รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ปริมาณโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี) ในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจบางชนิด บริเวณแหล่งทำการประมง อำเภอละงู จังหวัดสตูล

Heavy Metal (Pb, Cd, Cu and Zn) Contents in Some Economic Marine Animals in Fishing Ground along the Coast of Langu District, Satun Province

ดร.พรพิมล เชื้อดวงผุย หัวหน้าโครงการ

ผศ.ดร.เสาวคนธ์ วัฒนจันทร์ ผู้ร่วมวิจัย

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินรายได้มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ประจำปีงบประมาณ 2555 รหัสโครงการ NAT550132S

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ปริมาณโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี) ในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจบางชนิด บริเวณแหล่งทำการประมง อำเภอละงู จังหวัดสตูล

Heavy Metal (Pb, Cd, Cu and Zn) Contents in Some Economic Marine Animals in Fishing Ground along the Coast of Langu District, Satun Province

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. ดร.พรพิมล เชื้อดวงผุย หัวหน้าโครงการ	คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2. ผศ.ดร.เสาวคนธ์ วัฒนจันทร์ ผู้ร่วมวิจัย	คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินรายได้มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ประจำปีงบประมาณ 2555 รหัสโครงการ NAT550132S

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(2)
สารบัญตาราง	(4)
สารบัญภาพ	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(6)
บทคัดย่อ	(7)
Abstract	(8)
บทนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
บทที่ 1 การตรวจสอบเอกสาร/การทบทวนวรรณกรรม	3
1.1 สัตว์ทะเลเศรษฐกิจในพื้นที่ศึกษา	3
1.2 โลหะหนัก (Heavy metal)	7
1.3 การเข้าสู่ร่างกายของโลหะหนักในสัตว์น้ำ	8
1.4 ความเป็นพิษของโลหะหนักต่อมนุษย์	10
1.5 เครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนัก Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy (ICP–MS)	13
1.6 การปนเปื้อนของโลหะหนักในสัตว์น้ำ	15
1.7 เกณฑ์มาตรฐานปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี	18
1.8 ลักษณะพื้นที่จังหวัดสตูล	20
บทที่ 2 วิธีการศึกษา	23
2.1 พื้นที่ศึกษา	23
2.2 วิธีการเก็บตัวอย่าง	23
2.3 วิธีเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์	24
2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	27
2.5 วัสดุและอุปกรณ์	27
บทที่ 3 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล	29
3.1 ผลการควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์	29
3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นเฉลี่ยในตัวอย่างสัตว์ทะเลเศรษฐกิจแต่ละชนิดที่ศึกษา	29
3.3 ปริมาณโลหะหนักในสัตว์น้ำทะเลเศรษฐกิจ ในรอบปี	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 เปรียบเทียบปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจกับเกณฑ์มาตรฐาน	42
4 สรุป	45
ข้อเสนอแนะ	46
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก	53
ภาคผนวก ก การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ตัวอย่าง	54
ภาคผนวก ข การคำนวณปริมาณโลหะหนักเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน	56

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	งานวิจัยที่ศึกษาการปนเปื้อนปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจในแต่ละพื้นที่	16
1-2	ระดับของโลหะหนักที่อนุญาตให้มีได้ในสัตว์น้ำ (หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก) ในประเทศต่างๆ	19
1-3	ปริมาณน้ำฝนและจำนวนวันที่ฝนตกระหว่างปี พ.ศ. 2551-2556	21
1-4	จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมจังหวัดสตูล ปี พ.ศ. 2556	22
3-1	ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี) ในสารอ้างอิงที่รับรอง DORM-3	29
3-2	ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นเฉลี่ยในตัวอย่างสัตว์ทะเลเศรษฐกิจแต่ละชนิดที่ศึกษา	30
3-3	ปริมาณตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก) ที่พบในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจทั้ง 5 ชนิด จากพื้นที่ชายฝั่ง อำเภอละงู จังหวัดสตูล	32
3-4	ปริมาณแคดเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก) ที่พบในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจทั้ง 5 ชนิด จากพื้นที่ชายฝั่ง อำเภอละงู จังหวัดสตูล	35
3-5	ปริมาณทองแดง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก) ที่พบในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจทั้ง 5 ชนิด จากพื้นที่ชายฝั่ง อำเภอละงู จังหวัดสตูล	38
3-6	ปริมาณสังกะสี (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก) ที่พบในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจทั้ง 5 ชนิด จากพื้นที่ชายฝั่ง อำเภอละงู จังหวัดสตูล	41
3-7	ปริมาณโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี)ที่พบในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจบางชนิด จากการทำประมงชายฝั่ง อำเภอละงู จังหวัดสตูล หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักเปียก)	44
ก-1	ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ซ้ำ 11% ของตัวอย่างทั้งหมด	54
ข-1	ระดับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วกับค่า Net Intensity Mean จากเครื่อง ICP-MS	56

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	ปลาทู	3
1-2	ปลาเห็ดโคน	4
1-3	กุ้งแชบ๊วย	5
1-4	หมึกหอม	6
1-5	ปูม้า	7
1-6	องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องInductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS)	14
1-7	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ปี พ.ศ. 2552-2554	21
2-1	แผนที่สถานีเก็บตัวอย่างอำเภอละงู จังหวัดสตูล	23
2-2	วิธีการเตรียมเนื้อเยื่อสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ	24
2-3	การชั่งตัวอย่าง และการย่อยตัวอย่างด้วยเครื่องย่อย (Block Digestion System)	25
ข-1	กราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานโลหะหนักตะกั่ว	57

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัย ปริมาณโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี) ในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจบางชนิด บริเวณแหล่งทำการประมง อำเภอละงู จังหวัดสตูล ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีงบประมาณ 2555 การวิจัยครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ให้ทุนที่ให้โอกาสทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวคนธ์ วัฒนจันทร์ ในฐานะผู้ร่วมวิจัยและผู้เชี่ยวชาญ รวมทั้งขอบพระคุณ คุณเพิ่มศักดิ์ เพิงมาก ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงทะเลอ่าวไทยตอนล่าง และเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงทะเลอ่าวไทยตอนล่าง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ สถานที่ในการทำวิจัย และคำแนะนำการใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการของศูนย์ฯ ขอกราบขอบพระคุณชาวประมงในพื้นที่ที่ให้ความร่วมมือในการลงพื้นที่ทำวิจัยเป็นอย่างสูง และสุดท้าย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประสานทุนวิจัยทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือให้คำแนะนำที่ดีเสมอมา ในนามของหัวหน้าโครงการวิจัย ดิฉันขอกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง

ดร.พรพิมล เชื้อดวงผุย
หัวหน้าโครงการ

บทคัดย่อ

การศึกษาปริมาณตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ในเนื้อเยื่อสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ 5 ชนิด คือ ปลาทู *(Rastrelliger brachysoma),* ปลาเห็ดโคน *(Sillago sihama*), กุ้งแชบ๊วย *(Penaeus merguiensis),* หมึกหอม *(Sepioteuthis lessoniana*) และปูม้า (*Portunus pelagicus*) จากการทำประมง บริเวณอำเภอละงู จังหวัดสตูล โดยดำเนินการเก็บตัวอย่างทุกๆ 2 เดือน ระหว่างเดือนพฤษภาคม 2555 ถึง มีนาคม 2556 และเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ตามวิธีการของ AOAC (2000) วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี) ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy (ICP-MS) ผลการศึกษาพบโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ในเนื้อเยื่อสัตว์ทะเลเศรษฐกิจทุกชนิดที่ศึกษา พบปริมาณตะกั่วสูงสุดในปลาทูมีค่าเท่ากับ 0.066±0.029 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเปียกและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับปริมาณตะกั่วในตัวอย่างกุ้งแชบ๊วย แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ ที่ศึกษาครั้งนี้ ปริมาณแคดเมียม ทองแดงและสังกะสีมีค่าสูงสุดในปูม้า มีค่าเท่ากับ 0.123±0.163, 8.35±2.69 และ 29.05±6.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับสัตว์ทะเลเศรษฐกิจชนิดอื่น ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดปริมาณโลหะหนัก พบว่าปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจในพื้นที่ศึกษา ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่ปลอดภัยของกระทรวงสาธารณสุขของไทย (2529) และกองตรวจสอบรับรองมาตรฐานคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ (2554)

Abstract

Content of lead, cadmium, copper and zinc in tissues of 5 marine economic species: short body mackerel *(Rastrelliger brachysoma),* sand whiting *(Sillago sihama*), banana shrimp *(Penaeus merguiensis),* bigfin reef squid *(Sepioteuthis lessoniana*), and blue swimming crab (*Portunus pelagicus*), were studied from fishing ground of Langu district, Satun province. The samplings were conducted during the May 2012 to March 2013. Sample preparation for analysis was performed according to the method of AOAC (2000) to determine the concentration of heavy metals (lead, cadmium, copper and zinc) by using Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy (ICP-MS). The results showed that maximum lead content was found in short body mackerel, (0.066±0.029 mg per kg of wet weight), which was significantly different ($P<0.05$) as compared to that of banana shrimp *(Penaeus merguiensis)*. However, there was not significantly different ($P\geq0.05$) with those of other marine economic species. Cadmium, copper and zinc contents were found significantly highest content in blue swimming crabs which were to 0.123±0.163, 8.35±2.69 and 29.05±6.58 mg per kg wet weight, respectively. As compared to standard guideline of heavy metal content in marine animals/fauna, it was found that the concentration of heavy metals (lead, cadmium, copper and zinc) in all marine economic species in this study area did not exceed the safety levels of standard of the Ministry of Public Health Thailand (1986) and Fish Inspection and Quality Control Division Department of Fisheries (2011).

บทนำ

จังหวัดสตูลเป็นจังหวัดอยู่เขตชายแดนภาคใต้ของประเทศไทยด้านฝั่งทะเลอันดามัน มีเนื้อที่ประมาณ 2,807ตารางกิโลเมตร มีทะเล หมู่เกาะและอุทยานแห่งชาติหลายแหล่งทำให้มีนักท่องเที่ยวจำนวนมาก โดยใน ปี พ.ศ. 2554 มีนักท่องเที่ยวถึง 694,697 คน ผลผลิตอุตสาหกรรมจังหวัดสตูลวิเคราะห์จากมูลค่าผลิตภัณฑ์จังหวัด (GPP) ของจังหวัด ปี พ.ศ. 2555 มีมูลค่า 31.845 ล้านบาท (สำนักงานจังหวัดสตูล, 2557) อุตสาหกรรมหลักคือการเกษตรและการประมง ซึ่งกิจกรรมด้านการประมงหลากหลายมีทั้งด้านการจับ การเพาะเลี้ยงสัตว์ทะเล เศรษฐกิจซึ่งทางด้านการประมงคิดเป็น 15.3 เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์มวลรวม (GPP) ของจังหวัดสตูล (สำนักงานประมงจังหวัดสตูล, 2555; สำนักงานจังหวัดสตูล, 2557) จังหวัดสตูลมีพื้นที่ชายฝั่งยาว 144.8 กิโลเมตร มีเกาะทั้งหมด 88 เกาะในพื้นที่ 4 อำเภอคืออำเภอเมือง อำเภอท่าแพ อำเภอทุ่งหว้าและอำเภอละงู โดยเฉพาะอำเภอละงู มีประชากรหนาแน่นมากที่สุดของจังหวัด คือ 173.26 คนต่อตารางกิโลเมตร (สำนักงานจังหวัดสตูล, 2557) ในอำเภอละงู มีแหล่งทำการประมงพื้นบ้านบริเวณชายฝั่งทะเล และเกาะต่าง ๆ เช่น เกาะลิดีเล็ก เกาะลิดีใหญ่ เกาะเปราะออ เกาะสุกร และเกาะกล้วย เป็นต้น (กำพลและคณะ, 2556) ซึ่งพื้นที่แหล่งทำประมงเหล่านี้เป็นแหล่งผลิตอาหารโปรตีนที่สำคัญของประชาชน นอกจากนี้ทะเลยังเป็นแหล่งรองรับของเสียต่าง ๆ ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ทั้งทางตรงและทางอ้อมในการพัฒนาความเจริญทางเศรษฐกิจ การพัฒนาเทคโนโลยี และการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็วก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำ และของเสียต่าง ๆ

โลหะหนักมีความเป็นพิษสูงต่อสิ่งมีชีวิต เนื่องจากโลหะหนักเป็นสารที่คงตัว ไม่สามารถที่จะสลายตัวได้โดยกระบวนการธรรมชาติ และบางส่วนตกตะกอนสะสมอยู่ในดิน นอกจากนี้โลหะหนักยังสามารถสะสมในเนื้อเยื่อของสัตว์ทะเลที่อาศัยอยู่บริเวณนั้น ๆ และถ้ามีปริมาณความเข้มข้นสูงมากก็จะทำให้เกิดอันตรายต่อสัตว์ทะเลที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นตลอดจนผู้ที่นำสัตว์ทะเลเหล่านั้นมาบริโภค พื้นที่จังหวัดสตูลอุตสาหกรรมหลักคือการเกษตรการประมง และอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมโลหะ อุตสาหกรรมอโลหะ อุตสาหกรรมไม้และผลิตภัณฑ์จากไม้ อุตสาหกรรมยาง เป็นต้น (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2555) รวมถึงอำเภอใกล้เคียงที่มีอุตสาหกรรมดังกล่าว และพบว่าในอำเภอควนกาหลงซึ่งอยู่ติดกับอำเภอละงูมีโรงโม่หินอยู่ในพื้นที่ นอกจากนี้การเกษตรในพื้นที่อาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่เกิดการปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำโดยการใช้สารกำจัดศัตรูพืช และของเสียที่เกิดจากแหล่งชุมชน เช่น น้ำเสียจากบ้านเรือน จากขยะจำพวกพลาสติก แบตเตอรี่ ที่ปะปนมากับของเสียที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่มีในพื้นที่ และโลหะหนักยังเป็นแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของหินเปลือกโลก มีการชะล้าง หรือกัดเซาะตามกระบวนการทางธรณีวิทยา (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) จากข้อมูลการตรวจสอบโลหะหนักบางชนิด เช่น ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดงและสังกะสี ในหอย

เศรษฐกิจคือ หอยแมลงภู่ และหอยนางรมบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยและทะเลอันดามัน โดยในพื้นที่ชายฝั่งทะเลจังหวัดสตูล ในหอยแมลงภู่ พบปริมาณโลหะหนักตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี มีค่าเท่ากับ 0.36, 0.69, 5.21 และ 34.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ ส่วนในหอยนางรม พบปริมาณโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด มีค่าเท่ากับ 2.28, 0.33, 91.32 และ 159.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ (ศิริวรรณ และวรวิทย์, 2544) ซึ่งค่าตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีในหอยนางรมเป็นค่าที่เกินมาตรฐาน ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขของไทย ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานสารปนเปื้อนสำหรับอาหาร ซึ่งรวมถึงปลาและสัตว์ทะเลเศรษฐกิจที่นำมาบริโภค ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี ไม่เกิน 1, 20 และ100 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ (กระทรวงสาธารณสุข, 2529)

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น แสดงให้เห็นว่าในพื้นที่จังหวัดสตูลมีโอกาสที่จะพบปริมาณโลหะหนักในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ โดยเฉพาะบริเวณชายฝั่งทะเลจึงเลือกศึกษาในกลุ่มของเครื่องมือประมงพื้นบ้าน ซึ่งทำการประมงระยะไม่เกิน 5 กิโลเมตร ซึ่งการศึกษาปริมาณโลหะหนักในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจในพื้นที่ระยะห่างฝั่งไม่เกิน 5 กิโลเมตร สามารถทราบข้อมูลที่ชัดเจนยิ่งขึ้นในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจที่มีการทำประมงในพื้นที่จังหวัดสตูล รวมทั้งการทำประมงพื้นบ้านและเป็นการทำการประมงในพื้นที่ตลอดทั้งปี เช่น อวนลอยปลาทู อวนจมปลาเห็ดโคนอวนจมปูลอบปู ลอบหมึก อวนลอยกุ้ง 3 ชั้น โดยสัตว์ทะเลเศรษฐกิจกลุ่มหลักที่ได้จากการทำประมงคือ ปลาทู ปลาเห็ดโคน ปูม้า หมึกหอม และกุ้งแชบ๊วย (กำพล และคณะ, 2556) ดังนั้นการศึกษาเพื่อทราบสภาวะการปนเปื้อนของโลหะหนักในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจในพื้นที่จึงน่าจะเป็นเรื่องหนึ่งที่สำคัญ เพราะมีโอกาสที่จะส่งผลต่อผู้บริโภค และเพื่อเป็นข้อมูลในการเฝ้าระวังปริมาณของโลหะหนักในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจในพื้นที่ ตลอดจนเพื่อใช้เป็นแนวทางให้ประชาชนสามารถหลีกเลี่ยงการบริโภคสัตว์ทะเลที่มีปริมาณโลหะหนักสะสมสูงที่อาจส่งผลต่อสุขภาพได้ และเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จะนำไปใช้ในการจัดการสิ่งแวดล้อม และหาแนวทางในการควบคุมการปนเปื้อนของโลหะหนักในพื้นที่ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสะสมของโลหะหนักตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจบางชนิดจากการทำการประมงชายฝั่ง อำเภอละงู จังหวัดสตูล

บทที่ 1
การตรวจสอบเอกสาร/การทบทวนวรรณกรรม

1.1 สัตว์ทะเลเศรษฐกิจในพื้นที่ศึกษา

สัตว์ทะเลเศรษฐกิจที่ศึกษา คือปลาทู ปลาเห็ดโคน กุ้งแชบ๊วย หมึกหอม และปูม้า

1.1.1 ปลาทู

ปลาทูมีชื่อสามัญว่า Short body mackerel ชื่อวิทยาศาสตร์ *Rastrelliger brachysoma* (Bleeker, 1851) (ภาพที่ 1-1) เป็นปลาผิวน้ำมีรูปร่างป้อมแบน หัวโต หน้าแหลม มีขนาดของความยาวมาตรฐานของตัวปลาทูเป็น 3.7 ถึง 4 เท่า ของความยาวส่วนหัว ปลายจมูกกลมสั้นมีจุดสีดำใต้ฐานครีบหลังจำนวน 12-14 จุด ลำตัวสีน้ำเงินปนเขียว มีจุดสีดำเรียงเป็นแถวตามสันหลัง ท้องสีขาวเงิน เป็นปลาที่รวมกันอยู่เป็นฝูงแยกตามขนาด และกินแพลงก์ตอนเป็นอาหาร พบแพร่กระจายทั่วไปทั้งอ่าวไทยและทะเลอันดามัน (กรมประมง, 2535; ธเนศและคณะ, 2549)

ภาพที่ 1-1 ปลาทู

การทำประมงปลาทู

ปลาทูพบการแพร่กระจายทั่วไปทั้งทะเลอ่าวไทย และอันดามัน ตั้งแต่บริเวณชายฝั่งทะเลไปจนถึงระดับความลึกไม่เกิน 50 เมตร จับได้ด้วยเครื่องมือประมงหลากหลายชนิด เช่น โป๊ะ อวนลอย อวนล้อมจับและอวนลาก (ธเนศและคณะ, 2549) ในพื้นที่ส่วนการทำประมงพื้นบ้านบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดสตูล ส่วนใหญ่จะทำประมงโดยใช้อวนลอยปลาทู ชาวประมงจะออกเรือในช่วงค่ำ และกลับเข้าฝั่งในช่วงเช้า

1.1.2 ปลาเห็ดโคน หรือปลาทราย หรือปลาช่อนทรายแก้ว

ปลาเห็ดโคนมีชื่อสามัญว่า sand whiting ชื่อวิทยาศาสตร์ *Sillago sihama* (Forsskal, 1775) (ภาพที่ 1-2) มีรูปร่างลำตัวเรียวยาวหัวเป็นรูปทรงกรวย ว่ายน้ำว่องไวและอยู่รวมกันเป็นฝูง ความยาวหัวเฉลี่ย 28.8-28.9 เปอร์เซ็นต์ของความยาวมาตรฐาน ครีบอกอยู่หลังช่องปิดเหงือก ครีบท้องอยู่ใต้ครีบอก มีเกล็ดเป็นชนิด cycloid ขนาดเล็กปกคลุมตลอดทั้งลำตัว

ลำตัวมีสีน้ำตาลอ่อนจาง ๆ หรือเหลืองปนน้ำตาล ท้องสีขาว มีแถบสีเงินจาง ๆ พาดผ่านกลางลำตัว ครีบหลังแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกมีก้านครีบแข็ง 11 ก้าน ส่วนที่สองมีก้านครีบอ่อน 20-22 ก้าน ครีบก้นมีก้านครีบอ่อน 20-22 ก้าน จัดอยู่ในกลุ่มปลากินเนื้อ หากินบริเวณหน้าดินตามพื้นทรายหรือพื้นทรายปนโคลน กินอาหารขนาดเล็กส่วนใหญ่เป็นสัตว์หน้าดินที่มีขนาดเล็ก เช่น polychaete และ crustacean (เสาวภาและวรเทพ, 2534; ไพโรจน์ และอังสุนีย์, 2539; เจนจิตต์ และคณะ, 2542) (ภาพที่ 1-2)

ภาพที่ 1-2 ปลาเห็ดโคน

การทำประมงปลาเห็ดโคน

ปลาเห็ดโคนเป็นสัตว์ทะเลเศรษฐกิจที่อาศัยอยู่บริเวณน้ำตื้นชายฝั่งที่เป็นทราย และบริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งอวนจมปลาเห็ดโคนเป็นเครื่องมือที่ใช้ทำการประมงปลาเห็ดโคนโดยเฉพาะ (Nelson, 1994) การทำประมงปลาเห็ดโคนสามารถทำได้ตลอดทั้งปี โดยออกวางอวนในช่วงเช้าตรู่ วางอวนในลักษณะขวางกระแสน้ำ ปล่อยให้ผืนอวนลอยตามกระแสน้ำประมาณครึ่งถึงหนึ่งชั่วโมง แล้วจึงกู้อวน ชาวประมงแต่ละรายจะใช้อวน 1-2 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วยอวน 6-10 ผืน (กำพลและคณะ, 2556)

1.1.3 กุ้งแชบ๊วย

กุ้งแชบ๊วย มีชื่อสามัญว่า Banana shrimp ชื่อวิทยาศาสตร์ *Penaeus merguiensis* (De Man, 1888) (ภาพที่ 1-3) มีลักษณะเด่นคือ กรีด้านบนมีฟัน 7-8 ซี่ ด้านล่าง 4-5 ซี่ เมื่อโตเต็มที่โคนกรีจะยกขึ้นเป็นรูปสามเหลี่ยมยอดสูง ส่วนมากปลายกรีจะยาวไม่ถึงปลายของโคนหนวดคู่สั้น สันข้างกรี (adrostral carina) จะยาวไม่ถึงฟันกรีซี่สุดท้าย สันหลังร่องตา (gastro-orbital carina) ยาวประมาณ 1/3 ของระยะทางระหว่างร่องหลังตา (orbital margin) กับหนามข้างแก้ม (hepatic spine) ส่วนมากสันนี้จะอยู่ห่างจากหนามข้างแก้มปลายขาเดินคู่ที่ 3 ปกติจะยาวไม่ถึงแพนหนวด (Grey และคณะ, 1983) กุ้งแชบ๊วยจะอาศัยอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลจนถึงทะเลลึก บริเวณพื้นดินเลนหรือพื้นดินโคลนปนทราย พบได้ทั้งในทะเลและเขตน้ำกร่อยที่มีความเค็มระหว่าง 10-36 ส่วนในพันส่วน กุ้งแชบ๊วยปราดเปรียวและว่ายน้ำอยู่ตลอดเวลา

แม้แต่เวลาที่กินอาหาร โดยกุ้งแชบ๊วยจะกินอาหารแบบกัดแทะโดยจับชิ้นอาหารแล้วว่ายน้ำกัดกินไปเรื่อย ๆ ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่ต่างจากกุ้งกุลาดำที่จับอาหารแล้วหยุดกินอาหารอยู่นิ่งกับที่ อาหารธรรมชาติของกุ้งแชบ๊วยได้แก่ ตัวอ่อนสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ แมลงน้ำ ซากพืช ซากสัตว์ สาหร่ายชนิดต่าง ๆ หอย ปลา ลูกกุ้ง พืชน้ำ (วิวัฒนชัยและสมพร, 2532)

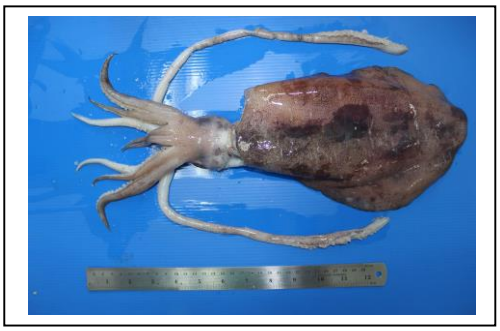
ภาพที่ 1-3 กุ้งแชบ๊วย

การทำประมงกุ้งแชบ๊วย

ชาวประมงพื้นบ้านจะใช้อวนลอยกุ้ง 3 ชั้น ซึ่งเป็นอวนลอยหน้าดินที่ใช้จับสัตว์ทะเลเศรษฐกิจโดยเฉพาะกุ้งเป็นหลัก ชาวประมงจะใช้อวน 8-13 ผืนเย็บต่อกัน และออกวางอวนในเวลากลางวันในช่วงน้ำใหญ่โดยจะวางอวนลอยขวางกระแสน้ำไว้ประมาณ 30 นาที ถึง 1 ชั่วโมง จึงทำการกู้อวน ซึ่งชาวประมงจะวางอวน 4-6 ครั้งต่อการทำประมง 1 วัน (อนุตร, 2539)

1.1.4 หมึกหอม หรือหมึกตะเภา

หมึกหอมชื่อสามัญว่า Bigfin reef squid ชื่อวิทยาศาสตร์ *Sepioteuthis lessoniana* (Lesson, 1830) (ภาพที่ 1-4) หมึกหอมประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนหัว (head) และส่วนของลำตัว (trunk) ซึ่งมีรูปร่างป้อม ส่วนปลายจะค่อนข้างแหลม มีแพนครีบกว้างใหญ่และยาวเกือบตลอดทั้งลำตัวมีหน้าที่ในการว่ายน้ำและช่วยบังคับทิศทาง ลำตัวมีสีน้ำตาลเข้มอมแดงประเป็นจุดอยู่ทั่วไป ด้านหลังมีสีเข้มกว่าด้านท้อง ส่วนหัวมีขนาดใหญ่ มีตาที่โต 1 คู่ นัยต์ตาสีเข้ม มีปากคล้ายนกอยู่ตรงกลางที่ล้อมรอบด้วยรยางค์ 5 คู่ ประกอบด้วย รยางค์คู่ยาว คือหนวด (tentacle) 1 คู่ มีความยืดหยุ่นมาก และรยางค์คู่สั้น คือแขน (arm) 4 คู่ ประกอบด้วย คู่แรก dorsal pair, คู่ที่ 2 dorsolateral pair, คู่ที่ 3 ventrolateral pair และคู่สุดท้าย ventral pair ซึ่งจะมีปุ่มดูด (sucker) อยู่ตรงกลางสามารถขยายได้ ภายในปุ่มดูดจะมีลักษณะเป็นวงแหวนที่มีฟันแหลม จำนวน 16-20 ซี่ ปุ่มดูดบนแขนคู่ที่ 3 มีฟันรูปสามเหลี่ยม จำนวน 16-24 ซี่ หมึกหอมเป็นสัตว์กินเนื้อ อาหารส่วนใหญ่เป็นปลาขนาดเล็ก กุ้ง กั้ง และปู รวมทั้งหมึกหอมด้วยกันเองและมีพฤติกรรมการกินอาหารแบบ column feeding คือเลือกกินอาหารบริเวณกลางน้ำ (วีรชัย, 2542)



ภาพที่ 1-4 หมึกหอม

การทำประมงหมึกหอม

หมึกหอมพบกระจายทั่วไปทั้งทะเลอ่าวไทยและอันดามัน ฝั่งทะเลอันดามันมีการแพร่กระจายตั้งแต่จังหวัดระนองไปจนถึงจังหวัดสตูล เครื่องมือหลักในการทำประมงหมึกหอม คือ ลอบหมึก ทำการประมงโดยออกเรือเพื่อวางลอบหมึกในเวลากลางคืน แล้วกู้ลอบในตอนเช้าของวันรุ่งขึ้น แหล่งทำประมงอยู่บริเวณรอบเกาะต่าง ๆ ที่มีระดับความลึกของน้ำตั้งแต่ 7-23 เมตร การทำประมงหมึกหอมสามารถทำได้ตลอดทั้งปี ยกเว้นในช่วงที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (วีรชัย, 2542)

1.1.5 ปูม้า

ปูม้า มีชื่อสามัญว่า blue swimming crab ชื่อวิทยาศาสตร์ *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758) (ภาพที่ 1-5) ปูม้าแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนหัว (head) ส่วนอก (thorax) และส่วนท้อง (abdomen) ส่วนหัวและอกจะอยู่ติดกันรวมเรียกว่า cephalothorax มีกระดอง (carapace) หุ้มอยู่ตอนบน ทางด้านข้างทั้งสองของกระดองจะเป็นรอยหยักคล้ายฟันเลื่อยเป็นหนามแหลม ข้างละ 9 อัน เรียกว่า anterolateral tooth ขามีทั้งหมด 5 คู่ คู่แรกเป็นก้ามใหญ่เพื่อใช้ป้องกันตัว ส่วนขาคู่ที่ 2, 3 และ 4 จะมีขนาดเล็กปลายแหลมใช้เป็นขาเดิน ขาคู่สุดท้ายเป็นใบพายใช้ในการว่ายน้ำ สีของปูม้าเพศผู้และเพศเมียมีแตกต่างกัน ลักษณะตัวผู้มีลำตัวสีฟ้าอ่อนมีจุดขาวกระจายอยู่ทั่วไปบนกระดอง ก้าม และขาว่ายน้ำ แต่ไม่มีจุดบนขาเดิน พื้นท้องเป็นสีขาว ส่วนตัวเมียมีกระดองแป้นกว่า รวมทั้งก้ามก็มีขนาดสั้นกว่า มีสีน้ำตาลอ่อนและมีจุดสีขาวทั่วไปทั้งกระดอง ก้าม และขาว่ายน้ำ ด้านบนของก้ามคีบมีสีน้ำตาลอมดำทั้งสองด้าน เพศผู้และเพศเมียจะมีจับปิ้งแตกต่างกัน จับปิ้งของเพศเมียค่อนข้างกลมมนแต่ของตัวผู้ค่อนข้างแหลม ปูม้ากินทุกอย่าง ไม่ว่าจะเป็นพืชหรือสัตว์ ทั้งที่มีชีวิตอยู่หรือซากที่ตายแล้ว ปูม้าอาศัยในพื้นท้องทะเลที่เป็นโคลน ทราย ทรายปนโคลน ตามชายฝั่งพบมากทั้งตัวเล็กและตัวใหญ่ ส่วนใหญ่ปูขนาดใหญ่มักอาศัยอยู่ในน้ำลึก 20-40 เมตร (สุเมธ, 2527)

ภาพที่ 1-5 ปูม้า

การทำประมงปูม้า

เครื่องมือทำการประมงปูม้าที่สำคัญในจังหวัดสตูล ได้แก่ ลอบปูม้า และอวนปูม้า การทำประมงปูม้าสามารถทำได้ตลอดทั้งปี แต่จะจับได้ปริมาณมากในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ วิธีการทำประมงปูม้า จะทำการประมงในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน โดยวางลอบปูช่วงบ่ายทิ้งไว้ 1 คืน แล้วจึงกู้ลอบในตอนเช้า หรือวางลอบในช่วงเย็น ทิ้งไว้ 4-6 ชั่วโมงจึงกู้ลอบ การทำประมงลอบปูม้า สามารถทำได้ทุกวันทั้งช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย โดยเฉพาะแหล่งทำการประมงที่มีระดับน้ำลึกช่วง 5-20 เมตร (กำพลและคณะ, 2556)

1.2 โลหะหนัก (Heavy metal)

โลหะหนักมีคุณสมบัติทางกายภาพที่คล้ายกันแต่คุณสมบัติทางเคมีแตกต่างกัน โดยคุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญคือ มีค่าเลขออกซิเดชันได้หลายค่า สามารถรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ ทำให้เกิดสารประกอบใหม่ที่เสถียรกว่าเดิม (มนัส, 2538) โลหะหนักเป็นองค์ประกอบของหินเปลือกโลกดังนั้นจึงพบโลหะหนักอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการกัดเซาะและพังทลายทำให้โลหะบางส่วนถูกชะพาออกสู่สิ่งแวดล้อม (Santos และคณะ, 2005) และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากมนุษย์นำมาใช้ประโยชน์และปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งโลหะบางชนิดมีความจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตเมื่อได้รับในปริมาณที่เหมาะสม หากปริมาณที่ได้รับมากเกินไปก็จะเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต เช่น สังกะสี (zinc; Zn), โครเมียม (chromium; Cr), ทองแดง (copper; Cu), แมงกานีส (manganese; Mn) และเหล็ก (iron; Fe)โลหะหนักบางชนิดไม่มีความจำเป็นต่อร่างกายในการดำรงชีวิตและมีพิษสูงเช่น แคดเมียม (cadmium; Cd), ตะกั่ว (lead; Pb) และปรอท (mercury; Hg) (Clark, 1992) โลหะหนักสามารถเปลี่ยนรูปจากรูปที่ละลายน้ำ (dissolved forms) ไปเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex molecules) หรือเกิดเป็นอนุภาคคอลลอยด์ (colloid) และตกตะกอนรวมอยู่กับตะกอนบนพื้นท้องน้ำ แต่การเปลี่ยนแปลงทางเคมียังเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยกระบวนการไดอะเจเนซิส (diagenesis) ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของตะกอน และสภาวะทางกายภาพและเคมีของสิ่งแวดล้อม

บริเวณนั้น เมื่อสภาวะทางกายภาพและเคมีในแหล่งน้ำเปลี่ยนแปลงเช่น การสะสมของโลหะในดินตะกอนจะเกิดขึ้นเมื่อมีค่า pH สูง และโลหะจะตกตะกอนเมื่อน้ำมีสภาพเป็นด่าง หรืออาจตกตะกอนร่วมกับโลหะชนิดอื่น ๆ (วรวิทย์, 2547) ทำให้แหล่งน้ำนั้นมีโลหะหนักบางส่วนละลายอยู่ในน้ำและบางส่วนสะสมอยู่ในตะกอนดิน ซึ่งสิ่งมีชีวิตสามารถรับโดยตรงผ่านการดูดซึมและรับโดยอ้อมผ่านทางห่วงโซ่อาหาร

1.3 การเข้าสู่ร่างกายของโลหะหนักในสัตว์น้ำ

สารพิษจะเข้าสู่ร่างกายของสัตว์น้ำได้ทางเหงือก ผิวหนัง และทางเดินอาหารด้วยการกินอาหารที่มีการปนเปื้อนของสารพิษเป็นหลัก ผ่านทางสิ่งแวดล้อมบริเวณที่สัตว์น้ำอาศัยอยู่ เช่น น้ำ ดิน และห่วงโซ่อาหาร โดยในสัตว์น้ำพบว่าเหงือกเป็นทางที่สารพิษจะซึมผ่านเข้าสู่ร่างกายได้เป็นอย่างดี ผ่านกระบวนการหายใจ (มธุรสและจุฑามาศ, 2549) หรือการแลกเปลี่ยนก๊าซในสัตว์น้ำทางผิวหนัง และทางเดินอาหาร สารพิษต้องผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ผิวหนัง และเซลล์บุผิวของทางเดินอาหาร เพื่อเข้าสู่กระแสโลหิต จากกระแสโลหิตสารพิษก็จำเป็นต้องผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ในอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย สารพิษหลายชนิดกระจายตัวเข้าสู่เนื้อเยื่อและอวัยวะเป้าหมายของสารพิษโดยตรง หรือสารพิษบางชนิดสะสมที่อวัยวะหนึ่งกลับไม่ทำให้เกิดพิษต่ออวัยวะนั้นแต่กลับเป็นพิษต่ออวัยวะอื่น เช่น ตะกั่วมีการสะสมอยู่ที่กระดูกแต่ไม่ออกฤทธิ์ต่อกระดูก พบว่าตะกั่วออกฤทธิ์ต่อระบบประสาท (ชัยวัฒน์และคณะ, 2536) นอกจากนี้พบว่าตับและไต เป็นอวัยวะที่เก็บสะสมสารพิษมากกว่าอวัยวะอื่น เนื่องจากตับและไตทำหน้าที่หลักในการกำจัดสารพิษออกจากร่างกาย แต่ความเป็นพิษจะส่งผลต่อร่างกายมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของสารพิษที่ได้รับเข้าสู่ร่างกาย หากได้รับในปริมาณที่สูง โอกาสการเป็นพิษก็เพิ่มมากขึ้นทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับขนาดและลักษณะนิสัยของสัตว์แต่ละชนิด เช่นกระบวนการหายใจของปลา ปลาทูเป็นปลาที่ว่ายน้ำเร็วจะปล่อยให้ปากและช่องเหงือกเปิดอยู่ตลอดเวลา เพื่อรับน้ำที่มันว่ายผ่านไป ส่วนปลาที่อยู่พื้นทะเล จะมีช่องเหงือกกว้างและใหญ่ ปากจะไม่เปิดกว้างในขณะที่หายใจเข้าการหายใจจะช้าและลึก เป็นต้น และรูปแบบทางเคมีของสารพิษ เช่น การกระจายของตะกั่วในน้ำทะเล รูปแบบทางเคมีจะขึ้นอยู่กับ ลักษณะทางภูมิศาสตร์ คุณสมบัติของน้ำทะเล เช่น pH ความกระด้าง อุณหภูมิ และความเค็มของน้ำทะเล ตะกั่วสามารถรวมตัวกับไอออนบางชนิดในน้ำทะเล เช่น Cl^-, SO_4^{2-}และ CO_3^{2-} ในสภาพที่มีความเค็มสูง พบตะกั่วในรูป $PbCO_3$ และ $PbCl^+$ เป็นต้น (วิมล, 2540; สุวัจน์, 2549)

1.3.1 การแลกเปลี่ยนก๊าซของสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในน้ำจะได้รับก๊าซออกซิเจนซึ่งละลายอยู่ในน้ำโดยการแพร่เข้าสู่อวัยวะหายใจโดยตรง ก๊าซออกซิเจนในน้ำมีปริมาณ 0.446 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ซึ่งน้อยกว่าในอากาศมาก เพราะในอากาศมีปริมาณออกซิเจนถึง

21 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสัตว์ที่อาศัยอยู่ในน้ำ จึงต้องให้น้ำไหลผ่านบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซอย่างเร็ว เพื่อให้ได้ก๊าซปริมาณมากและเพียงพอต่อการดำรงชีวิต (ประสงค์, 2538)

1.3.1.1 ปลา ใช้เหงือก (gill) ในการหายใจ โดยเหงือกของปลาจะมีลักษณะเป็นแผง เรียกแต่ละแผงว่ากิลล์อาช (gill arch) แต่ละกิลล์อาชจะมีแขนงแยกออกมาเป็นซี่ ๆ มากมาย เรียกแต่ละซี่นี้ว่ากิลล์ลาเมลลา (gill lamella) ซึ่งภายในกิลล์ลาเมลลาแต่ละอันจะมีร่างแหของเส้นเลือดฝอยอยู่ และบริเวณกิลล์ลาเมลลาจะเป็นบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซ ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ที่จะสัมผัสกับน้ำได้มากขึ้น ทำให้ออกซิเจนในน้ำแพร่เข้าสู่เส้นเลือดฝอยภายในเหงือกได้อย่างเพียงพอและในขณะเดียวกันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเส้นเลือดฝอยก็จะแพร่ออกจากเส้นเลือดฝอยเข้าสู่น้ำรอบตัวปลาได้อย่างดีด้วย นอกจากนี้ปลาเป็นสัตว์น้ำที่ว่ายน้ำอยู่เสมอ ทำให้มีน้ำที่มีออกซิเจนผ่านเข้าสู่ปากและเหงือกอยู่ตลอดเวลา จึงช่วยให้ปลามีการแลกเปลี่ยนก๊าซได้ดียิ่งขึ้น (ประสงค์, 2538)

1.3.1.2 ปูและกุ้ง เป็นสัตว์น้ำกลุ่มครัสเตเซียนที่ใช้เหงือกในการหายใจเช่นเดียวกัน โดยเหงือกของปูจะอยู่บริเวณช่องเปิดที่ฐานของก้ามปู เหงือกของกุ้งจะอยู่ภายในช่องเหงือก (gill chamber) ใต้คาราเปซ (carapace) ซึ่งคลุมเซฟาโรทอแรกซ์ (cephalothorax) อยู่ที่เหงือกจะมีเลือดมาเลี้ยงเป็นจำนวนมาก กุ้งจะทำให้เกิดน้ำไหลวนเวียนและผ่านเข้าสู่ช่องเล็ก ๆ ใกล้รยางค์ขา เพื่อให้น้ำไหลเข้าสู่ช่องเหงือกและเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซที่เหงือกต่อไป (ประสงค์, 2538; บพิธและนันทพร, 2540)

1.3.1.3 หมึก เป็นพวกไม่มีเปลือกมักจะมีเหงือก 1 คู่ เรียกว่าไดบรานเชีย (dibranchian) อยู่ภายในช่องตัว น้ำที่ไหลผ่านลำตัวหมึกจะถูกดันออกทางช่องไซฟอน (siphon) ทำให้หมึกได้ประโยชน์ 2 ประการคือ การแลกเปลี่ยนก๊าซเพื่อการหายใจและการเคลื่อนที่ (ประสงค์, 2538)

1.3.2 พิษของโลหะหนักต่อสัตว์น้ำ

1.3.2.1 พิษของตะกั่วต่อสัตว์น้ำ

พิษของตะกั่วต่อสัตว์น้ำโดยเฉพาะปลานั้นจะทำให้การเจริญเติบโตลดลง และทำให้ระบบต่าง ๆ ของร่างกายสัตว์สัตว์น้ำเสื่อมลง และเซลล์เนื้อเยื่อบุผิวบริเวณเหงือกถูกทำลาย นอกจากนี้ตะกั่วจะจับตัวกับเมือกและสะสมบริเวณเหงือกของปลาทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนออกซิเจนลดลง หากได้รับสารนี้เป็นเวลานานก็อาจทำให้ปลาตายได้ (ณิฏฐารัตน์และสมเกียรติ, 2526)

1.3.2.2 พิษของแคดเมียมต่อสัตว์น้ำ

แคดเมียมจะทำให้เกิดการจับตัวของเมือกที่บริเวณเหงือกของปลาทำให้ปลาขาดออกซิเจน และทำให้เกิดการเสียสมดุลของเกลือแร่ภายในตัวปลาส่งผลต่อการขับถ่ายของเสีย เมื่อได้รับปริมาณความเข้มข้นสูงอาจทำลายเนื้อเยื่อบางส่วนของอวัยวะต่าง ๆ รวมถึงทำให้สูญเสียความสามารถในการสืบพันธุ์หรือทำให้อัตราการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำลดลง (ณิฎฐารัตน์ และสมเกียรติ, 2526)

1.3.2.3 พิษของโลหะหนักทองแดงต่อสัตว์น้ำ

ทองแดงเป็นธาตุที่จำเป็นแก่สัตว์น้ำหลายชนิด เช่น พวก mollusk และ crustacean โดยเป็นส่วนประกอบของ haemocyanin ในเลือด แต่มีปริมาณทองแดงที่สูงเกินไปก็อาจเป็นพิษต่อสัตว์น้ำได้ และโลหะหนักทองแดงในบางรูป เช่น รูปของ $CuSO_4$ อาจทำให้เกิดตะกอนกับสิ่งที่เหงือกปลาขับออกมาและมีผลทำให้ปลาตายได้ เนื่องจากมีผลต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ผิดปกติและสารดังกล่าวยังทำลายเซลล์ที่อยู่ตามเหงือกปลาอีกด้วย (ณิฎฐารัตน์และสมเกียรติ, 2526)

1.3.2.4 พิษของสังกะสีต่อสัตว์น้ำ

สังกะสีมีผลต่อสัตว์น้ำคล้ายคลึงกับทองแดง คือเข้าไปทำลายเซลล์บริเวณซี่เหงือกและมีผลต่อระบบสืบพันธุ์วางไข่ นอกจากนี้ถ้ามีปริมาณมากเกินไปยังมีผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ (ณิฎฐารัตน์และสมเกียรติ, 2526)

1.4 ความเป็นพิษของโลหะหนักต่อมนุษย์

1.4.1 ตะกั่ว (Lead: Pb) เป็นโลหะที่อ่อนมากจึงดัดง่ายมาก มีสีขาวอมฟ้าเมื่อถูกตัดใหม่ ๆ แต่เมื่อทิ้งไว้จะถูกออกซิไดซ์เปลี่ยนเป็นสีเทาทึบ พบการกระจายอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม มีปริมาณเฉลี่ยบริเวณเปลือกโลกประมาณ 10-15 ไมโครกรัมต่อกรัม มีคุณสมบัติเด่นคือ ทนการกัดกร่อนจากสารเคมีได้ดี มีความยืดหยุ่นสูง และการนำไฟฟ้าต่ำ (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) จึงเป็นโลหะหนักอีกชนิดหนึ่งที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การเชื่อมโลหะหรือบัดกรี ผลิตพลาสติก หล่อตัวอักษรสำหรับเป็นตัวพิมพ์ สี แบตเตอรี่รถยนต์ และแผ่นหุ้มสายเคเบิ้ลไฟฟ้า (กรรนิการ์, 2552)

ตะกั่วเป็นธาตุที่ไม่มีประโยชน์สำหรับร่างกายทั้งพืชและสัตว์ ตรงกันข้ามกลับสร้างปัญหามลภาวะให้กับประชาชนด้วยการเพิ่มปริมาณตะกั่วตกค้างสะสมในสิ่งแวดล้อมคือในอากาศ ในดิน ในน้ำ ในพืช และในสัตว์ ซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน เพราะทั้งน้ำ พืช และสัตว์ที่ใช้เป็นอาหารมักจะปนเปื้อนด้วยตะกั่วซึ่งได้มาจากอุตสาหกรรมดังกล่าว

ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางปาก ทางจมูก และผิวหนัง โดยทางจมูกได้รับจากการทำงานที่สัมผัสตะกั่วโดยตรง ส่วนทางผิวหนังผ่านเฉพาะเมื่อมีบาดแผล ส่วนทางปากผ่าน

การกินอาหารที่มีการปนเปื้อนตะกั่ว เมื่อตะกั่วเข้าไปในร่างกายจะกระจายตัวไปที่น้ำเลือดและเนื้อเยื่ออ่อนอย่างรวดเร็ว โดยจะอยู่ในเม็ดเลือดแดงเป็นหลัก (95-99 เปอร์เซ็นต์) นอกจากนี้จะไปสะสมไว้ที่ตับ ไต ปอด ม้าม และกระดูก พิษของตะกั่วมีผลกระทบต่อการทำงานของอวัยวะและระบบต่าง ๆ เช่น ระบบประสาท ไต ต่อมไร้ท่อ และกระดูก ซึ่งขึ้นอยู่กับอายุและปริมาณของตะกั่วที่ได้รับ แต่ผลกระทบที่รุนแรงคือ เกี่ยวกับข้องกับการบกพร่องของพัฒนาการด้านการเรียนรู้และพฤติกรรมของเด็กทารกและเด็กเล็ก (กรรนิการ์, 2552)

1.4.2 แคดเมียม (Cadmium: Cd) เป็นธาตุที่ค่อนข้างหาได้ยาก มีอยู่น้อยในธรรมชาติ ลักษณะอ่อนนุ่ม สีขาวอมฟ้าหรือเงินเทา มีครึ่งชีวิตยาวนานมากประมาณ 20-40 ปี มักพบปนอยู่กับแร่สังกะสี ตะกั่ว ทองแดง และดีบุก ในธรรมชาติมักจะรวมตัวกับกำมะถันเป็นแคดเมียมซัลไฟด์ ซึ่งมีสีเหลืองอยู่ในแร่ grunockite และมักปนอยู่กับแร่สังกะสีซัลไฟด์ สำหรับในโรงงานถลุงสังกะสีพบว่าแคดเมียมเป็นผลพลอยได้ แคดเมียมมีความทนทานต่อการกัดกร่อนดีมากจึงใช้เพื่อเคลือบโลหะ นอกจากนั้นใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแก้วสี ปุ๋ย แบตเตอรี่ เชื่อมโลหะ ใช้ผสมกับซีลีเนียมในการผลิตสี ผสมในน้ำมันเครื่อง ยางและพลาสติก เป็นต้น (กรรนิการ์, 2552; นิธิยาและวิบูลย์, 2553)

แคดเมียมเป็นธาตุที่ไม่มีความจำเป็นต่อร่างกายและเป็นโทษต่อร่างกาย โดยร่างกายสามารถรับแคดเมียมได้ทั้งทางปาก และทางจมูก แต่พบว่าการดูดซึมจากการทำงานโดยผ่านการสูดดมผ่านปอดสูง 50 เปอร์เซ็นต์ การเกิดพิษจากการปนเปื้อนของแคดเมียมในร่างกายในปริมาณสูงทำให้คนหรือสัตว์เป็นหมันหรือเป็นมะเร็งได้ โรคความดันโลหิตสูง ส่งผลต่อไตและกระดูก และทำให้เกิดโรคโลหิตจางเนื่องจากแคดเมียมจะเข้าไปรบกวนการดูดซึมเหล็กเข้าร่างกายและมีผลเล็กน้อยที่ทำให้เม็ดเลือดแดงแตก นอกจากนี้พบว่าตับเป็นอวัยวะเป้าหมายหลักหนึ่งของการรับสัมผัสแคดเมียม แม้ว่าการทำงานของตับจะลดลงไม่มาก แต่พบระดับเอ็นไซม์ตับเพิ่มได้เล็กน้อยในน้ำเลือด ซึ่งส่งผลให้เนื้อตับตาย (กรรนิการ์, 2552)

1.4.3 ทองแดง (Copper: Cu) เป็นโลหะที่อ่อนดัดแปลงรูปได้ง่าย สีแดงอมชมพู เพราะมีสมบัติการนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี ทนต่อการผุกร่อน แข็งแรง ดึงเป็นเส้นและตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ นิยมใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ในการทำอุปกรณ์ไฟฟ้า สายไฟฟ้า อุปกรณ์เครื่องวิทยุ โทรทัศน์ โทรเลข โทรศัพท์ เครื่องจักรกล เครื่องยนต์ต่าง ๆ ตลอดจนเครื่องมือวิทยาศาสตร์และอาวุธยุทโธปกรณ์ต่าง ๆ เป็นส่วนประกอบสำคัญในโลหะผสมหลายชนิด เช่น ทองเหลือง ทองบรอนซ์ นอกจากนี้แล้วยังใช้ทำเครื่องประดับที่มีค่ารวมถึงงานศิลปะต่าง ๆ (กรมทรัพยากรธรณี, 2550; กรรนิการ์, 2552)

ทองแดงเป็นแร่ธาตุจำเป็นต่อสิงมีชีวิต และมีพิษด้วยเกลือของทองแดงมีพิษมากกว่าโลหะธาตุทองแดง โดยเฉพาะ copper sulfate ซึ่งใช้เป็นสารฆ่าเชื้อราและสาหร่าย ร่างกาย

สามารถรับทองแดงได้ทั้งทางปาก จมูกและการสัมผัส แต่การเกิดภาวการณ์กระตุ้นภูมิไว้ที่ผิวหนังจากสารประกอบทองแดงมีน้อยมาก ส่วนใหญ่จากการสูดดมและผ่านการกินอาหารที่มีการปนเปื้อนทองแดง

พิษของทองแดง ถ้าร่างกายมีการดูดซึมทองแดงปริมาณมาก จะทำให้เม็ดเลือดแดงแตกมากอย่างเฉียบพลันและปัสสาวะมีเลือด อาจเกิดเซลล์ตับตาย ร่วมกับอาการดีซ่าน ความดันโลหิตต่ำ หัวใจเต้นเร็ว หายใจเร็ว ไตเสื่อม ไตวายเฉียบพลัน และอาการทางระบบประสาทส่วนกลาง เช่น วิงเวียน ปวดศีรษะ และชักได้ โดยอวัยวะเป้าหมายหลักของทองแดงคือ ระบบทางเดินอาหาร ตับ ไต ระบบประสาทส่วนกลาง และระบบหัวใจและหลอดเลือด มีผลต่อระบบกล้ามเนื้อ ผิวหนัง หรือตา การเกิดพิษเรื้อรัง มีอวัยวะเป้าหมายหลักคือ ตับ ตัวอย่างเช่น โรควิลสัน (Wilson' s disease) เป็นโรคทางพันธุกรรม ที่เกิดจากการสะสมทองแดงเรื้อรัง เกิดจากการกินอาหารเสริมที่มีทองแดงปริมาณสูง หรือดื่มน้ำที่มีทองแดง อาการจากการรับสัมผัสเรื้อรังคือ ส่งผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลางและโลหิตจากเม็ดเลือดแดง แต่โลหิตที่เกิดขึ้นจากทองแดงนี้เป็นผลทุติยภูมิจากการตายของเซลล์ตับ ส่งผลให้มีการปล่อยทองแดงออกมาสู่กระแสเลือดแล้วเกิดการทำลายเม็ดเลือดแดง (กรรนิการ์, 2552)

1.4.4 สังกะสี (Zinc; Zn) เป็นโลหะที่แข็ง สีขาวเงินอมฟ้า พบมากในธรรมชาติในรูป Zinc sulfide, Zinc carbonate, Zinc oxide, Zinc silicate มีคุณสมบัติเด่นคือ ทนการกัดกร่อนจากสารเคมี มีความยืดหยุ่นดี และจุดหลอมเหลวต่ำ ส่วนใหญ่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบโลหะ เช่น เคลือบเหล็กป้องกันสนิม นอกจากนี้นิยมใช้ด้านอุตสาหกรรมงานก่อสร้าง อุตสาหกรรมขนส่ง อุปกรณ์ไฟฟ้า อุตสาหกรรมจักรกล การชุบสีอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อยืดอายุการใช้งาน การหล่อแม่พิมพ์ การผลิตทองเหลือง อุตสาหกรรมทางการแพทย์ เป็นต้น (กรมทรัพยากรธรณี, 2550; กรรนิการ์, 2552) สังกะสีเป็นแร่ธาตุกลุ่มที่ร่างกายต้องการเพียงเล็กน้อยแต่ก็มีความสำคัญ และจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อกระบวนการทำงานของระบบต่าง ๆ ที่ต้องใช้เอนไซม์ซึ่งมีสังกะสีเป็นองค์ประกอบ มีความสัมพันธ์กับพัฒนาการของเด็ก เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมและความสามารถในการเรียนรู้ และการทำงานของระบบสืบพันธุ์ โดยร่างกายสามารถรับสังกะสีได้จากทางจมูก และทางปาก ในสภาวะที่ร่างกายปกติปริมาณสังกะสีที่กินเข้ามา 20-30 เปอร์เซ็นต์ จะดูดซึมผ่านทางเดินอาหารได้ การดูดซึมของสังกะสีจะอยู่ภายใต้อิทธิพลของฟอสฟอรัส แคลเซียมและเส้นใยอาหาร แต่เมื่อดูดซึมเข้าแล้วสังกะสีก็จะกระจายไปทั่วร่างกายปริมาณมากสุดพบที่กล้ามเนื้อ กระดูก ทางเดินอาหาร สมอง ผิวหนัง ปอด หัวใจ และตับอ่อน เมื่ออยู่ในเลือดสังกะสีประมาณ 2 ใน 3 ส่วนจะจับอยู่กับโปรตีนอัลบูมิน เส้นทางการขับถ่ายหลักคือทางอุจจาระและส่วนน้อยขับถ่ายทางปัสสาวะ นอกจากนี้สังกะสีเข้าสู่ร่างกายจะไปสะสมที่ตับและไต และถ้ามีปริมาณมากจะไปทำลายอวัยวะภายใน ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง การทำงานของตับและไตล้มเหลว เกิดความผิดปกติของ

โครโมโซม หากได้รับเกิน 2 กรัม จะทำให้อาเจียน ท้องเสีย เป็นไข้ และทำให้ขาดธาตุทองแดง เนื่องจากการมีสังกะสีมาก ๆ เป็นการกระตุ้นให้เซลล์ลำไส้สร้าง Intestinal Binding Protein ซึ่งโปรตีนตัวนี้จะจับกับทองแดงได้ดีกว่าจับกับสังกะสี ทำให้ทองแดงอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถถูกดูดซึมได้ ร่างกายจึงไม่สามารถนำทองแดงมาใช้ได้ ทำให้เกิดสภาวะการขาดทองแดง (วรนันท์, 2538; กรรนิการ์, 2552)

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

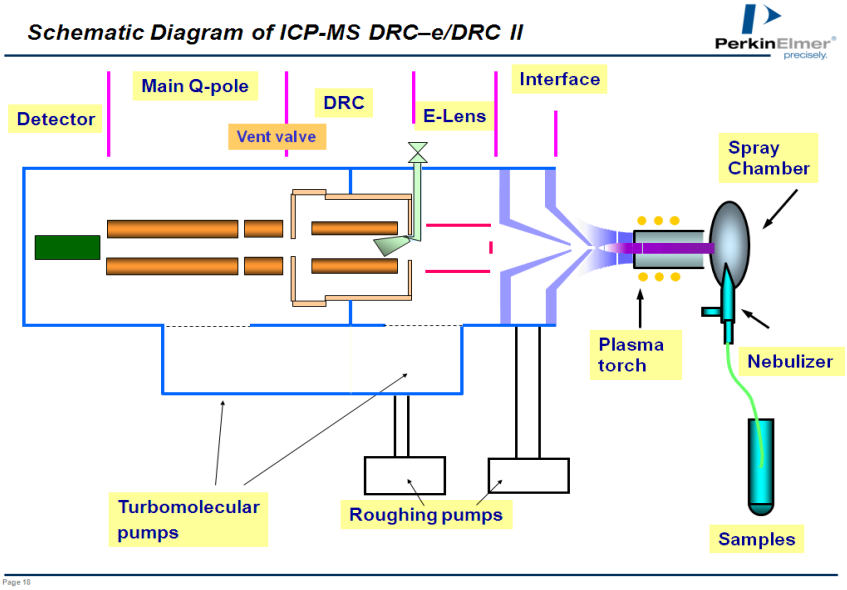
Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy (ICP-MS) เป็นวิธีการวิเคราะห์ธาตุโดยหลักการของอะตอมมิกสเปกโทรสโกปี (atomic spectroscopy) ซึ่งวิธีเป็นการวิเคราะห์โดยอาศัยกระบวนการคายพลังงานของอะตอม สามารถวิเคราะห์ธาตุได้พร้อมกันหลายตัวในเวลาเดียวกัน และมีความไวในการวิเคราะห์สูง สามารถวัดได้ในระดับต่ำมาก ระดับ part per billion (ppb) หรือ part per trillion (ppt) สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายประเภท เช่น ดิน น้ำ หิน แร่ พืช หรือสัตว์ (มาณพ, 2551; ลาวัลย์, 2552)

หลักการ

กระบวนการของการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-MS เป็นการใช้พลังงานจากพลาสม่าในการยิงอิเล็กตรอนให้หลุดจากวงแหวนชั้นนอกของอะตอม ทำให้เกิดไอออนประจุบวกของสารตัวอย่าง ไอออนนี้จะถูกแยกและวัดด้วยเครื่องแมสสเปกโทรมิเตอร์ ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้นของตัวอย่าง

วิธีการ คือ สารละลายที่ทำการวิเคราะห์จะถูกส่งเข้าเครื่อง โดยสารละลายจะถูกเปลี่ยนให้เป็นละอองลอย (aerosol) ด้วยกระบวนการ nebulization แล้วสารละลายตัวอย่างที่เป็นละอองนี้จะถูกพาเข้าพลาสม่าของ ICP torch ซึ่งพลาสมาเผาตัวอย่างให้แตกตัวเป็นอะตอมหรือไอออน โดยใช้ Argon plasma จากนั้นไอออนที่เกิดขึ้นในพลาสมาจะมาที่อินเทอร์เฟส (Interface) ซึ่งประกอบด้วย sample cone และ skimmer cone ตามลำดับ ผลจากรูปทรงของอินเทอร์เฟสนี้ทำให้ความดันลดลง จากความดันบรรยากาศมาสู่ความดันสุดท้ายมีค่าประมาณ 10^{-5}-10^{-7}Torr ไอออนเดินทางผ่านอินเทอร์เฟสมาที่ระบบ ion optic ซึ่งทำหน้าที่ปรับเส้นทางการเดินของไอออน เพื่อให้ได้ความไวในการตรวจวัดสูงสุด องค์ประกอบที่เป็นกลางคือ ที่ไม่มีประจุ จะถูกกำจัดออกจากลำอนุภาคในชั้นนี้โดยปั๊มสุญญากาศ หรือโดยการชนกับ photon ทำให้มีแต่ไอออนเพียงลำพังที่สามารถผ่านไปที่ mass spectrometer จากนั้นจึงแยกไอออนออกเป็นส่วน ๆ โดยอาศัยความแตกต่างของสัดส่วนของมวลต่อประจุ (m/z) ของไอออนแต่ละชนิด โดยใช้ quadrupole ก่อนตรวจวัดปริมาณด้วย electron multiplier detector เพื่อวัดออกมาเป็นสัญญาณซึ่งสามารถ

เปลี่ยนเป็นความเข้มข้นได้ ในการควบคุมแต่ละขั้นตอนตลอดจนข้อมูลที่ได้จะถูกพิมพ์หรือเก็บไว้ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (ภาพที่ 1-6) (มาณพ, 2551; ลาวัลย์, 2552; Thomas, 2004)



ภาพที่ 1-6 องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง Inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS)
ที่มา : บริษัทเพอร์กินเอลเมอร์จำกัด, 2551

โดยในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ในเนื้อเยื่อสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ แบ่งเป็น 5 ชนิดได้แก่ ปลาผิวน้ำคือปลาทู(*Rastrelliger brachysoma*), ปลาหน้าดินคือปลาเห็ดโคน (*Sillago sihama*) กุ้งคือกุ้งแชบ๊วย (*Penaeus merguiensis*) หมึกคือหมึกหอม (*Sepioteuthis lessoniana*) และปูคือปูม้า (*Portunus pelagicus*) ซึ่งจากข้อมูลการวิเคราะห์โลหะหนักในพื้นที่ต่าง ๆ ในเนื้อเยื่อของปลา กุ้ง และปูม้า สามารถตรวจพบปริมาณโลหะหนักที่มีค่าต่ำมาก เครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนัก Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy (ICP-MS) มี detection limit ต่ำและมีความไวสูง สามารถระบุความเข้มข้นของธาตุได้ระดับ part per billion (ppb) จึงเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อสัตว์ทะเลเศรษฐกิจชนิดต่าง ๆ สำหรับการวิจัยในครั้งนี้

1.6 การปนเปื้อนของโลหะหนักในสัตว์น้ำ

การปนเปื้อนของโลหะหนักในสัตว์สัตว์น้ำเป็นอีกเรื่องหนึ่งที่ประชาชนให้ความสนใจ เพราะอาจส่งผลต่อสุขภาพจากการบริโภคอาหารที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก เนื่องจากโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมจะสะสมอยู่ในแหล่งน้ำและตะกอนดินและมีการถ่ายทอดในห่วงโซ่อาหาร (มลิวรรณ, 2545; วรวิทย์, 2547; Fabris *et al*., 2006) เมื่อสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในแหล่งน้ำมีโอกาสในการสะสมปริมาณโลหะหนัก และมีการถ่ายทอดผ่านทางห่วงโซ่อาหาร ทำให้มนุษย์ซึ่งเป็นผู้บริโภคลำดับสูงสุดในห่วงโซ่อาหารมีโอกาสรับและสะสมโลหะหนักในร่างกาย ซึ่งมีความเสี่ยงที่จะได้รับอันตรายต่อสุขภาพจากการบริโภคอาหารที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก ดังนั้นจึงทำให้มีผู้สนใจศึกษาการปนเปื้อนของโลหะบางชนิดในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจและอาหารทะเลจากพื้นที่ต่าง ๆ ดังตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 งานวิจัยที่ศึกษาการปนเปื้อนปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจในแต่ละพื้นที่

พื้นที่ศึกษา	ชนิดสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ	ปีที่ศึกษา	โลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก)				เอกสารอ้างอิง
			ตะกั่ว	แคดเมียม	ทองแดง	สังกะสี	
ชายฝั่งตะวันออกของอ่าวไทย	ปลาทู *Rastrelliger brachysoma*	2538	-	-	-	-	ศุภวัตรและคณะ (2542)
สะพานปลากรุงเทพฯ	ปลาทู *Rastrelliger brachysoma*	2541-2542	0.305±0.100	0.096±0.060	-	-	สุภาพรและนิรชา (2554)
	ปลาลัง *Rastrelliger karnagurta*		0.233±0.028	0.042±0.008	-	-	
แหล่งประมงฝั่งอ่าวไทย (จ.ตราด ถึง จ.ปัตตานี)	ปลาทู *Rastrelliger brachysoma*	2546-2548	0.142	0.149	1.7	-	สมชายและคณะ (2551)
แหล่งประมงฝั่งอันดามัน (จ.ระนอง ถึง จ.สตูล)	ปลาลัง *Rastrelliger karnagurta*		0.205	0.167	1.98	-	
	ปลาทู *Rastrelliger brachysoma*		0.091	0.064	1.56	-	
	ปลาลัง *Rastrelliger karnagurta*		0.061	0.06	1.28	-	
อ่าวเบงกอลและทะเลอันดามัน	ปลาลัง *Rastrelliger karnagurta*	2550	-	0.043±0.011	-	-	สุภาพร (2552)
แหลมฉบังถึงนาเกลือจังหวัดชลบุรี	ปลาเห็ดโคน *Sillago sihama*	มิ.ย.50	‹0.006	0.007	0.038	7.74	แววตาและคณะ (2552)
		ส.ค.50	‹0.006	0.006	0.186	6.36	
Agusan River, Philippines	ปลาเห็ดโคน *Sillago sihama*	-	-	-	-	-	Roa และคณะ (2010)
อ่าวนครศรีธรรมราช	กุ้งแชบ๊วย *Penaeus merguiensis*		0.021-0.741	0.008-0.245	-	-	สมชายและคณะ (2549)
เกาะลอยถึงโรงกลั่นน้ำมันไทยออยล์ จังหวัดชลบุรี	กุ้งแชบ๊วย *Penaeus merguiensis*	มิ.ย.50	0.012	0.078	105.3	19	แววตาและคณะ (2552)
สะพานปลา จ.สมุทรปราการ	หมึกหอม *Sepioteuthis lessoniana*	2529-2531	-	0.09±0.07	2.06±0.72	10.39±1.90	อรพินท์ (2536)

ตารางที่ 1-1 (ต่อ)

พื้นที่ศึกษา	ชนิดสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ	ปีที่ศึกษา	โลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก)				เอกสารอ้างอิง
			ตะกั่ว	แคดเมียม	ทองแดง	สังกะสี	
ชายฝั่งตะวันออกของอ่าวไทย	หมึกหอม *Sepioteuthis lessoniana*	2538	-	-	-	-	ศุภวัตรและคณะ (2542)
อ่าว Seine ประเทศฝรั่งเศส	หมึกหอม *Sepioteuthis lessoniana*	1989-1991	0.65±0.05	2.03±0.07	104±3.0	145±7.0	Miramand และคณะ (2006)
อ่าวนครศรีธรรมราช	ปูม้า *Portunus pelagicus*	2551-2552	-	0.01	-	-	ฉัตรชัยและจันทิรา (2553)

1.7 เกณฑ์มาตรฐานปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี

ระดับของตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสีในสิ่งแวดล้อมในแต่ละพื้นที่มีค่ามากน้อยแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิศาสตร์ของแต่ละพื้นที่รวมถึงปัจจัยทางธรณีเคมีวิทยาและกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบริเวณดังกล่าว ดังนั้นในการตรวจสอบว่าในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งพบปริมาณโลหะหนักในสัตว์น้ำในระดับใดและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตบริเวณนั้นหรือไม่ ส่งผลต่อสุขภาพผู้บริโภคหรือไม่นั้นจะต้องเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของแต่ละพื้นที่เป็นหลัก ซึ่งแต่ละประเทศได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานปริมาณโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1-2 ระดับของโลหะหนักที่อนุญาตให้มีได้ในสัตว์น้ำ (หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก) ในประเทศต่าง ๆ

เกณฑ์มาตรฐานประเทศ	ประเภทผลิตภัณฑ์	ตะกั่ว	แคดเมียม	ทองแดง	สังกะสี	เอกสารอ้างอิง
ไทย	อาหาร	1	-	20	100	กระทรวงสาธารณสุข (2529)
ไทย (ส่งออก EU)	ปลา	0.3	0.05	-	-	กองตรวจสอบรับรองมาตรฐานคุณภาพสัตว์น้ำ และ
ไทย (ส่งออก EU)	กุ้ง กั้ง ปู	0.5	0.5	-	-	ผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ (2554)
ไทย (ส่งออก EU)	หอย 2 ฝา	1.5	1	-	-	"
ไทย (ส่งออก EU)	หมึก	1	1	-	-	"
EU	ปลา	0.3	0.05	-	-	Barroso (2014)
EU	กุ้ง กั้ง ปู	0.5	0.5	-	-	"
EU	หอย 2 ฝา	1.5	1	-	-	"
EU	หมึก	1	1	-	-	"
ออสเตรเลียและนิวซีแลนด์	หอยและหมึก	2	2	-	-	Australian Government ComLaw (2015)
ออสเตรเลียและนิวซีแลนด์	ปลา	0.5	-	-	-	"
จีน	ปลา	0.5	0.1	-	-	Woolsey (2010)
จีน	กุ้ง กั้ง ปู	0.5	0.5			"
จีน	หอย	1.5	2	-	-	"
แคนาดา	ปลาและผลิตภัณฑ์ปลา	10	-	100	100	Uthe and Bligh (1971)
ทัสมาเนีย	ปลา	-	5.5	30	40	Eustace (1974)
รัสเซีย	ปลา	1	0.2	-	-	Haas (2012)
รัสเซีย	กุ้ง กั้ง ปู หอย และหมึก	10	2	-	-	"

1.8 ลักษณะพื้นที่จังหวัดสตูล

1.8.1 ที่ตั้งและอาณาเขตจังหวัดสตูล เป็นจังหวัดสุดเขตชายแดนภาคใต้ของประเทศไทย ด้านฝั่งทะเลอันดามัน ห่างจากกรุงเทพฯ 973 กิโลเมตร มีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดใกล้เคียงดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับอำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา อำเภอป่าบอน จังหวัดพัทลุงและอำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง
ทิศใต้	ติดต่อกับรัฐเปอร์ลิสและรัฐเคดาห์ ประเทศมาเลเซีย
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับอำเภอสะเดา จังหวัดสงขลาและรัฐเปอร์ลิสประเทศมาเลเซีย
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับทะเลอันดามัน มหาสมุทรอินเดีย

โดยพื้นที่บนบกมีเทือกเขาบรรทัดและสันกาลาคีรีเป็นเส้นกั้นอาณาเขตระหว่างจังหวัดสตูลกับจังหวัดอื่น ๆ และประเทศมาเลเซีย (สำนักงานจังหวัดสตูล, 2557)

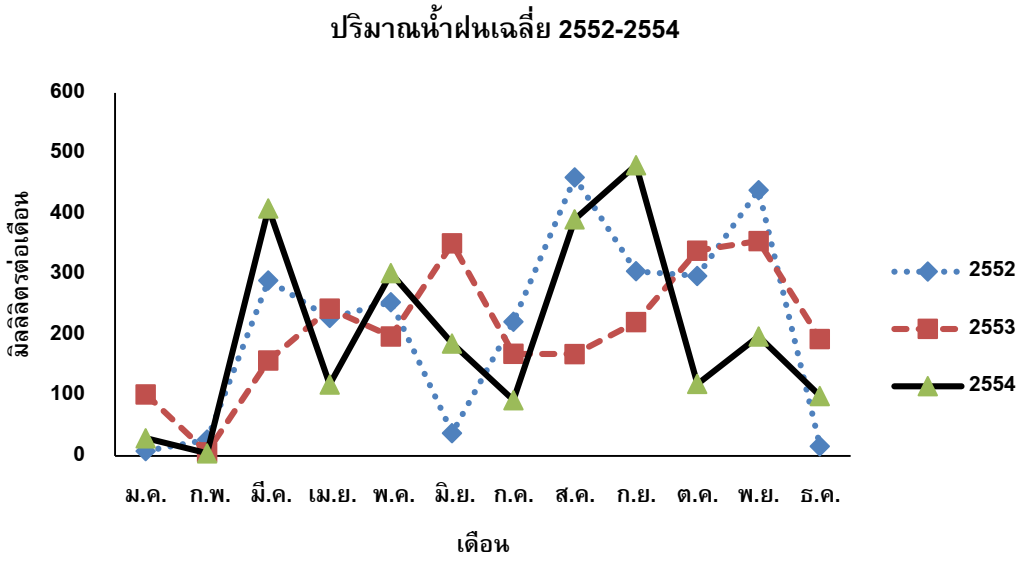
1.8.2 ลักษณะภูมิประเทศ

พื้นที่ทางทิศเหนือ และทิศตะวันออกเป็นเนินเขาและภูเขาสูง โดยมีเทือกเขาสำคัญ ๆ คือ ภูเขาสันกาลาคีรี พื้นที่ค่อย ๆ ลาดเอียงลงสู่ทะเลด้านตะวันตก และทิศใต้มีที่ราบแคบ ๆ ขนานไปกับชายฝั่งทะเล ถัดจากที่ราบลงไปเป็นป่าชายเลน น้ำเค็มขึ้นถึง มีป่าแสมหรือป่าโกงกางอยู่เป็นจำนวนมาก นอกจากนั้นจังหวัดสตูลเป็นจังหวัดที่มีลำน้ำสายสั้น ๆ ไหลผ่านซึ่งเกิดจากภูเขาโดยรอบ พื้นที่ทางตอนเหนือ และทิศตะวันออกของจังหวัดประกอบด้วยภูเขามากมายสลับซับซ้อนโดยมีทิวเขานครศรีธรรมราชแบ่งเขตจังหวัดสตูลกับจังหวัดสงขลา และทิวเขาสันกาลาคีรีแบ่งเขตประเทศไทยและประเทศมาเลเซีย นอกจากนั้น ยังมีภูเขาน้อยใหญ่อยู่กระจัดกระจายในตอนล่างและชายฝั่งตะวันตก ภูเขาที่สำคัญ ได้แก่ เขาจีน เขาบารัง เขาหัวกาหมิง เขาใหญ่ เขาทะนาน เขาควนกาหลง และเขาโต๊ะพญาวัง มีลำน้ำธรรมชาติที่สำคัญ ได้แก่ คลองบาราเกต คลองท่าจีน คลองลำโลนน้อย คลองกำบัง และคลองละงู ซึ่งมีความยาวประมาณ 73 กิโลเมตร ต้นน้ำอยู่บริเวณเทือกเขาด้านใต้ของจังหวัดตรังและสงขลา ไหลมาทางด้านเหนือของจังหวัดตามแนวเส้นแบ่งเขตอำเภอละงู และอำเภอควนกาหลง ความยาวประมาณ 47 กิโลเมตร ไหลมาบรรจบกับคลองปากบารา (สำนักงานจังหวัดสตูล, 2557)

1.8.3 ลักษณะภูมิอากาศ

พื้นที่จังหวัดสตูลได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดผ่านอ่าวไทย และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากมหาสมุทรอินเดีย ลักษณะภูมิอากาศเป็นแบบร้อนชื้น มี 2 ฤดู คือ ฤดูร้อนกับฤดูฝน ฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเมษายน ระยะนี้เป็นช่วงว่างของฤดูมรสุมจะมีลมจากทิศตะวันออกเฉียงใต้พัดปกคลุม ทำให้มีอากาศร้อนอบอ้าวทั่วไป เดือนที่มีอากาศร้อนที่สุดคือเดือนมีนาคม ส่วนฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนธันวาคม ซึ่งเป็นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศไทยและในช่วงปลายฤดูฝนจะมีร่องความกดอากาศต่ำเลื่อน

ลงมาปกคลุมทำให้มีฝนตกมากที่สุดในเดือนสิงหาคมและกันยายน ระหว่างปี 2552-2554 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 2,504.7 มิลลิลิตรต่อปี ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนดังแสดงในภาพที่ 1-7 และปริมาณน้ำฝนระหว่างปี 2551-2556 เฉลี่ย 2,507.7 มิลลิลิตรต่อปี ฝนตกชุกในเดือนสิงหาคมและกันยายน (ตารางที่ 1-3)



ภาพที่ 1-7 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยปี พ.ศ. 2552-2554

ที่มา : สำนักงานจังหวัดสตูล, 2557

ตารางที่ 1-3 ปริมาณน้ำฝน และจำนวนวันที่ฝนตกระหว่างปี พ.ศ. 2551-2556

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำฝน (มม.)	จำนวนวันที่ฝนตก	ปริมาณฝนที่ตกมากใน 24 ซม. (มม.)	วันที่และเดือน
2551	2,382.2	177	93.5	24 ตุลาคม
2552	2,584.2	170	115.0	22 สิงหาคม
2553	2,549.1	205	125.8	31 ตุลาคม
2554	2,427.5	195	120.0	10 กันยายน
2555	2,595.7	195	125.0	14 มกราคม
2556	2,155.3	167	120.8	9 มิถุนายน

ที่มา : สำนักงานจังหวัดสตูล, 2557

1.8.4 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

ประชาชนส่วนใหญ่ในอำเภอละงู จังหวัดสตูลประกอบอาชีพเกษตรกรรม ได้แก่ การทำสวนยางพารา ปาล์มน้ำมัน การทำนา การทำสวนไม้ผล และประมง ส่วนการทำเหมืองแร่จะอยู่ในเขตอำเภอควนกาหลง อำเภอทุ่งหว้า ซึ่งมีแหล่งกำเนิด ได้แก่ แร่แบไรต์ แร่หิน แร่พลวง แร่

ทองคำ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้ประโยชน์พื้นที่ชายฝั่งในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง เช่น การเลี้ยงปลา และการเลี้ยงกุ้งทะเล รวมถึงกิจกรรมการท่องเที่ยวทางทะเลเนื่องจากมีอุทยานแห่งชาติและหมู่เกาะที่ได้รับความนิยมจากนักท่องเที่ยวหลายแห่ง เช่น อุทยานแห่งชาติตะรุเตา เกาะอาดัง เกาะหลีเป๊ะ เกาะหินงาม เกาะบุ-โหลน เป็นต้น

ส่วนอาชีพทางด้านอุตสาหกรรมพื้นที่จังหวัดสตูลมีจำนวนโรงงานทั้งหมดข้อมูลปี 2556 จำนวน 308 โรงงาน อุตสาหกรรมที่มีการลงทุนมากที่สุด คือ อุตสาหกรรมอาหารประกอบด้วย การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ การผลิตอาหารทะเลบรรจุกระป๋อง อุตสาหกรรมยาง และอุตสาหกรรมไม้และผลิตภัณฑ์จากไม้ ส่วนอุตสาหกรรมอื่น ๆ ซึ่งโรงงานส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในเขตอำเภอเมืองสตูล อยู่มากที่สุดจำนวน 109 โรง คิดเป็น 36 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคืออำเภอละงู จำนวน 70 โรง คิดเป็น 24 เปอร์เซ็นต์ และอำเภอควนกาหลง จำนวน 39 โรง คิดเป็น 13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (สำนักงานจังหวัดสตูล, 2557) ได้แสดงจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมจังหวัดสตูล ปีพ.ศ. 2556 รายละเอียดดังนี้ (ตารางที่ 1-4)

ตารางที่ 1-4 จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมจังหวัดสตูล ปี พ.ศ. 2556

สาขาอุตสาหกรรม	**จำนวนโรงงาน (โรง)**
อุตสาหกรรมการเกษตร (โรงสีข้าว)	90
อุตสาหกรรมไม้และผลิตภัณฑ์จากไม้ (แปรรูปไม้ยางพารา)	34
อุตสาหกรรมอาหาร (สกัดน้ำมันปาล์มดิบ อาหารทะเลบรรจุกระป๋อง น้ำแข็ง)	28
อุตสาหกรรมยาง (ยางแผ่นผึ่งแห้ง/รมควัน ยางแผ่นแท่งมาตรฐาน STR-5L 20L)	21
อุตสาหกรรมขนส่ง (ต่อและซ่อมเรือ ซ่อมรถยนต์/จักยานยนต์)	21
อุตสาหกรรมผลิตอโลหะ (อิฐก่อสร้าง ผลิตซีเมนต์)	14
อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ซ่อมโลหะ (โรงกลึง เหล็กดัด)	10
อุตสาหกรรม ปิโตรเคมีและผลิตภัณฑ์ (ผลิตแอสฟัลติคคอนกรีต)	3
อุตสาหกรรมเครื่องจักรกล (ซ่อมเครื่องยนต์และอุปกรณ์เครื่องยนต์)	2
อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์และเครื่องเรือน	2
อุตสาหกรรมสิ่งพิมพ์	1
อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม	1
อุตสาหกรรมประเภทอื่น ๆ (โรงโม่หิน ขุดตักดิน ดูดทราย ห้องเย็น)	81
รวม	**308**

ที่มา : สำนักงานจังหวัดสตูล, 2557

บทที่ 2
วิธีการศึกษา

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสีในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจบางชนิด จากการทำประมงชายฝั่ง อำเภอละงู จังหวัดสตูล ระหว่างเดือนพฤษภาคม 2555 ถึงเดือนมีนาคม 2556 วิธีการดำเนินการวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 พื้นที่ศึกษา

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ดำเนินการวิจัยโดยเก็บตัวอย่างสัตว์ทะเลเศรษฐกิจจากแพปลาชุมชนในพื้นที่อำเภอละงู จังหวัดสตูล เนื่องจากสัตว์ทะเลเศรษฐกิจที่จับจากการประมงพื้นบ้าน 60 เปอร์เซ็นต์ ผ่านระบบตลาดแพปลาชุมชนเพื่อจำหน่ายแก่พ่อค้าแม่ค้ารายย่อยที่มาซื้อเพื่อนำไปจำหน่ายในพื้นที่ ส่วนอีก 40 เปอร์เซ็นต์ ถูกจำหน่ายแก่พ่อค้าแม่ค้าที่เป็นนายทุนที่เป็นผู้ให้สินเชื่อปัจจัยการผลิตแก่ชาวประมง (สำนักงานประมงจังหวัดสตูล, 2555) และการทำประมงพื้นบ้านส่วนใหญ่จะมีระยะในการทำประมงห่างฝั่งไม่เกิน 5 กิโลเมตร (ภาพที่ 2-1)

ภาพที่ 2-1 แผนที่สถานีเก็บตัวอย่างอำเภอละงู จังหวัดสตูล
ที่มา : Thinknet Company Limited, 2008

2.2 วิธีการเก็บตัวอย่าง

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างสัตว์ทะเลเศรษฐกิจจากแพปลาชุมชนในพื้นที่อำเภอละงู จังหวัดสตูล ที่จับได้ด้วยเครื่องมือประมงพื้นบ้าน และเป็นชนิดสัตว์ทะเลเศรษฐกิจที่จับได้เกือบตลอดทั้งปี (กำพลและคณะ, 2556) ทุก 2 เดือน จำนวน 5 ชนิดสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ ได้แก่ ปลาผิวน้ำ เก็บตัวอย่างปลาทู (ขนาด 15-18 ตัวต่อกิโลกรัม) ปลาหน้าดิน เก็บตัวอย่างปลาเห็ดโคน

(ขนาด 30-40 ตัวต่อกิโลกรัม) กุ้ง เก็บตัวอย่างกุ้งแชบ๊วย (ขนาด 20-30 ตัวต่อกิโลกรัม) หมึก เก็บตัวอย่างหมึกหอม (ขนาด 1-4 ตัวต่อกิโลกรัม) และ ปู เก็บตัวอย่างปูม้า (ขนาด 5-10 ตัวต่อกิโลกรัม) จำนวน 10 ตัวอย่างต่อชนิดสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ แล้วแยกชนิดสัตว์ทะเลเศรษฐกิจบรรจุในถุงพลาสติก บันทึกเวลา สถานที่เก็บ หลังจากนั้นนำไปแช่เย็นในถังน้ำแข็งแล้วนำไปเก็บรักษาด้วยการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อดำเนินการวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการต่อไป

2.3 วิธีเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

2.3.1 การทำความสะอาดอุปกรณ์และภาชนะ

ทำความสะอาดอุปกรณ์ทั้งหมดที่ต้องใช้ในห้องปฏิบัติการทางเคมี โดยใช้ดีเทอร์เจนต์ (detergent) ทำความสะอาดและล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน (Deionzed water, DI water) ส่วนอุปกรณ์เครื่องแก้วเมื่อล้างทำความสะอาดแล้วจะแช่ใน 10 เปอร์เซ็นต์ HNO_3 ไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง จากนั้นจะล้างให้หมดฤทธิ์กรดด้วยน้ำปราศจากไอออนอย่างน้อย 3 ครั้ง ผึ่งให้แห้งในห้องปฏิบัติการปลอดฝุ่น เก็บใส่ภาชนะจัดเก็บที่สะอาด และปิดผนึกจนกว่าจะนำมาใช้ในงานวิจัยต่อไป

2.3.2 การเตรียมตัวอย่างสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ

1. นำตัวอย่างที่แช่แข็งมาละลายที่อุณหภูมิห้อง บันทึกน้ำหนักและความยาว ตัวอย่างปลาแล่เฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อและหนังไม่ให้ติดส่วนของอวัยวะภายใน ตัวอย่างกุ้งแกะเปลือกและหัวใช้ส่วนที่เป็นเนื้อทั้งตัวไม่รวมลำไส้ ตัวอย่างหมึกใช้เฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อและหนังทั้งหมดไม่รวมเครื่องใน และตัวอย่างปูแยกเอาเฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อ (ภาพที่ 2-2) จากนั้นนำตัวอย่างเนื้อสัตว์ทะเลเศรษฐกิจแต่ละชนิดที่เตรียมไว้มาบดให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องบดไฟฟ้า

ภาพที่ 2-2 วิธีการเตรียมเนื้อเยื่อสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ

2. นำตัวอย่างเนื้อที่บดละเอียดแล้วมาชั่งด้วยเครื่องชั่งชนิดละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ให้ได้น้ำหนัก 1 กรัม นำใส่ในหลอดแก้ว 150 มิลลิลิตร เติมกรดไนตริก (HNO_3) เข้มข้น 5 มิลลิลิตร ปิดฝาแล้ววางในเครื่องย่อยตัวอย่าง (Block Digestion System) ที่ตั้งอุณหภูมิไว้ 140 องศาเซลเซียส นาน 2.5 ชั่วโมง แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น (ภาพที่ 2-3) ถ่ายสารละลายที่ย่อยได้ลงใน volumetric flask ขนาด 25 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 25 มิลลิลิตร ตามวิธีของ AOAC (2000)

ภาพที่ 2-3 การชั่งตัวอย่างและการย่อยตัวอย่างด้วยเครื่องย่อย (Block Digestion System)

2.3.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานรวม (Mixed Standards) โลหะหนักตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสีเพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน

โลหะหนักตะกั่ว และแคดเมียม เตรียมระดับความเข้มข้น 5, 50 และ 100 ไมโครกรัมต่อลิตร ส่วนโลหะหนักทองแดง และสังกะสี เตรียมระดับความเข้มข้น 50, 500 และ 1,000 ไมโครกรัมต่อลิตร

2.3.4 การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ในตัวอย่างสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ

นำสารละสายที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างในข้อ 2.3.2 เข้าเครื่อง inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS) ยี่ห้อ Perkin Elmer SCIEX รุ่น ELAN DRC-e โดยเครื่องจะดูดสารละลายเข้าไปในระบบการทำงานของเครื่อง แล้วประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถอ่านค่าปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ที่มีค่าความเข้มข้นเป็นหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ที่เตรียมในข้อ 2.3.3

2.3.5 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. ดำเนินการโดยในทุกรอบของการย่อยตัวอย่าง จะทำย่อยโดยไม่ใช้ตัวอย่าง (Blank) และ DORM-3 (สารอ้างอิงมาตรฐานซึ่งมีค่าความเข้มข้นที่แน่นอนกำกับไว้) รอบละ 2 ซ้ำ จำนวน 6 ครั้ง ซึ่งผลการศึกษารายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3-1

- สารอ้างอิงมาตรฐาน (Certified Reference Materials: CRM) DORM-3 (Fish Protein Certified Reference Material for Trace Metals) ของ National Research Council of Canada

2. ดำเนินการวิเคราะห์ซ้ำตัวอย่าง 40 ตัวอย่างจาก 360 ตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.3.6การวิเคราะห์หาความชื้น

การวิเคราะห์หาความชื้นมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ ดังนี้

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำภาชนะออกจากตู้อบไปใส่ไว้ในโถดูดความชื้นจนกระทั่งอุณหภูมิภาชนะเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนักภาชนะ ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2. ทำซ้ำในข้อที่ 1 แล้วอ่านผลจากการชั่งครั้งที่สองหากน้ำหนักภาชนะจากการชั่งครั้งที่หนึ่ง และสองมีค่าผลต่างของน้ำหนักของภาชนะไม่เกิน 3 มิลลิกรัมก็จะได้น้ำหนักที่แน่นอนของภาชนะ กรณีที่น้ำหนักเกิน 3 มิลลิกรัม ให้ทำซ้ำในข้อที่ 1 จนได้ผลต่างจากการชั่งไม่เกิน 3 มิลลิกรัม

3. เมื่อได้น้ำหนักที่แน่นอนของภาชนะ ชั่งตัวอย่างสัตว์ทะเลเศรษฐกิจที่บดละเอียดที่เตรียมในข้อ 2.3.2 ข้อที่ 1 ปริมาณ 3-5 กรัม (ขึ้นอยู่กับขนาดของชนิดสัตว์ทะเลเศรษฐกิจที่นำมาวิเคราะห์ เช่น ปลาทู หมึกหอม และปูม้า ตัวอย่างสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ 1 ตัว จะได้ปริมาณเนื้อเยื่อค่อนข้างมาก จึงใช้ตัวอย่างในการวิเคราะห์หาความชื้นปริมาณ 5 กรัมต่อ 1 ตัวอย่าง ส่วนสัตว์ทะเลเศรษฐกิจที่มีขนาดเล็ก คือ ปลาเห็ดโคน และกุ้งแชบ๊วย จะได้ปริมาณเนื้อเยื่อน้อย จึงใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยกว่าสัตว์ทะเลเศรษฐกิจที่มีขนาดใหญ่) ใส่ลงในภาชนะที่ผ่านการวิเคราะห์หาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอน วิเคราะห์หาความชื้นจำนวน 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง หลังจากนั้นนำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วนำภาชนะพร้อมตัวอย่างออกจากตู้อบใส่ไปไว้ในโถดูดความชื้นจนกระทั่งอุณหภูมิภาชนะเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่าง

4. อบภาชนะพร้อมตัวอย่างซ้ำจนได้ผลต่างของน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่าง ที่ชั่งน้ำหนักไม่เกิน 3 มิลลิกรัมจึงจะได้ค่าน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่างเพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

5. คำนวณปริมาณความชื้นโดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น} = \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบและหลังอบ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}}$$

โดยผลการศึกษาปริมาณความชื้นในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจทั้ง 5 ชนิดที่ศึกษา คือปลาทู ปลาเห็ดโคน กุ้งแชบ๊วย หมึกหอม และปูม้า พบว่าในแต่ละชนิดของสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ และแต่ละตัวอย่างที่ทำการศึกษามีค่าปริมาณความชื้นที่แตกต่างกัน ซึ่งในการคำนวณเทียบปริมาณโลหะหนักให้อยู่ในรูปแบบน้ำหนักแห้งนั้น ใช้วิธีการคำนวณโดยเทียบกับความชื้นในแต่ละตัวอย่าง ทั้งนี้ได้สรุปเปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยของสัตว์ทะเลเศรษฐกิจแต่ละชนิดที่ศึกษา รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3-2

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเบื้องต้น (descriptive statistics) โดยหาค่าเฉลี่ย (mean) ค่ากลาง (median) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ค่าต่ำสุด (minimum) ค่าสูงสุด (maximum) ของข้อมูลปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองทอง และสังกะสี ในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจแต่ละชนิด และวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ One Way ANOVA เพื่อเปรียบเทียบปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสีที่พบในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจแต่ละชนิดในพื้นที่ศึกษา และระยะเวลาในรอบปีต่อการปนเปื้อนตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี หากพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จะนำค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจแต่ละชนิดไปเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยรายคู่ โดยใช้สถิติ Duncan's multiple range test

2.5 วัสดุและอุปกรณ์

1. อุปกรณ์สำหรับการปฏิบัติงานในภาคสนาม
    1. ลังโฟมสำหรับเก็บรักษาตัวอย่างสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ
    2. ถุงพลาสติกเก็บตัวอย่างสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ
2. อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ
    1. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
    2. กระดานวัดความยาวสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ
    3. ถาด/กะละมัง ถุงพลาสติก
    4. อุปกรณ์ชำแหละตัวอย่าง: มีดผ่าตัด, กรรไกรผ่าตัด, เขียง, ถุงมือยาง
    5. ปิเปต (Pipette) ขนาด 1 และ 5 มิลลิลิตร
    6. บีกเกอร์ (Beaker)
    7. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 25 มิลลิลิตร
    8. หลอดย่อยตัวอย่างพร้อมฝาปิดหลอดย่อยตัวอย่าง (Tear drop) ขนาด 100 มิลลิลิตร
    9. หลอดพลาสติกกันแหลม (Centrifuge tube) ขนาด 15 และ 50 มิลลิลิตร
    10. ป้ายติดชื่อตัวอย่าง (Label)

11. เครื่องบดไฟฟ้า
12. ตู้แช่สำหรับเก็บตัวอย่างสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ
13. ตู้อบไฟฟ้า (Oven)
14. โถดูดความชื้น (Desiccator)
15. ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
16. เครื่องย่อยตัวอย่าง (Block Digestion System)
17. เครื่องวัดปริมาณโลหะหนัก (Inductively coupled plasma mass Spectrometer (ICP-MS) ยี่ห้อ Perkin Elmer SCIEX รุ่น ELAN DRC-e
18. เครื่อง Nanopure ultrapure water system ยี่ห้อ Barnstead รุ่น D4700

3. สารเคมีสำหรับย่อยตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่างสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ
   1. กรดไนตริกเข้มข้น suprapure HNO_3
   2. กรดไนตริก AR grade
   3. สารละลายมาตรฐาน (Multi-Element Calibration Standard, Pb Cd Cu และ Zn)
   4. ก๊าซ Argon ความบริสุทธิ์ 99.999 เปอร์เซ็นต์
   5. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water, DI water)

บทที่ 3
ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

การศึกษาปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจจากการทำประมงชายฝั่ง อำเภอละงู จังหวัดสตูล ชนิดของสัตว์ทะเลเศรษฐกิจที่ทำการศึกษาทั้งหมด 5 ชนิด คือ ปลาทู ปลาเห็ดโคน กุ้งแชบ๊วย หมึกหอม และปูม้า จากแพปลาชุมชนอำเภอละงู จังหวัดสตูล ในระหว่างเดือนพฤษภาคม 2555 ถึงมีนาคม 2556 เก็บตัวอย่างสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ ทุก 2 เดือน เป็นเวลา 1 ปี ผลการศึกษาปริมาณโลหะหนักเน้นเฉพาะส่วนของเนื้อเยื่อสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ผลการควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงที่รับรอง (Certified Reference Materials: CRM) DORM-3 (Fish Protein Certified Reference Material for Trace Metals) แสดงในตารางที่ 3-1 และผลของการวิเคราะห์ซ้ำ 40 ตัวอย่างจาก 360 ตัวอย่าง เพื่อหาค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน แสดงในตารางที่ ก-1 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าวิธีการวิเคราะห์มีความแม่นยำ

ตารางที่ 3-1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี) ในสารอ้างอิงที่รับรอง DORM-3 (n= 12 ตัวอย่าง)

โลหะหนัก	DORM- 3 (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) น้ำหนักแห้ง			
	Pb	Cd	Cu	Zn
ค่าที่กำกับมา	0.395±0.050	0.290±0.020	15.5±0.6	51.3±3.1
ค่าเฉลี่ย±SD	0.399±0.018	0.293±0.009	16.3±0.7	44.3±2.1
% ที่วิเคราะห์ได้	**101%**	**101%**	**105%**	**86%**

3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นเฉลี่ยในตัวอย่างสัตว์ทะเลเศรษฐกิจแต่ละชนิดที่ศึกษา

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นเฉลี่ยในตัวอย่างสัตว์ทะเลเศรษฐกิจแต่ละชนิดที่ศึกษาแสดงในตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นเฉลี่ยในตัวอย่างสัตว์ทะเลเศรษฐกิจแต่ละชนิดที่ศึกษา (n= 40)

ชนิดสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ	% ความชื้นเฉลี่ย ± SD
ปลาทู	64.0±3.0
ปลาเห็ดโคน	67.6±3.4
กุ้งแชบ๊วย	62.6±3.7
หมึกหอม	71.5±2.0
ปูม้า	70.7±4.1

3.3 ปริมาณโลหะหนักในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ ในรอบปี

3.3.1 ปริมาณตะกั่วในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ ในรอบปี

ผลการศึกษาปริมาณตะกั่วในปลาทู พบค่าสูงสุดเดือนกันยายนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.091±0.028 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ส่วนปริมาณตะกั่วในตัวอย่างปลาทู เดือนพฤษภาคม กรกฎาคม พฤศจิกายน มกราคม และมีนาคม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.049±0.011, 0.065±0.015, 0.089±0.046, 0.053±0.010 และ 0.050±0.007 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปริมาณตะกั่วในตัวอย่างปลาทู เดือนกันยายนและเดือนพฤศจิกายนไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ระหว่างเดือนดังกล่าว แต่ปริมาณตะกั่วในปลาทูเดือนกันยายนมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กับปริมาณตะกั่วในปลาทูเดือนพฤษภาคม กรกฎาคม มกราคม และมีนาคม และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ระหว่างเดือนดังกล่าว (ตารางที่ 3-3)

ปลาเห็ดโคน พบปริมาณตะกั่วมีค่าสูงสุดในเดือนพฤศจิกายน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.064±0.060 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ส่วนปริมาณตะกั่วในตัวอย่างปลาเห็ดโคน เดือนพฤษภาคม กรกฎาคม กันยายน มกราคม และมีนาคม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.044±0.015, 0.063±0.031, 0.059±0.008, 0.057±0.021 และ0.062±0.031 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปริมาณตะกั่วในตัวอย่างปลาเห็ดโคน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ในรอบปี(ตารางที่ 3-3)

กุ้งแชบ๊วย พบปริมาณตะกั่วมีค่าสูงสุดในเดือนมกราคมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.064±0.030 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ส่วนปริมาณตะกั่วในตัวอย่างกุ้งแชบ๊วย เดือนพฤษภาคม กรกฎาคม กันยายน พฤศจิกายน และมีนาคม มีค่าเฉลี่ย 0.044±0.020, 0.056±0.023, 0.026±0.002, 0.051±0.036 และ 0.036±0.006 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียกตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปริมาณตะกั่วในตัวอย่างกุ้งแชบ๊วยเดือนมกราคม มีความ

แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กับปริมาณตะกั่วเดือนกันยายน และมีนาคม (ตารางที่ 3-3)

หมึกหอม พบปริมาณตะกั่วมีค่าสูงสุดเดือนพฤษภาคม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.078±0.009 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ส่วนปริมาณตะกั่วในตัวอย่างหมึกหอม เดือนกรกฎาคม กันยายน พฤศจิกายน มกราคม และมีนาคม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.045±0.012, 0.065±0.017, 0.041±0.015, 0.049±0.017 และ 0.051±0.016 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปริมาณตะกั่วในตัวอย่างหมึกหอม เดือนพฤษภาคม ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) กับเดือนอื่น ๆ ในรอบปี (ตารางที่ 3-3)

ปูม้า พบปริมาณตะกั่วมีค่าสูงสุดในเดือนพฤศจิกายน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.086±0.061 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ส่วนปริมาณตะกั่วในตัวอย่างปูม้า เดือนพฤษภาคม กรกฎาคม กันยายน มกราคมและมีนาคม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.031±0.012, 0.029±0.006, 0.080±0.034, 0.065±0.032และ 0.042±0.015 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปริมาณตะกั่วในตัวอย่างปูม้า เดือนพฤศจิกายน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กับปริมาณตะกั่วเดือนพฤษภาคม กรกฎาคม และมีนาคม (ตารางที่ 3-3)

ตารางที่ 3-3 ปริมาณตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก) ที่พบในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจทั้ง 5 ชนิด จากพื้นที่ชายฝั่ง อำเภอละงู จังหวัดสตูล

สัตว์เศรษฐกิจ		ปี พ.ศ. 2555			ปี พ.ศ. 2556		
		พฤษภาคม	กรกฎาคม	กันยายน	พฤศจิกายน	มกราคม	มีนาคม
ปลาทู	Mean ± SD	0.049±0.011[a]	0.065±0.015[a]	0.091±0.028[b]	0.089±0.046[b]	0.053±0.010[a]	0.050±0.007[a]
	Median	0.048	0.068	0.084	0.078	0.054	0.048
	Min-Max	0.035-0.068	0.043-0.085	0.070-0.168	0.043-0.183	0.035-0.063	0.040-0.061
ปลาเห็ดโคน	Mean ± SD	0.044±0.015[a]	0.063±0.031[a]	0.059±0.008[a]	0.064±0.060[a]	0.057±0.021[a]	0.062±0.031[a]
	Median	0.042	0.053	0.059	0.04	0.051	0.053
	Min-Max	0.030-0.079	0.033-0.137	0.050-0.075	0.022-0.215	0.035-0.096	0.042-0.146
กุ้งแชบ๊วย	Mean ± SD	0.044±0.020[abc]	0.056±0.023[bc]	0.026±0.002[a]	0.051±0.036[bc]	0.064±0.030[c]	0.036±0.006[ab]
	Median	0.042	0.050	0.025	0.037	0.058	0.036
	Min-Max	0.027-0.092	0.028-0.101	0.023-0.029	0.019-0.134	0.032-0.119	0.028-0.048
หมึกหอม	Mean ± SD	0.078±0.009[abc]	0.045±0.012[bc]	0.065±0.017[a]	0.041±0.015[bc]	0.049±0.017[c]	0.051±0.016[ab]
	Median	0.078	0.041	0.064	0.034	0.048	0.043
	Min-Max	0.066-0.092	0.033-0.063	0.045-0.089	0.029-0.071	0.024-0.085	0.034-0.075
ปูม้า	Mean ± SD	0.031±0.012[a]	0.029±0.006[a]	0.080-0.034[c]	0.086±0.061[c]	0.065±0.032[bc]	0.042±0.015[ab]
	Median	0.032	0.027	0.074	0.071	0.057	0.037
	Min-Max	0.003-0.047	0.022-0.038	0.035-0.135	0.022-0.177	0.029-0.122	0.028-0.073

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกันที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกัน แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณตะกั่วในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจทั้ง 5 ชนิด คือปลาทู ปลาเห็ดโคน กุ้งแชบ๊วย หมึกหอม และปูม้า จากพื้นที่ชายฝั่งอำเภอละงู จังหวัดสตูล เป็นเวลา 1 ปี ผลการศึกษาปริมาณตะกั่วพบค่าสูงสุดในปลาทู มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.066±0.029 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ส่วนปริมาณตะกั่วที่พบในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจรองลงมา ได้แก่ ปลาเห็ดโคน ปูม้า หมึกหอม และกุ้งแชบ๊วย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.058±0.031, 0.056±0.038, 0.055±0.019 และ 0.046±0.025 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปริมาณตะกั่วในปลาทูไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) กับปริมาณตะกั่วในปลาเห็ดโคน ปูม้า หมึกหอม แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับกุ้งแชบ๊วย รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3-7 ซึ่งจากผลการศึกษาพบปริมาณตะกั่วในกลุ่มของปลาที่ศึกษาทั้ง 2 ชนิด คือ ปลาทูและปลาเห็ดโคน มีปริมาณตะกั่วสูงกว่าปูม้า หมึกหอม และกุ้งแชบ๊วย ซึ่งโดยทั่วไปตะกั่วเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด จากนั้นนำไปสะสมไว้ที่ตับ ไต และกระดูกของสิ่งมีชีวิตมากกว่าส่วนอื่นๆ ดังนั้นปลาซึ่งเป็นสัตว์มีกระดูกสันหลังและระบบเลือดจะมีฮีโมโกลบิน (Haemoglobin) เป็นองค์ประกอบของเลือด เมื่อตะกั่วเข้าสู่ร่างกายสิ่งมีชีวิตไม่ว่าทางใด จะถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือด และไปจับกับเม็ดเลือดแดงแทนที่เหล็ก (Fe^{+2}) ซึ่งเป็นโลหะที่จำเป็นในการสร้างเม็ดเลือดแดงในสัตว์มีกระดูกสันหลัง(มาลินี, 2527; สุวัจน์, 2549; กรรนิการ์, 2552) จึงเป็นสาเหตุที่พบปริมาณตะกั่วในกลุ่มของปลาสูงกว่าสัตว์ทะเลเศรษฐกิจในกลุ่มหมึกกุ้ง และปูที่ศึกษาในครั้งนี้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ip และคณะ (2005) ที่ศึกษาปริมาณตะกั่วในตัวอย่างปลา กุ้ง ปู และหอย จากบริเวณปากแม่น้ำ Pearl ทางตอนใต้ของจีน พบปริมาณตะกั่วในปลามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.20±6.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก มีค่าสูงกว่าในตัวอย่าง กุ้ง ปู และหอยซึ่งพบปริมาณตะกั่วมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.135±0.064, 0.177±0.062 และ 0.424±0.234 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ

3.3.2 ผลการศึกษาปริมาณแคดเมียมในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจในรอบปี

ปลาทู พบปริมาณแคดเมียมมีค่าสูงสุดเดือนกันยายนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.017±0.007 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ส่วนปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างปลาทู เดือนพฤษภาคม กรกฎาคม พฤศจิกายน มกราคม และมีนาคม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.005±0.002, 0.008±0.005, 0.005±0.002, 0.007±0.001 และ 0.006±0.002 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างปลาทู เดือนกันยายนมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับปริมาณแคดเมียมเดือนอื่น ๆ ในรอบปี (ตารางที่ 3-4)

ปลาเห็ดโคน พบปริมาณแคดเมียมมีค่าสูงสุดเดือนกันยายน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.011±0.005 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ส่วนปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างปลาเห็ดโคนเดือนพฤษภาคม กรกฎาคม พฤศจิกายน มกราคม และมีนาคม มีค่าเฉลี่ย 0.004±0.002, 0.007±0.009, 0.003±0.002, 0.004±0.002 และ 0.004±0.001 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างปลาเห็ดโคนเดือนกันยายนและกรกฎาคมไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ระหว่างเดือนดังกล่าว แต่ปริมาณแคดเมียมในปลาเห็ดโคนเดือนกันยายนมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กับปริมาณแคดเมียมเดือนพฤษภาคม พฤศจิกายน มกราคม และมีนาคม (ตารางที่ 3-4)

กุ้งแชบ๊วย พบปริมาณแคดเมียมมีค่าสูงสุด เดือนกรกฎาคมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.012±0.008 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ส่วนปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างกุ้งแชบ๊วยเดือนพฤษภาคม กันยายน พฤศจิกายน มกราคมและมีนาคม มีค่าเฉลี่ย 0.012±0.007, 0.007±0.005, 0.008±0.007, 0.006±0.002 และ 0.005±0.001 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียกตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างกุ้งแชบ๊วยเดือนกรกฎาคมมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กับปริมาณแคดเมียม เดือนกันยายน มกราคม และมีนาคม (ตารางที่ 3-4)

หมึกหอม พบปริมาณแคดเมียมมีค่าสูงสุดใน เดือนกันยายนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.014±0.002 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ส่วนปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างหมึกหอมเดือนพฤษภาคม กันยายน พฤศจิกายน มกราคมและมีนาคม มีค่าเฉลี่ย 0.009±0.003, 0.012±0.008, 0.012±0.004, 0.009±0.002 และ 0.012±0.004 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างหมึกหอม เดือนกันยายนมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กับปริมาณแคดเมียมเดือนพฤษภาคม และมกราคม (ตารางที่ 3-4)

ปูม้า พบปริมาณแคดเมียมมีค่าสูงสุด ในเดือนพฤษภาคม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.251±0.248 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ส่วนปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างปูม้า เดือนกรกฎาคม กันยายน พฤศจิกายน มกราคมและมีนาคม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.102±0.074, 0.096±0.108, 0.023±0.015, 0.226±0.216 และ 0.038±0.020 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างปูม้า เดือนพฤษภาคมและมกราคม ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ระหว่างเดือนดังกล่าว แต่ปริมาณแคดเมียมในปูม้าเดือนพฤษภาคมมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)กับปริมาณแคดเมียมเดือนกรกฎาคม กันยายน พฤศจิกายน และมีนาคม (ตารางที่ 3-4)

ตารางที่ 3-4 ปริมาณแคดเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก) ที่พบในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจทั้ง 5 ชนิด จากพื้นที่ชายฝั่ง อำเภอละงู จังหวัดสตูล

สัตว์เศรษฐกิจ		ปีพ.ศ. 2555			ปีพ.ศ. 2556		
		พฤษภาคม	กรกฎาคม	กันยายน	พฤศจิกายน	มกราคม	มีนาคม
ปลาทู	Mean ± SD	0.005±0.002[a]	0.008±0.005[a]	0.017±0.007[b]	0.005±0.002[a]	0.007±0.001[a]	0.006±0.002[a]
	Median	0.004	0.006	0.015	0.004	0.007	0.006
	Min-Max	0.003-0.010	0.004-0.021	0.013-0.036	0.003-0.008	0.004-0.009	0.004-0.010
ปลาเห็ดโคน	Mean ± SD	0.004±0.002[a]	0.007±0.009[ab]	0.011±0.005[b]	0.003±0.002[a]	0.004±0.002[a]	0.004±0.001[a]
	Median	0.004	0.004	0.009	0.002	0.003	0.004
	Min-Max	0.002-0.009	0.002-0.032	0.006-0.019	0.001-0.005	0.002-0.010	0.003-0.007
กุ้งแชบ๊วย	Mean ± SD	0.012±0.007[bc]	0.012±0.008[c]	0.007±0.005[ab]	0.008±0.007[abc]	0.006±0.002[a]	0.005±0.001[a]
	Median	0.013	0.011	0.006	0.005	0.005	0.005
	Min-Max	0.004-0.025	0.005-0.026	0.004-0.019	0.003-0.023	0.004-0.010	0.004-0.007
หมึกหอม	Mean ± SD	0.009±0.003[a]	0.012±0.008[ab]	0.014±0.002[b]	0.012±0.004[ab]	0.009±0.002[a]	0.012±0.004[ab]
	Median	0.009	0.009	0.015	0.001	0.009	0.013
	Min-Max	0.006-0.014	0.007-0.031	0.009-0.017	0.008-0.020	0.006-0.012	0.007-0.021
ปูม้า	Mean ± SD	0.251±0.248[c]	0.102±0.074[ab]	0.096±0.108[ab]	0.023±0.015[a]	0.226±0.216[bc]	0.038±0.020[a]
	Median	0.181	0.071	0.062	0.018	0.159	0.03
	Min-Max	0.043-0.862	0.029-0.225	0.016-0.360	0.009-0.063	0.014-0.705	0.021-0.084

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกันที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกัน แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณแคดเมียม พบค่าสูงสุดในปูม้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.123±0.163 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก และพบว่ามีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับปริมาณแคดเมียมที่ตรวจพบในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจอื่น ๆ ทุกชนิดที่ศึกษาครั้งนี้ ปริมาณแคดเมียมที่พบในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจรองลงมา ได้แก่ หมึกหอม ปลาทู กุ้งแชบ๊วย และปลาเห็ดโคน ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.011±0.004, 0.008±0.006, 0.008±0.006 และ 0.005±0.005 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ของปริมาณแคดเมียมในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจดังกล่าว รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3-7 และจากผลการศึกษาครั้งนี้ พบปริมาณแคดเมียมในปริมาณน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับปริมาณโลหะหนักชนิดอื่นทั้ง 4 ชนิดที่ศึกษา ($Cd < Pb < Cu < Zn$) และพบปริมาณแคดเมียมสูงสุด ในกลุ่มของปูม้าเมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์ทะเลเศรษฐกิจทั้ง 5 ชนิดที่ศึกษา โดยแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายแล้วจะกระตุ้นการสร้างโปรตีนเมธัลโลไธโอนินซึ่งเป็นโปรตีนสำหรับจับโลหะในเนื้อเยื่อ น้ำเหลือง และในเม็ดเลือดแดง แม้ว่าการที่แคดเมียมจับกับเมธัลไธโอนินจะทำให้พิษของแคดเมียมลดความเป็นพิษลง แต่โปรตีนเมธัลโลไธโอนินก็ทำให้การกำจัดแคดเมียมลดลงด้วยเช่นกัน (กรรนิการ์, 2552) นอกจากนี้แคดเมียมมีส่วนสารประกอบ Cadmium carbonate และ Cadmium sulphides สามารถคงสภาพได้นานในตะกอน โดยค่ากึ่งชีวิตของแคดเมียมประมาณ 15-30 ปี และเมื่อแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายสิ่งมีชีวิตจะถูกขับออกจากร่างกายอย่างช้า ๆ ใช้ระยะเวลานาน (มธุรส และจุฑามาศ, 2549; สุวัจน์, 2549) กรมควบคุมมลพิษ (2541) รายงานว่าพบการปนเปื้อนของแคดเมียมในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังปริมาณสูงที่สุดเมื่อเทียบกับพืชทะเล และปลาทะเล ทั้งนี้เนื่องจากพฤติกรรมการดำรงชีวิตและอาหารของสัตว์ทะเลเศรษฐกิจแต่ละชนิดเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการปนเปื้อนของปริมาณแคดเมียมที่สะสมในร่างกาย นอกจากนี้แคดเมียมเป็นสารที่มีความคงตัว และไม่สามารถสลายตัวได้ด้วยกระบวนการธรรมชาติ ทำให้แพร่กระจายในสิ่งแวดล้อมและมีการปนเปื้อนในดินตะกอน (วรวิทย์, 2547) ดังนั้นในกลุ่มของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังและอาศัยบริเวณพื้นท้องน้ำ จึงมีโอกาสจะสะสมปริมาณแคดเมียมได้สูงกว่าสัตว์ทะเลเศรษฐกิจกลุ่มปลาและหมึก การศึกษาครั้งนี้กลุ่มของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังและอาศัยบริเวณพื้นท้องน้ำ คือ ปูม้า ซึ่งปูม้าจะกินอาหารทั้งที่เป็นสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิตเป็นอาหารเช่น กุ้ง หอย ปู และปลา รวมถึงซากของสัตว์ทะเลเศรษฐกิจดังกล่าวบริเวณพื้นท้องน้ำ จากพฤติกรรมการดำรงชีวิตและการกินอาหารของปูม้าจึงมีโอกาสพบการปนเปื้อนของปริมาณแคดเมียมได้มากกว่ากุ้งแชบ๊วย ปลาทู ปลาเห็ดโคน และหมึกหอม

3.3.3 ผลการศึกษาปริมาณทองแดงในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจในรอบปี

ปลาทู พบปริมาณทองแดงสูงสุดเดือนพฤศจิกายน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.12±1.57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ส่วนปริมาณทองแดงในตัวอย่างปลาทู เดือนพฤษภาคม กรกฎาคม กันยายน มกราคม และมีนาคม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.47±0.74, 1.01±0.09,

1.15±0.13, 0.89±0.15 และ 0.98±0.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปริมาณทองแดงในตัวอย่างปลาทู เดือนพฤศจิกายนมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กับปริมาณทองแดงเดือนอื่น ๆ ในรอบปี (ตารางที่ 3-5)

ปลาเห็ดโคน พบปริมาณทองแดงมีค่าสูงสุดเดือนพฤศจิกายนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.98±1.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ส่วนปริมาณทองแดงในตัวอย่างปลาเห็ดโคน ในเดือนพฤษภาคม กรกฎาคม กันยายน มกราคม และมีนาคม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.18±0.02, 0.23±0.02, 0.23±0.05, 0.24±0.04 และ0.17±0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปริมาณทองแดงในตัวอย่างปลาเห็ดโคน เดือนพฤศจิกายนมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กับปริมาณทองแดงเดือนอื่น ๆ ในรอบปี (ตารางที่ 3-5)

กุ้งแชบ๊วย พบปริมาณทองแดงมีค่าสูงสุดเดือนมกราคมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.62±0.93 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ส่วนปริมาณทองแดงในตัวอย่างกุ้งแชบ๊วย เดือนพฤษภาคม กรกฎาคม กันยายน พฤศจิกายน และมีนาคม มีค่าเฉลี่ย 2.51±0.38, 3.45±0.61, 3.03±0.85, 3.07±1.06 และ 2.83±1.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปริมาณทองแดงในตัวอย่างกุ้งแชบ๊วย เดือนมกราคมมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กับปริมาณทองแดงเดือนพฤษภาคมและพฤศจิกายน (ตารางที่ 3-5)

หมึกหอม พบปริมาณทองแดงมีค่าสูงสุดในเดือนกันยายน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ3.16±0.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ส่วนปริมาณทองแดงในตัวอย่างหมึกหอม เดือนพฤษภาคม กรกฎาคม พฤศจิกายน มกราคมและมีนาคม มีค่าเฉลี่ย 2.55±0.43, 2.91±0.54, 2.87±0.48, 2.71±0.55 และ 1.11±0.32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปริมาณทองแดงในตัวอย่างหมึกหอม เดือนกันยายน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กับปริมาณทองแดงเดือนพฤษภาคม และมีนาคม (ตารางที่ 3-5)

ปูม้า พบปริมาณทองแดงมีค่าสูงสุดเดือนกันยายน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.85±2.32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ส่วนปริมาณทองแดงในตัวอย่างปูม้า เดือนพฤษภาคม กรกฎาคม พฤศจิกายน มกราคมและมีนาคม มีค่าเฉลี่ย 7.08±1.66, 9.68±2.92, 9.35±1.74, 8.80±2.74 และ 5.31±1.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปริมาณทองแดงในตัวอย่างปูม้า เดือนกันยายนมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กับปริมาณทองแดงในเดือนพฤษภาคม และมีนาคม (ตารางที่ 3-5)

ตารางที่ 3.5 ปริมาณทองแดง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก) ที่พบในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจทั้ง 5 ชนิด จากพื้นที่ชายฝั่ง อำเภอละงู จังหวัดสตูล

สัตว์เศรษฐกิจ		ปีพ.ศ. 2555				ปีพ.ศ. 2556	
		พฤษภาคม	กรกฎาคม	กันยายน	พฤศจิกายน	มกราคม	มีนาคม
ปลาทู	Mean ± SD	1.47±0.74^{a}	1.01±0.09^{a}	1.15±0.13^{a}	2.12±1.57^{b}	0.89±0.15^{a}	0.98±0.13^{a}
	Median	1.18	1.00	1.14	1.42	0.89	0.98
	Min-Max	0.73-3.12	0.87-1.18	0.93-1.34	0.83-5.66	0.62-1.18	0.80-1.27
ปลาเห็ดโคน	Mean ± SD	0.18±0.02^{a}	0.23±0.02^{a}	0.23±0.05^{a}	1.98±1.16^{b}	0.24±0.04^{a}	0.17±0.03^{a}
	Median	0.18	0.23	0.23	1.95	0.22	0.17
	Min-Max	0.15-0.21	0.20-0.26	0.13-0.32	0.27-3.48	0.19-0.30	0.14-0.23
กุ้งแชบ๊วย	Mean ± SD	2.51±0.38^{a}	3.45±0.61^{b}	3.03±0.85^{ab}	3.07±1.06^{a}	3.62±0.93^{b}	2.83±1.29^{ab}
	Median	2.40	3.23	3.02	2.73	3.43	2.26
	Min-Max	1.95-3.25	2.83-4.46	1.81-4.35	1.87-4.93	2.69-5.59	1.65-4.81
หมึกหอม	Mean ± SD	2.55±0.43^{b}	2.91±0.54^{bc}	3.16±0.53^{c}	2.87±0.48^{bc}	2.71±0.55^{bc}	1.11±0.32^{a}
	Median	2.50	2.93	3.31	2.83	2.78	1.11
	Min-Max	2.00-3.25	2.02-3.49	2.12-3.67	2.22-3.68	1.82-3.49	0.66-1.68
ปูม้า	Mean ± SD	7.08±1.66^{ab}	9.68±2.92^{c}	9.85±2.32^{c}	9.35±1.74^{c}	8.80±2.74^{bc}	5.31±1.78^{a}
	Median	6.71	9.02	10.05	8.76	7.92	5.50
	Min-Max	4.31-9.45	5.89-14.14	5.25-13.34	7.57-12.07	5.85-14.49	2.77-7.87

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกันที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกัน แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณทองแดงพบค่าสูงสุดในปูม้า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.35±2.69 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก และพบว่ามีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กับปริมาณทองแดงที่ตรวจพบในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจอื่น ๆ ทุกชนิดที่ศึกษาและปริมาณทองแดงที่พบในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจอื่น ๆ รองลงมา ได้แก่ กุ้งแชบ๊วย หมึกหอม ปลาทู และปลาเห็ดโคน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.09±0.93, 2.55±0.81, 1.27±0.80 และ 0.50±0.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ จากข้อมูลการศึกษาปริมาณทองแดงในตัวอย่างสัตว์ทะเลเศรษฐกิจทั้ง 5 ชนิด พบว่ามีปริมาณทองแดงในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจที่ศึกษามีปริมาณที่สูงกว่าปริมาณตะกั่วและแคดเมียม เนื่องจากทองแดงเป็นธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายสำหรับการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดในร่างกายสิ่งมีชีวิต และยังเป็นส่วนสำคัญในฮีโมไซยานินในครัสเตเซียนและมอลลัส ทำหน้าที่เป็นตัวส่งผ่านออกซิเจน (ชุติมา, 2542) การศึกษาครั้งนี้พบปริมาณทองแดงสูงสุดในปูม้า รองลงมาเป็นกุ้งแชบ๊วยซึ่งอยู่ในกลุ่มครัสเตเซียนเช่นเดียวกัน สาเหตุเนื่องจากปูม้าและกุ้งแชบ๊วยมีสารจำพวกฮีโมไซยานิน (Heamocyanin) เป็น pigment ที่สำคัญในเลือด โดยมีทองแดงเป็นองค์ประกอบของ pigment จึงเป็นสาเหตุทำให้พบปริมาณทองแดงในปูม้าและกุ้งแชบ๊วยมีค่าสูงกว่าในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจกลุ่มปลาทู ปลาเห็ดโคน และหมึกหอม

3.3.4 ผลการศึกษาปริมาณสังกะสีในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจในรอบปี

ปลาทู พบปริมาณสังกะสีมีค่าสูงสุดเดือนพฤศจิกายนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.96±3.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ส่วนปริมาณสังกะสีในตัวอย่างปลาทู ในเดือนพฤษภาคม กรกฎาคม กันยายน มกราคม และมีนาคม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.07±0.69, 11.43±5.17, 14.78±3.83, 5.94±0.64 และ 6.47±1.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปริมาณสังกะสีในตัวอย่างปลาทูเดือนพฤศจิกายนและกันยายน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) แต่ปริมาณสังกะสีในปลาทูเดือนพฤศจิกายนมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กับปริมาณสังกะสีในเดือนพฤษภาคม กรกฎาคม มกราคม และมีนาคม (ตารางที่ 3-6)

ปลาเห็ดโคน พบค่าสูงสุดเดือนพฤศจิกายนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.76±1.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ส่วนปริมาณสังกะสีในตัวอย่างปลาเห็ดโคน เดือนพฤษภาคม กรกฎาคม กันยายน มกราคม และมีนาคม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.26±0.62, 4.57±0.52, 4.61±0.78, 4.60±0.67 และ 3.91±0.76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปริมาณสังกะสีในตัวอย่างปลาเห็ดโคน เดือนพฤศจิกายนมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กับเดือนมีนาคม(ตารางที่ 3-6) เท่านั้น

กุ้งแชบ๊วย พบปริมาณสังกะสีมีค่าสูงสุดเดือนกรกฎาคม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.16±1.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ส่วนปริมาณสังกะสีเดือนพฤษภาคม กันยายน พฤศจิกายน มกราคม และมีนาคม มีค่าเฉลี่ย 10.23±2.08, 12.39±2.18, 9.73±1.34, 10.86±1.36 และ

8.16±0.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปริมาณสังกะสีในตัวอย่างกุ้งแชบ๊วย เดือนกรกฎาคมและกันยายนไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ระหว่างเดือนดังกล่าว แต่ปริมาณสังกะสีในกุ้งแชบ๊วยเดือนกรกฎาคมมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กับปริมาณสังกะสีเดือนพฤษภาคม พฤศจิกายน มกราคม และมีนาคม (ตารางที่ 3-6)

หมึกหอม พบปริมาณสังกะสีมีค่าสูงสุดเดือนกันยายน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.13±1.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเปียก ส่วนปริมาณสังกะสีในเดือนพฤษภาคม กรกฎาคม พฤศจิกายน มกราคมและมีนาคม มีค่าเฉลี่ย 12.87±0.66, 13.03±0.69, 12.20±0.49, 11.32±0.56 และ 6.02±1.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปริมาณสังกะสีในตัวอย่างหมึกหอมในเดือนกันยายนมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กับปริมาณสังกะสีในเดือนอื่น ๆ ในรอบปี (ตารางที่ 3-6)

ปูม้า พบปริมาณสังกะสีมีค่าสูงสุดในเดือนกันยายน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.29±4.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ส่วนปริมาณสังกะสีในตัวอย่างปูม้า เดือนพฤษภาคม กรกฎาคม พฤศจิกายน มกราคมและมีนาคม มีค่าเฉลี่ย 35.08±6.10, 27.31±4.40, 28.25±3.57, 26.91±5.79 และ 21.45±3.43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปริมาณสังกะสีในตัวอย่างปูม้า เดือนกันยายนและพฤษภาคมไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) แต่ปริมาณสังกะสีในปูม้าเดือนกันยายนมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กับเดือนกรกฎาคม พฤศจิกายน มกราคม และมีนาคม (ตารางที่ 3-6)

ตารางที่ 3.6 ปริมาณสังกะสี (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก) ที่พบในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจทั้ง 5 ชนิด จากพื้นที่ชายฝั่ง อำเภอละงู จังหวัดสตูล

สัตว์เศรษฐกิจ		ปีพ.ศ. 2555			ปีพ.ศ. 2556		
		พฤษภาคม	กรกฎาคม	กันยายน	พฤศจิกายน	มกราคม	มีนาคม
ปลาทู	Mean ± SD	6.07±0.69[a]	11.43±5.17[b]	14.78±3.83[c]	14.96±3.28[c]	5.94±0.64[a]	6.47±1.03[a]
	Median	6.18	11.42	13.82	14.43	5.86	6.22
	Min-Max	4.86-7.19	5.17-21.96	9.69-23.37	8.58-20.71	5.02-7.02	5.17-8.46
ปลาเห็ดโคน	Mean ± SD	4.26±0.62[ab]	4.57±0.52[ab]	4.61±0.78[ab]	4.76±1.01[b]	4.60±0.67[ab]	3.91±0.76[a]
	Median	4.24	4.40	4.66	4.36	4.49	3.65
	Min-Max	3.16-5.25	3.90-5.45	3.10-5.99	3.99-7.40	3.57-5.83	3.20-5.51
กุ้งแชบ๊วย	Mean ± SD	10.23±2.08[b]	13.16-1.15[c]	12.39±2.18[c]	9.73±1.34[b]	10.86±1.36[b]	8.16±0.80[a]
	Median	9.82	13.54	12.53	9.21	10.49	8.18
	Min-Max	8.29-15.19	11.11-14.55	9.10-16.77	8.52-11.96	9.26-13.72	7.00-9.34
หมึกหอม	Mean ± SD	12.87±0.66[cd]	13.03±0.69[d]	15.13±1.10[e]	12.20±0.49[c]	11.32±0.56[b]	6.02±1.22[a]
	Median	12.85	12.89	15.09	12.19	11.34	6.26
	Min-Max	11.89-13.76	11.98-14.45	13.00-17.05	11.57-13.00	10.12-12.15	4.10-7.60
ปูม้า	Mean ± SD	35.08±6.10[c]	27.31±4.40[b]	35.29±4.14[c]	28.25±3.57[b]	26.91±5.79[b]	21.45±3.43[a]
	Median	36.3	28.79	36.16	28.95	28.26	21.44
	Min-Max	21.26-44.14	20.98-32.82	26.81-41.89	22.49-33.27	18.34-35.22	16.57-27.21

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกันที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกัน แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ผลการศึกษาพบปริมาณสังกะสีมีค่าสูงสุดในปูม้า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.05±6.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียกและพบว่ามีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับปริมาณสังกะสีที่ตรวจพบในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจอื่น ๆ ทุกชนิดที่ศึกษา และปริมาณสังกะสีที่พบในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ รองลงมา ได้แก่ หมึกหอม กุ้งแชบ๊วย ปลาทู และปลาเห็ดโคน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.76±2.92, 10.76±2.23, 9.94±4.87 และ 4.45±0.76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ระหว่างปริมาณสังกะสีในกุ้งแชบ๊วยกับหมึกหอม รายละเอียดดังแสดง ในตารางที่ 3-7 ผลการศึกษาครั้งนี้ พบปริมาณสังกะสีในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจทั้ง 5 ชนิด สูงที่สุดเมื่อเทียบกับปริมาณโลหะหนักอื่น ๆ ทั้ง 4 ชนิดที่ศึกษา (Zn > Cu > Pb > Cd) การพบปริมาณสังกะสีสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด จากผลการศึกษาสอดคล้องกับรายงานของ Bustamante และคณะ (1998) Turkmen และคณะ (2005) Miramand และคณะ (2006) และแววตาและคณะ (2552) ที่ตรวจพบปริมาณสังกะสีสูงสุด จากการศึกษาปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี โดยสาเหตุที่พบปริมาณสังกะสีสูงที่สุดในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจนั้น เนื่องมาจากสังกะสีเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายตัว และใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมีของเอนไซม์บางชนิดในร่างกาย และโดยทั่วไปแร่ธาตุที่มีความจำเป็นต่อร่างกายของสิ่งมีชีวิตและในธรรมชาติ สังกะสีเป็นธาตุซึ่งเป็นองค์ประกอบเปลือกโลกในปริมาณที่สูงกว่าทองแดง ตะกั่ว และแคดเมียม

3.4 เปรียบเทียบปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจกับเกณฑ์มาตรฐาน

เนื่องจากมีเกณฑ์มาตรฐานต่าง ๆ ที่กำหนดเกี่ยวกับปริมาณโลหะหนักในอาหาร รวมทั้งในสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ แตกต่างกันแต่ละพื้นที่แต่ละประเทศ ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการเก็บตัวอย่างสัตว์น้ำในพื้นที่อำเภอละงูจังหวัดสตูล ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ได้จากการทำประมงพื้นบ้านและมีการบริโภคภายในประเทศเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้เกณฑ์มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดปริมาณโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ดังนี้

เกณฑ์มาตรฐาน 1 เกณฑ์มาตรฐานกระทรวงสาธารณสุขของไทยปี 2529 ที่กำหนดให้มีปริมาณทองแดง และสังกะสี ในอาหารไม่เกิน 20 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (กระทรวงสาธารณสุข, 2529)

เกณฑ์มาตรฐาน 2 เกณฑ์มาตรฐานกองตรวจสอบรับรองมาตฐานคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ ปี 2554 เกณฑ์ส่งออกกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป (EU) ที่กำหนดให้มีปริมาณตะกั่วและแคดเมียมในสัตว์น้ำกลุ่มปลาไม่เกิน 0.3 และ 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สัตว์น้ำกลุ่มกุ้งและปูไม่เกิน 0.5 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สัตว์น้ำ

กลุ่มหมึกไม่เกิน 1.0 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เนื่องจากเป็นเกณฑ์มาตรฐานที่มีค่าปริมาณตะกั่วและแคดเมียม ค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับมาตรฐานประเทศอื่น ๆ

ผลจากการศึกษาปริมาณโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด (ตะกั่ว ทองแดง สังกะสีและแคดเมียม) ในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจทั้ง 5 ชนิด (ปลาทู ปลาเห็ดโคน กุ้งแชบ๊วย หมึกหอม และปูม้า) เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานทั้ง 2 เกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว พบว่าไม่เกินค่ามาตรฐานกระทรวงสาธารณสุขของไทยปี 2529 และกองตรวจสอบรับรองมาตรฐานคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ (2554) ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 ปริมาณโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี) ที่พบในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจบางชนิด จากการทำประมงชายฝั่ง อำเภอละงู จังหวัดสตูล หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักเปียก)

โลหะหนัก (mg/kg wet weight)		**ปลาทู** *Rastrelliger brachysoma*	**ปลาเห็ดโคน** *Sillago sihama*	**กุ้งแชบ๊วย** *Penaeus merguiensis*	**หมึกหอม** *Sepioteuthis lessoniana*	**ปูม้า** *Portunus pelagicus*
ตะกั่ว	Mean ± SD	0.066±0.029[b]	0.058±0.031[b]	0.046±0.025[a]	0.055±0.019[ab]	0.056±0.038[ab]
	Median	0.061	0.051	0.037	0.049	0.039
	Min-Max	0.035-0.183	0.022-0.215	0.019-0.134	0.024-0.092	0.003-0.177
แคดเมียม	Mean ± SD	0.008±0.006[a]	0.005±0.005[a]	0.008±0.006[a]	0.011±0.004[a]	0.123±0.163[b]
	Median	0.006	0.00	0.006	0.011	0.065
	Min-Max	0.003-0.036	0.001-0.032	0.003-0.026	0.006-0.031	0.009-0.862
ทองแดง	Mean ± SD	1.27±0.80[b]	0.50±0.80[a]	3.09±0.93[d]	2.55±0.81[c]	8.35±2.69[e]
	Median	1.02	0.22	2.88	2.71	7.93
	Min-Max	0.62-5.66	0.13-3.48	1.65-5.59	0.66-3.68	2.77-14.49
สังกะสี	Mean ± SD	9.94±4.87[b]	4.45±0.76[a]	10.76±2.23[bc]	11.76±2.92[c]	29.05±6.58[d]
	Median	7.29	4.35	10.21	12.42	29.46
	Min-Max	4.86-23.37	3.10-7.40	7.00-16.77	4.10-17.05	16.57-44.14

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกันที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกัน แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตะกั่ว-ค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ในสัตว์น้ำกลุ่มปลา กุ้งและปู และหมึก ไม่เกิน 0.3, 0.5 และ 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ (กองตรวจสอบรับรองมาตรฐานคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ,2554)

แคดเมียม- ค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ในสัตว์น้ำกลุ่มปลา กุ้งและปู และหมึก ไม่เกิน 0.05, 0.5 และ 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ตามลำดับ (กองตรวจสอบรับรองมาตรฐานคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ,2554)

ทองแดง-ค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ในอาหารไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก (กระทรวงสาธารณสุขไทย, 2529)

สังกะสี - ค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ในอาหารไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก (กระทรวงสาธารณสุขไทย, 2529)

บทที่ 4
สรุป

การศึกษาปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ ทั้ง 5 ชนิด คือ ปลาทู ปลาเห็ดโคน กุ้งแชบ๊วย หมึกหอม และปูม้า จากแพปลาชุมชนอำเภอละงู จังหวัดสตูล การศึกษาในรอบปี การทำประมงชายฝั่ง พบว่าโลหะหนักแต่ละชนิด และสัตว์ทะเลเศรษฐกิจแต่ละชนิดพบปริมาณโลหะหนักแตกต่างกันในแต่ละเดือนที่ศึกษา พบว่าแนวโน้มปริมาณโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ ทั้ง 5 ชนิด ที่ศึกษามีปริมาณโลหะหนักสูงในเดือนกันยายนและพฤศจิกายนซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนของพื้นที่จังหวัดสตูล ดังนั้นในการเลือกบริโภคสัตว์ทะเลเศรษฐกิจทั้ง 5 ชนิดในช่วงฤดูแล้ง น่าจะมีความปลอดภัยในการบริโภคสัตว์ทะเลเศรษฐกิจมากกว่าช่วงฤดูฝน แต่ทั้งนี้จากตัวอย่างสัตว์ทะเลเศรษฐกิจทั้ง 5 ชนิดพบปริมาณทองแดงและสังกะสี อยู่ในระดับปลอดภัยสำหรับการบริโภคตามมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อนกำหนดไว้โดยกระทรวงสาธารณสุขปี 2529 และปริมาณตะกั่วและแคดเมียมในตัวอย่างสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ อยู่ในระดับปลอดภัยสำหรับบริโภคตามเกณฑ์มาตรฐานการส่งออกของกองตรวจสอบรับรองมาตรฐานคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ (กองตรวจสอบรับรองมาตรฐานคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ, 2554)

โดยปริมาณตะกั่วพบค่าสูงสุดในตัวอย่างปลาทู รองลงมาเป็นปลาเห็ดโคน ปูม้า หมึกหอม และกุ้งแชบ๊วย ตามลำดับ ปริมาณแคดเมียมพบค่าสูงสุดในปูม้า รองลงมาเป็นหมึกหอม ปลาทู กุ้งแชบ๊วย และปลาเห็ดโคน ตามลำดับ ปริมาณทองแดงค่าพบสูงสุดในปูม้า รองลงมาเป็นกุ้งแชบ๊วย หมึกหอม ปลาทู และปลาเห็ดโคน ตามลำดับ และปริมาณสังกะสีพบค่าสูงสุดในปูม้า รองลงมาเป็นหมึกหอม กุ้งแชบ๊วย ปลาทู และปลาเห็ดโคน ตามลำดับ ทั้งนี้จากผลการศึกษากลุ่มปูม้าน่าจะมีความเสี่ยงในการบริโภคมากกว่าสัตว์ทะเลเศรษฐกิจชนิดอื่นที่ศึกษาในครั้งนี้ ผลการศึกษาและข้อมูลที่ได้ที่ทำให้ทราบสภาวะการปนเปื้อนโลหะหนักในพื้นที่ศึกษา คือ อำเภอละงู จังหวัดสตูล โดยในพื้นที่ศึกษามีการพัฒนาด้านเศรษฐกิจและมีการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง แต่ในปัจจุบันยังไม่พบอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ อย่างไรก็ดี พื้นที่ดังกล่าวมีกิจกรรมการพัฒนาด้านการท่องเที่ยวและอุตสาหกรรมต่อเนื่อง รวมทั้งการก่อสร้างท่าเรือที่กำลังดำเนินการอยู่ ปัจจัยเหล่านี้ ล้วนมีโอกาสที่จะเพิ่มการปนเปื้อนของปริมาณโลหะหนักในสัตว์ทะเล ซึ่งเป็นแหล่งรายได้และเป็นสินค้าเพื่อการบริโภคของประชาชนทั้งสิ้น ดังนั้น การศึกษารวบรวมข้อมูลอย่างต่อเนื่อง เป็นอีกทางหนึ่งที่ช่วยในการเฝ้าระวังโลหะหนักในพื้นที่ โดยใช้ข้อมูลประกอบในการวางแผนจัดการเพื่อป้องกันอันตรายที่จะก่อให้เกิดแก่ประชาชนต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ในส่วนของเนื้อเยื่อลำตัวของสัตว์ทะเลเศรษฐกิจเท่านั้น หากมีการศึกษาเพิ่มเติมในเนื้อเยื่อส่วนอื่น ๆ ของสัตว์ทะเลแต่ละชนิด จะทำให้ทราบถึงการปนเปื้อนปริมาณโลหะหนักในส่วนต่าง ๆ ของสัตว์ทะเลเศรษฐกิจได้ชัดเจนยิ่งขึ้น
2. ควรมีการวิจัยเพิ่มเติมในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสัตว์ทะเลเศรษฐกิจแต่ละชนิดว่ามีความสัมพันธ์กับการปนเปื้อนปริมาณโลหะหนักหรือไม่
3. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับวัฏจักรการหมุนเวียนของปริมาณโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมในบริเวณพื้นที่ศึกษา และองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น คุณภาพน้ำ ปริมาณโลหะหนักในน้ำ ในตะกอนดิน ปริมาณและชนิดของแพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ และสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ เพื่อหาความสัมพันธ์ในรูปแบบห่วงโซ่อาหาร
4. ศึกษาสัตว์ทะเลเศรษฐกิจในพื้นที่ชนิดอื่น ๆ เพิ่มเติม โดยเฉพาะหอยซึ่งเป็นสัตว์ทะเลเศรษฐกิจที่มีพฤติกรรมการดำรงชีวิตอยู่ประจำที่ซึ่งอาจทำให้สามารถบอกถึงสถานการณ์ของโลหะหนักในพื้นที่ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2541. แคดเมียม (Cadmium). พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : บริษัท อินทิเกรดเต็ดโปรโมชันเทคโนโลยีจำกัด.

กรมทรัพยากรธรณี. 2550. เอกสารประกอบภาพชุดที่ 1 ธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี.

กรมประมง. 2535. ภาพปลาและสัตว์น้ำของไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรรนิการ์ ฉัตรสันติประภา. 2552. พิษวิทยาของสารเคมีทางอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. ขอนแก่น : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

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

กำพล ลอยชื่น วิทยา พันธะกิจ สนธยา บุญสุข ประพัตร์ แก้วมณี และ ทัศนีย์ ศุภพฤกษ์. 2556. ทรัพยากรสัตว์น้ำจากการประมงพื้นบ้านบริเวณทะเลอันดามันของไทย. ภูเก็ต : สำนักวิจัยและพัฒนาประมงทะเล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เจนจิตต์ คงกำเนิด สุนิตย์ โรจนพิทยากุล วิชัย วัฒกุล เรณู ยาชิโร และสรณัฏฐ์ ศิริสวย. 2542. การเพาะและการอนุบาลปลาเห็ดโคน. สงขลา : สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ฉัตรชัย สังข์ผุด และจันทิรา วงศ์วิเชียร. 2553. ความปลอดภัยทางอาหารของทรัพยากรชีวภาพในชุมชนประมงอ่าวนครศรีธรรมราช. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช 9 : 65-75.

ชัยวัฒน์ ต่อสกุลแก้ว ธีระยุทธ กลิ่นสุคนธ์ และปัญญา เต็มเจริญ. 2536. หลักการทางพิษวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาสรีรวิทยา และภาควิชาพยาธิชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และมหาวิทยาลัยรังสิต.

ชุติมา คู่สมุทร. 2542. การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว โครเมียม และปรอทในสัตว์ทะเลบางชนิดบริเวณอ่าวไทยด้านจังหวัดชลบุรีและสมุทรปราการ. ขอนแก่น : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ณิฏฐารัตน์ ปภาวสิทธิ์ และสมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล. 2526. การสำรวจเอกสารเรื่องสารมีพิษและพยาธิที่พบในอาหารจำพวกสัตว์น้ำในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธเนศ ศรีถกล นิรชา สองแก้ว ทรงฤทธิ์ โชติธรรมโม และสมใจ เวชประสิทธิ์. 2549. ชีววิทยาการสืบพันธุ์ของปลาทู *Rastrelliger brachysoma* (Bleeker,1851) และปลาลัง *R. kanagurta* (Cuvier, 1817) บริเวณอ่าวไทยตอนล่าง. สงขลา : ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงทะเลอ่าวไทยตอนล่าง สำนักวิจัยและพัฒนาประมงทะเล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

นิธิยา รัตนาปนนท์ และวิบูลย์ รัตนาปนนท์. 2553. สารพิษในอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : โอเดียนสโตร์.

บพิธ จารุพันธุ์ และนันทพร จารุพันธุ์. 2540. สัตววิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บริษัทเพอร์กินเอลเมอร์ จำกัด. 2551. เอกสารประกอบการฝึกอบรมการใช้เครื่องมือ Inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS). กรุงเทพมหานคร : บริษัทเพอร์กินเอลเมอร์จำกัด.

ประสงค์ หลำสะอาด. 2538. สรีระวิทยาทั่วไป เล่ม 1.พิมพ์ครั้งที่ 1. สุราษฎร์ธานี : มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี.

ไพโรจน์ สิริมนตาภรณ์ และอังสุนีย์ ชุณหปราณ. 2539. การศึกษาชนิดปลาเห็ดโคนในภาคใต้ตอนล่างของไทย. รายงานสัมมนาวิชาการประจำปี 2539 สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กองประมงทะเล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

มธุรส ธุจิรวัฒน์ และจุฑามาศ สัตยวิวัฒน์. 2549. พิษวิทยาสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : บริษัททรินิตี้ พับลิชชิ่งจำกัด.

มนัส สถิรจินดา. 2538. โลหะนอกกลุ่มเหล็ก. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มลิวรรณ บุญเสนอ. 2545. พิษวิทยาสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 3. นครปฐม : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์.

มาลินี ลิ้มโภคา. 2527. พิษวิทยาและปัญหาที่พบในสัตว์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จรัลสนิทวงศ์.

ลาวัลย์ ศรีพงษ์. 2552. เทคนิค ICP-MS ในงานเภสัชวิเคราะห์. วารสารไทยไภษัชยนิพนธ์. 4: 1-19.

วรนันท์ ศุภพิพัฒน์. 2538. อาหารโภชนาการ และสารเป็นพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : แสงการพิมพ์.

วรวิทย์ ชีวาพร. 2547. เทคนิคการวิเคราะห์คุณภาพสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1. ชลบุรี : โรงพิมพ์ชลบุรี.

วิมล เหมะจันทร. 2540. ชีววิทยาปลา. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิวัฒนชัย พรหมสาขา ณ สกลนคร และสมพร โล่สวัสดิ์กุล. 2532. การแพร่กระจายและความชุกชุมของทรัพยากรกุ้งทะเลในอ่าวไทย. สัมมนาวิชาการประจำปี 2532 กรมประมง

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วีรชัย เพชรสุทธิ์. 2542. ชีววิทยาและการทำประมงหมึกหอม (*Sepioteuthis lessoniana* Lesson) ด้วยลอบหมึก บริเวณอ่าวสิเกา จังหวัดตรัง. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

แววตา ทองระอา วันชัย วงสุดาวรรณ อาวุธ หมั่นหาผล และฉลวย มุลิกะ. 2552. การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของโลหะหนักในอาหารทะเลในพื้นที่อุตสาหกรรม ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก. ชลบุรี : สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา.

ศิริวรรณ ลาภทับทิมทอง และวรวิทย์ ชีวาพร. 2544. การสะสมของโลหะหนักบางชนิดในหอยเศรษฐกิจ บริเวณชายฝั่งทะเลของอ่าวไทยและทะเลอันดามัน. ชลบุรี : ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

ศุภวัตร กาญจน์อติเรกลาภ สุธิดา กาญจน์อติเรกลาภ จุมพล สงวนสิน และสมพงศ์ บันติวิวัฒน์กุล. 2542. การปนเปื้อนของโลหะหนักในสัตว์ทะเลบางชนิดบริเวณชายฝั่งตะวันออกของอ่าวไทย. ระยอง : สำนักวิจัยและพัฒนาประมงทะเล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สมชาย วิบุญพันธ์ ณรงค์ศักดิ์ คงชัย วิวิธนนท์ บุญยัง และทรงฤทธิ์ โชติธรรมโม. 2549. การปนเปื้อนของสารโลหะหนักในสัตว์ทะเลบางชนิดบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง. สงขลา : สำนักวิจัยและพัฒนาประมงทะเล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สมชาย วิบุญพันธ์ ไพรัช เถาชาลีย์ ชุมโชค สิงหราชัย รัตนา มั่นประสิทธิ์ และทัศพล กระจ่างดารา. 2551. ปริมาณโลหะหนักในสัตว์ทะเลจากเรือประมงอวนลากและอวนล้อมจับบริเวณน่านน้ำไทย. สงขลา : สำนักวิจัยและพัฒนาประมงทะเล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุภาพร แก้วบุบผา. 2552. ระดับแคดเมียมในทรัพยากรประมงจากอ่าวเบงกอลและทะเลอันดามัน (น่านน้ำพม่า) และการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุภาพร สิริมานุยุตต์ และนิรชา วงษ์จินดา. 2554. ปริมาณตะกั่ว ปรอท และแคดเมียม ในปลาทะเลเศรษฐกิจที่จำหน่ายในตลาดสดในเขตกรุงเทพมหานคร. กรุงเทพมหานคร : กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุเมธ ตันติกุล. 2527. ชีววิทยาการประมงของปูม้าในอ่าวไทย. กรุงเทพมหานคร : ฝ่ายสัตว์น้ำอื่น ๆ กองประมงทะเล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุวัจน์ ธัญรส. 2549. มลพิษทางทะเลและชายฝั่ง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โอเดียนสโตร์.

เสาวภา สวัสดิ์พีระ และวรเทพ มุธุวรรณ. 2534. องค์ประกอบของอาหารในทางเดินอาหารของปลาเห็ดโคน *Sillago sihama* (Forskal) และ *Sillago maculate* (Quoy&Gaimard). ชลบุรี : สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา.

อนุตร กฤษณะพันธุ์. 2539. ชนิดและปริมาณสัตว์น้ำที่รวบรวมได้จากการใช้เครื่องมือประมงพื้นบ้าน อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรพินท์ จันทร์ผ่องแสง. 2536. ระดับโลหะแคดเมียม ทองแดง และสังกะสีในปลาหมึกจากอ่าวไทย. สมุทรปราการ : กองประมงนอกน่านน้ำ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis, 15th Edition. Washington: The Association of Official Analytical Chemists.

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists. Metal and Other Elements 9: 16-19.

Barroso, J. M. 2014. Amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of cadmium in foodstuffs. Official Journal of the European Union: Eu Regulation No. 488: 75-79.

Bustamante, P., Y. Cherel, F. Caurant and P. Miramand. 1998. Cadmium, copper and zinc in octopuses from Kerguelen Islands, Southern Indian Ocean. Polar Biol 19: 264-271.

Clark, R. B. 1992. Marine Pollution. New York: Oxford Clarendon Press.

Eustace, I. J. 1974. Zinc, cadmium, copper and manganese in species of finfish and shellfish caught in the Derwent Estuary, Tasmania. 1974. Australian Journal of Marine & Freshwater Research 25: 209-220.

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. Ecotoxicology and Environmental Safety 63: 286-292.

Grey, D. L., W. Dall and A. Baker. 1983. A Guide to the Australian Penaeid Prawns. Australia: The Department of Primary Production of the Northern Territory.

Ip, C. C. M., X. D. Li, G. Zhang, C. S. C. Wong and W. L. Zhang. 2005. Heavy metal and Pb isotopic compositions of aquatic organisms in the Pearl River Estuary, South China. Environmental Pollution 138: 494-504.

Miramand, P., P. Bustamante, D. Bentley and N. Koueta. 2006. Variation of heavy metal concentration (Ag, Cd, Co, Cu, Fe, Pb, V, and Zn) during the life cycle of the common cuttlefish *Sepia officinalis.* Science of the Total Environment 361: 132-143.

Nelson, J. S. 1994. Fishes of the Word.3rded. New York: Jone Wiley and Sons, Inc.

Roa, E. C., M. B. Capangpangan and M. Schultz. 2010. Modification and validation of a microwave-assisted digestion method for subsequent ICP-MS determination of selected heavy metals in sediment and fish samples in Agusan River, Philippines. Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology 2: 141-151.

Santos, I. R., E. V. Silva-Filho, C. E. G. R. Schaefer, M. R. Albuquerque-Filho and L. S. Campos. 2005. Heavy metal contamination in coastal sediment and soils near the Brazilian Antarctic Station, King George Island. Marine Pollution Bulletin 50: 185-194.

Thinknet Company Limited. 2008. Mapmagic [Thailand 2008]. Bangkok: Software Informer.

Thomas, R. 2004. Practical Guide to ICP-MS. New York: Marcel Dekker Inc.

Turkmen, A., M. Turkmen, Y. Tepe and I. Akyurt. 2005. Heavy metals in three commercially valuable fish species from Iskenderun Bay, Northern East Mediterranean Sea, Turkey. Food Chemistry 91: 167-172.

Uthe. J. F. and E. G. Bligh. 1971. Preliminary Survey of Heavy Metal Contamination of Canadian Freshwater Fish. Journal Fisheries Research Board of Canada 28: 786-788.

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2555. รายงานสถานการณ์อุตสาหกรรมจังหวัดสตูล ปี 2550. เข้าถึงได้จาก http://www.industry.go.th/DocLib13/Forms/view.aspx (เข้าถึงเมื่อ 7 เมษายน 2555).

กองตรวจสอบรับรองมาตรฐานคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ. 2554. มาตรฐานผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำทางเคมี. กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. เข้าถึงได้จาก http://www.fisheries.go.th/quality/std%20chem.html (เข้าถึงเมื่อ 10 ธันวาคม 2557).

มาณพ สิทธิเดช. 2551. การรบกวนการตรวจวัดในการวิเคราะห์ธาตุโดยวิธี ICP-MS. โครงการเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เข้าถึงได้จาก http://www.dss.go.th/images/st-article/cp_11_2551_ICP-MS.pdf (เข้าถึงเมื่อ 7 เมษายน 2558).

สำนักงานจังหวัดสตูล. 2555. ยุทธศาสตร์การประมงจังหวัดสตูล 2555-2558. กรมประมง. เข้าถึงได้จาก http://extension.fisheries.go.th/tkkfish/joy/satun1.pdf (เข้าถึงเมื่อ 1 เมษายน 2555).

สำนักงานจังหวัดสตูล. 2557. บรรยายสรุปจังหวัด ปี 2557. เข้าถึงได้จาก http://123.242.184.177/satun/91000/index.php/satun-profile/briefing-province (เข้าถึงเมื่อ 26 เมษายน 2557).

Australian Government ComLaw. 2015. Australia New Zealand Food Standards Code - Standard 1.4.1 Contaminants and Natural Toxicants. Accessed from http://www.comlaw.gov.au/Details/F2015C00052 (Accessed April, 2015).

Haas, M. 2012. Customs Union Technical Regulation on Food Safety. States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service. Accessed from http://www.fas.usda.gov/data/russian-customs-Union technical regulation on food safety. (Accessed May 20, 2014).

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ตารางที่ ก-1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ซ้ำ 11% ของตัวอย่างทั้งหมด

CODE	หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักเปียก)							CV
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	SD	%(SD/mean)
PB-R-1	0.033	0.043	0.036	0.031	0.036	0.036	0.004	11.367
PB-R-2	0.048	0.046	0.038	0.047	0.042	0.044	0.004	8.392
PB-SI-1	0.019	0.022	0.020	0.021	0.016	0.020	0.002	10.506
PB-SI-2	0.041	0.052	0.050	0.050	0.056	0.050	0.005	9.870
PB-PE-1	0.023	0.024	0.023	0.022	0.021	0.023	0.001	4.512
PB-PE-2	0.027	0.028	0.034	0.033	0.031	0.031	0.003	8.914
PB-SE-1	0.017	0.021	0.016	0.020	0.018	0.018	0.002	10.080
PB-SE-2	0.034	0.033	0.028	0.028	0.030	0.031	0.002	8.163
PB-PO-1	0.023	0.024	0.025	0.019	0.022	0.023	0.002	9.111
PB-PO-2	0.037	0.038	0.036	0.037	0.044	0.038	0.003	7.475
CD-R-1	0.007	0.007	0.008	0.006	0.006	0.007	0.001	11.005
CD-R-2	0.008	0.008	0.008	0.007	0.008	0.008	0.000	5.128
CD-SI-1	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.000	0.000
CD-SI-2	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.000	20.412
CD-PE-1	0.014	0.012	0.015	0.015	0.015	0.014	0.001	8.213
CD-PE-2	0.006	0.005	0.005	0.006	0.006	0.006	0.000	8.748
CD-SE-1	0.010	0.010	0.009	0.009	0.009	0.009	0.000	5.212
CD-SE-2	0.010	0.011	0.010	0.009	0.008	0.010	0.001	10.623
CD-PO-1	0.245	0.239	0.248	0.254	0.242	0.246	0.005	2.102
CD-PO-2	0.303	0.307	0.223	0.250	0.277	0.272	0.032	11.737
CU-R-1	1.677	1.582	1.684	1.699	1.660	1.660	0.041	2.479
CU-R-2	0.937	0.913	0.922	1.039	1.059	0.974	0.062	6.369
CU-SI-1	0.237	0.277	0.246	0.210	0.205	0.235	0.026	11.119
CU-SI-2	0.294	0.269	0.252	0.242	0.294	0.270	0.021	7.870
CU-PE-1	3.879	3.384	4.157	4.013	3.967	3.880	0.264	6.799
CU-PE-2	3.090	3.049	3.250	3.299	3.304	3.198	0.108	3.368
CU-SE-1	2.342	2.488	2.463	2.473	2.404	2.434	0.054	2.223
CU-SE-2	2.697	2.819	2.778	2.744	2.805	2.769	0.044	1.590

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

CODE	หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักเปียก)							CV
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	SD	%(SD/mean)
CU-PO-1	12.528	12.017	12.274	13.019	12.473	12.462	0.331	2.657
CU-PO-2	7.656	7.974	8.055	7.659	8.061	7.881	0.185	2.348
ZN-R-1	17.773	19.061	21.277	20.332	18.463	19.381	1.267	6.539
ZN-R-2	6.430	6.149	6.647	6.482	6.901	6.522	0.248	3.808
ZN-SI-1	4.552	5.046	4.670	4.563	4.560	4.678	0.189	4.039
ZN-SI-2	5.634	5.715	5.422	5.244	5.378	5.479	0.172	3.145
ZN-PE-1	14.526	13.296	15.856	15.716	14.952	14.869	0.926	6.230
ZN-PE-2	9.100	9.178	11.025	9.515	10.679	9.899	0.798	8.059
ZN-SE-1	14.881	15.589	15.253	15.625	15.303	15.330	0.269	1.756
ZN-SE-2	11.600	11.642	11.813	11.217	11.420	11.538	0.204	1.764
ZN-PO-1	31.374	31.526	31.079	32.392	29.838	31.242	0.827	2.647
ZN-PO-2	23.930	24.405	24.916	22.616	23.528	23.879	0.784	3.283
รวม 40 ตัวอย่างจากทั้งหมด 360 ตัวอย่าง							**เฉลี่ย**	**6.492**
							SD	**4.051**

หมายเหตุ SD = Standard deviation

CV = ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (Coefficient of Variation) = SD/Mean

ถ้า SD/Mean มีค่าน้อยกว่า 10 % แสดงว่าวิธีการวิเคราะห์มีความแม่นยำ

ภาคผนวก ข

การคำนวณปริมาณโลหะหนักเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน

การเตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะหนักตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสีเพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะหนักตะกั่ว และแคดเมียม ระดับความเข้มข้น 5, 50 และ 100 ไมโครกรัมต่อลิตร

2. เตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะหนักทองแดง และสังกะสี ระดับความเข้มข้น 50, 500 และ 1,000 ไมโครกรัมต่อลิตร

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณตะกั่วเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน

1. เครื่องคอมพิวเตอร์จะประมวลผลจากการวัดสารละลายมาตรฐานจากเครื่อง ICP-MS อ่านค่า Net Intensity Mean ที่ได้จากการวัดสารละลายมาตรฐานระดับความเข้มข้น 5, 50 และ100 ไมโครกรัมต่อลิตร และอ่านค่า Net Intensity Mean ของ Blank (ที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่ตัวอย่างสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ) ให้เป็นระดับสารละลายมาตรฐานความเข้มข้นเท่ากับ 0 ดังรายละเอียดในตารางที่ ข-1

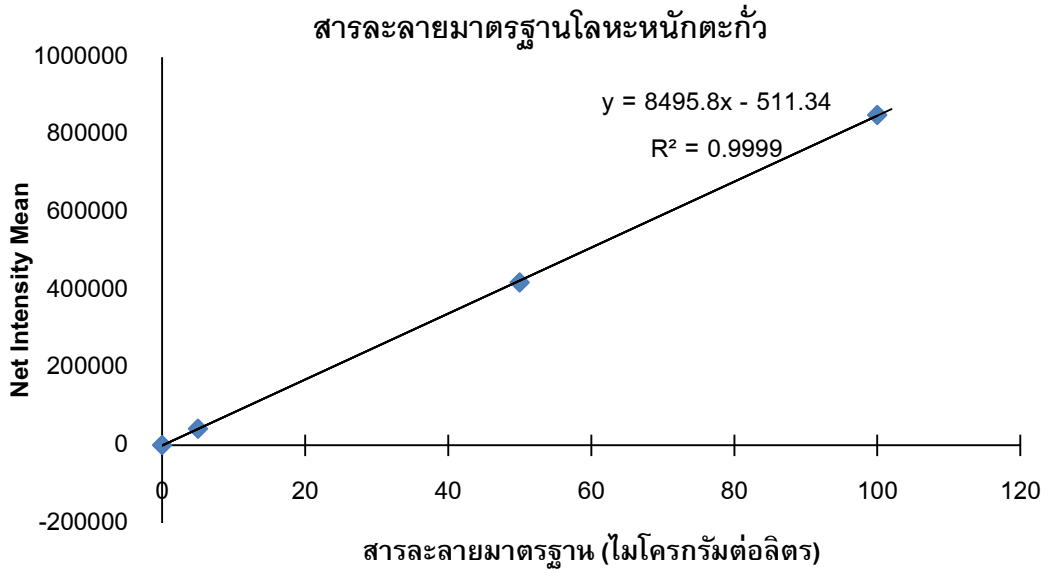
ตารางที่ ข-1 ระดับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วกับค่า Net Intensity Mean จากเครื่อง ICP-MS

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐาน	**ค่าNet Intensity Mean**
0 (Blank)	1031
5	42713.164
50	419776.899
100	851280.924

2. สร้างกราฟมาตรฐาน สมการเส้นตรง $y = ax+b$ โดยนำข้อมูล Net Intensity Mean จากค่ามาตรฐานระดับความเข้มข้น 0, 5, 50 และ 100 ไมโครกรัมต่อลิตร มาทำการพล็อตกราฟที่มีแกน x และแกน y (ภาพที่ ข-1)

3. ดูค่า r-squared ให้เข้าใกล้ 1 หรือไม่น้อยกว่า $R^2 = 0.999$ (ในกรณีค่าที่ได้น้อยกว่า $R^2 = 0.999$ ทำการวัดค่ามาตรฐานซ้ำเพื่อให้ได้ค่าที่ต้องการ หรือเตรียมสารละลายมาตรฐานใหม่)

4. เมื่อได้สมการเส้นตรงจากการพล็อตกราฟ คือ $y = 8495.8x-511.34$ หรือ $x = (y+511.34)/8495.8$



ภาพที่ ข-1 กราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานโลหะหนักตะกั่ว

5. อ่านค่า Net Intensity Mean ของสารละลายตัวอย่างสัตว์ทะเลเศรษฐกิจที่ต้องการทราบค่าปริมาณโลหะหนักตะกั่ว เช่นตัวอย่างปูม้า ตัว 1 มีค่า Net Intensity Mean ของโลหะหนักตะกั่วเท่ากับ 8274.036 ซึ่งเป็นค่าในแกน y

6. นำค่าที่อ่านได้ในข้อที่ 5 มาแทนค่าในสมการเส้นตรงของสารละลายมาตรฐานที่คำนวณได้ คือ x = (y+511.34)/8495.8 จะได้ค่า x = (8274.036+511.34)/8495.8 หรือ x = 1.034177

7. นำไปคำนวณเพื่อเทียบปริมาตรของสารละลายที่เตรียมในข้อ 2.3.2 ข้อที่ 2 เพื่อคำนวณให้เป็นหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะได้ค่าเท่ากับ 1.034177 x 0.025 หรือ 0.025854

8. นำค่าที่คำนวณได้ในข้อ 7 ไปคำนวณเปรียบเทียบกับน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างในข้อ 2.3.2 ข้อที่ 2 ซึ่งจากตัวอย่างปูม้า ตัวที่ 1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างได้ 1.0001 กรัม

9. จะได้ค่าปริมาณโลหะหนักตะกั่วในตัวอย่างปูม้าตัวที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.025854 x 1.0001 หรือ 0.025852 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นต้น