เปอร์เซนต์ Silt/Clay กับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เป็น Y = -11.91 + 2.70X และค่า r = 0.87 ดังภาพประกอบที่ 20, 21 และ 22

อภิปรายผล

การเก็บตัวอย่างดินตะกอนตามความลึก มีความยากลำบากในทางปฏิบัติอย่างยิ่งในด้านของลักษณะดินตะกอนที่ต้องมีความเหนียวพอที่จะเจาะเป็นแท่งได้ แต่เนื่องจากลักษณะดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลส่วนใหญ่ลักษณะดินตะกอนจะเป็นดินทรายทำให้ยากแก่การเจาะทำให้ได้ปริมาณดินตะกอนที่ไม่ลึกมากนัก โดยทั่วไปสามารถเก็บแท่งตะกอนได้ในระดับลึกตั้งแต่ 10-25 เซนติเมตร อย่างไรก็ตามหากใช้อัตราการตกตะกอนที่ศึกษาโดย Cheevaporn and Mokkongpai(1996) ที่ใช้วิธี Pb-210 ในการประเมินอัตราการตกตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ซึ่งพบมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.58 เซนติเมตร/ปี มาใช้ในการคำนวณอายุดินตะกอน พบว่าแท่งดินตะกอนที่เก็บได้มีอายุย้อนหลัง 17-44 ปี โดยประมาณ การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินตะกอนตามความลึก รวม 5 สถานี ซึ่งสามารถอภิปรายผลการศึกษาในแต่ละสถานีได้ดังนี้

สถานีอ่างศิลา พบว่าปริมาณสารปรอทในดินตะกอนอยู่ในช่วงค่อนข้างกว้างคือตั้งแต่ 4.88 - 37.49 ng/g เนื่องจากบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างเป็นบริเวณฟาร์มเลี้ยงหอยนางรมจึงทำให้ดินตะกอนที่เก็บได้มีเศษเปลือกหอยทั้งขนาดเล็กและใหญ่ปนอยู่ปริมาณสารปรอททั้ง 2 ฤดูแตกต่างกัน คือในฤดูแล้งจะมีปริมาณสารปรอทสูงกว่าในฤดูฝน ทั้งนี้เนื่องจากในฤดูแล้งลักษณะดินตะกอนส่วนใหญ่จะเป็น silt&clay ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่าในฤดูฝน และจากการหาความสัมพันธ์ก็พบว่าปริมาณสารปรอทในดินตะกอนมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับเปอร์เซนต์ silt&clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ เนื่องจากในฤดูแล้งมีเปอร์เซนต์ silt&clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่าในฤดูฝน ดังนั้นปริมาณสารปรอทในดินตะกอนของฤดูแล้งจึงสูงกว่าฤดูฝน ทั้งนี้ปริมาณสารปรอทตามความลึก (profile) พบว่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แสดงว่าการปนเปื้อนของสารปรอทในดินตะกอนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันของบริเวณอ่างศิลามีปริมาณค่อนข้างคงที่ ยกเว้นที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตร (ประมาณปี 1989) ที่มีการปนเปื้อนในดินตะกอนสูงถึง 37.49 ng/g

สถานีศรีราชา บริเวณที่ทำการศึกษาเป็นบริเวณชุมชนที่อยู่อาศัยบริเวณท่าเทียบเรือไปเกาะสีชังซึ่งมีลักษณะดินตะกอนส่วนใหญ่เป็น silt&clayที่มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูงถึง 30.97 % ในฤดูแล้งและมีค่าใกล้เคียงกับในฤดูฝน โดยที่สถานีนี้มีเปอร์เซนต์ silt&clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่าทุกสถานี เนื่องจากบริเวณท่าเทียบเรือมีการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังระหว่างเรือจึงทำให้มีการตกหล่นของแป้งมันสำปะหลังสู่พื้นทะเล ดินตะกอนที่เก็บได้จึงมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่าสถานีอื่น และทำให้มีปริมาณสารปรอทในดินตะกอนอยู่ในระดับประมาณ 18.36 - 33.88 ng/g ซึ่งมี

ค่าสูงกว่าสถานีอื่นที่ทำการศึกษา ซึ่งการใช้สารปรอทส่วนใหญ่น่าจะมาจาก น้ำเสียจากบ้านเรือน พลาสติก กระดาษ แบตเตอรี และ กระจกหรือแว่นตา ซึ่งมีการใช้กันโดยทั่วไปเกือบทุกบ้านเรือน ปริมาณสารปรอทตามความลึก (profile) พบว่าค่อนข้างคงที่ทั้ง 2 ฤดู ดินตะกอนที่เก็บได้มีความลึกประมาณ 10 เซนติเมตร ซึ่งมีอายุย้อนหลังไปประมาณ 17 ปี เนื่องจากชุมชนศรีราชาเป็นชุมชนที่เก่าแก่มีอายุย้อนหลังมากกว่า 100 ปี ดังนั้นจึงคาดว่าแท่งดินตะกอนที่เก็บได้น่าจะมีความลึกไม่เพียงพอที่จะประเมินถึงระดับค่าในธรรมชาติ (natural background level) ของปริมาณสารปรอทในดินตะกอนบริเวณศรีราชาได้

สถานีแหลมฉบัง ทำการศึกษาบริเวณใกล้โรงงาน Thai oil ซึ่งมีท่าเทียบเรืออยู่ในบริเวณนั้นด้วย ปริมาณสารปรอทที่พบในฤดูแล้งมีค่าอยู่ในช่วง 9.99 - 28.10 ng/g ซึ่งสูงกว่าในฤดูฝน ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 13.14 - 20.61 ng/g เนื่องจากในฤดูแล้งมีเปอร์เซนต์ silt&clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่าในฤดูฝน แต่ลักษณะดินตะกอนส่วนใหญ่จะเป็นดินทราย จึงทำให้ปริมาณสารปรอทที่พบมีค่าไม่สูงนัก และแนวโน้มการปนเปื้อนของสารปรอทค่อนข้างคงที่ ยกเว้นที่ระดับความลึก 3 เซนติเมตร หรือประมาณปี 1993 ซึ่งมีปริมาณสารปรอทในดินตะกอนอยู่ในระดับ 28.10 ng/g เป็นช่วงที่กำลังพัฒนาอุตสาหกรรมในเขตนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง อย่างไรก็ตามการปนเปื้อนนี้ยังอยู่ในระดับต่ำกว่ามาตรฐานทั้งนี้เนื่องจากอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ในนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบังเป็นอุตสาหกรรมขนาดย่อมถึงขนาดกลางที่มีการปลดปล่อยสารมลพิษน้อยและมีการบำบัดก่อนปล่อยสู่ทะเล

สถานีพัทยา บริเวณที่ทำการศึกษาเป็นแหล่งชุมชนที่มีบ้านเรือนประชาชน และมีน้ำจากคลองนาเกลือไหลลงสู่บริเวณนั้น โดยที่ยังมีน้ำจากห้วยหนองปรือไหลมารวมกับคลองนาเกลือก่อนที่จะไหลลงสู่ทะเล เนื่องจากปริมาณสารปรอทในดินตะกอนสัมพันธ์กับเปอร์เซนต์ silt&clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ ทำให้ปริมาณสารปรอทที่พบในฤดูแล้งซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 12.78 - 33.10 ng/g มีสูงกว่าในฤดูฝนที่มีค่าอยู่ในช่วง 4.91-10.63 ng/g เพราะในฤดูแล้งมีเปอร์เซนต์ของ silt&clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่าในฤดูฝน และแนวโน้มของสารปรอทในดินตะกอนตามความลึกพบว่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แหล่งของสารปรอทที่พบจึงอาจจะมาจากการใช้ยาฆ่าแมลงหรือน้ำเสียจากบ้านเรือนที่ปล่อยลงสู่ลำคลองและไหลลงสู่ทะเล ระดับสารปรอทที่พบสูงสุดอยู่ในระดับความลึก 5 เซนติเมตร (หรือประมาณปี 1989) เช่นเดียวกับสถานีอ่างศิลา ซึ่งที่ระดับนี้พบว่ามีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่าที่ระดับความลึกอื่น

สถานีมาบตาพุด บริเวณที่ทำการศึกษาเป็นบริเวณใกล้โรงงาน TPI และมีคลองตากวนไหลลงสู่ทะเล ในฤดูฝนที่ทำการเก็บตัวอย่างลักษณะดินตะกอนเป็น sand แต่ในฤดูแล้งกลับพบว่าลักษณะดินตะกอนส่วนใหญ่จะเป็น silt&clay ทั้งนี้เนื่องจากหลังจากเก็บตัวอย่างในฤดูฝนก็มีการถมทะเล

บริเวณโรงงาน TPI จึงทำให้ลักษณะดินตะกอนที่พบในฤดูแล้งกลับเป็น silt&clay ซึ่งส่งผลให้ในฤดูแล้งมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูงตามลักษณะดินตะกอนที่เป็น silt&clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่พบในฤดูแล้งก็มีค่าสูงกว่าในฤดูฝน และยังพบว่าสถานีมาบตาพุดมีปริมาณสารปรอทในดินตะกอนต่ำกว่าทุกสถานีที่ทำการศึกษาทั้ง 2 ฤดู

การแพร่กระจายของสารปรอทบริเวณผิวหน้า (ลึก 0-1 เซนติเมตร) พบว่าที่สถานีศรีราชามีปริมาณสารปรอทสูงกว่าสถานีอื่นทั้ง 2 ฤดู เนื่องจากบริเวณผิวหน้ามีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่าทุกสถานีทั้ง 2 ฤดูและลักษณะดินตะกอนส่วนใหญ่จะเป็น silt&clay ส่วนสถานีอ่างศิลา พัทยา และมาบตาพุดพบว่าปริมาณสารปรอทที่ผิวหน้าในฤดูฝนมีค่าต่ำกว่าในฤดูแล้งอย่างเห็นได้ชัดทั้งนี้เนื่องจากทั้ง 3 สถานีมีเปอร์เซนต์ silt&clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในฤดูแล้งสูงกว่าในฤดูฝน

เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณสารปรอทในดินตะกอนตามความลึกทางสถิติผลที่ได้แสดงว่าปริมาณสารปรอทในแต่ละระดับความลึกมีปริมาณที่ไม่แตกต่างกันซึ่งแสดงถึงการใช้สารปรอทที่ค่อนข้างคงที่หรือไม่เพิ่มขึ้นจากในอดีต ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของ silt&clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ค่อนข้างคงที่ตามความลึก

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารปรอทในแต่ละสถานีของทั้ง 2 ฤดู พบว่าสถานีศรีราชาแตกต่างจากสถานีอื่นทั้ง 2 ฤดูทั้งนี้เนื่องจากสถานีศรีราชามีลักษณะดินตะกอนเป็น silt&clay ที่มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูงจึงมีปริมาณสารปรอทในดินตะกอนสูงกว่าสถานีอื่น

สำหรับการเปรียบเทียบปริมาณสารปรอทระหว่าง 2 ฤดูพบว่าในฤดูแล้งมีปริมาณสารปรอทเพิ่มขึ้นจากฤดูฝนในทุกสถานี แต่มี 2 สถานีที่ปริมาณสารปรอทไม่แตกต่างกันระหว่าง 2 ฤดู คือสถานีศรีราชาและแหลมฉบัง เนื่องจากทั้ง 2 สถานีมีเปอร์เซนต์ของ silt&clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ใกล้เคียงกันทั้ง 2 ฤดู ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าปริมาณสารปรอทในดินตะกอนมีความสัมพันธ์กับเปอร์เซนต์ silt&clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารปรอทในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรีและระยอง พบว่าสารปรอทในดินตะกอนที่ทำการตรวจวัดได้มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานดินตะกอนที่ไม่ได้รับการปนเปื้อนคือ 50 ng/g (Sadiq. 1992) ในทุกสถานีและฤดูกาลที่ทำการศึกษา และเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่ได้มีผู้ทำการศึกษาบริเวณอ่าวไทยตอนบนโดย Polprasert *et al.*, (1979) และอำไพ สิทธิเกษมและคณะ (2524) ซึ่งพบว่ามีปริมาณสารปรอทในดินตะกอน 30 ng/g และ nil - 120 ng/g ตามลำดับ พบว่าที่ทำการศึกษามีค่าใกล้เคียงกับ Polprasert *et al.*, (1979) และจากการศึกษาของ Pescod (1975) ที่ทำการศึกษาปริมาณสารปรอทบริเวณที่ตั้งโรงงานปิโตรเคมีชลบุรี พบว่ามีปริมาณสารปรอทในดินตะกอนอยู่ในช่วง 26 - 280 ng/g ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่ทำการศึกษา ที่มีค่าอยู่ในช่วง 7.15 - 28.18 ng/g ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากวิธีการศึกษา หรือสถานที่เก็บตัวอย่างซึ่งอาจจะแตกต่างกัน และจากการศึกษา

พบว่าปริมาณสารปรอทในดินตะกอนบริเวณผิวหน้าและที่ระดับลึกไม่แตกต่างกันและไม่พบแนวโน้มการสะสมของสารปรอทเพิ่มขึ้นในแท่งตะกอนดิน

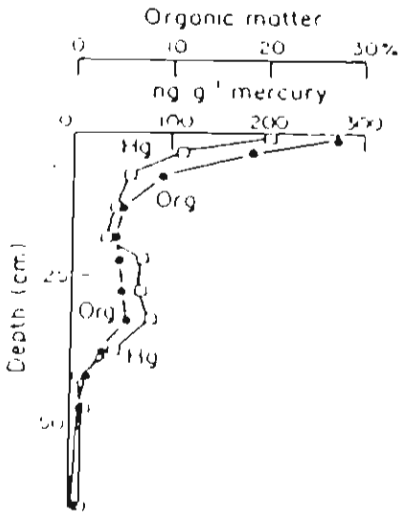
เนื่องจากลักษณะดินตะกอนชั้นล่างเป็นดินตะกอนที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ เช่น sand และ gravel ทำให้เก็บตัวอย่างดินได้ลึกไม่เพียงพอที่จะศึกษาประวัติการปนเปื้อนของสารปรอทในดินตะกอน เพราะความลึกที่เก็บตัวอย่างได้มีค่าประมาณ 10 เซนติเมตรในฤดูฝนและประมาณ 25 เซนติเมตร (ที่สถานีอ่างศิลาและพัทยา) ในฤดูแล้งโดยที่ความลึกที่เหมาะสมที่จะศึกษาประวัติการปนเปื้อนของสารปรอทในดินตะกอนมีค่าประมาณ 20-30 เซนติเมตร (Prince *et al.*, 1976) อย่างไรก็ตามจากกราฟของปริมาณสารปรอทในดินตะกอนทำให้ทราบว่าการใช้สารปรอทที่ผ่านมาไม่เปลี่ยนแปลงมากนักในทุกสถานี

ลักษณะดินตะกอนบริเวณผิวบริเวณอ่าวไทยตอนบน ส่วนใหญ่จะเป็นพวก clayey sand (กัลยา อำนวย. 2527) โดยที่ลักษณะดินตะกอนบริเวณจังหวัดชลบุรีจะเป็น sand บริเวณพัทยาจะเป็น clayey sand บริเวณสัตหีบจะเป็น sand และบริเวณจังหวัดระยองจะเป็น sandy clay (กองสมุทรศาสตร์. 2536) ซึ่งสัมพันธ์กับตัวอย่างดินตะกอนที่เก็บตัวอย่างได้

จากการศึกษาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอนตามความลึก พบว่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ตามความลึกไม่แปรปรวนมากนักและไม่แสดงแนวโน้มที่ชัดเจนซึ่งผลที่ได้ตรงกับ Snidvong (1993) ที่ทำการศึกษาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์บริเวณอ่าวไทยตอนบน โดยใช้ core ยาว 70 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างจาก 7 สถานี และจากการศึกษาของ Charumas and Seurungreong (1997) ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะทางเคมีและฟิสิกส์บางประการของดินตะกอนในอ่าวไทยและชายฝั่งตะวันออกของเพนนินซูล่า มาเลเซีย ที่พบว่าบริเวณอ่าวไทยจะมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เฉลี่ยประมาณ 6 % น้ำหนักแห้ง แต่จากการศึกษาครั้งนี้พบว่ามีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.84 - 31.48 % น้ำหนักแห้ง ซึ่งสถานีที่มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูงที่สุดคือสถานีศรีราชา เนื่องจากมีการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังในบริเวณท่าเทียบเรือและเป็นแหล่งชุมชนรวมทั้งลักษณะดินตะกอนส่วนใหญ่เป็น silt&clay ซึ่งลักษณะดินตะกอนบริเวณชายฝั่งจะเป็นดินตะกอนที่พึ่งตกตะกอนใหม่จึงมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูง โดยที่สารปรอทในดินตะกอนจะเกาะอย่างแน่นกับสารอินทรีย์ เนื่องจากสารอินทรีย์มีประจุลบที่ผิวจึงสามารถจับกับประจุบวกของโลหะหนักได้ดี (Fergusson. 1990) นอกจากนี้สารอินทรีย์ยังมีพื้นที่ผิวมากจึงสามารถเกาะกับโลหะหนักได้มาก ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการยึดเกาะของสารปรอทเรียงตามลำดับคือ

พื้นที่ผิว >ปริมาณสารอินทรีย์ > ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) > ขนาดอนุภาคดินตะกอน (Moore and Ramamoorthy. 1984)

ความสัมพันธ์ของระดับปรอทและปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนได้มีการทำการศึกษาในดินตะกอนที่ European ตามความลึกโดย Anderson (1979) พบว่าที่ที่ผิวหน้ามีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ และ/หรือ ปริมาณ clay สูงจึงทำให้มีความเข้มข้นของสารปรอทในดินตะกอนที่ผิวหน้าสูง เช่นเดียวกับที่ระดับลึกลงไปเมื่อปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ลดต่ำลงก็พบว่าความเข้มข้นของสารปรอทในดินตะกอนลดต่ำลงด้วย ดังภาพประกอบที่ 23



ภาพประกอบ 23 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณสารปรอทกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ตามความลึก (Anderson. 1979)

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากในการศึกษาในครั้งนี้ ปัญหาสำคัญก็คือการเก็บตัวอย่างแท่งดินตะกอนได้ลึกไม่เพียงพอที่จะทำให้ทราบค่าที่มีอยู่ในธรรมชาติ (natural background level) ดังนั้นควรมีการศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่างดินตะกอนบริเวณชายฝั่งซึ่งลักษณะดินตะกอนส่วนใหญ่เป็นดินทรายให้ได้ปริมาณเพียงพอเพื่อที่จะได้ทราบแนวโน้มที่ชัดเจนของการใช้สารปรอทและทราบค่าพื้นฐานของสารปรอทในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลของภาคตะวันออก

2. ควรทำการศึกษาปริมาณสารปรอทในสิ่งมีชีวิตอื่น เช่น สัตว์หน้าดิน ในระบบห่วงโซ่อาหารและสัตว์เศรษฐกิจเพื่อที่จะได้ทราบว่าสิ่งมีชีวิตสะสมสารปรอทในร่างกายในปริมาณเท่าใดและปริมาณที่สะสมในสิ่งมีชีวิตจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคหรือมนุษย์หรือไม่

3. ควรทำการศึกษาปริมาณสารปรอทในดินตะกอนตามระยะห่างของชายฝั่ง เช่น ห่างจากชายฝั่ง 100, 200 และ 500 เมตร เพื่อที่จะได้ศึกษาการแพร่กระจายของสารปรอทตามระยะทาง

4. ควรนำข้อมูลที่ได้มานำเสนอเพื่อที่จะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการที่จะหาค่ามาตรฐานที่ยอมให้มีในดินตะกอนสำหรับประเทศไทย โดยรวบรวมจากข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้เคยมีผู้ทำไว้และเป็นการป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นหากมีการปนเปื้อนของสารปรอทเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้

5. ควรทำการศึกษาในระบบนิเวศน์ชนิดอื่นเช่น ป่าชายเลน ทะเลสาบ แม่น้ำ ปากแม่น้ำ หรือ บริเวณโรงงานอุตสาหกรรมหรือแหล่งชุมชนที่มีการปล่อยน้ำเสียสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อที่จะได้ศึกษาการใช้สารปรอท ศึกษาปริมาณสารปรอท และศึกษาแนวทางในการใช้สารปรอทโดยไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศน์ เพื่อเป็นการป้องกันปัญหาที่เกิดขึ้นหากมีการใช้สารปรอทมากเกินไป

เอกสารอ้างอิง

กรมเจ้าท่า. รายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแม่น้ำ. กรุงเทพฯ : ฝ่ายสิ่งแวดล้อม กองวิชาการ มปพ, 2539.

มนุวดี หังสพฤกษ์. สมุทรศาสตร์เคมี. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.

ไมตรี สุทธจิตต์ . สารพิษรอบตัวเรา. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่ : ดาวคอมพิวกราฟิค, 2534.

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์, 2538.

สุธรรม สิทธิชัยเกษม และสุวรรณี เฉินบำรุง. "การปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมบริเวณปากแม่น้ำของอ่าวไทยตอนใน" การสัมมนาครั้งที่ 3 การวิจัยคุณภาพน้ำและคุณภาพทรัพยากรมีชีวิตในน่านน้ำไทย. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2527.

อำไพ สิทธิเกษม และคนอื่นๆ. "ผลการวัดโลหะปริมาณน้อยในน้ำทะเลและดินตะกอน" สัมมนาเรื่องคุณภาพน้ำและสิ่งมีชีวิตในน่านน้ำไทย ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2527.

Akagi, H. and Others. "Photochemical transformation of mercury" in Distribution and Transport of Pollutions in Flowing Water Ecosystem. Final Report Ottawa River Project. Canada : National Research Council, 1977.

Alderson, D.H.M. "Sediment" in Historical Monitoring. MARC Report No.31:1-95 Marc;1985.

Anonymous. MHS-10 Mercury/Hydride System. (Operator's manual). Germany : Perkin-Elmer, 1987.

Arnold E. and Others. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th ed. Washington, 1992.

Belliveau, B.H. and Trevors, J.T. "Mercury resistance and detoxification in bacteria" Organometallic Chemistry. 3 : 219-225, 1989.

Bertine, K.. "Mean of Drtermining Natural Versus Anthropogenic Fluxes to Estuarine Sediments" In Biogeochemistry of Estuarine Sediments. (UNESCO, ED.). Mayene : Imprimerie Floch, 1976.

Bisogni,J.J. and Lawrence, A.W. "Kinetics of mercury methylation in aerobic and anaerobic aquatic environments" Journal of Water Pollutution. 47 : 135-152, 1975.

Bloom, H. and Ayling, G.M. "Heavy metals in the Derwent Estuary" Environment Geology. 2 : 3-22, 1977.

Bothner, M.H and Others. "Rate of Mercury loss from contaminated estuarine Sediments" Geochemistry Cosmochemistry. 44 : 273-285, 1980.

Bothner, H.M., and R. Carpenter. Sorption desorption reations of mercury with suspended matter in the Columbia river. IAEA / SM-158 / 5, 1972.

Burton, G. Allen. Sediment Toxicity Assessment. London : Lewis Press, 1992

Cheevaporn,V. "Mercury as a Marine Pollution" Journal of Burapha Science. 4 : 83-97, 1996.

Cheevaparanapivat, V. Heavy metals Accumulation in Sediments of the Gulf of Thailand. Bangkok : Chulalongkorn University, 1979.

Claude E. Boyd. Water quality in ponds for aquaculture. Alabama : Auburn University, n.d.

De, Anil K.. Environment Chemistry. Calcutta : Wiley Estern Limited, 1994.

Dunlap, L. "Mercury in the Environment" Chemistry English News. 5 : 22, 1971.

Engle, G. T. "Mercury" In Othmer, K.(ed). Encyclopedia of Chemical Technology 2nd ed. Vol. 13. New York : Wiley-Interscience, 1967.

ESBMP(Environmental Studies Board Panel on Mercury). "An Assessment of Mercury in the Environment" Natural Academic Science, 1978.

Fujiki, M. "The Pollution of Minamata Bay by mercury and Minamata disease" in Baker,R.A.Ed. Contaminants and Sediments. Ann Arbor. 2 : 493-500, 1980.

Gillespie, D.C. "Mobilization of mercury from sediments into guppies (*Poecilia reticulata*)" Journal of Fish Research. 29 : 1035-1041, 1972.

Greenberg, E. and Others. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th ed. Washington, 1992.

Hannerz, L. Experimental investigations on the accumulation of mercury in water organism. Fishery Board of Sweden. Instutute of Freshwater Research. Drottningholm. 48 : 120-176, 1969.

Janicki. K. and Others. "Correlation between contamination of the rural environment with mercury and occurance of leukaemia in men and cattle" Chemosphere. 16 : 253-257, 1987.

Jensen, S. and A. Jernelov. "Biological methylation of mercury in aquatic organisms" Journal of Nature. 223 : 753-754, 1969.

Jernelov, A. "Conversion of chemical compounds" In Miller, W.M. and Berg, G.G.(eds). Chemical Fallout. Charles C. Thomas. Homewood III., 1969.

Knauer, G.A. and Martin, J.H. "Mercury in a Marine Pelagic Food Chain" Limnology Oceanography. 17 : 868-876, 1972.

Kolb, L.P. and Others. Ecological implication of dimethylmercury in an aquatic food chain. PRWG105-2. Logan : Utah Water Research Laboratory Utah State University, 1973.

Kurland, L. "The outbreak of neurologic disorder in Minamata, Japan and its relationship to the ingestion of seafood contaminated by mercuric compounds" World Neurology. 1 : 370-395, 1960.

Larson, I.E. Environmental Mercury Research in Sweden. Swedish Environmental Protection Board Research Seretarist. Stockholm, 1970.

Loring D.H. and R.T.T. Rantala. Manual for the Geochemical analysis of Marine sediments and Suspended particulate matter . Canada, 1990.

Matsumura, F.Y. Gotoh and G.M. Boush. "Factors influencing translocation and transformation of mercury in river sediment" Bullitin Environment and Toxicity. 8(5) : 267, 1972.

Menasveta, P. and Swangwong, P. "Distribution of heavy metal in the Chao Phraya River Estuary" In Seminar Procedding No. 2 of the Institute of Environmental Research. Bangkok : Chulalongkorn University, 1977.

National Research Coucil. Report on the 2nd Pollution Survey in the Upper Portion of the Gulf of Thailand. Bangkok, 1974.

National Research Coucil. Report on the 3nd Pollution Survey in the Upper Portion of the Gulf of Thailand, 9-11 April 1974. Bangkok, 1976.

Pescod, M.B. and Others. "Report on an Environmental background survey of the area near the proposed site of the petrochemical complex in Chonburi Province" Bangkok : Asian Institute of Technology, 1975.

Picharn Sawangwong. A Study on the Distribution of Lead and Mercury in the Lower section of Chao Praya River. Master Science Thesis. Bangkok : Chulalongkorn University,1977.

Polprasert, C. and Others. "Heavy metals, DDT and PCBs in the Upper Gulf of Thailand" Bangkok : Asian Institute of Technology. AIT No. 105, 1977.

Prince, N.B. and Others. "Environmental Impact of Lead and Zinc in Recent Sediments" In Biogeochemistry of Estuarine sediments. (UNESCO, ED.). Mayene : Imprimerie Floch, 1976.

Rankama, K. and T.G. Sahama. Geochemistry. Interscience Publish, 1960.

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

Saha, J.G. "Significance of mercury in the environment" Residue Review 42 : 103-163, 1972 Spangler, W.J. and Others. "Methylmercury : bacterial degradation in late sediments" Journal of Science, 180 : 92-193, 1973.

Study Group on Mercury Hazards. "Hazards of mercury" Special Report to The Secretary's Pesticide Advisory Committee. Department of Health, Education and Welfare and Environmental Protection Agency, 1970.

Suess, E. and Erlenkeuser, F.G. "Distinction between Natural and Anthropogenic Materials in Sediments" In Biogeochemistry of Estuarine Sediments. (UNESCO,ED.). Mayene : Imprimerie Floch, 1975.

Thomas, R.L. "The distribution of mercury in the sediment of Lake Ontario, Canada." Journal of Earth Science. 9 : 636-651, 1972.

William, L.G., and Coffee, G.L. "Mercury monitoring technique using an organic substrate" Journal of Water Pollution. 47 : 354-361, 1975.

Wittmann.G.T.W. Metal Pollution in the Aquatic Environment. South Africa, 1983.

Wood, J.M. "Synthesis of Methylmercury compounds by Extracts of Meat Anogenic bacterium" Journal of Nature. 220 : 173-174, 1968.

1.2 เนื้อหางานวิจัยปีที่ 2 เรื่อง Bioaccumulation and Biomagnification of Hg in the Eastern Coast of Thailand

1.2.1 บทนำ

ทะเลเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต ทั้งยังเป็นแหล่งรองรับของเสียมากมาย ที่มาจากธรรมชาติและการกระทำของมนุษย์ ปัจจุบันนี้ทะเลเริ่มมีคุณภาพเสื่อมโทรมลงเรื่อย ๆ เนื่องจากเป็นแหล่งรวมของสารพิษต่าง ๆทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์

ปรอทเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตมาก ดังจะเห็นได้จากกรณีการเกิดโรคมินามาตะจากพิษของปรอท ในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเกิดจากการปล่อยสารประกอบเมอร์คิวริกคลอไรด์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ลงสู่อ่าวมินามาตะในปริมาณที่สูง มีผลให้สัตว์น้ำและประชาชนที่บริโภคสัตว์น้ำในบริเวณนั้นได้รับปริมาณปรอทสะสมในร่างกายเพิ่มสูงขึ้นทำให้ล้มป่วยและเสียชีวิตเป็นจำนวนมาก ปรอทสามารแพร่กระจายลงสู่ทะเลด้วยวิธีการต่าง ๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะปะปนมากับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำปรอทมาใช้ เช่น โรงงานผลิตโซดาไฟและคลอรีน โรงงานผลิตพลาสติก เป็นต้น เมื่อปรอทแพร่กระจายลงสู่ทะเลจะถูกดูดซับโดยสารอินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำและค่อยๆตกตะกอนลงสู่ท้องทะเล ซึ่งจะทำให้มีความเข้มข้นของปรอทสูงกว่าในน้ำ (มนุวดี หังสพฤกษ์, 2532) โดยปรอทจะอยู่ในรูปของปรอทอนินทรีย์ และสามารถเปลี่ยนรูปเป็นปรอทอินทรีย์ในรูปของเมทิลเมอร์คิวรี่ (Methylmercury) ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ของปรอทที่มีความเป็นพิษสูงได้ โดยการกระทำของจุลินทรีย์ (Microorganisms) ในสิ่งแวดล้อม สารประกอบอินทรีย์ของปรอทนี้สามารถเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในแหล่งน้ำนั้นได้ และการสะสมจะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับชั้นในห่วงโซ่อาหาร (food chain) (แววตา ทองระอาและคณะ, 2531) ซึ่งผลของสารนี้ที่มีต่อร่างกายคือ สามารถไปยับยั้งหรือทำลายการทำงานของระบบประสาท ไตและเนื้อเยื่อต่างๆ ได้

ในอดีตที่ผ่านมาก่อนปี พ.ศ. 2536 ปริมาณสารปรอทที่พบในปลาทะเลและสิ่งแวดล้อมยังมีค่าอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภคแต่ภายหลังจากปีพ.ศ.2536 เป็นต้นมา พบว่ามีการสะสมสารปรอทในปริมาณที่เพิ่มขึ้น บางครั้งมีปริมาณสูงกว่าระดับความปลอดภัยที่กำหนดไว้ (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2538) โดยมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 80 (พ.ศ. 2527) และมาตรฐานขององค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (United States Food and Drug Administration) ได้กำหนดระดับความปลอดภัยที่มีผลต่อสุขภาพและชีวิตของผู้บริโภคไว้ โดยกำหนดให้มีปริมาณสารปรอทในปลาทะเลได้สูงสุด 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ศิริ ศิวะรักษ์ และคณะ, 2527)

นับได้ว่าการสะสมของสารปรอทในสัตว์ทะเลนั้นเป็นปัญหาสำคัญยิ่ง ซึ่งก่อให้เกิดผลเสียทั้งทางด้านนิเวศน์วิทยาและการบริโภคของมนุษย์ ทั้งนี้เนื่องจากสัตว์ทะเลเป็นแหล่งอาหารประเภทโปรตีนที่สำคัญยิ่งของมนุษย์ การศึกษาปริมาณสารปรอทในเนื้อเยื่อของสัตว์ทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจนั้นจะทำให้เราทราบว่า ปัจจุบันมีปริมาณสะสมในสัตว์ทะเลเพิ่มขึ้นหรือไม่และถ้าเพิ่มขึ้นปริมาณที่เพิ่มขึ้นนั้นจะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมอย่างไร ดังนั้นจึงควรที่จะมีการติด

ตามตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ เพื่อเป็นประโยชน์ในการการควบคุมและป้องกันผลกระทบอันเกิดจากโรคพิษของสารปรอทที่มีต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณการสะสมของสารปรอทในสัตว์ทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจชนิดต่างๆบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก
2. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณการสะสมของสารปรอทในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆของปลาทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก
3. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการสะสมของในสัตว์ทะเลจากการศึกษาในครั้งนี้กับค่ามาตรฐานของสารปรอทที่ยอมให้มีอยู่ในอาหารโดยไม่เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค
4. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาด (น้ำหนัก,ความยาว) และปริมาณการสะสมของสารปรอทในเนื้อเยื่อของสัตว์ทะเลแต่ละชนิด
5. เพื่อศึกษาการขยายปริมาณเพิ่มขึ้นทางชีวภาพของสารปรอทในห่วงโซ่อาหารบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบปริมาณสารปรอทที่สะสมในสัตว์ทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก
2. ทำให้ทราบถึงชนิดของสัตว์ทะเลที่มีปริมาณสารปรอทสะสมเกินค่ามาตรฐานของสารปรอทที่ยอมให้มีอยู่ในอาหารซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก
3. สามารถนำผลที่ได้จากการศึกษาไปใช้ในการประเมินผลกระทบที่อาจเกิดกับมนุษย์และสิ่งแวดล้อม พร้อมทั้งนำไปกำหนดและดำเนินการเพื่อลดผลกระทบได้

ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาปริมาณสารปรอทในสัตว์ทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ ซึ่งแบ่งออกเป็นประเภทปลา กุ้ง หอย หมึกและปู ในบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดชลบุรี และระยอง โดยเก็บรวบรวมตัวอย่างสัตว์ทะเลจากเรือหาปลาของชาวประมงที่มาเทียบท่าที่สะพานปลาอ่างศิลา สะพานปลาแหลมฉบัง และสะพานปลาบ้านเพ และทำการสอบถามชาวประมงถึงแหล่งที่จับสัตว์ทะเลนั้นด้วยทุกครั้ง ตัวอย่างสัตว์ทะเลที่เก็บได้จะนำมาแล่เอาเฉพาะเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อแยกตามชนิดและขนาดก่อนที่จะนำตัวอย่างเก็บไว้ในภาชนะพลาสติกและแช่แข็ง สำหรับตัวอย่างปลาทะเลนำมาแล่แยกส่วนต่างๆ ได้แก่ เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ ไต กระเพาะอาหาร เหงือกและตับ แล้วจึงนำตัวอย่างทั้งหมดมาเตรียมเพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารปรอทในห้องปฏิบัติการต่อไป

1.2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปรอท (Mercury) เป็นโลหะหนักที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องมีจุดเดือดที่ 356.9 °C จุดเยือกแข็งที่ -38.87 °C มวลอะตอม 200.7 ที่อุณหภูมิ 20 °C ค่าความถ่วงจำเพาะเป็น 13.545 และค่าความดันไอเป็น 0.16 Pa (0.0012 มิลลิเมตรปรอท) โดยปกติปรอทจะไม่เกาะติดวัตถุ ปรอทในสถานะของเหลวจะมีความเป็นพิษไม่มากนักแต่ไอปรอทเป็นพิษอย่างแรง จึงควรหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับไอปรอท ปรอทในธรรมชาติมีหลายรูปทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนรูปแบบทางเคมีได้ ซึ่งปรอทแต่ละรูปจะมีความเป็นพิษไม่เท่ากัน

แหล่งที่มาของสารปรอทในสิ่งแวดล้อม

สารปรอทที่แพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมมาจากแหล่งใหญ่ๆ 2 แหล่ง ได้แก่

1. แหล่งธรรมชาติ (Natural sources) ปรอทที่พบมากในธรรมชาติคือ โลหะปรอท และปรอทซัลไฟด์ ซึ่งสามารถแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยการละลายและระเหยหรือผุกร่อนของหิน ดิน แร่ ที่มีสารปรอทเป็นส่วนประกอบอยู่ อย่างไรก็ตามการแพร่กระจายจากแหล่งธรรมชาตินั้นมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับปรอทที่ได้จากการกระทำของมนุษย์ทำให้สมดุลของธรรมชาติเปลี่ยนไปก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษยชาติและสิ่งมีชีวิตอื่นๆ

2. แหล่งที่มาจากการกระทำของมนุษย์ (Anthropogenic sources) ปรอทเป็นสารที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว่างขวางและเป็นจำนวนมาก มนุษย์รู้จักได้ใช้ประโยชน์จากสารปรอทหลายอย่างเช่น ใช้เมอร์คิวริกออกไซด์ (HgO) และซินนาบาร์ ทำเป็นเม็ดสี (pigment) และเครื่องสำอางค์มาตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ ในปัจจุบันมีการนำมาใช้อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นอิเลกโทรด (Hg electrode) ใช้ในกระบวนการผลิตโซดาไฟและคลอรีน ใช้ในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ สวิทซ์ไฟฟ้า ใช้ในโรงพยาบาล นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตร เป็นต้น เนื่องจากมีการใช้สารปรอทกันอย่างกว้างขวางทำให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์มากกว่าเกิดจากการกระทำโดยธรรมชาติ ทำให้เกิดการแพร่กระจายและตกค้างของสารปรอทในธรรมชาติในปริมาณสูงเช่นเดียวกัน ตัวอย่างการแพร่กระจายของสารปรอทโดยการกระทำของมนุษย์จนเกิดอันตรายต่อมนุษย์นั้นเคยเกิดมาแล้วที่อ่าวมินามาตะทางตอนใต้ของประเทศญี่ปุ่น เมื่อปี 1952 ทำให้ผู้คนล้มป่วยและตายลงเป็นจำนวนมาก เนื่องจากบริโภคปลาและหอยที่มีปริมาณของสารปรอทที่อยู่ในรูปของเมทิลเมอร์คิวรี่ในปริมาณที่สูง สาเหตุที่ปลาในอ่าวมีปริมาณปรอทสูงมากเนื่องมาจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตไวนิลคลอไรด์ ที่ตั้งอยู่บริเวณริมอ่าวปล่อยสารเมอร์คิวริกคลอไรด์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตลงสู่อ่าวเป็นประจำ และอีกเหตุการณ์หนึ่งในปีพ.ศ. 2515 ที่ประเทศอิรัก มีรายงานว่ามีผู้คนล้มป่วยและเสียชีวิตในปริมาณ

มาก เนื่องจากรับประทานข้าวสาลีที่ได้รับการฉีดพ่นด้วยยากำจัดเชื้อราที่ผสมสารปรอท สารปรอทที่แพร่สู่สิ่งแวดล้อมโดยการกระทำของมนุษย์นั้นมาจากหลายด้าน ดังนี้

- ด้านอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมทำสี อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมโซดาไฟและคลอรีน อุตสาหกรรมชุบโลหะ อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า เป็นต้น
- ด้านการเกษตร ได้แก่ การใช้สารประกอบอินทรีย์ของปรอทในการฆ่าเชื้อรา บางครั้งฉายเมล็ดพืชเพื่อป้องกันแมลงและโรคพืช
- จากผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า เช่น แบตเตอรี่ เทอร์โมมิเตอร์ บารอมิเตอร์ หลอดไฟฟลูออเรสเซ็น สวิสต์ไฟฟ้า เป็นต้น
- จากน้ำเสียจากชุมชนและห้องปฏิบัติการ
- จากการเผาไหม้ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ ซึ่งมีปรอทเป็นส่วนประกอบอยู่
- จากการชำรุดของอุปกรณ์ที่มีปรอทเป็นส่วนประกอบอยู่ เป็นต้น

ประเภทของสารปรอท

ในธรรมชาติสารปรอทถูกพบในรูปของแร่ซินนาบาร์ (Cinnabar) มีสูตร HgS ซึ่งมีสีแดงและไม่ละลายน้ำ สารปรอทบริสุทธิ์จะมีสถานะเป็นของเหลว เมื่อนำมาออกซิไดซ์จะเกิดสารประกอบของปรอทที่มีเลขออกซิเดชั่นทั้ง+1และ+2 ถ้าเลขออกซิเดชั่นเป็น+1 เรียกสารนี้ว่า เมอร์คิวรัส (Mercurous) เช่น Hg_2Cl_2 แต่ถ้าเลขออกซิเดชันเป็น +2 จะเรียกสารนั้นว่า เมอร์คิวริก (Mercuric) เช่น $HgCl_2$ อย่างไรก็ตามปรอทในสารประกอบเมอร์คิวรัส จะมีสองอะตอมอยู่คู่กันเสมอ เรียกว่าเกิดเป็นไดเมอร์ (dimer) ดังนั้นเมื่อสารเมอร์คิวรัสละลายน้ำจะเป็นประจุคู่เสมอ คือ Hg_2^{2+}

ประจุเมอร์คิวรัส (Hg_2^{2+}) สามารถรวมตัวกับประจุคลอไรด์ (Cl^-) เป็นเมอร์คิวรัสคลอไรด์ (Mercurous Chloride) มีสูตร Hg_2Cl_2 มีลักษณะเป็นตะกอนสีขาวเรียกว่า คาโลเมล (Calomel) ไม่ละลายน้ำ ใช้ประโยชน์เป็นอิเลกโทรดในเซลล์ไฟฟ้า สารนี้มีความเป็นพิษไม่มากนักแต่ถ้าสารนี้ถูกกับแสงสว่างโดยตรงสามารถสลายให้ Hg และ $HgCl_2$ ซึ่งสาร $HgCl_2$ นี้จะมีความเป็นพิษสูง ส่วนประจุเมอร์คิวริก (Hg^{2+}) จะมีความความเป็นพิษสูงเนื่องจากมีสัมมรรคภาพ (Affinity) สูงกับกลุ่มไทออล (thiol group; -SH) สามารถจับตัวกับซัลเฟอร์ในเม็ดเลือดแดง เซรั่มและโปรตีนชนิดต่างๆในร่างกายได้แต่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายผ่านเนื้อเยื่อ BBB (Blood-Brain Barrier) ในสิ่งมีชีวิตได้

ประจุเมอร์คิวริก (Hg^{2+}) เมื่อทำปฏิกิริยากับประจุคลอไรด์ (Cl^-) จะได้เป็นเมอร์คิวริกคลอไรด์ซึ่งมีความเป็นพิษมากแต่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายผ่านเนื้อเยื่อ BBBได้ แต่เมอร์คิวริกคลอไรด์ นี้สามารถเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบอินทรีย์ของปรอท เช่น เมทิลเมอร์คิวรี่ (Methylmercury) ,ไดเมทิลเมอร์คิวรี่ (Dimethylmercury) ได้โดยการกระทำของจุลินทรีย์ (Microorganisms) และภายใต้สภาวะที่เป็นกรด ไดเมทิลเมอร์คิวรี่สามารถเปลี่ยนรูปเป็นเมทิลเมอร์คิวรี่(Methylmercury) ซึ่งมี

ความเป็นพิษสูงมากเนื่องจากมีคุณสมบัติละลายได้ดีในไขมันจึงทำให้สามารถเคลื่อนย้ายผ่านเนื้อเยื่อ BBB เข้าไปขัดขวางการทำงานของระบบประสาท มีผลให้ระบบประสาททำงานผิดปกติ เกิดเป็นอาการของโรคมินามาตะได้ (ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, 2525)

รูปแบบทางเคมีและความเป็นพิษของสารปรอท

ปรอทในธรรมชาติมีหลายรูปทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนรูปแบบได้ ซึ่งปรอทแต่ละรูปจะมีความเป็นพิษไม่เท่ากัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

การเปลี่ยนรูปของสารปรอทในสิ่งแวดล้อม

รูปของสารปรอทที่ถูกปลดปล่อยลงสู่แหล่งน้ำมีอยู่ 5 รูป ดังนี้

1. Divalent mercury , Hg^{2+}
2. Metallic mercury , Hg^{0}
3. Phenylmercury , $C_6H_5Hg^{+}$
4. Methylmercury , CH_3Hg^{+}
5. Alkoxyalkylmercury , $CH_3O\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}Hg^{+}$

เมื่อสารปรอทถูกปลดปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมในน้ำแล้ว บางส่วนจะเข้าไปติดอยู่กับอินทรีย์วัตถุที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ซึ่งสารแขวนลอยในน้ำเหล่านี้จะทำหน้าที่คล้ายกับตัวกำจัดปรอทออกไปจากน้ำโดยการเหนี่ยวนำให้ปรอทไอออนมาเกาะติดแล้วจะเกิดการตกตะกอนลงสู่พื้นของแหล่งน้ำในเวลาต่อมา สารปรอทอนินทรีย์ที่ตกตะกอนอยู่ในแหล่งน้ำนั้นสามารถเปลี่ยนเป็นสารปรอทอินทรีย์ในรูปของ Methylmercury (CH_3Hg^{+}) ได้โดยกระบวนการทางชีวภาพ จุลินทรีย์ที่มีความสามารถเปลี่ยนรูปของสารปรอทอนินทรีย์ให้เป็นสารปรอทอินทรีย์ ได้แก่ "methanogenic bacteria" การเปลี่ยนรูปนี้จะทำให้เกิดปรอทอินทรีย์ทั้งสองรูปแบบ คือ เมทิลเมอร์คิวรี่และไดเมทิลเมอร์คิวรี่ ซึ่งเมทิลเมอร์คิวรี่เป็นรูปของปรอทที่สามารถคงสภาพอยู่ในน้ำได้ แต่ไดเมทิลเมอร์คิวรี่เป็นรูปของปรอทที่มีความสามารถในการระเหยสูง ดังนั้นส่วนใหญ่จึงระเหยออกจากแหล่งน้ำไป ปรอทที่อยู่ในน้ำอาจถูกขจัดออกจากน้ำได้โดยการระเหยเป็นไอในรูปของไดเมทิลเมอร์คิวรี่ซึ่งจะกระจายในอากาศต่อไป แต่จะสลายตัวเมื่อถูกแสงอุลตราไวโอเลตจึงไม่ค่อยพบในอากาศมากนัก ในสภาวะ reducing condition ปรอทในน้ำจะถูกเปลี่ยนเป็นปรอทซัลไฟด์ แล้วเกิดการตกตะกอน ปรอทในรูปนี้ละลายน้ำได้น้อยหรือไม่ละลายเลย แต่อย่างไรก็ดีปรอทซัลไฟด์นี้อาจถูกออกซิไดซ์ได้โดยเฟอริกไอออน (Fe^{3+}) และมีโอกาสละลายน้ำออกมาได้อีก แหล่งน้ำที่มีการขาดออกซิเจนนั้นที่บริเวณพื้นท้องน้ำอาจมีไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่มาก ซึ่งไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถทำปฏิกิริยากับเมทิลเมอร์คิวรี่ให้เป็นสารปรอทอินทรีย์ในรูปของไดเมทิลเมอร์คิวรี่ซัลไฟด์($CH_3S\text{-}HgCH_3$)ได้ สารปรอทอินทรีย์เหล่านี้สามารถเข้าไปสะสมในห่วงโซ่อาหารและเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ในที่สุด การ

เปลี่ยนรูปของสารปรอทอนินทรีย์ไปเป็นสารปรอทอินทรีย์นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมหลายประการ เช่น ความเป็นกรดและด่างของน้ำ ปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอน ชนิดและปริมาณของแบคทีเรียในดินตะกอน เป็นต้น ค่าความเป็นกรดและด่างของน้ำนั้นมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนรูปของปรอท คือในสภาวะที่เป็นด่างจะทำให้เกิดไดเมทิลเมอร์คิวรี่ แต่ถ้าอยู่ในสภาวะที่เป็นกลางหรือด่างเล็กน้อยจะทำให้มีการเปลี่ยนรูปเป็นเมทิลเมอร์คิวรี่มากขึ้น นอกจากนี้สภาวะที่เป็นกรดจะมีผลทำให้ไดเมทิลเมอร์คิวรี่ เปลี่ยนรูปเป็นเมทิลเมอร์คิวรี่ได้โดยง่าย (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2538) (ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4)

ขบวนการเกิดเมทิลเลชั่น (Methylation process)

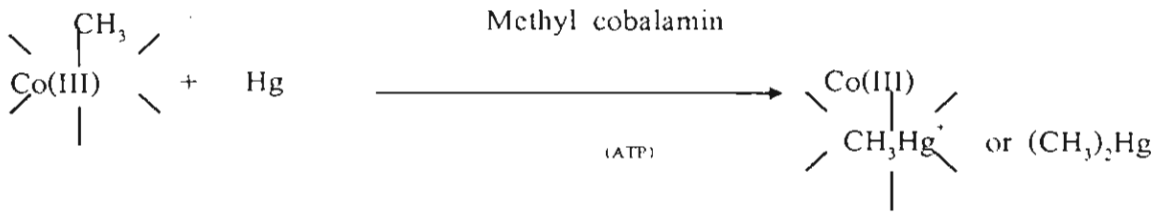
เมทิลเลชั่น เป็นขบวนการที่เกิดขึ้นในดินตะกอนเนื่องจากสารปรอทสามารถเปลี่ยนรูปแบบทางกายภาพและทางเคมีได้ง่าย โดยสามารถเปลี่ยนไปเป็น CH_3Hg , $(CH_3)_2Hg$ และเป็นสารปรอทที่สามารถระเหยได้ นอกจากนี้บางส่วนก็สูญหายไปอยู่ในดินตะกอน ปรอทสามารถเคลื่อนย้ายเข้าไปติดอยู่ในดินตะกอนในรูปของ CH_3Hg หรือ $(CH_3)_2Hg$ หรือสารอนินทรีย์ในรูปของก๊าซ

ขบวนการเกิดเมทิลเลชั่นสามารถเกิดได้ 2 ขั้นตอน คือ

1. เมทิลเลชั่น (Methylation) เป็นการรวม Hg เข้ากับ CH_3-group
2. ดีเมทิลเลชั่น (Demethylation) เป็นการเคลื่อนย้าย CH_3-group ออกจาก Hg เป็นขั้นตอนสำคัญในการลดความเป็นพิษและการปนเปื้อนของสารปรอทในดินตะกอน

อัตราการเกิดเมทิลเลชั่นในปรอทอินทรีย์และปรอทอนินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมจะขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น pH พบว่าในลำคลองและทะเลสาบความเข้มข้นของ CH_3Hg จะสูงเมื่อ pH ของน้ำต่ำ เพราะ $(CH_3)_2Hg$ จะถูกย่อยสลายไปเป็น CH_3Hg ได้ที่สภาพ pH ต่ำและจะเกิดในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนในดินตะกอน

สารปรอทอนินทรีย์ที่สะสมในสิ่งแวดล้อมสามารถถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบอินทรีย์ซึ่งมีพิษสูงได้โดยแบคทีเรียที่สามารถสังเคราะห์สารมีเทน โดยใช้โคบอลท์(III) ในวิตามินB12 เป็นตัวช่วย กลุ่มมีเทนจะจับตัวกับโคบอลท์(III) และถูกเคลื่อนย้ายต่อไปจับตัวกับประจุ Hg^{2+} โดยผ่านเมทิลโคบามีน (Methyl cobalamin) ดังสมการ

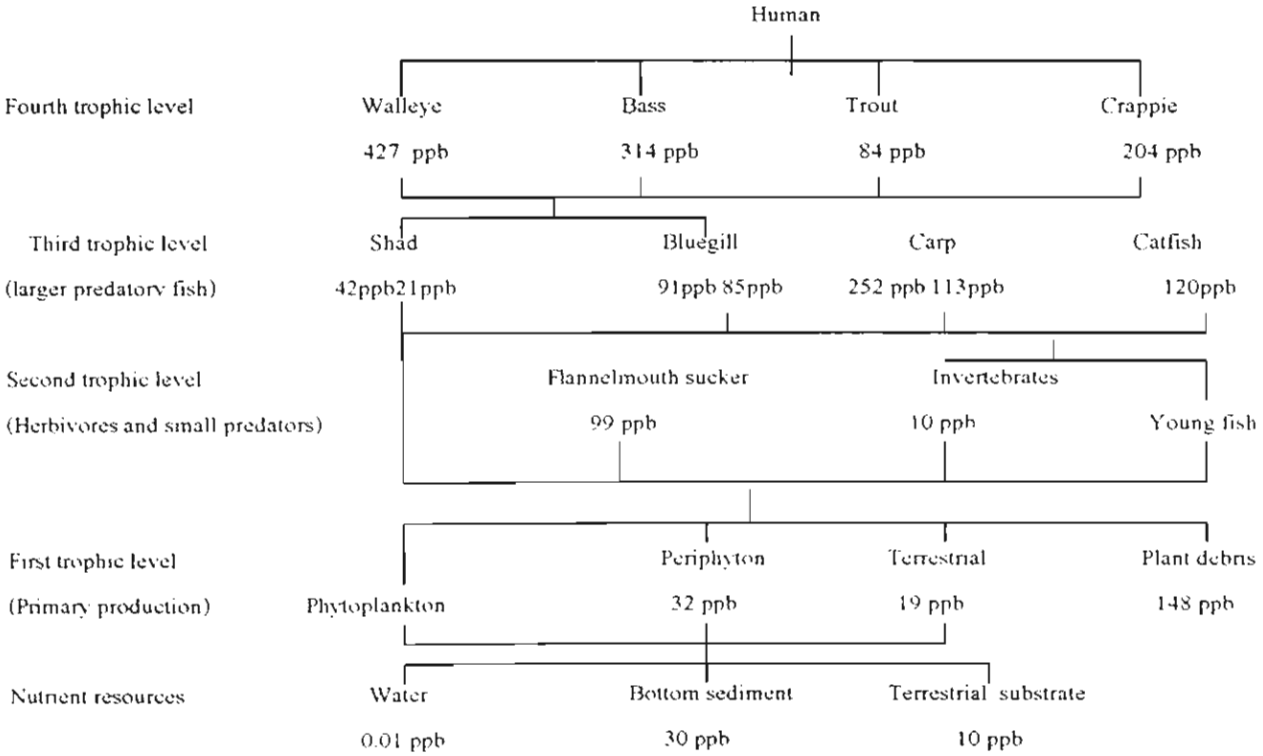


ที่มา : Dunlap (1971)

Akagi.et al (1977) พบว่า Photomethylation ในกระบวนการของสิ่งมีชีวิตสามารถทำให้ $HgCl_2$ เปลี่ยนเป็น CH_3Hg ได้โดยรังสีอุลตราไวโอเลต

การสะสมสารปรอทในสิ่งมีชีวิต

สารปรอทเมื่อถูกปลดปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจะถูกดูดซับโดยอินทรีย์วัตถุที่แขวนลอยอยู่ในแหล่งน้ำนั้นและสามารถเคลื่อนย้ายเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารได้ โดยแพลงค์ตอนพืชซึ่งเป็นผู้ผลิตที่สำคัญในห่วงโซ่อาหารได้ดูดซับสารปรอทจากน้ำและอินทรีย์วัตถุที่แขวนลอยในน้ำเข้าสะสมในร่างกาย เมื่อสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กหรือผู้บริโภคอันดับที่ 1 บริโภคแพลงค์ตอนพืชสารปรอทก็จะเข้าไปสะสมในร่างกายของสิ่งมีชีวิตนั้นได้ และจะสะสมเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆตามลำดับชั้นในห่วงโซ่อาหาร ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1 และ 24



ภาพประกอบ 24 แสดงการขยายปริมาณเพิ่มขึ้น (Biological magnification) ของสารปรอทในห่วงโซ่อาหาร (John and Elizabeth, 1976)

การศึกษาระดับปริมาณสารปรอทในเนื้อเยื่อของสัตว์ทะเล

การศึกษาปริมาณสารปรอทในสัตว์ทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ ในระยะเวลาที่ผ่านมาส่วนใหญ่พบว่าปริมาณสารปรอทยังไม่เกินค่ามาตรฐาน ซึ่งมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 80 (พ.ศ. 2527) และมาตรฐานขององค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (United States Food and Drug Administration) ได้กำหนดระดับความปลอดภัยที่มีผลต่อสุขภาพและชีวิตของผู้

บริโภคไว้ โดยกำหนดให้มีปริมาณสารปรอทในปลาและสัตว์ทะเลได้สูงสุด 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ศิริ ศิวะรักษ์ และคณะ, 2527)

การศึกษาเกี่ยวกับปริมาณสารปรอทในสัตว์ทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจในบริเวณต่างๆ ของอ่าวไทยและพื้นที่ใกล้เคียงได้รวบรวมไว้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 11 แสดงปริมาณสารปรอทในสัตว์ทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจบริเวณอ่าวไทยและพื้นที่ใกล้เคียง

สถานที่ศึกษา	ปีที่ศึกษา	สัตว์ทะเล	ปริมาณปรอทเฉลี่ย (ppm)	เอกสารอ้างอิง
Inner Gulf	ส.ค.-ก.ย. 2515	ปลาทะเล	0.08-0.03	Huschenbeth and Harms (1975)
Rayong area		ปลาทะเล กุ้งทะเล หอยแมลงภู่	<0.01 - 0.10 0.05-0.2 0.02	
อ่าวไทยตอนบน	2516-2520	ปลาและสัตว์ทะเลอื่นๆ	พบปริมาณปรอทเกิน 0.1 ppm ร้อยละ 4.2	ศิริ ศิวะรักษ์และคณะ (2521)
อ่าวไทยตอนล่าง		ปลาและสัตว์ทะเลอื่นๆ	พบปริมาณปรอทเกิน 0.1 ppm ร้อยละ 4.5	
อ่าวไทยตอนบน	ก.ย.2519-มี.ค 2520	ปลาทะเล	ค่าต่ำสุดวัดได้ 0.002 ค่าสูงสุดวัดได้ 0.653	วรวิทย์ ชีวากรณาภิวัฒน์ (2520)
อ่าวไทยตอนบน	2521-2523	ปลาและสัตว์ทะเลอื่นๆ	พบปริมาณปรอทเกิน 0.1 ppm ร้อยละ 3.2	ศิริ ศิวะรักษ์และคณะ (2524)
อ่าวไทยตอนล่าง		ปลาและสัตว์ทะเลอื่นๆ	พบปริมาณปรอทเกิน 0.1 ppm ร้อยละ 3.5	
อ่าวไทยตอนบน	2524-2526	ปลา	พบปริมาณปรอทเกิน 0.1 ppm ร้อยละ 3.6	ศิริ ศิวะรักษ์และคณะ (2527)
อ่างศิลา บางโปรง และบางปะกง	2525-2526	หอยนางรม หอยแมลงภู่ และหอยแครง	ค่าต่ำสุดวัดได้ 0.001 ค่าสูงสุดวัดได้ 0.041	ศิริ ศิวะรักษ์และคณะ (2527)

(ต่อ)

สถานที่ศึกษา	ปีที่ศึกษา	สัตว์ทะเล	ปริมาณปรอทเฉลี่ย (ppm)	เอกสารอ้างอิง
ปากแม่น้ำบางปะกง	เม.ย.2522-มี.ค.2525	ปลา	0.032	สุธรรม สิทธิชัย เกษม และ สุวรรณี เฉินบำรุง (2527)
		กุ้ง	0.046	
ปากแม่น้ำท่าจีน		หอยแมลงภู่	0.043	
		ปลา	0.050	
		กุ้ง	0.031	
ปากแม่น้ำแม่กลอง		หอยแมลงภู่	0.043	
		ปลา	0.042	
		กุ้ง	0.051	
ปากแม่น้ำเพชรบุรี		หอยแมลงภู่	0.032	
		หอยแมลงภู่	0.033	
ปากแม่น้ำปราณบุรี		ปลา	0.012	
		กุ้ง	0.021	
ฟาร์มบริเวณโดยรอบอ่าวไทย	เม.ย.2523-ก.ย.2524	หอยลาย	0.02	สุนันท์ นุชประมูล และคณะ (2529)
		หอยแครง	0.02	
		หอยแมลงภู่	0.02	
สะพานปลาบ้านเพ จ.ระยอง	มิ.ย. - ธ.ค. 2529	ปลาทะเล	0.046	แววตา ทองระอา และคณะ (2531)
สะพานปลาบางเสร่ จ.ชลบุรี		ปลาทะเล	0.039	
สะพานปลาอ่างศิลาและเขาสามมุข จ.ชลบุรี		ปลาทะเล	0.041	
สะพานปลาบ้านเพ จ.ระยอง	ต.ค. 2530-ก.ย. 2531	ปลาทะเล	0.035	แววตา ทองระอา และคณะ (2532)
		หมึก	0.025	
สะพานปลาบางเสร่ จ.ชลบุรีสะพานปลาอ่างศิลาและเขาสามมุข จ.ชลบุรี		ปูม้า	0.021	
		กั้งตั๊กแตน	0.016	
		หอยนางรม	0.017	
		กุ้ง	0.010	

นอกจากนี้ยังมีผู้ศึกษาอัตราการสะสมสารปรอทในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆของปลาทะเล พบว่า ความเข้มข้นของสารปรอทที่สะสมในไตมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ ตับ และกล้ามเนื้อ ตามลำดับ (แววดา ทองระอา, 2535)

1.2.3 วิธีการดำเนินงาน

วิธีดำเนินงาน

การเก็บตัวอย่างสัตว์ทะเล

เก็บตัวอย่างสัตว์ทะเล 5 ประเภท ได้แก่ ปลา , กุ้ง , หมึก , หอย และปู จากสะพานปลารวม 3 สถานี ได้แก่ สะพานปลาอ่างศิลา , สะพานปลาแหลมฉบัง และสะพานปลา บ้านเพ (ดังภาพประกอบที่ 25) โดยเก็บตัวอย่างสถานีละ 5 ประเภท ประเภทละ 20 ตัวอย่าง ตัวอย่างสัตว์ทะเลที่เก็บได้จะเก็บในถังแช่เย็นและนำกลับมาห้องปฏิบัติการเพื่อชั่งน้ำหนัก วัดความยาว และแล่เอาเฉพาะส่วนเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ สำหรับปลาทะเลจะแยกเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ดังนี้ เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ , ไต , ตับ , กระเพาะอาหาร และเหงือก และตัวอย่างทั้งหมดที่จะนำมาวิเคราะห์เก็บในภาชนะพลาสติกแยกตามชนิดก่อนที่จะนำมาเตรียมเพื่อวิเคราะห์ต่อไป

การเตรียมตัวอย่างสัตว์ทะเลเพื่อการวิเคราะห์

นำตัวอย่างสัตว์ทะเลที่ทำการแล่เนื้อเยื่อแล้วมาเข้าตู้แช่แข็ง (Deep Freezer) ที่อุณหภูมิ -80 °C เป็นเวลา 1-2 วัน แล้วนำตัวอย่างออกจากตู้แช่แข็งไปเข้าเครื่องดูดความชื้น (Freezer Dryer) ที่อุณหภูมิ -55 °C ประมาณ 1-2 วัน แล้วจึงนำตัวอย่างออกจากเครื่องดูดความชื้นและทำการบดให้ละเอียด

การย่อย (Digestion) ตัวอย่างเนื้อเยื่อสัตว์ทะเล เพื่อการวิเคราะห์ปริมาณสารปรอท

โดยวิธี Melton Technique (Fisheries 477) ดังนี้

1. ชั่งตัวอย่างที่บดแล้ว 1 g ใส่ในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer Flask) ขนาด 250ml
2. เติมสารละลายกรดผสม $HNO_3 : H_2SO_4$ (1:1) ลงไป 20 ml
3. ปิดปาก flask ด้วยกระจกนาฬิกา ย่อยใน water bath ที่อุณหภูมิประมาณ 95 ± 2 °C นาน 20 นาที หรือจนสารละลายใส
4. เติม $K_2S_2O_8$ ที่อิ่มตัวลงไป 10 ml และเติมน้ำกลั่น 50 ml เขย่าให้เข้ากัน
5. ย่อยต่อไปที่อุณหภูมิประมาณ 95 ± 2 °C อีกประมาณ 2 ชั่วโมง
6. ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วปรับปริมาตรสุดท้ายให้เป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่น เทตัวอย่างใส่ขวดใหม่เพื่อเก็บไว้วิเคราะห์ต่อไป

การวิเคราะห์ปริมาณสารปรอท

วิเคราะห์ปริมาณสารปรอทด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS 3300) และ Hydride generator MHS-10 ของ Perkin-Elmer โดยการวิเคราะห์จะใช้สารละลาย $NaBH_4$ 3% ใน NaOH 1% และกรดไนตริกเข้มข้น 1.5% เป็นตัวทำปฏิกิริยา (ดังภาพประกอบที่ 26)

ชั่งตัวอย่างเนื้อเยื่อสัตว์ทะเล 1 g ใส่ใน flask ขนาด 250 มล.

↓

เติมสารละลายกรดผสม $HNO_3 : H_2SO_4$ (1:1) ลงไป 20 ml .

↓

ปิดปาก flask ด้วยกระจกนาฬิกา ย่อยใน water bath ที่อุณหภูมิประมาณ 95 $\pm$ 2 °C นาน 20 นาที หรือจนสารละลายใส

↓

เติม $K_2S_2O_8$ ที่อิ่มตัวลงไป 10 ml และเติมน้ำกลั่น 50 ml เขย่าให้เข้ากัน

↓

ย่อยต่อไปที่อุณหภูมิประมาณ 95 $\pm$ 2 °C อีกประมาณ 2 ชั่วโมง

↓

ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

↓

ปรับปริมาตรสุดท้ายให้เป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่น

↓

วิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

(ใช้ $NaBH_4$ เป็น Reducing agent โดยใช้ 3% $NaBH_4$ ละลายใน 1 % NaOH)

ภาพประกอบ 26 แสดงขั้นตอนการย่อยตัวอย่างเนื้อเยื่อสัตว์ทะเล และการวิเคราะห์สารปรอทในเนื้อเยื่อสัตว์ทะเล

การคำนวณ

สร้างกราฟมาตรฐานโดยเขียนกราฟระหว่างความสูงของพีค (peak) ของสารละลายมาตรฐานกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน วัดความสูงของพีคที่อ่านได้จากสารตัวอย่าง นำไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานแล้วอ่านค่าความเข้มข้นจากกราฟ นำความเข้มข้นที่อ่านได้มาคำนวณกับปริมาณหรือน้ำหนักของตัวอย่างก่อนการคำนวณสูตรความเข้มข้นของสาร

Calculation (Perkin-Elmer AA lab Note No. 15E and 19E)

$$\frac{V.X}{A.W} = \text{Concentration of Mercury in } \mu g/g$$

where

V = Total volume of the digestion solution (ml)

X = Determined weight of metal in sample aliquot A (μg)

A = Sample aliquot (ml)

W = Sample weight (g)

ในการคำนวณหาปริมาณสารปรอททั้งหมดเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต่อกับเครื่อง AAS จะทำการคำนวณให้

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เนื่องจากปัจจัยทั้งหมด ได้แก่ สถานี , ชนิดของสัตว์ทะเล , เนื้อเยื่อส่วนต่างๆของปลาทะเล และขนาดของสัตว์ทะเล เป็นปัจจัยคงที่ (Fixed Factors) ทั้งหมด ดังนั้นการทดลองนี้จึงเป็นแบบ All fixed factor ANOVA โดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) ทดสอบความแตกต่างของแต่ละปัจจัย

1.2.4 ผลการศึกษา

- การขยายตัวทางชีวภาพของสารปรอท (Biomagnification) ในลูกโซ่อาหารทางทะเล บริเวณชายฝั่งภาคตะวันออก

ผลการศึกษาพบว่ามีการขยายตัวทางชีวภาพของสารปรอท (Biomagnification) ในห่วงลูกโซ่อาหารทางทะเล ในบริเวณอ่างศิลา แหลมฉบัง และสถานีระยอง (รูปที่ 27 และ 28) กล่าวคือในระดับห่วงลูกโซ่อาหารที่สูงขึ้นจะมีการสะสมของสารปรอทสูงขึ้นตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่าส่วนใหญ่ตัวอย่างสัตว์น้ำที่มีค่าระดับสารปรอทต่ำกว่าที่กำหนดไว้โดยองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (USFDA) ที่กำหนดค่า tolerance limit ไว้ที่ 0.5 μg/g ยกเว้นตัวอย่างหมึกกล้วย (อ่างศิลา, แหลมฉบัง) และปูม้า (ระยอง) พบมีเพียง 3 ตัวอย่างที่มีค่าเกินมาตรฐานดังกล่าวเล็กน้อย

- ปริมาณสารปรอทในสัตว์ทะเลประเภทต่างๆ

พบว่าระดับปริมาณสารปรอทในสัตว์ทะเลประเภทต่างๆ มีระดับแตกต่างกันไปตามสถานีต่างๆ ดังนี้

สถานีอ่างศิลา พบว่าระดับค่าเฉลี่ยของสารปรอทเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยดังนี้

- ปูม้า > หมึกกล้วย > ปลาแดง > กุ้งแชบ๊วย > ปลาหางแข็งบั้ง > หอยแมลงภู่ > ปลาเห็ดโคนจุด

ส่วนในสถานีแหลมฉบังพบว่ามีลักษณะแตกต่างจากสถานีอ่างศิลาดังนี้

- หมึกกล้วย > ปลาเห็ดโคนจุด >ปลาแดง, ปูม้า > กุ้งแชบ๊วย > ปลาหางแข็งบั้ง > หอยแมลงภู่

และในสถานีระยองพบว่ามีลักษณะแตกต่างจากสถานีอ่างศิลาและสถานีแหลมฉบังดังนี้

- ปลาหางแข็งบั้ง > ปูม้า > หมึกกล้วย > กุ้งแชบ๊วย > ปลาแดง > หอยแมลงภู่ > ปลาเห็ดโคนจุด

(ภาพประกอบ 29 และ 30)

อย่างไรก็ตามพบว่าค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ตรวจพบคือในปลาหางแข็งบั้งที่สถานีระยองมีค่าเฉลี่ย 0.387 μg/g ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยต่อผู้บริโภคที่กำหนดโดย USFDA และมาตรฐานกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 80 (2527) ที่กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 0.5 μg/g

จากตัวอย่างสัตว์ทะเลทั้งหมด 390 ตัวอย่าง พบว่ามีค่าสารปรอทอยู่ในช่วง 0.002 - 0.714 μg/g โดยมีค่าเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 0.118 μg/g และพบว่า

77 ตัวอย่าง	มีค่าสารปรอท	< 0.05	μg/g	คิดเป็น	19.34 %
147 ตัวอย่าง	มีค่าสารปรอท	0.05 - 0.10	μg/g	คิดเป็น	37.69 %
106 ตัวอย่าง	มีค่าสารปรอท	0.11 - 0.20	μg/g	คิดเป็น	27.18 %

39 ตัวอย่าง	มีค่าสารปรอท	0.21 - 0.30	µg/g	คิดเป็น	10.00 %
14 ตัวอย่าง	มีค่าสารปรอท	0.31 - 0.40	µg/g	คิดเป็น	3.59 %
4 ตัวอย่าง	มีค่าสารปรอท	0.41 - 0.50	µg/g	คิดเป็น	1.03 %
3 ตัวอย่าง	มีค่าสารปรอท	> 0.50	µg/g	คิดเป็น	0.77 %

- ปริมาณสารปรอทในเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของสัตว์น้ำบางชนิด

ได้ทำการทดลองวิเคราะห์ปริมาณสารปรอทในเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของสัตว์น้ำ 2 ชนิด คือ ปลาเก๋า (Ephinephelus corallicola) และปลากะพงข้างปาน (Lutjanus johnii) พบว่ามีปริมาณสารปรอทสะสมมากใน ไต ตับ และกล้ามเนื้อตามลำดับ (ภาพประกอบ 31 และ 32)

- การสะสมของสารปรอทในสัตว์น้ำ

จากการศึกษาการสะสมของสารปรอทในสัตว์น้ำจากทั้ง 3 สถานี พบว่ากุ้งแชบ๊วย (Penaeus merguiensis) และปลาหางแข็งบั้ง (Atule mate) มีการสะสมสารปรอทเพิ่มขึ้นเมื่อมีอายุหรือขนาดเพิ่มขึ้น

ส่วนปูม้า (Portus pelagicus) ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปรอทกับน้ำหนัก ที่สถานีอ่างศิลา แต่พบความสัมพันธ์ดังกล่าวที่สถานีแหลมฉบังและระยอง

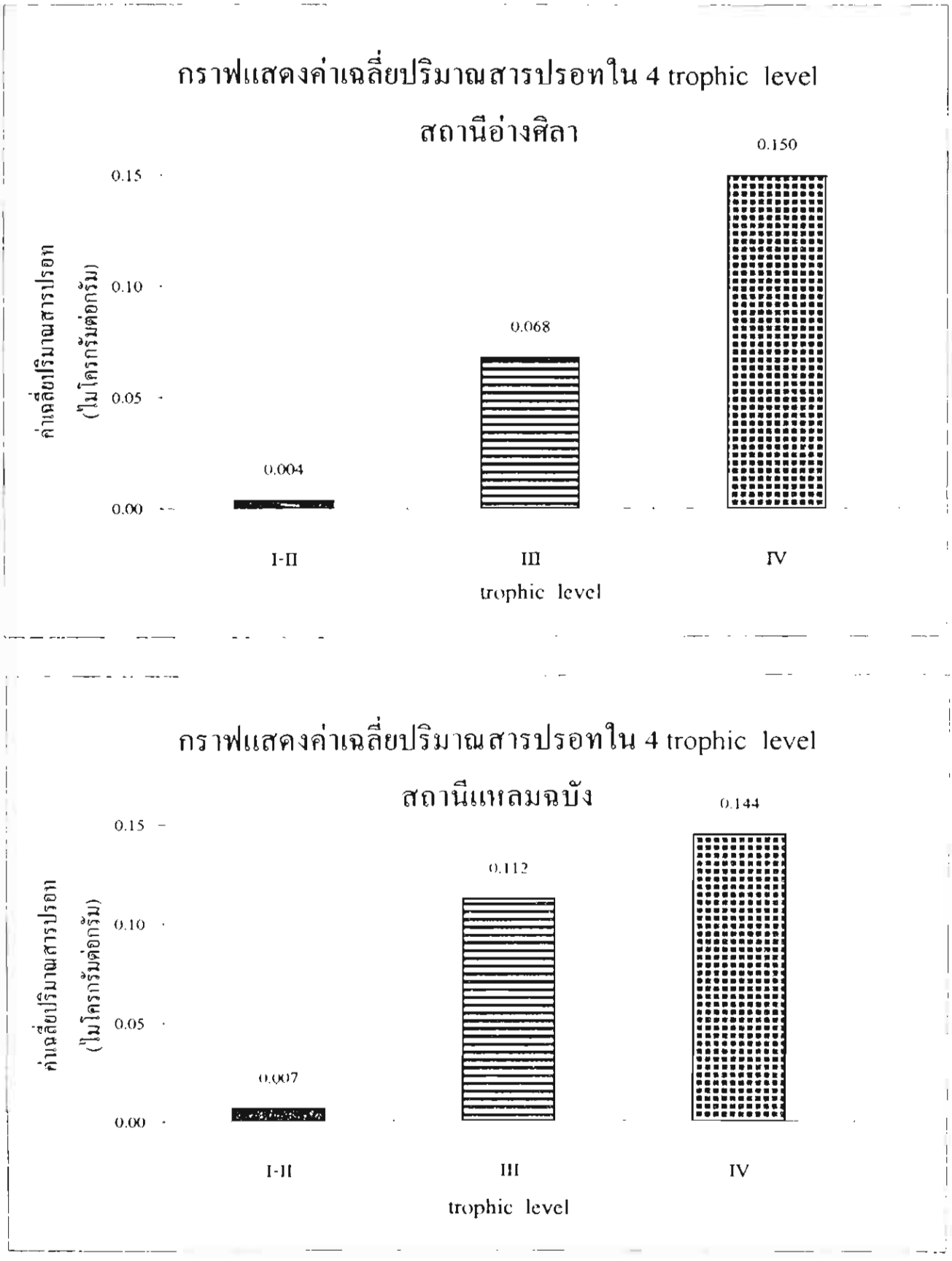
หมึกกล้วย (Loligo formosana) พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปรอทกับน้ำหนักที่สถานีอ่างศิลา แต่ไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าวที่สถานีแหลมฉบัง และระยอง

หอยแมลงภู่ (Mytilus edulis) พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปรอทกับน้ำหนักที่สถานีอ่างศิลา แหลมฉบัง แต่ไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าวที่สถานีระยอง

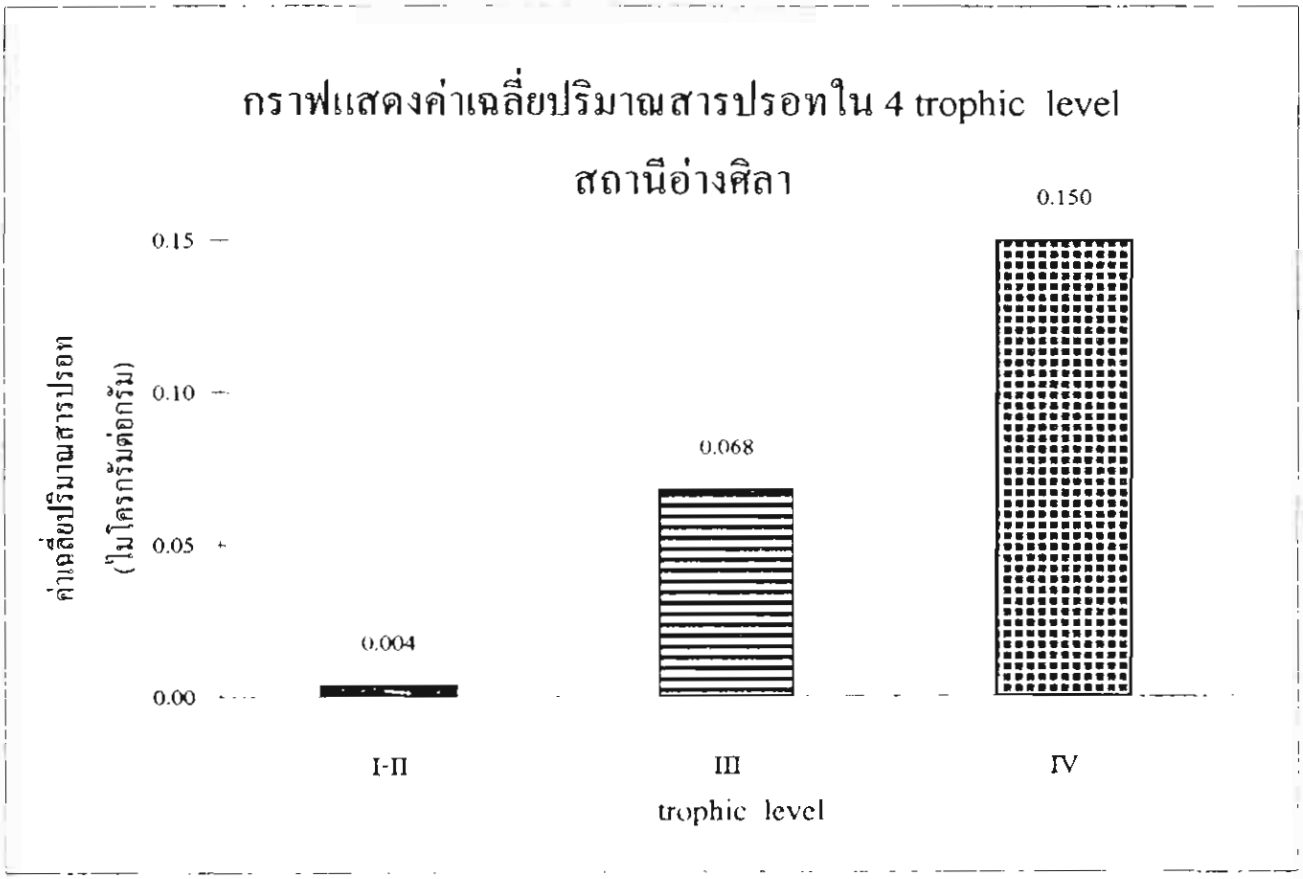
ปลาแดง (Nemipterus tolu) พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปรอทกับน้ำหนักที่สถานีอ่างศิลา ระยอง แต่ไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าวที่สถานีแหลมฉบัง

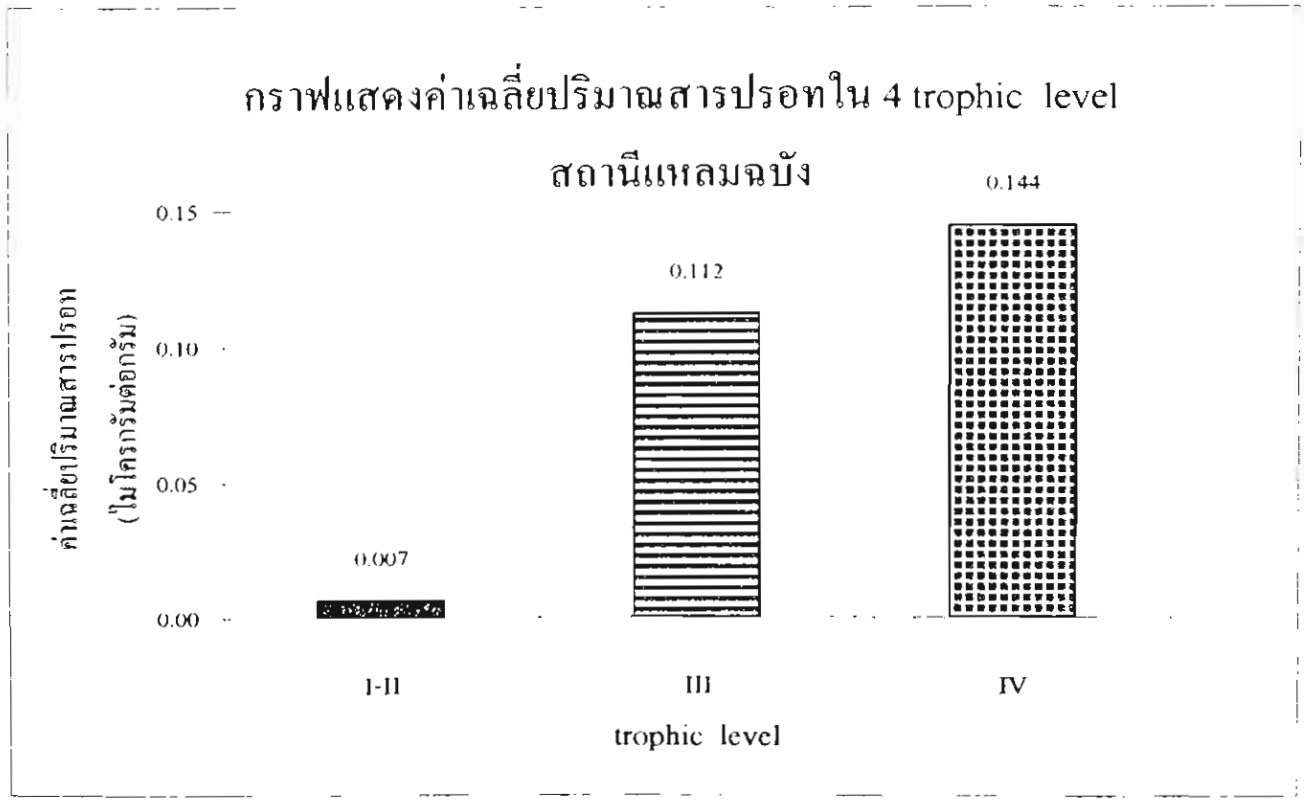
ปลาเห็ดโคนจุด (Sallago maculata) พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปรอทกับน้ำหนักที่สถานีอ่างศิลา แหลมฉบัง แต่ไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าวที่สถานีระยอง

สาเหตุของความแปรผันของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปรอทกับน้ำหนักที่สถานีต่าง ๆ นั้นยังไม่ทราบแน่ชัด (ภาพประกอบ 33, 34 และ 35)

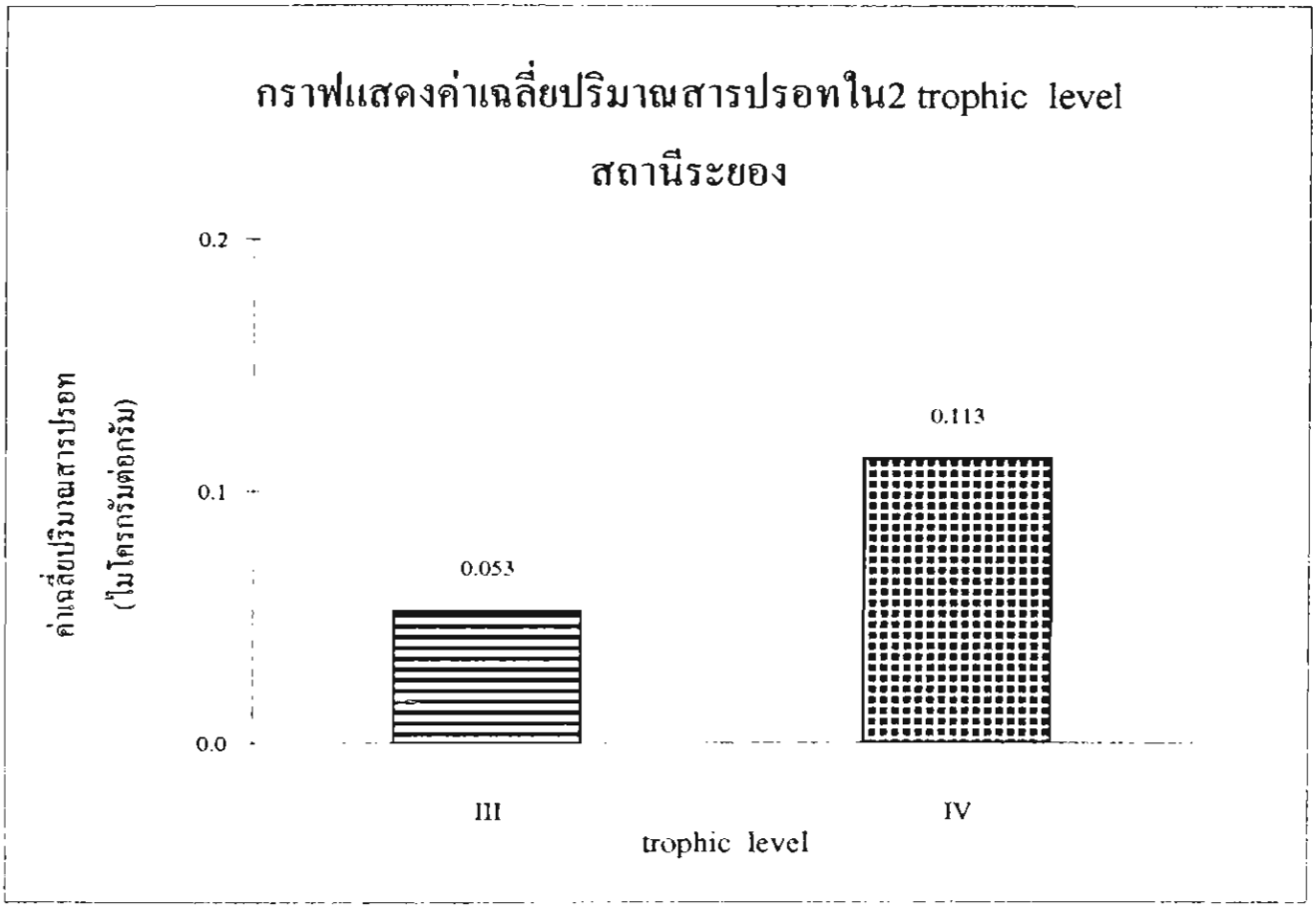


รูปที่ 27 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณสารปรอทในห่วงโซ่อาหารบริเวณอ่างศิลาและแหลมฉบัง

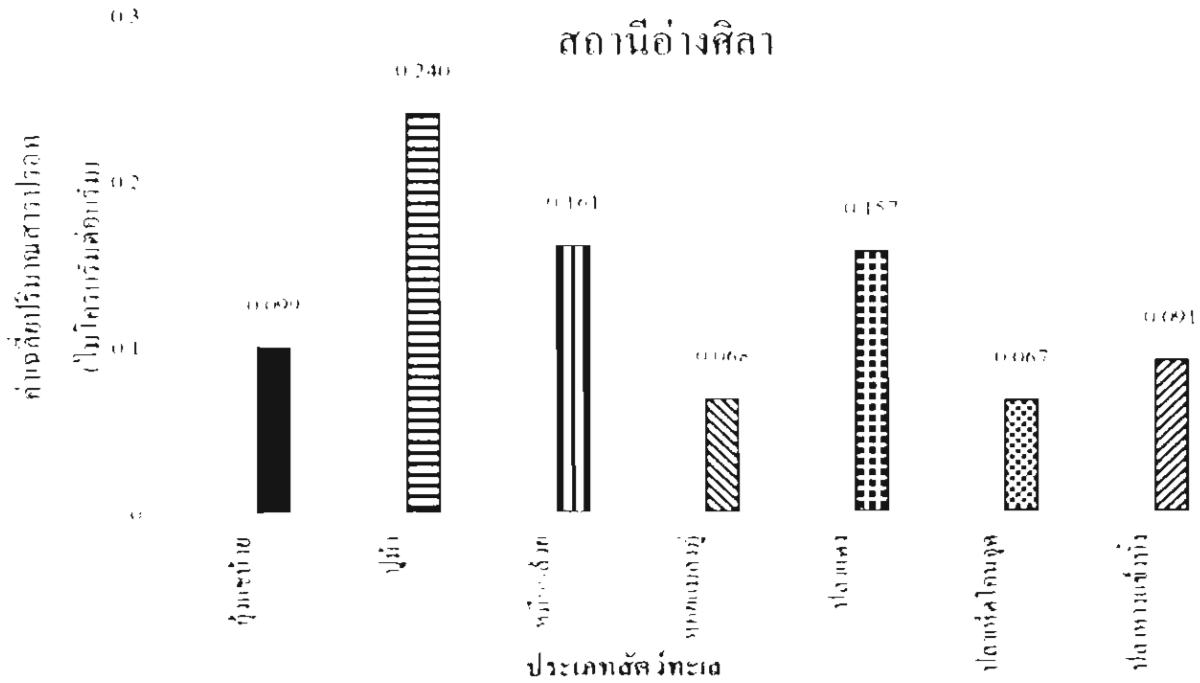


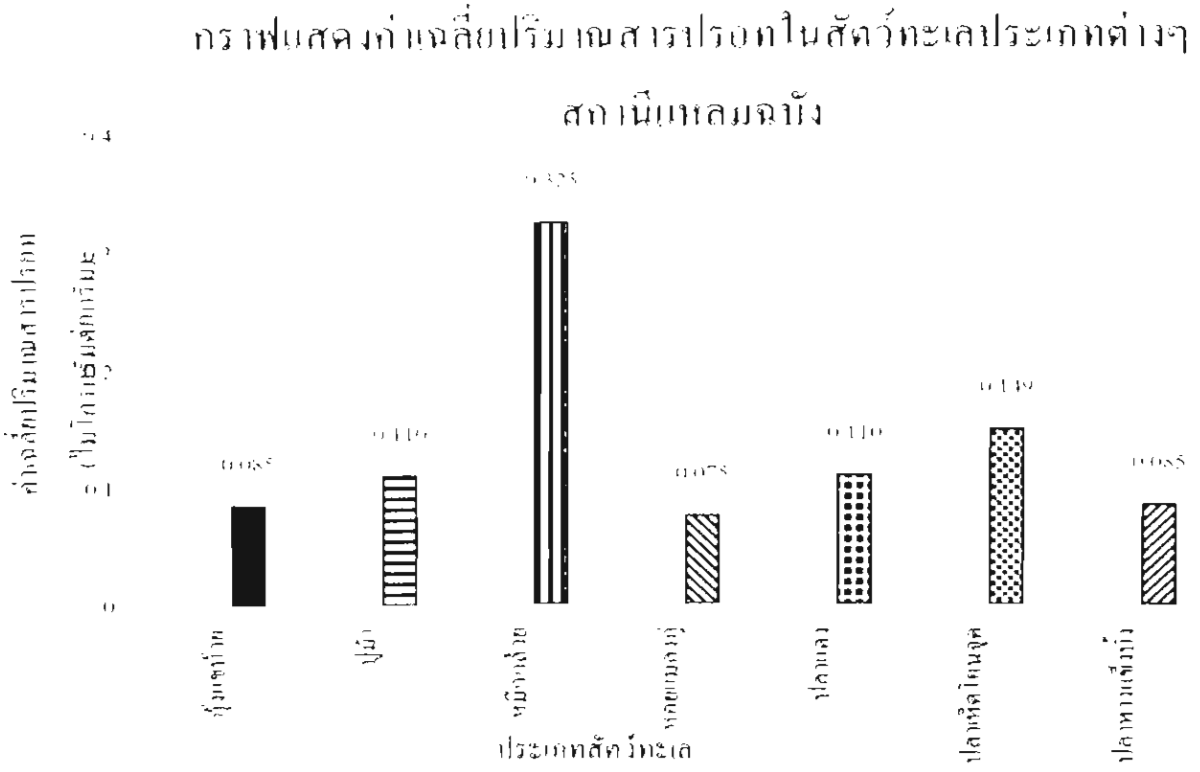


รูปที่ 27 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณสารปรอทในห่วงโซ่อาหารบริเวณอ่างศิลาและแหลมฉบัง

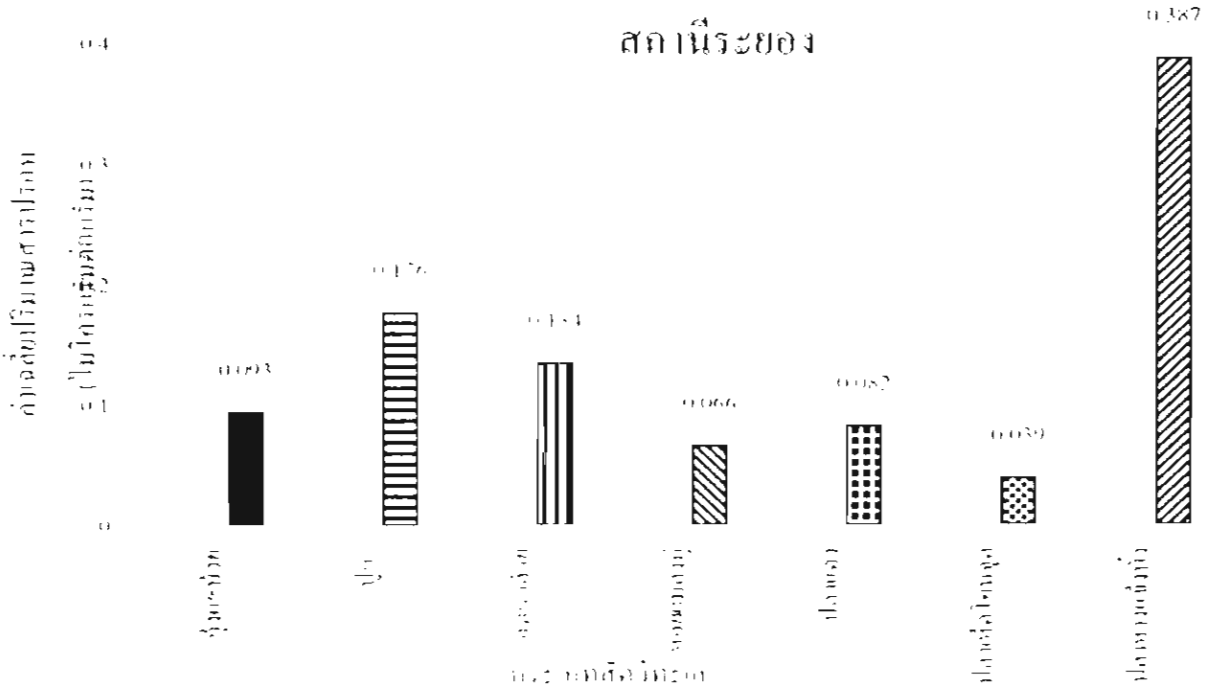


รูปที่ 28 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณสารปรอทในห่วงโซ่อาหารบริเวณระยอง





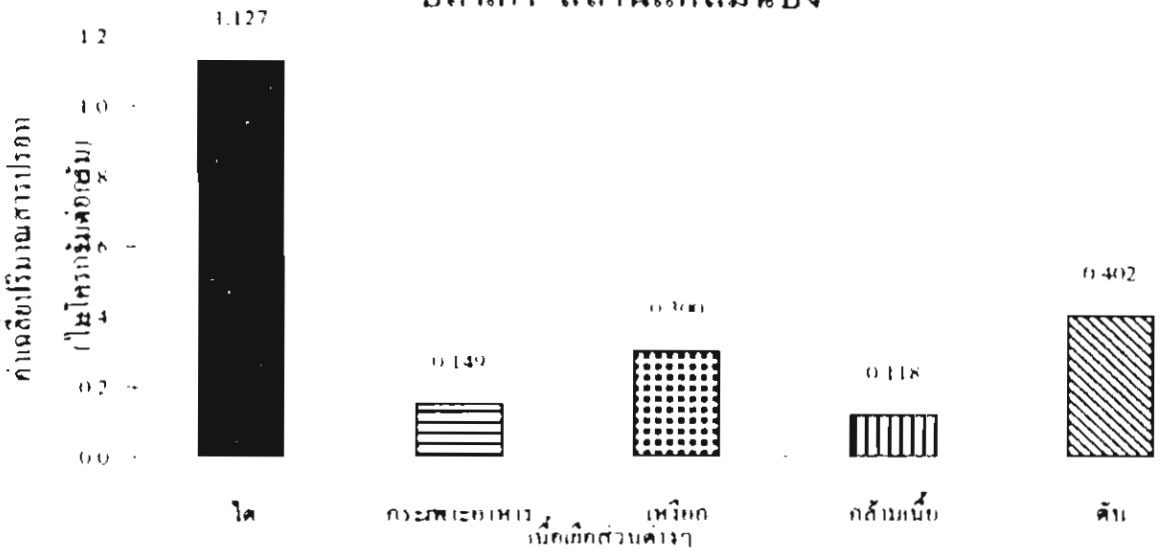
รูปที่ 29 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณสารปรอทในสัตว์ทะเลประเภทต่างๆบริเวณอ่างศิลาและแหลมฉบัง



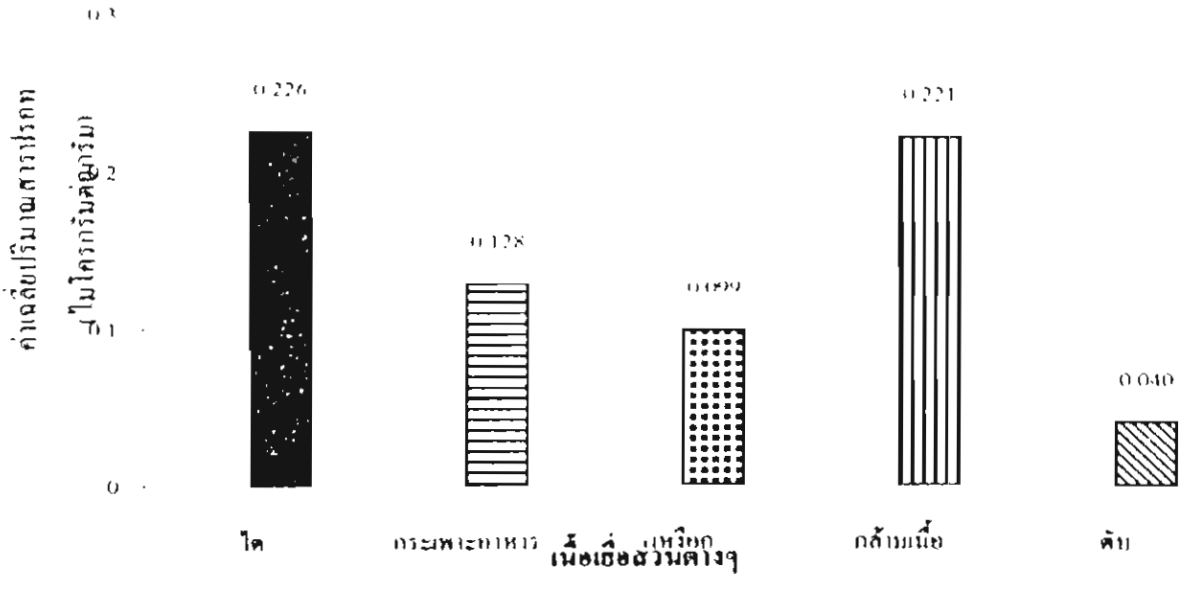
หมายเหตุ ระดับความปลอดภัยที่ไม่ส่งผลต่อสุขภาพและชีวิตของผู้บริโภคอาหารทะเลให้มีปริมาณสารปรอทในปลาและสัตว์ทะเลได้สูงสุดไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (มาตรฐานของสำนักงานอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (United States Food and Drug Administration) และมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 80 (พ.ศ. 2527))

รูปที่ 30 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณสารปรอทในสัตว์ทะเลประเภทต่างๆบริเวณระยอง

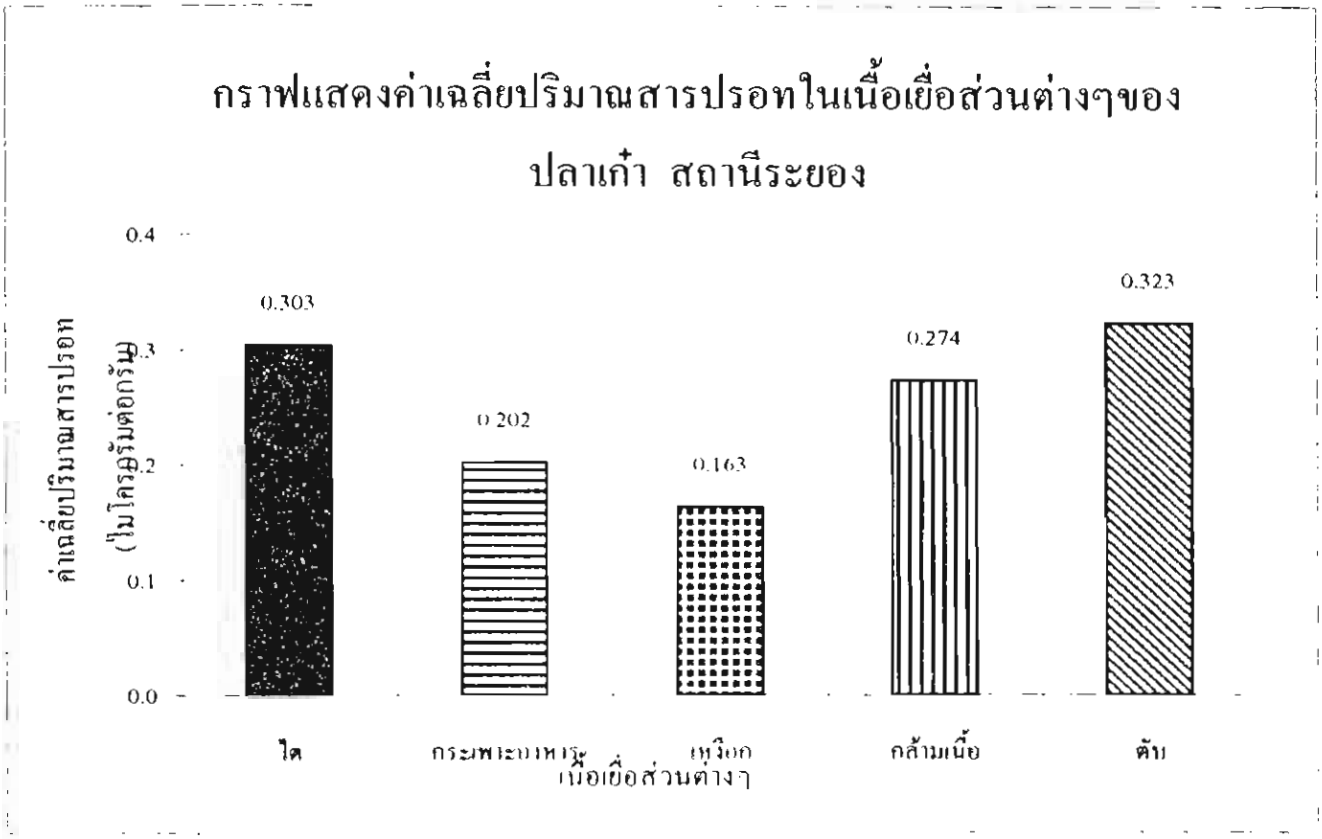
กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณสารปรอทในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆของ
ปลาเก๋า สถานีแหลมฉบัง

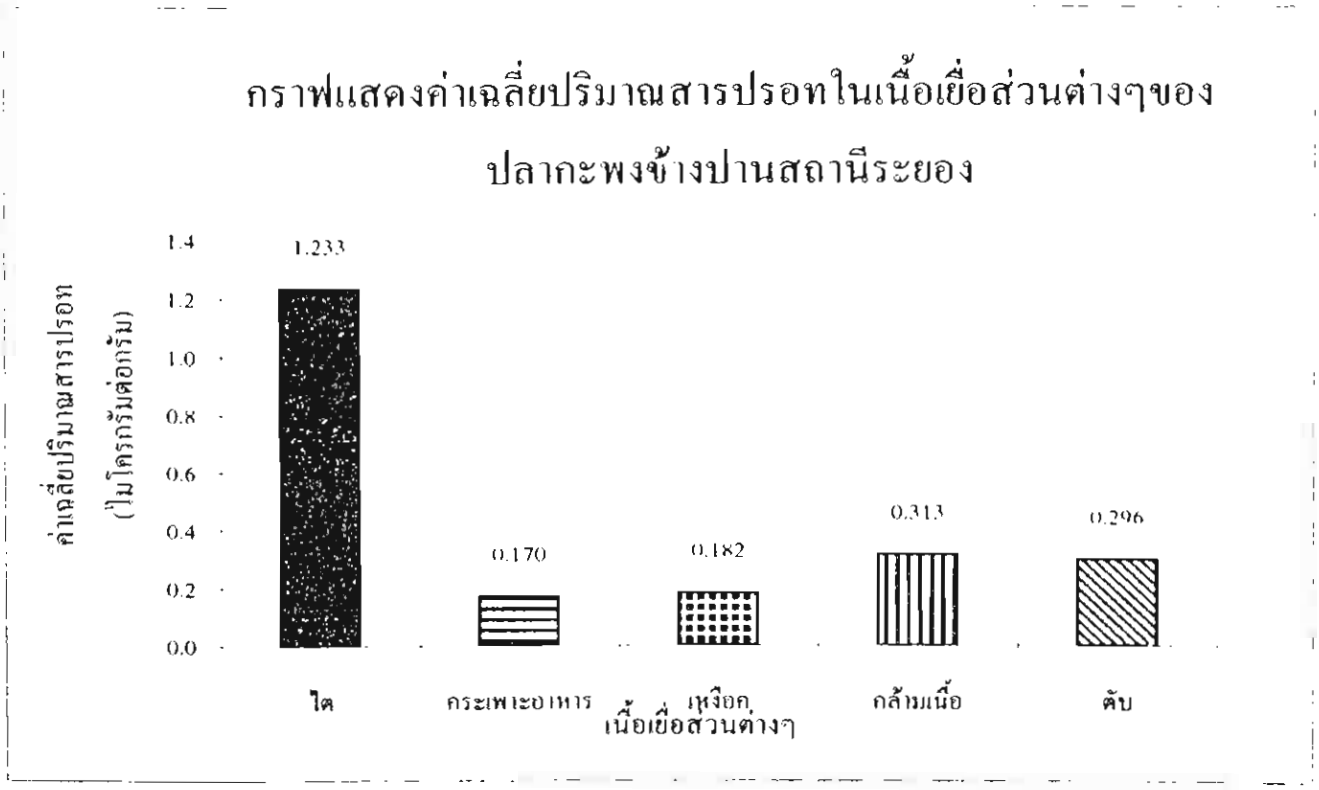


กราฟแสดงปริมาณค่าเฉลี่ยสารปรอทในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆของ
ปลากะพงข้างปาน สถานีแหลมฉบัง

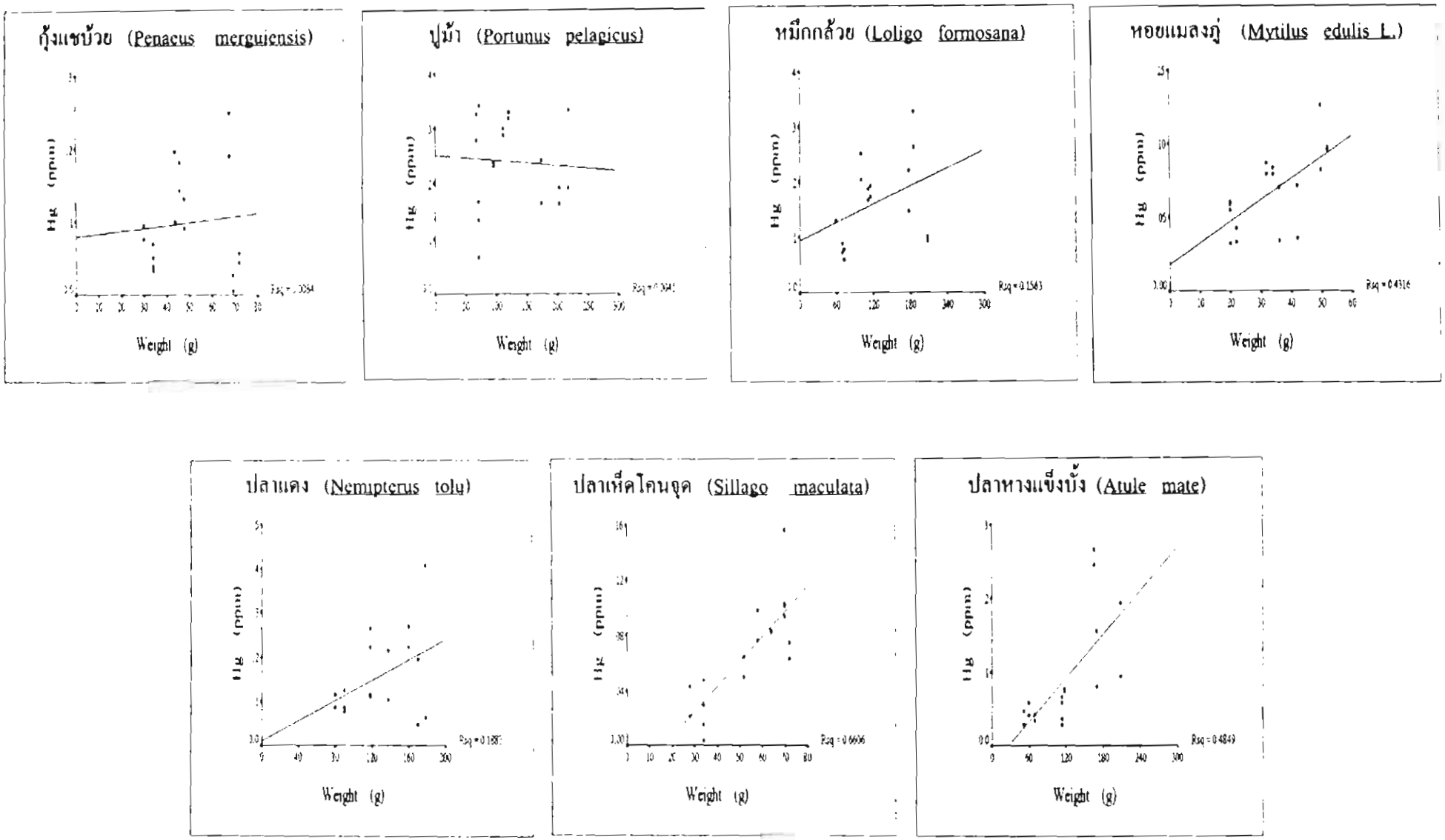


รูปที่ 31 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณสารปรอทในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆของปลาเก๋าและปลา
กะพงข้างปานบริเวณสถานีแหลมฉบัง

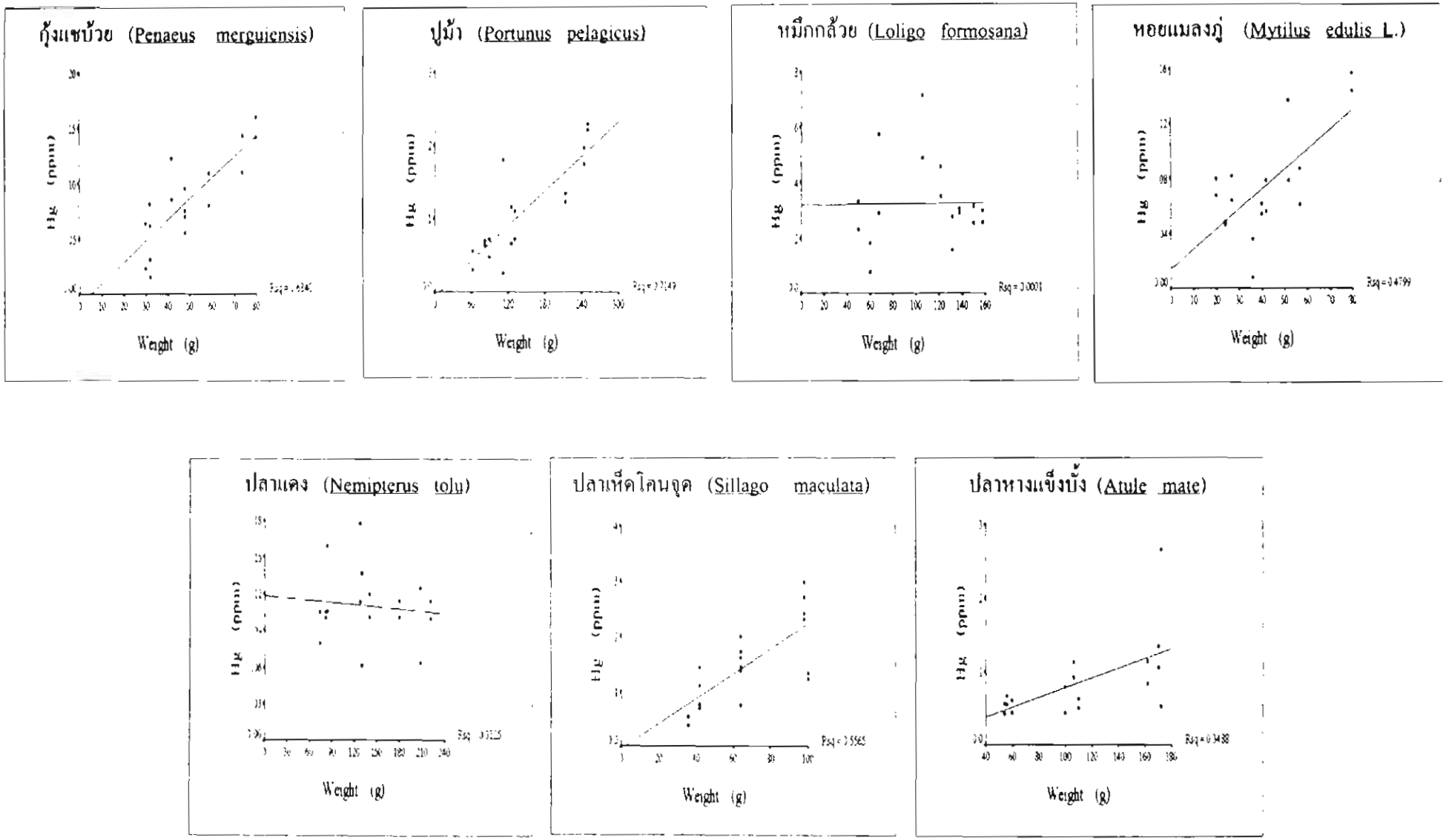




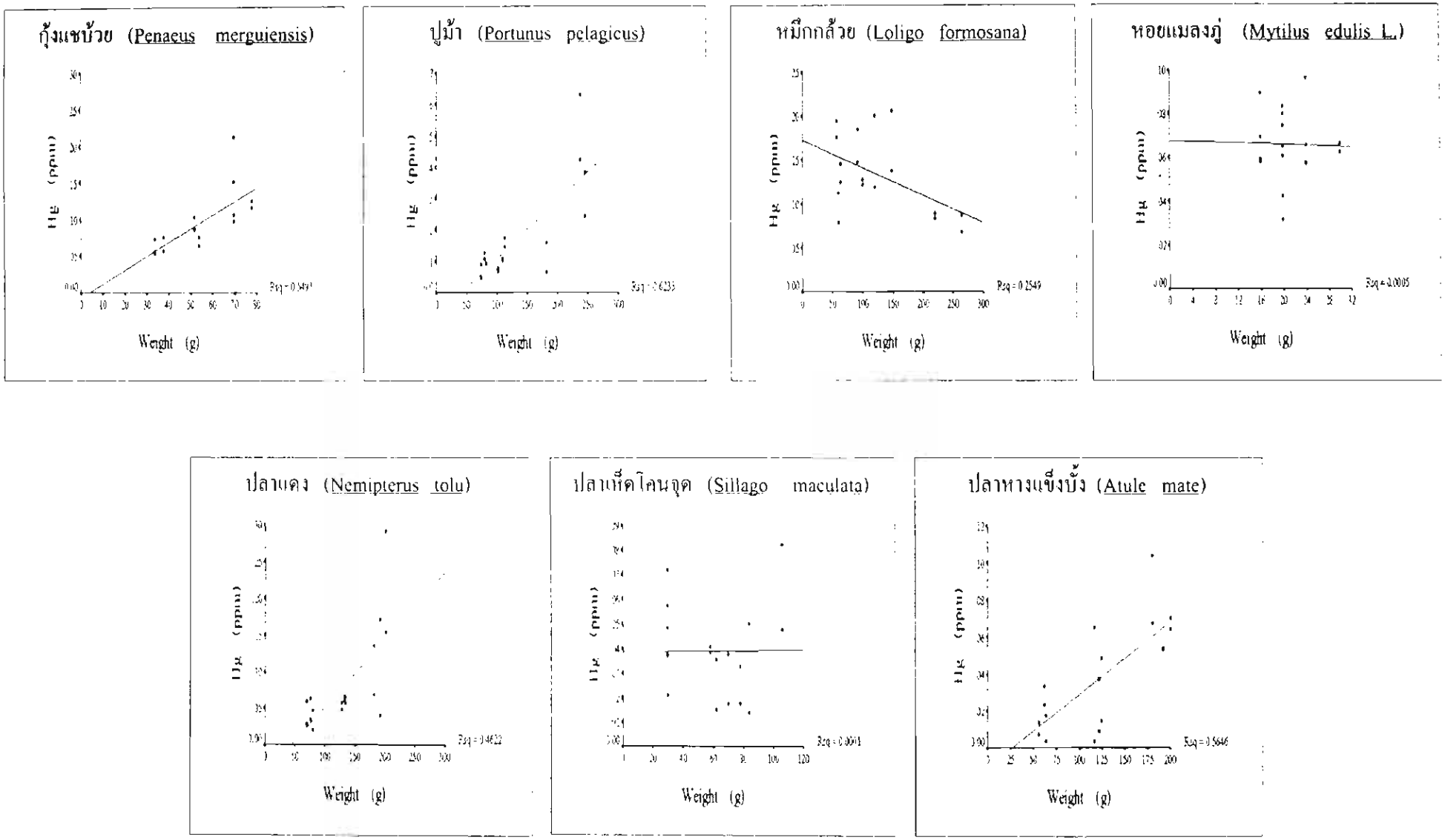
รูปที่ 32 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณสารปรอทในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆของปลาเก๋าและปลากะพงข้างปานบริเวณสถานีระยอง



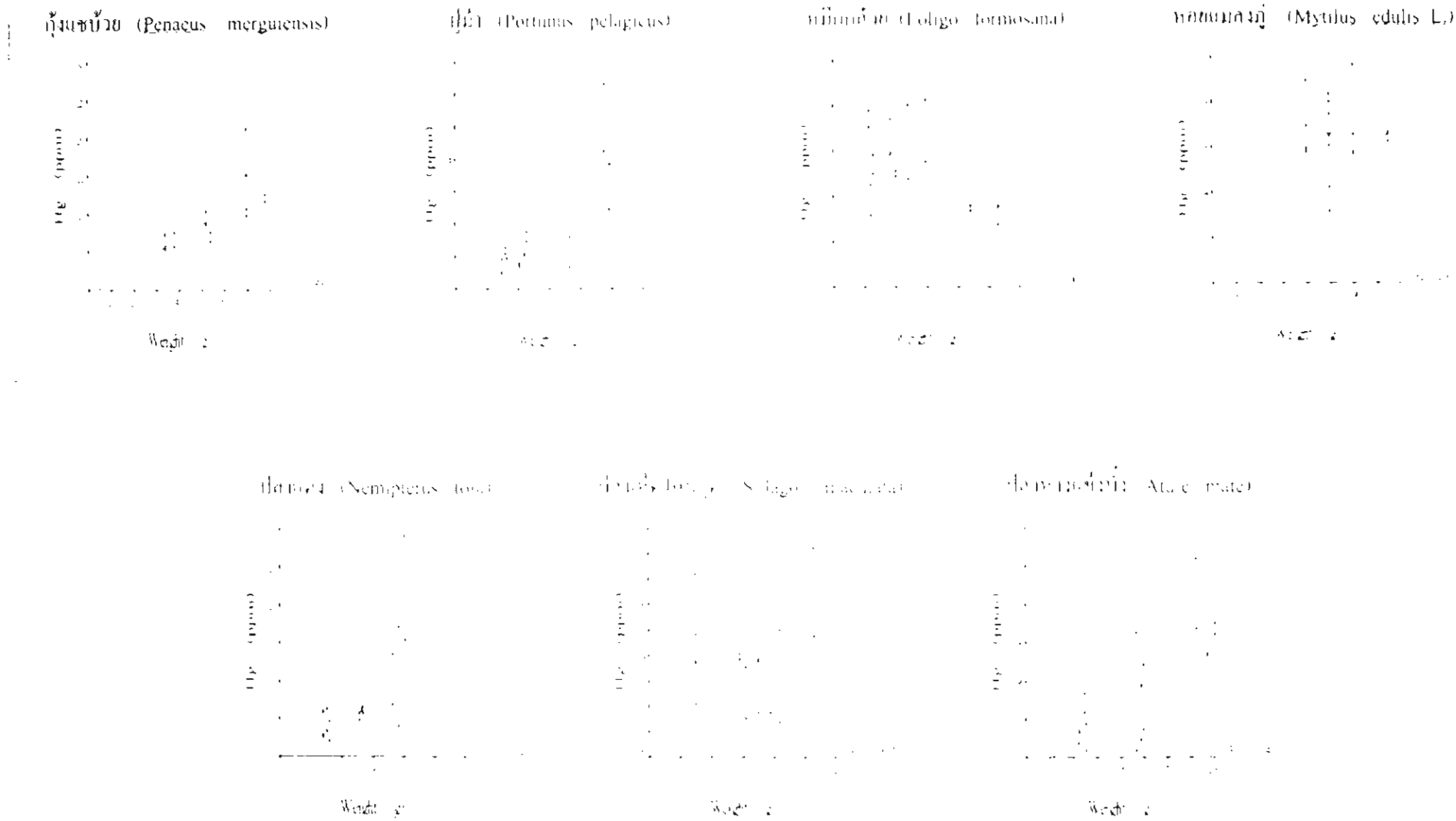
รูปที่ 33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปรอทในเนื้อเยื่อของสัตว์ทะเลกับน้ำหนัก สถานีอ่างศิลา



รูปที่ 34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปรอทในเนื้อเยื่อของสัตว์ทะเลกับน้ำหนัก สถานีแหลมฉบัง



รูปที่ 35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปรอทในเนื้อเยื่อของสัตว์ทะเลกับน้ำหนัก สถานีระยอง



รูปที่ 35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับความยาวของเนื้อเยื่อของสัตว์น้ำเศรษฐกิจบางชนิด สถานีที่ 2 ตอน

1.2.5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ผลจากการศึกษาสามารถสรุปและอภิปรายได้ว่า

- จากการตรวจสอบตัวอย่างสัตว์ทะเลจำนวน 390 ตัวอย่างพบการปนเปื้อนของสารปรอทในตัวอย่างสัตว์ทะเลที่เก็บจากชายฝั่งภาคตะวันออก (รวมแพลงค์ตอน) อยู่ในช่วง 0.002 - 0.714 μg/g ทั้งนี้มีเพียง 3 ตัวอย่างคือหมึกกล้วย 2 ตัวอย่างและกุ้งแชบ๊วย 1 ตัวอย่างที่พบว่ามีค่าสารปรอทเกินมาตรฐานที่กำหนดโดย USFDA และมาตรฐานกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 80 (2527) ที่กำหนดไว้ให้มีค่าได้ไม่เกิน 0.5 μg/g ทั้งนี้พบว่ามีค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมดของสารปรอทในสัตว์ทะเลทุกประเภทมีค่าเท่ากับ 0.118 μg/g หากคำนวณจากอัตราการบริโภคอาหารทะเลของคนไทยที่ตกประมาณวันละ 20 ก.ก./วัน/ปี (Mart et al. 1976) ซึ่งเท่ากับ 55 กรัม/คน/วัน แล้วสามารถคำนวณอัตราการบริโภคสารปรอทจากอาหารสัตว์ทะเลเท่ากับ 6.49 μg/คน/วัน ซึ่งค่าดังกล่าวสูงกว่าที่คำนวณไว้ในประเทศสวีเดนโดย Nilsson et al. (1972) ได้คำนวณอัตราการบริโภคสารปรอทจากอาหารสัตว์ทะเลของสวีเดนมีค่าประมาณ 4 μg/คน/วัน อย่างไรก็ตามคณะกรรมการ Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives ได้เสนอค่า provisional tolerate - weekly intake (PTWI) ของสารปรอทสำหรับมนุษย์เป็น 0.0033 mg/kg น้ำหนักตัว (สำหรับสาร methyl mercury) หรือสามารถคำนวณเป็นค่า PTWI 0.2 mg. mercury ในรูปของ methyl mercury สำหรับคนน้ำหนักเฉลี่ย 60 ก.ก. (Weekly intake = 0.2 mg/person) ถ้าคำนวณจากอัตราการบริโภคสารปรอทจากอาหารสัตว์ทะเลดังกล่าวข้างต้น (6.49 μg/คน/วัน) แล้ว โดยที่สมมุติว่าสารปรอทที่มีอยู่ในสัตว์ทะเลทั้งหมดเป็นสาร methyl mercury ก็จะได้ค่า Weekly intake เท่ากับ 0.045 mg/person (60 kg) ซึ่งค่าที่ได้นี้จากการบริโภคสัตว์น้ำชายฝั่งภาคตะวันออกยังต่ำกว่าค่าที่กำหนดโดย FAO/WHO ถึงประมาณ 4 เท่าตัว ดังนั้นผลการศึกษานี้ยังแสดงให้เห็นว่าระดับของสารปรอทในสัตว์ทะเลจากชายฝั่งภาคตะวันออกยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค อย่างไรก็ตามการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรม ชุมชน และเศรษฐกิจในท้องถิ่นยังอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้มีการแพร่กระจายของสารปรอทในสิ่งแวดล้อมมากขึ้น จึงยังจำเป็นที่จะทำการติดตามตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

- ผลการศึกษายังชี้ให้เห็นว่ามีการขยายตัวทางชีวภาพของสารปรอท (Biomagnification) ในห่วงโซ่อาหารทะเล กล่าวคือระดับห่วงลูกโซ่ที่สูงขึ้นจะมีการสะสมของสารปรอทที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณสารปรอทในปลามักสะสมมากใน ไต ตับ และกล้ามเนื้อ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ แววดา ทองระอา (2535)

- เนื่องจากการศึกษานี้ทำในระยะที่ค่อนข้างจำกัด และเฉพาะในบริเวณชายฝั่งภาคตะวันออก จึงมีข้อเสนอแนะว่าน่าที่จะขยายการศึกษานี้ให้ครอบคลุมอ่าวไทยทั้งหมด แต่ยังมีปัญหาในเรื่องของการจับสัตว์น้ำตัวอย่างในพื้นที่ให้ได้ตามต้องการนั้นทำได้ค่อนข้างจำกัดและยากลำบาก

เอกสารอ้างอิง

ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. สาราณุกรมธาตุ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2525.

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์, 2538.

มนูวดี ทิงสพฤกษ์. สมุทรศาสตร์กายภาพ. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.

วรวิทย์ ชีวากรณากิวัฒน์. "การศึกษาปริมาณธรรมชาติของปรอทและปริมาณปรอทอินทรีย์ในปลาบางชนิดในอ่าวไทยตอนบน" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2520.

แววตา ทองระอา และคณะ. "ปริมาณปรอทในปลาทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจจากบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของประเทศไทย." เอกสารงานวิจัยฉบับที่ 34 2531. ชลบุรี : สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา, 2531.

แววตา ทองระอา และคณะ. "การศึกษาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในสัตว์ทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก." เอกสารงานวิจัยฉบับที่ 37 2532. ชลบุรี : สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา, 2532.

แววตา ทองระอา และคณะ. "ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในเนื้อเยื่อต่างๆของปลาทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจและพฤติกรรมการสะสมในปลาทู ปลาอินทรี ปลาลิ่น ปลาสีกุน ปลาดุกทะเล และปลาสีเสียด บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก." เอกสารงานวิจัยฉบับที่ 46 2535. ชลบุรี : สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา, 2535.

ศิริ ศิวะรักษ์ และคณะ. "ปรอทในสัตว์ทะเล." สรุปผลชิ้นโปรเจ็คการสำรวจและวิจัยสภาวะน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยคุณภาพน้ำและคุณภาพทรัพยากรมีชีวิตในทะเล, 2521.

ศิริ ศิวะรักษ์ และคณะ. "ปริมาณปรอทในสัตว์ทะเล." การสัมมนาครั้งที่ 3 การวิจัยคุณภาพน้ำและคุณภาพทรัพยากรมีชีวิตในน่านน้ำไทย. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2524.

ศิริ ศิวะรักษ์ และคณะ. "ปริมาณปรอทในสัตว์ทะเล." การสัมมนาครั้งที่ 3 การวิจัยคุณภาพน้ำและคุณภาพทรัพยากรมีชีวิตในน่านน้ำไทย. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2527.

ศิริ ศิวะรักษ์ และคณะ. "ปริมาณปรอทในหอยบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของอ่าวไทยตอนใน." การสัมมนาครั้งที่ 3 การวิจัยคุณภาพน้ำและคุณภาพทรัพยากรมีชีวิตในน่านน้ำไทย. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2527.

สุธรรม สิทธิชัยเกษม และสุวรรณี เฉินบำรุง. "การปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมบริเวณปากแม่น้ำของอ่าวไทยตอนใน." การสัมมนาครั้งที่ 3 การวิจัยคุณภาพน้ำและคุณภาพทรัพยากรมีชีวิตในน่านน้ำไทย. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2527.

สุนันท์ นุชประมูลและคณะ. "การวิเคราะห์ปริมาณธาตุปริมาณน้อยในหอยชนิดต่างๆจากอ่าวไทยโดยวิธีวิเคราะห์นิวตรอนแอคติเวชั่น." การสัมมนาวิทยาศาสตร์ทางทะเลแห่งชาติ ครั้งที่ 3 เล่มที่ 3. กรุงเทพฯ : คณะกรรมการวิทยาศาสตร์ทางทะเลแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2529.

สุรภี โรจน์อารยานนท์. สภาวะแวดล้อมของมาตอนมลพิษสภาวะแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

Akagi, H. and Other. "Photochemical transformation of mercury" Distribution and Transport of Pollution in Flowing Water Ecosysytem. Final Report Ottawa River project. Cannada : National Research Council, 1977.

Cheevaparanapivat, V. and P. Menasveta.. "Total and Organic Mercury in Marine Fish of Upper Gulf of Thailand" Bull. Environ. Contam. Toxicol. 23 : 291-299, 1979.

Cheevaporn,V.. "Mercury as a Marine Pollution" Journal of Burapha Science. 4 : 83-97, 1996.

De, Anil K.. Environment Chemistry. Calcutta : Wiley Estern Limited, 1994.

Dunlap, L.. "Mercury in Environment" Chemistry English News. 5 : 22,1971.

Huschenbetch, E. and U. Harms.. "On the accumulation of organochlorine pesticides, PCB and certain heavy metals in fish and shellfish from Thai coastal and inland water." Arch. Fish Wiss. 25 : 109-122, 1975.

Knauer, G.A. and Martin, J.H.. "Mercury in a Marine Pelagic Food Chain" Limnology Oceanography. 17 : 868-876, 1972.

Law, A.. Aquatic Pollution. Hawaii : University of Hawaii, 1981.

Marr, J.C., C. Complemen, and W.R. Murdoch : Thailand; Fishery Development and Management Polities, Programmes and Institutional Arrangements UNDP/FAO, South China Aea Fisheries Development and Coordinating Programme, Manila, Philippines (1976).

Moore, J.W. and Elizabeth A. Moore.. Environmental Chemistry. New York : Academic Press, Inc., 1976.

Wood, J.M. "Synthesis of Methylmercury Compounds by Extracts of Meat Anogenic Bacterium" Journal of Nature. 220 : 173-174, 1968.

Outputs

1) สามารถผลิตนักศึกษาปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมจำนวน 2 คน โดยนักศึกษาเข้ามาร่วมศึกษาวิจัยเป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์
2) Manuscript เรื่อง Bioaccumulation of Mercury in the Marine Food Chain of the Eastern Coast of Thailand. (โปรดดูภาคผนวก)
3) สามารถนำเนื้อหารายละเอียดที่ค้นพบไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนการสอนในวิชา Environmental Chemistry

ภาคผนวก

Manuscript
เรื่อง

Bioaccumulation of Mercury in the Marine Food Chain of the Eastern Coast of Thailand

(to be submitted to Journal of Science Society of Thailand)

Bioaccumulation of Mercury in the Marine Food Chain of the Eastern Coast of Thailand

Voravit Cheevaporn, Saithip Sawatdikul* and Piamsak Menasveta***

**Department of Aquatic Science, Burapha University.*

***Aquatic Resources Research Institute, Chulalongkorn University.*

ABSTRACT

Three hundred and ninety samples of marine organisms were collected from the Eastern Coast of Thailand for total mercury analysis. The results indicated that mercury level of fish and other marine organisms from the Eastern Coast of Thailand are within the safety limit. However, there is a biological magnification of mercury residue in the marine food chain. Organisms of higher trophic levels bear higher mercury residue than those in the lower trophic levels. Statisitical analysis revealed the positive linear regression between the size of the marine organisms and mercury contents of some species of marine organisms.

INTRODUCTION

Mercury coumpound are utilized on a large scale both in industry and agriculture. Mercury from industrial and agricultural wastes accumulate in soil and water, and may be translocated to the aquatic environment, which in turn becomes a source of contamination of fish and other organisms. The ability of some micro-organisms to methylate inorganic mercury to the more biological stable alkyl forms and the more toxic forms further increases the danger of contamination [1] . The concern about mercury pollution in the marine environments started with the case of Minamata in Japan where in the 1950s several people died or become terminally sick after consuming fish and shell fish containing relative high concentrations of methyl mercury[2] . High levels of

mercury contamination were also found in fish from Swedish lakes and streams. The principal mercury contamination of these fish was reported to be an organic form of methyl mercury [3].

In 1975, the total mercury contents in fish of the gulf of thailand reportedly ranged from 0 to 0.58 ppm[4] . In the same year, traces of total mercury were found in the marine food chain of Bang Pra coastal area of Chonburi province[1] which tend to increase at higher trophic levels and according to the animal's size. As Thailand is one of the countries where the nationwide fish consumption is comparatively high, further study on the contamination of mercury in fish and other marine organisms is essential.

MATERIAL AND METHODS

Sample collection and treatment

Samples for mercury analysis were collected from station a. (Angsila) station b. (Laem Chabang) subdivision of Chonburi province and station c. (Ban Pae) subdivision of Rayong province(Fig. 1). Fish samples were collected from the catch of otter trawl. Trawlings were done in January 1999. The species of fish and other organisms from which samples were taken ranged from the lower trophic level to the higher trophic levels. Plankton samples were collected by a plankton net. All of the samples were preserved in a freezer at approximately -20 °C. For assay the fish were thawed and dissected with a stainless steel knife, and a portion of muscle under the dorsal fin, kidney, liver, gill, and stomach were used for mercury determination.

Mercury analysis

Total mercury levels in the fish and other organisms were determined by means of Cold vapor analysis techniques. One gram of tissue was digested

in 20 ml of 1:1 concentrated redistilled HNO_3 and concentrated H_2SO_4 , and further oxidized with 10 mL of saturated $K_2S_2O_8$ solution. Excess oxidizing agents and mercury ions were reduced by 10 mL of reducing solution (3%$NaBH_4$ in 1% NaOH) in hydride generator apparatus, and then mercury was vaporized and measured in the flamelesss atomic absorption spectrophotometer.

RESULTS AND DISCUSSION

One hundred and seventy samples of 5 species of fish, One hundred and eight samples of 2 species of crustacean, fifty-four samples of 1 species of shellfish, fifty-four samples of 1 species of squid and four samples of plankton from the Eastern Coast of Thailand were analysed for total mercury. Total mercury concentrations were found ranging from 0.002 - 0.714 ppm with the mean value of 0.118 ppm. Of the total 390 samples analysed, 20 % contained total mercury concentration of less than 0.05 ppm, 79 % had a total mercury content between 0.05 - 0.5 ppm and 1 % contained over 0.5 ppm. According to Menasveta [1] , these concentration could be regards as a natural background of mercury for fish in general. It should be noted that only 3 samples were found having total mercury levels above the United States Food and Drug Administration tolerance limit of 0.5 ppm.

Table 1 gives the mean and standard deviation of total mercury concentrations in the four trophic levels. The mean values of total mercury of the first and second trophic levels (composited species of plankton) from station a. (Angsila) and b. (Laem Chabang) were 0.004 and 0.007 ppm, respectively. The mercury residue concentration in the third trophic level was higher than the first and second trophic levels. The mean values were 0.068, 0.112, and 0.053 ppm for station a, b, and c respectively. The mean values of

Table 1.

Total mercury contents in different trophic levels from 3 sampling stations (Angsila, Laem Chabang, and Rayong)

a) Angsila station

Trophic levels	No. of samples	Total mercury contents (ppm)	
		mean	standard deviation
I, II	2	0.004	0.002
III	36	0.068	0.032
IV	90	0.150	0.094

b) Laem Chabang station

Trophic levels	No. of samples	Total mercury contents (ppm)	
		mean	standard deviation
I, II	2	0.007	0.002
III	36	0.112	0.070
IV	94	0.144	0.120

c) Rayong station

Trophic levels	No. of samples	Total mercury contents (ppm)	
		mean	standard deviation
III	36	0.053	0.022
IV	94	0.113	0.099

the fourth trophic level bear higher mercury residue than those in third trophic level as shown in Table1. Student 't' test showed a significant difference in total mercury concentrations between trophic levels I + II and trophic level III and between trophic levels III and IV ($p < 0.5$). The lowest mercury residue (0.002 ppm) was detected in composite species of plankton while the highest mercury residue (0.714 ppm) was detected in *Loligo formosana* (Splendid squid). This species was categorized in trophic level IV.

According to the above analysis, it can be concluded that there is a biological magnification of mercury residue in the marine food chain of the Eastern Coast of Thailand. Fish of higher trophic levels bear higher mercury residue than those in the lower trophic levels (Fig. 2). This suggests that mercury may be concentrated in the same manner as an organic compound such as organochlorine compounds, i.e., passed through and amplified by the food chain. The concept appears correct when considering the data presented by Johnels *et al*[3] ., Scott[5], and Menasveta[1] .

The statistical analysis revealed the positive linear regression between the size of the marine organisms (weight) and mercury contents of some species of marine organisms. Figure 3 gives the example of the linear regression in *Peneaus merguiensis* (White shrimp), *Portunus pelagicus* (Blue swimming crab), *Mytilus edulis* (Green mussel), *Sillago maculata* (Trumpeter sillago), and *Atule mate* (Banded crevalle) collected from station b. (Laem Chabang). However, the results showed different correlation between size and mercury contents in different sampling stations for other organisms. The positive linear regression between age/or weight and mercury contents of fish is well documented by Scott[5] .

Figure 4. showed the mean values of mercury content in various marine organisms collected from 3 sampling stations. The results revealed that

Portunus pelagicus (Blue swimming crab)(0.240 ppm), *Loligo formosana* (Splendid squid)(0.325 ppm) and *Atule mate* (Banded crevalle) (0.387 ppm) have the highest mercury content among other marine organisms collected from Angsila, Laem Chabang, and Rayong respectively. However, the average mercury content of these marine organisms from the Eastern Coast of Thailand were lower than the United States Food and Drug Administration tolerance limit of 0.5 ppm.

The mercury contents in various tissues such as kidney, stomach, gill, muscle, and liver of *Epinephelus corallicola* (Grouper) collected from station b. (Laem Chabang) were analysed. Highest mercury residues were found in kidney and liver respectively (Fig. 5). This probably due to their high affinity for sulphur containing ligands such as sulhydryl (-SH) group in metallothionine in fish's kidney and liver as described by De[6] . Similar results were reported by Thongra-ar[7] in 1988.

The results of this study indicated that the average mercury content of fish and other marine organisms from the Eastern Coast of Thailand was lower than the United States Food and Drug Administraton tolerance limit of 0.5 ppm. The mean value of 0.118 ppm for total mercury is only one-fourth of this tolerance limit. However it is probably not practical to consider this recommended level without correlating it to the frequency of consumption. It was estimated that the fish/sea food consumption rate among Thai people is 20 kg/person/year[8] . This level is equal to 55g/person/day. If the mean total mercury content of fish and other marine organisms is 0.118 ppm, it can be calculated that the daily intake of mercurry through fish/seafood consumption is 6.49 μg/person/day for Thai people. This value is greater than 4 μg/person/day as reported from Sweden[9] . The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives proposed that the provisional tolerate-weekly

intake (PTWI) of mercury for man be set at 0.0033 mg/kg body-weight for methyl mercury. This value is equal to to PTWI of 0.2 mg. Mercury as methyl mercury, for an average body-weight of 60 kg. The daily mercury intake of 6.49 μg/person/day which we derived from this study, would contribute to weekly intake of 0.045 mg/person. Therefore, this level is only one-fourth of PTWI of mercury (assuming that all mercury contributed by fish and other marine organisms is in the form of methyl mercury).

CONCLUSION

The result of this study indicates that the mercury levels of fish and other marine organisms from the Eastern Coast of Thailand are within the safety limit. However, the situation may change in the future, because at present our country is still at developing stage. Modern agricultural techniques, including extensive use of pesticides, coupled with industrial development, will substantially increase the amount of mercury in the environment in the future. Hence, the plan for monitoring, proper protection and control of mercury residue in Thailand's environment should be formulated and implemented without delay.

ACKNOWLEDGEMENTS

Investigation is financially supported by The Thailand Research Fund (TRF). The authors thank Mrs. Rattana Cheevaporn, Ms. Wanna Kosillawat for their technical assistances.

REFERENCES

1. Menasveta, P. (1976). Total mercury in the food chain of Bang Pra Coastal area Cholburi. *J. Sci.Soc. Thailand*. 2,117-126.

2. Kurland,L. (1960). The outbreak of neurological disorder in Minamata, Japan, and its relationship to the ingestion of seafood contaminated by mercuric compounds. *World Neurol.* 1,370-395.
3. Johnels, A.G., Westermark, T., Berg, W., Persson, P.I., Sjostrand, B. (1967). Pike (*Esox lucius L.*) and some other aquatic organisms in Sweden as indicators of mercury contamination in the environment. *Oikos.* 18,323-333.
4. National Marine Science Committee. (1976). *Third Pollution Survey (Gulf of Thailand),* The National Research Board of Thailand.
5. Scott, D.M. (1974). Mercury concentration of white muscle in relation to age, growth and condition in four species of fishes from Clay Lake, Ontario. *J. Fish. Res. Board. Can.* 31,1723-1729.
6. De. A.K. (1994). *Environmental Chemistry.* Wiley Eastern limited. New Delhi.
7. Thongra-ar, W. (1988). *Mercury contents in some economic fish from the Eastern Coast of Thailand.* Research Report No. 34/2531. Marine Science Institute, Burapha University, Thailand.
8. Marr, J.C., Complemen, C. and Murdoch, W.R. (1976). Thailand; Fishery Development and Management Policies, Programmes and Institutional Arrangements UNDP/FAO, South China Sea Fisheries Development and Coordinating Programme, Manila, Philippines.
9. Nilsson, T., Skerfving, S. and Svensson, P.G. (1972). Mercury Pollution in Sweden. *Pollution Adst. 5,90.*

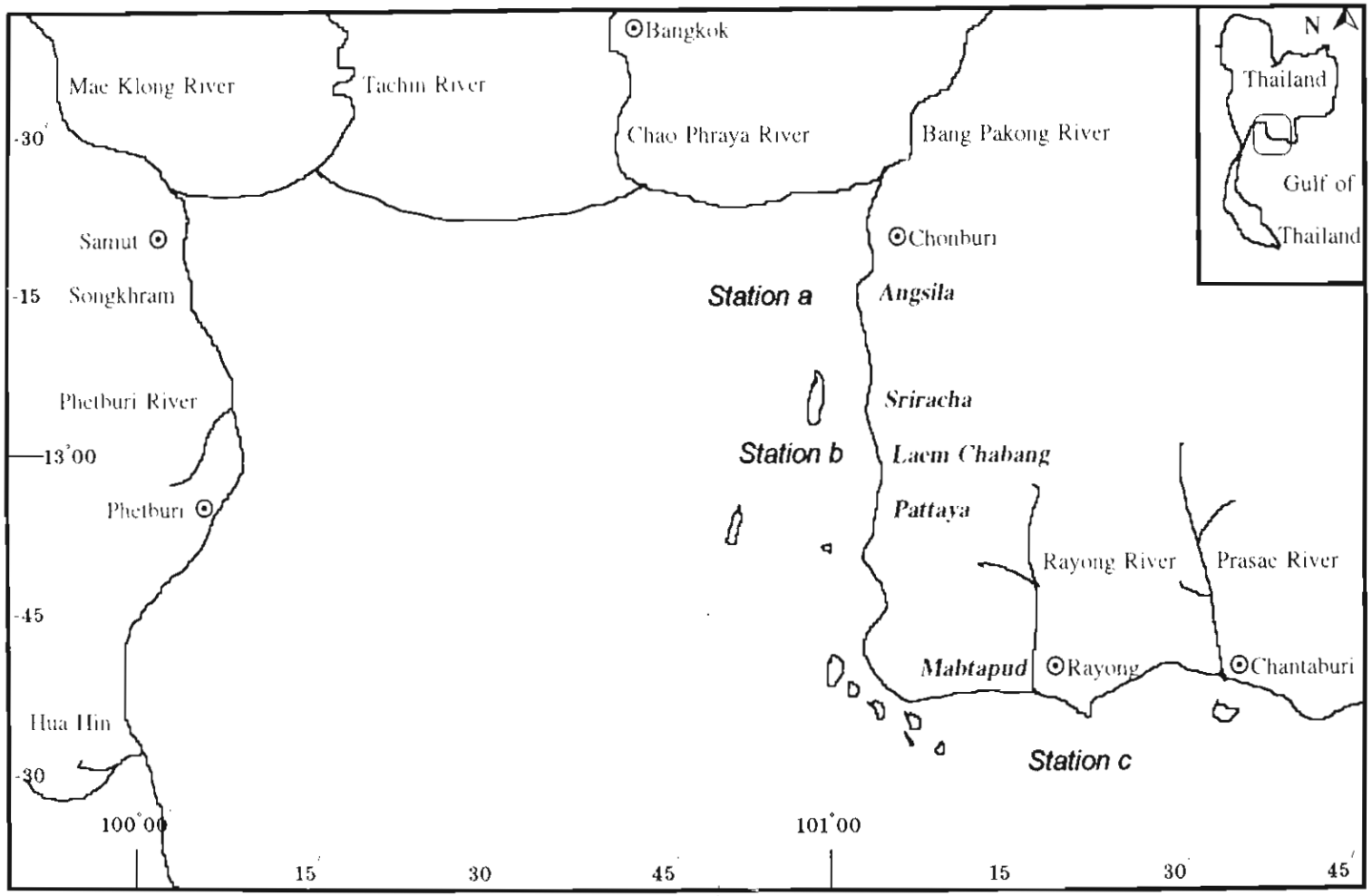


Figure 1 Sampling stations

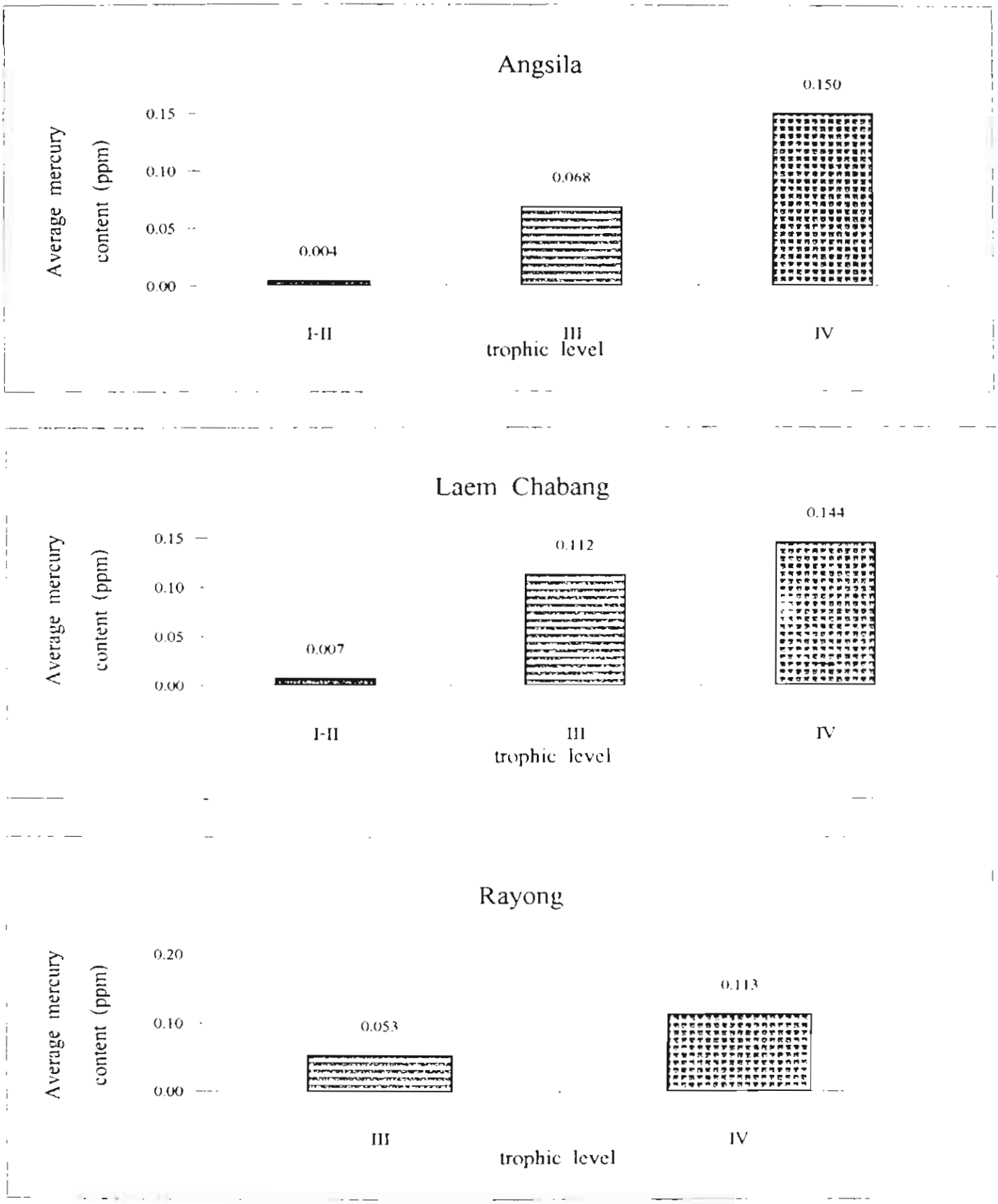


Figure 2 Average mercury content (ppm) in the four trophic levels

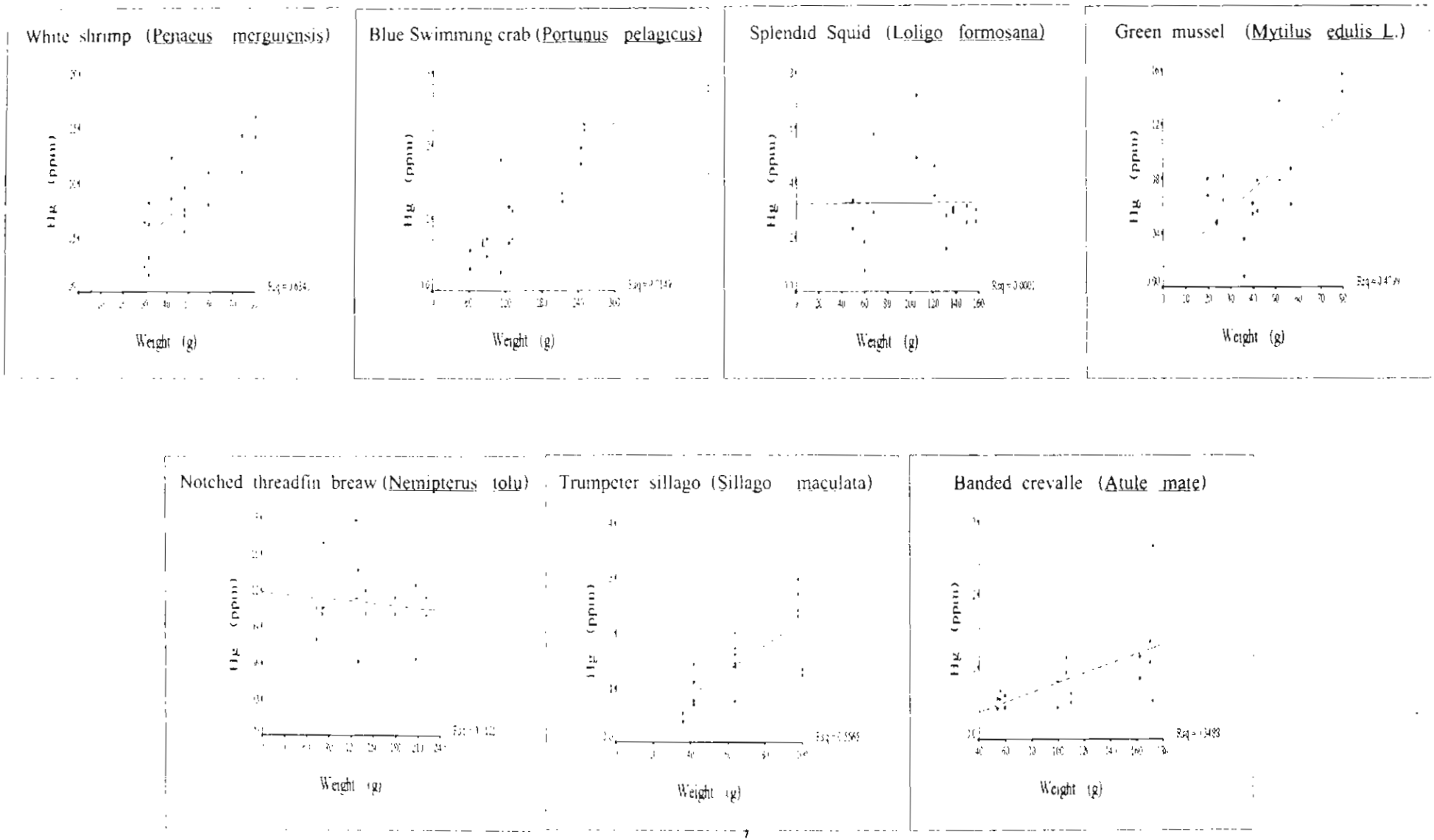


Figure 3 The relationship of total mercury to the weight of various marine organsims

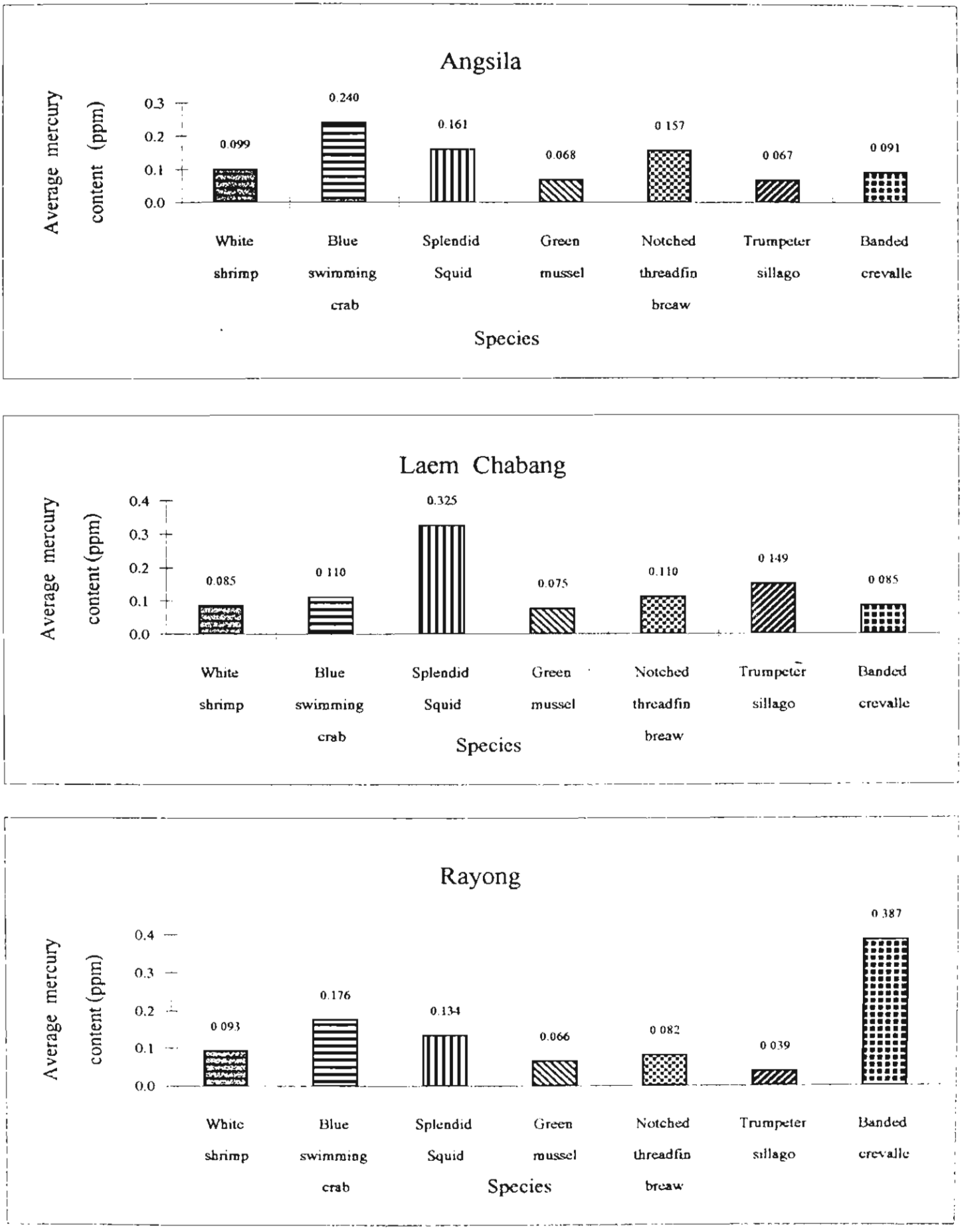


Figure 4 Average mercury content of various marine organisms

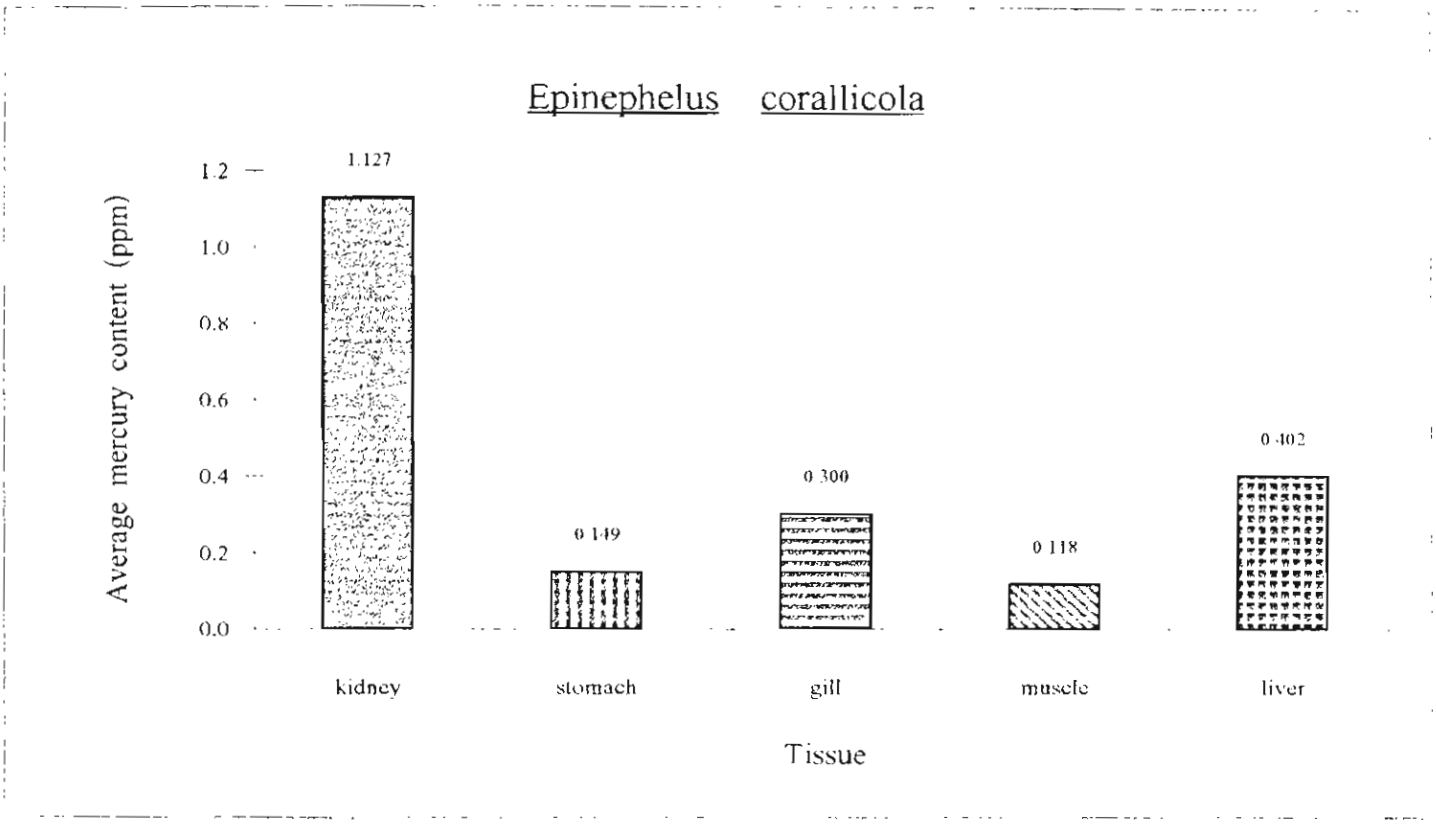


Figure 5 Average mercury content in various tissues of *Epinephelus corallicola* (Grouper)