การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในการได้รับโลหะหนักจากการบริโภคอาหารทะเล บริเวณชายฝั่งนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง

Health Risk Assessment of Heavy Metals via Consumption of Seafood from Coastal Area of Map Ta Phut Industrial Estate, Rayong Province

แววตา ทองระอา* ฉลวย มุสิกะ วันชัย วงสุดาวรรณ และ อาวุธ หมั่นหาผล

Waewtaa Thongra-ar*, Chaluay Musika, Wanchai Wongsudawan, and Arvut Munhapon

สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา

Institute of Marine Science, Burapha University

บทคัดย่อ

การบริโภคอาหารทะเลที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนโลหะหนัก 5 ชนิด ได้แก่ ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี และ ทองแดง ในอาหารทะเลที่ได้จากบริเวณชายฝั่งนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง และประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการบริโภคอาหารทะเลเหล่านี้ ตัวอย่างอาหารทะเลชนิดต่างๆที่ใช้ในการศึกษาทั้งสิ้น 36 ชนิด จำนวน 369 ตัวอย่างซึ่งเก็บตัวอย่างโดยใช้อวนลากแผ่นตะเฆ่ ในเดือนพฤษภาคม เดือนกันยายน พ.ศ. 2550 และ เดือนมีนาคม พ.ศ. 2551 ผลการศึกษา พบว่าโลหะหนักในอาหารทะเลส่วนใหญ่ (ร้อยละ 84.8) อยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับการบริโภค พบโลหะหนักสูงเกินมาตรฐานคิดเป็นร้อยละ 15.2 ของตัวอย่างทั้งหมด โดยโลหะหนักที่ตรวจพบสูงเกินมาตรฐานเรียงตามลำดับ คือ ทองแดง สังกะสี และแคดเมียม ซึ่งส่วนใหญ่พบใน กั้ง หอย และหมึกบางชนิด การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการบริโภคอาหารทะเลในบริเวณดังกล่าว พบว่าการปนเปื้อนโลหะหนักในอาหารทะเลยังไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพจึงยังคงปลอดภัยในการบริโภค ยกเว้นผู้บริโภคอาจมีความเสี่ยงในการได้รับทองแดงเกินกำหนดจากการบริโภคกั้งตั๊กแตนและแคดเมียมจากการบริโภคหอยเชลล์

คำสำคัญ: การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ โลหะหนัก อาหารทะเล นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

*Corresponding author. E-mail: waewtaa@buu.ac.th

Abstract

Consumption of seafood contaminated with heavy metals may cause adverse effects on human health. This study was carried out to determine the concentrations of Hg, Pb, Cd, Zn and Cu in seafood samples from the coastal area of Map Ta Phut industrial estate, Rayong Province and to assess the potential health risk to seafood consumers. A total of 369 samples (involving 36 species of fish and shellfish) taken with an otter trawl net in May, September 2007 and March 2008 were included in this study. Results indicated that the concentrations of heavy metals in most of the seafood samples (84.8%) were within the standard established for safe consumption by humans. There were only 15.2 % of total samples having the concentrations of heavy metals over the standard. Those heavy metals were Cu, Zn and Cd, respectively, which were found in most of shellfish samples. Results of the health risk assessment of consumption of the seafood indicated that the seafood under this investigation posed no hazard to human health, except consumers may pose a health risk from Cu in mantis shrimps and Cd in scallops over the food safety limit.

Keywords: health risk assessment, heavy metals, seafood, Map Ta Phut industrial estate

บทนำ

ในบรรดาสารมลพิษต่างๆ โลหะหนักนับว่าเป็นสารที่มีอันตรายร้ายแรงชนิดหนึ่ง เนื่องจากโลหะหนักเป็นสารที่มีความคงตัวสูง ไม่สามารถย่อยสลายตัวได้ เมื่อเข้าสู่แหล่งน้ำสามารถสะสมได้ในดินตะกอนและสัตว์น้ำ ตลอดจนผู้นำสัตว์น้ำมาบริโภคโดยผ่านทางห่วงโซ่อาหาร (Bhattacharya *et al.,* 2008; Yang *et al*., 2013) มนุษย์สามารถรับโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายได้หลายทาง แต่ทางหนึ่งคือผ่านทางการบริโภค ซึ่งอาหารทะเลจำพวก ปลา ปู กุ้ง หอย และหมึก เป็นที่นิยมบริโภคกันมากสำหรับผู้อาศัยอยู่ตามชายฝั่งทะเล โดยเฉพาะปลาเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่สำคัญของมนุษย์ (Velusamy *et al*., 2014) ซึ่งหากมีการปนเปื้อนโลหะหนักในปริมาณสูงก็อาจส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์ได้ (Bhattacharya *et al.,* 2008) มลพิษจากโลหะหนักนับเป็นปัญหาร้ายแรงที่เกิดขึ้นในหลายประเทศโดยมีสาเหตุสำคัญมาจากน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม ที่ปล่อยลงสู่ทะเล (Velusamy *et al*., 2014)

นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด เป็นที่ตั้งของอุตสาหกรรมหนักที่สำคัญบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก มุ่งเน้นพัฒนาอุตสาหกรรมที่ใช้แก๊สธรรมชาติเป็นพื้นฐานในการผลิต ประกอบด้วยอุตสาหกรรมที่สำคัญ ได้แก่ โรงแยกก๊าซธรรมชาติ อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมปุ๋ยเคมี อุตสาหกรรมโรงกลั่นน้ำมัน อุตสาหกรรมประเภทเหล็กและผลิตภัณฑ์จากเหล็ก เป็นต้น (Chongprasith and Wilairatanadilok, 1999) ในบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดนี้ มีรายงานตรวจพบว่ามีปรอท ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี และทองแดง สูงเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนดในน้ำทะเลและ/หรือดินตะกอนในบางสถานีและบางปี (Chongprasith and Wilairatanadilok, 1999; ฉลวย มุสิกะ และคณะ, 2555)

จากความสำคัญของปัญหาโลหะหนักและการปนเปื้อนโลหะหนักทั้ง 5 ชนิด ที่พบในบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดดังกล่าวข้างต้น จึงควรได้มีการศึกษาการปนเปื้อนโลหะหนักในอาหารทะเลในบริเวณนี้ เพื่อเป็นการเฝ้าระวังและป้องกันอันตรายต่อผู้บริโภคอาหารทะเล และสามารถใช้บ่งชี้การปนเปื้อนโลหะหนักในแหล่งน้ำได้ด้วย การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนโลหะ ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี และทองแดง ในอาหารทะเลบริเวณชายฝั่งนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการบริโภคอาหารทะเลในบริเวณดังกล่าว

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างและรักษาตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างสัตว์ทะเลในบริเวณชายฝั่งนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดโดยใช้อวนลากแผ่นตะเฆ่ในระยะห่างฝั่งประมาณ 3 กิโลเมตรตั้งแต่ หนองแฟบ ถึง ปากคลองบ้านตากวน ในระหว่างปี 2550-2551 รวม 3 ครั้งในวันที่ 15 พฤษภาคม 2550 วันที่ 17 กันยายน 2550 และวันที่ 3 มีนาคม 2551 ตัวอย่างสัตว์ทะเลที่ได้มีปลา กุ้ง กั้ง หอย และหมึก เลือกขนาดที่นิยมบริโภค นำมาล้างด้วยน้ำทะเลที่สะอาดในห้องปฏิบัติการ จำแนกชนิด ชั่งน้ำหนัก และวัดความยาวของสัตว์ทะเล ใช้มีดหรืออุปกรณ์ผ่าตัดที่ทำด้วย stainless steel เลือกเอาเฉพาะส่วนเนื้อที่ใช้บริโภค บดตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกันและเก็บในถุงพลาสติกที่สะอาด ชั่งน้ำหนัก แช่แข็งที่อุณหภูมิ - 40 ° C และทำให้แห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งด้วยความเย็น (freeze dryer) หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักแห้งอีกครั้งเพื่อหาปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อสัตว์ทะเลสำหรับคำนวณกลับเป็นน้ำหนักเปียกได้และเก็บในตู้ดูดความชื้นเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

2. การเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์โลหะหนัก

โลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์รวม 5 ชนิด ได้แก่ ปรอท (Hg) ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) สังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) โดยชั่งตัวอย่างหนัก 0.25 กรัม นำมาย่อยสลายด้วยกรดไนตริคเข้มข้นและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อัตราส่วน 5:2 ที่อุณหภูมิ 110 ºC โดยใช้เครื่องย่อยตัวอย่างด้วยกรดแบบหลุม (Block Digestion System Model AIM600) หลังจากนั้นนำมาเจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออนและปรับปริมาตรเป็น 50 มล. ความเข้มข้นของปรอทวัดโดยใช้เทคนิค Cold Vapour Atomic Absorption Spectrometry (CVAAS) ระบบ Flow Injection Mercury Hydried System (FI-MHS) Model FIAS 100 และวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer Model 4110ZL (Perkin-Elmer, Connecticut, USA) ส่วนโลหะหนักชนิดอื่นวัดโดยใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma Mass Spectrophotometer (ICP-MS) Model 7500C Agilent

นอกจากนี้มีการควบคุมคุณภาพผลการวิเคราะห์โดยตรวจสอบความถูกต้องกับเนื้อเยื่อสัตว์ทะเลมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น 2 ชนิด คือ Dogfish muscle (DORM-2) ของ National Research Council (NRC), Canada และ Mussel tissue (SRM 2976) ของ National Institute of Standards and Technology (NIST), USA พบว่า % Recovery ของโลหะหนักทั้งหมดที่ทำการศึกษามีค่าดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ เนื้อเยื่อสัตว์ทะเลมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น

Heavy Metal	Dogfish muscle (DORM-2)			Mussel tissue (SRM 2976)		
	Certified Value (mg/kg dry wt.)	Measured Value (mg/kg dry wt.)	% Recovery	Certified Value (mg/kg dry wt.)	Measured Value (mg/kg dry wt.)	% Recovery
Hg	4.64 ± 0.26	3.71 ± 0.09 (n=4)	80 (78 -82)	0.061 ± 0.036	0.061 ± 0.08 (n=6)	100 (87 - 115)
Pb	0.065 ± 0.007	0.082 ± 0.014 (n=2)	126 (111-142)	1.19 ± 0.18	1.05 ± 0.07 (n=3)	88 (81-93)
Cd	0.043 ± 0.008	0.046 ± 0.005 (n=4)	108 (93 -121)	0.82 ± 0.16	0.75 ± 0.05 (n=5)	91 (87 -101)
Zn	25.6 ± 2.3	23.5 ± 1.4 (n=5)	92 (84 - 97)	137 ± 13	128.7 ± 10.2 (n=5)	94 (88 - 107)
Cu	2.34 ± 0.16	2.18 ± 0.15 (n=5)	93 (83 - 100)	4.02 ± 0.33	3.29 ± 0.26 (n=3)	83 (80 - 91)

3. การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Environmental Health Risk Assessment)

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในการได้รับโลหะหนักจากการบริโภคอาหารทะเลทำการศึกษาโดยคำนวณหาค่าความเสี่ยง (risk quotient, RQ) ตามวิธีของ MPP-EAS (1999) และ PEMSEA (2001, 2004) ดังนี้

$$RQ = \frac{MEC}{LOC}$$

โดย MEC = Measured Environmental Concentration ในที่นี้เป็นความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบในสัตว์ทะเล

LOC = Level of Concern เป็นค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่ร่างกายสามารถคงทนได้ (threshold value) โดยไม่เกิดอันตรายต่อสุขภาพ หรือ ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่ปลอดภัยหรือไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภค (predicted no-effects concentration, PNEC) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$LOC = \frac{\text{Tolerable daily intake (µg/person/day)}}{\text{Consumption rate (g/person/day)}}$$

ผลจากการคำนวณที่ได้ พิจารณาค่าความเสี่ยงได้ดังนี้

RQ < 1 หมายถึง มีความเสี่ยงต่ำ (low risk)

RQ ≥ 1 หมายถึง มีความเสี่ยงสูง (high risk)

Tolerable daily intake (TDI) เป็นค่าปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่สามารถบริโภคได้ในแต่ละวันโดยไม่เกิดอันตรายต่อสุขภาพ สำหรับโลหะหนักที่เป็นพิษ Hg และ Pb ใช้ค่า Provisional tolerable weekly intake (PTWI) ที่กำหนดโดยคณะผู้เชี่ยวชาญร่วมของ Food and Agriculture Organization และ World Health Organization ซึ่งเท่ากับ 1.6 µg/kg body weight/week (FAO/WHO, 2011a) และ 25 µg/kg body weight/week (FAO/WHO, 2011b) ตามลำดับ โดยกำหนดให้ปริมาณปรอทที่ตรวจพบอยู่ในรูปของเมทิลเมอร์คิวรี (methylmercury) ซึ่งเป็นปรอทที่มีพิษมากที่สุดและมีการสะสมในปลาและอาหารทะเลเป็นส่วนใหญ่ สำหรับ Cd ใช้ค่า Provisional tolerable monthly intake (PTMI) ซึ่งเท่ากับ 25 µg/kg body

weight/month (FAO/WHO, 2011b) ส่วนโลหะหนักที่เป็นประโยชน์ (Zn, Cu) ไม่มีกำหนดไว้ใน FAO/WHO จึงใช้ค่า Recommended Dietary Allowance (RDA) ของ Institute of Medicine, USA โดยค่า RDA ของ Zn สำหรับผู้ใหญ่ที่เป็นชายและหญิง เท่ากับ 8,000 และ 11,000 µg/day ตามลำดับ และค่า RDA ของ Cu สำหรับผู้ใหญ่ทั้งชายและหญิงมีค่าเท่ากัน คือ 900 µg/day (IOM, 2001)

สำหรับอัตราการบริโภคอาหารทะเล (consumption rate) ของคนไทยในแต่ละวัน ใช้ข้อมูลการบริโภคอาหารของประเทศไทย โดยสำนักมาตรฐานสินค้าและระบบคุณภาพ (2549) ซึ่งได้ทำการศึกษาไว้ในสัตว์ทะเลแต่ละชนิดและผู้บริโภคในแต่ละช่วงอายุ จากข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัยได้นำมาหาค่าเฉลี่ยการบริโภคปลาทะเลรวมทุกชนิดและเฉลี่ยทุกช่วงอายุได้เท่ากับ 67 กรัม/คน/วัน อัตราการบริโภคกุ้งและหมึกเฉลี่ยเท่ากับ 37 กรัม/คน/วัน อัตราการบริโภคหอยเฉลี่ยเท่ากับ 32 กรัม/คน/วัน สำหรับกั้งนั้นไม่มีการสำรวจไว้จึงใช้อัตราการบริโภคเดียวกับกุ้ง นอกจากนี้ในรายงานดังกล่าวได้ทำการศึกษาค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัวของประชากรไทยเฉลี่ยทุกช่วงอายุเท่ากับ 51.36 กิโลกรัม

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การปนเปื้อนโลหะหนักในอาหารทะเลบริเวณชายฝั่งนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

ตัวอย่างอาหารทะเลที่นำมาศึกษารวมทั้งสิ้น 36 ชนิด จำนวน 369 ตัวอย่าง จำแนกออกเป็น ปลา 24 ชนิด 220 ตัวอย่าง กุ้ง 2 ชนิด 27 ตัวอย่าง กั้ง 4 ชนิด 39 ตัวอย่าง หอย 1 ชนิด (หอยเชลล์) 21 ตัวอย่าง และหมึก 5 ชนิด 62 ตัวอย่าง สำหรับหมึกนั้นได้แยกวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนลำตัว (mantle) และส่วนหัวซึ่งประกอบด้วย หัว (head) หนวด (tentacle) และแขน (arm) เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในอาหารทะเลส่วนใหญ่พบว่าไม่ได้มีการกระจายแบบปกติ ดังนั้นการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลจึงเลือกใช้ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (geometric mean; Geomean) และรายงานค่าต่ำสุด-สูงสุด (range) (ตารางที่ 2) จากผลการศึกษาพบว่าค่าสูงสุดของปรอทและตะกั่ว พบในส่วนลำตัวของหมึกหอม *Sepioteuthis* sp. มีค่าเท่ากับ 0.224 และ 0.611 mg/kg wet wt. ตามลำดับ ค่าสูงสุดของแคดเมียมและสังกะสีพบในหอยเชลล์ *Amusium pleuronectes* มีค่าเท่ากับ 5.23 และ 576 mg/kg wet wt. ตามลำดับ และค่าสูงสุดของทองแดง พบในส่วนลำตัวของหมึกกล้วย *Photololigo* sp. เท่ากับ 506 mg/kg wet wt.

เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อนที่กำหนดโดยกระทรวงสาธารณสุข (2529) พบว่า ปริมาณปรอทและตะกั่วในอาหารทะเลทุกชนิดมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน (ตารางที่ 2) พบตัวอย่างสัตว์ทะเลที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักสูงเกินมาตรฐานรวม 10 ชนิด จำนวน 56 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 15.2 ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด (369 ตัวอย่าง) ทั้งนี้โลหะหนักที่ตรวจพบสูงเกินมาตรฐานเรียงตามลำดับ ได้แก่ ทองแดง สังกะสี และ แคดเมียม คิดเป็นร้อยละของจำนวนตัวอย่างทั้งหมดเท่ากับ 8.4, 4.1 และ 2.7 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ซึ่งพบใน กั้ง หมึก หอย และปลาบางชนิด โดยเฉพาะแคดเมียมพบในหอยเชลล์เป็นส่วนใหญ่ซึ่งเป็นส่วนเนื้อเยื่อหอยทั้งหมดรวมอวัยวะภายในด้วย ส่วนหมึกนั้นพบในส่วนลำตัวมากกว่าส่วนหัว สำหรับหอยเชลล์นั้นได้ทำการวิเคราะห์แยกเฉพาะส่วนที่เป็นเอ็นหอยไว้ด้วยในบางกลุ่มตัวอย่างพบว่ามีปริมาณโลหะหนักทุกชนิดน้อยกว่าที่พบในเนื้อเยื่อหอยเชลล์ทั้งตัว

ผลการศึกษาครั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานฉบับอื่นที่เคยทำการศึกษาไว้ในบริเวณชายฝั่งนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด พบเช่นเดียวกันว่าปริมาณปรอทในสัตว์ทะเลมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานและปลอดภัยในการบริโภค ได้แก่ วิมลพร ไวยนิภี และคณะ (2556) ศึกษาปริมาณปรอทในสัตว์ทะเล เช่น หอยแมลงภู่ ปูม้า หอยจอบ หอยคราง กุ้งแชบ๊วย ปลากระบอก ฯลฯ ซึ่งเก็บตัวอย่างในระหว่างปี 2550-2555 พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.023 mg/kg wet wt. สุวรรณา ภาณุตระกูล (2554) ทำการศึกษาใน หอยแมลงภู่ ปูม้า หอยบิด และกุ้งแชบ๊วย ในปี 2553 พบว่าปรอทมีค่าอยู่ระหว่าง 0.006-0.016 mg/kg wet wt. ซึ่งใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ (0.004-0.224 mg/kg wet wt.) Pimonwan *et al.* (2009) ศึกษาแคดเมียมในปลา กุ้ง หมึกและหอย รวม 13 ชนิด โดยเก็บตัวอย่างจากตลาดในอำเภอเมือง จ.ระยอง ในปี 2550 พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.009-0.731 mg/kg wet wt. ซึ่งค่าสูงสุดพบในหอยแครง แต่ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ ค่าสูงสุดของแคดเมียม (5.23 mg/kg wet wt.) พบในหอยเชลล์ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ สมชาย วิบุญพันธ์ และคณะ (2549) ซึ่งทำการศึกษาในบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง พบว่าความเข้มข้นของปรอท แคดเมียม และ ตะกั่วในหอยและกุ้งรวม 6 ชนิด มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.036-0.080, 0.096-1.742 และ 0.170-0.690 mg/kg wet wt ตามลำดับ ซึ่งปริมาณปรอทและแคดเมียมมีค่าต่ำกว่าผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ สำหรับผลการศึกษาที่แตกต่างกันนั้นอาจเป็นเพราะชนิดสัตว์ทะเล และช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษาแตกต่างกัน เนื่องจากการสะสมโลหะหนักในสัตว์ทะเลขึ้นอยู่กับแหล่งที่อยู่อาศัย พฤติกรรมการกินอาหาร อายุ ขนาด และช่วงระยะเวลาการสัมผัสกับโลหะหนักด้วย (Sankar *et al.*, 2006)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 2 ปริมาณโลหะหนักในสัตว์ทะเลบริเวณชายฝั่งนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ปี 2550-2551 (หน่วยเป็น mg/kg wet wt.)

ประเภทสัตว์ทะเล	จำนวนชนิด	จำนวนตัวอย่าง	Hg		Pb		Cd		Zn		Cu	
			Geomean	Range	Geomean	Range	Geomean	Range	Geomean	Range	Geomean	Range
ปลา	24	220	0.020	<0.004-0.185	NA	<0.005-0.41	NA	<0.005-0.091	3.66	0.40-13.6	0.179	<0.022-0.96
กุ้ง	2	27	0.017	0.005-0.087	0.008	<0.005-0.098	0.011	<0.005-0.090	22.6	14.6-38.3	7.86	3.91-11.9
กั้ง	4	39	0.018	<0.004-0.083	0.017	<0.005-0.21	0.433	0.012-1.76	24.1	8.15-382	49.34	3.96-478
หอย	1	21	0.004	<0.004-0.024	0.146	0.022-0.533	1.32	0.181-5.23	49.48	4.43-576	0.459	0.091-1.21
หมึก- หัว	5	62	0.028	0.008-0.150	0.013	<0.005-0.293	0.077	<0.005-2.49	16.48	2.43-433	5.34	0.44-262
หมึก - ตัว	5	62	0.035	0.011-0.224	0.016	<0.005-0.611	0.067	<0.005-0.84	14.71	2.16-39.7	7.88	0.34-506
รวม	36	369		<0.004-0.224		<0.005-0.611		<0.005-5.23		0.40-576		<0.022-506
มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน [1]			0.5		1		0.05 (ปลา) / 2.0 (กุ้ง กั้ง หอยและหมึก) [2]		100		20	

Geomean: ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต

NA : มากกว่า 50 % ของข้อมูลความเข้มข้นโลหะหนักมีค่าต่ำกว่าขีดต่ำสุดที่สามารถวัดได้ (ต่ำกว่า method detection limit, MDL)

[1] ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2529) เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน (กระทรวงสาธารณสุข, 2529)

[2] สำนักงานคณะกรรมการแห่งชาติว่าด้วยมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศ (อ้างตามกรมควบคุมมลพิษ, 2546)

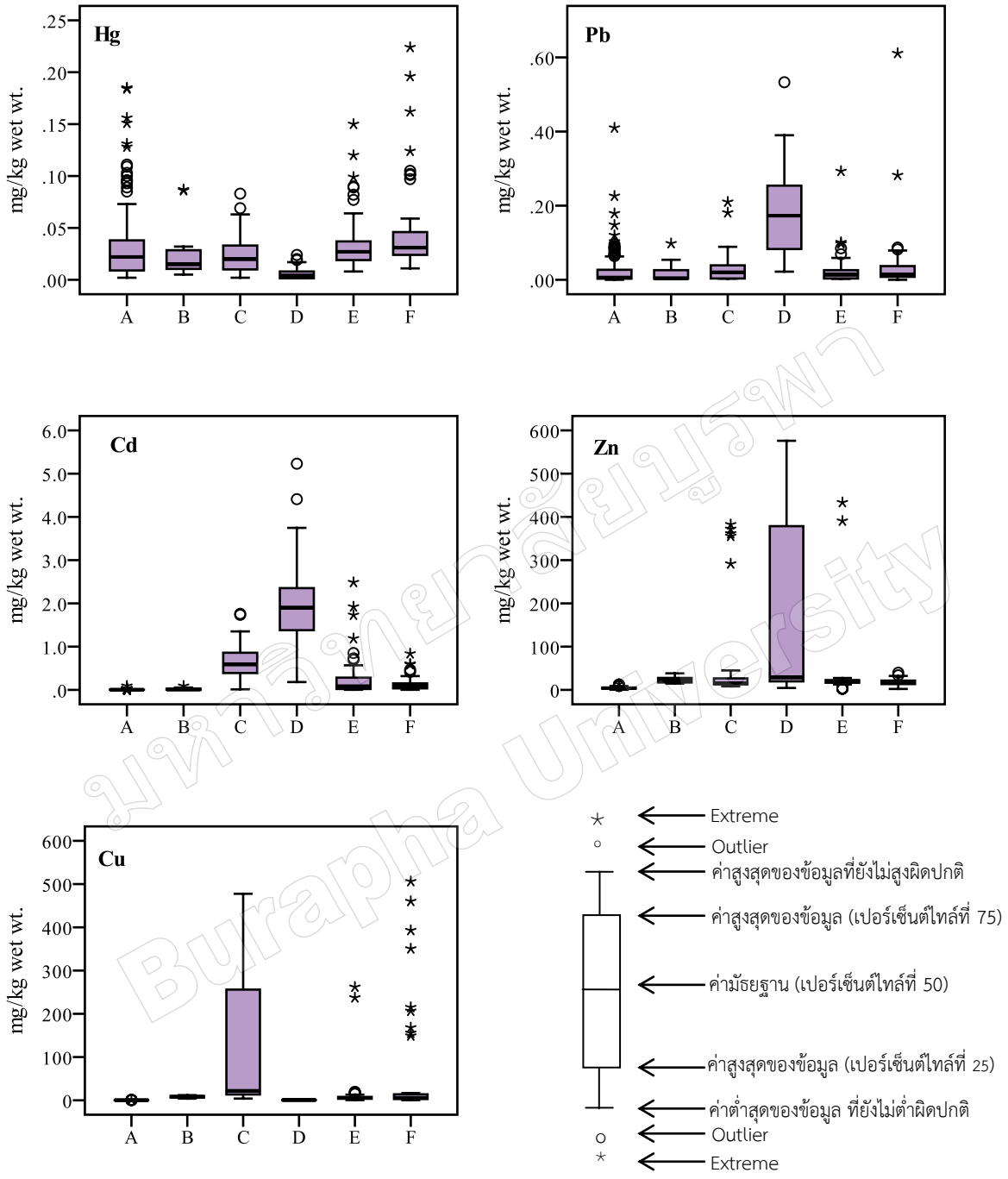
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 3 ชนิดสัตว์ทะเลและจำนวนตัวอย่างที่ตรวจพบโลหะหนักสูงเกินมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน

ชื่อสัตว์ทะเล	ชื่อวิทยาศาสตร์	จำนวนตัวอย่างที่พบ (ตัว)			เดือนที่พบ
		ทองแดง	สังกะสี	แคดเมียม	
1. หอยเชลล์	*Amusium pleuronectes*	-	5	5	พ.ค. 2550
		-	3	3	ก.ย. 2550
2. กั้งตั๊กแตนหางฟ้า	*Oratosquilla* spp.	3	5	-	พ.ค. 2550
		5	-	-	ก.ย. 2550
3. กั้งตั๊กแตนเขียว	*Miyakea nepa*	5	-	-	ก.ย. 2550
4. กั้งตั๊กแตนยักษ์สีเงิน	*Harpiosquilla* spp.	5	-	-	ก.ย. 2550
		1	-	-	มี.ค. 2551
5. หมึกกระดองก้นไหม้ (ตัว)	*Sepiella inermis*	5	-	-	พ.ค. 2550
6. หมึกกระดองลายเสือ (หัว)	*Sepia pharaonis*	2	2	1	ก.ย. 2550
หมึกกระดองลายเสือ (ตัว)		2	-	-	ก.ย. 2550
7. หมึกหอม (หัว)	*Sepioteuthis* sp.	1	-	-	ก.ย. 2550
8. หมึกสาย (ตัว)	*Octopus* sp.	1	-	-	ก.ย. 2550
9. หมึกกล้วย (ตัว)	*Photololigo* sp.	1	-	-	ก.ย. 2550
10. ปลาเห็ดโคน	*Sillago sihama*	-	-	1	ก.ย. 2550
รวมจำนวนตัวอย่าง		31	15	10	
ร้อยละของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด		8.4	4.1	2.7	

ในบรรดาโลหะหนักทั้ง 5 ชนิดที่ทำการศึกษา พบว่า สังกะสีมีการสะสมสูงสุดในสัตว์ทะเลทุกประเภท รองลงมาคือ ทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว และปรอท ตามลำดับ โดยสังกะสีพบสูงสุดในหอย รองลงมาคือ กั้ง และกุ้ง ตามลำดับ ทองแดงพบสูงสุดในกั้ง รองลงมา คือ หมึก (ตัว) และกุ้ง ตามลำดับ สำหรับตะกั่วและแคดเมียมพบสูงสุดในหอย รองลงมา คือ กั้ง ส่วนปรอทพบสูงสุดในหมึก (ตารางที่ 2 และ ภาพที่ 1) ทั้งนี้ในรายงานของ Olmedo *et al*. (2013) ซึ่งทำการศึกษาโลหะที่เป็นประโยชน์ในอาหารทะเลสด อาหารกระป๋องและอาหารแช่แข็งทางตอนใต้ของประเทศสเปน พบว่าสังกะสีมีการสะสมสูงสุด ในหอย และทองแดงพบสูงสุดในกุ้ง และหมึก ซึ่งคล้ายกับผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 1 Box and Whisker Plots ของปริมาณโลหะหนักในสัตว์ทะเลชนิดต่างๆ
(A = ปลา, B = กุ้ง, C = กั้ง, D = หอย, E = หมึก-หัว, F = หมึก-ตัว)

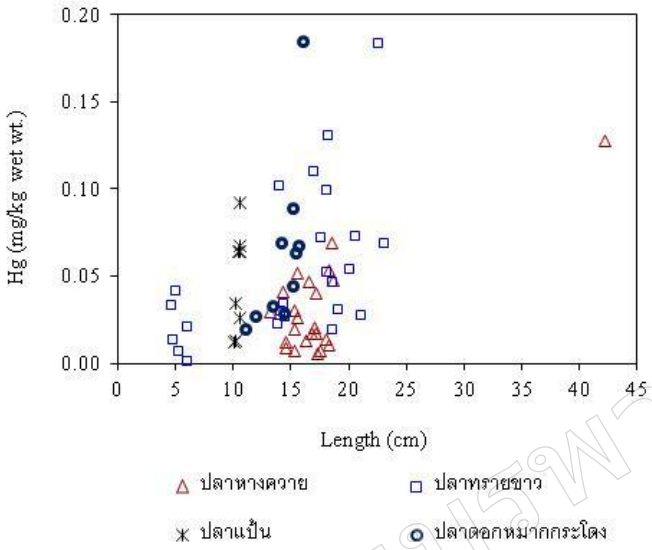
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การที่พบปริมาณของสังกะสีและทองแดงมีการสะสมสูงมากในสัตว์ทะเลทุกประเภท (ยกเว้นแคดเมียมที่พบในหอยมากกว่าทองแดง) เป็นเพราะว่าสังกะสีและทองแดงเป็นธาตุที่จำเป็นในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมีของกระบวนการเมตาโบลิซึม (Olmedo *et al*., 2013; Velusamy *et al*., 2014) โดยเฉพาะทองแดงนั้น เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของ haemocyanin ในเลือดของสัตว์ทะเลจำพวก กุ้ง กั้ง ปู หมึก และหอย (Olmedo *et al*., 2013)

จากผลการศึกษาแคดเมียมเป็นโลหะหนักที่พบสูงมากในสัตว์ทะเลประเภท หอย หมึก กั้ง และกุ้ง หรือกลุ่มสัตว์ทะเลที่มีเปลือกแข็งหุ้มลำตัว (shellfish) มากกว่าปลา โดยเฉพาะพบสูงสุดในหอย สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Pimonwan *et al*. (2009) ซึ่งพบเช่นเดียวกันว่าแคดเมียมมีการสะสมสูงสุดในหอยมากกว่าปลา ทั้งนี้เนื่องจากแคดเมียมสามารถจับตัวกับโปรตีนในเซลเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียร (stable biological chelate complexes) โดยแคดเมียมชอบจับกับ softer ligands ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีโมเลกุลต่ำ (Cooke *et al*., 1979 อ้างโดย *Koli et al*., 1980) ดังนั้นการที่พบแคดเมียมมีปริมาณสูงมากในสัตว์ทะเลกลุ่มดังกล่าวน่าจะเป็นเพราะว่าสัตว์ในกลุ่ม shellfish มีความไวสูง (high activity) ในการสะสมแคดเมียมโดยทำปฏิกิริยากับโปรตีนที่มีโมเลกุลต่ำ และการที่พบแคดเมียมในปลาน้อยนั้นน่าจะเป็นเพราะความแตกต่างของโมเลกุลในโปรตีนของสัตว์ทั้งสองกลุ่มแตกต่างกันนั่นเอง (Koli *et al*., 1980)

เมื่อพิจารณาถึงชนิดสัตว์ทะเลที่มีความสามารถในการสะสมโลหะหนักไว้ในตัวได้มากที่สุดนั้น พบว่า โลหะหนักหลายชนิดมีการสะสมสูงมากในหอย เนื่องจากหอยเป็นสัตว์ที่อาศัยติดอยู่กับที่ และกินอาหารโดยการกรอง จึงสามารถกรองเอาโลหะหนักต่างๆเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อได้สูง ด้วยเหตุนี้ จึงนิยมใช้หอยเป็นดัชนีบ่งชี้ในการตรวจติดตามมลพิษจากโลหะหนัก (George *et al*., 2013)

การศึกษาครั้งนี้ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักชนิดต่างๆกับขนาดของสัตว์ทะเลโดยการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ผลการศึกษาพบว่าปริมาณปรอทมีความสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความยาวของปลาทะเลรวม 4 ชนิด คือ ปลาหางควาย ($r = 0.626$; $p<0.01$; $n = 23$) ปลาทรายขาว ($r = 0.657$; $p<0.01$; $n = 26$) ปลาแป้น ($r=0.760$; $p<0.05$; $n = 8$) และปลาดอกหมากกระโดง ($r = 0.814$; $p<0.01$; $n = 10$) (ภาพที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Cheevaparanapivat & Menasveta (1979), หฤทัย อภัยรัตน์ และคณะ (2552) และ Costa *et al*. (2009) ที่พบเช่นเดียวกันว่าปรอทมีความสัมพันธ์กับความยาวของปลา ทั้งนี้สาเหตุอาจเนื่องจากการกำจัดปรอทออกจากตัวปลาเป็นไปได้ช้ามากเมื่อเทียบกับอัตราการรับเข้าไป จึงเป็นผลทำให้ปรอทเพิ่มขึ้นตามอายุหรือขนาดของปลานั้นๆ (Spry & Wiener, 1991) นอกจากนี้ปลายังมีโอกาสสะสมปรอทมากกว่าสัตว์น้ำอื่นๆทั้งทางตรงจากน้ำทะเลหรือทางอ้อมโดยผ่านห่วงโซ่อาหาร (Keckes & Miettinen, 1972) เนื่องจากปรอทมี affinity สูงในการจับกับ sulfhydryl groups ในโปรตีนที่อยู่ในปลา (Spry & Wiener, 1991) โดยปรอทที่สะสมในปลาส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเมททิลเมอร์คิวรีซึ่งเป็นสารประกอบปรอทอินทรีย์ที่มีพิษมากที่สุด (Francesconi & Lenanton, 1992; Health Canada, 2007) และสามารถสะสมในปลาได้สูงกว่าปรอทอนินทรีย์ (Health Canada, 2007) เนื่องจากมีความเสถียร และปลาสามารถกำจัดปรอทอนินทรีย์ออกจากร่างกายได้ง่ายกว่าเมททิลเมอร์คิวรีด้วย (Boudou & Ribeyre, 1985) ดังนั้น มนุษย์จึงสามารถรับเมททิลเมอร์คิวรีเข้าสู่ร่างกายได้จากการบริโภคอาหารเป็นส่วนใหญ่โดยเฉพาะจากปลาและผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำจากปลา อย่างไรก็ตาม การได้รับปรอทเข้าสู่ร่างกายผ่านทางการบริโภคปลานั้น ยังขึ้นอยู่กับอัตราการบริโภคปลาของแต่ละบุคคลและชนิดของปลาด้วย (Boischio & Henshel, 2000) ดังนั้นผู้บริโภคปลาในอัตราสูงและมีการปนเปื้อนของปรอทในปลาสูงด้วยจึงมีโอกาสเสี่ยงต่อการได้รับอันตรายจากพิษของปรอท



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทกับความยาวของปลาชนิดต่างๆ

2. การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการบริโภคอาหารทะเล

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ เป็นการศึกษาถึงผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมต่อสุขภาพ โดยเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลถึงการสัมผัสและผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจจะเกิดขึ้นหรือยังไม่เกิดขึ้นในปัจจุบันก็ได้ หากผลเสียต่อสุขภาพยังไม่เกิดขึ้นก็จะถือว่าการประเมินความเสี่ยงเป็นการทำนายถึงความน่าจะเป็นของการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพ (พงศ์เทพ วิวรรธนะเดช, 2547) ซึ่งผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการบริโภคอาหารทะเลในบริเวณชายฝั่งนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดแสดงไว้ในตารางที่ 4 โดยรายงานไว้เป็นค่าความเสี่ยงเฉลี่ย ($RQ_{Geomean}$) และค่าความเสี่ยงสูงสุด (RQ_{Max}) ทั้งนี้หากค่าความเสี่ยงเข้าใกล้ 1 หมายถึงมีความเสี่ยงที่จะอยู่ในภาวะการได้รับโลหะหนักในอาหารทะเลเกินกำหนด พบว่า ในบรรดาโลหะหนักทั้ง 5 ชนิด ค่าความเสี่ยงเฉลี่ยส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งแสดงว่าอาหารทะเลส่วนใหญ่ยังคงมีความปลอดภัยในการบริโภค ยกเว้นผู้บริโภคอาจมีความเสี่ยงสูงต่อการได้รับทองแดงจากการบริโภคกั้ง โดยมีค่าความเสี่ยงเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 2.03 และสูงสุดที่ระดับ 19.7 โดยเฉพาะมาจากการบริโภคกั้งตั๊กแตนหางฟ้า กั้งตั๊กแตนเขียว และกั้งตั๊กแตนยักษ์สีเงิน แต่เนื่องจากทองแดงเป็นโลหะที่เป็นประโยชน์ ดังนั้นค่าความเสี่ยงซึ่งมีค่ามากกว่า 1 เล็กน้อย อาจไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของคนมากนักเมื่อเทียบกับโลหะหนักที่เป็นพิษอื่นๆ อย่างไรก็ตาม หากค่าความเสี่ยงสำหรับโลหะหนักที่เป็นประโยชน์ เช่น ทองแดง และสังกะสี มีค่าสูงเกิน 10 อาจเป็นสัญญาณเตือนว่าจะมีความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ (PEAMSEA, 2001) ทั้งนี้ทองแดงเป็นโลหะหรือธาตุที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์ในกระบวนการเผาผลาญอาหารในร่างกาย มีความจำเป็นในการสร้างเม็ดเลือดแดงและเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่สำคัญหลายชนิด ถึงแม้ว่าทองแดงจะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของร่างกายมนุษย์ก็ตาม การได้รับทองแดงปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน และท้องเสีย นอกจากนี้พิษของทองแดงยังทำให้เกิดโรควิลสัน (Wilson's disease) ซึ่งเกิดจากความผิดปกติทางพันธุกรรมจากการไม่สามารถเผาผลาญทองแดงออกจากร่างกายได้ ทำให้เกิดการสะสมในตับมากกว่าปกติ โดยปกติทองแดงไม่มีปัญหาการสะสมในร่างกาย เพราะมีครึ่งชีวิต (biological half-life)

สั้น และมีสมดุลย์ (homeostasis) ตามธรรมชาติในร่างกาย รวมทั้งยังไม่มีหลักฐานยืนยันถึงการทำให้เกิดโรคมะเร็งจากพิษของทองแดง (Tong *et al*., 1999) ดังนั้นจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงยังไม่น่าเป็นห่วงมากนักต่อการบริโภคกั้งตั๊กแตนที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้

ผลการประเมินยังพบอีกด้วยว่าผู้บริโภคอาจมีความเสี่ยงในระดับค่อนข้างสูงต่อการได้รับแคดเมียมจากการบริโภคหอย ซึ่งในที่นี้เป็นเนื้อหอยเชลล์ทั้งตัวที่รวมอวัยวะภายในด้วย โดยมีค่าความเสี่ยงเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 0.99 และสูงสุดอยู่ที่ระดับ 3.94 เนื่องจากแคดเมียมเป็นโลหะหนักที่เป็นพิษต่อร่างกาย การได้รับแคดเมียมมากเกินกว่าที่กำหนดจะเข้าไปสะสมที่ไตเป็นส่วนใหญ่ ทำให้มีความผิดปกติของไต และต่อเนื่องมาที่กระดูกด้วย นอกจากนี้แคดเมียมยังเป็นสารก่อมะเร็งโดยเฉพาะมะเร็งปอดอีกด้วย (FAO/WHO, 2011b)

สำหรับการบริโภคอาหารทะเลจำพวก ปลา กุ้ง และหมึก พบว่ามีค่าความเสี่ยงเฉลี่ยจากการได้รับโลหะหนักทั้ง 5 ชนิด ในระดับต่ำมาก โดยมีค่าความเสี่ยงเฉลี่ยระหว่าง 0 - 0.32 นอกจากนี้ค่าความเสี่ยงสูงสุดซึ่งประเมินจากค่าความเข้มข้นสูงสุดที่พบในสัตว์ทะเลแต่ละชนิด และเป็นค่าความเสี่ยงในระดับสูง ($RQ_{Max} > 1$) นั้นพบเฉพาะในสัตว์ทะเลบางประเภท ได้แก่ กั้ง หอย และหมึก โดยโลหะหนักที่เป็นปัจจัยเสี่ยงมีความแตกต่างกันในสัตว์ทะเลแต่ละประเภท กล่าวคือ ใน กั้ง และหมึก (ส่วนหัว) พบว่าทองแดง และแคดเมียม เป็นปัจจัยเสี่ยง ส่วนในหอย พบว่า แคดเมียม และสังกะสี เป็นปัจจัยเสี่ยง (ตารางที่ 4)

สรุปผลการวิจัย

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในการศึกษาครั้งนี้เป็นการประเมินแยกชนิดสัตว์ทะเลและแยกชนิดโลหะหนัก แต่ในความเป็นจริงผู้บริโภคมักจะรับประทานอาหารทะเลหลายชนิด จึงมีโอกาสได้รับโลหะหนักทุกชนิดที่ปนเปื้อนในอาหารทะเล อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษา พบว่าการปนเปื้อนโลหะหนักในอาหารทะเลบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 85 อยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับการบริโภค และโลหะหนักที่ตรวจพบสูงเกินมาตรฐานเรียงตามลำดับ ได้แก่ ทองแดง สังกะสี และแคดเมียม โดยโลหะหนัก 2 ชนิดแรกเป็นโลหะหนักที่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายมากนัก และผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับโลหะหนักในอาหารทะเลบริเวณนี้พบว่าส่วนใหญ่มีความเสี่ยงในระดับต่ำมาก จึงยังคงปลอดภัยในการบริโภค ยกเว้นอาจมีความเสี่ยงระดับสูงในการได้รับทองแดงเกินกำหนดจากการบริโภคกั้งตั๊กแตน และแคดเมียมจากการบริโภคหอยเชลล์ ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการการบริโภคอาหารทะเลชนิดเดิมซ้ำๆกันอย่างต่อเนื่อง เพราะความเสี่ยงในการได้รับโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายขึ้นอยู่กับอัตราการบริโภคอาหารทะเลของแต่ละบุคคลและชนิดของอาหารทะเลด้วย นอกจากนี้ควรมีการติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนโลหะหนักในสัตว์ทะเลบริเวณนี้อย่างต่อเนื่องเป็นระยะๆ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยที่ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2550-2551 คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณเป็นอย่างมากไว้ ณ โอกาสนี้

ตารางที่ 4 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับโลหะหนักในอาหารทะเล

ประเภทสัตว์ทะเล	โลหะหนัก	$MEC_{Geomean}$ (mg/ kg wet wt.)	MEC_{Max} (mg/kg wet wt.)	TDI / RDA (µg/person/day)	LOC (mg/ kg)	$RQ_{Geomean}$	RQ_{Max}
ปลา	Hg	0.020	0.185	11.66	0.174	0.12	1.06
	Pb	NA	0.410	182.14	2.72	0	0.15
	Cd	NA	0.091	42.50	0.634	0	0.14
	Zn	3.46	13.60	8,000-11,000	164.2	0.02	0.08
	Cu	0.179	0.961	900	13.4	0.01	0.07
กุ้ง	Hg	0.017	0.087	11.66	0.315	0.05	0.28
	Pb	0.008	0.098	182.14	4.92	0.002	0.02
	Cd	0.011	0.090	42.50	1.15	0.01	0.08
	Zn	22.57	38.26	8,000-11,000	297.3	0.08	0.13
	Cu	7.86	11.93	900	24.3	0.32	0.49
กั้ง	Hg	0.018	0.083	11.66	0.315	0.06	0.26
	Pb	0.017	0.210	182.14	4.92	0.003	0.04
	Cd	0.433	1.76	42.50	1.15	0.38	1.53
	Zn	24.14	382	8,000-11,000	297.3	0.08	1.28
	Cu	49.34	478	900	24.3	2.03	19.7
หอย	Hg	0.004	0.024	11.66	0.364	0.01	0.07
	Pb	0.146	0.533	182.14	5.69	0.03	0.09
	Cd	1.32	5.23	42.50	1.33	0.99	3.94
	Zn	49.48	576	8,000-11,000	343.8	0.14	1.68
	Cu	0.459	1.21	900	28.1	0.02	0.04
หมึก-หัว	Hg	0.028	0.150	11.66	0.315	0.09	0.48
	Pb	0.013	0.293	182.14	4.92	0.003	0.06
	Cd	0.077	2.49	42.50	1.15	0.07	2.17
	Zn	16.48	433	8,000-11,000	297.3	0.06	1.46
	Cu	5.34	262	900	24.3	0.22	10.8
หมึก-ตัว	Hg	0.035	0.224	11.66	0.315	0.11	0.70
	Pb	0.016	0.611	182.14	4.92	0.003	0.12
	Cd	0.067	0.837	42.50	1.15	0.06	0.73
	Zn	14.71	39.65	8,000-11,000	297.3	0.05	0.13
	Cu	7.88	506	900	24.3	0.32	20.8

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงสาธารณสุข. (2529). ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ.2529) เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน. ราชกิจจานุเบกษาฉบับพิเศษ เล่มที่ 103 ตอนที่ 23 ลงวันที่ 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2529.

ฉลวย มุสิกะ อาวุธ หมั่นหาผล วันชัย วงสุดาวรรณและ แววตา ทองระอา. (2555). การประเมินความเสี่ยงเนื่องจากโลหะบางชนิดบริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง. ในประมวลผลงานวิจัย การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล 2553. (หน้า 396-404). ภูเก็ต: ห้างหุ้นส่วนจำกัด เวิลด์ออฟเซ็ท.

พงศ์เทพ วิวรรธนะเดช. (2547). *การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ*. นนทบุรี: บริษัท ไซเบอร์เพรส จำกัด.

สำนักมาตรฐานสินค้าและระบบคุณภาพ. (2549). *ข้อมูลการบริโภคอาหารของประเทศไทย*. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

สุวรรณา ภาณุตระกูล. (2554). *การกระจายตัวของปรอทในแหล่งน้ำในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด*. รายงานฉบับสมบูรณ์ สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา และศูนย์ความเป็นเลิศด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม พิษวิทยาและการบริหารจัดการสารเคมี.

สมชาย วิบุญพันธ์ ณรงค์ศักดิ์ คงชัย วิวิธนนท์ บุญยัง และ ทรงฤทธิ์ โชติธรรมโม. (2549). *การปนเปื้อนของสารโลหะหนักในสัตว์ทะเลบางชนิดบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง*. เอกสารวิชาการฉบับที่ 11/2549 ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงทะเลอ่าวไทยตอนล่าง จ.สงขลา.

วิมลพร ไวยนิภี สายัณห์ จันทณี จตุพล ครสาย พิชญ์ศุภร วิสุทธิ จุฑามาศ รัตติกาลสุขะ และรังสรรค์ ปิ่นทอง. (2556). คุณภาพสิ่งแวดล้อมทางทะเลบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง. ใน. *การประชุมวิชาการอนามัยสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 5 การเตรียมความพร้อมด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมเพื่อเข้าสู่ประชาคมอาเซียน.* (หน้า 145-149). ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา.

หฤทัย อภัยรัตน์ เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล เพ็ญจันทร์ ละอองมณี สายัณห์ พรหมจินดา นคเรศ ยะสุข และอิสระ ชาญราชกิจ. (2552). การประเมินความเข้มข้นของปรอทในทรัพยากรประมงจากทะเลอัดามัน. ในประมวลผลงานวิจัย การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล 2551. (หน้า 327-343). ภูเก็ต: ห้างหุ้นส่วนจำกัด เวิลด์ออฟเซ็ท.

Bhattacharya, A.K., Mandal, S.N., & Das, S.K. (2008). Heavy metals accumulation in water, sediment and tissues of different edible fishes in upper stretch of Gangetic West Bengal. *Trends in Applied Sciences Research, 3,* 61-68.

Boischio, A.A.P., & Henshel, D. (2000). Fish consumption, fish lore and mercury pollution- risk communication for the Madeira River people. *Environ Res Section A,* 84,108-126.

Boudou, A., & Ribeyre, F. (1985). Experimental study of trophic contamination of *Salmo gairdneri* by two mercury compounds- $HgCl_2$ and CH_3HgCl- analysis at the organism and organ levels. *Water Air Soil Pollut, 26*, 137-148.

Cheevaparanapiwat , V & Menaveta, P. (1979). Total and organic mercury in marine fish of the Upper Gulf of Thailand. *Bull Environ Contam Toxicol*, 23, 291-299.

Chongprasith, P., & Wilairatanadilok, W. (1999). Are Thai waters really contaminated with mercury?. In *Proceedings of the Fourth ASEAN-Canada Technical Conference on Marine Science*. (pp. 11-26). North Vancouver: EVS Environment Consultants.

Costa, M.F., Barbosa, S.C.T., Barletta, M., Dantas, D.V., Kehrig, H.A., Seixas, T.G., & Malm, O. (2009). Seasonal differences in mercury accumulation in *Trichiurus lepturus* (Cutlassfish) in relation to length and weight in a Northest Brazilian estuary. *Environ Sci Pollut Res*, *16*, 423-430.

FAO/WHO. (2011a). *Evaluation of certain contaminants in food: seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives*. Geneva: WHO Press.

FAO/WHO. (2011b). *Evaluation of certain food additives and contaminants: seventy-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives*. Geneva: WHO Press.

Francesconi, K.A., & Lenanton, C.J. (1992). Mercury contamination in a semi-enclosed marine embayment: organic and inorganic mercury content of biota and factors influencing mercury levels in fish. *Marine Environ Res, 33*, 189-212.

George, R., Martin, G.D., & Nair, S.M. (2013). Biomonitoring of trace metal pollution using the bivalve mollusk, Villorita cyprinoides, from the Cochin backwaters. *Environ Monit Assess*, 185, 10317-10331.

Health Canada. (2007). *Human health risk assessment of mercury in fish and health benefits of fish consumption*. Ottawa: the Minister of Health.

IOM. (2001). *Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc*. Washington DC: Institute of Medicine, National Academy Press.

Keckes, S., & Miettinen, J.K. (1972). Mercury as a marine pollutant. In: M. Ruivo, (Ed.), *Marine Pollution and Sea Life*. (pp. 276-289). London: Fishing News (Books) Ltd.

Koli, A.K., Sandhu, S.S., Whitmore, R., & Disher, A. (1980). Comparative study of cadmium levels of shellfish and finfish species. *Environment International, 4*, 439-441.

MPP-EAS. (1999). *Environmental risk assessment manual: A practical guide for tropical ecosystems*. Quezon City: the GEF/UNDP/IMO Regional Programme for the Prevention and Management of Marine Pollution in the East Asian Seas.

Olmedo, P., Hernandez, A.F., Pla, A., Femia, P., Navas-Acien, A., & Gil, F. (2013). Determination of essential elements (copper, manganese, selenium and zinc) in fish and shellfish samples. Risk and nutritional assessment and mercury-selenium balance. *Food and Chemical Toxicology*, 62, 290-307.

PEMSEA. (2001). *Manila Bay: Initial Risk assessment*. Quezon City: the GEF/UNDP/IMO Regional Programme on Building Partnerships in Environmental Management for the Seas of East Asia (PEMSEA).

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

PEMSEA. (2004). *Chonburi initial risk assessment.* Quezon City: the GEF/UNDP/IMO Regional Programme on Building Partnerships in Environmental Management for the Seas of East Asia (PEMSEA).

Pimonwan, K., Tongyonk, L., & Rojanapantip, L. (2009). Concentrations of cadmium and arsenic in seafood from Muang District, Rayong Province. *J Health Res, 2*, 179-184.

Sankar, T.V., Zynudheen, A.A., Anandan, R., & Nair, P.G. V. (2006). Distribution of organochlorine pesticides and heavy metal residues in fish and shellfish from Calicut region, Kerala, India. *Chemosphere*, 65, 583–590.

Spry, D.J., & Wiener, J.G. (1991). Metal bioavailability and toxicity to fish in low-alkalinity lakes: a critical review. *Environ Pollut,* 71, 243-304.

Tong, S.L., Yap, S.Y., Ishak, I., & Dev, S. (1999). ASEAN Marine Water Quality Criteria for Copper. In: C.A. McPherson, P.M. Chapman, G.A. Vigers, & K.S. Ong, (Eds.). *ASEAN Marine Water Quality Criteria: Contexture Framework, Principles, Methodology and Criteria for 18 Parameters*. (pp. IX-1 to IX-40). North Vancouver: EVS Environment Consultants.

Velusamy, A.,Kumar, P.S., Ram, A., & Chinnadurai, S. (2014). Bioaccumulation of heavy metals in commercially important marine fishes from Mumbai harbor, India. *Mar Pollut Bull*, 81, 218-224.

Yang, F., Zhao, L., Yan, X., & Wang, Y. (2013). Bioaccumulation of Trace Elements in *Ruditapes philippinarum* from China: Public Health Risk Assessment Implications . *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 10, 1392-1405.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University