิก (palmitic acid; C16:0) และกรดไมริสติก (myristic acid; C14:0) ส่วนที่เหลือคือ กรดสเตียริก (stearic acid; C18:0) กรดมาร์การิก (margaric acid; C17:0) และกรดแอราซิดิก (arachidic acid; C20:0)

4.2.2 กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid)

โครงสร้างของหมู่ R มีพันธะคู่หรือพันธะสามตั้งแต่ 1-5 พันธะ ทำให้สามารถรับไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุลได้อีก โดยส่วนใหญ่ในอาหารโครงสร้างอยู่ในรูปของไอโซเมอร์เรขาคณิต (geometrical isomer) มีการจัดเรียงตัวที่ตำแหน่งพันธะคู่เป็นรูปซิส- (cis-) มากกว่ารูปทรานส์- (tran-) ซึ่งทั้งสองรูปแบบมีการจัดเรียงตัวของหมู่ R เป็นมุมต่างกันที่ตำแหน่งพันธะคู่ โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวรูปทรานส์- หมู่ R จะเป็นสายหยักยาวตรงหักเป็นมุม 110 องศาเซลเซียส แต่กรดไขมันไม่อิ่มตัวรูปซิส- หมู่ R ตรงตำแหน่งพันธะคู่หักงอกลับเป็นมุม 120 องศาเซลเซียส ตัวอย่างกรดไขมันไม่อิ่มตัวในรูปซิส- เช่น กรดลิโนเลอิก และกรดโอเลอิก เป็นต้น ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวรูปทรานส์- มักพบในไขมันสัตว์มากกว่าพืช

นอกจากนี้กรดไขมันไม่อิ่มตัวยังแบ่งตามจำนวนพันธะคู่เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวที่มีพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง (monounsaturated fatty acid, MUFA) มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 12 อะตอมขึ้นไป จะเริ่มมีคู่ตรงตำแหน่งเริ่มต้นที่ ω -9 หรือ ω -7 กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวที่พบมากในสัตว์น้ำ ได้แก่ กรดโอเลอิก (oleic acid; C18:1, n-9) รองลงมาคือกรดปาล์มมิโตเลอิก (palmitoleic acid; C16:1, n-7) สัตว์น้ำบางประเภท เช่น ปลาแมคเคอเรล และเฮอริง มีกรดไขมันชนิดอื่น ๆ เป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง ได้แก่ กรดไขมันแกโดเลอิก (gadoleic acid; C20:1, n-11) และซีโตเลอิก (cetoleic Acid; C22:1, n-11)

2. กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนที่มีพันธะคู่หลายตำแหน่ง (polyunsaturated fatty acid, PUFA) เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญของสัตว์น้ำ ส่วนใหญ่มีการเรียงตัวที่ตำแหน่งพันธะคู่เป็นรูปซิส- มากกว่ารูปทรานส์- กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนในกลุ่มโอเมก้าสาม (ω -3 fatty acids) เป็นกรดไขมันที่สำคัญและพบในปริมาณสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง EPA DHA และ DPA

4.3 กรดไขมันชนิดโอเมก้า (ω-fatty acids)

ในธรรมชาติส่วนใหญ่จะพบกรดไขมันที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนเป็นเลขคู่ มีจำนวนคาร์บอนสูงถึง 24 อะตอม โดยชนิดที่มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม เป็นชนิดที่พบได้มากในอาหาร และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง

4.3.1 กรดไขมันกลุ่มโอเมก้าสาม (ω-3 fatty acids) (ภาพที่ 4.3)

นับตำแหน่งของพันธะคู่ในสายของกรดไขมันเริ่มจากหมู่เมทิล (methyl group) เป็นตำแหน่งที่ 1 เป็นการนับแบบ n หรือ ω กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนที่มีพันธะคู่หลายตำแหน่ง หรือ PUFA มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 18 อะตอมขึ้นไป จะเริ่มมีคู่ตรงตำแหน่งแรกที่ ω-9 และตำแหน่งถัดไปเป็น ω-6 และ ω-3 ตามลำดับ โดยมีช่วงพันธะคู่ห่างกันช่วงละ 3 อะตอม จำนวนพันธะคู่จะขึ้นอยู่กับความยาวของสายไฮโดรคาร์บอน แต่ที่เรียกว่ากรดไขมันกลุ่มโอเมก้าสาม เพราะเป็นการเริ่มนับตำแหน่งของพันธะคู่จากหมู่เมทิล (methyl group) เป็นตำแหน่งแรกซึ่งหากนับตามแบบดังกล่าวแล้ว ω-3 จะเป็นตำแหน่งแรกนั่นเอง

กรดไขมันกลุ่มโอเมก้าสามที่มีความสำคัญต่อร่างกายมนุษย์ และพบปริมาณสูงในสัตว์น้ำ คือ EPA (eicosapentaenoic acid; C20:5 ω-3) มีจำนวนคาร์บอน 20 อะตอม มีพันธะคู่ 5 ตำแหน่ง DHA มีจำนวนคาร์บอน 22 อะตอม มีพันธะคู่ 6 ตำแหน่ง พบมากในน้ำมันปลา เช่น ปลาทู ปลาแซลมอน และร่างกายมนุษย์สามารถสังเคราะห์กรดไขมันทั้งสองชนิดได้เองจากกรดไขมันชนิดแอลฟาไลโนเลนิก (α-linolenic acid; C18:3, ω-3) ซึ่งเป็นกรดไขมันกลุ่ม ω-3 fatty acids เหมือนกัน ส่วน DPA มีจำนวนคาร์บอน 22 อะตอม มีพันธะคู่ 5 ตำแหน่ง พบมากในหอยเป๋าฮื้อ (abalone) นอกจากนั้นในสัตว์น้ำที่ไม่ใช่ปลา เช่น กลุ่ม กุ้ง กุ้ง ปู กลุ่มหมึก กลุ่มหอยสองฝา และกลุ่มหอยทะเลฝาเดียว ยังสามารถพบ EPA ในสัดส่วนที่สูงกว่า DHA (docosahexaenoic acid; C22:6, ω-3) และ DPA (docosapentaenoic acid; C22:5, ω-3) อีกด้วย กรดไขมันจำเป็น คือ กรดไขมันที่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ ได้แก่ กรดไขมันลิโนเลอิก (linoleic acid; C18:2, ω-6) และกรดไขมันลิโนเลนิก ซึ่งเป็นกรดไขมันตั้งต้นในการสังเคราะห์กรดไขมันกลุ่มโอเมก้าหก และโอเมก้าสาม ถึงแม้ว่าร่างกายมนุษย์ไม่สามารถสร้างกรดไขมันกลุ่ม ω-6 และ ω-3 ได้ แต่สามารถสร้างกรดไขมันกลุ่ม ω-6 และ ω-3 ที่ได้รับจากอาหารให้มีสายยาวขึ้นและมีพันธะคู่เพิ่มขึ้นได้ ดังนั้น EPA DHA และ DPA จึงไม่ใช่กรดไขมันจำเป็น เนื่องจากทั้งสามชนิดเป็นกรดไขมันกลุ่ม ω-6 และ ω-3 ที่ร่างกายมนุษย์สามารถสร้างได้จากวิธีการดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ใน

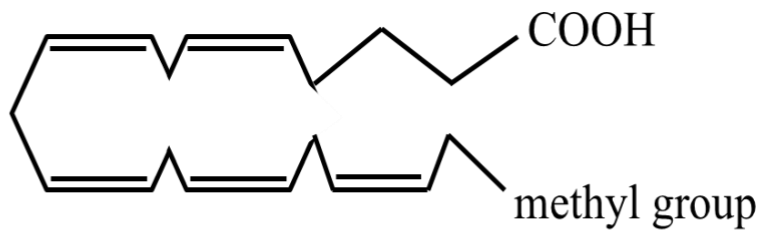
ร่างกายกระบวนการสร้างพันธะคู่เพิ่มของกรดไขมันจำเป็นทั้งกลุ่ม ω -6 ให้เป็นแอราชิโดนิค (AA, arachidonic acid; C20:4) และ ω -3 ให้เป็น EPA และ DHA ต้องใช้เอนไซม์ชนิดเดียวกันจึงเกิดการแข่งขันกันใช้เอนไซม์ขึ้น ดังนั้นการรับประทานน้ำมันปลาชนิดที่มีสัดส่วนของ DHA มากกว่า EPA จะเป็นผลดีต่อร่างกายมากกว่า เนื่องจาก DHA จะช่วยลดอัตราการแข่งขันการใช้เอนไซม์ลงได้ จะสังเกตได้ว่าในนมผงสำเร็จรูปสำหรับทารกบางชนิดจึงเลือกเติม DHA เท่านั้น โดยไม่เติม EPA แต่เติม AA เพื่อให้อัตราการแข่งการใช้เอนไซม์ในระบบเมแทบอลิซึมของทั้ง ω -6 และ ω -3 เป็นปกติ นอกจากนั้นแล้วการเติมกรดไขมันทั้ง DHA และ AA ในอัตราส่วนไม่เท่ากันและมีปริมาณมากเกินไปในนมผงสำเร็จรูปสำหรับทารกอาจส่งผลให้การสังเคราะห์กรดไขมันกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งหรือทั้งสองกลุ่มของทารกผิดปกติได้

4.3.2 กรดไขมันกลุ่มโอเมก้าหก (ω -6 fatty acids (ภาพที่ 4.3)

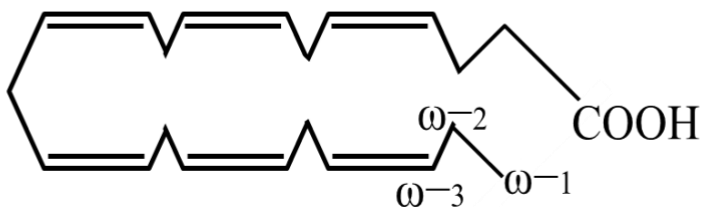
กรดไขมันกลุ่มโอเมก้าหกที่มีความสำคัญต่อร่างกายมนุษย์ และพบปริมาณสูงในสัตว์น้ำ คือ กรดไขมันแอราชิโดนิค (AA) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสังเคราะห์ฮอร์โมน โดยนำไปใช้สร้างสารประกอบอีโคซานอยด์ (eicosanoids) เนื่องจากอีโคซานอยด์ที่เกิดจากกรดไขมันแอราชิโดนิคเป็นสารตั้งต้นนั้นเป็นชนิดออกฤทธิ์กระตุ้นการอักเสบ (proinflammatory) ส่วนอีโคซานอยด์ที่เกิดจาก EPA เป็นสารตั้งต้นกลายเป็นชนิดออกฤทธิ์ต้านการอักเสบ (anti-inflammatory) และยังออกฤทธิ์ต้านการจับตัวกันของเกล็ดเลือดด้วย ดังนั้น การบริโภคกรดไขมันทั้งสองชนิดในปริมาณที่ไม่เกินความต้องการจะช่วยปรับสมดุลของการสร้างอีโคซานอยด์ได้จนทำให้เกิดผลดีต่อร่างกาย อย่างไรก็ตาม การได้รับกรดไขมันทั้งสองตัวในปริมาณมากเกินไปความต้องการอาจส่งผลเสียต่อร่างกาย โดยทำให้เสียสมดุลของฮอร์โมนระบบการทำงานในร่างกายผิดปกติได้ และการเกิดภาวะขาดกรดไขมัน ω -6 ผิวหนังจะเป็นขรุขระและตุ่ม การเจริญเติบโตช้า ระบบสืบพันธุ์บกพร่อง

4.3.3 การดูดซึมกรดไขมันในร่างกายมนุษย์ขึ้นกับ

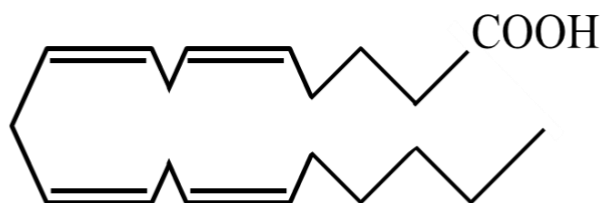
1. หมู่ R หรือ จำนวนคาร์บอน คือ กรดไขมันสายยาวมีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 12 อะตอมขึ้นไปจะดูดซึมได้น้อยกว่ากรดไขมันสายสั้น และกรดไขมันสายยาวปานกลาง
2. ชนิดกรดไขมันตามลักษณะโครงสร้าง คือ กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจะดูดซึมได้ดีกว่ากรดไขมันอิ่มตัว



EPA ($\omega-3$)



DHA ($\omega-3$)



Arachidoacid ($\omega-6$)



γ -linolenic acid ($\omega-6$)

ภาพที่ 4.3 โครงสร้างของตัวอย่างกรดไขมันกลุ่มโอเมก้าสาม และโอเมก้าหก

ที่มา : ดัดแปลงจาก อรุณรัตน์ (2560)

4.4 ชนิดลิพิดในสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมงที่มีประโยชน์ทางโภชนาการ

4.4.1 น้ำมันปลา และไขมันปลา หรือไตรกลีเซอไรด์ หรือ neutral fat

จากคำถามว่าน้ำมันปลา และน้ำมันตับปลาแตกต่างกันอย่างไร คำตอบก็คือ น้ำมันปลา และไขมันปลา คือ น้ำมันปลาที่สกัดได้จากทุกส่วนของปลายกเว้นตับ ส่วนน้ำมันตับปลา คือ น้ำมันที่สกัดได้จากตับของปลาบางชนิดเท่านั้น เช่น ตับปลาลามาน้ำลึก (รายละเอียดตามข้อ 4.4.3)

น้ำมันปลา และไขมันปลามีลิพิดชนิดไตรกลีเซอไรด์ (เอสเตอร์ของกรดไขมัน 3 โมเลกุล กับกลีเซอรอล 1 โมเลกุล) เป็นองค์ประกอบหลัก ไตรกลีเซอไรด์เป็นลิพิดที่มีโครงสร้างอย่างง่าย (simple lipids) และจัดเป็นลิพิดกลุ่มไม่มีขั้ว (neutral fat) ถ้าอยู่อุณหภูมิห้องลิพิดชนิดไตรกลีเซอไรด์ มีสถานะเป็นของเหลวเรียกว่า น้ำมันปลา (fish oils) และหากอยู่ในสถานะของแข็ง เรียกว่า ไขมันปลา (fish fat) ไตรกลีเซอไรด์ส่วนใหญ่ที่พบในน้ำมันปลา และ ไขมันปลานั้นมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนโดยเฉพาะกลุ่มโอเมก้าสาม เช่น EPA และ DHA หรือโอเมก้าหก เช่น กรดไขมันลิโนเลนิก กรดไขมันแอราชิโดนิกเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ซึ่งการดูดซึมไตรกลีเซอไรด์เข้าสู่ร่างกายมนุษย์ ขึ้นกับชนิดของกรดไขมันในโมเลกุล ถ้ามีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวปริมาณมากจะดูดซึมได้ดีกว่า และจะดูดซึมได้น้อยลงถ้าไตรกลีเซอไรด์มีกรดไขมันสายยาวเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย จากการรับประทาน น้ำมันปลาสกัดที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไปในปริมาณมากเกินไปในปริมาณมากเกินความต้องการอาจส่งผลเสียต่อร่างกายมากกว่า แต่ควรได้รับน้ำมันปลาจากการรับประทานปลาขนาดกลางทั้งตัว โดยเลือกปลาที่แปรรูปด้วยการลวก นึ่ง ยกเว้น การทอด เนื่องจากปลามีลิพิดน้อยกว่าเนื้อสัตว์ชนิดอื่น ดังนั้น พฤติกรรมการบริโภคของคนไทยที่รับประทานปลาเป็นส่วนประกอบของมื้ออาหาร ถึงแม้จะมีความถี่ในการบริโภคสูงก็จะได้รับ EPA และ DHA ในปริมาณที่ไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อร่างกาย และจะส่งผลดีต่อระบบไหลเวียนเลือด ลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคความดันโลหิตสูง ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน และโรคหลอดเลือดสมอง (stroke) รวมทั้งโรคมะเร็ง

4.4.2 ฟอสโฟลิพิด และคอเลสเตอรอล

ฟอสโฟลิพิด ประกอบด้วยด้วยกรดไขมันทั้งอิ่มตัว และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวชนิดที่มีความสำคัญต่อร่างกาย คือ แอราชิโดนิก (ω-6) กลีเซอรอล ฟอสเฟต และเบสที่มีไนโตรเจน (โคลีน เอทานอลามีน เซอรีน อินโนซิทอล) ทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบโครงสร้างของเซลล์เมมเบรน การรับประทานสัตว์น้ำในกลุ่มหอยและหมีก (mollusk) และกลุ่มกุ้ง กั้ง ปู จะได้รับทั้งฟอสโฟลิพิด และคอเลสเตอรอลในปริมาณสูง โดยเฉพาะหอยนางรม มีปริมาณคอเลสเตอรอล 47 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม แต่การรับประทานปลาไขมันต่ำ (ตารางที่ 4.1) จะได้รับ ฟอสโฟลิพิดเพียงร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของกล้ามเนื้อปลา อย่างไรก็ตาม การดูดซึมฟอสโฟลิพิดเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ขึ้นกับชนิดของ

กรดไขมันในโมเลกุล ถ้ามีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวปริมาณมากจะดูดซึมได้ดีกว่า และจะดูดซึมได้น้อยลงถ้าฟอสโฟลิพิดมีกรดไขมันสายยาว

1. ฟอสฟาไทดิลโคลีน คือ เลซิทีน เป็นสารตัวเดียวกันกับผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเลซิทีนที่ทำจากถั่วเหลืองซึ่งพบได้ทั่วไปในท้องตลาด เลซิทีนเป็นฟอสโฟลิพิดที่ประกอบไปด้วยกรดไขมันทั้งอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว กลีเซอรอล ฟอสฟอรัส และโคลีน โดยโคลีนมีความจำเป็นต่อการสร้างสารสื่อประสาทที่สำคัญของสมองคือ Acetylcholine ช่วยให้เซลล์ตับมีการเผาผลาญไขมันได้อย่างปกติ หากร่างกายได้รับเลซิทีนในปริมาณที่เพียงพอก็จะป้องกันและรักษาอาการผิดปกติของระบบประสาทบางประเภทได้ แต่เลซิทีนมีบทบาทและหน้าที่ที่สำคัญกว่านั้น คือ ลดภาวะคอเลสเตอรอลในเลือดสูง โดยช่วยให้ลำไส้ลดการดูดซึมไขมันคอเรสเตอรอล และขับถ่ายไขมันออกมาทางอุจจาระมากขึ้น ซึ่งสามารถลดความเสี่ยงของการเป็นโรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ (Heart disease) โรคหลอดเลือดสมอง (stroke) และนี่ในถุงน้ำดีลงได้ นอกจากนั้นยังสามารถบำบัดโรคทางสมองต่างๆ เช่น พาร์กินสัน (Parkinson's) อัลไซเมอร์ (Alzheimer's Disease), โรคทางสมองที่เกิดจากเซลล์ประสาทขาดสาร Acetylcholine หรือคนชราที่ป่วยเป็นโรคความจำเสื่อม

2. สฟิงโกไมอีลิน (sphingomyelin)

น้ำมันกึ่ง และน้ำมันปู มีสฟิงโกไมอีลินสูง เหมือนสฟิงโกไมอีลินในน้ำมันแม่ และสฟิงโกไมอีลินที่เติมในนมผงสำเร็จรูปสำหรับเด็ก โดยสฟิงโกไมอีลิน (sphingomyelin) เป็นส่วนประกอบหลักของพลาสมาไมอีลินที่มีความสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของการส่งสัญญาณประสาท ซึ่งส่งผลต่อกระบวนการทางสติปัญญา และความเฉลียวฉลาดเฉพาะบุคคลนั่นเอง

4.4.3 สควอลีน (squalene)

หากทานน้ำมันตับปลาฉลามน้ำลึกจะได้รับสควอลีนร้อยละ 50 ของปริมาณลิพิดที่เป็นองค์ประกอบ น้ำมันตับปลาฉลามเป็นลิพิดที่มีไฮโดรคาร์บอนสายยาว มีชื่อเคมีคือ 2,6,10,15,19,23-hexamethyl-2,6,10,14,18,22-tetracosahexaene มีโครงสร้างที่มี 6 พันธะคู่ ไม่คงตัวต่อการเกิดออกซิเดชัน จึงไวต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (hydrogenation) ซึ่งเมื่อผ่านปฏิกิริยานี้แล้วจะได้สารที่มีความคงตัวและใช้เป็นสารให้ความชุ่มชื้นในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง และมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน สควอลีนมีประโยชน์ต่อปลาฉลามในการรักษาสมดุลการลอยตัวในน้ำ เนื่องจากความหนาแน่นของสควอลีนต่ำกว่าน้ำ และไขมันบางชนิด ส่วนประโยชน์ที่ร่างกายมนุษย์จะได้รับคือ มีการใช้น้ำมันตับปลาฉลามเป็นทางเลือกในการรักษาโรคมะเร็ง และ โรคอื่นๆ ในทวีปยุโรปเหนือ เช่น นอร์เวย์ และสวีเดน กันมานาน สำหรับในสหรัฐอเมริกา ก็มีการจำหน่ายน้ำมันตับ

ปลาฉลามในรูปผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร อย่างไรก็ตามข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่เท่าที่มีถึงปัจจุบันก็ไม่สามารถยืนยันสรรพคุณในการใช้รักษาโรคมะเร็ง

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างชนิดของสัตว์น้ำตามปริมาณของไขมัน

ประเภท	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	ตัวอย่างชนิดของสัตว์น้ำ
ไขมันต่ำมาก	<2	ปลาไหล ปลากระบอก ปลาทราย ปลากระพงแดง ปลานิล ปลาไส้ตัน ปลาเนื้ออ่อน ปลาคอด กึ่งกุลาดำ (ส่วนเนื้อ) ปูม้า หมึกกล้วย หอยขม หอยกะพง หอยแครง หอยแมลงภู่
ไขมันต่ำ	2-4	ปลาทุ (นึ่ง) ปลาดุก ปลากระพงขาว ปลาอินทรี ปลาจาระเม็ดดำ ปลาลิ้นหมา ปลาตาโต กุ้งฝอย
ไขมันปานกลาง	4-8	ปลาทุ (สด) ปลาแซลมอน ปลาหมอบ ปลาแป้น ปูทะเล กึ่งกุลาดำ (ส่วนหัว)
ไขมันสูง	> 8	ปลาซวาย ปลาสำลี ปลาช่อน ปลาแมคเคอเรล ปลาแฮร์ริ่ง

ที่มา : ดัดแปลงจาก กองโภชนาการ (2544)

4.5 การประยุกต์ใช้ลิพิดในสัตว์น้ำ

จิราพร และดวงเดือน (2559) รายงานผลการใช้ลิพิดในสัตว์น้ำเป็นอิมัลซิฟายเออร์ในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลาอิมัลชัน โดยใช้ไขมันจากท้องปลาแซลมอนซึ่งประกอบด้วยกรดไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนมาผสมในลูกชิ้นปลาอิมัลชันโดยศึกษาเปรียบเทียบกับการใช้ไขมันถั่วเหลือง ไว้ว่าการใช้น้ำมันจากท้องปลาแซลมอนแทนน้ำมันถั่วเหลืองในการผลิตลูกชิ้นปลาอิมัลชันทำให้ลูกชิ้นปลาอิมัลชันมีความนิ่มมากขึ้น จากการเติมน้ำมันมีแนวโน้มทำให้เนื้อสัมผัสของเจลโปรตีนนิ่มลงซึ่งจะนิ่มลงมากหรือน้อยขึ้นกับระดับของความอิมัลชันและการกระจาย (dispersion) ของน้ำมัน แต่เนื่องจากน้ำมันปลาจากท้องปลาแซลมอนมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนที่มีพันธะคู่หลายตำแหน่งมากกว่าที่มีอยู่ในน้ำมันพืชทำให้มีลักษณะเหลวกว่า ถ้าเติมในลูกชิ้นปริมาณมากทำให้เนื้อสัมผัสลูกชิ้นปลาอิมัลชันนุ่มออกเหลว ซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคไม่พึงพอใจ จึงลดปริมาณไขมันจากเนื้อท้องปลาแซลมอนลงเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้ดีขึ้น ดังนั้นในการผลิตลูกชิ้นปลาอิมัลชันสามารถเติมน้ำมันจากท้องปลาแซลมอนได้เพียงร้อยละ 3 ของน้ำหนักซูริมิ เพื่อให้ได้ลูกชิ้นปลา

อิมัลชันที่มีค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น ค่าการเกาะตัว และความสามารถในการอุ้มน้ำใกล้เคียงกับลูกชิ้นปลาอิมัลชันที่เติมน้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 10 ของน้ำหนักซูริมิ พิริยา (2541) ศึกษาผลของการใช้น้ำมันปลาทูน่าในมายองเนสไขมันต่ำ โดยใช้ในระบบอิมัลชันของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับน้ำมันทูน่า อัตราส่วนเป็น 4:0, 3:1, 1:1, 1:3 และ 0:4 พบว่า มายองเนสไขมันต่ำที่มีใช้น้ำมันถั่วเหลืองต่อน้ำมันปลาทูน่า 1:1 มีค่า stability index สูง มีอนุภาคไขมันขนาดเล็ก และมีคะแนนด้านกลิ่นอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้ทดสอบยอมรับได้

4.6 ผลของการแปรรูปต่อลิพิดในสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์

4.6.1 การแล่ หรือการบดเนื้อสัตว์น้ำ

การแล่ หรือการบดเนื้อสัตว์น้ำจะเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับออกซิเจนให้สูงขึ้นซึ่งส่งผลต่อการเกิดออกซิเดชันของลิพิด ปกติออกซิเจนซึมผ่านผิวหน้าของเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อสัตว์ได้ 1-4 มิลลิเมตร ดังนั้นการบรรจุแบบสุญญากาศ การดัดแปลงบรรยากาศ หรือการเคลือบน้ำ (glazing) ในระหว่างการเก็บรักษาภายหลังแช่แข็งจึงเป็นวิธีการกำจัดออกซิเจนออกจากเนื้อเยื่อสามารถยับยั้งหรือหยุดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิดได้

4.6.2 การแปรรูปโดยใช้ความร้อน

การใช้ความร้อนเป็นวิธีการดั้งเดิมที่มนุษย์ใช้ในการแปรรูปอาหารด้วยวิธีการง่าย ๆ เช่น การต้ม การลวก นึ่ง และอบ ในปัจจุบันมนุษย์ใช้ความร้อนสูงเพื่อทำลายจุลินทรีย์ในภาชนะปิดสนิทที่เป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ นอกจากนั้นยังส่งผลต่อโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของสัตว์น้ำ โดยเฉพาะลิพิดทั้งในรูปอิสระ หรือเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างของเซลล์ โดยทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิดขึ้นได้ ซึ่งผลของการเกิดออกซิเดชันทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหืน (rancid odour) การแปรรูปสัตว์น้ำโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดออกซิเดชันของลิพิดได้มากกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำแต่ใช้ระยะเวลานาน นอกจากนั้นยังมีผลทำให้ปริมาณ EPA และ DHA ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้ความร้อนสูงในการแปรรูป คือ ปลาบรรจุกระป๋อง ในกระบวนการผลิตปลาบรรจุกระป๋อง มีขั้นตอนการลวก หรือนึ่งด้วยไอน้ำ ขั้นตอนดังกล่าวสามารถไล่อากาศที่จับอยู่ตามผิวของเนื้อสัตว์น้ำ และช่วยทำลายเอนไซม์ที่มีบทบาทต่อการเกิดออกซิเดชันของลิพิด ทำให้สามารถยับยั้งหรือหยุดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิดลงได้ นอกจากนั้นยังมีการเติมสารต้านออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์อีกด้วย อย่างไรก็ตาม ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ก็ยังมีโอกาสที่จะเกิดออกซิเดชันของลิพิดได้อีก โดยอาจมีสาเหตุจากอุณหภูมิใน

การเก็บรักษาที่สูง หรือการเกิดปฏิกิริยาระหว่างลิพิดกับโลหะจากกระป๋อง แต่ปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ โดยอาจใช้เวลาหลายเดือน

4.6.3 การแปรรูปโดยใช้ความเย็น

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำที่ผ่านการแปรรูปโดยใช้ความเย็นได้รับความนิยมอย่างมาก ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำที่ใช้ความเย็นในกระบวนการแปรรูป เช่น กุ้งแช่แข็ง ปลาแช่แข็ง เนื้อปลา บดแช่แข็ง หมึกแช่แข็ง กุ้งชุบแป้งทอดแช่แข็ง ปลาชุบเกล็ดขนมปังแช่แข็ง และนักเก็ตปลา เป็นต้น โดยความเย็นจะช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์ฟอสโฟไลเปส (phospholipase) และไตรกลีเซอไรด์ไลเปส (triglyceride lipase) จากเซลล์ของกล้ามเนื้อปลาและปล่อยกรดไขมันอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาไลโปไลซิสจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อได้ง่ายมากเมื่อเทียบกับกรดไขมันที่อยู่ในรูปของไตรเอซิลกลีเซอรอล ซึ่งผลของการเกิดไลโปไลซิสทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหืน (rancid odour) ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเช่นเดียวกับผลของการเกิดออกซิเดชัน อย่างไรก็ตาม อัตราการเกิดออกซิเดชันขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ องค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง ชนิด ความสด การควบคุมกระบวนการผลิตอาหารแช่แข็ง และการเก็บรักษา พบว่าหากลดอุณหภูมิในขั้นตอนการเก็บรักษาปลาชุบเกล็ดขนมปังแช่แข็งลงจะสามารถลดกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ได้มากกว่าการเลือกลดอุณหภูมิในกระบวนการผลิตปลาชุบเกล็ดขนมปังแช่แข็ง เนื่องจากการกระทำดังกล่าวสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาไลโปไลซิสลงได้ ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาไลโปไลซิสก็จะลดลงตามไปด้วย บริเวณผิวหนังเยื่อหุ้มเซลล์กล้ามเนื้อสัตว์น้ำจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายที่สุด เนื่องจากมีโอกาสดัมผัสกับออกซิเจนได้เร็วและมากที่สุด จะสังเกตได้ว่า ส่วนเนื้อดำของปลาทูจะมียุ่กลิ่นหืนเร็วกว่าในส่วนของเนื้อขาวของปลาทู เนื่องจากเนื้อดำของปลาทูมีปริมาณลิพิดสะสมมากกว่า อย่างไรก็ตาม ถ้าเก็บรักษาปลาทูแช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส อาจจะไม่สามารถใช้วิธีการดมกลิ่นหืนที่จากการเกิดออกซิเดชันได้ แต่เมื่อเก็บนาน 1 ปี อาจได้กลิ่นหืนง่ายขึ้น โดยกลิ่นหืนที่ได้มีลักษณะคล้ายกับกลิ่นของกระดาษลูกฟูก (cardboardy) จึงสามารถใช้วิธีการทางเคมีได้ เช่น ค่า Thiobarbituric acid-reaction substance (TBARS) การตรวจวิเคราะห์หาปริมาณพอร์มัลดีไฮด์อิสระ (FA)

นอกจากนั้นแล้วปฏิกิริยาไลโปไลซิสอาจเกิดขึ้นได้ในผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำทอด โดยเฉพาะที่มีการใช้น้ำมันทอดซ้ำหลายครั้ง เนื่องจากน้ำมันได้รับความร้อนสูง ในขณะทอดจะมีน้ำมันมากจากสัตว์น้ำถูกปล่อย ลงไปในน้ำมัน มีผลให้น้ำมันแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระ เช่น โมโนกลีเซอรอล และไดกลีเซอรอลทำให้น้ำมันมีลักษณะทางกายภาพและทางเคมีเปลี่ยนไป มีสารประกอบใหม่

เกิดขึ้นทั้งสารชนิดมีไขมัน และสารชนิดไม่มีไขมัน การบริโภคผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันที่ผ่านการทอดซ้ำหลายครั้ง อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพได้

สรุป

ลิพิดในสัตว์น้ำส่วนใหญ่พบในรูปไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเมก้ากลุ่ม **Ω-6** และ **Ω-3** ซึ่งเป็นกลุ่มกรดไขมันที่มีความสำคัญต่อร่างกายมนุษย์ เช่น **Ω-6** คือ AA ส่วน **Ω-3** ได้แก่ EPA DHA และ DPA โดยการจะเลือกรับประทานลิพิดในสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ชนิดใดนั้นนอกจากจะพิจารณา ถึงปริมาณของลิพิดที่ร่างกายต้องการแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงชนิด และปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของลิพิดนั้นด้วยว่าเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน ในอัตราส่วนตามความเหมาะสมกับวัย หรือลิพิดชนิดนั้นมีกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนไม่เกิน 12 อะตอม ร่างกายจึงจะสามารถดูดซึม และนำไปใช้ประโยชน์ได้ดี เช่น ในวัยที่เริ่มมีความเสี่ยงต่อโรคหัวใจก็ควรจะเลือกแหล่งไขมัน ที่ดีต่อสุขภาพร่างกาย โดยเลือกชนิด ขนาดของสัตว์น้ำ และกำหนดความถี่ในการบริโภคด้วย นอกจากนี้ วิธีการแปรรูปสัตว์น้ำก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของลิพิดในสัตว์น้ำ การแปรรูปสัตว์น้ำด้วยการลวก นึ่ง ยกเว้น การทอด จะช่วยรักษาคุณค่าทางโภชนาการของลิพิดไว้ได้

คำถามท้ายบท

1. จงอธิบายความแตกต่างของลักษณะโครงสร้างลิพิด และกรดไขมันในสัตว์น้ำ
2. จงบอกความสำคัญของกรดไขมันในสัตว์น้ำที่มีต่อร่างกาย
3. จงอธิบายความสำคัญของลิพิดแต่ละชนิดในสัตว์น้ำที่มีต่อร่างกาย
4. จงอธิบายเหตุผล และความจำเป็นของการรับประทานน้ำมันปลาสด
5. จงเลือกวิธีการแปรรูปผลิตภัณฑ์ประมงที่สามารถรักษาคุณค่าทางโภชนาการของสัตว์น้ำได้ดี พร้อมอธิบายเหตุผล
6. จงบอกวิธีการเลือกรับประทานสัตว์น้ำให้เป็นประโยชน์กับร่างกาย
7. จงอธิบายเหตุผลว่าการรับประทานปลาที่มีไขมันต่ำหรือปลาที่มีไขมันสูงจึงจะดีต่อสุขภาพ

เอกสารอ้างอิง

- กองโภชนาการ. (2544). *ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย*. นนทบุรี: กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.
- จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร และดวงเดือน วาริวัณิช, (2559). ผลของชนิดน้ำมันที่มีต่อสมบัติของเจลโปรตีนในลูกชิ้นอิมัลชัน. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก* 9(1), 1-9.
- นัยนา บุญทวีวัฒน์. (2546). *ชีวเคมีทางโภชนาการ*. ชิกม่า ดีไซน์กราฟฟิค. กรุงเทพฯ.
- สมเกียรติ แสงวัฒนาโรจน์. (2554). กินปลาอย่างไรให้เป็นประโยชน์กับหัวใจ. *วารสาร CVM*. เดือนพฤษภาคม: 21-22.
- พริยา มีมาก. (2541). *การใช้น้ำมันปลาในมายองเนสไขมันต่ำ* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ). สืบค้น 20 กันยายน 2560, จาก <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/55996>
- ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง. (2558). *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สุทธวัฒน์ เบญจกุล. (2548). *เคมีและคุณภาพสัตว์น้ำ*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- โสธยา เกิดพิบูลย์, พงษ์ ไสวะพันธ์, ประกาย ผิวทอง, และอรอนงค์ ฐานพันธ์นิติ. (2554). ผลของอิมัลซิไฟเออร์และเวลาที่ใช้ในการผสมต่อสมบัติเชิงกายภาพของฟักทองสเปรด. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น*. 16(1), 32-40.
- หทัยพร ศิรินามารัตนะ, และวรางคณา วาริสน้อยเจริญ, (2548). การเสริมไขมันปลาในการรักษาโรคที่เกิดการอักเสบ. *ไทยโภชนาการ*. 2(เดือนกันยายน), 179 -188.
- อรุณรัตน์ สันธิติภินิสกุล. 2560. *เอกสารประกอบการสอน รายวิชาวิชาเคมีอินทรีย์ 2 (รหัสวิชา 4022313)*. สืบค้น 20 กันยายน 2560, จาก http://pws.npru.ac.th/arunrat/index.php?act=6a992d5529f459a44fee58c733255e86&ln_type=editor_top&stm_id=2559
- Akoh, C.C., & Min, D.B. (2002). *Food Lipids*. Marcel . New York: Marcel Dekker.
- Fennema, O.W. (1996). *Food Chemistry, 3rd ed.* New York: Marcel Dekker.

บทที่ 5

วิตามินและแร่ธาตุในสัตว์น้ำ

ส่วนใหญ่วิตามินและแร่ธาตุเป็นสารที่ต้องได้รับจากอาหารทุกวัน ร่างกายสามารถสังเคราะห์วิตามินได้เพียงบางชนิด เมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายแล้วไม่สามารถสะสมไว้ในอวัยวะใดได้ หากได้รับจากอาหารในปริมาณที่น้อยกว่าความต้องการติดต่อกันเป็นระยะเวลาสั้น ๆ แล้วร่างกายจะเข้าสู่ภาวะขาดวิตามิน แต่หากได้รับมากเกินไปกว่า 10 เท่าของปริมาณที่ร่างกายต้องการแล้วอาจก่อให้เกิดความผิดปกติในร่างกาย เช่น เวียนหัว และอาเจียน เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นกับสุขภาพของแต่ละบุคคลด้วย ร่างกายมนุษย์ปกติต้องการวิตามิน 13 ชนิด และแร่ธาตุ 17 ชนิด ในปริมาณเล็กน้อย แต่ไม่สามารถขาดได้ เนื่องจากวิตามินเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ที่จำเป็นของปฏิกิริยาการสลายสารชีวโมเลกุลที่ให้พลังงาน และช่วยรักษาความสมดุลให้แก่ร่างกาย นอกจากสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมงจะเป็นแหล่งของสารอาหารที่ให้พลังงานแล้วยังเป็นอีกแหล่งของวิตามินและแร่ธาตุที่สำคัญอีกด้วย (ตารางที่ 5.1 - 5.3)

5.1 วิตามินในสัตว์น้ำ

หน่วย IU คือหน่วยสากลของวิตามิน 1 หน่วย IU เท่ากับ 0.3 มิลลิกรัม วิตามินในสัตว์น้ำแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ วิตามินที่ละลายในน้ำ และวิตามินที่ละลายในน้ำมัน

5.1.1 วิตามินที่ละลายในน้ำ ได้แก่

1. โทอะมิน หรือ วิตามินบีหนึ่ง (thiamin: B1)
2. ไรโบฟลาวิน หรือ วิตามินบีสอง (riboflavin: B2)
3. ไนอะซิน หรือ วิตามินบีสาม (niacin: B3)
4. แพนโททีนิก หรือ วิตามินบีห้า (panthothenic acid: B5)
5. ไพริดอกซิน หรือ วิตามินบีหก (pyridoxine: B6)

6. ไบโอติน หรือ วิตามินบีเจ็ด (biotin: B7)
7. โฟเลท หรือ วิตามินบีเก้า (folate: B9)
8. โคบาลามิน (cobalamines: B12)
9. กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid: C)

5.1.2 วิตามินที่ละลายในน้ำมัน

วิตามินที่ละลายในน้ำมัน ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินดี และวิตามินอี พบที่อวัยวะภายในมากกว่ากล้ามเนื้อของปลาโดยเฉพาะที่ตับของปลาบางชนิดจะพบวิตามินอีสูงจึงทำให้น้ำมันตับปลาเป็นแหล่งวิตามินอีที่สำคัญ โดยเฉพาะในปลาทูน่าสายพันธุ์ albacore และ yellowfin ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณวิตามินที่ละลายในน้ำมันคือ ขนาดของสัตว์น้ำ อย่างไรก็ตาม ปลาชนิดที่มีไขมันสูงมีปริมาณวิตามินเอในกล้ามเนื้อมาก เช่น ปลาชาร์ดิน ปลาแมคเคอเรล ปลาแซลมอน ปลาเฮอว์ริง ปลาซวาย ฉลามหู และปลาไหลขนาดใหญ่ ส่วนในสัตว์อื่น เช่น ปู ปลาไหล หอยนางรมและหอยแมลงภู่ นอกจากนั้นยังมีส่วนอื่นของสัตว์น้ำที่สามารถพบวิตามินได้ เช่น ส่วนครีบทูของฉลามที่มีปริมาณวิตามินเอสูงมากซึ่งนิยมนำมาแปรรูปเป็นซุปรูฉลาม ส่วนวิตามินดีพบมากในปลาจวด ปลาทูน่าสายพันธุ์ albacore และ yellowfin แต่พบปริมาณน้อยในปลาชาร์ดิน ปลาแมคเคอเรล ปลาแซลมอน ปลาเฮอว์ริง ส่วนในสัตว์น้ำชนิดอื่น เช่น หอยนางรม อาจพบในรูปของโปรวิตามินดี

5.2 ผลของกระบวนการแปรรูปที่มีต่อวิตามินในสัตว์น้ำ

เนื่องจากวิตามินที่ละลายในน้ำพบที่อวัยวะภายในมากกว่ากล้ามเนื้อของสัตว์น้ำ ดังนั้นการล้างปลาทั้งตัวอาจจะสูญเสียวิตามินน้อยกว่าการล้างปลาในกระบวนการผลิตซูริมิ เช่น วิตามินบีหนึ่ง วิตามินบีสอง และวิตามินบีสามอาจจะสูญเสียตั้งแต่กระบวนการล้างหรือการละลายน้ำแข็ง (thawing) ตับของสัตว์น้ำสามารถเก็บสะสมวิตามินที่ละลายในน้ำไว้ได้เพียงชนิดเดียวคือ วิตามินบีสิบสองส่วนใหญ่แล้ววิตามินที่ละลายในน้ำไม่สามารถทนต่อการแปรรูปโดยใช้ความร้อนได้แม้แต่การต้ม เช่น วิตามินบีเจ็ด พบในกล้ามเนื้อปลาชาร์ดิน และปลาลิ้นหมา วิตามินบีห้า พบในกล้ามเนื้อปลาเฮอว์ริง และหอยนางรม (oysters) ซึ่งมีปริมาณสูงที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5.4 และ 5.5 ก็ไม่สามารถทนต่อทั้งความร้อนสูง และสภาวะเป็นกรดในกระบวนการผลิตอาหารกระป๋องได้ แม้แต่การอุ่นก็ทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของวิตามินซีไป จึงพบวิตามินซีเฉพาะในปลาทูสดแต่ไม่พบในปลาหูหนึ่ง นอกจากนั้น ยังพบในผลิตภัณฑ์ประมงที่ผ่านกระบวนการหมัก เช่น ปลาหมัก อย่างไรก็ตาม สัตว์น้ำที่ได้จากการเพาะเลี้ยง มีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าสัตว์น้ำที่จับได้จากธรรมชาติ วิตามินบีหก เป็นตัวอย่างของวิตามินที่ละลายในน้ำที่ทนต่อความร้อนได้ เช่น ปลาทูน่า และปลาแมคเคอเรล

เป็นแหล่งวิตามินบีหกที่ดีที่สุด โดยปลาทั้งสองชนิดเป็นวัตถุดิบหลักของกระบวน การผลิตอาหารกระป๋อง แต่สภาวะของกระบวนกรดังกล่าวอาจทำให้สูญเสียวิตามินบีหกปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น

ตารางที่ 5.1 วิตามิน และแร่ธาตุของปลาชนิดต่างๆ

สัตว์น้ำ	ปริมาณส่วนที่บริโภคได้ 100 g										
	แร่ธาตุ			วิตามิน							
	มิลลิกรัม			ไมโครกรัม				มิลลิกรัม			
	แคลเซียม	ฟอสฟอรัส	เหล็ก	เอ	เบต้าแคโรทีน	เอรวม	ดี	บี 1	บี 2	บี 3	ซี
ปลากะบอก	108	194	0.8	20	0	20	-	0.04	0.25	4.1	-
ปลากราย	45	172	1.2	-	-	-	-	0.04	0.07	8.5	-
ปลาช่อน	31	218	5.8	0	0	0	-	0.09	0.12	1.1	-
ปลาดุก	13	282	8.1	-	-	-	-	0.2	0.24	1.3	-
ปลาแดง	-	287	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-
ปลาตะเพียน	117	236	5.6	-	-	-	-	0.03	0.01	2.7	-
ปลาตาเดียว	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ปลาตาโต	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ปลาทุ	170	-	-	9	-	9	-	0.03	0.06	9.2	9
ปลาทุ่น้ำ	-	-	-	-	-	-	-	0.11	0.12	2.5	0
ปลาน้ำดอกไม้	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ปลาเนื้ออ่อน	49	152	1	-	-	-	-	0.01	0.04	1.4	-
ปลาบึก	-	-	-	0	10	2	-	0.03	0.07	1.9	-
ปลาแป้น	42	175	2	-	-	-	-	0.12	0.05	3	-
ปลาสลิค	70	177	2.3	-	-	-	-	-	0.19	2	-
ปลาสร้อย	30	132	25	0	-	0	-	0.03	0.08	0.8	-
ปลาสำลี	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	5	-
ปลาไส้ตัน	218	211	1.7	20	0	20	-	0.02	0.04	0.6	-
ปลาหมอ	64	161	2.5	1	-	1	-	0.03	0.18	2.6	-

ที่มา : ดัดแปลงจาก กองโภชนาการ (2544)

ตารางที่ 5.2 วิตามิน และแร่ธาตุของกุ้ง หมีก ปู และหอย

สัตว์น้ำ	ปริมาณส่วนที่บริโภคได้ 100 g										
	แร่ธาตุ มิลลิกรัม			วิตามิน							
				ไมโครกรัม				มิลลิกรัม			
	แคลเซียม	ฟอสฟอรัส	เหล็ก	เอ	เบต้า	แคโรทีน	เอรวม	ดี	บี 1	บี 2	บี 3
กุ้งกุลาดำ (เนื้อ)	8	140	≥	-	-	-	-	0.03	-	3.5	-
กุ้งกุลาดำ (หัว)	17	168	≥	-	-	-	-	0.14	-	2.1	-
กุ้งเคย	-	205	3.4	-	-	-	-	0.5	0.14	3.1	-
กุ้งฝอย	1339	247	28	0	53	9	-	0.07	0.72	2.9	-
หมีกกล้วย	5	128	2.9	-	-	-	-	0.02	0.03	2	-
ปลาไหล	50	158	2.2	-	-	-	-	0.13	0.05	2.5	-
ปูทะเล	205	285	3.7	-	-	-	-	0.04	0.09	4.6	-
ปูม้า	127	214	1.7	-	-	-	-	0.03	0.24	2.8	-
หอยกะพง	79	136	9.8	-	-	-	-	0.02	0.07	2.2	-
หอยขม	1	114	25.2	0	432	72	-	0.01	0.4	0.6	-
หอยโข่ง	750	107	-	-	450	75	-	0.06	0.04	2.9	-
หอยแครง	134	128	6.4	0	74	12	-	0.12	0.28	1.7	-
หอยทวาย	1130	111	-	-	-	-	-	0.07	0.2	-	-
หอยแมลงภู่	26	184	15.6	-	-	-	-	0.02	0.18	0.1	-

ที่มา : ดัดแปลงจาก กองโภชนาการ (2544)

5.3 แร่ธาตุในสัตว์น้ำ

สัตว์น้ำ และผลิตภัณฑ์ประมงจัดเป็นแหล่งที่ดีของแร่ธาตุ มีปริมาณแร่ธาตุรวมในตัวอย่างสดร้อยละ 0.6-1.5 แร่ธาตุในสัตว์น้ำแบ่งตามความต้องการของร่างกายมนุษย์ออกเป็น 2 ประเภท คือ

5.3.1 ชนิดที่ร่างกายต้องการในปริมาณไม่น้อยกว่า 100 มิลลิกรัมต่อวัน เรียกว่า macroelements มี 7 ชนิด ประกอบด้วย โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส คลอรีน และกำมะถัน

ปัจจุบันมีหลายหน่วยงานที่เกี่ยวข้องด้านสุขภาพและอนามัยรณรงค์ให้ลดปริมาณการบริโภคโซเดียมลง เนื่องจากการบริโภคอาหารที่มีรสเค็มหรือมีปริมาณโซเดียมสูงอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพได้ โดยเพิ่มความเสี่ยงต่อโรคความดันโลหิตสูง และโรคไตวาย ส่วนที่บริโภคได้ของปลา มีปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่าโซเดียม 3-4 เท่า และในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิดอาจมีการใช้เกลือหรือโซเดียมโพสเฟตส่งผลให้ปริมาณโซเดียมในผลิตภัณฑ์ประมงเพิ่มสูงขึ้นได้ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ประมงบางชนิดจึงกำหนดปริมาณโซเดียมที่ใช้เป็นองค์ประกอบไว้ ค่าเฉลี่ยของโซเดียมในเนื้อปลาประมาณ 120 มิลลิกรัมต่อเนื้อปลา 100 กรัม ส่วนค่าเฉลี่ยของโซเดียมในเนื้อกุ้ง หมึก ปู และหอยประมาณ 188 มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัม อย่างไรก็ตาม หัวปลา กระดุกปลา และครีบของปลาเป็นแหล่งของแคลเซียมและฟอสฟอรัสที่ดีมาก จึงนิยมใช้ทำเป็นปลาป่นสำหรับอาหารสัตว์ แต่หัวปลาที่มีขนาดใหญ่ เช่น หัวปลากะพง ปลาจีน ปลาทูน่าและปลาแซลมอน ซึ่งมีเนื้อติดอยู่เป็นจำนวนมาก และมีไขมันอยู่ด้วยจึงนิยมใช้ทำเป็นอาหารของมนุษย์ กลุ่มสัตว์น้ำชนิดอื่น เช่น กุ้ง และปู มีปริมาณแคลเซียมสูงกว่าปลาในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิดอาจมีการใช้สารฟอสเฟต ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้นได้ นอกจากนั้นอวัยวะภายในของปลา เช่น ตับ มีคลอรีน ฟอสฟอรัส กำมะถัน อาร์เซนิก และโบรมีน ส่วนไข่ปลามีฟอสฟอรัสมากกว่าเนื้อปลา

5.3.2 ชนิดที่ร่างกายต้องการในปริมาณน้อยกว่า 100 มิลลิกรัมต่อวัน เรียกว่า microelements ได้แก่ ไอโอดีน สังกะสี ทองแดง เหล็ก ซีลีเนียม แมงกานีส ฟลูออรีน โคบอลต์ โมลิบดีนัม นิเกิล ซิลิกอน ดีบุก วานาเดียม โครเมียม และฟลูออไรด์

ข้อมูลของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) กล่าวว่า ไอโอดีนมีความสำคัญต่อสุขภาพของมนุษย์ทุกเพศทุกวัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเด็กวัยแรกเกิดถึงห้าปีจำเป็นต้องได้รับแร่ธาตุไอโอดีนเพื่อใช้ป้องกันการเกิดอาการคอพอก (goiter) ภาวะไทรอยด์ฮอร์โมนต่ำ (hypothyroidism) และโรคเอ๋อ (cretinism) ซึ่งทำให้ระดับสติปัญญาพัฒนาด้อยกว่าปกติ และมีพัฒนาการทางร่างกายต่ำกว่าเกณฑ์ ถ้ามีการขาดสารไอโอดีนในหญิงตั้งครรภ์ จะมีผลทำให้ทารกมีพัฒนาการของสมอง และระบบประสาทที่ช้ากว่าปกติ หากขาดสารไอโอดีนในระดับรุนแรง อาจทำให้แท้งหรือตายก่อนคลอด หรือเกิดความพิการแต่กำเนิด ส่วนผู้ใหญ่จำเป็นต้องได้รับแร่ธาตุไอโอดีน วันละ 150 ไมโครกรัม เพื่อใช้ป้องกันการเกิดอาการคอพอกหรือฮอร์โมนไทรอยด์ต่ำ การแสดงออกของอาการนั้นขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการขาดสารไอโอดีน และช่วงระยะเวลาของการขาดสารไอโอดีน สัตว์น้ำ และผลิตภัณฑ์ประมงเป็นแหล่งของไอโอดีน แม้ในสัตว์น้ำจัดพบไอโอดีนในปริมาณต่ำ แต่ในสัตว์ทะเลหรือสาหร่ายทะเล โดยเฉพาะสาหร่ายเคลป์มีปริมาณสูงถึงร้อยละ 0.1-0.3 ในธรรมชาติส่วนใหญ่พบไอโอดีนในรูปที่อยู่

รวมกับไทโรซีน (tyrosine) หรือ ไทโรนีน (thyronine) หรืออาจจะพบอยู่ในรูปของเกลือไอโอเดรท (iodate) หรือ ไอโอไดด์ (iodide) ร่างกายสามารถดูดซึมไอโอดีนในรูปไอโอไดด์อิสระ สัตว์น้ำมีปริมาณซีลีเนียมมากกว่าสัตว์บก ซีลีเนียมพบอยู่รวมกับโปรตีนกล้ามเนื้อที่ละลายน้ำร้อยละ 72-80 และยังพบธาตุเหล็กในกล้ามเนื้อปลาสีคล้ำมากกว่ากล้ามเนื้อปลาสีขาว สัตว์น้ำกลุ่มหอย และหมีจะมีปริมาณสังกะสี ทองแดง โครเมียมและแมงกานีสอยู่สูงมาก โดยเฉพาะสังกะสีในหอยนางรมจะปริมาณสูงถึง 4.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง และหอย แมลงภู่มีปริมาณฟลูออรีนสูงมากกว่าอาหารทุกชนิด นอกจากนั้นแล้วหอยยังเป็นสัตว์น้ำที่มีปริมาณโคบอลต์สูงอีกด้วย

ตารางที่ 5.3 วิตามิน และแร่ธาตุของผลิตภัณฑ์ประมงชนิดต่าง ๆ

สัตว์น้ำ	ปริมาณส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม										
	แร่ธาตุ			วิตามิน							
	มิลลิกรัม			ไมโครกรัม			มิลลิกรัม				
	แคลเซียม	ฟอสฟอรัส	เหล็ก	เอ	เบต้าแคโรทีน	เอรวม	ซี	บี 1	บี 2	บี 3	ซี
กุ้งแห้งตัวเล็ก	230	625	20	-	-	-	-	0.05	0.2	5.7	-
5											
ปลาทูน่า	163	640	3	0	0	0	-	0.09	0.01	6.1	-
ปลาทูน่าในน้ำมัน	-	-	-	-	-	-	-	0.22	-	10.1	-
ปลาทูน่า(ในน้ำสด)	-	-	-	-	-	10	-	0.16		6.5	-
ปลาร้า	-	-	3.4	-	-	-	-	0.02	0.16	0.8	-
ปลาร้าผง	239	131	15.2	-	-	-	-	0.12	0.19	1.8	-
2	2										
ปลาลิ้นหมาแห้ง	191	129	8	-	-	-	-	0.03	0.1	6.9	-
3	0										
ลูกชิ้นปลา	52	82	1	0	-	0	-	0.01	0.02	0.2	-
ลูกชิ้นปลา(ทอด)	64	787	0.6	-	-	-	-	0.03	0.12	-	-
สั้มฟัก	14	110	tr	0	0	0	-	0.05	0.06	4.6	1
หูดลามแห้ง	295	61	1.1	0	0	0	-	0.09	0.71	0.1	-

ที่มา : ดัดแปลงจาก กองโภชนาการ (2544)

ตารางที่ 5.4 ปริมาณวิตามินที่ละลายในน้ำของปลาทะเลสดเฉพาะส่วนที่บริโภคได้

วิตามิน	ช่วงปริมาณ และค่าเฉลี่ย (ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม)			
	Codfish	Halibuts	Herring	Tunas
Thiamin (B ₁)	18-150 (71)	40-180 (83)	6-170 (46)	10-434 (120)
Riboflavin (B ₂)	11-325 (121)	44-185 (80)	50-100 (261)	13-660 (164)
Niacin (B ₃)	0.2-6.7 (2.5)	2.8-14.2 (7.5)	0.6-9.6 (3.8)	0-23.4 (9.7)
Pyridoxine (B ₆)	170-288 (221)	347-430 (400)	160-450 (310)	190-920 (647)
Panthothenic acid (B ₅)	96-400 (163)	111-595 (303)	970-9500 (2427)	186-3280 (917)
Biotin (B ₇)	0.2-2.6 (1.2)	6.6-9.5 (8.5)	-	(1.5)
Folic acid (B ₉)	1.8-6.7 (5.0)	2.0-2.9 (2.6)	1.7-14 (10.3)	0.6-3.2 (2.1)
Cobalamines (B ₁₂)	0.1-2.0 (0.6)	0.7-1.0 (0.8)	0.7-1.0 (11.4)	0.2-47 (6.2)
Ascorbic acid (C)	-	0	0.0-27.7 (9.0)	0.0-10.7 (2.6)

ที่มา : ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง (2558)

ตารางที่ 5.5 ปริมาณวิตามินที่ละลายในน้ำของสัตว์น้ำที่ไม่มีกระดูกสันหลังเฉพาะส่วนที่บริโภคได้

วิตามิน	ช่วงปริมาณ และค่าเฉลี่ย (ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม)			
	Clams	Oysters	Lobsters & crayfishes	Shrimp & prawns
Thiamin (B ₁)	2-139 (49)	9-300 (153)	7-165 (99)	10-143 (41)
Riboflavin (B ₂)	12-780 (238)	16-4 (340)	10-130 (64)	13-190 (76)
Niacin (B ₃)	0.2-2.3 (1.3)	0.7-7.1 (1.8)	1.2-4.3 (2.3)	0.7-4.9 (2.7)
Pyridoxine (B ₆)	0.350 (75)	30-320 (166)	(210)	16-125 (66)
Panthothenic acid (B ₅)	440-620 (531)	184-530 (365)	(410)	165-372 (278)
Biotin (B ₇)	(2.3)	10-72 (41)	4.8-5.2 (5.0)	(0.1)
Folic acid (B ₉)	2.7-58 (25.1)	3.7-240 (84.4)	(0.6)	3.0-7.4 (5.2)
Cobalamines (B ₁₂)	0.2-62.3 (9.8)	11.5-33 (17.2)	0.5-2.7 (1.6)	0.9-8.1 (3.8)
Ascorbic acid(C)	2.0-3.0 (11.2)	0.38.1 (10.7)	0-5.0 (3.0)	0-3.0 (1.5)

ที่มา : ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง (2558)

5.4 โลหะหนักที่พบในสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมง

ปัจจุบันมีการขยายพื้นที่เขตอุตสาหกรรมที่มีสถานที่ผลิตใกล้กับชายฝั่งทะเลเพิ่มมากขึ้น สิ่งแรกที่ควรคำนึงถึงก็คือความปลอดภัยในการบริโภคสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมง เนื่องจากอาจมีแร่ธาตุซึ่งส่วนใหญ่เป็นโลหะหนักที่เป็นอันตรายปนเปื้อนมากับสัตว์น้ำ เช่น โปรท แคดเมียม ตะกั่ว และอาร์เซนิก จึงมีนักวิจัยสนใจศึกษาถึงชนิดและปริมาณโลหะหนักในสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ ที่อาจเป็นอันตรายกับมนุษย์ไว้มากมาย ตามรายงานผลการวิจัยดังต่อไปนี้

อดิสรณ์ และคณะ (2535) ได้วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก 5 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี ทองแดง และโปรท ในสัตว์ทะเลคือ ปลา ปู กุ้ง กุ้งตักแตน หอย และปลาหมึก จากบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออกที่เป็นเขตอุตสาหกรรม โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณโลหะหนักอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ปี จากผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณเฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด) ของตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และโปรท ในปลามีค่า 2.631, 0.017, 5.404, 0.734 และ 0.353 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในปลาหมึกมีค่า 2.535, 0.124, 12.938, 2.404 และ 0.025 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในปูมีค่า 1.610, 0.246, 25.201, 9.866 และ 0.021 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในกุ้งตักแตนมีค่า 3.442, 1.225, 25.531, 17.234 และ 0.016 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในหอยนางรม มีค่า 5.296, 0.849, 160.221, 47.831 และ 0.017 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในกุ้งมีค่า 0.960, 0.074, 13.464, 1.963 และ 0.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าการสะสมปริมาณของสังกะสีมีอยู่สูงสุดในสัตว์ทะเลทุกชนิด รองลงมาคือทองแดง และโปรทมีการสะสมน้อยที่สุด (ยกเว้นในปลามีแคดเมียมน้อยที่สุด)

อธยา และคณะ (2546) ศึกษาปริมาณการสะสมของโลหะหนักในหมึกสาย และหมึกกระดอง ได้แก่ โปรท ตะกั่ว สารหนู และแคดเมียม ด้วยวิธี wet ashing โดยใช้เทคนิค Flame-Atomic Absorption Spectrophotometer (Flame AAS) พบว่าปริมาณของโลหะหนักที่สะสมอยู่มีปริมาณต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ทั้งนี้ในหมึกสายและหมึกกระดองพบปริมาณโปรทมีค่าเฉลี่ย 0.02-0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 0.03-0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณตะกั่ว 0.66-0.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 0.05-0.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสารหนู 0.11-0.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และน้อยกว่า 0.1-0.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณแคดเมียม 0.12-0.48 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 0.06-0.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

พิพัฒน์ และคณะ (2550) ได้ศึกษาปริมาณแคดเมียมในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลระหว่างปี พ.ศ. 2534-2548 จำนวน 3,759 ตัวอย่าง ประกอบด้วยปลาแช่แข็ง ปลากระป๋อง อาหารทะเลรวม ปลาหมึกกล้วย ปลาหมึกกระดอง ปลาหมึกสาย และกุ้งแช่แข็ง จำนวน 516, 2,091, 413, 103,

137, 122, และ 377 ตัวอย่าง ตามลำดับ โดยใช้เทคนิค Dry-ashing และวิเคราะห์ปริมาณด้วย Flame AAS พบการปนเปื้อนของแคดเมียมในการผลิตภัณฑอาหารทะเลคือ <0.01-0.86 (ปลาแช่แข็ง), <0.01-0.32 (ปลากระป๋อง), <0.01-1.80 (อาหารทะเลรวม), <0.01-2.47 (ปลาหมึกกล้วย), <0.01-3.17 (ปลาหมึกกระดอง), <0.01-5.15 (ปลาหมึกสาย), <0.01-0.71 (กุ้งแช่แข็ง) มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

วิชุดา (2550) ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในปลาหมึกเพื่อการส่งออก ปลาหมึกที่ใช้คือ ปลาหมึกกล้วย ปลาหมึกกระดอง ปลาหมึกสาย ที่จับจาก 5 เขตการประมง ในช่วงการจับ 3 ช่วงตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนกันยายน 2547 พบว่าเขตการจับมีผลต่อปริมาณแคดเมียมโดยปลาหมึกที่จับจากเขต 4 คือ ชายฝั่งทะเลทางด้านจังหวัดสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช พัทลุง สงขลา ปัตตานี และนราธิวาส มีปริมาณแคดเมียมสูงที่สุด และพบว่าช่วงระยะเวลาการจับไม่มีผลต่อปริมาณแคดเมียมในปลาหมึกกระดอง แต่พบว่าปลาหมึกกล้วย และปลาหมึกสายที่จับระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงกันยายน 2547 มีปริมาณแคดเมียมสูงกว่าช่วงการจับอื่น การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในอวัยวะส่วนต่างๆ ของปลาหมึกทั้ง 3 ชนิดพบว่าส่วนหางปลาหมึกชั้นใน และหางปลาหมึกชั้นนอกของปลาหมึกกล้วย และหมึกกระดองมีปริมาณแคดเมียมสูงกว่าส่วนเบ้าตา ส่วนหัว และหนวด สำหรับปลาหมึกสายพบว่าส่วนลำตัวมีปริมาณแคดเมียมสูงกว่าเบ้าตา ส่วนหัว และหนวด การศึกษาวิธีการล้างหมึกกระดอง พบว่าปลาหมึกที่ล้างโดยให้น้ำไหลผ่าน และวิธีการกวนในน้ำ มีปริมาณแคดเมียมไม่แตกต่างกัน แต่พบว่าปริมาณแคดเมียมมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มเวลาในการล้างให้นานขึ้น

Sidwell *et al.* (1978) ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณปรอทในสัตว์น้ำ 87 ชนิด พบว่า มีปรอทเฉลี่ย 0.2 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และสัตว์น้ำมีค่าปรอทเฉลี่ยต่ำกว่า 0.4 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดคิดเป็นร้อยละ 69 ของตัวอย่าง ส่วนสัตว์น้ำที่มีปริมาณปรอทมากกว่า 1 ไมโครกรัมต่อกรัม คิดเป็นร้อยละ 12.5 ของตัวอย่าง ปรอทที่พบในกล้ามเนื้อปลากินเนื้อที่มีขนาดใหญ่และอายุยืน เช่น ฉลามกะพงแดง ปลาหูช้างชนิด ร้อยละ 80-95 อยู่ในรูป methyl mercury ซึ่งมีความเป็นพิษสูงกว่าปรอทที่อยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ มนุษย์เราสามารถเปลี่ยนรูปของสารปรอทที่มีพิษไปเป็นปรอทรูปสารอนินทรีย์ โดยมีซีลีเนียมเป็นตัวช่วยลดความเป็นพิษของปรอทลง นอกจากนั้นยังได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในสัตว์น้ำทั้งหมด 167 ชนิด พบว่า สัตว์น้ำชนิดที่มีปริมาณตะกั่วสูงสุด คือ หอยนางรม หอยตลับ และหอยหวาน ปริมาณสารตะกั่วตามมาตรฐานขององค์การอนามัยโลกกำหนดไว้ว่าร่างกายไม่ควรได้รับเกินกว่า 3 มิลลิกรัม/คน/สัปดาห์ ตามรายงานมีปริมาณตะกั่วเฉลี่ยในสัตว์น้ำ 40 ชนิด เท่ากับ 0.9 ไมโครกรัมต่อกรัม

Flanjak (1982) ได้วิเคราะห์ปริมาณสารหนูในตัวอย่างกุ้ง และปูของออสเตรเลีย 86 ตัวอย่าง พบว่า ตัวอย่างที่มีปริมาณสารหนูในรูปของสารอนินทรีย์ต่ำกว่า 0.1 ไมโครกรัมต่อกรัม คิดเป็นร้อยละ 85 และตัวอย่างที่มีปริมาณสารหนูในรูปของสารอนินทรีย์ต่ำกว่า 7 ไมโครกรัมต่อกรัม คิดเป็นร้อยละ 97 กุ้งที่มีปริมาณสารหนูในรูปของสารอนินทรีย์และอินทรีย์สูงสุด คือ กุ้งเครฟิช (*Jasus vereaux*)

จากรายงานการวิจัยดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณแร่ธาตุที่เป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์ในสัตว์น้ำ และผลิตภัณฑ์ประมง ได้แก่ ชนิด อวัยวะ แหล่งที่อยู่อาศัย และกระบวนการแปรรูปของสัตว์น้ำ อย่างไรก็ตาม ปริมาณแร่ธาตุที่พบในสัตว์น้ำเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยขององค์การอนามัยโลก ดังนั้นการเลือกบริโภคสัตว์น้ำ และผลิตภัณฑ์ประมง จึงควรคำนึงถึงปัจจัยดังกล่าวเพื่อความปลอดภัยในการบริโภคด้วย

บทสรุป

วิตามินทั้งที่ละลายในน้ำ และวิตามินที่ละลายในน้ำมันพบที่อวัยวะภายในมากกว่ากล้ามเนื้อของปลา สัตว์น้ำอาจจะไม่ใช่แหล่งวิตามินที่ดีแต่สัตว์น้ำเป็นแหล่งแร่ธาตุที่มีความสำคัญต่อร่างกายหลายชนิด เช่น โซเดียม ไอโอดีน แคลเซียม และฟอสฟอรัส นอกจากนั้นยังพบว่ามีแร่ธาตุชนิดที่สามารถสร้างความเป็นพิษให้แก่ร่างกายมนุษย์ได้หากปริมาณที่ได้รับนั้นเกินเกณฑ์มาตรฐานขององค์การอนามัยโลก อย่างไรก็ตาม จากผลการวิจัยการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุที่เป็นอันตรายกับมนุษย์ เช่น พรอท แคดเมียม ตะกั่ว และสารหนูในตัวอย่างสัตว์น้ำ และผลิตภัณฑ์ประมงหลายชนิด ก็พบปริมาณการสะสมของแร่ธาตุดังกล่าวเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานระดับสากล หากต้องการความมั่นใจว่าสัตว์น้ำ และผลิตภัณฑ์ประมงที่หาซื้อได้ตามท้องตลาดนั้นมีความปลอดภัย ควรพิจารณาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณแร่ธาตุที่เป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์ในสัตว์น้ำ และผลิตภัณฑ์ประมง ได้แก่ ชนิด อวัยวะ แหล่งที่อยู่อาศัย และกระบวนการแปรรูปของสัตว์น้ำด้วย

คำถามท้ายบท

1. จงบอกความสำคัญของวิตามิน และแร่ธาตุที่มีต่อร่างกาย
2. จงอธิบายโทษของวิตามิน และแร่ธาตุที่มีต่อร่างกาย
3. จงอธิบายเหตุผล และความจำเป็นของการรับประทานวิตามิน และแร่ธาตุ
4. จงเลือกวิธีการแปรรูปสัตว์น้ำที่สามารถรักษาคคุณค่าทางโภชนาการของวิตามิน และแร่ธาตุในสัตว์น้ำได้ดี พร้อมอธิบายเหตุผล

เอกสารอ้างอิง

- กองโภชนาการ. (2544). *ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย*. นนทบุรี: กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.
- พิพัฒน์ นพคุณ และคณะ (2550). แคดเมียมในผลิตภัณฑ์อาหารทะเล (พ.ศ. 2538-2548). *วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์*. 49(3), 210-216.
- ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง. (2558). *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วิชุดา สังข์แก้ว. (2550). การวิเคราะห์แคดเมียมในปลาหมึกเพื่อการส่งออก. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย*. 27(3), 210-216.
- สุทธวัฒน์ เบญจกุล. (2548). *เคมีและคุณภาพสัตว์น้ำ*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- อดิสรณ์ มนต์วิเศษ, พรทิพย์ ตัดตะวะศาสตร์, สุพจน์ จิตธรรมโม, และแววตา ทองระอา . (2535). *การศึกษาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในสัตว์ทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก*. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- อัยยา กังสุวรรณ, บดินทร์ อธิพิงษ์, และพรรณี ครุชาติ. (2546). ปริมาณการสะสมของโลหะหนักในหมึก. *วารสารการประมง* 50(1): 55-65.
- Flanjak, J. (1982). Inorganic and organic arsenic in some commercial East Australian crustacean. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 33(6): 579-583.
- Sidwell, V.D., Loomis, A.L., Foncannon, P.R., & Buzzell, D.H. (1978). *Composition of the Edible Portion of Raw (Fresh or Frozen) Crustaceans, Finfish, and Mollusks. III Microelements*. *Marine Fisheries Review*, 40(9): 1-20.

บทที่ 6

ผลิตภัณฑ์ประมงแช่เย็นและแช่แข็ง

การใช้อุณหภูมิต่ำเป็นหนึ่งในวิธีการเก็บรักษาคุณภาพของอาหารที่มีประสิทธิภาพ ความเย็นช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมี ซึ่งเป็นสาเหตุการเสื่อมเสียของอาหาร โดยความเย็นจะช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาทางเคมี และชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในอาหาร ทำให้สามารถลดการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวลงได้ นอกจากนั้น ความเย็นยังช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักในการเสื่อมเสียของอาหาร รวมทั้งยังสามารถใช้ความเย็นเพื่อการปรับปรุงคุณสมบัติของอาหาร (conditioning) โดยใช้ความเย็นในกระบวนการแปรรูปหรือเป็นส่วนหนึ่งของการแปรรูป ความเย็นจะกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาที่ก่อให้เกิดกลิ่นรสเฉพาะของอาหาร หรือสร้างคุณสมบัติเฉพาะที่เป็นที่ต้องการได้ เช่น การหมักเนื้อ การบ่มเนยแข็ง การหมักเหล้า เบียร์

6.1 ความหมายของแช่เย็นและแช่แข็ง

การแช่เย็น (chilling) หมายถึง การทำให้อาหารเย็นลงที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิปกติของอากาศโดยการถ่ายเทความร้อนออกไป และสามารถควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่าอุณหภูมิโดยรอบตัว

การแช่แข็ง หรือการแช่เยือกแข็ง (freezing) หมายถึง การทำให้อุณหภูมิตรงจุดกึ่งกลางของอาหารลดลงเป็น -20 องศาเซลเซียส อย่างรวดเร็วโดยผ่านขั้นตอนการเกิดผลึกน้ำแข็งในเวลาสั้นที่สุด น้ำในเนื้อเยื่อของอาหารแปรสภาพเป็นน้ำแข็ง และคงอยู่ในสภาพแข็งตัว อุณหภูมิของอาหารแช่แข็งโดยทั่วไปต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส (ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง, 2558)

การ凍น้ำแข็ง (icing) หมายถึง การใช้ น้ำแข็ง ทำให้อุณหภูมิของอาหารเย็นลง โดยที่อาหารนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของน้ำแข็งเพียงเล็กน้อย อาหารที่ผ่านวิธีการนี้จะไม่เกิดการแข็งตัว และมีอุณหภูมิประมาณ 0-5 องศาเซลเซียส นิยมใช้เก็บรักษาสัตว์น้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งปลาทะเล

6.2 วิธีการให้ความเย็น

การให้ความเย็นมีหลายวิธี และมีความสำคัญทั้งในระดับครัวเรือนและระดับอุตสาหกรรม หลักการเลือกวิธีการให้ความเย็นควรเลือกตามวัตถุประสงค์ของการถนอมสัตว์น้ำ เช่น ในครัวเรือน นิยมใช้การแช่เย็น หรือการดองน้ำแข็ง เพื่อช่วยเก็บรักษาความสดของเนื้อสัตว์น้ำ และผลิตภัณฑ์ประมงได้นานขึ้น ส่วนระดับอุตสาหกรรมสามารถช่วยรักษาความสดของวัตถุดิบ หรือการชะลอการเสื่อมเสียระหว่างรอการผลิต และช่วยรักษาคุณภาพของวัตถุดิบให้นานขึ้น นอกจากนี้ ยังช่วยให้เกิดผลิตภัณฑ์ประมงพร้อมปรุงหรือพร้อมบริโภคมากมาย เช่น กุ้งชุบแป้งทอดแช่แข็ง และปลาบดทอดแช่แข็ง

วิธีการให้ความเย็นอาหารแบ่งเป็น 2 แบบ ดังนี้

6.2.1 แบบไม่ใช้อุปกรณ์เครื่องทำความเย็น

หลักการของวิธีนี้ คือ การถ่ายเทความร้อนจากตัวสัตว์น้ำหรือผลิตภัณฑ์ประมงให้กับสารให้ความเย็น (cooling media) สารกลุ่มนี้มีอุณหภูมิต่ำถึงต่ำมาก ได้แก่ น้ำแข็ง (ice) สารผสมน้ำแข็ง (ice mixture) น้ำแข็งแห้ง (dry ice) ไนโตรเจนเหลว (liquid nitrogen) คาร์บอนไดออกไซด์เหลว (liquid carbon dioxide) การใช้สารทำความเย็นเหลว (liquid freezant) เป็นต้น สารให้ความเย็นชนิดไนโตรเจนเหลว และคาร์บอนไดออกไซด์สามารถใช้ทำเยือกแข็งได้ รวมทั้งสามารถใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นในโรงงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำเยือกแข็งในอุตสาหกรรมได้ อย่างไรก็ตาม การใช้สารให้ความเย็นมีข้อจำกัดในการใช้ คือ เป็นสารที่ใช้แล้วหมดไปหากต้องการนำกลับ มาใช้อีกต้องใช้เทคโนโลยี และมีค่าใช้จ่าย ตัวอย่างของวิธีการนี้ ได้แก่

1. วิธีแช่ในตู้เย็น ทำง่าย และสะดวก ตู้เย็นมีอุณหภูมิระหว่าง 4–7 องศาเซลเซียส สำหรับอาหารประเภทเนื้อสัตว์น้ำ ควรเก็บไว้ในส่วนที่เย็นที่สุดของตู้ บรรจุเนื้อสัตว์น้ำในถุงพลาสติก หรือภาชนะที่ปิดมิดชิด เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น และการกระจายของกลิ่น

2. วิธีดองน้ำแข็ง ต้องใช้ภาชนะ เช่น ถังไม้ โอ่ง ถังไฟเบอร์ และกล่องโฟม เทน้ำแข็งใส่ชั้นล่างสุดของภาชนะก่อนประมาณ 1/3 ของภาชนะ แล้วจึงบรรจุสัตว์น้ำ หรือผลิตภัณฑ์ประมง จากนั้นจึงเติมน้ำแข็งสลับกับสัตว์น้ำ หรือผลิตภัณฑ์ประมง และเติมน้ำแข็งปิดด้านบนอีกครั้ง ปิดภาชนะให้สนิท

6.2.2 การให้ความเย็นเป็นระบบโดยใช้เครื่องทำความเย็น

การให้ความเย็นเป็นระบบ ประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญ คือ คอมเพรสเซอร์ ลิ้นปิด-เปิด น้ำยา คอนเดนเซอร์ ขดท่อทำความเย็น ถังเก็บหรือที่พักน้ำยา มีสารทำความเย็น (refrigerant) ทำหน้าที่รับความร้อนจากสิ่งที่ต้องการทำให้เย็นหรือบริเวณที่ต้องการความเย็น สารทำความเย็น

จะไม่สูญหาย ยังคงไหลเวียนอยู่ในวงจรอย่างเป็นระบบของการให้ความเย็นโดยจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและสถานะระหว่างการเป็นของเหลวและก๊าซ มีการเพิ่มและลดความดัน รวมทั้งมีวิธีการนำความร้อนออกไปจากระบบด้วย ระบบที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ การทำความเย็นด้วยระบบคอมเพรสเซอร์ ปัจจุบันใช้หลักการอัดความดันให้สารทำความเย็นในสภาพก๊าซเปลี่ยนเป็นของเหลว ซึ่งบางครั้งเรียก "น้ำยาเย็น" มีอุณหภูมิต่ำ มีความดันสูง ถูกเก็บไว้ในถังเก็บหรือที่พักน้ำยา (receiver) มีการปลดปล่อยลดความดัน สารทำความเย็น จะไหลออกจากถังเก็บในสภาพของเหลว อุณหภูมิต่ำ ความดันต่ำ เข้าไปในชุดท่อทำความเย็น (evaporator) ไปรับความร้อนจากสิ่งที่ต้องการทำให้เย็น จนเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซ สารทำความเย็นในสภาพก๊าซมีความดันต่ำแต่มีอุณหภูมิสูงขึ้น ผ่านเข้าไปในคอมเพรสเซอร์ (compressor) ถูกอัดจนความดันสูงขึ้น จึงอยู่ในสภาพก๊าซ อุณหภูมิ และความดันสูง ผ่านเข้าเครื่องควบแน่น (condenser) และปลดปล่อยความร้อนออกนอกระบบ ทำให้อุณหภูมิลดลง และเปลี่ยนสถานะกลับไปเป็นของเหลวดังเดิมพร้อมกลับเข้าไปในวงจรใหม่ ระบบนี้มีคอมเพรสเซอร์เป็นตัวดำเนินการหลัก ตัวอย่างสารทำความเย็น ได้แก่ แอมโมเนียเหลว ฟรีออน หรือ สารประกอบกลุ่ม CFC (chlorofluorocarbon) ซึ่งปัจจุบันเลิกใช้เนื่องจากเป็นสารทำลายชั้นบรรยากาศ

6.3 เครื่องแช่แข็งและห้องเย็น

เครื่องทำความเย็นที่ใช้ในโรงงานแช่แข็งอาหารมี 2 ประเภทคือ ห้องหรือเครื่องแช่แข็ง และห้องเก็บอาหารแช่แข็ง (ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง, 2558)

6.3.1 ห้องหรือเครื่องแช่แข็ง (freezer)

ห้องเย็นที่ใช้แช่แข็งผลิตภัณฑ์เรียก "ห้องแช่แข็ง" หรือ "เครื่องแช่แข็ง" แตกต่างจาก "ห้องเย็น" ที่ใช้เก็บผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่แข็งมาแล้ว หรือ cold storage ดังนี้

ลักษณะ	เครื่องเย็นที่ใช้แช่แข็งอาจทำเป็นห้องเป็นตู้หรือเป็นเครื่องก็ได้ แต่ห้องเก็บมีลักษณะเป็นห้องอย่างเดียว
ขนาด	ห้องหรือเครื่องแช่แข็งจะมีขนาดเล็ก ห้องเย็นจะมีขนาดใหญ่
อุณหภูมิ	ห้องหรือเครื่องแช่แข็งมีอุณหภูมิต่ำกว่า (ต่ำกว่า -35 องศาเซลเซียส) ห้องเย็นมีอุณหภูมิ -20 ถึง -25 องศาเซลเซียส
แบบ	ห้องแช่แข็งมีหลายแบบ แต่ห้องเย็นส่วนใหญ่เป็นแบบลมเย็น (air blast)

ห้องแช่แข็งโดยทั่วไปเรียกกันว่า "ห้องฟรีส" หรือ "เครื่องฟรีส" ปัจจุบันมีให้เลือกใช้หลายแบบตามความเหมาะสมกับความต้องการของผู้ประกอบการ ปัจจัยที่ใช้พิจารณาว่าจะเลือกใช้แบบไหนได้แก่ 1) ราคาของเครื่อง ห้อง ซึ่งจะเป็นส่วนหนึ่งของการลงทุน 2) ลักษณะการทำงานของเครื่องเป็นแบบแช่แข็งเป็นครั้งคราว (batch freezing) หรือแช่แข็งได้อย่างต่อเนื่อง (continuous freezing) 3) ผลของการแช่แข็งที่มีต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ 4) การสูญเสียน้ำซึ่งรวมถึงการสูญเสียน้ำหนักมากน้อยเพียงใด และ 5) ความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่จะแช่แข็ง เช่น ต้องการแช่แข็งให้ได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นชิ้น/ตัว หรือเป็นก้อน การเลือกใช้ห้องเครื่องแช่แข็ง จำเป็นต้องพิจารณาอย่างละเอียดเนื่องจากราคาของเครื่องสูง เมื่อเลือกและติดตั้งแล้วไม่เป็นไปตามความคาดหวัง การเปลี่ยนแปลงค่อนข้างจะยุ่งยากและเป็นต้นทุน

1. ห้องแช่แข็งแบบอากาศนิ่ง (Still air Freezer, Sharp Freezer หรือ Chest Freezer) การสร้างห้องเย็นแบบนี้ทำได้ง่าย แต่มีข้อจำกัด หลายประการ รวมทั้งประสิทธิภาพการแช่แข็งต่ำ ภายในห้องเย็นจะประกอบด้วยชุดท่อทำความเย็นที่มีสารทำความเย็นไหลอยู่ภายในห้องอาจฝังติดที่ผนังห้อง หรือทำเป็นชั้น หลาย ๆ ชั้น ลักษณะคล้ายชั้นวางของ โดยแต่ละชั้นจะทำด้วยชุดท่อทำความเย็นเมื่อต้องการทำเยือกแข็งผลิตภัณฑ์ก็วางผลิตภัณฑ์บนชั้นของชุดท่อทำความเย็น ด้านที่สัมผัสกับชุดท่อจะเย็นเร็วกว่าอีกด้านหนึ่ง การให้ความเย็นเป็นแบบสัมผัสด้านเดียว วิธีนี้ค่อนข้างจะล่าช้า เสียเวลาในการทำเยือกแข็ง เสียเวลาในการลำเลียง และชุดท่อทำความเย็นก็มักจะมียน้ำแข็ง (frost) เกาะติดตลอดเวลา แต่วิธีนี้เหมาะที่จะใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างไม่แน่นอนในคราวละมาก ๆ ต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ อุณหภูมิของห้องเย็นประมาณ -20 ถึง -25 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 6.1)

2. เครื่องแช่แข็งแบบสัมผัส (contact freezer, plate freezer, contact plate freezer) เครื่องแช่แข็งแบบนี้ผู้ประกอบการเกือบทุกแห่งเลือกใช้เพราะมีข้อดีหลายประการ ไม่ต้องสร้างเป็นห้องทำเป็นขนาดต่าง ๆ กัน การทำเยือกแข็งโดยเครื่องเย็นแบบนี้ ผลิตภัณฑ์จะถูกสัมผัสทั้งสองด้านของแผ่นโลหะความเย็นที่มีสารทำความเย็นไหลผ่านภายใน วิธีนี้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปได้ดีมากทำให้การแช่แข็งเป็นไปอย่างรวดเร็ว ใช้เวลาสั้น ข้อจำกัดของเครื่องเย็นแบบนี้คือ ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำเยือกแข็งแต่ละคราวต้องมีขนาดและรูปร่างสม่ำเสมอด้านความหนา เช่น ถ้าเป็นปลาแล่เป็นชิ้นควรบรรจุในกล่องแม่แบบขนาดเดียวกันตลอดทั้งรุ่นที่นำเข้าไปทำเยือกแข็ง เหมาะกับการทำเยือกแข็งแบบเป็นก้อนขนาด 1-10 กิโลกรัม ระยะเวลาที่ใช้ในการทำเยือกแข็งขึ้นอยู่กับขนาดของผลิตภัณฑ์ และพื้นที่ผิวสัมผัส ถ้าหนามากก็จะใช้เวลามากขึ้น ความหนาที่ใช้ทั่วไป 32-100 มิลลิเมตร ใช้เวลาในการแช่แข็งแต่ละครั้งประมาณ 4 ชั่วโมง อุณหภูมิของเครื่องเย็น -40

องศาเซลเซียส หลังการใช้สามารถล้างทำความสะอาดได้หากต้องการทำเยือกแข็งครั้งต่อไปทันที ปัญหาการเกาะของน้ำแข็ง (frost) ที่แผ่นโลหะเย็นสามารถติดตั้งท่อไอร้อน (hot gas) เพื่อละลายน้ำแข็งออกโดยใช้เวลาประมาณ 30 นาที การมีน้ำแข็งเกาะที่ผิวหน้าของแผ่นโลหะเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ประสิทธิภาพการแช่แข็งลดลง ทำให้เวลาในการแช่แข็งนานขึ้น ไม่สามารถคาดคะเนเวลาได้ รวมทั้งเกิดผลเสียต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้วย (ภาพที่ 6.2)

3. เครื่องแช่แข็งหรือห้องแช่แข็งแบบลมเย็น (air blast freezer) เครื่องเย็นแบบนี้ทำได้ทั้งเป็นห้องหรือเป็นเครื่อง อาศัยการหมุนเวียนของลมช่วยในการถ่ายเทความร้อน จึงทำให้ความเย็นเกิดขึ้นได้เร็ว เหมาะสมที่จะใช้ทำเป็นเครื่อง/ห้องแช่แข็งที่ใช้เป็นครั้งคราว (batch type) หรือต่อเนื่อง (continuous type) และเป็นห้องเย็นสำหรับเก็บผลิตภัณฑ์แช่แข็งที่มีขนาดใหญ่ มีการพัฒนาเครื่องแช่แข็งแบบนี้หลากหลายลักษณะมาก สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือความเร็วของลมที่ใช้ แม้ว่าความเร็วของลมสูงจะทำให้การแช่แข็งเป็นไปได้ดี แต่จะทำให้เกิดการสูญเสียความชื้นได้ มีผลการทดสอบความเร็วของลมที่หมุนเวียนภายในห้องกับเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งพบว่าความเร็วลมที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ทั้งเวลาที่ใช้แช่แข็ง ค่าใช้จ่ายในส่วนของพลังงานต่ำ และได้คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ดีอยู่ที่ 5 เมตรต่อวินาที (ภาพที่ 6.3)



ภาพที่ 6.1 เครื่องแช่แข็งแบบอากาศนิ่ง

ที่มา: <https://profilab24.com/bilder/produkte/normal/de-labor-kuehlschraenke-kuehltechnik-liebherr-gefriertruhe-gtl-3005.jpg>



ภาพที่ 6.2 เครื่องแช่แข็งแบบสัมผัส

ที่มา: <http://www.ytoceanblue.com/shelf-plate-freezer-semi-contact-freezer/#lg=1&slide=0>



ภาพที่ 6.3 เครื่องแช่แข็งแบบลมเย็น

ที่มา: <https://www.indiamart.com/proddetail/blast-freezing-services-9946730833.html>

4. ห้องแช่แข็งหรือห้องเย็นแบบอุโมงค์ลมเย็น (tunnel air blast freezer) อาจทำเป็นห้องขนาดเล็กสำหรับแช่แข็ง หรือห้องเย็นขนาดใหญ่สำหรับเก็บผลิตภัณฑ์เยือกแข็งก็ได้ ขนาดของห้องแช่แข็งจะเล็กเวลาต้องการทำเยือกแข็งต้องเรียงผลิตภัณฑ์ บนถาดและวางถาดลงบนชั้น หรือทำเป็นรถเข็นหลาย ๆ ชั้น และแต่ละชั้นวางผลิตภัณฑ์ โดยจะต้องวางไว้ให้เป็นช่องทางสำหรับลมเย็นพัดผ่านสะดวกไม่มีสิ่งกีดขวาง เมื่อต้องการแช่แข็งก็นำเข้าไปทั้งชุด และเมื่อต้องการจะเอาออกจากห้องเย็นก็นำชั้นวางออกมาทั้งชุดเช่นเดียวกัน ในกรณี ที่เป็นห้องใหญ่ เครื่องทำความเย็นอาจติดตั้งหลายจุดในระหว่างช่องสำหรับชั้นวางของได้ และมีการหมุนเวียนของอากาศภายในอย่างสม่ำเสมอตลอดเวลา (ภาพที่ 6.4)



ภาพที่ 6.4 เครื่องแช่แข็งแบบอุโมงค์ลมเย็น

ที่มา: <https://advancedfreezer.com/wp-content/uploads/drag-thru-dolly-tunnel-freezer-2.png>

5. เครื่องแช่แข็งแบบลมเย็นชนิดต่อเนื่องมีสายพาน (continuous belt air blast freezer) เครื่องแช่แข็งแบบนี้พัฒนาขึ้นเพื่อความสะดวกในการขนถ่ายของโดยใช้สายพานซึ่งนิยมทำด้วยโลหะ วัตถุดิบจะถูกวางเรียงบนสายพานด้านหน้าและเคลื่อนที่ผ่านไอน้ำเย็นจากเครื่องทำความเย็นที่มักจะมีพัดลมเป่าลมมาตลอดเวลาจนแข็งตัวและไปออกอีกด้านหนึ่งเพื่อทำการบรรจุหีบห่อได้เลย

เครื่องทำความเย็นชนิดนี้สามารถปรับความเร็วของการเคลื่อนที่ของสายพานให้พอดีกับระยะเวลาที่ต้องการใช้ในการทำเยือกแข็ง เครื่องทำความเย็นชนิดนี้อาจต่อเข้ากับสายพานที่ส่งวัตถุดิบที่ผ่านการตัดแต่งจากห้องผลิตมาแล้วก็ได้ ซึ่งจะทำให้สะดวกมากขึ้นและลดการปนเปื้อนในช่วงขนถ่ายจากห้องผลิตไปยังห้องแช่แข็ง เครื่องทำความเย็นชนิดนี้เหมาะสำหรับการแช่แข็งแบบแยกเป็นตัวหรือ IQF (individual quick frozen) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความระมัดระวังมาก (ภาพที่ 6.5)



ภาพที่ 6.5 เครื่องแช่แข็งแบบลมเย็นชนิดต่อเนื่องมีสายพาน

ที่มา: https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20200529095802_1_file.pdf

6. เครื่องแช่แข็งแบบลมเย็นฟลูอิดไดซ์ (fluidized air blast freezer) เครื่องทำความเย็นชนิดนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับแบบที่ 5 คือ มีส่วนของสายพานลำเลียงขณะทำเยือกแข็งวัตถุดิบผ่านเข้าไปในเครื่องทำความเย็น และผ่านออกเมื่อผ่านการทำเยือกแข็งเรียบร้อยแล้ว แต่ที่แตกต่างกันคือ สายพานของเครื่องเย็นแบบนี้จะสั่นสะเทือนตลอดเวลา ทำให้สิ่งของที่วางบนสายพานไม่ติดอยู่ที่สายพาน แต่จะกระดอนชนด้านบน ขณะที่มีไอเย็นพัดให้ตกลงมาบนสายพาน ดังนั้นสิ่งของหรือผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำเยือกแข็งแบบนี้จะมีลักษณะต่างไปจากการทำเยือกแข็งแบบอื่น ๆ โดยผลิตภัณฑ์จะแข็งสม่ำเสมอตลอดชิ้น วิธีนี้เหมาะสำหรับสิ่งของหรืออาหารที่มีขนาดเล็กน้ำหนักเบา มีผิวนอกแข็งแรง มีปริมาณมาก เช่น เมล็ดถั่ว เมล็ดข้าวโพด แครอทหั่นเป็นชิ้นลูกเต๋า ผลิตภัณฑ์ที่ผ่าน

การทำเยือกแข็งแบบนี้ถือเป็นผลิตภัณฑ์ IOF ที่มีคุณภาพ เครื่องเยือกแข็งแบบนี้ไม่สามารถใช้ได้กับเนื้อปลาเป็นชิ้น หรือปลาทั้งตัว หรืออาหารที่มีขนาดชิ้นใหญ่ และเกิดการชอกช้ำได้ง่าย

การใช้เครื่องเยือกแข็งแบบลมเย็น มีทั้งข้อดีข้อเสีย กล่าวคือ สามารถผลิตชิ้น (IQF) ได้โดยใช้เวลาในการทำเยือกแข็งสั้น แต่ผลิตภัณฑ์จะมีการสูญเสียน้ำหนัก เพราะไม่ได้ถูกบรรจุอยู่ในหีบห่อขณะทำการเยือกแข็ง จึงทำให้มีการระเหิดของไอน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเวลาในการแช่แข็งและธรรมชาติของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ (ภาพที่ 6.6)



ภาพที่ 6.6 เครื่องแช่แข็งแบบลมเย็นฟลูอิดไดซ์

ที่มา: <http://www.ytoceanblue.com/wp-content/uploads/2019/01/IOF4.jpg>

7. เครื่องแช่แข็งแบบไครโอจินิก (cryogenic freezer) การทำเยือกแข็งด้วยเครื่องแช่แข็งแบบนี้อาศัยสารประกอบที่มีจุดเดือดต่ำมากเป็นสารทำความเย็น พ่นลงบนผิวหน้าผลิตภัณฑ์ที่ต้องการแช่แข็ง สารทำความเย็นที่นิยมใช้ ได้แก่ ไนโตรเจนเหลว (-196 องศาเซลเซียส) และคาร์บอนไดออกไซด์เหลว (-56 องศาเซลเซียส) ส่วนสารประกอบฟรียอนเหลว (-30 องศาเซลเซียส) ก็เคยมีการทดลองใช้แต่ไม่ได้รับความนิยม ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งสั้นระหว่าง 10-30 นาที

ปัจจุบันเป็นเครื่องเยนที่นิยมใช้ในโรงงานแช่แข็งสัตว์น้ำ สารทำความเย็นที่ใช้เป็นประเภท สิ้นเปลืองใช้แล้วหมดไป (ภาพที่ 6.7)



ภาพที่ 6.7 เครื่องแช่แข็งแบบโครโอจินิก

ที่มา: <https://www.airproducts.co.uk/-/media/images/ap-photo-library/industries/food/ap009825-mp-dm-tunnel-freezer/ap009825-mp-dm-tunnel-freezer-4x3.jpg>

เครื่องแช่แข็งแบบโครโอจินิกแบ่งตามลักษณะสายพานได้ 2 ชนิด คือ

1. เครื่องแช่แข็งที่มีสายพานลักษณะฟันปลา (multi flight) นิยมใช้กับเครื่องแช่แข็งกุ้ง เพราะจะทำให้กุ้ง IQF ออกมาเป็นตัวสวย ไม่ติดกัน กำลังการผลิตสูง ทำเยือกแข็งได้คราวละมาก ๆ ลดเวลาเดินเครื่อง แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้ปริมาณสารทำความเย็นมาก
2. เครื่องแช่แข็งชนิดสายพานเดี่ยว (single belt) ลักษณะสายพานอยู่ในระนาบเดียวกันการทำเยือกแข็งแบบ IQF มักได้ผลิตภัณฑ์ที่ติดกันไม่สวย กำลังการผลิตต่ำกว่าแบบแรก ใช้เวลาเดินเครื่องนานกว่าในปริมาณการผลิตที่เท่ากัน แต่มีข้อดีคือใช้สารทำความเย็นน้อยกว่า

ข้อควรระวังการใช้สารทำความเย็นเหลวเหล่านี้โดยเฉพาะอย่างคาร์บอนไดออกไซด์ ควรมีเครื่องระบายอากาศ (exhauster) เนื่องจากหลังการใช้งานจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาซึ่งอาจรบกวนการหายใจตามปกติได้

ค่าใช้จ่ายหรือความสิ้นเปลืองในการแช่แข็งแบบใช้อุปกรณ์เครื่องเย็น (mechanical freezer) เปรียบเทียบกับการแช่แข็งแบบโครโอจีนิก โดยปกติแบบแรกจะสูงกว่า ในด้านการลงทุนเริ่มแรก แต่เมื่อดำเนินการไปแล้ว ความสิ้นเปลืองที่เกิดขึ้นจะลดลง ตรงกันข้าม ถ้าใช้วิธีโครโอจีนิก การลงทุนในระยะแรกจะต่ำ แต่การดำเนินการจะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารทำความเย็นที่ใช้ในแบบโครโอจีนิก ซึ่งเป็นระบบเปิด เมื่อใช้แล้วจะหมดไปไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

สำหรับเครื่องเย็นที่มีความสามารถต่ำและใช้งานน้อย การแช่แข็งแบบโครโอจีนิกด้วยไนโตรเจนเหลวหรือคาร์บอนไดออกไซด์เหลวจะประหยัดกว่า แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องเย็นที่มีความสามารถสูง มีการใช้งานสูง การแช่แข็งด้วยระบบเครื่องเย็นจะถูกกว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อตันของผลิตภัณฑ์แช่แข็ง

8. เครื่องแช่แข็งแบบจุ่มในสารทำความเย็น (immersion freezer) เครื่องแช่แข็งแบบจุ่มในสารทำความเย็น ใช้กับผลิตภัณฑ์พวกปลา กุ้ง เหมาะสำหรับการทำเยือกแข็งในเรือประมง วิธีการคือ จุ่มปลาในน้ำเกลือ หรือน้ำทะเลสะอาดที่เย็นจัด ให้ปลาสัมผัสกับความเย็นของสารทำความเย็นโดยตรง ส่วนใหญ่ใช้แช่แข็งปลาทูน่า กุ้ง แต่มีข้อเสีย คือ ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะดูดน้ำเกลือเข้าไปทำให้มีรสเค็มการแช่แข็งปลาทูน่าบนเรือเป็นเรื่องที่ยุงยากกว่าการแช่แข็งกุ้ง เพราะขนาดของปลาทูน่าใหญ่กว่ากุ้ง การดูแลรักษาลำบากกว่า เครื่องมือที่ใช้จับปลาทูน่าก็ใหญ่กว่า เครื่องเย็นประกอบ ด้วยถังสำหรับการแช่แข็งประมาณ 10-14 ถังต่อเรือ 1 ลำ ด้านในถังก็จะมีขดท่อทำความเย็นขนาด 11 นิ้ว ผ่านโดยรอบ มีแอมโมเนียเป็นสารทำความเย็นในระบบ มีคอมเพรสเซอร์ 3 ตัว การทำเยือกแข็งทำได้ดังนี้ หลังจากจับปลาทูน่าได้แช่ปลาในถังซึ่งบรรจุน้ำทะเลสะอาดที่อุณหภูมิประมาณ 30-32 องศาฟาเรนไฮต์ เมื่อใส่ปลาเสร็จแล้ว จึงเติมเกลือลงไปทีละน้อย ใช้เกลือประมาณ 50-60 กิโลกรัม กับปลาทุก ๆ 1 ตัน ขณะเดินเครื่องเย็น น้ำเกลือจะถูกทำให้เย็นต่อไปจนถึง 20 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ ต่ำกว่าในตัวปลาจะมีอุณหภูมิประมาณ 23 องศาฟาเรนไฮต์ หลังจากนั้นจึงสูบน้ำเกลือออกและเดิน เครื่องเย็นต่อไป ถังนั้นจะกลายเป็น cold storage ไปในตัว อุณหภูมิของสารทำความเย็นในเครื่องประมาณ 0 ถึง -10 องศาฟาเรนไฮต์ ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิทั่วไปของห้องเย็นนี้เป็น 10-20 องศาฟาเรนไฮต์ ประมาณ 8 ชั่วโมง ก่อนที่เรือประมงจะเทียบฝั่ง จะมีการละลายน้ำ แช่แข็งออกโดยการหยุดเดินเครื่อง เติมน้ำทะเลสะอาดลงไป กวนน้ำทะเลตลอดเวลา จนกระทั่งได้อุณหภูมิประมาณ 28 องศาฟาเรนไฮต์ จึงเติมน้ำทะเลลงไปอีก

เล็กน้อยเพื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 33 องศาฟาเรนไฮต์ อุณหภูมิในตู้ปลาประมาณ 25 องศาฟาเรนไฮต์ การขนส่งก็จะเริ่มขึ้น ดังนั้นการแช่แข็ง การเก็บ และการละลายน้ำแข็งออกจึงทำในถังเดียวกัน ไป (ภาพที่ 6.8)



ภาพที่ 6.8 เครื่องแช่แข็งแบบจุ่มสารทำความเย็น

ที่มา: <https://www.cesgroup.com/pictures/cms/img-6246.jpg>

6.3.2 ห้องเย็น หรือห้องเก็บอาหารแช่แข็ง (cold storage)

ห้องเย็นที่ใช้เป็นห้องเก็บอาหารแช่แข็งนิยมใช้เป็นแบบลมเย็น (air blast) ความสำคัญที่ทำให้เกิดความแตกต่างคือระบบการจัดการภายในห้องเย็น เนื่องจากห้องเย็นมีขนาดใหญ่ ต้องเปิดเครื่องเย็นตลอดเวลา ระบบการจัดการภายในห้องเย็นครอบคลุมอุณหภูมิภายในห้องเย็น การหมุนเวียนของลมเย็น (ความเร็วลมและทิศทางลม) และการบริหารจัดการ อุณหภูมิของห้องเก็บอาหารแช่แข็งเท่ากับอุณหภูมิของรถขนส่งห้องเย็นคือ -18 ถึง -24 องศาเซลเซียส ประเทศในสหภาพยุโรป กำหนดเป็น -30 องศาเซลเซียส

การหมุนเวียนของลมเย็นที่เหมาะสมจะมีความเร็วของลม 2-5 เมตรต่อวินาที ถ้าลมมีความเร็วสูงเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ (dehydration) จะต้องทำการ

เคลือบซ้ำ (reglazing) แต่ถ้าความเร็วลมต่ำเกินไปการหมุนเวียนอากาศภายในไม่ดี มีโอกาสเกิดผลึกน้ำแข็งซ้ำส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการทำให้คืนสภาพ (thawing)

ทิศทางของลมเย็นจะผ่านชุดท่อทำความเย็น และถูกบังคับให้ผ่านสินค้าโดยทั่วถึงอย่างเป็นระเบียบได้ดีโดยพัดลม (blower) และสิ่งช่วยบังคับทิศทางลม การวางกองสินค้าควรเป็นแบบตั้งเรียงเป็นพาเลท (pallet) ซึ่งคนออกแบบต้องกำหนดให้เหมาะสมกับทิศทางลม ไม่วางเกะกะทั่วห้อง เพราะนอกจากจะดูไม่เป็นระเบียบแล้วยังไม่สามารถจัดการโดยระบบเข้าก่อน-ออกก่อน (first-in-first-out) เมื่อต้องการนำสินค้าออกจากห้องเย็นอีกด้วย นอกจากนั้นควรมีแผนการละลายน้ำแข็ง (defrosting) ตามความเหมาะสมด้วย วิธีการที่ดีสามารถป้องกันการปนเปื้อนที่อาจเกิดขึ้นได้ด้วย (ภาพที่ 6.9)



ภาพที่ 6.9 ห้องเย็น

ที่มา: [https://encrypted-](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcRmZI337exj_1mpoGbvvg2hEy_7q19lk2Xzhew&usqp=CAU)

[tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcRmZI337exj_1mpoGbvvg2hEy_7q19lk2Xz](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcRmZI337exj_1mpoGbvvg2hEy_7q19lk2Xzhew&usqp=CAU)

[hew&usqp=CAU](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcRmZI337exj_1mpoGbvvg2hEy_7q19lk2Xzhew&usqp=CAU)

6.3.3 ห้องกักกันความเย็น (ante room)

เพื่อป้องกันการขึ้นลงของอุณหภูมิห้องเย็น ด้านหน้าห้องเย็นที่ใช้เก็บผลิตภัณฑ์แช่แข็ง มักมีห้องเย็นสำหรับกักกันความเย็นจากภายในห้อง และป้องกันความร้อนจากภายนอกห้องเข้าไป

ภายในห้องเย็น เรียก ante room (ante เป็นภาษาละติน หมายถึง room before หรือ waiting room) ante room จึงหมายถึงห้องรับแขก แยกในที่นี้คือความร้อน อุณหภูมิของ ante room ประมาณ 0 องศาเซลเซียส การขึ้นลงของอุณหภูมิภายในห้องเย็นเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องต่ำลง การสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์เกิดมากขึ้น การสร้าง ante room จึงช่วยให้ห้องเย็นสามารถทำหน้าที่ได้ดีขึ้น (ภาพที่ 6.10)



ภาพที่ 6.10 ห้องกักกันความเย็น

ที่มา: <https://www.ahxurui.com/upload/job/1562136969290289.jpg>

6.4 ผลกระทบประมงแช่แข็ง

สัตว์น้ำทุกชนิดสามารถทำเยือกแข็งได้ หลายชนิดนิยมแช่แข็งแบบสด อาจมีการตัดแต่ง เช่น ปลาทั้งตัว ปลาผ่านการตัดแต่งโดยตัดหัว ลอกหนัง ปลาแล่เป็นชิ้น กุ้งทั้งตัว กุ้งผ่านการตัดแต่งโดยการหักหัว ปอกเปลือก ดึงไส้ หมึกสดทั้งตัว หมึกสดผ่านการตัดแต่งโดยดึงถุงหมึกออก ลอกหนัง ผ่าหลัง แยกส่วนหัวและลำตัว ตัดตามขวางเป็นวงแหวน หลายชนิดนิยมแปรรูปเบื้องต้นเพื่อเพิ่มมูลค่าก่อน เช่น ผลิภัณฑ์ซูบแป้ง (ทอดหรือพร้อมทอด) ผลิภัณฑ์ซูบแป้งคลุกเกล็ดขนมปัง ผลิภัณฑ์ผ่านการลวกสุก เช่น หอยชนิดต่าง ๆ ซึ่งนอกจากการลวกจะเป็นการกำจัดน้ำออกบางส่วน เพื่อป้องกันการสูญเสียคุณภาพระหว่างการทำเยือกแข็งและการเก็บรักษาแล้วยังเป็นการให้ความสะดวกกับผู้บริโภค สนองความต้องการผลิภัณฑ์ในลักษณะพร้อมปรุง

ลักษณะของผลิตภัณฑ์แช่แข็งมี 3 ประเภท คือ

1. ผลิตภัณฑ์แช่แข็งแบบเป็นชิ้น (individually quick frozen product; IOF) มีลักษณะเป็นชิ้นหรือเป็นตัว เช่น กุ้งเป็นตัวต้มสุกแช่แข็ง ปลาสดแช่เป็นชิ้นแช่แข็ง

2. ผลิตภัณฑ์แช่แข็งแบบเป็นก้อน (block frozen product; BF) มีลักษณะเป็นก้อน ผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน ขนาดเดียวกันใส่รวมกันในกล่องขนาดต่าง ๆ ตามที่ตลาดต้องการ เช่น 10 กิโลกรัม, 5 กิโลกรัม, 10 ปอนด์ 5 ปอนด์ ตัวอย่างเช่น กุ้งหักหั่ว ปอกเปลือก ไว้หาง แช่แข็งเป็นก้อน

3. ผลิตภัณฑ์แช่แข็งแบบกึ่งเป็นก้อน (semi- individually quick frozen product; semi-IOF) ลักษณะของผลิตภัณฑ์เป็นก้อน แต่เมื่อทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อย แต่ละชิ้นผลิตภัณฑ์รวมกันอยู่เป็นก้อนจะแยกออกจากกันโดยง่าย ในกระบวนการทำเยือกแข็งไม่มีการเติมน้ำลงในกล่องตัวอย่าง ผลิตภัณฑ์ที่นิยมทำ ได้แก่ หมึกเป็นตัวแช่แข็งรวมกันเป็นกล่อง

การทำเยือกแข็งผลิตภัณฑ์แต่ละแบบใช้ห้องเย็นต่างชนิดกัน การผลิต IQF ควรใช้เครื่องเย็นระบบลมเย็น (air blast) ใช้สายพาน นิยมใช้เครื่องเย็นแบบโครโอจินิกซึ่งใช้สารทำความเย็นเหลว เช่น ไนโตรเจนเหลวหรือคาร์บอนไดออกไซด์เหลวพ่นลงไปก็ได้ การทำเยือกแข็งใช้เวลาประมาณ 10-20 นาที ส่วนการทำผลิตภัณฑ์แบบเป็นก้อนหรือกึ่งเป็นก้อนควรใช้เครื่องเย็นระบบสัมผัสจะประหยัดเวลา ประหยัดพลังงาน และให้คุณภาพดี ใช้เวลาในการทำเยือกแข็ง 4-6 ชั่วโมง มีการเตรียมผลิตภัณฑ์ ก่อนแช่แข็งในกล่องแม่แบบตามขนาดที่ต้องการ ส่วนใหญ่มีการเติมน้ำจนเต็ม จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นก้อน มีรูปร่างสวยงาม การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้ดีกว่าแบบไม่เติมน้ำ ใช้เวลาในการแช่แข็งสั้นกว่า หลังการแช่แข็งนิยมเคลือบด้วยน้ำ (ice glazing) การทำเยือกแข็งแบบเป็นชิ้นสามารถทำได้ในเครื่องเย็นระบบสัมผัส โดยใช้ถาดที่มีขนาดความสูงเท่า ๆ กัน วางชิ้นปลาแต่ละชิ้นให้ห่างกัน ปิดทับด้วยแผ่นพลาสติก วางชิ้นปลาชั้นที่สองโดยสับหว่างกับชิ้นปลาในชั้นแรก ปิดทับด้วยแผ่นพลาสติกก่อนวางปลาชั้นต่อไป ทำแบบนี้จนเต็มถาดโดยต้องระมัดระวังให้มีช่องว่างน้อยที่สุด เนื่องจากอากาศในช่องว่างเป็นฉนวน จึงทำให้เวลาในการทำเยือกแข็งเพิ่มขึ้น ข้อเสียของการทำเยือกแข็งแบบเป็นชิ้นโดยวิธีนี้ คือ ได้ผลิตภัณฑ์ที่ปลาสดแช่เป็นชิ้นจะมีลักษณะแบนลงและอาจมีน้ำแข็งเกาะติดเป็นที ๆ

6.5 ชูริมิและผลิตภัณฑ์จากชูริมิ

เนื้อปลาบด (minced fish) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำปลาที่ผ่านการตัดหัว ควักไส้ และแยกเนื้อออกจากส่วนก้างและหนังปลา หรือจะนำชิ้นเนื้อปลาที่ได้จากการแล่ไปแยกเอาแต่เนื้อปลาที่ได้ยังคงมีองค์ประกอบทางเคมี สี และกลิ่น เช่นเดียวกับเนื้อปลาธรรมชาติ

ซูริมิ (Surimi) เป็นผลิตภัณฑ์แช่แข็งที่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบในการทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเนื้อสัมผัสแบบเหนียวนุ่ม เช่น ลูกชิ้นปลา ไส้กรอกปลา คามาโบโกะ ปลาบดขึ้นรูปแบบต่าง ๆ เช่น ปูเทียม หอยเทียม และสามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนรวมกับเนื้อสัตว์ชนิดอื่นๆ ในบางส่วนได้ วิธีทำจากเนื้อปลาบดโดยมีการปรับปรุงจากเนื้อปลาบด โดยการนำปลาที่ผ่านการตัดหัว ควักได้ และแยกเนื้อออกจากส่วนก้างและหนัง ล้างและกวนเนื้อปลาบดด้วยน้ำ กำจัดน้ำออกบางส่วน ถ้าจะเก็บในเนื้อปลาบดในสภาพแช่แข็งควรนำไปดลเย็ดผสมน้ำตาลและสารประกอบโพลีฟอสเฟต เพื่อลดการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน ยืดอายุการเก็บรักษา และรักษาสมบัติการอุ้มน้ำของเนื้อปลา อาจผสมเกลือหรือไม่ผสมก็ได้ เก็บรักษาโดยการทำเยือกแข็งและเก็บในลักษณะ แช่แข็งองค์ประกอบทางเคมีจึงต่างจากเนื้อปลาและเนื้อปลาบดโดยมีลักษณะที่สำคัญคือ มีสีขาว ไม่มีกลิ่นคาวปลาหรือมีเล็กน้อยและมีความสามารถในการเกิดเจลได้

การผลิตซูริมิ ในขั้นตอนการทำซูริมิ เช่นการล้างเนื้อปลาบดในน้ำ และน้ำเกลือ (ร้อยละ 0.2-0.3) เย็นอุณหภูมิ 10-15 องศาเซลเซียส จุดประสงค์เพื่อขจัดโปรตีนที่ละลายน้ำ เอนไซม์บางชนิด เลือด ไขมัน และกลิ่นคาวปลา หลังจากการบีบน้ำออก สามารถจัดลักษณะของปลาบางชนิดที่ผู้บริโภคไม่ต้องการ ทำให้ได้เนื้อปลาบดที่มีสีขาวขุ่น และมีลักษณะภายนอกที่ดี เมื่อนำไปทำผลิตภัณฑ์ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหนียวมากขึ้น วัตถุดิบสามารถทำจากปลาที่มีก้างเล็ก ๆ จำนวนมาก ปลาที่ใช้ประโยชน์ได้น้อย หรือมีกลิ่นคาวปลา หรือมีกลิ่นผิดปกติอื่น ๆ หรือมีเนื้อสีเข้มหรือปลาบางชนิดที่สูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีได้ง่ายเมื่อแปรรูปโดยวิธีปกติ กระบวนการผลิตซูริมิสามารถช่วยลดลักษณะดังกล่าวและเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ดี

ลักษณะเด่นที่สำคัญของซูริมิ คือ สามารถใช้ปลาที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจต่ำเป็นวัตถุดิบในการผลิตได้ สามารถเก็บรักษาซูริมิด้วยวิธีการแช่แข็งได้นาน โดยมีการใช้สารที่มีคุณสมบัติป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนที่อุณหภูมิต่ำ (cryoprotectants) แต่คงคุณสมบัติเชิงหน้าที่ได้ สามารถใช้ซูริมิเป็นวัตถุดิบในการทำผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย ทำให้สามารถสำรองวัตถุดิบได้ในปริมาณมากเพื่อให้ใช้ได้ยาวนาน ประหยัดเวลาและลดค่าใช้จ่ายในการจัดหาวัตถุดิบปลาในแต่ละวัน

การเกิดเจลของเนื้อปลาเป็นการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนเมื่อได้รับความร้อน ขณะนวดผสมเนื้อปลาและเกลือแกง เนื้อปลาที่สับผสมกับส่วนผสมต่างๆ แล้ว จะมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ คือ เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความเหนียวตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป อุณหภูมิที่เกี่ยวข้องกับความเหนียวแบ่งได้เป็น 3 ช่วง คือ

1. ซูวารี (suwan) หรือช่วงของการเซตตัว (setting) ของเจลที่เกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส แอโกโตไมโอซินในเนื้อปลาจับตัวกับน้ำและเกิดพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนเกิดโครงร่างตาข่ายอย่างหลวม ๆ มีการกักน้ำอยู่ภายในร่างแห ซึ่งจะทำให้เกิดโครงร่างใหม่ของแอโกโตไมโอซิน เป็นผลให้เนื้อปลามีลักษณะแข็งตัวขึ้นตามระดับอุณหภูมิดังนี้ การเซตตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าการเก็บซูริมิไว้ที่อุณหภูมิ 5-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมงพบว่าการเกิดเจลเกิดอย่างช้าๆ ได้เจลที่มีลักษณะใสและยืดหยุ่น เนื่องจากการสร้างพันธะไฮโดรเจนของโมเลกุลน้ำภายในโครงร่างตาข่ายเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น การใช้อุณหภูมิสูงขึ้น (ไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส) จะได้เจลที่ค่อนข้างข้นและความยืดหยุ่นสูงขึ้น เนื้อปลาที่เปลี่ยนเป็นเจลซูวารีแล้วจะขึ้นรูปได้ยาก การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จึงควรทำทันทีหลังการสับผสมหรือเก็บเนื้อปลาซึ่งผสมเกลือแล้วที่อุณหภูมิต่ำเพื่อป้องกันการเกิดเจลซูวารี

2. โมโดริ (modori) หรือช่วงของการแตกตัว (disintegration) โมโดริเป็นการสร้างเจลที่ 60-70 องศาเซลเซียส การแตกตัวเกิดจากแอโกโตไมโอซินถูกทำลายจากเอนไซม์อัลคาไลโปรติเอส (alkaline protease) ซึ่งมีกิจกรรมสูงสุดที่ 60 องศาเซลเซียส ที่ pH 7.5-8.0 ทำให้ความแข็งแรงของเจลมีค่าต่ำที่สุด การให้ความร้อนระดับนี้จะทำให้เกิดการแตกสลายของเจลซูวารีบางส่วน จึงควรหลีกเลี่ยงอุณหภูมิช่วงนี้โดยการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงกว่า 70 องศาเซลเซียส อย่างรวดเร็ว สำหรับผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อ(analog products) จะไม่เกิดปัญหานี้ เนื่องจากผ่านความร้อนสูง (80-90 องศาเซลเซียส) อย่างรวดเร็วไปแล้ว สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีซูวารีเป็นส่วนผสม และมีการให้ความร้อนอย่างช้าๆ จึงเกิดปัญหา แต่สามารถป้องกันได้โดยใช้สารยับยั้งเอนไซม์ เช่น โซขาวผง น้ำสกัดมันฝรั่ง แลคตัลบมิน หรือพลาสมาจากเลือด

3. แอซชิ (ashi) หรือช่วงของการตรึงความยืดหยุ่น (elasticity fixation) เป็นการสร้างเจลที่อุณหภูมิสูงกว่า 75 องศาเซลเซียส การให้ความร้อนแก่เนื้อปลาดผสมที่อุณหภูมินี้ บางทีเรียก "เจลคามาโบโกะ" ความร้อนระดับนี้จะทำให้โครงสร้างโมเลกุลแอโกโตไมโอซินและโปรตีนชนิดอื่น ๆ แข็งตัว พันธะที่เกิดในช่วงนี้จะเป็นพันธะไฮโดรโฟบิกและพันธะไดซัลไฟด์เป็นส่วนใหญ่ ทำให้โครงร่างตาข่ายคงตัวมากขึ้น เจลมีลักษณะที่บีบและเสถียรมากขึ้น ความเหนียวของเจลหลังช่วงนี้จะไม่เปลี่ยนแปลง

ปลาที่นิยมนำมาผลิตซูริมิที่จัดว่ามีคุณภาพดีที่สุดในไทย คือ ปลาทูลายแดง (threadfin breams) ส่วนปลาอื่น ๆ ที่นิยมรองลงมา ได้แก่ ปลาดาวหวาน (bigeye snapper) ปลาทูลายดำ ปลาดำโต ปลาจวด (jew fish) ปลาหางเหลือง ปลาดาบขาว ปลาโห้ ปลาไล่ก้อ หรือปลาปากคม (lizard fish) ปลาหนวดก๊าก ปลาเม็ดยักษ์ รวมทั้งปลาหน้าดินจากอวนลากซึ่งมีขนาดเล็กแต่ยังมี

ความสดดี ส่วนปลาน้ำจืดไม่ค่อยได้รับความนิยมนำมาทำเป็นซูริมิ เนื่องจากมีปัญหาเรื่องกลิ่นโคลน และการเกิดเจลซึ่งต้องใช้เทคโนโลยีสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ชนิดปลาที่ใช้ทำซูริมิได้ดีควรพิจารณาจากคุณสมบัติการเกิดเจลได้ดี เนื้อปลามีสีขาว มีไขมันต่ำ ราคาถูก และมีปริมาณมาก

บทสรุป

การใช้ความเย็นเป็นวิธีการถนอมสัตว์น้ำที่สะดวก รวดเร็ว และประหยัด และสามารถให้ประโยชน์จากสัตว์น้ำสดได้เพิ่มขึ้นขึ้น ก่อให้เกิดอุตสาหกรรมต่อเนื่องมากมาย โดยสามารถเก็บรักษาวัตถุดิบให้มีลักษณะและคุณภาพเกือบเหมือนของสดสำหรับการแปรรูปของผลิตภัณฑ์ประมง เช่น ผลิตภัณฑ์ประมงสำเร็จรูปแช่เย็นและแช่แข็งหลากหลายชนิด นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงคุณภาพของสัตว์น้ำ และผลิตภัณฑ์ประมงบางอย่างให้ดีขึ้น กระบวนการในการใช้ความเย็นเพื่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์ประมงช่วยลดปฏิบัติการสลายตัวของสารอาหาร หากสามารถควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำสารอาหารจะยังมีความคงตัวส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์ประมงแช่แข็งมักจะสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการในขั้นตอนการเตรียมก่อนการแช่แข็ง การบรรจุหีบห่อก่อนการแช่แข็ง ก็จะช่วยป้องกันการสูญเสียสารอาหารได้ดีขึ้น

คำถามท้ายบท

1. จงบอกความสำคัญของผลิตภัณฑ์ประมงแช่เย็นและแช่แข็ง
2. จงบอกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ประมงแช่เย็นและแช่แข็ง
3. วิธีการให้ความเย็นสัตว์น้ำแบ่งออกเป็นกี่ประเภท มีอะไรบ้าง
4. จงบอกประโยชน์ของการแปรรูปผลิตภัณฑ์ประมงโดยใช้ความเย็น

เอกสารอ้างอิง

ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง. (2558). วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง.

กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บทที่ 7

ผลิตภัณฑ์ประมงตากแห้งและรมควัน

ในสมัยโบราณการตากแห้งเป็นวิธีการถนอมอาหารที่ง่าย และประหยัดที่สุด โดยใช้แสงแดด เป็นแหล่งให้ความร้อนแก่อาหารจนสามารถกำจัดน้ำหรือความชื้นออกจากอาหารได้ เพิ่มสี กลิ่น และรสชาติที่ดีให้แก่อาหาร รวมทั้งช่วยลดการเสื่อมเสียของอาหารลงได้ ปัจจุบันเทคโนโลยีการแปรรูปอาหารด้วยการทำให้อาหารแห้งได้รับการพัฒนามากขึ้น เพื่อรองรับผลผลิตสัตว์น้ำทั้งที่ได้มาจากแหล่ง น้ำธรรมชาติ และการเพาะเลี้ยงที่ขยายพื้นที่การผลิตจากระดับครัวเรือนสู่การผลิตระดับอุตสาหกรรม โดยการใช้เทคโนโลยีเกือบทุกขั้นตอนในกระบวนการทำให้อาหารแห้ง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ประมงที่ได้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานระดับสากล และเพียงพอับความต้องการของผู้บริโภค การทำให้อาหารแห้งมี 2 วิธี คือ การตากแห้ง และการรมควัน

7.1 ความหมายของการตากแห้งและรมควัน

การตากแห้ง เป็นการให้ความร้อนทำให้น้ำหรือความชื้นที่มีอยู่ในอาหารเหลือน้อยจน จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ อาหารจึงเก็บได้นาน ผัก ผลไม้ และเนื้อสัตว์ทุกชนิดนำมาตากแห้งได้ (สำนักพิมพ์แสงแดด, 2540)

การตากแห้งเป็นวิธีที่สามารถใช้ในการถนอมอาหาร โดยทำให้อาหารนั้นแห้งหมด ความชื้น และอาจจะมีกลิ่นอยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อไม่มีความชื้น จุลินทรีย์หรือแบคทีเรียก็ไม่สามารถจะอาศัยและเจริญได้ ดังนั้นเราจึงสามารถเก็บอาหารที่แห้งแล้วไว้เป็นเวลานาน (อุดม, 2531)

การตากแห้ง เป็นการกำจัดน้ำออกจากอาหาร (dehydration) ทำให้ความชื้นในอาหารที่เหลือ มีปริมาณน้อยจนถึงจุดที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตจึงสามารถป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารที่มีสาเหตุมาจากเชื้อจุลินทรีย์ได้ ผลิตภัณฑ์ประมงส่วนใหญ่ใช้วิธีการตากแห้งร่วมกับการใช้เกลือ หรือการ

รมควัน ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำตากแห้งที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภค ได้แก่ ปลาแดดเดียว กุ้งแห้ง ปลาตากแห้ง และหมึกแห้ง

การรมควันอาหาร เป็นกระบวนการกำจัดน้ำออกจากอาหาร โดยใช้ควันไฟที่ร้อนทำให้น้ำในอาหารระเหยออกไป จนเหลือความชื้นประมาณร้อยละ 10 -30 นอกจากนั้น การรมควันยังเพิ่มกลิ่นให้กับอาหารได้อีกด้วย โดยผลิตภัณฑ์จะมีกลิ่น และรสชาติตามชนิดของไม้ที่นำมาเป็นเชื้อไฟ (นฤมล, 2541) ปัจจุบันการรมควันไม่ได้รับความนิยม เนื่องจากในควันมีสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติเป็นสารก่อมะเร็ง ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ประมงรมควัน ได้แก่ ปลารอบ ปลาเนื้ออ่อนรมควัน

7.2 กระบวนการตากแห้ง

หลักการของการทำแห้ง คือ การค้นหาวิธีการกำจัดน้ำหรือความชื้นออกจากอาหารให้มากที่สุดเพื่อยับยั้งหรือหยุดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย หรือรา การตากแห้งเป็นวิธีการตามธรรมชาติ คือ การตากแดด ส่วนการอบแห้งเป็นการทำให้อาหารแห้งโดยนำเครื่องจักรหรือเทคโนโลยีมาใช้ เช่น การอบด้วยไอร้อนจากกระแสไฟฟ้าหรือจากก๊าซหุงต้ม สำหรับภาชนะรองรับอาหารอาจใช้เป็นถาด หรือตะแกรงที่ทำด้วยไม้ไผ่ หรือลวดก็ได้ ควรออกแบบเป็นตู้อบที่ให้ความร้อนภายในตู้ มีช่องสำหรับถ่ายเทอากาศ ให้น้ำระเหยออกได้ และสามารถป้องกันกันแมลง และฝุ่นละออง วิธีการที่นิยมใช้มีดังนี้ (นฤมล, 2546)

1. การทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์ (sun drying)

การทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์ (ภาพที่ 7.1) นับว่าเป็นวิธีที่เก่าแก่ มีต้นทุนต่ำ ใช้พลังงานน้อย และนิยมใช้กันมาก ปัจจุบันพัฒนาวิธีการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์มาเป็นการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (solar drying) (ภาพที่ 7.2) ใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อระเหยน้ำจากผลผลิตสัตว์น้ำ ซึ่งจะอาศัยการพาความร้อน โดยทั่วไปสามารถแบ่งการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาความร้อนได้เป็น 2 แบบ คือ แบบพาความร้อนตามแบบธรรมชาติ (natural convection drying) ซึ่งอาศัยแรงลอยตัวจากการพาความร้อน และแบบการพาความร้อนแบบการบังคับอากาศ (forced-convection drying) ซึ่งอาศัยแรงดันจากพัดลมในการพาความร้อนไปยังผลผลิตสัตว์น้ำ (ศิรินุช, 2546) เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ประมงที่ผ่านการทำแห้งมีคุณภาพ และความปลอดภัยมากขึ้นกว่าผลิตภัณฑ์ประมงที่ได้จากการตากแดดจึงมักมีวัสดุที่กัน เพื่อลดปัญหาการปนเปื้อนจากสิ่งต่าง ๆ เช่น แมลง ฝุ่น เป็นต้น



ภาพที่ 7.1 การทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์ (sun drying)

ที่มา: ยูพา (2563)



ภาพที่ 7.2 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (solar dryer)

ที่มา: ยูพา (2563)

2. การทำแห้งโดยวิธีการรมควัน (smoking) (ภาพที่ 7.3)

การรมควันเป็นวิธีการทำให้อาหารแห้ง โดยใช้ควันไฟที่ร้อน ไล่ความชื้นในอาหารให้ระเหยไป จนมีความชื้นเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 10 -30 การรมควันนอกจากจะไล่ความชื้นออกจากอาหารแล้ว ควันยังเป็นตัวเพิ่มกลิ่นให้กับอาหารอีกด้วย โดยจะมีกลิ่นตามชนิดของไม้ที่นำมาเป็นเชื้อไฟ



ภาพที่ 7.3 การทำแห้งโดยวิธีการรมควัน (smoking)

ที่มา: https://th.readingontheweb.com/images/mozhnolizamorozitbalikizribi_995932CE.jpg

3. การทำแห้งแบบถาดหรือห้องอบ (tray or cabinet drying) (ภาพที่ 7.4)

วิธีนี้ใช้ถาดหรือวัตถุอื่นที่สามารถให้ผลิตภัณฑ์อาหารสัมผัสกับอากาศร้อนในห้องที่ปิด อาจใช้สุญญากาศเพื่อรักษาความดันไอที่ว่างๆ รอบๆ อาหารให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ การอบแห้งแบบนี้มีข้อเสียคือ อาหารแห้งไม่สม่ำเสมอและอีกประการหนึ่งคือ อาหารที่อยู่ใกล้กับทางเข้าออกของอากาศจะแห้งช้ากว่า ดังนั้นจึงต้องมีการหมุนถาดหรือกลับทิศทางการไหลของกระแสลม ขณะเครื่องทำงานพัดลมจะดูดอากาศภายนอกเข้าไปในเครื่อง ซึ่งส่วนมากจะผ่านแผ่นกรองที่สามารถกรองฝุ่นและละอองต่างๆ หรือสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ที่อาจปะปนมากับอากาศ อากาศจะผ่านขดลวดให้ความร้อน เกิดกระแสลมร้อน ซึ่งกระแสลมนี้จะพัดผ่านอาหารในถาดที่วางอยู่ในตู้ความร้อน ลมร้อนที่มีไอน้ำจะถูกดูดออกและจะถูกปล่อยออกไป ทางช่องระบายอากาศ ในขณะเดียวกัน จะปล่อยให้ลมร้อนบางส่วนหมุนเวียนอยู่ในตู้ เพื่อช่วยในการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่ยังมีอยู่ในอาหารต่อไป การทำแห้งแบบนี้มักเป็นการทำแห้งในระดับครัวเรือน และมีค่าใช้จ่ายที่ไม่มากเกินไป นิยมทำแห้งอาหารผักและผลไม้ เป็นต้น



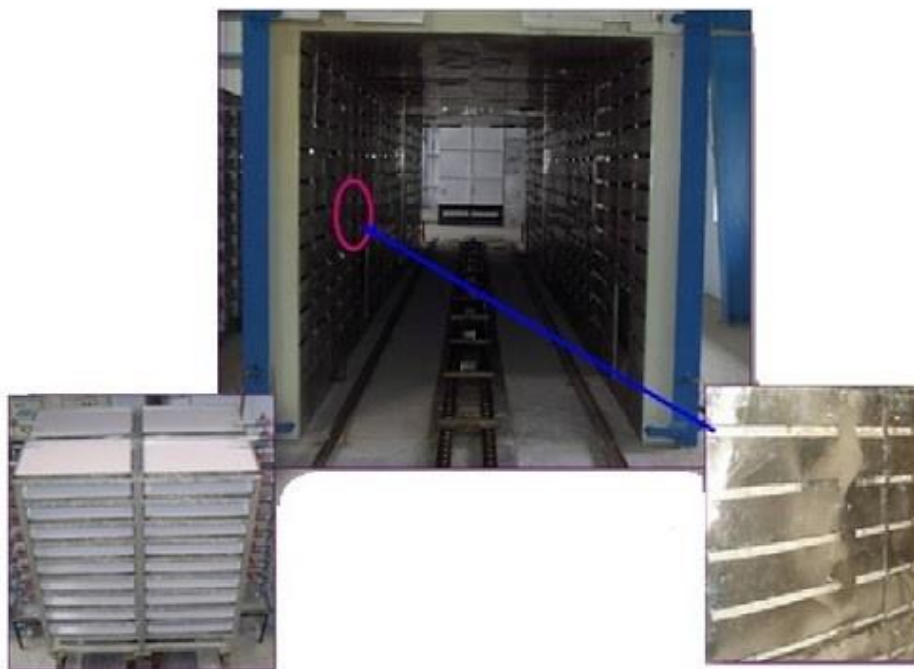
ภาพที่ 7.4 การทำแห้งแบบถาดหรือห้องอบ (tray or cabinet drying)

ที่มา: ยุพา (2561)

4. การทำแห้งแบบอุโมงค์ (tunnel drying) (ภาพที่ 7.5)

เครื่องอบแห้งชนิดนี้ส่วนของอาหารจะวางเรียงอยู่บนถาด ซึ่งซ้อนกันเป็นชั้น แล้วนำเข้าไปยังอุโมงค์ที่มีอากาศแต่อาหารมักจะแห้งไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงต้องให้การกระจายความเร็วของอากาศผ่านอุโมงค์อย่างสม่ำเสมอโดยที่ขณะเครื่องทำงานอากาศจากภายนอกจะถูกดูดด้วยพัดลมซึ่งอากาศมักผ่านแผ่นกรองอากาศเข้ามายังแหล่งให้ความร้อนซึ่งจะถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศ

ทำให้ได้กระแสมร้อนไหลเข้ามาในทิศทางสวนทางกับการไหลของกระแสมร้อนทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากลมร้อนให้น้ำในอาหาร เพื่อระเหยน้ำออกไปบางส่วนของลมร้อนที่มีไอน้ำอยู่จะถูกปล่อยออกทางช่องระบายอากาศ เครื่องทำแห้งแบบอุโมงค์นี้นิยมใช้ในการทำแห้งอาหาร เช่น ผักและผลไม้ เป็นต้น



ภาพที่ 7.5 เครื่องทำแห้งแบบอุโมงค์ (tunnel dryer)

ที่มา: https://lh3.googleusercontent.com/proxy/1IJIF-ol3RVo8m8x_LWO_9fbPfgF0w0-vtHMvdfO9u2loE4PREBKIZNq3cJZPCXy7gkFb6xwHc5W8gqoRRh7H08kRugfJAmTWtuWzIXrLyLEq8VyLOb73JRj8BF2A5mVyHtU9pAVwgHs

5. การทำแห้งแบบสายพาน (conveyor drying) (ภาพที่ 7.6)

เมื่อวางอาหารชั้นเดียวบนสายพานที่เป็นรูที่เคลื่อนที่ กระบวนการทำแห้งจะกระทำได้บนเครื่องอบแห้งแบบสายพาน อากาศที่ใช้ทำแห้งจะผ่านรูของสายพานในทิศทางที่ขึ้นหรือลง ขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะอาหาร การทำแห้งแบบนี้จะมีประสิทธิภาพมาก แต่มีข้อจำกัดคือ การทำแห้งแบบนี้ไม่สามารถทำให้อาหารมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10



ภาพที่ 7.6 เครื่องทำแห้งแบบสายพาน (conveyor dryer)

ที่มา: <https://i1.wp.com/www.uniquetools.co.th/wp-content/uploads/2017/05/Tunnel-Dryer-%E0%B8%95%E0%B8%B9%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%9A%E0%B8%A5%E0%B8%A1%E0%B8%A3%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B9%81%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%9E%E0%B8%B2%E0%B8%99.jpg?fit=500%2C500&ssl=1>

6. การทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) (ภาพที่ 7.7)

เป็นกระบวนการทำแห้งที่ใช้กับอาหารที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูง และอยู่ในสภาพเริ่มต้นที่เป็นของเหลวได้ดีที่สุด คือการทำแห้งแบบนี้จะใช้กับอาหารที่เป็นของเหลวในตอนต้น และไม่ทนต่อความร้อนหรือไวต่อความร้อนนั่นเอง การทำแห้งแบบนี้จะใช้เวลาสั้นอาจเป็น 3 ถึง 10 วินาที ลักษณะสำคัญของเครื่องทำแห้งแบบนี้ ประกอบด้วย ห้องทำแห้ง หัวฉีด แหล่งให้ความร้อน และส่วนแยกอาหารผง โดยในขณะที่ทำแห้งอาหารเหลวจะถูกพ่นไปเป็นละอองด้วยหัวฉีดละออง อาหารเหล่านี้อาจสัมผัสกับความร้อนเกิดการถ่ายเทความร้อนจากลมร้อนในเครื่องให้กับอาหารเหลวที่เป็นละอองในห้องทำแห้ง ละอองอาหารก็จะแห้งได้เป็นอาหารผง ซึ่งจะถูกแยกออกจากส่วนที่แยกอาหารผง สำหรับอาหารที่มักทำแห้งด้วยวิธีนี้ ได้แก่ น้ำผลไม้ผง นมผง กาแฟผง ไข่ผง หรือเครื่องดื่มผง เป็นต้น



ภาพที่ 7.7 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer)

ที่มา: https://im01.itaiwantrade.com/5196a1d5-eb01-4d78-889e-f50727fc1e31/9448334c-0941-4aba-a7bd-d9f9cfbc7951_61_201300004025_L.jpg

7. การทำแห้งแบบนิวมาติก (pneumatic drying)

การทำแห้งแบบนี้นิยมใช้กับอาหารที่มีลักษณะเป็นผง หรือวิธีการทำแห้งแบบนี้จะมีสัมผัสอย่างใกล้ชิดระหว่างอากาศและอาหาร และถ้าเวลาในการสัมผัสสั้นมากจะสามารถรักษาคุณภาพของอาหารไว้ได้มาก วิธีการแบบนี้มักนิยมใช้กับอาหารที่มีความชื้นส่วนใหญ่ถูกกำจัดไปในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่แต่ถ้าอัตราการอบแห้งต่ำ ก็สามารถเปลี่ยนแบบเครื่องมือเพื่อเพิ่มจำนวนเที่ยวของอาหารผ่านช่วงที่ทำให้แห้ง

8. การทำแห้งแบบฟลูอิดไธด์เบด (fluidized-bed drying) (ภาพที่ 7.8)

การทำแห้งแบบนี้มีลักษณะการสัมผัสระหว่างอาหารและอากาศร้อน เช่นเดียวกับการทำแห้งแบบนิวมาติก คือในระหว่างกระบวนการฟลูอิดไธด์เบด อากาศจะถูกบังคับผ่านอนุภาคอาหารด้วยความเร็วที่สูงพอที่จะพองอนุภาคให้ลอยตัวอยู่ได้ตลอดกระบวนการทำแห้ง และจะเคลื่อนที่ตามแนวอนขณะที่กระบวนการของการทำแห้งดำเนินต่อไป ความเร็วลมที่ใช้ในการพองอนุภาคให้ลอยตัวอยู่นั้นขึ้นกับอาหารที่อบแห้ง โดยเฉพาะขนาดและความหนาแน่นของอาหาร นอกจากนี้การใช้สายพานเลื่อนก็อาจช่วยให้อาหารลอยตัวอยู่ในอากาศได้ ทำให้ใช้ความเร็วลมลดลง เครื่องทำแห้งแบบนี้มักนิยมใช้ในการทำแห้งพวกเมล็ดธัญพืช และพวกถั่วต่างๆ



ภาพที่ 7.8 เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไชน์เบด (fluidized-bed dryer)

ที่มา: <https://5.imimg.com/data5/AB/IE/QH/SELLER-35858374/fluid-bed-dryer-fbd--500x500.jpg>

9. การทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก (drum drying) (ภาพที่ 7.9)

เครื่องทำแห้งแบบนี้ลูกกลิ้งทรงกระบอกร้อนจะหมุนในแนวนอน เพื่ออบอาหารที่เป็นสารละลาย หรือของเหลวหนืดอย่างต่อเนื่องอาหารจะแห้งขณะที่ติดกับลูกกลิ้งและจะเปียกออกโดยใช้ใบมีด หากเป็นอาหารที่ไวต่อความร้อน จะทำให้คุณภาพลดลงมาก เครื่องอบแห้งแบบนี้อาจทำงานภายใต้บรรยากาศธรรมดา หรือภายใต้สุญญากาศ ภายในลูกกลิ้งจะมีไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อน และทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก ประกอบด้วย ลูกกลิ้งทรงกระบอก ซึ่งอาจจะเป็นหนึ่งหรือสองตัวก็ได้ แหล่งให้พลังงานความร้อน และใบมีดขูดอาหารแห้ง โดยอาหารชั้นเหลวป้อนจากทางด้านล่าง อาหารชั้นเหลวจะจับเป็นแผ่นบางๆ รอบๆ ลูกกลิ้งทรงกระบอกร้อน ความร้อนจากลูกกลิ้งจะถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในอาหารชั้นเหลวที่จับเป็นแผ่นรอบๆ ลูกกลิ้ง อาหารชั้นเหลวก็จะแห้งลง อาหารที่แห้งแล้วจะถูกใบมีดขูดออกมาเป็นแผ่น อาหารที่นิยมใช้วิธีการทำแห้งแบบนี้ ได้แก่ กัลล้วยผง มะเขือเทศผง แป้งผง เป็นต้น



ภาพที่ 7.9 การทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก (drum drying)

ที่มา: <https://i.ytimg.com/vi/sPNmNOJ4xW0/hqdefault.jpg>

10. การทำแห้งแบบแช่แข็ง (freeze drying) (ภาพที่ 7.10)

วิธีการนี้เป็นกระบวนการระเหิดน้ำในสถานะของแข็งไปเป็นสถานะที่มีความดันไอต่ำ โดยทั่วไป กระบวนการนี้จะประกอบด้วย การแช่แข็งก่อน แล้วจึงให้ความร้อนแก่ผิวอาหารทำให้น้ำแข็งระเหิด ตรงจุดนั้นไอน้ำจะถูกกำจัดออกไปทันที เครื่องทำแห้งแบบนี้ประกอบด้วยห้องทำแห้ง และระบบการสูบที่ทำให้เกิดระบบสุญญากาศ หรือทำให้ความดันภายในห้องแห้งลดลง โดยมีอุปกรณ์อื่นๆ ที่จำเป็น เช่น ถาดใส่อาหารแช่แข็ง เครื่องควบแน่น เครื่องวัดความดัน แหล่งให้กำเนิดความเย็น แหล่งให้ความร้อน และอุปกรณ์ควบคุมระบบสุญญากาศ วิธีทำแห้งด้วยวิธีนี้คือนำอาหารที่จะทำแห้งไปผ่านการแช่แข็ง จากนั้นจึงนำอาหารเข้าเครื่อง โดยลดความดันในห้องทำแห้งให้เป็นสุญญากาศและมีอุณหภูมิต่ำ ทำให้น้ำแข็งระเหิดกลายเป็นไอจนอาหารแห้ง และมีความชื้นตามที่ต้องการจึงทำลายสุญญากาศ อาหารที่ผ่านการทำแห้งแบบนี้ไม่มีการเสื่อมเสียคุณภาพจากผลของความร้อน เช่น การสูญเสียกลีเซอรอล เนื้อสัมผัส แร่ธาตุและวิตามินไม่สูญเสียมากนัก แต่โปรตีนจะเสื่อมสภาพโดยเฉพาะจะเกิด actomyosin แต่ไม่ได้ทำให้คุณภาพของโปรตีนลดลง การทำแห้งวิธีนี้มีการลงทุนค่อนข้างสูง จึงนิยมใช้กับอาหารที่มีมูลค่าสูง เช่น เนื้อกุ้ง หรือกาแฟ



ภาพที่ 7.10 เครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง (freeze dryer)

ที่มา: https://static1.buchi.com/sites/default/files/styles/content_large/public/product-images/L-300.jpg?itok=sjzJ5Vlf

11. การทำแห้งแบบวิธีออสโมซิส

การทำแห้งแบบวิธีออสโมซิส เป็นวิธีการทำแห้งโดยการแช่อาหารในของเหลวที่มีค่า a_w ต่ำกว่าของอาหาร จะทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสในอาหารขึ้น ของเหลวที่ใช้ ได้แก่ น้ำตาลหรือเกลือโดยน้ำตาลหรือเกลือก็จะพยายามแพร่เข้าไปในอาหาร ในขณะเดียวกันน้ำก็จะแพร่ออกจากอาหาร และหากว่าเซลล์ของอาหารถูกทำลาย การแพร่ของน้ำตาลหรือเกลือและน้ำจะสมดุลเร็วขึ้น การทำแห้งวิธีนี้จะได้ผลดี ถ้าหากมีการรบกวน หรือทำให้อุณหภูมิสูง

12. การทำแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum drying) (ภาพที่ 7.11)

เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ห้องทำแห้งสุญญากาศที่มีชั้นจัดเรียงอยู่เพื่อวางอาหาร แห้งให้พลังงานความร้อน เครื่องดูดอากาศออกเพื่อให้เกิดระบบสุญญากาศ และส่วนเก็บแยกไอน้ำที่ระเหยออกจากอาหาร โดยชั้นวางอาหารจากได้รับความร้อน ความร้อน เช่น พลังงานไฟฟ้า ซึ่งความร้อนจากชั้นเหล่านี้จะถ่ายเทให้กับน้ำในอาหาร โดยอาศัย

การนำความร้อนและการแผ่รังสีเป็นส่วนใหญ่น้ำในอาหารจะระเหยกลายเป็นไอน้ำอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดปกติ แล้วไอน้ำที่ระเหยออกมาจะแยกออกไปโดยเครื่องควบแน่นไอน้ำการทำแห้งวิธีนี้ช่วยลดการเสื่อมคุณภาพของอาหาร เนื่องจากผลของการใช้ความร้อนสูงในการทำแห้ง แต่มักมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงมักใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่ค่อนข้างไวต่อการเสื่อมเสียด้วยความร้อน ออกซิเจนและต้องการลดความชื้นของอาหาร เช่น การทำแห้งผลิตภัณฑ์จากผลไม้ เช่น น้ำผลไม้ ผลไม้อบแห้ง เป็นต้น



ภาพที่ 7.11 เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum dryer)

ที่มา: https://img.tarad.com/shop/s/scilution/img-lib/spd_355ac30458_b.jpg

7.3 การเตรียมวัตถุดิบก่อนการตากแห้ง

อาหารทะเลอาจนำมาทำแห้งได้ ผลิตภัณฑ์ประมงตากแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด เช่น ปลาแห้ง กุ้งแห้ง ปลาหมึกแห้ง การปฏิบัติเกี่ยวกับสัตว์น้ำก่อนการทำแห้ง มีดังนี้ (นฤมล, 2557)

7.3.1 เนื้อสัตว์น้ำ ควรแช่เป็นชั้นบางๆ อาจคลุกเกลือเล็กน้อย การทำปลาสดอบแห้ง ปลาเล็ก เช่น ปลาไส้ตัน หอยเช่้น หอยแมลงภู่ กุ้ง ควรเอาหัวออกและล้างน้ำให้สะอาด

7.3.2 เนื้อสัตว์น้ำหลายชนิดนิยมลวกในน้ำร้อนหรือต้มให้สุกก่อนอบแห้ง เช่น กุ้งแห้ง น้ำต้มอาจผสมเกลือเล็กน้อยจะทำให้อาหารแห้งเก็บรักษานาน

7.3.3 นำผลิตภัณฑ์เรียงใส่ถาด วางเรียงหนาไม่เกิน 20 มิลลิเมตร

7.3.4 นำเข้าตู้อบอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เนื้อสัตว์น้ำที่แช่บางๆ อาจใช้อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เพราะถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปโปรตีนจะเสียสมบัติในการคืนตัว ควรพลิกกลับไปมา

เพราะเนื้อสัตว์น้ำจะติดกาวและเอาออกได้ยาก การอบใช้เวลา 10-18 ชั่วโมงขึ้นอยู่กับความหนาของผลิตภัณฑ์ หากเป็นปลาสดอาจใช้เวลา 30 ชั่วโมง

7.3.5 เก็บรักษาเนื้อสัตว์ในถุงพลาสติก

7.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการถนอมอาหารแบบแห้ง

การถนอมอาหารแบบแห้ง มีปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น สามารถสรุปได้เป็นข้อๆ ดังนี้ (นฤมล, 2557)

7.4.1 พื้นที่ผิว

อาหารที่มีพื้นที่ผิวมากจะมีผลทำให้อาหารแห้งอย่างรวดเร็วเนื่องจาก

1. เมื่ออาหารมีพื้นที่ผิวมากจะมีผลทำให้พื้นที่ที่จะสัมผัสกับความร้อนมากขึ้นและพื้นที่ที่จะสูญเสียความชื้นก็มากขึ้นเช่นกัน

2. ถ้าอาหารมีลักษณะเป็นชิ้นๆหรือบางๆจะช่วยลดระยะเวลาหรือระยะทางที่ความร้อนจะซึมผ่านบริเวณกึ่งกลางอาหาร อีกทั้งลดระยะทางที่ความชื้นบริเวณกึ่งกลางของอาหารเคลื่อนที่ออกไปยังผิวหน้าของอาหารเมื่อสัมผัสกับความร้อน แล้วระเหยออกไปอาหารที่มีลักษณะบางๆจะแห้งเร็วขึ้น

7.4.2 อุณหภูมิ ยิ่งอุณหภูมิระหว่างอาหารและสื่อความร้อน แตกต่างกันมากเท่าไร ยิ่งทำให้อัตราการส่งถ่ายความร้อนเข้าไปในอาหารเร็วขึ้นตามไปด้วย ยิ่งถ้าสื่อความร้อนเป็นลมร้อนก็จะทำให้อาหารแห้งเร็วขึ้น เพราะลมจะช่วยพาไอน้ำในชิ้นอาหาร และไอน้ำที่อึดตัวที่อยู่รอบๆอาหารออกไป น้ำภายในชิ้นอาหารจะน้อยลง

7.4.3 ความเร็วลม ในการทำแห้ง ถ้าใช้อากาศที่เคลื่อนที่ในอัตราเร็วจะทำให้อาหารแห้งมากกว่า อากาศที่มีความเร็วสูงจะดึงเอาความชื้นที่ผิวของอาหารในระหว่างการทำแห้ง รวมทั้งช่วยป้องกันไม่ให้เกิดบรรยากาศที่อึดตัวไปด้วยไอน้ำ เหมือนการใช้อุณหภูมิสูงเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะทำให้อาหารแห้งเร็วกว่า

7.4.4 ความแห้งของอากาศ ถ้าอากาศมีความแห้งมาก การทำแห้งจะเร็วขึ้น เพราะอากาศแห้งสามารถดูดซึมและเก็บความชื้นไว้ได้มากกว่าอากาศชื้น ในกรณีที่อาหารดังกล่าวมีค่าความชื้นต่ำกว่าระดับบรรยากาศ เราสามารถทำให้อาหารแห้งต่อไปได้อีก แต่ถ้าอาหารนั้นมีความชื้นสูงกว่าระดับความชื้นของบรรยากาศ เราก็ไม่สามารถทำให้อาหารแห้งได้ แต่จะกลายเป็นว่าอาหารนั้นดูดความชื้นจากบรรยากาศเข้าไปในอาหารอีก

7.5.5 ความดันบรรยากาศ และสภาพสุญญากาศ ถ้านำอาหารไปผ่านการให้ความร้อนในตู้สุญญากาศ เราจะสามารถดึงความชื้นออกจากอาหารได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าที่ไม่ใช่สุญญากาศ ดังนั้นสามารถใช้อุณหภูมิต่ำ ในสภาพสุญญากาศ จะทำให้อาหารแห้งเร็วกว่าปกติ

7.5.6 เวลาและอุณหภูมิ การทำให้อาหารแห้งโดยการให้ความร้อนต้องคำนึงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพราะส่วนใหญ่ ส่วนประกอบของอาหารจะสูญเสียสภาพได้ง่าย เมื่อกระทบกับความชื้น จึงต้องเลือกการทำแห้งให้เหมาะสม เพื่อรักษาสสมบัติของอาหารไว้ให้มากที่สุด

7.5.7 องค์ประกอบของอาหาร อาหารที่มีองค์ประกอบของน้ำตาลในอาหารปริมาณสูง จะต้องใช้เวลาในการทำแห้งนานกว่าอาหารที่มีน้ำตาลน้อย

7.5 การบรรจุและเก็บรักษาสผลิตภัณฑ์ประมงตากแห้ง

ผลิตภัณฑ์ประมงที่ทำแห้งเมื่อผลิตภัณฑ์เย็นตัวลงแล้ว ควรบรรจุในภาชนะทันที ภาชนะบรรจุควรมีคุณสมบัติป้องกันการปนเปื้อนจากแมลง ความชื้น อากาศ และแสงแดดได้ เช่น กระป๋องดีบุก ขวดแก้ว ถุงพลาสติก หรือภาชนะอื่น ๆ ที่แห้ง สะอาด ปิดผนึกกระชับ และ วนเดือน ปี ที่ผลิตบนภาชนะบรรจุ ขนาดบรรจุผลิตภัณฑ์ควรมีขนาดพอดีต่อการใช้น้ำครั้งเดียว การบรรจุขนาดใหญ่ในครั้งเดียว เมื่อเปิดภาชนะบรรจุแล้วผลิตภัณฑ์ประมงตากแห้งอาจเสื่อมคุณภาพได้

สิ่งที่ควรระวังในการเก็บรักษาสผลิตภัณฑ์ประมงตากแห้ง ได้แก่ ความชื้นในอากาศ และอุณหภูมิ จึงควรเก็บผลิตภัณฑ์ในที่แห้งและเย็น ปราศจากความชื้น หากเก็บในสภาวะสุญญากาศ จะเก็บได้นานขึ้น

7.6 คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ประมงตากแห้ง

ผลิตภัณฑ์ประมงตากแห้ง เช่น กุ้งแห้ง ปลาตากแห้ง มีค่า water activity ลดลง จะทำให้เซลล์ค่อนข้างแข็งขึ้นเนื่องจากสูญเสียน้ำในเซลล์ ผลิตภัณฑ์จึงมีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งขึ้น คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ประมงตากแห้งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และเวลาในการทำแห้ง รวมทั้งสภาวะในการเก็บรักษา หากใช้ความร้อนสูงเป็นเวลานาน ทำให้ผลิตภัณฑ์ประมงเสียคุณค่าทางโภชนาการมากขึ้น ร่างกายได้โปรตีนน้อยลง แต่การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำลงกลับทำให้อาหารย่อยง่ายขึ้น นอกจากนั้น การควบคุมความเข้มข้นของออกซิเจน อุณหภูมิของการเก็บรักษาให้ต่ำ และการกำจัดแสงออกไปจะช่วยลดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการระหว่างการเก็บรักษาได้

การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ประมงตากแห้ง มีดังนี้ (นฤมล, 2557)

1. วิตามิน ผลิตภัณฑ์ประมงมีการสูญเสียวิตามินทั้งชนิดที่ละลายน้ำได้และไม่ละลายน้ำ วิตามินที่ละลายน้ำได้สูญเสียไประหว่างการลวกเพื่อทำลายเอนไซม์ ขณะตากแดด วิตามินซีและวิตามินเอถูกทำลายเมื่อถูกอากาศ วิตามินบีสองถูกทำลายโดยแสง วิตามินบีหนึ่งสูญเสียไปเพราะถูกความร้อน ดังนั้นผลิตภัณฑ์ประมงตากแห้งด้วยวิธีธรรมชาติ มักสูญเสียวิตามินมากกว่า ผลิตภัณฑ์ประมงตากแห้งโดยการใช้เครื่องจักร นอกจากนี้ในระหว่างเก็บรักษา วิตามินยังมีการเสื่อมคุณภาพได้อีกด้วย

2. โปรตีน กรรมวิธีการทำแห้งโดยการใช้เครื่องจักรมีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนในเนื้อสัตว์น้ำ เพราะเนื้อสัตว์น้ำได้รับความร้อนสูงเป็นเวลานาน จะทำให้โปรตีนเปลี่ยนแปลงจนร่างกายไม่สามารถย่อยได้เต็มที่ จึงใช้ประโยชน์ได้น้อยลง การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ ให้ผลตรงกันข้ามคือจะช่วยให้โปรตีนย่อยง่ายขึ้น

3. ไขมัน การเหม็นหืนของไขมันเป็นปัญหาสำคัญของผลิตภัณฑ์ประมงตากแห้ง โดยเฉพาะปลาทากแห้ง การเหม็นหืนที่เกิดขึ้นจากการเติมออกซิเจน มักเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงได้มากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ สามารถป้องกันได้โดยการเติมสารป้องกันการเกิดการเหม็นหืน (antioxidant)

7.7 กระบวนการรมควัน

หลักการของการรมควัน คือ วิธีการกำจัดน้ำหรือความชื้นออกจากอาหารโดยการใช้ความร้อนร่วมกับการใช้ควันไฟเพื่อให้ผลิตภัณฑ์แห้ง มีสีน้ำตาลที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด สารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ ในควันไฟจากไม้เนื้อแข็งจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสที่ดี ในยุโรปไม้ที่นิยมนำมาใช้ ได้แก่ ไม้จากต้นโอ๊ก เมเปิ้ล แอปเปิ้ล หรือไม้ชนิดที่ไม่มียาง สำหรับประเทศไทยนิยมใช้ซี่เลื่อยไม้สักหรือไม้เนื้อแข็งต่างๆ หรืออาจใช้ซังข้าวโพด แกลบ กาบมะพร้าว และกากอ้อย แหล่งกำเนิดควันไฟแต่ละชนิดจะให้ปริมาณควัน สี และกลิ่นแตกต่างกันเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์ประมงที่รมควันจนสุกจะสามารถยืดอายุการเก็บรักษานานขึ้น ตัวอย่าง เช่น ปลากระเบนย่าง กุ้งนางย่าง หรือกุ้งเสียบ โดยเสียบเป็นแถว ๆ ละประมาณ 10 ตัว อย่างจนสุก

สารประกอบสำคัญในควันไฟที่มีผลต่อการถนอม และช่วยให้เกิดกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ คือ ฟีนอล (phenols) ทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันการเกิดการเหม็นหืน (antioxidant) จะช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde) ช่วยป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์บนผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ นอกจากนี้ยัง พบว่าการรมควันตั้งแต่ 0.5-3 ชั่วโมง แบคทีเรียชนิดที่ไม่มีสปอร์ (non-spore forming bacteria) จะถูกทำลายทั้งหมด

ปัจจุบันมีกรรมวิธีการรมควันที่ทันสมัยและใช้ในระดับอุตสาหกรรม ต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เลือกแหล่งกำเนิดควันให้ปลอดภัยต่อผู้บริโภคโดยให้เฉพาะควันเท่านั้นที่สัมผัสกับอาหารการรมควันอาหารบางชนิดอาจแช่ในน้ำเกลือก่อน หรือใช้กัมมะถันช่วยฆ่าเชื้อโรค และยังเป็นการช่วย รักษาวิตามินและแร่ธาตุไว้ได้ดี กรรมวิธีการรมควันที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน มีอยู่ด้วยกัน 7 แบบ คือ

1. smoldering เป็น วิธีการรมควันที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นเชื้อเพลิง โดยเชื้อเพลิงจะเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิในการผลิต โดยความชื้นของเชื้อเพลิงจะเป็นตัวทำให้อุณหภูมิในควันลดลง จากการทดลองใช้ควันที่มีความชื้นร้อยละ 30 มีผลทำให้อุณหภูมิของการผลิตควันต่ำกว่าเมื่อใช้ไม้แห้ง ประมาณ 100-300 องศาเซลเซียส

2. friction เป็นวิธีการที่ทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างไม้กับแผ่นโลหะที่หมุนด้วยความเร็วสูง ความร้อนที่เกิดจากแรงเสียดทานมากที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ของไม้ วิธีนี้ไม่เกิดเปลวไฟและมีเฉพาะส่วนของควันเท่านั้นที่เคลื่อนตัวผ่านไปในห้องรมควัน

3. wet smoke วิธีการใช้ควันเปียก โดยใช้เชื้อเพลิงกับ super-heated steam ผสมกับลมร้อน จนทำให้เกิดการเผาไหม้ ควันที่เกิดขึ้นมีอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส และมีความชื้นเนื่องจากการกลั่นตัวจากไอน้ำ วิธีนี้ผลิตโดยไม่เกิดเปลวไฟ

4. fluidization วิธีนี้ใช้ระบบไฟฟ้า ทำให้ลมร้อนถึง 300-400 องศาเซลเซียส ภายใต้ความเร็วสูง เมื่อลมร้อนสัมผัสเชื้อเพลิงจะทำให้เกิด turbulence ซึ่งเชื้อเพลิงจะแขวนลอย วิธีนี้ไม่ทำให้เกิดเปลวไฟ และ อุณหภูมิควันสูงกว่าอุณหภูมิห้องเล็กน้อย

5. carbonization เป็นวิธีการรมควันที่ใช้อุปกรณ์พิเศษ ซึ่งสามารถอัดเชื้อเพลิงในท่อโดยไล่อากาศที่อยู่รอบๆเชื้อเพลิงในเวลาเดียวกัน เชื้อเพลิงอัดจะถูกทำให้ร้อนด้วยไฟฟ้า และเนื่องจากเชื้อเพลิงดังกล่าวถูกอัดแน่น ปราศจากอากาศระหว่างอนุภาคจึงทำให้เกิดควันในขณะเผา โดยไม่ทำให้เกิดเปลวไฟ ควันที่ได้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง

6. hot smoking and cold smoking เป็นวิธีการที่ใช้ควันร้อนและควันเย็นรมสลับกัน โดยอุณหภูมิของควันแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวิธีที่ใช้ในการผลิตวันและอุณหภูมิรอบๆอาหารที่นำมารมควัน ถ้าอุณหภูมิในบริเวณรมควันสูงในระหว่างการรมควัน นอกจากอาหารจะถูกดูดซับและทำปฏิกิริยากับสารประกอบในควันแล้ว อาหารดังกล่าวก็อาจสุกได้ ในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิบริเวณดังกล่าวสูงกว่าอุณหภูมิห้องเพียงเล็กน้อย

อาหารก็สามารถมีกลิ่นรสควันโดยเนื้ออาหารยังไม่สุก การรมควันเย็นมักนิยมใช้ในช่วงอุณหภูมิ 15-25 องศาเซลเซียส และการรมควันร้อนจะใช้อุณหภูมิในช่วง 55-80 องศาเซลเซียส

อาหารที่มักใช้การรมควันเย็น ได้แก่ แฮม และเบคอนดิบ ส่วนอาหารที่นิยมใช้ควันร้อน ได้แก่ แฮมสุก และไส้กรอกสุก เป็นต้น ผู้แปรรูปบางรายอาจจะใช้ควันอุ่นรมอาหาร ซึ่งพบว่าอุณหภูมิของควันจะอยู่ระหว่าง 25-40 องศาเซลเซียส

การรมควันร้อนให้เห็นผลเร็วกว่าการใช้ควันเย็นประมาณ 7 เท่า แต่พบว่าควันร้อนมีผลทำให้อาหารมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยเฉพาะไขมันอย่างเด่นชัด แต่อาหารที่ผ่านการรมควันเย็นจะไม่สุก นอกจากนี้ระยะเวลาของการรมควัน เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างการรมควันร้อนและเย็น เช่น การรมควันเย็นต้องใช้เวลาหลายสัปดาห์จนกว่าจะได้สี แต่การรมควันร้อนจะใช้เวลาไม่นานไม่กี่ชั่วโมง วิธีการรมควันเย็นค่อนข้างจะเหมาะสมกับปลาแทบทุกชนิด จากการศึกษาพบว่า ปลาเรนโบว์เทราท์ เมื่อรมควันเย็นจะใช้เวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพของการรมควันเท่ากับ เมื่อรมควันร้อนนาน 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ในกลุ่มปลา catfish และปลา kipper นั้น พบว่า นิยมใช้ควันเย็นรมมากกว่า ทั้งนี้จากการเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสและยังให้ผลผลิตที่ดีกว่าไม่ว่าจะรมควันทั้งตัวหรือเฉพาะเนื้อปลา (วรรณ, 2534)

มีผู้ผลิตบางรายนิยมใช้วิธีการรมควันชื้น (moist smoking) โดยที่ใช้อุณหภูมิห้องในการรมควัน ประมาณ 24-48 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่าร้อยละ 30 นิยมใช้ในการรมควันไส้กรอกแห้ง

นอกจากนี้ยังมีวิธีการรมควันเข้ม (dark smoking) ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะใช้ควันที่มีความหนาแน่นรมอาหาร ทำให้อาหารมีผิวสีเข้ม มีรสของควันแรง แต่อาหารที่ผ่านการรมควันวิธีนี้ไม่เป็นที่นิยม เพราะไม่แน่ใจในเรื่องของความปลอดภัยในการบริโภค

7. electrostatic smoking โดยอาหารที่ต้องการรมควันวางเรียงอยู่ระหว่างขดลวดไฟฟ้าที่มีกำลังไฟขนาด 20 - 60 กิโลวัตต์ จากนั้นจะปล่อยควันร้อนออกมาผ่านอาหาร มีผลทำให้อนุภาคในควันถูกแยกตัวและเกาะบนผิวประจุตรงกันข้าม (อาหาร) อาหารที่รมควันด้วยวิธีนี้มักจะถูกผ่านด้วยรังสีอินฟราเรดอีกครั้ง เพื่อทำให้ผิวของอาหารแห้งขึ้น การรมควันอาหารด้วยวิธีนี้มีผลทำให้สารประกอบฟีนอลและคาร์บอนิลในอาหารน้อยกว่า เมื่อเทียบกับวิธีการใช้ควันแบบธรรมดา วรรณ (2534) รายงานว่า ไส้กรอกที่รมควันด้วยวิธีนี้ มีสี มืดคล้ำ และควันน้อยกว่าเมื่อรมควันด้วยวิธีธรรมดา แต่ทว่าเมื่อทดสอบทางคะแนนนิยมรสชาติ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน (นฤมล, 2557)

7.8 สมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ของควัน

ควันไม้และองค์ประกอบในควันไม้มีศักยภาพยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เป็นตัวแปรหลายชนิด เช่น อุณหภูมิ และ water activity ที่แฝงอยู่ ความเชื่อในองค์ประกอบของควันสามารถที่จะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์นั้น ได้รับความนิยมนมากขึ้น เนื่องจากสารประกอบดังกล่าวสามารถผลิตได้จากแหล่งธรรมชาติ และถ้าพบว่าสารประกอบเหล่านี้ในระดับความเข้มข้นต่ำ(ยังไม่ให้กลิ่นควัน) สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ผลดี ก็อาจจะนำสารเหล่านี้มาใช้ทดแทนสารสังเคราะห์ที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน ปฏิกิริยาระหว่างควันกับจุลินทรีย์ ให้ผลสองประการคือ ผลต่อการลดลงของปริมาณจุลินทรีย์ในระหว่างการรมควัน และให้ผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของอาหารรมควัน งานวิจัยส่วนใหญ่จะให้ความสำคัญต่อแบคทีเรีย ร่องลงมาคือราและยีสต์

บทสรุป

กระบวนการถนอมสัตว์น้ำโดยการทำแห้ง ที่นิยมใช้มี 2 แบบ คือ การทำแห้งหรือการตากแห้ง และการรมควัน ซึ่งวัตถุประสงค์หลักในการถนอมอาหารแบบแห้ง คือการกำจัดน้ำออกจากอาหาร เนื่องจากน้ำในอาหารมีความจำเป็นและมีความสำคัญต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย กระบวนการทำแห้ง นิยมใช้วิธีธรรมชาติซึ่งใช้พลังงานแสงอาทิตย์ หรือการใช้เครื่องมือซึ่งต้องใช้พลังงานไฟฟ้า ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งมีคุณค่าทางโภชนาการน้อยกว่าสัตว์น้ำสด เนื่องจากอาจสูญเสียวิตามิน โดยการถูกอากาศ แสงแดด หรือความร้อน และจะลดลงตามเวลาที่ตากแห้ง การใช้ก๊าซเฉื่อยจะช่วยรักษาวิตามินไว้ได้ดี ส่วนเนื้อสัตว์หากให้ความร้อนสูงเป็นเวลานาน จะมีปริมาณโปรตีนลดลง หากใช้อุณหภูมิต่ำจะทำให้อาหารย่อยง่ายขึ้น การรมควันสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น และมีกลิ่นรสที่ดี

คำถามท้ายบท

1. จงบอกความสำคัญของผลิตภัณฑ์ตากแห้งและรมควัน
2. จงยกตัวอย่างวิธีการแปรรูปผลิตภัณฑ์ตากแห้งและรมควัน
3. จงบอกประโยชน์ของการแปรรูปผลิตภัณฑ์ประมงโดยการตากแห้งและรมควัน

เอกสารอ้างอิง

นฤมล อิศวเกษตรนิ. (2541). เทคโนโลยีผลิตภัณธ์ประมง. นครศรีธรรมราชสถาบันราชภัฏ
นครศรีธรรมราช.

_____. (2546). กรรมวิธีแปรรูปสัตว์น้ำ. นครศรีธรรมราช : สถาบันราชภัฏ
นครศรีธรรมราช.

_____. (2557). การถนอมสัตว์น้ำแบบพื้นบ้าน. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

วรรณา ตั้งเจริญชัย. (2534). ควันสำหรับรมอาหาร. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ศิรินุช จินดารักษ์. (2546). พลังงานแสงอาทิตย์. ในเอกสารประกอบการสอน วิชา 260311
เทคโนโลยีพลังงาน. พิษณุโลก: ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

สำนักพิมพ์แสงแดด (2540). การถนอมอาหาร. กรุงเทพฯ: เอ.ที.พรินติ้ง.

อุดม สุทธิสุวรรณ. (2531). หลักการถนอมอาหารเบื้องต้น. นครศรีธรรมราช: โรงเรียนบ้านนา
เคียน.

บทที่ 8

ผลิตภัณฑ์ประมงที่ผ่านการหมัก

8.1 ความสำคัญของผลิตภัณฑ์ประมงที่ผ่านการหมักกับเศรษฐกิจในภูมิภาคอาเซียน

ประเทศไทยเป็นทั้งผู้ผลิตและส่งออกน้ำปลาที่สำคัญของโลกอีกแห่งหนึ่ง ในภูมิภาคอาเซียนประเทศที่ผลิตและบริโภคน้ำปลาเหมือนกับประเทศไทย เช่น เวียดนาม พม่า มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซียและญี่ปุ่น เป็นต้น โดยแต่ละประเทศก็จะมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไป การผลิตน้ำปลาแบบดั้งเดิมของไทยใช้ระยะเวลาจนถึง 16-18 เดือน และเกิดปัญหาในการควบคุมคุณภาพและความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ ปัจจุบันมีบริษัท น้ำปลาไทย (ตราปลาหมึก) จำกัด ร่วมมือกับศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาตินำเทคโนโลยีการหมักมาประยุกต์ใช้โดยการคัดเลือกหรือสร้างจุลินทรีย์สายพันธุ์ใหม่ และ/หรือเอนไซม์มาใช้ในกระบวนการหมักน้ำปลาในระดับอุตสาหกรรม

8.2 ความหมายของการหมัก

อาหารหมัก หมายถึง อาหารซึ่งสารประกอบอินทรีย์ของอาหาร (คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน) เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีโดยปฏิกิริยาของเอนไซม์ซึ่งผลิตขึ้นโดยจุลินทรีย์เฉพาะชนิดแล้วได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ทั้งนี้อาจอยู่ในสภาวะที่มีอากาศ หรือมีอากาศเล็กน้อย หรือไม่มีอากาศก็ได้ อาหารหมักนี้จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมชนิดของจุลินทรีย์ และสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดี (อภิญา, 2558)

การหมักเกลือ (salt curing) หรือ curing อาจเรียกว่า salting เป็นวิธีการถนอมอาหาร (food preservation) โดยการหมักด้วยเกลือแกง (sodium chloride) และอาจรวมกับการใช้เกลือโซเดียม และโพแทสเซียม ไนไตรต์ (nitrite) หรือ ไนเตรต (nitrate) (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, 2563)

การหมักด้วยน้ำเกลือ หรือการหมักดอง (wet curing, wet immersion brining, pickle curing) เป็นการหมักโดยการเตรียมเกลือให้อยู่ในรูปของสารละลาย หรือน้ำเกลือก่อน ซึ่งน้ำเกลือมี

ความเข้มข้นของเกลือระหว่าง 15-25 เปอร์เซ็นต์ แล้วจึงนำวัตถุดิบที่ต้องการหมักมาแช่ โดยให้น้ำเกลือท่วมวัตถุดิบ หากใช้เครื่องเทศเป็นส่วนผสมด้วยอาจห่อด้วยผ้าขาวบางแล้วแช่ไว้ในน้ำเกลือ นอกจากนี้การหมักเกลืออาจใช้เครื่องหมักเนื้อสุญญากาศ (vacuum tumbler) ในสภาพสุญญากาศในภาชนะปิด เพื่อเร่งให้การหมักเกิดเร็วขึ้น (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, 2563)

กระบวนการหมัก (fermentation) หมายถึง กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของสารอินทรีย์ โดยปฏิกิริยาของเอนไซม์ทำให้สารอินทรีย์มีองค์ประกอบที่ง่ายขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่เกิดการหมักโดยจุลินทรีย์หรือกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์จะเรียกว่า microbial (bacteria) fermented product ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการหมักของเอนไซม์ จะเรียกว่า enzyme hydrolyzed product ในผลิตภัณฑ์ประเภทเนื้อสัตว์ที่เป็น microbial fermented product นอกจากโปรตีนจะเปลี่ยนเป็นเปปไทด์หรือกรดอะมิโน แล้วยังเกิดการดัดแปลงการสร้างของจุลินทรีย์ ทำให้ค่า pH ลดลง ส่วนผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่เป็น enzyme hydrolyzed product จะได้เปปไทด์และกรดอะมิโนซึ่งทำให้เกิดกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่า pH ข้อดีของผลิตภัณฑ์ประมงที่ผ่านกระบวนการหมักคือได้สารอาหารในรูปที่ถูกดูดซึมได้ง่ายขึ้น เช่น โปรตีนถูกย่อยเป็นเปปไทด์และกรดอะมิโน ในการแปรรูปต้องการความระมัดระวังในด้านสุขาภิบาลน้อยกว่าการแปรรูปด้วยวิธีอื่น เนื่องจากใช้เกลือปริมาณสูง ส่วนใหญ่เก็บได้นานที่อุณหภูมิห้อง กระบวนการผลิตไม่ต้องใช้เครื่องมือราคาแพง และเป็นผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นที่ได้รับการยอมรับสูง (ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง, 2558)

8.3 ประเภทของการหมัก

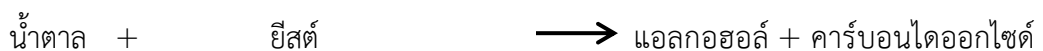
8.3.1 การหมักแลกติก (Lactic acid fermentation)

การหมักอาหารส่วนใหญ่ โดยอาศัยแบคทีเรียกรดแลกติกและรา ซึ่งมีอยู่มากมายหลายชนิด แต่ละชนิดเหมาะสำหรับการหมักอาหารแต่ละชนิด แต่ผลผลิตจะเหมือนกัน คือ ทำให้เกิดกรดแลกติก นอกจากนั้นอาจเกิดสารอื่นได้ด้วย เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ แอลกอฮอล์ กรดอะซิติก และกลีเซอรอล (glycerol)

แบคทีเรียกรดแลกติก และราทำให้การเปลี่ยนแปลงของแป้งและน้ำตาลในน้ำผลไม้ น้ำตาลในนมให้เป็นกรดแลกติกซึ่งสามารถป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อื่นที่ทำให้อาหารเสีย แต่บางครั้งก็อาจมียีสต์และราบางชนิดเจริญได้ จึงต้องพยายามควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้เหมาะกับจุลินทรีย์ที่เราต้องการให้เจริญ และเป็นการป้องกันจุลินทรีย์ที่เราไม่ต้องการ

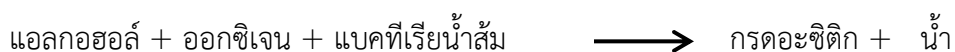
8.3.2 การหมักแอลกอฮอล์ (Alcohol fermentation)

การหมักแบบนี้อาศัยยีสต์เป็นส่วนใหญ่ ในการเปลี่ยนแปลงน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์และมักจะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ขึ้นพร้อมๆ กับแอลกอฮอล์ด้วยเพื่อให้การหมักได้ผลดี จึงต้องเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมเป็นตัวนำการหมัก ซึ่งเรียกว่า ยีสต์นำ (yeast starter) ตัวอย่างผลผลิตที่ได้จากการหมักแบบนี้ที่สำคัญ ได้แก่ แอลกอฮอล์จากน้ำตาลไม้ เหล้าไวน์ และเบียร์ ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยา ดังสมการต่อไปนี้



8.3.3 การผลิตน้ำส้มสายชู (Vinegar production)

กระบวนการนี้มักเกิดขึ้นต่อเนื่องจากการหมักแอลกอฮอล์ คือ เมื่อเกิดแอลกอฮอล์แล้ว ถ้ามีออกซิเจนอยู่มาก แอลกอฮอล์จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดโดยแบคทีเรีย ซึ่งมักเกิดขึ้นเองได้ตามธรรมชาติ แต่การเกิดกรดนี้จะเป็นด้วยดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรีย ฉะนั้นเพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดี จึงมักใส่แบคทีเรียตัวนำ (Starter) ลงไปในการหมัก แบคทีเรียที่เป็นตัวนำที่ดีที่สุดคือ *Acetobacter aceti* ซึ่งทำให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลง ดังสมการต่อไปนี้



8.3.4 การหมักผลิตภัณฑ์ประมง

อาหารหมักประเภทผลิตภัณฑ์ปลา กุ้ง สัตว์น้ำ เป็นอาหารที่มีความสำคัญในแถบเอเชีย ได้แก่ น้ำปลา กะปิ ปลาร้า ปลาเจ่า และปลาซ้ม เป็นต้น กระบวนการหมักทำโดยผสมปลาหรือกุ้ง (เคย) กับเกลือ และหมักไว้ในภาชนะที่ไม่มีออกซิเจน ซึ่งโปรตีนในเนื้อปลาหรือกุ้งจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์จากแบคทีเรียและเอนไซม์ตามธรรมชาติจากเนื้อปลา

8.3.4.1 การหมักผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำแบ่งตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. ผลิตภัณฑ์คงรูปร่างลักษณะของวัตถุดิบเกือบทั้งหมด เช่น ปลาร้า ปลาจ่อม ปลาแจ่ว ปลาสาม ปลาทุเค็ม ปลาแป้งแดง
2. ผลิตภัณฑ์ที่วัตถุดิบเปลี่ยนสภาพไปเป็นชิ้นละเอียด เช่น กะปิ
3. ผลิตภัณฑ์ที่วัตถุดิบเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลว เช่น น้ำปลา น้ำบูดู

8.3.4.2 การหมักผลิตภัณฑ์ประมงแบ่งตามแหล่งของเอนไซม์ที่ใช้ในการหมัก ได้ 3 ประเภท ได้แก่

1. ผลิตภัณฑ์ที่หมักโดยเอนไซม์จากเนื้อปลาและอวัยวะภายในของปลา มีการเติมเกลือเพื่อป้องกันการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ ผลิตภัณฑ์ที่พบในประเทศไทยและแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มี 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มผลิตภัณฑ์พื้นเมืองที่เกิดไฮโดรไลซิสในเกลือความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 20 ค่า pH ระหว่าง 6-7 อุณหภูมิ 20-35 °C ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้บางชนิดอาจมีการเติมเอนไซม์หรือกรดลงไปเพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ น้ำปลา และบูดู ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งคือ ผลิตภัณฑ์พื้นเมืองที่ไฮโดรไลซิสในเกลือเข้มข้นร้อยละ 2-5 ค่า pH 6-7 อุณหภูมิ 20-35 °C ได้แก่ ปลาเค็ม (salted fish)
2. ผลิตภัณฑ์ที่หมักโดยเอนไซม์จากเนื้อปลา และอวัยวะภายในของปลา ร่วมกับเอนไซม์จากจุลินทรีย์ มีการเติมเกลือและคาร์โบไฮเดรต เช่น ปลาร้า ปลาแจ่ว ปลาจ่อม ปลาสามซึ่งจุลินทรีย์กลุ่มที่มีความสำคัญต่อการหมักประเภทนี้ คือ แบคทีเรียแลคติก (lactic acid bacteria)
3. ผลิตภัณฑ์ที่หมักโดยใช้กรด มีการใช้กรดช่วยในการย่อยสลาย ได้แก่ fish silage และ fish soluble (ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง, 2558)

8.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการหมัก

8.4.1 วัตถุดิบ ปลา กุ้ง ปู กุ้ง เคย หอย

ชนิด ขนาด ของสัตว์น้ำมีผลต่อระยะเวลาหมักและปริมาณเกลือที่ต้องใช้ สัตว์น้ำขนาดใหญ่ใช้เวลานานและต้องการปริมาณเกลือมากกว่า ควรใช้ปลาหลังผ่านระยะการเกร็งตัว (post-rigor mortis) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีที่สุด องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะเนื้อของสัตว์น้ำทำให้เหมาะกับการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างกัน เช่น น้ำปลานิยมทำจากปลาไส้ตัน กะปินิยมทำจากเคย เป็นต้น

กุ้งส้ม ขนาดหรือสายพันธุ์ของกุ้ง และอัตราส่วนของเครื่องปรุงรสโดยเฉพาะ น้ำตาล หากกุ้งมีขนาดใหญ่จะส่งผลให้ต้องใช้ระยะเวลาในการหมักนานขึ้น วิธีสังเกตกุ้งส้มที่หมักจนสามารถรับประทานแบบดิบ ๆ ได้ง่ายที่สุดคือ สีของตัวกุ้งที่มีสีส้มสวยงาม สีของส่วนน้ำจะมีสีส้มค่อนข้างใส ไม่มีตะกอน มีกลิ่นหอมของกรด และมีรสชาติเปรี้ยว หากนำไปวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง จะมีค่า pH น้อยกว่า 4.6 (นันทิตา, 2560)

ปุ๋ยหมักต้องเค็ม ความสดของปุ๋ย ชนิดและอัตราส่วนของน้ำต้อง และอุณหภูมิการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในการดองเค็มปุ๋ยหมัก มีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัส (ชุดินุช และคณะ, 2555) สมบูรณ์

8.4.2 เกลือ (สารยับยั้งการเจริญ)

เกลือ ความเข้มข้นของเกลือสามารถกำหนดชนิดของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องได้ เช่น lactic acid bacteria ที่ใช้ในการหมักผักดองและไส้กรอกหมัก สามารถทนความเข้มข้นของเกลือได้ถึง 10-18 เปอร์เซ็นต์ (อภิญา, 2558) เกลือ ความบริสุทธิ์ ขนาดผลึก และการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในเกลือมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เช่นเดียวกับการทำเค็มผลิตภัณฑ์ประมง (ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง, 2558) สำหรับอาหารหมักพื้นบ้านที่มีการใช้สารยับยั้งการเจริญ มักจะหมายถึงเกลือ ซึ่งมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์หลายชนิด โดยเฉพาะกลุ่มจุลินทรีย์ก่อโรคที่เจริญอยู่ในอาหารได้ จุลินทรีย์บางชนิดสามารถทนเกลือได้ดี เช่น แลคโตบาซิลลัส จึงสามารถเจริญและทำให้อาหารเปรี้ยวได้ และจะเจริญได้ดีขึ้นหากปรับลด pH ของอาหารให้เหมาะสมสำหรับการเจริญของแลคโตบาซิลลัสด้วย

8.4.3 จุลินทรีย์

1. แบคทีเรีย

ก. โปรตีโอไลติกแบคทีเรีย (proteolytic bacteria) ในกระบวนการหมัก จำเป็นต้องอาศัยจุลินทรีย์บางชนิดในการย่อยสลายโปรตีน แบคทีเรียที่พบว่าสร้างเอนไซม์โปรตีเนสย่อยสลายผลิตภัณฑ์ได้ดี ได้แก่ *Bacillus subtilis* และ *B. licheniformis* ซึ่งสามารถเจริญได้ในสภาวะที่มีเกลือ ที่อุณหภูมิ 40 °C pH 7

ข. แบคทีเรียกรดแลคติก (lactic acid bacteria) พบในอาหารหมักที่เกิดรสเปรี้ยวหรือมี pH ลดลง ในผลิตภัณฑ์นม ในปากและทางเดินอาหารของคนและสัตว์ จำแนกออกได้เป็น 4 สกุล ได้แก่ *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* และ *Lactobacillus* แบคทีเรียในกลุ่มนี้เจริญได้ดีในสภาวะที่ไม่มีอากาศหรือมีอากาศเล็กน้อย โดยสภาวะที่จะส่งเสริมแบคทีเรียแลคติกให้เจริญได้ดีและสร้างกรดแลคติก และส่งผลต่อให้แบคทีเรียชนิดอื่น คือ ต้องมี

แหล่งคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสม สภาพไร้อากาศหรือมีอากาศน้อย อุณหภูมิค่อนข้างสูง มีความชื้นของเกลือพอเหมาะ และมีสารอินทรีย์ที่ช่วยการเจริญของแบคทีเรีย ได้แก่ วิตามิน เกลือแร่ และกรดอะมิโน

2. รา

กิจกรรมของราในกระบวนการหมักนั้นมีความหลากหลายในวงการอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมผลิตกรดอินทรีย์ อุตสาหกรรมผลิตอาหาร ตัวอย่างของราที่ใช้ในการหมัก ได้แก่ แอคติโนมิวคอร์ (*Actinomucor* spp.) หรือ มิวคอร์ (*Mucor* spp.) ใช้ในการหมักเต้าหู้ยี้ โมแนสคัส (*Monascus* spp.) ใช้ในการผลิตข้าวแดงหรืออังกัก (ang - kak) คือให้เชื้อราเจริญและสร้างสีแดงบนข้าวสุก และไรโซปัส (*Rhizopus* spp.) ใช้ในการผลิตข้าวหมากโดยใช้ราเปลี่ยนข้าวเหนียวสุกให้เป็นน้ำตาล

3. ยีสต์

ยีสต์ที่มีความเกี่ยวข้องในกระบวนการหมัก ได้แก่ ยีสต์สกุลแซ็กคาโรไมยเซส (*Saccharomyces* spp.) และ แคนดิดา (*Candida* spp.) มีคุณสมบัติในการหมักน้ำตาล โดยจะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมถึงสารอื่นๆ อีกเล็กน้อย เช่น กรดอะซิติก ยีสต์ที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ คือ แซ็กคาโรไมยเซส ซีรีวีซีอี (*Saccharomyces cerevisiae*)

8.4.4 สมุนไพรและเครื่องเทศ

ผลจากการพัฒนาแผนมปลาสุนไพรร พบว่า ผู้ทดสอบชอบกลิ่นแผนมปลาผสม จึงห่อด้วยใบตองที่มีรสเปรี้ยวปานกลาง เนื่องจากความอร่อย ความสะดวก มีคุณค่าทางโภชนาการ ราคาถูก และมีบรรจุภัณฑ์สะอาด (ยุพา, 2552) นอกจากนั้น วาริรัตน์ (2550) รายงานว่า สารสกัดจากเมทานอลของขิงสามารถต้านการเจริญของเชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคทางเดินอาหารชนิด *Streptococcus aureus* และ *Escherichia coli* ได้ดี การใช้กระเทียมในผลิตภัณฑ์ปลาสด แผนมปลา และปลาสดรมควัน นอกจากจะเติมลงไปเพื่อให้กลิ่นรสแล้ว ยังพบว่ากระเทียมสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์บางชนิด เช่น แบคทีเรียในสกุล *Bacillus* *Micrococcus* *Pseudomonas* และ รา *Aspergillus* ได้อีกด้วย (ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง, 2558)

8.4.5 อากาศ

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการหมักส่วนใหญ่จะเป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศน้อย เช่น ยีสต์ และ แลคโตบาซิลลัส เช่น เมื่อต้องการหมักแผนมจะต้องห่อแผนมและมัดให้แน่น เพื่อให้อากาศเข้าได้น้อยหรือไม่ได้เลย ก่อนนำเอาไปบ่ม แลคโตบาซิลลัสจึงจะสามารถสร้างกรดแลกติก

และทำให้เนื้อเปื่อยได้ อย่างไรก็ตาม จุลินทรีย์บางชนิด เช่น ราที่ใช้ในการทำข้าวหมากจะต้องการอากาศในปริมาณมากขึ้น เพื่อการเจริญและสร้างเอนไซม์เพื่อเปลี่ยนข้าวเหนียวสุกให้เป็นน้ำตาล

8.4.6 ความชื้น

เนื่องจากจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความต้องการความชื้นไม่เท่ากัน เช่น รามักจะไม่ชอบเจริญในอาหารที่มีความชื้นมาก หรือเปียก แต่มักจะเจริญได้ดีในที่หรืออาหารที่มีความชื้นอยู่บ้าง ในขณะที่แบคทีเรียหรือยีสต์มักเจริญในอาหารที่มีลักษณะเปียกแฉะ มีน้ำอยู่มาก เป็นต้น

8.4.7 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญของจุลินทรีย์ ถ้าหมักอาหารในอุณหภูมิที่ต่ำเกินไป หรือสูงเกินไป ไม่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ที่เราต้องการ จุลินทรีย์นั้นเจริญได้ไม่ดีแต่ จุลินทรีย์อื่นกลับเจริญได้เร็วกว่า จะทำให้อาหารที่เราหมักได้มีกลิ่น รส และเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงไป หรือเน่าเสียได้

8.4.8 ความเป็นกรด-ด่าง

ควรจะควบคุมค่า pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับกิจกรรมของจุลินทรีย์ เนื่องจากกิจกรรมแต่ละประเภทรวมทั้งชนิดของจุลินทรีย์ต้องการ pH ที่เหมาะสมแตกต่างกันไป เช่น ถ้าต้องการหมักไวน์โดยใช้ยีสต์ต้องปรับ pH ของน้ำหมักให้อยู่ในช่วง 3 ถึง 4 แต่ถ้าต้องการหมักไวน์ข้าวจากเมล็ดข้าวสุกโดยใช้รา ก็ไม่จำเป็นต้องปรับ pH ของระบบ เนื่องจาก pH ตามธรรมชาติของเมล็ดข้าวสุกนั้น (pH ประมาณ 7) ก็เหมาะสมต่อการหมักโดยราอยู่แล้ว

8.4.9 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งคาร์บอนที่เป็นอาหารของจุลินทรีย์ คาร์โบไฮเดรตที่นิยมใช้ในการหมักปลาร้า คือ ข้าวเจ้าต้วนวดละเอียด หรือรำข้าว นอกจากนี้ยังมีการใช้ข้าวเจ้าสุก ข้าวเหนียวสุก ข้าวหมาก (ทำจากข้าวเหนียว และลูกแป้ง) ข้าวแดง (ข้าวหมักกับรา *Monascus purpureus*) น้ำตาล และสับปะรด ซึ่งให้กลิ่นรสที่ต่างกันในแต่ละผลิตภัณฑ์ นอกจากคาร์โบไฮเดรตจะเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์แล้ว ยังมีข้อดีอื่น ๆ อีก ทั้งจากตัวคาร์โบไฮเดรตเอง และจากสารที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นจากการใช้คาร์โบไฮเดรต เช่น ช่วยชะลอการย่อยสลายหลังจากที่หมักได้ที่แล้ว ทำให้เก็บผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้น ช่วยลดกลิ่นคาวของปลา ทำให้เกิดกลิ่นรสเฉพาะที่ผู้บริโภคต้องการทำให้เกิด สีสน้ำตาลหรือชมพู ทำให้ผลิตภัณฑ์ดูน่ารับประทาน กรดอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นช่วยป้องกันการเน่าเสียของโปรตีนและช่วยปรุงแต่งรสผลิตภัณฑ์ ส่วนข้าวคั่วหรือข้าวเปลือกคั่ว มีสารกันหืนอยู่ตามธรรมชาติ ช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้น และในข้าวคั่วมีสารที่เกิดจาก

การให้ความร้อนจนได้สารประกอบสีน้ำตาลคล้ายคาราเมล (caramelized compound) เป็นตัวเร่งกิจกรรมของแบคทีเรียบางชนิด (ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง, 2558)

8.4.10 เอนไซม์

เอนไซม์เป็นตัวการสำคัญในกระบวนการหมักและเป็นสาเหตุการเน่าเสียของปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ เมื่อไม่มีการควบคุมสภาวะแวดล้อม เช่น ปริมาณเกลือ เอนไซม์พบในอวัยวะภายในและกล้ามเนื้อของปลา และจากการสร้างของจุลินทรีย์ เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการหมักได้แก่ โปรตีนเอส (proteinase) และ ไลเปส (lipase) เอนไซม์ย่อยโปรตีนจะทำงานได้ดีขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น และในสภาวะที่มีเกลืออยู่ด้วย

8.5 คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ประมงที่ผ่านการหมัก

ผลิตภัณฑ์ประมงที่ผ่านการหมักมีผลทำให้คาร์โบไฮเดรตถูกเปลี่ยนเป็นกรดแต่ยังมีคุณค่าทางโภชนาการที่สูง

ตารางที่ 8.1 คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ประมงที่ผ่านการหมักชนิดต่าง ๆ

ชื่อผลิตภัณฑ์	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	แคลเซียม	ฟอสฟอรัส
ปลาร้า (ปลาช่อน)	57.39	17.95	6.62	18.60	-	-
ปลาร้า (ปลาหมอ)	60.56	11.00	5.40	20.84	3.75	6.24
ปลาร้า (ปลากระดี่)	61.18	11.85	3.61	20.89	2.60	7.11
ปลาเจ้า	47.49	16.66	30.03	4.16	1.29	4.07
ปลาจ่อม	61.64	15.03	8.01	6.97	2.13	2.99
ส้มผัก	68.69	14.85	3.25	6.20	1.73	4.29
น้ำปลา (ปลาไส้ตัน)	76.63	2.12	0.76	3.33	0.53	7.31
น้ำปลา (ปลาหลังเขียว)	76.66	2.02	4.66	3.60	-	-
น้ำปลา (ปลาทูแขก)	70.96	1.96	4.31	5.12	1.22	0.405
กะปิ (เคย)	32.92	25.84	1.78	28.54	-	-
กะปิ (ปลา)	49.21	22.25	2.11	29.47	3.75	0.27

ที่มา: รายงานประจำปี 2528 และกองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง

8.6 ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ประมงที่ผ่านการหมัก

8.6.1 การหมักทำให้อาหารอยู่ในรูปที่ดูดซึมได้ง่ายขึ้น โดยเฉพาะรายที่เป็นโรคขาดอาหารอย่างรุนแรง เนื่องจากการหมักเป็นการย่อยสลายสารอาหารโมเลกุลเล็กลง เช่น โปรตีน การถูกย่อยสลายให้เป็นกรดอะมิโน เป็นต้น

8.6.2 ทำให้มีกลิ่นและรสชาติดี และแตกต่างกันออกไป เช่น น้ำปลา กะปิ เป็นต้น

8.6.3 ทำให้เกิดอาหารชนิดใหม่หลายชนิด เช่น แอลกอฮอล์ และน้ำส้มสายชู เกิดจากการหมักแป้งและน้ำตาล

8.6.4 เสริมคุณค่าทางอาหารและทางโภชนาการ เช่น การหมักปลาหรือสัตว์น้ำเป็นน้ำปลา กะปิ ปลาร้า ปลาจ่อม เป็นต้น

8.6.5 อาหารหมักสามารถเก็บไว้ได้นานที่อุณหภูมิห้อง ไม่ต้องเก็บที่อุณหภูมิต่ำ

8.6.6 กระบวนการผลิตอาหารหมัก ไม่ต้องอาศัยเครื่องมือ เครื่องใช้พิเศษ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำ

8.6.7 อาหารหมักที่ต้องการความระมัดระวังในด้านการสุขาภิบาลน้อยกว่าการแปรรูปโดยวิธีอื่นๆ เนื่องจากการใช้ปริมาณเกลือที่สูงก็ช่วยในการกำจัดชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์อยู่แล้ว จึงไม่มีปัญหาเรื่องของแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรคท้องร่วง หรือเป็นอันตราย เช่น อาหารหมักที่มี pH ต่ำกว่า 4.5 แบคทีเรียที่มีอันตราย เช่น คลอสทริเดียม โบทูลินัม (*Clostridium botulinum*) ไม่สามารถเจริญและสร้างสารพิษขึ้นได้ อาหารหมักจึงมีความปลอดภัยในการบริโภคระดับหนึ่ง

8.7 เทคโนโลยีการหมักสัตว์น้ำ

เทคโนโลยีการหมักแบบดั้งเดิมเป็นเทคโนโลยีชีวภาพโดยการใช้จุลินทรีย์เป็นตัวกลางในกระบวนการหมักหรือมีพัฒนาการมาจากจุลชีววิทยาอุตสาหกรรม (Industrial Microbiology) ซึ่งอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าทางอุตสาหกรรม เช่น การคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการผลิตสูง (กล้ำเชื้อ) พร้อมใช้ในการเร่งอัตราการหมักเพื่อเพิ่มอัตราการผลิต และปริมาณผลผลิต ส่วนเทคโนโลยีการหมักสมัยใหม่ คือ วิทยาการตัดแต่งพันธุกรรม (Recombinant DNA Technology) หรือพันธุวิศวกรรม (Genetic Engineering) โดยการใช้กระบวนการทางพันธุศาสตร์เป็นเครื่องมือในการปรับปรุงลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตให้มีประโยชน์ตามที่ต้องการ เพื่อใช้ในการสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ เช่น การสร้างแบคทีเรียที่สามารถผลิตฮอร์โมนอินซูลิน

เทคโนโลยีการหมักสัตว์น้ำ คือ กระบวนการหมักสัตว์น้ำโดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าทางอุตสาหกรรม เช่น การคัดเลือกจุลินทรีย์ไปใช้เป็นกล้าเชื้อในการหมักปลาร้า ปลาสาม (สิรินดา, 2554) นอกจากนั้น ปัจจุบันนักวิจัยยังศึกษาถึงสมบัติเชิงหน้าที่ของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ประมงที่ผ่านการหมัก เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ประมงที่ผ่านการหมักให้มีคุณภาพดีและสม่ำเสมอ (สาวิตรี, 2562) เช่น การศึกษาแบคทีเรียแลกติกมีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์แยกจากผลิตภัณฑ์ประมงที่ผ่านการหมักที่ของไทย (Sivamaruthi *et al.*, 2018)

บทสรุป

การหมักต้องเป็นการถนอมอาหารที่มักกระทำการโดยอาศัยเกลือหรือสารเคมีอย่างอื่นร่วมด้วย เพื่อวัตถุประสงค์ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดกลิ่น รส ที่แตกต่างกันไป เช่น การหมักดองที่ทำให้เกิดแอลกอฮอล์การหมักดองที่ทำให้เกิดกรดอะซิติก การหมักดองที่ทำให้เกิดกรดแลกติก เป็นต้น อาหารที่ผ่านการหมักดองจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของโมเลกุลของสารโดยปฏิกิริยาของเอนไซม์ในสภาพที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจนก็ได้ สำหรับผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำที่ผ่านการหมักดอง ได้แก่ น้ำปลากะปิ บูดู ไตปลา ปลาร้า ปลาเจ่า ปลาล่อม ส้มปลก ปลาเค็ม และเค็มหมักนัต เป็นต้น ซึ่งการเลือกกรรมวิธีการทำอาหารหมักดองขึ้นอยู่กับความต้องการลักษณะของผลิตภัณฑ์ อุปกรณ์และเครื่องมือในการอำนวยความสะดวกและชนิดของวัตถุดิบที่จะนำมาทำอาหารหมักดองในการบริโภคอาหารที่ผ่านการหมักดองนับว่ามีคุณค่าทางโภชนาการค่อนข้างสูง เนื่องจากอาหารเหล่านี้ร่างกายสามารถดูดซึมสารอาหารเข้าสู่ร่างกายไปใช้ประโยชน์ได้โดยง่าย

คำถามท้ายบท

1. จงบอกความหมายของการหมักตามความเข้าใจของตนเอง
2. การหมักแบ่งออกเป็นกี่ประเภท มีอะไรบ้าง
3. จงบอกความสำคัญของจุลินทรีย์ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ประมงที่ผ่านการหมัก
4. เพราะเหตุใดจึงต้องมีเทคโนโลยีการหมัก พร้อมยกตัวอย่าง
5. จงบอกประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ประมงที่ผ่านการหมักอย่างน้อย 5 ข้อ
6. อาหารที่ผ่านกระบวนการหมักดอง มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง

เอกสารอ้างอิง

กรมประมง, กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ. ม.ป.ป. รายงานประจำปี 2528. กรุงเทพมหานคร: กรมประมง.

ชุตินุช สุจริต, ไวกูณฐ์ ฤทธิธัมม์, และ สุพรรณพันธ์ โลหะลักษณาเดช. (2555). การคัดเลือกชนิดของน้ำตองและอุณหภูมิการเก็บรักษาสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ปูแปมตองเค็ม เพื่อความปลอดภัยในการบริโภค. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*. 43(3), 588-591.

นันธิดา แดงขาว. (2560). กุ้งส้มกับแบคทีเรียมีชีวิตพิชิตโรค. *Dusit Thani College Journal*. 11 (Special Issue), 356-373.

ผ่องเพ็ญ รัตตกุล ปรีดา เมธาทิพย์ นฤมล แสงทอง และบุญส่ง ศิริมา. (2528). การผลิตน้ำปลาที่ดี. ใน *รายงานการสัมมนาวิชาการประจำปี 2528*. กรมประมง ณ สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ.

ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง. (2558). *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มัทนา แสงจินดาวงษ์. (2545). ผลิตภัณฑ์ประมงของไทย. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยุพา บุญมี. (2552). *ชนิดของสมุนไพรที่เหมาะสมในการผลิตแหนมปลา*. (รายงานการวิจัย).

จันทบุรี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี.

วัฒนา ประทุมสินธุ์. (2514). *ตำราวิชาการถนอมอาหาร*. กรุงเทพมหานคร: ประสานมิตร.

ศิริลักษณ์ สินธวาลัย. (2522). *ทฤษฎีอาหาร เล่ม 2 หลักการถนอมอาหารและการควบคุมคุณภาพอาหาร*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพมหานคร: บำรุงนุกุลกิจ.

ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. (2563). *การหมักเกลือ (salt curing)*. สืบค้น 8 กันยายน 2563, จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1322/salt-curing>

สาวิตรี ดือราแม. (2562). ผลิตภัณฑ์อาหารหมัก: สมบัติเชิงหน้าที่ของจุลินทรีย์ ตอนที่ 1. *วารสารอาหาร*. 49(1), 20-27.

สิรินดา ยุ่นฉลาด . (2554). *การพัฒนาปลาล้างเชื้อปลาแล้บรสสุทธีจากการคัดเลือกสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้จากปลาล้างระหว่างกระบวนการหมัก II*. กรุงเทพมหานคร :

ฐานข้อมูลโครงสร้างพื้นฐานภาครัฐด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

สุทธิวัฒน์ เบญจกุล. (2548). *เคมีและคุณภาพผลิตภัณฑ์น้ำ*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

อภิัญญา เจริญกุล. (2558). *เอกสารประกอบการสอน วิชากรรมวิธีการแปรรูปอาหาร1*.

สืบค้น 20 กันยายน 2560, จาก <http://sc.npru.ac.th/mua/file/1403167041.pd>

Sivamaruthi BS, Kesika P and Chaiyasut C. (2018). Thai fermented foods as a versatile source of bioactive microorganisms – A comprehensive review. *Scientia Pharmaceutica*. 86: 37.

บรรณานุกรม

- กรมประมง, กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ. ม.ป.ป. รายงานประจำปี 2528. กรุงเทพฯ: กรมประมง.
- กองบริหารงานวิจัย, มหาวิทยาลัยขอนแก่น. (2559). “ปลาส้ม”เสน่ห์ความเปรี้ยวสู่การผลิตอาหารปลอดภัยมีโอกาเป็นอาหารสมอง. สืบค้น 20 มิถุนายน 2560, จาก <https://www.kku.ac.th/news/v.php?q=0011899&l=th>
- กองโภชนาการ. (2544). ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย. นนทบุรี: กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.
- กรมประมง. (2561). การวิเคราะห์เส้นทางการส่งออกปูทะเลมีชีวิตมีชีวิตไปยังประเทศ สาธารณรัฐประชาชนจีน. สืบค้น 20 กันยายน 2563, จาก <https://www4.fisheries.go.th/index.php/doffile/fkey/ref15125>
- กรมประมง. (2561). สถิติผลผลิตการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดประจำปี 2559. [เอกสารฉบับที่ 12/2561]: กรมประมง, กรุงเทพฯ
- จันทิมา เพียรผล. (2561). สืบค้นจาก สืบค้น 23 กันยายน 2563, จาก www.fisheries.go.th/strategy/fisheconomic/Monthly%20report/กึ่งกัมกรวมไตรมาส%203-61.pdf
- จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร และดวงเดือน วาริระนิช, (2559). ผลของชนิดน้ำมันที่มีต่อสมบัติของเจลโปรตีนในลูกชิ้นอิมัลชัน. วารสารวิจัย 9 (1), 1-9.
- ชัยณรงค์ คันทพนิต. (2529). วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.
- ชุตินุช สุจริต, ไวกุณฐ์ ฤทธิธัมม์, และ สุพรรณพันธ์ โลหะลักษณาเดช. (2555). การคัดเลือกชนิดของน้ำตองและอุณหภูมิการเก็บรักษาสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ปูแปมตองเค็ม เพื่อความปลอดภัยในการบริโภค. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 43(3), 588-591.
- ณรงค์ นิยมวิทย์. (2538). องค์ประกอบและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของอาหาร. ฟอรัมแพทวินติง: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- หัตตดาว ภาชีผล, ชลัดดา ชัยวิเศษ, นิตยา กระแสจันทร์, และสุประภา บุญตา. (2559). สมบัติเชิงหน้าที่ของเจลลาตินจากวัสดุเศษเหลือของปลาเขี้ยวมรกต. ใน การประชุมวิชาการ

- “มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ครั้งที่ 12 ” (น. 298-304). มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- นฤมล อิศวเกษตรนิ. (2541). เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง. นครศรีธรรมราชสถาบันราชภัฏนครศรีธรรมราช.
- . (2546). *กรรมวิธีแปรรูปสัตว์น้ำ*. นครศรีธรรมราช : สถาบันราชภัฏนครศรีธรรมราช.
- . (2557). *การถนอมสัตว์น้ำแบบพื้นบ้าน*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- นันธิดา แดงขาว. (2560). กุ้งส้มกับแบคทีเรียมีชีวิตพิชิตโรค. *Dusit Thani College Journal*. 11 (Special Issue), 356-373.
- นัยนา บุญทวีวัฒน์. (2546). *ชีวเคมีทางโภชนาการ*. ชิกม่า ดีไซน์กราฟฟิค. กรุงเทพฯ.
- ผ่องเพ็ญ รัตตกุล ปรีดา เมธาทิพย์ นฤมล แสงทอง และบุญส่ง ศิริมา. (2528). การผลิตน้ำปลาที่ดี. ใน *รายงานการสัมมนาวิชาการประจำปี 2528. กรมประมง ณ สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ*.
- พิพัฒน์ นพคุณ และคณะ (2550). แคดเมียมในผลิตภัณฑ์อาหารทะเล (พ.ศ. 2538-2548). *วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์*. 49(3), 210-216.
- พริยา มีมาก. (2541). *การใช้น้ำมันปลาในมายองเนสไขมันต่ำ* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ). สืบค้นจาก <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/55996>
- พรรณราย แสงวิเชียร มรกต กำแพงเพชร แวมยุรา คำสุข บรรเจิดศักดิ์ สันหลักดี ชรินทร์งามกมล และกัณฑ์ติ๊กมาฐ รัตนปริญญาบุกุล. (2561). *แผนธุรกิจเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ปลาสดแปรรูปตามความต้องการของผู้บริโภค*. สืบค้น 20 กันยายน 2563, จาก <https://so01.tci-thaijo.org/index.php/bahcuojs/article/download/145064/107207>
- ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง. (2558). *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- มัทนา แสงจินดาวงษ์. (2545). *ผลิตภัณฑ์ประมงของไทย*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรรณา ตั้งเจริญชัย. (2534). *ควีนสำหรับบรมอาหาร*. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วัฒนา ประทุมสินธุ์. (2514). *ตำราวิชาการถนอมอาหาร*. กรุงเทพฯ: ประสานมิตร.

- วิชัย หทัยชนาสน์. (2541). *หลักการถนอมและแปรรูปผักและผลไม้เบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิชุดา สังข์แก้ว. (2550). การวิเคราะห์แคดเมียมในปลาหมึกเพื่อการส่งออก. *วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย*. 27(3), 210-216.
- ศิรินุช จินดารักษ์. (2546). พลังงานแสงอาทิตย์. ใน *เอกสารประกอบการสอน วิชา 260311 เทคโนโลยีพลังงาน*. พิษณุโลก: ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- ศิริลักษณ์ สินธวาลัย. (2522). *ทฤษฎีอาหาร เล่ม 2 หลักการถนอมอาหารและการควบคุมคุณภาพอาหาร*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: บำรุงนุกุลกิจ.
- ศูนย์วิจัยเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร. (2558). *ผงปรุงรส*. สืบค้น 20 มิถุนายน 2560 จาก http://fic.nfi.or.th/foodsectordatabank-all2_detail.php?cat=11&type=2
- สมเกียรติ แสงวัฒนาโรจน์. (2554). *กินปลาอย่างไรให้เป็นประโยชน์กับหัวใจ*. วารสาร CVM. เดือนพฤษภาคม: 21-22.
- สมเพียร จิรชัย. (2542). *หลักการแปรรูปและการถนอมอาหาร*. กาญจนบุรี: สถาบันราชภัฏกาญจนบุรี.
- สายสนม ประดิษฐ์ดวง. (2521). “การถนอมอาหารโดยใช้ความเย็น” ใน *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร*, (น. 80-144). กรุงเทพฯ: การพิมพ์พระนคร.
- สำนักพิมพ์แสงแดด (2540). *การถนอมอาหาร*. กรุงเทพฯ: เอ.ที.พรินติ้ง.
- สุทธวัฒน์ เบญจกุล. (2548). *เคมีและคุณภาพสัตว์น้ำ*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- สาวตรี ดือราแม. (2562). ผลิตภัณฑ์อาหารหมัก: สมบัติเชิงหน้าที่ของจุลินทรีย์ ตอนที่ 1. *วารสารอาหาร*. 49(1), 20-27.
- สุภาวดี จอดนาค, (2556). กิจกรรมทางชีวภาพของโปรตีนไฮโดรไลสจากกระดูกปลานิลและผลต่อเซลล์สร้างกระดูก (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ). สืบค้นจาก <https://core.ac.uk/download/pdf/32429424.pdf>
- โสธยา เกิดพิบูลย์, พงษ์ ไสวะพันธ์, ประกาย ผิวทอง, และอรอนงค์ ฐาปนพันธ์นิต. (2554). *ผลของอิมัลซิไฟเออร์และเวลาที่ใช้ในการผสมต่อสมบัติเชิงกายภาพของฟักทองสเปรด*. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น*. 16 (1): 32-40.
- หทัยพร ศิรินามาร์ตนะ, และวรางคณา วารีน้อยเจริญ, (2548) *การเสริมไขมันปลาในการรักษาโรคที่เกิดการอักเสบ*. *ไทยโภชนาการ*. 2(เดือนกันยายน), 179 -188.

- หน่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมศิลปกรรมท้องถิ่นจังหวัดนครสวรรค์. (2544). *ผลิตภัณฑ์ปลาร้า*: จังหวัดนครสวรรค์. นครสวรรค์: ริมปิงการพิมพ์.
- อดิสรณ์ มนต์วิเศษ, พรทิพย์ ตัดตะวะศาสตร์, สุพจน์ จิตธรรมโม, และแววตา ทองระอา . (2535). *การศึกษาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในสัตว์ทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก*. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- อภิญญา เจริญกุล. (2558). *เอกสารประกอบการสอน วิชาการรวมวิธีการแปรรูปอาหาร1*. สืบค้น 20 กันยายน 2560, จาก <http://sc.npru.ac.th/mua/file/1403167041.pdf>
- อรุณรัตน์ สันฐิติกวินสกุล. 2560. เอกสารประกอบการสอน รายวิชาวิชาเคมีอินทรีย์ 2 (รหัสวิชา 4022313). สืบค้น 20 กันยายน 2560, จาก <http://pws.npru.ac.th/arunrat/index.php?>
- อัยยา กังสุวรรณ, บดินทร์ อธิพิงษ์, และพรรณี ครุชาติ. (2546). ปริมาณการสะสมของโลหะหนักในหมึก. *วารสารการประมง* 50(1): 55-65.
- อำนวย โชติญาณวงษ์. (2524). *การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ประมง*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อุดม สุทธิสุวรรณ. (2531). *หลักการถนอมอาหารเบื้องต้น*. นครศรีธรรมราช: โรงเรียนบ้านนาเคียน.
- Aguilera, J. M. Francke. A., Figueroa, G., Bornharth, C., & Cifuentes, A. (1992). Preservation of minced pelagic fish by combined methods. *International Journal of Food Science & Technology*, 27(2), 171-177.
- Akoh, C.C., & Min, D.B. (2002). *Food Lipids*. Marcel . New York: Marcel Dekker.
- Aranaz, I., Mengibar, M., Harris, R., Panos, I., Miralles, B., Acosta, N., et al. (2009). Functional characterization of chitin and chitosan. *Current Chemical Biology*, 3(2), 203-230.
- Atkinson, A.B., & Rovertson, J. (1979). Captopril in the treatment of clinical hypertension and cardiac failure. *Lancet*, 2, 836-839.
- Belitz, H. D. W. Grosch and P. Schieberle. (2009). *Food Chemistry*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg. crustacean. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 33(6): 579-583.

- Damodaran, S., K.L. Parkin and O.R. Fennema. 2008. *Fennema's Food Chemistry*. 4thed. CRC press, Great Britain.
- Fennema, O.R., K. L. Parkin and S. Damodaran. 2008. *Fennema's Food Chemistry*. 4thed. CRC Press: Boca Raton, FL. Cited D.R. Lide (ed). 1993/1994. Handbook of chemistry and Physics. 74 edn. CRC Press: Boca Raton, FL
- Fennema, O.W. (1996). *Food Chemistry, 3rd ed.* New York: Marcel Dekker.
- Flanjak, J. 1982 Inorganic and organic arsenic in some commercial East Australian crustacean. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 33: 579-583.
- Himaya, S.W.A., Ngo, D.H., Ryu, B., & Kim, S.K. (2012). An active peptide purified from gastrointestinal enzyme hydrolysate of Pacific cod skin gelatine attenuates angiotensin-1 converting enzyme (ACE) activity and cellular oxidative stress. *Food Chemistry*, 132, 1872-1882.
- Huss, H.H. 1995. *Quality and quality changes in fresh fish*. FAO Fisheries Technical paper 348. Rome. Italy.
- Lee, S.H., Qian, Z.J., & Kim, S.K. (2010). A novel angiotensin I converting enzyme inhibitory peptide from tuna frame protein hydrolysates and its antihypertensive effect in spontaneously hypertensive rats. *Food Chemistry*, 118, 96-102.
- Martiñon, M. E., Moreira, R. G., Castell-Perez, M. E., & Gomes C. (2014). Development of a multilayered antimicrobial edible coating for shelf-life extension of fresh-cut cantaloupe (*Cucumis melo* L.) stored at 4°C. *LWT-Food Science and Technology*, 56(2), 341-350. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.11.043>
- Mehas. K. and S. Rodgers. 1994. *Food Science and You*. Macmillan/McGraw-Hill,
- Nakai, S. and H.W. Modler, 1996. *Food Proteins: Properties and Characterization*. VCH Publishers, Inc., New York.
- Ngo, D.H., Qian, Z.J., Ryu, B., Park, J.W., & Kim, S.K. (2010). In vitro antioxidant activity of a peptide isolated from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) scale gelatin

- in free radical-mediated oxidative systems. *Journal of Functional Foods*, 2, 107-117.
- Rungsardthong, V., Wongvuttanakul, N., Kongpien, N., & Chotiwaranon, P. (2006). Application of fungal chitosan for clarification of apple juice. *Process Biochemistry*, 41(3), 589-593.
<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.08.003>
- Saiga, A., Iwai, K., Hayakawa, T., Takahata, Y., Kitamura, S., Nishimura, T., & Morimatsu, F. (2008). Angiotensin I converting enzyme-inhibitory peptides obtained from chicken collagen hydrolysate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 9586-9591.
- Sanchez Pascua, G.L., Casales, M.R., & Yeannes M.I. (1994). Preliminary development of intermediate moisture, pasteurized mackerel (*Scomber japonicus marplatensis*) chunks. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 64(2), 199-204.
- Sidwell, V.D., Loomis, A.L., Foncannon, P.R., & Buzzell, D.H. (1978). *Composition of the Edible Portion of Raw (Fresh or Frozen) Crustaceans, Finfish, and Mollusks. III Microelements. Marine Fisheries Review*, 40(9): 1-20.
- Sivamaruthi BS, Kesika P and Chaiyasut C. (2018). Thai fermented foods as a versatile source of bioactive microorganisms – A comprehensive review. *Scientia Pharmaceutica*. 86: 37.
- Venugopal, V. and F. Shahidi. 1996. Structure and composition of fish muscle. *Food Rev.Int.* 12(2): 175-197.
- Wiriyaphan, C., Chitsomboon, B., & Yongsawadigul, J. (2012). Antioxidant activity of protein hydrolysates derived from threadfin bream surimi byproducts. *Food Chemistry*, 132, 104-111.

ดัชนี

ก		การเนาเสีย	122,125
กรดไขมัน	58,59,60	การบรรจุแบบสุญญากาศ	66
กรดไขมันไม่อิ่มตัว	58,59,60	การบรรจุสัตว์น้ำ	14
กรดอะมิโน	31,55,56	การแปรรูป	14,17,15
กรดอะมิโนโพรลีน	31	การละลาย	24,58,68
กรดอะมิโนอิสระ	73	การล้าง	72,71,78
กรดอินทรีย์	16,124	การสูญเสียสภาพธรรมชาติ ของโปรตีน	73,74,77
กรดแอลฟาอะมิโน	54	การเสื่อมเสีย	82,101
กระดูก	71,72,73	การออกซิเดชัน	70
กล้ามเนื้อดำ	70,73,80	กุ้ง	1,2,17,19
กลี้นขาว	72,96	เกลือ	61,67,80
กลี้นรส	109,114	เกลือ	16,23,25
กลี้นหีน	66,67,68	กำมะถัน	73,74,115
กลูโคส	27	การเก็บรักษา	113,114,117
กัวนิติน	72	การเกร็งตัว	71,122
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	91,121,124	การขนส่งสัตว์น้ำ	14
ข		ดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ	17
ไขมัน	15,54,56	ไดเมทิลเอมีน	70
ค		ไดเอทิลอีเทอร์	84
ครีป	8,71,74	ด	
คาร์บอน	82,89,91	ตะกั่ว	71,78
คุณภาพทางประสาท	116	ท	
สัมผัส			
แคดเมียม	77,78,79	ทองแดง	74,75
แคลเซียม	75,79,126	ทอรีน	73

ความชื้น	82,85,94	โทรโปนิน	70
คอลลาเจน	15,58,71	โทรโปไมโอซิน	70,71
คอเลสเตอรอล	63,64	น	
คาเทปซิน	70	น้ำ	70,71,72
คาร์บอกซิล	31,55	น้ำตาล	70,96
คาร์บอนไดออกไซด์	82,89,120	นิวคลีโอไทด์	73
จ		นิวคลีโอโปรตีน	59
จุลินทรีย์	82,101	ไนโตรเจน	72,63,89
ด		บ	
ดัชนี	61,70	แบคทีเรีย	72,73
ไบโอทิน	71	พาราไมโอซิน	70
ป		เพปไทด์	72,73,80
ปรอท	77,78,79	ย	
ปริมาณจุลินทรีย์	117	ยับยั้ง	66,82
ปลา	120,121	ยีสต์	117,120,121
ปลาหมึก	81,111	ยูเรีย	72
ปู	122,123	ร	
แปรรูปอาหาร	66,101	รส	72,73,75
โปรตีน	1,16,23	แร่ธาตุ	71,72,73
โปรตีนซาร์โคพลาสมิก	67,68	ล	
โปรตีนไมโอซิน	65,76	เลือด	64,96,97
โปรตีนเนส	123,126	ว	
ผ		วิตามิน	109,114,115
ผิวหนัง	65,79,84	ส	
พ		สมบัติทางเคมี	74
พันธะแบบเอไมด์	74	สัตว์น้ำ	74,75,76
พันธะเพปไทด์	54,55	สารประกอบไนโตรเจน	70,72

พันธะไอออน	54,56	สารประกอบพีนอล	116
พันธะไฮโดรเจน	54,76	สารพิษ	16,127
สารหนู	77,79	อ	
สารอิมัลซิไฟเออร์	74,75,79	ออกซิเจน	31,68
สาหร่าย	74	อ็อกซีเมไโอโกลบิน	69
ห		อะตอม	69,70
หมัก	74,75,77	เอทานอล	58
ห่วงโซ่อาหาร	14	เอนไซม์	58,59,60
หอย	19,60,70	เอนไซม์อัลคาไลแอคติน	97
เหล็ก	31,72	แอมโมเนีย	30
		แอลกอฮอล์	84,120
		แอลฟาไลโนเลนิก	60
		ฮ	
		ไฮดรอกซีโพรลีน	54
		ไฮโดรเจน	54,69
		Index	
A		Contact freezer	84
Acetobacter	121	Continuous belt	87
		air blast	
Acetobacter aceti	121	Continuous type	85
Acetylcholine	64	Cryogenic freezer	89
air blast	83,85	cryoprotectants	96
air blast freezer	85,87	curing	120,19
Alcohol	121	D	
fermentation			
alkaline	97	dark smoking	116
amphoteric	57	dehydration	22,92
antioxidant	82,114	DHA	58,59

ATP	73	Drum drying	108,109
B		Dry ice	82
<i>Bacillus</i>	123,124	E	
Batch freezing	84	Electrostatic smoking	116
Batch type	85	enzyme	79,82,120
Black spot	69	Enzyme hydrolyzed product	120
blueing	69	EPA	5,15
C		F	
carbonization	115	fermentation	120,121
CFC	83	Fermented food	120,121
chilled foods	16	fluidization	115
Chlorofluorocarbon	83	fluidized air blast freezer	88
<i>Clostridium</i>	16,127	Freeze drying	109
Combi	17,127	friction	115
Competitive flora	16	freezer	83,84
G		P	
gapping	71	pH	67,68,69
Genetic Engineering	127	Post-rigor mortis	122
Glucono-delta-lactone	127	proteinase	122
glycerol	84,120	R	
greening	70	Recombinant DNA Technology	127
H		refrigerant	82
Hurdle	16	rying	101,102

I

Ice mixture 82

Industrial 127

Microbiology

IQF 88,89

L

Lactic acid 120,122

lipase 68,68

Liquid carbon 82

dioxide

Liquid freezant 82

Liquid nitrogen 82

M

MAP 82

microbial 52

Minced fish 95

Moist smoking 116

Multi flight 95

S

Surimi 69,82,96

TTrimethylamine
oxide 72Tunnel air blast
freezer 87

Tunnet drying 90

V

Vinegar production 121

W

Water activity 16,25,113

ประวัติผู้เขียน

ยุพา บุญมี

ที่อยู่ (ที่ทำงาน)

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

131 หมู่ 10 ต.พลวง อ. เขาคิชฌกูฏ จ.จันทบุรี 22210

โทรศัพท์ (039) 307270, 086-3386360

โทรสาร (039) 307270

E-mail address: yupha49.b@gmail.com

ประวัติการศึกษา

จบการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ประมง) จาก

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน ปีการศึกษา 2545

จบการศึกษาระดับปริญญาโท วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ผลิตภัณฑ์ประมง) จาก

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน ปีการศึกษา 2550

ผลงานทางวิชาการ

ยุพา บุญมี. (2552). ชนิดของสมุนไพรที่เหมาะสมในการผลิตแหนมปลา. (รายงานการวิจัย).

จันทบุรี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี.

