# ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในปลาทูน่าบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90° E

# Heavy Metal Concentration in Tuna from Ninety East Ridge

ศุภลักษณ์ พวงสุวรรณ

Supalak Puangsuwan

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Marine and Coastal Resources Management
Prince of Songkla University
2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**ชื่อวิทยานิพนธ์** ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในปลาทูน่าบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90° E
**ผู้เขียน** นางสาวศุภลักษณ์ พวงสุวรรณ
**สาขาวิชา** การจัดการทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง

---

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก**

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร ประดิษฐ์)

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม**

.....
(นายเพิ่มศักดิ์ เพิงมาก)

**คณะกรรมการสอบ**

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา วัฒยากร)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร ประดิษฐ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประวิทย์ โตวัฒนะ)

.....กรรมการ
(นายเพิ่มศักดิ์ เพิงมาก)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

ลงชื่อ.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร ประดิษฐ์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....
(นางสาวศุภลักษณ์ พวงสุวรรณ)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....
(นางสาวศุภลักษณ์ พวงสุวรรณ)
นักศึกษา

**ชื่อวิทยานิพนธ์** **ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในปลาทูน่าบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90E**
**ผู้เขียน** **นางสาวศุภลักษณ์ พวงสุวรรณ**
**สาขาวิชา** **การจัดการทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง**
**ปีการศึกษา** **2556**

## บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายตรวจวัดระดับการปนเปื้อนของโลหะหนัก (ทองแดง สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว เหล็ก นิกเกิล แมงกานีส และโคบอลต์) ในเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้องของปลาทูน่า (ปลาทูน่าตาโต ปลาทูน่าครีบเหลือง และปลาทูน่าท้องแถบ) เพื่อเป็นข้อมูลในการประเมินความเสี่ยงและหาปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคต่อสัปดาห์ โดยสุ่มตัวอย่างปลาจากบริเวณเส้นแวง 90E มหาสมุทรอินเดียระหว่างวันที่ 27 มีนาคม ถึง 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2555 จำนวน 61 ตัวอย่าง แยกเป็นปลาทูน่าตาโต (*Thunnus obesus*) 6 ตัว ปลาทูน่าครีบเหลือง (*Thunnus albacares*) 20 ตัว และปลาทูน่าท้องแถบ (*Katsuwonus pelamis*) 35 ตัว ผลการวิเคราะห์ระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 8 ชนิดพบว่า ปลาทูน่าท้องแถบมีระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักทองแดง สังกะสี แคดเมียม และเหล็กสูงสุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.790 ± 0.115, 10.3 ± 2.11, 0.046 ± 0.034 และ 12.9 ± 3.21 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ ปลาทูน่าตาโตมีระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักตะกั่ว นิกเกิล และแมงกานีสสูงสุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.075 ± 0.028, 0.101 ± 0.061 และ 0.150 ± 0.026 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ และปลาทูน่าครีบเหลืองมีระดับการปนเปื้อนของโคบอลต์สูงสุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.007 ± 0.004 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก การปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด ในเนื้อเยื่อส่วนท้องและเนื้อเยื่อส่วนหลังในปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด พบว่า ปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด ส่วนใหญ่มีระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในเนื้อเยื่อส่วนท้องสูงกว่าบริเวณเนื้อเยื่อส่วนหลัง แต่การปนเปื้อนโดยเฉลี่ยไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดโดยคณะกรรมาธิการยุโรปและกระทรวงสาธารณสุขของไทย จากการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในการบริโภค (HQ) พบว่าปลาทุกชนิดมีค่า HQ<1 หมายถึงไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพผู้บริโภค ปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคต่อสัปดาห์ (PTWI) ของแคดเมียมและตะกั่วในปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด มีค่า PTWI อยู่ระหว่าง 9.1 - 26.3 กิโลกรัม/สัปดาห์ และ 19.6 - 25.8 กิโลกรัม/สัปดาห์ ตามลำดับ สำหรับคนที่มีน้ำหนักตัว 60 กิโลกรัม

| | |
|---|---|
| **Thesis Title** | **Heavy Metal Concentration in Tuna from Ninety East Ridge** |
| **Author** | **Ms. Supalak Puangsuwan** |
| **Major Program** | **Marine and Coastal Resources Management** |
| **Academic Year** | **2013** |

## ABSTRACT

This study was aimed to analyze the heavy metal contamination (copper, zinc, cadmium, lead, iron, nickel, manganese and cobalt) in dorsal tissue and stomach tissue of tunas (bigeye, yellowfin and skipjack) for risk assessments and evaluate the provisional tolerable weekly intake (PTWI). The 61 samples consisting of 6 bigeye tuna (*Thunnus obesus*), 20 yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and 35 skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) were collected from Ninety East Ridge, Indian Ocean during 27$^{th}$ March to 18$^{th}$ May 2012. The heavy metal contamination was investigated. Skipjack tuna had highest copper, zinc, cadmium and iron contamination with average concentration of 0.790 ± 0.115, 10.3 ± 2.11, 0.046 ± 0.034 and 12.9 ± 3.21 μg/g wet weight respectively. Bigeye tuna had highest lead, nickel and manganese contamination with average concentration of 0.075 ± 0.028, 0.101 ± 0.061 and 0.150 ± 0.026 μg/g wet weight respectively. Yellowfin tuna had highest cobalt contamination with average of 0.007 ± 0.004 μg/g wet weight. The heavy metal contamination in stomach tissue was higher than dorsal tissue of most tunas but did not exceed the legal limits set by the European Commission Regulation and Ministry of Public Health of Thailand. The hazard quotient (HQ) of tunas from this study was lower than 1 – means no health risk. The ranges of PTWI of cadmium and lead in 3 tunas were 9.1 - 26.3 and 19.6 - 25.8 kg/week for 60 kg of consumer body weight.

# กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร ประดิษฐ์ และ ผู้อำนวยการเพิ่มศักดิ์ เพิงมาก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา วัฒยากร รองศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ และ รองศาสตราจารย์ ดร.ประวิทย์ โตวัฒนะ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ช่วยให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณสำนักวิจัยและพัฒนาประมงทะเล และทีมงานของเรือสำรวจมหิดล กรมประมง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่างปลาทูน่า

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงทะเลอ่าวไทยตอนล่าง จังหวัดสงขลา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่อง ICP-MS

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่สนับสนุนทุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมสาขาวิชาการจัดการทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง ตลอดจนครอบครัวที่ได้ให้กำลังใจตลอดมา จนสำเร็จกลายเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ฉบับนี้

ศุภลักษณ์ พวงสุวรรณ

# สารบัญ


| | | หน้า |
|---|---|---|
| บทคัดย่อ | | (5) |
| Abstract | | (6) |
| กิตติกรรมประกาศ | | (7) |
| สารบัญ | | (8) |
| รายการตาราง | | (11) |
| รายการรูป | | (12) |
| บทที่ 1 บทนำ | | 1 |
| 1.1 | บทนำต้นเรื่อง | 1 |
| 1.2 | การตรวจเอกสาร | 1 |
| 1.2.1 | นิยามโลหะหนัก | 3 |
| 1.2.2 | แหล่งกำเนิดของโลหะหนัก | 4 |
| 1.2.3 | การแพร่กระจายและการสะสมตัวของโลหะหนัก | 4 |
| 1.2.4 | ชนิดของโลหะที่ศึกษาในครั้งนี้ | 6 |
| 1.3 | การทำประมงปลาทูน่า | 14 |
| 1.4 | การศึกษาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในสัตว์น้ำจากพื้นที่ต่างๆ | 16 |
| 1.5 | การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ | 31 |
| 1.5.1 | ความหมายและประเภทของการประเมินความเสี่ยง | 31 |
| 1.5.2 | ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง | 33 |
| 1.6 | วัตถุประสงค์ | 34 |
| 1.7 | ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 34 |
| บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย | | 35 |
| 2.1 | พื้นที่ศึกษา | 35 |
| 2.2 | วิธีการเก็บตัวอย่างสัตว์น้ำ | 35 |
| 2.3 | อุปกรณ์และสารเคมี | 37 |
| 2.4 | การวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ | 38 |
| 2.5 | การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ตัวอย่าง | 39 |
| 2.6 | การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ | 39 |

2.7 การวิเคราะห์ความเสี่ยงในการบริโภค 39
2.7.1 ความเสี่ยงเบื้องต้น (Risk screening) 39
2.7.2 การประเมินความเสี่ยงในการได้รับโลหะหนักในปริมาณน้อยเป็นเวลานาน 40
2.7.3 การประเมินปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภค 41
บทที่ 3 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย 42
3.1 ชนิดพันธุ์และขนาดของปลาทูน่าจากเรือสำรวจประมงมหิดล 42
3.2 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ 42
3.3 ผลการศึกษาปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อปลาทูน่า 43
3.3.1 ปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อปลาทูน่า (เฉลี่ยรวมส่วนกลางและส่วนท้อง)แต่ละชนิด 43
3.3.2 เปรียบเทียบระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักระหว่างเนื้อเยื่อส่วนท้องและเนื้อเยื่อส่วนกลาง 43
3.3.3 การเปรียบเทียบระหว่างโลหะหนัก (แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล) กับเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้อง (รวมชนิดปลาทูน่าครีบเหลืองและปลาทูน่าท้องแถบ) 48
3.3.4 การเปรียบเทียบระหว่างโลหะหนัก (แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล) ในปลาทูน่าครีบเหลืองกับเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้อง 48
3.3.5 การเปรียบเทียบระหว่างโลหะหนัก (แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล) ในปลาทูน่าท้องแถบกับเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้อง 49
3.3.6 เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักกับค่ามาตรฐานและงานวิจัยชิ้นอื่น 49
3.4 การประเมินความเสี่ยง 55
3.4.1 ความเสี่ยง 55
3.4.2 ปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคต่อสัปดาห์ 57
3.5 ความสัมพันธ์ในภาพรวมระหว่างระดับการปนเปื้อนกับขนาดลำตัวของปลาทูน่า 58
บทที่ 4 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 62
4.1 ปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อปลาทูน่าแต่ละชนิด 62
4.2 เปรียบเทียบระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักระหว่างเนื้อเยื่อส่วนท้องและเนื้อเยื่อส่วนกลาง 62

| | | |
|---|---|---|
| 4.3 | เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักกับค่ามาตรฐานและงานวิจัยชิ้นอื่น | 63 |
| 4.4 | การประเมินความเสี่ยง | 63 |
| 4.5 | ปริมาณที่ปลอดภัยต่อการบริโภค | 63 |
| 4.6 | ข้อเสนอแนะ | 64 |
| บรรณานุกรม | | 65 |
| ภาคผนวก | | 75 |
| ภาคผนวก ก | เรือสำรวจและเครื่องมือประมงที่ใช้ในการทำประมง | 76 |
| ภาคผนวก ข | เครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนัก Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy (ICP-MS) | 79 |
| ภาคผนวก ค | ใบรับรองการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน (Certified Reference Material: CRM) DORM-3 (Fish Protein Certified Reference Material for Trace Metals) | 81 |
| ภาคผนวก ง | รายละเอียดของชนิดปลาทูน่า | 85 |
| ภาคผนวก จ | ขนาด (น้ำหนักและความยาว) และปริมาณโลหะหนักในปลาทูน่าแต่ละชนิด | 91 |
| ภาคผนวก ฉ | ค่า HQ และ PTWI ของตัวอย่างปลาทูน่าแต่ละชนิด พร้อมตัวอย่างการหาค่า HQ และ PTWI | 113 |
| ประวัติผู้เขียน | | 120 |

**รายการตาราง**


| ตาราง | | หน้า |
|---|---|---|
| 1-1 | ระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักบางชนิดในสัตว์น้ำจากพื้นที่ต่างๆ | 24 |
| 3-1 | จำนวนตัวอย่าง น้ำหนักเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ช่วงน้ำหนักต่ำสุด – สูงสุด) และความยาวทั้งหมดเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ช่วงความยาว) ของตัวอย่างปลาทูน่าจากเรือสำรวจประมงมหิดล โดยเครื่องมือประมงอวนล้อมจับปลาทูน่า (Tuna Purse Seine Net) | 44 |
| 3-2 | ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในสารอ้างอิงมาตรฐาน DORM-3 (Fish Protein Certified Reference Material for Trace Metals) | 45 |
| 3-3 | ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (รวมส่วนหลังและส่วนท้อง) ของระดับการปนเปื้อนของปริมาณโลหะหนักในปลาทูน่าตาโต ปลาทูน่าครีบเหลือง และปลาทูน่าท้องแถบ จากบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90°E | 46 |
| 3-4 | ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับการปนเปื้อนของปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้องในปลาทูน่าตาโต ปลาทูน่าครีบเหลือง และปลาทูน่าท้องแถบ จากบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90°E | 47 |
| 3-5 | การสะสมของปริมาณโลหะหนักในปลาทะเลจากพื้นที่ต่างๆ | 50 |
| 3-6 | ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักเปียก) ในเนื้อเยื่อส่วนหลัง น้ำหนักและความยาวของลำตัวของปลาทูน่า (N=61) | 60 |
| 3-7 | ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างระหว่างการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักเปียก) ในเนื้อเยื่อส่วนท้อง น้ำหนักและความยาวของลำตัวของปลาทูน่า (N=61) | 61 |

# รายการรูป


| รูป | | หน้า |
|---|---|---|
| 1-1 | แผนภูมิแสดงปริมาณการนำเข้าสินค้าปลาทูน่าของไทยจากตลาดสำคัญ ปีพ.ศ. 2552 - พ.ศ. 2553 | 17 |
| 1-2 | แผนภูมิแสดงปริมาณการส่งออกสินค้าปลาทูน่าของไทยจากตลาดสำคัญ ปีพ.ศ. 2552 - พ.ศ. 2553 | 18 |
| 2-1 | พื้นที่สำรวจตัวอย่างด้วยเครื่องมืออวนล้อมจับ บริเวณ Ninety East Ridge มหาสมุทรอินเดียตะวันออกโดยเรือสำรวจประมงมหิดล | 36 |

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 บทนำต้นเรื่อง

นอกจากมหาสมุทรและทะเลจะเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำและแหล่งท่องเที่ยวแล้วยังเป็นแหล่งรองรับของเสียที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ทั้งทางตรงและทางอ้อมในการพัฒนาความเจริญทางเศรษฐกิจ การพัฒนาเทคโนโลยีและการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว จึงก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำและการปนเปื้อนของเสียต่างๆ (อภิรดี เมืองเดช, 2545) โลหะหนักนับเป็นสารมลพิษประเภทหนึ่งที่มีความเป็นพิษสูงต่อสิ่งมีชีวิต เนื่องจากโลหะหนักเป็นสารที่คงตัว ไม่สามารถสลายตัวได้ในกระบวนการธรรมชาติ จึงมีบางส่วนตกตะกอนสะสมอยู่ในดินพื้นท้องน้ำ บางส่วนละลายอยู่ในน้ำ รวมถึงการสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของสัตว์ทะเลที่อาศัยอยู่บริเวณนั้นๆ รวมถึงผู้ที่นำสัตว์ทะเลเหล่านั้นมาบริโภคด้วย การสะสมของโลหะหนักจะเพิ่มสูงขึ้นตามห่วงโซ่อาหาร หากมีปริมาณความเข้มข้นที่สูงมากก็จะเป็นอันตรายต่อสัตว์ทะเลที่อาศัยอยู่บริเวณนั้น และผู้ที่นำสัตว์ทะเลชนิดนั้นมาบริโภคก็จะได้รับอันตรายด้วย ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการปนเปื้อนของโลหะหนักในแหล่งน้ำไม่เพียงแต่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำและมีอันตรายต่อสัตว์น้ำเท่านั้น แต่ยังส่งผลกระทบถึงผู้บริโภคไม่ว่าจะเป็นมนุษย์หรือสัตว์เลี้ยงที่รับประทานอาหารทะเลที่มีการสะสมของโลหะหนักในปริมาณที่สูงมากๆ (สุภาพ มงคลประสิทธิ์ และคณะ, 2526) เช่น โรคอิไตอิไตมาจากภาษาญี่ปุ่น แปลว่า เจ็บปวด เกิดจากความเป็นพิษของแคดเมียมจะพบลักษณะผิดปกติของกระดูก ได้แก่ ภาวะกระดูกอ่อน กระดูกพรุนทำให้กระดูกหักง่าย ผู้ป่วยจะมีอาการปวดกระดูกขา เดินลำบากและเกิดกระดูกโค้งและหักชนิด Pseudofracture พบครั้งแรกในประเทศญี่ปุ่น (เขมชิต ธนากิจชาญเจริญ และคณะ, 2551) และโรคพิษตะกั่ว เกิดจากความเป็นพิษของตะกั่ว ซึ่งอาการสำคัญที่พบคืออาการของโรคเนื้อสมองเสื่อมเฉียบพลัน มักพบในเด็กอายุต่ำกว่า 3 ปี และพิษตะกั่วเรื้อรังอาการอาจไม่ชัดเจน คือ มีชัก ปัญญาอ่อนความประพฤติเปลี่ยนแปลง อาจพบอาการปลายประสาทเสื่อมได้และในเด็กโตอาจมีแนวเส้นตะกั่ว (Lead Line) ที่เหงือกด้วย (กลุ่มโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม, ม.ป.ป.) และโรคมินามาตะ เกิดจากความเป็นพิษของปรอท เกิดขึ้นที่อ่าวมินามาตะทางตอนใต้ของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งอาการของโรคนี้จะก่อให้เกิดผลกระทบหลักกับระบบประสาทส่วนหลัง คือ ทำให้ระบบประสาทเกี่ยวกับการได้ยิน การมองเห็นสูญเสียไป ความจำเสื่อม กล้ามเนื้อกระตุก การทรงตัวไม่ดี ชาอ่อนเพลีย นอกจากนี้ปรอทในเลือดยังสามารถผ่านสู่ทารกในครรภ์มารดา และทำให้พัฒนาการของเด็กผิดปกติ เป็นต้น (กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2530)

การปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมทุกที่ ไม่เว้นแม้ในบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90°E โดยเฉพาะเมื่อเข้าไปอยู่ในสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บริเวณดังกล่าว อาจส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคและอุตสาหกรรมการส่งออกอาหารทะเลของประเทศไทยที่มีการใช้วัตถุดิบจากบริเวณพื้นที่ดังกล่าว ปัจจุบันประชาชนมีความนิยมการบริโภคเนื้อปลาทะเลเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากในปลาทะเลและอาหารทะเลทุกชนิดจะเป็นแหล่งที่มีธาตุไอโอดีนสูง ช่วยป้องกันโรคคอพอกได้ นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญ ย่อยง่ายและคุณภาพดี เป็นอาหารสุขภาพสำหรับผู้ใหญ่และผู้สูงอายุ ทั้งยังเป็นอาหารบำรุงสมองสำหรับเด็กที่กำลังเจริญเติบโตอีกด้วย โดยเฉพาะในปลาทูน่าซึ่งเป็นปลาทะเลที่มีคุณค่าสูงทั้งด้านโภชนาการและด้านเศรษฐกิจ เนื้อปลาทูน่า นอกจากจะเป็นโปรตีนอย่างดีแล้ว ยังประกอบด้วยสารอาหารที่คุณประโยชน์ต่อร่างกายอีกหลายชนิด เช่น DHA (Docosahexaenoic acid) เป็นกรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า 3 มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของสมอง EPA (Eicosapentaenoic acid) เป็นกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสูง ช่วยป้องกันการอุดตันของเส้นเลือด นอกจากนี้ยังอุดมด้วยธาตุเหล็ก วิตามินบี 12 และกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายอีก 8 ชนิด ได้แก่ ไลซีน ลูซีน ไอโซลูซีน เมไทโอนีน เฟนิลอะลานีน เทรโอนีน ทริฟโทเฟน และวาลีน (สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีประมงทะเลลึก, 2547)

การศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในปลาทูน่ามีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากปลาทูน่าเป็นปลาทะเลน้ำลึกที่อุดมด้วยคุณค่าด้านโภชนาการที่เป็นที่นิยมของผู้บริโภคและด้านเศรษฐกิจที่เป็นอุตสาหกรรมการนำเข้าและส่งออกเป็นอันดับต้นของโลก โดยความนิยมในการบริโภคปลาทูน่าสดและการนำมาแปรรูปเป็นทูน่ากระป๋องที่มากขึ้นทั้งในประเทศและต่างประเทศ เมื่อความต้องการในการบริโภคที่เพิ่มขึ้นก็อาจจะได้รับความเสี่ยงจากการปนเปื้อนของโลหะหนักด้วยเช่นกัน เนื่องจากมนุษย์เป็นผู้บริโภคสูงสุดในห่วงโซ่อาหาร และการส่งออกผลิตภัณฑ์ปลาทูน่าไปต่างประเทศก็จะต้องเน้นในด้านมาตรฐานและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าไปยังประเทศต่างๆ ด้วย โดยเฉพาะในกลุ่มสหภาพยุโรป หากมีปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ก็อาจจะถูกระงับการนำเข้าได้ การศึกษาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในปลาทูน่าครั้งนี้เพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยในการบริโภค ทราบถึงระดับการปนเปื้อนของปริมาณโลหะหนักและยังเป็นข้อมูลในการบริหารจัดการทั้งในด้านของความเสี่ยงต่อผู้บริโภค รวมทั้งเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับใช้อ้างอิงในการเฝ้าระวังการปนเปื้อนและลดความเสี่ยงของปลาทูน่าที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการนำเข้าและส่งออกในอุตสาหกรรมปลาทูน่าอีกด้วย

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในปลาทูน่าบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90°E โดยโลหะหนักที่ศึกษามี 8 ชนิด คือ ทองแดง สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว เหล็ก นิกเกิล แมงกานีส และโคบอลต์ ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์ตัวอย่างปลาทูน่าโดยทีมสำรวจประมงมหิดลและเจ้าหน้าที่กรมประมงซึ่งสุ่มตัวอย่าง ในช่วงฤดูร้อนระหว่างวันที่ 27 มีนาคม ถึง 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2555 ภายใต้แผนงานวิจัย “การสำรวจปลาทูน่าและปลาผิวน้ำขนาดใหญ่บริเวณน้ำ Ninety East Ridge ในมหาสมุทรอินเดียตะวันออกด้วยเครื่องมืออวนล้อมจับปลาทูน่า”

## 1.2 การตรวจเอกสาร

### 1.2.1 นิยามโลหะหนัก

โลหะหนัก (Heavy metal) คือ ธาตุที่มีปริมาณน้อยในสิ่งแวดล้อม มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป โดยมีลักษณะเป็นของแข็งยกเว้นปรอทมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง จากธาตุทั้งหมดที่มีในโลก 105 ธาตุ ซึ่งมีธาตุที่เป็นโลหะหนักอยู่ 68 ธาตุ และมีเลขอะตอมอยู่ในช่วง 23-92 คาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะหนัก คือ จุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง ละลายน้ำได้น้อย เป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อน มันวาว และสะท้อนแสงได้ดี ส่วนคุณสมบัติทางเคมีของโลหะหนักคือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า (Van Nostrand’s Scientific Encyclopedia, 1976) ถ้ามีปริมาณสูงกว่าในระดับปกติก็จะเป็นพิษได้ เช่น ธาตุจำพวก Cu, Zn, Hg, Cd, Mo, Mn, Ni, Co, Al, Pb, Fe, As, Te, Sn, Cr, Ti, Ag, V, Be และ Bi โลหะหนักจะถูกพาลงสู่ทะเลโดยการกระทำของมนุษย์และกระบวนการทางธรรมชาติ โดยผ่านทางแม่น้ำ การทิ้งของเสียที่มีส่วนผสมของโลหะหนัก การชะล้างของพื้นดิน และโดยผ่านบรรยากาศ และอีกส่วนออกสู่น้ำทะเลจากพื้นท้องทะเล จากแหล่งธรรมชาติแหล่งใหญ่ ได้แก่ การผุพังกัดกร่อนของหิน จากภายในโลก การละลายออกจากตะกอนในทะเล และการปล่อยจากภูเขาไฟ ธาตุส่วนใหญ่จะลงสู่ทะเลโดยผ่านทางแม่น้ำ มีบางธาตุ เช่น ตะกั่ว และปรอท จะนำลงสู่ทะเลโดยทางอากาศเป็นทางผ่านที่สำคัญ (มนุวดี หังสพฤกษ์, 2532) ทำให้โลหะหนักสามารถรวมตัวกับสารอื่นกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปแบบ โดยเฉพาะเมื่อรวมตัวกับสารอินทรีย์โลหะหนักจะสามารถถ่ายทอดไปยังสิ่งมีชีวิตโดยผ่านทางห่วงโซ่อาหาร ไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้ โดยจากการศึกษาของคุณปิยะ วันเพ็ญ (2543) พบว่ามีปริมาณโลหะหนักสะสมอยู่ในตัวกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในพื้นที่ทะเลสาบสงขลาตอนนอก

### 1.2.2 แหล่งกำเนิดของโลหะหนัก

โลหะหนักเป็นองค์ประกอบของเปลือกโลก มีอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมโดยโลหะหนักอยู่ในรูปแบบของโครงร่างผลึกแร่ (Lattice-held metals) จากการกัดเซาะและการพังทลายของเปลือกโลกทำให้โลหะหนักมีอนุภาคเล็กลง และเกิดการสะสมตัวในรูปแบบ Non-lattice-held metals เพิ่มมากขึ้น ซึ่งทำให้โลหะหนักเหล่านี้แพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้มากขึ้น เมื่อสภาวะทางเคมีและฟิสิกส์เปลี่ยนแปลงไป โลหะหนักจะอยู่ในรูปแบบที่สามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตได้ เรียกรูปแบบนี้ว่า Bioavailable metals ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้สามารถถ่ายทอดไปยังสิ่งมีชีวิตอื่นในห่วงโซ่อาหาร และถ้าหากได้รับในปริมาณมากจะมีความเป็นพิษต่อร่างกายด้วย (Salomon and Forstner, 1984) โดยความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติที่ไม่มีกิจกรรมของมนุษย์เข้ามารบกวน จะถูกควบคุมโดยลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่และวัตถุต้นกำเนิด ปริมาณสารอินทรีย์ และขนาดอนุภาคของดิน (ปิยวรรณ นาคินชาติ, 2549)

### 1.2.3 การแพร่กระจายและการสะสมตัวของโลหะหนัก

โลหะหนักเป็นองค์ประกอบของเปลือกโลก กระจายอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ เมื่อเกิดผุกร่อนตามธรรมชาติโดยกระแสลม น้ำท่า และน้ำฝน ทำให้รูปแบบของโลหะหนักเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและฟิสิกส์ เกิดการชะล้างและพัดลงลงสู่แหล่งน้ำทำให้โลหะหนักแพร่กระจายในสิ่งแวดล้อม รวมทั้งในปัจจุบันมนุษย์ได้มีการนำโลหะหนักไปใช้ประโยชน์มากมาย และมีการปล่อยโลหะหนักออกสู่สิ่งแวดล้อมออกมาในรูปแบบของน้ำทิ้งน้ำเสีย หรือการทิ้งโลหะหนักที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์โดยไม่มีการจัดการที่ถูกต้อง ทำให้โลหะหนักเหล่านี้แพร่กระจายในสิ่งแวดล้อมได้มากขึ้น ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้สามารถสะสมตัวอยู่ในแหล่งน้ำนั้นๆ ได้หลายรูปแบบ เช่น การตกตะกอนสู่พื้นท้องน้ำ จับตัวกับอนุภาคของดินหรือสารอินทรีย์แล้วแขวนลอยอยู่ในมวลน้ำ หรือแม้แต่การสะสมอยู่ในพืชน้ำ สัตว์น้ำ และสิ่งมีชีวิตอื่นๆในน้ำ ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้มีการเปลี่ยนรูปและเคลื่อนย้ายไปตามสภาพแวดล้อมและถ่ายทอดตามห่วงโซ่อาหาร

#### 1.2.3.1 การสะสมในแหล่งน้ำ

การสะสมของโลหะหนักในแหล่งน้ำอยู่ในรูปของสารที่ละลายน้ำ (Dissloved) และในรูปสารแขวนลอย (Suspended solid) ซึ่งเกิดจากธรรมชาติและกิจกรรมต่างๆในการใช้น้ำของมนุษย์โดยปกติธรรมชาติจะมีการบำบัดตัวเองแต่มลพิษบางอย่างไม่สามารถย่อยสลายได้เช่นสารพิษจากโลหะหนักจึงทำให้เกิดมลพิษทางน้ำ (พฤหัส จันทร์นวล, 2550) โดยความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพและเคมีของแหล่งน้ำนั้น โดย

รูปแบบของโลหะหนักที่อยู่ในรูปของสารละลายและสารแขวนลอยมีความแตกต่างกัน สารแขวนลอยสามารถอยู่ในน้ำได้ยาวนานกว่าสารละลายก่อนที่จะถูกนำออกไปจากทะเลโดยกระบวนการต่างๆ และจากการไหลของกระแสน้ำทำให้ตะกอนใต้น้ำลอยตัวขึ้นอยู่ในมวลน้ำได้อีก ดังนั้นโลหะหนักในแหล่งน้ำจึงมีทั้งกระบวนการดูดซับ และการคาย ของโลหะหนักระหว่างน้ำและตะกอน (วิกันดา ชัยบุตร, 2541)

**1.2.3.2 การสะสมในดินตะกอน**

การสะสมของโลหะหนักในดินตะกอนมีความเข้มข้นสูงกว่าโลหะหนักที่อยู่ในแหล่งน้ำซึ่งเกิดจากกระบวนการต่างๆ ทั้งเคมี ชีวภาพ และฟิสิกส์ ที่เข้ามาเกี่ยวข้อง (วิกันดา ชัยบุตร, 2541) ปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนส่วนหนึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งองค์ประกอบในดินตะกอนที่มีส่วนสำคัญในการสะสมโลหะหนักในดินตะกอนได้แก่ อนุภาคของดิน อนุภาคของสารอินทรีย์ปริมาณคาร์บอเนต ออกไซด์ของแมงกานีสและเหล็กโดยมีผลทำให้โลหะหนักในดินตะกอนเปลี่ยนแปลงไป (พฤหัส จันทร์นวล, 2550; Chester and Voutsinon, 1981)

**1.2.3.3 การสะสมในสิ่งมีชีวิตในทะเล**

โลหะหนักในทะเลส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ โดยมาจากการผุกร่อนของหินต้นกำเนิด แล้วถูกพัดพาลงสู่ทะเลโดยแม่น้ำต่างๆ จากการระเบิดของภูเขาไฟบนพื้นดิน และภูเขาไฟใต้น้ำ เป็นต้น นอกจากนั้นยังมีโลหะหนักที่ปนเปื้อนตามชายฝั่งและในทะเลซึ่งมาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การทำเหมืองแร่ การถลุงแร่ การเผาไหม้ถ่านหินและน้ำมันเชื้อเพลิง การขุดเจาะน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ ไปถึงน้ำทิ้งจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นต้น โดยโลหะหนักเหล่านี้จะลงสู่ทะเลโดยการพัดพาของกระแสน้ำ แม่น้ำ บรรยากาศ ฝน และน้ำท่าที่ชะล้างจากแผ่นดินลงสู่ทะเล โดยของโลหะหนักเหล่านี้มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในทะเลและสามารถคงทนอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นาน ซึ่งสามารถแบ่ง ได้เป็น 2 ประเภท (หรรษา จรรย์แสง และอดิสรณ์ มนต์วิเศษ, 2546) ดังนี้

1) โลหะทรานซิชัน (Transitional metals) ได้แก่ ทองแดง โคบอลต์ เหล็ก และแมงกานีส โดยโลหะหนักเหล่านี้มีความจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตในความเข้มข้นที่ต่ำ แต่ถ้าสิ่งมีชีวิตได้รับในความเข้มข้นที่สูงก็จะเกิดความเป็นพิษ

2) เมตทอลลอยด์ (Metalloids) ได้แก่ สารหนู ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม และดีบุก โลหะเหล่านี้โดยทั่วไปไม่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต และมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตมักจะได้รับในความเข้มข้นต่ำ

โลหะหนักสามารถเข้าสู่ร่างกายสิ่งมีชีวิตในทะเลโดยการดูดซึมผ่านเนื้อเยื่อโดยตรงจากน้ำและจากการกินเข้าไป (Bioconcentration) โดยในแหล่งน้ำโลหะหนักจะอยู่ในลักษณะที่ละลายน้ำและในลักษณะที่เกาะอยู่กับอนุภาคในน้ำทะเลโดยเฉพาะอนุภาคของสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก สิ่งมีชีวิตอาจได้รับโลหะหนักทั้งโดยตรงและโดยอ้อมจากน้ำ คือ ผ่านอาหารที่กินเข้าไป และจากตะกอนดินท้องน้ำ (Bioaccumulation) แล้วเกิดการสะสมของโลหะหนักเพิ่มมากขึ้นในสิ่งมีชีวิตตามระดับขั้นผู้บริโภคที่สูงขึ้นไปในห่วงโซ่อาหาร (Biomagnification) จากนั้นจะเกิดการถ่ายทอดและสะสมในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ โดยที่ปริมาณการสะสมของโลหะหนักในอวัยวะต่างๆจะแตกต่างกันออกไป (Hudson et al., 1992)

### 1.2.4 ชนิดของโลหะที่ศึกษาในครั้งนี้

#### 1.2.4.1 ทองแดง

ทองแดงจัดอยู่ในหมู่ IIB ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 29 มวลอะตอม 23.54 มีความถ่วงจำเพาะ 8.96 จุดหลอมเหลว 1,805 องศาเซลเซียส จุดเดือด 2,562 องศาเซลเซียส ทองแดงสามารถนำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดี ทนต่อการกัดกร่อน ปกติไม่พบในรูปอิสระ พบในรูปของสารประกอบและแร่ โดยในธรรมชาติทองแดงเป็นแร่ที่มีมากที่สุด และมักจะปะปนอยู่กับแร่สังกะสี โดยทองแดงจะพบอยู่ในรูปของแร่ Cuprite ($Cu_2O$) หรือ Copper pyrite ($CuFeS_2$) Chalcocite หรือ Copper glance ($Cu_2S$) ซึ่งในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปของแข็งซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ได้เช่นเดียวกับ เหล็ก ทองคำ และเงิน

การใช้ประโยชน์

ทองแดงมีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากมาย ซึ่งมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ทองแดงถูกนำมาใช้ในด้านอุตสาหกรรม เนื่องมาจากทองแดงเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีการใช้งานส่วนใหญ่จึงเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมไฟฟ้า เช่น ใช้ทำสายไฟ เคเบิล มอเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไดนาโม พัดลม ระบบควบคุมในโรงงานอุปกรณ์ไฟฟ้า ระบบจ่ายกำลังเครื่องปรับอากาศ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ นอกจากนั้นด้วยคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนทองแดงจึงนำมาใช้ในการก่อสร้างหลายอย่าง เช่น ทำหลังคาท่อน้ำและข้อต่อต่างๆ ระบบให้ความร้อนและระบบปรับอากาศ ใช้ทำเครื่องจักรกล เครื่องใช้ในบ้านเนื่องจากขึ้นรูปง่าย และเนื่องจากมีความสามารถต้านทานการกัดกร่อนของน้ำทะเล และมีการถ่ายเทความร้อนสูงจึงใช้ทำท่อวาล์วข้อต่อในโรงกลั่นน้ำจากน้ำทะเล อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและเครื่องมือกลอื่นๆ ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนเครื่องบิน เรือเดินสมุทร หัวจักรรถไฟ อุปกรณ์สวิตช์และสัญญาณต่างๆ การใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆของทองแดง เช่น ใช้ผลิต

ยุทธภัณฑ์ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีเครื่องวัดต่างๆ เครื่องประดับเครื่องตกแต่งเหรียญกษาปณ์ บรรจุภัณฑ์และใช้ผลิตโลหะผสม เช่น ทองเหลืองและทองสัมฤทธิ์ เป็นต้น (กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน, 2551) และนอกจากนี้ยังใช้เป็นสารประกอบทองแดงเพื่อกำจัดหอยที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อแหล่งน้ำ

ความเป็นพิษ

ทองแดงเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิต เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ และมีส่วนในการสร้างฮีโมโกลบินแต่สิ่งมีชีวิตต้องการในปริมาณน้อย โดยทองแดงที่เข้าสู่ร่างกายจะถูกดูดซับที่กระเพาะอาหารเป็นส่วนใหญ่ และสะสมไว้ที่ตับ ไต หัวใจ สมอง และเส้นผม แต่ถ้าหากทองแดงเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมาก ทำให้อาเจียน ปวดท้อง ท้องเดินเป็นน้ำหรือเลือด ปัสสาวะเป็นเลือด ความดันโลหิตต่ำ และตับไม่ทำงาน อาจทำให้เสียชีวิตได้ (ศุภชัย รัตนมณีฉัตร, 2534)

ในสัตว์น้ำถ้าหากได้รับทองแดงสูงเพียงเล็กน้อยอาจทำให้เกิดความเป็นพิษได้ เช่น หอยนางรมที่สะสมทองแดงไว้มากทำให้เหงือกและ Mantle มีสีเขียวคล้ำผิดปกติ ส่วนในปลาสารประกอบทองแดงทำลายเซลล์ที่อยู่ตามเหงือกปลาทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ผิดปกติ (วิกันดา ชัยบุตร, 2541)

**1.2.4.2 สังกะสี**

สังกะสีเป็นโลหะหนักในหมู่ IIB ในตารางธาตุ มีน้ำหนักอะตอม 65.37 เลขอะตอม 30 มีความถ่วงจำเพาะ 7.14 จุดหลอมเหลว 419.5 องศาเซลเซียส จุดเดือด 907 องศาเซลเซียส (Harrison and Laxen, 1981) ในธรรมชาติพบสังกะสีได้ทั่วไปในเปลือกโลกและหินปกติอยู่ในรูปของสารประกอบ เช่น ZnS $Fe_2Zn_3$ โลหะสังกะสีและออกไซด์ของสังกะสีจะละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย ส่วนสังกะสีซัลเฟตและสังกะสีคลอไรด์ละลายน้ำได้ดี ความเข้มข้นของสังกะสีขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีและเป็นกรดของน้ำ(พฤหัส จันทร์นวล, 2550)

การใช้ประโยชน์

สังกะสีเป็นโลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ อัตราการยืดตัวน้อย เปราะแตกหักง่ายและทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดี สังกะสีถูกนำไปใช้ประโยชน์หลายด้านตามคุณสมบัติที่มีมากมาย เช่น ใช้เคลือบผิวเหล็กเพื่อป้องกันการเกิดสนิมและการผุกร่อน ใช้ทำทองเหลืองโดยผสมกับโลหะทองแดงและอาจมีโลหะอื่นๆ ผสมเพิ่มคุณสมบัติเฉพาะต่อการใช้งาน ใช้ในอุตสาหกรรมยาง เซรามิค สีสะท้อนแสง ใช้ในการผลิตทำยาดับกลิ่นปาก ยาฆ่าเชื้อ และยารักษาเนื้อไม้ไม่ให้ผุและติดไฟง่าย ใช้ในการ

ผลิตสารเคมีที่ใช้ในการพิมพ์และย้อมผ้า ใช้ผสมกับอะลูมิเนียมผงเพื่อแก้น้ำกระด้าง ใช้เป็นสารผลิตก๊าซในคอนกรีตทำให้ได้รูพรุน ใช้เป็นสารเร่งในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมช่วยให้เกิดการคายไฮโดรเจน ใช้ในการทำสบู่จากขี้ผึ้งพาราฟิน อุตสาหกรรมน้ำตาล ใช้ทำโลหะผสมสำหรับงานหล่อเนื่องจากมีจุดหลอมเหลวต่ำ (กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน, 2551)

ความเป็นพิษ

โลหะสังกะสีเป็นธาตุที่สำคัญและจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะคนและสัตว์ สังกะสีเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์หลายชนิด และมีบทบาทสำคัญในปฏิกิริยาทางชีวเคมีของร่างกาย แต่ถ้าร่างกายได้รับสังกะสีในปริมาณมากก็ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย เช่น ในคนผู้ใหญ่มีความต้องการสังกะสีประมาณ 15 มิลลิกรัม/วัน ในเด็กมีความต้องการสังกะสี 6 มิลลิกรัม/วัน แต่ถ้าได้รับในปริมาณมากเกินพอ 2 กรัม/วัน ก็จะเป็นพิษต่อร่างกาย โดยเมื่อสัมผัสถูกผิวหนังจะทำให้เกิดการระคายเคือง เมื่อหายใจเข้าไปจะเป็นไข้หนาวสั่น (Meal fever) ไอ เมื่อกินเข้าไปจะท้องร่วง อาเจียน เป็นตะคริวในท้อง อ่อนเพลีย (กรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.ป. ก) หากมีความเข้มข้นสูงถึง 20 พีพีเอ็ม จะส่งผลทำให้โครโมโซมหักและที่ความเข้มข้น 30 พีพีเอ็มทำให้การแบ่งเซลล์ผิดปกติ (พรรณภา ศักดิ์สูง และอมรา คัมภิรานนท์, 2526)

ความเป็นพิษของสังกะสีที่มีต่อสัตว์น้ำโดยเฉพาะปลาจะเข้าไปทำลายเหงือกปลา มีผลต่อการวางไข่และตัวอ่อนของปลาทำให้การเจริญเติบโตช้าลง ถ้าความเข้มข้นอยู่ที่ระดับ 0.4 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถฆ่าตัวอ่อนหอยได้และที่ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นพิษต่อปลาและหอย 2 ฝา (Portmann, 1972) นอกจากนั้นสังกะสีสามารถทำให้เหงือกปลานิลแดงถูกทำลายมากขึ้นและไปยับยั้งการสังเคราะห์ฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ฮีโมโกลบิน ทำให้การขนส่งออกซิเจนได้น้อยลง (สุรกาญจน์ ไพชำนาญ และคณะ, 2554)

**1.2.4.3 แคดเมียม**

แคดเมียมเป็นธาตุหมู่ IIB ของตารางธาตุมีเลขอะตอม 48 น้ำหนักอะตอม 112.4 จุดหลอมเหลว 320.9 องศาเซลเซียสจุดเดือด 765 องศาเซลเซียส ค่าความถ่วงจำเพาะ 8.65 เป็นโลหะอ่อนมีสีเงิน ละลายได้ในกรดไนตริกและสารละลายแอมโมเนียมไนเตรท แคดเมียมเป็นโลหะที่มีปริมาณน้อยในธรรมชาติ ปกติพบบนผิวโลกประมาณ 0.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Alloway, 1990) ในดินตะกอนในทะเลมีค่าไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และในตะกอนที่มีแคดเมียมสูงกว่านี้โดยมากจะมาจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ (Sadiq, 1992) แคดเมียมเป็นธาตุที่ค่อนข้างหายากในธรรมชาติ

ปกติจะไม่พบแคดเมียมในรูปอิสระ แต่จะพบรวมอยู่กับกำมะถัน เป็นสารประกอบแคดเมียมซัลไฟด์ ซึ่งมีสีเหลืองอยู่ในแร่กรีนนอกไคท์ (greenockite, CdS) และพบปะปนกับแร่สังกะสีซัลไฟด์ (sphalerite) โดยปริมาณของแคดเมียมจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณสังกะสีในแร่นั้น และยังอาจพบแคดเมียมปะปนอยู่กับสินแร่ตะกั่วและทองแดง ในปริมาณที่น้อยกว่าในแร่สังกะสี (ไมตรี สุทธิจิตต์, 2531)

การใช้ประโยชน์

ถึงแม้ว่าแคดเมียมจะมีน้อยมากในธรรมชาติ แต่ปริมาณการใช้ในปัจจุบันมีสูงมากมีการใช้ผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะผสม (alloy) เพื่อเพิ่มความเหนียว และทนต่อการสึกกร่อนใช้ในการชุบโลหะ ใช้แคดเมียมเคลือบบนแผ่นเหล็ก ทองแดง อลูมิเนียม โดยการชุบด้วยไฟฟ้า โลหะที่ได้จากการชุบนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้าอุปกรณ์อิเลคโทรนิค ใช้เป็นเม็ดสีในกิจการอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น สีอินาเมล (enamels) และใช้ในการผลิตแบตเตอรี่ โดยใช้ร่วมกับโลหะนิกเกิล เป็น cadmium-nickel battery ซึ่งนำมาใช้เป็นแบตเตอรี่ในเครื่องคิดเลข แฟล็ชถ่ายภาพ เครื่องโกนหนวด เป็นต้น (ณรงค์ฤทธิ์ เลิศเกษตรวิทยา, 2547)

ความเป็นพิษ

ความเป็นพิษเรื้อรังของแคดเมียม เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะมีการสะสมในร่างกายเพิ่มมากขึ้นตามอายุ ถ้ามีในปริมาณมากทั้งในคนและสัตว์ทำให้เป็นหมันและเป็นสารก่อมะเร็ง เป็นอันตรายต่อตับและไต ทำให้เอนไซม์ทำงานผิดปกติ เนื่องจากแคดเมียมเข้าไปแทนที่สังกะสีซึ่งเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ ในประเทศญี่ปุ่นแคดเมียมทำให้มนุษย์เป็นโรคอิไตอิไต ซึ่งมีผู้เสียชีวิตจำนวนมาก ส่วนผลของแคดเมียมที่มีต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ คือ แคดเมียมจะไปจับตัวกับเหงือกของปลาทำให้ปลาขาดออกซิเจน นอกจากนั้นยังส่งผลถึงระบบการขับถ่ายของเสียของสัตว์น้ำ โดยแคดเมียมไปทำลายสมดุลของเกลือในร่างกายสัตว์น้ำทำให้ขับถ่ายของเสียออกมาไม่ได้ ทำให้อัตราการเจริญเติบโตช้าลงด้วย (วิกันดา ชัยบุตร, 2541)

**1.2.4.4 ตะกั่ว**

ตะกั่วเป็นธาตุในหมู่ IVA ของตารางธาตุ มีสถานะเป็นของแข็ง ไม่มีกลิ่น มีเลขอะตอม 82 น้ำหนักอะตอม 207.19 มีค่าความถ่วงจำเพาะ 11.34 จุดหลอมเหลว 327.4 องศาเซลเซียสและจุดเดือด 1,740 องศาเซลเซียส โดยตะกั่วบริสุทธิ์จะมีสีเทาเข้ม หรือน้ำเงิน - ขาว เงิน เมื่อสัมผัสกับอากาศสีของสารจะเข้มขึ้น (กรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.ป. ข) นอกจากนี้ตะกั่วยังเป็นโลหะ

ที่มีความอ่อนตัวค่อนข้างสูงจึงแปรรูปได้โดยการทุบตีรีดดึง หรือหลอมเป็นรูปต่างๆได้ง่าย ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้อย่างช้าๆในน้ำที่เป็นกรดอ่อน ละลายได้ในกรดไนตริกเจือจาง กลายเป็นไอได้ดีในที่อุณหภูมิสูงๆ ในธรรมชาติตะกั่วมีการกระจายตัวอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมบริเวณเปลือกโลก โดยส่วนใหญ่พบอยู่ในรูปของสารประกอบ เช่น สารประกอบตะกั่วกำมะถัน (PbS) Anglesite ($PbSO_4$) Cerussite ($PbCO_3$) นอกจากนี้ยังพบตะกั่วปะปนอยู่กับสินแร่ ทองแดง สารหนู บิสมัธ แคดเมียม และเงินในปริมาณเล็กน้อย (พฤหัส จันทร์นวล, 2550)

ประโยชน์

ตะกั่วถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น บัดกรีเชื่อมโลหะ ทำขั้วไฟฟ้าแบตเตอรี่ เซรามิค สารกำจัดศัตรูพืช ปุ๋ยเคมี สารเคมี ใช้ป้องกันอันตรายจากการทะลุทะลวงของกัมมันตภาพรังสี (Radiation Shielding) และใช้ควบคุมความดังของเสียงของเครื่องจักรกล เนื่องจากตะกั่วมีความหนาแน่นสูงมาก และใช้ในการเติมลงในน้ำมันเบนซินเพื่อเพิ่มค่าออกเทนช่วยลดการสะดุดของเครื่องยนต์ (กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน, 2551)

ความเป็นพิษ

ถ้าได้รับตะกั่วในปริมาณน้อยในระยะเวลานานจะทำให้เกิดความเป็นพิษเรื้อรัง ได้แก่ โรคโลหิตจางเนื่องจากตะกั่วไปขัดขวางการสร้างฮีโมโกลบินของเม็ดเลือดแดง และตะกั่วยังสามารถกระตุ้นการทำงานของม้ามทำให้กำจัดเม็ดเลือดแดงได้มากขึ้น (Waldron and Stofen, 1974) รวมทั้งก่อให้เกิดเนื้องอกและมะเร็ง แต่ถ้าได้รับตะกั่วในปริมาณมากทำให้เกิดอาการพิษเฉียบพลัน โดยมีอาการอ่อนเพลีย คลื่นไส้และกล้ามเนื้อกระตุกเนื่องจากการทำงานของระบบประสาทผิดปกติ ซึ่งโดยปกติในร่างกายสามารถกำจัดตะกั่วได้หลายทาง โดย 70 เปอร์เซ็นต์ ขับออกทางปัสสาวะ 16 เปอร์เซ็นต์ ขับออกทางอุจจาระ และอีก 8 เปอร์เซ็นต์ ขับออกทางผิวหนัง เส้นผม หรือขน แต่ร่างกายสามารถขับตะกั่วออกได้รวมกันไม่เกินวันละ 2 มิลลิกรัมเท่านั้น

พิษของตะกั่วที่มีต่อสัตว์น้ำโดยเฉพาะปลาทำให้การเจริญเติบโตช้าลง เซลล์เยื่อบุผิวหนังและเหงือกถูกทำลายและจะไปจับกับเมือกสะสมบริเวณเหงือกของปลา ทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนออกซิเจนลดลง (วิกันดา ชัยบุตร, 2541)

**1.2.4.5 เหล็ก**

เหล็กเป็นธาตุหมู่ VIIIB ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 26 น้ำหนักอะตอม 55.85 จุดหลอมเหลว 1,538 องศาเซลเซียส จุดเดือด 2,861 องศาเซลเซียส ค่าความถ่วงจำเพาะ 7.86 เป็นโลหะที่มีอยู่บนพื้นผิวโลกมากที่สุดเป็นอันดับสองรองจากอะลูมิเนียม (กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน, 2551) โดยทั่วไปเหล็กมักอยู่ในรูปของสารประกอบรูปแบบของเหล็กเฟอร์รัส (Ferrous, $Fe^{2+}$) และเฟอร์ริค (Ferric, $Fe^{3+}$) และอยู่ได้ในหลายสถานะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและการผสมกับโลหะอื่น

การใช้ประโยชน์

เหล็กมีการนำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันมากมาย ตั้งแต่การใช้เป็นวัสดุสำหรับงานก่อสร้างต่างๆ เช่น โครงสร้างอาคาร บ้านเรือน เสา หลังคา สะพาน เสาไฟฟ้าแรงสูง เป็นต้น ในอุตสาหกรรมคมนาคมขนส่งเหล็กถูกนำไปใช้เป็นวัสดุสำหรับผลิตยานพาหนะต่างๆ เช่น จักรยาน รถยนต์ รถบรรทุก รถไฟ เรือเดินสมุทรและเครื่องบิน ใช้ในการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เช่น เครื่องปรับอากาศ พัดลม เครื่องซักผ้า หม้อหุงข้าว เป็นต้น และใช้ในการผลิตอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ได้แก่ กระทะ เตาแก๊ส ถังแก๊ส เตารีด โต๊ะ เก้าอี้ ท่อน้ำ ช้อน ส้อม มีด ขัน แจกัน ฯลฯ (กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน, 2551)

ความเป็นพิษ

เหล็กเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิดและเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการสร้างเม็ดเลือดแดง ถ้าร่างกายได้รับเหล็กในปริมาณที่สูงเกินไปจะส่งผลทำให้เกิดการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ทำให้เกิดความเป็นพิษเฉียบพลันต่อร่างกาย ทำให้เกิดอาการวิงเวียน คลื่นไส้ ท้องเดินเป็นน้ำหรือเป็นเลือด ปัสสาวะเป็นเลือด ตับไม่ทำงาน ความดันโลหิตต่ำ หมดสติ แต่หากได้รับเป็นเวลานานทำให้เกิดความเป็นพิษเรื้อรัง ทำให้เป็นโรคตับแข็ง ในพื้นที่การทำเหมืองเหล็กและการกลั่นน้ำมันจะได้รับเหล็กออกไซด์โดยการหายใจเข้าไป ทำให้มีความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งปอด (กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน, 2551)

**1.2.4.6 นิกเกิล**

นิกเกิลเป็นธาตุหมู่ VIIIB ของตารางธาตุ มีสถานะเป็นของแข็ง ไม่มีกลิ่น มีน้ำหนักอะตอม 58.97 เลขอะตอม 28 จุดเดือด 2,730 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 1,453 องศาเซลเซียส ค่าความถ่วงจำเพาะ 8.91 เป็นโลหะสีขาวเงิน (กรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.ป. ค) มีความต้านทานการกัดกร่อนที่ดี ซึ่งสารประกอบนิกเกิลส่วนใหญ่จะละลายน้ำได้ดีในค่าพีเอชที่ต่ำกว่า 6.5 นิกเกิลใน

ธรรมชาติพบอยู่ในรูปของสินแร่ซัลไฟด์ (Nickelsulfide) และนิกเกิลออกไซด์ (Nickeloxide) โดยปกตินิกเกิลในดินมีปริมาณ 5 - 1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เกิดการกระจายตัวโดยการดูดซึมของรากพืช และแพร่กระจายสู่แหล่งน้ำโดยการชะล้างจากน้ำฝน นิกเกิลในแหล่งน้ำจะอยู่ในรูปของอิออนและรูปสารประกอบเชิงซ้อนของสารอินทรีย์ที่เสถียร ดูดซับกับอนุภาคของซิลิกาและสะสมอยู่บริเวณชั้นบนของตะกอนพื้นท้องน้ำ (บุษกร อุ๋ยวงษ์, 2551)

การใช้ประโยชน์

นิกเกิลเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนสูง มีความเหนียวและอ่อนตัวมาก สามารถขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่ำได้ง่าย ทำให้ถูกนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมผลิตเหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กกล้าผสม ใช้เคลือบผิวอุปกรณ์ประดับยนต์ต่างๆ ใช้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า ใช้ทำโลหะผสมชนิดพิเศษ (Superalloy) ซึ่งต้านทานความเค้นและทนการกัดกร่อนที่อุณหภูมิสูง สำหรับอุตสาหกรรมอากาศยาน โดยใช้เป็นวัสดุในการผลิตอุปกรณ์รักษาระดับความดันอากาศ ชิ้นส่วนต่างๆ เครื่องยนต์ของเครื่องบินไอพ่น จากคุณสมบัติที่สามารถดูดติดแม่เหล็กของนิกเกิลจึงใช้ในอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย เช่น เครื่องแปลงกำลังสำหรับพลังงานอัลตร้าโซนิค อุปกรณ์การสำรวจใต้น้ำในอุตสาหกรรมการเดินเรือ รวมถึงเครื่องใช้ในครัวเรือน เช่น เตาไฟฟ้า หม้อหุงข้าว ช้อนส้อม จาน และอุปกรณ์การทำอาหาร เป็นต้น (กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน, 2551) ในรูปแบบของสารเคมีนิกเกิลใช้เป็นตัวเร่งในกระบวนการสังเคราะห์สารอินทรีย์ การกลั่นปิโตรเลียม ปฏิกิริยาไฮโดรเจเนชันของไขมันและน้ำมัน นอกจากนี้นิกเกิลถูกนำไปใช้ในด้านการแพทย์ เป็นองค์ประกอบในอวัยวะเทียมสำหรับฟันปลอมและการผ่าตัด

ความเป็นพิษ

นิกเกิลสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้จากการหายใจเข้าทางจมูก ทางผิวหนัง การบริโภคอาหารและน้ำดื่มที่ปนเปื้อนนิกเกิลหรือจากทางเดินอาหาร โดยนิกเกิลจะอยู่ในรูปของนิกเกิลซับซัลไฟด์ (Nickel Subsulfide) และนิกเกิลออกไซด์ (Nickel Oxide) เมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะเกิดความเป็นพิษเฉียบพลันคือ อาการไข้ ปวดศีรษะ หน้ามืด ไอ เจ็บหน้าอก อาเจียน และเมื่อสัมผัสทางการหายใจก่อให้เกิดการระคายเคือง (กรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.ป. ค) จากนั้น 12-36 ชั่วโมง อาจเกิดภาวะปอดอักเสบเฉียบพลัน อาจทำให้เสียชีวิตจากการหายใจล้มเหลว การฟื้นตัวจากภาวะปอดอักเสบจะใช้เวลาหลายสัปดาห์ ผู้ป่วยจะมีอาการอ่อนเพลียและเหนื่อยง่ายในระยะยาว การสัมผัสนิกเกิลที่ผิวหนัง อาจทำให้เกิดผิวหนังอักเสบเป็นผื่นสัมผัส (Contact dermatitis) หรืออาจเป็นผื่น

แพ้ในส่วนอื่นๆของร่างกาย และผู้ที่ดื่มน้ำที่มีการปนเปื้อนนิกเกิล อาจมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดมวนท้อง และท้องเสีย (Premier entaneer and supply, ม.ป.ป.)

**1.2.4.7 แมงกานีส**

แมงกานีสเป็นธาตุหมู่ VIIB ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม25 น้ำหนักอะตอม 54.9 จุดหลอมเหลว 1,245 องศาเซลเซียสจุดเดือด 2,097 องศาเซลเซียสค่าความถ่วงจำเพาะ 4.75 โลหะชนิดหนึ่ง ซึ่งมีสีขาวคล้ายเงิน แข็ง และเปราะ (กรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.ป. ง) ในธรรมชาติพบแมงกานีสในรูปสารประกอบออกไซด์และสินแร่ โดยมักพบควบคู่กับแร่ชนิดอื่น ได้แก่ Pyrolusite ($MnO_2$), Braunite ($Mn_2O_3$), Manganite (MnO (OH)) (วิกันดา ชัยบุตร, 2541)

การใช้ประโยชน์

แมงกานีสถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมโลหะทั่วไป เป็นส่วนประกอบของโลหะผสมใช้ทำเซลล์สำหรับแบตเตอรี่แห้ง และแมงกานีสยังนำมาผสมกับเหล็ก เพื่อทำให้เหล็กนั้นมีความเหนียว ยืดหยุ่น และคงทนยิ่งขึ้น เช่น รางรถไฟ หัวขุด หัวเจาะ เหล็กทุบ เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์ในการทำให้เหล็กบริสุทธิ์ยิ่งขึ้น นอกจากนี้แมงกานีสยังถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเคมี เช่น ในการเตรียมด่างทับทิมซึ่งใช้เป็นยาฆ่าเชื้อโรค สารป้องกันเครื่องน็อคของเครื่องยนต์ ยารักษาเนื้อไม้ให้คงทนถาวร อุตสาหกรรมการย้อมผ้า ฟอกหนัง ย้อมหนัง การผลิตเภสัชภัณฑ์อุตสาหกรรมแก้ว และในการเกษตรใช้ในการทำปุ๋ยสังเคราะห์ (คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล, ม.ป.ป.)

ความเป็นพิษ

ในมนุษย์หากได้รับแมงกานีสจากการหายใจจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ทำให้เกิดอาการคล้ายไข้หวัดใหญ่ หรือไข้ที่เกิดจากการสัมผัสไอของโลหะ เมื่อสัมผัสถูกตาจะทำให้เจ็บปวด ระคายเคือง และเกิดผื่นแดง สำหรับอาการเรื้อรัง เมื่อได้รับแมงกานีสซึ่งเป็นสารพิษโดยการกลืนกินเข้าไป และการสัมผัสทางการหายใจเป็นเวลานานๆ จะมีผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง ระยะเริ่มต้นจะมีอาการเชื่องช้า ขาไม่มีแรง ง่วงนอน หากมีอาการรุนแรงอารมณ์จะแปรปรวน กล้ามเนื้อหดเกร็ง อาการจะคล้ายกับโรค Parkinson มีผลกระทบกับระบบหมุนเวียนเลือดภายในไต และการได้รับแมงกานีสเรื้อรังอาจจะทำให้เกิดอาการผิดปกติทางจิต เมื่อหายใจเข้าไปในระยะเวลานานๆ จะทำให้เป็นอันตรายต่อปอดได้ (กรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.ป. ง)

**1.2.4.8 โคบอลต์**

โคบอลต์เป็นธาตุหมู่ VIIIB ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 27 น้ำหนักอะตอม 58.93 จุดหลอมเหลว 1,493 องศาเซลเซียส จุดเดือด 3,100 องศาเซลเซียส ค่าความถ่วงจำเพาะ 8.92 (กรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.ป. ง) เป็นโลหะสีเงิน พบได้น้อยมากมีอยู่เพียงร้อยละ 0.001 ของเปลือกโลก (ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, 2543)

การใช้ประโยชน์

โคบอลต์ตามปกติจะใช้ผสมกับธาตุอื่น เพื่อทำเป็นโลหะผสม มากกว่าจะใช้ในรูปสารบริสุทธิ์ ใช้สำหรับนำมาทำชิ้นส่วนที่ใช้งานในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงมากที่ประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะชิ้นส่วนในเครื่องยนต์เครื่องบิน โคบอลต์ถูกใช้เป็นสารให้สีในสีสำหรับทาหรือเขียน และใช้เป็นสีย้อมในอุตสาหกรรมเครื่องกระเบื้อง ด้านการถนอมอาหาร ใช้รังสีแกมมาของธาตุโคบอลต์-60 (Co–60) ปริมาณที่พอเหมาะใช้ทำลายแบคทีเรียในอาหาร จึงช่วยให้เก็บรักษาอาหารไว้ได้นานขึ้น โคบอลต์-60 ซึ่งเป็นไอโซโตปกัมมันตรังสีสังเคราะห์ใช้รักษามะเร็งและใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกัมมันตรังสีเนื่องจาก Co เป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณเล็กน้อย (trace element) สารประกอบของ Co จึงใช้ผสมในปุ๋ยเคมี นอกจากนี้ยังมีการใช้โคบอลต์ในผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี และใช้ทำแม่เหล็กถาวร (ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, 2543)

ความเป็นพิษ

เมื่อได้รับโคบอลต์จากการหายใจเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อเมือกและทางเดินหายใจ ก่อให้เกิดอาการไอ และหายใจติดขัด และหายใจถี่รัว เมื่อสัมผัสถูกผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคือง ผื่นแดง ผิวหนังแห้ง หากกลืนกินเข้าไปจะทำให้คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ชัก และความดันโลหิตลดลง การสัมผัสถูกตาจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อบุตา ตาแดง และการสัมผัสสารนี้เป็นระยะเวลานานหรือการสัมผัสซ้ำ ๆ จะก่อให้เกิดการอักเสบของผิวหนัง ทำให้เกิดผื่นแดง ทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบเลือด หัวใจ ตับอ่อน และต่อมไทรอยด์ และอาจทำให้เกิดความผิดปกติของปอด (กรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.ป. จ)

## 1.3 การทำประมงปลาทูน่า

มหาสมุทรอินเดียเป็นแหล่งประมงที่สำคัญเป็นอันดับสองรองจากมหาสมุทรแปซิฟิก จากการรายงานของคณะกรรมาธิการปลาทูน่ามหาสมุทรอินเดีย (Indian Ocean Tuna Commission : IOTC) พบว่าปลาทูน่าที่จับได้ใน ปี พ.ศ. 2551 มีประมาณถึง 1,210,000 ตัน ประกอบด้วย ปลาทูน่า

ท้องแถบ (*Katsuwonus pelamis*) ประมาณ 600,000 ตัน ปลาทูน่าครีบเหลือง (*Thunnus albacares*) 490,000 ตัน และปลาทูน่าตาโต (*Thunnus obesus*) 120,000 ตัน (www.iotc.org, อ้างโดย กรมประมง, 2554ข) และนอกจากนี้ยังเป็นแหล่งที่มีความหลากหลายของพันธุ์ปลาทูน่าและปลาที่คล้ายปลาทูน่าถึง 16 ชนิด มีทั้งปลาทูน่าชายฝั่ง ปลาทูน่าเขตร้อนและกึ่งเขตร้อน และปลาทูน่าเขตอบอุ่น มหาสมุทรอินเดียนอกจากจะเป็นแหล่งประมงที่สำคัญของประเทศที่อยู่รายรอบมหาสมุทร ไม่ว่าจะเป็นประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เอเชียใต้ ตะวันออกกลาง แอฟริกา รวมทั้งประเทศหมู่เกาะขนาดเล็กในมหาสมุทรอินเดียแล้ว ยังเป็นแหล่งประมงของประเทศที่ทำการประมงไกลถิ่น (Long-Distance Fishing Nation) ที่เข้ามาทำการประมงในมหาสมุทรอินเดียนี้อีกด้วย (กรมประมง, 2555ข) แหล่งประมงในมหาสมุทรจะอยู่บริเวณเหนือภูเขาใต้น้ำ (Seamount) และบริเวณสันเขาใต้น้ำ (Ridge) เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีธาตุอาหารสมบูรณ์ นอกจากนี้ยังมีการไหลเวียนของกระแสน้ำอุ่นและกระแสน้ำเย็นที่เข้าปะทะกับแนวสันเขา ทำให้มวลน้ำในระดับลึกเกิดการม้วนตัวขึ้นสู่ผิวน้ำ (Upwelling) นำพาตะกอนและสารอาหารขึ้นมาด้วย ทำให้บริเวณดังกล่าวมีความสมบูรณ์ของธาตุอาหาร ทำให้เกิดความชุกชุมของทรัพยากรสัตว์น้ำซึ่งเหมาะสมกับการทำประมงเป็นอย่างยิ่ง

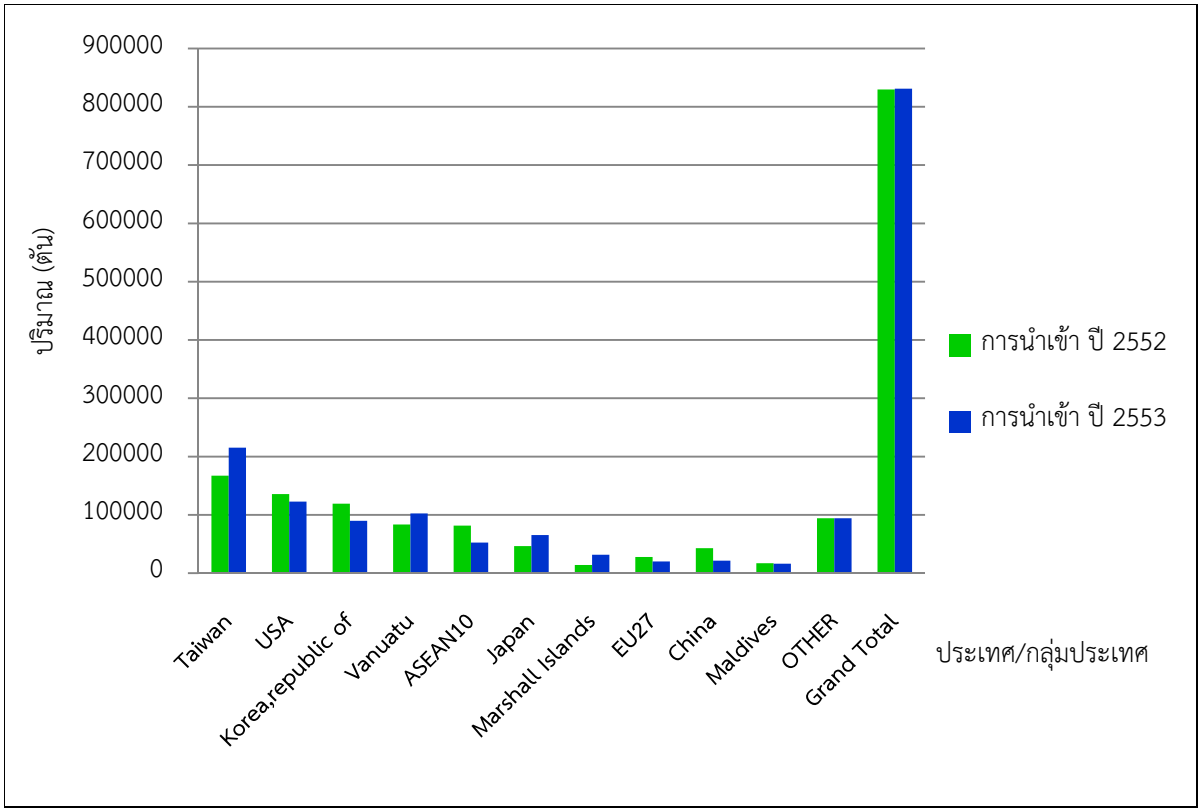
บริเวณ Ninety East Ridge (90°E) ในมหาสมุทรอินเดียจึงเป็นแหล่งทำการประมงที่สำคัญสำหรับชาวประมงซึ่งกรมประมงได้ตระหนักถึงความสำคัญของการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรปลาทูน่าบริเวณดังกล่าว เนื่องจากเป็นแหล่งประมงน้ำลึกที่อยู่ไม่ไกลจากประเทศไทยมากนัก มีระยะทางจากจังหวัดภูเก็ตประมาณ 1,000 ไมล์ทะเล สามารถเดินเรือไปยังแหล่งประมงโดยใช้เวลาประมาณ 3 วัน ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบในด้านภูมิศาสตร์ทำให้ต้นทุนในการทำประมงปลาทูน่าของชาวประมงไทยต่ำกว่าประเทศอื่นๆ ที่ทำการประมงอยู่ในปัจจุบัน เช่น กองเรือจับปลาทูน่าญี่ปุ่น ไต้หวัน สเปน และฝรั่งเศส (กรมประมง, 2554ก) ประกอบกับประเทศไทยเข้าร่วมเป็นสมาชิกของคณะกรรมาธิการปลาทูน่าแห่งมหาสมุทรอินเดีย (Indian Ocean Tuna Commission, IOTC) เพื่อการจัดการและกำหนดโควตาการทำประมงปลาทูน่าในมหาสมุทรอินเดีย จึงเป็นโอกาสที่ไทยจะสามารถพัฒนากองเรือประมงปลาทูน่าในมหาสมุทรอินเดีย และเป็นการส่งเสริมการทำประมงทะเลลึกให้ก้าวหน้ายิ่งขึ้น โดยทำการพัฒนาเครื่องมือประมง ใช้เทคโนโลยีและเครื่องมือที่ทันสมัย เพื่อเป็นการสร้างความเชื่อมั่นและเป็นแรงจูงใจให้ชาวประมงออกไปทำการประมงทะเลลึก ซึ่งจะช่วยลดการนำเข้าปลาทูน่าจากต่างประเทศได้ ในอดีตมีการสำรวจพบว่าทรัพยากรปลาผิวน้ำและปลาทะเลน้ำลึกที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจหลายชนิดได้เข้ามาอาศัยอยู่ในบริเวณนี้เป็นจำนวนมาก เช่น ปลาทูน่า ปลากระโทงแทง แหล่งประมงดังกล่าวจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ชาวประมงไทยสามารถทำการประมงทะเลลึกได้ ซึ่งปัจจุบันผู้ประกอบการเรือประมงเริ่มให้ความสนใจในการลงทุนการทำประมงทะเลลึกเพิ่มมากขึ้น

นอกเหนือจากบริเวณแนวทะเลลึกในทะเลอันดามันที่มีพื้นที่จำกัด (กรมประมง, 2555ก) มหาสมุทรอินเดียจึงมีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจการประมงต่อประชากรจำนวนมาก

ปลาทูน่าเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่ได้รับความนิยมในการบริโภคอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ เช่น ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา และสหภาพยุโรป โดยนิยมรับประทานทั้งในรูปแบบปลาดิบ (Sashimi) และผลิตภัณฑ์ทูน่าปลากระป๋อง แม้ความนิยมการบริโภคปลาทูน่าในประเทศไทยจะไม่มากเท่าประเทศดังกล่าว แต่ประเทศไทยส่งออกผลิตภัณฑ์ปลาทูน่ามากเป็นอันดับต้นของโลก โดยในปีพ.ศ.2552 มีปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์ปลาทูน่ากระป๋องและผลิตภัณฑ์ปลาทูน่าแปรรูป เท่ากับ 567,887.37 ตัน มูลค่า 59,228.27 ล้านบาท และเพิ่มขึ้นเป็น 606,587.08 ตัน มูลค่า 60,491.81 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2553 (รูปที่ 1-1) (กองประมงต่างประเทศ, 2555ข) ในขณะที่ต้องนำเข้าปลาทูน่าแช่แข็งจากต่างประเทศเพื่อเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมปลาทูน่าในปีพ.ศ.2552 ปริมาณ 829,620.82 ตันมูลค่า 35,885.37 ล้านบาท และเพิ่มขึ้นเป็นปริมาณ 831,008.48 ตัน มูลค่า 36,370.85 ล้านบาท ในปี 2553 (รูปที่ 1-2) (กองประมงต่างประเทศ, 2555ก) ทำให้ประเทศไทยต้องสูญเสียเงินตราต่างประเทศในการนำเข้าวัตถุดิบเป็นจำนวนมาก จะเห็นได้ว่าความต้องการปลาทูน่าสดและผลิตภัณฑ์ปลาทูน่ากระป๋องของตลาดต่างประเทศมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น บวกกับการทำประมงทะเลลึกของชาวประมงไทยที่เริ่มให้ความสนใจในธุรกิจนี้มากขึ้น ซึ่งประเทศผู้นำเข้าได้มีความระมัดระวังเรื่องความปลอดภัยของอาหารมากขึ้นด้วยเช่นกัน และมีการกำหนดมาตรการการตรวจสอบเข้มงวดมากขึ้น สินค้าอาหารทุกประเภทหากไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยจะถูกระงับการนำเข้าและอาจถูกยกเลิกอย่างไม่มีกำหนด สร้างความสูญเสียทางเศรษฐกิจให้กับประเทศผู้ส่งออกเป็นอย่างมาก ประเทศไทยได้เคยประสบปัญหาเช่นนี้มาแล้วจากการส่งออกสินค้าสัตว์น้ำจำพวกปลาหมึกไปยังสหภาพยุโรป และถูกตรวจพบแคดเมียมตกค้างในเนื้อปลาหมึกทำให้ถูกระงับการนำเข้า (อรพินท์ จันทร์ผ่องแสง, 2549) นอกจากแคดเมียมแล้ว ยังมีโลหะหนักอีกหลายชนิดที่ถูกระบุเป็นสารก่ออันตรายหากมีการค้างหรือปนเปื้อนเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้

### 1.4 การศึกษาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในสัตว์น้ำจากพื้นที่ต่างๆ

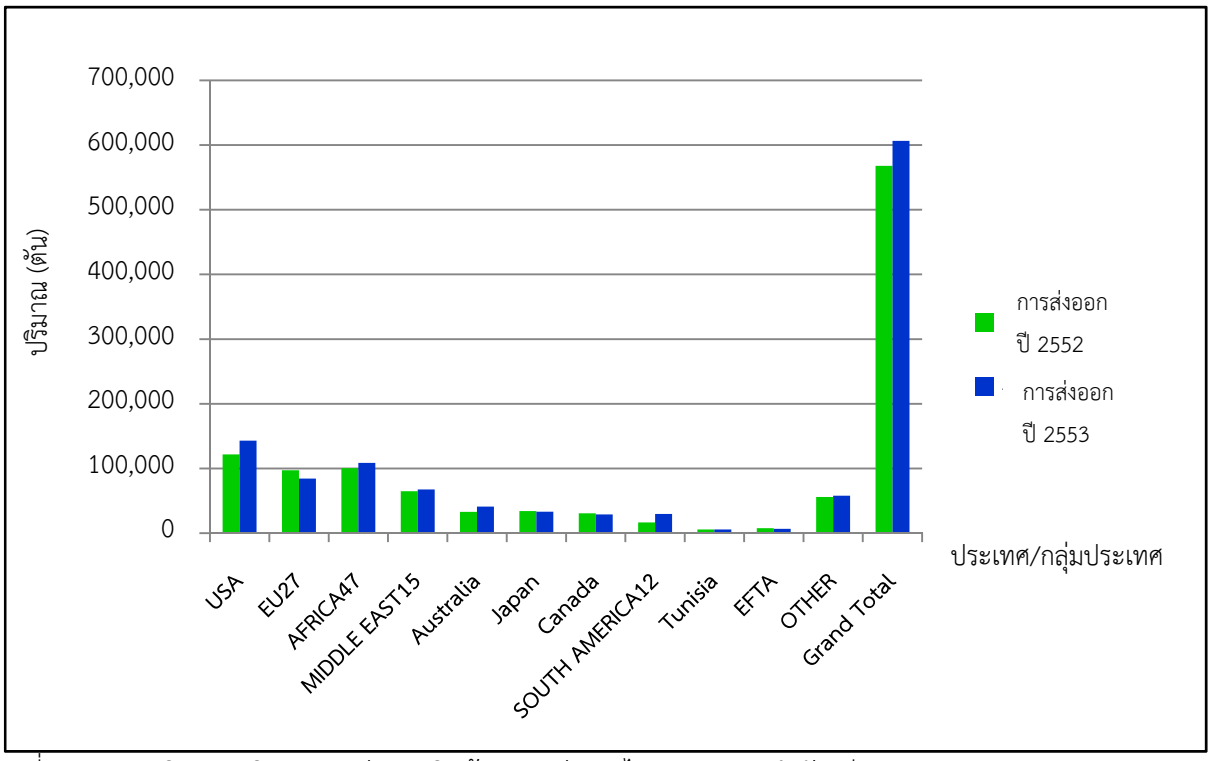
ในปัจจุบันเริ่มมีคนให้ความสนใจในเรื่องการศึกษาและวิเคราะห์โลหะหนักมากขึ้น ตัวอย่างจากการศึกษาโลหะหนักบางชนิด ได้แก่ โคบอลต์ นิกเกิล ทองแดง สังกะสี สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว บริเวณทะเลสาบสงขลาในเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ ตับ และไข่ ของปลากดหัวแข็งและปลากดหัวอ่อนพบว่าความเข้มข้นของธาตุปริมาณน้อยระหว่างปลาทั้ง 2 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สำหรับความเข้มข้นของโคบอลต์ ทองแดง สังกะสี และแคดเมียม จะมีการสะสมมาก




รูปที่ 1-1 แผนภูมิแสดงปริมาณการนำเข้าสินค้าปลาทูน่าของไทยจากตลาดสำคัญ ปี พ.ศ.2552 - พ.ศ.2553

ที่มา : กองประมงต่างประเทศ, 2555ก

ในบริเวณตับ ขณะที่นิกเกิลและตะกั่วที่กระจายอยู่ระหว่างเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อและตับซึ่งจะมีค่าความแตกต่างกันสูง ความเข้มข้นของสารหนูที่สะสมในเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อและตับมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างสม่ำเสมอ ยกเว้นบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอกที่มีค่าสัดส่วนของเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อต่อตับที่มีปริมาณสูงชัดเจน ส่วนค่าความเข้มข้นของแคดเมียม ตะกั่ว และสารหนู ที่พบในไข่ปลามีค่าต่ำกว่าความเข้มข้นในเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อและตับ ส่วนระดับความเข้มข้นของสังกะสี ทองแดง และโคบอลต์ มีค่าความเข้มข้นอยู่ระหว่างค่าความเข้มข้นของเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อและตับ และค่าความเข้มข้นของนิกเกิลไม่พบรูปแบบที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน การสะสมของธาตุปริมาณน้อยในเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ ตับ และไข่ ของปลาทั้งสองชนิดจะเป็นธาตุเฉพาะ และความเข้มข้นของธาตุปริมาณน้อยในเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อของปลาดังกล่าวมนุษย์สามารถบริโภคได้ในปริมาณที่จำกัด (Pradit *et al*., 2010)




รูปที่ 1-2 แผนภูมิแสดงปริมาณการส่งออกสินค้าปลาทูน่าของไทยจากตลาดสำคัญ ปี พ.ศ.2552 - พ.ศ.2553

ที่มา : กองประมงต่างประเทศ, 2555ข

จากการศึกษาการสะสมโลหะหนักทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) แมกนีเซียม (Mg) นิกเกิล (Ni) โครเมียม (Cr) โคบอลต์ (Co) และโบรอน (B) ในกล้ามเนื้อ ผิวหนัง และเหงือก ของปลาในวงศ์ Sparidae จำนวน 2 ชนิด และวงศ์ Mugilidae อีก 4 ชนิด ในทะเลสาบเบย์เมเล็ค ประเทศตุรกี โดยใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy (ICP-OES) ในการตรวจวัดซึ่งระดับการสะสมของโลหะหนักในเนื้อเยื่อและปลาแต่ละชนิดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยโลหะที่พบในเนื้อเยื่อ ได้แก่ Cu: 0.28–5.11, Zn: 4.27–339.76, Mn: 0.0–12.81, Fe: 3.25–117.73, Cr: 0.0–1.40, Co: 0.0–3.29 และ Mg: 168.73–659.16 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักเปียก แต่ไม่พบธาตุ Ni และ B ในเนื้อเยื่อของปลาดังกล่าว โดยความเข้มข้นของโลหะที่ปนเปื้อนในปลาบริเวณทะเลสาบเบย์เมเล็คจะต่ำกว่าปลาพวกอื่นๆในแถบเมดิเตอร์เรเนียน ประเทศตุรกีจึงกล่าวได้ว่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่กล้ามเนื้อของปลาที่ศึกษาต่ำกว่ามาตรฐานที่กฎหมายกำหนดไว้ (Uysal *et al.*, 2008) และนอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาการปนเปื้อนของสารกัมมันตภาพรังสี (Ra-226, Th-232, K-40, Cs-137) และโลหะหนัก (As, Mn, Fe, Cr, Ni, Zn และ Pb) ในปลาทะเลบางชนิดบริเวณเขตทะเลดำ ประเทศตุรกีเช่นกันซึ่งได้ทำการเก็บตัวอย่าง

จาก 8 สถานี ซึ่งความเข้มข้นของโลหะหนักที่สามารถบริโภคประจำวันนั้นมีปริมาณที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่องค์กรนานาชาติกำหนดไว้ หากเกินที่เกณฑ์ที่กำหนดไว้ก็จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ (Korkmaz Gorur *et al.,* 2012)

พัชวิมา จีนหมั้น(2552) ได้ศึกษา ระดับของแคดเมียมในทรัพยากรประมงจากทะเลอันดามันและทะเลเซเลเบสและการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ โดยทำการสุ่มตัวอย่างปลาจากทะเลอันดามัน และตัวอย่างหมึกจากทะเลเซเลเบส ตรวจวัดความเข้มข้นของแคดเมียมด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometer (ICP-OES)พบว่า ปลาจากทะเลอันดามันมีแคดเมียมปนเปื้อนอยู่ในช่วง 0.002 – 0.036 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดในข้อบังคับของคณะกรรมาธิการยุโรป (EU) และระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ร่างกายได้รับจากการบริโภคปลาบริเวณดังกล่าวอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค ส่วนระดับของแคดเมียมที่ปนเปื้อนในเนื้อหมึก ส่วนลำตัว ส่วนหัว และอวัยวะภายใน อยู่ในช่วง 0.26 – 4.59, 0.10 – 2.04 และ 3.1 – 179.7 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ โดยพบว่า มีเนื้อส่วนลำตัว และส่วนหัว บางตัวอย่างที่มีค่าเกินเกณฑ์ที่กำหนดในข้อบังคับของคณะกรรมาธิการยุโรป และกระทรวงสาธารณสุข การประเมินความเสี่ยงการบริโภคหมึกบริเวณทะเลเซเลเบสค่อนข้างมีความเสี่ยงในการได้รับแคดเมียมสูงกว่าปลามาก

หฤทัย อภัยรัตน์ (2552) ได้ศึกษาระดับของปรอทที่ปนเปื้อนในทรัพยากรประมงจากทะเลอันดามันและทะเลเซเลเบส และการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ โดยทำการสุ่มตัวอย่างปลาจากทะเลอันดามัน และตัวอย่างหมึกจากทะเลเซเลเบส ตรวจวัดปริมาณไอปรอทด้วยเทคนิคอะตอมมิคแอบซอพชันแบบไอเย็น (Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometer) พบว่าปลาจากทะเลอันดามันมีปรอทปนเปื้อนอยู่ในช่วง 0.017 – 1.456 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักเปียก ส่วนระดับปรอทในเนื้อหมึกจากทะเลเซเลเบส ส่วนลำตัว ส่วนหัว และอวัยวะภายในอยู่ในช่วง 0.03 – 0.14, 0.01 – 0.12 และ 0.01 – 0.14 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของคณะกรรมาธิการยุโรป EU ซึ่งกำหนดให้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในปลาทั่วไป ยกเว้นปลานักล่าที่มีได้ไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม พบว่า 33 % และ 8.5 % ของปลาทั้งหมดมีค่าเกิน 0.5 และ 1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ และปริมาณปลอดภัยในการบริโภคต่อสัปดาห์ (Provisional Tolerable Weekly Intake : PTWI) ปลาในกลุ่มปลาหน้าดินและปลาผิวน้ำสำหรับคนน้ำหนักตัว 60 กิโลกรัม มีค่าเฉลี่ย 1.97 ± 1.6 และ 0.31 ± 0.21 กิโลกรัม/สัปดาห์ ตามลำดับ และค่า PTWI ของหมึกจากทะเลเซเลเบส ส่วนลำตัวและส่วนหัว มีค่า 1.4 และ 1.8 กิโลกรัม/สัปดาห์ ตามลำดับ

สุภาพร แก้วบุบผา (2552) ได้ศึกษา ระดับแคดเมียมในทรัพยากรประมงจากอ่าวเบงกอลและทะเลอันดามัน (น่านน้ำพม่า) การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ โดยการสำรวจในอ่าวเบงกอลใช้เครื่องมือเบ็ดราวน้ำลึกและอวนลอย ได้ปลากลางน้ำ จำนวน 11 ชนิด ส่วนในน่านน้ำพม่าใช้เบ็ดราวน้ำลึกและอวนลากหน้าดิน ได้ปลากลางน้ำและสัตว์ที่หากินหน้าดิน จำนวน 32 ชนิด ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของแคดเมียมด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) พบว่า สัตว์น้ำส่วนใหญ่ที่สุ่มจับจากอ่าวเบงกอล และทะเลอันดามัน (น่านน้ำพม่า) ยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัยในการบริโภค ที่กำหนดในข้อบังคับของคณะกรรมาธิการยุโรป (EU) ซึ่งยอมให้แคดเมียมในเนื้อปลาทั่วไปไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปลานักล่าบางชนิดยอมให้มีได้ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ยกเว้นปลากระโทงแทงดาบที่ยอมให้มีได้ถึง 0.3 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สำหรับค่าสัดส่วนความเสี่ยงจากการได้รับแคดเมียมที่ปนเปื้อนในสัตว์ทะเลทั้งหมด จากอ่าวเบงกอล และทะเลอันดามัน (น่านน้ำพม่า) มีค่าต่ำกว่า 1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม อยู่มากจึงไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้บริโภค

จิณธรรม หารเทา (2552) ได้ศึกษาระดับของปรอทที่ปนเปื้อนในทรัพยากรประมงจากอ่าวเบงกอลและทะเลอันดามัน (น่านน้ำพม่า) และการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพโดยวิเคราะห์ในตัวอย่างสัตว์น้ำ 11 ชนิด จากอ่าวเบงกอล และ 32 ชนิด จากน่านน้ำพม่า พบว่า ปรอทที่ปนเปื้อนในปลาจากอ่าวเบงกอลและจากน่านน้ำพม่า อยู่ในช่วง 0.005 – 1.245 และ 0.010 – 1.125 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ พบว่าปริมาณปรอทที่สะสมในเนื้อปลาจะเพิ่มขึ้นตามขนาดของสัตว์น้ำ เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของ EU พบว่าอ่าวเบงกอลส่วนใหญ่มีปรอทไม่เกินเกณฑ์ ยกเว้นปลากระมง ส่วนปลาจากน่านน้ำพม่าที่มีปรอทปนเปื้อนมากจะเป็นปลานักล่า คือ ปลาน้ำดอกไม้ ปลาฉลามหางยาวหน้าหนู และปลากระโทงแทงดาบ มีค่าเฉลี่ย 0.942, 0.527 ± 0.247 และ 0.431 ± 0.352 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ ส่วนปลาที่มีค่าเกินเกณฑ์ คือ ปลากะรังดอกแดง มี 0.519 ± 0.027 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักเปียก การประเมินสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient : HQ) และปริมาณปลอดภัยในการบริโภคต่อสัปดาห์ (PTWI) ของปลาในอ่าวเบงกอล 5 ชนิด ที่มีค่า HQ> 1 คือ ปลากระมง ปลาฉลามหางยาวหน้าหนู ปลากระโทงแทงดาบ ปลาฉลามครีบด่าง และปลาทูน่าตาโต มีค่า HQ เท่ากับ 4.76, 2.76, 2.57, 1.35 และ 1.08 ตามลำดับ และมีค่า PTWI ที่ 0.12, 0.21, 0.22, 0.42 และ 0.53 กิโลกรัม/สัปดาห์ ตามลำดับ สำหรับคนที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 60 กิโลกรัม และปลาจากน่านน้ำพม่า 5 ชนิด ที่มีค่า HQ> 1 คือ ปลาน้ำดอกไม้ ปลาฉลามหางยาวหน้าหนู ปลากะรังดอกแดง ปลากระโทงร่ม และปลากระโทงแทงดาบ โดยมีค่า HQ

เท่ากับ 5.06, 2.83, 2.79, 2.49 และ 2.32 ตามลำดับ มีค่า PTWI ที่ 0.11, 0.20, 0.21, 0.23 และ 0.25 กิโลกรัม/สัปดาห์ ตามลำดับ สำหรับคนที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 60 กิโลกรัม

จากการศึกษาของสมชาย วิบุญพันธ์ และคณะ (2551) ได้ทำการศึกษา ปริมาณโลหะหนักในสัตว์ทะเลจากเรือประมงอวนลากและอวนล้อมจับบริเวณน่านน้ำไทย ซึ่งศึกษาปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และปรอท ในสัตว์ทะเลหน้าดินจากเรืออวนลากและปลาผิวน้ำจากเรืออวนล้อม ระหว่างปี พ.ศ.2546-2548 พบว่าสัตว์หน้าดินส่วนมากมีปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดสูงกว่าปลาผิวน้ำ โดยค่าแคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และปรอท ในบริเวณฝั่งอ่าวไทยและฝั่งทะเลอันดามันมีค่าอยู่ในช่วง 0.001-3.561 และ 0.005-0.665 ไมโครกรัม/กรัม <0.002-4.462 และ <0.005-2.250 ไมโครกรัม/กรัม 0.001-3.561 และ 0.005-0.665 ไมโครกรัม/กรัม และ<0.002-0.159 และ <0.050-2.603 ไมโครกรัม/กรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแหล่งประมงฝั่งอ่าวไทยกับฝั่งทะเลอันดามัน ปรากฏว่าปริมาณโลหะหนักในฝั่งอ่าวไทยมีค่าสูงกว่าฝั่งทะเลอันดามัน ยกเว้นปรอทซึ่งฝั่งทะเลอันดามันจะมีค่าสูงกว่า แต่ปริมาณโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ที่สะสมในสัตว์ทะเลบริเวณน่านน้ำไทยอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ยอมให้มีสารปนเปื้อนในอาหารได้ โดยกระทรวงสาธารณสุข ประเทศไทย และค่ามาตรฐานสากล

การศึกษาของสุฑารัตน์ สุขพันธ์ (2550) ได้ทำการศึกษา ปริมาณปรอทในเนื้อเยื่อสัตว์น้ำในทะเลสาบสงขลา ตลอดจนคำนวณหาปริมาณปลอดภัยที่สามารถบริโภคได้ต่อคนต่อหน่วยเวลา ในตัวอย่างสัตว์น้ำจำนวน 218 ตัวอย่าง ประกอบด้วย ปลากินพืช ปลากินพืชและสัตว์ ปลากินสัตว์ และกุ้ง พบว่าเนื้อเยื่อตัวอย่างทั้งปลาและกุ้งทุกตัวอย่างมีการปนเปื้อนของปรอท โดยในปลากินสัตว์มีความเข้มข้นเฉลี่ย (ค่าต่ำสุด – ค่าสูงสุด) เท่ากับ 11-625 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ในปลากินพืชและสัตว์ เท่ากับ 12-66 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ในปลากินพืช เท่ากับ 12-70 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก และในกุ้ง เท่ากับ7-26 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเกณฑ์กำหนดขององค์การอนามัยและเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข กำหนดไว้ไม่เกิน 50 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก พบว่าสัตว์น้ำส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในเกณฑ์ ยกเว้นปลาเสือพ่นน้ำที่มีค่าสูงถึง 625 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดเพียงชนิดเดียว สำหรับปริมาณปลอดภัยในการบริโภคสัตว์น้ำจากทะเลสาบสงขลา พบว่าคนปกติที่มีน้ำหนักตัว 60 กิโลกรัม ไม่ควรบริโภคสัตว์น้ำจากทะเลสาบสงขลาเกินกว่า 1.07 กิโลกรัม/สัปดาห์ หรือเฉลี่ยวันละ 150 กรัม

สมชาย วิบุญพันธ์ และคณะ (2549) ได้ทำการศึกษา การปนเปื้อนของสารโลหะหนักในสัตว์ทะเลบางชนิดบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง ซึ่งวิเคราะห์หาโลหะหนัก 3 ชนิด คือ ปรอท แคดเมียม

และตะกั่ว ในตัวอย่างสัตว์ทะเล 6 ชนิด ได้แก่ หอยนางรม หอยแมลงภู่ หอยลาย กุ้งแชบ๊วย และกุ้งตะกาด บริเวณอ่าวบ้านดอน อ่าวนครศรีธรรมราช และอ่าวปัตตานี ในปี พ.ศ. 2542-2545 พบว่าความเข้มข้นของสารปรอทในหอยและกุ้งเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.036-0.080 ไมโครกรัม/กรัม ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุขกำหนดให้อาหารทะเลมีการปนเปื้อนจากสารปรอทได้ไม่เกิน 0.500 ไมโครกรัม/กรัม แคดเมียมที่ปนเปื้อนในหอยและกุ้งเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.096-1.742 ไมโครกรัม/กรัม ซึ่งค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ 2.0 ไมโครกรัม/กรัม ของ The National Health and Medical Research Council ประเทศออสเตรเลีย และตะกั่วที่ปนเปื้อนในหอยและกุ้งเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.170-0.690 ไมโครกรัม/กรัม ซึ่งค่าต่ำกว่ามาตรฐานจากการเปรียบเทียบกับค่าของ Codex Maximum Level in Food กำหนดค่าไว้ 2.00 ไมโครกรัม/กรัม สำหรับปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคสัตว์น้ำเป็นอาหารบริเวณดังกล่าว พบว่ายังมีความปลอดภัยจากสารโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด

อรพินท์ จันทร์ผ่องแสง (2549) ศึกษา ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในเนื้อปลาทูน่าจากมหาสมุทรอินเดีย โดยวิเคราะห์โลหะหนักแคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ที่สะสมในเนื้อปลาทูน่าตาโต ปลาทูน่าครีบเหลือง และปลาทูน่าท้องแถบ ซึ่งจับได้จากการทำประมงอวนล้อมจับปลาทูน่า ในบริเวณมหาสมุทรอินเดียตะวันออก ด้วยวิธีอะตอมมิคแอบซอพชั่น (Atomic Absorption Spectrophotometry) รวมทั้งหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักกับความยาวของปลาทูน่าแต่ละชนิด จากการศึกษาพบว่า ปลาทูน่าท้องแถบมีปริมาณการสะสมของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด สูงกว่าปลาทูน่าตาโตและปลาทูน่าครีบเหลือง โดยมีค่าเฉลี่ยของแคดเมียม ทองแดง และสังกะสี เท่ากับ 17.881, 0.535 และ 5.843 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้ยังไม่สูงกว่าค่ามาตรฐานที่ถูกกำหนดขึ้นโดยประเทศต่างๆ และผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะกับความยาวของปลาทูน่าแต่ละชนิด โดยใช้รีเกรซชั่นเส้นตรง พบว่า ปริมาณแคดเมียมแสดงความสัมพันธ์เชิงบวกกับความยาวของปลาทูน่าตาโตและปลาทูน่าท้องแถบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ปริมาณของโลหะทองแดงจะแสดงความสัมพันธ์เชิงลบกับความยาวของปลาทูน่าครีบเหลืองที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และโลหะสังกะสีไม่พบความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างปริมาณสะสมกับความยาวในปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด

สมเกียรติ ขอเกียรติวงศ์ และคณะ (2547) ได้ศึกษาปริมาณโลหะหนักที่พบในเนื้อเยื่อของวาฬในน่านน้ำไทย ซึ่งศึกษาโลหะหนัก 8 ชนิด คือ สารหนู แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง สังกะสี เหล็ก แมงกานีสและปรอท ในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของวาฬ 3 ชนิด คือ วาฬบรูด้า, วาฬหัวทุยเล็ก และวาฬนำร่องครีบสั้น โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) พบว่า

อวัยวะที่มีการสะสมของสารหนู แคดเมียม ทองแดง สังกะสี เหล็ก ปรอท และแมงกานีสมากที่สุด คือ ตับ รองลงมาคือ ไต และหนังเป็นอวัยวะที่มีการสะสมของโลหะหนักดังกล่าวน้อยที่สุด ส่วนตะกั่ว มีการสะสมค่อนข้างต่ำในวาฬ โดยอวัยวะที่มีการสะสมมากที่สุด คือ บริเวณกล้ามเนื้อ และน้อยที่สุด บริเวณไต และตับ สำหรับปรอทจะสะสมในอวัยวะสูง โดยเฉพาะในตับ ส่วนของกล้ามเนื้อและหนังมีระดับที่ใกล้เคียงกันกับที่พบในรายงานอื่นๆ

พิมพร เจริญศรี (2544) ได้ศึกษาความเข้มข้นของปรอทรวมในเนื้อเยื่อชนิดต่างๆ ของปลาทะเลบางชนิดที่อาศัยอยู่ในบริเวณแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทย โดยพื้นที่ศึกษามี 2 บริเวณ คือ บริเวณแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทย และบริเวณปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยศึกษาหาความเข้มข้นของปรอทที่เนื้อเยื่อ 3 ชนิด คือ เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ ตับ และไต ในปลา 3 ชนิด คือ ปลากะพงเขี้ยว ปลาหางแข็ง และปลากา พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นปรอทในเนื้อเยื่อของปลาทั้ง 3 ชนิด บริเวณปราณบุรีจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภคไม่เกินมาตรฐานขององค์การอนามัยโลกที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.5 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก บริเวณแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทย พบว่าในเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อของปลาทั้ง 3 ชนิด มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของปรอทอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค ไม่พบตัวอย่างเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อที่เกินมาตรฐาน แต่ความเข้มข้นปรอทที่พบในตับและไตมีค่าสูงเกินมาตรฐานอยู่มาก โดยเฉพาะในปลากะพงเขี้ยวมีค่าความเข้มข้นของปรอทสูงสุด คือ 2.767 และ 8.045 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ

จากการตรวจสอบเอกสารสามารถสรุประดับการปนเปื้อนของโลหะหนักบางชนิดในสัตว์น้ำจากพื้นที่ต่างๆ (ตารางที่ 1-1) ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบว่ากลุ่มสัตว์น้ำจำพวกหอยโดยส่วนใหญ่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักในปริมาณที่สูงกว่ากลุ่มของปลาและกุ้ง อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในแต่ละพื้นที่หรือมีการวิเคราะห์โลหะหนักแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ หากมีการศึกษาข้อมูลในแต่ละกลุ่มจากพื้นที่เดียวกันและวิเคราะห์โลหะหนักชนิดเดียวกันอาจจะทำให้ทราบข้อมูลที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

ตารางที่ 1-1 ระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักบางชนิดในสัตว์น้ำจากพื้นที่ต่างๆ

| พื้นที่ศึกษา | ชนิดสัตว์น้ำ | หน่วยที่ใช้ | ปริมาณโลหะหนัก | | | | | | | | | | อ้างอิง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ทองแดง | แคดเมียม | ตะกั่ว | สังกะสี | เหล็ก | นิกเกิล | แมงกานีส | โคบอลต์ | ปรอท | สารหนู | |
| ทะเลอันดามัน (น่านน้ำไทยและพม่า) | *Alopias pelagicus*<br>*Alopias superciliosus*<br>*Lepturacanthus savala*<br>*Parupeneus heptacanthus*<br>*Thunnus bacares*<br>*Xiphias gladius* | มก./กก. น้ำหนักเปียก | | 0.034<br>0.022 ± 0.006<br>0.016 ± 0.005<br>0.006 ± 0.002<br>0.023 ± 0.005<br>0.023 ± 0.007 | | | | | | | | | พัชวิมา จีนหมั้น (2552) |
| ทะเลอันดามัน (น่านน้ำไทยและพม่า) | *Alopias pelagicus*<br>*Alopias superciliosus*<br>*Lepturacanthus savala*<br>*Parupeneus heptacanthus* | มก./กก. น้ำหนักเปียก | | | | | | | | | 0.849<br>0.642 ± 0.251<br>0.902 ± 0.493<br>0.054 ± 0.014 | | หฤทัย อภัยรัตน์ (2552) |

ตารางที่ 1-1 ระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักบางชนิดในสัตว์น้ำจากพื้นที่ต่างๆ (ต่อ)

| พื้นที่ศึกษา | ชนิดสัตว์น้ำ | หน่วยที่ใช้ | ปริมาณโลหะหนัก | | | | | | | | | | อ้างอิง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ทองแดง | แคดเมียม | ตะกั่ว | สังกะสี | เหล็ก | นิกเกิล | แมงกานีส | โคบอลต์ | ปรอท | สารหนู | |
| | *Thunnus bacares*<br>*Xiphias gladius* | | | | | | | | | | 0.180 ± 0.078<br>0.281 ± 0.178 | | |
| อ่าวเบงกอล<br>ทะเลอันดามัน (น่านน้ำพม่า) | *Alopias superciliosus*<br>*Katsuwonus pelamis*<br>*Thunnus albacares*<br>*Thunnus obesus*<br>*Xiphias gladius*<br>*Alopias superciliosus*<br>*Sphyraena barracuda*<br>*Xiphiasgladius* | มก./กก. น้ำหนักเปียก | | 0.019 ± 0.008<br>0.025 ± 0.008<br>0.030 ± 0.019<br>0.027<br>0.066 ± 0.061<br>0.047 ± 0.056<br>0.142<br>0.111 ± 0.015 | | | | | | | | | สุภาพร แก้วบุบผา (2552) |
| อ่าวเบงกอล | *Alopias superciliosus* | มก./กก. น้ำหนักเปียก | | | | | | | | | 0.514 ± 0.200 | | จิณณธรรม หารเทา (2552) |

ตารางที่ 1-1 ระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักบางชนิดในสัตว์น้ำจากพื้นที่ต่างๆ (ต่อ)

| พื้นที่ศึกษา | ชนิดสัตว์น้ำ | หน่วยที่ใช้ | ปริมาณโลหะหนัก | | | | | | | | | | อ้างอิง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ทองแดง | แคดเมียม | ตะกั่ว | สังกะสี | เหล็ก | นิกเกิล | แมงกานีส | โคบอลต์ | ปรอท | สารหนู | |
| ทะเลอันดามัน (น่านน้ำพม่า) | *Katsuwonus pelamis*<br>*Thunnus albacares*<br>*Thunnus obesus*<br>*Xiphias gladius*<br>Unidentified shark<br>*Alopias superciliosus*<br>*Sphyraena barracuda*<br>*Xiphias gladius* | | | | | | | | | | 0.100 ± 0.135<br>0.092 ± 0.045<br>0.201<br>0.478 ± 0.430<br>0.048<br>0.527 ± 0.247<br>0.942 ± 0.000<br>0.431 ± 0.352 | | |
| แหล่งประมงฝั่งอ่าวไทย (ตั้งแต่ จ.ตราดถึง จ. ปัตตานี) | ปลาทู<br>ปลาลัง<br>ปลาทูแขก<br>ปลาโอแกลบ | มค./ก. น้ำหนักเปียก | 1.701<br>1.982<br>2.477<br>4.202 | 0.149<br>0.167<br>0.199<br>0.177 | 0.142<br>0.205<br>0.176<br>0.252 | | | | | | 0.013<br>0.0136<br>0.021<br>0.023 | | สมชาย วิบุญพันธ์ และคณะ (2551) |

ตารางที่ 1-1 ระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักบางชนิดในสัตว์น้ำจากพื้นที่ต่างๆ (ต่อ)

| พื้นที่ศึกษา | ชนิดสัตว์น้ำ | หน่วยที่ใช้ | ปริมาณโลหะหนัก | | | | | | | | | | อ้างอิง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ทองแดง | แคดเมียม | ตะกั่ว | สังกะสี | เหล็ก | นิกเกิล | แมงกานีส | โคบอลต์ | ปรอท | สารหนู | |
| แหล่งประมงอันดามัน (ตั้งแต่ จ.ระนองถึง จ.สตูล) | ปลาหลังเขียว | | 2.529 | 0.148 | 0.187 | | | | | | 0.040 | | |
| | ปลาทู | | 1.560 | 0.064 | 0.091 | | | | | | <0.005 | | |
| | ปลาลัง | | 1.277 | 0.060 | 0.061 | | | | | | <0.005 | | |
| | ปลาทูแขก | | 1.394 | 0.095 | 0.063 | | | | | | <0.005 | | |
| | ปลาโอแกลบ | | 1.581 | 0.075 | 0.059 | | | | | | <0.005 | | |
| | ปลาหลังเขียว | | 1.768 | 0.016 | 0.099 | | | | | | <0.005 | | |
| ทะเลสาบสงขลา (ทะเลน้อย) | ปลาสลิด | นาโนกรัม/กรัมน้ำหนักเปียก | | | | | | | | | 12 ± 2 | | สุทารัตน์ สุขพันธ์ (2550) |
| | ปลาช่อน | | | | | | | | | | 154 ± 118 | | |
| | ปลาเนื้ออ่อน (โอน) | | | | | | | | | | 117 ± 101 | | |
| | ปลาโคก (ตะเพียนน้ำเค็ม) | | | | | | | | | | 23 ± 10 | | |
| (ทะเลสาบสงขลาตอนกลาง) | ปลาแมวหูดำ | | | | | | | | | | 167 ± 13 | | |
| | ปลากระบอกขาว | | | | | | | | | | 13 | | |
| | ปลาดุกทะเล | | | | | | | | | | 57 ± 23 | | |
| | ปลาหัวแข็งหนวดอ่อน | | | | | | | | | | 194 ± 90 | | |
| | ปลากระทุงเหวปากยาว | | | | | | | | | | 264 ± 241 | | |

ตารางที่ 1-1 ระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักบางชนิดในสัตว์น้ำจากพื้นที่ต่างๆ (ต่อ)

| พื้นที่ศึกษา | ชนิดสัตว์น้ำ | หน่วยที่ใช้ | ปริมาณโลหะหนัก | | | | | | | | | | อ้างอิง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ทองแดง | แคดเมียม | ตะกั่ว | สังกะสี | เหล็ก | นิกเกิล | แมงกานีส | โคบอลต์ | ปรอท | สารหนู | |
| (ทะเลสาบสงขลาตอนนอก) | กุ้งหางแดง<br>ปลากระบอกขาว<br>ปลาโคก (ตะเพียนน้ำเค็ม)<br>ปลาแมวหางแดง<br>กุ้งกุลาดำ | | | | | | | | | | 29 ± 13<br>18 ± 5<br>18 ± 4<br>101 ± 5<br>18 ± 3 | | |
| อ่าวไทยตอนล่าง (อ่าวนครศรีธรรมราช จ.นครศรีธรรมราช) | กุ้งแช่บ๊วย | มค./ก. น้ำหนักเปียก | | 0.008-0.245 | 0.021-0.741 | | | | | | 0.023-0.200 | | สมชาย วิบุญพันธ์ และคณะ (2549) |
| | กุ้งตะกาด | | | 0.008-0.848 | 0.007-1.088 | | | | | | 0.019-0.090 | | |
| | หอยลาย | | | 0.079-0.174 | 0.375-1.589 | | | | | | 0.034-0.112 | | |
| | หอยแครง | | | 0.114-5.160 | 0.052-1.294 | | | | | | 0.006-0.082 | | |
| | หอยแมลงภู่ | | | 0.076-1.472 | 0.055-2.994 | | | | | | 0.025-0.700 | | |
| (อ่าวปัตตานี จ. ปัตตานี) | หอยนางรม | | | 0.063-1.294 | 0.221-0.731 | | | | | | 0.023-0.102 | | |

ตารางที่ 1-1 ระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักบางชนิดในสัตว์น้ำจากพื้นที่ต่างๆ (ต่อ)

| พื้นที่ศึกษา | ชนิดสัตว์น้ำ | หน่วยที่ใช้ | ปริมาณโลหะหนัก | | | | | | | | | | อ้างอิง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ทองแดง | แคดเมียม | ตะกั่ว | สังกะสี | เหล็ก | นิกเกิล | แมงกานีส | โคบอลต์ | ปรอท | สารหนู | |
| | หอยแครง<br><br>หอยแมลงภู่ | | | 0.035-1.297<br>0.095-1.138 | 0.130-1.275<br>0.069-1.080 | | | | | | 0.009-0.400<br><br>0.012-0.145 | | |
| มหาสมุทรอินเดีย | ปลาทูน่าตาโต<br><br>ปลาทูน่าครีบเหลือง<br><br>ปลาทูน่าท้องแถบ | มค./ก.<br>น้ำหนักเปียก | 0.498 ± 0.236<br><br>0.420 ± 0.167<br>0.535 ± 0.285 | 15.714 ± 8.224<br><br>11.802 ± 9.045<br>17.881 ± 12.573 | | 4.792 ± 1.463<br><br>5.412 ± 2.509<br>5.843 ± 1.601 | | | | | | | อรพินท์ จันทร์ผ่องแสง (2549) |
| น่านน้ำไทย | *Balaenoptera edeni (End-156)*<br>*Balaenoptera edeni (End-206)*<br>*Kogia breviceps*<br><br>*Globicephala macrohynchus* | มก./กก.<br>น้ำหนักเปียก | 0.284-5.50<br>0.353-43.00<br>0.422-0.456<br>0.156-4.570 | 0.002-0.216<br>0.001-0.003<br>0.028-0.030<br>0.330-52.40 | 0.008-0.056<br>0.016-0.087<br>0.005<br><br>0.004-0.028 | 4.350-43.60<br>8.710-82.40<br>5.270-21.70<br>9.730-26.90 | 1.770-974.00<br>11.800-227.00<br>0.872-117.00<br>0.689-312.00 | | 0.119-5.920<br>0.152-1.510<br>0.174-0.246<br>0.160-2.510 | | 0.006-0.070<br><br>0.014-0.109<br><br>0.101-1.940<br><br>0.892-81.20 | 0.125-0.395<br>0.021-0.043<br>0.096-0.116<br>0.070-0.153 | สมเกียรติ ขอเกียรติวงศ์ และ คณะ (2547) |

ตารางที่ 1-1 ระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักบางชนิดในสัตว์น้ำจากพื้นที่ต่างๆ (ต่อ)

| พื้นที่ศึกษา | ชนิดสัตว์น้ำ | หน่วยที่ใช้ | ปริมาณโลหะหนัก | | | | | | | | | | อ้างอิง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ทองแดง | แคดเมียม | ตะกั่ว | สังกะสี | เหล็ก | นิกเกิล | แมงกานีส | โคบอลต์ | ปรอท | สารหนู | |
| อ่าวไทย<br><br>(แท่นผลิตก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทย)<br><br>ชายฝั่งทะเลปราณบุรี | ปลากะพงเขี้ยว<br><br>ปลาหางแข็ง<br><br>ปลากา<br><br>ปลากะพงเขี้ยว<br><br>ปลาหางแข็ง | มค./ก.<br>น้ำหนักเปียก | | | | | | | | | 0.0339-8.0452<br>0.0685-1.0730<br>0.0028-2.3915<br>0.0321-0.8696<br>0.0437-1.1099 | | พิมพร เจริญศรี (2544) |

## 1.5 การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ

### 1.5.1 ความหมายและประเภทของการประเมินความเสี่ยง

“ความเสี่ยง” คือ “ลักษณะของสถานการณ์หรือการกระทำใดๆ ที่มีผลลัพธ์ได้มากกว่า 2 อย่าง ผลลัพธ์ที่ว่านี้เราไม่สามารถบอกได้แน่นอนว่าจะเกิดขึ้นหรือไม่ และอย่างน้อยหนึ่งในผลลัพธ์นั้นไม่พึงประสงค์” (พงศ์เทพ วิวรรธนะเดช, 2547) ความเสี่ยงจึงประกอบด้วย 2 องค์ประกอบ คือ ความไม่แน่นอน และไม่พึงประสงค์ คำว่า “ไม่แน่นอน” คือ เราสามารถบอกได้แต่เพียงโอกาสของการเกิด โดยบอกในรูปของความน่าจะเป็น (probability) แต่ไม่มั่นใจว่าจะเกิดหรือไม่ ซึ่งสามารถกำหนดในเชิงปริมาณได้ว่าเป็นค่าซึ่งอยู่ระหว่างศูนย์ (ไม่เกิดขึ้นแน่นอน) ถึงหนึ่ง (แน่นอน)

“การประเมินความเสี่ยง” คือ “กระบวนการศึกษาอย่างเป็นระบบเพื่อพรรณนาและวัดความเสี่ยงที่มีความสัมพันธ์กับสิ่งคุกคาม กระบวนการ การกระทำหรือเหตุการณ์ใดๆ” (พงศ์เทพ วิวรรธนะเดช, 2547) โดยครอบคลุมการประเมินความเสี่ยง ทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ รวมถึงความไม่แน่นอนในการประเมินด้วย การประเมินความเสี่ยงเป็นกระบวนการที่นำความรู้ทางพิษวิทยา มาประเมินหาโอกาสที่จะเกิด และความรุนแรงของผลอันไม่พึงประสงค์ที่จะมีต่อสุขภาพ และถือได้ว่าเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งในการวิจัยที่ใช้ตอบคำถามบางประเด็น โดยเฉพาะความเสี่ยงด้านสุขภาพมีความสัมพันธ์กับสิ่งคุกคามอย่างไรและเสี่ยงมากน้อยเพียงใด โดยสามารถตรวจวัดตัวแปรต่างๆ ออกมาเป็นตัวเลขได้ (จิณธรรม หารเทา, 2552)

การประเมินความเสี่ยงโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 สาขาวิชา คือ การประเมินความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมหรือระบบนิเวศ (Environmental or Ecological Risk Assessment) และการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ (Health Risk Assessment) โดยการประเมินความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมเป็นเรื่องการประเมินผลกระทบจากมลพิษทางสิ่งแวดล้อมที่มีต่อระบบนิเวศวิทยา ซึ่งเป็นเรื่องที่มีความซับซ้อนและต้องอาศัยข้อมูลจำนวนมากจึงทำได้ค่อนข้างยาก ขณะที่การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพเป็นการศึกษาถึงผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมต่อสุขภาพมนุษย์ซึ่งทำได้ง่ายกว่า

การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) เป็นกระบวนการหนึ่งที่ Codex Committee on Food Additive and Contaminants (CCFAC) ภายใต้องค์การอนามัยโลก/องค์การอาหารและเกษตรกรรมแห่งสหประชาชาติ (World Health Organization/Food and Agriculture Organization of United Nations หรือ FAO/WHO) ที่มีหน้าที่ในการกำหนดมาตรฐานอาหารและส่วนผสมในอาหารระหว่างประเทศ ได้เลือกมาเป็นวิถีทางที่ใช้ในการลดความเสี่ยงจากอันตรายทั้ง 3 ด้าน คือ อันตรายด้านกายภาพ ด้านเคมี และด้านชีวภาพ ที่พบอยู่ในอาหาร โดยเฉพาะความเสี่ยงที่เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและสารพิษ อีกทั้งยังเป็นวิธีการที่นำมาใช้เพื่อ ให้ได้ข้อมูลทาง

วิทยาศาสตร์ที่ใช้ประกอบการตัดสินกรณีเกิดข้อพิพาททางการค้าสินค้าอาหารที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของอาหารในระดับนานาประเทศ

"การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ" หมายถึง "การประเมินความเสี่ยงที่ศึกษาถึงผลกระทบที่มาจากสิ่งแวดล้อมแล้วก่อให้เกิดผลต่อสุขภาพของมนุษย์" แบ่งลักษณะการศึกษาออกได้เป็น 2 กลุ่ม (พงศ์เทพ วิวรรธนะเดช, 2547) คือ

1. การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณ (Quantitative Risk Assessment)

การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณ เป็นการมุ่งเน้นการศึกษาที่อาศัยหลักทางวิทยาศาสตร์เป็นพื้นฐาน ได้แก่ การศึกษาที่เน้นกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถตรวจวัดค่าตัวแปรต่างๆ เป็นตัวเลขโดยอาศัยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์หรือการทดสอบตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ สามารถอธิบายได้โดยใช้หลักเหตุและผล และสามารถทดลองซ้ำได้ โดยเป้าหมายสุดท้ายของการประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณนี้จะใช้ประโยชน์เป็นข้อมูลนำเข้า (input) สำหรับการประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพ

2. การประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพ (Qualitative Risk Assessment)

การประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพ เป็นการศึกษาเพื่อมุ่งเน้นที่จะอธิบายปรากฏการณ์เชิงสังคมศาสตร์และมานุษยวิทยา โดยอาศัยการเก็บข้อมูลที่ใช้วิธีการสัมภาษณ์แบบเจาะลึก (indepth interview) การสัมภาษณ์เฉพาะกลุ่ม (focus group interview) ร่วมกับเทคนิคการศึกษาอื่นๆ เช่น การศึกษาแบบมีส่วนร่วม (participatory action research) เป็นต้น วิธีการเชิงคุณภาพจะเน้นความหลากหลายและความครอบคลุมของข้อมูล เพื่อเสนอผลให้เห็นในหลายแง่มุม

โดยส่วนใหญ่ การศึกษาทั้ง 2 วิธี จะต้องทำควบคู่กันไป เพราะหลายครั้งที่ทั้ง 2 วิธีต่างเป็นข้อมูลนำเข้าและป้อนกลับซึ่งกันและกัน ผลที่ได้จากการศึกษาทั้ง 2 วิธีร่วมกันจะช่วยลบจุดด้อยที่มีในแต่ละวิธีให้หมดไป ทำให้ผลการศึกษามีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปสู่การแก้ปัญหาได้ตรงจุดกว่าการใช้การศึกษาเพียงวิธีใดวิธีหนึ่งเท่านั้น

องค์การอนามัยโลกร่วมกับองค์การอาหารและเกษตรกรรมแห่งสหประชาชาติ (FAO/WHO) ได้นำหลักการวิเคราะห์ความเสี่ยงมาปรับใช้ในกระบวนการพิจารณาดำเนินการ และกำหนดมาตรการต่างๆ ที่เกี่ยวกับความปลอดภัยของมนุษย์จากการบริโภคอาหารในโครงการกำหนดมาตรฐานอาหาร FAO/WHO Codex (FAO/WHO, 1995)

### 1.5.2 ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยงประกอบด้วย 4 ขั้นตอน (พงศ์เทพ วิวรรธนะเดช, 2547 ; FAO/WHO, 1995) ดังนี้

1. การแสดงถึงความเป็นอันตราย (Hazard Identification) เป็นการแสดงถึงความเป็นอันตรายของสารพิษ หรือจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคที่จะทำการประเมินความเสี่ยง (Hazard Identification) ซึ่งหมายถึงว่าจะต้องมีการพิจารณาว่าสารพิษ หรือจุลินทรีย์ก่อโรคที่มีอยู่ในอาหารนั้นเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ร่างกายหรือไม่ โดยพิจารณาจากข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่มีอยู่
2. การอธิบายลักษณะของอันตราย (Hazard Characterization) เป็นการบอกหรือแสดงข้อมูลว่าอันตรายจากสารพิษ หรือจุลินทรีย์ก่อโรคนั้นๆ ร่างกายเราต้องได้รับในปริมาณใดและได้รับในความถี่เท่าไหร่ จึงก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพและมีผลเสียอย่างไร
3. การประเมินการได้รับสัมผัส (Exposure Assessment) เป็นการประเมินในเชิงคุณภาพหรือ ในเชิงปริมาณถึงความเป็นไปได้ที่ผู้บริโภคหนึ่งคน หรือประชากรหนึ่งกลุ่มจะได้รับสารพิษ หรือจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคผ่านทางอาหารเข้าสู่ร่างกาย รวมทั้งปริมาณที่ได้รับ
4. การอธิบายลักษณะความเสี่ยง (Risk Characterization) เป็นการรวมเอาข้อมูลและผลการวิเคราะห์จากทั้ง 3 ขั้นตอน มาใช้คำนวณความเสี่ยง เพื่อสรุปถึงความน่าจะเป็นที่จะเกิดอันตรายและความรุนแรงของอันตรายที่เกิดจากการได้รับสารพิษ และเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มประชากรที่ศึกษา

การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพเกี่ยวกับสารปนเปื้อนที่ได้รับผ่านทางการบริโภคอาหารทะเลถือว่ามีความสำคัญมาก เพราะอาหารทะเลเป็นแหล่งของอาหารประเภทโปรตีนที่สำคัญของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโลหะหนักปริมาณน้อย (Eng *et al.,* 1989) ซึ่งผลการศึกษาในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ยังมีอยู่น้อยมาก (Agusa *et al.,* 2005) ที่ผ่านมาก็มีงานของ Agusa *et al.* (2007) ซึ่งได้ประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพเกี่ยวกับโลหะปริมาณน้อยที่ได้รับผ่านทางการบริโภคอาหารทะเล ของประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (พัชวิมา จีนหมั้น, 2552)

## 1.6 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปริมาณสะสมของโลหะทองแดง สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว เหล็ก นิกเกิล แมงกานีส และโคบอลต์ในปลาบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90°E
2. เปรียบเทียบปริมาณการสะสมของโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด ที่สะสมในเนื้อเยื่อส่วนท้องและส่วนหลังของปลาในบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90°E
3. ประมาณค่าความเข้มข้นสารโลหะหนักที่เข้าสู่ร่างกายของคน โดยคิดคำนวณจากการบริโภคอาหารในเวลาหนึ่งสัปดาห์

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบระดับความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด ที่สะสมในเนื้อเยื่อส่วนท้อง และส่วนหลังของปลาในบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90°E
2. ทราบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด กับขนาดลำตัวของปลาในบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90°E
3. ทราบถึงปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภค และเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับใช้อ้างอิงในการตรวจเฝ้าระวังปริมาณโลหะหนักในบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90°E ต่อไป

# บทที่ 2

# วิธีดำเนินการวิจัย

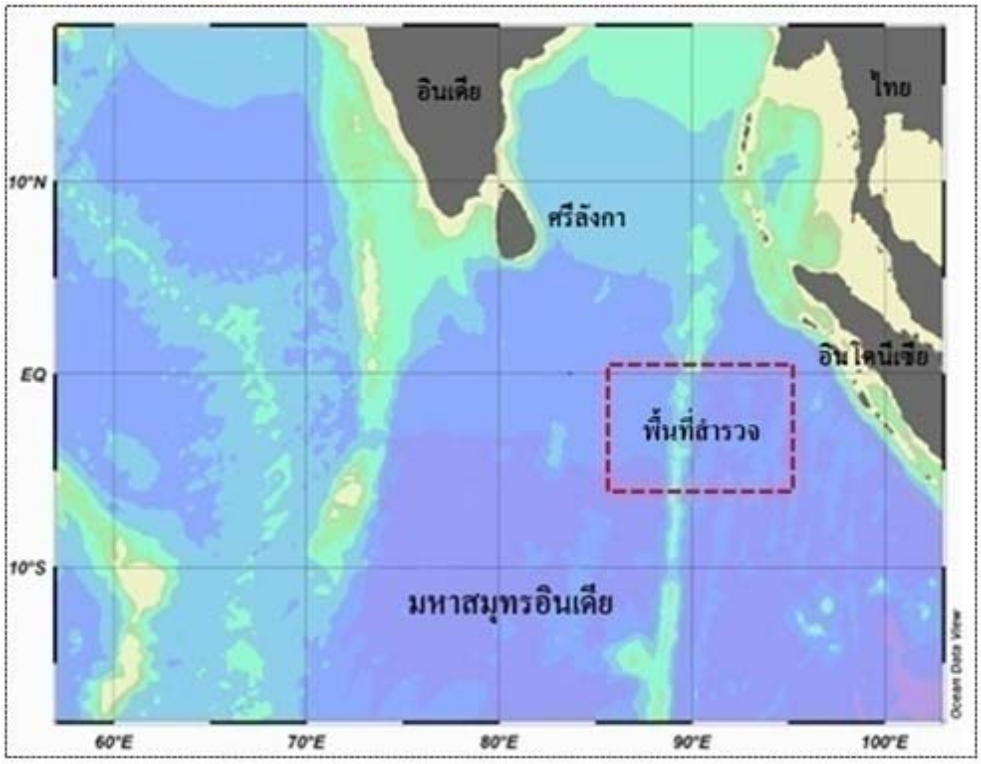
## 2.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาคือ บริเวณ Ninety East Ridge (90°E) เป็นแนวสันเขาใต้น้ำที่ทอดยาวจากเหนือสู่ใต้ (รูปที่ 2-1) ในมหาสมุทรอินเดียตะวันออก ระหว่าง ละติจูดที่ 01 องศา 00.00 ลิปดาเหนือ ถึง 05 องศา 00.00 ลิปดาใต้ ลองจิจูด 085 องศา 00.00 ลิปดาตะวันออก ถึง 95 องศา 00.00 ลิปดาตะวันออก สภาวะแวดล้อมในมหาสมุทรจะถูกควบคุมโดยกระแสลมและกระแสน้ำเป็นหลัก การเปลี่ยนแปลงของกระแสลมและกระแสน้ำจะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของลักษณะภูมิอากาศ ความรุนแรงของคลื่นและลม ซึ่งส่งผลต่ออุณหภูมิบริเวณพื้นผิวของน้ำทะเล มหาสมุทรอินเดียมีทวีปใหญ่คือทวีปเอเชียและแอฟริกาอยู่ทางตอนบน จึงทำให้ลักษณะดินฟ้าอากาศบริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตรจนถึงละติจูด 25 องศาเหนือมีความแตกต่างกันมากในรอบปี โดยเฉพาะในทิศทางลมโดยจะมีลมมรสุม (Monsoon) ประจำ 2 ฤดูในแต่ละปีคือ มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ในขณะที่บริเวณใต้เส้นศูนย์สูตรทิศทางของกระแสลมและกระแสน้ำจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับบริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตร คือส่วนใหญ่ไหลไปทางทิศตะวันออกในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และไหลไปทางทิศตะวันตกในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

การเก็บตัวอย่างอยู่ภายใต้แผนงานวิจัยของกรมประมงภายใต้หัวข้อ “การสำรวจปลาทูน่าและปลาผิวน้ำขนาดใหญ่บริเวณน้ำ Ninety East Ridge ในมหาสมุทรอินเดียตะวันออกด้วยเครื่องมืออวนล้อมจับปลาทูน่า” ด้วยเรือสำรวจประมงมหิดล (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก-1) ซึ่งจะใช้เครื่องมือประมงอวนล้อมจับปลาทูน่า (Tuna purse seine net) (รายละเอียดเครื่องมือแสดงในภาคผนวก ก-2) ในการทำประมงครั้งนี้ พื้นที่สำรวจ (รูปที่ 2-1) อยู่บริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ Ninety East Ridge (90°E) ในมหาสมุทรอินเดียตะวันออก ระยะเวลาในการดำเนินงานสำรวจและวิจัยระหว่างวันที่ 27 มีนาคม ถึง 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2555 (กรมประมง, 2555ข)

## 2.2 วิธีการเก็บตัวอย่างสัตว์น้ำ

2.2.1 สุ่มเก็บตัวอย่างปลาทูน่า (ปลาทูน่าตาโต ปลาทูน่าครีบเหลือง และปลาทูน่าท้องแถบ) จาก 4 สถานี ได้แก่ สถานีที่ 1 (แพล่อปลาหมายเลข 11) สถานีที่ 2 (แพล่อปลาหมายเลข 12) สถานีที่




รูปที่ 2-1 พื้นที่สำรวจตัวอย่างด้วยเครื่องมืออวนล้อมจับ บริเวณ Ninety East Ridge มหาสมุทรอินเดียตะวันออกโดยเรือสำรวจประมงมหิดล

ที่มา : กรมประมง, 2555ข

3 (แพล่อปลาหมายเลข 17) และสถานีที่ 4 (วัตถุลอยน้ำ: ขอนไม้ขนาดใหญ่) โดยเจ้าหน้าที่สำนักวิจัยและพัฒนาประมงทะเล และเจ้าหน้าที่เรือสำรวจประมงมหิดล กรมประมง : ติดต่อส่วนตัว

2.2.2 สุ่มปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิดที่มีน้ำหนักประมาณ 0.5-1.0 กิโลกรัม โดยสุ่มมาวิเคราะห์โลหะหนัก จำนวน 61 ตัว โดยแยกเป็นปลาทูน่าตาโต 6 ตัว ปลาทูน่าครีบเหลือง 20 ตัว และปลาทูน่าท้องแถบ จำนวน 35 ตัว (สาเหตุที่จำนวนตัวปลาไม่เท่ากันในแต่ละชนิดเนื่องจากปริมาณที่จับได้ของปลาแต่ละชนิดไม่เท่ากันโดย จับปลาทูน่าท้องแถบได้มากที่สุด รองลงมาคือปลาทูน่าครีบเหลืองและปลาทูน่าตาโต)

2.2.3 บันทึกชนิด น้ำหนัก และความยาวของปลาทูน่าแต่ละชนิด ก่อนการเก็บชิ้นเนื้อ

2.2.4 เก็บตัวอย่างเนื้อเยื่อบริเวณ 2 ส่วนของปลาทูน่า บริเวณชิ้นเนื้อส่วนหลัง (ชิ้นเนื้อบริเวณด้านขวาของลำตัว ซึ่งอยู่เหนือเส้นข้างลำตัวและแทรกอยู่ส่วนล่างของครีบปลาส่วนหลัง) และ

บริเวณส่วนท้องของปลาแต่ละตัว (Farkas *et al*., 2001; Zhang *et al*., 2007) ด้วยมีดและกรรไกรปลอดสนิม

2.2.5 บรรจุตัวอย่างใส่ถุงซิปที่สะอาดแยกตามชนิดปลาทูน่าและชนิดของชิ้นเนื้อ ปิดปากถุงให้แน่น พร้อมบันทึกรายละเอียดของตัวอย่างบนถุงซิป (ชนิดปลา ชนิดชิ้นเนื้อ สถานี และวันที่เก็บตัวอย่าง)

2.2.6 เก็บรักษาตัวอย่างด้วยการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาวิเคราะห์ยังห้องปฏิบัติการเคมีด้วยเครื่องวิเคราะห์โลหะหนัก Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น ELAN DRC–e (รายละเอียดเครื่องมือแสดงในภาคผนวก ข)

## 2.3 อุปกรณ์และสารเคมี

1. มีดและกรรไกรทำด้วยโลหะปลอดสนิมสำหรับแล่เนื้อปลา
2. ถุงซิป
3.หลอดย่อยตัวอย่างพร้อมฝาปิดหลอดย่อยตัวอย่าง (Tear drop) ขนาด 100 มิลลิลิตร
4. บีกเกอร์
5. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 25 มิลลิลิตร
6. ขวดพลาสติกปากกว้าง ขนาด 30 มิลลิลิตร ชนิด HDPE ยี่ห้อ Nagene
7. สก๊อตซ์เทปใส
8. กะละมังพลาสติก
9. ช้อนตักสารเคมี (Stainless steel spatula)
10. กระดาษชำระ
11. เขียงสำหรับสับตัวอย่าง
12. แท่งแก้วคนสาร
13. ถุงมือ เสื้อกราวน์ และผ้าปิดจมูก
14. ปิเปต ขนาด 5 มิลลิลิตร และ 1 มิลลิลิตร
15. ตะแกรงสเตนเลส (Stainless steel rack) ขนาด 5× 10 ช่อง
16. ป้ายติดผนึกมียางในตัว (Label)
17. ถาดอลูมิเนียม
18. หลอดพลาสติกก้นแหลม (Centrifuge Tube) ขนาด 15 มิลลิลิตร
19. หลอดพลาสติกก้นแหลมแบบตั้งได้ (Centrifuge Tube) ขนาด 50 มิลลิลิตร

20. ลูกยาง

**เครื่องมือไฟฟ้า**

1. เครื่องบดไฟฟ้า ยี่ห้อ Lille
2. ตู้ดูดควันพิษและสารเคมีระเหย (Hood)
3. เครื่องวิเคราะห์โลหะหนัก Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น ELAN DRC–e
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Nagata
5. เครื่องย่อยตัวอย่าง (AIM 600 Block Digestion System)

**สารเคมี**

1. กรดไนตริกบริสุทธิ์เข้มข้น 65 % (conc. $HNO_3$ suprapur)
2. สารอ้างอิงมาตรฐาน (Certified Reference Material: CRM) DORM-3 (Fish Protein Certified Reference Material for Trace Metals)

3.น้ำปราศจากไอออน (Deionized water) (>18MΩ)

4. สารละลายมาตรฐาน (Mixed standard)

## 2.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์ทางเคมีของโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด (ทองแดง สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว เหล็ก นิกเกิล แมงกานีส และโคบอลต์ ) ตามวิธีของ AOAC (2000)

- นำตัวอย่างปลาทูน่าที่แช่แข็งไว้ออกมาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำตัวอย่างปลาทูน่าไปบดให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน
- นำตัวอย่างที่บดแล้วมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Nagata ประมาณ 1 กรัม ใส่ในหลอดย่อยตัวอย่าง สำหรับย่อยด้วยเครื่องย่อยตัวอย่าง Block digester
- เติมกรดไนตริกเข้มข้น (conc. $HNO_3$ suprapur) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
- ทำการย่อยโดยวางในเครื่องย่อยตัวอย่าง (Block Digestion System) รุ่น AIM600 แล้วปิดฝาเครื่องให้ทำงานที่อุณหภูมิประมาณ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

- ทิ้งตัวอย่างไว้ให้เย็น หลังจากนั้นเทใส่ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 25 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (Deionized water) rinse ข้างหลอดและฝาก่อนปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร
- เทตัวอย่างที่ปรับปริมาตรแล้วลงในขวดทนกรดหรือขวดพลาสติกปากกว้าง ขนาด 30 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักต่อไป

## 2.5 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ดำเนินการโดย

1. ในทุกรอบของการย่อยตัวอย่าง ทำการย่อยโดยไม่ใช้ตัวอย่าง (blank) โดยวิธีการเดียวกับการย่อยตัวอย่าง รอบละ 3 ซ้ำ

2. วิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน (Certified Reference Material: CRM) DORM-3 (Fish Protein Certified Reference Material for Trace Metals) ของ National Research Council of Canada ซึ่งมีค่าเข้มข้นที่แน่นอนกำกับไว้ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค)

## 2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจะใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) วิเคราะห์หาค่าต่ำสุด (Minimum), ค่าสูงสุด (Maximum), ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล หาความสัมพันธ์ระหว่างระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักกับขนาดของปลาทูน่า โดยใช้ Pearson Bivariate Correlation

## 2.7 การวิเคราะห์ความเสี่ยงในการบริโภค

### 2.7.1 ความเสี่ยงเบื้องต้น (Risk screening)

ก่อนการวิเคราะห์ความเสี่ยงจะต้องทำการคัดกรองความเสี่ยงเบื้องต้น โดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานหรือเกณฑ์แนะนำ (Standard and Guidelines) จากหน่วยงานต่างๆ ได้แก่

1. เกณฑ์มาตรฐานของกลุ่มสหภาพยุโรป (EU) ดังปรากฏใน Commission Regulation (EC) No. 1881/2006 of 19 December 2006: Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs, Official Journal of the European Union, L364/5 – L364/24

2. เกณฑ์แนะนำของ Joint FAO/WHO Food Standards Programme (JECFA) ดังปรากฏใน Codex Alimetarius Commission เอกสารหมายเลข CX/FAC 01/28 (February 2001)

3. ประกาศคณะกรรมการมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ: กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ: ปลาหมึก พ.ศ. 2548

**2.7.2 การประเมินความเสี่ยงในการได้รับโลหะหนักในปริมาณน้อยเป็นเวลานาน**

ในการประเมินความเสี่ยงในการได้รับโลหะหนักในปริมาณน้อยเป็นเวลานานใช้ค่าสัดส่วนความเสี่ยงอันตราย หรือ Hazard Quotient (HQ) ซึ่งคำนวณโดยใช้สมการ 2-1 และ 2-2 (พงษ์เทพ วิวรรธนะเดช, 2547; Kofi, 2002)

$$\text{Average Heavy metal daily intake via fish (mg/kg/day)} = \frac{(CF)(IR)(FI)(EF)(ED)}{(BW)(AT)} \qquad (2\text{-}1)$$

โดยที่

CF (Contaminant concentration of heavy metal in fish) คือ ค่าปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสัตว์น้ำ มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักเปียก หรือ ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก โดยใช้ค่าเฉลี่ยของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสัตว์น้ำแต่ละชนิด

IR (Ingestion rate) คือ ค่าปริมาณเนื้อปลาหรืออาหารทะเลที่รับประทานในแต่ละมื้อ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม/มื้อ ซึ่ง FAO (2005) รายงานปริมาณการบริโภคเนื้อปลาหรืออาหารทะเลของคนไทยไว้เท่ากับ 85 กรัม/คน/วัน หรือ 0.028 กิโลกรัม/มื้อ

FI (Fraction ingested from contaminated source) คือ สัดส่วนการรับประทานอาหารที่ปนเปื้อน มีค่าเท่ากับ 1.0 (ไม่มีหน่วย)

EF (Exposure frequency) คือ ความถี่ของการรับสัมผัส มีหน่วยเป็น มื้อ/ปี ซึ่ง US-EPA กำหนดค่าความถี่ของการรับสัมผัสเป็น 350 มื้อ/ปี (US-EPA, 1989)

ED (Exposure duration) คือ ระยะเวลาที่สัมผัส มีหน่วยเป็น ปี ใช้ค่าตามที่ US-EPA กำหนด คือ 30 ปี สำหรับความเสี่ยงของสารที่ไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง (US-EPA, 1999)

BW (Body weight) คือ น้ำหนักตัวโดยเฉลี่ยของคนไทย มีหน่วยเป็น กิโลกรัม โดยใช้น้ำหนักตัวของคนเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เท่ากับ 50 กิโลกรัม (Agusa *et al*., 2007)

AT (Average time exposed) คือ ระยะเวลาเฉลี่ยของประชากรที่จะได้รับความเสี่ยง มีหน่วยเป็น วัน โดยใช้ระยะเวลาเฉลี่ยที่ได้รับความเสี่ยงคูณด้วย 365 วัน (30 x 365) ดังนั้น AT จึงเท่ากับ 10,950 วัน (US-EPA, 1989)

หากค่า HQ (Hazard Quotient) มากกว่า 1 แสดงว่า ปริมาณที่มีอยู่นั้นอยู่ในเกณฑ์ที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพหากได้รับเข้าสู่ร่างกายเป็นเวลานาน ซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจำเป็นต้องมีการสื่อสารกับประชาชนให้รับทราบในเรื่องของความเสี่ยงในการบริโภค (Risk communication) และควรมีการจัดการความเสี่ยง (Risk management) ซึ่งในการหาค่า HQ สมการ (2-2) สำหรับหาค่าความเสี่ยงของโลหะหนักในการก่อให้เกิดโรคที่ไม่ใช่มะเร็ง (Non-cancer effect)

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

โดยที่ ค่า Rfd หรือ Reference dose for chronic oral exposure สำหรับทองแดง สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล เท่ากับ 0.04, 0.30, 0.001, 0.0035 และ 0.02 มก./กก./วัน ตามลำดับ (US-EPA, 2008)

### 2.7.3 การประเมินปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภค

จากข้อมูลระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในเนื้อเยื่อสัตว์ทะเล นำมาคำนวณหาค่า Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI) ซึ่งก็คือ ปริมาณที่สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัยต่อสัปดาห์ ค่า PTWI คำนวณได้จากสมการ 2-3

$$PTWI = \left[\frac{TRV \times BW}{C_f}\right] \times 7 \quad (2\text{-}3)$$

โดยที่ *PTWI* = provisional tolerable-weekly intake (g/week)

*TRV* = toxicological reference value (µg/kg body weight per day)

*BW* = body weight (kg)

$C_f$ = mean of the levels of the contaminant of potential concern found in the food (mg/kg)

7 = days/week

# บทที่ 3

# ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

## 3.1 ชนิดพันธุ์และขนาดของปลาทูน่าจากเรือสำรวจประมงมหิดล

จากการสำรวจและเก็บตัวอย่างปลาทะเลในมหาสมุทรอินเดีย ระหว่างวันที่ 27 มีนาคม ถึง 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2555 ภายใต้แผนงานวิจัย “การสำรวจปลาทูน่าและปลาผิวน้ำขนาดใหญ่บริเวณ Ninety East Ridge (90°E) ในมหาสมุทรอินเดียตะวันออก ด้วยเครื่องมืออวนล้อมจับปลาทูน่า” เก็บตัวอย่างด้วยเครื่องมือประมงอวนล้อมจับปลาทูน่า (Tuna Purse Seine Net) พบว่า ได้ตัวอย่างปลาทูน่าจำนวน 3 ชนิด คือ ปลาทูน่าตาโต ปลาทูน่าครีบเหลือง ปลาทูน่าท้องแถบ จำนวนรวม 61 ตัว (ตารางที่ 3-1)

รายละเอียดของชนิดของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด แสดงไว้ในภาคผนวก ง ส่วนขนาดของตัวอย่างปลาทูน่าแต่ละชนิดในการศึกษาครั้งนี้ แสดงในตาราง จ-1 ในภาคผนวก จ

## 3.2 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์

การวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน (Certified Reference Material: CRM) DORM-3 (Fish Protein Certified Reference Material for Trace Metals) ของ National Research Council of Canada ใช้วิธีการเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่างปลาทูน่าชนิดละ 5 ซ้ำ ผลการวิเคราะห์ แสดงในตารางที่ 3-2 ซึ่งค่าความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 6 ชนิด คือ ทองแดง สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว เหล็ก และนิกเกิล ที่วิเคราะห์ได้ใน DORM-3 เท่ากับ 15.5 ± 0.63, 51.3 ± 3.1, 0.290 ± 0.020, 0.395 ± 0.050, 347 ± 20 และ 1.28 ± 0.24 ไมโครกรัม/กรัม ซึ่งคิดเป็น 99.4%, 93.4 %, 102 %, 105 %, 98.6 %, และ 102 % ตามลำดับของความเข้มข้นที่กำกับมาทำ blank 3 ซ้ำ ทุกครั้งของการทดลอง พบว่าค่า blank ต่ำมาก โดยค่า blank จากการทดลองทองแดง สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว เหล็ก นิกเกิล แมงกานีส และโบอลต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.051 ± 0.02, 0.366 ± 0.01, 0.002 ± 0.00 0.036 ± 0.01, 0.956 ± 0.38, 0.025 ± 0.01, 0.023 ± 0.01 และ 0.002 ± 0.00 ไมโครกรัม/กรัม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการปนเปื้อนขณะวิเคราะห์น้อยมาก

เนื่องจากโลหะหนักที่วิเคราะห์ 2 ชนิด คือ แมงกานีสและโคบอลต์ ไม่ได้รายงานไว้ใน Certified Reference Material ของ DORM-3 (Fish Protein Certified Reference Material for Trace Metals) จึงไม่ได้รายงานผลไว้ในตารางที่ 3-2

## 3.3 ผลการศึกษาปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อปลาทูน่า

### 3.3.1 ปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อปลาทูน่า (เฉลี่ยรวมส่วนหลังและส่วนท้อง) แต่ละชนิด

ผลการวิเคราะห์ระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด คือ ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) เหล็ก (Fe) นิกเกิล (Ni) แมงกานีส (Mn) และโคบอลต์ (Co) ในเนื้อเยื่อปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด คือ ปลาทูน่าตาโต ปลาทูน่าครีบเหลือง และปลาทูน่าท้องแถบ ซึ่งได้สรุปไว้ในตารางที่ 3-3 รายละเอียดได้แสดงในตารางที่ จ-2 ถึง ตารางที่จ-4 ภาคผนวก จ โดยพบว่า ปลาทูน่าตาโต มีระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักตะกั่ว นิกเกิล และแมงกานีสสูงสุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.075 ± 0.028, 0.101 ± 0.061 และ 0.150 ± 0.026 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ ปลาทูน่าครีบเหลืองมีระดับการปนเปื้อนของโคบอลต์สูงสุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.007 ± 0.004 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก และปลาทูน่าท้องแถบมีระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักทองแดง สังกะสี แคดเมียม และเหล็กสูงสุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.790 ± 0.115, 10.3 ± 2.11, 0.046 ± 0.034 และ 12.9 ± 3.21 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ

จากตารางที่ 3-3 พบว่าระดับการปนเปื้อนของโลหะหนัก 7 ชนิด คือ ทองแดง สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว เหล็ก นิกเกิล และแมงกานีส ในปลาทูน่าครีบเหลืองมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.461 ± 0.103, 5.63 ± 1.46, 0.016 ± 0.013, 0.058 ± 0.041, 7.57 ± 3.07, 0.051 ± 0.024 และ 0.113 ± 0.037 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ และปลาทูน่าท้องแถบมีระดับการปนเปื้อนของโคบอลต์ต่ำสุดซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.006 ± 0.003 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก

### 3.3.2 เปรียบเทียบระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักระหว่างเนื้อเยื่อส่วนท้องและเนื้อเยื่อส่วนหลัง

การปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด ในเนื้อเยื่อส่วนท้องและเนื้อเยื่อส่วนหลังในปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด พบว่า ปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด ส่วนใหญ่มีระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในเนื้อเยื่อส่วนท้องสูงกว่าบริเวณเนื้อเยื่อส่วนหลัง ซึ่งได้แสดงในตารางที่ จ-5 และ จ-6 ภาคผนวก จ และผลการวิเคราะห์สรุปไว้ในตารางที่ 3-4 และรายละเอียดได้แสดงในตารางที่ จ-7 ถึง ตารางที่ จ-9 ภาคผนวก จ

ตารางที่ 3-1 จำนวนตัวอย่าง น้ำหนักเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ช่วงน้ำหนักต่ำสุด – สูงสุด) และความยาวทั้งหมดเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ช่วงความยาว) ของตัวอย่างปลาทูน่าจากเรือสำรวจประมงมหิดล โดยเครื่องมือประมงอวนล้อมจับปลาทูน่า (Tuna Purse Seine Net)

| ชื่อวิทยาศาสตร์ | ชื่อสามัญ (อังกฤษ) | ชื่อสามัญ (ไทย) | จำนวน (ตัว) | น้ำหนัก (กก.) | ความยาว* (ซม.) |
|---|---|---|---|---|---|
| *Thunnus obesus* | Bigeye tuna | ปลาทูน่าตาโต | 6 | 0.79 ± 0.13 | 37.3 ± 4.40 |
| | | | | (0.60 - 0.95) | (30.50 – 43.00) |
| *Thunnus albacares* | Yellowfin tuna | ปลาทูน่าครีบเหลือง | 20 | 0.70 ± 0.14 | 38.2 ± 2.44 |
| | | | | (0.45 – 0.98) | (33.0 – 43.0) |
| *Katsuwonus pelamis* | Skipjack tuna | ปลาทูน่าท้องแถบ | 35 | 0.75 ± 0.11 | 37.8 ± 1.47 |
| | | | | (0.50 – 1.00) | (35.0 – 41.5) |

*ความยาวทั้งหมดหรือความยาวตลอดตัว (Total length : TL)

ตารางที่ 3-2 ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในสารอ้างอิงมาตรฐาน DORM-3 (Fish Protein Certified Reference Material for Trace Metals)

| ครั้งที่ | ธาตุที่วิเคราะห์ (ไมโครกรัม/กรัม) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cu | Zn | Cd | Pb | Fe | Ni |
| 1 | 15.039 | 47.505 | 0.295 | 0.378 | 333.482 | 1.234 |
| 2 | 14.772 | 45.304 | 0.321 | 0.419 | 329.093 | 1.184 |
| 3 | 13.818 | 48.579 | 0.342 | 0.390 | 357.701 | 1.165 |
| 4 | 16.416 | 48.098 | 0.280 | 0.453 | 340.650 | 1.391 |
| 5 | 17.145 | 49.887 | 0.284 | 0.431 | 349.713 | 1.553 |
| ค่าที่กำกับมา | 15.5 ± 0.63 | 51.3 ± 3.1 | 0.290 ± 0.020 | 0.395 ± 0.050 | 347 ± 20 | 1.28 ± 0.24 |
| ค่าเฉลี่ย±SD | 15.4 ± 0.60 | 47.9 ± 0.75 | 0.297 ± 0.015 | 0.414 ± 0.014 | 342 ± 5.2 | 1.31 ± 0.073 |
| % ที่วิเคราะห์ได้ | 99.4 % | 93.4 % | 102 % | 105 % | 98.6 % | 102 % |

ตารางที่ 3-3 ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (รวมส่วนหลังและส่วนท้อง) ของระดับการปนเปื้อนของปริมาณโลหะหนักในปลาทูน่าตาโต ปลาทูน่าครีบเหลือง และปลาทูน่าท้องแถบ จากบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90°E

| โลหะหนัก | ค่าเฉลี่ย (ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก) | | |
|---|---|---|---|
| | ปลาทูน่าตาโต N = 6 | ปลาทูน่าครีบเหลือง N = 20 | ปลาทูน่าท้องแถบ N = 35 |
| ทองแดง (Cu) | 0.708 ± 0.087 [b] | 0.461 ± 0.103 [a] | 0.790 ± 0.115 [c] |
| สังกะสี (Zn) | 9.71 ± 2.34 [b] | 5.63 ± 1.46 [a] | 10.3 ± 2.11 [b] |
| แคดเมียม (Cd) | 0.028 ± 0.015 [a] | 0.016 ± 0.013 [a] | 0.046 ± 0.034 [b] |
| ตะกั่ว (Pb) | 0.075 ± 0.028 [a] | 0.058 ± 0.041 [a] | 0.057 ± 0.031 [a] |
| เหล็ก (Fe) | 11.8 ± 2.08 [b] | 7.57 ± 3.07 [a] | 12.9 ± 3.21 [b] |
| นิกเกิล (Ni) | 0.101 ± 0.061 [b] | 0.051 ± 0.024 [a] | 0.062 ± 0.040 [a] |
| แมงกานีส (Mn) | 0.150 ± 0.026 [b] | 0.113 ± 0.037 [a] | 0.148 ± 0.042 [b] |
| โคบอลต์ (Co) | 0.007 ± 0.002 [a] | 0.007 ± 0.004 [a] | 0.006 ± 0.003 [a] |

[a,b,c] แสดงความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p<0.05$)

จากตารางที่ 3-4 พบว่า ในเนื้อเยื่อส่วนท้องของปลาทูน่าตาโตมีระดับการปนเปื้อนของโลหะหนัก ส่วนใหญ่สูงกว่าบริเวณเนื้อเยื่อส่วนหลัง ยกเว้นทองแดงที่มีค่าการปนเปื้อนในเนื้อเยื่อส่วนหลังสูงกว่าเนื้อเยื่อส่วนท้อง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.713 ± 0.438 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก และโคบอลต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.007 ± 0.003 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งมีค่าเท่ากันทั้งในเนื้อเยื่อส่วนท้องและเนื้อเยื่อส่วนหลัง

ในเนื้อเยื่อส่วนหลังของปลาทูน่าครีบเหลืองมีระดับการปนเปื้อนของทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และนิกเกิล สูงกว่าบริเวณเนื้อเยื่อส่วนท้อง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.465 ± 0.107, 5.66 ± 1.89, 0.066 ± 0.054 และ 0.055 ± 0.031 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ และโคบอลต์มีค่าเฉลี่ยทั้งบริเวณเนื้อเยื่อส่วนท้องและเนื้อเยื่อส่วนหลังเท่ากับ 0.007 ± 0.004 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก

ตารางที่ 3-4 ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับการปนเปื้อนของปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้องในปลาทูน่าตาโต ปลาทูน่าครีบเหลือง และปลาทูน่าท้องแถบ จากบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90°E

| โลหะหนัก | ค่าเฉลี่ย (ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ปลาทูน่าตาโต N= 6 | | ปลาทูน่าครีบเหลือง N=20 | | ปลาทูน่าท้องแถบ N= 35 | |
| | ส่วนหลัง | ส่วนท้อง | ส่วนหลัง | ส่วนท้อง | ส่วนหลัง | ส่วนท้อง |
| ทองแดง (Cu) | 0.713 ± 0.438 | 0.702 ± 0.121 | 0.465 ± 0.107[a] | 0.457 ± 0.100[a] | 0.784 ± 0.111[b] | 0.795 ± 0.120[c] |
| สังกะสี (Zn) | 9.13 ± 1.24 | 10.3 ± 3.12 | 5.66 ± 1.89[a] | 5.59 ± 0.883[a] | 10.5 ± 1.91[b] | 10.1 ± 2.30[a] |
| แคดเมียม (Cd) | 0.015 ± 0.004 | 0.042 ± 0.007 | 0.012 ± 0.009[a] | 0.020 ± 0.015[a] | 0.035 ± 0.029[b] | 0.058 ± 0.035[b] |
| ตะกั่ว (Pb) | 0.074 ± 0.029 | 0.077 ± 0.030 | 0.066 ± 0.054[a] | 0.050 ± 0.021[a] | 0.061 ± 0.036[b] | 0.052 ± 0.025[b] |
| เหล็ก (Fe) | 10.6 ± 1.48 | 12.8 ± 2.09 | 6.96 ± 2.77[a] | 8.18 ± 3.30[a] | 12.5 ± 3.19[b] | 13.4 ± 3.22[b] |
| นิกเกิล (Ni) | 0.091 ± 0.059 | 0.111 ± 0.067 | 0.055 ± 0.031[a] | 0.048 ± 0.015[a] | 0.053 ± 0.030[b] | 0.072 ± 0.046[b] |
| แมงกานีส (Mn) | 0.141 ± 0.026 | 0.160 ± 0.026 | 0.109 ± 0.034[a] | 0.118 ± 0.040[a] | 0.137 ± 0.032[b] | 0.158 ± 0.048[b] |
| โคบอลต์ (Co) | 0.007 ± 0.003 | 0.007 ± 0.003 | 0.007 ± 0.004[a] | 0.007 ± 0.004[a] | 0.006 ± 0.003[a] | 0.006 ± 0.003[b] |

[a,b,c] แสดงความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p<0.05$)

ระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในเนื้อเยื่อส่วนท้องของปลาทูน่าท้องแถบ ส่วนใหญ่มีค่าการปนเปื้อนสูงกว่าบริเวณเนื้อเยื่อส่วนหลัง ยกเว้นสังกะสีและตะกั่วที่มีค่าการปนเปื้อนในเนื้อเยื่อส่วนหลังสูงกว่าเนื้อเยื่อส่วนท้อง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.5 ± 1.91 และ 0.061 ± 0.036 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ สำหรับโคบอลต์ค่าเฉลี่ยทั้งบริเวณเนื้อเยื่อส่วนท้องและเนื้อเยื่อส่วนหลังเท่ากับ 0.006 ± 0.003 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของการปนเปื้อนน้อยกว่าในปลาทูน่าตาโตและปลาทูน่าครีบเหลือง

### 3.3.3 การเปรียบเทียบระหว่างโลหะหนัก (แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล) กับเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้อง (รวมชนิดปลาทูน่าครีบเหลืองและปลาทูน่าท้องแถบ)

การเปรียบเทียบโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด พบว่าปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิลมีความสัมพันธ์กับบริเวณเนื้อเยื่อส่วนท้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จึงได้มีการนำโลหะหนักดังกล่าวทั้ง 3 ชนิด มาเปรียบเทียบกับเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้องในปลาทูน่าครีบเหลืองและปลาทูน่าท้องแถบ (ตารางที่ 3-4) โดยใช้ปลาทูน่า 2 ชนิดนี้ ซึ่งมีจำนวนตัวอย่างมากกว่า 10 ตัวอย่างขึ้นไป ส่วนจำนวนตัวอย่างของปลาทูน่าตาโตมีปริมาณน้อยจึงไม่ได้นำมาคำนวณในครั้งนี้ เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างโลหะหนักแต่ละชนิดและในชิ้นเนื้อของปลาทูน่าทั้ง 2 ชนิด โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ One-way ANOVA สรุปได้ดังนี้

- ในปลาทูน่าครีบเหลืองและปลาทูน่าท้องแถบ ระหว่างเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้อง มีค่าความเข้มข้นของแคดเมียมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ความเข้มข้นของตะกั่วและนิกเกิลไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p>0.05$) แสดงในตารางที่ จ-10 ในภาคผนวก จ

### 3.3.4 การเปรียบเทียบระหว่างโลหะหนัก (แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล) ในปลาทูน่าครีบเหลืองกับเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้อง

การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด คือ แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล ในปลาทูน่าครีบเหลืองกับเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้อง ซึ่งมีจำนวนชิ้นเนื้อ อย่างละ 20 ตัวอย่าง เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างโลหะหนักแต่ละชนิดกับเนื้อเยื่อส่วน

หลังและเนื้อเยื่อส่วนท้องของปลาทูน่าครีบเหลือง โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ One-way ANOVA สรุปได้ดังนี้

- ในปลาทูน่าครีบเหลือง ระหว่างเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้อง มีค่าความเข้มข้นของแคดเมียมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ความเข้มข้นของตะกั่วและนิกเกิลไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p>0.05$) แสดงในตารางที่ จ-11 ในภาคผนวก จ

### 3.3.5 การเปรียบเทียบระหว่างโลหะหนัก (แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล) ในปลาทูน่าท้องแถบกับเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้อง

การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด คือ แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล ในปลาทูน่าท้องแถบกับเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้อง ซึ่งมีจำนวนชิ้นเนื้อ อย่างละ 35 ตัวอย่าง เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างโลหะหนักแต่ละชนิดกับเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้องของปลาทูน่าท้องแถบ โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ One-way ANOVA สรุปได้ดังนี้

- ในปลาทูน่าท้องแถบ ระหว่างเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้อง มีค่าความเข้มข้นของแคดเมียมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ความเข้มข้นของตะกั่วไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05($p>0.05$) แสดงในตารางที่ จ-12 ในภาคผนวก จ

### 3.3.6 เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักกับค่ามาตรฐานและงานวิจัยชิ้นอื่น

การเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อปลาทูน่า (เฉลี่ยรวมส่วนหลังและส่วนท้อง) ที่ศึกษากับค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยองค์กรหรือหน่วยงานของแต่ละประเทศ รวมถึงผลการศึกษาระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในกลุ่มปลาทูน่า ในการศึกษาครั้งนี้จะเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดโดยประเทศออสเตรเลียและประเทศแคนาดา (Canada Food Standard) ซึ่งกำหนดค่าโลหะหนัก 2 ชนิด สำหรับกลุ่มปลาทูน่า คือ ทองแดงและสังกะสี สำหรับคณะกรรมาธิการยุโรป (EU) กำหนดค่าโลหะหนัก 2 ชนิด สำหรับกลุ่มปลาทูน่า คือ แคดเมียมและตะกั่ว และประเทศไทย กระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดค่าโลหะหนักทองแดง สังกะสี แคดเมียม และตะกั่ว ในผลิตภัณฑ์อาหารทุกชนิด โดยรายละเอียดแสดงไว้ในตารางที่ 3-5 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 3-5 การสะสมของปริมาณโลหะหนักในปลาทะเลจากพื้นที่ต่างๆ

| ชนิดปลาทะเลที่ศึกษา | หน่วย | Cu | Zn | Cd | Pb | Fe | Ni | Mn | Co | อ้างอิง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| การศึกษาครั้งนี้ (มหาสมุทรอินเดีย)<br>- ปลาทูน่าตาโต<br>- ปลาทูน่าครีบเหลือง<br>- ปลาทูน่าท้องแถบ | μgg$^{-1}$w.w. | 0.708±0.087<br>0.461±0.103<br>0.790±0.115 | 9.71±2.34<br>5.63±1.46<br>10.3±2.11 | 0.028±0.015<br>0.016±0.013<br>0.046±0.034 | 0.075±0.028<br>0.058±0.041<br>0.057±0.031 | 11.8±2.08<br>7.57±3.07<br>12.9±3.21 | 0.101±0.061<br>0.051±0.024<br>0.062±0.040 | 0.150±0.026<br>0.113±0.037<br>0.148±0.042 | 0.007±0.002<br>0.007±0.004<br>0.006±0.003 | การศึกษาครั้งนี้ |
| กลุ่มปลาทูน่า | mg kg$^{-1}$ w.w. หรือ μgg$^{-1}$w.w. | - | - | 0.10* | 0.20** | - | - | - | - | *EU, 2006<br>**EU, 2001 |
| กลุ่มปลาทูน่า | μgg$^{-1}$w.w. | 10*<br>100** | 150*<br>100** | - | - | - | - | - | - | *ค่ากำหนดโดยประเทศออสเตรเลีย<br>**ค่ากำหนดโดยประเทศแคนาดา (Vizzini *et al*, 2010) |
| ผลิตภัณฑ์อาหารทุกชนิด | mg kg$^{-1}$ w.w. หรือ μgg$^{-1}$w.w. | 20** | 100** | 1.0* | 1.0* | - | - | - | - | *กระทรวงสาธารณสุข, 2548<br>**กระทรวงสาธารณสุข, 2529 |

ตารางที่ 3-5 การสะสมของปริมาณโลหะหนักในปลาทะเลจากพื้นที่ต่างๆ (ต่อ)

| ชนิดปลาทะเลที่ศึกษา | หน่วย | Cu | Zn | Cd | Pb | Fe | Ni | Mn | Co | อ้างอิง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| - ปลาทูน่าตาโต<br>- ปลาทูน่าครีบเหลือง<br>- ปลาทูน่าท้องแถบ<br>(อ่าวเบงกอล) | mg $kg^{-1}$ w.w. | - | - | 0.025±0.008<br>0.030±0.019<br>0.027 | | | | | | สุภาพร แก้วบุบผา, 2552 |
| - ปลาทูน่าครีบเหลือง<br>(ทะเลอันดามัน) | mg $kg^{-1}$ w.w. | - | - | 0.023±0.005 | - | - | - | - | - | พัชวิมา จีนหมั้น, 2552 |
| - ปลาทูน่าตาโต<br>- ปลาทูน่าครีบเหลือง<br>- ปลาทูน่าท้องแถบ<br>(มหาสมุทรอินเดีย) | $\mu g g^{-1}$FW | 0.498±0.236<br>0.420±0.167<br>0.535±0.285 | 4.972±1.463<br>5.412±2.509<br>5.843±1.601 | 0.016±0.008<br>0.012±0.009<br>0.018±0.013 | - | - | - | - | - | อรพินท์ จันทร์ผ่องแสง 2549 |
| ปลาทูน่าครีบเหลือง<br>(New Jersey, USA.) | ppm. wet weight<br>หรือ $\mu g g^{-1}$w.w. | - | - | 0.030±0.005 | 0.040±0.01. | - | - | 0.150±0.01 | - | Burger and Gochfeld, 2005 |

ตารางที่ 3-5 การสะสมของปริมาณโลหะหนักในปลาทะเลจากพื้นที่ต่างๆ (ต่อ)

| ชนิดปลาทะเลที่ศึกษา | หน่วย | Cu | Zn | Cd | Pb | Fe | Ni | Mn | Co | อ้างอิง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Thunnus alalunga* (Bonnaterre,1778) (eastern Mediterranean, Turkey) | mg $kg^{-1}$ w.w. | - | - | 0.011-0.369 | 0.000-0.220 | - | - | - | - | Mol *et al*.,2012 |
| Bluefin tuna (eastern Mediterranean, Turkey) | μg$g^{-1}$w.w. | 0.790±0.060 | 4.788±0.258 | - | - | 7.607±0.462 | 0.101±0.009 | 0.084±0.006 | - | Percin *et al*.,2011 |
| Bluefin tuna (*T.thynnus*) (Mediterranean, Tyrrhenian Sea) | μg$g^{-1}$wet.wt. | - | - | 0.01±0.02 | 0.14±0.15 | - | - | - | - | Storelli *et al*.,2010 |
| Bluefin tuna (Straits of Messina) | μg$g^{-1}$w.w. | 1.15±1.25 | 30.32±16.84 | 0.03±0.07 | 0.02±0.06 | - | - | 0.09±0.09 | - | Licata *et al*.,2005 |

**ทองแดง (Cu)**

ผลการศึกษาระดับการปนเปื้อนของทองแดงในปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด คือ ปลาทูน่าตาโต ปลาทูน่าครีบเหลือง และปลาทูน่าท้องแถบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.708 ± 0.087, 0.461 ± 0.103 และ 0.790 ± 0.115 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนด พบว่า ค่าเฉลี่ยของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด มีค่าความเข้มข้นของทองแดงต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่องค์กรหรือหน่วยงานของแต่ละประเทศได้กำหนดไว้ โดยประเทศออสเตรเลียและประเทศแคนาดา (Canada Food Standard) (Vizzini *et al*., 2010) ซึ่งกำหนดให้มีทองแดงในกลุ่มปลาทูน่าได้ไม่เกิน 10 และ 100 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ ในประเทศไทย กระทรวงสาธารณสุข (2529) กำหนดให้มีทองแดงในผลิตภัณฑ์อาหารทุกชนิดได้ไม่เกิน 20 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก สำหรับผลการศึกษาระดับการปนเปื้อนของทองแดงในปลาทูน่าจากมหาสมุทรอินเดียยังมีอยู่น้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบการศึกษาครั้ง กับรายงานของอรพินท์ จันทร์ผ่องแสง (2549) ที่ได้ทำการศึกษาบริเวณมหาสมุทรอินเดีย พบว่า ปลาทูน่าครีบเหลืองมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.420 ± 0.167 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก สำหรับปลาทูน่าตาโตและปลาทูน่าท้องแถบมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของอรพินท์ จันทร์ผ่องแสง (2549) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.498 ± 0.236 และ 0.535 ± 0.285 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับปลาทูน่าครีบน้ำเงิน (1.15 ± 1.25 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก) จากการศึกษาของ Licata *et al*.(2005) พบว่าปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด จากการศึกษาครั้งนี้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า และปลาทูน่าท้องแถบในการศึกษาครั้งนี้มีค่าเท่ากับปลาทูน่าครีบน้ำเงินจากทะเลเมดิเตอร์เรเนียนตะวันออก ประเทศตุรกี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.790 ± 0.060 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ที่รายงานโดย Percin *et al*. (2011)

**สังกะสี (Zn)**

การศึกษาระดับการปนเปื้อนของสังกะสีในปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด คือ ปลาทูน่าตาโต ปลาทูน่าครีบเหลือง และปลาทูน่าท้องแถบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.71 ± 2.34, 5.63 ± 1.46 และ 10.3 ± 2.11 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อเปรียบระดับการปนเปื้อนของสังกะสีในเนื้อเยื่อปลาทูน่าที่ศึกษากับค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยประเทศออสเตรเลียและประเทศแคนาดา (Canada Food Standard) (Vizzini *et al*., 2010) ซึ่งกำหนดให้มีสังกะสีได้ไม่เกิน 150 และ 100 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ และสำหรับประเทศไทย กระทรวงสาธารณสุข (2529) ได้กำหนดให้มีสังกะสีในผลิตภัณฑ์อาหารทุกชนิดได้ไม่เกิน 100 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก พบว่า ค่าเฉลี่ยของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด ยังมีค่าความเข้มข้นของสังกะสีต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่องค์กรหรือหน่วยงานของแต่ละประเทศได้กำหนดไว้

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสังกะสีที่ปนเปื้อนในเนื้อเยื่อปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด ในพื้นที่เดียวกัน คือ บริเวณมหาสมุทรอินเดีย พบว่า อรพินท์ จันทร์ผ่องแสง (2549) รายงานระดับสังกะสีในปลาทูน่าครีบเหลืองจากมหาสมุทรอินเดีย (5.412 ± 2.509 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก) ซึ่งอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับการศึกษาครั้งนี้ (5.63 ± 1.46 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก) และปริมาณสังกะสีที่ปนเปื้อนในเนื้อปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิดในการศึกษาครั้งนี้มีค่าต่ำกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาปลาทูน่าครีบน้ำเงิน (Bluefin tuna) ที่รายงานโดย Licata *et al*. (2005) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 30.32 ± 16.84 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก

**แคดเมียม (Cd)**

เมื่อเปรียบเทียบระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด ที่ศึกษากับค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยคณะกรรมาธิการยุโรป (EU, 2006) ซึ่งกำหนดให้มีแคดเมียม สำหรับกลุ่มปลาทูน่าได้ไม่เกิน 0.10 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก และสำหรับประเทศไทย กระทรวงสาธารณสุข (2548) ได้กำหนดให้มีแคดเมียมในผลิตภัณฑ์อาหารทุกชนิดได้ไม่เกิน 1.0 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก พบว่า ปลาทูน่าตาโต ปลาทูน่าครีบเหลือง และปลาทูน่าท้องแถบ มีค่าความเข้มข้นของแคดเมียมที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (0.028 ± 0.015, 0.016 ± 0.013 และ 0.046 ± 0.034 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ) ที่องค์กรหรือหน่วยงานดังกล่าวได้กำหนดไว้

จากการศึกษาระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในปลาทูน่าบริเวณมหาสมุทรอินเดียของอรพินท์ จันทร์ผ่องแสง (2549) พบว่า ปลาทูน่าท้องแถบมีปริมาณการสะสมของแคดเมียมสูงกว่าปลาทูน่าครีบเหลืองและปลาทูน่าตาโต นอกจากนี้ปลาทูน่าครีบเหลืองในรายงานของอรพินท์ จันทร์ผ่องแสง (2549) ยังมีค่าเฉลี่ย (0.012 ± 0.009 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก) ที่ใกล้เคียงกับการศึกษาครั้งนี้อีกด้วย

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมที่ปนเปื้อนในเนื้อปลาทูน่าจากมหาสมุทรอินเดียกับพื้นที่อื่น พบว่า ปลาทูน่าจากมหาสมุทรอินเดียมีปริมาณแคดเมียมอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงและต่ำกว่าพื้นที่อื่น โดยจากการศึกษาของสุภาพร แก้วบุปผา (2552) ได้ทำการศึกษาบริเวณอ่าวเบงกอล พบว่าปลาทูน่าตาโตและปลาทูน่าครีบเหลือง มีปริมาณแคดเมียมเท่ากับ 0.027 และ 0.030 ± 0.019 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงและสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาครั้งนี้ (0.028 ± 0.015 และ 0.016 ± 0.013 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ) จากการศึกษาของพัชวิมา จีนหมั้น (2552) ได้ทำการศึกษาปลาทูน่าครีบเหลืองบริเวณทะเลอันดามันและการศึกษาของ Burger and Gochfeld (2005) บริเวณ New Jersy, USA พบว่า ปลาทูน่าครีบเหลืองทั้ง 2 บริเวณ มีปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยเท่ากับ 0.023 ± 0.005 และ 0.030 ± 0.005 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ ซึ่งมีค่าการปนเปื้อนของแคดเมียมสูงกว่าการศึกษาในครั้งนี้

นอกจากนี้ปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด ยังมีปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยอยู่ในช่วงเดียวกับปลาทูน่าครีบยาว (*Thunnus alalunga*) ในรายงานของ Mol *et al*.( 2012) ซึ่งได้ทำการศึกษาบริเวณทะเลเมดิเตอร์เรเนียนตะวันออก ประเทศตุรกี โดยมีปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.011 – 0.369 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก

**ตะกั่ว (Pb)**

การศึกษาระดับการปนเปื้อนของตะกั่วในปลาทูน่าตาโต ปลาทูน่าครีบเหลือง และปลาทูน่าท้องแถบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.075 ± 0.028, 0.058 ± 0.041 และ 0.057 ± 0.031 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระดับการปนเปื้อนของตะกั่วในเนื้อเยื่อปลาทูน่าที่ศึกษากับค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยคณะกรรมาธิการยุโรป (EU, 2001) ซึ่งกำหนดให้มีตะกั่วสำหรับกลุ่มปลาทูน่าได้ไม่เกิน 0.20 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนัก และสำหรับประเทศไทย กระทรวงสาธารณสุข (2529) ได้กำหนดให้มีตะกั่วในผลิตภัณฑ์อาหารทุกชนิดได้ไม่เกิน 1.0 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ดังนั้น ปริมาณตะกั่วเฉลี่ยของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิดยังมีค่าความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่องค์กรหรือหน่วยงานดังกล่าวได้กำหนดไว้

จากการศึกษาของ Burger and Gochfeld (2005) บริเวณ New Jersy, USA มีปริมาณตะกั่วเฉลี่ยเท่ากับ 0.04 ± 0.01 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาในครั้งนี้ (0.058 ± 0.041 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก) และปริมาณตะกั่วเฉลี่ยของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิดในการศึกษาครั้งนี้ยังมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับการศึกษาปลาทูน่าครีบยาว (*Thunnus alalunga*) ในรายงานของ Mol *et al*. (2012) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.000 – 0.220 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก

## 3.4 การประเมินความเสี่ยง

### 3.4.1 ความเสี่ยง

เมื่อนำระดับการปนเปื้อนของโลหะหนัก 5 ชนิด คือ ทองแดง สังกะสี แคดเมียม ตะกั่วและนิกเกิล ในตัวอย่างปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด คือ ปลาทูน่าตาโต ปลาทูน่าครีบเหลือง และปลาทูน่าท้องแถบ มาประเมินความเสี่ยงในการได้รับปริมาณโลหะหนักในปริมาณน้อยเป็นเวลานานโดยใช้ค่าความเสี่ยงหรือ Harzard Quotient (HQ) สำหรับสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Non-carcinogenic effect) โดยใช้สมการที่ (2-1) และ สมการที่ (2-2) (พงษ์เทพ วิวรรธนะเดช, 2547; Kofi, 2002) ที่อธิบายไว้ในบทที่ 2 ตัวอย่างการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ง หากค่า HQ > 1 แสดงว่าปริมาณของโลหะหนัก

ทั้ง 5 ชนิด (ทองแดง สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล) ที่ได้รับอยู่ในระดับที่มีความเสี่ยงเกินเกณฑ์ปกติ ถ้าค่า HQ ≤ 1 แสดงว่าปริมาณของโลหะหนักทั้ง 5 ชนิด ที่ได้รับอยู่ในเกณฑ์ปกติ

เนื่องจากโลหะหนักอีก 3 ชนิด คือ เหล็ก แมงกานีส และโคบอลต์ มีปริมาณที่ต่ำและมีความเสี่ยงน้อยต่อการบริโภค จึงไม่ได้นำมาคำนวณหาค่าความเสี่ยงในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งจากการศึกษาโลหะหนักทั้ง 5 ชนิด สามารถสรุปได้ดังนี้

**ทองแดง**

ค่า HQ ของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด แสดงในตารางที่ ฉ-1 ภาคผนวก ฉ ซึ่งปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 0.006 – 0.011 โดยปลาทูน่าท้องแถบมีค่า HQ สูงกว่าปลาทูน่าชนิดอื่นซึ่งมีค่า 0.011

**สังกะสี**

ค่า HQ ของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด แสดงในตารางที่ ฉ-2 ภาคผนวก ฉ ซึ่งปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.010 – 0.018 โดยปลาทูน่าท้องแถบมีค่า HQ สูงที่สุดคือ 0.018 และรองลงมาคือปลาทูน่าตาโต มีค่า HQ เท่ากับ 0.017

**แคดเมียม**

ค่า HQ ของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด แสดงในตารางที่ ฉ-3 ภาคผนวก ฉ ซึ่งปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.009 – 0.025 โดยปลาทูน่าท้องแถบมีค่า HQ สูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.025

**ตะกั่ว**

ค่า HQ ของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด แสดงในตารางที่ ฉ-4 ภาคผนวก ฉ โดยปลาทูน่าครีบเหลืองและปลาทูน่าท้องแถบมีค่า HQ เท่ากับ 0.009 และปลาทูน่าตาโตมีค่า HQ สูงที่สุดซึ่งมีค่า HQ เท่ากับ 0.012

**นิกเกิล**

ค่า HQ ของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด แสดงในตารางที่ ฉ-5 ภาคผนวก ฉ ซึ่งปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 0.001 – 0.003 โดยปลาทูน่าตาโตมีค่า HQ สูงกว่าปลาทูน่าชนิดอื่นซึ่งมีค่า 0.003

อย่างไรก็ตามค่า HQ จากการได้รับปริมาณโลหะหนักทั้ง 5 ชนิด คือ ทองแดง สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล ที่ปนเปื้อนในปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด ที่เข้าสู่ร่างกายยังต่ำกว่า 1 อยู่มาก ดังนั้นการบริโภคปลาทูน่าบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90Ê มหาสมุทรอินเดียจึงไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้บริโภค

### 3.4.2 ปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคต่อสัปดาห์

สำหรับปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคต่อสัปดาห์ หรือ Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI) ซึ่งสอดคล้องกับค่า HQ โดยปลาที่มีค่า HQ สูง (มีความเสี่ยงสูง) ปริมาณที่จะได้รับในแต่ละสัปดาห์ย่อมต้องต่ำกว่าชนิดที่มีค่า HQ ต่ำ รายละเอียดปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคของปลาทูน่าบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90E มหาสมุทรอินเดียทั้ง 3 ชนิดและตัวอย่างการหาปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคต่อสัปดาห์แสดงในตาราง ฉ-1 ถึง ฉ-5 ในภาคผนวก ฉ จากผลการคำนวณที่ได้ของ 5 ธาตุ (ทองแดง สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล)

เนื่องจากโลหะหนักอีก 3 ชนิด คือ เหล็ก แมงกานีส และโคบอลต์ มีปริมาณที่ต่ำและมีความเสี่ยงน้อยต่อการบริโภค จึงไม่ได้นำมาคำนวณหาค่าปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคต่อสัปดาห์ในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งจากการศึกษาโลหะหนักทั้ง 5 ชนิด สามารถสรุปได้ดังนี้

**ทองแดง**

ค่า PTWI ของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิดจากมหาสมุทรอินเดีย มีค่าอยู่ในช่วง 17.7 – 30.4 และ 21.3 – 36.4 กิโลกรัม/สัปดาห์ สำหรับผู้ที่มีน้ำหนัก 50 และ 60 กิโลกรัม ตามลำดับ พบว่า ปลาทูน่าครีบเหลืองสามารถบริโภคได้มากที่สุด คือ 30.4 และ 36.4 กิโลกรัม/สัปดาห์ สำหรับผู้ที่มีน้ำหนัก 50 และ 60 กิโลกรัม ตามลำดับ และปลาทูน่าที่บริโภคได้น้อยที่สุด คือ ปลาทูน่าท้องแถบ มีค่า PTWI เท่ากับ 17.7 และ 21.3 กิโลกรัม/สัปดาห์ สำหรับผู้ที่มีน้ำหนัก 50 และ 60 กิโลกรัม ตามลำดับ

**สังกะสี**

ค่า PTWI ของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิดจากมหาสมุทรอินเดีย มีค่าอยู่ในช่วง 10.2 – 18.7 และ 12.2 – 22.4 กิโลกรัม/สัปดาห์ สำหรับผู้ที่มีน้ำหนัก 50 และ 60 กิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับปลาทูน่าที่สามารถบริโภคได้มากที่สุด คือ ปลาทูน่าครีบเหลือง ซึ่งมีค่า PTWI เท่ากับ 18.7 และ 22.4 กิโลกรัม/สัปดาห์ สำหรับผู้ที่มีน้ำหนัก 50 และ 60 กิโลกรัม ตามลำดับ และปลาทูน่าที่บริโภคได้น้อยที่สุด คือ ปลาทูน่าท้องแถบ มีค่า PTWI เท่ากับ 10.2 และ 12.2 กิโลกรัม/สัปดาห์ สำหรับผู้ที่มีน้ำหนัก 50 และ 60 กิโลกรัม ตามลำดับ

**แคดเมียม**

ค่า PTWI ของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิดจากมหาสมุทรอินเดีย มีค่าอยู่ในช่วง 7.6 – 21.9 และ 9.1 – 26.3 กิโลกรัม/สัปดาห์ สำหรับผู้ที่มีน้ำหนัก 50 และ 60 กิโลกรัม ตามลำดับ พบว่า ปลาทูน่าครีบเหลืองสามารถบริโภคได้มากที่สุด ซึ่งมีค่า PTWI เท่ากับ 21.9 และ 26.3 กิโลกรัม/สัปดาห์

สำหรับผู้ที่มีน้ำหนัก 50 และ 60 กิโลกรัม ตามลำดับ และปลาทูน่าที่บริโภคได้น้อยที่สุด คือ ปลาทูน่าท้องแถบ มีค่า PTWI เท่ากับ 7.6 และ 9.1 กิโลกรัม/สัปดาห์ สำหรับผู้ที่มีน้ำหนัก 50 และ 60 กิโลกรัม ตามลำดับ

**ตะกั่ว**

ค่า PTWI ของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิดจากมหาสมุทรอินเดีย มีค่าอยู่ในช่วง 16.3 – 21.5 และ 19.6 – 25.8 กิโลกรัม/สัปดาห์ สำหรับผู้ที่มีน้ำหนัก 50 และ 60 กิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับปลาทูน่าที่สามารถบริโภคได้มากที่สุด คือ ปลาทูน่าท้องแถบ ซึ่งมีค่า PTWI เท่ากับ 21.5 และ 25.8 กิโลกรัม/สัปดาห์ รองลงมา คือ ปลาทูน่าครีบเหลืองมีค่า PTWI เท่ากับ 21.1 และ 25.3 กิโลกรัม/สัปดาห์ สำหรับผู้ที่มีน้ำหนัก 50 และ 60 กิโลกรัม ตามลำดับ และปลาทูน่าตาโตบริโภคได้น้อยที่สุด ซึ่งมีค่า PTWI เท่ากับ 16.3 และ 19.6 กิโลกรัม/สัปดาห์ สำหรับผู้ที่มีน้ำหนัก 50 และ 60 กิโลกรัม ตามลำดับ

**นิกเกิล**

ค่า PTWI ของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิดจากมหาสมุทรอินเดีย มีค่าอยู่ในช่วง 69.3 – 137.3 และ 83.2 – 164.7 กิโลกรัม/สัปดาห์ สำหรับผู้ที่มีน้ำหนัก 50 และ 60 กิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับปลาทูน่าที่สามารถบริโภคได้มากที่สุด คือ ปลาทูน่าครีบเหลือง ซึ่งมีค่า PTWI เท่ากับ 137.3 และ 164.7 กิโลกรัม/สัปดาห์ สำหรับผู้ที่มีน้ำหนัก 50 และ 60 กิโลกรัม ตามลำดับ และปลาทูน่าที่บริโภคได้น้อยที่สุด คือ ปลาทูน่าตาโต มีค่า PTWI เท่ากับ 69.3 และ 83.2 กิโลกรัม/สัปดาห์ สำหรับผู้ที่มีน้ำหนัก 50 และ 60 กิโลกรัม ตามลำดับ

### 3.5 ความสัมพันธ์ในภาพรวมระหว่างระดับการปนเปื้อนกับขนาดลำตัวของปลาทูน่า

ในภาพรวมเมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความยาว น้ำหนัก และปริมาณโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด (ทองแดง สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว เหล็ก นิกเกิล แมงกานีส และโคบอลต์) ที่ปนเปื้อนในเนื้อเยื่อส่วนท้องและเนื้อเยื่อส่วนหลังของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด โดยใช้การทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ด้วย Bivariate Correlation (Pearson) จากการศึกษาปลาทูน่าที่มีน้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม พบว่าปริมาณโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด บริเวณเนื้อเยื่อส่วนหลังไม่แสดงความสัมพันธ์กับความยาวและน้ำหนักของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 3-6 และบริเวณเนื้อเยื่อส่วนท้อง พบว่าน้ำหนักของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด แสดงความสัมพันธ์กับปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่เมื่อพิจารณาค่า r พบว่ามีความสัมพันธ์ในเชิงบวกค่อนข้างน้อย ดังแสดงในตารางที่ 3-7

จากการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด กับโลหะหนัก 8 ชนิด พบว่าไม่แสดงความสัมพันธ์กัน ซึ่งแตกต่างกับรายงานของอรพินท์ จันทร์ผ่องแสง (2549) ที่พบว่าปริมาณสะสมของแคดเมียมแสดงความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับความยาวของปลาทูน่าตาโตและปลาทูน่าท้องแถบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และปริมาณสะสมทองแดงมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในเชิงลบกับความยาวของปลาทูน่าครีบเหลือง ซึ่งสาเหตุที่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความยาว น้ำหนัก กับปริมาณโลหะหนักครั้งนี้อาจเนื่องมาจากสิ่งแวดล้อมบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90E มีปริมาณโลหะหนักที่สะสมในแหล่งน้ำยังน้อยอยู่ จึงควรมีการศึกษาปริมาณโลหะหนักในแหล่งน้ำบริเวณดังกล่าว เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักกับสัตว์น้ำ และโลหะหนักในแหล่งน้ำ เพื่อเป็นการเฝ้าระวังปริมาณโลหะหนักในบริเวณดังกล่าวต่อไป

ตารางที่ 3-6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักเปียก) ในเนื้อเยื่อส่วนหลัง น้ำหนักและความยาวของลำตัวปลาทูน่า (N=61)

| | Weight | length | Cu | Zn | Cd | Pb | Fe | Ni | Mn | Co |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Weight | 1 | | | | | | | | | |
| Length | **0.668**** | 1 | | | | | | | | |
| Cu | 0.237 | 0.047 | 1 | | | | | | | |
| Zn | 0.251 | 0.026 | 0.724** | 1 | | | | | | |
| Cd | 0.195 | 0.126 | 0.418** | 0.174 | 1 | | | | | |
| Pb | -0.094 | -0.111 | 0.124 | -0.009 | 0.037 | 1 | | | | |
| Fe | 0.167 | 0.051 | 0.833** | 0.630** | 0.352** | 0.23 | 1 | | | |
| Ni | 0.002 | 0.104 | 0.15 | 0.043 | -0.056 | 0.615** | 0.167 | 1 | | |
| Mn | 0.041 | 0.082 | 0.588** | 0.356** | 0.296* | 0.338** | 0.693** | 0.345** | 1 | |
| Co | 0.091 | 0.181 | 0.086 | -0.015 | 0.05 | 0.590** | 0.153 | 0.496** | 0.215 | 1 |

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ตารางที่ 3-7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักเปียก) ในเนื้อเยื่อส่วนท้อง น้ำหนักและความยาวของลำตัวปลาทูน่า (N=61)

| | Weight | Length | Cu | Zn | Cd | Pb | Fe | Ni | Mn | Co |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Weight | 1 | | | | | | | | | |
| Length | **0.668**$^{**}$ | 1 | | | | | | | | |
| Cu | 0.145 | -0.117 | 1 | | | | | | | |
| Zn | 0.244 | 0.02 | 0.785$^{**}$ | 1 | | | | | | |
| Cd | **0.336**$^{**}$ | 0.175 | 0.544$^{**}$ | 0.602$^{**}$ | 1 | | | | | |
| Pb | **0.253**$^{*}$ | 0.163 | 0.099 | 0.354$^{**}$ | 0.194 | 1 | | | | |
| Fe | 0.249 | 0.062 | 0.639$^{**}$ | 0.506$^{**}$ | 0.433$^{**}$ | 0.051 | 1 | | | |
| Ni | **0.264**$^{*}$ | 0.162 | 0.283$^{*}$ | 0.471$^{**}$ | 0.270$^{*}$ | 0.435$^{**}$ | 0.321$^{*}$ | 1 | | |
| Mn | -0.021 | -0.13 | 0.557$^{**}$ | 0.614$^{**}$ | 0.465$^{**}$ | 0.344$^{**}$ | 0.430$^{**}$ | 0.421$^{**}$ | 1 | |
| Co | 0.091 | 0.181 | -0.076 | -0.021 | 0.045 | 0.209 | 0.226 | 0.13 | 0.197 | 1 |

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

# บทที่ 4
# สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด คือ ทองแดง สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว เหล็ก นิกเกิล แมงกานีส และ โคบอลต์ ในเนื้อเยื่อปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด รวม 61 ตัวอย่าง บริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90E มหาสมุทรอินเดีย ซึ่งเก็บตัวอย่างภายใต้แผนงานวิจัย “การสำรวจปลาทูน่าและปลาผิวน้ำขนาดใหญ่บริเวณ Ninety East Ridge ในมหาสมุทรอินเดียตะวันออกด้วยเครื่องมืออวนล้อมจับปลาทูน่า” ระหว่างวันที่ 27 มีนาคม ถึง 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2555 พบว่า ระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด อยู่ในขั้นต่ำ ดังสรุปต่อไปนี้

## 4.1 ปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อปลาทูน่าแต่ละชนิด

ระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักทองแดง สังกะสี แคดเมียม และเหล็ก มีค่าสูงที่สุดในปลาทูน่าท้องแถบ สำหรับตะกั่ว นิกเกิล และแมงกานีส มีระดับการปนเปื้อนสูงสุดในปลาทูน่าตาโต และโคบอลต์มีระดับมีการปนเปื้อนสูงสุดในปลาทูน่าครีบเหลือง นอกจากนี้ปลาทูน่าครีบเหลืองยังมีระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักทองแดง สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว เหล็ก นิกเกิล และแมงกานีส ต่ำกว่าปลาทูน่าท้องแถบและปลาทูน่าตาโตอีกด้วย

## 4.2 เปรียบเทียบระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักระหว่างเนื้อเยื่อส่วนท้องและเนื้อเยื่อส่วนหลัง

เมื่อเปรียบเทียบระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักระหว่างเนื้อเยื่อส่วนท้องและเนื้อเยื่อส่วนหลังในปลาทูน่าตาโต พบว่า ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักส่วนใหญ่ในเนื้อเยื่อส่วนท้องสูงกว่าบริเวณเนื้อเยื่อส่วนหลัง ยกเว้นทองแดงที่มีค่าความเข้มข้นบริเวณเนื้อเยื่อส่วนหลังสูงกว่าเนื้อเยื่อส่วนท้อง ปลาทูน่าครีบเหลืองส่วนใหญ่มีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักบริเวณเนื้อเยื่อส่วนท้องสูงกว่าเนื้อเยื่อส่วนหลัง คือ สังกะสี แคดเมียม เหล็ก และแมงกานีส สำหรับปลาทูน่าท้องแถบส่วนใหญ่ พบค่าความเข้มข้นของโลหะหนักบริเวณเนื้อเยื่อส่วนท้องสูงกว่าเนื้อเยื่อส่วนหลัง ยกเว้นสังกะสีและตะกั่วที่มีค่าความเข้มข้นในเนื้อเยื่อส่วนหลังสูงกว่าบริเวณส่วนท้อง และพบว่าโคบอลต์มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเนื้อเยื่อส่วนท้องและเนื้อเยื่อส่วนหลังเท่ากัน

## 4.3 เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักกับค่ามาตรฐานและงานวิจัยชิ้นอื่น

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักทั้ง 5 ชนิด คือ ทองแดง สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิลที่ตรวจพบในเนื้อเยื่อปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิดกับค่ามาตรฐานที่องค์กรหรือหน่วยงานทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศและงานวิจัยชิ้นอื่น พบว่า ปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณโลหะหนักต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานอยู่มาก สำหรับเหล็ก แมงกานีสและโคบอลต์ ไม่ได้เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่องค์กรหรือหน่วยงานของแต่ละประเทศกำหนดไว้ แต่จากการศึกษาพบว่า ยังมีค่าที่ใกล้เคียงและหรือต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยชิ้นอื่นที่ทำการศึกษากับปลาชนิดเดียวกัน

## 4.4 การประเมินความเสี่ยง

ผลการประเมินค่าความเสี่ยงหรือ HQ (Hazard Quotient) พบว่า ปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด มีค่า HQ < 1 ซึ่งหมายถึง ระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 5 ชนิด คือ ทองแดง สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล ที่ร่างกายได้รับจากการบริโภคปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค

## 4.5 ปริมาณที่ปลอดภัยต่อการบริโภค

ปริมาณที่ปลอดภัยต่อการบริโภค หรือ Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI) ของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด บริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90E ในโลหะหนักทั้ง 5 ชนิด คือ ทองแดง สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล สำหรับชาวเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ย 50 กิโลกรัม มีค่าอยู่ในช่วง 17.7 – 30.4, 10.2 – 18.7, 7.6 – 21.9, 16.3 – 21.5 และ 69.3 – 137.3 กก./สัปดาห์ ตามลำดับ และสำหรับค่า PTWI ของคนที่มีน้ำหนักตัว 60 กิโลกรัม มีค่าอยู่ในช่วง 21.3 – 36.4, 12.2 – 22.4, 9.1 – 26.3, 19.6 – 25.8 และ 83.2- 164.7 กิโลกรัม/สัปดาห์ ตามลำดับ

## 4.6 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาครั้งนี้จะเห็นได้ว่า

- ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักโดยส่วนใหญ่จะปนเปื้อนในปลาทูน่าท้องแถบสูงกว่าปลาทูน่าครีบเหลืองและปลาทูน่าตาโต จึงควรมีการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในปลาทูน่าให้มากยิ่งขึ้น เพื่อยืนยันความถูกต้องของข้อมูลและเพื่อเป็นการเฝ้าระวัง และเนื่องจากประเทศไทยยังขาดข้อมูลพื้นฐานในเรื่องดังกล่าว จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมว่าโลหะหนักชนิดใดมักถูกสะสมมากในบริเวณส่วนท้องและโลหะหนักชนิดใดมักถูกสะสมในส่วนเนื้อเยื่ออื่นๆของตัวปลาทูน่า

- จากข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสะสมโลหะหนักกับขนาดของปลาทูน่า พบว่าบริเวณเนื้อเยื่อส่วนหลังและส่วนอื่นๆของปลาทูน่า สามารถรับประทานได้ทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ยกเว้นบริเวณเนื้อเยื่อส่วนท้องที่ควรหลีกเลี่ยงการรับประทานปลาทูน่าที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากเนื้อเยื่อบริเวณดังกล่าวอาจจะมีการปนเปื้อนของโลหะหนักแคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล หากจะรับประทานควรรับประทานแต่น้อย

**บรรณานุกรม**

กรมควบคุมมลพิษ. ม.ป.ป.ก. สังกะสี (Zinc). ศูนย์วัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์ : Chemical Data Bank. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://msds.pcd.go.th/pdf/222.pdf. (สืบค้นเมื่อ 25 ธันวาคม 2556).

กรมควบคุมมลพิษ. ม.ป.ป.ข. ตะกั่ว (Lead). ศูนย์วัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์ : Chemical Data Bank. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://msds.pcd.go.th/pdf/45.pdf. (สืบค้นเมื่อ 25 ธันวาคม 2556).

กรมควบคุมมลพิษ. ม.ป.ป.ค. นิกเกิล (Nickel). ศูนย์วัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์ : Chemical Data Bank. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://msds.pcd.go.th/pdf/175.pdf. (สืบค้นเมื่อ 25 ธันวาคม 2556).

กรมควบคุมมลพิษ. ม.ป.ป.ง. แมงกานีส (Manganese). ศูนย์วัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์ : Chemical Data Bank. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://msds.pcd.go.th/pdf/160.pdf. (สืบค้นเมื่อ 3 เมษายน 2557).

กรมควบคุมมลพิษ. ม.ป.ป.จ. โคบอลต์ (Cobalt). ศูนย์วัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์ : Chemical Data Bank. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://msds.pcd.go.th/searchName.asp?vID=126. (สืบค้นเมื่อ 25 ธันวาคม 2556).

กรมประมง. 2554ก. รายงานผลการปฏิบัติงานโครงการสำรวจทรัพยากรปลาผิวน้ำบริเวณ Ninety EAST Ridge. กรุงเทพมหานคร.

กรมประมง. 2554ข. รายงานผลการปฏิบัติงานเรือสำรวจประมงมหิดล 24 กุมภาพันธ์ – 4 พฤษภาคม 2554. กรุงเทพมหานคร.

กรมประมง. 2555ก. รายงานผลการปฏิบัติงานเรือสำรวจประมงจุฬาภรณ์ เที่ยวเรือที่ 1/2555. กรุงเทพมหานคร.

กรมประมง. 2555ข. รายงานผลการปฏิบัติงานเรือสำรวจประมงมหิดล 27 มีนาคม – 18 พฤษภาคม 2555. กรุงเทพมหานคร.

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ม.ป.ป. เรือสำรวจประมงมหิดล. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://www.fisheries.go.th/marine/DeepSea/Mahidol.htm. (สืบค้นเมื่อ 16 มิถุนายน 2556).

กระทรวงสาธารณสุข. 2529. มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, ฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2529) ลงวันที่ 21 มกราคม 2529, กระทรวงสาธารณสุข กรุงเทพมหานคร. 2 หน้า.

กระทรวงสาธารณสุข. 2548. ประกาศคณะกรรมการมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ : ปลาหมึก พ.ศ. 2548 ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 122 ตอนที่ 82ง วันที่ 29 กันยายน 2548.

กลุ่มโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม. ม.ป.ป. โรคพิษตะกั่ว. สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 5 นครราชสีมา. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://www.dpck5.com/Knowledge/enocc2.html. (สืบค้นเมื่อ 31 พฤษภาคม 2555).

กองประมงต่างประเทศ. 2555ก. การค้าสินค้าประมงระหว่างประเทศ. การนำเข้าทูน่าของไทย ปี 2544-2554. กรมประมง. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://www.fisheries.go.th/foreign/index.php?option=com_content&view=category&id=57&Itemid=105. (สืบค้นเมื่อ 25 พฤษภาคม 2555).

กองประมงต่างประเทศ. 2555ข. การค้าสินค้าประมงระหว่างประเทศ. การส่งออกทูน่าของไทย ปี 2544-2554. กรมประมง. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://www.fisheries.go.th/foreign/index.php?option=com_content&view=category&id=36&Itemid=32. (สืบค้นเมื่อ 25 พฤษภาคม 2555).

กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2530. ปรอท. สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน. 12 หน้า.

กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน . 2551. โลหะกับการพัฒนาประเทศ. รายงานวิชาการ ฉบับที่ สอพ. 3/2551. สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน, กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่.

เขมชิต ธนากิจชาญเจริญ, นงนาถ เมฆรังสิมันต์ และสุรชัย ศิลามณีโชติ. 2551. ประโยชน์และความเป็นพิษของโลหะหนักแคดเมียม.โครงการเคมีกรมวิทยาศาสตร์บริการ.(ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp_4_2551_Cadmium.pdf (สืบค้นเมื่อ 31 พฤษภาคม 2555).

คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล. ม.ป.ป. อันตรายจากแมงกานีส. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://www.si.mahidol.ac.th/Th/division/ophs/admin/knowledges_files/21_34_1.pdf. (สืบค้นเมื่อ 3 เมษายน 2557).

จิณธรรม หารเทา. 2552. ระดับของปรอทที่ปนเปื้อนในทรัพยากรประมงจากอ่าวเบงกอลและทะเลอันดามัน (น่านน้ำพม่า) และการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2543. Cobalt (Co) โคบอลต์. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet5/topic2/Co.html. (สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2556).

ณรงค์ฤทธิ์ เลิศเกษตรวิทยา. 2547. การศึกษาประวัติการสะสมของทองแดง แคดเมียม และตะกั่วในดินตะกอน บริเวณอ่าวไทยตอนบน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บริษัท Perkin Elmer. 2008 เอกสารประกอบการฝึกอบรมการใช้เครื่องมือ Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy (ICP-MS). 87 หน้า.

บุษกร อุ่ยวงษ์. 2551. ปริมาณโลหะหนักในหอยแครงและหอยแมลงภู่ที่ได้จากธรรมชาติและเพาะเลี้ยงใน อ.บ้านแหลม จ.เพชรบุรี. รายงานการวิจัย. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

ปิยวรรณ นาคินชาติ. 2549. การแพร่กระจายของแคดเมียม โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสีในดินตะกอนทะเลสาบสงขลา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ปิยะ วันเพ็ญ. 2543. การศึกษาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ที่เลี้ยงในพื้นที่ทะเลสาบสงขลาตอนนอก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พงศ์เทพ วิวรรธนะเดช. 2547. การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ Health Risk Assessment. กรุงเทพฯ: ไซเบอร์เพรส. 184 หน้า.

พรรณภา ศักดิ์สูง และ อมรา คัมภิรานนท์. 2526. พิษของโลหะหนักต่อพันธุกรรม. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ 17 (2): 38-44.

พฤหัส จันทร์นวล. 2550. พลวัตของโลหะหนัก: กรณีศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักและคุณภาพดินตะกอน ในแม่น้ำแม่กลอง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พัชวิมา จีนหมั้น. 2552. ระดับของแคดเมียมในทรัพยากรประมงจากทะเลอันดามันและทะเลเซเลเบสและการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พิมพร เจริญศรี. 2544. ความเข้มข้นของปรอทรวมในเนื้อเยื่อชนิดต่างๆ ของปลาทะเลบางชนิดที่อาศัยในบริเวณแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มนูวดี หังสพฤกษ์. 2532. สมุทรศาสตร์เคมี. กรุงเทพมหานคร. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 329 หน้า.

ไมตรี สุทธิจิตต์. 2531. สารพิษรอบตัวเรา. เชียงใหม่. โรงพิมพ์คอมพิวเตอร์กราฟิค. พิมพ์ครั้งที่ 1.

วิกันดา ชัยบุตร. 2541. การศึกษาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในน้ำ ดินตะกอนและเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของปลาบางชนิดในแม่น้ำแม่กลอง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต,สาขาวิทยาศาสตร์การประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุภชัย รัตนมณีฉัตร. 2534. มลพิษสิ่งแวดล้อมน้ำและอากาศ. กรุงเทพมหานคร. หน่วยเวชศาสตร์ป้องกัน คณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาล.

สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีประมงทะเลลึก. 2547. รายงานประจำปี 2547. สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีประมงทะเลลึก. กรมประมง. 76 หน้า.

สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีประมงทะเลลึก. ม.ป.ป. ปลาทูน่า. กรมประมง. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://www.fisheries.go.th/marine/DeepSea/images/PDF/%E0%B8%9B%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%97%E0%B8%B9%E0%B8%99%E0%B9%88%E0%B8%B2.pdf. (สืบค้นเมื่อ 6 มกราคม 2557).

สมเกียรติ ขอเกียรติวงศ์, นฤมล กรคณิตนันท์ และสุพจน์ จันทราภรณ์ศิลป์ 2547. ปริมาณโลหะหนักที่พบในเนื้อเยื่อของวาฬในน่านน้ำไทย. สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง.

สมชาย วิบุญพันธ์, ณรงค์ศักดิ์ คงชัย, วิวิธนนท์ บุญยัง และทรงฤทธิ์ โชติธรรมโม. 2549. การปนเปื้อนของสารโลหะหนักในสัตว์ทะเลบางชนิดบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงทะเล กรมประมง.

สมชาย วิบุญพันธ์, ไพรัช เถาชาลี, ชุมโชค สิงหราชัย, รัตนา มั่นประสิทธิ์ และทศพล กระจ่างดารา. 2551. ปริมาณโลหะหนักในสัตว์ทะเลจากเรือประมงอวนลากและอวนล้อมจับบริเวณน่านน้ำไทย. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงทะเล กรมประมง.

สุฑารัตน์ สุขพันธ์.2550. ปริมาณปรอทในเนื้อเยื่อสัตว์น้ำในทะเลสาบสงขลา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุภาพ มงคลประสิทธิ์, ส่งศรี มหาสวัสดิ์, ทวีศักดิ์ ทรงศิริกุล และไมตรี ดวงสวัสดิ์.2526.การสะสมโลหะหนักในปลาที่เป็นอาหารในย่านป่าไม้ชายเลน. วารสารการประมง 36(6) : 541-547.

สุภาพร แก้วบุบผา. 2552. ระดับแคดเมียมในทรัพยากรประมงจากอ่าวเบงกอลและทะเลอันดามัน (น่านน้ำพม่า) และการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุรกาญจน์ ไพชำนาญ, ยุพดีชัย สุขสันต์, วรรณชไม การถนัด และบุญส่ง ไกรศรพรสรร. 2554. พิษเฉียบพลันของสังกะสีออกไซด์ต่อปลานิลแดง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 19(1): 19-26.

สำนักวิจัยและพัฒนาประมงทะเล. ม.ป.ป. ปลาทูน่า. กรมประมง. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://www.fisheries.go.th/marine/KnowladgeCenter/knowledge/tuna/tuna.html. (สืบค้นเมื่อ 6 มกราคม 2557).

หฤทัย อภัยรัตน์. 2552. ระดับของปรอทที่ปนเปื้อนในทรัพยากรประมงจากทะเลอันดามันและทะเลเซเลเบส และการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

หรรษา จรรย์แสง และอดิสรณ์ มนต์วิเศษ. 2546. นิเวศในทะเล. สาระวิทยาศาสตร์ทางทะเล. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 356 หน้า.

อภิรดี เมืองเดช. 2545. ปริมาณโลหะหนักในหอยแครง *(Anadara granosa)* บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง.วารสารวิทยาศาสตร์. 56 : 312-323

อรพินท์ จันทร์ผ่องแสง. 2549. ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในเนื้อปลาทูน่าจากมหาสมุทรอินเดีย. สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีประมงทะเลลึก กรมประมง.

Agusa, T., T. Kunito, A. Sudaryanto, I. Monirith, 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. Environmental Pollution. 145: 766-777.

Agusa, T., T. Kunito, G. Yasunaga, H. Iwata, A. Subramanian, A. Ismail and S. Tanabe. 2005. Concentrations of trace elements in marine fish and its risk assessment in Malaysia. Marine Pollution Bulletin. 51: 896-911.

Alloway, B.J. (ed.). 1990. Heavy Metals in Soils. Blackie and Son, Glasgow.

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC (Association of Official Analytical Chemists) Metal and other Element.

Burger, J. and M. Gochfeld. 2005. Heavy metals in commercial fish in New Jersey. Environmental Research. 99(3): 403–412.

Chester, R. and H. Voutsinon. 1981. The initial assessment of trace metal pollution in Coastal sediments. Marine Pollution Bulletin. 12(3): 84-91.

Eng, C.T., J.N. Pawand and F.Y. Guarin. 1989. The environmental impact of aquaculture and the effects of pollution on coastal aquaculture development in Southeast Asia. Marine Pollution Bulletin. 20: 335-343.

EU. 2001. Commission Regulation as regards heavy metals, Directive 2001/22/EC, No: 466/2001.

EU. 2006. "European Commission Regulation .EC. No. 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs" Official Journal of the European Union. L 364/5 - 364/24.

FAO. 2005. Food Security Statistics. Available from URL: http://www.fao.org/faostat/foodsecurity/ index_en.htm. (Accessed on 22 October 2012).

FAO. 2014a. *Thunnus obesus* (Lowe, 1839). Available from URL : http://www.fao.org/fishery/species/2498/en. (Accessed on 27 December 2012).

FAO. 2014b. *Thunnus albacares* (Bonnaterre, 1788). Available from URL : http://www.fao.org/fishery/species/2497/en. (Accessed on 27 December 2012).

FAO. 2014c. *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus, 1758). Available from URL : http://www.fao.org/fishery/species/2494/en. (Accessed on 27 December 2012).

FAO/WHO. 1995. Application of Risk Analysis to Food Standard issue. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation, Geneva, Switzerland 13-17 March 1995.

Farkas, A., J. Salanki, A. Specziar and I. Varanka. 2001. Metal Pollution as Health Indicatcator of Lake Ecosystems. International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health. 14 (2): 163-170.

Froese, R. and D. Pauly. (eds.). 2009. FishBase. Available from URL: www. fishbase.org.version. (Accessed on 25 October 2012).

Harrison, R. M. and D. P. H. Laxen. 1981. The physicochemical speciation of Cd, Pb, Cu, Fe and Mn in the final effluent of a sewage treatment works and its impact on speciation in the receiving river. Water Research. 15(1): 1053-1065.

Hudson, R. J. M., S. A. Gherini, C. J. Wastras and D. P. Porcella. 1992. "Modeling the biogeochemical cycle of mercury in take: The mercury cycling Model (MCM) and its application to the MTL Lake", In Proceedings of the 1992 Conference on Mercury as a Global Pollutant, Monterey, California.

JECFA. 2005. Summary of Evaluations Performed by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives – Cadmium. Available from URL: http://www.inchem.org/documents/j (Accessed on 25 October 2012).

Kofi, A.D. 2002. Public Health Risk Assessment for Human Exposure to Chemicals; Environmental Pollution, Vol. 6. Kluwer Academic Publishers, London.

Korkmaz, G. F., R. Keser, N. Akçay and S. Dizman. 2012. Radioactivity and heavy metal concentrations of some commercial fish species consumed in the Black Sea Region of Turkey. Chemosphere. 87(4): 356-61.

Licata, P., D. Trombetta, M. Cristanil, C. Naccari, D. Martino, M. Calo. and F. Naccari. 2005. Heavy metals in liver and muscle of bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) caught in the straits of messina (sicily, Italy). Environmental Monitoring and Assessment. 107 : 239-248.

Mol, S., O. Ozden and S. Karakulak. 2012. Levels of Selected Metals in Albacore (*Thunnus alalunga*, Bonnaterre, 1788) from the Eastern Mediterranean. Journal of Aquatic Food Product Technology. 21(2): 111–117.

Percın, F., O. Sogut, C. Altınelataman and M. Soylak. 2011. Some trace elements in front and rear dorsal ordinary muscles of wild and farmed bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L. 1758) in the Turkish part of the eastern Mediterranean Sea. Food and Chemical Toxicology. 49(4): 1006–1010.

Portmann, J.E. 1972. Marine pollution in Japan. 624 p. In Marine Pollution and Sea Lift. M. Mario, ed. London: Food and Agriculture Organization of the United Nation.

Pradit, S., G. Wattayakorn, S. Angsupanich, M. Leemaker. and W. Baeyens. 2010. Distribution of trace elements in sediments and biota of Songkhla Lake, Southern Thailand. Water Air Soil Pollution. 206(1) : 155–174.

Premier entaneer and supply, ม.ป.ป. นิกเกิลคืออะไร. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://www.premierentaneer.com/Page_Article/pa_130814.php. (สืบค้นเมื่อ 3 เมษายน 2557).

Sadiq, M. 1992 . Toxic Metal Chemistry in Marine Environments. Marcel Dekker, New York.

Salomon, W. and U. Forstner. 1984. Metals in the Hydrocycle. Springer - Verlag. Berlin Heidelberg:

Storelli, M.M., G. Barone, G. Cuttone, D. Giungato. and R. Garofalo. 2010. Occurrence of toxic metals (Hg, Cd and Pb) in fresh and canned tuna: Public health implications. Food and Chemical Toxicology. 48 : 3167-3170.

US-EPA. 1989. Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I : Human Health Evaluation Manual Part A. US-EPA/540/1-89/002 December 1989.

US-EPA. 1999. Contaminant persistence and mobility factors. United States Environmental Protection Agency, Office of Ground Water and Drinking Water. http:// www.US-EPA.gov/SAFEWATER/uic/class5.htm (Accessed on 6 November 2012).

US-EPA. 2005. Risk-Based Concentration Table, April, 2005. US-EPA, Region 3, Philadelphia, PA. http://www.US-EPA.gov/reg3hwmd/risk/human/index.htm (Accessed on 5 September 2012).

US-EPA. I.S.U. 2008. Environmental Protection Agency, Integrated Risk Information System. CRC.

Uysal, K., Y. Emre and E. Kose. 2008. The determination of heavy metal accumulation ratios in muscle, skin and gills of some migratory fish species by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES) in Beymelek Lagoon (Antalya/Turkey). Microchemical Journal. 90(1): 67-70.

Van Nostrand's Scientific Encyclopedia. 1976. Douglas M. Comsidine 7, 5th ed. New York: Van Nostrand Reinhold C.

Vizzini, S., C. Tramati and A. Mazzola 2010. Comparison of stable isotope composition and inorganic and organic contaminant levels in wild and farmed bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, in the Mediterranean Sea. Chemosphere 78(10): 1236–43.

Waldron, H. A. and D. Stofen. 1974. Sub-clinical Lead Poisoning. In Lead Pollution Causes and Control. R.M. Harrison and D.P.H. Laxen, eds. 224-236 p. London: Chapman and Hall.

Zhang, Z., L. He, J. Li, and Z-bin. Wu. 2007. Analysis of Heavy Metals of Muscle and Intestine Tissue in Fish – in Banan Section of Chongqing from Three Gorges Reservoir, China. International Journal of Environmental Research and Public Health. 16(6): 949-958.

# ภาคผนวก

# ภาคผนวก ก

# เรือสำรวจและเครื่องมือประมงที่ใช้ในการทำประมง

## ก-1. เรือสำรวจประมงมหิดล

เรือสำรวจประมงมหิดล เป็นเรือสำรวจและฝึกอบรมทางการประมงอวนล้อมจับปลาทูน่า มีคุณลักษณะทางเรือ ดังนี้ มีระวางขับน้ำ 1,270 ตันกรอส น้ำหนักเรือ (Net Tonnage) 383 ตัน ความยาวตลอดลำ (length overall) 62.53 เมตร ความกว้าง (breadth) 12.5 เมตร ความลึก (Depth to Upper Deck) 7.8 เมตร กินน้ำลึก (Draft designed) 4.8 เมตร แรงม้าความเร็วสูงสุด (Maximum Speed) 16.2 นอต ความเร็วปกติ 15.0 นอต (Sea Speed) ความจุถังน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Oil Tank) 370 ลบ.เมตร ความจุถังน้ำจืด (FRESH WATER TANK) 80 ลบ.เมตร ขนาดของห้องเย็นเก็บปลา (FISH HOLD) 570 ลบ.เมตร เครื่องจักรใหญ่ (main engine) เป็นเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 3,200 แรงม้า ระยะทำการ (endurance) 10,000 ไมล์ทะเล เครื่องมือทำการประมงของเรือ คือ อวนล้อมปลาทูน่าขนาดความยาว 1,800 เมตร ลึก 280 เมตร เป็นอวนไนลอนแบบไม่มีปม ห่วงมานแบบ Snaper Purse Rings (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, ม.ป.ป.)

รูปที่ ก-1 เรือสำรวจประมงมหิดล

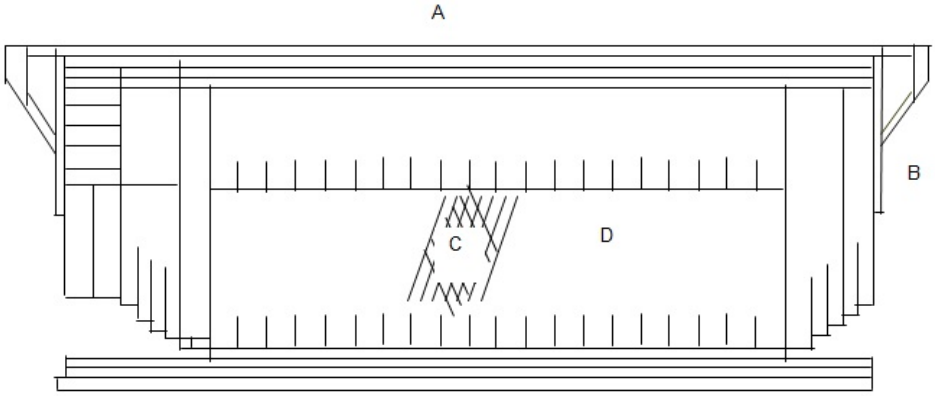
## ก-2. เครื่องมือทำการประมง

2.1 เครื่องมืออวนล้อมจับปลาทูน่า (Tuna Purse Seine Net) เป็นอวนล้อมขนาดใหญ่ ใช้จับปลาผิวน้ำขนาดใหญ่ โดยเฉพาะกลุ่มปลาทูน่า มีขนาดความยาว 1,650 เมตร ลึก 280 เมตร เนื้ออวนเป็นด้ายไนล่อน ย้อมเรซินและสีดำ ทอแบบไม่มีปม ขนาดตาอวน 10 เซนติเมตร

2.2 แพล่อปลา (FAD : Fish Aggregating Device) เป็นอุปกรณ์ที่ทำด้วยไม้ไผ่เพื่อเป็นที่รวมฝูงของปลาผิวน้ำและปลาทูน่า โดยเลียนแบบวัตถุลอยน้ำตามธรรมชาติ

2.3 เครื่องมือค้นหาฝูงปลา (Acoustic Equipments) เป็นเครื่องมือที่ติดตั้งในเรือใหญ่และเรือเล็ก เพื่อใช้ตรวจสอบและค้นหาฝูงปลา ประกอบด้วย เครื่องหาฝูงปลาในแนวดิ่ง (Echo Sounder)

2.4 ทุ่นวิทยุ (Radio Buoy) ใช้ผูกติดกับแพล่อปลา ทำหน้าที่ส่งสัญญาณเป็นคลื่นวิทยุให้กับเรือใหญ่ เพื่อสะดวกในการค้นหาแพที่ได้ปล่อยให้เคลื่อนลอยเป็นอิสระอยู่ในมหาสมุทร (กรมประมง, 2555ข)




รูปที่ ก-2 รูปแบบล้อมจับปลาทูน่า (tuna purse seine net) ประจำเรือสำรวจประมงมหิดล

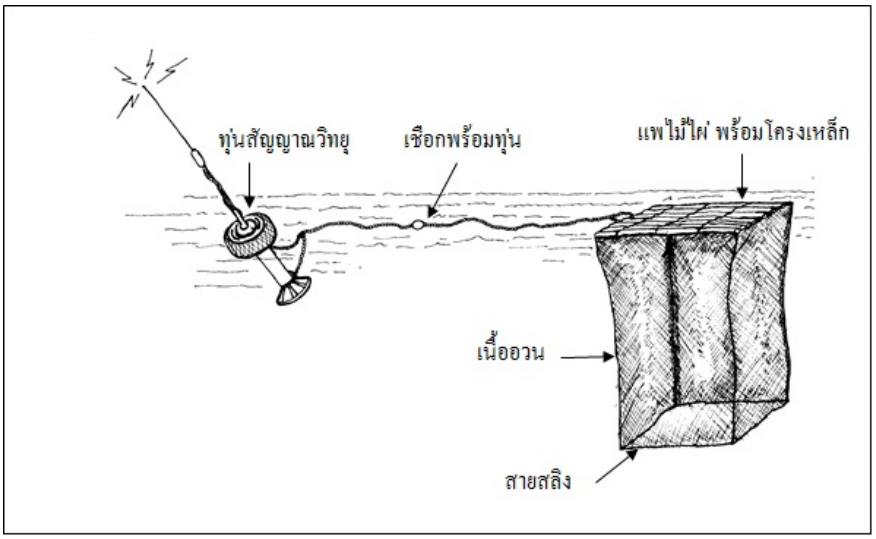
A : ความยาวสายทุ่น 1,650 เมตร

B : ความลึก 280 เมตร

C : ขนาดตาอวน 10 เซนติเมตร แบบไม่มีปม

D : เนื้ออวนไนล่อน ย้อมเรซินและสีดำ

ที่มา : (กรมประมง, 2555ก)




รูปที่ ก-3 แพล่อปลาแบบลอยอิสระพร้อมทุ่นสัญญาณวิทยุ

ที่มา : (กรมประมง, 2555ก)

# ภาคผนวก ข

## เครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนัก Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy (ICP-MS)

ICP-MS เป็นเครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนักที่สามารถจำแนก และวิเคราะห์ชนิดของธาตุต่างๆ ในสิ่งแวดล้อมได้หลายชนิดไม่ว่าจะเป็นดิน น้ำ หิน แร่ พืช หรือสัตว์ แม้ว่าตัวอย่างเหล่านี้จะมีองค์ประกอบของธาตุในปริมาณที่แตกต่างกัน เนื่องจาก ICP-MS มี detection limit ต่ำและมีความไวสูง สามารถตรวจสอบผลที่เกิดจากการรบกวนของอะตอมได้ในระดับที่ต่ำมากและสามารถระบุความเข้มข้นของธาตุได้ระดับ part per billion (ppb) หรือ part per trillion นิยมใช้ในการวิเคราะห์แบบหลายธาตุ (multi-element)

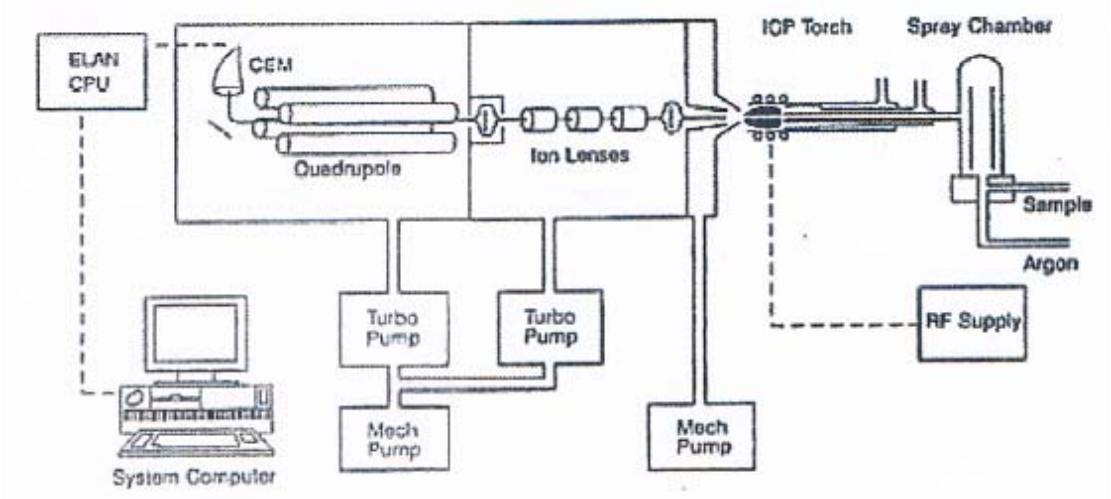
### องค์ประกอบของเครื่อง

1. Nebulizer
2. Spray chamber
3. Injector
4. Torch
5. Interface ประกอบด้วย Sample cone และ Skimmer cone
6. The Ion Lens
7. Quadrupole
8. The Electron Multiplier Detector

### หลักการ

สารละลายที่ทำการวิเคราะห์จะถูกส่งเข้าเครื่อง โดยสารละลายจะถูกเปลี่ยนให้เป็นละอองลอย (aerosol) ด้วยกระบวนการ nebulization แล้วสารละลายตัวอย่างที่เป็นละอองนี้จะถูกพาเข้าพลาสมาของ ICP torch ซึ่งพลาสมาเผาตัวอย่างให้แตกตัวเป็นอะตอมหรือไอออน โดยใช้ Argon plasma (อุณหภูมิประมาณ 7,000-10,000 K) จากนั้นไอออนที่เกิดขึ้นในพลาสมาจะมาที่อินเทอร์เฟส (Interface) ซึ่งประกอบด้วย Sample cone และ Skimmer cone ตามลำดับ ผลจากรูปทรงของอินเทอร์เฟสนี้ทำให้ความดันลดลง จากความดันบรรยากาศมาสู่ความดันสุดท้าย ซึ่งมีค่าประมาณ $10^{-5}$ - $10^{-7}$ Torr ไอออนเดินทางผ่านอินเทอร์เฟสมาที่ระบบ ion optic ซึ่งทำหน้าที่ปรับเส้นทางการเดินของไอออน เพื่อให้ได้ความไวในการตรวจวัดสูงสุด องค์ประกอบที่เป็นกลางกล่าวคือ ที่ไม่มีประจุ จะถูกกำจัดออกจากลำอนุภาคในขั้นนี้โดยปั๊มสุญญากาศ หรือการชนกับ photon ทำให้มีแต่ไอออนเพียงลำพังที่สามารถผ่านไปที่ mass spectrometer จากนั้นจึงแยก

ไอออนออกเป็นส่วนๆ โดยอาศัยความแตกต่างของสัดส่วนมวลต่อประจุ (m/z) ของไอออนแต่ละชนิด โดยใช้ quadrupole ก่อนตรวจวัดปริมาณด้วย electron multiplier detector โดยจะวัดออกมาเป็นสัญญาณซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นความเข้มข้นได้ ในการควบคุมแต่ละขั้นตอนตลอดจนข้อมูลที่ได้จะถูกพิมพ์หรือเก็บไว้ด้วยคอมพิวเตอร์ (รูปที่ ข-1) (บริษัท Perkin Elmer, 2008)

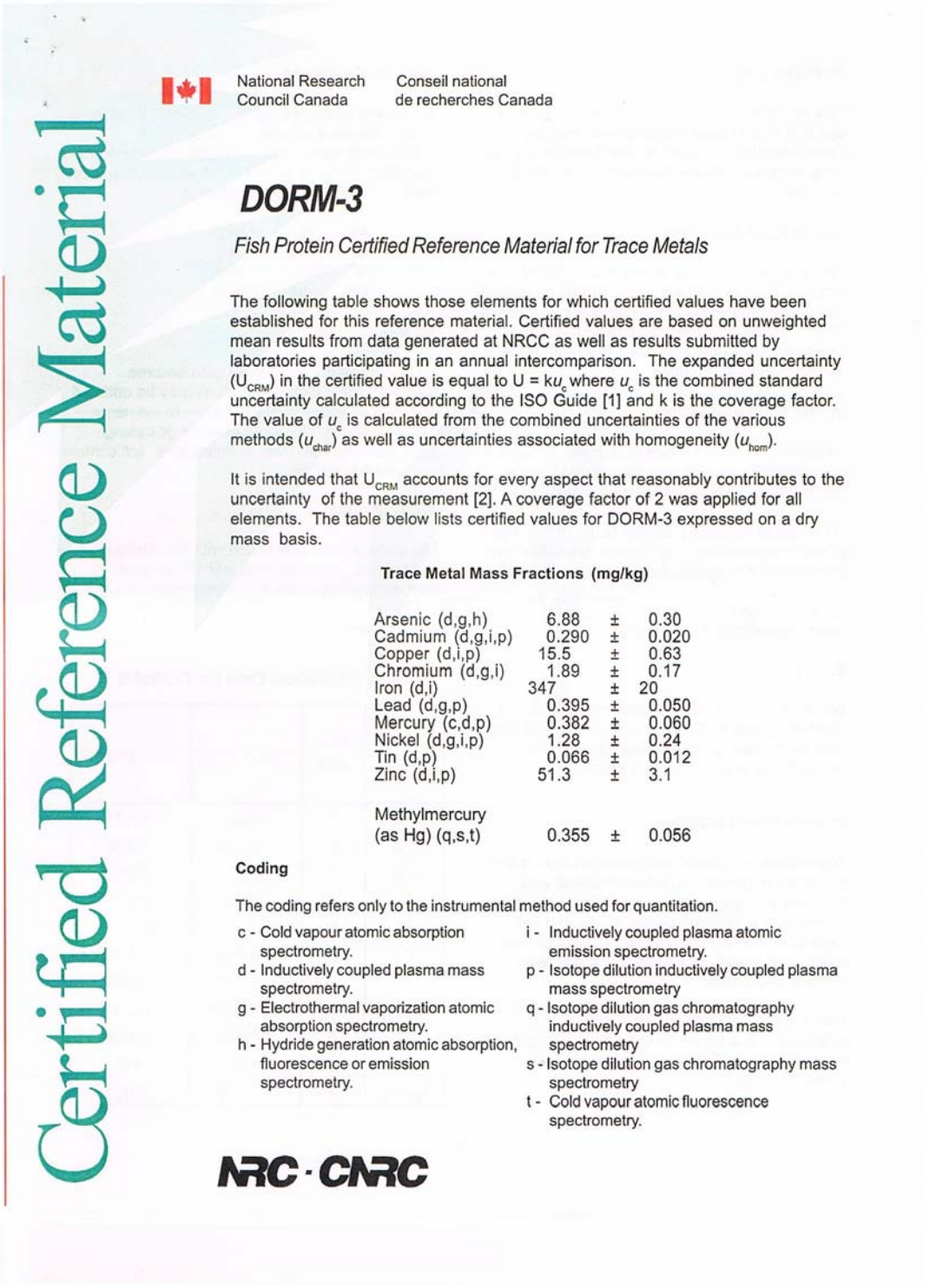



รูปที่ ข-1 องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy (ICP-MS)

ที่มา : บริษัท Perkin Elmer, 2008

## ภาคผนวก ค

**ใบรับรองการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน (Certified Reference Material: CRM) DORM-3 (Fish Protein Certified Reference Material for Trace Metals)**



Certified Reference Material

National Research Council Canada | Conseil national de recherches Canada

# DORM-3

*Fish Protein Certified Reference Material for Trace Metals*

The following table shows those elements for which certified values have been established for this reference material. Certified values are based on unweighted mean results from data generated at NRCC as well as results submitted by laboratories participating in an annual intercomparison. The expanded uncertainty ($U_{CRM}$) in the certified value is equal to $U = ku_c$ where $u_c$ is the combined standard uncertainty calculated according to the ISO Guide [1] and k is the coverage factor. The value of $u_c$ is calculated from the combined uncertainties of the various methods ($u_{char}$) as well as uncertainties associated with homogeneity ($u_{hom}$).

It is intended that $U_{CRM}$ accounts for every aspect that reasonably contributes to the uncertainty of the measurement [2]. A coverage factor of 2 was applied for all elements. The table below lists certified values for DORM-3 expressed on a dry mass basis.

**Trace Metal Mass Fractions (mg/kg)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Arsenic (d,g,h) | 6.88 | ± | 0.30 |
| Cadmium (d,g,i,p) | 0.290 | ± | 0.020 |
| Copper (d,i,p) | 15.5 | ± | 0.63 |
| Chromium (d,g,i) | 1.89 | ± | 0.17 |
| Iron (d,i) | 347 | ± | 20 |
| Lead (d,g,p) | 0.395 | ± | 0.050 |
| Mercury (c,d,p) | 0.382 | ± | 0.060 |
| Nickel (d,g,i,p) | 1.28 | ± | 0.24 |
| Tin (d,p) | 0.066 | ± | 0.012 |
| Zinc (d,i,p) | 51.3 | ± | 3.1 |
| Methylmercury (as Hg) (q,s,t) | 0.355 | ± | 0.056 |

**Coding**

The coding refers only to the instrumental method used for quantitation.

c - Cold vapour atomic absorption spectrometry.
d - Inductively coupled plasma mass spectrometry.
g - Electrothermal vaporization atomic absorption spectrometry.
h - Hydride generation atomic absorption, fluorescence or emission spectrometry.
i - Inductively coupled plasma atomic emission spectrometry.
p - Isotope dilution inductively coupled plasma mass spectrometry
q - Isotope dilution gas chromatography inductively coupled plasma mass spectrometry
s - Isotope dilution gas chromatography mass spectrometry
t - Cold vapour atomic fluorescence spectrometry.

NRC · CNRC

### Intended Use

This reference material is primarily intended for use in the calibration of procedures and the development of methods for the determination of trace metals in marine fauna and materials of similar matrix.

### Storage and Sampling

This material should be stored in a cool and dark location. Prior to use, the bottle should be rotated and shaken to ensure the contents are well mixed. The bottle should be tightly closed thereafter. Certified values are based on a minimum 0.250 g sub-sample from the bottle.

### Instructions for Drying

Determination of dry mass should be performed on a separate sample to avoid contamination. DORM-3 can be dried to constant mass by:

(1) drying at reduced pressure (e.g., 50 mm Hg) at room temperature in a vacuum desiccator over magnesium perchlorate for 24 hours;

(2) vacuum drying (about 0.5 mm Hg) at room temperature for 24 hours.

### Expiry

Based on sample stability noted on page 3, the certified values for DORM-3 are considered valid until September, 2016, provided the CRM is handled and stored as noted above.

### Preparation of DORM-3

This reference material was prepared from a fish protein homogenate. A uniform material was produced using an enzyme hydrolysis procedure subsequent to removal of the bones and the majority of the oil. The protein hydrolysate was spray dried, sieved to pass a 297 µm screen, blended and bottled.

After bottling the material was sterilized by subjecting it to a minimum dose of 25 kGy gamma irradiation at the Canadian Irradiation Centre, Laval, Québec.

### Information values

Due to the scatter of results, certified values for Ag and Se were not calculated. A lack of independent values precluded the determination of a certified value for Al and Mn. Information values for these analytes are thus given below.

| | | |
|---|---|---|
| Ag | 0.04 | mg/kg |
| Se | 3.3 | mg/kg |
| Al | 1700 | mg/kg |
| Mn | 4.6 | mg/kg |

### Updates

It is anticipated that as more data become available, the established values may be updated and reliable values assigned to more elements. Our web site at http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/services/inms/reference-materials.html will contain any new information.

### Uncertainties

The uncertainties associated with the various methods ($u_{char}$) as well as uncertainties associated with homogeneity ($u_{hom}$) are listed in Table 2. The principles used to calculate these values are described on page 3.

**Table 2. Statistical Data for DORM-3**

| | data sets | $u_{char}$, (mg/kg) | $u_{hom}$, (mg/kg) |
|---|---|---|---|
| As | 6 | 0.05 | 0.14 |
| Cd | 8 | 0.006 | 0.008 |
| Cu | 7 | 0.20 | 0.26 |
| Cr | 5 | 0.04 | 0.07 |
| Fe | 5 | 5 | 9 |
| Pb | 5 | 0.015 | 0.020 |
| Hg | 7 | 0.009 | 0.029 |
| Ni | 6 | 0.08 | 0.08 |
| Sn | 5 | 0.004 | 0.005 |
| Zn | 7 | 1.1 | 1.0 |
| MeHg | 3 | 0.009 | 0.027 |

## Certified value

DORM-3 was provided as an unknown sample to a group of laboratories participating in an annual intercomparison for trace metals in marine samples sponsored by NRCC [3]. Data generated by NRCC were also included in the pool of intercomparison results.

Laboratories were requested to provide triplicate dry weight values using an analytical method of choice based on total digestion of the sample.

Data were returned to NRCC for evaluation. The results from a select sub-group of participants were used for the certification of DORM-3. Such laboratories were selected based on their performance history in previous intercomparisons. NIST SRM 2976, Mussel Tissue served as a quality control sample.

The certified values were calculated from the unweighted means of the results of the selected laboratories [4]. Data were first examined for outliers using the Dixon and Grubb's Tests. Testing of variances was conducted using the Cochran and Bartletts Tests.

Included in the overall uncertainty estimate are uncertainties in the batch characterisation ($u_{char}$), uncertainties related to possible between-bottle variation ($u_{hom}$) as well as instability derived from effects relating to long-term storage and transport ($u_{stab}$). Expressed as standard uncertainties these components can be combined as:

$$u^2_{c(CRM)} = u^2_{char} + u^2_{hom} + u^2_{stab} \qquad (1)$$

Results for the various statistics used to calculate the certified values are shown in Table 2.

## Characterisation

The characterisation uncertainties ($u_{char}$) were calculated in accordance with equation 2, where s is the standard deviation of the means and p is the number of mean results included in the calculation [4].

$$u_{char} = \frac{s}{\sqrt{p}} \qquad (2)$$

## Homogeneity

The homogeneity components of the uncertainties in the certified values were derived according to the recommendation of an international study group [4]. The material was tested for homogeneity at NRCC using ICP-MS. Results from sub-samples (0.250 g) from twelve bottles were evaluated using ANOVA.

In certain situations the inhomogeneity contribution to uncertainty, $u_{hom}$, was set to the experimentally determined between-unit standard deviation ($s_{between}$) as the best estimate of the uncertainty due to between-unit heterogeneity. However, if the situation depicted in equation 3 occurred:

$$s^2_{between} < \frac{s^2_{meas}}{n} \qquad (3)$$

where $s_{meas}$ is the repeatability standard deviation for the method used in the homogeneity assessment and n is the number of replicates per unit, then $u_{hom}$ was calculated according to:

$$u_{hom} = \sqrt{\frac{s^2_{meas}}{n}} \qquad (4)$$

It is recognized that this is not an ideal situation, as it represents a worst case scenario by suggesting the homogeneity could be as poor as the precision of the measurement technique selected for homogeneity assessment.

## Stability

The predecessor CRM, DORM-2, has been periodically analyzed for more than nine years and found to be both physically and chemically stable over this time interval. We expect similar results for DORM-3. Uncertainty components for long and short term stability were considered negligible and are thus not included in the uncertainty budget.

**Acknowledgements**

The following staff members of the Institute for National Measurement Standards, National Research Council Canada, participated in the certification: V.J. Boyko, C. Scriver, P. Maxwell, R. Sturgeon, L. Yang and S. Willie.

The following laboratories participated in the certification of DORM-3:

Australian Institute of Marine Sciences
Queensland, 4810, Australia
Frank Tirendi, Cassie Payn and Stephen Boyle

Australian Nuclear Science and Technology Organisation
Environment Laboratory
Lucas Heights, NSW, Australia
David Hill, Henri Wong

Battelle Pacific Northwest
Sequim, WA
Eric Crecelius, Laurie Niewolny, Mary Ann Deuth, and Brenda Lasorsa

NOAA, National Ocean Service
Hollings Marine Laboratory
Charleston, SC
Dan Bearden, Aaron Dias

Texas A. & M.
College of Veterinary Medicine
Trace Element Research Laboratory
College Station, TX
Robert Taylor, Gerald Bratton and Bryan Brattin

Texas Parks and Wildlife
Environmental Contaminants Laboratory
San Marcos, TX
Gary Steinmetz

U.S. Customs Laboratory
Savannah, GA
Ralph Smith

Canada

**References**

[1] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, ISBN 92-67-10188-9, 1st ed. ISO, Geneva, Switzerland (1993).

[2] J. Pauwels, A. van der Veen, A. Lamberty, H. Schimmel, Evaluation of uncertainty of reference materials.
Accred Qual Assur (2000) 5:95-99.

[3] S. Willie, Fifteenth Intercomparison for Trace Elements in Marine Sediments and Biological Tissues, NRC No. 46670, June 2004.

[4] S.L.R. Ellison, S.Burke, R.F.Walker, K. Heydorn, M.Månsson, J.Pauwels, W.Wegscheider, B.te Nijenhuis, Uncertainty for reference materials certified by interlaboratory study.
Accred Qual Assur (2001) 6:274–277.

Certificate issued February 2007
Total Hg revised January 2008
MeHg added January 2008

*Results presented in this certificate are traceable to the SI through gravimetrically prepared standards of established purity and international measurement intercomparisons. As such, they serve as suitable reference materials for laboratory quality assurance programs, as outlined in ISO/IEC 17025. This CRM is registered at the Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) in Appendix C of the Comité International des Poids et Mesures database listing Calibration and Measurement Capabilities accepted by signatories to the Mutual Recognition Arrangement of the Metre Convention.*

***Comments, information and inquiries should be addressed to:***

**Dr. Zoltan Mester**
**National Research Council Canada**
**Institute for National Measurement Standards**
**M-12, 1500 Montreal Road**
**Ottawa, Ontario, Canada K1A 0R6**

Telephone (613) 993-2359
Facsimile (613) 993-2451
E-mail crm.inms@nrc-cnrc.gc.ca

*Également disponible en français sur demande.*

**ภาคผนวก ง**

**รายละเอียดของชนิดปลาทูน่า**

| | |
|---|---|
| ชื่อวิทยาศาสตร์ | *Thunnus obesus* |
| Common name | Bigeye tuna |
| ชื่อสามัญ | ปลาทูน่าตาโต |

รูปที่ ง-1 ปลาทูน่าตาโตที่จับได้บริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90° E

ปลาทูน่าตาโตเป็นปลาทูน่าขนาดใหญ่มีลักษณะสำคัญคือ ส่วนที่ลึกที่สุดของลำตัวอยู่บริเวณกึ่งกลางของครีบหลังอันแรก มีลักษณะคล้ายปลาทูน่าครีบเหลือง แต่ลำตัวอ้วนสั้นกว่า ครีบหลังอันแรกแยกออกจากครีบหลังอันที่สองอย่างชัดเจน มีจำนวนซี่กรองเหงือกจำนวน 23 – 31 ซี่ ครีบหลังอันที่สองมีขนาดใกล้เคียงกับครีบหลังอันแรก ครีบหูมีความยาวถึงกึ่งกลางของฐานครีบหลังอันที่สอง ปลายครีบหางไม่มีแถบแนวดิ่งสีขาว ด้านล่างของตับจะเป็นลาย มีตาขนาดใหญ่ ส่วนหลังเป็นสีน้ำเงินดำ แล้วค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินทางด้านล่างของลำตัว ในปลาทูน่าตาโตที่โตเต็มวัยด้านล่างของลำตัวไม่มีจุดสีเข้มเป็นแถวตามแนวดิ่ง จุดเหล่านี้จะพบในปลาทูน่าตาโตที่มีขนาดเล็ก ซึ่งทำให้ยากในการแยกปลาทูน่าตาโตจากปลาทูน่าครีบเหลืองในขณะวัยอ่อน และที่ปลายของครีบเล็กจะเป็นสีเหลืองสด (FAO, 2014a)

ปลาทูน่าตาโตมีการอพยพย้ายถิ่นอยู่ตลอดเวลา ชอบอาศัยอยู่ต่ำกว่าระดับเทอร์โมไคลน์ เล็กน้อยที่อาศัยอยู่ในมหาสมุทรในเขตร้อน ระหว่างลองกิจูด 180 องศาตะวันตก ถึง 180 องศาตะวันออก ละติจูด ที่ 45 องศาเหนือ ถึง 43 องศาใต้ โดยจะว่ายน้ำตั้งแต่ผิวน้ำจนถึง 250 เมตร อุณหภูมิระหว่าง 13-29 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่ชอบจะอยู่ที่ 17-22 องศาเซลเซียส พบว่าปลาทูน่าตาโตจะอยู่ในระดับที่ลึกกว่าปลาทูน่าครีบเหลือง การแพร่กระจายของปลาชนิดนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะภูมิอากาศตามฤดูกาลที่มีผลต่ออุณหภูมิของน้ำและชั้นเทอร์โมไคลน์ ซึ่งพบว่าจะแพร่กระจายทั่วไปในมหาสมุทรแอตแลนติก มหาสมุทรแปซิฟิก และมหาสมุทรอินเดีย ขณะเป็นลูกปลาวัยอ่อนและปลาขนาดเล็กจะรวมฝูงอยู่บริเวณผิวน้ำซึ่งอาจเป็นชนิดเดียวหรืออาจรวมกับปลาทูน่าชนิดอื่นหรืออยู่กับขยะที่ล่องลอยในมหาสมุทร เมื่อเต็มวัยจะอยู่ลึกลงไป (สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีประมงทะเลลึก, ม.ป.ป.) อาหารจะเป็นพวกปลาชนิดต่างๆ รวมทั้งพวกกุ้ง หมึก และปู โดยจะหากินอาหารทั้งเวลากลางวันและกลางคืน โดยทั่วไปพบขนาดประมาณ 60 - 180 เซนติเมตร เริ่มเข้าสู่ภาวะโตเต็มวัยเมื่อมีความยาว 100 - 130 เซนติเมตร มีรายงานน้ำหนักสูงสุดที่เคยพบ 210 กิโลกรัม พบตัวยาวที่สุด 250 เซนติเมตร และอายุสูงสุดที่มีรายงานไว้คือ 11 ปี (Froese and Pauly, 2009) ปลาทูน่าตาโตจะนิยมบริโภคเป็นปลาดิบมากกว่าจะนำมาบรรจุกระป๋อง เพราะเมื่อเนื้อปลาโดนความร้อนแล้วจะไม่เป็นสีขาว โดยนำมารับประทานแทนปลาทูน่าครีบน้ำเงิน ปัจจุบันมีการควบคุมปริมาณการจับอย่างเข้มงวด ปลาทูน่าตาโตจะจับได้โดยเครื่องมือประมงอวนล้อมซึ่งมักจะจับได้ปลาทูน่าตาโตที่โตเต็มวัยขนาดเล็กและปลาทูน่าวัยอ่อนหรืออาจจับได้ด้วยเบ็ดลาก เบ็ดตวัดปลาทูน่า แต่การทำเบ็ดราวปลาทูน่า เป็นวิธีทำการประมงที่สำคัญที่สุดในการจับปลาทูน่าตาโตขนาดใหญ่ที่อาศัยอยู่น้ำลึก (สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีประมงทะเลลึก, ม.ป.ป.)

| | |
|---|---|
| ชื่อวิทยาศาสตร์ | *Thunnus albacares* |
| Common name | Yellowfin tuna |
| ชื่อสามัญ | ปลาทูน่าครีบเหลือง |

รูปที่ ง-2 ปลาทูน่าครีบเหลืองที่จับได้บริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90° E

ปลาทูน่าครีบเหลืองเป็นปลาที่มีขนาดใหญ่ มีลักษณะที่เห็นได้ชัดคือ มีส่วนที่ลึกที่สุดของลำตัวปลาอยู่บริเวณกึ่งกลางของครีบหลังอันแรก ครีบหลังอันแรกแยกออกจากครีบหลังอันที่สองอย่างชัดเจน ครีบหูมีความยาวถึงกึ่งกลางของฐานครีบหลังอันที่สองในปลาทูน่าขนาดใหญ่มากๆ ครีบหลังอันที่สองและครีบหางมีขนาดยาวมาก (อาจจะยาวได้ถึง 28% ของความยาวของปลาทั้งตัวจรดโคนหาง) เมื่อผ่าท้องออกดูจะพบว่าด้านล่างของตับจะไม่ลาย มีถุงลม ไม่มีลวดลายปรากฏอยู่บนผิวท้อง ส่วนหลังเป็นสีน้ำเงินเมทัลลิกเข้ม แล้วค่อยๆเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และสีน้ำเงินด้านล่างของลำตัว ปลาทูน่าครีบเหลืองขนาดใหญ่จะพบจุดสีเข้มส่วนท้องเป็นแถวตามแนวดิ่งประมาณ 20 แถว ครีบหลังและครีบก้นมีสีเหลืองสด มีครีบเล็กสีเหลืองจำนวน 7-10 คู่ และที่ปลายของครีบเล็กจะเป็นสีดำ (FAO, 2014b)

ปลาทูน่าครีบเหลืองเป็นปลาที่มีการอพยพย้ายถิ่นอยู่ตลอดเวลา เป็นปลาที่อาศัยอยู่ในทะเลเขตร้อนและอาศัยอยู่บริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ ที่อุณหภูมิของน้ำ 15-31 องศาเซลเซียส บริเวณ ลองกิจูด 180 องศาตะวันตก ถึง 180 องศาตะวันออก ละติจูด 52 องศาเหนือ ถึง 45 องศาใต้ อาศัยอยู่ตั้งแต่ระดับผิวน้ำจนถึงน้ำลึกที่ประมาณ 250 เมตร โดยปกติจะอยู่ในระดับผิวน้ำจนถึงระดับลึก 100 เมตรโดยจะแพร่กระจายอยู่ทั่วไป แต่ไม่พบในบริเวณทะเลเมดิเตอเรเนียน มักอาศัยอยู่เหนือระดับชั้นเทอร์โมไคลน์ บางครั้งอยู่กับขยะที่ล่องลอยในมหาสมุทร หรือพบรวมฝูงอยู่กับพวกปลาโลมา อาหาร

จะเป็นพวกปูและกุ้ง ปลา และหมึก ปลาทูน่าครีบเหลืองจะมีความอ่อนไหวกับปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำที่มีปริมาณต่ำ (สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีประมงทะเลลึก, ม.ป.ป.)

ขนาดของปลาทูน่าครีบเหลืองที่เคยจับได้และมีรายงานไว้น้ำหนักสูงสุด 200 กิโลกรัม ยาวสุดที่มีเคยมีการรายงานไว้ คือ 239 เซนติเมตร โดยวัดจากด้านหน้าสุดของหัวถึงส้อมหาง และอายุสูงสุด 9 ปี (Froese and Pauly, 2009) ปลาทูน่าครีบเหลืองเป็นวัตถุดิบในการทำปลาทูน่าบรรจุกระป๋อง และเป็นปลาที่นิยมรับประทานสด ความนิยมรองจากปลาทูน่าครีบยาว เนื้อปลาทูน่าครีบเหลืองจะมีสีแดง เมื่อถูกความร้อนจะกลายเป็นสีขาว เนื้อแน่นไม่ยุ่ยทำให้บรรจุกระป๋องได้ง่าย ในการจับปลาทูน่าครีบเหลืองจะจับได้ด้วยเครื่องมือประมงอวนล้อมจับปลาทูน่า เบ็ดลาก เบ็ดตวัดปลาทูน่าและอวนลอย โดยจะสามารถจับปลาทูน่าครีบเหลืองขนาดเล็กและขนาดปานกลาง แต่เบ็ดราวจะเป็นวิธีการทำประมงที่สำคัญที่สุดในการจับปลาทูน่าครีบเหลืองที่มีขนาดใหญ่ที่อาศัยอยู่ในระดับลึก (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงทะเล, ม.ป.ป.)

| | |
|---|---|
| ชื่อวิทยาศาสตร์ | *Katsuwonus pelamis* |
| Common name | Skipjack tuna |
| ชื่อสามัญ | ปลาทูน่าท้องแถบ |

รูปที่ ง-3 ปลาทูน่าท้องแถบที่จับได้บริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90° E

ปลาทูน่าท้องแถบเป็นปลาทูน่าขนาดเล็กมีลักษณะเห็นได้ชัดคือ ลำตัวเป็นรูปทรงเรียวยาวและกลม หรือลำตัวทรงแบบกระสวย ฟันซี่เล็กทรงกรวย วางตัวเป็นแถวเดียว มีจำนวนซี่กรองเหงือกจำนวน 53 – 63 ซี่ ไม่มีถุงลม มีกระดูกสันหลัง 41 ข้อปล้อง ลักษณะของสีส่วนหลังดำค่อนข้างม่วงอมน้ำเงิน ด้านข้างและส่วนท้องเป็นสีเงิน และลำตัวมีเส้นแถบสีดำทอดตามยาวกับลำตัว 4-6 แถบ หากดูจากตัวอย่างเป็นๆ แล้วจะคล้ายกับเป็นเส้นตุ่มแผลสีดำที่ไม่ต่อเนื่องกัน (FAO, 2014c)

บริเวณที่อาศัยของปลาทูน่าท้องแถบเป็นปลาที่อพยพย้ายถิ่น อาศัยอยู่ห่างจากฝั่ง โดยจะอยู่ในมหาสมุทรในเขตร้อนและอบอุ่น ระหว่างลองกิจูด 180 องศาตะวันตก ถึง 180 องศาตะวันออก ละติจูดที่ 58 องศาเหนือ ถึง 47 องศาใต้ อุณหภูมิ 15 - 30 องศาเซลเซียส ที่ระดับความลึก 0 - 260 เมตร แพร่กระจายอยู่ในมหาสมุทรเขตร้อน แต่ไม่พบด้านตะวันออกของทะเลดำและทะเลเมดิเตอเรเนียน ซึ่งตัวอ่อนจะอยู่ที่อุณหภูมิ 15-30 องศาเซลเซียส โดยมักรวมฝูงกระโดดอยู่บริเวณผิวน้ำรวมกับฉลาม วาฬ พวกนก และขยะลอยน้ำ อาหารจะเป็นพวกปลา หอย หมึก และกุ้ง บางครั้งก็กินปลาชนิดเดียวกันเอง สามารถวางไข่ได้ตลอดทั้งปีในเขตร้อน ไข่และตัวอ่อนมักจะกลายเป็นอาหารของปลาผิวน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่า (สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีประมงทะเลลึก, ม.ป.ป.)

ขนาดที่พบที่ใหญ่ที่สุดคือ มีน้ำหนักระหว่าง 32.5-34.5 กิโลกรัม ความยาว 108 เซนติเมตร และ มีรายงานว่าเคยพบปลาทูน่าท้องแถบมีความยาวถึง 110 เซนติเมตร น้ำหนักสูงสุดที่เคยพบคือ 34.5 กิโลกรัม อายุสูงสุดที่มีรายงานไว้คือ 12 ปี (Froese and Pauly, 2009) ปลาทูน่าท้องแถบเป็น

ปลาที่นิยมรับประทานสด แช่แข็ง รมควัน และเป็นวัตถุดิบในการทำปลาทูน่ากระป๋อง ปัจจุบันปลาทูน่าท้องแถบมีอัตราการจับสูงสุดแทนปลาทูน่าครีบเหลือง โดยปลาทูน่าท้องแถบอาศัยบริเวณผิวน้ำ เกือบทั้งหมดจับได้จากเครื่องมือประมงอวนล้อมจับปลาทูน่า และเบ็ตตวัดปลาทูน่า แต่สามารถจับได้บ้างด้วยเบ็ดลาก อวนลอย และเครื่องมือเบ็ดราว โดยทั่วไปมักจะสร้างเครื่องล่อปลาให้รวมฝูงหรือซั้งเพื่อล่อปลาทูน่าท้องแถบให้อยู่รวมกันแล้วจึงทำการประมง (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงทะเล, ม.ป.ป.)

# ภาคผนวก จ

## ขนาด (น้ำหนักและความยาว) และปริมาณโลหะหนักในปลาทูน่าแต่ละชนิด


ตาราง จ-1 ขนาดของตัวอย่างปลาทูน่าแต่ละชนิด

ตาราง จ-2 ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าต่ำสุด – สูงสุด และค่ามัธยฐานของระดับการปนเปื้อนของปริมาณโลหะหนักในปลาทูน่าตาโต (*Thunnus obesus*)

ตาราง จ-3 ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าต่ำสุด – สูงสุด และค่ามัธยฐานของระดับการปนเปื้อนของปริมาณโลหะหนักในปลาทูน่าครีบเหลือง (*Thunnus albacares*)

ตาราง จ-4 ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าต่ำสุด – สูงสุด และค่ามัธยฐานของระดับการปนเปื้อนของปริมาณโลหะหนักในปลาทูน่าท้องแถบ (*Katsuwonus pelamis*)

ตาราง จ-5 ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในเนื้อเยื่อส่วนหลังของตัวอย่างปลาทูน่าแต่ละชนิด

ตาราง จ-6 ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในเนื้อเยื่อส่วนท้องของตัวอย่างปลาทูน่าแต่ละชนิด

ตาราง จ-7 ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าต่ำสุด – สูงสุด และค่ามัธยฐานของระดับการปนเปื้อนของปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้องในปลาทูน่าตาโต (*Thunnus obesus*) (N=6)

ตาราง จ-8 ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าต่ำสุด – สูงสุด และค่ามัธยฐานของระดับการปนเปื้อนของปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้องในปลาทูน่าครีบเหลือง (*Thunnus albacares*) (N=20)

ตาราง จ-9 ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าต่ำสุด – สูงสุด และค่ามัธยฐานของระดับการปนเปื้อนของปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้องในปลาทูน่าท้องแถบ (*Katsuwonus pelamis*) (N=35)

ตาราง จ-10 ผลการทดสอบ One-way ANOVA ระหว่างโลหะหนัก (แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล) กับเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้อง (รวมชนิดปลาทูน่าครีบเหลืองและปลาทูน่าท้องแถบ) (N = 110)

ตาราง จ-11 ผลการทดสอบ One-way ANOVA ระหว่างโลหะหนัก (แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล) ในปลาทูน่าครีบเหลืองกับเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้อง (N = 40)

ตาราง จ-12 ผลการทดสอบ One-way ANOVA ระหว่างโลหะหนัก (แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล) ในปลาทูน่าครีบเหลืองกับเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้อง (N = 70)

<u>อักษรย่อที่ใช้ในตาราง</u>

TL = Total length

FL = Folk length

BD = Body depth

ตาราง จ-1 ขนาดของตัวอย่างปลาทูน่าแต่ละชนิด

| Code | ชื่อวิทยาศาสตร์ | สถานี | วัน-เดือน-ปี | ความยาว (เซนติเมตร) | | | น้ำหนัก |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | TL | FL | BD | (กก.) |
| BET01 | *Thunnus obesus* | FAD08 | 18-Apr-12 | 43 | 41 | 10 | 0.95 |
| BET01 | *Thunnus obesus* | FAD09 | 18-Apr-12 | 39 | 35.5 | 9 | 0.7 |
| BET02 | *Thunnus obesus* | FAD09 | 18-Apr-12 | 37 | 34 | 9.5 | 0.8 |
| BET03 | *Thunnus obesus* | FAD09 | 18-Apr-12 | 40 | 37 | 10 | 0.9 |
| BET04 | *Thunnus obesus* | FAD09 | 18-Apr-12 | 30.5 | 34 | 9.5 | 0.8 |
| BET05 | *Thunnus obesus* | FAD09 | 18-Apr-12 | 34.5 | 31.5 | 8.5 | 0.6 |
| YFT02 | *Thunnus albacares* | FAD09 | 18-Apr-12 | 38.5 | 35 | 8.5 | 0.8 |
| YFT01 | *Thunnus albacares* | FAD11+12 | 14-Apr-12 | 37.5 | 34.5 | 8 | 0.7 |
| YFT02 | *Thunnus albacares* | FAD11+12 | 14-Apr-12 | 37 | 35 | 8 | 0.7 |
| YFT01 | *Thunnus albacares* | PSS02 | 16-Apr-12 | 41 | 36.5 | 10 | 0.9 |
| YFT02 | *Thunnus albacares* | PSS02 | 16-Apr-12 | 41 | 37 | 10 | 0.98 |
| YFT09 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 38 | 34 | 9 | 0.7 |
| YFT10 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 34 | 31 | 8 | 0.5 |
| YFT11 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 37 | 34 | 9 | 0.7 |
| YFT12 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 40 | 36 | 10 | 0.9 |
| YFT13 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 39 | 36 | 10 | 0.8 |
| YFT14 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 38 | 33 | 10 | 0.6 |
| YFT15 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 37 | 34 | 9 | 0.5 |
| YFT16 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 43 | 39 | 10 | 0.8 |
| YFT17 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 42 | 38 | 9 | 0.8 |
| YFT18 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 39 | 36 | 10 | 0.7 |
| YFT19 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 37 | 33 | 9 | 0.6 |
| YFT20 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 38 | 34 | 9 | 0.6 |
| YFT21 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 36 | 32 | 9 | 0.6 |

ตาราง จ-1 (ต่อ)

| Code | ชื่อวิทยาศาสตร์ | สถานี | วัน-เดือน-ปี | ความยาว (เซนติเมตร) | | | น้ำหนัก |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | TL | FL | BD | (กก.) |
| YFT22 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 38 | 34 | 9 | 0.7 |
| YFT01 | *Thunnus albacares* | PSS04 | 02-May_12 | 33 | 30.5 | 8 | 0.45 |
| SKJ01 | *Katsuwonus pelamis* | FAD08 | 18-Apr-12 | 39 | 38 | 9 | 0.8 |
| SKJ01 | *Katsuwonus pelamis* | FAD11+12 | 14-Apr-12 | 35 | 34 | 7.5 | 0.6 |
| SKJ01 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 36.5 | 35 | 7.5 | 0.7 |
| SKJ02 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 36.5 | 35 | 7.5 | 0.7 |
| SKJ03 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 39 | 36.5 | 8 | 0.8 |
| SKJ04 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 36 | 33.5 | 8 | 0.6 |
| SKJ05 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 38.5 | 36 | 7.5 | 0.7 |
| SKJ06 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 37.5 | 35.5 | 8.5 | 0.7 |
| SKJ07 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 39 | 37 | 8.5 | 0.9 |
| SKJ08 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 38 | 36 | 9 | 0.9 |
| SKJ09 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 38 | 36 | 8 | 0.8 |
| SKJ10 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 37.5 | 36 | 8.5 | 0.7 |
| SKJ11 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 36.5 | 34.5 | 8 | 0.7 |
| SKJ12 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 36 | 34.5 | 8 | 0.6 |
| SKJ13 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 38 | 36.5 | 8.5 | 0.8 |
| SKJ14 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 37.5 | 36 | 8.5 | 0.7 |
| SKJ15 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 40 | 37 | 9 | 0.8 |
| SKJ17 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 39 | 37.5 | 9 | 0.9 |
| SKJ18 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 39 | 37.5 | 9 | 0.9 |
| SKJ19 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 38 | 36 | 8.5 | 0.8 |
| SKJ02 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 41 | 38 | 9 | 0.9 |
| SKJ04 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 37.5 | 36 | 8.5 | 0.8 |

ตาราง จ-1 (ต่อ)

| Code | ชื่อวิทยาศาสตร์ | สถานี | วัน-เดือน-ปี | ความยาว (เซนติเมตร) | | | น้ำหนัก |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | TL | FL | BD | (กก.) |
| SKJ05 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 38 | 36 | 8 | 0.7 |
| SKJ06 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 39 | 37 | 9 | 0.7 |
| SKJ07 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 36.5 | 35 | 8 | 0.5 |
| SKJ08 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 39 | 37 | 9 | 0.8 |
| SKJ09 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 38 | 36 | 9 | 0.8 |
| SKJ10 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 36.5 | 34 | 7.5 | 0.5 |
| SKJ11 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 37.5 | 36.5 | 8.5 | 0.8 |
| SKJ14 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 39 | 37 | 8.5 | 0.8 |
| SKJ16 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 36 | 34.5 | 8.5 | 0.7 |
| SKJ17 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 41.5 | 39.5 | 9 | 1 |
| SKJ18 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 35.5 | 34.5 | 8 | 0.6 |
| SKJ19 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 36.5 | 35.5 | 8 | 0.7 |
| SKJ20 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 38 | 36 | 8.5 | 0.8 |

ตารางที่ จ-2 ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าต่ำสุด – สูงสุด และค่ามัธยฐานของระดับการปนเปื้อนของปริมาณโลหะหนักในปลาทูน่าตาโต (*Thunnus obesus*)

| โลหะหนัก | ปลาทูน่าตาโต (N=6)(ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก) | | |
|---|---|---|---|
| | ค่าเฉลี่ย | ต่ำสุด – สูงสุด | ค่ามัธยฐาน |
| ทองแดง (Cu) | 0.708 ± 0.087 | 0.583 - 0.869 | 0.699 |
| สังกะสี (Zn) | 9.71 ± 2.34 | 6.74 - 15.3 | 8.95 |
| แคดเมียม (Cd) | 0.028 ± 0.015 | 0.011 - 0.052 | 0.275 |
| ตะกั่ว (Pb) | 0.075 ± 0.028 | 0.047 - 0.135 | 0.067 |
| เหล็ก (Fe) | 11.8 ± 2.08 | 8.16 - 15.4 | 11.6 |
| นิกเกิล (Ni) | 0.101 ± 0.061 | 0.044 - 0.225 | 0.082 |
| แมงกานีส (Mn) | 0.150 ± 0.026 | 0.110 - 0.196 | 0.141 |
| โคบอลต์ (Co) | 0.007 ± 0.002 | 0.004 - 0.012 | 0.006 |

ตารางที่ จ-3 ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าต่ำสุด – สูงสุด และค่ามัธยฐานของระดับการปนเปื้อนของปริมาณโลหะหนักในปลาทูน่าครีบเหลือง (*Thunnus albacares*)

| โลหะหนัก | ปลาทูน่าครีบเหลือง (N=20) (ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก) | | |
|---|---|---|---|
| | ค่าเฉลี่ย | ต่ำสุด – สูงสุด | ค่ามัธยฐาน |
| ทองแดง (Cu) | 0.461 ± 0.103 | 0.203 - 0.792 | 0.455 |
| สังกะสี (Zn) | 5.63 ± 1.46 | 2.59 - 12.0 | 5.44 |
| แคดเมียม (Cd) | 0.016 ± 0.013 | 0.006 - 0.077 | 0.013 |
| ตะกั่ว (Pb) | 0.058 ± 0.041 | 0.022 - 0.242 | 0.045 |
| เหล็ก (Fe) | 7.57 ± 3.07 | 2.07 - 18.1 | 6.08 |
| นิกเกิล (Ni) | 0.051 ± 0.024 | 0.019 - 0.128 | 0.048 |
| แมงกานีส (Mn) | 0.113 ± 0.037 | 0.071 - 0.251 | 0.105 |
| โคบอลต์ (Co) | 0.007 ± 0.004 | 0.003 - 0.017 | 0.006 |

ตารางที่ จ-4 ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าต่ำสุด – สูงสุด และค่ามัธยฐานของระดับการปนเปื้อนของปริมาณโลหะหนักในปลาทูน่าท้องแถบ (*Katsuwonus pelamis*)

| **โลหะหนัก** | **ปลาทูน่าท้องแถบ (N=35) (ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก)** | | |
|---|---|---|---|
| | **ค่าเฉลี่ย** | **ต่ำสุด – สูงสุด** | **ค่ามัธยฐาน** |
| ทองแดง (Cu) | 0.790 ± 0.115 | 0.526 - 1.07 | 0.780 |
| สังกะสี (Zn) | 10.3 ± 2.11 | 6.42 - 19.2 | 9.89 |
| แคดเมียม (Cd) | 0.046 ± 0.034 | 0.008 - 0.120 | 0.031 |
| ตะกั่ว (Pb) | 0.057 ± 0.031 | 0.023 - 0.170 | 0.047 |
| เหล็ก (Fe) | 12.9 ± 3.21 | 8.51 - 22.4 | 11.9 |
| นิกเกิล (Ni) | 0.062 ± 0.040 | 0.022 - 0.182 | 0.045 |
| แมงกานีส (Mn) | 0.148 ± 0.042 | 0.091 - 0.309 | 0.134 |
| โคบอลต์ (Co) | 0.006 ± 0.003 | 0.003 - 0.017 | 0.005 |

ตาราง จ-5 ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในเนื้อเยื่อส่วนหลังของตัวอย่างปลาทูน่าแต่ละชนิด

| Code | ชื่อวิทยาศาสตร์ | สถานี | วัน-เดือน-ปี | น้ำหนัก (กก.) | ความยาว (ซม.) | ปริมาณโลหะหนัก (ไมโครกรัม/กรัม) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Cu | Zn | Cd | Pb | Fe | Ni | Mn | Co |
| BET01 | *Thunnus obesus* | FAD08 | 18-Apr-12 | 0.95 | 43 | 0.709 | 8.038 | 0.015 | 0.100 | 11.117 | 0.203 | 0.188 | 0.007 |
| BET01 | *Thunnus obesus* | FAD09 | 18-Apr-12 | 0.7 | 39 | 0.723 | 11.563 | 0.023 | 0.057 | 11.623 | 0.094 | 0.129 | 0.005 |
| BET02 | *Thunnus obesus* | FAD09 | 18-Apr-12 | 0.8 | 37 | 0.796 | 8.831 | 0.014 | 0.053 | 9.986 | 0.060 | 0.134 | 0.005 |
| BET03 | *Thunnus obesus* | FAD09 | 18-Apr-12 | 0.9 | 40 | 0.678 | 8.590 | 0.013 | 0.118 | 12.399 | 0.092 | 0.145 | 0.012 |
| BET04 | *Thunnus obesus* | FAD09 | 18-Apr-12 | 0.8 | 30.5 | 0.689 | 8.707 | 0.012 | 0.047 | 8.156 | 0.044 | 0.110 | 0.004 |
| BET05 | *Thunnus obesus* | FAD09 | 18-Apr-12 | 0.6 | 34.5 | 0.685 | 9.062 | 0.011 | 0.067 | 10.615 | 0.053 | 0.137 | 0.006 |
| YFT02 | *Thunnus albacares* | FAD09 | 18-Apr-12 | 0.8 | 38.5 | 0.663 | 11.993 | 0.010 | 0.071 | 12.534 | 0.060 | 0.168 | 0.008 |
| YFT01 | *Thunnus albacares* | FAD11+12 | 14-Apr-12 | 0.7 | 37.5 | 0.521 | 5.045 | 0.019 | 0.128 | 12.253 | 0.094 | 0.147 | 0.008 |
| YFT02 | *Thunnus albacares* | FAD11+12 | 14-Apr-12 | 0.7 | 37 | 0.589 | 7.066 | 0.013 | 0.242 | 10.601 | 0.128 | 0.150 | 0.017 |
| YFT01 | *Thunnus albacares* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.9 | 41 | 0.428 | 6.122 | 0.016 | 0.028 | 10.910 | 0.050 | 0.099 | 0.007 |
| YFT02 | *Thunnus albacares* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.98 | 41 | 0.493 | 5.886 | 0.006 | 0.023 | 9.209 | 0.048 | 0.140 | 0.004 |
| YFT09 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.7 | 38 | 0.529 | 5.010 | 0.046 | 0.144 | 6.353 | 0.065 | 0.155 | 0.007 |
| YFT10 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.5 | 34 | 0.203 | 2.588 | 0.008 | 0.072 | 2.065 | 0.028 | 0.072 | 0.006 |

ตาราง จ-5 (ต่อ)

| Code | ชื่อวิทยาศาสตร์ | สถานี | วัน-เดือน-ปี | น้ำหนัก (กก.) | ความยาว (ซม.) | ปริมาณโลหะหนัก (ไมโครกรัม/กรัม) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Cu | Zn | Cd | Pb | Fe | Ni | Mn | Co |
| YFT11 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.7 | 37 | 0.413 | 4.973 | 0.008 | 0.102 | 6.584 | 0.060 | 0.110 | 0.011 |
| YFT12 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.9 | 40 | 0.411 | 4.451 | 0.013 | 0.025 | 5.107 | 0.023 | 0.071 | 0.003 |
| YFT13 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.8 | 39 | 0.470 | 6.462 | 0.011 | 0.055 | 6.082 | 0.019 | 0.080 | 0.005 |
| YFT14 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.6 | 38 | 0.401 | 5.233 | 0.009 | 0.052 | 4.734 | 0.030 | 0.074 | 0.004 |
| YFT15 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.5 | 37 | 0.464 | 7.198 | 0.008 | 0.030 | 5.675 | 0.108 | 0.110 | 0.009 |
| YFT16 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.8 | 43 | 0.594 | 4.953 | 0.013 | 0.046 | 7.129 | 0.088 | 0.145 | 0.014 |
| YFT17 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.8 | 42 | 0.393 | 5.405 | 0.011 | 0.043 | 5.555 | 0.068 | 0.071 | 0.004 |
| YFT18 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.7 | 39 | 0.455 | 5.544 | 0.009 | 0.038 | 5.578 | 0.027 | 0.071 | 0.016 |
| YFT19 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.6 | 37 | 0.454 | 5.476 | 0.009 | 0.041 | 6.006 | 0.029 | 0.086 | 0.003 |
| YFT20 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.6 | 38 | 0.585 | 4.685 | 0.007 | 0.034 | 5.881 | 0.040 | 0.099 | 0.004 |
| YFT21 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.6 | 36 | 0.268 | 3.061 | 0.008 | 0.022 | 3.733 | 0.019 | 0.080 | 0.003 |
| YFT22 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.7 | 38 | 0.497 | 5.068 | 0.009 | 0.071 | 6.020 | 0.047 | 0.152 | 0.004 |
| YFT01 | *Thunnus albacares* | PSS04 | 02-May_12 | 0.45 | 33 | 0.475 | 6.960 | 0.009 | 0.051 | 7.157 | 0.063 | 0.098 | 0.004 |

ตาราง จ-5 (ต่อ)

| Code | ชื่อวิทยาศาสตร์ | สถานี | วัน-เดือน-ปี | น้ำหนัก (กก.) | ความยาว (ซม.) | ปริมาณโลหะหนัก (ไมโครกรัม/กรัม) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Cu | Zn | Cd | Pb | Fe | Ni | Mn | Co |
| SKJ01 | *Katsuwonus pelamis* | FAD08 | 18-Apr-12 | 0.8 | 39 | 0.787 | 12.243 | 0.012 | 0.063 | 10.543 | 0.058 | 0.158 | 0.008 |
| SKJ01 | *Katsuwonus pelamis* | FAD11+12 | 14-Apr-12 | 0.6 | 35 | 0.689 | 9.879 | 0.009 | 0.131 | 9.914 | 0.126 | 0.117 | 0.006 |
| SKJ01 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.7 | 36.5 | 0.799 | 10.492 | 0.011 | 0.058 | 13.213 | 0.036 | 0.139 | 0.004 |
| SKJ02 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.7 | 36.5 | 0.740 | 10.490 | 0.008 | 0.041 | 10.865 | 0.056 | 0.134 | 0.004 |
| SKJ03 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.8 | 39 | 0.717 | 10.080 | 0.011 | 0.045 | 10.882 | 0.041 | 0.109 | 0.008 |
| SKJ04 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.6 | 36 | 0.782 | 9.544 | 0.011 | 0.112 | 11.625 | 0.087 | 0.128 | 0.006 |
| SKJ05 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.7 | 38.5 | 0.802 | 12.404 | 0.013 | 0.025 | 11.593 | 0.030 | 0.126 | 0.005 |
| SKJ06 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.7 | 37.5 | 0.544 | 11.178 | 0.013 | 0.030 | 8.865 | 0.022 | 0.091 | 0.004 |
| SKJ07 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.9 | 39 | 0.706 | 14.704 | 0.014 | 0.047 | 9.003 | 0.062 | 0.125 | 0.005 |
| SKJ08 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.9 | 38 | 0.728 | 10.376 | 0.018 | 0.032 | 11.750 | 0.042 | 0.125 | 0.005 |
| SKJ09 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.8 | 38 | 0.768 | 12.118 | 0.018 | 0.062 | 12.354 | 0.043 | 0.121 | 0.010 |
| SKJ10 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.7 | 37.5 | 0.789 | 15.644 | 0.017 | 0.043 | 20.115 | 0.038 | 0.157 | 0.004 |
| SKJ11 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.7 | 36.5 | 0.992 | 11.841 | 0.016 | 0.170 | 19.638 | 0.069 | 0.158 | 0.008 |

ตาราง จ-5 (ต่อ)

| Code | ชื่อวิทยาศาสตร์ | สถานี | วัน-เดือน-ปี | น้ำหนัก (กก.) | ความยาว (ซม.) | ปริมาณโลหะหนัก (ไมโครกรัม/กรัม) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Cu | Zn | Cd | Pb | Fe | Ni | Mn | Co |
| SKJ12 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.6 | 36 | 0.975 | 10.842 | 0.015 | 0.111 | 13.810 | 0.113 | 0.129 | 0.012 |
| SKJ13 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.8 | 38 | 0.725 | 8.682 | 0.016 | 0.023 | 10.542 | 0.028 | 0.112 | 0.003 |
| SKJ14 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.7 | 37.5 | 0.778 | 9.619 | 0.012 | 0.028 | 10.224 | 0.036 | 0.121 | 0.003 |
| SKJ15 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.8 | 40 | 0.828 | 12.494 | 0.020 | 0.031 | 11.317 | 0.030 | 0.131 | 0.005 |
| SKJ17 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.9 | 39 | 0.775 | 10.040 | 0.014 | 0.034 | 11.297 | 0.035 | 0.119 | 0.007 |
| SKJ18 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.9 | 39 | 0.826 | 13.872 | 0.017 | 0.040 | 11.839 | 0.040 | 0.127 | 0.007 |
| SKJ19 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.8 | 38 | 0.737 | 9.273 | 0.014 | 0.049 | 11.732 | 0.069 | 0.128 | 0.006 |
| SKJ02 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.9 | 41 | 1.042 | 8.612 | 0.066 | 0.054 | 19.931 | 0.028 | 0.191 | 0.006 |
| SKJ04 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.8 | 37.5 | 0.767 | 10.345 | 0.053 | 0.094 | 12.945 | 0.079 | 0.129 | 0.012 |
| SKJ05 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.7 | 38 | 0.846 | 10.788 | 0.070 | 0.071 | 11.266 | 0.107 | 0.172 | 0.008 |
| SKJ06 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.7 | 39 | 0.925 | 10.442 | 0.065 | 0.047 | 14.151 | 0.027 | 0.187 | 0.004 |
| SKJ07 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.5 | 36.5 | 0.627 | 8.115 | 0.017 | 0.039 | 9.397 | 0.035 | 0.124 | 0.004 |
| SKJ08 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.8 | 39 | 0.773 | 9.397 | 0.098 | 0.043 | 11.645 | 0.033 | 0.125 | 0.004 |

ตาราง จ-5 (ต่อ)

| Code | ชื่อวิทยาศาสตร์ | สถานี | วัน-เดือน-ปี | น้ำหนัก (กก.) | ความยาว (ซม.) | ปริมาณโลหะหนัก (ไมโครกรัม/กรัม) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Cu | Zn | Cd | Pb | Fe | Ni | Mn | Co |
| SKJ09 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.8 | 38 | 0.737 | 11.989 | 0.074 | 0.041 | 11.088 | 0.032 | 0.125 | 0.004 |
| SKJ10 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.5 | 36.5 | 0.718 | 9.482 | 0.042 | 0.099 | 17.618 | 0.052 | 0.267 | 0.010 |
| SKJ11 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.8 | 37.5 | 0.698 | 9.605 | 0.054 | 0.072 | 8.506 | 0.046 | 0.143 | 0.004 |
| SKJ14 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.8 | 39 | 0.909 | 8.691 | 0.056 | 0.060 | 15.544 | 0.030 | 0.116 | 0.005 |
| SKJ16 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.7 | 36 | 0.804 | 6.421 | 0.066 | 0.024 | 13.354 | 0.034 | 0.166 | 0.008 |
| SKJ17 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 1 | 41.5 | 0.759 | 10.721 | 0.089 | 0.137 | 11.306 | 0.101 | 0.116 | 0.017 |
| SKJ18 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.6 | 35.5 | 0.937 | 8.528 | 0.045 | 0.089 | 18.611 | 0.133 | 0.172 | 0.010 |
| SKJ19 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.7 | 36.5 | 0.526 | 8.066 | 0.076 | 0.034 | 8.670 | 0.032 | 0.094 | 0.003 |
| SKJ20 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.8 | 38 | 0.890 | 9.396 | 0.090 | 0.041 | 12.012 | 0.032 | 0.128 | 0.004 |

ตาราง จ-6 ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในเนื้อเยื่อส่วนท้องของตัวอย่างปลาทูน่าแต่ละชนิด

| Code | ชื่อวิทยาศาสตร์ | สถานี | วัน-เดือน-ปี | น้ำหนัก (กก.) | ความยาว (ซม.) | ปริมาณโลหะหนัก (ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักปียก) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Cu | Zn | Cd | Pb | Fe | Ni | Mn | Co |
| BET01 | *Thunnus obesus* | FAD08 | 18-Apr-12 | 0.95 | 43 | 0.588 | 15.285 | 0.046 | 0.135 | 15.353 | 0.225 | 0.178 | 0.007 |
| BET01 | *Thunnus obesus* | FAD09 | 18-Apr-12 | 0.7 | 39 | 0.626 | 6.744 | 0.039 | 0.078 | 12.599 | 0.051 | 0.166 | 0.005 |
| BET02 | *Thunnus obesus* | FAD09 | 18-Apr-12 | 0.8 | 37 | 0.869 | 9.487 | 0.044 | 0.052 | 15.012 | 0.137 | 0.132 | 0.005 |
| BET03 | *Thunnus obesus* | FAD09 | 18-Apr-12 | 0.9 | 40 | 0.583 | 7.483 | 0.052 | 0.066 | 12.892 | 0.052 | 0.129 | 0.012 |
| BET04 | *Thunnus obesus* | FAD09 | 18-Apr-12 | 0.8 | 30.5 | 0.736 | 11.806 | 0.040 | 0.074 | 9.823 | 0.071 | 0.196 | 0.004 |
| BET05 | *Thunnus obesus* | FAD09 | 18-Apr-12 | 0.6 | 34.5 | 0.808 | 10.891 | 0.032 | 0.056 | 11.573 | 0.131 | 0.152 | 0.006 |
| YFT02 | *Thunnus albacares* | FAD09 | 18-Apr-12 | 0.8 | 38.5 | 0.563 | 7.432 | 0.023 | 0.094 | 10.519 | 0.053 | 0.138 | 0.008 |
| YFT01 | *Thunnus albacares* | FAD11+12 | 14-Apr-12 | 0.7 | 37.5 | 0.577 | 5.686 | 0.021 | 0.051 | 8.296 | 0.050 | 0.113 | 0.008 |
| YFT02 | *Thunnus albacares* | FAD11+12 | 14-Apr-12 | 0.7 | 37 | 0.532 | 5.150 | 0.026 | 0.038 | 18.063 | 0.052 | 0.190 | 0.017 |
| YFT01 | *Thunnus albacares* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.9 | 41 | 0.406 | 7.058 | 0.027 | 0.024 | 11.940 | 0.051 | 0.112 | 0.007 |
| YFT02 | *Thunnus albacares* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.98 | 41 | 0.792 | 5.200 | 0.035 | 0.042 | 10.854 | 0.046 | 0.096 | 0.004 |
| YFT09 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.7 | 38 | 0.339 | 4.472 | 0.011 | 0.029 | 5.992 | 0.027 | 0.110 | 0.007 |
| YFT10 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.5 | 34 | 0.416 | 4.190 | 0.008 | 0.084 | 5.483 | 0.029 | 0.251 | 0.006 |

ตาราง จ-6 (ต่อ)

| Code | ชื่อวิทยาศาสตร์ | สถานี | วัน-เดือน-ปี | น้ำหนัก (กก.) | ความยาว (ซม.) | ปริมาณโลหะหนัก (ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักปียก) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Cu | Zn | Cd | Pb | Fe | Ni | Mn | Co |
| YFT11 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.7 | 37 | 0.368 | 6.008 | 0.008 | 0.056 | 5.885 | 0.081 | 0.107 | 0.011 |
| YFT12 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.9 | 40 | 0.475 | 5.678 | 0.017 | 0.085 | 5.986 | 0.047 | 0.098 | 0.003 |
| YFT13 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.8 | 39 | 0.398 | 5.976 | 0.014 | 0.052 | 5.932 | 0.046 | 0.079 | 0.005 |
| YFT14 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.6 | 38 | 0.458 | 6.040 | 0.011 | 0.044 | 12.725 | 0.027 | 0.105 | 0.004 |
| YFT15 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.5 | 37 | 0.398 | 6.536 | 0.011 | 0.047 | 5.476 | 0.041 | 0.096 | 0.009 |
| YFT16 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.8 | 43 | 0.413 | 5.652 | 0.017 | 0.034 | 6.073 | 0.055 | 0.113 | 0.014 |
| YFT17 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.8 | 42 | 0.432 | 5.260 | 0.022 | 0.071 | 5.967 | 0.066 | 0.098 | 0.004 |
| YFT18 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.7 | 39 | 0.402 | 5.697 | 0.016 | 0.073 | 5.648 | 0.031 | 0.100 | 0.016 |
| YFT19 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.6 | 37 | 0.400 | 4.236 | 0.015 | 0.029 | 7.247 | 0.048 | 0.148 | 0.003 |
| YFT20 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.6 | 38 | 0.470 | 6.565 | 0.077 | 0.037 | 6.961 | 0.053 | 0.101 | 0.004 |
| YFT21 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.6 | 36 | 0.476 | 5.167 | 0.015 | 0.034 | 10.406 | 0.077 | 0.104 | 0.003 |
| YFT22 | *Thunnus albacares* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.7 | 38 | 0.395 | 4.522 | 0.018 | 0.038 | 6.002 | 0.032 | 0.088 | 0.004 |
| YFT01 | *Thunnus albacares* | PSS04 | 02-May_12 | 0.45 | 33 | 0.438 | 5.357 | 0.015 | 0.036 | 8.180 | 0.038 | 0.106 | 0.004 |

ตาราง จ-6 (ต่อ)

| Code | ชื่อวิทยาศาสตร์ | สถานี | วัน-เดือน-ปี | น้ำหนัก (กก.) | ความยาว (ซม.) | ปริมาณโลหะหนัก (ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักปียก) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Cu | Zn | Cd | Pb | Fe | Ni | Mn | Co |
| SKJ01 | *Katsuwonus pelamis* | FAD08 | 18-Apr-12 | 0.8 | 39 | 0.844 | 9.472 | 0.021 | 0.121 | 13.160 | 0.144 | 0.194 | 0.008 |
| SKJ01 | *Katsuwonus pelamis* | FAD11+12 | 14-Apr-12 | 0.6 | 35 | 0.594 | 8.781 | 0.016 | 0.083 | 8.915 | 0.049 | 0.095 | 0.006 |
| SKJ01 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.7 | 36.5 | 0.859 | 8.090 | 0.014 | 0.027 | 13.057 | 0.068 | 0.115 | 0.004 |
| SKJ02 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.7 | 36.5 | 0.755 | 8.111 | 0.029 | 0.031 | 11.147 | 0.072 | 0.119 | 0.004 |
| SKJ03 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.8 | 39 | 0.617 | 7.920 | 0.032 | 0.045 | 11.216 | 0.058 | 0.123 | 0.008 |
| SKJ04 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.6 | 36 | 0.763 | 9.006 | 0.017 | 0.044 | 17.308 | 0.089 | 0.168 | 0.006 |
| SKJ05 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.7 | 38.5 | 0.695 | 8.654 | 0.026 | 0.033 | 12.735 | 0.091 | 0.152 | 0.005 |
| SKJ06 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.7 | 37.5 | 0.727 | 8.877 | 0.025 | 0.025 | 11.330 | 0.030 | 0.145 | 0.004 |
| SKJ07 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.9 | 39 | 0.761 | 10.498 | 0.019 | 0.033 | 10.099 | 0.034 | 0.127 | 0.005 |
| SKJ08 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.9 | 38 | 0.567 | 7.315 | 0.043 | 0.035 | 12.374 | 0.029 | 0.114 | 0.005 |
| SKJ09 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.8 | 38 | 0.959 | 11.087 | 0.031 | 0.041 | 14.144 | 0.068 | 0.163 | 0.010 |
| SKJ10 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.7 | 37.5 | 0.831 | 7.823 | 0.025 | 0.025 | 13.150 | 0.022 | 0.101 | 0.004 |
| SKJ11 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.7 | 36.5 | 1.039 | 12.941 | 0.031 | 0.039 | 22.439 | 0.082 | 0.228 | 0.008 |

ตาราง จ-6 (ต่อ)

| Code | ชื่อวิทยาศาสตร์ | สถานี | วัน-เดือน-ปี | น้ำหนัก (กก.) | ความยาว (ซม.) | ปริมาณโลหะหนัก (ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักปียก) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Cu | Zn | Cd | Pb | Fe | Ni | Mn | Co |
| SKJ12 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.6 | 36 | 0.711 | 7.720 | 0.021 | 0.037 | 16.890 | 0.036 | 0.115 | 0.012 |
| SKJ13 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.8 | 38 | 0.586 | 9.098 | 0.031 | 0.034 | 11.340 | 0.164 | 0.125 | 0.003 |
| SKJ14 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.7 | 37.5 | 0.814 | 8.505 | 0.029 | 0.031 | 10.473 | 0.035 | 0.133 | 0.003 |
| SKJ15 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.8 | 40 | 0.849 | 11.209 | 0.053 | 0.048 | 13.702 | 0.045 | 0.180 | 0.005 |
| SKJ17 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.9 | 39 | 0.792 | 9.661 | 0.086 | 0.054 | 12.317 | 0.031 | 0.148 | 0.007 |
| SKJ18 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.9 | 39 | 0.745 | 10.190 | 0.095 | 0.067 | 14.221 | 0.057 | 0.128 | 0.007 |
| SKJ19 | *Katsuwonus pelamis* | PSS02 | 16-Apr-12 | 0.8 | 38 | 0.702 | 9.143 | 0.049 | 0.089 | 11.287 | 0.082 | 0.107 | 0.006 |
| SKJ02 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.9 | 41 | 0.828 | 9.408 | 0.100 | 0.060 | 18.928 | 0.043 | 0.173 | 0.006 |
| SKJ04 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.8 | 37.5 | 0.998 | 13.926 | 0.091 | 0.110 | 15.108 | 0.152 | 0.237 | 0.012 |
| SKJ05 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.7 | 38 | 0.754 | 9.442 | 0.088 | 0.051 | 21.045 | 0.044 | 0.167 | 0.008 |
| SKJ06 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.7 | 39 | 1.069 | 19.166 | 0.106 | 0.084 | 10.047 | 0.098 | 0.309 | 0.004 |
| SKJ07 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.5 | 36.5 | 0.839 | 10.393 | 0.021 | 0.031 | 10.443 | 0.037 | 0.142 | 0.004 |
| SKJ08 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.8 | 39 | 0.615 | 7.972 | 0.106 | 0.026 | 9.651 | 0.065 | 0.146 | 0.004 |

ตาราง จ-6 (ต่อ)

| Code | ชื่อวิทยาศาสตร์ | สถานี | วัน-เดือน-ปี | น้ำหนัก (กก.) | ความยาว (ซม.) | ปริมาณโลหะหนัก (ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักปียก) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Cu | Zn | Cd | Pb | Fe | Ni | Mn | Co |
| SKJ09 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.8 | 38 | 0.873 | 14.324 | 0.089 | 0.037 | 12.956 | 0.031 | 0.147 | 0.004 |
| SKJ10 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.5 | 36.5 | 0.837 | 9.668 | 0.062 | 0.066 | 11.316 | 0.057 | 0.162 | 0.010 |
| SKJ11 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.8 | 37.5 | 0.754 | 11.523 | 0.072 | 0.095 | 11.530 | 0.034 | 0.135 | 0.004 |
| SKJ14 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.8 | 39 | 0.812 | 10.182 | 0.090 | 0.060 | 15.878 | 0.122 | 0.173 | 0.005 |
| SKJ16 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.7 | 36 | 0.883 | 11.137 | 0.084 | 0.050 | 13.705 | 0.030 | 0.145 | 0.008 |
| SKJ17 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 1 | 41.5 | 0.743 | 11.767 | 0.120 | 0.078 | 19.139 | 0.173 | 0.210 | 0.017 |
| SKJ18 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.6 | 35.5 | 0.867 | 9.925 | 0.087 | 0.049 | 12.312 | 0.112 | 0.284 | 0.010 |
| SKJ19 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.7 | 36.5 | 0.872 | 10.244 | 0.119 | 0.050 | 11.907 | 0.043 | 0.139 | 0.003 |
| SKJ20 | *Katsuwonus pelamis* | PSS03 | 25-Apr-12 | 0.8 | 38 | 0.875 | 11.006 | 0.095 | 0.048 | 12.717 | 0.182 | 0.179 | 0.004 |

ตารางที่ จ-7 ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าต่ำสุด – สูงสุด และค่ามัธยฐานของระดับการปนเปื้อนของปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้องในปลาทูน่าตาโต (*Thunnus obesus*) (N=6)

| โลหะหนัก | ส่วนหลัง (ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก) | | | ส่วนท้อง (ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ค่าเฉลี่ย | ต่ำสุด – สูงสุด | ค่ามัธยฐาน | ค่าเฉลี่ย | ต่ำสุด – สูงสุด | ค่ามัธยฐาน |
| ทองแดง (Cu) | 0.713 ± 0.438 | 0.678 - 0.796 | 0.699 | 0.702 ± 0.121 | 0.583 - 0.869 | 0.681 |
| สังกะสี (Zn) | 9.13 ± 1.24 | 8.04 - 11.6 | 8.77 | 10.3 ± 3.12 | 6.74 - 15.3 | 10.2 |
| แคดเมียม (Cd) | 0.015 ± 0.004 | 0.011 - 0.023 | 0.014 | 0.042 ± 0.007 | 0.032 - 0.052 | 0.042 |
| ตะกั่ว (Pb) | 0.074 ± 0.029 | 0.047 - 0.118 | 0.062 | 0.077 ± 0.030 | 0.052 - 0.135 | 0.070 |
| เหล็ก (Fe) | 10.6 ± 1.48 | 8.16 - 12.4 | 10.9 | 12.8 ± 2.09 | 9.82 - 15.4 | 12.7 |
| นิกเกิล (Ni) | 0.091 ± 0.059 | 0.044 - 0.203 | 0.076 | 0.111 ± 0.067 | 0.051 - 0.225 | 0.101 |
| แมงกานีส (Mn) | 0.141 ± 0.026 | 0.110 - 0.188 | 0.136 | 0.160 ± 0.026 | 0.129 - 0.196 | 0.159 |
| โคบอลต์ (Co) | 0.007 ± 0.003 | 0.004 - 0.012 | 0.006 | 0.007 ± 0.003 | 0.004 - 0.012 | 0.006 |

ตารางที่ จ-8 ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าต่ำสุด – สูงสุด และค่ามัธยฐานของระดับการปนเปื้อนของปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้องในปลาทูน่าครีบเหลือง (*Thunnus albacares*) (N=20)

| โลหะหนัก | ส่วนหลัง (ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก) | | | ส่วนท้อง (ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ค่าเฉลี่ย | ต่ำสุด – สูงสุด | ค่ามัธยฐาน | ค่าเฉลี่ย | ต่ำสุด – สูงสุด | ค่ามัธยฐาน |
| ทองแดง (Cu) | 0.465 ± 0.107 | 0.203 - 0.663 | 0.467 | 0.457 ± 0.100 | 0.339 - 0.792 | 0.424 |
| สังกะสี (Zn) | 5.66 ± 1.89 | 2.59 - 12.0 | 5.32 | 5.59 ± 0.883 | 4.19 - 7.43 | 5.67 |
| แคดเมียม (Cd) | 0.012 ± 0.009 | 0.006 - 0.046 | 0.009 | 0.020 ± 0.015 | 0.008 - 0.077 | 0.017 |
| ตะกั่ว (Pb) | 0.066 ± 0.054 | 0.022 - 0.242 | 0.049 | 0.050 ± 0.021 | 0.024 - 0.094 | 0.043 |
| เหล็ก (Fe) | 6.96 ± 2.77 | 2.07 - 12.5 | 6.05 | 8.18 ± 3.30 | 5.48 - 18.1 | 6.52 |
| นิกเกิล (Ni) | 0.055 ± 0.031 | 0.019 - 0.128 | 0.049 | 0.048 ± 0.015 | 0.027 - 0.081 | 0.048 |
| แมงกานีส (Mn) | 0.109 ± 0.034 | 0.071 - 0.168 | 0.099 | 0.118 ± 0.040 | 0.079 - 0.251 | 0.106 |
| โคบอลต์ (Co) | 0.007 ± 0.004 | 0.003 - 0.017 | 0.006 | 0.007 ± 0.004 | 0.003 - 0.017 | 0.006 |

ตารางที่ จ-9 ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าต่ำสุด – สูงสุด และค่ามัธยฐานของระดับการปนเปื้อนของปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้องในปลาทูน่าท้องแถบ (*Katsuwonus pelamis*) (N=35)

| โลหะหนัก | ส่วนหลัง (ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก) | | | ส่วนท้อง (ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียก) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ค่าเฉลี่ย | ต่ำสุด – สูงสุด | ค่ามัธยฐาน | ค่าเฉลี่ย | ต่ำสุด – สูงสุด | ค่ามัธยฐาน |
| ทองแดง (Cu) | 0.784 ± 0.111 | 0.526 - 1.04 | 0.775 | 0.795 ± 0.120 | 0.567 - 1.07 | 0.812 |
| สังกะสี (Zn) | 10.5 ± 1.91 | 6.42 - 15.6 | 10.3 | 10.1 ± 2.30 | 7.32 - 19.2 | 9.66 |
| แคดเมียม (Cd) | 0.035 ± 0.029 | 0.008 - 0.098 | 0.017 | 0.058 ± 0.035 | 0.014 - 0.120 | 0.035 |
| ตะกั่ว (Pb) | 0.061 ± 0.036 | 0.023 - 0.170 | 0.047 | 0.052 ± 0.025 | 0.025 - 0.121 | 0.048 |
| เหล็ก (Fe) | 12.5 ± 3.19 | 8.51 - 20.1 | 11.6 | 13.4 ± 3.22 | 8.92 - 22.4 | 12.7 |
| นิกเกิล (Ni) | 0.053 ± 0.030 | 0.022 - 0.133 | 0.040 | 0.072 ± 0.046 | 0.022 - 0.182 | 0.057 |
| แมงกานีส (Mn) | 0.137 ± 0.032 | 0.091 - 0.067 | 0.128 | 0.158 ± 0.048 | 0.095 - 0.309 | 0.146 |
| โคบอลต์ (Co) | 0.006 ± 0.003 | 0.003 - 0.017 | 0.005 | 0.006 ± 0.003 | 0.003 - 0.017 | 0.005 |

ตารางที่ จ-10 ผลการทดสอบ One-way ANOVA ระหว่างโลหะหนัก (แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล) กับเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้อง (รวมชนิดปลาทูน่าครีบเหลืองและปลาทูน่าท้องแถบ) (N = 110)

| | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cd | Between Groups | .008 | 1 | .008 | 8.781 | .004 |
| | Within Groups | .100 | 108 | .001 | | |
| | Total | .109 | 109 | | | |
| Pb | Between Groups | .003 | 1 | .003 | 2.788 | .098 |
| | Within Groups | .128 | 108 | .001 | | |
| | Total | .131 | 109 | | | |
| Ni | Between Groups | .002 | 1 | .002 | 1.885 | .173 |
| | Within Groups | .132 | 108 | .001 | | |
| | Total | .134 | 109 | | | |

ตารางที่ จ-11 ผลการทดสอบ One-way ANOVA ระหว่างโลหะหนัก (แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล) ในปลาทูน่าครีบเหลืองกับเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้อง (N = 40)

| | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cd | Between Groups | .001 | 1 | .001 | 4.577 | .039 |
| | Within Groups | .006 | 38 | .000 | | |
| | Total | .006 | 39 | | | |
| Pb | Between Groups | .003 | 1 | .003 | 1.555 | .220 |
| | Within Groups | .063 | 38 | .002 | | |
| | Total | .065 | 39 | | | |
| Ni | Between Groups | .001 | 1 | .001 | .886 | .353 |
| | Within Groups | .022 | 38 | .001 | | |
| | Total | .023 | 39 | | | |

ตารางที่ จ-12 ผลการทดสอบ One-way ANOVA ระหว่างโลหะหนัก (แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล) ในปลาทูน่าครีบเหลืองกับเนื้อเยื่อส่วนหลังและเนื้อเยื่อส่วนท้อง (N = 70)

| | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cd | Between Groups | .009 | 1 | .009 | 8.502 | .005 |
| | Within Groups | .070 | 68 | .001 | | |
| | Total | .079 | 69 | | | |
| Pb | Between Groups | .001 | 1 | .001 | 1.196 | .278 |
| | Within Groups | .065 | 68 | .001 | | |
| | Total | .066 | 69 | | | |
| Ni | Between Groups | .006 | 1 | .006 | 3.985 | .050 |
| | Within Groups | .102 | 68 | .002 | | |
| | Total | .108 | 69 | | | |

# ภาคผนวก ฉ

## ค่า HQ และ PTWI ของตัวอย่างปลาทูน่าแต่ละชนิด พร้อมตัวอย่างการหาค่า HQ และ PTWI

ตารางที่ ฉ-1 ระดับการปนเปื้อนของทองแดงเฉลี่ยในเนื้อปลาทูน่า ค่าAverage Copper daily intake (ADI) ค่า Hazard Quotient (HQ) และค่า PTWI (กิโลกรัม/สัปดาห์) ของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด จากบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ Ninety East Ridge โดยใช้น้ำหนักตัวผู้บริโภค 50 กิโลกรัม และ 60 กิโลกรัม

| ชื่อวิทยาศาสตร์ | ค่าเฉลี่ยทองแดง (มก./กก.นน.เปียก) | ADI (มก./กก.วัน) | Hazard Quotient (HQ) | PTWI (กก./สัปดาห์) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 50กก. | 60กก. |
| *Thunnus obesus* | 0.708 | 0.00038 | 0.010 | 19.8 | 23.7 |
| *Thunnus albacares* | 0.461 | 0.00025 | 0.006 | 30.4 | 36.4 |
| *Katsuwonus pelamis* | 0.790 | 0.00042 | 0.011 | 17.7 | 21.3 |

ตารางที่ ฉ-2 ระดับการปนเปื้อนของสังกะสีเฉลี่ยในเนื้อปลาทูน่า ค่าAverage Zinc daily intake (ADI) ค่า Hazard Quotient (HQ) และค่า PTWI (กก./สัปดาห์) ของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด จากบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ Ninety East Ridge โดยใช้น้ำหนักตัวผู้บริโภค 50 กิโลกรัม และ 60 กิโลกรัม

| ชื่อวิทยาศาสตร์ | ค่าเฉลี่ยสังกะสี (มก./กก.นน.เปียก) | ADI (มก./กก.วัน) | Hazard Quotient (HQ) | PTWI (กก./สัปดาห์) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 50กก. | 60กก. |
| *Thunnus obesus* | 9.71 | 0.0052 | 0.017 | 10.8 | 13.0 |
| *Thunnus albacares* | 5.63 | 0.0030 | 0.010 | 18.7 | 22.4 |
| *Katsuwonus pelamis* | 10.3 | 0.0055 | 0.018 | 10.2 | 12.2 |

ตารางที่ ฉ-3 ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมเฉลี่ยในเนื้อปลาทูน่า ค่าAverage Cadmium daily intake (ADI) ค่า Hazard Quotient (HQ) และค่า PTWI (กิโลกรัม/สัปดาห์) ของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด จากบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ Ninety East Ridge โดยใช้น้ำหนักตัวผู้บริโภค50 กิโลกรัม และ 60 กิโลกรัม

| ชื่อวิทยาศาสตร์ | ค่าเฉลี่ยแคดเมียม (มก./กก.นน.เปียก) | ADI (มก./กก.วัน) | Hazard Quotient (HQ) | PTWI (กก./สัปดาห์) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 50กก. | 60กก. |
| *Thunnus obesus* | 0.028 | $1.5 \times 10^{-5}$ | 0.015 | 12.5 | 15.0 |
| *Thunnus albacares* | 0.016 | $8.6 \times 10^{-6}$ | 0.009 | 21.9 | 26.3 |
| *Katsuwonus pelamis* | 0.046 | $2.5 \times 10^{-5}$ | 0.025 | 7.6 | 9.1 |

ตารางที่ ฉ-4 ระดับการปนเปื้อนของตะกั่วเฉลี่ยในเนื้อปลาทูน่า ค่าAverage Lead daily intake (ADI) ค่า Hazard Quotient (HQ) และค่า PTWI (กิโลกรัม/สัปดาห์) ของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด จากบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ Ninety East Ridge โดยใช้น้ำหนักตัวผู้บริโภค 50 กิโลกรัม และ 60 กิโลกรัม

| ชื่อวิทยาศาสตร์ | ค่าเฉลี่ยตะกั่ว (มก./กก.นน.เปียก) | ADI (มก./กก.วัน) | Hazard Quotient (HQ) | PTWI (กก./สัปดาห์) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 50กก. | 60กก. |
| *Thunnus obesus* | 0.075 | $4.0 \times 10^{-5}$ | 0.012 | 16.3 | 19.6 |
| *Thunnus albacares* | 0.058 | $3.1 \times 10^{-5}$ | 0.009 | 21.1 | 25.3 |
| *Katsuwonus pelamis* | 0.057 | $3.1 \times 10^{-5}$ | 0.009 | 21.5 | 25.8 |

ตารางที่ ฉ-5 ระดับการปนเปื้อนของนิกเกิลเฉลี่ยในเนื้อปลาทูน่า ค่า Average Nickle daily intake (ADI) ค่า Hazard Quotient (HQ) และ ค่า PTWI (กิโลกรัม/สัปดาห์) ของปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด จากบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ Ninety East Ridge โดยใช้น้ำหนักตัวผู้บริโภค 50 กิโลกรัม และ 60 กิโลกรัม

| ชื่อวิทยาศาสตร์ | ค่าเฉลี่ยนิกเกิล (มก./กก.นน.เปียก) | ADI (มก./กก.วัน) | Hazard Quotient (HQ) | PTWI (กก./สัปดาห์) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 50กก. | 60กก. |
| *Thunnus obesus* | 0.101 | $5.4 \times 10^{-5}$ | 0.003 | 69.3 | 83.2 |
| *Thunnus albacares* | 0.051 | $2.7 \times 10^{-5}$ | 0.001 | 137.3 | 164.7 |
| *Katsuwonus pelamis* | 0.062 | $3.3 \times 10^{-5}$ | 0.002 | 112.9 | 135.5 |

ADI = Average nickel daily intake

HQ = Hazard Quotient

PTWI = Provisional Tolerable Weekly Intake

**ตัวอย่างการหาค่า HQ และ PTWI**

1. ตัวอย่างการหาค่า HQ

ค่า HQ หรือค่าความเสี่ยง (Hazard Quotient) สำหรับสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (noncarcinogenic effect) หาได้จากสมการ ฉ-1 ซึ่งต้องทราบค่า ADI หรือค่าปริมาณที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายต่อวัน (Average Daily Intake) ซึ่งได้จากสมการ ฉ-2 (พงษ์เทพ วิวรรธนะเดช, 2547 ; Kofi, 2002)

$$HQ = \frac{\text{Average heavy metal daily intake}}{Rfd} \qquad \text{(ฉ-1)}$$

โดยที่ ค่า Rfd หรือ Reference dose for chronic oral exposure สำหรับทองแดง สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล เท่ากับ 0.04, 0.30, 0.001, 0.0035 และ 0.02 มก./กก./วัน ตามลำดับ (US-EPA, 2008)

$$\text{Average heavy metal daily intake via fish (mg/kg/day)} = \frac{(CF)(IR)(FI)(EF)(ED)}{(BW)(AT)} \qquad \text{(ฉ-2)}$$

โดยที่ CF = ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักเฉลี่ยในปลา (มก./กก.หรือ มคก./ก.)

IR = อัตราการรับประทานเนื้อปลา ค่าเฉลี่ยสำหรับคนไทย = 0.028 กก. /มื้อ

FI = สัดส่วนการรับประทานอาหารที่ปนเปื้อน มีค่าเท่ากับ 1.0 (ไม่มีหน่วย)

EF = ความถี่ของการรับสัมผัส = 350 มื้อ/ปี (US-EPA, 1989)

ED = ระยะเวลาที่สัมผัส = 30 ปี (US-EPA, 1999)

BW = น้ำหนักตัวเฉลี่ย โดยเฉลี่ยของคนไทย = 50 กก. (Agusa *et al*., 2007)

AT = ระยะเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ย สำหรับสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง = 10,950 วัน (US-EPA, 1989)

*ที่มาของค่าต่างๆ ที่ใช้แทนค่าในสมการ*

ในการคำนวณหาค่า HQ และ ADI สำหรับการปนเปื้อนของโลหะหนักในปลาทูน่าบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90°E ในการศึกษาครั้งนี้ แทนค่าตัวแปรต่างๆ ในสมการ ฉ-1 และ ฉ-2 ดังนี้

- CF (Contaminant concentration of heavy metal in fish)
  - หมายถึง ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสัตว์น้ำ หน่วยเป็น มก./กก. น้ำหนักเปียก หรือ มคก./กก. น้ำหนักเปียก
  - ใช้ค่าเฉลี่ยของโลหะหนักแต่ละชนิดที่ปนเปื้อนในปลาทูน่าที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้
- IR (Ingestion rate)
  - หมายถึง ปริมาณเนื้อปลาหรืออาหารทะเลที่รับประทานในแต่ละมื้อ หน่วยเป็น กก./มื้อ
  - FAO (2005) รายงานปริมาณการบริโภคเนื้อปลาหรืออาหารทะเลของคนไทยไว้เท่ากับ 85 ก./คน/วัน หรือ 0.028 กก. /มื้อ
- FI (Fraction ingested from contaminated source)
  - หมายถึง สัดส่วนการรับประทานอาหารที่ปนเปื้อน
  - ในที่นี้ให้ค่า = 1.0 (ไม่มีหน่วย)
- EF (Exposure frequency)
  - หมายถึง ความถี่ของการรับสัมผัสมีหน่วยเป็น มื้อ/ปี
  - US-EPA (1989) กำหนดค่าความถี่ของการรับสัมผัสเป็น 350 มื้อ /ปี

- ED (Exposure duration)
  - หมายถึง ระยะเวลาที่สัมผัส มีหน่วยเป็นปี
  - สำหรับความเป็นพิษที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (non-carcinogenic effect) US-EPA (1999) กำหนดให้ใช้ระยะเวลา 30 ปี
- BW (Body weight)
  - หมายถึง น้ำหนักตัวโดยเฉลี่ยของคนไทย มีหน่วยเป็น กก.
  - สำหรับคนไทย กำหนดให้ใช้น้ำหนักตัวเท่ากับ 50 กก. (Agusa *et al.* 2007)
- AT (Average time exposed)
  - หมายถึง อายุขัยเฉลี่ยของประชากรที่จะได้รับความเสี่ยง มีหน่วยเป็น วัน
  - สำหรับสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง US-EPA (1999) กำหนดให้ใช้อายุเฉลี่ย 30 ปี คูณด้วย 365 วัน (30 × 365) ดังนั้น AT = 10,950 วัน
- Rfd (Reference dose for chronic oral exposure)
  - ค่า Rfd สำหรับทองแดง = 0.04 มก./กก./วัน (US-EPA, 2008)
  - ค่า Rfd สำหรับสังกะสี = 0.30 มก./กก./วัน (US-EPA, 2008)
  - ค่า Rfd สำหรับแคดเมียม = 0.001 มก./กก./วัน (US-EPA, 2008)
  - ค่า Rfd สำหรับตะกั่ว = 0.0035 มก./กก./วัน (US-EPA, 2008)
  - ค่า Rfd สำหรับนิกเกิล = 0.02 มก./กก./วัน (US-EPA, 2008)

*<u>วิธีการคำนวณ</u>*

ตัวอย่างการคำนวณค่า HQ ของแคดเมียมในการบริโภคปลาทูน่าท้องแถบ (*K. pelamis*) จากบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90°E

$$ADI = \frac{(CF)(IR)(FI)(EF)(ED)}{(BW)(AT)}$$

$$= \frac{(0.046)(0.028)(1)(350)(30)}{(50)(10,950)}$$

$$= 2.5 \times 10^{-5} \text{ มก./กก./วัน}$$

$$HQ = \frac{\text{Average cadmium daily intake}}{\text{Rfd}}$$

$$= \frac{2.5 \times 10^{-5}}{0.001}$$

$$= 0.025$$

หากค่า HQ > 1 แสดงว่า ปริมาณแคดเมียมที่ร่างกายได้รับอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคอาจก่อให้เกิดโรคต่างๆ ซึ่งไม่ใช่โรคมะเร็ง ในที่นี้ได้ < 1 แสดงว่า การบริโภคเนื้อปลาทูน่าท้องแถบ (*K. pelamis*) จากบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90°E มีความเสี่ยงน้อย

2. ตัวอย่างการหาค่า PTWI

ค่า PTWI หรือปริมาณที่สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัยต่อสัปดาห์ (Provisional Tolerable Weekly Intake) หาได้จากสมการ ฉ-3

$$PTWI = \left[ \frac{TRV \times BW}{C_f} \right] \times 7 \qquad \text{(ฉ-3)}$$

โดยที่ *PTWI* = ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดที่ร่างกายได้รับอย่างปลอดภัยมี หน่วยเป็น กรัม/สัปดาห์

*TRV* = ปริมาณโลหะหนักที่มนุษย์จะรับได้ หน่วยเป็น มคก./กก./วัน

*BW* = น้ำหนักตัวมีหน่วยเป็น กก.

$C_f$ = ค่าเฉลี่ยของโลหะหนักในปลาแต่ละชนิดมีหน่วยเป็น มก./กก.

7 = จำนวนวัน/สัปดาห์

*ที่มาของค่าต่างๆ ที่ใช้แทนค่าในสมการ*

ในการคำนวณหาค่า PTWI สำหรับการปนเปื้อนของโลหะหนักในปลาทูน่าบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90°E ในการศึกษาครั้งนี้ แทนค่าตัวแปรต่างๆ ในสมการ ฉ-3 (JECFA, 2005) ดังนี้

- *TRV* หมายถึง ปริมาณโลหะหนักที่มนุษย์จะรับได้
  - สำหรับทองแดงไม่เกิน 40 มคก./กก./วัน
  - สำหรับสังกะสีไม่เกิน 300 มคก./กก./วัน

- สำหรับแคดเมียมไม่เกิน 1 มคก./กก./วัน
- สำหรับตะกั่วไม่เกิน 3.5 มคก./กก./วัน
- สำหรับนิกเกิลไม่เกิน 20 มคก./กก./วัน

- *BW* หมายถึง น้ำหนักตัวของผู้บริโภคโดยใช้น้ำหนักตัวเฉลี่ยของคนทั่วไป 60 กก. (JECFA, 2005) และคำนวณโดยใช้ 50 กก. สำหรับคนไทย (US-EPA, 2005)
- $C_f$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักในปลาทูน่าแต่ละชนิด หน่วยเป็น มก./กก. หรือ มคก./ก.

*วิธีการคำนวณ*

ตัวอย่างการคำนวณค่า PTWI ของแคดเมียม ในการบริโภคปลาทูน่าท้องแถบ (*K. pelamis*) จากบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90°E

$$PTWI_{Cd} \qquad \left[\frac{TRV \times BW}{C_f}\right] \times 7$$

$$PTWI_{Cd} = \frac{(1)(60)(7)}{0.046}$$

$$= 9{,}130 \text{ กรัม /สัปดาห์}$$

$$= 9.13 \text{ กก. /สัปดาห์}$$

และเมื่อคำนวณสำหรับคนไทยที่น้ำหนักตัวเฉลี่ยเท่ากับ 50 กก. (US-EPA, 2005) จะได้ค่า PTWI ของแคดเมียม = 7.61 กก. /สัปดาห์

# ประวัติผู้เขียน

**ชื่อ สกุล** นางสาวศุภลักษณ์ พวงสุวรรณ

**รหัสประจำตัวนักศึกษา** 5410023002

**วุฒิการศึกษา**

| วุฒิ | ชื่อสถาบัน | ปีที่สำเร็จการศึกษา |
|---|---|---|
| วิทยาศาสตรบัณฑิต | มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ | 2552 |

**ทุนการศึกษา**

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน**

ศุภลักษณ์ พวงสุวรรณ, ศิริพร ประดิษฐ์ และเพิ่มศักดิ์ เพิงมาก. 2555. ระดับของแคดเมียมในปลาทูน่า บริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90°E. การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 3. บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 439 - 443.