



ระดับของแคดเมียมในทรัพยากรประมงจากทะเลอันดามันและทะเลเซเลเบส
และการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ

**Cadmium Level in Fishery Resource from the Andaman and Celebes Seas
and Its Health Risk Assessment**

พัชวิมา จินหมั่น

Patchavima Jeenmhun

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Environmental Management**

Prince of Songkla University

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์	ระดับของแคดเมียมในทรัพยากรประมงจากทะเลอันดามันและทะเล เซเลเบสและการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ
ผู้เขียน	นางสาวพัชวิมา จินหมั่น
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล)

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นสพ.บรรจง วิทยวีรศักดิ์)

..... กรรมการ
(ดร.สมเกียรติ ขอเกียรติวงศ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุพดี ชัยสุขสันต์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการ
สิ่งแวดล้อม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	ระดับของแคดเมียมในทรัพยากรประมงจากทะเลอันดามันและทะเล เซเลเบสและการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ
ผู้เขียน	นางสาวพัชวิมา จินหมั่น
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2551

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อสัตว์ทะเลจากทะเลอันดามันและทะเลเซเลเบส เพื่อเป็นข้อมูลในการประเมินความเสี่ยง และหาปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคต่อสัปดาห์ โดยสุ่มตัวอย่างปลาจากทะเลอันดามันในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึง เมษายน พ.ศ. 2550 จำนวน 18 ชนิด 94 ตัวอย่าง และตัวอย่างหมึกจากทะเลเซเลเบสในช่วงเดือน กันยายน พ.ศ. 2550 จำนวน 26 ตัวอย่าง เตรียมตัวอย่างโดยวิธี dry-ashing ตรวจวัดความเข้มข้นของแคดเมียมด้วยเครื่องอินดักทีฟลิคอปเปิลพลาสมาสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่าปลาจากทะเลอันดามันมีแคดเมียมปนเปื้อน อยู่ในช่วง 0.002 – 0.036 มก./กก. น้ำหนักเปียก และเฉลี่ย 0.017 ± 0.008 มก./กก. น้ำหนักเปียก ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดในข้อบังคับของคณะกรรมการยุโรป (EU, 2006) ซึ่งยอมให้มีแคดเมียมในเนื้อปลาทั่วไป ปลานักล่า ปลากระโทงแทงดาบ และหมึกไม่เกิน 0.05, 0.1, 0.3 และ 1.0 มก./กก. ตามลำดับ ส่วนระดับของแคดเมียมที่ปนเปื้อนในเนื้อหมึกส่วนลำตัว ส่วนหัว และอวัยวะภายใน อยู่ในช่วง 0.26 – 4.59, 0.10 – 2.04 และ 3.1 – 179.7 มก./กก. น้ำหนักเปียก ตามลำดับ และเฉลี่ย 1.33 ± 1.10 , 0.42 ± 0.35 และ 70.7 ± 60.1 มก./กก. น้ำหนักเปียก ตามลำดับ โดยพบว่า มีเนื้อส่วนลำตัว 11 ตัวอย่าง และส่วนหัว 1 ตัวอย่าง จาก 26 ตัวอย่าง ที่มีค่าเกินเกณฑ์ 1.0 มก./กก. ของ EU (2006) และกระทรวงสาธารณสุข (2548) จากการประเมินความเสี่ยงโดยใช้ค่าสัดส่วนความเสี่ยง (HQ) พบว่าปลาทุกชนิดมีค่า $HQ < 1$ กลุ่มปลาขนาดเล็ก (ขนาดเล็กกว่า 1 กก.) ที่เป็นปลาหน้าดินหรือปลาไวอ่อนและปลาขนาดใหญ่ (ขนาดใหญ่กว่า 1 กก.) ซึ่งเป็นปลาผู้ล่ามีค่า $HQ = 0.006 \pm 0.004$ และ 0.012 ± 0.004 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่า 1 มาก สำหรับในเนื้อหมึกส่วนลำตัวและส่วนหัว มีค่า $HQ = 0.71$ และ 0.23 ตามลำดับ การบริโภคหมึกจึงค่อนข้างมีความเสี่ยงในการได้รับแคดเมียมสูงกว่าปลาจากเกณฑ์แนะนำของ Joint FAO/WHO Food Standards Programme (JECFA, 2005) ปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคต่อสัปดาห์ (PTWI) พบว่าหมึกส่วนลำตัวและส่วนหัว มีค่า $PTWI = 0.32$ และ 1.0 กก./สัปดาห์ ตามลำดับ สำหรับคนที่มีน้ำหนักตัว 60 กก.

Thesis Title Cadmium Level in Fishery Resource from the Andaman and Celebes Seas and Its Health Risk Assessment.

Author Miss.Patchavima Jeenmhun

Major Program Environmental Management

Academic Year 2008

Abstract

This study aimed to assess cadmium (Cd) level in fishery resource from Andaman and Celebes Seas for health risk evaluation and provisional tolerate-weekly intake (PTWI) estimation. Ninety-four samples of 18 fish species from Andaman Sea during February to April 2007 and 26 samples of splendid squid (*Loligo formosana* Sasaki) from Celebes sea in September 2007 were collected. Sample preparation was performed by dry-ashing method. Concentrations of Cd were determined using an Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrophotometer. Cadmium levels in fish flesh ranged from 0.002 to 0.036 mg/kg wet wt. with an average of 0.017 ± 0.008 mg/kg wet wt. According to preliminary risk screening, Cd in those fleshed were not yet exceeded the maximum level of 0.05, 0.1, 0.3 and 1.0 mg/kg permitted for most fishes, predatory fishes, swordfish and squids, respectively, in accordance with the European Commission Regulation (EU, 2006). Average Cd concentrations in mantle, head and viscera ranged from 0.26 to 4.59, from 0.10 to 2.04 and 3.1 to 179.7 mg/kg wet wt., respectively, with the averages of 1.33 ± 1.10 , 0.42 ± 0.35 and 70.7 ± 60.1 mg/kg wet wt., respectively. There were 11 mantle-samples and 1 head-sample from 26 samples containing Cd exceeded the limit of 1.0 mg/kg permitted by EU (2006) and Ministry of Public Health (2548). Health risk evaluation using Hazard Quotient (HQ) indicated that all fish species having $HQ < 1$. The average HQ values of small fish (weighed less than 1 kg, mainly demersal species and young fish) and large fish (weighed more than 1 kg, mainly predatory fishes) groups were 0.006 ± 0.004 and 0.012 ± 0.004 , respectively, which much lower than 1. The HQ values of squid's mantle and head were 0.71 and 0.23, respectively. Therefore, squid consumption has much higher risk than fishes. According to the recommendation of Joint FAO/WHO Food Standards Programme (JECFA, 2005), the PTWI of squid's mantle and head for consumer weighed 60 kg were 0.32 and 1.0 kg/week, respectively.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญรูป	(13)
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 แคคิเมียมและการใช้ประโยชน์จากแคคิเมียม	3
1.3 แหล่งกำเนิดและการแพร่กระจายและการปนเปื้อนของแคคิเมียม ในสิ่งแวดล้อม	4
1.4 การเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิต	5
1.5 การสะสมของแคคิเมียมในสิ่งมีชีวิต	7
1.6 ความเป็นพิษของแคคิเมียม	7
1.6.1 ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน	7
1.6.2 ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง	8
1.7 การกำจัดแคคิเมียมออกจากร่างกาย (Excretion)	8
1.8 เกณฑ์มาตรฐานของแคคิเมียมในสัตว์น้ำ	8
1.9 การสะสมของแคคิเมียมในสัตว์ทะเลจากพื้นที่ต่างๆ	10
1.10 ความเสี่ยงด้านสุขภาพ	10
1.10.1 การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ	13
1.10.2 องค์ประกอบของการประเมินความเสี่ยง	14
1.11 พื้นที่ในการศึกษา	15
1.12 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	17
	(6)

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	18
2.1 พื้นที่เก็บตัวอย่างและช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง	18
2.2 วิธีการจับสัตว์น้ำ	18
2.2.1 ทะเลอันดามัน (น่านน้ำไทยและน่านน้ำพม่า)	18
2.2.2 ทะเลเซเลเบส	19
2.3 การสุ่มเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ทางเคมี	19
2.4 วิธีการเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์	19
2.4.1 การทำความสะอาดอุปกรณ์และภาชนะ	19
2.4.2 วิธีเตรียมตัวอย่าง	19
2.4.3 การย่อยตัวอย่างเนื้อเยื่อสัตว์ทะเล	22
2.4.4 การวัดความเข้มข้นแคดเมียมในสารละลาย	24
2.5 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ตัวอย่าง	25
2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	25
2.7 วิเคราะห์ความเสี่ยงในการบริโภค	25
2.7.1 ความเสี่ยงเบื้องต้น (Risk screening)	25
2.7.2 การประเมินความเสี่ยงในการได้รับแคดเมียมในปริมาณน้อย เป็นเวลานาน	26
2.7.3 การประเมินปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภค	27
บทที่ 3 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา	28
3.1 ชนิดพันธุ์และขนาดของสัตว์น้ำที่ศึกษา	28
3.1.1 ชนิดพันธุ์และขนาดของปลาจากทะเลอันดามัน	28
3.1.2 ชนิดพันธุ์และขนาดของหมึกจากทะเลเซเลเบส	28
3.2 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 (ต่อ)	
3.3 ผลการศึกษาปริมาณแคดเมียมในปลาจากทะเลอันดามัน	33
3.3.1 ปริมาณแคดเมียมในเนื้อเยื่อปลาแต่ละชนิด	33
3.3.2 ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในกระเพาะของตัวอย่างปลา	37
3.3.3 ผลการเปรียบเทียบระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อปลา กับค่ามาตรฐาน	39
3.3.4 การเปรียบเทียบกับงานวิจัยชิ้นอื่น	39
3.3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อ กับขนาดของปลา	39
3.3.5.1 ความสัมพันธ์ในภาพรวมทุกชนิด	39
3.3.5.2 ความสัมพันธ์แยกตามชนิดและประเภทเครื่องมือ	42
3.4 ผลการศึกษาในหมึกจากทะเลเซเลเบต	49
3.4.1 ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อทั้งสามส่วนของ ตัวอย่างหมึก	49
3.4.2 การเปรียบเทียบระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อ ทั้งสามส่วนกับค่ามาตรฐาน	51
3.4.3 การเปรียบเทียบระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อ ทั้งสามส่วนของหมึกกล้วยน้ำลึกับงานวิจัยชิ้นอื่น	52
3.4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อ ส่วนต่างๆ กับน้ำหนักของหมึก	54
3.4.4.1 ความสัมพันธ์ในภาพรวม	54
3.4.4.2 ความสัมพันธ์แยกตามเพศ	54
3.5 การประเมินความเสี่ยง	58
3.5.1 ปลาจากทะเลอันดามัน	58
3.5.1.1 ความเสี่ยง	58
3.5.1.2 ปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคต่อสัปดาห์ต่อสัปดาห์	59

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 (ต่อ)	
3.5.2 หมึกจากทะเลเซเลเบส	60
3.5.1.1 ความเสี่ยง	60
3.5.1.2 ปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคต่อสัปดาห์	61
บทที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะ	62
4.1 ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในปลาจากทะเลอันดามัน	62
4.2 ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในหมึกจากทะเลเซเลเบส	63
4.3 การประเมินความเสี่ยง	63
4.3.1 ความเสี่ยงในการบริโภคปลาจากทะเลอันดามัน	63
4.3.2 ความเสี่ยงในการบริโภคหมึกจากทะเลเซเลเบส	64
4.4 ปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคต่อสัปดาห์	64
4.4.1 ปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคปลาจากทะเลอันดามัน	64
4.4.2 ปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคหมึกจากทะเลเซเลเบส	65
4.5 ข้อเสนอแนะ	65
บรรณานุกรม	66
ภาคผนวก	74
ภาคผนวก ก ชื่อวิทยาศาสตร์ ชื่อสามัญ และรูปสัตว์ทะเลแต่ละชนิดจากทะเลอันดามันและทะเลเซเลเบส	75
ภาคผนวก ข ขนาด (น้ำหนักและความยาว) และปริมาณแคดเมียมของสัตว์ทะเลแต่ละชนิดจากทะเลอันดามัน (น่านน้ำไทยและพม่า) และทะเลเซเลเบส	79
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบทางสถิติ	93
1) ผลการทดสอบ T-Test แบบ Paired Samples Test	93
2) ผลการทดสอบ One – Way ANOVA	94
3) ผลการทดสอบ T-Test แบบ Independent Samples Test	95
ภาคผนวก ง ค่า HQ และ PTWI ของตัวอย่างสัตว์น้ำแต่ละชนิด พร้อมตัวอย่างการหาค่า HQ และ PTWI	98
ประวัติผู้เขียน	103

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1-1 ปริมาณแคดเมียมสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในสัตว์ทะเล	9
ตารางที่ 1-2 ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อของปลาแต่ละชนิดจากพื้นที่ต่างๆ	11
ตารางที่ 1-3 ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อส่วนของหมึกแต่ละชนิดจากพื้นที่ต่างๆ	12
ตารางที่ 2-1 ตำแหน่งสถานีสำรวจและวันเวลาที่ทำการสำรวจในทะเลอันดามัน	21
ตารางที่ 2-2 ตำแหน่งสถานีสำรวจและวันเวลาที่ทำการสำรวจในทะเลเซเลเบส	21
ตารางที่ 3-1 จำนวนตัวอย่างและขนาดของปลาแต่ละชนิดที่สุ่มจับได้ด้วยเครื่องมือประมงแต่ละประเภทจากทะเลอันดามัน	29
ตารางที่ 3-2 ขนาด (ความยาวและน้ำหนัก) เพศ และสถานีที่ได้ตัวอย่างหมึกกล้วยน้ำลึก (<i>Loligo formosana</i> Sasaki) จากทะเลเซเลเบส	32
ตารางที่ 3-3 ผลการวิเคราะห์แคดเมียมในสารอ้างอิงมาตรฐาน DORM-2 (Dogfish Muscle) และ DOLT-2 (Dogfish Liver)	33
ตารางที่ 3-4 ค่าต่ำสุด-สูงสุด, ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่ามัธยฐานของระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในปลาแต่ละชนิดจากทะเลอันดามันจากการสุ่มตัวอย่างในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ ถึง เมษายน พ.ศ. 2550	34
ตารางที่ 3-5 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อปลาและกระเพาะของปลา (N = จำนวนตัวอย่าง)	37
ตารางที่ 3-6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทางสถิติของน้ำหนัก ความยาว และระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อปลาทั้ง 94 ตัวอย่าง จากทะเลอันดามันโดยใช้สถิติ Bivariate Correlation (Pearson)	40
ตารางที่ 3-7 ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อลำตัว อวัยวะภายใน และส่วนหัวของ <i>Loligo formosana</i> Sasaki (หมึกกล้วยน้ำลึก) จากทะเลเซเลเบส	50
ตารางที่ 3-8 การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทางสถิติของน้ำหนัก และระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในส่วนหัว ลำตัว และอวัยวะภายในของหมึกโดยใช้สถิติ Bivariate Correlation (Pearson)	54

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 3-9	ขนาดและระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในส่วนเนื้อลำตัว อวัยวะภายใน และส่วนหัว (หัว-หนวด-แขน) ของ <i>Loligo formosana</i> Sasaki (หมึกกล้วยน้ำจืด) จากทะเลเซเลเบส แยกตามเพศ	55
ตารางที่ 3-10	การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทางสถิติของน้ำหนัก และระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในส่วนหัว ลำตัว และอวัยวะภายในของหมึก โดยใช้สถิติ Bivariate Correlation (Pearson)	56
ตาราง ข-1	ลักษณะการกินอาหารและถิ่นที่อยู่ของปลาแต่ละชนิด	80
ตาราง ข-2	ขนาดของตัวอย่างปลาแต่ละตัว แหล่งที่จับ และเครื่องมือประมงที่ใช้ในการสุ่มจับปลาแต่ละตัวจากทะเลอันดามัน	81
ตาราง ข-3	ผลการวิเคราะห์แคดเมียมในตัวอย่าง ซ้ำ 15% ของตัวอย่างทั้งหมด	87
ตาราง ข-4	ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในตัวอย่างปลาแต่ละตัวจากทะเลอันดามันที่สุ่มตัวอย่างในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน พ.ศ. 2550 พร้อมความยาวและน้ำหนักของแต่ละตัวอย่าง	88
ตาราง ข-5	ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในกระเพาะของปลาทั้ง 3 ชนิดจากทะเลอันดามันพร้อมค่าความยาวและน้ำหนักทั้งหมด	91
ตาราง ข-6	ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของหมึก <i>Loligo formosana</i> Sasaki (Splendid squid) หรือหมึกกล้วยน้ำจืด จากทะเลเซเลเบส พร้อมกับสถานีที่เก็บตัวอย่าง วันที่เก็บ เพศ และขนาด	92
ตาราง ค-1	ผลการทดสอบ T-test แบบ Paired Samples Test ระหว่างอวัยวะภายใน – เนื้อ	93
ตาราง ค-2	ผลการทดสอบ One – Way ANOVA ระหว่างเนื้อเยื่อส่วนลำตัว ส่วนหัว และส่วนอวัยวะภายในของหมึก	94
ตาราง ค-3	Multiple Comparisons ระหว่างเนื้อเยื่อส่วนลำตัว ส่วนหัว และส่วนอวัยวะภายในของหมึก ด้วยวิธี Fisher's Least Significant Difference (LSD)	94
ตาราง ค-4	ผลการทดสอบ T-Test แบบ Independent Samples Test ระหว่างเนื้อเยื่อลำตัวของหมึกเพศผู้และเพศเมีย	95

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า	
ตาราง ค-5	ผลการทดสอบ T-Test แบบ Independent Samples Test ระหว่าง อวัยวะภายในของหมึกเพศผู้และเพศเมีย	96
ตาราง ค-6	ผลการทดสอบ T-Test แบบ Independent Samples Test ระหว่างเนื้อเยื่อ ส่วนหัวของหมึกเพศผู้และเพศเมีย	96
ตารางที่ ง-1	ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมเฉลี่ยในเนื้อปลา ค่า ADI, HQ และ PTWI (กก./สัปดาห์) ของปลาทั้ง 18 ชนิดจากทะเลอันดามัน โดยใช้น้ำหนักตัว ผู้บริโภค 50 กก. และ 60 กก.	98
ตาราง ง-2	ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมเฉลี่ยในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของ หมึกกด้วยน้ำลึกจากทะเลเซเลเบส ค่า ADI, HQ และ PTWI (กก./สัปดาห์) โดยใช้น้ำหนักตัวผู้บริโภค 50 กก. และ 60 กก.	99

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1-1	ทะเลอันดามัน (http://chuma.cas.usf.edu/~juster/volc1/world%20map.gif และ Smith and Sandwell, 1997)	16
รูปที่ 1-2	ทะเลเซเลเบส (Celebes Sea) และสถานีเก็บตัวอย่าง (รูปซ้ายอ้างอิงจาก Smith and Sandwell, 1997)	17
รูปที่ 2-1	แผนที่แสดงตำแหน่งสถานีสำรวจในทะเลอันดามัน	20
รูปที่ 2-2	แผนที่แสดงตำแหน่งสถานีสำรวจในทะเลเซเลเบส	20
รูปที่ 2-3	ตัวอย่างสัตว์ทะเลที่สุ่มจับได้สำหรับการวิเคราะห์หาแคดเมียมในเนื้อเยื่อ	22
รูปที่ 2-4	การแล่และเตรียมตัวอย่างเนื้อเยื่อ เก็บใส่ถุงพลาสติก เพื่อเตรียมวิเคราะห์ทางเคมีทุกขั้นตอนดำเนินการในตู้ปราศจากฝุ่น (Laminar flow cabinet) Class 100: รูปขวา – การแล่และเตรียมตัวอย่าง และรูปซ้าย – ตัวอย่างที่ชำแหละเสร็จแล้ว	23
รูปที่ 2-5	การย่อยตัวอย่างเนื้อเยื่อให้เป็นสารละลายเพื่อวิเคราะห์ทางเคมี: รูปขวา – ทำตัวอย่างให้แห้งตั้งบนเตาให้ความร้อน (hot plate) ที่อุณหภูมิ 100°ซ และรูปซ้าย – การเผาตัวอย่างในเผาแบบตั้งโปรแกรม (programmable ash muffle furnace) โดยเพิ่มอุณหภูมิเป็นลำดับขั้น จาก 100°ซ เป็น 450°ซ ด้วยอัตรา 50°ซ ต่อชั่วโมง	23
รูปที่ 2-6	องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง Inductively Coupled Plasma Spectrophotometer (ICP)	24
รูปที่ 3-1	ค่ามัธยฐานและช่วงของน้ำหนัก (ก) และระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อปลา (ข) ทั้ง 18 ชนิด จากทะเลอันดามัน	35
รูปที่ 3-2	ค่ามัธยฐานและช่วงน้ำหนัก และแคดเมียมที่ปนเปื้อนในเนื้อปลาที่จับจากทะเลอันดามันทั้ง 18 ชนิด แยกตามประเภทของเครื่องมือประมง โดย PL = Pelagic longline, BVL = Bottom vertical longline, TF = Trap fishing และ BT = Bottom trawling	36

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3-3	ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อปลาเปรียบเทียบกับกระเพาะของปลาตัวเดียวกัน	38
รูปที่ 3-4	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อและกระเพาะของตัวอย่างปลากระโทงแทงดาบ (<i>X. gladius</i>) ทั้ง 4 ตัวอย่าง	38
รูปที่ 3-5	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับของแคดเมียมที่ปนเปื้อนในเนื้อปลากับน้ำหนักของปลา	41
รูปที่ 3-6	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยกับระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมเฉลี่ยในปลาแต่ละชนิดเฉลี่ย (ก) ปลาที่มีขนาดใหญ่ (น้ำหนักตัว > 1 กก.) และ (ข) ปลาที่มีขนาดเล็ก (น้ำหนักตัว < 1 กก.)	42
รูปที่ 3-7	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยของปลากับระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมเฉลี่ยในเนื้อปลาที่จับจากเครื่องมือประมงทั้ง 4 ประเภท ได้แก่ เบ็ดรavnน้ำลึก (PLL), ลอบจับปลา (TF), อวนลากหน้าดิน (BT) และ เบ็ดรavnหน้าดิน (BVL)	44
รูปที่ 3-8	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในปลาที่ได้จากเครื่องมือประมงประเภทเบ็ดรavnน้ำลึก	45
รูปที่ 3-9	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในปลาที่ได้จากเครื่องมือประมงประเภทลอบจับปลา	46
รูปที่ 3-10	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในปลาที่ได้จากเครื่องมือประมงประเภทอวนลากหน้าดิน	47
รูปที่ 3-11	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในปลาที่ได้จากเครื่องมือประมงประเภทเบ็ดรavnหน้าดิน	48
รูปที่ 3-12	แผนภูมิกล่องเปรียบเทียบระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในส่วนต่างๆ (ลำตัว อวัยวะภายใน และ หัว) ของหมึกกล้วยน้ำลึกจากทะเลเซเลบัส	49
รูปที่ 3-13	กราฟเปรียบเทียบระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อลำตัว (ก) และเนื้อส่วนหัว (ข) ของหมึกกล้วยน้ำลึกจากทะเลเซเลบัสจากการศึกษาครั้งนี้กับหมึกชนิดต่างๆ ที่เคยมีการศึกษาไว้ เส้นประแสดงค่าที่กำหนดในข้อบังคับคณะกรรมการยุโรป (1.0 มก./กก. น้ำหนักเปียก)	53

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3-14	57
แผนภูมิกล่องเปรียบเทียบระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในส่วนต่างๆ (ลำตัว อวัยวะภายใน และ หัว) ของหมึกจากทะเลเซเลเบส โดยแยกตามเพศ	
รูปที่ 3-15	59
(ก) ค่าความเสี่ยง (HQ) และ (ข) ปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภค (PTWI) สำหรับคนที่มีน้ำหนักตัว 50 กก. และ 60 กก. สำหรับปลาจากทะเลอันดามัน ทั้ง 18 ชนิด	
รูปที่ 3-16	61
(ก) ค่าความเสี่ยง (HQ) และ (ข) ปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภค (PTWI) สำหรับคนที่มีน้ำหนักตัว 50 กก. และ 60 กก. สำหรับเนื้อเยื่อทั้งสามส่วน (อวัยวะภายใน, ลำตัว และหัว) ของหมึกกล้วยน้ำจืดจากทะเลเซเลเบส	

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากคณาจารย์และบุคคลหลายฝ่าย ข้าพเจ้าจึงขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการทำวิจัย ตรวจสอบข้อมูล ตรวจสอบแก้ไขจนเป็นรูปเล่มวิทยานิพนธ์ที่สมบูรณ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ดร. สมเกียรติ ขอเกียรติวงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุพดี ชัยสุขสันต์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นสพ.บรรจง วิทยวีรศักดิ์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำแก้ไขข้อบกพร่องให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณโสภณา บุญญาภิวัฒน์ สำนักวิจัยและพัฒนาประมงทะเล กรมประมง ศูนย์พัฒนาการประมงแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คุณเพ็ญจันทร์ ละอองมณี คุณสาธิตพรหมจินดา คุณนภเรศ ยะสุข คุณอิสระ ชาญราชกิจ คุณนาวิณี ขุมทอง คุณฤทธิรงค์ พรหมมาศ และทีมงานของเรือ M.V. SEAFDEC2 ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่างปลาจากทะเลอันดามันและตัวอย่างหมึกจากทะเลเซเลเบส

ขอขอบคุณ คุณพัฒนัชชิตา ทัพพัรารังกูร คุณสุภาพร แก้วบุบผา คุณยุทธนา บัวแก้ว คุณปิยวรรณ นาคินชาติ และคุณสุชาดา บัวแก้ว ที่ช่วยเหลือระหว่างการเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณหน่วยวิจัยชีวธรณีเคมี และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายผู้ทำวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณครอบครัวเงินหมื่น ที่ให้คำปรึกษา กำลังใจ และสนับสนุนในด้านทุนทรัพย์ในการศึกษาครั้งนี้ตลอดมาจนสำเร็จ และขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา

พัชวิมา เงินหมื่น

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

การปนเปื้อนของโลหะปริมาณน้อย (trace metals) ที่เป็นพิษในระบบนิเวศแหล่งน้ำ นับว่าเป็นปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ (Nriagu *et al.*, 1998; Silva *et al.*, 1999) โดยเฉพาะแคดเมียมเป็นโลหะปริมาณน้อยที่มีความเป็นพิษสูง ในธรรมชาติพบแคดเมียมในปริมาณน้อยมาก และไม่ค่อยพบในรูปของแคดเมียมบริสุทธิ์ แต่มักพบในรูปของสารประกอบ เช่น แคดเมียมซัลเฟต ($CdSO_4$), แคดเมียมคลอไรด์ ($CdCl_2$), แคดเมียมไนเตรท ($CdNO_3$) และแคดเมียมออกไซด์ (CdO) รวมทั้งเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ (by-product) จากโลหะอื่น เช่น เงิน สังกะสี ทองแดง และตะกั่ว แคดเมียมถูกใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย เช่น การชุบโลหะ ผลิตแบตเตอรี่ เซรามิก พลาสติก และเส้นใยต่างๆ (ATSDR, 1999)

การปนเปื้อนของแคดเมียมในสิ่งแวดล้อม มีทั้งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ แคดเมียมจากกิจกรรมของมนุษย์ปนเปื้อนเข้าสู่สิ่งแวดล้อม ปีละประมาณ 4,000-13,000 ตัน (ATSDR, 2003) และพบว่าระดับการปนเปื้อนเข้าสู่ระบบนิเวศต่างๆ ทั่วโลกมีสูงขึ้น (Yilmaz *et al.*, 2007)

แคดเมียมที่ปนเปื้อนไปกับน้ำ น้ำเสีย รวมทั้งอากาศ เมื่อลงสู่ทะเลบางส่วนจะละลายอยู่ในน้ำทะเล บางส่วนจะสะสมอยู่กับตะกอนดิน (Fabris *et al.*, 2006) สัตว์ทะเลสะสมแคดเมียมไว้ในเนื้อเยื่อ (bioaccumulation) จากการรับโดยตรงผ่านกระบวนการดูดซึมและรับโดยอ้อมผ่านทางอาหารหรือตะกอนดินที่กินเข้าไป นอกจากนี้แคดเมียมยังถ่ายทอดผ่านทางห่วงโซ่อาหารโดยจะมีการสะสมที่เพิ่มขึ้นในสิ่งมีชีวิต (bio-magnification) ที่มีลำดับขั้นการบริโภค (trophic level) ที่สูงขึ้นไปในห่วงโซ่อาหาร (Chi *et al.*, 2007) ทำยที่สุดก็เข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ ซึ่งเป็นผู้บริโภคลำดับสูงสุด

การสะสมของแคดเมียมในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำทะเล (Sadik, 1992) แคดเมียมที่เข้าสู่สัตว์ทะเลจะไปสะสมตามส่วนต่างๆ ของร่างกายแตกต่างกัน มากน้อยตามชนิดของสัตว์ทะเล เช่น ปลากระดูกแข็งและปลาฉลามจะมีการสะสมในตับและไต นอกจากนี้ยังสะสมในส่วนอื่นๆ ได้อีก เช่น อวัยวะ สมอ ระบบประสาท ไต ม้าม กระจก โดยเฉพาะในสัตว์ทะเลจำพวกหมึกจะมีแคดเมียมที่สะสมในเนื้อเยื่อสูงกว่าสัตว์ทะเล

ชนิดอื่น ทั้งในระบบย่อยอาหาร หัวใจ และหลอดเลือด รวมทั้งต้องใช้ช่วงเวลาในการกำจัดออกจากร่างกายนาน อีกทั้งหมึกยังอยู่ในลำดับขั้นของการบริโภคที่ต่ำ ส่งผลให้สัตว์ที่กินหมึกเป็นอาหารจะได้รับแคดเมียมไปสะสมในปริมาณที่สูงขึ้น (Bustamante *et al.*, 1998a; Koyama *et al.*, 2000)

เนื่องจากความต้องการในเรื่องอาหารที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้อาชีพประมงมีการขยายตัวเพิ่มขึ้น จนทำให้การประมงในน่านน้ำไทยอยู่ในระดับเกินศักยภาพการผลิต เห็นได้จากผลการจับต่อหนึ่งหน่วยการลงแรงประมงที่ลดลงถึงกว่าสิบเท่าตัว ส่งผลให้แหล่งทรัพยากรประมงภายในประเทศเริ่มลดลงนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2520 เป็นต้นมา ต่อมารัฐได้มีนโยบายการประมงนอกน่านน้ำไทย (เรื่องไร โตกฤษณะ, 2548) แหล่งประมงที่สำคัญของไทย ได้แก่ น่านน้ำในประเทศและน่านน้ำประเทศเพื่อนบ้าน รวมถึงทะเลอันดามัน (Andaman Sea) และทะเลเซเลเบส (Celebes Sea) ในประเทศฟิลิปปินส์ ซึ่งเป็นแหล่งทรัพยากรสัตว์น้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์และมีความหลากหลายทางชีวภาพสูงแห่งหนึ่งของโลก

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีสถิติการทำประมงเป็นอันดับต้นๆ ของโลก และผลิตผลสัตว์น้ำอยู่ในอันดับ 5 ของเอเชีย (กรมประมง, 2551) โดยผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (GDP) ของภาคประมงในปี พ.ศ. 2549 มีมูลค่า 98,892 ล้านบาท ค่า GDP ในภาคประมง คิดเป็น 1.27% ของ GDP ประเทศ หรือ 11.83% ของ GDP ภาคการเกษตร (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2550) สัตว์น้ำที่จับได้ส่วนหนึ่งได้มาจากการทำประมงนอกน่านน้ำ นอกจากการบริโภคภายในประเทศ ยังส่งออกไปยังสหรัฐอเมริกา แคนาดา ญี่ปุ่น และสหภาพยุโรป จากสถานการณ์การปนเปื้อนของสารพิษในทะเลที่สูงขึ้น ทำให้นานาประเทศหันมาให้ความสำคัญกับสารปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์อาหารทะเล (กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติกรมประมง, 2550) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการเฝ้าระวังติดตามเพื่อป้องกันและลดความเสี่ยงให้กับผู้บริโภค

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาระดับของแคดเมียมในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจจากทะเลอันดามันและทะเลเซเลเบสประเทศฟิลิปปินส์ ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์ตัวอย่างสัตว์ทะเลจากทะเลอันดามันโดยทีมสำรวจทรัพยากรจาก SEAFDEC (Southeast Asian Fisheries Development Center) และเจ้าหน้าที่กรมประมงซึ่งสุ่มตัวอย่าง ในช่วงฤดูร้อนระหว่างเดือน กุมภาพันธ์ ถึง เมษายน พ.ศ. 2550 ภายใต้โครงการ “The National Research Survey in the EEZ of Thai Waters in Andaman Sea” โดย M/V SEAFDEC 2 Cruise No. 24-2/2007 และตัวอย่างหมึกจากทะเลเซเลเบสจากทีมสำรวจทรัพยากรของกรมประมงและ SEAFDEC ซึ่งสุ่มตัวอย่างในช่วงฤดูฝนระหว่างวันที่ 20-24 กันยายน พ.ศ. 2550 ภายใต้โครงการ “The National Research Survey in the Celebes Sea-The Philippines Waters” โดย M/V SEAFDEC 2 Cruise No. 27-5/2007

1.2 แคดเมียมและการใช้ประโยชน์จากแคดเมียม

แคดเมียมเป็นโลหะเนื้ออ่อน อยู่ในหมู่ IIb ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 48 มวลอะตอม 112.4 จุดหลอมเหลว 320.9°C และจุดเดือด 765°C มีการนำแคดเมียมไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ใช้ผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะผสมอัลลอยด์ (alloy) ใช้ในการชุบโลหะ ใช้เป็นเม็ดสีในอุตสาหกรรม และใช้ผลิตแบตเตอรี่ ในอากาศแคดเมียมจะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นแคดเมียมออกไซด์อย่างรวดเร็ว ในภาวะที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ หรือไฮโดรเจนคลอไรด์ แคดเมียมจะทำปฏิกิริยากับสารเหล่านี้ได้เป็นแคดเมียมคาร์บอเนต (Cadmium carbonate; CdCO_3) แคดเมียมไฮดรอกไซด์ (Cadmium hydroxide; Cd(OH)_2) แคดเมียมซัลไฟด์ (Cadmium sulfide; CdS) แคดเมียมซัลเฟต (Cadmium sulfate; CdSO_4) และแคดเมียมคลอไรด์ (Cadmium chloride; CdCl_2) ตามลำดับ สารประกอบเหล่านี้อาจได้มาจากการปล่อยออกจากปล่องควันอุตสาหกรรมเข้าสู่สิ่งแวดล้อม (UNEP, 2006)

แคดเมียมไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในกรดไนตริกและกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง โดยทั่วไปจะไม่ค่อยพบแคดเมียมในรูปของแคดเมียมบริสุทธิ์ แต่มักจะพบในรูปของสารประกอบของเกลือ เช่น แคดเมียมซัลเฟต (cadmium sulfate; CdSO_4) แคดเมียมไนเตรต (cadmium nitrate; $\text{Cd(NO}_3)_2$) แคดเมียมคลอไรด์ (CdCl_2) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่มีสีและละลายได้ดีในน้ำ และแคดเมียมยังรวมตัวกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ โดยเฉพาะเมื่อรวมกับไซยาไนด์ (cyanides) และเอมีน (amines) ซึ่งเป็นสาเหตุของความเป็นพิษอย่างต่อเนื่องในห่วงโซ่อาหาร (UNEP, 2006)

อุตสาหกรรมที่ใช้แคดเมียมเป็นส่วนประกอบในการผลิต ได้แก่

1. ทำโลหะอัลลอยด์ (alloy) โดยผสมกับโลหะอื่น เพื่อเพิ่มความเหนียวและทนต่อการสึกกร่อน (วิทยา อยู่สุข, 2527)
2. ใช้เคลือบบนแผ่นเหล็กทองแดง อะลูมิเนียม โดยการชุบด้วยไฟฟ้า โลหะที่ได้ใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น
3. ใช้เป็นเม็ดสีในกิจการอุตสาหกรรม เช่น สีอีนามัล (enamels) เซรามิก เครื่องเคลือบถ้วยแก้ว ขาง แก้ว ผ้า เส้นใย หนังสือพิมพ์ สี และพลาสติก (cadmium sulfide, cadmium sulfosenenite) (เอมอร์ จงรักย์, 2532; Franzblua, 1994a)

4. ใช้แคดเมียมและนิกเกิลเป็นองค์ประกอบในการผลิตเซลล์ไฟฟ้าชนิดอัลคาไลน์ (alkaline cells) ซึ่งใช้เป็นแบตเตอรี่กับเครื่องรับ-ส่งวิทยุผ่าน VMF โทรศัพท์มือถือ เครื่องเล่นที่ใช้ระบบควบคุมระยะไกล เช่น รถบังคับวิทยุและเครื่องบินบังคับวิทยุ และใช้เป็นแบตเตอรี่ในเครื่องคิดเลข และแฟลชถ่ายรูป เป็นต้น
5. สารประกอบของแคดเมียมใช้ผสมในสารฆ่าเชื้อรา (fungicides) สารกำจัดแมลง (insecticides) ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีและเป็นสารเจือปนในปุ๋ยซุเปอร์ฟอสเฟต (บุญจง ขาวสิทธิวงษ์, 2538)
6. อื่นๆ เช่น ใช้ทำ amalgam ในการอุดฟัน, ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิต หลอดฟลูออเรสเซนต์ เซลล์แสงอาทิตย์ และเซมิคอนดักเตอร์

1.3 แหล่งกำเนิดและการแพร่กระจายและการปนเปื้อนของแคดเมียมในสิ่งแวดล้อม

ในธรรมชาติจะพบแคดเมียมในรูปของสารประกอบเพียงปริมาณเล็กน้อยที่ปนเปื้อนในดิน หิน ที่เป็นแหล่งแร่ โดยเฉพาะในเหมืองแร่สังกะสี ตะกั่ว และทองแดง แคดเมียมมีการแพร่กระจายอยู่โดยทั่วไปบนพื้นผิวโลก ความเข้มข้นเฉลี่ยที่พบอยู่ที่ 0.1–0.2 มก./กก. (EC, 2000) ในรูปของสารประกอบซัลไฟด์ของสังกะสี ตะกั่ว และทองแดง ประมาณศตวรรษที่ 20 มีการนำแคดเมียมซึ่งเป็นผลผลิตพลอยได้จากการทำเหมืองแร่สังกะสีมาใช้เป็นวัตถุคืบในทางการค้า ในช่วงก่อนสงครามโลกครั้งที่ 1 ความเป็นพิษของแคดเมียมยังไม่เป็นที่รู้จัก ดังนั้นในโรงงานที่ประกอบการเกี่ยวกับแร่สังกะสีหรือโลหะหนักอื่น จึงยังไม่มีมาตรการควบคุมการปนเปื้อนที่เข้าสู่สิ่งแวดล้อม ทำให้ในปี ค.ศ. 1987 แคดเมียมถูกผลิตเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 20,000 ตัน (IARC, 1993)

การแพร่กระจายและปนเปื้อนของแคดเมียมเข้าสู่สิ่งแวดล้อม เกิดขึ้นได้ทั้งจากกระบวนการทางธรรมชาติและการทำงานของมนุษย์ กระบวนการธรรมชาติที่นำแคดเมียมเข้าสู่สิ่งแวดล้อม ได้แก่ การกัดเซาะและผุพังของหิน แล้วถูกพัดพาไปในรูปของสารละลายและตะกอนออกไปสู่ม่าน้ำและมหาสมุทร การเกิดไฟไหม้ป่า ภูเขาไฟระเบิด ส่วนจากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่ การถลุงแร่ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และของเสียจากชุมชน มีรายงานว่ากิจกรรมของมนุษย์มีการปล่อยแคดเมียมสู่สิ่งแวดล้อมสูงถึง 4,000 - 13,000 ตันต่อปี (ATSDR, 2003) มีรายงานว่าตะกอนชายฝั่งใกล้กับเมืองในแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียนมีการปนเปื้อนของสังกะสี ทองแดง ตะกั่ว และแคดเมียม เพิ่มมากขึ้นถึง 15 เท่าตัว (Migliarini *et al.*, 2005) การปนเปื้อนของโลหะหนักในระบบนิเวศทางน้ำ จึงเป็นวิกฤติทางสิ่งแวดล้อม (Silva *et al.*, 1999)

ในอากาศ แคลเดียมจะปนเปื้อนอยู่ในช่วงเวลาสั้นๆ เมื่อเทียบกับปรอทหรือ POPs (persistent organic pollutants) บางประเภท โดยแคลเดียมจะจับกับอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน แคลเดียมที่มาจากภูเขาไฟจะสามารถจับตัวกับอนุภาคในอากาศได้เร็วขึ้น และอนุภาคที่มีแคลเดียมปนเปื้อนจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อทำปฏิกิริยากับอนุภาคอื่นในอากาศ แคลเดียมที่แพร่กระจายอยู่ในอากาศจะอยู่ในรูปของแคลเดียมคลอไรด์ แคลเดียมซัลเฟต และแคลเดียมออกไซด์ (EC, 2000) จากการศึกษาความเข้มข้นของแคลเดียมในอากาศ พบว่าความเข้มข้นของแคลเดียมในไอละออง (aerosol) ในบรรยากาศ มีค่าสูงกว่าความเข้มข้นตามธรรมชาติที่มีในชั้นเปลือกโลก บางพื้นที่อาจถึง 1,000 เท่า ซึ่งมีสาเหตุมาจากกิจกรรมของมนุษย์ที่ปล่อยแคลเดียมเข้าสู่สิ่งแวดล้อม ตัวการที่ทำให้แคลเดียมแพร่กระจายไปในอากาศ คือ ระเบิด จะทำให้แคลเดียมแพร่ไปไกลจากแหล่งกำเนิดได้ไกลหลายพันกิโลเมตร แม้แต่พื้นที่ห่างไกล เช่น กรีนแลนด์ (Greenland), นิวซีแลนด์ (New Zealand) และแอนตาร์กติกา (Antarctica) (UNEP, 2006)

แคลเดียมเข้าสู่ทะเลผ่านทางน้ำท่าจากแผ่นดินและทางอากาศ เมื่อเข้าสู่ทะเลก็จะผ่านกระบวนการทางธรณีเคมี บางส่วนจับตัวกับอนุภาคขนาดเล็กแล้วจมตัวลงเป็นตะกอนท้องทะเล บางส่วนมีการละลาย แคลเดียมที่มาจากอากาศอาจถูกพาไปสู่มหาสมุทรโดยกระแสน้ำ เมื่อเข้าสู่ทะเลและมหาสมุทรแล้ว การไหลเวียนของกระแสน้ำในมหาสมุทรจะทำให้แคลเดียมแพร่กระจายออกไป (Macdonald *et al.*, 2000) สารประกอบแคลเดียมที่ละลายน้ำจะเข้าสู่และสะสมในสิ่งมีชีวิต โดยแคลเดียมที่อยู่ในรูปไอออนอิสระในน้ำจะถูกดูดซึมเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยตรง (AMAP, 1998 อ้างถึงใน UNEP, 2006) แคลเดียมในรูปซัลเฟตและคลอไรด์ละลายน้ำได้ดี (EC, 2000) ส่วนสารประกอบแคลเดียมกลุ่มซัลไฟด์ คาร์บอนเนต และออกไซด์ ซึ่งปกติเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ แต่เมื่อเข้าสู่สิ่งแวดล้อมจะถูกเปลี่ยนรูปแบบโครงสร้างทางเคมีไปเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ (OSPAR, 2002) ความสามารถในการเคลื่อนย้าย (mobility) และรูปแบบโครงสร้างทางเคมีที่สิ่งมีชีวิตนำเข้าสู่ร่างกายได้ (bioavailability) ของแคลเดียมจะเพิ่มขึ้นในแหล่งน้ำที่มีความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่ำ มีความกระด้างต่ำ มีระดับสารแขวนลอยต่ำ และมีความเค็มต่ำ (Government of Canada, 1994)

1.4 การเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิต

สัตว์จะรับแคลเดียมเข้าสู่ร่างกายจากการกินอาหารเป็นหลัก เมื่อเข้าสู่กระแสเลือด แคลเดียมจะจับกับโปรตีน albumin จากนั้นจะแพร่กระจายจนทั่วร่างกาย โดยตับและไตจะมีความเข้มข้นของแคลเดียมสูงที่สุด ส่วนในเนื้อและกระดูกจะพบแคลเดียมสะสมอยู่น้อย (Klasing, 2005)

การแพร่กระจายของแคดเมียมจากลำไส้เล็กไปสู่ส่วนอื่นของร่างกาย มีกลไกที่สำคัญ คือ การลำเลียงผ่านทาง calcium ion channels หรือผ่านทาง endocytosis ซึ่งเป็นการรับแคดเมียม จากภายนอกให้เคลื่อนย้ายเข้ามาในเซลล์ หรือจากการลำเลียงด้วยกรดอะมิโน โดยไปจับกับ cysteine ถ้าร่างกายได้รับแคดเมียมในปริมาณน้อยสิ่งมีชีวิตจะผลิต metallothionein¹ และ cysteine-rich protein มากำจัดโลหะหนัก เช่น Cd^{2+} , Pb^{2+} เพื่อลดความเป็นพิษต่อเซลล์ได้ มีรายงานว่าแคดเมียม จะกระตุ้นการสร้าง metallothionein ในเยื่อเมือกของลำไส้เล็กเพื่อมาจับกับแคดเมียม (Zalups and Ahmad, 2003) จากการศึกษาในหนู พบว่าหากมีการสร้าง metallothionein ในตับมากขึ้น จะป้องกันการเกิดพิษต่อตับได้ (Kuester *et al.*, 2002) แต่ในไต metallothionein ที่มีแคดเมียมจับอยู่ จะเป็นพิษต่อไต (nephrotoxic) และอาจก่อให้เกิดมะเร็งได้ (Klaassen and Liu, 1997) ส่วนในอวัยวะ แคดเมียมสามารถเข้าไปแทนที่สังกะสีที่จับอยู่กับโปรตีน (zinc-proteins) ทำให้เนื้อเยื่อบริเวณนั้น ตาย (necrosis) (Xu *et al.*, 1999) แคดเมียมปริมาณน้อยในตับจะทำให้เซลล์ตับตายและตับถูก ทำลายไปในที่สุด (Habebu *et al.*, 1998) การยับยั้งการถูกทำลายของเซลล์จึงขึ้นอยู่กับปริมาณของ แคดเมียมที่เข้าสู่ร่างกาย (Sauer *et al.*, 1997)

แคดเมียมที่เข้าสู่ร่างกายมนุษย์ในแต่ละวัน ประมาณ 15% มาจากการหายใจและ อาศัยอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิด โดยจะเข้าสู่ร่างกายไปยังปอดในปริมาณ 0.0015 มก./วัน ในแถบ ยุโรปมีค่าเฉลี่ยสูงถึง 1 มก./วัน (Jensen and Bro-Rasmussen, 1991) ประมาณ 10–15% ของ แคดเมียมที่ร่างกายได้รับจากการหายใจ จะสะสมที่ปอด ความสามารถในการดูดซึมแคดเมียมเข้าสู่ ปอดจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางเคมีของอนุภาคนั้นๆ ซึ่งประมาณ 50% จะเป็นแคดเมียมออกไซด์ที่ไม่ ละลายน้ำ (WHO, 2000)

ในน้ำดื่ม ปกติจะมีแคดเมียมต่ำมาก มีค่าอยู่ประมาณ 0.01–1 มก./ล. แต่อาจสูงถึง ประมาณ 25 มก./ล. ในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อน ปริมาณของแคดเมียมที่เข้าสู่ร่างกายผ่านทางน้ำดื่ม ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ดื่ม เช่น ถ้ำดื่มน้ำเพียงวันละ 2 ลิตร ก็จะได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายน้อยมาก (WHO, 2000) จากการทดลองในกลุ่มของหนูตัวเมีย พบว่าเมื่อให้หนูดื่มน้ำที่มีแคดเมียมปนเปื้อน 6 มก./กก. เป็นเวลานาน 24 สัปดาห์ จะมีแคดเมียมสะสมในไตสูง 1,466 มก./กก. ในลำไส้เล็ก ประมาณ 1,009 มก./กก. และในกระดูก 50 มก./กก. (Radike *et al.*, 2002)

¹ metallothionein เป็นโปรตีนที่มีมวลโมเลกุลต่ำ พบในร่างกายของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม มีความสามารถในการจับตัวกับธาตุที่มี ประจุ +2 และ +3 เช่น สังกะสี ทองแดง แคดเมียม และธาตุอื่นในหมู่ I/IIb หรือโลหะทรานซิชัน (transition metals) ในสัตว์เลี้ยง ลูกด้วยนมจะพบ metallothioneins ในตับ ไต และลำไส้ metallothioneins 1 โมเลกุล จับกับแคดเมียมได้ 7 อะตอม (Miles *et al.*, 2000; Coyle *et al.*, 2002)

การบริโภคอาหารถือเป็นเส้นทางหลักในการรับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิต โดยเพิ่มขึ้นตามลำดับชั้นการบริโภคที่สูงขึ้น เมื่อแคดเมียมปนเปื้อนในดินและน้ำ พืชจะดูดซึมแคดเมียมและสะสมไว้ตามส่วนต่างๆ ในสัตว์ก็จะมีการสะสมในเนื้อเยื่อโดยเฉพาะในตับและไต ความสามารถในการดูดซึมแคดเมียมผ่านระบบทางเดินอาหารอยู่ที่ประมาณ 5% แต่ในกรณีที่มีธาตุเหล็กไม่เพียงพอ อาจเพิ่มเป็น 15% ความเข้มข้นของแคดเมียมที่ได้รับผ่านทางอาหารควรมีค่าไม่เกิน 1 มกก./วัน (Bernard and Lauwerys, 1980)

1.5 การสะสมของแคดเมียมในสิ่งมีชีวิต

แคดเมียมเข้าสู่และสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิต (bioaccumulation) และในลำดับชั้นการบริโภคที่สูงขึ้นจะมีความเข้มข้นของแคดเมียมในร่างกายสูงขึ้น (biomagnification) เหนือกว่าเป็นเส้นทางหลักที่แคดเมียมเข้าสู่ร่างกายของสัตว์ทะเล โดยจะรับโดยตรงจากน้ำทะเลผ่านเนื้อเยื่อเหงือก (Sadik, 1992) จากนั้นแคดเมียมจะแพร่กระจายไปสะสมในส่วนต่างๆ ของร่างกายในปริมาณที่ต่างกัน และสัตว์ต่างชนิดกันจะมีการสะสมที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ปลากระดูกแข็งและฉลามจะมีการสะสมในตับและไต (Powell *et al.*, 1981) แคดเมียมที่เข้าสู่ร่างกายจะก่อให้เกิดโรคในตับ (Friedman and Gesek, 1994), ระบบสืบพันธุ์ (Shen and Sangiah, 1995), สมองและระบบประสาทส่วนกลาง (Provias *et al.*, 1994), ไต (Novelli *et al.*, 1999), ม้ามและไขกระดูก (Yamano *et al.*, 1998)

จากการศึกษาด้านเภสัชวิทยา แคดเมียมจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดและแพร่กระจายไปยังส่วนต่างๆ หลังจากบริโภคอาหารเข้าไป แคดเมียมจะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายอย่างรวดเร็วในส่วนของ duodenum และ jejunum ของสัตว์ประเภทฟันแทะ (rodents) แล้วจึงดูดซึมอย่างช้าๆ เข้าสู่ตับและไต อัตราการดูดซึมแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายในสัตว์ทดลองมีค่า 0.5–3.0% ขณะที่มนุษย์มีอัตราการดูดซึมในช่วง 3.0–8.0% (Järup *et al.*, 2000)

1.6 ความเป็นพิษของแคดเมียม

1.6.1 ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน

การหายใจเอากลุ่มควันที่มีอนุภาคแคดเมียมปนเปื้อนประมาณ 200–500 มกก./ลบ.ม. เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะทำให้เกิดอาการเหมือนเป็นไข้ ถ้าได้รับในนานประมาณ 2–3 ชั่วโมง จะมี

โอกาสเสียชีวิตถึง 15–20% โดยแคดเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้มากขึ้นเมื่ออยู่ในรูปสารประกอบที่มีสังกะสี ตะกั่ว และโลหะตัวอื่น (Wentink *et al.*, 1992)

1.6.2 ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง

โรคที่เกิดจากแคดเมียมครั้งแรกพบในประเทศญี่ปุ่น หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 เมื่อปี ค.ศ. 1946 (พ.ศ. 2489) โดยผู้ป่วยมีอาการปวดกระดูกและกระดูกแตกหักง่าย ขณะเดินจะรู้สึกเจ็บ จึงเรียกโรคนี้ว่า “itai-itai” ที่แปลว่า “เจ็บ-เจ็บ” ในภาษาญี่ปุ่น และพบว่าแคดเมียมยังเป็นอันตรายต่อปอดของคณงานในโรงงานอุตสาหกรรม (Nordberg, 2004) เมื่อได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายแบบเรื้อรังจะส่งผลให้ท่อไตถูกทำลายโดยจะพบโปรตีนถูกขับออกมากับปัสสาวะจากทางท่อไต (Bernard *et al.*, 1992) ส่วนอาการอย่างอื่น ได้แก่ ตับถูกทำลาย ถุงลมโป่งพอง (emphysema) โรคกระดูก (osteomalacia) ระบบประสาทถูกทำลาย ทำให้มีความบกพร่องทางการเคลื่อนไหว (neurological impairment) อัมพาตผิดปกติ (Gao *et al.*, 2007) ต่อมหมวกไตถูกทำลาย (adrenal damage) โรคโลหิตจาง (anemia) และโรคกระดูก (Katzantzis, 2004) เนื่องจากไตสร้างวิตามินดีลดลงและขับแคลเซียมออกมากับปัสสาวะมากขึ้น ทำให้การสะสมของแคลเซียมในกระดูกและการดูดซึมแคลเซียมที่บริเวณลำไส้เล็กลดลง รวมทั้งรบกวนการสร้างโปรตีน collagen ที่เป็นส่วนประกอบของเยื่อยึดข้อต่อกระดูกอีกด้วย (Kjellstrom, 1992) ในปี ค.ศ. 1993 (พ.ศ. 2536) International Agency for Research on Cancer (IARC) ได้จัดให้แคดเมียมและสารประกอบแคดเมียมเป็นสารก่อมะเร็งต่อมนุษย์และสัตว์ กลุ่มที่ 1 (WHO, 2000)

1.7 การกำจัดแคดเมียมออกจากร่างกาย (Excretion)

แต่ละวันแคดเมียมจะถูกกำจัดออกจากส่วนต่างๆ ของร่างกายประมาณ 0.005–0.01% ผ่านทางปัสสาวะในรูปของแคดเมียมที่จับกับ metallothionein (metallothionein-cadmium) ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยมาก อีกทั้งครึ่งชีวิต (half life) ของแคดเมียมในสิ่งมีชีวิตยาวนานถึง 20–40 ปี ส่งผลให้แคดเมียมสะสมอยู่ในร่างกายได้นานหรืออาจจะตลอดทั้งชีวิตของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ (WHO, 2000)

1.8 เกณฑ์มาตรฐานของแคดเมียมในสัตว์น้ำ

ในปัจจุบัน หลายองค์กรทั้งระดับประเทศและระดับนานาชาติ เช่น US-EPA, WHO, FAO, European Union (EU) และกระทรวงสาธารณสุขของไทย เป็นต้น ได้กำหนดระดับความ

เข้มข้นของโลหะหนักที่ยอมรับให้มีได้ในเนื้อปลาส่วนที่นำบริโภค ซึ่งล่าสุดได้กำหนดปริมาณของแคดเมียมที่ยอมรับให้มีปนเปื้อนในอาหารประเภทต่างๆของแต่ละองค์กร ดังตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 ปริมาณแคดเมียมสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในสัตว์ทะเล

ประเภทผลิตภัณฑ์	Maximum levels (มก./กก. น้ำหนักเปียก)	องค์กร/ประเทศ	อ้างอิง
เนื้อปลาทั่วไป	0.05	กลุ่มสหภาพยุโรป	EU (2006)
เนื้อปลากลุ่ม	0.1	”	”
<i>Engraulis species</i>	”	”	”
<i>Sarda sarda</i>	”	”	”
<i>Diplodus vulgaris</i>	”	”	”
ปลาไหล (<i>Anguilla anguilla</i>)	”	”	”
<i>Mugil labrosus labrosus</i>	”	”	”
ปลาเมคคาเรล (<i>Trachurus species</i>)	”	”	”
<i>Luvarus imperialis</i>	”	”	”
ปลาซาร์ดีน (<i>Sardina pilchardus</i>)	”	”	”
<i>Sardinops species</i>	”	”	”
ปลาทูน่า (<i>Thunnus species</i> , <i>Euthynnus species</i> , <i>Katsuwonus pelamis</i>)	”	”	”
ปลาตาเด็ชว (<i>Dicologlossa cuneata</i>)	”	”	”
เนื้อปลากระโทงแทงดาบ (<i>Xiphias gladius</i>)	0.3	”	”
สัตว์ทะเลประเภทกุ้ง ปู (Nephropidae และ Palinuridae)	0.5	”	”
สัตว์จำพวกหอย	1.0	”	”
หมีกทุกชนิด ยกเว้นเครื่องใน	1.0	”	”
กุ้งก้ามกราม (Lobsters)	0.5	แคนาดา	JECFA (2005)
อาหารทุกชนิด	1.0	ไทย	กระทรวง
หมีก	1.0	”	สาธารณสุข, (2548)

นอกจากนี้ Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) ได้กำหนดปริมาณแคดเมียมที่ผู้บริโภคจะรับได้ต่อสัปดาห์ (Provisional Tolerance Weekly Intake หรือ PTWI) ไว้ที่ 7 มก./กก. น้ำหนักตัว (JECFA, 2005)

1.9 การสะสมของแคดเมียมในสัตว์ทะเลจากพื้นที่ต่างๆ

สมชาย วิญญูพันธ์และคณะ (2551) พบว่าแคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และปรอทปนเปื้อนในสัตว์ทะเลหน้าดินจากเรืออวนลาก (ได้แก่ หมึกกล้วย หมึกหอม หมึกสาย หมึกกระดอง กุ้งตะกาด ปลาทรายแดง) และปลาผิวน้ำจากเรืออวนล้อมจับ (ได้แก่ ปลาหู ปลาปลิง ปลาหูแขก ปลาโอเกลบ และปลาหลังเขียว) ที่จับในน่านน้ำไทย ระหว่าง พ.ศ. 2546-2548 โดยพบว่าแคดเมียมในสัตว์ทะเลฝั่งอ่าวไทยมีค่าอยู่ในช่วง 0.001–3.561 มก./กก. และพบสูงสุดในหมึกสายเฉลี่ย 0.667 มก./กก. ส่วนแคดเมียมในสัตว์ทะเลฝั่งทะเลอันดามันมีค่าอยู่ในช่วง 0.005–0.665 มก./กก.

สำหรับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อปลาจากพื้นที่ต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 1-2 และตารางที่ 1-3 แสดงค่าการปนเปื้อนแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของหมึกจากพื้นที่ต่างๆ

1.10 ความเสี่ยงด้านสุขภาพ

“ความเสี่ยง” คือ “ลักษณะของสถานการณ์หรือการกระทำใดๆ ที่มีผลลัพธ์ได้มากกว่า 2 อย่าง ผลลัพธ์ที่ว่านี้เราไม่สามารถบอกได้แน่นอนว่าจะเกิดขึ้นหรือไม่ และอย่างน้อยหนึ่งในผลลัพธ์นั้นไม่พึงประสงค์” (พงศเทพ วิวรรณเดชะ, 2547)

“การประเมินความเสี่ยง” คือ “กระบวนการศึกษาอย่างเป็นระบบเพื่อพรรณนาและวัดความเสี่ยงที่มีความสัมพันธ์กับสิ่งคุกคาม กระบวนการ การกระทำหรือเหตุการณ์ใดๆ” อาจกล่าวได้ว่าการประเมินความเสี่ยงเป็นการศึกษาเชิงปริมาณ (quantitative study) เพราะเป็นการศึกษาในลักษณะที่สามารถตรวจวัดตัวแปรต่างๆ เป็นตัวเลขได้ (พงศเทพ วิวรรณเดชะ, 2547)

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

ตารางที่ 1-2 ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อของปลาแต่ละชนิดจากพื้นที่ต่างๆ

พื้นที่	ชนิด	Cd (มก./กก.นท.เปียก)	เอกสารอ้างอิง
ทะเลสาบสงขลา	ปลากะพงขาว	nd – 0.010	ประดิษฐ์ มีสุข (2542)
	กึ่งกุลาคำ	nd – 0.380	
	หอยแมลงภู่	0.041 – 0.343	
	ปลาทะเล	0.018 – 0.348	
	สาหร่ายพม nang	nd – 0.065	
มหาสมุทรอินเดีย	ปลาทูน่า	0.018	อรพินท์ จันทร์ส่องแสง (2549)
สพานปลากรุงเทพฯ	ทรายแดง	0.066 ± 0.044	สุภาพร สิริมานุยุตต์ และคณะ (2545)
	ทุ่น	0.096 ± 0.060	
	น้ำดอกไม้	0.086 ± 0.055	
Italian coast (Adriatic Sea)	Albacore	0.05 ± 0.03	Storelli. (2008)
	Horse mackerel	0.02 ± 0.01	
	Mediterranean	0.02 ± 0.01	
	European anchovy	0.01 ± 0.01	
	Yellow gurnard	0.02 ± 0.01	
Nitra River Slovakia	Chub	0.06 – 0.34	Andreji <i>et al.</i> (2005)
	Barbel	0.06 – 0.32	
	Roach	0.19 – 0.58	
	Pilchard	0.09 – 0.31	
Lower Nitra River, Slovak Republic	Chub	0.24 – 2.37	Andreji <i>et al.</i> (2006)
	Common carp	0.23 – 1.81	
	Prussian carp	0.06 – 2.55	
	Roach	0.18 – 0.92	
River Neretva, Croatia	Carp	0.016 – 0.155	Has-Schon <i>et al.</i> (2006)
	Tench	0.01 – 0.105	
	Sval	0.01 – 0.048	
	Grey mullet	0.014 – 0.1	
Catalonia, Spain	Sardine	0.002 – 0.01	Falco <i>et al.</i> (2006)
	Tuna	0.01 – 0.02	
	Mackerel	0.003 – 0.01	
	Swordfish	0.02 – 0.10	
River Nile, Egypt	Bagrus	0.053 – 0.28	Sallam <i>et al.</i> (1999)
New Jersey, USA	Blue fish	0.006 ± 0.002	Burger and Gochfeld (2005)
	Chilean sea bass	0.004 ± 0.001	

nd = not detectable

ตารางที่ 1-3 ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อของหมึกแต่ละชนิดจากพื้นที่ต่างๆ

พื้นที่	ชนิด	เนื้อเยื่อ	Cd (มก./กก.น.น.เปียก)	เอกสารอ้างอิง
British waters	<i>Loligo forbesi</i>	digestive	3.31 ± 2.31	Pierce <i>et al.</i> (2008)
		muscle	0.021 ± 0.033	
		gonads	0.028 ± 0.036	
		gills	0.055 ± 0.066	
		remaining	0.110 ± 0.121	
British waters	<i>Alloteuthis sp.</i>	digestive	2.27 ± 0.62	
		muscle	0.159 ± 0.033	
British waters	<i>Todaropsis</i>	digestive	8.41 ± 8.64	
		muscle	0.256 ± 0.311	
		gonads	0.143 ± 0.211	
		gills	1.23 ± 1.10	
		remaining	0.238 ± 0.218	
British waters	<i>Todarodes sagittatus</i>	digestive	30.7 ± 27.5	
		muscle	0.068 ± 0.065	
		gonads	0.211 ± 0.29	
		gills	1.68 ± 1.63	
		remaining	0.305 ± 0.36	
Viana do Castelo	<i>Octopus vulgaris</i>	arms	19 ± 24	Seixas <i>et al.</i> (2005)
Cascais	<i>Octopus vulgaris</i>	arms	0.4 ± 0.0	
	<i>Octopus vulgaris</i>	arms	1.2 ± 1.4	
Kinlochbervie	<i>Loligo forbesi</i>	liver	4.77	Craig and Overnell (2003)
	<i>Loligo forbesi</i>	eggs	0.84	
	<i>Ommastrephes bartrami</i>	liver	53.1	
ไม่ทราบพื้นที่	<i>Symplecteuthis oualaniensis</i>	liver	144.8	Martin and Flegal (1975)
	<i>Loligo opalescens</i>	liver	83.1	
ไม่ทราบพื้นที่	<i>Nototodarus gouldi</i>	liver	6.07	Fingre and Smith (1987)
อาหารทะเลแช่แข็ง	หมึกกระดอง	เนื้อ	1.05 ± 0.89	พิพัฒน์ นพคุณ และคณะ (2541)
	หมึกกล้วย	เนื้อ	0.37 ± 0.40	
	หมึกสาย	เนื้อ	1.04 ± 0.92	

ตารางที่ 1-3 (ต่อ)

พื้นที่	ชนิด	เนื้อเยื่อ	Cd (มก.กก.นมน.เปียก)	เอกสารอ้างอิง
สะพานปลา กรุงเทพฯ	หมึกกระดอง	หนวด	0.523 ± 0.29	นिरชา และคณะ 2540 อ้างถึงใน
		ตัว	0.373 ± 0.32	
	หมึกกล้วย	หนวด	0.281 ± 0.18	พูลทรัพย์ วิรุพหกุล และคณะ (2549)
		ตัว	0.228 ± 0.11	
หมึกสาย		หนวด	0.284 ± 0.15	
		ตัว	1.038 ± 0.56	
ทะเลอันดามัน	<i>Sthenoteuthis oualaniensis</i>	ตัว-หนวด	2.04 ± 0.60	Suwanna <i>et al.</i> (2009)
		อวัยวะภายใน	9.32 ± 5.20	
นอกชายฝั่งบังคลาเทศ	<i>Sthenoteuthis oualaniensis</i>	ตัว-หนวด	17.37 ± 4.11	
		อวัยวะภายใน	16.73 ± 3.28	

การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) เป็นกระบวนการหนึ่งที่ Codex Committee on Food Additive and Contaminants (CCFAC) ภายใต้การอนามัยโลก/องค์การอาหารและเกษตรกรรมแห่งสหประชาชาติ (World Health Organization/Food and Agriculture Organization of United Nations หรือ WHO/ FAO) ที่มีหน้าที่ในการกำหนดมาตรฐานอาหารและส่วนผสมในอาหารระหว่างประเทศ ได้เลือกมาเป็นวิธิต่างที่ใช้ในการลดความเสี่ยงจากอันตรายทั้ง 3 ด้าน คือ อันตรายด้านกายภาพ ด้านเคมี และด้านชีวภาพที่พบอยู่ในอาหาร โดยเฉพาะความเสี่ยงที่เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและสารพิษ อีกทั้งยังเป็นวิธีการที่นำมาใช้เพื่อให้ได้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ประกอบการตัดสินใจกรณีเกิดข้อพิพาททางการค้าสินค้าอาหารที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของอาหารในระดับนานาชาติ

1.10.1 การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ

“การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ” หมายถึง “การประเมินความเสี่ยงที่ศึกษาถึงผลกระทบที่มาจากสิ่งแวดล้อมแล้วก่อให้เกิดผลต่อสุขภาพของมนุษย์” แบ่งลักษณะการศึกษาออกได้เป็น 2 กลุ่ม (พงศ์เทพ วิวรรณะเดช, 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 (in-depth interview) การสัมภาษณ์เฉพาะกลุ่ม (focus group interview) ร่วมกับเทคนิคการศึกษาอื่นๆ เช่น การศึกษาแบบมีส่วนร่วม (participatory action research) เป็นต้น วิธีการเชิงคุณภาพจะเน้นความหลากหลายและความครอบคลุมของข้อมูล เพื่อเสนอผลให้เห็นในหลายแง่มุม

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

1.10.2 องค์ประกอบของการประเมินความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยงประกอบด้วย 4 ขั้นตอน (WHO/ FAO, ; พงศ์เทพ วิวรรณะ เดช. 2547) ดังนี้

1. การแสดงถึงความเป็นอันตราย (Hazard Identification) เป็นการแสดงถึงความเป็นอันตรายของสารพิษ หรือจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคที่จะทำการประเมินความเสี่ยง (Hazard Identification) ซึ่งหมายถึงว่าจะต้องมีการพิจารณาว่าสารพิษ หรือจุลินทรีย์ก่อโรคที่มีอยู่ในอาหารนั้นเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ร่างกายหรือไม่ โดยพิจารณาจากข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่มีอยู่

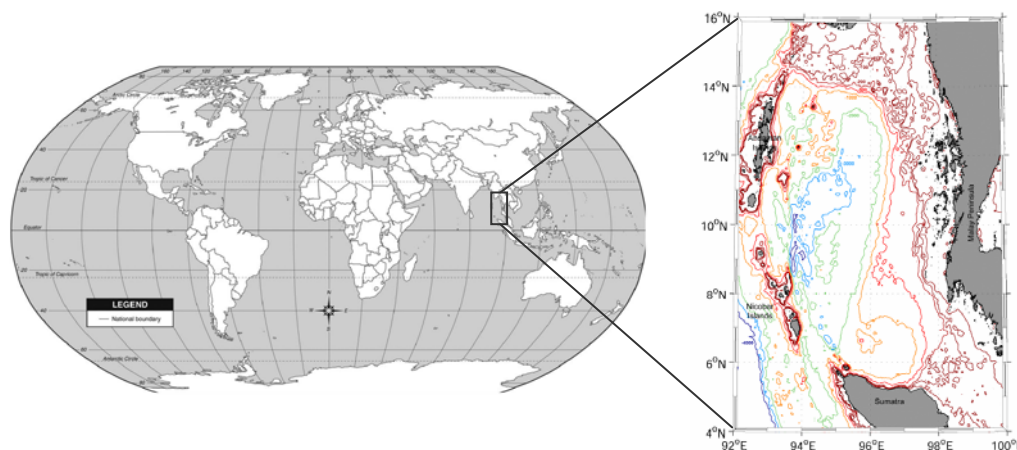
2. การอธิบายลักษณะของอันตราย (Hazard Characterization) เป็นการบอกหรือแสดงข้อมูลว่าอันตรายจากสารพิษ หรือจุลินทรีย์ก่อโรคนั้นๆ ร่างกายเราต้องได้รับในปริมาณใดและได้รับในความถี่เท่าไร จึงก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพ และมีผลเสียอย่างไร
3. การประเมินการได้รับสัมผัส (Exposure Assessment) เป็นการประเมินในเชิงคุณภาพหรือ ในเชิงปริมาณถึงความเป็นไปได้ที่ผู้บริโภคหนึ่งคน หรือประชากรหนึ่งกลุ่มจะได้รับสารพิษ หรือจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคผ่านทางอาหารเข้าสู่ร่างกาย รวมทั้งปริมาณที่ได้รับ
4. การอธิบายลักษณะความเสี่ยง (Risk Characterization) เป็นการรวมเอาข้อมูลและผลการวิเคราะห์จากทั้ง 3 ขั้นตอน มาใช้คำนวณความเสี่ยง เพื่อสรุปถึงความน่าจะเป็นที่จะเกิดอันตรายและความรุนแรงของอันตรายที่เกิดจากการได้รับสารพิษ และเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มประชากรที่ศึกษา

การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพเกี่ยวกับสารปนเปื้อนที่ได้รับผ่านการบริโภคอาหารทะเลถือว่ามีความสำคัญมาก เพราะอาหารทะเลเป็นแหล่งของอาหารประเภทโปรตีนที่สำคัญของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโลหะปริมาณน้อย (Eng *et al.*, 1989) ซึ่งผลการศึกษาในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ยังมีอยู่น้อยมาก (Agusa *et al.*, 2005) ที่ผ่านมาก็มีงานของ Agusa *et al.* (2007) ซึ่งได้ประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพเกี่ยวกับโลหะปริมาณน้อยที่ได้รับผ่านการบริโภคอาหารทะเล ของประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

1.11 พื้นที่ในการศึกษา

ทะเลอันดามันเป็นทะเลกึ่งปิด ที่อยู่ทางตะวันออกของอ่าวเบงกอล (รูปที่ 1-1) เชื่อมต่อผ่านช่องแคบ Preparis Channel (ลึก 250 ม.) Ten Degree Channel (ลึก 800 ม.) และ Great Passage (ลึก 1,800 ม.) ที่เปิดทะเลแนวหมู่เกาะอันดามัน-นิโคบาร์ ตามแนวลองจิจูด 93°E มีแม่น้ำอิระวดีที่มีต้นกำเนิดจากเทือกเขาหิมาลัยไหลลงทางทิศเหนือ ทิศตะวันออกติดแหลมมลายู ทิศใต้ติดตอนเหนือของเกาะสุมาตราและช่องแคบมะละกา มีพื้นที่ประมาณ 797,700 ตร.กม. มีความกว้างตามแนว ตะวันออก-ตะวันตก 650 กม. และความยาวตามแนวเหนือ-ใต้ 1,200 กม. ลึกเฉลี่ย 870-1,100 เมตร และลึกที่สุดประมาณ 4,200 เมตร ([http://www.dmr.go.th/geothai/andaman \(geo\).html](http://www.dmr.go.th/geothai/andaman (geo).html)) การที่ทะเลอันดามันได้สารอาหารทั้งจากแม่น้ำอิระวดีและแม่น้ำคางคา-พรหมบุตร ซึ่งอยู่ทางทิศเหนือของ

ทะเลอันดามัน (Dutta *et al.*, 2007) จึงทำให้ทะเลอันดามันตอนบนมีความอุดมสมบูรณ์ และมีทรัพยากรสัตว์น้ำที่หลากหลาย



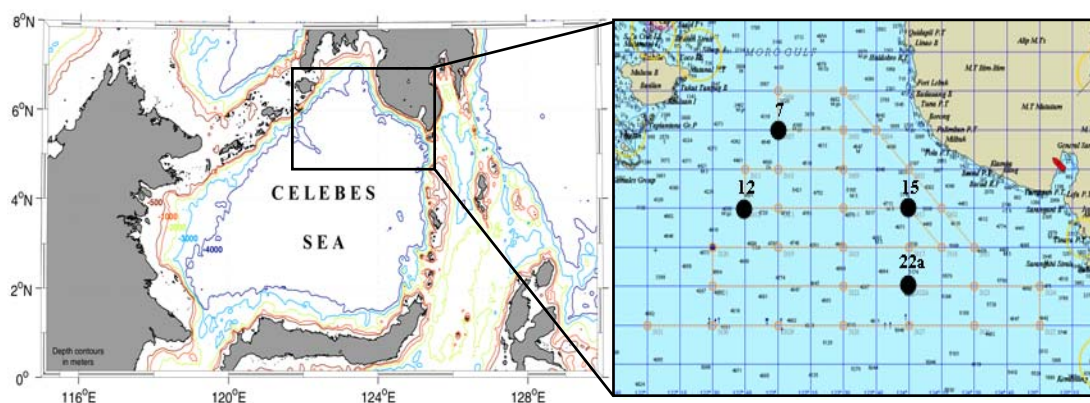
รูปที่ 1-1 ทะเลอันดามัน (<http://chuma.cas.usf.edu/~juster/volc1/world%20map.gif> และ Smith and Sandwell, 1997)

ทะเลอันดามันเป็นแอ่งที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของเปลือกโลก (tectonic basin) ต่อเนื่องมาจากคินดอนสามเหลี่ยมของแม่น้ำอิระวดีในประเทศพม่า แผ่กว้างออกไปประมาณ 1,200 กม. ลงไปทางใต้จนถึงทางตอนเหนือของเกาะสุมาตราและช่องแคบมะละกา ความกว้างของท้องทะเลจากฝั่งตะวันตกของแหลมไทยไปจนถึงหมู่เกาะอันดามันและหมู่เกาะนิโคบาร์ (Nicobar) ประมาณ 650 กิโลเมตร หมู่เกาะเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งของสันใต้น้ำที่เป็นแนวแบ่งเขตแอ่งอันดามันออกจากอ่าวเบงกอล (Bay of Bengal)

ลักษณะภูมิประเทศที่สำคัญในทะเลอันดามัน คือ ลาดทวีป (continental slope) ที่อยู่นอกชายฝั่งแหลมไทย - มาเลเซีย ลาดทวีปนี้เอียงลาดไปทางทิศตะวันตกจนกระทั่งไปต่อกับตะพักลุ่มน้ำที่ระดับความลึกประมาณ 2,435 เมตร ตะพักลุ่มน้ำนี้เอียงลาดไปทางทิศตะวันตกเช่นเดียวกัน โดยที่ความลาดเอียงจะค่อยๆ ลดลงไปจนถึงระดับความลึกประมาณ 2,670 เมตร ต่อจากนั้นเป็นแอ่งที่ชันในระดับความลึกประมาณ 3,035 เมตร ซึ่งควรจะเป็นท้องแอ่งของทะเลอันดามันกลาง (Central Andaman Trough) (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)

ส่วนทะเลเชเลเบส (รูปที่ 1-2) เป็นแหล่งทรัพยากรสัตว์น้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์และมีความหลากหลายทางชีวภาพสูงแห่งหนึ่งของโลก ทะเลเชเลเบสเป็นทะเลน้ำลึก มีพื้นที่ประมาณ 380,000 ตร.กม. และลึกมากถึง 6,200 ม. ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิก ทิศเหนือติด

กับหมู่เกาะที่อยู่ทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศฟิลิปปินส์ ติดกับทะเลซูลู (Sulu) และเกาะมินดาเนา ของประเทศฟิลิปปินส์ ทิศตะวันออกติดกับเกาะซิงเกีอิ (Sangihe) ทิศใต้ติดกับเกาะสุลาเวสี และทิศ ตะวันตกติดกับกาลิมันตันของอินโดนีเซีย และทะเลเซเลเบสยังมีทางออกสู่ทะเลอื่นๆ อีกหลายทาง เช่น ทางเหนือสามารถออกสู่ทะเลซูลู (Sulu) ได้ ส่วนทางทิศใต้เป็นทางออกที่ผ่านช่องแคบมาคัสซาร์ (Makassar) และทางทิศตะวันออกมีทางออกสู่ทะเลโมลุกกะ (Molucca) (Smith and Sandwell, 1997) ทะเลเซเลเบสเป็นทะเลที่แยกฟิลิปปินส์ออกจากมาเลเซียและอินโดนีเซีย จึงถือเป็นน่านน้ำที่มีความสำคัญทั้งในด้านการขนส่งและการประมง



รูปที่ 1-2 ทะเลเซเลเบส (Celebes Sea) และสถานีเก็บตัวอย่าง (รูปซ้ายอ้างอิงจาก Smith and Sandwell, 1997)

1.12 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อสัตว์ทะเลจากทะเลอันดามันและทะเลเซเลเบส เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานและนำข้อมูลที่ได้มาประเมินความเสี่ยงและหาปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคสัตว์ทะเลที่จับจากทะเลอันดามันและทะเลเซเลเบส

บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ศึกษาระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในตัวอย่างปลาจากทะเลอันดามันในเขตน่านน้ำไทยและน่านน้ำพม่าตอนล่าง จากการสำรวจทรัพยากรประมงในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึง เมษายน พ.ศ. 2550 และหมึกจากทะเลเซเลเบส ประเทศฟิลิปปินส์ในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2550

2.1 พื้นที่เก็บตัวอย่างและช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างสัตว์ทะเลในงานวิจัยครั้งนี้ได้รับความร่วมมือและความอนุเคราะห์จากทีมสำรวจทรัพยากรจาก SEAFDEC (Southeast Asian Fisheries Development Center) และกรมประมง โดยเก็บตัวอย่างใน 2 พื้นที่ ดังต่อไปนี้

- ทะเลอันดามัน (น่านน้ำไทยและน่านน้ำพม่า) เก็บตัวอย่าง ภายใต้โครงการ “The National Research Survey in the EEZ of Thai Waters in Andaman Sea” โดย M/V SEAFDEC 2 Cruise No. 24-2/2007 ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึง เมษายน พ.ศ. 2550
- ทะเลเซเลเบส ภายใต้โครงการ “The National Research Survey in the Celebes Sea-The Philippines Waters” โดย M/V SEAFDEC 2 Cruise No. 27-5/2007 เก็บตัวอย่างระหว่างวันที่ 20-24 กันยายน พ.ศ. 2550

2.2 วิธีการจับสัตว์น้ำ

2.2.1 ทะเลอันดามัน (น่านน้ำไทยและน่านน้ำพม่า)

ตัวอย่างสัตว์ทะเลจากทะเลอันดามัน สุ่มจากทรัพยากรสัตว์น้ำที่ได้จากการสำรวจ โดยใช้เครื่องมือประมง 4 ประเภท คือ เบ็ดรavnน้ำลึก (pelagic longline), เบ็ดรavnน้ำดิน (bottom vertical longline), ลอบจับปลา (trap fishing) และอวนลากหน้าดิน (bottom trawling) โดยอยู่ทางตอนล่างของน่านน้ำพม่า จำนวน 2 สถานี และในน่านน้ำไทย จำนวน 16 สถานี ตำแหน่งสถานีแสดงในรูปที่ 2-1 และรายละเอียดสถานีสำรวจแสดงในตารางที่ 2-1

2.2.2 ทะเลเซเลเบส

ตัวอย่างหมึกจากทะเลเซเลเบส สุ่มจากตัวอย่างที่ได้จากการสำรวจโดยใช้เครื่องมือประมงประเภทเบ็ดตกหมึกอัตโนมัติ (automatic squid jigging machine) จำนวน 4 สถานี ตำแหน่งสถานีแสดงในรูปที่ 2-2 และรายละเอียดสถานีสำรวจแสดงในตารางที่ 2-2

2.3 การสุ่มเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ทางเคมี

การจำแนกชนิดทางวิทยาศาสตร์ วัดขนาดความยาว และชั่งน้ำหนัก (สำหรับตัวอย่างที่มีขนาดเล็กไม่ได้ชั่งน้ำหนักและวัดความยาวในแต่ละตัว) ดำเนินการทันทีหลังจากที่ได้ตัวอย่างสัตว์ทะเลในแต่ละสถานี โดยทีมสำรวจทรัพยากรประมงของ SEAFDEC และกรมประมง

สุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์หาระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อ โดยจะสุ่มทั้งตัวสำหรับสัตว์น้ำขนาดเล็ก และสุ่มกล้ามเนื้อเยื่อส่วนที่บริโภคสำหรับปลาขนาดใหญ่ (รูปที่ 2-3) โดยบรรจุตัวอย่างใส่ถุงพลาสติกสะอาดแยกตามชนิดและขนาด รัดปากถุงให้แน่น บันทึกชนิดสัตว์น้ำ เครื่องมือประมงที่ใช้ และวันที่เก็บ เก็บรักษาตัวอย่างด้วยการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20°C เพื่อนำกลับมาวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการเคมี

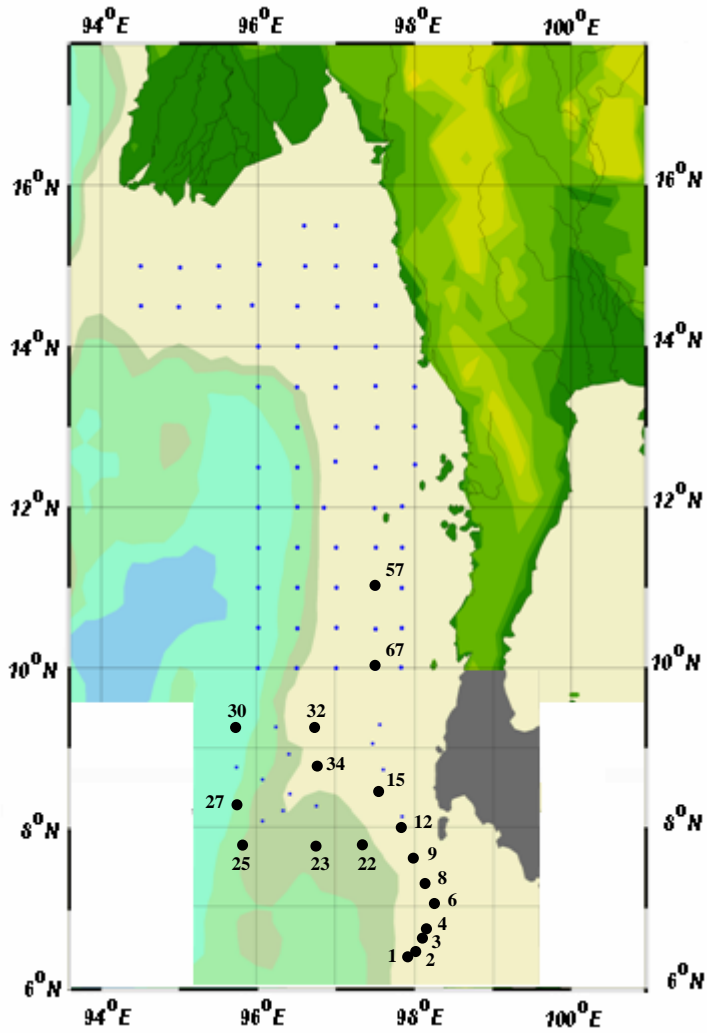
2.4 วิธีการเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

2.4.1 การทำความสะอาดอุปกรณ์และภาชนะ

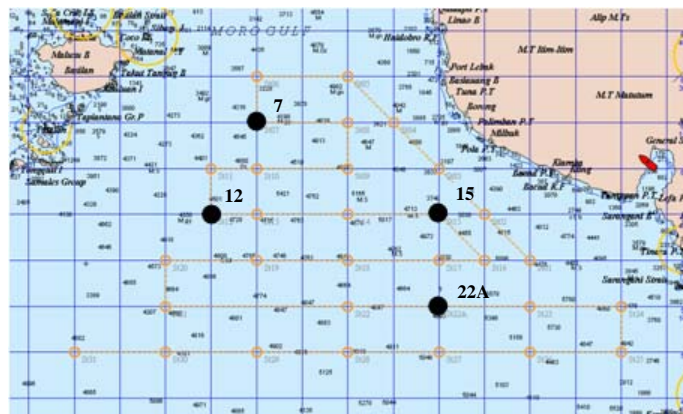
อุปกรณ์ เครื่องแก้ว และภาชนะทุกชิ้นที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมี เตรียมโดยทำความสะอาดด้วยดีเทอร์เจนต์ (detergent) และแช่ใน 10% HNO_3 ไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง จากนั้นล้างจนหมดฤทธิ์กรดด้วยน้ำบริสุทธิ์ซึ่งกำจัดไอออนจนความต้านทาน $>18 \text{ M}\Omega\text{cm}$ อย่างน้อย 3 ครั้ง ผึ่งให้แห้งในตู้ปลอดฝุ่น Class 100 เก็บใส่ถุงพลาสติกสะอาดและปิดผนึก จนกว่าจะใช้งาน

2.4.2 วิธีเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างแช่แข็งมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องในตู้ปราศจากฝุ่น Class 100 จนกว่าน้ำแข็งละลายจนหมด สำหรับตัวอย่างที่มีขนาดเล็กซึ่งไม่ได้ชั่งน้ำหนักและวัดขนาดความยาวของแต่ละตัว ขณะสุ่มตัวอย่าง นำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งความละเอียด 2 ตำแหน่ง วัดความยาว จากนั้นบันทึกภาพตัวอย่างสัตว์ทะเลก่อนทำการเตรียมตัวอย่างในขั้นต่อไป



รูปที่ 2-1 แผนที่แสดงตำแหน่งสถานีสำรวจในทะเลอันดามัน



รูปที่ 2-2 แผนที่แสดงตำแหน่งสถานีสำรวจในทะเลเซเลเบต

ตารางที่ 2-1 ตำแหน่งสถานีสำรวจและวันเวลาที่ทำการสำรวจในทะเลอันดามัน

สถานี	วันที่	เครื่องมือ	เวลา (น.)		แอดติจูด (องศาเหนือ)	ลองจิจูด (องศาตะวันออก)	ความลึกทะเล (ม.)
			เริ่ม	สิ้นสุด			
น่านน้ำพม่า							
57	28/02/2007	BT	06:54	07:17	11°00.10 ¹	097°31.00 ¹	85
67	27/02/2007	BT	07:08	07:29	10°03.20 ¹	097°29.80 ¹	93-102
น่านน้ำไทย							
1	23/03/2007	BVL	12:57	13:29	06°24.5 ¹	97°59.9 ¹	139
2	23/03/2007	TF	07:25	08:17	06°26.3 ¹	98°00.4 ¹	170
3	22/03/2007	BVL	07:28	08:22	06°36.1 ¹	98°05.9 ¹	175
4	21/03/2007	BVL	14:39	15:19	06°43.5 ¹	98°09.1 ¹	149
6	21/03/2007	TF	07:27	08:20	07°02.7 ¹	98°16.2 ¹	135
8	20/03/2007	BVL	07:20	08:08	07°17.6 ¹	98°08.6 ¹	90
9	19/03/2007	BVL	14:10	14:47	07°28.2 ¹	98°00.6 ¹	166
12	18/03/2007	BVL	07:36	08:28	08°00.2 ¹	97°49.9 ¹	157
15	29/03/2007	TF	07:10	07:55	08°27.7 ¹	97°33.7 ¹	80
22	03/04/2007	PLL	05:43	07:05	07°47 ¹	97°21.2 ¹	492
23	03/04/2007	PLL	13:20	14:44	07°45 ¹	96°45.5 ¹	859
25	04/04/2007	PLL	17:26	18:48	07°45.2 ¹	95°50.3 ¹	664
27	10/04/2007	PLL	16:10	12:27	08°14.9 ¹	95°45.4 ¹	1321
30	08/04/2007	PLL	14:20	15:29	09°15.1 ¹	95°45.5 ¹	2000
32	07/04/2007	PLL	14:45	16:00	09°14.7 ¹	96°45.2 ¹	391
34	06/04/2007	PLL	10:22	11:43	08°45.1 ¹	96°45.2 ¹	439

หมายเหตุ: PLL = เบ็ดร่อนน้ำลึก (pelagic longline)
 BVL = เบ็ดร่อนหน้าดิน (bottom vertical longline)
 TF = ลอบจับปลา (trap fishing)
 BT = อวนลากหน้าดิน (bottom trawling)

ตารางที่ 2-2 ตำแหน่งสถานีสำรวจและวันเวลาที่ทำการสำรวจในทะเลเซเลเบส

สถานี	วันที่	เวลา (น.)		แอดติจูด (องศาเหนือ)	ลองจิจูด (องศาตะวันออก)	ความลึกทะเล (ม.)
		เริ่ม	สิ้นสุด			
7	20/09/2009	19:30	22:10	06° 14.2 ¹	123° 01.1 ¹	4282
12	22/09/2009	05:28	06.55	05° 44.5 ¹	122° 44.8 ¹	4753
15	22/09/2009	16.31	17.40	05° 46.4 ¹	123° 59.6 ¹	3578
22A	25/09/2009	04.45	06.08	05° 13.8 ¹	124° 00.7 ¹	4860



(ก) ตัวอย่างสัตว์ทะเลที่มีขนาดเล็ก สุ่มตัวอย่างทั้งตัว



(ข) ตัวอย่างสัตว์ทะเลที่มีขนาดใหญ่ (เช่น พูม่า ปลาตาบ กระโทงแทง ฉลาม เป็นต้น) สุ่มแล่มาเฉพาะเนื้อเยื่อ

รูปที่ 2-3 ตัวอย่างสัตว์ทะเลที่สุ่มจับได้สำหรับการวิเคราะห์หาแคดเมียมในเนื้อเยื่อ

การแล่และเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ ทำในตู้ปราศจากฝุ่น (Laminar flow cabinet) Class 100 และสวมถุงมือยางทุกครั้ง อุปกรณ์ที่ใช้แล่ปลาแต่ละตัวอย่าง ทำความสะอาดด้วยน้ำบริสุทธิ์ (>18 MΩcm) ทุกครั้งและซับให้แห้ง ก่อนจะแล่ตัวอย่างต่อไป

การแล่และเตรียมตัวอย่างดำเนินการโดยปูแผ่นพลาสติกสะอาดในตู้ปลอดฝุ่น Class 100 ทำความสะอาดตัวอย่างด้วยน้ำบริสุทธิ์ (>18 MΩcm) แล่เอาแต่เฉพาะเนื้อเยื่อด้วยมีดสแตนเลสสตีล บดสับเนื้อเยื่อสัตว์ทะเลจนเป็นเนื้อเดียวกัน (รูปที่ 2-4) ตัวอย่างที่เตรียมเสร็จแล้ว เก็บใส่ถุงซิปล็อคสะอาด เก็บรักษาด้วยการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20°C จนกว่าจะวิเคราะห์ทางเคมี

2.4.3 การย่อยตัวอย่างเนื้อเยื่อสัตว์ทะเล

การย่อยตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ทางเคมี ใช้วิธีการที่ดัดแปลงจากวิธีมาตรฐาน AOAC Official Methods 999.11 (AOAC, 2006) ของ Association of Official Agriculture Chemists โดยชั่งตัวอย่างประมาณ 10 กรัม ใส่ลงในเบ้ากระเบื้องเคลือบ (crucible) ด้วยเครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง (analytical balance) ยี่ห้อ METTER TOLEDO รุ่น AB104-S บันทึกน้ำหนักโดยละเอียด

นำตัวอย่างในเบ้ากระเบื้องเคลือบไปทำให้แห้งโดยตั้งบนเตาให้ความร้อน (hot plate) ที่อุณหภูมิ 100°C จนกว่าตัวอย่างจะแห้ง นำตัวอย่างที่แห้งแล้ว ไปเผาในเตาเผาแบบตั้งโปรแกรม (programmable ash muffle furnace) ยี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น 10750126, USA โดยการเพิ่มอุณหภูมิเป็นลำดับขั้นในอัตรา 50°C ต่อชั่วโมง จาก 100°C เป็น 450°C ใช้เวลาเผา 2 – 4 ชั่วโมง ตัวอย่างจะกลายเป็นเถ้าสีดำ (รูปที่ 2-5)



รูปที่ 2-4 การแล่และเตรียมตัวอย่างเนื้อเยื่อ เก็บใส่ถุงพลาสติก เพื่อเตรียมวิเคราะห์ทางเคมี ทุกขั้นตอนดำเนินการในตู้ปราศจากฝุ่น (Laminar flow cabinet) Class 100: รูปขวา – การแล่และเตรียมตัวอย่าง และรูปซ้าย – ตัวอย่างที่ชำแหละเสร็จแล้ว



รูปที่ 2-5 การย่อยตัวอย่างเนื้อเยื่อให้เป็นสารละลายเพื่อวิเคราะห์ทางเคมี: รูปขวา – ทำตัวอย่างให้แห้งตั้งบนเตาให้ความร้อน (hot plate) ที่อุณหภูมิ 100°C และรูปซ้าย – การเผาตัวอย่างในเผาแบบตั้งโปรแกรม (programmable ash muffle furnace) โดยเพิ่มอุณหภูมิเป็นลำดับขั้น จาก 100°C เป็น 450°C ด้วยอัตรา 50°C ต่อชั่วโมง

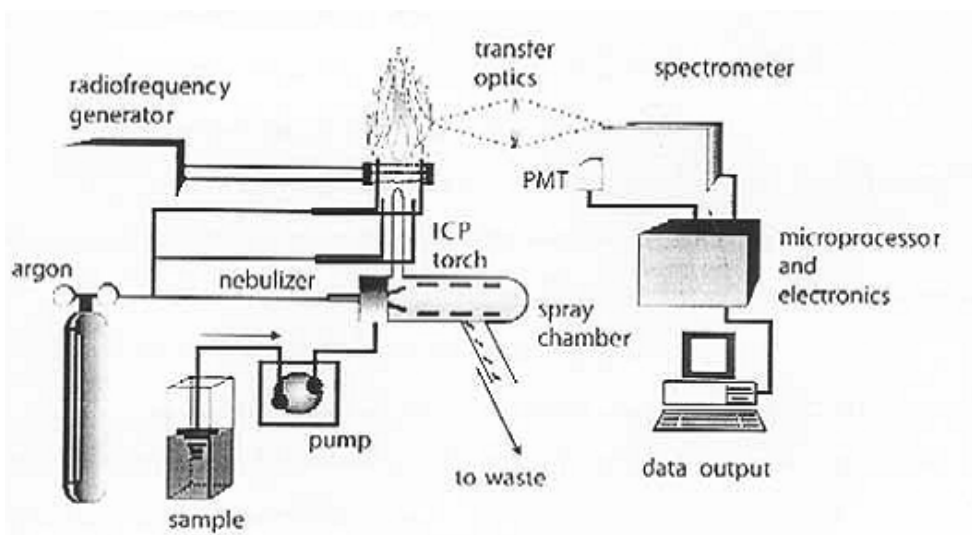
เมื่อตัวอย่างเย็นลง เติมน้ำบริสุทธิ์ (>18 MΩcm) 1 – 3 มล. ตั้งบน hot plate เพื่อระเหยแห้ง นำตัวอย่างเข้าเตาเผาอีกครั้งหนึ่ง โดยตั้งโปรแกรมให้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 100°C เพิ่มอุณหภูมิเป็นลำดับขั้นในอัตรา 50°C ต่อชั่วโมง จนถึง 450°C ใช้เวลาเผาทั้งสิ้นอีก 8 ชั่วโมง หากเถ้ายังเป็นสีดำ ให้ทำขั้นตอนนี้ซ้ำอีกจนกว่าเถ้าจะมีสีขาวหรือเทา

ละลายเถ้าที่ได้ในเบ้ากระเบื้องเคลือบด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 6 โมลาร์ ปริมาตร 5 มล. นำไประเหยแห้งบนเตาให้ความร้อนอีกครั้ง จนสารละลายงวดเกือบแห้ง จากนั้นละลายส่วนตกค้าง (residue) ที่อยู่ในเบ้ากระเบื้องเคลือบด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 20 มล. ปิดด้วยกระจกนาฬิกา ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง จนส่วนที่ตกค้างละลายหมด เตาสารละลายที่ได้เก็บในขวดพลาสติกที่ทำความสะอาดแล้วตามวิธีการในหัวข้อ 2.4.1 ปิดให้สนิทรอการวัดความเข้มข้น แคดเมียมในสารละลาย

2.4.4 การวัดความเข้มข้นแคดเมียมในสารละลาย

นำสารละลายไปตรวจวัดความเข้มข้นของแคดเมียมด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma – Optical emission spectrometer (ICP-OES) ยี่ห้อ Perkin-Elmer รุ่น Optima 2000 DV ซึ่งอาศัยหลักการกระตุ้นอะตอมที่อุณหภูมิ 6,000 – 10,000 K โดยมีก๊าซอาร์กอนเป็นพลาสมา (Plasma) ที่เกิดในสภาพความดันบรรยากาศและคงอยู่ได้ด้วยพลังงานที่ถ่ายเทมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่วิทยุ (radio frequency, RF) องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง ICP แสดงไว้ในรูปที่ 2-6

เมื่อสารละลายตัวอย่างถูกดูดเข้าเครื่อง ICP-OES จะถูกทำให้เป็นละอองขนาดเล็กๆ แล้วก๊าซอาร์กอนเป็นตัวพาละอองตัวอย่างเข้าสู่กึ่งกลางของพลาสมาที่เป็นแหล่งให้พลังงานกระตุ้นความร้อนสูง โดยพลังงานจากพลาสมาจะทำให้อะตอมของธาตุเปลี่ยนจากสถานะพื้น (ground state) ไปอยู่ในสถานะกระตุ้น (excited state) ซึ่งเป็นสถานะที่ไม่เสถียร ดังนั้นอะตอมของธาตุนั้นจะคายพลังงานเพื่อกลับสู่สถานะพื้น โดยอะตอมของธาตุแต่ละชนิดจะคายพลังงานออกมาโดยการเปล่งแสง (emission) ที่มีความยาวคลื่นเฉพาะตัว แล้วตัวตรวจวัดก็จะสามารถวัดชนิดและปริมาณของธาตุนั้นๆ ได้ (แม้น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม, 2535) ซึ่งอะตอมของแคดเมียมจะวัดที่ความยาวคลื่นเฉพาะ คือ 228.802 นาโนเมตร



รูปที่ 2-6 องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง Inductively Coupled Plasma Spectrophotometer (ICP)

2.5 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ดำเนินการโดย

1. ในทุกรอบของการย่อยตัวอย่าง ทำการย่อยโดยไม่ใช้ตัวอย่าง (blank) โดยวิธีการเดียวกับการย่อยตัวอย่าง รอบละ 3 ซ้ำ
2. วิเคราะห์ตัวอย่างซ้ำ 15% ของตัวอย่างทั้งหมด
3. วิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน (Certified Reference Materials: CRM) ของ National Research Council of Canada 2 ตัว ได้แก่ DORM-2 (Dogfish Muscle) และ DOLT-2 (Dogfish Liver) ซึ่งมีค่าความเข้มข้นที่แน่นอนกำกับไว้

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) หาค่าต่ำสุด (minimum) ค่าสูงสุด (maximum) ค่าเฉลี่ย (average) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) และค่ามัธยฐาน (median) ของข้อมูล ใช้โปรแกรม SPSS 11.5 และ 12.0 เปรียบเทียบค่ามัธยฐานเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25 และ 75 แล้วแสดงผลโดยใช้แผนภูมิกล่อง (box plot) หาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อโดยใช้ Pearson Bivariate Correlation และหาความสำคัญของความแตกต่างของระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อแต่ละส่วนของสัตว์น้ำ โดยใช้ T-test แบบ Paired samples test และ Independent samples test และ ANOVA แบบ One-Way ANOVA

2.7 วิเคราะห์ความเสี่ยงในการบริโภค

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 Alimentarius Commission เอกสารหมายเลข CX/FAC 01/28 (February 2001)
3. ประกาศคณะกรรมการมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ: กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ: ปลาหมึก พ.ศ. 2548

2.7.2 การประเมินความเสี่ยงในการได้รับแคดเมียมในปริมาณน้อยเป็นเวลานาน

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

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

โดยที่	CF	=	Contaminant concentration of cadmium in fish, mg/kg
	IR	=	Ingestion rate
		=	0.028 kg/meal average (85g/day average)(FAO, 2005)
	FI	=	Fraction ingested from contaminated source
		=	1 (conservative consumption)
	EF	=	Exposure frequency
		=	350 meals/year (EPA, 1999)
	ED	=	Exposure duration
		=	30 years for non-carcinogenic effect (EPA, 1999)
	BW	=	Body weight
		=	50 kg average (Agusa <i>et al.</i> , 2007)
	AT	=	Average time exposed
		=	30 years x 365 days/year = 10,950 days for risk from non-carcinogenic effect (EPA, 1999)

หากค่า HQ มากกว่า 1 แสดงว่า ปริมาณที่มีอยู่นั้นอยู่ในเกณฑ์ที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพ หากได้รับเข้าสู่ร่างกายเป็นเวลานาน ซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจำเป็นต้องมีการสื่อสารกับประชาชน ให้รับทราบในเรื่องของความเสี่ยงในการบริโภค (risk communication) และควรมีการจัดการความเสี่ยง (risk management) ซึ่งในการหาค่า HQ สมการ (2-2) สำหรับหาค่าความเสี่ยงของแคดเมียมในการก่อให้เกิดโรคที่ไม่ใช่มะเร็ง (non-cancer effect)

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

โดยที่ค่า Rfd หรือ Reference dose for chronic oral exposure สำหรับแคดเมียม = 0.001 มก./กก./วัน (EPA, 2005)

2.7.3 การประเมินปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภค

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

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

โดยที่	<i>PTWI</i>	=	provisional tolerate-weekly intake (g/week)
	<i>TRV</i>	=	toxicological reference value (µg/kg body weight per day)
	<i>BW</i>	=	body weight (kg)
	<i>C_f</i>	=	mean of the levels of the contaminant of potential concern found in the food (mg/kg)
	7	=	days/week

บทที่ 3

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา

3.1 ชนิดพันธุ์และขนาดของสัตว์น้ำที่ศึกษา

3.1.1 ชนิดพันธุ์และขนาดของปลาจากทะเลอันดามัน

ตัวอย่างปลา 94 ตัวอย่าง ซึ่งสุ่มระหว่างการสำรวจทรัพยากรประมงในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึง เมษายน พ.ศ. 2550 โดยเครื่องมือประมง 4 ประเภท คือ ลอบจับปลา (trap fishing), เบ็ดราวหน้าดิน (bottom vertical longline) และเบ็ดราวน้ำลึก (pelagic longline) ในน่านน้ำไทย 16 สถานี และอวนลากหน้าดิน (bottom trawling) ในน่านน้ำพม่าตอนล่าง 2 สถานี จำแนกชนิดได้ 18 ชนิด รายละเอียดจำนวนและขนาดของปลาแต่ละชนิดที่ได้จากเครื่องมือประมงแต่ละประเภทสรุปไว้ในตารางที่ 3-1

ลักษณะรูปร่าง ชื่อสามัญ และชื่อวิทยาศาสตร์ของปลาแต่ละชนิดพันธุ์แสดงในภาคผนวก ก ลักษณะการกินอาหารและถิ่นที่อยู่ของปลาแต่ละชนิดพันธุ์แสดงในภาคผนวก ข ตาราง ข-1 ส่วนขนาดของปลาแต่ละตัวอย่างในการศึกษาค้างนี้แสดงในตาราง ข-2 ในภาคผนวก ข

นอกจากตัวอย่างปลา 94 ตัวอย่างแล้ว ทาง SEAFDEC ได้เก็บตัวอย่างกระเพาะของปลา 7 ตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์ระดับแคลเซียมที่สะสมเปรียบเทียบกับเนื้อปลา ได้แก่ ปลากระโทงร่มอินโดแปซิฟิก (*Istiophorus platypterus*) 1 ตัวอย่าง, ปลาทูน่าครีบลำโพง (*Thunnus albacares*) 2 ตัวอย่าง และปลากระโทงแทงดาบ (*Xiphias gladius*) 4 ตัวอย่าง

3.1.2 ชนิดพันธุ์และขนาดของหมึกจากทะเลเซเลเบส

ในการสำรวจทรัพยากรประมงในทะเลเซเลเบส ช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2550 โดยเบ็ดตกหมึกอัตโนมัติ (automatic squid jigging machine) ได้ตัวอย่างหมึกกล้วยน้ำลึก (splendid squid) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Loligo formosana* Sasaki 26 ตัวอย่าง จาก 4 สถานี เป็นเพศผู้ 9 ตัว และเพศเมีย 17 ตัว หมึกเพศผู้เล็กกว่าหมึกเพศเมียมาก โดยเพศผู้มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 10 – 80 กรัมเฉลี่ย 30.6 ± 26.6 ก. และเพศเมียมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 90 – 570 ก. เฉลี่ย 308 ± 116 ก. รายละเอียดเพศขนาด และสถานีเก็บตัวอย่างของตัวอย่างหมึกแต่ละตัวแสดงในตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-1 จำนวนตัวอย่าง ความยาว และน้ำหนักของปลาแต่ละชนิดที่ได้จากเครื่องมือประมงแต่ละประเภทจากทะเลอันดามัน (น่านน้ำไทยและพม่า)

ก) จำนวนตัวอย่าง

ชื่อสามัญไทย / วิทยาศาสตร์	น่านน้ำไทย			
	PLL (N)	BVL (N)	TF (N)	BT (N)
ฉลามหางยาว (<i>Alopias pelagicus</i>)	1	-	-	-
ฉลามหางยาวหน้าหนุ (<i>Alopias superciliosus</i>)	11	-	-	-
ไหลครา (<i>Brotula multibrabata</i>)	-	-	1	-
สร้อยนกเขา (<i>Haplogenyx nitens</i>)	-	-	11	-
กระโทงร่มอินโดแปซิฟิก (<i>Istiophorus platypterus</i>)	3	-	-	-
ฉลามปากหมา (<i>Isurus oxyrinchus</i>)	1	-	-	-
ดาบเงิน (<i>Lepturacanthus savala</i>)	10	-	-	-
กระโทงสีน้ำเงินแปซิฟิก (<i>Makaira mazara</i>)	1	-	-	-
ฉลามหมาจูดขาว (<i>Mustelus manazo</i>)	-	3	-	-
ทรายแดง (<i>Nemipterus bathybius</i>)	-	-	-	3
แพะทองเหลือง (<i>Parupeneus heptacanthus</i>)	-	-	-	3
ดาหวาน (<i>Priacanthus macracanthus</i>)	-	-	-	3
ปากคมจุด (<i>Saurida undosquamis</i>)	-	-	-	3
น้ำดอกไม้ (<i>Sphyrna barracuda</i>)	2	-	-	-
ฉลามหลังหนาม (<i>Squalus mitsukurii</i>)	-	16	3	-
ทูน่าครีบลีเอียง (<i>Thunnus albacares</i>)	4	-	-	-
ปากคมหูดำ (<i>Trachinocephalus myops</i>)	-	-	-	3
กระโทงแทงดาบ (<i>Xiphias gladius</i>)	12	-	-	-
รวม 94 ตัวอย่าง	45	19	15	15

หมายเหตุ: PLL = Pelagic longline, BVL = Bottom vertical longline, TF = Trap fishing และ BT = Bottom trawling

ตารางที่ 3-1 (ต่อ)

ข) ความยาวเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ช่วงความยาว) [หน่วยเป็น ซม.]

ชื่อสามัญไทย / วิทยาศาสตร์	น่านน้ำไทย			น่านน้ำพม่า
	PLL (N)	BVL (N)	TF (N)	BT (N)
ฉลามหางยาว (<i>Alopias pelagicus</i>)	270	-	-	-
ฉลามหางยาวหน้าหนุ (<i>Alopias superciliosus</i>)	280.4 \pm 33.5 (209 - 348)	-	-	-
ไหลครา (<i>Brotula multibrabata</i>)	-	-	ไม่ได้ระบุ	-
สร้อยนกเขา (<i>Haplogenyx nitens</i>)	-	-	20.8 \pm 2.1 (17.0 - 23.2)	-
กระโทงร่มอินโดแปซิฟิก (<i>Istiophorus platypterus</i>)	245.7 \pm 18.4 (224 - 269)	-	-	-
ฉลามปากหมา (<i>Isurus oxyrinchus</i>)	219	-	-	-
ดาบเงิน (<i>Lepturacanthus savala</i>)	117.3 \pm 32.5 (114 - 143)	-	-	-
กระโทงสีน้ำเงินแปซิฟิก (<i>Makaira mazara</i>)	278	-	-	-
ฉลามหมาจูดขาว (<i>Mustelus manazo</i>)	-	ไม่ได้ระบุ	-	-
ทรายแดง (<i>Nemipterus bathybius</i>)	-	-	-	20.8 \pm 1.0 (19.5 - 22.0)
แพะทองเหลือง (<i>Parupeneus heptacanthus</i>)	-	-	-	20.2 \pm 1.0 (25.0 - 27.5)
คาหวาน (<i>Priacanthus macracanthus</i>)	-	-	-	26.5 \pm 0.8 (25.5 - 27.5)
ปากคมจุด (<i>Saurida undosquamis</i>)	-	-	-	25.3 \pm 1.0 (24.0 - 26.5)
น้ำดอกไม้ (<i>Sphyraena barracuda</i>)	70.5 \pm 16.5 (54 - 87)	-	-	-
ฉลามหลังหนาม (<i>Squalus mitsukurii</i>)	-	44.13 \pm 3.32 (36.5-48.5)	44.43 \pm 1.82 (43-47)	-
ทูน่าครีบลีง (<i>Thunnus albacares</i>)	126.0 \pm 7.9 (118 - 138)	-	-	-
ปากคมหูดำ (<i>Trachinocephalus myops</i>)	-	-	-	20.7 \pm 0.6 (20.0 - 21.5)
กระโทงแทงดาบ (<i>Xiphias gladius</i>)	174.6 \pm 31.1 (145 - 270)	-	-	-

หมายเหตุ: PLL = Pelagic longline, BVL = Bottom vertical longline, TF = Trap fishing และ BT = Bottom trawling

ตารางที่ 3-1 (ต่อ)

ค) น้ำหนักเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ช่วงน้ำหนัก) [หน่วยเป็น กก.]

ชื่อสามัญไทย / วิทยาศาสตร์	น่านน้ำไทย			น่านน้ำพม่า
	PLL (N)	BVL (N)	TF (N)	BT (N)
ฉลามหางยาว (<i>Alopias pelagicus</i>)	45	-	-	-
ฉลามหางยาวหน้าหนุ (<i>Alopias superciliosus</i>)	60.0 \pm 21.2 (25 - 110)	-	-	-
ไหลครา (<i>Brotula multibrabata</i>)	-	-	0.74	-
สร้อยนกเขา (<i>Haplogenyx nitens</i>)	-	-	0.227 \pm 0.074 (0.106 - 0.338)	-
กระโทงร่มอินโดแปซิฟิก (<i>Istiophorus platypterus</i>)	23.3 \pm 4.0 (21.0 - 29.0)	-	-	-
ฉลามปากหมา (<i>Isurus oxyrinchus</i>)	75	-	-	-
ดาบเงิน (<i>Lepturacanthus savala</i>)	1.29 \pm 0.26 (1.0 - 1.8)	-	-	-
กระโทงสีน้ำเงินแปซิฟิก (<i>Makaira mazara</i>)	120	-	-	-
ฉลามหมาจูดขาว (<i>Mustelus manazo</i>)	-	2.30 \pm 0.08 (2.2 - 2.4)	-	-
ทรายแดง (<i>Nemipterus bathybius</i>)	-	-	-	0.111 \pm 0.023 (0.08 - 0.14)
แพะทองเหลือง (<i>Parupeneus heptacanthus</i>)	-	-	-	0.242 \pm 0.021 (0.21 - 0.26)
ดาหวาน (<i>Priacanthus macracanthus</i>)	-	-	-	0.205 \pm 0.018 (0.19 - 0.23)
ปากคมจุด (<i>Saurida undosquamis</i>)	-	-	-	0.117 \pm 0.010 (0.11 - 0.13)
น้ำดอกไม้ (<i>Sphyræna barracuda</i>)	9.7 \pm 3.7 (6.0 - 13.4)	-	-	-
ฉลามหลังหนาม (<i>Squalus mitsukurii</i>)	-	0.39 \pm 0.07 (0.21-0.55)	0.36 \pm 0.02 (0.35-0.38)	-
ทูน่าครีบลีเอ็ง (<i>Thunnus albacares</i>)	23.0 \pm 5.0 (18.0 - 31.0)	-	-	-
ปากคมหูดำ (<i>Trachinocephalus myops</i>)	-	-	-	0.082 \pm 0.011 (0.07 - 0.10)
กระโทงแทงดาบ (<i>Xiphias gladius</i>)	15.8 \pm 13.8 (7.2 - 60.0)	-	-	-

หมายเหตุ: PLL = Pelagic longline, BVL = Bottom vertical longline, TF = Trap fishing และ BT = Bottom trawling

ตารางที่ 3-2 ขนาด (ความยาวและน้ำหนัก) เพศ และสถานที่ได้ตัวอย่างหมึกกล้วยน้ำจืด (*Loligo formosana* Sasaki) จากทะเลเซเลเบส

เพศ	สถานี	หน่วยยาว (ซม.)	น้ำหนักตัว (ก.)
F	22A	18	300
F	22A	20	570
F	12	17.5	220
F	12	17	120
F	12	16.5	190
F	15	13.5	90
F	15	17.5	330
F	7	19	390
F	15	17.5	290
F	15	21	390
F	15	18	300
F	12	20	410
F	12	20	320
F	12	20	380
F	12	21	400
F	12	19	350
F	12	17	190
M	12	11	10
M	12	11.5	15
M	12	11.5	20
M	12	11.5	20
M	12	11.5	20
M	12	13.5	80
M	12	10	15
M	12	10	15
M	12	14	80
เฉลี่ย \pm SD		16.0 \pm 3.4	212 \pm 163
ต่ำสุด - สูงสุด		10.0 - 21.0	10 - 570
ค่ามัธยฐาน		17.3	205

3.2 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงที่รับรอง (Certified Reference Material; CRM) DORM-2 (Dogfish Muscle) และ DOLT-2 (Dogfish Liver) โดยใช้วิธีการเดียวกับตัวอย่าง ชนิดละ 6 ซ้ำ ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3-3 ค่าของแคดเมียมใน DORM-2 วิเคราะห์ได้เท่ากับ 0.041 ± 0.002 มก./กก. หรือ 96.1% ของความเข้มข้นที่กำกับมากับ CRM (0.043 ± 0.009 มก./กก.) ส่วน DOLT-2 วิเคราะห์แคดเมียมได้เท่ากับ 20.28 ± 0.21 มก./กก. หรือ 97.5% ของความเข้มข้นที่กำกับมากับ CRM (20.8 ± 0.5 มก./กก.) ทำ blank 3 ซ้ำ ทุกครั้งของการทดลองพบว่าค่า blank ต่ำมากแสดงว่าการปนเปื้อนขณะวิเคราะห์น้อยมาก และผลของการวิเคราะห์ซ้ำ 27 ตัวอย่างจาก 180 ตัวอย่าง แล้วนำมาหาค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน $\%SD/mean$ แสดงในตาราง ข-3 ภาคผนวก ข มีค่าน้อยกว่า 10% แสดงว่าวิธีการวิเคราะห์มีความแม่นยำ

ตารางที่ 3-3 ผลการวิเคราะห์แคดเมียมในสารอ้างอิงที่รับรอง DORM-2 (Dogfish Muscle) และ DOLT-2 (Dogfish Liver)

ครั้งที่	DORM-2 (มก./กก.)	DOLT-2 (มก./กก.)
1	0.040	19.92
2	0.031	20.45
3	0.047	19.71
4	0.042	20.25
5	0.044	21.33
6	0.044	20.02
ค่าที่กำกับมา	0.043 ± 0.009	20.8 ± 0.5
ค่าเฉลี่ย \pm standard error	0.041 ± 0.002	20.28 ± 0.21
% ที่วิเคราะห์ได้	96.1%	97.5%

3.3 ผลการศึกษาปริมาณแคดเมียมในปลาจากทะเลอันดามัน

3.3.1 ปริมาณแคดเมียมในเนื้อเยื่อปลาแต่ละชนิด

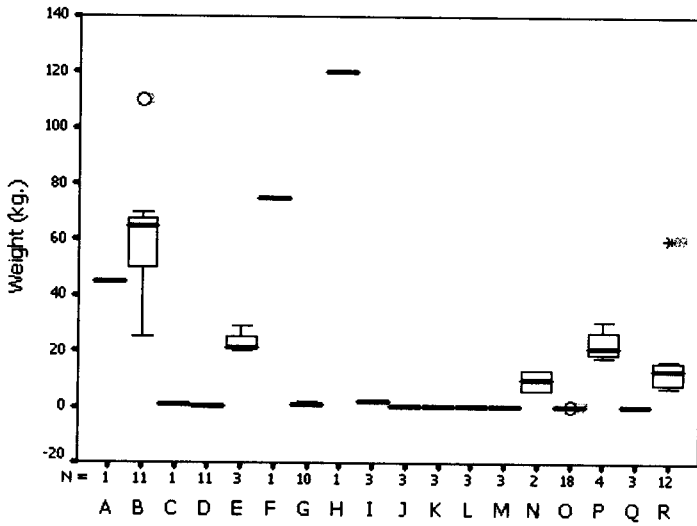
ผลการวิเคราะห์ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อปลาแต่ละตัวอย่าง แสดงในตาราง ข-4 ภาคผนวก ข และสรุปไว้ในตารางที่ 3-4 โดยพบว่าปลาที่ตรวจพบระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมสูงสุด คือ ปลาฉลามหางยาว (*A. pelagicus*) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.034 มก./กก. น้ำหนัก

เป็ยก รองลงมา คือ ปลากระโทงสีน้ำเงินแปซิฟิก (*M. mazara*) มีค่าเท่ากับ 0.031 มก./กก. น้ำหนักเป็ยก และปลาที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมต่ำสุด คือ ปลาทรายแดง (*N. bathybius*) มีค่าเท่ากับ 0.004 ± 0.002 มก./กก. น้ำหนักเป็ยก

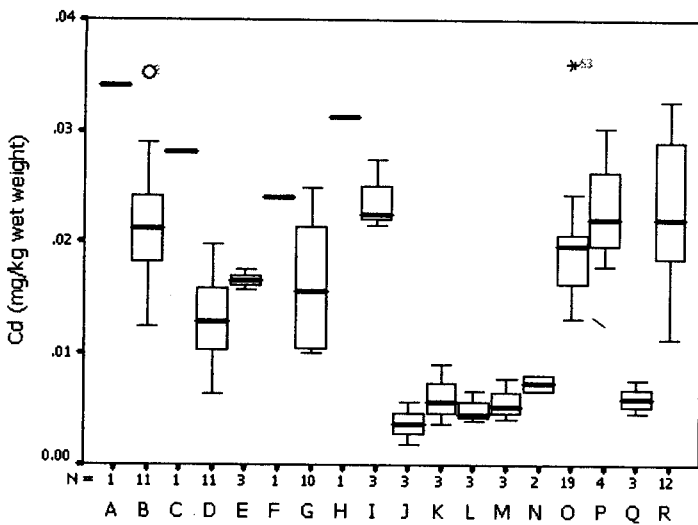
จากรูปที่ 3-1 ซึ่งเปรียบเทียบค่ามัธยฐานของระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อปลาทั้ง 18 ชนิดจากทะเลอันดามัน พบว่าปลาที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมต่ำมี 6 ชนิด โดยเป็นปลาที่ได้จากอวนลากหน้าคืนในน่านน้ำพม่าตอนล่าง 5 ชนิด ได้แก่ ปลาทรายแดง (*N. bathybius*), ปลาแพะทองเหลือง (*P. heptacanthus*), ปลาตาหวาน (*P. macracanthus*), ปลาปากคมจุด (*S. undosquamis*) และ ปลาปากคมหูดำ (*T. myops*) ปลาเหล่านี้เป็นปลาที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักไม่เกิน 1 กิโลกรัม ส่วนปลาจากน่านน้ำไทยที่มีแคดเมียมต่ำ ได้แก่ ปลาน้ำดอกไม้ (*S. barracuda*) ซึ่งได้จากเบ็คราวน้ำลึก

ตารางที่ 3-4 ค่าต่ำสุด-สูงสุด, ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่ามัธยฐานของระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในปลาแต่ละชนิดจากทะเลอันดามัน จากการสุ่มตัวอย่างในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ ถึง เมษายน พ.ศ. 2550

ชื่อวิทยาศาสตร์	N	แคดเมียม (มก./กก. น้ำหนักเป็ยก)		
		ต่ำสุด-สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่ามัธยฐาน
<i>Alopias pelagicus</i>	1	0.034	0.034	-
<i>Alopias superciliosus</i>	11	0.013 - 0.035	0.022 ± 0.006	0.021
<i>Brotula multibarata</i>	1	0.028	0.028	-
<i>Haplogenyus nitens</i>	11	0.006 - 0.020	0.013 ± 0.004	0.013
<i>Istiophorus platypterus</i>	3	0.016 - 0.018	0.017 ± 0.001	0.017
<i>Isurus oxyrinchus</i>	1	0.024	0.024	-
<i>Lepturacanthus savala</i>	10	0.010 - 0.025	0.016 ± 0.005	0.016
<i>Makaira mazara</i>	1	0.031	0.031	-
<i>Mustelus manazo</i>	3	0.022 - 0.028	0.024 ± 0.003	0.023
<i>Nemipterus bathybius</i>	3	0.002 - 0.006	0.004 ± 0.002	0.004
<i>Parupeneus heptacanthus</i>	3	0.004 - 0.009	0.006 ± 0.002	0.006
<i>Priacanthus macracanthus</i>	3	0.004 - 0.007	0.005 ± 0.001	0.005
<i>Saurida undosquamis</i>	3	0.004 - 0.008	0.006 ± 0.002	0.005
<i>Sphyaena barracuda</i>	2	0.007 - 0.008	0.007 ± 0.001	0.007
<i>Squalus mitsukurii</i>	19	0.013 - 0.036	0.020 ± 0.005	0.020
<i>Thunnus albacares</i>	4	0.018 - 0.030	0.023 ± 0.005	0.022
<i>Trachinocephalus myops</i>	3	0.005 - 0.008	0.006 ± 0.001	0.006
<i>Xiphias gladius</i>	12	0.011 - 0.033	0.023 ± 0.007	0.022



- A = *Alopias pelagicus*,
- B = *Alopias superciliosus*
- C = *Brotula multibarbata*
- D = *Haplogenyus nitens*
- E = *Istiophorus platypterus*
- F = *Isurus oxyrinchus*
- G = *Lepturacanthus savala*
- H = *Makaira mazara*
- I = *Mustelus manazo*
- J = *Nemipterus bathybius*
- K = *Parupeneus heptacanthus*
- L = *Priacanthus macracanthus*
- M = *Saurida undosquamis*
- N = *Sphyraena barracuda*
- O = *Squalus mitsukurii*
- P = *Thunnus albacares*
- Q = *Trachinocephalus myops*
- R = *Xiphias gladius*

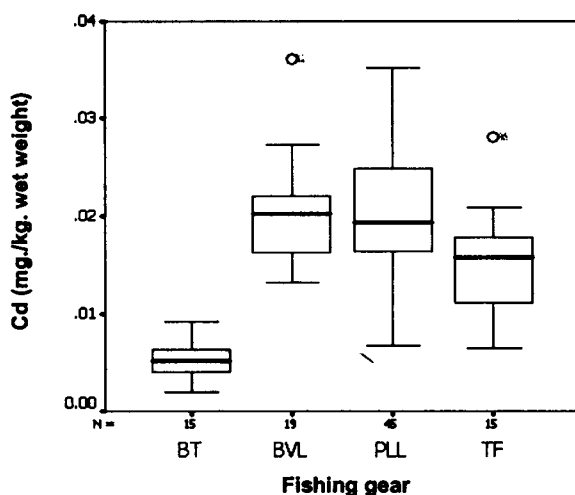


Species

รูปที่ 3-1 ค่ามัธยฐานและช่วงของน้ำหนัก (ก) และระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อปลา (ข) ทั้ง 18 ชนิด จากทะเลอันดามัน (J, K, L, M และ Q เป็นตัวอย่างที่ได้จากอวนลากหน้าดิน)

[เส้นหนาดตรงกลางกล่องแสดงค่ามัธยฐาน, เส้นล่างของกล่องแสดงเปอร์เซ็นต์ ไทล์ที่ 25, เส้นบนของกล่องแสดงเปอร์เซ็นต์ ไทล์ที่ 75, เครื่องหมายวงกลมเปิด (o) แสดงข้อมูลที่มีค่าระหว่าง 1.5 ถึง 3 เท่าของความกว้างของกล่อง, เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงข้อมูลที่มีค่ามากกว่า 3 เท่าของความกว้างของกล่อง]

จากการเปรียบเทียบ ขนาด และระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อปลาจากทะเลอันดามันตามประเภทของเครื่องมือประมงที่ใช้ (รูปที่ 3-2) พบว่า ปลาที่ได้จากอวนลากหน้าดินมีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อปลาค่ากว่าปลาที่ได้จากเครื่องมือประมงประเภทอื่นๆ ทั้งนี้ น่าจะเนื่องจากปลาเหล่านี้เป็นปลาผิวดินหรือปลาว่ายน้ำอ่อนที่อาศัยใกล้ผิวดินที่ได้ตัวอย่างมาในครั้งนี้มีขนาดเล็ก น้ำหนักไม่เกิน 1 กก. และไม่ใช่ปลาประเภทผู้ล่า (predatory fishes) ซึ่งต่างจากปลาที่ได้จากเครื่องมือประมงประเภทอื่นที่มีขนาดใหญ่กว่า หรือถ้ามีขนาดเล็กก็เป็นปลาผู้ล่า ซึ่งว่ายน้ำเร็วและกินปลาขนาดเล็กกว่าเป็นอาหาร จึงได้รับการถ่ายทอดแคดเมียมผ่านทางสายใยอาหาร



รูปที่ 3-2 ค่ามัธยฐานและช่วงน้ำหนัก และแคดเมียมที่ปนเปื้อนในเนื้อปลาที่จับจากทะเลอันดามันทั้ง 18 ชนิด แยกตามประเภทของเครื่องมือประมง โดย PL = Pelagic longline, BVL = Bottom vertical longline, TF = Trap fishing และ BT = Bottom trawling [เส้นหนาตรงกลางกล่องแสดงค่ามัธยฐาน, เส้นล่างของกล่องแสดงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25, เส้นบนของกล่องแสดงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75, เครื่องหมายวงกลมเปิด (o) แสดงข้อมูลที่มีค่าระหว่าง 1.5 ถึง 3 เท่าของความกว้างของกล่อง, เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงข้อมูลที่มีค่ามากกว่า 3 เท่าของความกว้างของกล่อง]

3.3.2 ระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมในกระเพาะของตัวอย่างปลา

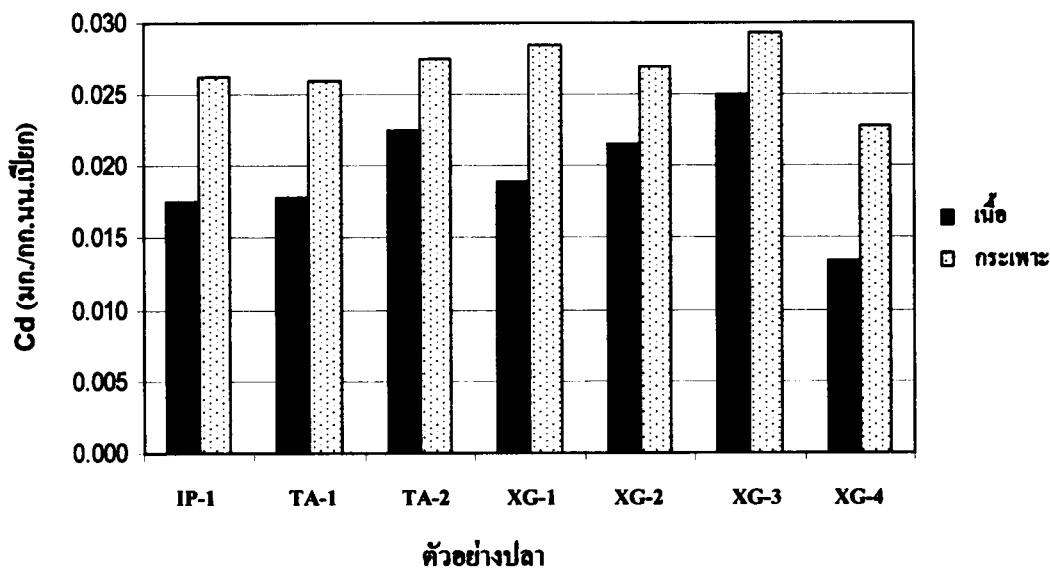
ผลการวิเคราะห์ระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมในเนื้อปลาและกระเพาะของตัวอย่างปลา 3 ชนิด คือ ปลากระโทงร่มอินโดแปซิฟิก (*I. platypterus*) 1 ตัวอย่าง, ปลาทูนาคีรีบเหลือง (*T. albacares*) 2 ตัวอย่าง และปลากระโทงแทงคาบ (*X. gladius*) 4 ตัวอย่าง แสดงในตาราง ข-5 ในภาคผนวก ข และสรุปไว้ในตารางที่ 3-5

เมื่อเปรียบเทียบระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมในเนื้อปลากับกระเพาะของปลาตัวเดียวกัน พบว่า ทั้ง 7 ตัวอย่าง มีระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมในกระเพาะสูงกว่าในเนื้อปลาถึง 37.4 % (รูปที่ 3-3) ซึ่งเป็นเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Yilmaz *et al.* (2007) ที่พบว่าระดับของแคคเมียมในอวัยวะภายในของปลา *Leuciscus cephalus* และ *Lepomis gibbous* สูงกว่าในเนื้อปลา

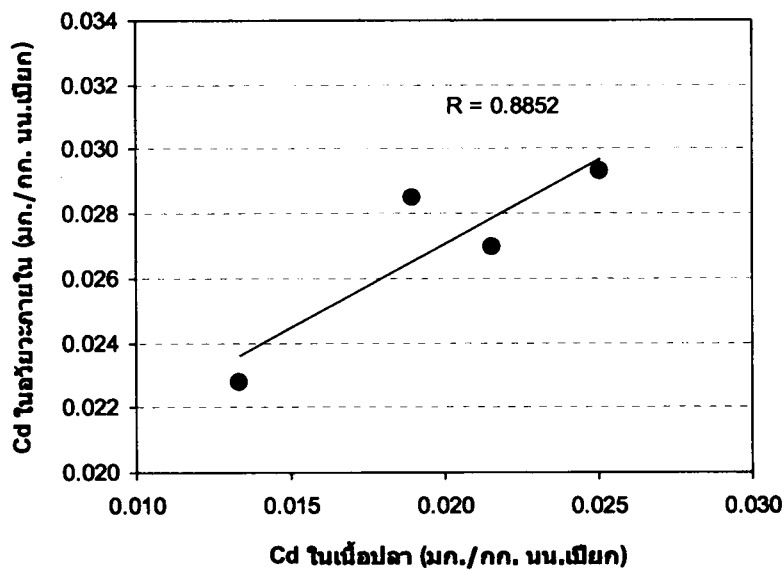
ตารางที่ 3-5 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมในเนื้อปลาและกระเพาะของปลา (N = จำนวนตัวอย่าง)

ชื่อวิทยาศาสตร์	N	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	เนื้อเยื่อ	อวัยวะภายใน
<i>I. platypterus</i>	1	269	29	0.018	0.026
<i>T. albacares</i>	2	123 ± 5 (118 - 128)	20.5 ± 2.5 (18 - 23)	0.020 ± 0.002 (0.018 - 0.023)	0.027 ± 0.001 (0.026 - 0.028)
<i>X. gladius</i>	4	163.3 ± 6.6 (155 - 172)	10.9 ± 3.2 (7.5 - 15.0)	0.020 ± 0.002 (0.013 - 0.025)	0.027 ± 0.003 (0.023 - 0.029)

จากการทดสอบทางสถิติโดยใช้ T-test แบบ Paired Samples Test (แสดงรายละเอียดในตาราง ค-1 ภาคผนวก ค) พบว่า ระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมที่สะสมในกระเพาะและในเนื้อปลามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และจากรูปที่ 3-4 พบว่า ระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมในเนื้อปลาและกระเพาะของปลากระโทงแทงคาบทั้ง 4 ตัวอย่าง มีค่า r สูง (0.8852) แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันสูง และมีความสัมพันธ์แบบมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)



รูปที่ 3-3 ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อปลาเปรียบเทียบกับกระเพาะของปลาตัวเดียวกัน (IP = *Istiophorus platypterus*; TA = *Thunnus albacares*; XG = *Xiphias gladius*)



รูปที่ 3-4 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อและกระเพาะของตัวอย่างปลากระโทงแทงดาบ (*X. gladius*) ทั้ง 4 ตัวอย่าง

3.3.3 ผลการเปรียบเทียบระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อปลากับค่ามาตรฐาน

ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อปลาแต่ละชนิดดังแผนภูมิกล่อง (รูปที่ 3-1ข) เมื่อเปรียบเทียบระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อปลาที่ศึกษากับค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยคณะกรรมการยุโรป (EU, 2006) ซึ่งกำหนดให้มีแคดเมียมได้ไม่เกิน 0.05 มก./กก. น้ำหนักเปียก สำหรับปลาทั่วไป ส่วนปลาทูน่าครีบน้ำเงิน (*T. albacares*) และปลาทูน่าธงแดง (*X. gladius*) กำหนดให้มีได้ไม่เกิน 0.1 และ 0.3 มก./กก. น้ำหนักเปียก ตามลำดับ และกระทรวงสาธารณสุข (2548) ให้มีแคดเมียมในอาหารทุกชนิดไม่เกิน 0.1 มก./กก. น้ำหนักเปียก พบว่า ปลาทั้ง 18 ชนิดยังมีค่าความเข้มข้นของแคดเมียมต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของ EU (2006) และ กระทรวงสาธารณสุข (2548)

3.3.4 การเปรียบเทียบกับงานวิจัยชิ้นอื่น

ผลการศึกษาระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในสัตว์น้ำจากทะเลอันดามันยังมีอยู่น้อยมาก โดยมีงานของสุภาพร สิริมานุยุตต์ และคณะ (2545), อรพินท์ จันทร์ผ่องแสง (2549) และ สมชาย วิญญูพันธ์และคณะ (2551) (ดูในตารางที่ 1-2 ในบทที่ 1)

ระดับแคดเมียมในเนื้อปลาทรายแดง ปลาน้ำดอกไม้ และปลาทูน่าครีบน้ำเงิน จากการศึกษารุ่นนี้ พบว่ามีระดับต่ำกว่าในปลาอ่าวไทยที่ สุภาพร สิริมานุยุตต์ และคณะ (2545) ซึ่งเคยรายงานไว้ ขณะที่แคดเมียมที่ปนเปื้อนในปลาทูน่าครีบน้ำเงินจากการศึกษารุ่นนี้ (0.023 ± 0.005 มก./กก. น้ำหนักเปียก) อยู่ในระดับใกล้เคียงกับที่พบในเนื้อปลาทูน่าจากมหาสมุทรอินเดีย (0.018 มก./กก. น้ำหนักเปียก) ที่รายงานโดย อรพินท์ จันทร์ผ่องแสง (2549)

สมชาย วิญญูพันธ์และคณะ (2551) รายงานระดับแคดเมียมในสัตว์ทะเลจากอ่าวไทย ในช่วง $0.001 - 3.561$ มก./กก. น้ำหนักเปียก ค่าสูงสุดพบในหมึกสายเฉลี่ย 0.667 มก./ก.น.น.เปียก ผังทะเลอันดามันอยู่ในช่วง $0.005 - 0.665$ มก./กก. น้ำหนักเปียก ซึ่งการศึกษารุ่นนี้พบแคดเมียมปนเปื้อนในเนื้อปลาอยู่ในช่วง $0.002 - 0.036$ มก./กก. น้ำหนักเปียก ค่าที่สูงในรายงานของสมชาย วิญญูพันธ์ และคณะ (2551) มาจากกุ้งและหมึก โดยเฉพาะหมึกที่มีแคดเมียมสะสมในปริมาณสูง

3.3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อ กับขนาดของปลา

3.3.5.1 ความสัมพันธ์ในภาพรวมทุกชนิด

จากผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทางสถิติของน้ำหนัก ความยาว และระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อปลาทั้ง 94 ตัวอย่าง จากทะเลอันดามัน พบว่า ระดับการ

ปนเปื้อนของแคคเมียมในเนื้อปลามีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับน้ำหนักตัว ($r = 0.513$) และมีความสัมพันธ์กันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) และระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมในเนื้อปลามีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับความยาว ($r = 0.597$) และมีความสัมพันธ์กันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) ดังตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทางสถิติของน้ำหนัก ความยาว และระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมในเนื้อปลาทั้ง 94 ตัวอย่าง จากทะเลอันดามัน โดยใช้สถิติ Bivariate Correlation (Pearson)

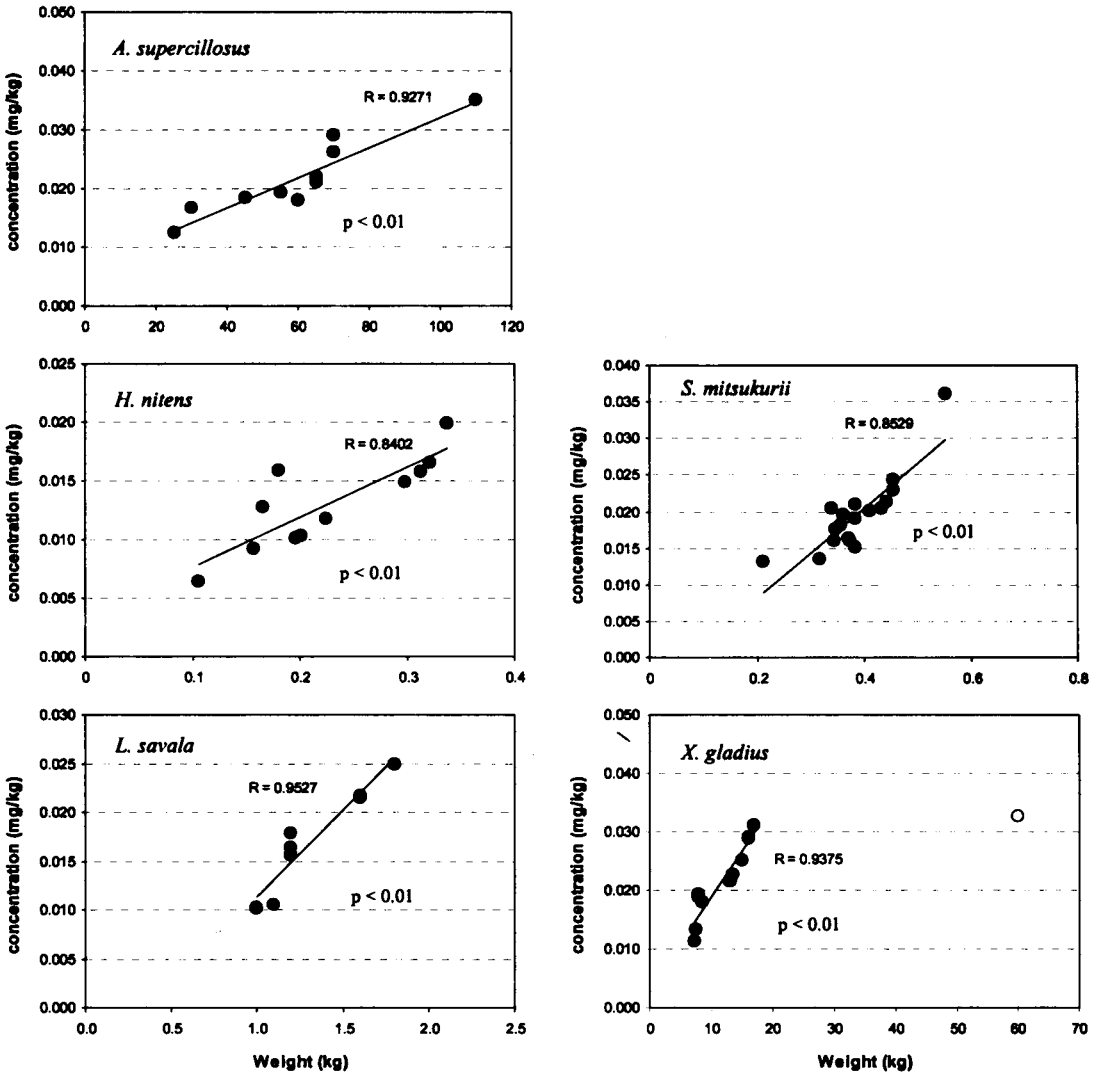
	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)		
	น้ำหนัก	ความยาว	ปริมาณแคคเมียม
น้ำหนัก	1	0.841**	0.513**
ความยาว		1	0.597**
ปริมาณแคคเมียม			1

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

ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมในเนื้อปลากับน้ำหนักของตัวอย่างปลา ในปลา 5 ชนิด ที่มีจำนวนตัวอย่างมากกว่า 10 ตัวอย่างขึ้นไป (รูปที่ 3-5) ได้แก่ ปลาฉลามหางยาวหน้าหู (*A. superciliosus*), ปลาสร้อยนกเขา (*H. nitens*), ปลาดาบเงิน (*L. savala*), ปลาฉลามหลังหนาม (*S. mitsukurii*) และปลากระโทงแทงดาบ (*X. gladius*) พบว่า

- ปลาฉลามหางยาวหน้าหู มีค่า r สูง (0.9271) ซึ่งแสดงว่าระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมในเนื้อปลากับน้ำหนักตัวมีความสัมพันธ์กันสูง และมีความสัมพันธ์กันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$)
- ปลาสร้อยนกเขามีค่า r สูง (0.8402) แสดงว่าระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมในเนื้อปลากับน้ำหนักตัวมีความสัมพันธ์กัน และมีความสัมพันธ์กันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$)
- ปลาดาบเงินมีค่า r สูง (0.9527) แสดงว่าระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมในเนื้อปลากับน้ำหนักตัวมีความสัมพันธ์กัน และมีความสัมพันธ์กันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$)
- ปลาฉลามหลังหนามมีค่า r สูง (0.8529) แสดงว่าระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมในเนื้อปลากับน้ำหนักตัวมีความสัมพันธ์กัน และมีความสัมพันธ์กันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$)

- ปลากระโทงแทงคามีค่า r สูง (0.9375) แสดงว่าระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อปลากับน้ำหนักตัวมีความสัมพันธ์กัน และมีความสัมพันธ์กันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$)



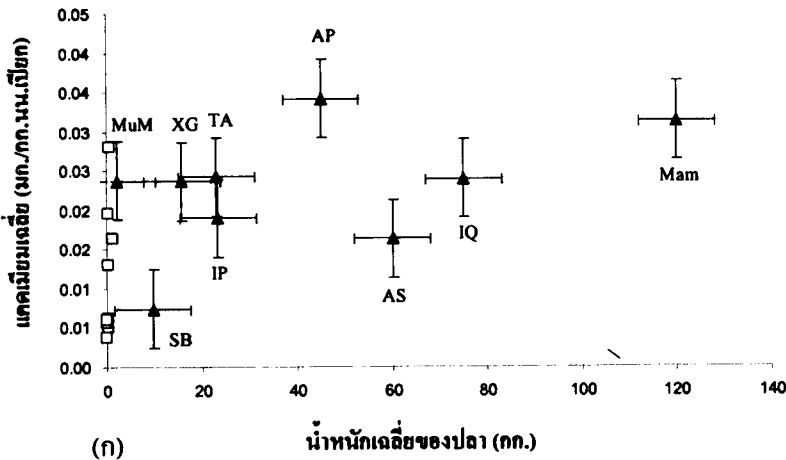
รูปที่ 3-5 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับของแคดเมียมที่ปนเปื้อนในเนื้อปลากับน้ำหนักของปลา (หมายเหตุ: สำหรับปลากระโทงแทงคาบ (*X. gladius*) ได้ตัดตัวอย่างปลาที่มีน้ำหนัก 60 กก. ออก โดยไม่นำมาอธิบายในการหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อปลากับน้ำหนักของปลา เนื่องจากมีน้ำหนักสูงกว่าปลาตัวอื่นในชนิดเดียวกัน)

จากรูปที่ 3-5 พบว่า ในปลาชนิดเดียวกัน ปลาที่มีขนาดใหญ่จะมีแคดเมียมสูงกว่าปลาที่มีขนาดเล็กกว่า ทั้งนี้เพราะว่าแคดเมียมสามารถเข้าสู่และสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อสัตว์ทะเลทั้งโดยตรง

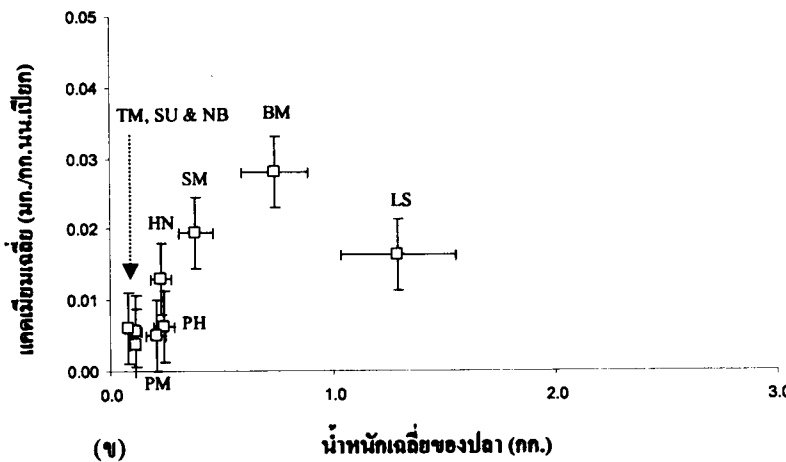
จากกระบวนการดูดซึมและโดยอ้อมผ่านทางอาหาร คังนั้เมื่อปลาอายุมากขึ้น (ตัวโตขึ้น) ก็จะมีการสะสมเพิ่มขึ้น ประกอบกับถ้าเป็นปลาผู้ล่าที่อยู่ในลำดับขั้นของผู้บริโภคที่สูงก็มีแคคเมียมสะสมสูง (Chi *et al.*, 2007) (ดูรายละเอียดลักษณะการกินอาหารและถิ่นที่อยู่ของปลาในตาราง ข-1 ภาคผนวก ข)

3.3.5.2 ความสัมพันธ์แยกตามชนิดและประเภทเครื่องมือ

แม้ว่าการสะสมของแคคเมียมในเนื้อปลารับขึ้นอยู่กับชนิดของปลาเป็นหลัก เนื่องจากลักษณะการกินอาหารและถิ่นที่อยู่ อย่างไรก็ตามเนื่องจากขนาดของปลาก็ขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของปลาด้วย แต่เพื่อที่จะให้ผู้ที่ไม่ได้เป็นนักวิทยาศาสตร์สามารถที่จะจัดกลุ่มปลาที่น่าจะมีความเสี่ยงในการได้รับแคคเมียมเข้าสู่ร่างกายสูง



- (น้ำหนักตัว > 1 กก.)
- AP = *A. pelagicus*
 - AS = *A. superciliosus*
 - IP = *I. platypterus*
 - IO = *I. oxyrinchus*
 - MaM = *M. mazara*
 - MuM = *M. manazo*
 - SB = *S. barracuda*
 - TA = *T. albacares*
 - XG = *X. Gladius*
 - LS = *L. savala*



- (น้ำหนักตัว < 1 กก.)
- BM = *B. multibarbata*
 - HN = *H. nitens*
 - NB = *N. bathyius*
 - PH = *P. heptacanthus*
 - PM = *P. macracanthus*
 - SU = *S. undosquamis*
 - SM = *S. mitsukurii*
 - TM = *T. myops*

รูปที่ 3-6 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยกับระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมเฉลี่ยในปลาแต่ละชนิดเฉลี่ย (ก) ปลาที่มีขนาดใหญ่ (น้ำหนักตัว > 1 กก.) และ (ข) ปลาที่มีขนาดเล็ก (น้ำหนักตัว < 1 กก.)

จึงได้ลองนำค่าเฉลี่ยของขนาดปลาแต่ละชนิดและค่าเฉลี่ยของระดับแคดเมียมที่พบในปลาแต่ละชนิด มาพล็อตดูความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 3-6 พบว่า อาจแบ่งปลาดังกล่าวเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มที่มีขนาดใหญ่ (น้ำหนักตัว > 1 กก.) และกลุ่มที่มีขนาดเล็ก (น้ำหนักตัว < 1 กก.)

กลุ่มที่มีขนาดใหญ่ ได้แก่ ปลาฉลามหางยาว (*A. pelagicus*), ปลาฉลามหางยาวหน้าหนุ (*A. superciliosus*), ปลากระโทงร่มอินโดแปซิฟิก (*I. platypterus*), ปลาฉลามปากหมา (*I. oxyrinchus*), ปลาคาบิน (*L. savala*), ปลากระโทงสีน้ำเงินแปซิฟิก (*M. mazara*), ปลาฉลามหมาจุกขาว (*M. manazo*), ปลาน้ำดอกไม้ (*S. barracuda*), ปลาทูน่าครีบลีอง (*T. albacares*), และปลากระโทงแทงดาบ (*X. gladius*)

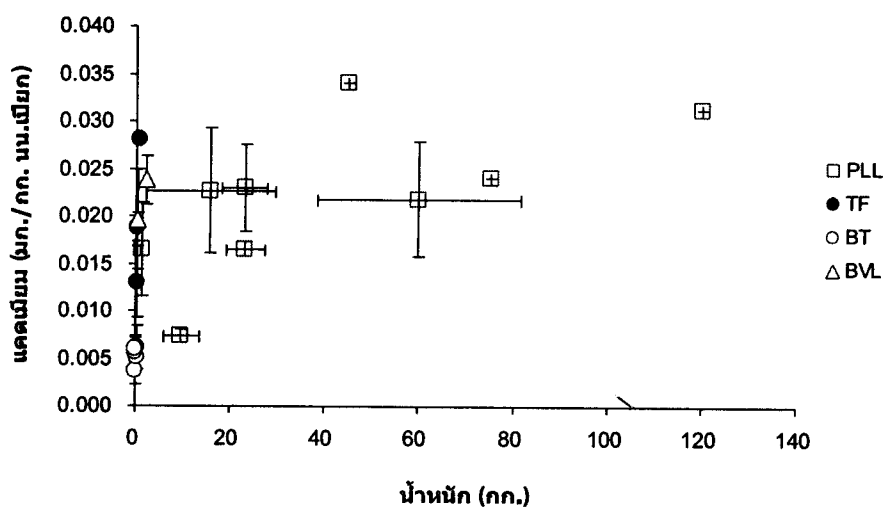
กลุ่มที่มีขนาดเล็ก ได้แก่ ปลาไหลเครา (*B. multibarbata*), ปลาสร้อยนกเขา (*H. nitens*), ปลาทรายแดง (*N. bathybius*), ปลาแพะทองเหลือง (*P. heptacanthus*), ปลาตาหวาน (*P. macracanthus*), ปลาปากคมจุด (*S. undosquamis*), ปลาฉลามหลังหนาม (*S. mitsukurii*), และปลาปากคมหูดำ (*T. myops*)

ในภาพรวม พบว่า กลุ่มปลาที่มีขนาดใหญ่ (น้ำหนักตัว > 1 กก.) ส่วนใหญ่มีการสะสมแคดเมียมได้สูงกว่ากลุ่มปลาที่มีขนาดเล็ก แต่ก็ยังมีบางชนิดที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในปริมาณที่ต่ำ เช่น ปลาน้ำดอกไม้ (*S. Barracuda*) อาจเนื่องจากตัวอย่างที่ได้มามีความยาว 70.5 ซม. และน้ำหนัก 9.7 กก. ซึ่งยังไม่ใช่ตัวเต็มวัยที่จะมีความยาวได้ถึง 200 ซม. และน้ำหนัก 50 กก. (fish base) จึงมีแคดเมียมสะสมอยู่ในระดับต่ำ (รูปที่ 3-6) ส่วนกลุ่มปลาขนาดเล็ก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นปลาหน้าดินหรือปลาวัยอ่อน มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมต่ำ พวกที่มีแคดเมียมสูงจะเป็นพวกปลาผู้ล่าที่มีขนาดเล็ก ได้แก่ ปลาไหลเครา (*B. multibarbata*), ปลาฉลามหลังหนาม (*S. mitsukurii*) และปลาสร้อยนกเขา (*H. nitens*) (รูปที่ 3-6)

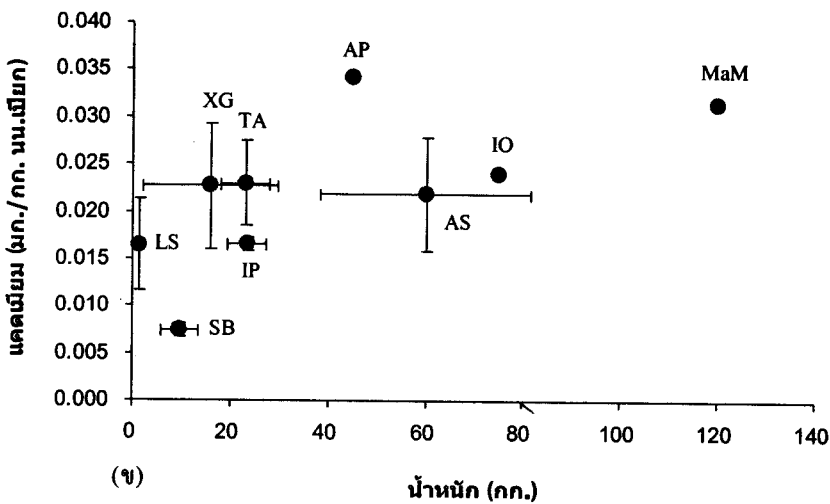
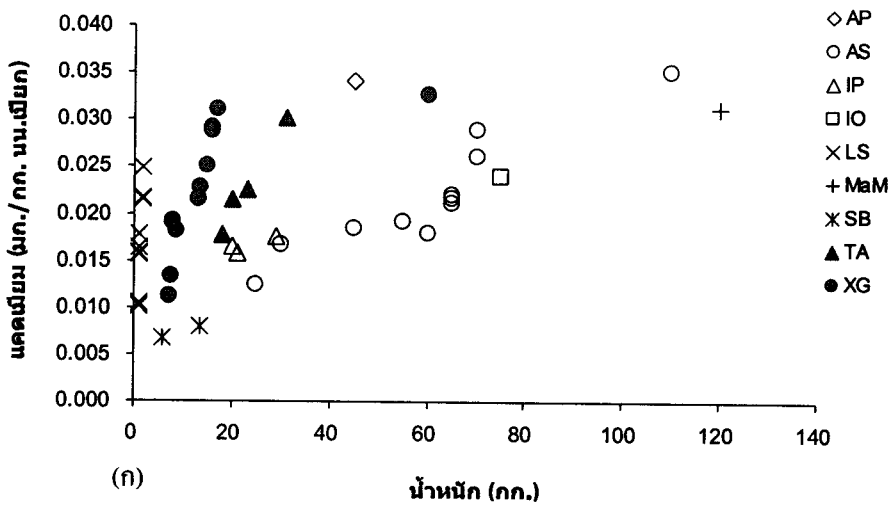
เมื่อแบ่งตามประเภทของเครื่องมือประมงทั้ง 4 ประเภท (รูปที่ 3-7) พบว่า

- ปลาที่ได้จากเบ็ดร่อนน้ำลึกจะเป็นปลาที่มีขนาดใหญ่หรือเป็นปลาผู้ล่า และมีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในปริมาณสูง (รูปที่ 3-8)
- ปลาที่ได้จากลอบจับปลา มี 3 ชนิด คือ ปลาไหลเครา, ปลาสร้อยนกเขา และปลาฉลามหลังหนาม ทั้ง 3 ชนิดจัดเป็นปลาผู้ล่าขนาดเล็ก ซึ่งแม้ว่าจะมีขนาดเล็กแต่ก็มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในปริมาณที่สูง (รูปที่ 3-9)

- ปลาที่ได้จากอวนลากหน้าดินมี 5 ชนิด มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในปริมาณที่ต่ำ เนื่องจากปลาเหล่านี้เป็นปลาขนาดเล็กหรือปลาวัยอ่อน และไม่ใช่ปลาผู้ล่า (รูปที่ 3-10)
- ปลาที่ได้จากเบ็ดราวหน้าดินมี 2 ชนิด คือ ปลาฉลามหลังหนาม (*S. mitsukurii*) และ ปลาฉลามหมาจุกขาว (*M. manazo*) ทั้ง 2 ชนิดนี้มีขนาดเล็ก แต่มีการสะสมแคดเมียมในปริมาณที่สูง เนื่องจากปลาฉลามจัดเป็นปลาผู้ล่าจึงมีการสะสมแคดเมียมในปริมาณสูง (รูปที่ 3-11)



รูปที่ 3-7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยของปลากับระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมเฉลี่ยในเนื้อปลาที่จับจากเครื่องมือประมงทั้ง 4 ประเภท ได้แก่ เบ็ดราวน้ำลึก (PLL), ลอบจับปลา (TF), อวนลากหน้าดิน (BT) และเบ็ดราวหน้าดิน (BVL)



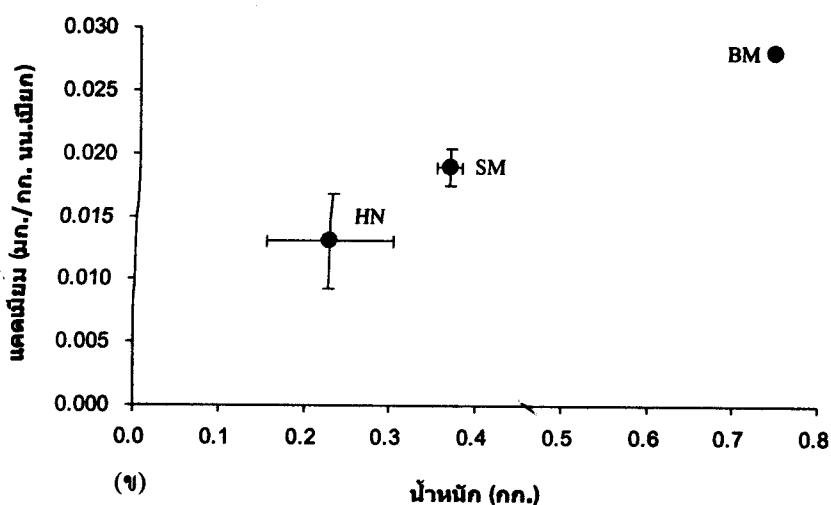
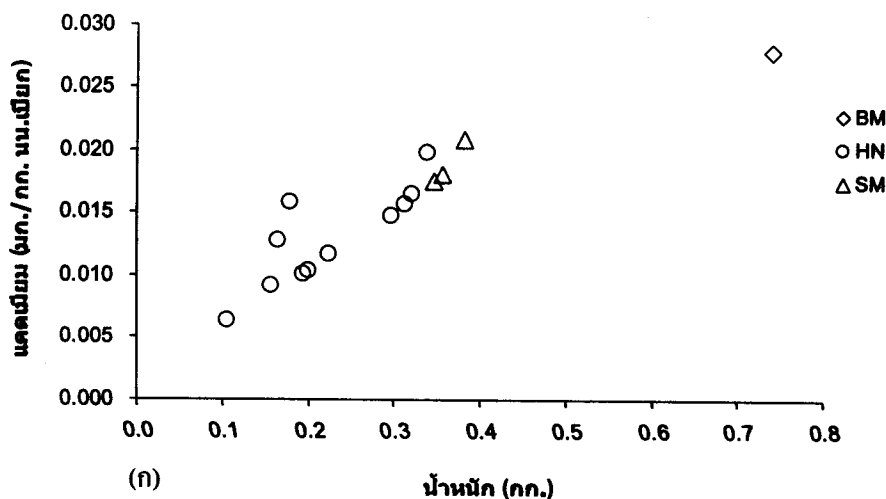
ที่ 3-8

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับระดับการปนเปื้อนของแคะเมียมในปลาที่ได้จากเครื่องมือประมงประเภทเบ็ดราน้ำลึก

(ก): ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักปลากับระดับการปนเปื้อนของแคะเมียมในเนื้อปลาแต่ละตัวที่ได้จากเบ็ดราน้ำลึก

(ข): ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยของปลากับระดับการปนเปื้อนของแคะเมียมเฉลี่ยในเนื้อปลาแต่ละชนิดที่ได้จากเบ็ดราน้ำลึก

[LS = ปลาตาเงิน (*L.savala*), SB = ปลาน้ำดอกไม้ (*S. barracuda*), IP = ปลากระโทงร่มอินโดแปซิฟิก (*I. platypterus*), TA = ปลาทูน่าครีบลือ (*T. albacares*), XG = ปลากระโทงแทงคาบ (*X. gladius*), AP = ปลาฉลามหางยาว (*A. pelagicus*), AS = ปลาฉลามหางยาวหน้าหนุ (*A. superciliosus*), IO = ปลาฉลามปากหมา (*I. oxyrinchus*) และ MaM = ปลากระโทงสีน้ำเงินแปซิฟิก (*M. mazara*)]



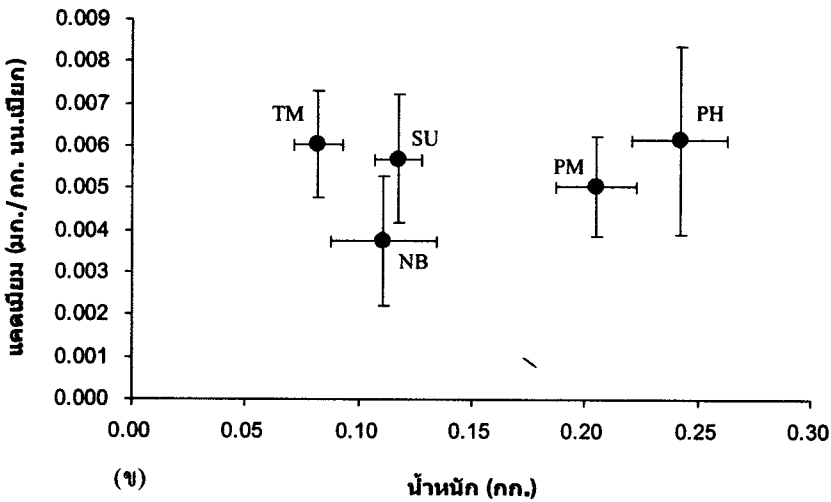
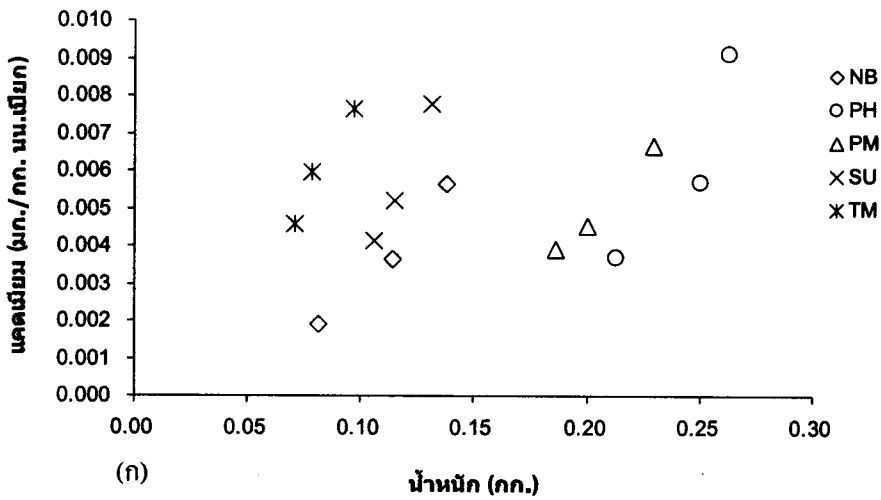
รูปที่ 3-9

รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในปลาที่ได้จากเครื่องมือประมงประเภทลอบจับปลา

(ก): ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักปลากับระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อปลาแต่ละตัวที่ได้จากลอบจับปลา

(ข): ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยของปลากับระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมเฉลี่ยในเนื้อปลาแต่ละชนิดที่ได้จากลอบจับปลา

[BM = ปลาไหลครา (*B. multibarbata*), SM = ปลาฉลามหลังหนาม (*S. mitsukurii*) และ HN = ปลาสร้อยนกเขา (*H. nitens*)]



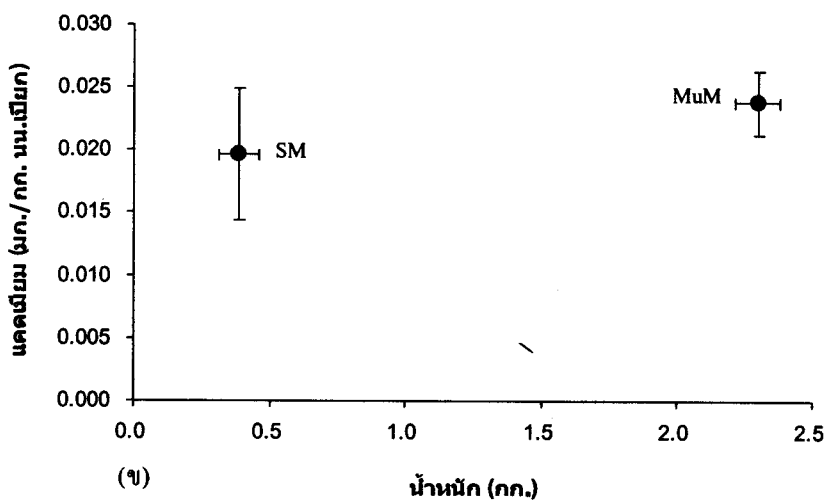
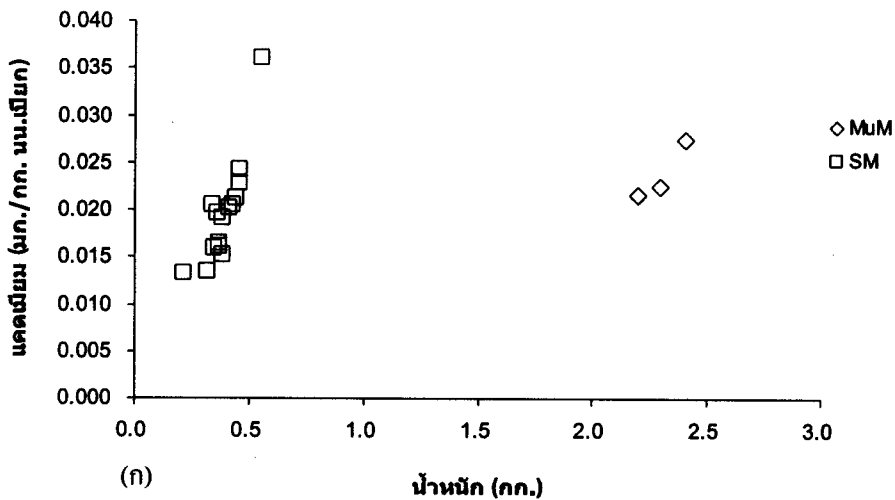
รูปที่ 3-10

รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในปลาที่ได้จากเครื่องมือประมงประเภทอวนลากหน้าดิน

(ก) : ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักปลากับระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อปลาแต่ละตัวที่ได้จากอวนลากหน้าดิน

(ข) : ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยของปลากับระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมเฉลี่ยในเนื้อปลาแต่ละชนิดที่ได้จากอวนลากหน้าดิน

[TM = ปลาปากคมหูดำ (*T. myops*), SU = ปลาปากคมจุด (*S. undosquamis*), NB = ปลาทรายแดง (*N. bathybius*), PM = ปลาตาหวาน (*P. macracanthus*) และ PH = ปลาแพะทองเหลือง (*P. heptacanthus*)]

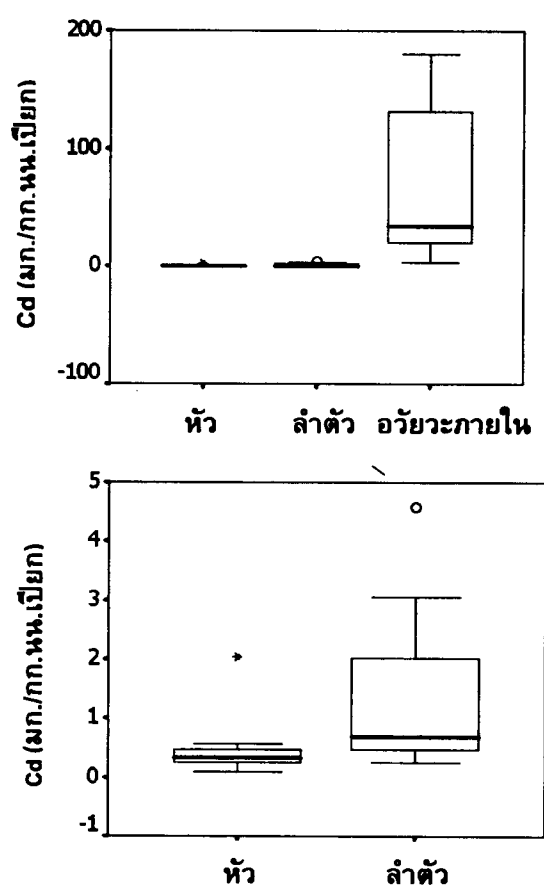


- ที่ 3-11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในปลาที่ได้จากเครื่องมือประมงประเภทเบ็ดราวหน้าดิน
- (ก): ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักปลากับระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อปลาแต่ละตัวที่ได้จากเบ็ดราวหน้าดิน
- (ข): ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยของปลากับระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมเฉลี่ยในเนื้อปลาแต่ละชนิดที่ได้จากเบ็ดราวหน้าดิน
- [SM = ปลาฉลามหลังหนาม (*S. mitsukurii*) และ MuM = ปลาฉลามหมาจุกขาว (*M. manazo*)]

3.4 ผลการศึกษาในหมึกจากทะเลเซเลเบส

3.4.1 ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อทั้งสามส่วนของตัวอย่างหมึก

ผลการศึกษาการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนเนื้อลำตัว อวัยวะภายใน และส่วนหัว (หัว-หนวด-แขน) ในตัวอย่างหมึกกล้วยน้ำจืด (*Loligo formosana* Sasaki) จากทะเลเซเลเบสทั้ง 26 ตัว แสดงในตารางที่ 3-7 และรายละเอียดสถานี วันที่เก็บตัวอย่าง และเครื่องมือที่ใช้ในตาราง ข-6 ภาคผนวก ข



รูปที่ 3-12

แผนภูมิกล่องเปรียบเทียบระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในส่วนต่างๆ (ลำตัว อวัยวะภายใน และ หัว) ของหมึกกล้วยน้ำจืดจากทะเลเซเลเบส

[เส้นนาตรกกลางกล่องแสดงค่ามัชชฐาน เส้นบนและเส้นล่างของกล่องแสดงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 และ 25 ตามลำดับ เครื่องหมายวงกลมและดอกจัน แสดงค่าที่สูงกว่าค่าส่วนใหญ่]

ตารางที่ 3-7 ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อลำตัว อวัยวะภายใน และส่วนหัวของ *Loligo formosana* Sasaki (หมึกกล้วยน้ำลึก) จากทะเลเซเลเบส

เพศ	Cd (มก./กก. น้ำหนักเปียก)		
	ลำตัว	อวัยวะภายใน	หัว
F	0.67	10.4	0.45
F	0.48	3.1	0.23
F	4.59	28.4	0.56
F	0.43	34.1	0.33
F	0.79	9.6	0.55
F	3.06	131.3	0.47
F	0.26	34.7	0.24
F	0.53	7.5	0.10
F	0.53	32.4	0.19
F	1.80	162.4	0.35
F	0.52	10.4	0.27
F	2.48	84.4	2.04
F	0.43	11.5	0.22
F	0.48	171.0	0.33
F	0.30	147.0	0.23
F	0.72	179.7	0.54
F	0.55	109.5	0.31
M	1.55	25.6	0.37
M	1.69	51.4	0.27
M	2.77	156.5	0.57
M	2.41	29.2	0.41
M	1.96	134.8	0.26
M	2.02	119.0	0.32
M	0.33	29.7	0.42
M	0.65	20.2	0.57
M	2.56	104.9	0.25
เฉลี่ย \pm SD	1.33 \pm 1.10	70.7 \pm 60.1	0.42 \pm 0.35
ต่ำสุด - สูงสุด	0.26 - 4.59	3.1 - 179.9	0.10 - 2.04
ค่ามัธยฐาน	0.7	34.4	0.33

จากตารางที่ 3-7 จะเห็นว่า แคลคิเมียมปนเปื้อนในอวัยวะภายในของหมึก (ประกอบด้วย ม้าม (brain), ฤงทราย (digestive gland), ไข่ (ovary) และดีหมึก (ink sac)) มีระดับเฉลี่ยสูงมากถึง 70.7 ± 60.1 มก./กก. น้ำหนักเปียก เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของระดับแคลคิเมียมที่ปนเปื้อนในเนื้อเยื่อ แต่ละส่วนของหมึก ดังรูปที่ 3-12 เห็นได้ชัดว่าระดับการปนเปื้อนของแคลคิเมียมในส่วนของอวัยวะ ภายในมีการสะสมแคลคิเมียมในปริมาณเฉลี่ยที่สูงกว่าเนื้อเยื่อส่วนอื่น รองลงมาเป็นส่วนเนื้อลำตัว และส่วนหัว 1.33 ± 1.10 และ 0.42 ± 0.35 มก./กก. น้ำหนักเปียก ตามลำดับ

การที่หมึกมีแคลคิเมียมสะสมอยู่ในอวัยวะภายในสูงมากเช่นนี้ คาดว่าหมึกน่าจะมีความ กลไกลดความเป็นพิษ เพื่อไม่ให้โลหะไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อมากเกินไป สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง จะมีกลไกการลดพิษ (detoxification mechanisms) ของโลหะหนักบางชนิดโดยการจับโลหะหนัก เหล่านี้ด้วยโปรตีนที่ชื่อว่า เมทัลโลไทโอนิน (metallothioneins) ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีบทบาทสำคัญใน การจับโลหะที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิต (essential element) หลายชนิด เช่น ทองแดง และ สังกะสี (Bustamante *et al.*, 1998b) อย่างไรก็ตามการลดพิษของแคลคิเมียมในสัตว์กลุ่มหมึกอาจจะ เนื่องมาจากเมทัลโลโปรตีน (metalloprotein) ตัวอื่น นอกเหนือจากเมทัลโลไทโอนิน

นอกจากนี้ระดับการปนเปื้อนของแคลคิเมียมที่ตรวจพบในสัตว์กลุ่มหมึกในแต่ละ พื้นที่ของโลกแตกต่างกัน น่าจะเนื่องมาจากสัตว์ในกลุ่มนี้ได้พัฒนากลไกการลดพิษที่ต่างกัน ไป (Bustamante *et al.*, 2000)

จากผลการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี One-way ANOVA ดังตาราง ค-2 ภาคผนวก ค พบว่า ระดับการปนเปื้อนของแคลคิเมียมในเนื้อเยื่อทั้งสามส่วนมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมี นัยสำคัญ ($p < 0.05$) จึงทำการทดสอบต่อเพื่อดูว่าเนื้อเยื่อส่วนใดแตกต่างกันบ้าง โดยใช้ Multiple Comparisons ด้วยวิธี Fisher's Least Significant Difference (LSD) พบว่า ค่าเฉลี่ยของเนื้อเยื่อลำตัว แตกต่างกับค่าเฉลี่ยของอวัยวะภายใน และค่าเฉลี่ยของเนื้อเยื่อส่วนหัวแตกต่างกับค่าเฉลี่ยของอวัยวะ ภายใน ดังตาราง ค-3 ภาคผนวก ค

3.4.2 การเปรียบเทียบระดับการปนเปื้อนของแคลคิเมียมในเนื้อเยื่อทั้งสามส่วนกับค่า มาตรฐาน

ผลการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานจากเกณฑ์ที่กำหนดขึ้น โดยคณะกรรมการยุโรป (EU, 2006) ซึ่งกำหนดให้เนื้อสัตว์กลุ่มหมึก (ไม่รวมอวัยวะภายใน) มีแคลคิเมียมได้ไม่เกิน 1.0 มก./กก. น้ำหนักเปียก และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของไทยที่กระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดเกณฑ์ มาตรฐานการปนเปื้อนของแคลคิเมียมในอาหารทุกชนิดไม่เกิน 1.0 มก./กก. น้ำหนักเปียก (กระทรวง

สาธารณสุข, 2548) พบว่า เนื้อส่วนลำตัวมี 11 จาก 26 ตัวอย่าง (หรือ 42.3%) ที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมเกินเกณฑ์ EU (2006) และกระทรวงสาธารณสุข (2548) โดยส่วนใหญ่อยู่ที่ 0.70 มก./กก. น้ำหนักเปียก (ค่ามัธยฐาน) แต่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในส่วนหัว-หมวด-เขมมี 1 ตัวอย่าง (หรือ 3.9%) ที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมเกินเกณฑ์ของ EU (2006) และกระทรวงสาธารณสุข (2548) ส่วนใหญ่จะมีแคดเมียมในระดับ 0.33 มก./กก. น้ำหนักเปียก (ค่ามัธยฐาน)

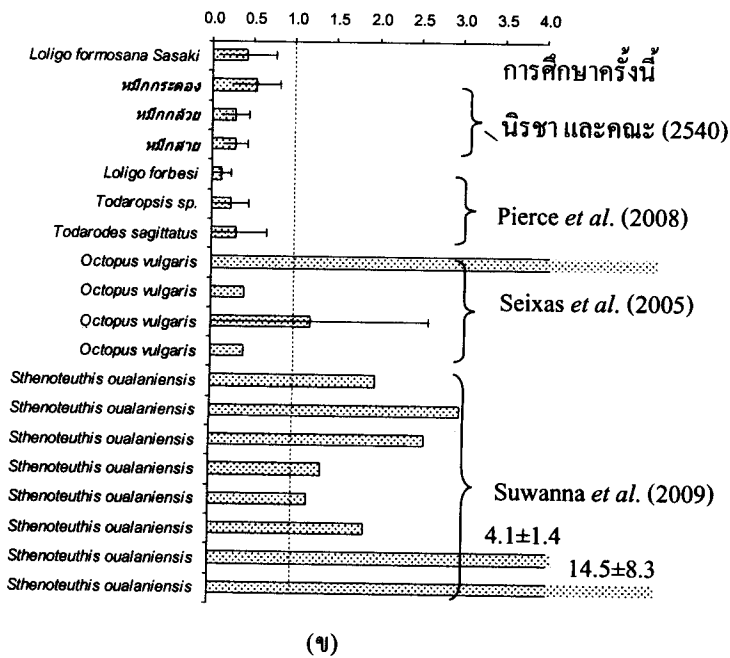
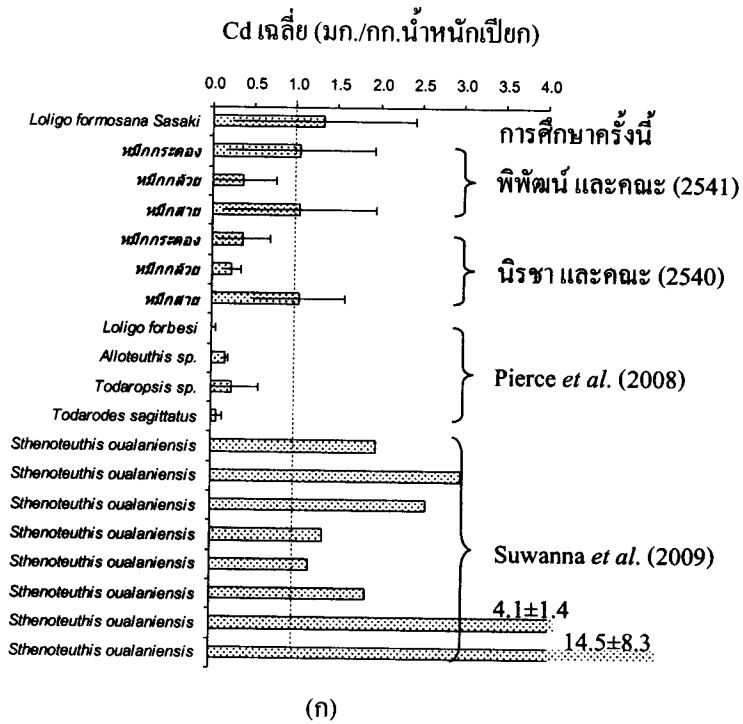
แม้ว่าระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อสัตว์ทะเลที่จะนำมาบริโภค ยังไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ แต่การรับประทานในปริมาณมากและต่อเนื่อง อาจจะก่อให้เกิดการสะสมของโลหะหนักเหล่านี้ในร่างกายผู้บริโภคจนก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้

3.4.3 การเปรียบเทียบระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อทั้งสามส่วนของหมึกกล้วยน้ำลึกับงานวิจัยชิ้นอื่น

ผลการเปรียบเทียบกับเอกสารที่เคยมีรายงานไว้ พบว่า ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในหมึกกล้วยน้ำลึกจากการศึกษาครั้งนี้ มีค่าทั้งมากกว่า น้อยกว่า และใกล้เคียงงานวิจัยชิ้นอื่นๆ ที่เคยตรวจพบในพื้นที่ต่างๆ (ตารางที่ 1-3 ในบทที่ 1) ดังรูปที่ 3-13ก เช่น ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อลำตัวของการศึกษาครั้งนี้สูงกว่าในรายงานของพิพัฒน์ และคณะ (2541) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Suwanna *et al.* (2009) พบว่าระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าต่ำกว่า

สำหรับระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อส่วนหัว เมื่อเทียบกับงานของ นิรชา และคณะ (2540) พบว่า ระดับแคดเมียมในเนื้อส่วนหัวจากการศึกษาครั้งนี้มีค่าต่ำกว่า แต่เมื่อเทียบกับงานของ Pierce *et al.* (2008) พบว่า ระดับแคดเมียมในเนื้อส่วนหัวที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าสูงกว่า (รูปที่ 3-13ข)

ทั้งนี้อาจเนื่องจากเป็นหมึกต่างชนิดกันมีพฤติกรรมการกินอาหารต่างกันและความแตกต่างของพื้นที่ที่อาศัย ทำให้อัตราการสะสมและการกำจัดโลหะออกที่ต่างกัน และจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในอวัยวะภายในสูงกว่าในเนื้อเยื่อลำตัวและส่วนหัว เช่น งานวิจัยของ Suwanna *et al.* (2009) โดยศึกษาการปนเปื้อนของแคดเมียมในหมึก *Sthenoteuthis oualaniensis* จากอ่าวเบงกอล พบว่า ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในอวัยวะภายใน (visceral) สูงกว่าเนื้อลำตัว (body = เนื้อลำตัวรวมกับส่วนหัว)(ตารางที่ 1-3 ในบทที่ 1) ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการศึกษาครั้งนี้ คือ อวัยวะภายในมีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมสูงกว่าในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ



รูปที่ 3-13

ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อลำตัว (ก) และเนื้อส่วนหัว (ข) ของหมึกกล้วยน้ำลึกจากทะเลเขเลเบสจากการศึกษารั้งนี้กับหมึกชนิดต่างๆ ที่เคยมีการศึกษาไว้ (เส้นประแสดงค่าที่กำหนดในข้อบังคับคณะกรรมการยุโรปและกระทรวงสาธารณสุข (1.0 มก./กก. น้ำหนักเปียก)) [หมายเหตุ: Suwanna et al. (2009) เป็นเนื้อลำตัวรวมกับส่วนหัว]

3.4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ กับ น้ำหนักของหมึก

3.4.4.1 ความสัมพันธ์ในภาพรวม

การหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในหมึกทั้ง 26 ตัวอย่าง ไม่พบว่ามีความสัมพันธ์กันเลย และเมื่อทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทางสถิติ ระหว่างน้ำหนักตัว และระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในส่วนหัว ลำตัว และอวัยวะภายใน พบว่า ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อทั้งสามส่วนไม่มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักตัวเลย ดังตารางที่ 3-8

ตารางที่ 3-8 การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทางสถิติของน้ำหนัก และระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในส่วนหัว ลำตัว และอวัยวะภายในของหมึก โดยใช้สถิติ Bivariate Correlation (Pearson)

	น้ำหนักตัว	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)		
		ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในส่วนต่างๆ		
		ส่วนหัว	ลำตัว	อวัยวะภายใน
น้ำหนักตัว	1	0.063	-0.368	-0.066
ระดับของ Cd ในส่วนหัว		1	0.342	0.093
ระดับของ Cd ในลำตัว			1	0.235
ระดับของ Cd ในอวัยวะภายใน				1

3.4.4.2 ความสัมพันธ์แยกตามเพศ

การหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวกับระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อทั้งสามส่วนในภาพรวม ไม่พบว่ามีสัมพันธ์กัน แต่เนื่องจากหมึกเพศเมียมีขนาดใหญ่กว่าหมึกเพศผู้ประมาณ 10 เท่า ดังตารางที่ 3-9 จึงนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวกับระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อทั้งสามส่วน โดยแยกตามเพศ แต่ก็ไม่พบว่ามีสัมพันธ์กัน แต่เมื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างน้ำหนักตัว และระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในส่วนหัว ลำตัว และอวัยวะภายใน โดยแยกตามเพศ พบว่าในหมึกเพศผู้มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อลำตัวมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในอวัยวะภายใน ($r = 0.664$) และมีความสัมพันธ์กันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 3-10ก)

ตารางที่ 3-9 ขนาดและระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมในส่วนเนื้อลำตัว อวัยวะภายใน และส่วนหัว (หัว-หนวด-แขน) ของ *Loligo formosana* Sasaki (หมึกกดด้วยน้ำลึก) จากทะเลเซเลเบส แยกตามเพศ

		ระดับการปนเปื้อนของแคคเมียม (มก./กก.น้ำหนักเปียก)		
		เฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ต่ำสุด - สูงสุด	ค่ามัธยฐาน
เพศเมีย (จำนวน 17 ตัว)				
ขนาด	น้ำหนักตัว (ก.)	308 \pm 116	90 - 570	320
	ความยาวหนวด (ซม.)	18 \pm 1.9	13.5 - 21.0	18
แคคเมียม	ลำตัว	1.1 \pm 1.2	0.26 - 4.59	0.53
	อวัยวะภายใน	68.7 \pm 64.4	3 - 180	34.1
	หัว-หนวด-แขน	0.44 \pm 0.42	0.1 - 2.0	0.33
เพศผู้ (จำนวน 9 ตัว)				
ขนาด	น้ำหนักตัว (ก.)	30.6 \pm 26.6	10.0 - 80.0	20
	ความยาวหนวด (ซม.)	11.6 \pm 1.30	10.0 - 14.0	11.5
แคคเมียม	ลำตัว	1.77 \pm 0.78	0.33 - 2.77	1.96
	อวัยวะภายใน	74.6 \pm 50.80	20.2 - 156.6	51.4
	หัว-หนวด-แขน	0.38 \pm 0.12	0.25 - 0.57	0.37

ส่วนในหมึกเพศเมีย พบว่า ระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมในเนื้อเยื่อส่วนหัวมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมในเนื้อเยื่อลำตัว ($r = 0.445$) และมีความสัมพันธ์กันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 3-10ข)

รูปที่ 3-14 เปรียบเทียบค่ามัธยฐานของระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมที่พบในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆของหมึกโดยแยกตามเพศ เมื่อนำมาหาค่า T-Test แบบ Independent Samples Test ระหว่างเพศผู้กับเพศเมีย (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก) โดยเปรียบเทียบระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมในเนื้อเยื่อแต่ละส่วน พบว่า

- ระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมในเนื้อเยื่อลำตัวของหมึกเพศผู้และเพศเมีย ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) (ตาราง ก-4 ภาคผนวก ก)
- ระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมในอวัยวะภายในของหมึกเพศผู้และเพศเมีย ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) (ตาราง ก-5 ภาคผนวก ก)
- ระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมในเนื้อเยื่อส่วนหัวของหมึกเพศผู้และเพศเมีย ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) (ตาราง ก-6 ภาคผนวก ก)

จากการทดสอบหาความแตกต่างของระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเชื้อทั้งสามส่วนของหมักเพศผู้และเพศเมีย โดยใช้ T-Test พบว่า ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเชื้อในส่วนต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกัน แม้ว่าหมักเพศเมียจะมีขนาดใหญ่กว่าหมักเพศผู้ถึง 10 เท่า

ตารางที่ 3-10 การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทางสถิติของน้ำหนัก และระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในส่วนหัว ลำตัว และอวัยวะภายในของหมัก โดยใช้สถิติ Bivariate Correlation (Pearson)

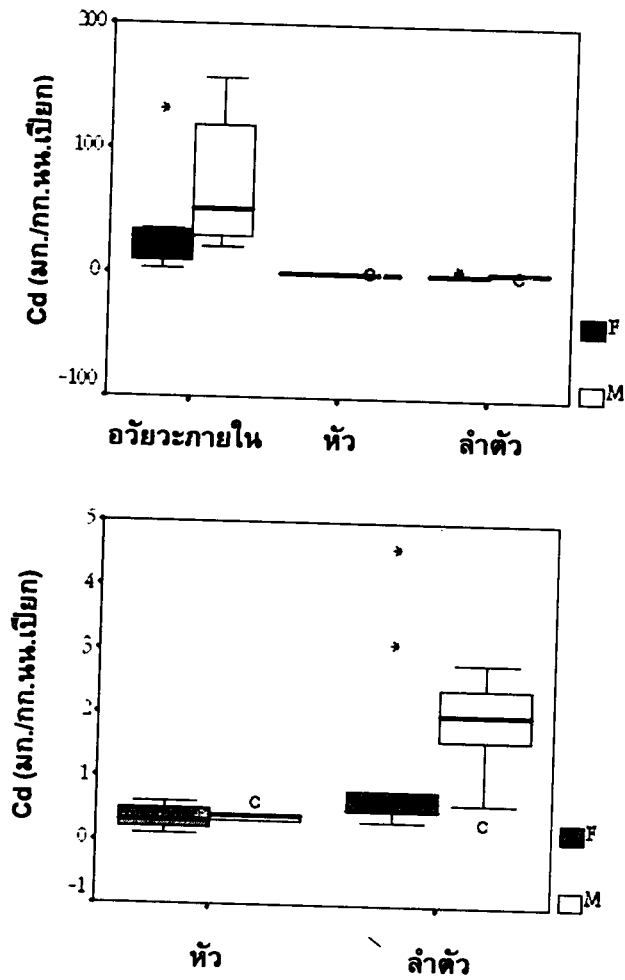
ก) หมักเพศผู้

	น้ำหนักตัว	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)		
		ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในส่วนต่างๆ		
		ส่วนหัว	ลำตัว	อวัยวะภายใน
น้ำหนักตัว	1	-0.435	0.414	0.460
ระดับของ Cd ในส่วนหัว		1	-0.233	-0.164
ระดับของ Cd ในลำตัว			1	0.664*
ระดับของ Cd ในอวัยวะภายใน				1

ข) หมักเพศเมีย

	น้ำหนักตัว	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)		
		ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในส่วนต่างๆ		
		ส่วนหัว	ลำตัว	อวัยวะภายใน
น้ำหนักตัว	1	0.020	-0.298	-0.101
ระดับของ Cd ในส่วนหัว		1	0.455*	0.133
ระดับของ Cd ในลำตัว			1	0.111
ระดับของ Cd ในอวัยวะภายใน				1

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



รูปที่ 3-14 แผนภูมิกล่องเปรียบเทียบระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในส่วนต่างๆ (ลำต้น อวัยวะภายใน และ หัว) ของหมึกจากทะเลเขลเบส โดยแยกตามเพศ [เส้นนาตรงกลางกล่องแสดงค่ามัธยฐาน เส้นบนและเส้นล่างของกล่องแสดงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 และ 25 ตามลำดับ เครื่องหมายวงกลมและดอกจัน แสดงค่าที่สูงกว่าค่าส่วนใหญ่] [F = ตพมีย, M = เพศผู้]

3.5 การประเมินความเสี่ยง

3.5.1 ปลาจากทะเลอันดามัน

3.5.1.1 ความเสี่ยง

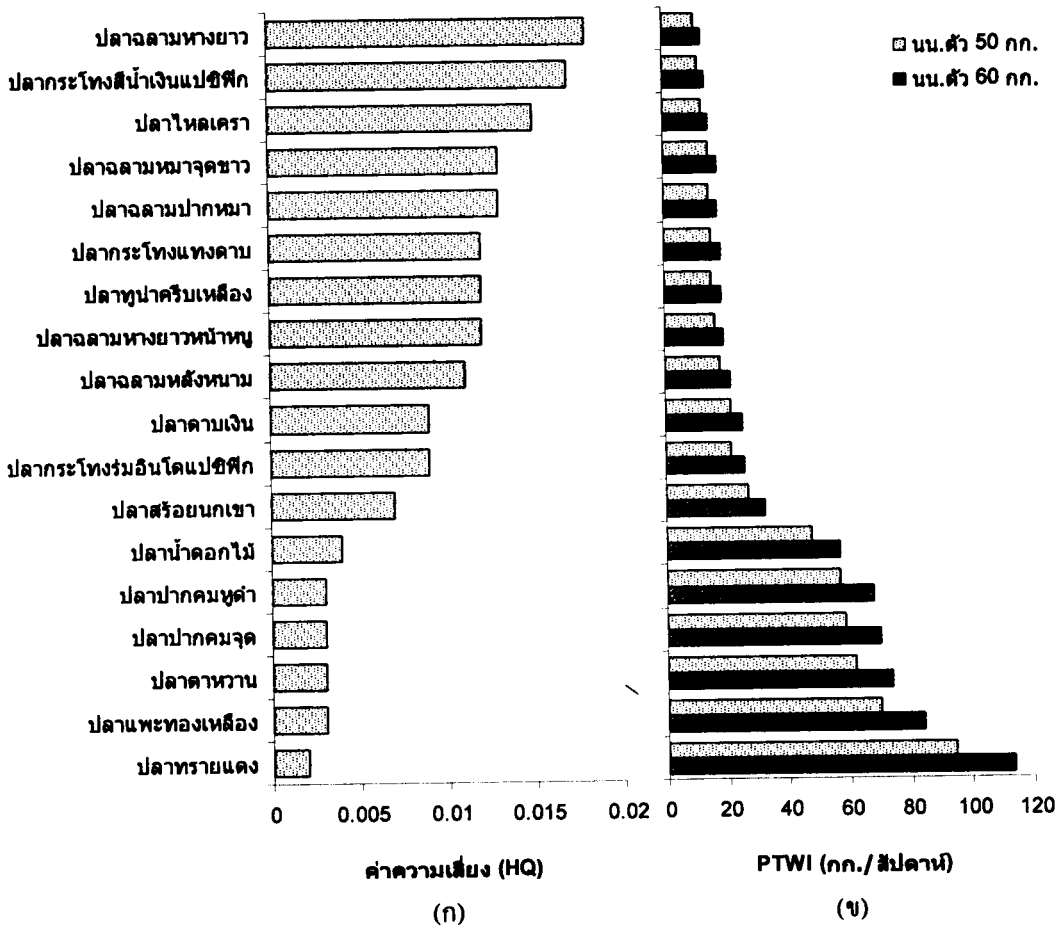
เมื่อนำระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมเฉลี่ยในตัวอย่างปลาทั้ง 18 ชนิดมาประเมินความเสี่ยงในการได้รับแคดเมียมในปริมาณน้อยเป็นเวลานาน โดยใช้ค่าความเสี่ยงหรือ Hazard Quotient (HQ) สำหรับสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (non-carcinogenic effect) โดยใช้สมการของ (Kodl, 2002; พงษ์เทพ วิวรรณะเดช, 2547) ดังสมการที่ (2-1) และสมการที่ (2-2) ในบทที่ 2 ตัวอย่างการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ง หากค่า $HQ > 1$ แสดงว่าปริมาณของแคดเมียมที่ได้รับอยู่ในระดับที่มีความเสี่ยงเกินเกณฑ์ปกติ ถ้าค่า $HQ \leq 1$ แสดงว่าปริมาณของแคดเมียมที่ได้รับนั้นมีความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ปกติ

ค่า HQ ในตัวอย่างปลาทั้ง 18 ชนิด จากทะเลอันดามัน แสดงในตาราง ง-1 ภาคผนวก และเปรียบเทียบกันดังรูปที่ 3-15ก โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ ปลาขนาดเล็ก (น้ำหนัก < 1 กก.) และปลาขนาดใหญ่ (น้ำหนัก > 1 กก.) โดยกลุ่มปลาขนาดเล็กที่เป็นปลาหน้าดินหรือปลาวัยอ่อนมี $HQ = 0.006 \pm 0.004$ (0.002 – 0.015) ส่วนปลาขนาดใหญ่ซึ่งเป็นปลาผู้ล่ามีค่า $HQ = 0.012 \pm 0.004$ (0.004 – 0.018)

การที่ปลาขนาดใหญ่มีค่า HQ สูงกว่าปลาขนาดเล็ก เนื่องจากปลาขนาดใหญ่มักเป็นปลาผู้ล่า ซึ่งว่ายน้ำเร็วและอายุยืนกว่าปลาขนาดเล็กที่เป็นปลาหน้าดินหรือปลาวัยอ่อน ทำให้มีการรับแคดเมียมมากและนาน ทั้งจากน้ำทะเลโดยตรงผ่านทางเหงือก (Sadik, 1992) และสะสมผ่านการกินอาหาร ซึ่งการสะสมเพิ่มขึ้นตามลำดับขั้นของผู้บริโภคที่สูงขึ้นในห่วงโซ่อาหาร (Chi *et al.*, 2007) จึงมีแคดเมียมสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อมาก ยกเว้นปลาน้ำคอกไม้ (*S. Barracuda*) ที่มีค่า HQ ต่ำ เนื่องจากตัวอย่างที่ได้มายังไม่ใช่ตัวเต็มวัยจึงมีการสะสมแคดเมียมอยู่ในระดับต่ำ

ส่วนปลาขนาดเล็กที่มีค่า HQ สูงมี 3 ชนิด คือ ปลาไหลเตรา (*B. multibarbata*), ปลาฉลามหลังหนาม (*S. mitsukurii*) และปลาสร้อยนกเขา (*H. nitens*) เนื่องจากทั้ง 3 ชนิดเป็นปลาผู้ล่าขนาดเล็ก (predatory fishes) ส่วนปลาที่มีค่า HQ ต่ำสุดมี 5 ชนิด ซึ่งเป็นปลาที่ได้จากอวนลากหน้าดิน คือ ปลาปากคมหูดำ (*T. myops*), ปลาปากคมจุด (*S. undosquamis*), ปลาทรายแดง (*N. bathybius*), ปลาตาหวาน (*P. macracanthus*) และปลาแพะทองเหลือง (*P. heptacanthus*) ซึ่งทั้ง 5 ชนิดเป็นปลาหน้าดินขนาดเล็กหรือปลาวัยอ่อนและไม่ใช่ปลาผู้ล่า (รูปที่ 15ก) อย่างไรก็ตาม พบว่า

ปลาทุกชนิดมีค่า HQ < 1 ซึ่งหมายถึง ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ร่างกายได้รับจากการบริโภคปลาทั้ง 18 ชนิด อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค



รูปที่ 3-15 (ก) ค่าความเสี่ยง (HQ) และ (ข) ปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภค (PTWI) สำหรับคนที่มีน้ำหนักตัว 50 กก. และ 60 กก. สำหรับปลาจากทะเลอันดามันทั้ง 18 ชนิด

3.5.1.2 ปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคต่อสัปดาห์

สำหรับปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคต่อสัปดาห์ หรือ Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI) ซึ่งสอดคล้องกับค่า HQ โดยปลาที่มีค่า HQ สูง (มีความเสี่ยงสูง) ปริมาณที่จะรับได้ในแต่ละสัปดาห์จะต้องต่ำกว่าชนิดที่มีค่า HQ ต่ำ รายละเอียดปริมาณที่ปลอดภัยในการ

บริโภคของปลาจากทะเลอันดามันทั้ง 18 ชนิดและตัวอย่างการหาปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภค ต่อสัปดาห์แสดงในตาราง ง-1 ในภาคผนวก ง จากผลการคำนวณที่ได้ พบว่า ค่า PTWI อยู่ในช่วง 10.3 – 94.6 และ 12.3 – 113.5 กก./สัปดาห์ สำหรับคนที่มีน้ำหนักตัว 50 กก. และ 60 กก. ตามลำดับ (รูปที่ 3-15ข) โดยกลุ่มปลาขนาดเล็ก (น้ำหนัก < 1 กก.) มีค่า PTWI เฉลี่ย = 49.8 ± 26.5 (12.5 – 94.6) และ 59.7 ± 31.8 (14.9 – 113.5) กก./สัปดาห์ สำหรับคนที่มีน้ำหนักตัว 50 กก. และ 60 กก. ตามลำดับ กลุ่มปลาขนาดใหญ่ (น้ำหนัก > 1 กก.) มีค่า PTWI เฉลี่ย = 18.7 ± 10.1 (10.3 – 47.3) และ 22.5 ± 12.1 (12.3 – 56.8) กก./สัปดาห์ สำหรับคนที่มีน้ำหนักตัว 50 กก. และ 60 กก. ตามลำดับ

ปลาที่บริโภคได้น้อยที่สุด คือ ปลาฉลามหางยาว (*A. pelagicus*) ไม่ควรบริโภคเกิน 10.3 และ 12.3 กก./สัปดาห์ สำหรับคนที่มีน้ำหนักตัว 50 กก. และ 60 กก. ตามลำดับ ส่วนปลาที่บริโภคได้ในปริมาณสูงสุด คือ ปลาทรายแดง (*N. bathybius*) ซึ่งบริโภคได้อย่างปลอดภัยได้ถึง 94.6 และ 113.5 กก./สัปดาห์ สำหรับคนที่มีน้ำหนักตัว 50 กก. และ 60 กก. ตามลำดับ

กลุ่มปลาที่สามารถบริโภคได้สูงสุด 5 ชนิด คือ ปลาปากคมหูดำ (*T. myops*), ปลาปากคมจุด (*S. undosquamis*), ปลาทรายแดง (*N. bathybius*), ปลาตาหวาน (*P. macracanthus*) และ ปลาแพะทองเหลือง (*P. heptacanthus*) อย่างไรก็ตามตัวอย่างปลาทั้ง 18 ชนิด ก็ยังสามารถบริโภคได้ในระดับที่ค่อนข้างสูง

3.5.2 หมึกจากทะเลเซเลเบส

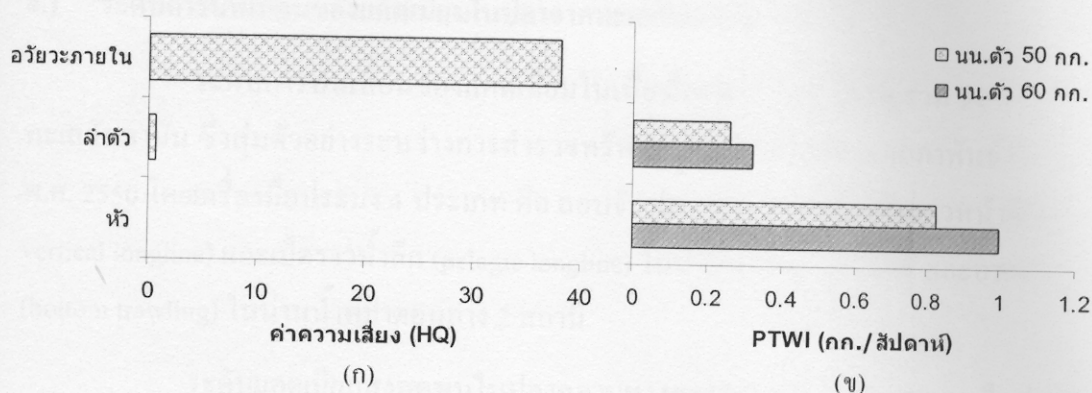
3.5.1.1 ความเสี่ยง

ผลการวิเคราะห์หาระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆของหมึกกล้วยน้ำลึกจากทะเลเซเลเบส ทั้ง 26 ตัวอย่าง พบว่า ระดับของแคดเมียมในอวัยวะภายในสูงมาก (70.7 ± 60.1 มก./กก. น้ำหนักเปียก) รองลงมาเป็นส่วนเนื้อลำตัว และส่วนหัว (1.33 ± 1.10 และ 0.42 ± 0.35 มก./กก. น้ำหนักเปียก ตามลำดับ) ดังตารางที่ 3-7 ในหัวข้อ 3.4.1 จากค่าเฉลี่ยของแคดเมียมในแต่ละส่วนของหมึกที่นำมาคำนวณ พบว่าค่า HQ ของอวัยวะภายในมีค่าสูงถึง 38 ซึ่ง > 1 มาก แต่ในส่วนของเนื้อลำตัวและส่วนหัว มีค่า HQ = 0.71 และ 0.23 ตามลำดับ ซึ่งยัง < 1 แสดงว่า ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่ร่างกายได้รับจากการบริโภคเนื้อเยื่อลำตัวและหัวของหมึกอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค ดังรูปที่ 3-16 (รายละเอียดแสดงตาราง ง-2 ภาคผนวก ง)

3.5.1.2 ปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคต่อสัปดาห์

ผลการคำนวณหาปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคหมึกกล้วยน้ำลึจากทะเลเชลเบส ทั้ง 26 ตัวอย่าง โดยแยกวิเคราะห์เป็นสามส่วน คือ เนื้อลำตัว อวัยวะภายใน และส่วนหัว แสดงรายละเอียดในตาราง ง-2 ภาคผนวก ง

สำหรับคนที่น้ำหนักตัว 50 กก. และ 60 กก. พบว่า ในส่วนเนื้อลำตัว ค่า PTWI = 0.26 และ 0.32 กก./สัปดาห์ ตามลำดับ ส่วนหัว ค่า PTWI = 0.83 และ 1.0 กก./สัปดาห์ ตามลำดับ (รูปที่ 3-16ข)



รูปที่ 3-16 (ก) ค่าความเสี่ยง (HQ) และ (ข) ปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภค (PTWI) สำหรับคนที่น้ำหนักตัว 50 กก. และ 60 กก. สำหรับเนื้อเยื่อทั้งสามส่วน (อวัยวะภายใน, ลำตัว และหัว) ของหมึกกล้วยน้ำลึจากทะเลเชลเบส

เนื่องจากส่วนอวัยวะภายในของหมึกมีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่สูงมาก ดังนั้นในการนำหมึกมาปรุงอาหารจึงควรดึงอวัยวะภายในออกให้หมด และล้างให้สะอาดเพื่อลดการปนเปื้อนของโลหะ และควรที่จะคำนึงถึงปริมาณที่จะนำมาบริโภคด้วย

บทที่ 4

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการตรวจวัดระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในปลาจากทะเลอันดามัน (น่านน้ำไทยและน่านน้ำพม่าตอนล่าง) และหมึกกล้วยน้ำลึกจากทะเลเซเลเบส ประเทศฟิลิปปินส์ พบว่าระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในปลาคำ และมีการปนเปื้อนแตกต่างกันในปลาต่างชนิดและต่างพื้นที่ ส่วนระดับการปนเปื้อนในหมึกมีค่าสูง ดังสรุปต่อไปนี้

4.1 ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในปลาจากทะเลอันดามัน

ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อปลาทั้ง 18 ชนิด รวม 94 ตัวอย่าง จากทะเลอันดามัน ซึ่งสุ่มตัวอย่างระหว่างการสำรวจทรัพยากรประมงในเดือน กุมภาพันธ์ ถึง เมษายน พ.ศ. 2550 โดยเครื่องมือประมง 4 ประเภท คือ ลอบจับปลา (trap fishing), เบ็ดราวหน้าดิน (bottom vertical longline) และเบ็ดราวน้ำลึก (pelagic longline) ในน่านน้ำไทย 16 สถานี และอวนลากหน้าดิน (bottom trawling) ในน่านน้ำพม่าตอนล่าง 2 สถานี

ระดับแคดเมียมสูงสุดพบในปลาฉลามหางยาว (*A. pelagicus*) รองลงมาคือ ปลากระโทงสีน้ำเงินแปซิฟิก (*M. mazara*) ทั้งสองชนิดนี้จัดเป็นปลาผู้ล่าที่มีขนาดใหญ่ ส่วนปลาที่มีแคดเมียมปนเปื้อนต่ำสุด คือ ปลาทรายแดง (*N. bathyius*), ปลาปากคมจุด (*S. undosquamis*), ปลาปากคมหูดำ (*T. myops*), ปลาตาหวาน (*P. macracanthus*) และปลาแพะทองเหลือง (*P. heptacanthud*) ทั้ง 5 ชนิดเป็นปลาที่ได้จากอวนลากหน้าดิน มีขนาดเล็ก น้ำหนักไม่เกิน 1 กก. โดยปลาทรายแดง (*N. bathyius*) มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมต่ำที่สุด

เมื่อจัดกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มปลาขนาดใหญ่ (น้ำหนักตัว > 1 กก.) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นปลาผู้ล่า และกลุ่มปลาขนาดเล็ก (น้ำหนักตัว < 1 กก.) ที่เป็นปลาผิวดินหรือปลาวัยอ่อนพบว่า ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในกลุ่มปลาขนาดใหญ่ที่เป็นปลาผู้ล่าสูงกว่ากลุ่มปลาขนาดเล็ก ยกเว้นปลาน้ำดอกไม้ (*S. barracuda*) ที่มีระดับแคดเมียมต่ำ ส่วนปลาขนาดเล็กที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมสูง คือ ปลาไหลครา (*B. multibarbata*), ปลาฉลามหลังหนาม (*S. mitsukurii*) และปลาสร้อยนกเขา (*H. nitens*) ซึ่งทั้งสามชนิดเป็นปลาผู้ล่า (predatory fishes) ขนาดเล็ก

จากการวิเคราะห์แคดเมียมในเนื้อเยื่อกระเพาะของปลา 3 ชนิด รวม 7 ตัวอย่าง พบว่าทุกตัวอย่าง มีแคดเมียมปนเปื้อนในเนื้อเยื่อกระเพาะสูงกว่าส่วนเนื้อปลาอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เฉลี่ย 37.4%

อย่างไรก็ดี การปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อปลาที่ศึกษาทั้ง 18 ชนิด มีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของคณะกรรมการยุโรป (EU, 2006) ซึ่งกำหนดให้ปลาทั่วไปมีแคดเมียมได้ไม่เกิน 0.05 มก./กก. น้ำหนักเปียก ปลาทูน่าครีบลีอง (*T. albacares*) และปลาทะเลโทงเทงดาบ (*X. gladius*) มีได้ไม่เกิน 0.1 และ 0.3 มก./กก. น้ำหนักเปียก ตามลำดับ สำหรับประเทศไทย กระทรวงสาธารณสุข (2548) ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนของแคดเมียมในอาหารทุกชนิดไม่เกิน 1.0 มก./กก. น้ำหนักเปียก

4.2 ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในหมึกจากทะเลเซเลเบส

ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในหมึกกล้วยน้ำลึก (*Loligo formosana* Sasaki) จากทะเลเซเลเบส 26 ตัวอย่าง พบว่า แคดเมียมสะสมในส่วนของอวัยวะภายในสูงมากถึง 70.7 ± 60.1 มก./กก. น้ำหนักเปียก ส่วนเนื้อลำตัวและส่วนหัว (หัว-หนวด-แขน) มีแคดเมียมสะสมเท่ากับ 1.33 ± 1.10 และ 0.42 ± 0.35 มก./กก. น้ำหนักเปียก ตามลำดับ

จากเกณฑ์มาตรฐานของคณะกรรมการยุโรปสำหรับเนื้อสัตว์กลุ่มหมึก (ไม่รวมอวัยวะภายใน) (EU, 2006) และเกณฑ์มาตรฐานของไทยสำหรับอาหารทุกชนิด (กระทรวงสาธารณสุข, 2548) ที่กำหนดให้มีแคดเมียมได้ไม่เกิน 1.0 มก./กก. น้ำหนักเปียก พบว่า จาก 26 ตัวอย่าง มีเนื้อส่วนลำตัว 11 ตัวอย่าง หรือ 42.3% และส่วนหัว 1 ตัวอย่าง หรือ 3.9% ที่มีค่าแคดเมียมเกินเกณฑ์มาตรฐาน

4.3 การประเมินความเสี่ยง

4.3.1 ความเสี่ยงในการบริโภคปลาจากทะเลอันดามัน

ผลการประเมินค่าความเสี่ยงหรือ HQ (Hazard Quotient) พบว่า กลุ่มปลาขนาดเล็ก (น้ำหนัก < 1 กก.) มีค่า HQ อยู่ในช่วง 0.002 – 0.015 เฉลี่ย 0.006 ± 0.004 ส่วนกลุ่มปลาขนาดใหญ่ (น้ำหนัก > 1 กก.) มีค่า HQ อยู่ในช่วง 0.004 – 0.018 เฉลี่ย 0.012 ± 0.004

ปลาขนาดใหญ่มีค่า HQ สูงกว่าปลาขนาดเล็ก ยกเว้นปลาน้ำดอกไม้ (*S. Barracuda*) ส่วนปลาขนาดเล็กที่มีค่า HQ สูงมี 3 ชนิด คือ ปลาไหลเครา (*B. multibarbata*), ปลาฉลามหลังหนาม (*S. mitsukurii*) และปลาสร้อยนกเขา (*H. nitens*) ส่วนปลาที่มีค่า HQ สูงที่สุด คือ ปลาฉลามหางยาว (*A. pelagicus*) ปลาที่มีค่า HQ ต่ำสุดมี 5 ชนิด คือ ปลาปากคมหูดำ (*T. myops*), ปลาปากคมจุด (*S. undosquamis*), ปลาทรายแดง (*N. bathybius*), ปลาตาหวาน (*P. macracanthus*) และปลาพะทองเหลือง (*P. heptacanthus*)

อย่างไรก็ตาม พบว่า ปลาทุกชนิดมีค่า HQ < 1 ซึ่งหมายถึง ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ร่างกายได้รับจากการบริโภคปลาทั้ง 18 ชนิด อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค

4.3.2 ความเสี่ยงในการบริโภคหมึกจากทะเลเซเลเบส

ค่าความเสี่ยงในการบริโภคหมึกกล้วยน้ำลึจากทะเลเซเลเบสทั้ง 26 ตัวอย่าง พบว่า ค่า HQ ของอวัยวะภายในมีค่าสูงถึง 38 ซึ่งมากกว่า 1 มาก แต่ในส่วนของเนื้อลำตัวและส่วนหัว มีค่า HQ เท่ากับ 0.71 และ 0.23 ตามลำดับ ซึ่งยัง < 1 แสดงว่า ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่ร่างกายได้รับจากการบริโภคเนื้อเยื่อลำตัวและหัวของหมึกยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค

4.4 ปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคต่อสัปดาห์

4.4.1 ปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคปลาจากทะเลอันดามัน

ปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคต่อสัปดาห์หรือ PTWI (Provisional Tolerable Weekly Intake) ของปลาทั้ง 18 ชนิด จากทะเลอันดามัน สำหรับคนที่มีน้ำหนักตัว 50 และ 60 กก. มีค่าอยู่ในช่วง 10.3 – 94.6 และ 12.3 – 113.5 กก./สัปดาห์ ตามลำดับ

ค่า PTWI สำหรับคนที่มีน้ำหนักตัว 50 กก.

1. กลุ่มปลาขนาดเล็ก (น้ำหนัก < 1 กก.)
 - อยู่ในช่วง 12.5 – 94.6 กก./สัปดาห์
 - เฉลี่ย 49.8 ± 26.5 กก./สัปดาห์
2. กลุ่มปลาขนาดใหญ่ (น้ำหนัก > 1 กก.)
 - อยู่ในช่วง 10.3 – 47.3 กก./สัปดาห์
 - เฉลี่ย 18.7 ± 10.1 กก./สัปดาห์

ค่า PTWI สำหรับคนที่มีน้ำหนักตัว 60 กก.

1. กลุ่มปลาขนาดเล็ก (น้ำหนัก < 1 กก.)
 - อยู่ในช่วง 14.9 – 113.5 กก./สัปดาห์
 - เฉลี่ย 59.7 ± 31.8 กก./สัปดาห์
2. กลุ่มปลาขนาดใหญ่ (น้ำหนัก > 1 กก.)
 - อยู่ในช่วง 12.3 – 56.8 กก./สัปดาห์
 - เฉลี่ย 22.5 ± 12.1 กก./สัปดาห์

ปลาที่บริโภคได้น้อยที่สุด คือ ปลาฉลามหางยาว (*A. pelagicus*) ส่วนปลาที่บริโภคได้ในปริมาณสูงสุด คือ ปลาทรายแดง (*N. bathybius*) โดยกลุ่มปลาที่สามารถบริโภคได้สูงสุด 5 ชนิด ประกอบด้วย ปลาทรายแดง (*N. bathybius*), ปลาปากคมจุด (*S. undosquamis*), ปลาปากคมหูดำ (*T. myops*), ปลาตาหวาน (*P. macracanthus*) และปลาแพะทองเหลือง (*P. heptacanthud*)

4.4.2 ปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคหมึกจากทะเลเซเลเบส

ปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคหมึกกล้วยน้ำจืดจากทะเลเซเลเบส สำหรับคนที่มีน้ำหนักตัว 50 กก. และ 60 กก. ค่า PTWI ในส่วนเนื้อลำตัว เท่ากับ 0.26 และ 0.32 กก./สัปดาห์ ตามลำดับ และค่า PTWI ในส่วนหัว เท่ากับ 0.83 และ 1.0 กก./สัปดาห์ ตามลำดับ

เนื่องจากส่วนอวัยวะภายในของหมึกมีแคดเมียมปนเปื้อนสูงมาก ดังนั้น การนำหมึกมาปรุงอาหาร ควรดึงอวัยวะภายในออกให้หมด และล้างให้สะอาด เพื่อลดการปนเปื้อน และควรที่จะคำนึงถึงปริมาณที่จะนำมาบริโภคด้วย

4.5 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการศึกษาการปนเปื้อนโลหะหนักในทรัพยากรสัตว์น้ำทั้งในและนอกน่านน้ำไทยมีจำกัด ทำให้ประเทศไทยขาดข้อมูลพื้นฐานในเรื่องดังกล่าว นอกจากชนิดสัตว์น้ำแล้ว ปริมาณการปนเปื้อนอาจขึ้นอยู่กับพื้นที่ ฤดูกาลที่ออกไปทำการประมง และแหล่งกำเนิดของมลพิษ ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาในพื้นที่ต่างๆ เพิ่มเติม และต่อเนื่อง

การจำกัดปริมาณในการบริโภคหมึกเนื่องจากหมึกมีแคดเมียมสะสมในปริมาณสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งอวัยวะภายใน ดังนั้น จึงไม่ควรบริโภคหมึกทั้งตัวซึ่งไม่ได้ดึงและล้างอวัยวะภายในออกให้หมด

บรรณานุกรม

- กรมทรัพยากรธรณี(โสมเพจ). 2550. ธรณีวิทยาบริเวณทะเลอันดามัน เข้าถึงได้ที่ [http://www.dmr.go.th/geothai/andaman \(geo\).html](http://www.dmr.go.th/geothai/andaman (geo).html) (4 มิถุนายน 2550).
- กรมประมง (โสมเพจ) 2551. สถิติปริมาณการจับสัตว์น้ำของประเทศต่างๆที่สำคัญทั่วโลก ปี 2544-2548. กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง ศูนย์สารสนเทศ กรมประมง. เข้าถึงได้ที่ http://www.fisheries.go.th/it-stat/data_2548/yearbook2005/annex2.pdf (20 มิถุนายน 2551).
- กระทรวงสาธารณสุข. 2548. ประกาศคณะกรรมการมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ : ปลาหมึก พ.ศ. 2548 *ราชกิจจานุเบกษา* เล่มที่ 122 ตอนที่ 82ง วันที่ 29 กันยายน 2548.
- กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง (โสมเพจ). 2550. สถิติการประมง 2547 ศูนย์สารสนเทศ กรมประมง เข้าถึงได้ที่ <http://www.fisheries.go.th/it-stat/Index.html> (6 ธันวาคม 2550).
- ทะเลอันดามัน(โสมเพจ).2550 เข้าถึงได้ที่<http://chuma.cas.usf.edu/~juster/volc1/world%20map.gif> (21 มีนาคม 2550).
- บุญจง ขาวสีทวิชย์. 2538. การจัดการวัตถุอันตรายและกากของเสียอันตราย. กรุงเทพฯ.
- ประดิษฐ์ มีสุข. 2542. การหาปริมาณสารหนูแลโลหะหนักในผลิตภัณฑ์จากทะเลสาบสงขลา. *รวมบทความคัดย่อ ผลงานวิจัยของคณาจารย์ในสถาบันอุดมศึกษาไทย* ในระหว่างปี 2540-2542. หน้า 28-29.
- พงศ์เทพ วิวรรณระเดช. 2547. การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ Health Risk Assessment. กรุงเทพฯ: ไชเบอร์เพรส. 184 หน้า.
- พิพัฒน์ นพคุณ จินตนา กิจเจริญวงศ์ และสุรชาติพิทย์ วิทย์ชัยวุฒิวงศ์. 2541. แคดเมียมในอาหารทะเล. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์*. 40 (3):341-346.
- พูลทรัพย์ วิรุพหกุล และสุภาน้อย สันติพิริยาภรณ์. 2549. โลหะหนัก-การปนเปื้อนในสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ของไทย. *วารสารการประมง*. ปีที่ 59(2):115-125.
- แม่น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. 2535. Principles and Techniques of Instrumental Analysis. กรุงเทพฯ : ชวนพิมพ์. 886 หน้า.
- เรืองไร โตกฤษณะ (ออนไลน์). 2548. ทรัพยากรประมงทะเลไทยกับนโยบายทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม เข้าถึงได้ที่ <http://www.thaienviforum.net> (17 มีนาคม 2550).

- วิทยา อยู่สุข. 2527. อาชีวอนามัย : สุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย. กรุงเทพฯ : ชินอักษร การพิมพ์.
- สมชาย วิญญูพันธ์ ไพรัช เกชาสิทธิ์ และชุมโชค สิงหราชัย. 2551. ปริมาณโลหะหนักในสัตว์ทะเล จากเรือประมงอวนลาก. *เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 1/2551*. กรมประมง.
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (โสมเพจ). 2550. ผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (GDP) สาขาประมงปี 2549 และครั้งแรกปี 2550 เข้าถึงได้ที่ <http://www.nesdb.go.th> (27 มีนาคม 2552).
- สุภาพร สิริมานุยุตต์ และนิรชา วงษ์จินดา. 2545. ปริมาณตะกั่วปรอทและแคดเมียมในปลาทะเลเศรษฐกิจที่จำหน่ายในตลาดสดในเขตกรุงเทพมหานคร. *เอกสารวิชาการฉบับที่ 1/2545*. กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ. 17 หน้า.
- อรพินท์ จันทร์ส่องแสง. 2549. ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในเนื้อปลาทูน่าจากมหาสมุทรอินเดีย. *เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 8/2549*. กรมประมง. 30 หน้า.
- เอมอร จงรักษ์. 2532. “หนึ่งนาที่กับแร่แคดเมียม”, *วารสารการธรณี*. 34(2) (กุมภาพันธ์ 2532), 41-43.
- 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. *Mar.Poll. Bull.* 51: 896-911.
- 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. *Env. Poll.* 145: 766-777.
- Andreji, J., I. Stranai, P. Massayi and M. Valent. 2005. Concentration of selected metal in muscle of various fish species. *J. Env. Sci. Health.* 40: 899-912.
- Andreji, J., I. Stranai, P. Massayi and M. Valent. 2006. Accumulation of some metals in muscles of five fish species from Lower Nitra River. *J. Env. Sci. Health.* 41: 2607-2622.
- AOAC. 2006. *AOAC official method of analysis*. Arlington: AOAC International.
- ATSDR .1999. *Toxicological Profile for Cadmium. Agency for Toxic Substances and Disease Registry*. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Atlanta, GA.

- ATSDR. 2003. *Toxicological Profile for Cadmium, Agency for Toxic Substance and Disease Registry*, ATSDR, U.S. Department of Health and Humans Services, Public Health Service, Center for Diseases Control, Atlanta, GA.
- Bernard, A. and R. Lauwerys. 1980. Effects of Cadmium Exposure in Man. *Handbook of Experimental Pharmacology*, Vol. 80. pp. 135-177. Berlin: Springer-Verlag.
- Bernard, A., H. Roels, J.P. Buchet, A. Cardenas and R. Lauwerys. 1992. "Cadmium and Health". *The Belgian Experience*, Vol. 118, pp. 15-33. IARC Scientific Publications, Lyon, France.
- Burger, J. and M. Gochfeld. 2005. Heavy metals in commercial fish in New Jersey. *Env. Res.* 99: 403-413.
- Bustamante, P., F. Caurant, S.W. Fowler and P. Miramand. 1998a. Cephalopods as a vector for the transfer of cadmium to top marine predators in the north-east Atlantic Ocean. *Sci. Total Env.* 220: 71-80.
- Bustamante, P., S. Grigioni, R. Boucher-Rodoni, F. Caurant and P. Miramand. 2000. Bioaccumulation of 12 trace elements in the tissue of the nautilus *Nautilus macromphalus* from New Caledonia. *Mar. Poll. Bull.* 40: 688-696.
- Bustamante, P., Y. Cherel, F. Caurant and P. Miramand. 1998b. Cadmium, copper and zinc in octopuses from Kerguelen Islands, Southern Indian Ocean. *Polar Biology.* 19: 264-271.
- Chi, Q.-Q, G.-W. Zhu and A. Langdon. 2007. Bioaccumulation of heavy metals in fishes from Taihu Lake, China. *J. Env. Sci.* 19: 1500-1504.
- Coyle, P., J.C. Philcox, L.C. Carey and A.M. Rofe. 2002. Metallothionein: the multipurpose protein. *Cell. Mol. Life Sci.* 59: 627-647.
- Craig, S. and J. Overnell. 2003. Metals in squid, *Loligo fobesi*, adults, eggs and hatchlings. No evidence for a role Cu- or Zn-metallothionein. *Comp. Biochem. Physiol. Part C.* 134: 311-317.
- Dutta, K., R. Bhushan and B.L.K. Somayajulu. 2007. Rapid vertical mixing rates in deep waters of the Andaman Basin. *Sci. Total Env.* 384 : 401-408
- EC. 2000. Ambient Air Pollution by As, Cd and Ni Compounds. Position paper. Working Group on Arsenic, Cadmium and Nickel Compounds. European Commission, *Directorate-General Environment*.

- Eng, C.T., J.N. Paw and F.Y. Guarin. 1989. The environmental impact of aquaculture and the effects of pollution on coastal aquaculture development in Southeast Asia. *Mar. Poll. Bull.* 20: 335-343.
- 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.
- Fabris, G., N.J. Turoczy and F. Stagnitti. 2006. Trace metal concentrations in edible tissue of snapper, flathead, lobster, and abalone from coastal waters of Victoria, Australia. *Ecotoxic. Env.* 63: 286-292.
- Falco, G., J.M. Llobet, A. Bocio and J.L. Domingo. 2006. Daily intake of arsenic, cadmium, mercury, and lead by consumption of edible marine species. *J. Agric. Food Chem.* 54: 6106-6112.
- FAO. 2005. Food Security Statistics. เข้าถึงได้จาก URL: http://www.fao.org/faostat/foodsecurity/index_en.htm. (สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2551)
- Finger, J.M. and J.D. Smith. 1987. Molecular association of Cu, Zn, Cd and ^{210}Po in the digestive gland of the squid *Notodarus gouldi*. *Mar. Biol.* 95: 87-91.
- Franzblau, A. 1994a. "Cadmium", *Textbook of Clinical Occupational and Environmental Medicine*, pp. 736-738. Rosenstock, L. and M.R. Cullen, eds. Philadelphia : W. B. Saunders Company.
- Friedman, P.A. and F.A. Gesek. 1994. Cadmium uptake by kidney distal convolute tubule cells. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 128:257-263.
- Gao, Z., L. Wang, T. Qi, J. Chu and Y. Zhang. 2007. Synthesis, characterization, and cadmium(II) uptake of iminodiacetic acid-modified mesoporous SBA-15 Colloids and Surfaces A: *Physico. Chem. Eng.* 304: 77.
- Government of Canada, Environment Canada and Health Canada. 1994. Cadmium and its compounds. *Priority Substances List Assessment Report*. ISBN 0-662-22046-3.
- Habeebu, S.S.M., J. Liu and C.D. Klaassen. 1998. Cadmium-induced apoptosis in mouse liver. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 149: 203-209.

- Has-Schon, E., I. Bogut and I. Strelec. 2006. Heavy metal profile in five fish species included in human diet, domiciled in the end flow of River Neretva (Croatia). *Arch. Env. Contam. Toxicol.* 50: 545-551.
- IARC. 1993. Cadmium and certain cadmium compounds. In: IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. Beryllium, cadmium, mercury and exposures in the glass manufacturing industry. *IARC Monographs, Vol. 58*. Lyon, France: World Health Organization International Agency for Research on Cancer, 119-146, 210-236.
- Jarup, L., L. Hellstrom, T. Alfvén, M.D. Carlsson, A. Grubb, B. Persson, C. Pettersson, G. Spang, A. Schutz and C.G. Elinder. 2000. Low level exposure to cadmium and early kidney damage: the OSCAR study. *Occup. Env. Med.* 57: 668-672.
- JECFA. 2005. Summary of Evaluations Performed by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives – Cadmium. Available from <http://www.inchem.org/documents/j>
- Jensen, A. and F. Bro-Rasmussen. 1991. Environmental cadmium in Europe. *Rev Env. Contam. Toxicol.* 124: 101-181.
- Katzantzis, G. 2004. Cadmium, osteoporosis, and calcium metabolism. *Biometals.* 17: 493-8.
- Kjellstrom, T. 1992. Mechanism and Epidemiology of Bone Effects of Cadmium. *IARC Sci. Publ.* Lyon, France, 301-310.
- Klaassen, C.D. and J. Liu. 1997. Role of metallothionein in cadmium induced hepatotoxicity and nephrotoxicity. *Drug. Metab. Rev.* 29: 79-102.
- Klasing, K.C. 2005. Cadmium in Mineral Tolerances of Animals. *National Research Council*, The National Academies Press, and Washington, DC.
- Kofi, A.D. 2002. *Public Health Risk Assessment for Human Exposure to Chemicals; Environmental Pollution*, Vol. 6. Kluwer Academic Publishers, London.
- Koyama, J., N. Nanamori. and S. Segawa. 2000. Bioaccumulation of waterborne and dietary cadmium by oval squid, *Sepioteuthis lessoniana*, and its distribution among organs. *Mar. Poll. Bull.* 40(11): 961-967.
- Kuester, R.K., M.P. Waalkes, P.L. Goering, B.L. Fisher, R.S. McCuskey and I.G. Sipes. 2002. Differential hepatotoxicity induced by cadmium in Fisher 344 and Sprague-Dawley rats. *Toxico. Sci.* 65: 151-9.

- Macdonald, R.W., L.A. Barrie, T.F. Bidleman, M.L. Diamond, D.J. Gregor, R.G. Semkin, W.M.J. Strachan, Y.F. Li, F. Wania, M. Alae, L.B. Alexeeva, S.M. Backus, R. Bailey, J.M. Bowers, C. Gobeil, C.J. Halsall, T. Harner, J.T. Hoff, L.M.M. Jantunen, W.L. Lockhart, D. Mackay, D.C.G. Muir, J. Pudykiewicz, K.J. Reimer, J.N. Smith, G.A. Stern, W.H. Schroeder, R. Wagemann. and M.B. Yunker. 2000. Contaminants in the Canadian Arctic: 5 years of progress in understanding sources, occurrence and pathways. *Sci. Total Env.* 254: 93–234.
- Martin, J.H. and A.R. Flegal. 1975. High copper concentration in squid livers in association with elevated levels of silver, cadmium and zinc. *Mar. Biol.* 30: 51-55.
- Migliarini, B., A.M. Campisi, F. Maradonna, C. Truzzi, A. Annibaldi and G. Scarponi. 2005. Effects of cadmium exposure on testis apoptosis in the marine teleost *Gobius niger*. *Gen. Comp. Endocrinol.* 142: 241-247.
- Miles, A.T., G.M. Hawksorth, J.H. Beattie. and V. Rodilla. 2000. Induction, regulation, degradation, and biological significance of mammalian metallothioneins. *Crit. Rev. Biochem. Mol. Biol.* 35: 35–70.
- Nordberg, F.G. 2004. Cadmium and health in the 21st century-historical remarks and trends for the future. *BioMetals.* 17: 485-489.
- Novelli, E.L.B., A.M. Lopes, A.S.E. Rodrigues, J.L.V.B. Novelli Filho. and B.O. Ribas. 1999. Superoxide radical and nephrotoxic effect of cadmium exposure. *Int. J. Env. Health Res.* 9: 109–116
- Nriagu, J.L., H.K.T. Wong, G. Lawson. and P. Daniel. 1998. Saturation of ecosystems with toxic metals in Sudbury Basin, Ontario, Canada. *Sci. Total Env.* 233: 99–117.
- OSPAR. 2002. *Cadmium. Hazardous Substances Series.* OSPAR Commission 2002.
- Panutrakul, S., R.P.P.K. Jayasinghe. and C., Chookong. 2009. Heavy Metal Contents in Purpleback Squid (*Sthenoteuthis oualaniensis*) from the Bay of Bengal. *The Ecosystem-Based Fishery Management in the Bengal Bay.* pp. 233-243. Department of Fisheries, Thailand.
- Pierce, G.J., G. Stowasser, L.C. Hastie and P. Bustamante, 2008. Geographic, seasonal and ontogenetic variation in cadmium and mercury concentration in squid (Cephalopoda: Teuthoidea) from UK water. *Ecotoxic. Env. Safety.* 70: 422-432.

- Powell, J.H., R.E. Powell and D.R. Fielder. 1981. Trace elements concentration in tropical marine fish at Bougainville Island, Papua New Guinea. *Water Air Soil Pollut.* 16: 143–158.
- Provias, J.P., C.A. Ackerley, C. Smith. and L.E. Becker. 1994. Cadmium encephalopathy: a report with elemental analysis and pathological findings. *Acta Neuropathol.* 88:583–586.
- Radike, M., D. Warshawsky, J. Caruso, R. Goth-Goldstein, R. Reilman, T. Collins, M. Yaeger, J. Wang, N. Vela, L. Olsen and J. Schneider. 2002. Distribution and accumulation of a mixture of arsenic, cadmium, chromium, nickel, and vanadium in mouse small intestine, kidneys, pancreas, and femur following oral administration in water or feed. *J. Toxicol. Env. Health A.* 65: 2029–2052.
- Sadik, M. 1992. Cadmium in Toxic Metal Chemistry in Marine Environments, In: *Toxic Metal Chemistry in Marine Environments*. M. Dekker, Inc., 1st ed. pp.130-132.
- Sallam, K.H., E.S. El-Sebaey and A.M. Morshdy. 1999. Mercury, cadmium and lead levels in Bagrus bayad fish from the river Nile, Delta region, Egypt. *J. Egypt. Public Health Assoc.* 74: 17-26.
- Sauer, J.-M., M.P. Waalkes, S.B. Hooser, A.T. Baines, R.K. Kuester. and I.G. Sipes. 1997. Tolerance induced by all-trans-retinol to the hepatotoxic effects of cadmium in rats: role of metallothionein expression. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 143: 110–119.
- Seixas, S., P. Bustamante and G.J. Pierce. 2005. Interannual patterns of variation in concentrations of trace elements in arms of *Octopus vulgaris*. *Chemosphere.* 59: 1113-1124.
- Shen, Y.M. and S. Sangiah. 1995. Na⁺, K⁺, ATP, glutathione and hydroxyl free radicals in cadmium chloride induced testicular toxicity in mice. *Arch. Env. Contam. Toxicol.* 29: 174–179.
- Silva, A.M.M., E.L.B. Novelli, M.L. Fascinali. and J.A. Almeida. 1999. Impact of an environmentally realistic intake of water contaminants and superoxide formation on tissues of rats. *Env. Poll.* 105: 243-249.
- Smith, W.H.F. and D.T. Sandwell. 1997. Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings, *Science* 277: 1957-1962.
- Storelli, M.M. 2008. Potential human health risks from metals (Hg, Cd, and Pb) and polychlorinated biphenyls (PCBs) via seafood consumption: Estimation of target hazard quotients (THQs) and toxic equivalents (TEQs). *Food and Chem. Toxicol.* 46: 2782-2788.

- U.S.-EPA. 1999. *Contaminant persistence and mobility factors*. United States Environmental Protection Agency, Office of Ground Water and Drinking Water. <http://www.epa.gov/SAFEWATER/uic/class5.htm> (สืบค้นเมื่อ 25 ตุลาคม 2551).
- U.S.-EPA. 1999. Integrated Risk Information System (IRIS) on Cadmium. Nation Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, Washington, DC. <http://www.epa.gov/iris/subst/0141.htm> (สืบค้นเมื่อ 13 ตุลาคม 2551).
- U.S.-EPA. 2005. Risk-Based Concentration Table, April, 2005. U.S.-EPA, Region 3, Philadelphia, PA. <http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/human/index.htm> (สืบค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2551)
- UNEP. 2006. *Draft Rreview of Scientific Information on Cadmium*. (24 May 2006) Circulated for comments to members of the Lead and Cadmium Working Group.
- Wentink, G.H., T. Wensing. and B.G. Kessels. 1992. Toxicity of cadmium in cattle. *TvD*. 117: 548–50.
- WHO. 2000. Chapter 6.3 Cadmium Air Quality. Guidelines - Second Edition.
- Xu, G., G. Zhou, T. Jin, T. Zhou, S. Hammarstrom, A. Bergh and G. Nordberg. 1999. Apoptosis and p53 gene expression in male reproductive tissues of cadmium exposed rats. *Biometals*.12: 131–139.
- Yamano, T., M. Shimizu. and T. Noda. 1998. Comparative effects of repeated administration of cadmium on kidney, spleen, thymus, and bone marrow in 2, 4 and 8 month old male Wistar rats. *Toxicol. Sci*. 46: 393–402.
- Yilmaz, F., N. Özdemir, A. Demirak. and A.L. Tuna. 2007. Heavy metal levels in two fish *species* *Leuciscus cephalus* and *Lepomis gibbosus*. *Food Chem*. 100: 830-835.
- Zalups, R.K. and S. Ahmad. 2003. Molecular handling of cadmium in transporting epithelia. *Toxicol. Appl. Pharmacol*. 186: 163–188.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ชื่อวิทยาศาสตร์ ชื่อสามัญ และรูปสัตว์ทะเลแต่ละชนิดจากทะเลอันดามันและทะเลเซเลเบส

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Alopias pelagicus*

Common name Pelagic thresher

ชื่อสามัญ ปลาฉลามหางยาว

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Alopias superciliosus*

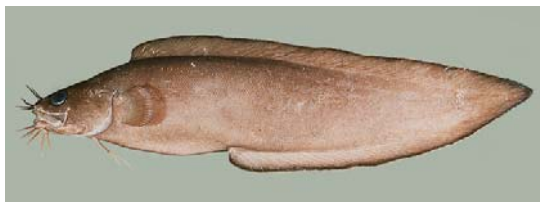
Common name Bigeye thresher

ชื่อสามัญ ปลาฉลามหางยาวหน้าหนุ

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Brotula multibarbata*

Common name Goatsbeard brotula

ชื่อสามัญ ปลาไหลเครา

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Haplogenyx nitens*

Common name Grunts

ชื่อสามัญ ปลาสร้อยนกเขา

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Istiophorus platypterus*

Common name Indo-Pacific sailfish

ชื่อสามัญ ปลากระโทงร่มอินโดแปซิฟิก

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Isurus oxyrinchus*

Common name shortfin mako

ชื่อสามัญ ปลาฉลามปากหมา



ชื่อวิทยาศาสตร์ *Lepturacanthus savala*

Common name Savalani hairtail

ชื่อสามัญ ปลาตาบเงิน



ชื่อวิทยาศาสตร์ *Makaira mazara*

Common name Indo-Pacific blue marlin

ชื่อสามัญ ปลากระโทงสีน้ำเงินแปซิฟิก



ชื่อวิทยาศาสตร์ *Mustelus manazo*

Common name Starspotted smooth-hound

ชื่อสามัญ ปลาฉลามหมาจุกขาว



ชื่อวิทยาศาสตร์ *Nemipterus bathybius*

Common name Yellowbelly threadfin bream

ชื่อสามัญ ปลาทูลายแดง



ชื่อวิทยาศาสตร์ *Parupeneus heptacanthus*

Common name Cinnabar goatfish

ชื่อสามัญ ปลาแพะทองเหลือง



ชื่อวิทยาศาสตร์ *Priacanthus macracanthus*

Common name Red bigeye

ชื่อสามัญ ปลาดาวหวาน



ชื่อวิทยาศาสตร์ *Saurida undosquamis*
 Common name Brushtooth lizardfish
 ชื่อสามัญ ปลาปากคมจุด



ชื่อวิทยาศาสตร์ *Sphyraena barracuda*
 Common name Great barracuda
 ชื่อสามัญ ปลาน้ำดอกไม้



ชื่อวิทยาศาสตร์ *Squalus mitsukurii*
 Common name Shortspine spurdog
 ชื่อสามัญ ปลาฉลามหลังหนาม



ชื่อวิทยาศาสตร์ *Thunnus albacares*
 Common name Yellowfin tuna
 ชื่อสามัญ ปลาทูน่าครีบน้ำเงิน



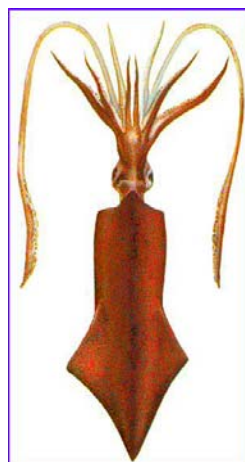
ชื่อวิทยาศาสตร์ *Trachinocephalus myops*
 Common name Snakefish
 ชื่อสามัญ ปลาปากคมหูดำ



ชื่อวิทยาศาสตร์ *Xiphias gladius*
 Common name Sword fish
 ชื่อสามัญ ปลากระโทงแทงดาบ



ชื่อวิทยาศาสตร์ *Loligo formosana* Sasaki
Common name Splendid squid
ชื่อสามัญ หมึกกล้วยน้ำจืด



ภาคผนวก ข

ขนาด (น้ำหนักและความยาว) และปริมาณแคคเมียมของสัตว์ทะเลแต่ละชนิด
จากทะเลอันดามัน (น่านน้ำไทยและพม่า) และทะเลเซเลเบส

- ตาราง ข-1 ลักษณะการกินอาหารและถิ่นที่อยู่ของปลาแต่ละชนิด
- ตาราง ข-2 แสดงขนาด แหล่งที่จับ และเครื่องมือที่ใช้ในการสุ่มจับปลาแต่ละตัวจากทะเลอันดามัน
- ตาราง ข-3 ผลการวิเคราะห์แคคเมียมในตัวอย่าง ซ้ำ 15% ของตัวอย่างทั้งหมด
- ตาราง ข-4 แสดงรายละเอียดน้ำหนัก ความยาว และปริมาณแคคเมียมที่ปนเปื้อนในตัวอย่างปลาแต่ละตัว
- ตาราง ข-5 แสดงรายละเอียด (น้ำหนัก และความยาว) และปริมาณแคคเมียมในเครื่องในปลาแต่ละตัวอย่างที่สุ่มจากทะเลอันดามัน
- ตาราง ข-6 แสดงรายละเอียดระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของหมึก *Loligo formosana* Sasaki (Splendid squid) หรือหมึกกล้วยน้ำลึก จากทะเลเซเลเบส พร้อมกับสถานที่ที่เก็บตัวอย่าง วันที่เก็บ เพศ และขนาด

อักษรย่อที่ใช้ในตาราง

- FL = Folk length
 SL = Standard length
 HL = Head length
 BD = Body depth
 EFL = Eye to folk length
 BL = Body length
 TL = Total length

ตาราง ข-1 ลักษณะการกินอาหารและถิ่นที่อยู่ของปลาแต่ละชนิด (www.fishbase.org)

ชื่อวิทยาศาสตร์	ขนาดสูงสุด		สภาพแวดล้อม	อาหาร
	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)		
1. <i>Alopias pelagicus</i>	383	-	Epipelagic	Feeds on small fishes and cephalopods
2. <i>Alopias superciliosus</i>	488	363.8	pelagic; oceanodromous	Feeds on pelagic fishes ,bottom fishes and squids
3. <i>Brotula multibarata</i>	100	-	Benthopelagic	Feeds on crustaceans, crabs and fishes
4. <i>Haplogenyx nitens</i>	30	-	benthopelagic; marine	Feeds on small fishes
5. <i>Istiophorus platypterus</i>	348	100.2	pelagic; oceanodromous	Feeds mainly on fishes, crustaceans and cephalopods
6. <i>Isurus oxyrinchus</i>	400	505.8	pelagic-oceanic; oceanodromous	Feeds on bony fishes, other sharks, cephalopods and small cetaceans
7. <i>Lepturacanthus savala</i>	100	-	benthopelagic; amphidromous	Feeds on a variety of small fishes and crustaceans
8. <i>Makaira mazara</i>	500	906	pelagic-oceanic; oceanodromous	Feed on squids, tuna-like fishes, crustaceans and cephalopods
9. <i>Mustelus manazo</i>	220	5.72	bathydemersal; marine	Feeds mainly on bottom invertebrates and bony fishes
10. <i>Nemipterus bathybius</i>	20	-	demersal; marine	Feed on crustaceans, fish and cephalopods
11. <i>Parupeneus heptacanthus</i>	36	-	reef-associated	Feeds on small fishes, small cephalopods and small crustaceans
12. <i>Priacanthus macracanthus</i>	30	-	reef-associated; oceanodromous	Feeds on small fishes, small cephalopods and small crustaceans
13. <i>Saurida undosquamis</i>	50	-	reef-associated	Feeds on fishes, crustaceans and other invertebrates
14. <i>Sphyraena barracuda</i>	200	50	reef-associated	Feeds on fishes, cephalopods and sometimes on shrimps
15. <i>Squalus mitsukurii</i>	100	-	benthopelagic; marine	Feeds on bony fishes including hake, snoek, conger eels and lantern fishes, cephalopods, and crustaceans
16. <i>Thunnus albacares</i>	239	200	pelagic-oceanic; oceanodromous	Feed on fishes, crustaceans and squids.
17. <i>Trachinocephalus myops</i>	40	-	reef-associated	Feed on fishes and small crustaceans
18. <i>Xiphias gladius</i>	455	650	pelagic; oceanodromous	Feed mainly on fishes crustaceans and squids

ตาราง ข-2 ขนาดของตัวอย่างปลาแต่ละตัว แหล่งที่จับ และเครื่องมือประมงที่ใช้ในการสุ่มจับปลาแต่ละตัวจากทะเลอันดามัน

Code	ชื่อวิทยาศาสตร์	แหล่งที่จับ	วันที่เก็บ	สถานี	เครื่องมือ	ความยาว (เซนติเมตร)							น้ำหนัก (กก.)
						FL	SL	BL	EFL	BD	HL	TL	
D-65	<i>Alopias pelagicus</i>	น่านน้ำไทย	3-Apr-07	22	pelagic longline	-	-	-	-	-	50	270	45
D-45	<i>Alopias superciliosus</i>	น่านน้ำไทย	4-Apr-07	25	pelagic longline	-	-	-	-	-	60	348	110
D-48	<i>Alopias superciliosus</i>	น่านน้ำไทย	4-Apr-07	25	pelagic longline	-	-	-	-	-	55	298	70
D-58	<i>Alopias superciliosus</i>	น่านน้ำไทย	3-Apr-07	23	pelagic longline	-	-	-	-	-	45	209	25
D-68	<i>Alopias superciliosus</i>	น่านน้ำไทย	3-Apr-07	23	pelagic longline	-	-	-	-	-	57	293	70
D-57	<i>Alopias superciliosus</i>	น่านน้ำไทย	3-Apr-07	22	pelagic longline	-	-	-	-	-	56	268	65
D-16	<i>Alopias superciliosus</i>	น่านน้ำไทย	8-Apr-07	30	pelagic longline	-	-	-	-	-	60	290	65
D-3	<i>Alopias superciliosus</i>	น่านน้ำไทย	9-Apr-07	30	pelagic longline	-	-	-	-	-	61	296	45
D-25	<i>Alopias superciliosus</i>	น่านน้ำไทย	8-Apr-07	30	pelagic longline	-	-	-	-	-	56	268	55
D-13	<i>Alopias superciliosus</i>	น่านน้ำไทย	9-Apr-07	30	pelagic longline	-	-	-	-	-	52	245	30
D-21	<i>Alopias superciliosus</i>	น่านน้ำไทย	3-Apr-07	23	pelagic longline	-	-	-	-	-	56	272	60
D-1	<i>Alopias superciliosus</i>	น่านน้ำไทย	9-Apr-07	30	pelagic longline	-	-	-	-	-	63	297	65
D-31	<i>Brotula multibarata</i>	น่านน้ำไทย	22-Mar-07	2	Trap fishing	-	-	-	-	-	-	-	0.74
D-96	<i>Haplogenyx nitens</i>	น่านน้ำไทย	22-Mar-07	2	Trap fishing	-	-	-	-	-	-	19.0	0.106
D-97	<i>Haplogenyx nitens</i>	น่านน้ำไทย	22-Mar-07	2	Trap fishing	-	-	-	-	-	-	23.0	0.18
D-72	<i>Haplogenyx nitens</i>	น่านน้ำไทย	22-Mar-07	2	Trap fishing	-	-	-	-	-	-	18.3	0.166
D-73	<i>Haplogenyx nitens</i>	น่านน้ำไทย	22-Mar-07	2	Trap fishing	-	-	-	-	-	-	22.7	0.338

ตาราง ข-2 (ต่อ)

Code	ชื่อวิทยาศาสตร์	แหล่งที่จับ	วันที่เก็บ	สถานี	เครื่องมือ	ความยาว (เซนติเมตร)							น้ำหนัก (กก.)
						FL	SL	BL	EFL	BD	HL	TL	
D-74	<i>Haplogeny nitens</i>	น่านน้ำไทย	22-Mar-07	2	Trap fishing	-	-	-	-	-	-	22.5	0.321
D-75	<i>Haplogeny nitens</i>	น่านน้ำไทย	22-Mar-07	2	Trap fishing	-	-	-	-	-	-	19.5	0.201
D-76	<i>Haplogeny nitens</i>	น่านน้ำไทย	22-Mar-07	2	Trap fishing	-	-	-	-	-	-	17.0	0.157
D-77	<i>Haplogeny nitens</i>	น่านน้ำไทย	22-Mar-07	2	Trap fishing	-	-	-	-	-	-	20.0	0.196
D-27	<i>Haplogeny nitens</i>	น่านน้ำไทย	20-Mar-07	6	Trap fishing	-	-	-	-	-	-	23.2	0.313
D-28	<i>Haplogeny nitens</i>	น่านน้ำไทย	20-Mar-07	6	Trap fishing	-	-	-	-	-	-	20.5	0.224
D-29	<i>Haplogeny nitens</i>	น่านน้ำไทย	20-Mar-07	6	Trap fishing	-	-	-	-	-	-	23.0	0.298
D-41	<i>Istiophorus platypterus</i>	น่านน้ำไทย	4-Apr-07	25	pelagic longline	238	222	203	156	36	50	269	29
D-88	<i>Istiophorus platypterus</i>	น่านน้ำไทย	2-Apr-07	22	pelagic longline	202	180	175	136	31.5	42	224	20
D-47	<i>Istiophorus platypterus</i>	น่านน้ำไทย	4-Apr-07	25	pelagic longline	209	202	181	142	-	-	244	21
D-44	<i>Isurus oxyrinchus</i>	น่านน้ำไทย	4-Apr-07	25	pelagic longline	-	-	-	-	-	64	219	75
D-8	<i>Lepturacanthus savala</i>	น่านน้ำไทย	3-Apr-07	23	pelagic longline	-	-	-	-	11.5	-	124	1.2
D-9	<i>Lepturacanthus savala</i>	น่านน้ำไทย	6-Apr-07	34	pelagic longline	-	-	-	-	9	-	123	1.6
D-18	<i>Lepturacanthus savala</i>	น่านน้ำไทย	3-Apr-07	23	pelagic longline	-	-	-	-	15	-	143	1.8
D-54	<i>Lepturacanthus savala</i>	น่านน้ำไทย	10-Apr-07	27	pelagic longline	-	-	-	-	9.5	-	129	1.0
D-55	<i>Lepturacanthus savala</i>	น่านน้ำไทย	10-Apr-07	27	pelagic longline	-	-	-	-	14	-	115	1.2
D-56	<i>Lepturacanthus savala</i>	น่านน้ำไทย	7-Apr-07	32	pelagic longline	-	-	-	-	14	-	128	1.6

ตาราง ข-2 (ต่อ)

Code	ชื่อวิทยาศาสตร์	แหล่งที่จับ	วันที่เก็บ	สถานี	เครื่องมือ	ความยาว (เซนติเมตร)							น้ำหนัก (กก.)
						FL	SL	BL	EFL	BD	HL	TL	
D-63	<i>Lepturacanthus savala</i>	น่านน้ำไทย	10-Apr-07	27	pelagic longline	-	-	-	-	9.65	-	114	1.1
D-64	<i>Lepturacanthus savala</i>	น่านน้ำไทย	7-Apr-07	32	pelagic longline	-	-	-	-	10	-	122	1.2
D-66	<i>Lepturacanthus savala</i>	น่านน้ำไทย	2-Apr-07	22	pelagic longline	-	-	-	-	18	-	142	1.2
D-98	<i>Lepturacanthus savala</i>	น่านน้ำไทย	7-Apr-07	32	pelagic longline	-	-	-	-	12	-	133	1.0
D-17	<i>Makaira mazara</i>	น่านน้ำไทย	10-Apr-07	27	pelagic longline	267	244	231	178	56	56	278	120
D-22	<i>Mustelus manazo</i>	น่านน้ำไทย	20-Mar-07	8	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	-	2.40
D-62	<i>Mustelus manazo</i>	น่านน้ำไทย	21-Mar-07	4	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	-	2.20
D-5	<i>Mustelus manazo</i>	น่านน้ำไทย	18-Mar-07	12	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	-	2.29
D-93	<i>Nemipterus bathybius</i>	น่านน้ำพม่า	28-Feb-07	57	Trawl fishing	-	-	-	-	-	-	22.0	0.138
D-94	<i>Nemipterus bathybius</i>	น่านน้ำพม่า	28-Feb-07	57	Trawl fishing	-	-	-	-	-	-	19.5	0.081
D-95	<i>Nemipterus bathybius</i>	น่านน้ำพม่า	28-Feb-07	57	Trawl fishing	-	-	-	-	-	-	21.0	0.114
D-85	<i>Parupeneus</i>	น่านน้ำพม่า	27-Feb-07	67	Trawl fishing	-	-	-	-	-	-	25.0	0.213
D-84	<i>Parupeneus</i>	น่านน้ำพม่า	27-Feb-07	67	Trawl fishing	-	-	-	-	-	-	27.5	0.25
D-86	<i>Parupeneus</i>	น่านน้ำพม่า	27-Feb-07	67	Trawl fishing	-	-	-	-	-	-	26.0	0.263
D-78	<i>Priacanthus</i>	น่านน้ำพม่า	27-Feb-07	67	Trawl fishing	-	-	-	-	-	-	26.5	0.2
D-79	<i>Priacanthus</i>	น่านน้ำพม่า	27-Feb-07	67	Trawl fishing	-	-	-	-	-	-	27.5	0.229
D-80	<i>Priacanthus</i>	น่านน้ำพม่า	27-Feb-07	67	Trawl fishing	-	-	-	-	-	-	25.5	0.186

ตาราง ข-2 (ต่อ)

Code	ชื่อวิทยาศาสตร์	แหล่งที่จับ	วันที่เก็บ	สถานี	เครื่องมือ	ความยาว (เซนติเมตร)						น้ำหนัก (กก.)	
						FL	SL	BL	EFL	BD	HL		TL
D-81	<i>Saurida undosquamis</i>	น่านน้ำพม่า	27-Feb-07	67	Trawl fishing	-	-	-	-	-	-	26.5	0.131
D-82	<i>Saurida undosquamis</i>	น่านน้ำพม่า	27-Feb-07	67	Trawl fishing	-	-	-	-	-	-	25.5	0.115
D-83	<i>Saurida undosquamis</i>	น่านน้ำพม่า	27-Feb-07	67	Trawl fishing	-	-	-	-	-	-	24.0	0.106
D-53	<i>Sphyræna barracuda</i>	น่านน้ำไทย	3-Apr-07	23	pelagic longline	50	-	-	-	23.5	-	54	6.00
D-26	<i>Sphyræna barracuda</i>	น่านน้ำไทย	3-Apr-07	23	pelagic longline	83	-	-	-	55	-	87	13.40
D-32	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	23-Mar-07	1	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	36.5	0.212
D-33	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	23-Mar-07	1	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	43.0	0.361
D-34	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	23-Mar-07	1	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	43.6	0.371
D-35	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	28-Mar-07	15	Trap fishing	-	-	-	-	-	-	43.3	0.356
D-36	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	28-Mar-07	15	Trap fishing	-	-	-	-	-	-	43.0	0.347
D-37	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	28-Mar-07	15	Trap fishing	-	-	-	-	-	-	47.0	0.383
D-38	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	20-Mar-07	8	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	48.0	0.551
D-39	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	20-Mar-07	8	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	43.5	0.372
D-40	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	20-Mar-07	8	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	45.0	0.41
D-49	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	22-Mar-07	3	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	47.5	0.442
D-50	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	22-Mar-07	3	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	45.0	0.384
D-51	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	22-Mar-07	3	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	42.5	0.338

ตาราง ข-2 (ต่อ)

Code	ชื่อวิทยาศาสตร์	แหล่งที่จับ	วันที่เก็บ	สถานี	เครื่องมือ	ความยาว (เซนติเมตร)							น้ำหนัก (กก.)
						FL	SL	BL	EFL	BD	HL	TL	
D-36	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	28-Mar-07	15	Trap fishing	-	-	-	-	-	-	43.0	0.347
D-37	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	28-Mar-07	15	Trap fishing	-	-	-	-	-	-	47.0	0.383
D-38	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	20-Mar-07	8	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	48.0	0.551
D-39	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	20-Mar-07	8	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	43.5	0.372
D-40	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	20-Mar-07	8	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	45.0	0.41
D-49	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	22-Mar-07	3	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	47.5	0.442
D-50	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	22-Mar-07	3	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	45.0	0.384
D-51	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	22-Mar-07	3	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	42.5	0.338
D-59	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	19-Mar-07	9	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	41.7	0.343
D-60	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	19-Mar-07	9	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	40.5	0.382
D-61	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	19-Mar-07	9	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	41.0	0.317
D-89	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	21-Mar-07	4	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	48.0	0.455
D-90	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	21-Mar-07	4	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	47.6	0.431
D-91	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	21-Mar-07	4	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	48.5	0.455
D-6	<i>Squalus mitsukurii</i>	น่านน้ำไทย	18-Mar-07	12	BVLfishing	-	-	-	-	-	-	-	-
D-10	<i>Thunnus albacares</i>	น่านน้ำไทย	8-Apr-07	30	pelagic longline	126	115	-	-	38		138	31
D-19	<i>Thunnus albacares</i>	น่านน้ำไทย	10-Apr-07	27	pelagic longline	110	101	-	-	37	33	120	20

ตาราง ข-2 (ต่อ)

Code	ชื่อวิทยาศาสตร์	แหล่งที่จับ	วันที่เก็บ	สถานี	เครื่องมือ	ความยาว (เซนติเมตร)							น้ำหนัก (กก.)
						FL	SL	BL	EFL	BD	HL	TL	
D-46	<i>Thunnus albacares</i>	น่านน้ำไทย	4-Apr-07	25	pelagic longline	109	98	-	-	31	-	118	18
D-52	<i>Thunnus albacares</i>	น่านน้ำไทย	4-Apr-07	25	pelagic longline	116	106	-	-	35	-	128	23
D-100	<i>Trachinocephalus myops</i>	น่านน้ำพม่า	27-Feb-07	67	Trawl fishing	-	-	-	-	-	-	20.5	0.078
D-101	<i>Trachinocephalus myops</i>	น่านน้ำพม่า	27-Feb-07	67	Trawl fishing	-	-	-	-	-	-	20.0	0.071
D-102	<i>Trachinocephalus myops</i>	น่านน้ำพม่า	27-Feb-07	67	Trawl fishing	-	-	-	-	-	-	21.5	0.097
D-2	<i>Xiphias gladius</i>	น่านน้ำไทย	9-Apr-07	30	pelagic longline	174	161	120	87	30	36	186	16
D-4	<i>Xiphias gladius</i>	น่านน้ำไทย	9-Apr-07	30	pelagic longline	157	145	110	76	27	-	170	13.5
D-7	<i>Xiphias gladius</i>	น่านน้ำไทย	3-Apr-07	23	pelagic longline	141	131	95	67	23	31	155	8.5
D-11	<i>Xiphias gladius</i>	น่านน้ำไทย	8-Apr-07	30	pelagic longline	165	153	115	80	28	38	177	16
D-12	<i>Xiphias gladius</i>	น่านน้ำไทย	10-Apr-07	27	pelagic longline	155	143	95	67	26	32	157	8
D-14	<i>Xiphias gladius</i>	น่านน้ำไทย	9-Apr-07	30	pelagic longline	155	143	100	78.5	28	34	167	13
D-30	<i>Xiphias gladius</i>	น่านน้ำไทย	4-Apr-07	25	pelagic longline	250	233	143	130	45	50	270	60
D-42	<i>Xiphias gladius</i>	น่านน้ำไทย	4-Apr-07	25	pelagic longline	168	155	118	84	27	37	182	17
D-43	<i>Xiphias gladius</i>	น่านน้ำไทย	4-Apr-07	25	pelagic longline	163	149	112	80	28	35	172	15
D-69	<i>Xiphias gladius</i>	น่านน้ำไทย	7-Apr-07	32	pelagic longline	142	132	96	66	22	33	155	8
D-87	<i>Xiphias gladius</i>	น่านน้ำไทย	7-Apr-07	32	pelagic longline	145	134	100	71	25	32	159	7.5
D-92	<i>Xiphias gladius</i>	น่านน้ำไทย	7-Apr-07	32	pelagic longline	134	124	93	66	21	30.5	145	7.2

ตาราง ข-3 ผลการวิเคราะห์แคดเมียมในตัวอย่าง ซ้ำ 15% ของตัวอย่างทั้งหมด

CODE	เนื้อเยื่อ	แคดเมียม (มก./กก.น้ำหนักเปียก)				% (SD/mean)	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	SD	SE	
C-1	ลำตัว	0.692	0.640	0.666	0.026	0.018	3.9
C-2	อวัยวะภายใน	3.002	3.141	3.072	0.070	0.049	2.3
C-2	ลำตัว	0.501	0.466	0.484	0.017	0.012	3.6
C-8	ลำตัว	0.539	0.517	0.528	0.011	0.008	2.1
C-9	ลำตัว	0.487	0.577	0.532	0.045	0.032	8.5
C-10	ลำตัว	1.820	1.774	1.797	0.023	0.017	1.3
C-11	ลำตัว	0.563	0.477	0.520	0.043	0.030	8.3
C-12	อวัยวะภายใน	86.3	82.4	84.359	1.953	1.381	2.3
C-12	หัว	2.157	1.925	2.041	0.116	0.082	5.7
C-12	ลำตัว	2.591	2.367	2.479	0.112	0.079	4.5
C-17	ลำตัว	1.452	2.463	1.957	0.505	0.357	25.8
C-23	ลำตัว	0.340	0.263	0.301	0.038	0.027	12.7
D-15	อวัยวะภายใน	0.029	0.028	0.029	0.001	0.001	3.5
D-41	เนื้อปลา	0.018	0.017	0.018	0.001	0.000	3.5
D-54	เนื้อปลา	0.010	0.010	0.010	0.000	0.000	0.6
D-59	เนื้อปลา	0.017	0.015	0.016	0.001	0.001	7.1
D-62	เนื้อปลา	0.022	0.021	0.022	0.000	0.000	0.9
D-66	เนื้อปลา	0.018	0.019	0.019	0.000	0.000	1.1
D-68	เนื้อปลา	0.026	0.026	0.026	0.000	0.000	0.2
D-70	อวัยวะภายใน	0.027	0.025	0.026	0.001	0.001	3.8
D-74	เนื้อปลา	0.017	0.016	0.017	0.000	0.000	2.2
D-77	เนื้อปลา	0.010	0.010	0.010	0.000	0.000	0.9
D-78	เนื้อปลา	0.003	0.007	0.005	0.002	0.001	43.9
D-82	เนื้อปลา	0.004	0.006	0.005	0.001	0.001	19.2
D-84	เนื้อปลา	0.006	0.005	0.006	0.000	0.000	5.3
D-86	เนื้อปลา	0.009	0.009	0.009	0.000	0.000	0.8
D-91	เนื้อปลา	0.023	0.023	0.023	0.000	0.000	0.3
รวม 27 ตัวอย่างจากทั้งหมด 180 ตัวอย่าง					เฉลี่ย		6.5%
					SD		9.5%

หมายเหตุ: SD = Standard deviation; SE = Standard error

ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (coefficient of variation) = SD/mean

ถ้า SD/mean มีค่าน้อยกว่า 10% แสดงว่าวิธีการวิเคราะห์มีความแม่นยำ

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ;

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error) ;

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{N}}$$

ตาราง ข-4 ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในตัวอย่างปลาแต่ละตัวจากทะเลอันดามันที่สุ่มตัวอย่างในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน พ.ศ. 2550 พร้อมความยาวและน้ำหนักของแต่ละตัวอย่าง

Code	ชื่อวิทยาศาสตร์	ยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	แคดเมียม (มก./กก.นน.เปียก)
D-65	<i>Alopias pelagicus</i>	270	45	0.034
D-45	<i>Alopias superciliosus</i>	348	110	0.035
D-48	<i>Alopias superciliosus</i>	298	70	0.029
D-58	<i>Alopias superciliosus</i>	209	25	0.013
D-68	<i>Alopias superciliosus</i>	293	70	0.026
D-57	<i>Alopias superciliosus</i>	268	65	0.022
D-16	<i>Alopias superciliosus</i>	290	65	0.022
D-3	<i>Alopias superciliosus</i>	296	45	0.019
D-25	<i>Alopias superciliosus</i>	268	55	0.019
D-13	<i>Alopias superciliosus</i>	245	30	0.017
D-21	<i>Alopias superciliosus</i>	272	60	0.018
D-1	<i>Alopias superciliosus</i>	297	65	0.021
D-31	<i>Brotula multibarбата</i>	-	0.74	0.028
D-96	<i>Haplogeny nitens</i>	19	0.11	0.006
D-97	<i>Haplogeny nitens</i>	23	0.18	0.016
D-72	<i>Haplogeny nitens</i>	18.3	0.17	0.013
D-73	<i>Haplogeny nitens</i>	22.7	0.34	0.020
D-74	<i>Haplogeny nitens</i>	22.5	0.32	0.017
D-75	<i>Haplogeny nitens</i>	19.5	0.2	0.010
D-76	<i>Haplogeny nitens</i>	17	0.16	0.009
D-77	<i>Haplogeny nitens</i>	20	0.2	0.010
D-27	<i>Haplogeny nitens</i>	23.2	0.31	0.016
D-28	<i>Haplogeny nitens</i>	20.5	0.22	0.012
D-29	<i>Haplogeny nitens</i>	23	0.3	0.015
D-41	<i>Istiophorus platypterus</i>	269	29	0.018
D-88	<i>Istiophorus platypterus</i>	224	20	0.017
D-47	<i>Istiophorus platypterus</i>	244	21	0.016
D-44	<i>Isurus oxyrinchus</i>	219	75	0.024
D-8	<i>Lepturacanthus savala</i>	124	1.2	0.016
D-9	<i>Lepturacanthus savala</i>	123	1.6	0.021
D-18	<i>Lepturacanthus savala</i>	143	1.8	0.025

ตาราง ข-4 (ต่อ)

Code	ชื่อวิทยาศาสตร์	ยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	แคดเมียม (มก./กก.นน.เปียก)
D-54	<i>Lepturacanthus savala</i>	129	1	0.010
D-55	<i>Lepturacanthus savala</i>	115	1.2	0.016
D-56	<i>Lepturacanthus savala</i>	128	1.6	0.022
D-63	<i>Lepturacanthus savala</i>	114	1.1	0.011
D-64	<i>Lepturacanthus savala</i>	122	1.2	0.018
D-66	<i>Lepturacanthus savala</i>	142	1.2	0.016
D-98	<i>Lepturacanthus savala</i>	133	1	0.010
D-17	<i>Makaira mazara</i>	278	120	0.031
D-22	<i>Mustelus manazo</i>	-	2.4	0.027
D-62	<i>Mustelus manazo</i>	-	2.2	0.022
D-5	<i>Mustelus manazo</i>	-	2.29	0.023
D-93	<i>Nemipterus bathybius</i>	22	0.14	0.006
D-94	<i>Nemipterus bathybius</i>	19.5	0.08	0.002
D-95	<i>Nemipterus bathybius</i>	21	0.11	0.004
D-85	<i>Parupeneus heptacanthus</i>	25	0.21	0.004
D-84	<i>Parupeneus heptacanthus</i>	27.5	0.25	0.006
D-86	<i>Parupeneus heptacanthus</i>	26	0.26	0.009
D-78	<i>Priacanthus macracanthus</i>	26.5	0.2	0.005
D-79	<i>Priacanthus macracanthus</i>	27.5	0.23	0.007
D-80	<i>Priacanthus macracanthus</i>	25.5	0.19	0.004
D-81	<i>Saurida undosquamis</i>	26.5	0.13	0.008
D-82	<i>Saurida undosquamis</i>	25.5	0.12	0.005
D-83	<i>Saurida undosquamis</i>	24	0.11	0.004
D-53	<i>Sphyraena barracuda</i>	54	6	0.007
D-26	<i>Sphyraena barracuda</i>	87	13.4	0.008
D-32	<i>Squalus mitsukurii</i>	36.5	0.21	0.013
D-33	<i>Squalus mitsukurii</i>	43	0.36	0.020
D-34	<i>Squalus mitsukurii</i>	43.6	0.37	0.016
D-35	<i>Squalus mitsukurii</i>	43.3	0.36	0.018
D-36	<i>Squalus mitsukurii</i>	43	0.35	0.018
D-37	<i>Squalus mitsukurii</i>	47	0.38	0.021
D-38	<i>Squalus mitsukurii</i>	48	0.55	0.036
D-39	<i>Squalus mitsukurii</i>	43.5	0.37	0.016
D-40	<i>Squalus mitsukurii</i>	45	0.41	0.020

ตาราง ข-4 (ต่อ)

Code	ชื่อวิทยาศาสตร์	ยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	แคดเมียม (มก./กก.นน.เปียก)
D-49	<i>Squalus mitsukurii</i>	47.5	0.44	0.021
D-50	<i>Squalus mitsukurii</i>	45	0.38	0.015
D-51	<i>Squalus mitsukurii</i>	42.5	0.34	0.021
D-59	<i>Squalus mitsukurii</i>	41.7	0.34	0.016
D-60	<i>Squalus mitsukurii</i>	40.5	0.38	0.019
D-61	<i>Squalus mitsukurii</i>	41	0.32	0.014
D-89	<i>Squalus mitsukurii</i>	48	0.46	0.024
D-90	<i>Squalus mitsukurii</i>	47.6	0.43	0.021
D-91	<i>Squalus mitsukurii</i>	48.5	0.46	0.023
D-6	<i>Squalus mitsukurii</i>	-	-	0.020
D-10	<i>Thunnus albacares</i>	138	31	0.030
D-19	<i>Thunnus albacares</i>	120	20	0.022
D-46	<i>Thunnus albacares</i>	118	18	0.018
D-52	<i>Thunnus albacares</i>	128	23	0.023
D-100	<i>Trachinocephalus myops</i>	20.5	0.08	0.006
D-101	<i>Trachinocephalus myops</i>	20	0.07	0.005
D-102	<i>Trachinocephalus myops</i>	21.5	0.1	0.008
D-2	<i>Xiphias gladius</i>	186	16	0.029
D-4	<i>Xiphias gladius</i>	170	13.5	0.023
D-7	<i>Xiphias gladius</i>	155	8.5	0.018
D-11	<i>Xiphias gladius</i>	177	16	0.029
D-12	<i>Xiphias gladius</i>	157	8	0.019
D-14	<i>Xiphias gladius</i>	167	13	0.022
D-30	<i>Xiphias gladius</i>	270	60	0.033
D-42	<i>Xiphias gladius</i>	182	17	0.031
D-43	<i>Xiphias gladius</i>	172	15	0.025
D-69	<i>Xiphias gladius</i>	155	8	0.019
D-87	<i>Xiphias gladius</i>	159	7.5	0.013
D-92	<i>Xiphias gladius</i>	145	7.2	0.011

ตาราง ข-5 ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในกระเพาะของปลาทั้ง 3 ชนิด จากทะเลอันดามัน พร้อมค่าความยาวและน้ำหนักทั้งหมด

ลำดับ	ชื่อวิทยาศาสตร์	ยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	แคดเมียม (มก./กก.นท.เปียก)
1	<i>Istiophorus platypterus</i>	269	29	0.026
2	<i>Thunnus albacares</i>	118	18	0.026
3	<i>Thunnus albacares</i>	128	23	0.028
4	<i>Xiphias gladius</i>	167	13	0.029
5	<i>Xiphias gladius</i>	155	8	0.027
6	<i>Xiphias gladius</i>	159	7.5	0.029
7	<i>Xiphias gladius</i>	172	15	0.023

ตาราง ข-6 ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของหมึก *Loligo formosana* Sasaki (Splendid squid) หรือหมึกกล้วยน้ำจืด จากทะเลเซเลเบส พร้อมกับสถานที่เก็บตัวอย่าง วันที่เก็บ เพศ และขนาด

ID	สถานี	วันที่เก็บ	เพศ	น้ำหนัก (ก.)	ความยาวหนวด (ซม.)	แคดเมียม (มก./กก.นน.เปียก)		
						อวัยวะภายใน	ลำตัว	หัว
C-1	22A	24/9/2007	F	300	18	10.36	0.67	0.45
C-2	22A	24/9/2007	F	570	20	3.07	0.48	0.23
C-3	12	21/9/2007	F	220	17.5	28.41	4.59	0.56
C-4	12	21/9/2007	F	120	17	34.05	0.43	0.33
C-5	12	21/9/2007	F	190	16.5	9.58	0.79	0.55
C-6	15	22/9/2007	F	90	13.5	131.31	3.06	0.47
C-7	15	22/9/2007	F	330	17.5	34.67	0.26	0.24
C-8	7	20/9/2007	F	390	19	7.5	0.53	0.1
C-9	15	22/9/2007	F	290	17.5	32.44	0.53	0.19
C-10	15	22/9/2007	F	390	31	162.43	1.8	0.35
C-11	15	22/9/2007	F	300	18	10.45	0.52	0.27
C-12	12	21/9/2007	F	410	20	84.36	2.48	2.04
C-13	12	21/9/2007	M	10	11	25.63	1.55	0.37
C-14	12	21/9/2007	M	15	11.5	51.36	1.69	0.27
C-15	12	21/9/2007	M	20	11.5	156.46	2.77	0.57
C-16	12	21/9/2007	M	20	11.5	29.22	2.41	0.41
C-17	12	21/9/2007	M	20	11.5	134.75	1.96	0.26
C-18	12	21/9/2007	M	80	13.5	118.99	2.02	0.32
C-19	12	21/9/2007	F	380	20	11.55	0.43	0.22
C-20	12	21/9/2007	F	400	21	170.98	0.48	0.33
C-21	12	21/9/2007	M	15	10	29.7	0.33	0.42
C-22	12	21/9/2007	M	15	10	20.18	0.65	0.57
C-23	12	21/9/2007	F	350	19	146.98	0.3	0.23
C-24	12	21/9/2007	F	190	17	179.7	0.72	0.54
C-25	12	21/9/2007	M	80	14	104.89	2.56	0.25
C-26	12	21/9/2007	F	320	20	109.47	0.55	0.31

ภาคผนวก ค
ผลการทดสอบทางสถิติ

1) ผลการทดสอบ T-Test แบบ Paired Samples Test

ความแตกต่างของระดับแคดเมียมระหว่าง “เนื้อเยื่อส่วนกระเพาะของปลา” และ “เนื้อปลา” ทดสอบโดยใช้วิธี T-Test แบบ Paired Samples Test ดังรายละเอียดต่อไปนี้

สมมติฐาน

$H_0: \mu_d = 0$ หรือ ปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยในอวัยวะภายในและเนื้อเยื่อไม่แตกต่างกัน

$H_1: \mu_d \neq 0$ หรือ ปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยในอวัยวะภายในและเนื้อเยื่อแตกต่างกัน

โดยที่ $\mu_d =$ ผลต่างของปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยในอวัยวะภายในและเนื้อเยื่อ

ตาราง ค-1 ผลการทดสอบ T-test แบบ Paired Samples Test ระหว่างอวัยวะภายใน - เนื้อ

Paired Differences							Sig. (2-tailed)
Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	
			Lower	Upper			
			-0.007229	.0022566			

สรุปผลการทดสอบ

เมื่อพิจารณาจาก 95% ค่าประมาณแบบช่วง (95% Confidence Interval of the Difference) ของ μ_d จะพบว่าค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดก็เป็นลบ ซึ่งมีเครื่องหมายในทิศทางเดียวกัน แสดงว่า ปริมาณแคดเมียมในอวัยวะภายในและเนื้อเยื่อแตกต่างกัน และค่า Sig. (2-tailed) น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด คือ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐาน $H_1: \mu_d \neq 0$ จึงสรุปได้ว่า ปริมาณแคดเมียมในเนื้อเยื่อกระเพาะและเนื้อปลามีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2) ผลการทดสอบ One – Way ANOVA

ความแตกต่างของระดับแคดเมียมระหว่างเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของหมึก (ไม่แยกเพศ) ทดสอบโดยใช้วิธี One – Way ANOVA ดังรายละเอียด ต่อไปนี้

สมมติฐาน

H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมเฉลี่ยในเนื้อเยื่อแต่ละส่วนไม่แตกต่างกัน

H_1 : $\mu_i \neq \mu_j$ อย่างน้อย 1 คู่; $i \neq j$; $i, j = 1, 2, 3$ ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมเฉลี่ยของเนื้อเยื่อแต่ละส่วนแตกต่างกัน

นั่นคือ จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เมื่อมีคู่ใดคู่หนึ่ง อย่างน้อยหนึ่งคู่ที่แตกต่างกัน โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05

ตาราง ก-2 ผลการทดสอบ One – Way ANOVA ระหว่างเนื้อเยื่อส่วนลำตัว ส่วนหัว และส่วนอวัยวะภายในของหมึก

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	84570.755	2	42285.378	33.785	.000
Within Groups	93870.414	75	1251.606		
Total	178441.169	77			

ตาราง ก-3 Multiple Comparisons ระหว่างเนื้อเยื่อส่วนลำตัว ส่วนหัว และส่วนอวัยวะภายในของหมึก ด้วยวิธี Fisher's Least Significant Difference (LSD)

(I) เนื้อเยื่อส่วนต่างๆ	(J) เนื้อเยื่อส่วนต่างๆ	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
ลำตัว	หัว	.911923	9.8121021	.926	-18.634787	20.458633
	อวัยวะภายใน	-69.390000*	9.8121021	.000	-88.936710	-49.843290
หัว	ลำตัว	-.911923	9.8121021	.926	-20.458633	18.634787
	อวัยวะภายใน	-70.301923*	9.8121021	.000	-89.848633	-50.755213
อวัยวะภายใน	ลำตัว	69.390000*	9.8121021	.000	49.843290	88.936710
	หัว	70.301923*	9.8121021	.000	50.755213	89.848633

* The mean difference is significant at the .05 level.

สรุปผลการทดสอบ

ผลการทดสอบ ANOVA ปรากฏว่า ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อเยื่อทั้งสามส่วนของหมึกกล้วยน้ำลึกมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

จึงทำการทดสอบต่อ เพื่อดูว่ากลุ่มใดแตกต่างกันบ้าง โดยใช้ Multiple Comparisons ด้วยวิธี Fisher's Least Significant Difference (LSD) พบว่า ค่าเฉลี่ยของเนื้อเยื่อลำตัวแตกต่างกับค่าเฉลี่ยของอวัยวะภายใน และค่าเฉลี่ยของเนื้อเยื่อส่วนหัวแตกต่างกับค่าเฉลี่ยของอวัยวะภายใน

3) ผลการทดสอบ T-Test แบบ Independent Samples Test

ความแตกต่างของระดับแคดเมียมระหว่างเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของ “หมึกเพศผู้” และ “หมึกเพศเมีย” ทดสอบโดยใช้วิธี T-Test แบบ Independent Samples Test ดังรายละเอียด ต่อไปนี้

สมมติฐาน

$H_0: \mu_d = 0$ หรือ ปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยในอวัยวะภายในและเนื้อเยื่อไม่แตกต่างกัน

$H_1: \mu_d \neq 0$ หรือ ปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยในอวัยวะภายในและเนื้อเยื่อแตกต่างกัน

โดยที่ $\mu_d =$ ผลต่างของปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยในอวัยวะภายในและเนื้อเยื่อ

ตาราง ก-4 ผลการทดสอบ T-Test แบบ Independent Samples Test ระหว่างเนื้อเยื่อลำตัวของหมึกเพศผู้และเพศเมีย

t-test for Equality of Means						
t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
-1.500	24	.147	-.675817	.4504551	-1.6055107	.2538767
-1.681	22.044	.107	-.675817	.4020938	-1.5096127	.1579787

ตาราง ก-5 ผลการทดสอบ T-Test แบบ Independent Samples Test ระหว่างอวัยวะภายในของหมึกเพศผู้และเพศเมีย

t-test for Equality of Means						
t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
-.230	24	.820	-5.918301	25.7479317	-59.0594199	47.2228186
-.246	19.673	.809	-5.918301	24.1064986	-56.2571710	44.4205697

ตาราง ก-6 ผลการทดสอบ T-Test แบบ Independent Samples Test ระหว่างเนื้อเยื่อส่วนหัวของหมึกเพศผู้และเพศเมีย

t-test for Equality of Means						
t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
.359	24	.723	.053660	.1493869	-.2546592	.3619795
.474	20.291	.641	.053660	.1132731	-.1824062	.2897265

สรุปผลการทดสอบ

ถ้าพิจารณาจาก 95% ค่าประมาณแบบช่วง (95% Confidence Interval of the Difference) ของ μ_d หากพบว่าค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดมีเครื่องหมายในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เป็นลบเหมือนกัน หรือเป็นบวกเหมือนกัน สรุปได้ว่า ข้อมูลมีความแตกต่างกัน แต่ถ้าพบว่าค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดมีเครื่องหมายต่างทิศทาง แสดงว่าข้อมูลไม่มีความแตกต่างกัน

และถ้าค่า Sig. น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด คือ 0.05 จึงจะยอมรับสมมติฐาน $H_1: \mu_d \neq 0$ นั่นคือ ปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยในส่วนต่างๆ ของหมึกมีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และถ้าค่า Sig. มากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด คือ 0.05 จึงจะยอมรับสมมติฐาน $H_0: \mu_d = 0$ นั่นคือ ปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยในส่วนต่างๆ ของหมึกไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1. เนื้อเยื่อลำตัวของหมึกเพศผู้และเพศเมีย

จาก 95% ค่าประมาณแบบช่วงของ μ_d พบว่า ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดมีเครื่องหมายต่างทิศทางกัน สรุปได้ว่า ปริมาณแคคเมียมเฉลี่ยใน “เนื้อเยื่อลำตัว” ของหมึกเพศผู้และเพศเมียไม่มีความแตกต่างกัน จากค่า Sig. มากกว่า 0.05 จึงยอมรับสมมติฐาน $H_1: \mu_d = 0$ นั่นคือ ปริมาณแคคเมียมเฉลี่ยใน “เนื้อเยื่อลำตัว” ของหมึกเพศผู้และเพศเมียไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. อวัยวะภายในของหมึกเพศผู้และเพศเมีย

จาก 95% ค่าประมาณแบบช่วงของ μ_d พบว่า ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดมีเครื่องหมายต่างทิศทางกัน สรุปได้ว่า ปริมาณแคคเมียมเฉลี่ยใน “อวัยวะภายใน” ของหมึกเพศผู้และเพศเมียไม่มีความแตกต่างกัน จากค่า Sig. มากกว่า 0.05 จึงยอมรับสมมติฐาน $H_1: \mu_d = 0$ นั่นคือ ปริมาณแคคเมียมเฉลี่ยใน “อวัยวะภายใน” ของหมึกเพศผู้และเพศเมียไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3. เนื้อเยื่อส่วนหัวของหมึกเพศผู้และเพศเมีย

จาก 95% ค่าประมาณแบบช่วงของ μ_d พบว่า ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดมีเครื่องหมายต่างทิศทางกัน สรุปได้ว่า ปริมาณแคคเมียมเฉลี่ยใน “เนื้อเยื่อส่วนหัว” ของหมึกเพศผู้และเพศเมียไม่มีความแตกต่างกัน จากค่า Sig. มากกว่า 0.05 จึงยอมรับสมมติฐาน $H_1: \mu_d = 0$ นั่นคือ ปริมาณแคคเมียมเฉลี่ยใน “เนื้อเยื่อส่วนหัว” ของหมึกเพศผู้และเพศเมียไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ภาคผนวก ง
ค่า HQ และ PTWI ของตัวอย่างสัตว์น้ำแต่ละชนิด
พร้อมตัวอย่างการหาค่า HQ และ PTWI

ตารางที่ ง-1 ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมเฉลี่ยในเนื้อปลา ค่า Average cadmium daily intake (ADI) ค่า Hazard Quotient (HQ) และค่า PTWI (กก./สัปดาห์) ของปลาทั้ง 18 ชนิดจากทะเลอันดามัน โดยใช้น้ำหนักตัวผู้บริโภค 50 กก. และ 60 กก.

ชื่อไทย	ค่าเฉลี่ยแคดเมียม (มก./กก.น.น.เปียก)	ADI (มก./กก./วัน)	Hazard Quotient (HQ)	PTWI (กก./สัปดาห์)	
				50 กก.	60 กก.
ปลาลามหางยาว	0.034	1.8×10^{-5}	0.018	10.3	12.3
ปลาลามหางยาวหน้าหู	0.022	1.2×10^{-5}	0.012	16.1	19.3
ปลาไหลเครา	0.028	1.5×10^{-5}	0.015	12.5	14.9
ปลาสร้อยนกเขา	0.013	7.0×10^{-6}	0.007	26.9	32.3
ปลากระโทงร่มอินโดแปซิฟิก	0.017	9.1×10^{-6}	0.009	21.1	25.3
ปลาลามปากหมา	0.024	1.3×10^{-5}	0.013	14.6	17.5
ปลาดาบเงิน	0.016	8.6×10^{-6}	0.009	21.5	25.8
ปลากระโทงสีน้ำเงินแปซิฟิก	0.031	1.7×10^{-5}	0.017	11.2	13.4
ปลาลามหมาจูดขาว	0.024	1.3×10^{-5}	0.013	14.7	17.6
ปลาทรายแดง	0.004	2.1×10^{-6}	0.002	94.6	113.5
ปลาพะทองเหลือง	0.006	3.2×10^{-6}	0.003	56.5	67.7
ปลาตาหวาน	0.005	2.7×10^{-6}	0.003	70	84
ปลาปากคมจูด	0.006	3.2×10^{-6}	0.003	61.4	73.7
ปลาน้ำดอกไม้	0.007	3.8×10^{-6}	0.004	47.3	56.8
ปลาลามหลังหนาม	0.02	1.1×10^{-5}	0.011	17.9	21.5
ปลาพู่คำครีบเหลือง	0.023	1.2×10^{-5}	0.012	15.2	18.3
ปลาปากคมหูดำ	0.006	3.2×10^{-6}	0.003	58.3	70
ปลากระโทงแทงดาบ	0.023	1.2×10^{-5}	0.012	15.4	18.5

ADI = Average cadmium daily intake

HQ = Hazard Quotient

PTWI = Provisional Tolerable Weekly Intake

ตาราง ง-2 ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมเฉลี่ยในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของหมึกกล้วยน้ำจืด จากทะเลเซเลเบต ค่า Average cadmium daily intake (ADI) ค่า Hazard Quotient (HQ) และค่า PTWI (กก./สัปดาห์) โดยใช้น้ำหนักตัวผู้บริโภครวม 50 กก. และ 60 กก.

เนื้อเยื่อส่วนต่างๆ	แคดเมียมเฉลี่ย	ADI	Hazard Quotient	PTWI (กก./สัปดาห์)	
	(มก./กก.นน.เปียก)	(มก./กก./วัน)	(HQ)	50 กก.	60 กก.
ลำตัว	1.33	7.1×10^{-4}	0.71	0.26	0.32
อวัยวะภายใน	70.7	3.8×10^{-2}	38	0.005	0.006
หัว	0.42	2.3×10^{-4}	0.23	0.83	1

ADI = Average cadmium daily intake

HQ = Hazard Quotient

PTWI = Provisional Tolerable Weekly Intake

ตัวอย่างการหาค่า HQ และ PTWI

1. ตัวอย่างการหาค่า HQ

ค่า HQ หรือค่าความเสี่ยง (Hazard Quotient) สำหรับสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (non-carcinogenic effect) หาได้จากสมการ ง-1 ซึ่งต้องทราบค่า ADI หรือค่าปริมาณที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายต่อวัน (Average Daily Intake) ซึ่งได้จากสมการ ง-2 (Kofi, 2002; พงษ์เทพ วิศวกรรมเดช, 2547)

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

โดยที่ ค่า Rfd (Reference dose for chronic oral exposure) สำหรับแคดเมียม เท่ากับ 0.001 มก./กก./วัน (EPA, 2005)

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

โดยที่

- CF = ความเข้มข้นของแคดเมียมเฉลี่ยในปลา (มก./กก.)
- IR = อัตราการรับประทานเนื้อปลา ค่าเฉลี่ยสำหรับคนไทย = 0.028 กก./มื้อ
- FI = สัดส่วนการรับประทานอาหารที่ปนเปื้อน เท่ากับ 1 (ไม่มีหน่วย)
- EF = ความถี่ของการรับสัมผัส = 350 มื้อ/ปี (EPA, 1999)
- ED = ระยะเวลาที่สัมผัส = 30 ปี (EPA, 1999)
- BW = น้ำหนักตัวเฉลี่ย น้ำหนักของคนไทยเฉลี่ย = 50 กก. (Agusa *et al.*, 2007)
- AT = ระยะเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ย สำหรับสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง = 10,950 วัน (EPA, 1999)

ที่มาของค่าต่างๆ ที่ใช้แทนค่าในสมการ

ในการคำนวณหาค่า HQ และ ADI สำหรับการปนเปื้อนของแคดเมียมในสัตว์น้ำจากทะเลอันดามันในการศึกษาครั้งนี้ แทนค่าตัวแปรต่างๆ ในสมการ ง-1 และ ง-2 ดังนี้

- CF (Contaminant concentration of cadmium in fish)
 - หมายถึง ปริมาณแคดเมียมที่ปนเปื้อนในสัตว์น้ำ หน่วยเป็น มก./กก. น้ำหนักเปียก
 - ใช้ค่าเฉลี่ยของแคดเมียมที่ปนเปื้อนในสัตว์น้ำที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้
- 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
 - EPA (1999) กำหนดค่าความถี่ของการรับสัมผัสเป็น 350 มื้อ/ปี
- ED (Exposure duration)
 - หมายถึง ระยะเวลาที่สัมผัส มีหน่วยเป็นปี
 - สำหรับความเป็นพิษที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (non-carcinogenic effect) EPA (1999) กำหนดให้ใช้ระยะเวลา 30 ปี
- BW (Body weight)
 - หมายถึง น้ำหนักตัวโดยเฉลี่ยของคนไทย มีหน่วยเป็น กก.
 - Agusa *et al.* (2007) สำหรับคนไทย กำหนดให้ใช้น้ำหนักตัวเท่ากับ 50 กก.
- AT (Average time exposed)
 - หมายถึง อายุเฉลี่ยของประชากรที่จะได้รับความเสี่ยง มีหน่วยเป็น วัน
 - สำหรับสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง EPA (1999) กำหนดให้ใช้อายุเฉลี่ย 30 ปี คูณด้วย 365 วัน (30×365) ดังนั้น $AT = 10,950$ วัน
- Rfd (Reference dose for chronic oral exposure)
 - ค่า Rfd สำหรับแคดเมียม = 0.001 มก./กก./วัน (EPA, 2005)

วิธีการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณค่า HQ ในการบริโภคปลาฉลามหางยาว (*A. pelagicus*) จากทะเล
อันดามัน

$$\begin{aligned} \text{ADI} &= \frac{(\text{CF})(\text{IR})(\text{FI})(\text{EF})(\text{ED})}{(\text{BW})(\text{AT})} \\ &= \frac{(0.034)(0.028)(1)(350)(30)}{(50)(10,950)} \\ &= 1.8 \times 10^{-5} \text{ มก./กก./วัน} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HQ} &= \frac{\text{Average cadmium daily intake}}{\text{Rfd}} \\ &= \frac{1.8 \times 10^{-5}}{0.001} \\ &= 0.018 \end{aligned}$$

หากค่า HQ > 1 แสดงว่า ปริมาณแคดเมียมที่ร่างกายได้รับอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคอาจก่อให้เกิดโรคต่างๆ ซึ่งไม่ใช่โรคมะเร็ง ในที่นี้ได้ < 1 แสดงว่า การบริโภคเนื้อปลาฉลามหางยาว (*A. pelagicus*) จากทะเลอันดามันมีความเสี่ยงน้อย

2. ตัวอย่างการหาค่า PTWI

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

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

โดยที่

- PTWI = ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดที่ร่างกายได้รับอย่างปลอดภัยมีหน่วยเป็น กรัม/สัปดาห์
- TRV = ปริมาณแคดเมียมที่มนุษย์จะรับได้วันละ 1 มก./กก./วัน
- BW = น้ำหนักตัวมีหน่วยเป็น กก.
- C_f = ค่าเฉลี่ยของแคดเมียมในปลาแต่ละชนิดมีหน่วยเป็น มก./กก.
- 7 = จำนวนวัน/สัปดาห์

ที่มาของค่าต่างๆ ที่ใช้แทนค่าในสมการ

ในการคำนวณหาค่า PTWI สำหรับการปนเปื้อนของแคดเมียมในสัตว์น้ำจากทะเลอันดามันในการศึกษาครั้งนี้ แทนค่าตัวแปรต่างๆ ในสมการ ง-3 (JECFA, 2005) ดังนี้

- TRV หมายถึง ปริมาณแคดเมียมที่มนุษย์จะรับได้ = ไม่เกินวันละ 1 มก./กก./วัน
- BW หมายถึง น้ำหนักตัวของผู้บริโภคโดยใช้น้ำหนักตัวเฉลี่ยของคนทั่วไป 60 กก. (JECFA, 2005) และคำนวณโดยใช้ 50 กก. สำหรับคนไทย (EPA, 2005)
- C_f หมายถึง ค่าเฉลี่ยของแคดเมียมในปลาแต่ละชนิด หน่วยเป็น มก./กก.

วิธีการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณค่า PTWI ในการบริโภคปลาฉลามหางยาว (*A. pelagicus*) จากทะเลอันดามัน

$$\begin{aligned} PTWI &= \frac{(1.0)(60)(7)}{(0.034)} \\ &= 12316.7 \text{ กรัม/สัปดาห์} \\ &= 12.3 \text{ กก./สัปดาห์} \end{aligned}$$

และเมื่อคำนวณสำหรับคนไทยที่น้ำหนักตัวเฉลี่ยเท่ากับ 50 กก. (EPA, 2005) จะได้ค่า PTWI = 10.3 กก./สัปดาห์

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นางสาวพัชวิมา จินหมั่น	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5010920018	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
การศึกษาระดับบัณฑิต (วิทยาศาสตร์-เคมี)	มหาวิทยาลัยทักษิณ	2550

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

พัชวิมา จินหมั่น, เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล, สายัณห์ พรหมจินดา, นาวิณี ชุมทอง, นครศ ยะสุข และฤทธิรงค์ พรหมมาศ. 2551. “ระดับของแคดเมียมและตะกั่วในหมึก *Loligo formosana* Sasaki”. ใน เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล 2551. 25-27 สิงหาคม 2551. ณ โรงแรมเมโทรโพล จังหวัด ภูเก็ต.