

ปรอทในเนื้อเยื่อปลาหลังที่จับจากอ่าวไทยและปริมาณแนะนำสำหรับบริโภค

ศิวนาถ แฝงพันธ์

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Mercury in mackerels caught in Gulf of Thailand and
the recommended amount for consumption.

Siwanath Pangpunth

A Senior Project in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Bachelor of Science in Marine Science
Department of Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Academic Year 2020

หัวข้อโครงการ

ปรอทในเนื้อเยื่อปลาทุลงที่จับจากอ่าวไทยและปริมาณแนะนำสำหรับ
บริโภค

โดย

นางสาวศิวนาถ แพ่งพันธ์

ภาควิชา

วิทยาศาสตร์ทางทะเล

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก

อาจารย์ ดร.สุจारी บุรีกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับโครงการ
ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาบัณฑิต ในรายวิชา 2309499 โครงการวิทยาศาสตร์

..... หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล

(ศาสตราจารย์ ดร.วรรณพ วิทยาภรณ์)

คณะกรรมการสอบโครงการ

..... อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก

(อาจารย์ ดร.สุจारी บุรีกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุชานา ชวนิชย์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัทมา สิงห์รักษ์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมฤดี จิตประไพ)

..... กรรมการ

(อ.ดร.สุธาพร บุญญเจตน์พงษ์)

Project Title Mercury in mackerels caught in Gulf of Thailand and the recommended amount for consumption.
By Siwanath Pangpunth
Field of study Marine Science
Advisor Sujaree Bureekul, Ph.D.
Co-advisor Assistant Professor Penjai Sompongchaiyakul, Ph.D.

Accepted by the Department of Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirement for the bachelor's degree



..... Head of Marine Science Department

(Prof. Voranop Viyakarn, Ph.D.)

PROJECT COMMITTEE



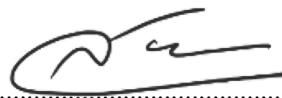
..... Project Advisor

(Sujaree Bureekul, Ph.D.)



..... Project Co-advisor

(Asst. Prof. Penjai Sompongchaiyakul, Ph.D.)



..... Member

(Assoc. Prof. Suchana Chavanich, Ph.D.)



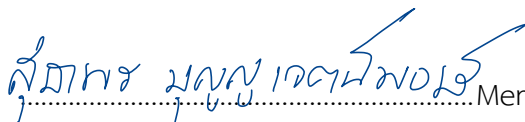
..... Member

(Asst. Prof. Patama Singhruck, Ph.D.)



..... Member

(Asst. Prof. Somrudee Jitpraphai, Ph.D.)



..... Member

(Sutaporn Bunyajetpong, Ph.D.)

ชื่อโครงการ	ปรอทในเนื้อเยื่อปลาหลังที่จับจากอ่าวไทยและปริมาณแนะนำสำหรับบริโภค
ชื่อนิติ	นางสาวศิวนาถ แผงพันธ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.สุจารี บุรีกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล
ปีการศึกษา	2563
ภาควิชา	วิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

ตัวอย่างปลา 109 ตัวอย่างที่จับจากอ่าวไทยด้วยเรือประมงพื้นบ้านและเรือประมงพาณิชย์ในพื้นที่จังหวัดชุมพรและประจวบคีรีขันธ์ ในวันที่ 6 มิถุนายน จำนวน 71 ตัว และวันที่ 7 ตุลาคม 2563 จำนวน 38 ตัว นำมาวัดขนาด ชั่งน้ำหนักและแยกชนิดโดยใช้สัดส่วนระหว่างความยาวตรงรอยเว้าครีบทองและความลึกลำตัว ได้เป็นปลาลัง (*Restrelliger kanaguru*) จำนวน 96 ตัว และปลาทุ (*Restrelliger brachysoma*) จำนวน 13 ตัว จากนั้นตัดชิ้นส่วนกล้ามเนื้อใต้ครีบทอง มาสับละเอียดและย่อยด้วยกรดไนตริกและสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นปรอทด้วยเทคนิค Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry (CVAAS) ระดับปรอทในเนื้อเยื่อปลาลังและปลาทุมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.011 ± 0.007 และ 0.013 ± 0.005 ไมโครกรัม/กรัม นน.เปียก ตามลำดับ และมีช่วงความเข้มข้นของปรอทระหว่าง 0.001 – 0.022 และ 0.005 – 0.022 ไมโครกรัม/กรัม นน.เปียก ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ระหว่างระดับความเข้มข้นของปรอทกับชนิดของปลาและฤดูกาล แต่พบมีความสัมพันธ์กับความยาวลำตัวปลาและน้ำหนักตัวอย่างปลาทั้งหมดมีค่าความเข้มข้นปรอททั้งหมดไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานปรอทในเนื้อเยื่อปลา ของ Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA , 2015) คือมีค่าไม่เกิน 0.5 ไมโครกรัม/กรัม นน.เปียก ทั้งนี้ค่าสัดส่วนความเสี่ยงอันตราย (HQ) มีค่าน้อยกว่า 1 จึงไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพผู้บริโภคปลาและหลังที่จับจากอ่าวไทยและปริมาณแนะนำสำหรับการบริโภคอย่างปลอดภัยต่อสัปดาห์ สำหรับคนไทยและคนทั่วไปที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 50 และ 60 กิโลกรัมมีค่าเท่ากับ 1.84 และ 2.21 กิโลกรัม ตามลำดับ

คำสำคัญ: ปลาทุ ปลาลัง ปรอท ค่าสัดส่วนความเสี่ยงอันตราย ปริมาณแนะนำสำหรับการบริโภค

Project Title	Mercury in mackerels caught in the Gulf of Thailand and the recommended amount for consumption.
Name	Siwanath Pangpunth
Advisor	Sujaree Bureekul, Ph.D.
Co-advisor	Assistant Professor Penjai Sompongchaiyakul, Ph.D.
Academic Year	2020
Department	Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University

Abstract

One hundred and nine mackerels were collected in the Gulf of Thailand by local and commercial fisheries in Chumphon and Prachuap Khiri Khan Provinces on June 6, and on October 7, 2020, totaling 71 and 38, respectively. Size, length, and bodyweight measured and classified using ratio of fork length and body depth into Indian mackerel (*Restrelliger kanagurtu*) 96 samples, and short mackerel (*Restrelliger brachysoma*) 13 samples. Flesh muscle near dorsal fin was dissected, and homogenized. Later, digested with nitric acid and potassium permanganate solution and analyzed using by Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry (CVAAS) technique. Mean concentration of total mercury (T-Hg) in Indian mackerels and short mackerel were 0.011 ± 0.007 and 0.013 ± 0.005 with the concentrations ranged between 0.001 - 0.022 and 0.005 - 0.022 $\mu\text{g/g}$ wet weight, respectively. The correlation between concentration with different species and sampling season was not observed statically ($P > 0.05$). However, there was a relationship between T-Hg with fish size and weight. Overall, samples contained T-Hg less than the permissible level for edible fish (0.5 $\mu\text{g/g}$ wet weight) from the guideline of Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA, 2015). The hazardous quotient (HQ) value for all samples were less than 1 indicating no consumption risk associated with mackerels caught in the Gulf of Thailand. The recommended safely weekly intake amount for the average person weighing 50 and 60 kg are to 1.84 and 2.21 kg, respectively.

Keyword: Short mackerel, Indian mackerel, Mercury, hazardous quotient, PTWI

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.สุจारी บุรีกุล และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำการวางแผนการเก็บตัวอย่าง และตรวจสอบแก้ไข โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ฉบับนี้จนสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศานิต ปิยพัฒนากร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรณ์รวิ เอี่ยมสมบูรณ์ คุณเสรี ดอนเหนือ และทีมงานในโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริฯ สมเด็จพระเทพรัตนราชกุมารี (อพ.สธ.) ซึ่งสนองพระราชดำริโดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนการเก็บตัวอย่างปลาตุลิ่ง ขอขอบคุณ คุณธนกร อุบลแย้ม และคุณปรีชา เสนสิทธิ์ ที่ได้ให้การช่วยเหลือ แนะนำการใช้เครื่องมือและอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ ครอบครัว เพื่อน พี่ น้อง ภาควิชาวิทยาศาสตร์ และคนใกล้ชิดทุกท่าน ที่ให้กำลังใจ รวมทั้งช่วยเหลือในการทำโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ครั้งนี้สำเร็จไปได้อย่างดี

ศิวนาถ แฝงพันธ์

พฤษภาคม 2564

สารบัญ

บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการศึกษา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและการศึกษาที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 พรอท	3
2.1.1 พรอทในสิ่งแวดล้อม	3
2.1.2 พรอทในสิ่งมีชีวิต	5
2.1.3 เส้นทางพรอทเข้าสู่ร่างกายมนุษย์	7
2.1.4 ความเป็นพิษของพรอท	7
2.2 ปลาทุลั้ง	8
2.2.1 ลักษณะทั่วไป	8
2.2.2 วงจรชีวิตและการวางไข่	10
2.2.3 การประมงในอ่าวไทย	10
2.3 การประเมินความเสี่ยง	12
2.3.1 มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน	12
2.3.2 ปริมาณพรอทที่ยอมรับได้สำหรับบริโภค	12
2.3.3 การประเมินความเสี่ยง	13
บทที่ 3 วิธีการศึกษา	14
3.1 พื้นที่ศึกษา	14
3.2 การเก็บข้อมูลและการเตรียมตัวอย่าง	14
3.3 การจัดกลุ่มปลาทุลั้งและปลาทุ.....	15
3.4 การวิเคราะห์พรอทในเนื้อเยื่อปลา	16
3.4.1 การทำความสะอาดอุปกรณ์และภาชนะที่ใช้ในการวิเคราะห์	16
3.4.2 รีเอเจนต์	16
3.4.3 การวิเคราะห์พรอทในสารละลายมาตรฐาน	17

สารบัญ

3.4.4 การย่อยตัวอย่างปลาสำหรับวิเคราะห์หาปรอท	19
3.4.5 การวิเคราะห์ปรอทในสารละลายตัวอย่าง	20
3.5 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์.....	20
3.6 การวิเคราะห์ความเสี่ยงในการบริโภค	21
3.6.1 ความเสี่ยงเบื้องต้น.....	21
3.6.2 การประเมินความเสี่ยงจากการได้รับปรอทเป็นเวลานาน	21
3.6.3 การประเมินปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภค.....	21
บทที่ 4 ผลการศึกษา และวิจารณ์ผล.....	22
4.1 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ปรอทในเนื้อเยื่อปลา	22
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าต่ำสุดของการตรวจวัด	22
4.1.2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ด้วยสารอ้างอิงมาตรฐาน	23
4.1.3 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างซ้ำ	24
4.2 ปรอทในเนื้อเยื่อปลาทุและล้างที่จับจากอ่าวไทย	24
4.2.1 ความเข้มข้นปรอทในเนื้อเยื่อปลาตัวอย่าง	24
4.2.3 ความเข้มข้นของปรอทกับการเติบโต	25
4.2.4 ความเข้มข้นปรอทในปลาล้างที่เก็บตัวอย่างเดือนมิถุนายนและตุลาคม.....	27
4.3 การประเมินความเสี่ยงในการบริโภค.....	29
4.3.1 ความเสี่ยงเบื้องต้นจากการบริโภคปลาทุล้าง	29
4.3.2 ความเสี่ยงจากการได้รับปรอทเป็นเวลานาน.....	29
4.3.3 ปริมาณปลอดภัยสำหรับการบริโภคต่อสัปดาห์	30
บทที่ 5 สรุปผลศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	31
5.1 สรุปผลการศึกษา	31
5.1.1 ปริมาณปรอทในเนื้อเยื่อปลา	31
5.1.2 ความเสี่ยงและปริมาณปลอดภัยต่อการบริโภคปลาทุและปลาล้าง	31
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	32
เอกสารอ้างอิง.....	35
ภาคผนวก	41
ก. ข้อมูลการวิเคราะห์ปรอทในเนื้อเยื่อปลาทุ-ล้าง.....	42
ข. ตัวอย่างการคำนวณค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient)	47
ค. ตัวอย่างการคำนวณปริมาณที่ปลอดภัยสำหรับบริโภค	48

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	5
2.2	6
2.3	6
2.4	9
2.5	11
3.1	14
3.2	15
3.3	17
3.4	18
3.5	19
4.1	25
4.2	26
4.3	27
4.4	28

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ความเข้มข้นของปรอท (ppb) ที่พบในสิ่งแวดล้อมในอ่าวไทย.....	4
2.2	ค่าสูงสุดของปริมาณสารปนเปื้อนในอาหารที่ยอมให้มีได้ (Maximum Level).....	12
3.1	ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานกับค่าการดูดซับ.....	18
4.1	ค่าความเข้มข้นต่ำสุด (limit of detection) ของตรวจวัด.....	22
4.2	ค่าความเข้มข้นปรอทที่ตรวจวัดได้ในสารอ้างอิงมาตรฐาน DORM-4.....	23
4.3	ค่าเฉลี่ยและช่วงของความยาวและน้ำหนักตัวปลาและความเข้มข้นปรอท.....	24
4.4	ความเข้มข้นปรอทในเนื้อเยื่อปลาทุกลังที่จับจากอ่าวไทยเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน...	29
4.5	ค่าสัดส่วนความอันตรายและปริมาณแนะนำสำหรับบริโภคปลาทุกลัง.....	30
ผ.1	ผลการวิเคราะห์ปรอทในตัวอย่างปลาซ้ำ 21 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 109 ตัวอย่าง.....	42
ผ.2	ความเข้มข้นปรอทและขนาดตัว ค่าสัดส่วนอันตรายและปริมาณแนะนำสำหรับบริโภค.....	43

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการศึกษา

อ่าวไทยมีพื้นที่ทั้งหมด 270,000 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นปริมาตรของอ่าว 12,510 ลูกบาศก์กิโลเมตร (Robinson, 1974) ภูมิฐานของพื้นที่อ่าวไทยมีลักษณะเป็นแอ่งกระทะที่เกิดจากการสะสมตัวของตะกอนในแนวเหนือใต้ (สุคนธ์เมธ จิตรมหันตกุล, 2555) และมีการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ในหลากหลายรูปแบบ ได้แก่ การเดินเรือ การประมง และการขุดเจาะปิโตรเลียม เป็นต้น สำหรับก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบในอ่าวไทยนับเป็นแหล่งพลังงานหลักในรูปปิโตรเลียมที่ผลิตได้จากในประเทศ เป็นกิจกรรมที่อาจส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักจำพวกปรอท ก่อให้เกิดการปนเปื้อนสู่ทะเลตะกอนดิน และสิ่งมีชีวิตบริเวณรอบแท่นผลิตปิโตรเลียมได้ (สมเกียรติ ปิยะธีรธิดารกุล, 2553)

ในน้ำทะเลและดินตะกอนพื้นที่อ่าวทะเลจะพบการสะสมของปรอทในรูปปรอทอนินทรีย์ (Inorganic mercury) มากกว่าปรอทอินทรีย์ (Organic mercury) ที่มักจะพบอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต แต่อย่างไรก็ตามปรอทที่พบนี้มีแหล่งกำเนิดจากสองแหล่งคือ เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น การประทุของภูเขาไฟ การกัดกร่อนของแผ่นเปลือกโลก รวมทั้งละอองลอยจากอากาศ (Lindberg et al., 1987) ส่วนอีกแหล่งกำเนิดได้แก่ กิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เช่น การปล่อยน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือกิจกรรมในครัวเรือนรวมทั้งกิจกรรมขุดเจาะและสำรวจปิโตรเลียม (Cossa et al., 1996)

ปรอทที่อยู่ในรูปอนินทรีย์ที่พบในน้ำทะเลและดินตะกอนนั้นสามารถถูกเปลี่ยนเป็นปรอทอินทรีย์ได้ด้วยกระบวนการ methylation และสะสมในเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิตตั้งแต่ระดับ primary producer ได้แก่ แพลงก์ตอนพืช หรือสาหร่าย และถ่ายทอดและสะสมตามลำดับชั้นในห่วงโซ่อาหาร (trophic level) โดยเฉพาะการสะสมในเนื้อเยื่อปลา ซึ่งเป็นผู้บริโภคในลำดับสูง (higher trophic level) และสุดท้ายสามารถส่งต่อและถ่ายทอดสู่มนุษย์ซึ่งเป็นผู้บริโภคลำดับสุดท้ายได้ผ่านการบริโภคอาหารทะเล

เนื่องจากปลาเป็นแหล่งอาหารที่ให้คุณค่าทางโภชนาการสูง และมีความต้องการในการบริโภคแพร่หลายในประเทศ และมีการทำประมงทั้งในเชิงประมงพาณิชย์และประมงพื้นบ้านในพื้นที่อ่าวไทย ทำให้การบริโภคปลาในอ่าวไทยเป็นหนึ่งในเส้นทางที่ทำให้ได้รับโอกาสสัมผัสปรอทได้เช่นกัน รวมทั้งปลาหู ซึ่งเป็นปลาในกลุ่มปลาเบญจพรรณที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงและนิยมบริโภคกันมาก (กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง, 2559)

จากข้อมูลการสำรวจปริมาณสัตว์น้ำ ณ ท่าขึ้นปลาน้ำในจังหวัดชายทะเล 22 แห่งทั้งท่าเรือประมงพาณิชย์และท่าเรือประมงพื้นบ้าน ที่ครอบคลุมพื้นที่น่านน้ำไทย พบว่าปลาหูมีปริมาณการขึ้นท่ารวมทั้งหมด 24,373 ตันต่อปี (กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง, 2562) และขนาดของปลาสัมพันธ์กับอุปกรณ์ประมงที่ใช้ เช่นอวนเขียวจับได้ปลาหูที่มีขนาดใหญ่ (พัชรี พันธุ์เอง และ นพรัตน์ ราชสุชล, ม.ป.ป.) ทำให้การบริโภคปลาหูที่มีขนาดแตกต่างกันอาจส่งผลต่อการสะสมปรอทในร่างกายได้ด้วย

เนื่องจากปลาทูเป็นปลาที่มีการบริโภคอย่างแพร่หลายในประเทศไทย การศึกษาครั้งนี้จึงเลือกศึกษาปริมาณปรอทที่สะสมในเนื้อเยื่อปลาทูที่จับได้จากอ่าวไทย เปรียบเทียบกับขนาดของปลาที่พบ และประเมินความเสี่ยงในการบริโภค พร้อมทั้งหาปริมาณแนะนำสำหรับบริโภคเพื่อความปลอดภัย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

ศึกษาระดับการสะสมของปรอทในเนื้อเยื่อปลาทูที่จับจากเรือประมงในอ่าวไทย และประเมินความเสี่ยงในการบริโภค

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบปริมาณปรอทในเนื้อเยื่อปลาทูที่จับจากอ่าวไทย
2. ทราบความเสี่ยงในการรับสัมผัสปรอทจากการบริโภคปลาทูที่จับจากอ่าวไทย
3. ทราบปริมาณแนะนำสำหรับบริโภค

บทที่ 2 ทฤษฎีและการศึกษาที่เกี่ยวข้อง

2.1 พรอท

พรอท เป็นธาตุโลหะลำดับที่ 80 มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 200.59 และอยู่ในกลุ่มโลหะทรานซิชัน มีคุณสมบัติคล้ายโลหะทั่วไปคือมีความมันวาวและสะท้อนแสง แต่เป็นโลหะชนิดเดียวที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องรวมทั้งระเหยเป็นไอพรอทได้เมื่อถูกความร้อน และในธรรมชาติสามารถพบพรอทได้ทั้งที่เป็นพรอทบริสุทธิ์ หรือในรูปสารประกอบของพรอทอินทรีย์และพรอทอนินทรีย์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2545) ซึ่งพบว่าพรอทแต่ละรูปแบบมีความเป็นพิษไม่เท่ากัน

สารพรอทบริสุทธิ์ หรือ elemental mercury (Hg^0) เป็นธาตุที่มีสถานะเป็นของเหลวที่กลายเป็นไอระเหยที่อุณหภูมิห้อง เมื่อถูกออกซิไดซ์จะเกิดเป็น mercurous compound ($Hg I$) ที่มีเลขออกซิเดชัน (+1) และ mercuric compound ($Hg II$) ที่มีเลขออกซิเดชันเป็น (+2) (Moore and Ramamoorthy, 1984 และ Loux, 1998) โดยสาร mercuric compound ที่พบในน้ำทะเลและดินตะกอนได้มากที่สุดคือสารประกอบ mercuric chloride ($HgCl_2$) (Morel et al., 1973; Sibley and Morgan, 1977) แต่ถ้าเป็นปากแม่น้ำ (estuaries) หรือบริเวณที่มีความเค็มต่ำ จะพบสารประกอบ $Hg(OH)_2$ ได้มากกว่า (Lockwood and Chen, 1973) สำหรับในแหล่งน้ำที่มีสภาวะออกซิเจนละลายน้ำต่ำ (hypoxia) จะส่งเสริมให้เกิดกระบวนการ Methylation โดยสิ่งมีชีวิตจำพวกแบคทีเรียพวก sulfate reducing bacteria ทำให้เกิดสารประกอบ organo-mercury ที่มีความเป็นพิษสูง (Wood, 1987) เช่น dimethyl mercury และ methyl mercury ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีความเป็นพิษสูง และละลายในไขมันได้ดี ทำให้สามารถผ่านเข้า Blood-Brain Barrier ส่งผลต่อการทำงานของระบบประสาทของสิ่งมีชีวิต (ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์ และ พิมล เรียนวัฒนา, 2525; ปิยะรัตน์ อุตสาหกรรม, 2548)

2.1.1 พรอทในสิ่งแวดล้อม

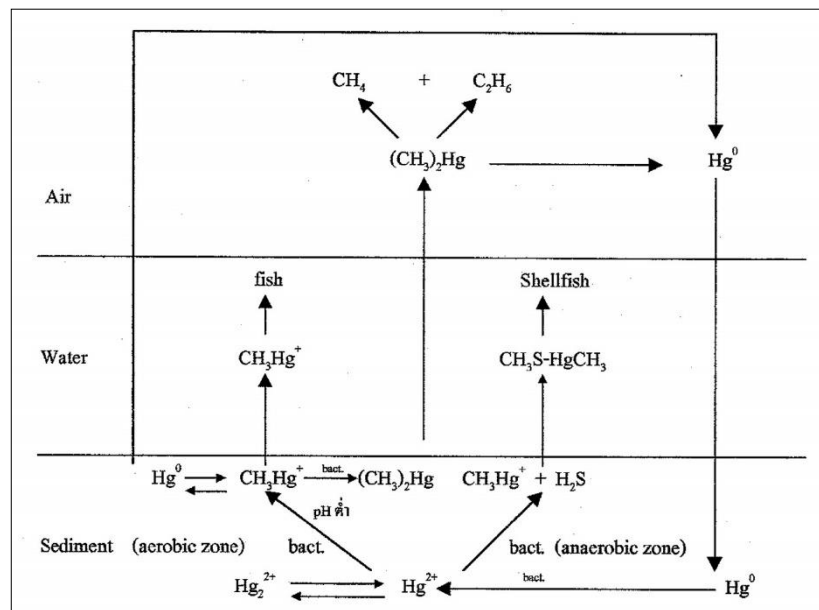
ที่มาของพรอทในสิ่งแวดล้อมแบ่งออกได้เป็น 2 แหล่ง ได้แก่ พรอทที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (natural source) และพรอทที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ (anthropogenic source) ทั้งนี้ระดับพรอทจะพบในปริมาณที่แตกต่างกันตามตัวกลางสิ่งแวดล้อม (environmental media) กล่าวคือในดินตะกอนมักพบมีปริมาณพรอทประมาณสูงกว่าในอากาศและน้ำทะเล แต่มีปริมาณน้อยกว่าในเนื้อเยื่อปลา ดังแสดงในตารางที่ 2.1 อย่างไรก็ตามปริมาณพรอทที่พบในธรรมชาติมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ผิวบนโลก

ตารางที่ 2.1 ความเข้มข้นของปรอท (ppb) ที่พบในสิ่งแวดล้อมในอ่าวไทย

สิ่งแวดล้อม	ความเข้มข้นเฉลี่ย (ppb)	ช่วงความเข้มข้น (ppb)	เอกสารอ้างอิง
ดินตะกอน	33.7 ± 12.7	7.3 – 64.5	(เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล, เบญจวรรณ แสนสิทธิสกุล เลิศ และพิสุทธิ เทศสวัสดิ์, 2556)
อากาศ	0.002	-	(กรมควบคุมมลพิษ, 2545)
น้ำทะเลระดับผิว	< 2	0.2 – 33.1	(เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล และ ปรีชา แสนสิทธิ, 2556)
สัตว์ทะเลจับจากอ่าวไทย ปี 2546		17 – 2,442	(ณัฐริกา บัวเพชร, 2560)
ปลาทรายแดง	345 ± 206	-	"
ปลาสำลี	173 ± 63	-	"
ปลาเห็ดโคน	202 ± 197	-	"

ส่วนปรอทที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์นั้นพบได้จากหลายกิจกรรม เช่น ใช้ในกระบวนการผลิตโซดาไฟและคลอรีน โดยใช้ปรอทในรูป Hg electrode หรือการใช้ mercuric oxide (HgO) ในการผลิตเม็ดสี อีกทั้งกระบวนการเผาไหม้ถ่านหิน น้ำมันและแก๊สธรรมชาติ นั้นมีปรอทเป็นส่วนประกอบ นอกจากนี้ยังมีการใช้ปรอทอินทรีย์เพื่อกำจัดเชื้อรา หรือ เพื่อป้องกันแมลงในอุตสาหกรรมเกษตรอีกด้วย (ปิยะรัตน์ อุตสาหกรรมพานิช, 2548) การใช้ประโยชน์จากปรอทอย่างหลากหลาย ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบทางเคมีของปรอท และปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมทั้งในรูปของสารละลายหรือไอระเหย เมื่อตกสะสมในแหล่งน้ำบนบกและน้ำทะเล ปรอทบางส่วนจะละลายอยู่ในมวลน้ำ และบางส่วนถูกเหนี่ยวนำจากไอออนชนิดอื่น กลายเป็นสารแขวนลอยในรูปปรอทอินทรีย์และตกตะกอนลงสู่ดินตะกอนพื้นท้องทะเล (ปิยะรัตน์ อุตสาหกรรมพานิช, 2548)

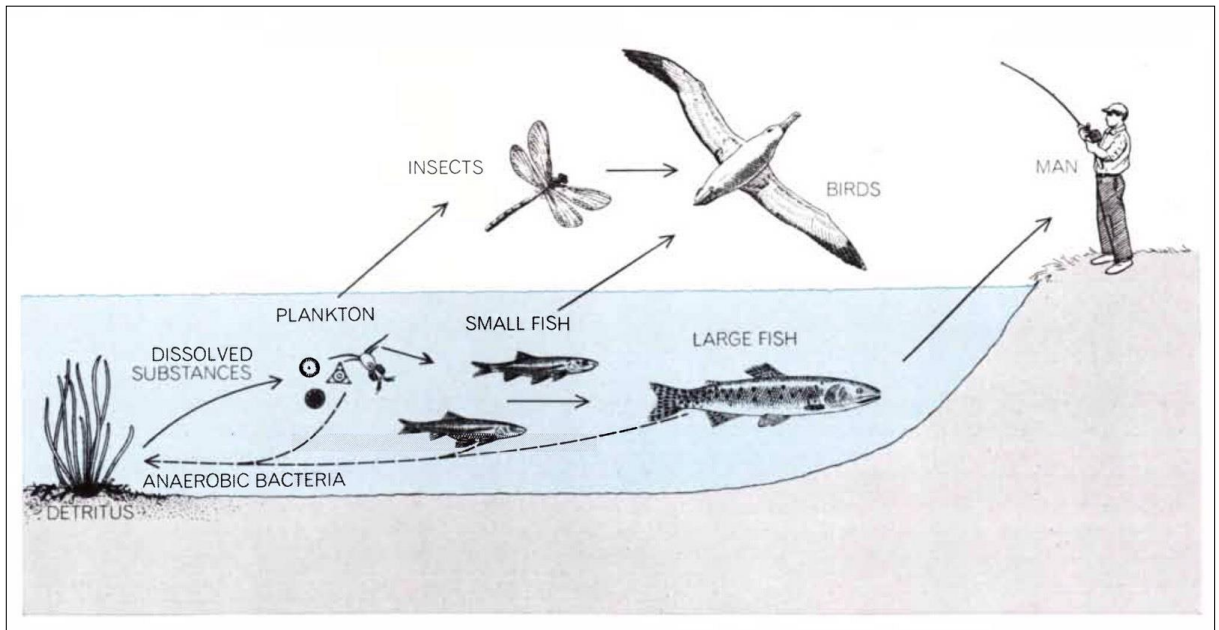
ในดินตะกอนมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ชนิด methanogenic bacteria ที่มีความสามารถในการเปลี่ยนรูปจากปรอทอินทรีย์ให้กลายเป็นปรอทอินทรีย์ทั้ง methylmercury และ dimethylmercury ได้ (ปิยะรัตน์ อุตสาหกรรมพานิช, 2548) ทั้งนี้ปรอทอินทรีย์ทั้งสองรูปนี้มีความสามารถในการละลายและระเหยที่แตกต่างกัน dimethylmercury มีความสามารถในการระเหยสูงกว่าและสามารถปลดปล่อยสู่อากาศได้ สำหรับปรอทอินทรีย์ในรูป methylmercury (CH_3Hg^+) สามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดเป็นสารประกอบอินทรีย์ในรูป dimethylmercury sulfide ($\text{CH}_3\text{S-HgCH}_3$) ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่สามารถเข้าสู่เนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต สะสมและถ่ายทอดตามลำดับชั้นในห่วงโซ่อาหารต่อไปได้ (Wood, 1968) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



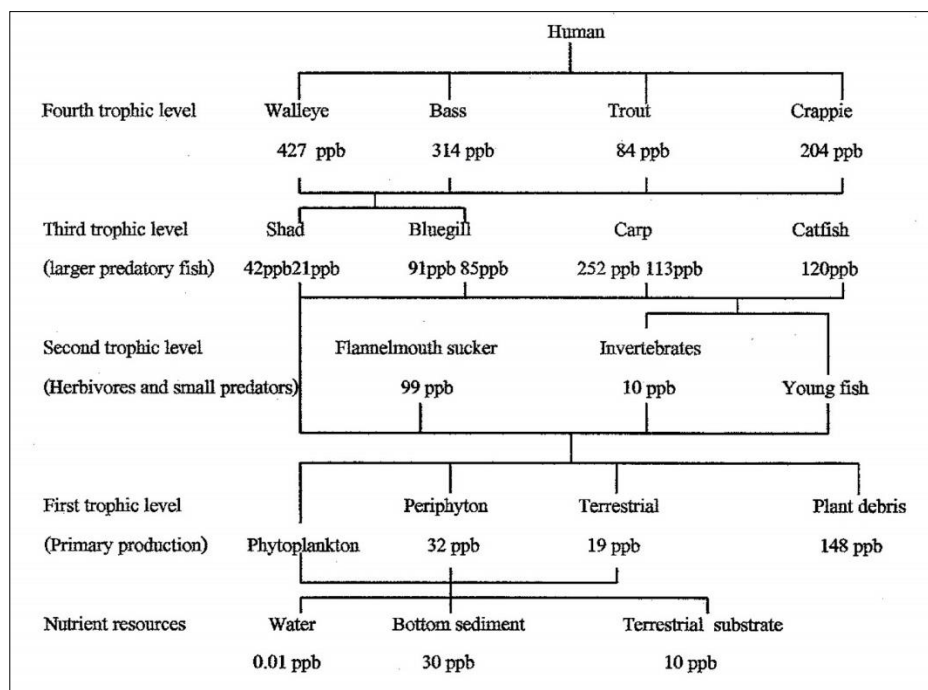
รูปที่ 2.1 วัฏจักรทางชีวธรณีเคมีและการเปลี่ยนรูปแบบสารปรอทในสิ่งแวดล้อม
(Wood, 1968)

2.1.2 ปรอทในสิ่งมีชีวิต

ปรอททั้งในรูปปรอทอนินทรีย์และปรอทอินทรีย์ที่ละลายและแขวนลอยอยู่ในน้ำทะเลนั้น สามารถเคลื่อนย้ายเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารได้ แพลงก์ตอนพืชผู้ผลิตที่สำคัญในห่วงโซ่อาหาร สามารถรับปรอทอนินทรีย์และปรอทอินทรีย์เข้าสู่เซลล์ ปรอทอนินทรีย์เป็นรูปที่สามารถกำจัดออกพร้อมของเสียในรูปอื่น และไม่สะสมในเนื้อเยื่อ ส่วนปรอทอินทรีย์ในรูป methylmercury นั้นสามารถเข้าไปสะสมใน cytoplasm ของเซลล์แพลงก์ตอนพืชได้ (Mason et al., 1995) และเมื่อแพลงก์ตอนสัตว์หรือผู้บริโภคลำดับที่ 1 บริโภคแพลงก์ตอนพืช ปรอทจะเข้าไปในร่างกายของสิ่งมีชีวิตนั้นและสะสมเพิ่มมากขึ้น เรียกว่าการสะสมทางชีวภาพ (bioaccumulation) (Pentreath, 1976a,b; Bryan, 1979; Nishimura and Kumagai, 1983) สำหรับปลา ปรอทอินทรีย์ที่รับมาจะสร้างพันธะกับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดและเข้าไปสู่ระบบต่าง ๆ ของร่างกายได้ตามการไหลเวียนเลือด (Zillioux, 2015) และพบมีการสะสมปรอทเป็นปริมาณที่สูงขึ้นตามการเติบโตของปลา (Zillioux, 2015) จนสุดท้ายปรอทสามารถถ่ายทอดเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ผ่านทาง การบริโภค ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และ 2.3



รูปที่ 2.2 การถ่ายทอดสารปรอทผ่านห่วงโซ่อาหารสู่มนุษย์ (Leonard, 1971)



รูปที่ 2.3 การเพิ่มขยายทางชีวภาพ (biological magnification) ของปรอทในห่วงโซ่อาหาร (Moore and Elizabeth, 1976)

จากรูปที่ 2.3 แสดงการสะสมปรอทในสิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหารแบ่งตามลำดับชั้น ออกเป็น 4 ระดับก่อนจะมาถึงมนุษย์ ระดับผู้ผลิตขั้นต้น (First trophic level) ทำหน้าที่เป็นผู้ผลิตจึงรับปรอทเข้าสะสมในร่างกายโดยตรงจากสภาพแวดล้อม การสะสมปริมาณปรอทของสิ่งมีชีวิตในระดับนี้จะเพิ่มขึ้นตามการเติบโตและตามระดับความเข้มข้นของปรอทในสิ่งแวดล้อมที่อาศัย กล่าวคือเป็นการเพิ่มขึ้นตามการสะสมทางชีวภาพ (bioaccumulation) ลำดับถัดมาหรือ ผู้บริโภคอันดับที่ 1 (Second trophic level) ซึ่งสะสมปรอททั้งจากอาหารและรับผ่านทางสภาพแวดล้อมด้วย เกิดการสะสมปรอทในเนื้อเยื่อที่สูงมากขึ้น เช่นเดียวกับระดับผู้บริโภคในอันดับสูงขึ้นไปเป็นผู้บริโภคทั้งพืชและสัตว์ และผู้ล่าในห่วงโซ่อาหาร ที่สะสมปรอทผ่านทางอาหารที่กิน ซึ่งมีระดับปรอทสูงขึ้นตามลำดับในห่วงโซ่อาหาร การเพิ่มระดับปรอทในเนื้อเยื่อเป็นทวีคูณจากผู้ผลิตขั้นต้น เรียก การเพิ่มขยายทางชีวภาพ (biomagnification) (Thompson, 1990) ซึ่งสิ่งมีชีวิตในระดับสูงและผู้ล่าส่วนใหญ่ล้วนเป็นอาหารของมนุษย์ เช่น หมึก กุ้ง ปู ปลา หรือแม้กระทั่งฉลาม ที่ถือว่าเป็นสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในจุดสูงสุดของห่วงโซ่อาหารในทะเลด้วย

2.1.3 เส้นทางการปรอทเข้าสู่ร่างกายมนุษย์

มนุษย์ได้รับปรอทเข้าสู่ร่างกายผ่านทาง 1) ผิวหนัง 2) การกิน และ 3) การหายใจ ปรอทสามารถซึมผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกาย และก่อให้เกิดการระคายเคืองบริเวณที่สัมผัสได้ ถ้าได้รับเข้าไปในปริมาณมาก อาจทำให้ผิวหนังและกล้ามเนื้อบริเวณนั้นตายได้ ในทุกช่องทางถ้ารับเข้ามาในปริมาณน้อยมาก ๆ ร่างกายจะไม่ตอบสนองต่อปรอทที่รับเข้ามา แต่จะมีการสะสมในร่างกายเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ พบว่าเมื่อมนุษย์รับปรอทเข้าสู่ร่างกาย 95% ของปรอทในรูป methylmercury (CH_3Hg^+) จะเข้าสู่กระแสเลือด และสร้างพันธะกับ sulfhydryl group ของฮีโมโกลบินในเม็ดเลือด หลังจากนั้นเมื่อร่างกายสูบน้ำออกไปยังอวัยวะต่าง ๆ ก็ทำให้ปรอทนั้นเข้าไปสะสมและสร้างพันธะกับโปรตีนในกล้ามเนื้อตำแหน่งต่าง ๆ จนถ้าหากมีการสะสมมาก จะทำให้อวัยวะเหล่านั้นทำงานผิดปกติ อีกทั้งยังมีโอกาสเข้าสู่สมองผ่าน blood brain barriers พร้อมกับสารอื่น ๆ ในเลือด ส่งผลให้การทำงานของสมองและระบบประสาทผิดปกติไปด้วย (Zillioux, 2015)

2.1.4 ความเป็นพิษของปรอท

ปรอทเป็นสารที่มีความเป็นพิษสูง ระดับความรุนแรงของการเกิดพิษจะมีปัจจัยขึ้นอยู่กับ เส้นทางการที่ปรอทเข้าสู่ร่างกาย (pathway) ชนิดของปรอท (mercury species) รวมทั้งปริมาณที่ได้รับ (intake dose) ซึ่งอาการพิษของปรอทแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ (1) อาการพิษเรื้อรัง (chronic effect) ที่เกิดขึ้นกับผู้ป่วยที่รับสารปรอทเข้าสู่ร่างกายทีละน้อยเป็นระยะเวลานาน ซึ่งปรอทจะค่อย ๆ สะสมในเนื้อเยื่อ จนถึงระดับที่มีความเป็นพิษและส่งผลต่อการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้ผู้ป่วยมีอาการกระตุกที่แขนและขา (เกษม พลายแก้ว, 2548) และ (2) อาการพิษเฉียบพลัน (lethal effect) เกิดกับผู้ป่วยที่ได้รับปรอทในปริมาณสูงในเวลาอันรวดเร็ว โดยอาการพิษเฉียบพลันที่เกิดขึ้นมีตั้งแต่ระดับไม่รุนแรงคือระคายเคืองทางเดินหายใจไปจนถึงขั้นเสียชีวิตได้ (เกษม พลายแก้ว, 2548)

เนื่องจากโปรทที่เข้าสู่ร่างกายส่วนมากอยู่ในกระแสเลือด และซึมผ่านเยื่อหุ้มสมองเข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลาง จึงส่งผลให้เกิดการทำงานที่ผิดปกติทางระบบประสาท การประสานงานของระบบกล้ามเนื้อผิดปกติ รวมทั้งมีผลต่ออารมณ์ ไม่สามารถระงับหรือควบคุมอารมณ์ได้ มีอาการหวาดกลัวโดยไร้เหตุผล และถ้าหากยังได้รับโปรทในปริมาณที่มากขึ้น อาจทำให้เกิดอาการกล้ามเนื้อตาย และรุนแรงจนถึงขั้นเสียชีวิตได้ นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อการทำงานของ enzyme เพราะเมื่อโปรทเข้าไปสร้างพันธะกับ sulfhydryl group จะไปยับยั้งการทำงานของ enzyme เช่น บริเวณหลอดไต (renal tube) เมื่อ sulfhydryl group ในบริเวณนั้นสร้างพันธะกับโปรทจะทำให้การดูดซึมโซเดียมและน้ำลดลงและส่งผลกระทบต่อการทำงานของเสียออกจากร่างกาย เป็นต้น (สาวิกา เกษมศรี, 2525)

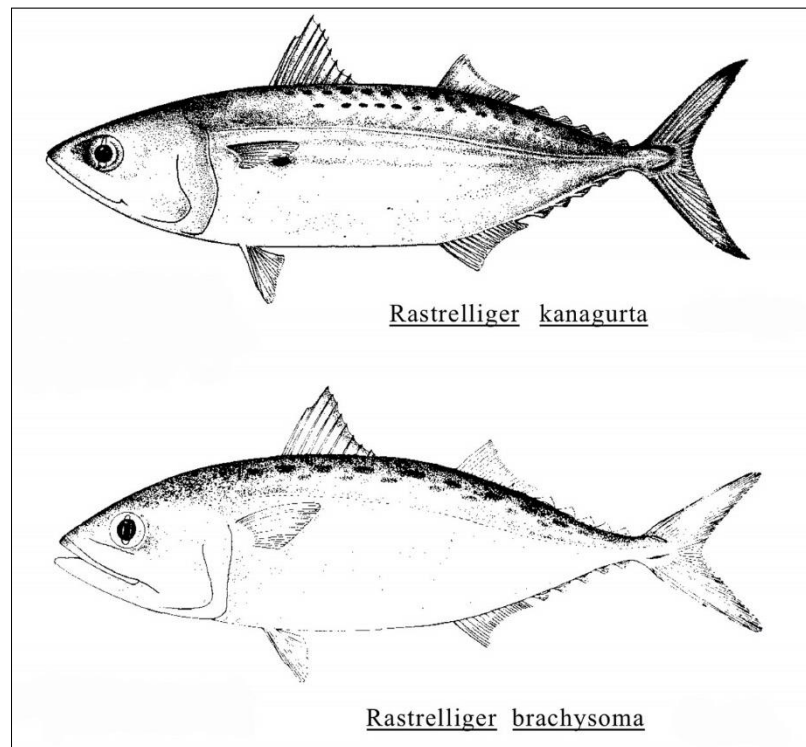
ตัวอย่างความเป็นพิษของโปรทที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์จากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในประเทศญี่ปุ่น ที่มีสาเหตุมาจากโรงงานแห่งหนึ่งเป็นแหล่งผลิต Acetaldehyde และปล่อยน้ำเสียลงสู่อ่าวมินามาตะ จนกระทั่งปี พ.ศ.2493 เริ่มมีปลาและสัตว์น้ำในอ่าวตายเป็นจำนวนมาก ทำให้ปริมาณสัตว์น้ำที่จับได้น้อยลงอย่างไม่ทราบสาเหตุ ต่อมาประชาชนในหมู่บ้านที่อาศัยอยู่รอบอ่าวเริ่มมีอาการป่วยแบบที่แพทย์ในขณะนั้นไม่เคยพบมาก่อน โดยมีอาการสั่นอย่างไม่สามารถควบคุมได้ พูดไม่ถนัด เดินไม่ถนัด หงุดหงิดง่าย หลังจากนั้นเริ่มมีจำนวนผู้ป่วยรักษาด้วยอาการเดียวกันนี้มากขึ้นเรื่อย ๆ จนภายหลังมีการยืนยันสาเหตุของโรคว่าเกิดจากการบริโภคสัตว์น้ำที่ปนเปื้อนสารประกอบอินทรีย์ของโปรทจำนวนมาก จนได้มีการกำหนดชื่อโรคนี้ตามชื่อหมู่บ้านที่พบครั้งแรกนั้นคือ โรคมินามาตะ (เสมอแข จงธรรมานุกรักษ์, 2558)

2.2 ปลาทูลัง

จากข้อมูลการศึกษาชีววิทยาปลาทูลังที่จับได้ในอ่าวไทยพบว่า ปลาที่จับได้ในรอบการจับเดียวกันนั้น มักมีทั้งปลาทูลังและปลาลัง เพราะปลาทั้งสองชนิดเป็นปลาฝูงและกินอาหารคล้ายกัน ทำให้ปลาทั้งสองชนิดนี้อาศัยอยู่รวมกันได้ (ศัลยเวทย์ วิทยานนท์, 2554)

2.2.1 ลักษณะทั่วไป

ปลาทูลังที่พบในอ่าวไทยคือปลาทูลังตัวสั้นมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Rastrelliger brachysoma* (Bleeker, 1851) และชื่อสามัญภาษาอังกฤษคือ Short-bodied mackerel หรือ Indo-Pacific mackerel (กรมประมง, 2539) มีลักษณะลำตัวสั้น ครีบหลังแยกออกเป็นสองตอนและตามด้วยครีบฝอย 5 อัน สีลำตัวเป็นสีน้ำเงินแกมเขียว ไม่มีลายข้างตัว มีจุดดำใต้ครีบหลังประมาณ 12-14 จุด (ด้านตรวจสัตว์น้ำจังหวัดระนอง, ม.ป.ป.) ส่วนปลาลังมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Restrelliger kanaguru* (Cuvier, 1816) และชื่อสามัญภาษาอังกฤษคือ Indian mackerel ซึ่งมีลักษณะคล้ายปลาทูลังมากแต่ลำตัวมีความลึกมากกว่า (Collette and Nauen, 1983) ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะทั่วไปของปลาลัง (*Rastrelliger kanagurta*) และปลาทุ (*Rastrelliger brachysoma*)
ที่มา Collette and Nauen, 1983

โดยส่วนมากจะพบปลาทุได้ในบริเวณปากแม่น้ำหรือใกล้ชายฝั่ง ส่วนปลาลังจะอยู่บริเวณที่ห่างจากชายฝั่งออกไป แต่ทั้งสองชนิดเป็นปลาที่หากินบริเวณกลางน้ำ (pelagic) (Collette and Nauen, 1983) โดยกินแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์สัตว์ขนาดเล็กเป็นอาหารเหมือนกัน จึงมีโอกาสพบปลาทั้งสองมีพฤติกรรมรวมฝูง (school) ดังนั้นการทำประมงมักจะจับปลาทุและปลาลังได้ในฝูงเดียวกัน อย่างไรก็ตามโดยทั่วไป มีโอกาสพบปลาลังได้มากกว่า เนื่องจากการแพร่กระจายของปลาลังมีบริเวณกว้างกว่าปลาทุสามารถพบปลาลังได้ตั้งแต่ชายฝั่งแอฟริกาใต้เรื่อยมาจนถึงชายฝั่งประเทศญี่ปุ่น หรือในบริเวณที่มีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 17 องศาเซลเซียส (ขจรศักดิ์ เวชการธัญ, 2509) ส่วนปลาทุมักพบในแถบ Indo-Pacific พบได้น้อยในฝั่งตะวันตกของมหาสมุทรอินเดีย และไม่พบทางฝั่งตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิกเลย (วีระวัฒน์ หงสกุล, 2508)

2.2.2 วงจรชีวิตและการวางไข่

ในระยะแรกเกิดตัวอ่อนจะอาศัยอยู่บริเวณน้ำตื้นใกล้ชายฝั่งที่มีปะการัง และสาหร่ายเพราะยังไม่สามารถว่ายน้ำหาอาหารเองได้แต่ในวัยนี้จะมีการเจริญเติบโตได้เร็ว ความยาวลำตัวเพิ่มขึ้นในทุก ๆ วัน จนกระทั่งเมื่ออายุประมาณ 3 เดือน ขนาดลำตัวยาวประมาณ 10-12 เซนติเมตร และเมื่อเข้าสู่เดือนที่ 6-7 จะมีความยาวลำตัวประมาณ 18-20 เซนติเมตร นับเป็นช่วงเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์ สามารถวางไข่ได้อีกครั้ง ซึ่งปลาที่เข้าสู่วัยเจริญพันธุ์จะว่ายน้ำรวมฝูงเพื่อกลับไปยังแหล่งวางไข่เดิม โดยปลาตัวเมียที่มีไข่เจริญเต็มท้องจะปล่อยไข่ออกมาเพื่อให้ปลาตัวผู้ฉีดสเปิร์มไปผสม ซึ่งในกระบวนการนี้แม่ปลาทูจะว่ายลงลึกประมาณ 20 เมตร และปล่อยให้ไข่ที่ผสมแล้วลอยตามน้ำไป หลังจากนั้นไข่จะฟักเป็นตัวอ่อนในระยะเวลา 10 วัน โดยไข่และลูกปลาวัยอ่อนสามารถแพร่กระจายได้ในระยะ 1-40 ไมล์ทะเล (เมธี แก้วเนิน และคณะ, 2523)

ปลาทูและปลาลังเป็นปลาฝูงที่มีการอพยพย้ายถิ่นเพื่อหาสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการวางไข่ ในอ่าวไทยพบว่าฝูงปลาทั้งสองชนิดมีช่วงการสืบพันธุ์วางไข่ 2 ช่วง ที่มีความเหลื่อมล้ำกันในปลาสองชนิด กล่าวคือพบค่าดัชนีความสมบูรณ์เพศปลาทูสูงในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงพฤษภาคมและช่วงเดือนสิงหาคมถึงตุลาคม ส่วนปลาลังพบค่าดัชนีความสมบูรณ์เพศสูงในช่วงเดือนเมษายนถึงพฤษภาคมและช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม (ปิยวรรณ ไหมละเอียด, 2549) โดยค่าดัชนีความสมบูรณ์เพศนั้นสังเกตได้จากข้อมูลความยาวลำตัวปลาโดยส่วนใหญ่แม่ปลาที่พร้อมวางไข่จะมีความยาวลำตัว (total length) ประมาณ 19 - 20 เซนติเมตร (เมธี แก้วเนิน และคณะ, 2560) และว่ายอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 18 - 25 เมตร ส่วนเพศผู้สามารถผลิตน้ำเชื้อได้ตั้งแต่มีความยาวลำตัว (total length) ประมาณ 16 เซนติเมตร (อรุพันธ์ บุญประกอบ, 2510)

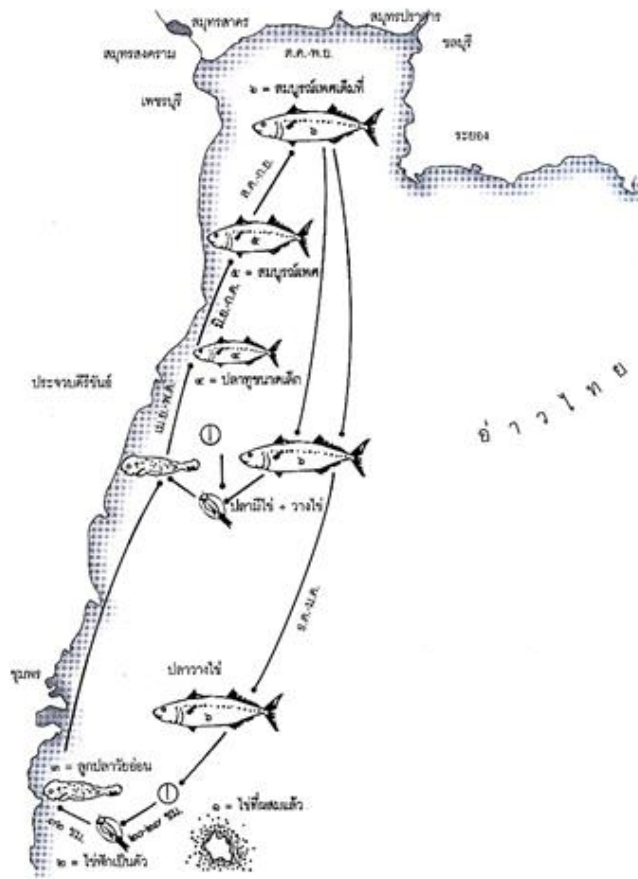
2.2.3 การประมงในอ่าวไทย

จากสถิติปริมาณสัตว์น้ำจากการทำการประมงในอ่าวไทยในปี 2562 พบว่าสัตว์น้ำที่มีปริมาณขึ้นท่ามากที่สุดคือปลา ซึ่งมีถึง 782,383 ตัน และเมื่อพิจารณาปริมาณและมูลค่าสัตว์น้ำเค็มจากการทำการประมงที่ขึ้นท่ารายจังหวัดพบว่าจังหวัดชุมพรและจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีปริมาณสัตว์น้ำที่ขึ้นท่ารองมาจากจังหวัดนครศรีธรรมราช โดยในจังหวัดชุมพรมีปริมาณปลาเศรษฐกิจสำหรับการบริโภค 87,867 ตัน และจังหวัดประจวบคีรีขันธ์มีปริมาณปลาเศรษฐกิจสำหรับการบริโภค 78,282 ตัน ซึ่งปลาทูเป็นหนึ่งในจำนวนนี้ (กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง, 2563)

การทำประมงในเขตพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์และชุมพร มีทั้งประมงพาณิชย์และประมงพื้นบ้าน รวมทั้งมีเครื่องมือที่ใช้สำหรับจับปลาทูที่มีขนาดใหญ่ขนาดพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ ที่นิยมเรียกว่า อวนเขียว ซึ่งเป็นอวนล้อมติดตาหรืออวนล้อมติดตาปลาทู มีขนาดตาอวนประมาณ 4.7 เซนติเมตร ขึ้นไป ใช้ทำการประมงชายฝั่งน้ำลึกตั้งแต่ 10 - 14 เมตร (พัชรี พันธุ์เล่ง และ นพรัตน์ ราสุขล, ม.ป.ป.) แต่การทำประมงเช่นนี้ทำ

ให้เกิดการเสียมูลของธรรมชาติ กรมประมงจึงใช้มาตรการบริหารจัดการทรัพยากรสัตว์น้ำมีไข่ วางไข่ เลี้ยงตัวอ่อน ในอ่าวไทย ครอบคลุมเขตพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และสุราษฎร์ธานี ในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ถึงพฤษภาคม และช่วงเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายน และจะแตกต่างกันไปในแต่ละปี เพื่อให้ สอดคล้องกับวงจรชีวิตปลาหู (กลุ่มแผนงานและติดตามการตรวจการประมง, 2564)

วงจรชีวิตปลาหูในอ่าวไทย แบ่งเป็นปลาหูสายตะวันตก คือฝูงปลาหูที่ว่ายอยู่ในแถบจังหวัด สมุทรสาคร สมุทรสงคราม และเพชรบุรี ส่วนอีกฝูงคือปลาหูสายตะวันออก ว่ายอยู่ในแถบจังหวัดตราด จันทบุรี ชลบุรี และฉะเชิงเทรา โดยเมื่อถึงฤดูวางไข่ที่ปลาหูเพศเมียพร้อมวางไข่ ปลาหูจะว่ายออกจากถิ่นที่อยู่หากินที่กล่าวไปข้างต้น ไปวางไข่บริเวณนอกชายฝั่งจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และสุราษฎร์ธานี สำหรับปลาหูสายตะวันตก ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และบริเวณเกาะช้างหรือเกาะกง สำหรับปลาหูสายตะวันออก และเมื่อหมดช่วงฤดูวางไข่ปลาหูทั้งสองฝูงจะว่ายกลับมายังแหล่งหากินอีกครั้ง



รูปที่ 2.5 วงจรชีวิตปลาหูในอ่าวไทย (วิชาญ ศิริชัยเอกวัฒน์, 2564)

2.3 การประเมินความเสี่ยง

2.3.1 มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน

ปรอทที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม มีการสะสมและส่งผ่านทางห่วงโซ่อาหารได้ ซึ่งมนุษย์ก็เป็นผู้บริโภคในห่วงโซ่อาหารนี้ จึงมีความเสี่ยงที่จะได้รับปรอทมากเกินไปที่ร่างกายจะยอมรับได้ จึงต้องมีการควบคุมปริมาณปรอทที่สามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ ในประเทศไทยหน่วยงานที่ทำหน้าที่ควบคุมและกำหนดปริมาณการรับสารปรอทเข้าสู่ร่างกายผ่านทางอาหารคือ กระทรวงสาธารณสุข ที่ได้ออกประกาศเป็นราชกิจจานุเบกษา ฉบับที่ 414 พ.ศ. 2563 ว่าด้วยการกำหนดมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน โดยต้องมีปรอทปนเปื้อนไม่เกิน 0.5 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก (กระทรวงสาธารณสุข, 2563) นอกจากนี้ยังมีหน่วยงานอื่นที่ได้กำหนดค่ามาตรฐานไว้เช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าสูงสุดของปริมาณสารปนเปื้อนในอาหารที่ยอมให้มีได้ (Maximum Level)

ประเภทสัตว์/อาหาร	ปริมาณปรอท ($\mu\text{g/g}$)	เอกสารอ้างอิง
ปลาทั่วไป	0.5	(JECFA, 2017)
ปลาน้ำจืด	1	"
อาหารทะเล	0.4	(JECFA, 2003)

2.3.2 ปริมาณปรอทที่ยอมรับได้สำหรับบริโภค

ในหลายประเทศสนับสนุนให้ประชาชนบริโภคปลาหรือสัตว์ทะเลมากขึ้น เนื่องจากปลาและอาหารทะเลอื่น ๆ อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการและประโยชน์มากมาย แต่การบริโภคที่มากเกินไปปริมาณแนะนำอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพผู้บริโภค โดยเฉพาะการบริโภคอาหารทะเลและปลาที่มีการสะสมหรือปนเปื้อนปรอท ดังนั้นทางองค์การอนามัยโลก และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ หรือ World Health Organization/ Food and Agriculture Organization of United Nation (WHO/FAO) ได้พยายามอย่างต่อเนื่องเพื่อลดการรับสัมผัสสารปรอทในผู้บริโภค ด้วยการกำหนดปริมาณการบริโภคปรอทที่ยอมรับได้ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/คน/สัปดาห์ สำหรับปรอทรวม และไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม/คน/สัปดาห์สำหรับ methylmercury (JECFA, 1988; FSCJ, 2005)

2.3.3 การประเมินความเสี่ยง

ตามแนวทางขององค์การอนามัยโลก และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ การประเมินความเสี่ยงประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การแสดงถึงอันตราย (Hazard Identification) เป็นการแสดงถึงความเป็นอันตรายของสารพิษ โดยพิจารณาจากข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่มีอยู่
2. การอธิบายลักษณะของอันตราย (Hazard Characterization) เพื่อบอกถึงผลกระทบต่อสุขภาพ หรือผลเสียที่อาจเกิดขึ้น
3. การอธิบายลักษณะความเสี่ยง (Risk Characterization) ประเมินจากการคำนวณค่าสัดส่วนความอันตราย หรือ hazard quotient (HQ) สำหรับสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (non-carcinogenic effect) ด้วยสมการ (2-1) โดยที่ค่า Rfd (Reference dose for chronic oral exposure) สำหรับปรอท มีค่าเท่ากับ 0.1 ug/kg (body weight)/day (EPA,2005) และค่าเฉลี่ยปริมาณการบริโภคต่อวัน (average daily intake) สามารถคำนวณได้ตามสมการ (2-2) (Kofi, 2002; พงษ์เทพ วิวรรณะเดช, 2547)

$$HQ = \frac{\text{Average daily intake}}{Rfd} \quad (2-1)$$

$$\text{Average daily intake (mg/kg/day)} = \frac{(CF) (IR) (FI) (EF) (ED)}{(BW)(AT)} \quad (2-2)$$

โดยที่ CF คือ Contaminant concentration of mercury in fish (mg/kg)

IR คือ Ingestion rate (0.028 kg/meal average or 85 g/day average, FAO, 2005)

FI คือ Fraction ingested from contaminate source equal to 1

EF คือ Exposure frequency (350 meals/year, EPA, 1989)

ED คือ Exposure duration (30 years for risk from non-carcinogen, EPA, 1989)

BW คือ Body weight (50 kg and 60 kg average for Thai people, Agusa et al.,2007)

AT คือ Average time exposed (30 years × 365 days/years, EPA, 1989)

บทที่ 3 วิธีการศึกษา

3.1 พื้นที่ศึกษา

ตัวอย่างปลาทุและปลาลังในงานวิจัยนี้ได้จากการเก็บตัวอย่างจากเรือประมงพื้นบ้านที่ทำเรือบ้านบางเปิด อำเภอบางปะทิว จังหวัดชุมพร และเรือประมงพาณิชย์ที่ขึ้นท่า ที่ท่าเรือบ่อทองกลาง อำเภอบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ทำการเก็บตัวอย่าง ในวันที่ 6 มิถุนายน และ 7 ตุลาคม 2563



(1)



(2)

รูปที่ 3.1 พื้นที่เก็บตัวอย่าง (1) ท่าเรือประมงพื้นบ้าน และ (2) ท่าเรือประมงพาณิชย์

3.2 การเก็บข้อมูลและการเตรียมตัวอย่าง

วัดความยาวลำตัวทั้งหมด ความยาวตรงรอยเว้าของครีบหาง ความลึกลำตัว และชั่งน้ำหนักปลาทุ ดังรูปที่ 3.2 จัดบันทึกรายละเอียด เพื่อนำไปแยกกลุ่มปลาลังและปลาทุ หลังจากนั้นทำการชำแหละเนื้อเยื่อใต้ครีบบนลำตัวเพราะเป็นบริเวณที่มีความหนาของเนื้อเยื่อมาก และหลีกเลี่ยงการตัดโดนเส้นเลือดในตัวปลา เก็บใส่ถุงพลาสติก zip-lock ด้วยมีดเซรามิก และเก็บรักษาตัวอย่างโดยการแช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า -20 องศาเซลเซียส

ในการเตรียมตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ นำเนื้อเยื่อที่ตัดเก็บไว้มาบดและสับให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันด้วยมีดเซรามิก โดยทำการล้างมีดเซรามิก และเขียงพลาสติก ก่อนที่จะเริ่มเตรียมตัวอย่างถัดไปด้วย น้ำ DI ส่วนตัวอย่างที่เตรียมเสร็จแล้วเก็บใส่ถุงพลาสติก zip-lock สะอาด

ทุกขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างต้องทำภายใต้บรรยากาศปลอดฝุ่นในตู้ปราศจากฝุ่น (clean bench) Class 100 ปูแผ่นพลาสติกสะอาดกั้นระหว่างผิวสัมผัสกับตัวอย่างก่อนวางตัวอย่างลง และสวมถุงมือพลาสติกทุกครั้ง เก็บรักษาตัวอย่างที่บดแล้วโดยแช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะทำการวิเคราะห์ทางเคมี

3.3 การจัดกลุ่มปลาลังและปลาหู

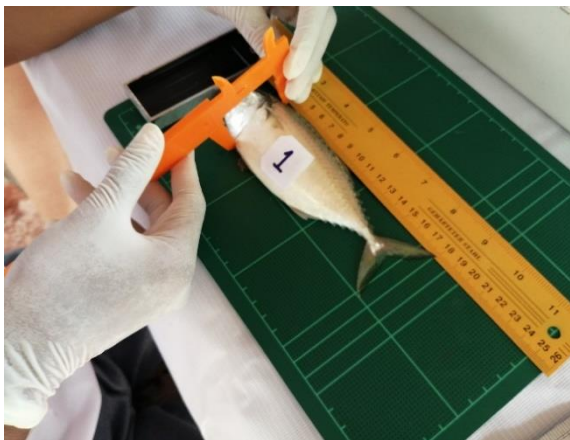
จากข้อมูลการวัดความยาวลำตัวทั้งหมด (total length) ความยาวตรงรอยเว้าของครีบหาง (fork length) และความลึกลำตัว (body depth) สามารถนำมาจัดกลุ่มปลาลังและปลาหูได้โดยการหาอัตราส่วนระหว่างความยาวตรงรอยเว้าของครีบหางและความลึกลำตัว ถ้าอัตราส่วนนี้มีค่ามากกว่า 4.3 ให้จัดกลุ่มเป็นปลาลัง และน้อยกว่า 4.3 ให้จัดเป็นกลุ่มปลาหู (Collette et al., 1983)



(1)



(2)



(3)



(4)

รูปที่ 3.2 การเก็บข้อมูลความยาวและน้ำหนักปลา (1) วัดความยาวลำตัวทั้งหมด (2) ความยาวตรงรอยเว้าของครีบหาง (3) วัดความลึกลำตัว และ (4) ชั่งน้ำหนัก

3.4 การวิเคราะห์ปรอทในเนื้อเยื่อปลา

3.4.1 การทำความสะอาดอุปกรณ์และภาชนะที่ใช้ในการวิเคราะห์

ล้างอุปกรณ์ เครื่องแก้ว และภาชนะทุกชิ้นด้วยน้ำยาทำความสะอาดที่ปราศจากฟอสเฟต และน้ำประปาให้สะอาด จากนั้นชะด้วยน้ำปราศจากไอออน 3 ครั้ง จากนั้นแช่ใน 10 % HNO_3 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำออกมาชะด้วยน้ำปราศจากไอออน 3 ครั้งหรือจนหมดฤทธิ์กรด ตากให้แห้งในตู้ปลอดฝุ่น (laminar flow cabinet class 100) เก็บอุปกรณ์ทุกชิ้นใส่ในถุงพลาสติกเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากฝุ่นละออง

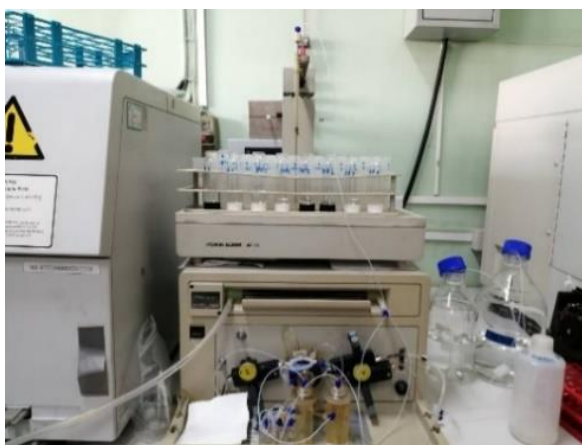
3.4.2 รีเอเจนต์

1. สารละลายกรดกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc. HCl, 30% w/w)
เตรียมจากสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น เกรด AR นำมากลั่นด้วยวิธี sub-boiling distillation เพื่อลดความปนเปื้อน สำหรับใช้เตรียมสารละลายต่าง ๆ ในการวิเคราะห์
2. สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO_3 , 30% w/w)
เตรียมจากสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น เกรด AR นำมากลั่นด้วยวิธี sub-boiling distillation เพื่อลดความปนเปื้อน สำหรับใช้เตรียมสารละลายต่าง ๆ ในการวิเคราะห์
3. สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Borohydride solution) เข้มข้น 0.2% w/v
เตรียมโดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 500 มิลลิกรัม ในน้ำ DI (>18 $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$) 1 ลิตร จากนั้นเติม โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH_4) 2 กรัม ผสมให้เข้ากันจนสารละลายใส
4. สารละลายโบรมีนคลอไรด์ (BrCl) 0.2 N ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น
เตรียมจากละลายโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) 1.08 กรัม ในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc. HCl) 100 มิลลิลิตร ผสมจนเม็ดผลึกละลายหมด เมื่อได้สารละลายใสสีเหลืองอ่อนแล้ว เติมโพแทสเซียมโบรเมต (KBrO_3) 1.52 กรัม ค่อยใส่ทีละน้อย ให้สารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อน เป็นแดง ส้ม และเหลืองเข้ม ตามลำดับ แล้วเก็บใส่ขวดพลาสติกไว้ในที่มืด
5. 12% w/v NH_2OH solution 50 mL
ละลาย NH_2OH 6 g และปรับปริมาตรเป็น 50 mL ด้วย DI water (>18 $\text{M}\Omega\text{cm}$) เก็บในขวดแก้วหรือ พลาสติก

6. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 3% v/v
เตรียมจาก สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc. HCl) จากข้อ 1 ปริมาตร 30 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตรด้วยน้ำ DI water (>18 MΩ.cm)
7. สารละลายกรดไนตริก เข้มข้น 2% v/v
เตรียมจาก สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO₃) จากข้อ 2 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำ DI water (>18 MΩ.cm)

3.4.3 การวิเคราะห์ปรอทในสารละลายมาตรฐาน

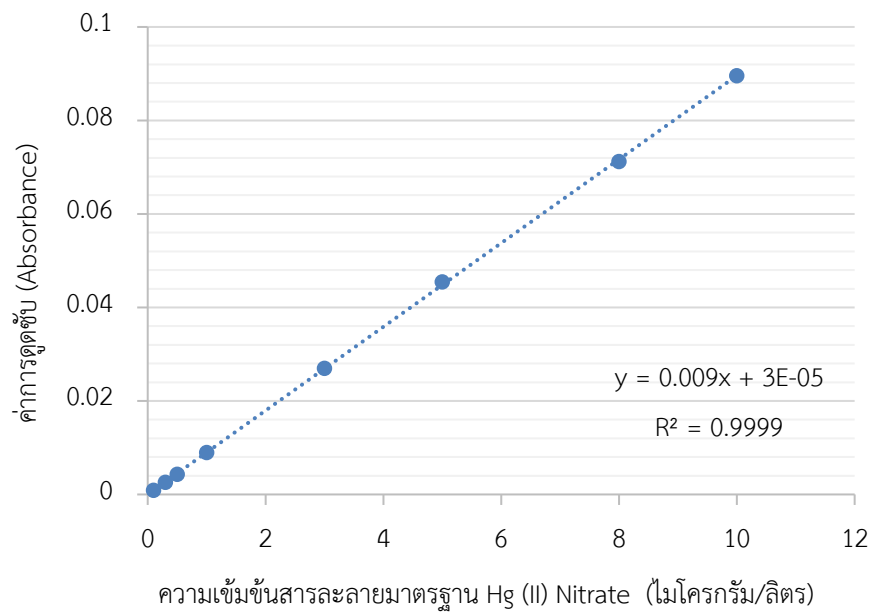
เตรียมสารละลายมาตรฐาน โดยใช้ Mercury (II) nitrate เข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร เจือจาง สารละลายด้วย DI water (>18 MΩ.cm) เพื่อให้ได้สารละลายที่ความเข้มข้น 0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0, 8.0 และ 10.0 ไมโครกรัมต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 3.1 แล้วเติม BrCl 200 ไมโครลิตร พักไว้ 10 นาที แล้วจึงเติม 12% NH₂OH 50 ไมโครลิตร แล้วนำไปวัดปริมาณปรอทด้วยเครื่อง Flow Injection Mercury system ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น FIMS-400 ซึ่งเป็นเครื่องวิเคราะห์แบบ Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometer (CVAAS) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 นำค่าที่อ่านได้มาสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) สำหรับใช้ในการคำนวณค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง ดังแสดงในรูป 3.4



รูปที่ 3.3 เครื่องวิเคราะห์ปรอทแบบไอเย็น (Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometer; CVAAS) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น FIMS-400

ตารางที่ 3.1 ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานและค่าการดูดซับ

ความเข้มข้น ($\mu\text{g/L}$)	Absorbance
0.1	0.0009
0.3	0.0026
0.5	0.0043
1	0.0090
3	0.0270
5	0.0455
8	0.0712
10	0.0896



รูปที่ 3.4 กราฟมาตรฐานสำหรับการคำนวณค่าความเข้มข้นปรอท

3.4.4 การย่อยตัวอย่างปลาสำหรับวิเคราะห์หาปรอท

นำตัวอย่างที่แช่แข็งออกมาพักไว้ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำออกจากถุงพลาสติก Zip-lock แล้วนำมาสับละเอียดให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้มีดเซรามิกและเขียงพลาสติกที่ได้ผ่านการชะด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 10% (v/v) แล้วจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักเนื้อเยื่อตัวอย่างประมาณ 0.3 กรัม (น้ำหนักเปียก) ด้วยเครื่องชั่งละเอียด และจัดบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนไว้

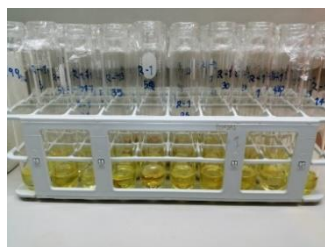
นำตัวอย่างเนื้อเยื่อที่ชั่งแล้วใส่ลงในหลอดแก้วขนาด 50 มิลลิลิตร ที่ได้ผ่านการทำความสะอาดด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 10% (v/v) แล้ว จากนั้นเติมกรดไนตริกเข้มข้นปริมาตร 5 มิลลิลิตรลงในขวดและปิดด้วยพลาสติก wrap ตั้งพักไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลามากกว่า 12 ชั่วโมง แล้วนำหลอดย่อยตัวอย่างบรรจุลงในเตาย่อยแบบหลุม (block heater) ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ใน fume hood เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาให้มาตั้งพักไว้ที่อุณหภูมิห้องแล้วเติมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้น 5% (w/v) ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เขย่าแบบเบาๆ แล้วนำไปตั้งบนเตาอีกครั้งที่อุณหภูมิเดิม เป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบเวลาให้นำออกมาตั้งพักไว้ที่อุณหภูมิห้องข้ามคืน ดังแสดงในรูปที่ 3.5



(1)



(2)



(3)



(4)



(5)



(6)

รูปที่ 3.5 ขั้นตอนเตรียมและย่อยตัวอย่างเพื่อตรวจวัดปริมาณปรอทในเนื้อเยื่อปลา

- (1) สับให้ตัวอย่างเป็นเนื้อเดียวกัน (2) ชั่งน้ำหนัก (3) เติมกรดไนตริกเข้มข้น (4) ตั้งบน block heater
- (5) เติมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (6) ตั้งบน block heater ที่อุณหภูมิเดิมอีก 30 นาที

3.4.5 การวิเคราะห์ปรอทในสารละลายตัวอย่าง

การวิเคราะห์ปรอทในเนื้อเยื่อตัวอย่างในครั้งนี้นำวิธีการมาจาก Fawkes, Folsom and Oswald, 1976 และ Mohammed, et al., 2017 โดยหลังจากทำการย่อยเนื้อเยื่อให้เป็นสารละลาย ด้วยกรดไนตริกเข้มข้นและสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตแล้ว นำไปวัดปริมาณปรอท ด้วยเทคนิค Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry (CVAAS) ซึ่งปรอททุกรูปในสารละลายจะถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นไอปรอทด้วย sodium borohydride (NaBH_4) จากนั้นไอปรอทนี้จะถูกนำเข้าสู่เครื่องตรวจวัดด้วยแก๊สอาร์กอน เพื่อวัดปริมาณการดูดกลืนแสงที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณปรอทที่มีอยู่ในสารละลาย

นำสารละลายที่ได้จากการย่อยไปปรับปริมาตรเป็น 20 มิลลิลิตร โดยเติมน้ำ DI ปริมาตร 11 มิลลิลิตร และ NH_2OH 1 มิลลิลิตร เพื่อกำจัดสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตส่วนที่เกิน หลังจากนั้นให้เข้ากันจนสารละลายใส แล้วนำสารละลายตัวอย่างมาตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของปรอทในสารละลาย ด้วยเครื่อง FIMS-400 แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงของปรอทในสารละลายมาคำนวณกลับเพื่อหาความเข้มข้นปรอทในเนื้อเยื่อตัวอย่าง โดยเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานที่ทราบค่าแน่นอน

3.5 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์

ในงานวิจัยครั้งนี้มีการควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ตัวอย่างดังนี้

1. การตรวจสอบความถูกต้อง (Accuracy) ของกระบวนการวิเคราะห์ โดยหาความเข้มข้นของสารอ้างอิงมาตรฐาน (Certified reference materials: CRM) ที่ทราบค่าความเข้มข้น ได้แก่ Dogfish muscle – DORM-4 (National Research Council Canada) และหาค่า % recovery
2. การควบคุมความแม่นยำ (Precision) โดยทำการทดสอบซ้ำ 2 รอบ และนำค่าความเข้มข้นที่ได้มาคำนวณหาค่า %RPD
3. ตรวจสอบการปนเปื้อนโดยการทำให้ blank ด้วยการเติมรีเอเจนต์และใช้วิธีวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง และหาค่าขีดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (Limit of detection)

3.6 การวิเคราะห์ความเสี่ยงในการบริโภค

3.6.1 ความเสี่ยงเบื้องต้น

สามารถประเมินได้โดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานหรือเกณฑ์แนะนำจากองค์กรต่าง ๆ ได้แก่

1. มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ปรากฏในประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 414 พ.ศ. 2563 (กระทรวงสาธารณสุข, 2563)
2. ค่าสูงสุดของปริมาณสารปนเปื้อนที่ยอมให้มีได้ (Maximum Level) ของต่างประเทศ แสดงในตารางที่ 2.1

3.6.2 การประเมินความเสี่ยงจากการได้รับปรอทเป็นเวลานาน

Hazard Quotient เป็นการประเมินความเสี่ยงในการได้รับปรอทในปริมาณน้อยแต่เป็นเวลานาน และใช้สำหรับสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (non-carcinogenic effect) สามารถคำนวณได้จากสมการ (2-2) และ (2-3) เมื่อคำนวณ Hazard Quotient ได้มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าปริมาณที่มีอยู่นั้นอยู่ในเกณฑ์ที่มีความเสี่ยงต่อผู้บริโภค เมื่อได้รับสารเข้าสู่ร่างกายเป็นเวลานาน

3.6.3 การประเมินปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภค

ความเข้มข้นของปรอทในเนื้อเยื่อปลาที่สามารถนำมาคำนวณหาปริมาณที่สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัยต่อสัปดาห์ (Provisional Tolerable Weekly Intake, PTWI) ได้ตามสมการ (3-1) ดังนี้

$$PTWI = \left(\frac{TRV \times BW}{Cf} \right) \times 7 \quad (3-1)$$

โดยที่	PTWI	หมายถึง ปริมาณที่สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัยต่อสัปดาห์ (กรัม/สัปดาห์)
	TRV	หมายถึง ปริมาณปรอทที่มนุษย์จะรับได้ ไม่เกินวันละ 0.23 ไมโครกรัม/กิโลกรัม/วัน
	BW	หมายถึง น้ำหนักตัวของผู้บริโภค โดยใช้ค่าน้ำหนักตัวเฉลี่ยเท่ากับ 60 กิโลกรัม สำหรับบุคคลทั่วไป (JECFA, 2005) และ 50 กิโลกรัม สำหรับคนไทย (Agusa et al., 2007)
	Cf	หมายถึง ค่าเฉลี่ยของปรอทในปลา (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) โดยคิดว่า 90% ของปรอทที่ปนเปื้อนในปลาอยู่ในรูปของปรอทอินทรีย์ (Windom and Cranmer, 1998)

บทที่ 4 ผลการศึกษา และวิจารณ์ผล

4.1 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ปรอทในเนื้อเยื่อปลา

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าต่ำสุดของการตรวจวัด

การวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (limit of detection) จากวิธีการและเครื่องมือเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง โดยทำการวิเคราะห์ซ้ำสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่ำที่สุด 12 ตัวอย่าง และหาค่าต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ โดยคำนวณจากผลรวมของค่าความเข้มข้นเฉลี่ย (0.11 ไมโครกรัม/ลิตร) กับ 3 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (0.03 ไมโครกรัม/ลิตร) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.22 ไมโครกรัม/ลิตร รายละเอียดการตรวจวัดแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าความเข้มข้นต่ำสุด (limit of detection) ของตรวจวัด

ครั้งที่	ความเข้มข้น (ไมโครกรัม/ลิตร)
1	0.10
2	0.10
3	0.10
4	0.07
5	0.07
6	0.07
7	0.16
8	0.15
9	0.17
10	0.12
11	0.11
12	0.12
ค่าเฉลี่ย	0.11
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)	0.03
ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวัดได้	0.22

4.1.2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ด้วยสารอ้างอิงมาตรฐาน

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของปรอทในสารอ้างอิงมาตรฐาน (Certified reference material: CRM) โดยใช้ Dogfish muscle (DORM-4) ของ Nation Research Council Canada ด้วยวิธีการวิเคราะห์เช่นเดียวกันกับตัวอย่าง และเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงกำกับของสารมาตรฐาน ผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.2 พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณปรอทใน DORM-4 เท่ากับ 0.391 ± 0.035 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง โดยคิดเป็น 94.9 ± 8.6 % ของปริมาณที่กำกับมาด้วยสารอ้างอิงมาตรฐาน

เมื่อหาค่า % Recovery พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้คือ 80% - 120% จึงแสดงถึงความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์และเครื่องมือตรวจวัดปริมาณปรอทที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

ตารางที่ 4.2 ค่าความเข้มข้นปรอทที่ตรวจวัดได้ในสารอ้างอิงมาตรฐาน DORM-4

ครั้งที่	DORM-4 (ไมโครกรัม/กรัม)	% recovery
1	0.376	91.3
2	0.361	87.6
3	0.369	89.6
4	0.355	86.2
5	0.355	86.3
6	0.452	109.8
7	0.422	102.4
8	0.420	102.0
9	0.407	98.7
ค่าอ้างอิงมาตรฐานที่กำกับมา	0.412 ± 0.036	
ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.391 ± 0.035	
% ที่วิเคราะห์ได้	94.9 ± 8.6 %	

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างซ้ำ

การวิเคราะห์ตัวอย่างซ้ำเพื่อตรวจสอบความแม่นยำที่เกิดจากการวิเคราะห์ซ้ำ ๆ ในสภาวะเดียวกัน โดยใช้วิธีเดียวกันในห้องปฏิบัติการเดียวกัน เครื่องมือและผู้วิเคราะห์คนเดียวกัน โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างเดิมซ้ำ 2 ครั้ง 21 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 109 ตัวอย่าง พบว่าค่าความแตกต่างของการทดสอบระหว่างการทำ 2 ครั้ง หรือ เมื่อนำไปหาค่า Relative percent difference (%RPD) เฉลี่ย $30.48 \pm 23.62\%$ รายละเอียดแสดงในตาราง ผ.1 ภาคผนวก

4.2 พรอทในเนื้อเยื่อปลาทุและลั้งที่จับจากอ่าวไทย

4.2.1 ความเข้มข้นพรอทในเนื้อเยื่อปลาตัวอย่าง

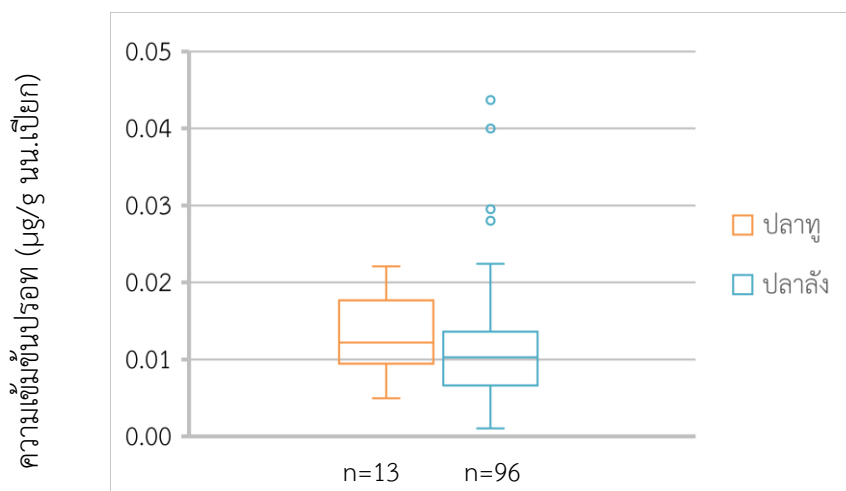
ตัวอย่างทั้งหมด 109 ตัวอย่าง เก็บในเดือนมิถุนายน 71 ตัวอย่าง แบ่งได้เป็นปลาทุ 13 ตัวอย่าง มีความยาวลำตัวและน้ำหนักตัวอยู่ในช่วง 15.10 - 19.10 เซนติเมตร และ 40.00 - 77.90 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.96 ± 1.19 เซนติเมตร และ 51.5 ± 12.07 กรัม ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างปลาลั้ง 58 ตัวอย่างมีความยาวลำตัวและน้ำหนักตัวอยู่ในช่วง 11.10 - 21.20 เซนติเมตร และ 13.20 - 110.20 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.12 ± 2.60 เซนติเมตร และ 47.83 ± 23.01 กรัม ตามลำดับ และตัวอย่างที่เก็บในเดือนตุลาคมเก็บได้ทั้งหมด 38 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นปลาลั้งทั้งหมด มีความยาวลำตัวและน้ำหนักตัวอยู่ในช่วง 14.90 - 23.20 เซนติเมตร และ 35.10 - 143.60 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.95 ± 3.08 เซนติเมตร และ 57.64 ± 27.37 เซนติเมตร ตามลำดับ

เมื่อนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นพรอทพบว่า ในเนื้อเยื่อปลาทุมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.005 - 0.022 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.013 ± 0.005 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ส่วนในตัวอย่างปลาลั้งที่เก็บได้ในเดือนมิถุนายนนั้นมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.001 - 0.040 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.010 ± 0.007 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก และในตัวอย่างปลาลั้งที่เก็บได้ในเดือนตุลาคมมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.003 - 0.044 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.011 ± 0.008 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยและช่วงของความยาวและน้ำหนักตัวปลาและความเข้มข้นพรอท

ตัวอย่าง	ความยาว (cm)		น้ำหนัก (g)		ความเข้มข้น ($\mu\text{g/g}$)	
	range	average	range	average	range	average
เดือนมิถุนายน						
ปลาทุ (n=13)	15.10 - 19.10	16.96 ± 1.19	40.00-77.90	51.5 ± 12.07	0.005-0.022	0.013 ± 0.005
ปลาลั้ง (n=58)	11.10 - 21.20	16.12 ± 2.60	13.20-110.20	47.83 ± 23.01	0.001-0.040	0.010 ± 0.007
เดือนตุลาคม						
ปลาลั้ง (n=38)	14.90-23.20	16.95 ± 3.08	35.10-143.60	57.64 ± 27.37	0.003-0.044	0.011 ± 0.008

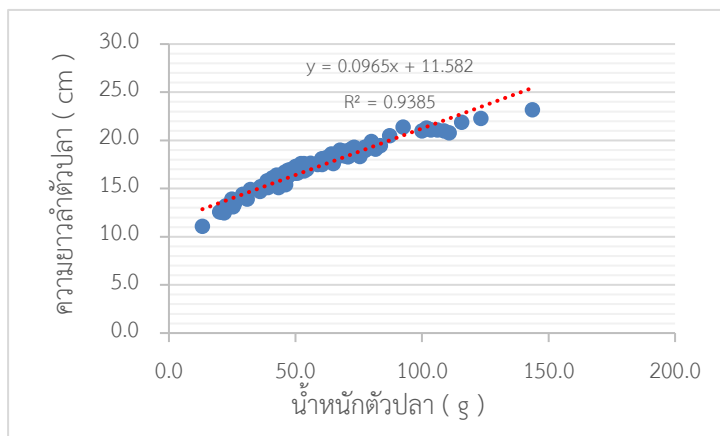
เมื่อนำข้อมูลความเข้มข้นปรอทในเนื้อเยื่อปลาทุและปลาลังมาทดสอบหาความแตกต่างระหว่างกลุ่มประชากร โดยใช้ one-way ANOVA (sig > 0.05) ด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics 22 พบว่าความเข้มข้นในเนื้อเยื่อปลาทั้งสองกลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



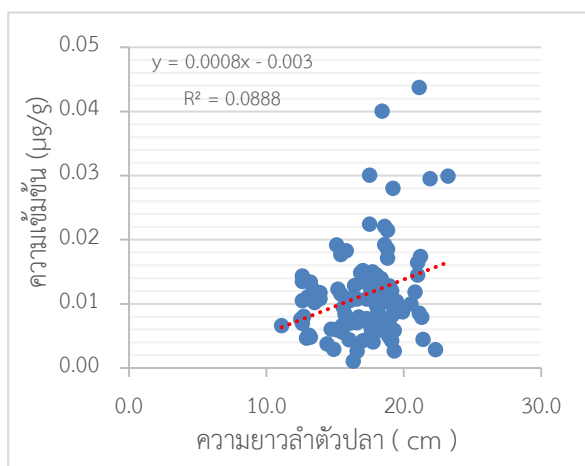
รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นปรอทในเนื้อเยื่อปลาทุและปลาลัง

4.2.3 ความเข้มข้นของปรอทกับการเติบโต

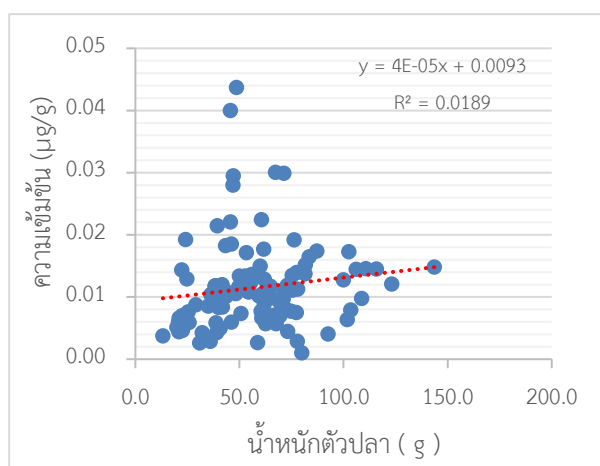
รูปที่ 4.2 (1) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความยาวลำตัวปลาที่เพิ่มตามการเติบโต ในกลุ่มตัวอย่างปลาทั้งหมด และพบมีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นเชิงเส้นตรง โดยกราฟเส้นตรงที่ได้มีค่า $R^2 = 0.9385$ รูปที่ 4.2(2) และ 4.2(3) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทกับความยาวและน้ำหนักตัวปลา ตามลำดับ พบระดับความเข้มข้นปรอทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเติบโตเช่นกัน



(1)



(2)

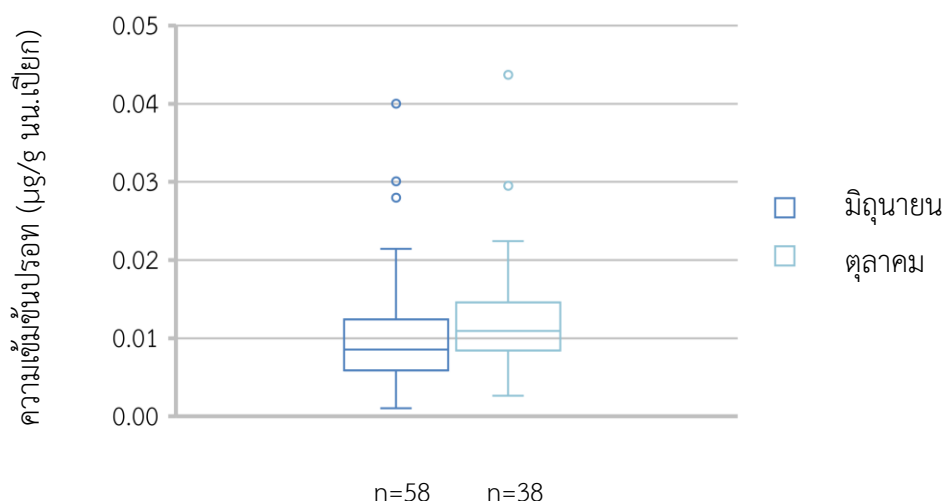


(3)

รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของการเติบโต (1) ระหว่างน้ำหนักและความยาวลำตัวปลา กับ ความเข้มข้นของโปรทกับ (2) ความยาวลำตัวปลา และ (3) น้ำหนักตัวปลา

4.2.4 ความเข้มข้นปรอทในปลาลังที่เก็บตัวอย่างเดือนมิถุนายนและตุลาคม

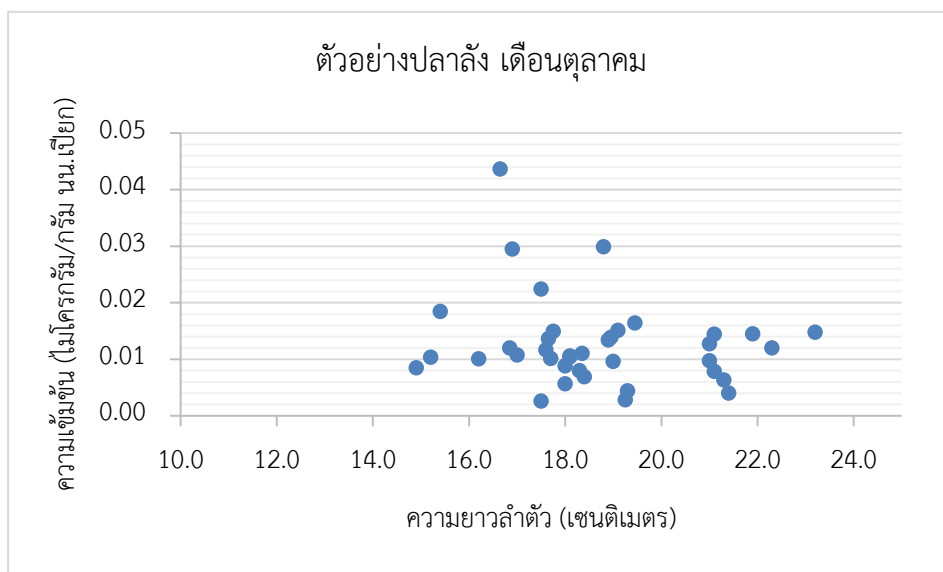
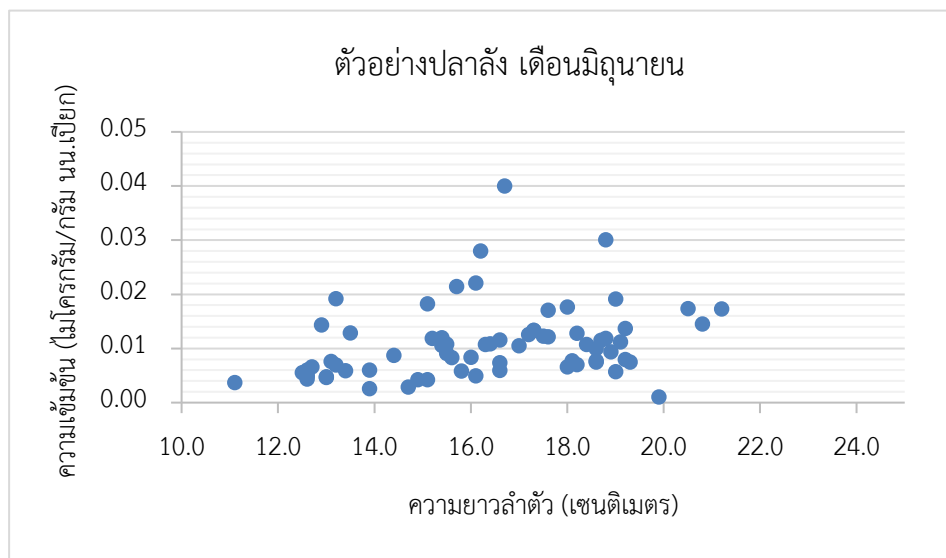
เนื่องจากในการเก็บตัวอย่างทั้งสองครั้ง สามารถเก็บตัวอย่างปลาลังได้ครบ แต่ปลาที่เก็บได้เพียงครั้งเดียว จึงทำการเปรียบเทียบระดับปรอทในเนื้อเยื่อปลาลังที่จับในเดือนมิถุนายน (ช่วงที่ปลาลังมีค่าดัชนีความสมบูรณ์เพศต่ำ) และตัวอย่างที่เก็บได้ในเดือนตุลาคม (ช่วงที่ปลาลังมีค่าดัชนีความสมบูรณ์เพศสูง) พบมีความเข้มข้นปรอทในปลาลังเปรียบเทียบใน 2 ฤดู ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นปรอทในเนื้อเยื่อปลาลัง ในเดือนมิถุนายน และตุลาคม

ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของปรอทในเนื้อเยื่อปลาลังที่จับในเดือนตุลาคมมีค่าสูงกว่าในเดือนมิถุนายน แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบเชิงสถิติ โดยใช้ one-way ANOVA (sig > 0.05) ด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics 22 พบว่าพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มตัวอย่างใน 2 ฤดูกาล

ความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตของปลาและความเข้มข้นปรอทพบว่าปรอทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปลามีความยาวลำตัวเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่เก็บในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน พบว่าตัวอย่างปลาลังที่เก็บได้ในเดือนมิถุนายนและตุลาคมมีช่วงความยาวลำตัวเท่ากับ 11.10 - 21.20 และ 14.90 - 23.20 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งในรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นแนวโน้มว่าถ้าปลาลังที่มีช่วงความยาวมากกว่า รูปที่ 4.4 (2) จะมีระดับปรอทมากกว่า รูปที่ 4.1 (1)



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบความเข้มข้นปรอทกับขนาดของตัวอย่างปลาลังที่เก็บในช่วง (1) เดือนมิถุนายน และ (2) เดือนตุลาคม

4.3 การประเมินความเสี่ยงในการบริโภค

4.3.1 ความเสี่ยงเบื้องต้นจากการบริโภคปลาทุล่ง

ปลาทุล่งมีโอกาสรับสัมผัสโปรทจากอาหารผ่านทางห่วงโซ่อาหาร เช่นเดียวกัน มนุษย์ที่บริโภคปลาทุล่งจึงมีโอกาสรับสัมผัสโปรทเช่นกัน จึงต้องทำการประเมินความเสี่ยงในการรับสัมผัสโปรท โดยเบื้องต้นทำได้โดยนำค่าความเข้มข้นโปรทในเนื้อเยื่อปลาทุล่งไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นโปรทในเนื้อเยื่อปลาทุล่งที่จับจากอ่าวไทยเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน

พื้นที่ศึกษาและชนิดตัวอย่าง	ช่วงความเข้มข้น (µg/g นน.เปียก)	ความเข้มข้นเฉลี่ย (µg/g นน.เปียก)	เอกสารอ้างอิง
จ.ประจวบฯ และ ชุมพร			
- ปลาทุ	0.005 - 0.022	0.013 ± 0.005	This study
- ปลาลัง	0.003 - 0.044	0.011 ± 0.008	"
จ.ตราด ถึง จ.ปัตตานี			
- ปลาทุ	-	0.013	(สมชาย วิบุญพันธุ์ และคณะ, 2551)
- ปลาลัง	-	0.014	"
จ.สมุทรสาคร			
- ปลาทุ	สูงสุดไม่เกิน 0.370	-	(นิวัติ อนุรักษ์ชนะชัย, 2550)
เกณฑ์มาตรฐาน		0.5	(กระทรวงสาธารณสุข, 2563)

พบว่าความเข้มข้นโปรทในเนื้อเยื่อตัวอย่างปลาทุและปลาลังทั้งหมด 109 ตัวอย่าง มีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข

4.3.2 ความเสี่ยงจากการได้รับโปรทเป็นเวลานาน

Hazard Quotient เป็นการประเมินความเสี่ยงในการได้รับโปรทในปริมาณน้อยแต่เป็นเวลานาน และใช้สำหรับสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (non-carcinogenic effect) สามารถคำนวณได้จากสมการ 3-1 และ 3-2 (Kofi, 2002; พงษ์เทพ วิวรรณเดช, 2547)

จากความเข้มข้นโปรทในกลุ่มปลาทุที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.005 – 0.022 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.013 ± 0.005 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ส่วนความเข้มข้นในกลุ่มปลาลัง มีค่าอยู่ในช่วง 0.003 – 0.044 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.011 ± 0.008 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก เมื่อนำไปคำนวณค่า HQ กลุ่มตัวอย่างปลาทุ มีค่า HQ อยู่ระหว่าง 0.08 – 0.36 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.20 ± 0.08 และสำหรับตัวอย่างปลาลังมีค่าอยู่ระหว่าง 0.02 – 0.71 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.18 ± 0.12 ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าสัดส่วนความเสี่ยงอันตรายและปริมาณแนะนำสำหรับบริโภคปลาทุลง

		ค่าสัดส่วนความเสี่ยงอันตราย (HQ)	PTWI - สำหรับคนน้ำหนัก	
			เฉลี่ย 50 kg	เฉลี่ย 60 kg
ปลาทุ	Min	0.08	3.64	4.37
	Max	0.36	16.23	19.47
	Average	0.20 ± 0.08	7.52 ± 3.70	9.01 ± 4.44
ปลาลัง	Min	0.02	1.84	2.21
	Max	0.71	78.36	94.04
	Average	0.18 ± 0.12	10.50 ± 9.20	12.60 ± 11.04
ตัวอย่างทั้งหมด	Min	0.02	1.84	2.21
	Max	0.71	78.36	94.04
	Average	0.19 ± 0.12	10.14 ± 8.73	12.17 ± 10.47

หมายเหตุ PTWI คือปริมาณที่สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัย

4.3.3 ปริมาณปลอดภัยสำหรับการบริโภคต่อสัปดาห์

ค่า Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI) หรือปริมาณที่สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัยต่อสัปดาห์ โดยจะมีความสอดคล้องกับค่า HQ กล่าวคือถ้ามีค่า HQ สูงแสดงว่ามีความเสี่ยงสูงหากบริโภคไปเป็นเวลานาน ดังนั้นปริมาณที่รับได้ในแต่ละสัปดาห์จึงต่ำกว่าตัวอย่างที่มีค่า HQ ต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

การหาปริมาณที่สามารถบริโภคปลาทุและปลาลังต่อสัปดาห์เลือกใช้ค่าปรอทจากตัวอย่างที่มีความเข้มข้นสูงสุด หรือ มีค่า HQ สูงสุดมาคำนวณ โดยแสดงตัวอย่างวิธีการคำนวณ ใน ภาคผนวก ค. และมีค่าปริมาณปลอดภัยสำหรับการบริโภคต่อสัปดาห์ (PTWI) สำหรับคนที่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 50 และ 60 กิโลกรัม เท่ากับ 1.84 และ 2.21 อย่างไรก็ตาม เมื่อนำค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของปรอทในตัวอย่างมาคำนวณ ค่า PTWI สำหรับคนที่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 50 และ 60 กิโลกรัม จะมีค่าเท่ากับ 10.14 และ 12.17 กิโลกรัม/สัปดาห์ ตามลำดับ

บทที่ 5 สรุปผลศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 ปริมาณปรอทในเนื้อเยื่อปลา

ปริมาณปรอทในปลาทุกลังที่จับจากอ่าวไทยทั้งหมด 109 ตัวอย่าง พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มปลาได้เป็น 2 กลุ่มได้แก่ ปลาลัง (*Restrelliger kanaguru*) มีค่าความเข้มข้นปรอทอยู่ในช่วง 0.001 – 0.022 และปลาทุ (*Restrelliger brachysoma*) มีค่าความเข้มข้นปรอทอยู่ในช่วง 0.005 – 0.022 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งไม่พบแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความเข้มข้นปรอทในปลาทั้งสองชนิด จากการเปรียบเทียบกลุ่มตัวอย่างตามช่วงเวลา กลุ่มตัวอย่างที่เก็บในเดือนมิถุนายน และเดือนตุลาคม มีค่าความเข้มข้นปรอทอยู่ในช่วง 0.001 – 0.022 และ 0.003 – 0.022 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ และเมื่อนำค่าความเข้มข้นปรอทในประชากรปลาทุและปลาลังมาเปรียบเทียบกับค่าการเติบโตของปลา พบว่าเมื่อปลามีน้ำหนักและความยาวเพิ่มขึ้นระดับปรอทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

5.1.2 ความเสี่ยงและปริมาณปลอดภัยต่อการบริโภคปลาทุและปลาลัง

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณปรอทกับเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุขประเทศไทย และค่าสูงสุดของปริมาณสารปนเปื้อนที่ยอมให้มีได้ (Maximum Level) ของต่างประเทศ พบว่าตัวอย่างทั้งหมดมีค่าความเข้มข้นปรอทไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานสำหรับบริโภค

จากผลการคำนวณค่า Hazard Quotient (HQ) ของตัวอย่างทั้งหมด มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าการบริโภคปลาทุที่จับจากอ่าวไทยไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อผู้บริโภค และได้มีการคำนวณปริมาณที่สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัยต่อสัปดาห์ หรือ Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI) ซึ่งสอดคล้องกับค่า HQ กล่าวคือ ถ้าหากมีค่า HQ สูง ค่า PTWI จะต่ำ ดังนั้นสำหรับคนไทยและคนทั่วไปที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 50 และ 60 กิโลกรัมมีค่าปริมาณที่สามารถบริโภคปลาทุต่อสัปดาห์เท่ากับ 1.84 และ 2.21 กิโลกรัม ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ขั้นตอนการสับเนื้อเยื่อ ควรสับให้ละเอียดที่สุด เพื่อความแน่ใจว่าตัวอย่างได้รวมเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว
2. ในการเลือกหลอดทดลองที่จะนำมาใช้ในการย่อยตัวอย่าง ควรตรวจสอบความสมบูรณ์ ไม่ให้มีรอยร้าว หรือบิ่นของปากหลอด เพื่อที่เวลาทำการผสมสารเคมีในหลอดจะได้ไม่หก ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ทดลองได้
3. ควรเก็บตัวอย่างปลาให้มีความหลากหลายมากขึ้นทั้งในเชิงขนาดตัว ช่วงอายุปลา บริเวณที่เก็บตัวอย่าง และช่วงฤดูกาลเก็บตัวอย่าง เพื่อให้ได้ผลที่สามารถนำไปวิเคราะห์ได้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมควบคุมมลพิษ. (2545). *ปรอท (Mercury)*. (3). สืบค้นจาก <http://infofile.pcd.go.th/haz/44-Mercury.pdf>

กรมประมง. (2508). งานสอบสวนปลาหู พ.ศ. 2506 – 2508. สถานีวิจัยประมงทะเล กองสำรวจและค้นคว้าประมง หน้า 192

กรมประมง. (2539). ทรัพยากรและการประมงสัตว์น้ำทะเลในเขตเศรษฐกิจจำเพาะประเทศไทย. ในเอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการเรื่องมลพิษสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ระหว่างเขตทางทะเลและมลพิษสัตว์น้ำชนิดที่ย้ายถิ่นเสมอ. วันที่ 25-26 กรกฎาคม 2539 ณ ห้องประชุมอานนท์. กองประมงทะเล, กรมประมง. หน้า 162-216.

กระทรวงสาธารณสุข 2563 มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 137 หน้า 17

เกษม พลายนแก้ว. (2548). ปรอท : สารเคมีใกล้ตัวที่ควรรู้จัก. *มวก.วิชาการ*, 8(16). หน้า 81-96.

สืบค้นจาก <http://journal.hcu.ac.th/pdf/sci81609.pdf>

กลุ่มแผนงานและติดตามการตรวจการประมง. (2564). ประชาสัมพันธ์การกำหนดพื้นที่และระยะเวลา ฤดูสัตว์น้ำมีไข่ วางไข่ เลี้ยงตัวอ่อน: ปิดอ่าวไทย 2564. กรมประมง. สืบค้นจาก

https://www4.fisheries.go.th/local/index.php/main/view_activities/1370/97567

กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง. (2559). สถิติปริมาณและมูลค่าสัตว์น้ำ ณ ทำขึ้นปลาน้ำเค็ม. สืบค้นจาก

https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20200714140927_1_file.pdf

กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง. (2563). สถิติปริมาณและมูลค่าสัตว์น้ำ ณ ทำขึ้นปลาน้ำเค็ม. สืบค้นจาก

https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20200811084803_new.pdf

ขจรศักดิ์ เวชชการัญญ์. (2509). การศึกษาองค์ประกอบความยาวปลาหู (*Rastrelliger neglectus Van Kampen*) ที่สุ่มตัวอย่างจากเครื่องมือประมงชนิดต่างๆ ในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ในปี พ.ศ. 2499 และ พ.ศ. 2505. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, แผนกวิชาทำการประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณัฐริกา บัวเพชร. (2560). ระดับปรอทในเนื้อเยื่อสัตว์ทะเลที่จับได้โดยเบ็ดราวและลอบจากอ่าวไทย. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ปิยะรัตน์ อุตสาหกรรม (2548). *ปรอทรวมในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู จ.สมุทรปราการ* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาสัตวศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา).
- พงศ์เทพ วิวรรณเดชะ. (2547). การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ ภาควิชาเวชศาสตร์ชุมชน คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- พัชรี พันธุ์เล่ง และ นพรัตน์ ราชสุชล. (ม.ป.ป.). *ชีววิทยาการสืบพันธุ์ของปลาทุจากเครื่องมืออวนล้อมติดปลาทุ บริเวณเขตมาตรการอนุรักษ์ทรัพยากรสัตว์ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และสุราษฎร์ธานี. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงทะเลอ่าวไทยตอนกลาง. สืบค้นจาก*
http://www.jba.tbs.tu.ac.th/files/APA_Style.pdf
- เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล, เบญจวรรณ แสนสิทธิสกุลเลิศ และพิสุทธิ์ เทศสวัสดิ์. (2556). *ลักษณะทางตะกอนวิทยาและการปนเปื้อนของปรอทและสารหนูในดินตะกอนอ่าวไทย. สัมมนาวิชาการ ณ อาคารอานนท์กรมประมง เมื่อวันที่ 11-12 ธันวาคม 2556 สืบค้นจาก URI:*
<http://hdl.handle.net/20.500.12067/1186>
- เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล และ ปรีชา แสนสิทธิ์. (2556). *ระดับการปนเปื้อนของปรอทในน้ำทะเลอ่าวไทย. สัมมนาวิชาการ ณ อาคารอานนท์กรมประมง เมื่อวันที่ 11-12 ธันวาคม 2556 สืบค้นจาก URI:*
<http://hdl.handle.net/20.500.12067/1185>
- นภดล มั่นทะจิตร. (2541). *การสำรวจและพัฒนาปิโตรเลียมและถ่านหินในประเทศไทย สืบค้นจาก*
library.dmr.go.th/Document/DMR_Technical_Reports/2541/204.pdf
- เมธี แก้วเนิน และคณะ. (2560). *รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการการศึกษาสถานภาพของทรัพยากรปลาทุที่มีความสัมพันธ์กับสภาพสิ่งแวดล้อมบริเวณพื้นผิวทะเลในบริเวณอ่าวไทย. กรุงเทพฯ:สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)*
- วิชาญ ศิริชัยเอกวัฒน์. (2564). *ปลาทุที่ผมรู้จัก (ตอนที่ 1). สืบค้นจาก*
<https://thaipublica.org/2021/01/wicharn-sirichai-ekawat03/>
- วีระวัฒน์ หงสกุล. (2508). “ปลาทุในอ่าวไทย” ในเอกสารวิชาการฉบับที่ 4 งานสอบสวนปลาทุ พ.ศ. 2506- 2508. *สถานวิจัยประมงทะเล, กองสำรวจและค้นคว้า, กรมประมง.*
- ศัลยเวทย์ วิทยานนท์. (2554). *การตรวจสอบชนิดของอาหารในกระเพาะอาหารของปลาทุ Rastrelliger brachysoma (Bleeker, 1851) และปลาลัง Rastrelliger kanagurta (Cuvier, 1816). โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์, ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.*
- ศิริ จันทรุชิต. (2531). *การลดลงของปริมาณปรอทในหอยแครงที่จังหวัด สมุทรปราการ หลังการทำให้สุก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยมหิดล หน้า 56*
- สมเกียรติ ปิยะธีรธิตวิรุณกุล. (2553). *สารปรอทในอ่าวไทย. จดหมายข่าวศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย, 1(5), 3. สืบค้นจาก*
http://www.jba.tbs.tu.ac.th/files/APA_Style.pdf

สุคนธ์เมธ จิตรมหันตกุล. (2555). ธรณีวิทยาอ่าวไทย.

สืบค้นจาก <http://www.geothai.net/gulf-of-thailand>

เสมอแข จงธรรมานุกรักษ์. (2558). ประสบการณ์จากการเข้าร่วมหลักสูตรการสร้างขีดความสามารถในการให้สัตยาบันต่อสนธิสัญญาไมนามาตะว่าด้วยสารปรอท. บทความศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. หน้า22-31

อุรุพันธุ์ บุญประกอบ. (2510). รายงานผลการปฏิบัติงานศึกษาแหล่งวางไข่และฤดูวางไข่ของปลาทุในอ่าวไทยประจำปี 2509 – 2510. ภาค 1. สถานีวิจัยประมงทะเล, กองสำรวจและค้นคว้า , กรมประมง.

ภาษาอังกฤษ

Agusa T., T. Kunito, A. Sudaryanto, S. Kan-Atireklap, H. Iwata, A. Ismail, J. Sanguansin, M. Muchtar, T.S. Tana and S. Tanabe. (2007). Exposure assessment for trace elements from consumption of marine fish in Southeast Asia. *Environ. Pollut.* 145: 766-777.

Bernard S, Redwood L, Blaxill M. (2004). Thimerosal, mercury, and autism: Case study in the failure of the risk assessment paradigm. *Neurotoxicology.* 25:710–710.

Bjornberg KA, Vahter M, Petersson-Grawe K, Glynn A, Cnattingius S, Darnerud PO, Atuma S, Aune M, Becker W, Berglund M. (2003). Methyl mercury and inorganic mercury in Swedish pregnant women and in cord blood: Influence of fish consumption. *Environ Health Perspect* 111:637–641.

Canuel R, de Grosbois SB, Atikesse L, Lucotte M, Arp P, Ritchie C, Mergler D, Chan HM, Amyot M, Anderson R. (2006). New evidence on variations of human body burden of methylmercury from fish consumption. *Environ Health Perspect* 114:302–306.

Collette, B.B. and C.E. Nauen, (1983). *FAO Species Catalogue. Vol. 2. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date.* Rome: FAO. *FAO Fish. Synop.* 125(2): 46-48.

Cossa, D., M. Coquery, C. Gobeil, and J.-M. Martin. (1996). Mercury fluxes at the ocean margins. 229-247 In: W. Baeyens et al., Eds., *Global and Regional Mercury Cycles: Sources, Fluxes and Mass Balances.* Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.

- FAO. (2005). Food Security Statistics. Retrieved from http://www.fao.org/faostat/foodsecurity/index_en.htm
- FSCJ, (2005). Food Safety Risk Assessment Related to Methylmercury in Seafood. The Cabinet Office, Japan. Retrieved from https://www.fsc.go.jp/english/index.data/methylmercury_risk_assessment.pdf.
- Goering PL, Galloway WD, Clarkson TW, Lorscheider FL, Berlin M, Rowland AS. (1992). Toxicity assessment of mercury-vapor from dental amalgams. *Fundam Appl Toxicol* 19:319–329.
- Halsey NA. (1999). Limiting infant exposure to thimerosal in vaccines and other sources of mercury. *J Am Med Assoc* 282:1763–1766.
- Hansen G, Victor R, Engeldinger E, Schweitzer C. (2004). Evaluation of the mercury exposure of dental amalgam patients by the Mercury Triple Test. *Occup Environ Med* 61:535–540.
- Hightower JM, Moore D. (2003). Mercury levels in high-end consumers of fish. *Environ Health Perspect* 111:604–608.
- JECFA. (2001). Codex Alimentarius Commission Twenty-fourth Session Geneva. Switzerland Retrieved from <ftp://ftp.fao.org/codex/Reports/Alinorm01/Al0112ae.pdf>
- JECFA. (2017). Codex Alimentarius Commission Eleventh Session. Rio de Janeiro, Brazil Retrieved from http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-735-11%252FWD%252Fcf11_12e.pdf.
- Leonard J. (1971). Mercury in environment. *Scientific American*. 224: 15-21 URL: <https://www.jstor.org/stable/10.2307/24927791>
- Lindberg, S., P. Stokes, E. Goldberg, and C. Wren. (1987). Group report: mercury. Pages 17-34 In: T.W. Hutchinson and K.M. Meemz, Eds., *Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic in the Environment*. John Wiley & Sons, New York.
- Lockwood, R.A. and K.Y. Chen. (1973). Adsorption of Hg (II) by hydrous manganese oxides. *Environ. Sci.Technol.* 7:1028-1034.
- Loux, N.T. (1998). An assessment of mercury-species-dependent binding with natural organic carbon. *Chem. Spec. Bioavail.* 10:127-136.
- Morel, F., R.E. McDuff, and J.J. Morgan. (1973). Interactions and chemostasis in aquatic chemical systems" role of pH, pE, solubility, and complexation. Pages 157-200 In:

- P.C. Singer, Ed., Trace Metals and Metal-Organic Interactions in Natural Waters. Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, MI.
- National centers for coastal ocean science. (2017). Mercury Hot Spots and Bioaccumulation in Fish. Retrieved January 17, 2021, from <https://coastalscience.noaa.gov/project/mercury-hot-spots-bioaccumulation-fish/>
- Nishimura, H. and M. Kumagai. (1983). Mercury pollution of fishes in Minamata Bay and surrounding water: analysis of pathway of mercury. *Water Air Soil Pollut.* 20:401-411.
- Obi, E., Okafor, C., Igwebe, A., Ebenebe, J., Johnson Afonne, O., Ifediata, F., Orisakwe, O. E., Nriagu, J. O., & Basu, N. (2015). Elevated prenatal methylmercury exposure in Nigeria: evidence from maternal and cord blood. *Chemosphere*, 119, 485–489.
- Pentreath, R.J. (1976a). The accumulation of mercury from food by the plaice, *Pleuronectes platessa*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 2__55:51-65.
- Pentreath, R.J. (1976b). The accumulation of organic mercury from seawater by the plaice, *Pleuronectes platessa* L. *J. Exper. Mar. Biol. Ecol.* 24:121-132.
- Razagui IBA, Haswell SJ. (2001). Mercury and selenium concentrations in maternal and neonatal scalp hair—Relationship to amalgam-based dental treatment received during pregnancy. *Biol Trace Elem Res* 81:1–19.
- Robinson, M.K. (1974). The physical oceanography of the Gulf of Thailand. NAGA Report.
- Sager PR. 2006. Mercury levels in Argentine newborns and infants after receipt of routine vaccines containing thimerosal. *Neurotoxicol Teratol* 28:426–426.
- Spacie A, McCarty LS, Rand GM (1995). Bioaccumulation and bioavailability in multiphase systems. In: Rand GM (ed) *Fundamentals of aquatic toxicology, second edition: effects, environmental fate, and risk assessment*. Taylor & Francis, Washington, DC, 1125
- Thompson, D.R. (1990). Metal levels in marine vertebrates. Pages 143-182 In: R.W. Fumess and P.S. Rainbow, Eds., *Heavy Metals in the Marine Environment*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Ullrich SM, Tanton TW, Abdrashitova SA. 2001. Mercury in the aquatic environment: A review of factors affecting methylation (Review). *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 31(3), 241–293
- US-EPA. (1989). Risk Assessment Guidance for Superfund Volume 1 Human Health Evaluation Manual (Part A). EPA/540/1-89/002.

- Wiener JG, Krabbenhoft DP, Heinz GH, Scheuhammer AM. (2003). Ecotoxicology of mercury. In: Hoffman DJ, Rattner BA, Burton GA Jr, Cairns J Jr (eds) Handbook of ecotoxicology, 2nd edn. Lewis Publishers, Boca Raton, 409–463
- Windom, H.L. and G. Cranmer. (1998). Lack of observed impacts of gas production of Bangkok Field, Thailand on marine biota. *Mar. Pollut. Bull.* 36: 799-807.
- Wood, J.M. (1968). Synthesis of methylmercury compounds by extracts of most inorganic bacterium. *Journal of Nature*, 220(3), 173 - 174
- Wood, J.M. (1987). Biological processes involved in the cycling of elements between soil or sediments and the aqueous environment. *Hydrobiol.* 149:31-42.
- Zillioux E. (2015). *Mercury in fish: History, Sources, Pathways, Effects, and Indicator usage.* Springer Science+Business Media Dordrecht. DOI: 10.1007/978-94-017-9499-2_42

ภาคผนวก

ก. ข้อมูลการวิเคราะห์ปรอทในเนื้อเยื่อปลาทุ-ลัง

ตารางที่ ผ.1 ผลการวิเคราะห์ปรอทในตัวอย่างปลาซ้ำ 21 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 109 ตัวอย่าง

ชื่อ	ความเข้มข้น (ไมโครกรัม/กรัม)		ผลต่าง	%RPD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
191	0.006	0.006	0.000	8.34
R1-51	0.010	0.013	0.003	21.95
R1-42	0.013	0.014	0.001	5.83
25	0.007	0.011	0.003	36.84
32	0.010	0.012	0.002	19.59
26	0.012	0.009	0.003	28.87
2	0.010	0.017	0.008	56.14
177	0.004	0.005	0.001	14.17
125	0.009	0.007	0.003	32.39
112	0.005	0.011	0.005	70.05
184	0.012	0.012	0.001	4.80
122	0.013	0.009	0.005	40.93
R1-57	0.014	0.015	0.000	1.92
R1-67	0.009	0.008	0.000	5.83
R1-34	0.012	0.015	0.003	23.84
77	0.005	0.006	0.001	12.56
148	0.014	0.011	0.003	24.34
R1-64	0.007	0.010	0.002	26.75
R1-50	0.008	0.015	0.007	57.07
132	0.018	0.009	0.008	63.07
R1-10	0.004	0.011	0.006	84.81
			จำนวน	21
			ค่าเฉลี่ย	30.48
			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	23.62

ตารางที่ ผ2 ความเข้มข้นปรอทและขนาดตัว ค่าสัดส่วนอันตรายและปริมาณแนะนำสำหรับบริโภค

Sample ID	concentration	FL	BD	BW	TL	FL/BD	HQ	PTWI (kg/week)	
	(µg/g wet wt.)	(cm)	(cm)	(g)	(cm)			BW 50 kg	BW 60 kg
JUN1	0.015	19.4	41	110.7	20.8	0.47	0.24	5.54	6.65
JUN2	0.017	19.1	36.5	102.5	21.2	0.52	0.28	4.65	5.59
JUN3	0.009	14.1	32.5	41.3	15.5	0.43	0.15	8.82	10.59
JUN4	0.014	17.9	35.2	81.5	19.2	0.51	0.22	5.87	7.05
JUN6	0.007	17.7	33.4	77.3	19.3	0.53	0.12	10.75	12.91
JUN8	0.012	15.4	35.3	49.7	16.6	0.44	0.19	6.94	8.33
JUN9	0.012	14.2	30.4	41.6	15.4	0.47	0.2	6.72	8.07
JUN13	0.012	14	31.1	38.4	15.2	0.45	0.19	6.79	8.15
JUN19	0.017	18.3	35.6	87.2	20.5	0.51	0.28	4.63	5.56
JUN20	0.007	16.3	33.9	60.7	18	0.48	0.11	12.19	14.64
JUN21	0.028	14.7	28.7	46.9	16.2	0.51	0.46	2.87	3.45
JUN22	0.006	14.1	30.9	38.8	15.8	0.46	0.1	13.78	16.54
JUN25	0.011	16.5	33.5	71.3	18.4	0.49	0.17	7.5	9.01
JUN26	0.012	17	35.1	72.4	18.7	0.48	0.19	6.98	8.38
JUN32	0.012	15.6	35.8	55.4	17.5	0.44	0.2	6.56	7.88
JUN33	0.01	16.7	35.2	64.2	18.6	0.47	0.16	8.05	9.66
JUN36	0.007	16.7	35.2	69.4	18.6	0.47	0.12	10.74	12.9
JUN45	0.011	14.9	33.4	42.6	16.4	0.45	0.18	7.38	8.87
JUN47	0.018	14.3	34.8	43.3	15.1	0.41	0.3	4.4	5.29
JUN55	0.04	15	31.2	45.7	16.7	0.48	0.65	2.01	2.41
JUN56	0.007	15	31.5	50.8	16.6	0.48	0.12	10.93	13.12
JUN59	0.03	16.9	35.5	67.3	18.8	0.48	0.49	2.67	3.21
JUN63	0.019	12.1	24.1	24.1	13.2	0.5	0.31	4.18	5.02
JUN77	0.006	16.7	36.8	67.6	19	0.45	0.09	14.08	16.9
JUN83	0.013	16.2	34.8	62	18.2	0.47	0.21	6.26	7.52
JUN84	0.019	17.1	42.2	76.2	19	0.41	0.31	4.2	5.04
JUN87	0.008	17.2	36.9	72.5	19.2	0.47	0.13	10.13	12.16
JUN89	0.007	16.4	35.9	66.1	18.2	0.46	0.11	11.46	13.76
JUN91	0.017	15.6	37.7	53.3	17.6	0.41	0.28	4.7	5.65
JUN98	0.013	15.5	35.9	52.8	17.3	0.43	0.22	6.02	7.22
JUN100	0.008	16.7	36.9	74.8	18.6	0.45	0.13	10.42	12.51
JUN103	0.013	15.6	36.4	51.5	17.2	0.43	0.21	6.39	7.68
JUN108	0.011	17.1	41	77.9	19.1	0.42	0.18	7.16	8.59

ตารางที่ ๘2 (ต่อ)

Sample ID	concentration	FL	BD	BW	TL	FL/BD	HQ	PTWI (kg/week)	
	(µg/g wet wt.)	(cm)	(cm)	(g)	(cm)			BW 50 kg	BW 60 kg
JUN110	0.008	13.9	34.3	40	15.6	0.41	0.14	9.65	11.59
JUN112	0.011	14	31.6	39.4	15.4	0.44	0.17	7.62	9.15
JUN113	0.012	17	36.9	73.1	18.8	0.46	0.19	6.79	8.15
JUN118	0.011	14.5	34.7	44.5	16.3	0.42	0.18	7.48	8.98
JUN119	0.022	15	35.6	45.7	16.1	0.42	0.36	3.64	4.38
JUN122	0.013	15.5	37.2	50	17.3	0.42	0.22	6.03	7.24
JUN124	0.004	13.7	31.7	39.1	15.1	0.43	0.07	18.96	22.76
JUN125	0.009	16.9	35.1	68.7	18.9	0.48	0.15	8.54	10.26
JUN132	0.018	16.1	35	61.6	18	0.46	0.29	4.54	5.46
JUN136	0.021	14.1	28.8	39.4	15.7	0.49	0.35	3.75	4.5
JUN138	0.001	18.9	37.5	80	19.9	0.5	0.02	78.36	94.04
JUN143	0.011	15.1	36.2	48.2	17	0.42	0.17	7.63	9.17
JUN144	0.008	16.3	34	60.4	18.1	0.48	0.13	10.44	12.53
JUN145	0.006	14.9	34.8	46.1	16.6	0.43	0.1	13.53	16.24
JUN146	0.005	14.4	34.5	40.8	16.1	0.42	0.08	16.22	19.47
JUN148	0.011	14.2	32.9	40	15.5	0.43	0.18	7.44	8.93
JUN149	0.008	14.7	29.9	41.8	16	0.49	0.14	9.62	11.54
JUN151	0.009	13.1	29.4	29.1	14.4	0.45	0.14	9.2	11.05
JUN163	0.004	13.3	27.1	32.2	14.9	0.49	0.07	18.96	22.75
JUN166	0.006	12.2	25	25.8	13.4	0.49	0.1	13.67	16.42
JUN173	0.003	13	26.8	30.9	13.9	0.49	0.04	30.89	37.08
JUN174	0.007	12	23.3	22.4	13.2	0.52	0.11	11.54	13.85
JUN176	0.006	11.9	22.7	21.8	12.5	0.52	0.09	14.43	17.32
JUN177	0.004	11.8	22.8	20.9	12.6	0.52	0.07	18.36	22.04
JUN178	0.004	10.5	18.7	13.2	11.1	0.56	0.06	21.56	25.88
JUN179	0.003	13.6	29.7	36	14.7	0.46	0.05	27.97	33.57
JUN180	0.012	15.7	36.8	52.1	17.6	0.43	0.2	6.61	7.93
JUN184	0.012	13.9	30.4	38.2	15.4	0.46	0.19	6.87	8.25
JUN186	0.005	11.9	23.8	21.8	13	0.5	0.08	16.8	20.17
JUN187	0.008	11.9	24.6	25.3	13.1	0.48	0.12	10.6	12.73
JUN189	0.014	11.9	23.2	22.3	12.9	0.51	0.23	5.61	6.74
JUN190	0.007	11.6	23.9	21	12.7	0.49	0.11	12.19	14.64
JUN191	0.006	12.5	24.9	24.8	13.9	0.5	0.1	13.35	16.03
JUN193	0.013	12.2	24.8	24.8	13.5	0.49	0.21	6.24	7.49

ตารางที่ ผ2 (ต่อ)

Sample ID	concentration	FL (cm)	BD (cm)	BW (g)	TL (cm)	FL/BD	HQ	PTWI (kg/week)	
	(µg/g wet wt.)							BW 50 kg	BW 60 kg
JUN195	0.006	11.6	23.4	20.7	12.6	0.5	0.1	13.43	16.12
JUN196	0.005	11.6	23	21.7	12.6	0.5	0.08	16.34	19.61
JUN197	0.005	11.6	24.6	20	12.6	0.47	0.08	15.77	18.93
JUN200	0.005	11.9	24.3	22.6	13	0.49	0.08	17.37	20.85
OCT1	0.008	16.5	3.85	70.7	18.3	4.29	0.13	10.03	12.04
OCT10	0.011	15.4	3.55	54.4	17	4.34	0.18	7.45	8.95
OCT11	0.01	15.45	3.72	59.4	17.7	4.15	0.17	7.9	9.49
OCT14	0.013	17	3.98	75.4	18.9	4.27	0.22	5.97	7.17
OCT2	0.01	16.1	3.645	61	18.1	4.42	0.17	7.69	9.23
OCT23	0.007	16.6	3.88	69.4	18.4	4.28	0.11	11.61	13.93
OCT25	0.011	16.6	4.03	75.4	18.4	4.12	0.18	7.26	8.72
OCT30	0.014	15.9	3.44	55.9	17.7	4.62	0.22	5.89	7.08
OCT32	0.015	17.3	4.04	81.6	19.1	4.28	0.25	5.31	6.37
OCT34	0.015	15.7	3.58	60	17.8	4.39	0.24	5.37	6.46
OCT35	0.012	16.2	3.72	64.9	17.6	4.35	0.19	6.87	8.25
OCT39	0.011	16.3	3.7	64	18.1	4.41	0.17	7.57	9.08
OCT41	0.012	15.4	3.46	53.4	16.9	4.45	0.2	6.69	8.03
OCT42	0.014	17.25	3.94	77.5	19	4.38	0.23	5.78	6.95
OCT45	0.006	15.8	3.59	62.6	18	4.4	0.09	14.19	17.03
OCT47	0.012	19.75	4.6	123.2	22.3	4.29	0.2	6.67	8.01
OCT48	0.004	19.25	4.09	92.5	21.4	4.71	0.07	19.85	23.83
OCT49	0.006	19.05	4.03	101.7	21.3	4.73	0.1	12.67	15.21
OCT5	0.009	16.15	3.965	62	18	4.07	0.14	9.05	10.87
OCT50	0.015	20.75	4.52	143.6	23.2	4.59	0.24	5.43	6.52
OCT51	0.013	19	4.1	100	21	4.63	0.21	6.31	7.57
OCT52	0.01	18.95	4	108.7	21	4.74	0.16	8.22	9.87
OCT53	0.003	17.3	3.7	77.8	19.3	4.68	0.05	28.18	33.82
OCT54	0.004	17.3	3.54	73.2	19.3	4.89	0.07	18.09	21.71
OCT55	0.008	18.75	4.07	103.5	21.1	4.61	0.13	10.18	12.23
OCT57	0.015	19.6	4.07	115.7	21.9	4.82	0.24	5.54	6.66
OCT58	0.03	16.9	3.56	71.4	18.8	4.75	0.49	2.69	3.23
OCT61	0.016	17.5	3.8	83.5	19.5	4.61	0.27	4.89	5.87

ตารางที่ ผ2 (ต่อ)

Sample ID	concentration ($\mu\text{g/g}$ wet wt.)	FL (cm)	BD (cm)	BW (g)	TL (cm)	FL/BD	HQ	PTWI (kg/week)	
								BW 50 kg	BW 60 kg
OCT62	0.014	18.9	3.94	106.1	21.1	4.8	0.24	5.56	6.68
OCT64	0.01	17.1	3.45	71.1	19	4.96	0.16	8.35	10.03
OCT66	0.003	15.95	3.19	58.7	17.5	5	0.04	30.53	36.64
OCT67	0.009	13.5	2.58	35.1	14.9	5.23	0.14	9.41	11.3
OCT68	0.03	15.4	2.89	47	16.9	5.33	0.48	2.72	3.27
OCT69	0.019	14.5	3.35	46.1	15.4	4.33	0.3	4.35	5.22
OCT70	0.01	13.9	2.86	36.2	15.2	4.86	0.17	7.76	9.31
OCT71	0.044	15.2	2.98	48.6	16.7	5.1	0.71	1.84	2.21
OCT73	0.01	14.8	2.77	43.6	16.2	5.34	0.17	7.94	9.54
OCT74	0.022	16	4.11	60.5	17.5	3.89	0.37	3.58	4.31

หมายเหตุ ค่าความเข้มข้นปรอทรายงานเป็นน้ำหนักเปียก (wet wt.)

FL; Folk length, BD; Body depth, BW; Body weight, TL; Total length,

FL/BD; อัตราส่วนสำหรับใช้ในการแยกชนิดปลาหู-ลั้ง, FL/BD > 4.3 ปลาหลัง, <4.3 ปลาหู

HQ; ค่าสัดส่วนความเสี่ยงอันตราย

PTWI; ปริมาณที่สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัยต่อสัปดาห์ (กิโลกรัม/สัปดาห์)

ข. ตัวอย่างการคำนวณค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient)

การคำนวณค่าสัดส่วนความเสี่ยง จากข้อมูลตัวอย่างปลาที่มีความเข้มข้นปรอท 0.015 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก สำหรับคนที่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยเท่ากับ 50 กิโลกรัม

จากสูตร
$$HQ = \frac{\text{Average mercury daily intake}}{Rfd} \quad (2-2)$$

โดยที่ Rfd = Reference dose for chronic oral exposure สำหรับปรอท
= 0.1 ug/kg (body weight)/day (EPA,2005)

Average mercury daily intake คำนวณได้จากสมการ (2-3)

$$\text{Average daily intake fish (mg/kg/day)} = \frac{(CF)(IR)(FI)(EF)(ED)}{(BW)(AT)} \quad (2-3)$$

โดยที่ CF Contaminant concentration of mercury in fish (mg/kg)

IR Ingestion rate (0.028 kg/meal average

or 85 g/day average (FAO, 2005)

FI Fraction ingested from contaminate source equal to 1

EF Exposure frequency (350 meals/year, EPA, 1989)

ED Exposure duration (30 years for risk from non-carcinogen, EPA, 1989)

BW Body weight (50 kg and 60 kg average for Thai people, Agusa et al.,2007)

AT Average time exposed (30 years × 365 days/years, EPA, 1989)

จะได้ว่า

$$\text{Average daily intake fish (mg/kg/day)} = \frac{(0.015)(85)(1)(350)(30)}{(50)(10950)}$$

$$\text{Average daily intake fish (mg/kg/day)} = 0.024$$

ดังนั้น

$$HQ = \frac{0.024}{0.1}$$

$$HQ = 0.24$$

ค. ตัวอย่างการคำนวณปริมาณที่ปลอดภัยสำหรับบริโภค

ตัวอย่างการคำนวณจากข้อมูลตัวอย่างปลาที่มีความเข้มข้นปรอท 0.015 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก สำหรับคนที่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยเท่ากับ 50 กิโลกรัม

$$PTWI = \left(\frac{TRV \times BW}{Cf} \right) \times 7 \quad (3-1)$$

โดยที่	PTWI	หมายถึง ปริมาณที่สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัยต่อสัปดาห์ (กรัม/สัปดาห์)
	TRV	หมายถึง ปริมาณปรอทที่มนุษย์จะรับได้ ไม่เกินวันละ 0.23 ไมโครกรัม/กิโลกรัม/วัน
	BW	หมายถึง น้ำหนักตัวของผู้บริโภคโดยใช้น้ำหนักตัวเฉลี่ยของคนทั่วไป 60 กิโลกรัม (JECFA, 2005) และคำนวณโดยใช้ 50 กิโลกรัม สำหรับคนไทย (Agusa et al., 2007)
	Cf	หมายถึง ค่าเฉลี่ยของปรอทในปลา (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) โดยคิดว่า 90% ของปรอทที่ปนเปื้อนในปลาอยู่ในรูปของปรอทอินทรีย์ (Windom and Cranmer, 1998)

ดังนั้น

$$PTWI = \left(\frac{0.23 \times 50}{0.015} \right) \times 7$$

$$PTWI = 5.54 \text{ กิโลกรัม/สัปดาห์}$$