



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (สัตววิทยา)

ปริญญา

สัตววิทยา

สัตววิทยา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การสะสม โลหะหนักและจุลกายวิภาคในหอยสังข์โมพี

*Pugilina cochlidium* (Linnaeus, 1758)

Heavy Metals Accumulation and Microanatomy in Spiral Melongena

*Pugilina cochlidium* (Linnaeus, 1758)

นามผู้วิจัย นางสาววิญญูทัย ชาวเมืองโขง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมาน แก้วไวยุทธ, วท.ค. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์กันทิมาณี ประเดิมวงศ์, วท.ค. )

หัวหน้าภาควิชา

( รองศาสตราจารย์มณจันทร์ เมฆธน, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรอง

( รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ .....เดือน.....พ.ศ.....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การสะสมโลหะหนัก และจุลกายวิภาคในหอยสังข์โมพี

*Pugilina cochlidium* (Linnaeus, 1758)

Heavy Metals Accumulation and Microanatomy in Spiral Melongena

*Pugilina cochlidium* (Linnaeus, 1758)

โดย

นางสาวขวัญฤทัย ชาวเมืองโงง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สัตววิทยา)

พ.ศ. 2555

ขวัญฤทัย ชาวเมืองโขง 2555: การสะสมโลหะหนัก และจุลกายวิภาค ในหอยสังข์โมพี *Pugilina cochlidium* (Linnaeus, 1758) ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สัตววิทยา) สาขาสัตววิทยา ภาควิชาสัตววิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมาน แก้วไวยุทธ, วท.ค. 94 หน้า

ศึกษาปริมาณโลหะในน้ำ ดินและหอยสังข์โมพี *Pugilina cochlidium* (Linnaeus, 1758) จากป่าชายเลน เขตบางขุนเทียน จังหวัดกรุงเทพมหานคร จนถึงปากคลองพิทยาลงกรณ์ ตำบลพันท้ายนรสิงห์ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร โดยใช้วิธี inductive coupled plasma-optic emission spectroscopy (ICP-OES) พบปริมาณโลหะ โครเมียม ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว นิกเกิล สังกะสี แคดเมียม และโคบอลต์ ในน้ำอยู่ในช่วง 0-3.658, 0-0.852, 0.069-1.502, 0-1.125, 0-2.41, 0.016-12.887, 0-0.03 และ 0-1.527 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยสังกะสี มีค่าเฉลี่ยสูงสุด  $9.824 \pm 2.811$  มิลลิกรัมต่อลิตร ในเดือนธันวาคม ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ปริมาณโลหะในดินอยู่ในช่วง 0.018-1.463, 0-0.038, 6.638-42.058, 0-0.226, 0.005-1.210, 0-1.924, 0-0.008 และ 0-0.663 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และพบสังกะสีมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเช่นกัน ในเดือนมิถุนายน  $37.8 \pm 2.47$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ปริมาณโลหะในเนื้อเยื่อหอยอยู่ในช่วง 0.016-1.071, 0.010-0.749, 0.245-6.655, 0-0.137, 0-0.308, 0.099-0.382, 0-0.015 และ 0-0.054 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณโลหะ และโลหะหนักทุกชนิดสูงขึ้นในฤดูหนาว พบเหล็กมีปริมาณสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ย  $6.655 \pm 2.896$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของโลหะ และโลหะหนักในดิน และเนื้อเยื่อหอย พบแคดเมียม โครเมียม และนิกเกิล มีความสัมพันธ์เชิงบวกทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.01$ ) ส่วนตะกั่ว มีความสัมพันธ์เชิงบวกทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่  $p < 0.05$  โดยปริมาณโลหะทุกชนิดที่ตรวจพบในเนื้อเยื่อหอยต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข และสหภาพยุโรป มีผลให้พบลักษณะทางพยาธิสภาพไม่รุนแรง คือ พบเซลล์เยื่อบุผิวของซีเหงือกเพิ่มจำนวน (hyperplasia) เซลล์เยื่อบุผิวของซีเหงือกกระเพาะอาหาร digestive gland และไต ตายแบบ necrosis และเซลล์เยื่อบุผิวของกระเพาะอาหารฝ่อลีกลง (atrophy) goblet cell ของซีเหงือกมีแวคิวโอลขนาดใหญ่

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Khwanruthai Chawmuangkhong 2012: Heavy Metals Accumulation and Microanatomy in Spiral Melongena *Pugilina cochlidium* (Linnaeus, 1758). Master of Science (Zoology), Major Field: Zoology, Department of Zoology. Thesis Advisor: Assistant Professor Smarn Kaewviyudth, Ph.D. 94 pages.

Levels of the metals Chromium, Copper, Iron, Lead, Nickel, Zinc, Cadmium and Cobalt were determined in water, soil and soft tissues of the spiral melongena, *Pugilina cochlidium*, from the mangrove area in Ban Khun Tein District, Bangkok, till the estuarine area of Klong Pittayalongkorn, Muang District, Samut Sakhon Province. The analyses of elements were performed by inductive coupled plasma-optic emission spectroscopy (ICP-OES) technique. Respectively, metal concentrations found in water varied from 0-3.658, 0-0.852, 0.069-1.502, 0-1.125, 0-2.41, 0.016-12.887, 0-0.03 and 0-1.527 mg/l. Zinc was found to be significantly ( $p<0.05$ ) highest average concentration,  $9.824\pm 2.811$  mg/ml, in December. In soil, the concentrations respectively varied from 0.018-1.463, 0-0.038, 6.638-42.058, 0-0.226, 0.005-1.210, 0-1.924, 0-0.008 and 0-0.663 mg/kg. The same as in water, zinc was still be the highest average concentration,  $37.8\pm 2.47$  mg/kg, which showed significantly ( $p<0.05$ ) in June. In mollusk tissues, the concentrations varied from 0.016-1.071, 0.010-0.749, 0.245-6.655, 0-0.137, 0-0.308, 0.099-0.382, 0-0.015 and 0-0.054 mg/kg dry weight, respectively. Significantly, the highest average concentration in tissue ( $p<0.05$ ) was iron,  $6.655\pm 2.896$  mg/kg, in December. The correlation between metals and heavy metals in soil and tissues was positively correlated with cadmium, chromium and nickel ( $p<0.01$ ) but lead was  $p<0.05$ . All those concentrations of metals and heavy metals accumulated in tissues of investigated species were also lower than the maximum levels set by Public Health Ministry of Thailand and European Union. The microscopic study of all interested tissues revealed mildly severe of some pathologic lesions. Hyperplasia, atrophy and necrosis of gill lamellae epithelial cells were observed, and also vacuolation in goblet cells. Necrotic and atrophic cells were also noticed in the epithelial lining of stomach, digestive cells and nephrocytes.

\_\_\_\_\_  
Student's signature

\_\_\_\_\_  
Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมาน แก้วไวฑูร ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำ และให้การสนับสนุน ในการทำวิจัย ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อความสมบูรณ์แห่งวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กัณฑ์มาณี ประเดิมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำตลอดงานวิจัย และรศ.ดร.มณจันทร์ เมฆชน และรศ.ดร.วิชัย เชิดชูศาสตร์ สำหรับคำแนะนำในการเขียนเล่มวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการกลาง ภาควิชาสัตววิทยา และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับคำแนะนำและให้งานช่วยเหลือในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ คุณสุประดิษฐ์ หวังในธรรม ภาควิชาพยาธิวิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับคำแนะนำและความอนุเคราะห์สารเคมีและอุปกรณ์ คุณอินทรา แซ่ฮึง บริษัทเอกไทยเคมี จำกัด ในความอนุเคราะห์เครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่าง และคำแนะนำในการวิเคราะห์ข้อมูล

ขอขอบคุณ พี่ น้อง ภาควิชาสัตววิทยา ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจ ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแต่คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้สนับสนุนและให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

ขวัญฤทัย ชาวเมืองโขง  
เมษายน 2555

## สารบัญ

## หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	22
ผลและวิจารณ์	30
ผล	30
วิจารณ์	67
สรุปและข้อเสนอแนะ	70
สรุป	70
ข้อเสนอแนะ	71
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	72
ภาคผนวก	79
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	94

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำ (mg/l)	31
2	ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำ (mg/l)	31
3	ปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำ (mg/l)	32
4	ปริมาณความเข้มข้นของทองแดงในน้ำ (mg/l)	33
5	ปริมาณความเข้มข้นของเหล็กในน้ำ (mg/l)	34
6	ปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลในน้ำ (mg/l)	34
7	ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำ (mg/l)	35
8	ปริมาณความเข้มข้นของโคบอลต์ในน้ำ (mg/l)	36
9	ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในน้ำ ในแต่ละเดือนของการเก็บตัวอย่าง	37
10	ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในตะกอนดิน (mg/kg)	39
11	ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในตะกอนดิน(mg/kg)	40
12	ปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมในตะกอนดิน(mg/kg)	41
13	ปริมาณความเข้มข้นของทองแดงในตะกอนดิน (mg/kg)	42
14	ปริมาณความเข้มข้นของเหล็กในตะกอนดิน (mg/kg)	42
15	ปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลในตะกอนดิน (mg/kg)	43
16	ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีในตะกอนดิน(mg/kg)	44
17	ปริมาณความเข้มข้นของโคบอลต์ในตะกอนดิน (mg/kg)	45
18	ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในตะกอนดิน (mg/kg) ในแต่ละเดือนของการเก็บตัวอย่าง	45
19	ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในเนื้อเยื่อหอย(mg/kg)	47
20	ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในเนื้อเยื่อหอย (mg/kg)	48
21	ปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมในเนื้อเยื่อหอย (mg/kg)	49
22	ปริมาณความเข้มข้นของทองแดงในเนื้อเยื่อหอย (mg/kg)	50
23	ปริมาณความเข้มข้นของเหล็กในเนื้อเยื่อหอย (mg/kg)	51

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
24	ปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลในเนื้อเยื่อหอย (mg/kg)	51
25	ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีในเนื้อเยื่อหอย(mg/kg)	52
26	ปริมาณความเข้มข้นของโคบอลต์ในเนื้อเยื่อหอย (mg/kg)	53
27	ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อหอย (mg/kg) ในแต่ละเดือนของการเก็บตัวอย่าง	54

## สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนที่แสดงสถานีเก็บตัวอย่าง	23
2	ปริมาณเฉลี่ย ของโครเมียม ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว นิกเกิล สังกะสี แคดเมียม และโคบอลต์ ในน้ำ ในแต่ละเดือน (mg/l)	38
3	ปริมาณเฉลี่ย ของโครเมียม ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว นิกเกิล สังกะสี แคดเมียม และโคบอลต์ ในตะกอนดิน ในแต่ละเดือน (mg/kg)	46
4	ปริมาณเฉลี่ยของ โครเมียม ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว นิกเกิล สังกะสี แคดเมียม โคบอลต์ และอะลูมิเนียมในเนื้อเยื่อในแต่ละเดือน (mg/kg)	57
5	เหงือกของหอยสังข์โมพี ตัดตามแนวนอน แสดงบริเวณที่ผิดปกติ (ลูกศร) (H&E)	59
6	เหงือกของหอยสังข์โมพี ตัดตามแนวนอน เซลล์เยื่อบุผิวตาย (N) goblet cell มีแวคิวโอล ขนาดใหญ่ (ลูกศร) บางเซลล์ตาย (หัวลูกศร) (H&E)	60
7	เหงือกของหอยสังข์โมพี ตัดตามแนวนอน goblet cell ส่วนใหญ่ มีนิวเคลียสหดตัวแน่น (P) หลาย เซลล์ตาย (N) เห็นเยื่อหุ้มเซลล์ที่ขาด เซลล์เยื่อบุผิว เพิ่มจำนวน (hyperplasia) (ลูกศร) เมื่อเปรียบเทียบกับ เซลล์เยื่อบุผิวที่ปกติ (หัวลูกศร) H = แอ่งเลือด (H&E)	61
8	กระเพาะอาหารของหอยสังข์โมพี ตัดตามขวาง lumen (L) เซลล์เยื่อบุผิวฝ่อเล็กลง (A)(atrophy) acidophilic gland cell ติดสีแดง (AGC) (H&E)	62
9	กระเพาะอาหารของหอยสังข์โมพี แสดง acidophilic gland cell ตายแบบ necrosis (N) และ เซลล์เยื่อบุผิวเล็กลง(A)	63
10	digestive gland ของหอยสังข์โมพี ตัดตามขวาง แสดง แอ่งเลือด (H), digestive gland (DG) และ lumen ของ digestive gland (L) (H&E)	63
11	digestive cell ตายเป็นหย่อม (N) หลายเซลล์มีแวคิวโอลขนาดใหญ่ (V) lumen ของ digestive gland (L) (H&E)	64

### สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
12	ไต ของหอยสังข์โมพี ตัดตามขวาง มีบริเวณที่ nephrocyte ตาย (N) และบริเวณที่ nephrocyte ฝ่อเล็กลง (A) (H&E)	65
13	ไตและท่อไต ของหอยสังข์โมพี ตัดตามขวาง มีบริเวณที่ nephrocyte ตาย (N) ส่วนท่อไต (U) เซลล์เยื่อบุผิว ของท่อไตยังคงมีลักษณะปกติ (H&E)	66

## การสะสมโลหะหนัก และจุลกายวิภาคในหอยสังข์โมพี

*Pugilina cochlidium* (Linnaeus, 1758)

### Heavy Metals Accumulation and Microanatomy in Spiral Melongena

*Pugilina cochlidium* (Linnaeus, 1758)

#### คำนำ

โลหะหนักเป็นสารพิษกลุ่มใหญ่ ที่อาจก่ออันตรายต่อสิ่งมีชีวิต อาจเกิดจากธรรมชาติ หรือเกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม แม้ทราบว่าเป็นสารอันตรายแต่มนุษย์ก็ยังจำเป็นต้องใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม รวมทั้งใช้ในชีวิตประจำวันอยู่เสมอ การใช้ประโยชน์จากโลหะหนักอย่างไม่ระมัดระวัง ไม่รัดกุม ทำให้มีการปนเปื้อนหรือตกค้างทั้งในอาหาร น้ำดื่ม และ หรือสิ่งแวดล้อมต่างๆ ทำให้มนุษย์หรือสัตว์นั้นมีโอกาสสัมผัส หรือรับโลหะหนักนี้เข้าไปได้หลายทาง ทั้งทางการกิน การหายใจ หรือการสัมผัส ความเป็นพิษนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของสาร ปริมาณที่ได้รับ วิธีการที่ได้รับ ตลอดจนระยะเวลาที่ได้รับ และความต้านทานของตัวผู้รับเองที่จะตอบสนองต่อความเป็นพิษของโลหะหนัก (กรองพรรณ, 2544)

น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และจากบ้านเรือน หรือร้านอาหารริมทะเล เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งรองรับ ตามธรรมชาติที่อยู่ใกล้เคียง อาจมีสาร โลหะหนักปนเปื้อนเล็กน้อยแตกต่างกัน และเกิดการสะสมตามแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่นในโคลนใต้แม่น้ำ พื้นโคลนบริเวณปากแม่น้ำที่ เปิดสู่ ทะเล หรือบริเวณป่าชายเลน เป็นต้น การสะสมโลหะหนักในร่างกายจะเป็นพิษเพิ่มมากขึ้นตามลำดับการบริโภคในโซ่อาหารเพราะฉะนั้นสัตว์น้ำหรือสัตว์อื่นๆที่อาศัยอยู่บริเวณที่มีการสะสม โลหะหนัก จึงอาจได้รับอันตรายจากโลหะหนักเหล่านั้น และมนุษย์ซึ่งจัดเป็นหนึ่งในผู้บริโภคลำดับสุดท้ายในโซ่อาหาร ก็อาจจะได้รับอันตรายด้วย (Desouky, 2006; Sawasdee *et al.*, 2011)

อย่างไรก็ตามกิจกรรมของมนุษย์ก็ยังคงก่อให้เกิดการตกค้างของโลหะหนักในธรรมชาติ ไม่สามารถกำจัดให้หมดไป หรือมีวิธีการอื่นใดมาทดแทนได้ การเฝ้าระวังจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด การศึกษาปริมาณของโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติจะเป็น ตัวชี้วัดถึงระดับมลพิษในสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี (Jerez *et al.*, 2010; Rajeshkumar and Munuswamy, 2011)

สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น หอยทะเล มักถูกใช้เป็นสัตว์ทดลองในการทดสอบ เพื่อเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารพิษในสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีการแพร่กระจายอยู่ทั่วไป เก็บตัวอย่างได้ง่าย และมีปริมาณมากพอต่อการทดลอง (Szefer *et al.*, 2004) หอยสังข์โมพี เป็นหอยฝาเดียวที่พบบริเวณปากแม่น้ำ เปิดสู่ทะเล บริเวณน้ำตื้น และ พื้นทะเล เป็นทรายปนโคลน อาศัยอยู่ได้ทั้งน้ำกร่อย และน้ำเค็มพบในหลาย ประเทศโดยเฉพาะภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สำหรับในประเทศไทยพบตลอดแนวชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทย (Swennen *et al.*, 2001) เนื่องจาก หอยชนิดนี้อาศัยอยู่ในพื้นโคลนปนทราย และน้ำตื้น กินซากสัตว์ ตามหน้าดินดังนั้น โอกาสที่จะสัมผัสกับโลหะหนักที่สะสมอยู่จึงมีมาก รวมทั้งมนุษย์ ยังนำหอยชนิดนี้มาบริโภคเป็นอาหาร และใช้เป็นเหยื่อตกปลาอีกด้วย (Chan, 2009) หอยสังข์โมพีจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาเป็นตัวชี้วัดเพื่อตรวจหาปริมาณ และความ เป็นพิษของโลหะหนักที่สะสมอยู่ในโคลนพื้นทะเล รวมทั้งในสัตว์น้ำในธรรมชาติ

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปริมาณการสะสมโลหะ ได้แก่ เหล็ก และ โลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม นิกเกิล ทองแดง สังกะสี โคบอลต์ ในเนื้อเยื่อของระบบทางเดินอาหารของหอยสังข์โมพี *Pugilina cochlidium* (Linnaeus, 1785) ที่อาศัยอยู่บริเวณ ป่าชายเลน เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร

2. เพื่อศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาคของ ระบบทางเดินอาหารของหอยสังข์โมพี *P. cochlidium* (Linnaeus, 1785)

## การตรวจเอกสาร

### 1. ชีววิทยาของหอยสังข์โมพี

หอยสังข์โมพี (Spiral melongena) *Pugilina cochlidium* (Linnaeus, 1758)

การจัดจำแนกทางอนุกรมวิธาน

Phylum	Mollusca
Class	Gastropoda
Order	Neogastropoda
Family	Melongenidae
Genus	<i>Pugilina</i>
Species	<i>Pugilina cochlidium</i> (Linnaeus, 1758) (Swennen <i>et al.</i> , 2001)

รูปร่าง ลักษณะทั่วไป และความสำคัญ

หอยสังข์โมพี เป็นหอยฝาเดียว มีเปลือกสีน้ำตาลเข้ม ดินหอยมีสีแดง เปลือกมีความสูงถึง 91 มิลลิเมตร อาศัยในเขตน้ำตื้น น้ำกร่อย หรือพื้นที่ทะเลเป็นทรายปนโคลน พบตลอดแนวชายฝั่ง อ่าวไทยตั้งแต่บริเวณ อ่าวปัตตานีขึ้นมาจนถึงบริเวณภาคกลาง รวมทั้งบริเวณปากแม่น้ำเปิดออกสู่ ทะเล เป็นอาหารของมนุษย์ นิยมรับประทานในประเทศฟิลิปปินส์ (Poutier, 1998) และเป็นเหยื่อตกปลา (Swennen *et al.*, 2001)

หอยสังข์โมพี ใช้ไพรบอสซิส (proboscis) ในการช่วยกินอาหาร พวกซากหอย หรือเฟรียงที่อยู่ตามหน้าดิน (Chan, 2009) มีการศึกษา ลักษณะของเปลือกจากการกระจายทั่วไป ทั้งในมาเลเซีย (Yeap, 1990) ฟิลิปปินส์ ไทย และบังกลาเทศ (Kabir *et al.*, 2007) ออสเตรเลีย (Coleman, 1998; Nolf, 2007) โดยการกระจายของเปลือกหอยพบว่าถูกใช้เป็นที่อาศัยของปูเสฉวน (Chua, 2002; Chua *et al.*, 2003)

### จุลกายวิภาคของหอยฝาดเดียว

ผิวหนัง มีชั้นอีพителиส (epidermis) อยู่ด้านนอกสุด ประกอบด้วยเซลล์เยื่อหุ้มผิวหนังเดี่ยวที่ตั้งอยู่บนเบสเมมเบรน (basement membrane) และมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันค้ำจุนอยู่ เยื่อหุ้มผิวประกอบไปด้วยเซลล์ 3 ชนิด คือ อีพителиมอล (epidermal) ซิลิเอทเต็ท (ciliated) และ แกรนดูลาร์เซลล์ (granular cell) และยังมีเซลล์อื่นๆ เช่น พิกเมนต์เซลล์ (pigment cell) และเซนซอรีเซลล์ (sensory cell) รวมอยู่ด้วย (Bubel, 1984; Desouky, 2006) ชั้นอีพителиสของมอลลัสกันนั้น นอกจากทำหน้าที่ป้องกันอวัยวะภายใน แล้วยังพบว่ามีส่วนร่วมในกระบวนการต่างๆ ได้แก่ การหายใจ การดูดซึม (assimilation) การควบคุมน้ำ (osmoregulation) และแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) การรู้สึกสัมผัส (sensation) การขจัดสารพิษ (detoxification) การเคลื่อนที่ การสืบพันธุ์ เซลล์ในชั้นอีพителиส ยังทำหน้าที่คัดหลั่งสารต่างๆ เช่น กรดอินทรีย์ ที่ใช้แทนสารอินทรีย์ หรือ คริสตอลกราฟิคในขั้นตอนการสร้างเปลือก สร้างคิวโนนแทนด์สเคอโรโปรตีน หรืออิลาสติกรับ-เบอร์โปรตีน เป็นต้น อีกทั้งยังสร้างมิวคัสเพื่อทำหน้าที่ป้องกัน ทำหน้าที่สะสมอาหาร หรือช่วยให้เคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น (Bubel, 1984)

Digestive gland ประกอบด้วยทิวบูล (tubule) ของ digestive diverticula จำนวนมาก (Desouky, 2006) เป็นอวัยวะที่สะสมสารพิษ โดยเฉพาะโลหะมากที่สุด แต่ในขณะที่เดียวกันก็เป็นอวัยวะหลักที่ทำหน้าที่กำจัดสารพิษด้วย (Desouky, 2006; Pereira *et al.*, 2009) นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ผลิตเอนไซม์กลุ่มไซโตโครมที่ทำหน้าที่ขจัดสารพิษ (biotransformation) ซึ่งสิ่งมีชีวิตต่างๆจะมีเอนไซม์เหล่านี้้อยู่ภายในเซลล์อยู่แล้ว ทั้งสัตว์มีกระดูกสันหลัง หรือสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง ในกลุ่มของหอยก็มีเอนไซม์ทำลายพิษเช่นเดียวกัน โดยส่วนมากในการวัดระดับเอนไซม์ทำลายพิษในหอย มักจะทำในกลุ่มของหอยทะเล เพราะนอกจากจะทำให้ทราบระดับเอนไซม์ทำลายพิษต่างๆในตัวหอยแล้ว ยังสามารถที่จะตรวจสอบคุณภาพของน้ำ หรือพื้นที่ที่อาศัย ว่ามีสภาพอย่างไร ถือว่าเป็น ตัวบ่งคุณภาพของน้ำได้เช่นกัน (สุรพล, 2542; Siwela *et al.*, 2010)

ระบบย่อยอาหาร (digestive tract) ของหอยฝาดเดียว นอกจาก ทางเดินอาหารแล้ว อวัยวะที่ช่วยย่อยอาหาร (digestive gland) ซึ่งเป็นส่วนที่พัฒนามาจากชั้น endoderm กลายมาเป็นส่วนที่ใหญ่ที่สุดใน visceral mass (Kress *et al.*, 1994) เป็นต่อมที่ไม่แตกแขนง แผ่กระจายทั่ว visceral mass และส่วนปลายเป็นท่อขนาดเล็ก ที่เปิดสู่ hepatic duct แล้วเข้าสู่กระเพาะอาหาร (Garcia-Lopez, *et al.*, 2007; Griebel, 1993)

นอกจาก digestive gland แล้ว อวัยวะที่พบว่ามี การสะสมของโลหะ คือ ไต ซึ่งไต ประกอบด้วย kidney sec และ ท่อไต (ureter) เชื่อมูฝิวไต ประกอบด้วยเซลล์หลัก คือ nephrocyte ด้านบนของเซลล์มีไมโครวิลไล ด้านฐานยกสูงและมี blood space เซลล์เชื่อมูฝิวของ ท่อไต เป็นเซลล์ทรงกระบอก (columnar cell) ที่มีนิวเคลียสขนาดใหญ่ และ brush border (Desouky, 2006)

## 2. ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ที่ศึกษา

เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร

เขตบางขุนเทียนอยู่ในกลุ่มเขตสนามชัย ซึ่งถือเป็นเขตเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ เนื่องจากเป็นเขตเดียวของกรุงเทพมหานครที่มีพื้นที่ติดกับอ่าวไทย และยังมีป่าชายเลนหลงเหลืออยู่ บริเวณป่าชายเลนของเขตบางขุนเทียน มีความยาวประมาณ 5 กิโลเมตร ทั้งสองฝากถนนมีร้านอาหารมากมายหลายสิบร้าน รวมทั้งมีโรงงานอุตสาหกรรมตั้งอยู่จำนวนหนึ่ง

เขตบางขุนเทียน แบ่งออกเป็น 2 แขวง คือ แขวงท่าข้าม และแขวงแสมดำ (สำนักงานเขตบางขุนเทียน, 2548)

เขตบางขุนเทียนตั้งอยู่ทางใต้สุดของกรุงเทพมหานคร มีอาณาเขตติดต่อกับพื้นที่การปกครองต่างๆ ตามรายงานเขตบางขุนเทียน ดังนี้

1. ทิศเหนือ ติดต่อกับเขตบางบอนและเขตจอมทอง มีทางรถไฟสายแม่กลอง (วงเวียนใหญ่-มหาชัย) ลำประโดง คลองสนามชัย คลองวัดกก คลองบัว และคลองตาสุก เป็นเส้นแบ่งเขต
2. ทิศตะวันออก ติดต่อกับเขตทุ่งครุและอำเภอพระสมุทรเจดีย์ (จังหวัดสมุทรปราการ) มีคลองบางมด คลองรางแม่ น้ำ คลองสวน คลองนา และคลองขุนราชพินิจใจ เป็นเส้นแบ่งเขต
3. ทิศใต้ จรดอ่าวไทย
4. ทิศตะวันตก ติดต่อกับอำเภอเมืองสมุทรสาคร (จังหวัดสมุทรสาคร) มีคลองบางเสาธง คลองสอง คลองสาม คลองแยกพะเนียง คลองตาแม่นัน และคลองแสมดำเหนือ เป็นเส้นแบ่งเขต

สภาพทั่วไปของเขตบางขุนเทียน ตามรายงานของกรมควบคุมมลพิษ ส่วนแหล่งน้ำทะเล (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) มีรายละเอียด ดังนี้

แหล่งอุตสาหกรรม พื้นที่บางขุนเทียนมีโรงงานอุตสาหกรรมทั้งสิ้น 1,606 โรงงาน ส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมประเภทชุบโลหะ ฟอกย้อม อยู่ทางตอนเหนือของเขต บริเวณถนนพระราม 2 ถนนแสมดำ ถนนท่าข้าม และมีกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กอยู่บริเวณนิคมอุตสาหกรรมชิวาลย์

แหล่งชุมชน ประชากรมีทั้งสิ้น 102,705 คน (38,604 ครัวเรือน) และมีประชากรแฝงที่ไม่มีข้อมูลในทะเบียนราษฎร์อีกจำนวนหนึ่ง โดยแหล่งชุมชนส่วนใหญ่อยู่ด้านเหนือของถนนพระราม 2

ร้านอาหาร มีร้านอาหาร ตั้งอยู่ตามแนวถนนบางขุนเทียน-ชายทะเล มากกว่าสิบร้าน

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง เป็นการเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดต่างๆ ได้แก่ กุ้งแชบ๊วย กุ้งกุลาดำ หอยแครง ปูทะเล ปลากระพงขาว พื้นที่เลี้ยงกุ้งทะเลทั้งสิ้น 17,860 ไร่ ส่วนใหญ่เป็นการเลี้ยงกุ้งแบบธรรมชาติ ไม่มีการให้อาหารเพิ่มเติม

การระบายน้ำเสีย น้ำเสียจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ในเขตบางขุนเทียนส่วนใหญ่จะระบายลงคลองสำคัญ 2 คลอง ได้แก่ คลองสนามชัย และคลองราชมนตรี โดยไม่มีการบำบัด และมีน้ำเสียจากเขตอื่นๆ ของกรุงเทพมหานคร ระบายลงคลองเหล่านี้อีกด้วย

ปริมาณน้ำเสียรวมต่อวันมีทั้งสิ้นประมาณ 182,000 ลูกบาศก์เมตร ต่อวัน โดยเป็นน้ำเสียที่ระบายมาจากเขตอื่นๆ 160,649 ลูกบาศก์เมตร ต่อวัน ซึ่งมีปริมาณ มากกว่าน้ำเสียที่เกิดจากประชากรในเขตบางขุนเทียนที่มีประมาณ 22,813 ลูกบาศก์เมตร ต่อวัน ประตुरะบายน้ำบริเวณคลองสี่บาท ซึ่งเป็นคลองที่รับน้ำ เสียจากชุมชนทั้งจากเขตบางขุนเทียนและเขตอื่นๆ (จอมทอง บางบอน) และไปลงคลองสนามชัย น้ำเสียทั้งหมดจะไหลลงทะเลตามสภาพการขึ้น-ลงของน้ำ ยกเว้นในกรณีที่สำนักการระบายน้ำต้องเร่งระบายน้ำในเขตกรุงเทพมหานครชั้นใน (ฝั่งธนบุรี) ก็จะปิดประตुरะบายน้ำและสูบ ออกตามสถานีสูบน้ำต่างๆ ซึ่งตั้งอยู่ตามแนวคลองสนามชัย น้ำเสียจะไหลลงสู่ทะเลผ่านพื้นที่ตอนล่าง ของเขตบางขุนเทียน นอกจากนี้ ยังได้รับผลกระทบจากน้ำเสียจากแม่น้ำแม่กลอง ทำจิ้น เจ้าพระยา และ บางปะกง ซึ่งมีปริมาณของเสียที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำจำนวนมาก และจากอิทธิพลของกระแสน้ำของ อ่าว ไทย ตอนใน ประกอบกับลักษณะพื้นที่ที่เป็นอ่าวปิดทำให้มีการระบายของเสียออกสู่ทะเลได้น้อย

### 3. โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป เป็นธาตุที่มีเลขอะตอม 23-92 ในตารางธาตุ จัดเป็นโลหะหนัก 68 ธาตุ จากจำนวนธาตุที่เป็นโลหะทั้งหมด 83 ธาตุ โลหะหนักเป็นโลหะปริมาณน้อย ได้แก่ กลุ่มของโครเมียม แมงกานีส เหล็ก โคบอลต์ นิกเกิล ทองแดง สังกะสี เงิน แคลเซียม และปรอท ซึ่งเป็นธาตุทรานสิชัน (transition elements) รวมถึงธาตุอื่นๆในกลุ่มธาตุรีพรีเซนต์เตอทิฟ (representative element) คือ ตะกั่ว อาร์เซนิก ซิลิเนียม และพลวง (กรองพรรณ, 2544)

#### 3.1 โลหะหนักที่พบในสิ่งแวดล้อม

ภารดี (2541) กล่าวถึง โลหะหนักที่พบในสิ่งแวดล้อมมาจาก 6 แหล่ง คือ

1. การชะล้างจากแผ่นดิน ถือเป็นค่า background level ของบริเวณนั้นๆ พบว่าพื้นที่ใดเป็นแหล่งแร่ของโลหะหนัก ก็จะพบว่าน้ำในบริเวณนั้น มีโลหะหนักชนิดนั้นสูงไปด้วย
2. อุตสาหกรรมถลุงแร่โลหะ ในระหว่างการถลุงแร่ จะมีโลหะหนักปนออกมากับน้ำทิ้งด้วยเสมอ
3. การใช้โลหะ และสารประกอบโลหะในอุตสาหกรรม เช่น ใช้เกลือของโครเมียม ในการฟอกหนัง และใช้สังกะสีในการทำท่อ เป็นต้น
4. การเผาไหม้เชื้อเพลิง การผลิตปูนซีเมนต์ และอิฐบล็อก เชื้อเพลิงประเภทถ่าน น้ำมัน มักพบโลหะหนักบางชนิดสูง เช่น สารหนู สังกะสี แคลเซียม นิกเกิล ในการผลิตปูนซีเมนต์ พบว่ามีการปล่อย สังกะสี ตะกั่ว และสารหนู อีกด้วย นอกจากนั้นพบว่าบริเวณรอบๆที่มีสิ่งก่อสร้างประเภทอิฐ จะมีโลหะหนักสะสมอยู่ด้วยค่อนข้างสูง
5. ขวดยานพาหนะ เป็นแหล่งใหญ่ในการสะสมตะกั่ว ในบรรยากาศ และแหล่งชุมชน
6. การรั่วออกจากขยะ การรั่วของโลหะหนักจากขยะมีผลมากต่อแหล่งน้ำบนบก หรือบริเวณ ชายฝั่งทะเล

### 3.2 การสะสมโลหะหนักในธรรมชาติ

ศิริมาศ (2550) กล่าวว่า เมื่ออยู่ในแหล่งน้ำ โลหะหนักสะสมอยู่ในตัวกลาง ได้แก่ ดิน ตะกอน พืช สัตว์น้ำ หรือแขวนลอยอยู่ในน้ำได้อย่างอิสระในปริมาณต่าง ๆ กัน สามารถเปลี่ยนรูป หรือ เคลื่อนย้าย ไปตามโซ่อาหารได้ ลักษณะการสะสมหรือเคลื่อนย้ายในตัวกลางแต่ละชนิดใน แหล่งน้ำ สามารถแยกได้ดังนี้

#### 1. การสะสมโลหะหนักในแหล่งน้ำ

โลหะหนักที่สะสมในแหล่งน้ำ อยู่ในรูป ละลายน้ำ (dissolved) และในรูปสารแขวนลอย (suspended solid) ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำมีโอกาสเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา เนื่องจากความสามารถในการผสมกันของสารที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอย และในรูปที่ละลายน้ำแตกต่างกัน โดยเฉพาะในรูปสารแขวนลอยจะมีระยะเวลาเฉลี่ยที่สารนั้นอยู่ในน้ำก่อนที่จะออกไปสู่ทะเล (residence time) ยาวนานกว่ารูปที่ละลายน้ำ และจากการที่น้ำมีการเคลื่อนไหวตลอดเวลาทำให้ ตะกอนใต้น้ำ ลอยตัวขึ้น (resuspension) จึงมีทั้งกระบวนการดูดซับ (adsorption) และการคาย (desorption) ของโลหะหนักระหว่างน้ำและตะกอน

#### 2. การสะสมโลหะหนักในดินตะกอน

โลหะหนัก หรือโลหะปริมาณน้อย จะถูกพัดพาลงสู่ทะเลโดยกระบวนการทางธรรมชาติ การชะล้างเกลือแร่ที่อยู่บนผิวดินลงสู่แหล่งน้ำ หรือเป็นโลหะหนักที่เป็นส่วนประกอบของแร่ธาตุ ในธรรมชาติตามสภาพทางธรณีวิทยา แล้วละลายออกมาปนอยู่ในน้ำ อีกส่วนหนึ่งมาจากผลการใช้ และการปล่อยโลหะหนักลงสู่แหล่งน้ำ อันเป็นผลมาจากกิจกรรมของมนุษย์ การชะล้างแผ่นดิน การทิ้ง ของ เสีย และโดยการผ่านทางอากาศ โดยโลหะหนักจะจมตัวจากอากาศลงสู่ผิวน้ำทะเลด้วย กระบวนการจม ตัวแบบเปียกและแห้ง การผูกพันกักร่อนของหิน การระเบิดของภูเขาไฟ การละลาย ออกมาจากตะกอนในทะเล โดยทั่วไปโลหะหนักสามารถเกิดการสะสมอยู่ในดินตะกอน โดยมีความเข้มข้นสูงกว่าที่มีอยู่ในน้ำมาก เนื่องจากมีกระบวนการทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวภาพ เข้ามา เกี่ยวข้อง องค์ประกอบในดิน ตะกอนที่มีผลต่อการสะสมของโลหะหนัก ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ของ แมงกานีส และเหล็ก ตลอดจนองค์ประกอบของสารอินทรีย์ต่างๆ โลหะปริมาณน้อยเหล่านี้เมื่อ ระบายลงสู่ทะเล ส่วนหนึ่งจะยังคงละลายในน้ำ และอีกส่วนสะสมอยู่ในชั้นบางๆที่ ผิวน้ำ หรือถูก

ดูดซับไว้บนสารแขวนลอย แล้วค่อยๆตกตะกอนออกไปสู่พื้นล่าง ปริมาณโลหะหนักที่ผิวหน้าดิน ตะกอน (0-5 เซนติเมตร) บริเวณปากแม่น้ำ และอ่าวไทยตอนบน มีการสะสมใกล้เคียงกัน บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา เป็นบริเวณที่มีการสะสมโลหะหนักสูงสุด และมีแนวโน้มลดลงเมื่อห่างจากปากแม่น้ำออกไป และยังพบว่า บริเวณอ่าวไทยตอนบน ทางด้านใต้ มีปริมาณโลหะหนักในดิน ตะกอน ใกล้เคียงกับปริมาณที่เกิดขึ้นเอง จากกระบวนการทางธรรมชาติ และบริเวณอ่าวไทยทางตอนเหนือ มีการสะสมโลหะหนักสูงกว่า แสดงให้เห็นว่าเป็นผลมาจากกิจกรรมของมนุษย์

โลหะหนักในน้ำโดยทั่วไป มักถูกดูดซับอยู่กับตะกอนแขวนลอย ซึ่งจะตกตะกอนในบริเวณปากแม่น้ำ (estuary) เมื่อมีการผสมผสานระหว่างน้ำจืด และน้ำทะเล และ เกิดลดความเร็วของกระแสน้ำใน บริเวณดังกล่าว จึงทำให้พบความเข้มข้นของโลหะหนักใน ดินตะกอนสูงกว่าในน้ำ บริเวณนั้นเสมอ (สนิท, 2542)

### 3. การสะสมของโลหะหนักในพืชน้ำ

พืชน้ำจะสะสมโลหะหนักด้วยการดูดซับจากน้ำโดยตรง ซึ่งพืชน้ำจะไม่สามารถควบคุมปริมาณโลหะหนักในตัวเองได้ และปริมาณการสะสมจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ละลาย หรือแขวนลอยอยู่ในน้ำเป็นสำคัญ รวมถึงอายุ และชนิดของพืชน้ำเหล่านั้นด้วย พบว่าพืชสามารถดูดซึม และสะสมโลหะหนักในรูปเกลืออนินทรีย์ได้ดีกว่าโลหะที่เป็นสารประกอบของกากตะกอนและสามารถดูดซึม แคลเซียม สังกะสี และทองแดง ได้ดีกว่า ตะกั่ว ปรอท และโครเมียม

### 4. การสะสมของโลหะหนักในสัตว์น้ำ

ส่วนใหญ่สัตว์น้ำได้รับโลหะหนักเข้าไปโดยการกิน และการสะสมจะเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ โข่อาหาร(สิริมาศ, 2550) (Biomagnification) ตะกั่ว สะสมมากที่สุดที่กระดูก และแคลเซียมสะสมที่ตับ และโลหะทุกตัวสะสมในกล้ามเนื้อน้อยที่สุด เนื่องจากกล้ามเนื้ออาจมีการกำจัดโลหะต่างๆออกได้ดีกว่าเนื้อเยื่อส่วนอื่นๆในส่วนของลำไส้และกระเพาะอาหารของสัตว์น้ำ นั้นพบว่าการสะสมของโลหะหนักมากที่สุด (สุชาติ, 2540)

นริศรา (2547) กล่าวว่า ปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อการสะสมของโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตประกอบด้วย

1. อุณหภูมิ มีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมในร่างกาย โดยอุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการดูดซึมโลหะหนักได้มาก
2. ค่าพีเอช ถ้าค่าพีเอชสูงจะมีปริมาณโลหะหนักสูงกว่าพีเอชต่ำ เนื่องจากค่าพีเอชเป็นตัวการสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโลหะหนักกับสารประกอบอินทรีย์
3. ความเค็ม โดยทั่วไปโลหะหนักที่ละลายในน้ำทะเลจะต่ำกว่าในน้ำจืด การลดความเค็มจะนำไปสู่การเพิ่มปริมาณโลหะหนักในสัตว์น้ำเพราะเมื่อน้ำจืดลงจะเกิดการลดความเข้มข้นของไอออนปริมาณมากในน้ำทะเล เช่น เมื่อแคลเซียม หรือแมกนีเซียม (แย่งเกาะที่ผิวของเนื้อเยื่อ) มีปริมาณน้อยลง ไอออนของโลหะอื่นๆ ก็มีโอกาเข้ามาเกาะจับได้มากขึ้น จึงพบว่าหอยที่เลี้ยงในน้ำกร่อย จะมีความเข้มข้นของโลหะหนักในเนื้อเยื่อสูงกว่าหอยที่เลี้ยงในน้ำที่เค็มกว่า
4. ความกระด้างของน้ำ โดยตัวที่ทำให้น้ำมีความกระด้าง ได้แก่ แคลเซียมไอออน หรือแมกนีเซียมซึ่งมีความสามารถที่จะเข้าสู่เนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิตได้ดีกว่าโลหะ โดยน้ำที่มีความกระด้างสูงหรือมีแคลเซียมอยู่มากจะลดความเป็นพิษของโลหะในน้ำลง

### 3.3 สมบัติทั่วไป และความเป็นพิษของโลหะที่ศึกษา

#### 3.3.1. ตะกั่ว

ตะกั่ว (Lead) เป็น ธาตุเคมีที่มีเลขอะตอม 82 และสัญลักษณ์เคมี คือ Pb มาจากภาษาละติน ว่า Plumbum ตะกั่วเป็นธาตุโลหะ เนื้ออ่อนนุ่ม สามารถยืดได้ เมื่อตัดใหม่ๆ มีสีขาวอมน้ำเงิน แต่เมื่อ ถูกกับอากาศสีจะเปลี่ยนเป็นสีเทา ตะกั่วเป็นธาตุที่ไม่มีประโยชน์ทั้งในพืชและสัตว์ ยิ่งไปกว่านั้นยังเป็นพิษอย่างสูงต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิตรวมทั้งมนุษย์ด้วย ธาตุนี้มีทั่วไปในสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ เปลือกโลกของเรามีตะกั่วประมาณ 10-15 ppm (ส่วนในล้านส่วน) ตะกั่วที่ปรากฏเป็นธาตุอิสระมีน้อยมากพบส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบ (แนพพ์, 2542; Pain, 1995)

## การใช้ประโยชน์

ตะกั่วเป็นโลหะที่มนุษย์นำมาใช้เป็นประโยชน์มานานนับพันปีโดยใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ตามวิทยาการและเทคโนโลยีสมัยใหม่จนทำให้ตะกั่วเป็นสารที่ใกล้มนุษย์มากยิ่งขึ้น ทั้งๆ ที่ตะกั่วเป็นสารพิษก่ออันตรายต่อร่างกายโดยสามารถทำลายประสาทสำคัญต่าง ๆ ของร่างกายได้ หากได้รับในปริมาณที่เกินขีดความสามารถของร่างกายที่จะรับได้ แต่เนื่องจากตะกั่วใช้ในอุตสาหกรรมหลายอย่าง เช่น การทำแบตเตอรี่รถยนต์ อุตสาหกรรมกลั่นน้ำมัน เคลือบสายเคเบิล อุตสาหกรรมหลอม ตะกั่ว การผลิตสี อุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา อุตสาหกรรมตัวพิมพ์ การผลิตกระสุน การเชื่อมแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ยาฆ่าแมลง (แนพฟ์, 2542; Pain, 1995)

## การกระจายสู่สิ่งแวดล้อม

ตะกั่วมาจากแหล่งกำเนิดต่างๆ เช่น จากการทำเหมืองตะกั่ว อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์ จากอากาศที่ปนเปื้อนตะกั่ว จากดินฝุ่น อาหารและน้ำดื่ม จากเครื่องถ้วยชามที่เคลือบปนด้วยสารตะกั่ว สีที่มีตะกั่วเป็นพื้น และจากแหล่งอื่นๆ นอกจากนี้สามารถพบตะกั่วในยาแผนโบราณ เช่น ยาลูกกลอน และยาจีน เป็นต้น (วิรัตน์, 2550)

ศิริมาศ (2550) การแพร่กระจายของตะกั่วเข้าสู่สิ่งแวดล้อมตามกระบวนการธรรมชาติมีดังนี้

1. Lithogenous formations จากกระบวนการผุพังของชั้นหินในแหล่งน้ำ
2. Biogenous formations จากกระบวนการที่เกิดจากกิจกรรมของสิ่งมีชีวิต ได้แก่ เกิดการตายของสิ่งมีชีวิตลงไปสะสมในแหล่งน้ำ
3. Hydrogenous formations จากการที่อนุภาคตกตะกอนหรือถูกดูดซับ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีในแหล่งน้ำ
4. Atmosgenous formations จากการตกจากอากาศลงมาเป็นของแข็งโดยตรง เนื่องจากอากาศมีผิวสัมผัสกับแหล่งน้ำมาก โอกาสจะตกสู่พื้นย่อมมีได้

### ความเป็นพิษของตะกั่ว

สารประกอบตะกั่วมีความเป็นพิษเฉียบพลันในสัตว์น้ำแตกต่างกันไป โดยทั่วไป สารประกอบอนินทรีย์ของตะกั่วมีพิษเฉียบพลันน้อยกว่าสารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว ความกระด้างของน้ำ มีผลต่อความเป็นพิษของสารประกอบอนินทรีย์ของตะกั่ว ถ้าความกระด้างของน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเป็นพิษเฉียบพลันของตะกั่วลดลง ซึ่งหมายความว่าในน้ำนั้น มีโลหะ ชนิดต่างๆ ได้แก่ แคดเมียม แมกนีเซียมมาก จึงไปขัดขวางการดูดซึมตะกั่ว ทำให้พิษของตะกั่วลดลง (ศิริมาศ, 2550)

ตะกั่วยับยั้งการสร้างฮีโมโกลบินของร่างกายโดยไปขัดขวางการสังเคราะห์สารตั้งต้นสำหรับผลิตฮีโมโกลบิน นอกจากนี้แล้วยังสามารถขัดขวางการทำงานของเอนไซม์บางชนิดที่มีหมู่ -SH อยู่ด้วย เช่น โคเอนไซม์เอ ทำให้ร่างกายเกิดอาการเป็นพิษที่ระบบต่างๆ (WHO, 1977) ดังนี้

1. ระบบทางเดินอาหาร ผู้ป่วยจะเบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ท้องผูก และ ปวดท้อง
2. ระบบประสาทส่วนปลาย โดยผู้ป่วยจะอ่อนแรง กล้ามเนื้อแขนขาเปลี้ยไม่มีแรง ปวดตามข้อมือ เท้าห้อยอาจเป็นอัมพาตได้
3. อาการทางสมอง มักพบในเด็กที่ได้รับสารตะกั่วในปริมาณสูง จะเกิดอาการนอนไม่หลับ ผื่นร้าย อารมณ์ฉุนเฉียว ไวต่อการถูกกระตุ้นมากกว่าปกติ สติคุ้มดีคุ้มร้าย ชัก และหมดสติ
4. ระบบเลือด โดยจะเกิดโรคโลหิตจาง ซีด อ่อนเพลีย ตัวเหลือง และตาเหลือง

#### 3.3.2. แคดเมียม

แคดเมียม (Cadmium) เป็น ธาตุที่มีเลขอะตอม 48 และสัญลักษณ์เคมีคือ Cd แคดเมียมเป็นโลหะทรานสิชันมีสีขาว-ฟ้า เป็นธาตุมีพิษ ในธรรมชาติพบอยู่ในแร่สังกะสี แคดเมียมเป็นธาตุที่ค่อนข้างหายากจากธรรมชาติมักจะอยู่ร่วมกับกำมะถันเป็นสารประกอบแคดเมียมซัลไฟด์ มีสีเหลืองและมักปนอยู่ในแร่สังกะสีซัลไฟด์ แคดเมียมส่วนใหญ่ ประมาณ 3 ใน 4 ส่วน ใช้สำหรับผลิตถ่าน

ไฟฟ้า โดยเฉพาะ ถ่าน Ni-Cd และส่วนที่เหลือ (1 ใน 4 ส่วน) ส่วนใหญ่ใช้สำหรับทำสีผง สารเคลือบ โลหะชุบ และเป็นสารทำให้พลาสติกมีความเสถียร (Wren *et al.*, 1995)

### การใช้ประโยชน์

แคดเมียมถูกนำมาใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่น ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า เพื่อป้องกันสนิม อุตสาหกรรมรถยนต์ ผสมสีผง ขาง แบตเตอรี่ ใช้เป็นตัวคงสภาพในอุตสาหกรรมพลาสติก ใช้กำจัด เชื้อรา ทำเซลล์สุริยะ ใช้ในการแพทย์ และทันตแพทย์ ทำโลหะผสม เช่น แคดเมียม-ทองแดง ซึ่งมีความทนต่อแรงกระแทกและทนต่ออุณหภูมิสูง โลหะผสมแคดเมียม-นิกเกิล ใช้ในการทำแบตเตอรี่ที่สามารถประจุไฟฟ้าใหม่ได้ ใช้ทำปุ๋ย (กรองพรรณ, 2544)

### การกระจายสู่สิ่งแวดล้อม

การนำแคดเมียม เข้ามาใช้ประโยชน์อย่างขาดความระมัดระวัง เป็นมูลเหตุทำให้ แคดเมียม เข้ามาอยู่ในสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งที่มีการทำเหมืองแร่สังกะสี รวมทั้งตะกั่ว ทองแดง การเผาไหม้ของทิ้งที่เป็นพวกพลาสติกและยาง โรงงานทำโลหะเจือและชุบโลหะ (กรองพรรณ, 2544)

จากข้อมูลของกองจัดการสารอันตราย และกากของเสีย (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) แบ่งแหล่งที่มาของการแพร่กระจายของแคดเมียมได้ดังนี้ จากอุตสาหกรรมตะกั่ว และสังกะสี อุตสาหกรรมแคดเมียม โรงงานชุบโลหะแคดเมียม การเผาของเสียที่มีแคดเมียมประกอบอยู่ ขางรถยนต์ที่สึกหรอ ปุ๋ยฟอสเฟต การใช้ถ่านหิน และ heating oil ตะกอนน้ำทิ้ง กากตะกอนจาก โรงงานกำจัดน้ำเสีย การสึกกร่อนของสังกะสี และยาสูบ ซึ่งปริมาณแคดเมียมในน้ำและดินตะกอน จะมากขึ้นเมื่อค่าพีเอชของน้ำต่ำ ดินมีสารอินทรีย์ น้อย และมีดินเหนียวมาก (กรองพรรณ, 2544)

### ความเป็นพิษของแคดเมียม

เมื่อ แคดเมียมเข้าสู่ร่างกายจะสะสมในร่างกายปริมาณการสะสมเพิ่มขึ้นตามอายุ การสะสม แคดเมียมปริมาณสูงในร่างกายทำให้คนและสัตว์เป็นหมันและเป็นมะเร็งได้ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง ก่อความเสียหายต่อตับและไต (WHO, 1992)

แคดเมียมสามารถเข้าสู่เนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตในน้ำได้ ในปริมาณที่สูงกว่าที่พบในน้ำตั้งแต่หลายร้อยเท่า จนถึงหลายพันเท่า ในปลาส่วนใหญ่จะเก็บสะสมแคดเมียมไว้ที่ตับ ลำไส้ และเหงือก ส่วนที่เหลือจำนวนน้อยเก็บไว้ที่กล้ามเนื้อ โดยปลาจะเก็บสะสมแคดเมียมได้น้อยกว่าสาหร่าย และหอยซึ่งการสะสมแคดเมียมมีความสัมพันธ์อย่างมากกับความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคดไอออน (cation) กล่าวคือ ถ้าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคดไอออนในดินเพิ่มขึ้น ระดับแคดเมียมในสิ่งมีชีวิตก็จะลดลง การสะสมแคดเมียมในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น หอยแครง หอยนางรม และหอยแมลงภู่ เป็นต้น มีแคดเมียมสูง ตั้งแต่ 100-1000 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และมากกว่าในสาหร่ายหรือในนาข้าว และเมื่อมีมากขึ้นก็จะไปรบกวนการทำงานของซัลไฮดริลเอนไซม์ (sulphydryl enzyme) กระบวนการเมแทบอลิซึมของแร่ธาตุบางชนิด ในปี ค.ศ. 1955 ทางตอนเหนือของประเทศญี่ปุ่น พบการเกิดโรคที่มีสาเหตุมาจากการสะสมของแคดเมียมในนาข้าว และถั่วเหลือง ลักษณะอาการจะปวดบริเวณบั้นเอวอย่างรุนแรง กระดูกมีรูพรุนมากขึ้น เนื่องจากกลไกการซ่อมแซมของกระดูกถูกยับยั้ง เรียกโรคนี้ว่า อีไต-อีไต (iti-iti) (ศิริมาศ, 2550)

### 3.3.3 โครเมียม

โครเมียม (Chromium, Cr) เป็นธาตุที่ไม่พบในธรรมชาติในรูปของธาตุบริสุทธิ์ พบมากในรูปของสินแร่ chromite ( $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ ) โครเมียม ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโลหะผสม ทำให้มีความแข็ง และเหนียว ทนทาน ป้องกันสนิม คงทนต่อการผุกร่อน ใช้ในการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า การทำสี ทำพรมน้ำมัน วัตถุระเบิด เซรามิก กระจก ปุ๋ย สารเคมีกำจัดศัตรูพืช การถ้ำรูป ความเป็นพิษของโครเมียม จะทำให้เกิดแผลจาก โครเมียม (chrome ulcers) แผลนี้ถ้าเกิดบริเวณใกล้ข้อต่ออาจต้องตัดอวัยวะส่วนนั้นทิ้ง ทำให้เกิดผิวหนังอักเสบ เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ และอาจก่อให้เกิดมะเร็งได้ (แนพพ์, 2542)

### 3.3.4 ทองแดง

ทองแดง (Copper, Cu) เป็นโลหะสีส้มแดง อยู่ในหมู่ IB ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 29 เลขมวล 63.54 ค่าความถ่วงจำเพาะ 8.9 จุดเดือด 2,565 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 1,086 องศาเซลเซียส มีความเหนียว มันวาว สามารถนำไฟฟ้าได้ดีรองจากธาตุเงิน ทนการกัดกร่อนในอากาศได้ดีกว่าเหล็ก ทองแดงบริสุทธิ์มีความอ่อนปานกลาง ปกติไม่พบในรูปอิสระ แต่พบในแร่ และสารประกอบ ในธรรมชาติจะพบทองแดงในรูปของแร่ chalcite หรือ copper glance ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), cuprite

( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) หรือ copper pyrite ( $\text{CuFeS}_2$ ) นอกจากนี้ ยังพบในรูปของ azurmalacite, cobellite ในอากาศ พบทองแดงตามธรรมชาติ โดยเกิดจากฝุ่นผงไฟฟ้า ภูเขาไฟและกิจกรรมของมนุษย์ ((แนพพ์, 2542; ศิริมาศ, 2550)

รูปโลหะทองแดงและสารประกอบทองแดงถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง เช่น ทำลวดตัวนำไฟฟ้า ทำโลหะเจือ หรือในรูปสารประกอบ เช่น ผลิกจุนลี ( $\text{CuSO}_4$ ) ที่ใช้เป็นยาฆ่าเชื้อรา ใช้เป็นสารประกอบในการกำจัดสาหร่ายและหอยที่ไม่เป็นประโยชน์ในแหล่งน้ำ นอกจากนี้ ทองแดงยัง ถูกใช้ในอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์และเครื่องใช้ไฟฟ้า อุตสาหกรรมชุบและเคลือบโลหะ เครื่องประดับ อุตสาหกรรมผ้าทอ เซรามิก (ศิริมาศ, 2550)

ช่องทางการแพร่กระจายของทองแดงสู่สิ่งแวดล้อม (ศิริมาศ, 2550) มีดังนี้

1. จากสีที่ใช้ทาเรือ โดยเฉพาะที่ท้องเรือ สีส่วนมากจะมีส่วนผสมเป็นทองแดง เพื่อช่วยลดการเกาะของเพรียง นอกจากนั้นทองแดงยังช่วยเป็นสารกันสีเสีย และช่วยให้ยึดติดกับพื้นผิววัสดุที่ทาสีได้ดีขึ้น
2. จากการเกษตร พบว่า มีการใช้ทองแดงเป็นส่วนผสมของสารเคมีที่ใช้ในการเกษตร เช่น ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง สารฆ่าเชื้อราและจุลินทรีย์ และสารกำจัดวัชพืช เป็นต้น สารเคมีเหล่านี้เมื่อสะสมอยู่ในดินก็จะถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำเมื่อมีฝนตก หรือน้ำท่วม
3. อุตสาหกรรมปิโตรเคมี ที่ใช้ทองแดงเป็นตัวตั้งซัลเฟอร์ และเป็นสารดับกลิ่นของสารปิโตรเลียม เมื่อเกิดการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงๆก็จะปล่อยทองแดงออกสู่บรรยากาศและตกลงมาสะสมในแหล่งน้ำต่อไป

ความเป็นพิษของทองแดงต่อสิ่งมีชีวิต

ทองแดงเป็นธาตุที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต เป็นส่วนประกอบของฮีโมโกลบิน และการทำงานของเอนไซม์ แต่หากได้รับทองแดงมากเกินไปจะมีอาการอ่อนเพลีย อาเจียน ท้องร่วง เม็ดเลือดแดงถูกทำลาย ตับวาย มีเลือดออกในทางเดินอาหาร และหากได้รับทองแดงในรูปคอปเปอร์ซัลเฟต ในปริมาณมาก จะมีอาการเวียนศีรษะ อาเจียน ความดันต่ำ หมดสติได้ โรคที่เกิดจากการสะสมของทองแดงมากผิดปกติที่ ตับ ไต สมอง และกระจกตา เรียกว่า Wilson disease หากมีการสะสมของ

ทองแดงในดับมากอาจทำให้เกิดดับแข็งได้ ที่สมองอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบประสาท ที่ไตอาจทำให้ท่อไตผิดปกติและในกระจุกตา เกิดเป็นวงแหวนสีน้ำตาล หรือสีเขียว เรียกว่า Kayser-Fleischer ring ในสัตว์น้ำ พบว่า หอยนางรมเมื่อสะสมทองแดงไว้มาก ทำให้เหงือกและแมนเทิลมีสีเขียวผิดปกติ ทองแดงในรูปคอปเปอร์ซัลเฟตอาจทำให้เกิดตะกอนที่เหงือกปลา ส่งผลให้ปลาตาย เนื่องจากเกิดความผิดปกติในการแลกเปลี่ยนแก๊ส (ศิริมาศ, 2550)

### 3.3.5 เหล็ก

เหล็ก (Iron, Fe) เหล็ก มีเลขมวล 26 เลขอะตอม 55.85 ความถ่วงจำเพาะ 7.86 จุดหลอมเหลว 1,528 องศาเซลเซียส นำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี สารประกอบที่สำคัญมี 2 กลุ่ม คือ Ferric [Fe (III)] และ [Fe (II)] ในธรรมชาติพบในสินแร่ hematitic และ magnetite เหล็กเป็นโลหะที่นำมาใช้แพร่หลายทั้งในรูปที่เป็นโลหะบริสุทธิ์ และโลหะผสม เช่น ทำเครื่องมือใช้ในอุตสาหกรรมทำอาวุธ เป็นต้นโดยเฉพาะโลหะผสมของเหล็กกล้าจะนำมาใช้กันแพร่หลายที่สุด ซึ่งเตรียมได้จากการเติมคาร์บอนและโลหะบางชนิดลงไปในเหล็กเล็กน้อย เพื่อให้มีคุณสมบัติแข็งแรงและทนทานต่อการกัดกร่อนมากกว่าเหล็กธรรมดา (แนพพ์, 2542)

เหล็กมีอยู่แล้วในธรรมชาติ กิจกรรมอื่นๆ ที่ทำให้เหล็กกระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อม ได้แก่ การถลุงเหล็ก หรือการปล่อยของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้เหล็ก สำหรับน้ำดื่มอาจได้รับการปนเปื้อนจากระบบท่อน้ำที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบ เหล็กจัดเป็นธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่นเดียวกับสังกะสี และทองแดง โดยเป็นส่วนสำคัญของฮีโมโกลบิน และเอนไซม์ ผู้ใหญ่ต้องการเหล็กปกติวันละ 8 – 10 มิลลิกรัม ถ้าน้อยกว่านี้จะเป็นโรคโลหิตจาง แต่ถ้ามีมากเกินไปจะทำให้เกิดอาการคลื่นเหียน อาเจียน ซีด และอาจถึงตายได้ เด็กได้รับเหล็กในรูปเฟอร์รัสซัลเฟตในปริมาณน้อยเพียง 5 เกรน (324 มิลลิกรัม) จะทำให้ถึงตายได้ (พรณิษา, 2552)

### 3.3.6 นิกเกิล

นิกเกิล (Nickle, Ni) มีอยู่ทั่วไปในเปลือกโลกในสภาพสินแร่ peritlandite, pyrrhotite อยู่ในรูปซัลไฟต์ของเหล็กและนิกเกิล  $(NiFe)_xS_y$  สินแร่ amierite  $(Ni, Mg) \cdot NiO_3 \cdot nH_2O$  หรือสินแร่ arsenide  $(NiAs)$  นิกเกิลถูกนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น นิกเกิลบริสุทธิ์ ใช้เป็นขั้ว anode ในงานอิเล็กทรอนิกส์ ใช้ทำโลหะผสมมากกว่าสามพันชนิด ผสมเหล็กใช้ทำเครื่องยนต์หนัก

และส่วนประกอบของเครื่องใช้ไฟฟ้า ผสมทองแดงทำเหรียญกษาปณ์ ผสมโครเมียมและเหล็กใช้ทำโลหะสแตนเลส ยังใช้ निकิลทำแบตเตอรี่ หัวเทียน निकิล ไฮดรอกไซด์ ใช้ในกระบวนการทำแม่พิมพ์ เครื่องสำอาง สีทาบ้าน เกลือซัลเฟตของ निकิลใช้ทำสีน้ำและสีน้ำมัน निकิลเป็นธาตุที่ จำเป็นต่อร่างกาย แต่ร่างกายต้องการเพียงเล็กน้อย มีความจำเป็นต่อกระบวนการเผาผลาญหลายประการ निकิลถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะและอุจจาระ โดยจะถูกขับออกทางอุจจาระถึง 90% निकิลเข้าสู่ร่างกายทางผิวหนัง อาหารและการหายใจ เมื่อร่างกายได้รับเข้าไปในระยะแรก จะแสดงอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดศีรษะ และเจ็บหน้าอก หัวใจเต้นเร็ว อ่อนเพลีย มีอาการเกี่ยวกับปอดอย่างรวดเร็ว และตายภายใน 4-13 วัน ยังพบรายงานของผู้ป่วยที่ทำงานในโรงงานทำ निकิลบริสุทธิ์ เป็นโรคเนื้องอกในระบบทางเดินหายใจ และผิวหนังอักเสบ เนื่องจากพิษของ निकิล ผู้ป่วยโรคผิวหนังอักเสบ เนื่องจากการใส่หน้ากากหรือเครื่องประดับที่ทำด้วยโลหะ निकิล (นริศรา, 2547)

### 3.3.7 สังกะสี

สังกะสี เป็นโลหะหนักที่อยู่ในหมู่ IIB ของตารางธาตุมีมวลอะตอม 65.37 จุดหลอมเหลว 419.5 องศาเซลเซียส จุดเดือด 907 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 7.14 มีคุณสมบัติทนต่อการผุกร่อนได้ดี ไม่ละลายน้ำ ละลายได้ในกรดเจือจาง เช่น กรดซัลฟูริก และกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง ในธรรมชาติจะพบสังกะสีได้ทั่วไปในเปลือกโลกและหิน สินแร่ที่ให้สังกะสีได้แก่ sphalerite ( $ZnS$ ), marmatite ( $Fe_2Zn_3$ ) นอกจากนี้ยังพบว่ามีปะปนอยู่ใน Cadmium sulfide ( $CdS$ ) ด้วย ปกติไม่พบสังกะสีในรูปอิสระ ในธรรมชาติพบในรูปแร่หรือสารประกอบสามารถรวมตัวกับสารอินทรีย์ ดังนั้นบริเวณที่มีสารอินทรีย์ จะพบสังกะสีอยู่ด้วย การสลายตัวของแร่สังกะสีทำให้ได้สังกะสีในรูป  $Zn^{2+}$  ซึ่งเคลื่อนย้ายได้ดีในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรด แต่เมื่ออยู่ในดินก็จะถูกดูดซับโดยแร่และสารอินทรีย์ จึงพบการสะสมของสังกะสีได้ในผิวดินชั้นบน รูปของสังกะสีที่พบได้มากที่สุดที่ดินคือ รูป  $Zn^{2+}$  (แนพพ์, 2542)

สังกะสีแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมโดยกระบวนการทางธรรมชาติ และการกระทำของมนุษย์ ด้วยคุณสมบัติของสังกะสีที่ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี จึงนำเอามาใช้ในการเคลือบผิวโลหะชนิดอื่นที่มีความแข็งแรง แต่เกิดสนิมง่ายให้มีความคงทนมากขึ้น นอกจากนี้ยังนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การถลุงแร่สังกะสี การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช อุตสาหกรรมยา สี เครื่องพิมพ์ ฝ้าย กระดาษ นอกจากนั้นยังใช้สารประกอบของสังกะสีในการเพิ่มค่าออกเทนในน้ำมัน เชื้อเพลิงแทนตะกั่ว เกลือของสังกะสี นำมาประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ เช่น ทำยาสมานแผล ยาฆ่าเชื้อ การชะล้างหน้าดินของ

น้ำฝน การทิ้งขยะของเสียลงในแหล่งน้ำ ล้วนแต่ทำให้สังกะสีมีโอกาสปนเปื้อนลงแหล่งน้ำได้มาก สังกะสีในปริมาณมากเป็นพิษต่อ พืช สัตว์และสามารถถ่ายทอดไปตามโซ่อาหารได้ ในแหล่งน้ำธรรมชาติ ความเข้มข้นของสังกะสีขึ้นอยู่กับสารประกอบและพันธะเคมีของสังกะสีในขณะนั้น สังกะสีและออกไซด์ของสังกะสีละลายน้ำได้เล็กน้อย สังกะสีคลอไรด์ละลายได้ดี อีออนของสังกะสีในน้ำถูกดูดซึมโดยดินตะกอน ถ้าน้ำมีค่าพีเอชต่ำ ความเข้มข้นของสังกะสีอาจสูงถึง 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปกติน้ำผิวดินมีสังกะสีน้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สังกะสีในรูปสารประกอบเป็นพิษมากกว่าในรูปธาตุหรืออีออนอิสระ ความเป็นพิษของสังกะสี ไม่สามารถทำให้ลดลงด้วยหมู่ซัลไฮไดรล (-SH) เหมือนโลหะหนักชนิดอื่น สังกะสีเมื่อเข้าไปในร่างกายจะสะสมอยู่ที่ตับและไตมาก สังกะสีเป็นธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย แต่ต้องการในปริมาณที่น้อยมาก ในพลาสมาของคนปกติจะมีระดับความเข้มข้นของสังกะสีอยู่ประมาณ 85-100 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม สังกะสีมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของกระดูก (พรณิชา, 2552)

พิษของโลหะสังกะสีเกิดจากการที่มี โลหะอื่นผสมอยู่ด้วย เช่น แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสีสามารถเข้าสู่ร่างกายโดยการปนเปื้อนในอาหารที่รับประทานและการหายใจ หากได้รับสังกะสีเกินความต้องการจะมีอาการผิดปกติ เช่น ปวดท้อง อาเจียน คลื่นไส้ ชี้ออก หากผู้ได้รับมีความต้านทานโรคต่ำกว่าปกติ และขาดแคลนวิตามิน อาจถึงตายได้ ปริมาณของสังกะสีในร่างกายมีผลต่อการดูดซึมแคดเมียมด้วย (เนเนพฟ์, 2542; พรณิชา, 2552)

### 3.3.8 โคบอลต์

โคบอลต์ (Cobalt, Co) เป็นธาตุ ที่มีเลขอะตอม 27 อยู่ในตารางธาตุหมู่ 27 มีจุดเดือด 2,927 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลว 1,495 องศาเซลเซียส จัดอยู่ในกลุ่มโลหะ ทรานซิชันเมทัล (transition metal) มีน้ำหนักอะตอม (atomic weight) 59 ประกอบด้วยไอโซโทปทั้งสิ้น 26 ไอโซโทป มีไอโซโทปเสถียรเพียงไอโซโทปเดียว คือ โคบอลต์-59 ค้นพบโดยนักเคมีชาวสวีเดน จอร์จ แบรนท (George Brand) เมื่อประมาณปี พ.ศ. 2278 ชื่อของธาตุนี้ได้ตั้งจากคำว่า "Kobold" ซึ่งเป็นชื่อผีที่ชอบขโมยเงินในนิทานพื้นบ้านของเยอรมัน โคบอลต์เป็นโลหะชนิดหนึ่ง มีสีเงินวาว ตามปกติจะใช้ผสมกับธาตุอื่นเพื่อทำเป็นโลหะผสม (alloy) มากกว่าจะใช้ในรูปสารบริสุทธิ์ โคบอลต์ถูกใช้เป็นสารให้สีในสีสำหรับทาหรือเขียน (สีน้ำเงินโคบอลต์) และใช้เป็นสีข้อมในอุตสาหกรรมเครื่องกระเบื้อง (Thenard's blue, Riemann's green) นอกจากนี้ ยังมีการใช้โคบอลต์ในผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีและใช้ทำแม่เหล็กถาวร แร่ที่มีโคบอลต์ปะปนอยู่เป็นจำนวนมากนั้นหายาก ทั้งนี้เพราะว่าโคบอลต์มีอยู่เพียง 0.001 เปอร์เซ็นต์ ของเปลือกโลก ในปัจจุบัน ประเทศซาอุดีและแซมเบียในทวีปแอฟริกาสามารถ

ผลิตแร่โคบอลต์ได้มากที่สุดในโลก นอกจากนี้ยังมีประเทศแคนาดา รัสเซีย โมร็อกโก ซิมบับเว และ นิวคาลิโดเนีย ที่มีแหล่งแร่โคบอลต์ผลิตผลรวมของโคบอลต์ทั้งโลกต่อปีมีประมาณ 30 ล้านกิโลกรัม (กระทรวงพลังงาน, 2552)

โคบอลต์ช่วยควบคุมการเผาไหม้ ไม่ทำให้เกิดคาร์ไบด์ จึงช่วยป้องกันไม่ให้เหล็กเกิดเนื้อหยาบที่อุณหภูมิสูง และยังช่วยเสริมโครงสร้างทางโมเลกุลให้เหล็กมีความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง ด้วยเหตุนี้ จึงใช้ผสมในเหล็กขึ้นรูปงานร้อน เหล็กทนความร้อน และเหล็กไฮสปีด ธาตุโคบอลต์เมื่อได้รับรังสีนิวตรอนจะเกิดเป็น โคบอลต์-60 ซึ่งเป็นสารกัมมันตภาพรังสีอย่างรุนแรง ดังนั้น จึงไม่ควรเติมโคบอลต์ลงในเหล็กที่ใช้ทำเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ในปัจจุบันมีการใช้โคบอลต์-60 อย่างแพร่หลายทั้งในการแพทย์ การเกษตร การวิจัย และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในทางอุตสาหกรรมแต่ประชาชนส่วนใหญ่ยังไม่ทราบถึงประโยชน์ที่ใช้อย่างมากมายในประเทศ ทั้งนี้เพราะว่าในอนาคตมีความเป็นไปได้ว่าไอโซโทปที่มนุษย์ทำขึ้น เช่น โคบอลต์-60 จะทำให้สาธารณชนมีความคุ้นเคยกับมันเหมือนกับกระบวนการผลิตเครื่องกระป๋องและอาหารแช่แข็ง เป็นต้น (กระทรวงพลังงาน, 2552)

ทางด้านอุตสาหกรรม มีโรงงานอุตสาหกรรมจำนวน 165 แห่งในประเทศไทย ได้นำเอาสารกัมมันตรังสีมาใช้ในกระบวนการผลิตและการสำรวจโดยมี 30 โรงงานที่ได้นำเอาสารกัมมันตรังสีโคบอลต์-60 มาใช้ในการการวัดระดับ ได้แก่ โรงงานทอผ้า โรงงานพลาสติก โรงงานปูนซีเมนต์ โรงงานเหล็ก บริษัทปิโตรเคมีแห่งชาติ รวม 9 โรงงาน การวัดความหนา ได้แก่ โรงงานโลหะ ใช้วัดความหนาของ แผ่นเหล็ก ทองแดง และนิกเกิล รวม 3 โรงงาน โรงงานพลาสติก โรงงานกระเบื้อง รวม 7 โรงงาน การสำรวจหลุมเจาะ เพื่อเสาะหาแหล่งแร่ จำนวน 3 บริษัท การฉายรังสีเวชภัณฑ์ เช่น เข็มฉีดยา ถุงมือ ชุดผ่าตัด และยารักษาโรค จำนวน 4 โรงงาน สำหรับการทำลายพยาธิ แบคทีเรีย และการปลอดเชื้อโรค การฉายรังสีอาหาร และผลิตผลการเกษตร จำนวน 4 โรงงาน สำหรับการถนอมอาหาร เพื่อยับยั้งการงอก ชะลอการสุก ทำลายพยาธิ ลดจำนวนแบคทีเรียและเชื้อรา กำจัดแมลงศัตรูพืช ตลอดจนการปรับปรุงพันธุ์พืช (กระทรวงพลังงาน, 2552)

โคบอลต์-60 เป็นสารกัมมันตรังสีสลายตัวให้รังสีบีตา พลังงาน 0.318 มิลลิอิเล็กตรอนโวลต์ (MeV) และรังสีแกมมาพลังงาน 1.33 และ 1.17 มิลลิอิเล็กตรอนโวลต์ (MeV) ตามลำดับ รังสีเหล่านี้ นอกจากจะมีคุณสมบัติแล้ว แต่เมื่อเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์อาจก่อให้เกิดโทษได้ เนื่องจากรังสีเป็นพลังงานรูปหนึ่งย่อมมีผลกระทบต่อร่างกายของสิ่งมีชีวิตได้ เช่น ผู้ป่วยด้วยโรคมะเร็งเมื่อมีการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 บริเวณอวัยวะที่เป็นมะเร็งแล้วจะทำให้เซลล์บริเวณนั้นตายลงไปเพื่อเป็นการกำจัดเซลล์ที่เป็นมะเร็งและ โดยไม่มีสารกัมมันตรังสี และรังสีตกค้างในร่างกายของผู้ป่วย ใน

กรณีอุบัติเหตุจากการได้รับรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ที่ร้านค้าของเก่าในซอยวัดมawangษ์ ถนนรางรถไฟสายเก่า หมู่ 5 ตำบลสำโรง อำเภพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ โดยการรู้เท่าไม่ถึงการณ์ของกลุ่มผู้ค้าของเก่า และก่อให้เกิดความเสียหายต่อร่างกายของผู้ที่ได้รับรังสีในปริมาณสูง โดยมีปริมาณเม็ดเลือดขาวลดลงจากเดิม คลื่นเหียนอาเจียน มือพองบวม เซลล์ตาย และต่อมามีผู้เสียชีวิต ถึง 3 คน (กระทรวงพลังงาน, 2552)

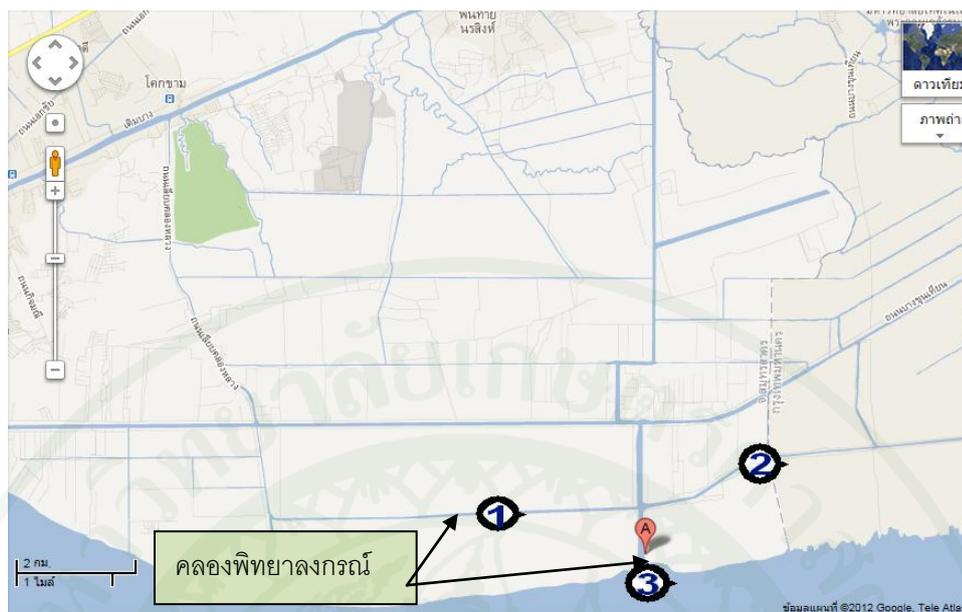


## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. สถานที่ทำการศึกษา

บริเวณที่เก็บตัวอย่างหอยสังข์โมพี เริ่มตั้งแต่ บริเวณน้ำตื้น ป่าชายเลน เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร คลองหลัก ไปจนถึงสุดคลองพิทยาลงกรณ์ ที่เปิดออกสู่ทะเล ที่ตำบลพันท้ายนรสิงห์ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร คลองพิทยาลงกรณ์ ยาวประมาณ 27 กิโลเมตร เป็นคลองขุดเพื่อการชลประทาน และทำนาเกลือ ทางริมฝั่งทะเลของเขตอำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร (กระทรวงกลาโหม, 2547)

แบ่งพื้นที่เก็บตัวอย่างออกเป็น 3 สถานี สถานีที่ 1 และ 3 อยู่ที่ ตำบลพันท้ายนรสิงห์ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร สถานีที่ 2 อยู่ที่ เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร แต่ละสถานีห่างกันประมาณ 2 กิโลเมตร เริ่มเก็บตัวอย่างตั้งแต่ เดือน เมษายน 2552 ถึง กุมภาพันธ์ 2553 โดยเก็บ เดือนเว้นเดือน เพื่อเปรียบเทียบใน 3 ฤดูกาล ดังนั้นจึงเก็บตัวอย่างฤดูกาลละ 2 ครั้ง รวม 3 ฤดูกาลเท่ากับ 6 ครั้ง สถานีที่ 1 มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 2 เมตร สถานีที่ 2 มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 3 เมตร สถานีที่ 3 มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 12 เมตร เก็บตัวอย่างหอยสังข์โมพี ตามแนวคลองพิทยาลงกรณ์ โดยสถานีที่ 1 และ 2 อยู่ในคลองสาขาของคลองพิทยาลงกรณ์ ซึ่งชาวบ้านในท้องถิ่น เรียกว่า คลองหลัก ส่วนสถานีที่ 3 คือ บริเวณปากคลองพิทยาลงกรณ์ สภาพน้ำไหลเป็นน้ำไหลทั้งสามสถานี แต่จะไหล แรงมากที่สุดที่สถานีที่ 3 ซึ่งเปิดออกสู่ทะเล



ที่มา: google.com (2012)

ภาพที่ 1 แผนที่แสดงสถานีเก็บตัวอย่าง

- (1) สถานีที่ 1 อยู่ในบริเวณตำบลพันท้ายนรสิงห์ อำเภอมือง จังหวัดสมุทรสาคร
- (2) สถานีที่ 2 อยู่ในเขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร
- (3) สถานีที่ 3 อยู่ในบริเวณตำบลพันท้ายนรสิงห์ อำเภอมือง จังหวัดสมุทรสาคร

## 2. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

### 2.1 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ณ สถานีเก็บตัวอย่าง

วิเคราะห์คุณภาพน้ำ ณ สถานีเก็บตัวอย่างทั้งสามสถานี ด้วยเครื่อง Oxygen Meter YSI Model 57 เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen, DO) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้า (conductivity) ความเค็ม (salinity) และอุณหภูมิ

## 2.2 การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

เก็บตัวอย่างน้ำ ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างน้ำ ความจุ 2 ลิตร ใส่ขวดพลาสติก ขนาด 1 ลิตรที่ล้างสะอาด แช่กรดไนตริกเจือจาง 10 เปอร์เซ็นต์นาน 1 คืน แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น ตากให้แห้ง จากนั้นเติมกรดไนตริกเข้มข้น 3 มิลลิลิตร เพื่อปรับ pH ของน้ำให้ต่ำกว่า 2 เป็นการรักษาดังกล่าว แล้วแช่ในน้ำแข็ง นำกลับมาวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ

กรองตัวอย่างน้ำผ่านกระดาษกรอง Whatman No. 40 แล้วนำตัวอย่างน้ำที่กรองได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorption) ของโลหะหนักแต่ละชนิด ด้วยวิธี inductively coupled plasma -optical emission spectrometry (Hamilton *et. al.*, 2008) ด้วยเครื่อง ICP-OES, UV-VIS (PerkinElmer )

## 2.3 การเตรียม calibration curve

เตรียมได้จากสารละลายมาตรฐาน ของ ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม นิกเกิล ทองแดง เหล็ก สังกะสี และ โคบอลต์ ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรนำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่น ultrapure water ให้มีความเข้มข้นที่แน่นอน (ซึ่งครอบคลุมความเข้มข้นของโลหะหนัก) ไม่ต่ำกว่า 4 ค่า จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorption) ของโลหะหนักแต่ละชนิด ด้วยเครื่อง ICP-OES, UV-VIS (PerkinElmer )

## 3. การวิเคราะห์คุณภาพดิน

### 3.1 การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างดิน ทั้งสามสถานี ที่ระดับ 0.5 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องตักดินแบบ Smith – McIntyre ประมาณ 1 กิโลกรัม บรรจุในถุง ตัดฉลากระบุวัน เวลา สถานที่

### 3.2 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะในดิน

อบตัวอย่างดินในตู้อบความร้อน (hot air oven, Memmert) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท แล้วบดให้ละเอียด นำเข้าสู่ชุดความชื้น เพื่อให้ได้น้ำหนักแห้ง ซึ่งดินตัวอย่าง 0.3 กรัม

นำไปย่อยด้วยวิธีไมโครเวฟ (microwave digestion) โดยใช้กรดไนตริกเข้มข้น 4 มิลลิลิตร และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2 มิลลิลิตร ให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟสองครั้ง ครั้งแรก 3 นาที แล้วนำมาไว้ในตู้ดูดควัน 5 นาที ให้ความร้อนครั้งที่สอง 5 นาที ทำให้เย็นลง แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง ปริมาตรด้วย ultrapure water ในขวด volumetric flask ขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ ด้วยวิธี inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (Hamilton *et. al.*, 2008) ด้วยเครื่อง ICP-OES, UV-VIS (PerkinElmer) ค่าที่ได้ เป็น มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) และต้องแปลงให้เป็น มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังสมการ

$$\frac{(\text{mg/l} \times 25 \text{ ml})}{0.3000 \text{ g of sample}}$$

1000

#### 4. การวิเคราะห์โลหะและโลหะหนักในหอยสังข์โมพี

##### 4.1 การเก็บตัวอย่าง

สุ่มเก็บตัวอย่างหอยสังข์โมพี ขนาดคละกันให้ได้น้ำหนักรวม 1-2 กิโลกรัม ใส่ถุงพลาสติกติดป้ายแสดง วัน เวลา สถานที่ที่เก็บ จากนั้น ชั่งน้ำหนัก วัดขนาด แบ่งตัวอย่างเป็นสองกลุ่ม กลุ่มที่หนึ่ง สำหรับ การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก กลุ่มที่สอง สำหรับการศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาค

##### 4.2 การวิเคราะห์โลหะหนักในหอยสังข์โมพี

แกะหอยออกจากเปลือก แล้วแยกเอาเฉพาะ ระบบทางเดินอาหาร และไต นำไปอบในตู้อบความร้อน ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท บดให้ละเอียด นำเข้าสู่ตู้ดูดความชื้น เพื่อให้ได้น้ำหนักแห้ง ชั่งตัวอย่างปริมาณ 0.3 กรัม จากนั้นดำเนินการเหมือนข้อ 3.2

## 5. การศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาค

### 5.1 การเตรียมตัวอย่าง

อดอาหารตัวอย่างหอยก่อนทำการศึกษานาน 1 วัน เพื่อให้ไม่มีอาหารและของเสียในระบบทางเดินอาหาร จากนั้นค่อยๆแกะเปลือกหอย แล้วดึงตัวหอยออกจากเปลือก คงสภาพตัวอย่างหอยทั้งตัวในน้ำยาคงสภาพสารละลายบูแองส์ (Bouin's fluid) อย่างน้อย 24 ชั่วโมง

### 5.2 การเตรียมเนื้อเยื่อด้วยเทคนิคพาราฟฟิน

1. นำตัวอย่างหอยทั้งตัวที่คงสภาพในน้ำยาคงสภาพบูแองส์ (Bouin's) อย่างน้อย 24 ชั่วโมง มาแยกอวัยวะที่ต้องการศึกษา คือ หลอดอาหาร กระเพาะอาหาร digestive gland และไต ตัดตัวอย่างให้มีขนาดไม่เกิน 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2. ล้างน้ำยาคงสภาพออกจากเนื้อเยื่อ ด้วย เอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ ล้างหลายๆครั้ง โดยหยดสารละลายอิมมัลชันของลิเทียมคาร์บอเนต (saturated lithium carbonate,  $\text{LiCO}_3$ ) 3-4 หยด ผสมใน เอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ด้วย จนกระทั่งไม่เหลือสีเหลืองของกรดพิคริก

3. ขจัดน้ำออก โดยใช้เอทิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นจากต่ำไปสูง คือ 70 เปอร์เซ็นต์ ครั้งแรก 5 ชั่วโมง ครั้งที่สอง 2 ชั่วโมง และ 80, 95 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ทำ 2 ครั้งๆ ละ 1 ชั่วโมง (ศุภลักษณ์, 2545)

4. ขจัดเอทิลแอลกอฮอล์ และทำให้เนื้อเยื่อใส โดยใช้ไซลีน โดยเปลี่ยนไซลีนสองครั้งๆ ละ 1 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าขจัดเอทิลแอลกอฮอล์ออกหมด โดยสังเกตจากไซลีนถ้าหากเปลี่ยนจากใสเป็นขุ่น แสดงว่าขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อไม่หมด (Humason, 1979)

5. แทรกซึมพาราฟฟินในเนื้อเยื่อ โดยใช้พาราฟฟินที่หลอมเหลว อุณหภูมิ ประมาณ 56 องศาเซลเซียส โดยการแทรกซึมจะเปลี่ยนพาราฟฟินหลอมเหลว 2 ครั้งๆ ละ 1.30 ชั่วโมง (ศุภลักษณ์, 2545)

6. การฝังเนื้อเยื่อในพาราฟฟิน นำเนื้อเยื่อที่แทรกซึมพาราฟฟินเรียบร้อยแล้ว มาฝังในพาราฟฟิน โดยหยอดพาราฟฟินหลอมเหลวในกระตงโลหะ วางเนื้อเยื่อให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการ วางกรอบพลาสติกบนปากกระตง แล้วเทพาราฟฟินหลอมเหลวให้เต็มกระตงโลหะ ทิ้งไว้ให้พาราฟฟินอุณหภูมิลดลง และเริ่มแข็งตัว นำไปวางในตู้เย็น เมื่อพาราฟฟินแข็งตัวดีแล้วจะสามารถแกะบล็อกเนื้อเยื่อออกจากกระตงโลหะได้

### 5.3 การตัดเนื้อเยื่อเป็นแผ่นบาง

1. นำบล็อกพาราฟฟินมาตัดแต่งหน้าบล็อก โดยการใช้มีดโกนแต่งให้หน้าบล็อกเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู
2. ตัดเนื้อเยื่อให้เป็นแผ่น หนาประมาณ 5 ไมโครเมตร โดยใช้เครื่องโรตารีไมโครทอม (Leica 2135)

### 5.4 การติดเนื้อเยื่อแผ่นบางบนสไลด์

1. ใช้ใบมีดคมๆ ตัดแยกแถบเนื้อเยื่อที่ต้องการ
2. ใช้ฟู่กันแตะแผ่นเนื้อเยื่อ ไปลอยในน้ำอุ่น 43-45 องศาเซลเซียส ในอ่างลอยเนื้อเยื่อ
3. เมื่อเนื้อเยื่อคลายตัวดีแล้ว ใช้สไลด์ที่ทำแอดฮีซีฟแล้วซ้อนเนื้อเยื่อขึ้นมา
4. วางสไลด์บนเครื่องอุ่นสไลด์ จนเนื้อเยื่อแห้งสนิท

### 5.5 การย้อมสีฮีมาท็อกซิลิน และอีโอซิน (สุกัลักษณ์, 2545)

1. ขจัดพาราฟฟินออกจากเนื้อเยื่อ โดยการแช่ในไซลีน 2 ครั้งๆ ละ 5 นาที
2. ให้นำเข้าเนื้อเยื่อ โดยเริ่มจากแอทิลอลกอฮอล์ระดับ ความเข้มข้นสูงมาต่ำ คือ 100, 95 และ 70 เปอร์เซ็นต์ ครั้งละ 2 นาที

3. แช่น้ำประปา น้ำไหล ประมาณ 1-2 นาที
4. แช่น้ำสีส้มที่ออกซิได้น ประมาณ 5-6 นาที
5. ล้างสีส่วนเกิน โดยใช้ 1 เปอร์เซ็นต์ แอซิดแอลกอฮอล์ โดยจุ่มอย่างรวดเร็ว จากนั้นรีบนำไปล้างน้ำแบบไหลผ่าน ประมาณ 1-2 นาที
6. ปรับเนื้อเยื่อให้มีสภาพเป็นกลาง โดยจุ่มในสารละลายอิมิตัวของลิเทียมคาร์บอเนต ประมาณ 1 นาที
7. ซ้อมสีอีโอซิน ประมาณ 2 นาที
8. ขจัดน้ำออก เริ่มจาก แอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ จุ่มอย่างรวดเร็ว ประมาณ 30 วินาที แล้วผ่านไป เอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ 2 ครั้งๆละ 2 นาที เอทิลแอลกอฮอล์ 100 เปอร์เซ็นต์ 2 ครั้งๆละ 2 นาที
9. ขจัดเอทิลแอลกอฮอล์ออกและทำให้เนื้อเยื่อใส โดยแช่ ในไซลีน 2 ครั้งๆละ 5 นาที
10. ปิดสไลด์ ด้วยกระจกปิดสไลด์และเปอร์มาท์ (Fisher Scientific)

## 6. การวิเคราะห์ข้อมูล

6.1 สถิติวิเคราะห์ การวิเคราะห์ชนิด และปริมาณของโลหะหนัก การหาค่าเฉลี่ย (mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD.) ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ปริมาณโลหะระหว่างเดือน โดยวิธี Analysis of Variance (one-way) และ Duncan New Multiple Range Test

6.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณโลหะในน้ำ ดินตะกอน และเนื้อเยื่อหอย โดยการวิเคราะห์หาค่า สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

6.3 การวิเคราะห์ผลทางจุลกายวิภาคของเนื้อเยื่อระบบทางเดินอาหาร โดยการอ่านผลภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง แล้วบันทึกภาพ

## 7. สถานที่ทำการวิจัย

7.1 บริเวณน้ำตื้นป่าชายเลน แขวงบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร คลองหลัก และคลองพิทยาลงกรณ์ ตำบลพันท้ายนรสิงห์ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร

7.2 ห้องวิจัยกลาง ภาควิชาสัตววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

7.3 ห้องปฏิบัติการเคมี บริษัทเอกไทยเคมี จำกัด

## 8. ระยะเวลาในการศึกษา

เดือน เมษายน 2552 ถึง กุมภาพันธ์ 2553

## ผลและวิจารณ์

### ผล

#### 1. ปริมาณโลหะในน้ำ

การศึกษาค่าความเข้มข้นของโลหะในน้ำบริเวณป่าชายเลนเขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร จนถึงปากคลองพิทยาลงกรณ์ ตำบลพันท้ายนรสิงห์ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร จำนวน 18 ตัวอย่าง จากสถานีเก็บตัวอย่าง 3 สถานี จากตัวแทน ฤดูกาล 3 ฤดูกาล คือ ฤดูร้อน (เมษายน 2552 และกุมภาพันธ์ 2553) ฤดูฝน (มิถุนายน และสิงหาคม 2552) และฤดูหนาว (ตุลาคม และธันวาคม 2552) พบโลหะ และโลหะหนักชนิดต่างๆ ดังนี้

##### 1.1 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำ

เมื่อเปรียบเทียบทั้งสามสถานี (ตารางที่ 1) พบว่าในสถานีที่ 1 พบปริมาณตะกั่วมากที่สุดเมื่อเทียบกับอีกสองสถานี ในทุกๆเดือน เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างในแต่ละเดือนของทั้งสามสถานี พบว่ามีค่าเฉลี่ยของปริมาณตะกั่วในเดือนตุลาคมนั้น มีความแตกต่างจากเดือนอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตารางผนวกที่ 1) และเมื่อนำปริมาณของตะกั่วไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ในแหล่งดิน (ตารางผนวกที่ 1) คือ ต้องไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีค่าที่เกินมาตรฐาน คือ ในสถานีที่ 1 และ 3 ในเดือนมิถุนายน คือ 0.39 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.301 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สถานีที่ 1 ในเดือน สิงหาคม คือ 0.09 มิลลิกรัมต่อลิตร และทั้งสามสถานีในเดือนตุลาคม คือ 1.125, 0.566 และ 0.695 มิลลิกรัมต่อลิตร , 0.566 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ปริมาณของตะกั่วในน้ำ (mg/l)

	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
สถานี1	0.01	0.39	0.09	1.125	nd	nd
สถานี2	nd	nd	0.025	0.566	nd	nd
สถานี3	nd	0.301	0.03	0.695	nd	nd
ค่าเฉลี่ย	0.01 <sup>b</sup> ±0.00	0.35 <sup>b</sup> ±0.06	0.048 <sup>b</sup> ±0.36	0.80 <sup>a</sup> ±0.29	nd	nd

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกันแถวค่าเฉลี่ย แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P<0.05$ )

nd = not detected

## 1.2 ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำ

ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำ (ตารางที่ 2) มีค่ามากที่สุดที่สถานีที่ 3 ในเดือนตุลาคม คือ 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร และต่ำที่สุด คือไม่สามารถตรวจวัดได้ ในทุกสถานีของเดือนเมษายน มิถุนายน สิงหาคม ธันวาคม และกุมภาพันธ์ โดยตรวจวัดได้เฉพาะเดือนตุลาคม ทั้งสามสถานี ที่ 0.01, 0.02 และ 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานแคดเมียมในแหล่งน้ำ (ตารางผนวกที่ 1) คือ ต้องไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีค่าไม่เกินมาตรฐาน

ตารางที่ 2 ปริมาณของแคดเมียมในน้ำ (mg/l)

	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
สถานี1	nd	nd	nd	0.01	nd	nd
สถานี2	nd	nd	nd	0.02	nd	nd
สถานี3	nd	nd	nd	0.03	nd	nd
ค่าเฉลี่ย	nd	nd	nd	0.015±0.01	nd	nd

หมายเหตุ nd = not detected

### 1.3 ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำ

ดังตารางที่ 3 ปริมาณของโครเมียมมากที่สุดในสถานีที่ 2 ในเดือนตุลาคม คือ 3.658 มิลลิกรัมต่อลิตร น้อยที่สุด คือไม่สามารถตรวจวัดได้ใน สถานีที่ 2 และ 3 ในเดือนเมษายน และ สถานีที่ 3 ในเดือนมิถุนายน และเมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณโครเมียมในแต่ละเดือนพบว่า เดือนเมษายน และ กุมภาพันธ์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เดือนตุลาคม และ ธันวาคม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเดือนมิถุนายน และ สิงหาคมไม่แตกต่างกัน

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานโครเมียมในแหล่งน้ำ (ตารางผนวกที่ 1) ต้องไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ปริมาณโครเมียมเกินมาตรฐานในทุกสถานีของเดือนตุลาคม ธันวาคม และ กุมภาพันธ์ สถานีที่ 1 ของเดือนมิถุนายน และสถานีที่ 1 และ 3 ในเดือนสิงหาคม

ตารางที่ 3 ปริมาณของโครเมียมในน้ำ (mg/l)

	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
สถานี1	0.01	0.073	0.037	3.039	2.137	2.418
สถานี2	nd	0.019	0.03	3.658	1.15	0.831
สถานี3	nd	nd	0.315	2.56	1.343	0.401
ค่าเฉลี่ย	0.01 <sup>c</sup> ±0.00	0.046 <sup>c</sup> ±0.038	0.127 <sup>c</sup> ±0.16	3.086 <sup>a</sup> ±0.27	1.543 <sup>b</sup> ±0.52	1.217 <sup>b</sup> ±0.91

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกัน ในแถวค่าเฉลี่ย แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

nd = not detected

### 1.4 ความเข้มข้นของทองแดงในน้ำ

ดังตารางที่ 4 ปริมาณของทองแดงมากที่สุดที่สถานีที่ 2 ในเดือนมิถุนายน 0.852 มิลลิกรัมต่อลิตร และต่ำสุด คือ ไม่สามารถตรวจวัดได้ ในทุกสถานีของเดือนเมษายน สิงหาคม และ กุมภาพันธ์ สถานีที่ 3 ในเดือนตุลาคม และสถานีที่ 2 ในเดือนธันวาคม เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณของ

ทองแดงในแต่ละเดือนแล้ว พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เมื่อนำค่าความเข้มข้นของทองแดงที่ตรวจวัดได้ ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งดิน (ตารางผนวกที่ 1) ที่ต้องไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าปริมาณของทองแดงที่ตรวจพบว่ามีเกินมาตรฐาน คือ สถานีที่ 2 ในเดือนมิถุนายน 0.852 มิลลิกรัมต่อลิตร สถานีที่ 1 และ 3 ในเดือนธันวาคม คือ 0.544 และ 0.52 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ปริมาณของทองแดงในน้ำ (mg/l)

	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
สถานี 1	nd	0.023	nd	0.07	0.544	nd
สถานี 2	nd	0.852	nd	0.07	nd	nd
สถานี 3	nd	0.08	nd	nd	0.52	nd
ค่าเฉลี่ย	nd	0.318 <sup>a</sup> ±0.463	nd	0.07 <sup>a</sup> ±0.00	0.532 <sup>a</sup> ±0.017	nd

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกัน ในแถวค่าเฉลี่ย แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

nd = not detected

### 1.5 ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำ

จากตารางที่ 5 พบว่าความเข้มข้นของเหล็กในน้ำที่วัดได้ มากที่สุดและต่ำสุด ที่ สถานีที่ 1 ในเดือนมิถุนายน 1.502 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเดือนธันวาคม 0.046 มิลลิกรัมต่อลิตร เรียงตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยทุกสถานี สูงสุดในเดือนตุลาคม และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ เมื่อนำค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเหล็กในน้ำมา เปรียบเทียบกันทุกเดือน พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ คือ ค่าเฉลี่ยในเดือนมิถุนายนแตกต่างจาก เดือนสิงหาคม และกุมภาพันธ์ เดือนสิงหาคม แตกต่างจากเดือนมิถุนายนและเดือนตุลาคม เดือนตุลาคมแตกต่างจากเดือนสิงหาคม ธันวาคม และกุมภาพันธ์ เดือนธันวาคมแตกต่างจากเดือนตุลาคม ส่วนเดือนกุมภาพันธ์แตกต่างจากเดือนตุลาคม มีเพียงเดือนเมษายนที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเดือนใดเลยส่วนค่ามาตรฐานความเข้มข้นของเหล็กในน้ำนั้น ไม่มีกำหนดไว้

ตารางที่ 5 ปริมาณของเหล็กในน้ำ (mg/l)

	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
สถานี1	0.781	1.502	0.123	1.18	0.046	0.071
สถานี2	0.475	0.463	0.147	1.07	0.26	0.072
สถานี3	0.264	0.346	0.133	0.89	0.7	0.069
ค่าเฉลี่ย	0.507 <sup>a,b,c</sup> ±0.26	0.770 <sup>a,b</sup> ±0.66	0.134 <sup>c</sup> ±0.01	1.047 <sup>a</sup> ±0.15	0.335 <sup>b,c</sup> ±0.33	0.071 <sup>c</sup> ±0.001

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกันแถวค่าเฉลี่ย แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

nd = not detected

#### 1.6 ความเข้มข้นของนิกเกิลในน้ำ

จากตารางที่ 6 พบว่า ปริมาณของนิกเกิลที่ตรวจวัดได้ พบมากที่สุด ที่สถานีที่ 1 ในเดือนตุลาคม 2.41 มิลลิกรัมต่อลิตร และตรวจวัดได้ในสถานีที่ 1 ของเดือนเมษายน นอกนั้นไม่สามารถตรวจวัดได้ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณของนิกเกิลในน้ำระหว่างเดือนที่วัดได้ คือ เมษายน กับ เดือนตุลาคม พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานในน้ำ ตามตารางผนวกที่ 1 ต้องไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร นั้น ปริมาณของนิกเกิล ที่ตรวจวัดได้ในเดือนตุลาคมล้วนเกินมาตรฐานทั้งสามสถานี

ตารางที่ 6 ปริมาณของนิกเกิลในน้ำ (mg/l)

	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
สถานี1	0.05	nd	nd	2.41	nd	nd
สถานี2	nd	nd	nd	2.24	nd	nd
สถานี3	nd	nd	nd	1.80	nd	nd
ค่าเฉลี่ย	0.05 <sup>b</sup> ±0.00	nd	nd	2.15 <sup>a</sup> ±0.31	nd	nd

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกันแถวค่าเฉลี่ย แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

nd = not detected

### 1.7 ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำ

จากตารางที่ 7 พบว่าปริมาณของสังกะสีในน้ำที่ตรวจวัดได้ สูงสุดที่สถานีที่ 1 ในเดือน ธันวาคม 12.887 มิลลิกรัมต่อลิตร และในเดือนนี้ยังมีค่าเฉลี่ยของทั้งสามสถานี สูงสุดอีกด้วย ส่วนที่ พบน้อยที่สุด คือ สถานีที่ 2 ในเดือนเมษายน 0.016 มิลลิกรัมต่อลิตร

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำทั้งหมดมาเปรียบเทียบกัน พบว่ามี ความ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ คือเดือนกุมภาพันธ์ เมษายน มิถุนายน และสิงหาคม แตกต่างจากเดือนตุลาคม และแตกต่างจากเดือนธันวาคม

เมื่อนำค่าปริมาณของสังกะสีในน้ำที่ตรวจวัดได้ ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานในน้ำ คือ ต้อง ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ในเดือนเมษายน สิงหาคม และกุมภาพันธ์ที่ไม่เกินมาตรฐาน เดือนมิถุนายนเกินเล็กน้อยในสถานีที่ 1 และ 2 ส่วนเดือนตุลาคมและธันวาคม เกินค่ามาตรฐานมาก โดยเฉพาะเดือนธันวาคม

ตารางที่ 7 ปริมาณของสังกะสีในน้ำ (mg/l)

	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
สถานี1	0.046	1.529	0.737	6.677	12.887	0.064
สถานี2	0.016	1.126	0.563	6.803	7.36	0.022
สถานี3	0.068	0.053	0.963	2.9	9.227	0.098
ค่าเฉลี่ย	0.043 <sup>c</sup> ±0.026	0.903 <sup>c</sup> ±0.763	0.754 <sup>c</sup> ±0.201	5.460 <sup>b</sup> ±2.218	9.824 <sup>a</sup> ±2.811	0.061 <sup>c</sup> ±0.038

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกันแถวค่าเฉลี่ย แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

nd = not detected

### 1.8 ความเข้มข้นของโคบอลต์ในน้ำ

จากตารางที่ 8 พบว่า ปริมาณของโคบอลต์ที่ตรวจวัดได้ สูงสุดที่ สถานีที่ 2 เดือนตุลาคม 1.527 มิลลิกรัมต่อลิตร และต่ำสุด คือ ไม่สามารถตรวจวัดได้ในเดือน เมษายน มิถุนายน กุมภาพันธ์ และในสถานีที่ 2 ในเดือนธันวาคม ส่วนค่ามาตรฐานของโคบอลต์ในน้ำ ไม่มีกำหนดไว้

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณความเข้มข้นไปวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่าเฉลี่ยของเดือนตุลาคม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซนต์ กับเดือนสิงหาคม และธันวาคม

ตารางที่ 8 ปริมาณของโคบอลต์ในน้ำ (mg/l)

	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
สถานี1	nd	nd	0.037	1.153	0.03	nd
สถานี2	nd	nd	0.023	1.527	nd	nd
สถานี3	nd	nd	0.023	0.89	0.16	nd
ค่าเฉลี่ย	nd	nd	0.021 <sup>b</sup> ±0.008	0.893 <sup>a</sup> ±0.320	0.095 <sup>b</sup> ±0.092	nd

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกัน ในแถวค่าเฉลี่ย แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

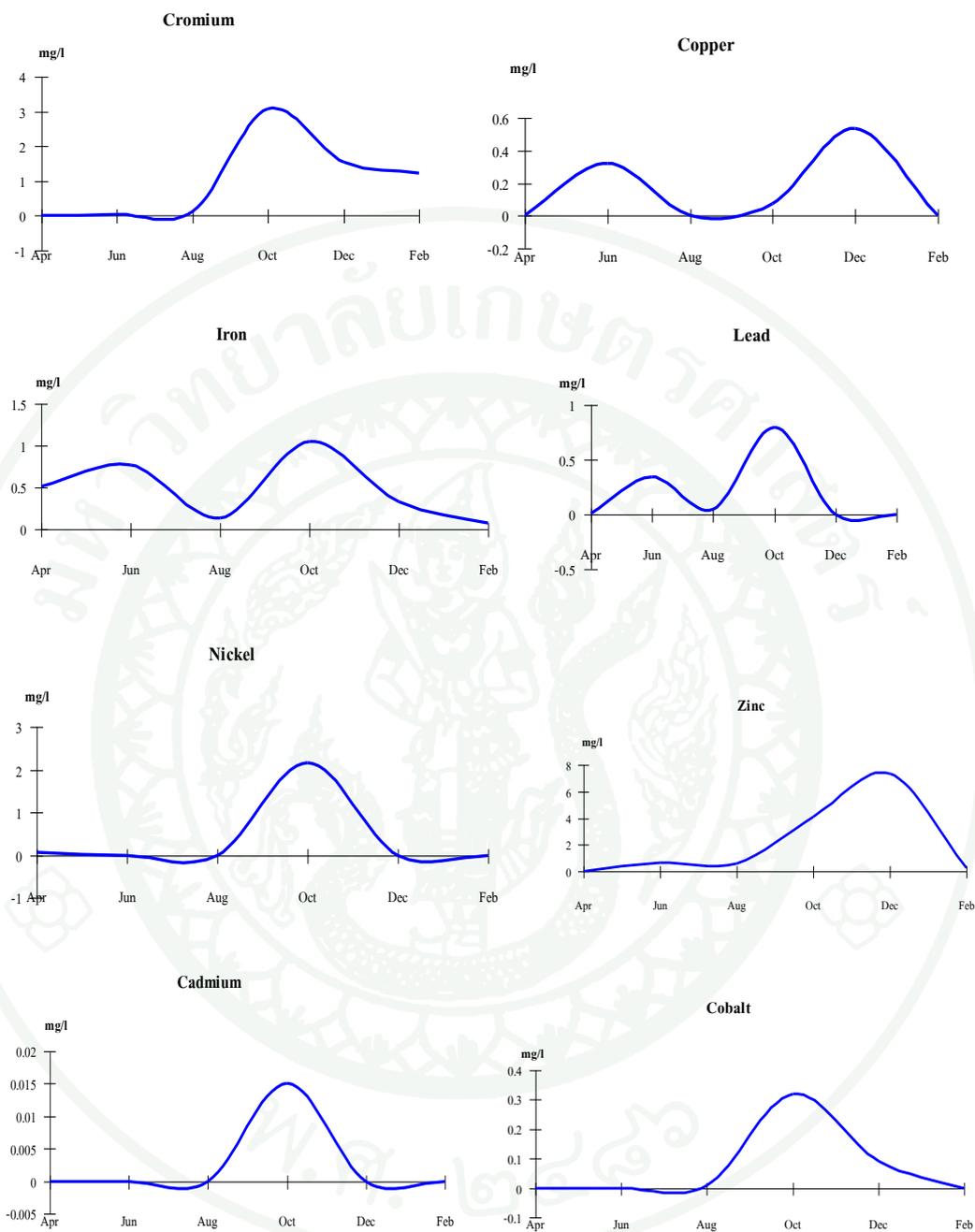
nd = not detected

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักจาก 3 สถานีในน้ำ (mg/l) ในแต่ละเดือนของแต่ละฤดูกาลของการเก็บตัวอย่าง

โลหะ	ฤดูร้อน		ฤดูฝน		ฤดูหนาว	
	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
Cr	0.01 <sup>c</sup> ±0.00	0.046 <sup>c</sup> ±0.038	0.127 <sup>c</sup> ±0.16	3.086 <sup>a</sup> ±0.27	1.543 <sup>b</sup> ±0.52	1.217 <sup>b</sup> ±0.91
Cu	nd	0.318 <sup>a</sup> ±0.463	nd	0.07 <sup>a</sup> ±0.00	0.532 <sup>a</sup> ±0.017	nd
Fe	0.507 <sup>a,b,c</sup> ±0.26	0.770 <sup>a,b</sup> ±0.66	0.134 <sup>c</sup> ±0.01	1.047 <sup>a</sup> ±0.15	0.335 <sup>b,c</sup> ±0.33	0.071 <sup>c</sup> ±0.001
Pb	0.01 <sup>b</sup> ±0.00	0.35 <sup>b</sup> ±0.06	0.048 <sup>b</sup> ±0.36	0.80 <sup>a</sup> ±0.29	nd	nd
Ni	0.05 <sup>b</sup> ±0.00	nd	nd	2.15 <sup>a</sup> ±0.31	nd	nd
Zn	0.043 <sup>c</sup> ±0.026	0.903 <sup>c</sup> ±0.763	0.754 <sup>c</sup> ±0.201	5.460 <sup>b</sup> ±2.218	9.824 <sup>a</sup> ±2.811	0.061 <sup>c</sup> ±0.038
Cd	nd	nd	nd	0.015±0.01	nd	nd
Co	nd	nd	0.021 <sup>b</sup> ±0.008	0.893 <sup>a</sup> ±0.320	0.095 <sup>b</sup> ±0.092	nd

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกันในแต่ละค่าเฉลี่ย แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

จากตารางที่ 9 และภาพที่ 2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะแต่ละชนิด ในแต่ละเดือนพบว่าในฤดูหนาว มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดทั้ง 8 ชนิด คือ โครเมียม เหล็ก ตะกั่ว นิกเกิล แคดเมียม และโคบอลต์ สูงที่สุดในเดือนตุลาคม ส่วน ทองแดง และสังกะสี พบสูงสุดในเดือนธันวาคม และมีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ ทั้ง โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว นิกเกิล และสังกะสี ยกเว้นแคดเมียม ที่ไม่เกินมาตรฐาน ส่วนเหล็กและโคบอลต์ ไม่มีค่ามาตรฐานกำหนดไว้



ภาพที่ 2 ปริมาณเฉลี่ย ของโครเมียม ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว นิกเกิล สังกะสี แคดเมียม และโคบอลท์  
ในน้ำ ในแต่ละเดือน (mg/l)

## 2. ปริมาณโลหะในดิน

การศึกษาความเข้มข้นของโลหะในตะกอนดินบริเวณป่าชายเลนเขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร คลองหลักจนถึงปากคลองพิทยาลงกรณ์ ตำบลพันท้ายนรสิงห์ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร จำนวน 18 ตัวอย่าง จากสถานีเก็บตัวอย่าง 3 สถานี จากตัวแทน ฤดูกาล 3 ฤดูกาล คือ ฤดูร้อน (เมษายน 2552 และกุมภาพันธ์ 2553) ฤดูฝน (มิถุนายน และสิงหาคม 2552) และฤดูหนาว (ตุลาคม และธันวาคม 2552) พบความเข้มข้นของโลหะ และโลหะหนักชนิดต่างๆ ดังนี้

### 2.1 ความเข้มข้นของตะกั่วในตะกอนดิน

ปริมาณของตะกั่วในตะกอนดินมากที่สุดที่สถานีที่ 2 ในเดือนกุมภาพันธ์ คือ 0.266 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำที่สุด คือไม่สามารถตรวจวัดได้ ในสถานีที่ 3 ของเดือนธันวาคม และทุกสถานีในเดือนมิถุนายน (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ปริมาณของตะกั่วในตะกอนดิน (mg/kg)

	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
สถานี1	0.041	nd	0.088	0.086	0.009	0.182
สถานี2	0.034	nd	0.047	0.086	0.019	0.226
สถานี3	0.036	nd	0.133	0.118	nd	0.196
ค่าเฉลี่ย	0.037 <sup>c</sup> ±0.003	nd	0.067 <sup>b</sup> ±0.043	0.072 <sup>b</sup> ±0.018	0.014 <sup>c</sup> ±0.007	0.151 <sup>a</sup> ±0.022

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกัน ในแถวค่าเฉลี่ย แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

nd = not detected

เมื่อนำค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของตะกั่วในตะกอนดินในแต่ละสถานี ของทุกเดือนเปรียบเทียบกัน พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ คือ เดือนเมษายนกับเดือนธันวาคม แตกต่างจากเดือนสิงหาคมกับเดือนตุลาคม และแตกต่างกับเดือนกุมภาพันธ์ เมื่อนำค่าปริมาณของตะกั่วไปเปรียบเทียบกับ ค่ามาตรฐานในดิน (ตารางผนวกที่ 2) จะต้องไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าไม่มีค่าใดที่เกินมาตรฐาน

## 2.2 ความเข้มข้นของแคดเมียมในตะกอนดิน

ปริมาณของแคดเมียมในตะกอนดินมากที่สุดที่สถานีที่ 1 และ 2 ในเดือนกุมภาพันธ์ คือ 0.008 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำที่สุด คือไม่สามารถตรวจวัดได้ ในทุกสถานีของเดือนเมษายน มิถุนายน สิงหาคม ตุลาคม และธันวาคม (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 ปริมาณของแคดเมียมในตะกอนดิน (mg/kg)

	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
สถานี 1	nd	nd	nd	nd	nd	0.008
สถานี 2	nd	nd	nd	nd	nd	0.008
สถานี 3	nd	nd	nd	nd	nd	0.007
ค่าเฉลี่ย	nd	nd	nd	nd	nd	0.008±0.00

หมายเหตุ nd = not detected

เมื่อนำค่าปริมาณของแคดเมียมไปเปรียบเทียบกับ ค่ามาตรฐานในดิน (ตารางผนวกที่ 2) จะต้องไม่เกิน 37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าไม่มีค่าใดที่เกินมาตรฐาน

## 2.3 ความเข้มข้นของโครเมียมในตะกอนดิน

ปริมาณของโครเมียมในตะกอนดินมากที่สุดที่สถานีที่ 3 ในเดือนธันวาคม คือ 1.463 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำที่สุด คือ 0.018 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในสถานีที่ 2 เดือนตุลาคม (ตารางที่ 12)

ตารางที่ 12 ปริมาณของโครเมียมในตะกอนดิน (mg/kg)

	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
สถานี1	0.089	0.053	0.168	0.088	0.708	0.058
สถานี2	0.075	0.063	0.380	0.018	1.038	0.073
สถานี3	0.059	0.057	0.038	0.023	1.463	0.044
ค่าเฉลี่ย	0.074 <sup>b</sup> ±0.015	0.057 <sup>b</sup> ±0.005	0.195 <sup>b</sup> ±0.173	0.043 <sup>b</sup> ±0.039	1.069 <sup>a</sup> ±0.379	0.058 <sup>b</sup> ±0.014

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกันแถวค่าเฉลี่ย แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณโครเมียมในแต่ละเดือนมาเปรียบเทียบกัน พบว่าเดือนธันวาคมมีค่าเฉลี่ย สูงที่สุด คือ 1.069 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำสุด คือ เดือนตุลาคม คือ 0.043 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อนำไปคำนวณทางสถิติ พบว่า มีเพียงค่าเฉลี่ยของเดือนธันวาคมเท่านั้น ที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับเดือนอื่นๆ

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของโครเมียมกับ ค่ามาตรฐานในดิน (ตารางผนวกที่ 2) คือ พบว่าไม่มีค่าใดที่เกินมาตรฐาน (ค่ามาตรฐานไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

#### 2.4 ความเข้มข้นของทองแดงในตะกอนดิน

ปริมาณของทองแดงในตะกอนดินมากที่สุดที่สถานีที่ 2 ในเดือนตุลาคม คือ 0.038 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำที่สุด คือ ไม่สามารถตรวจวัดได้ ในสถานีที่ 1 เดือนตุลาคม และทุกสถานีของเดือน ธันวาคม และกุมภาพันธ์ (ตารางที่ 13)

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณทองแดงในแต่ละเดือนมาเปรียบเทียบกัน เฉพาะเดือนที่ตรวจวัดค่าได้ทั้งสามสถานี พบว่าเดือนมิถุนายน มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 0.018 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและต่ำสุด ในเดือนสิงหาคม 0.004 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและเมื่อนำไปคำนวณทางสถิติ พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 13 ปริมาณของทองแดงในตะกอนดิน (mg/kg)

	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
สถานี1	0.024	0.020	0.006	nd	nd	nd
สถานี2	0.026	0.032	0.010	0.038	nd	nd
สถานี3	nd	0.018	0.001	0.009	nd	nd
ค่าเฉลี่ย	0.025 <sup>a,b</sup> ±0.001	0.018 <sup>a</sup> ±0.007	0.004 <sup>a,b</sup> ±0.005	0.023 <sup>a,b</sup> ±0.020	nd	nd

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกันแถวค่าเฉลี่ย แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

nd = not detected

## 2.5 ความเข้มข้นของเหล็กในตะกอนดิน

ปริมาณของเหล็กในตะกอนดินมากที่สุดที่สถานีที่ 2 ในเดือนสิงหาคมคือ 42.058 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและต่ำที่สุด คือ 6.638 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในสถานีที่ 3 เดือนธันวาคม (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 14 ปริมาณของเหล็กในตะกอนดิน (mg/kg)

	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
สถานี1	38.408	34.992	26.600	33.917	7.138	18.625
สถานี2	37.050	39.675	42.058	26.825	8.463	25.100
สถานี3	31.767	38.733	25.300	26.117	6.638	12.983
ค่าเฉลี่ย	35.742 <sup>a</sup> ±3.50	37.800 <sup>a</sup> ±2.47	31.319 <sup>a</sup> ±9.323	28.953 <sup>a</sup> ±4.313	7.413 <sup>c</sup> ±0.943	18.903 <sup>b</sup> ±6.063

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกันแถวค่าเฉลี่ย แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

nd = not detected

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็กในแต่ละเดือนมาเปรียบเทียบกัน พบว่าเดือนมิถุนายน มีค่าเฉลี่ย สูงสุด คือ 37.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและต่ำสุด เดือนธันวาคม คือ 7.413 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและเมื่อนำไปคำนวณทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น

95 เปอร์เซ็นต์ คือ เดือนกุมภาพันธ์มีความแตกต่างจากเดือนธันวาคม แตกต่างจากอีกสามเดือนที่เหลือ

## 2.6 ความเข้มข้นของนิกเกิลในตะกอนดิน

ปริมาณของนิกเกิลในตะกอนดินมากที่สุดที่สถานีที่ 2 ในเดือนธันวาคม คือ 1.210 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำที่สุด คือ 0.005 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในสถานีที่ 3 เดือนตุลาคม (ตารางที่ 15)

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณนิกเกิลในแต่ละเดือนมาเปรียบเทียบกัน พบว่าเดือนธันวาคม มีค่าเฉลี่ย สูงสุด 0.787 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและต่ำสุด เดือนตุลาคม 0.017 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและเมื่อนำไปคำนวณทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ คือ เดือนธันวาคมมีความแตกต่างจากเดือนอื่นๆที่เหลือ

ตารางที่ 15 ปริมาณของนิกเกิลในตะกอนดิน (mg/kg)

	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
สถานี1	0.064	0.067	0.043	0.024	0.438	0.044
สถานี2	0.046	0.054	0.071	0.023	1.210	0.080
สถานี3	0.054	0.036	0.057	0.005	0.713	0.063
ค่าเฉลี่ย	0.055 <sup>a</sup> ±0.009	0.052 <sup>b</sup> ±0.156	0.057 <sup>b</sup> ±0.014	0.017 <sup>b</sup> ±0.011	0.787 <sup>a</sup> ±0.391	0.062 <sup>b</sup> ±0.018

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกันแถวค่าเฉลี่ย แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

## 2.7 ความเข้มข้นของสังกะสีในตะกอนดิน

ปริมาณของสังกะสีในตะกอนดินมากที่สุดที่สถานีที่ 2 ในเดือนสิงหาคม คือ 1.924 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำที่สุด คือ ไม่สามารถตรวจวัดได้ ในสถานีที่ 3 เดือนสิงหาคม และสถานีที่ 1 และ 2 ในเดือนตุลาคม (ตารางที่ 16)

ตารางที่ 16 ปริมาณของสังกะสีในตะกอนดิน (mg/kg)

	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
สถานี1	0.175	0.115	1.752	nd	0.102	0.228
สถานี2	0.198	0.123	1.924	nd	0.521	0.599
สถานี3	0.118	0.106	nd	0.400	0.398	0.247
ค่าเฉลี่ย	0.166 <sup>b</sup> ±0.041	0.115 <sup>b</sup> ±0.009	1.838 <sup>a</sup> ±0.122	0.400 <sup>b</sup> ±0.000	0.034 <sup>b</sup> ±0.215	0.358 <sup>b</sup> ±0.209

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกัน ในแถวค่าเฉลี่ย แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

nd = not detected

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณสังกะสีในแต่ละเดือนมาเปรียบเทียบกัน เฉพาะเดือนที่ตรวจวัดได้ ทั้งสามสถานี พบว่าเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าเฉลี่ย สูงสุด 0.358 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและต่ำสุด เดือนธันวาคม 0.034 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและเมื่อนำไปคำนวณทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ คือ เดือนสิงหาคมมีความแตกต่างจากเดือนอื่นๆที่เหลือ

## 2.8 ความเข้มข้นของโคบอลต์ในตะกอนดิน

ปริมาณของโคบอลต์ในตะกอนดินมากที่สุดที่สถานีที่ 2 ในเดือนสิงหาคม คือ 0.663 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำสุด คือ ไม่สามารถตรวจวัดได้ ในสถานีที่ 2 เดือนตุลาคม และสถานีที่ 2 และ 3 ในเดือนกุมภาพันธ์ (ตารางที่ 17)

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณโคบอลต์ในแต่ละเดือนมาเปรียบเทียบกัน เฉพาะเดือนที่ตรวจวัดได้ทั้งสามสถานี พบว่าเดือนสิงหาคม มีค่าเฉลี่ย สูงสุด 0.401 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำสุด เดือนมิถุนายน คือ 0.009 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและเมื่อนำไปคำนวณทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ คือ เดือนสิงหาคมมีความแตกต่างจากเดือนเมษายน มิถุนายน และตุลาคม

ตารางที่ 17 ปริมาณของโคบอลต์ในตะกอนดิน (mg/kg)

	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
สถานี1	0.013	0.009	0.523	0.026	0.100	0.011
สถานี2	0.012	0.009	0.663	nd	0.186	nd
สถานี3	0.008	0.008	0.018	0.014	0.048	nd
ค่าเฉลี่ย	0.011 <sup>b</sup> ±0.003	0.009 <sup>b</sup> ±0.001	0.401 <sup>a</sup> ±0.339	0.008 <sup>b</sup> ±0.013	0.111 <sup>a,b</sup> ±0.070	0.286 <sup>a,b</sup> ±0.296

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกันแถวค่าเฉลี่ย แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

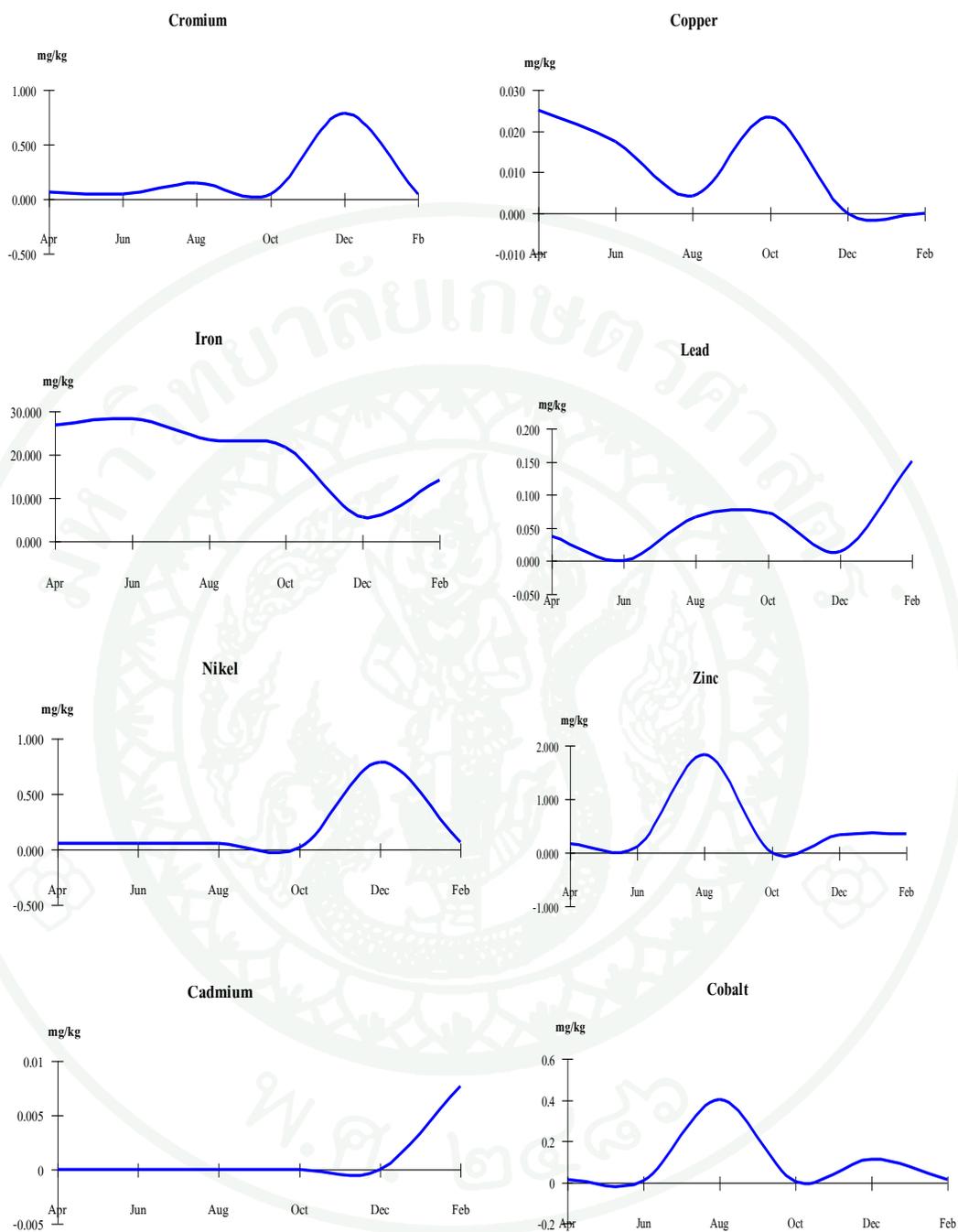
nd = not detected

ตารางที่ 18 ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักจาก 3 สถานีในตะกอนดิน (mg/kg) ในแต่ละเดือน ของแต่ละฤดูกาลของการเก็บตัวอย่าง

โลหะ	ฤดูร้อน		ฤดูฝน		ฤดูหนาว	
	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
Cr	0.074 <sup>b</sup> ±0.015	0.057 <sup>b</sup> ±0.005	0.195 <sup>b</sup> ±0.173	0.043 <sup>b</sup> ±0.039	1.069 <sup>a</sup> ±0.379	0.058 <sup>b</sup> ±0.014
Cu	0.107 <sup>b</sup> ±0.022	0.116 <sup>b</sup> ±0.060	0.056 <sup>b</sup> ±0.010	0.430 <sup>b</sup> ±0.253	nd	0.749 <sup>b</sup> ±1.214
Fe	35.742 <sup>a</sup> ±3.509	37.800 <sup>a</sup> ±2.47	31.319 <sup>a</sup> ±9.32	28.953 <sup>a</sup> ±4.313	7.413 <sup>c</sup> ±0.943	18.903 <sup>b</sup> ±6.063
Pb	0.037 <sup>c</sup> ±0.003	nd	0.067 <sup>b</sup> ±0.043	0.072 <sup>b</sup> ±0.018	0.014 <sup>c</sup> ±0.007	0.151 <sup>a</sup> ±0.022
Ni	0.055 <sup>b</sup> ±0.009	0.052 <sup>b</sup> ±0.156	0.057 <sup>b</sup> ±0.014	0.017 <sup>b</sup> ±0.011	0.787 <sup>a</sup> ±0.391	0.062 <sup>b</sup> ±0.018
Zn	0.166 <sup>b</sup> ±0.041	0.115 <sup>b</sup> ±0.009	1.838 <sup>a</sup> ±0.122	0.400 <sup>b</sup> ±0.000	0.034 <sup>b</sup> ±0.215	0.358 <sup>b</sup> ±0.209
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	0.008±0.00
Co	0.011 <sup>b</sup> ±0.003	0.009 <sup>b</sup> ±0.001	0.401 <sup>a</sup> ±0.339	0.008 <sup>b</sup> ±0.013	0.111 <sup>a,b</sup> ±0.070	0.286 <sup>a,b</sup> ±0.296

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกันแถวค่าเฉลี่ย แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณของโลหะในดินทั้งสามสถานี ตามตารางที่ 18 และภาพที่ 3 มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน พบว่าไม่มีชนิดใดที่เกินมาตรฐาน คือ โครเมียม ตะกั่ว นิกเกิล และแคดเมียม ส่วน ทองแดง เหล็ก สังกะสี และโคบอลต์ ไม่มีค่ามาตรฐานกำหนดไว้



ภาพที่ 3 ปริมาณเฉลี่ย ของโครเมียม ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว นิกเกิล สังกะสี แคดเมียม และ โคบอลท์ ในดิน ในแต่ละเดือน (mg/l)

### 3. ปริมาณโลหะในเนื้อเยื่อหอย

การศึกษาความเข้มข้นของโลหะในเนื้อเยื่อหอย ที่เก็บตัวอย่างจากบริเวณป่าชายเลนเขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร คลองหลักจนถึงปากคลองพิทยาลงกรณ์ ตำบลพันท้ายนรสิงห์ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร จำนวน 18 ตัวอย่าง จากสถานีเก็บตัวอย่าง 3 สถานี จากตัวแทน ฤดูกาล 3 ฤดูกาล คือ ฤดูร้อน (เมษายน 2552 และกุมภาพันธ์ 2553) ฤดูฝน (มิถุนายน และสิงหาคม 2552) และฤดูหนาว (ตุลาคม และธันวาคม 2552) พบความเข้มข้นโลหะ และโลหะหนักชนิดต่างๆ ดังนี้

#### 3.1 ความเข้มข้นของตะกั่วในเนื้อเยื่อหอย

ปริมาณของตะกั่วในเนื้อเยื่อหอยมากที่สุดที่สถานีที่ 1 ในเดือนกุมภาพันธ์ คือ 0.181 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำสุดคือไม่สามารถตรวจวัดได้ ในสถานีที่ 2 ของเดือนธันวาคม และทุกสถานีในเดือนที่เหลือ (ตารางที่ 19)

ตารางที่ 19 ปริมาณของตะกั่วในเนื้อเยื่อหอย (mg/kg)

	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
สถานี1	nd	nd	nd	nd	0.096	0.181
สถานี2	nd	nd	nd	nd	nd	0.087
สถานี3	nd	nd	nd	nd	0.121	0.143
ค่าเฉลี่ย	nd	nd	nd	nd	0.108 <sup>b</sup> ±0.018	0.137 <sup>b</sup> ±0.047

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกันแถวค่าเฉลี่ย แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

nd = not detected

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อหอย ในแต่ละเดือนมาเปรียบเทียบกัน เฉพาะเดือนที่ตรวจวัดได้ทั้งสามสถานี พบว่าเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าเฉลี่ย สูงสุด 0.137 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อนำไปคำนวณทางสถิติ พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เมื่อนำค่าความเข้มข้นของตะกั่วในเนื้อเยื่อหอย ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน (เอกสารผนวกที่ 1) พบว่าค่าที่ได้ไม่เกินค่ามาตรฐาน (มีตะกั่วได้ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

### 3.2 ความเข้มข้นของแคดเมียมในเนื้อเยื่อหอย

ปริมาณของแคดเมียมในเนื้อเยื่อหอยมากที่สุดที่สถานีที่ 2 ในเดือนกุมภาพันธ์ คือ 0.020 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำสุด คือไม่สามารถตรวจวัดได้ ในสถานีที่ 2 ของเดือนตุลาคม สถานีที่ 1 และ 2 ของเดือนสิงหาคม และทุกสถานีในเดือนที่เหลือ (ตารางที่ 20)

ตารางที่ 20 ปริมาณของแคดเมียมในเนื้อเยื่อหอย (mg/kg)

	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
สถานี1	nd	nd	nd	0.0075	nd	0.018
สถานี2	nd	nd	0.003	nd	nd	0.020
สถานี3	nd	nd	nd	0.01	nd	0.008
ค่าเฉลี่ย	nd	nd	0.003 <sup>b</sup> ±0.000	0.009 <sup>b</sup> ±0.002	nd	0.015 <sup>a</sup> ±0.006

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกันแถวค่าเฉลี่ย แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

nd = not detected

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณแคดเมียมในเนื้อเยื่อหอย ในแต่ละเดือนมาเปรียบเทียบกัน เฉพาะเดือนที่ตรวจวัดได้ทั้งสามสถานี พบว่าเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าเฉลี่ย สูงสุด 0.015 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อนำไปคำนวณทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ จากเดือนสิงหาคม และตุลาคม

เมื่อนำค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในเนื้อเยื่อหอย ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน (ตารางผนวกที่ 12) พบว่าค่าที่ได้ไม่เกินค่ามาตรฐาน (มีแคดเมียมได้ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

### 3.3 ความเข้มข้นของโครเมียมในเนื้อเยื่อหอย

ปริมาณของโครเมียมในเนื้อเยื่อหอยมากที่สุดที่สถานีที่ 1 ในเดือนธันวาคม คือ 1.798 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำสุด 0.009 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในสถานีที่ 2 ของเดือนมิถุนายน (ตารางที่ 21)

ตารางที่ 21 ปริมาณของโครเมียมในเนื้อเยื่อหอย (mg/kg)

	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
สถานี1	0.010	0.034	0.118	0.058	1.798	0.024
สถานี2	0.023	0.009	0.083	0.098	0.821	0.018
สถานี3	0.014	0.013	0.098	0.039	0.593	0.025
ค่าเฉลี่ย	0.016 <sup>±</sup> 0.007	0.019 <sup>b</sup> ±0.0.013	0.100 <sup>b</sup> ±0.0.018	0.065 <sup>b</sup> ±0.0.030	1.070 <sup>a</sup> ±0.640	0.022 <sup>b</sup> ±0.004

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกัน ในแถวค่าเฉลี่ย แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

nd = not detected

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณโครเมียมในเนื้อเยื่อหอยในแต่ละเดือนมาเปรียบเทียบกัน พบว่าเดือนธันวาคม มีค่าเฉลี่ย สูงสุด คือ 1.070 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อนำไปคำนวณทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับเดือนอื่นๆ ส่วนค่ามาตรฐานของโครเมียมในอาหารนั้น ไม่มีกำหนดไว้

### 3.4 ความเข้มข้นของทองแดงในเนื้อเยื่อหอย

ปริมาณของทองแดงในเนื้อเยื่อหอยมากที่สุดที่สถานีที่ 3 ในเดือนกุมภาพันธ์ คือ 2.151 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำสุด คือ ไม่สามารถตรวจวัด ในทุกสถานีของเดือนธันวาคม (ตารางที่ 22)

ตารางที่ 22 ปริมาณของทองแดงในเนื้อเยื่อหอย (mg/kg)

	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
สถานี1	0.107	0.069	0.067	0.363	nd	0.034
สถานี2	0.128	0.095	0.052	0.217	nd	0.062
สถานี3	0.085	0.184	0.048	0.709	nd	2.151
ค่าเฉลี่ย	0.107 <sup>b</sup> ±0.022	0.116 <sup>b</sup> ±0.060	0.056 <sup>b</sup> ±0.010	0.430 <sup>b</sup> ±0.253	nd	0.749 <sup>b</sup> ±1.214

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกัน แถวค่าเฉลี่ย แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

nd = not detected

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณทองแดงในเนื้อเยื่อหอย ในแต่ละเดือนมาเปรียบเทียบกัน พบว่า เดือนกุมภาพันธ์ มีค่าเฉลี่ย สูงสุด 0.749 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อนำไปคำนวณทางสถิติ พบว่า ค่าเฉลี่ยของแต่ละเดือน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เลย และเมื่อนำค่าไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน (เอกสารผนวกที่ 1) คือ 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า ไม่มีค่าใดที่เกินมาตรฐานเลย

### 3.5 ความเข้มข้นของเหล็กในเนื้อเยื่อหอย

ปริมาณของเหล็กในเนื้อเยื่อหอยมากที่สุดที่สถานีที่ 1 ในเดือนธันวาคม 9.604 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำสุด 0.233 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในสถานีที่ 3 ของเดือนกุมภาพันธ์ (ตารางที่ 23)

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็กในแต่ละเดือน มาเปรียบเทียบกับ พบว่า ในเดือนธันวาคมมีค่าเฉลี่ยสูงสุด 6.655 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จากค่าเฉลี่ยของเดือนอื่นๆ ส่วนเดือนที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด คือ เดือน กุมภาพันธ์ 0.245 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนค่ามาตรฐานของเหล็กในอาหาร ไม่มีกำหนดไว้

ตารางที่ 23 ปริมาณของเหล็กในเนื้อเยื่อหอย (mg/kg)

	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
สถานี1	0.383	0.293	0.394	2.228	9.604	0.253
สถานี2	0.248	0.302	0.512	0.337	6.546	0.249
สถานี3	0.253	0.496	0.435	0.337	3.815	0.233
ค่าเฉลี่ย	0.294 <sup>b</sup> ±0.077	0.364 <sup>b</sup> ±0.114	0.447 <sup>b</sup> ±0.060	0.967 <sup>b</sup> ±1.091	6.655 <sup>a</sup> ±2.896	0.245 <sup>b</sup> ±0.011

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกัน ในแถวค่าเฉลี่ย แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

nd = not detected

### 3.6 ความเข้มข้นของนิกเกิลในเนื้อเยื่อหอย

ปริมาณของนิกเกิลในเนื้อเยื่อหอยมากที่สุดที่สถานีที่ 1 และ 3 ในเดือนธันวาคม 0.369 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำสุด คือ ตรวจวัดค่าไม่ได้ ในสถานีที่ 2 ของเดือนสิงหาคม และทุกสถานีในเดือนตุลาคม (ตารางที่ 24)

ตารางที่ 24 ปริมาณของนิกเกิลในเนื้อเยื่อหอย (mg/kg)

	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
สถานี1	0.017	0.001	0.005	nd	0.369	0.007
สถานี2	0.001	0.001	0.010	nd	0.188	0.001
สถานี3	0.001	0.001	nd	nd	0.369	0.006
ค่าเฉลี่ย	0.006 <sup>b</sup> ±0.009	0.001 <sup>b</sup> ±0.000	0.005 <sup>b</sup> ±0.003	nd	0.309 <sup>a</sup> ±0.105	0.005 <sup>b</sup> ±0.003

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกัน ในแถวค่าเฉลี่ย แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

nd = not detected

เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณของนิกเกิล ในแต่ละเดือนมาเปรียบเทียบกัน พบว่าเดือนธันวาคม มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ 0.309 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับเดือนอื่นๆ ส่วนค่ามาตรฐานของนิกเกิลในอาหารไม่มีกำหนดไว้

### 3.7 ความเข้มข้นของสังกะสีในเนื้อเยื่อหอย

ปริมาณของสังกะสีในเนื้อเยื่อหอยมากที่สุดที่สถานีที่ 1 ในเดือนกุมภาพันธ์ 0.557 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำสุด คือ ตรวจวัดค่าไม่ได้ ในสถานีที่ 2 ของเดือนสิงหาคม และทุกสถานีในเดือนตุลาคม (ตารางที่ 25)

ตารางที่ 25 ปริมาณของสังกะสีในเนื้อเยื่อหอย (mg/kg)

	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
สถานี1	0.107	0.099	nd	nd	0.168	0.557
สถานี2	0.122	0.089	nd	nd	0.548	0.163
สถานี3	0.154	0.116	0.191	0.099	0.370	0.425
ค่าเฉลี่ย	0.128 <sup>b</sup> ±0.024	0.101 <sup>b</sup> ±0.014	0.064 <sup>b</sup> ±0.110	0.033 <sup>b</sup> ±0.057	0.362 <sup>a</sup> ±0.190	0.381 <sup>a</sup> ±0.201

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

nd = not detected

เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณของสังกะสี ในแต่ละเดือนมาเปรียบเทียบกัน พบว่าเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 0.381 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา เดือนธันวาคม 0.362 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อทำการคำนวณทางสถิติ พบว่าทั้งสองเดือนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับเดือนอื่นๆ ส่วนค่ามาตรฐานของสังกะสีในอาหารไม่มีกำหนดไว้

### 3.8 ความเข้มข้นของโคบอลต์ในเนื้อเยื่อหอย

ปริมาณของโคบอลต์ในเนื้อเยื่อหอยมากที่สุดที่สถานีที่ 3 ในเดือนธันวาคม 0.065 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำสุด คือ ตรวจวัดค่าไม่ได้ ในสถานีที่ 2 ของเดือนสิงหาคม และทุกสถานีในเดือนตุลาคม และกุมภาพันธ์ (ตารางที่ 26)

ตารางที่ 26 ปริมาณของโคบอลต์ในเนื้อเยื่อหอย (mg/kg)

	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
สถานี1	0.003	0.001	0.001	nd	0.048	nd
สถานี2	0.003	0.005	nd	nd	0.049	nd
สถานี3	0.005	0.019	0.003	nd	0.065	nd
ค่าเฉลี่ย	0.004 <sup>b</sup> ±0.001	0.008 <sup>b</sup> ±0.009	0.001 <sup>b</sup> ±0.002	nd	0.054 <sup>a</sup> ±0.009	nd

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกันแถวค่าเฉลี่ย แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

nd = not detected

เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณของโคบอลต์ ในแต่ละเดือนมาเปรียบเทียบกัน พบว่าเดือนธันวาคม มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 0.054 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อทำการคำนวณทางสถิติ พบว่าเดือนธันวาคมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับเดือนอื่นๆ ส่วนค่ามาตรฐานโคบอลต์ในอาหารไม่มีกำหนดไว้

ผลการหาปริมาณโลหะทั้ง 8 ชนิด จำนวน 6 ครั้ง แล้วเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน (สำหรับอาหารทะเล) ของกระทรวงสาธารณสุข (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2529) ผลที่วัดได้แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณจากทั้งสามสถานี (ตารางที่ 27)

ตารางที่ 27 ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อหอย (mg/kg) ในแต่ละเดือนของการเก็บตัวอย่าง

โลหะ	ฤดูร้อน		ฤดูฝน		ฤดูหนาว	
	เม.ย. 52	มิ.ย. 52	ส.ค. 52	ต.ค. 52	ธ.ค. 52	ก.พ. 53
Cr	0.016 <sup>b</sup> ±0.007	0.019 <sup>b</sup> ±0.0013	0.100 <sup>b</sup> ±0.0.018	0.065 <sup>b</sup> ±0.0.030	1.070 <sup>a</sup> ±0.640	0.022 <sup>b</sup> ±0.004
Cu	0.107 <sup>b</sup> ±0.022	0.116 <sup>b</sup> ±0.060	0.056 <sup>b</sup> ±0.010	0.430 <sup>b</sup> ±0.253	nd	0.749 <sup>b</sup> ±1.214
Fe	0.294 <sup>b</sup> ±0.077	0.364 <sup>b</sup> ±0.114	0.447 <sup>b</sup> ±0.060	0.967 <sup>b</sup> ±1.091	6.655 <sup>a</sup> ±2.896	0.245 <sup>b</sup> ±0.011
Pb	nd	nd	nd	nd	0.108 <sup>b</sup> ±0.018	0.137 <sup>b</sup> ±0.047
Ni	0.006 <sup>b</sup> ±0.009	0.001 <sup>b</sup> ±0.000	0.005 <sup>b</sup> ±0.003	nd	0.309 <sup>a</sup> ±0.105	0.005 <sup>b</sup> ±0.003
Zn	0.128 <sup>b</sup> ±0.024	0.101 <sup>b</sup> ±0.014	0.064 <sup>b</sup> ±0.110	0.033 <sup>b</sup> ±0.057	0.362 <sup>a</sup> ±0.190	0.381 <sup>a</sup> ±0.201
Cd	nd	nd	0.003 <sup>b</sup> ±0.000	0.009 <sup>b</sup> ±0.002	nd	0.015 <sup>a</sup> ±0.006
Co	0.004 <sup>b</sup> ±0.001	0.008 <sup>b</sup> ±0.009	0.001 <sup>b</sup> ±0.002	nd	0.054 <sup>a</sup> ±0.009	nd

หมายเหตุ ตัวอักษรยกสูงที่ต่างกันในแต่ละเดือน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

โครเมียมมีปริมาณสูงสุดในช่วงเดือนธันวาคม มีค่าเท่ากับ 1.070 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเป็นค่าที่แตกต่างจากค่าของเดือนอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) และต่ำสุด ในเดือนเมษายน 0.016 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกนั้นค่าที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ซึ่งปริมาณของโครเมียมที่ยอมรับได้ในอาหารยังไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานเอาไว้ แต่จากการศึกษาต้องพบในปริมาณที่สูงมากจึงจะก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ได้ (กรองพรรณ, 2544) จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะ โครเมียม ในแต่ละเดือน (ภาพที่ 4) พบว่าโครเมียมมีค่าเพิ่มสูงที่สุดในเดือนธันวาคม ซึ่งอยู่ในฤดูหนาว

ทองแดงพบมากที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์ ปริมาณ 0.749 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานอาหารของกระทรวงสาธารณสุขแล้ว ก็พบว่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานมาก คือ 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กระทรวงสาธารณสุข, 2529) ค่าต่ำสุด พบในเดือนสิงหาคม ปริมาณ 0.056 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละเดือน แล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) (ตารางที่ 27) จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ โลหะทองแดงในแต่ละเดือน (ภาพที่ 4) พบว่าทองแดงมีค่าเพิ่มสูงที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์ฤดูหนาว ซึ่งอยู่ในฤดูหนาว

เหล็กพบปริมาณมากที่สุดในเดือนธันวาคม ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.655 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นค่าที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) และต่ำสุด เท่ากับ 0.245 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในเดือนกุมภาพันธ์ โดยความแตกต่างในแต่ละเดือนนอกจากในเดือนธันวาคม ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ )

ตะกั่วพบปริมาณเฉลี่ยสูงที่สุดในเดือนธันวาคม และกุมภาพันธ์ ของช่วงฤดูหนาว เท่ากับ 0.108 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 0.137 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เรียงตามลำดับ และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ส่วนเดือนอื่นๆนั้นค่าต่ำมากจนไม่สามารถวัดได้ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอาหาร พบว่าต่ำกว่า มาตรฐานโดยไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กระทรวงสาธารณสุข, 2529)

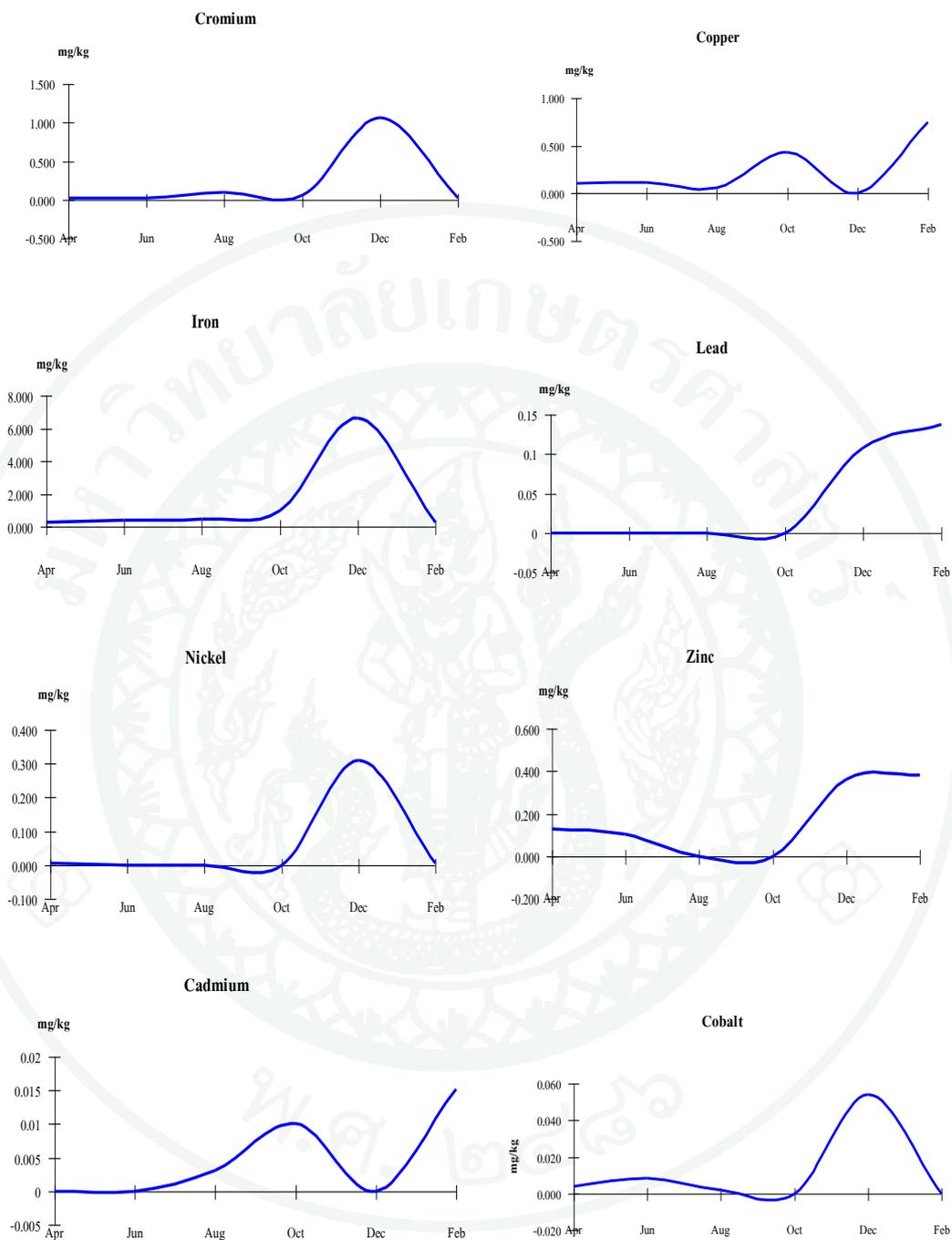
นิกเกิล มีปริมาณเฉลี่ยมากที่สุดในช่วงเดือนธันวาคม คือ 0.309 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นค่าเฉลี่ยที่แตกต่างจากเดือนอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) และต่ำสุดในเดือนมิถุนายน คือ 0.001 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งปริมาณของนิกเกิลที่ยอมรับได้ในอาหารยังไม่มีกำหนดค่ามาตรฐานเอาไว้ แต่จากการศึกษาต้องพบในปริมาณที่สูงมากจึงจะก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ได้ (กรองพรรณ, 2544)

สังกะสี พบมากที่สุดในช่วงเดือน ธันวาคม และกุมภาพันธ์ เท่ากับ 0.362 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 0.382 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ทั้งสองค่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับเดือนอื่นๆ และต่ำสุดในเดือน ตุลาคม 0.099 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานพบว่าต่ำกว่า คือ ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กระทรวงสาธารณสุข, 2529) แสดงให้เห็นถึง ช่วงที่ปริมาณของนิกเกิลและสังกะสีสูงมากที่สุด คือ ในเดือนของช่วงฤดูหนาว

แคดเมียม พบในเนื้อเยื่อหอยสังข์มีน้อยมาก เพียง 0.015 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในเดือนกุมภาพันธ์ ค่าต่ำสุด ที่วัดได้ คือ 0.003 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในเดือนสิงหาคม และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ส่วนในเดือนเมษายน และมิถุนายนของฤดูร้อนนั้นต่ำจนไม่สามารถวัดค่าได้ เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานอาหารพบว่าต่ำกว่า คือ ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (European Union, 2008)

โคบอลต์ พบมากที่สุด ในเดือนธันวาคม 0.054 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) และต่ำสุด ในเดือนสิงหาคม 0.002 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าทั้งแคดเมียมและโคบอลต์ต่างสูงที่สุดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ และธันวาคมของฤดูหนาว ตามลำดับ





ภาพที่ 4 ปริมาณเฉลี่ยของ โครเมียม ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว นิกเกิล สังกะสี แคดเมียม โคบอลต์ และ อะลูมิเนียมในเนื้อเยื่อหอยในแต่ละเดือน (mg/kg)

#### 4. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณโลหะในน้ำ ดินตะกอนและเนื้อเยื่อหอยโดยการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณค่าเฉลี่ยของโลหะในน้ำ ดินตะกอน และเนื้อเยื่อหอย โดยการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) จากตารางผนวกที่ 4-11 พบว่า โลหะ และโลหะหนัก ทั้ง 8 ชนิด ในน้ำ ไม่มีชนิดใดมีความสัมพันธ์กับโลหะในดินตะกอน และเนื้อเยื่อหอย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ หรือ 99 เปอร์เซ็นต์

แต่เมื่อหาความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณโลหะในดินตะกอน และเนื้อเยื่อหอย พบว่า ปริมาณของเหล็กในดินตะกอน และในเนื้อเยื่อหอย มีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) = - 0.666

ความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณโลหะในดินตะกอน และเนื้อเยื่อหอย พบว่า ปริมาณของแคดเมียมในดินตะกอน และในเนื้อเยื่อหอย มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) = 0.851

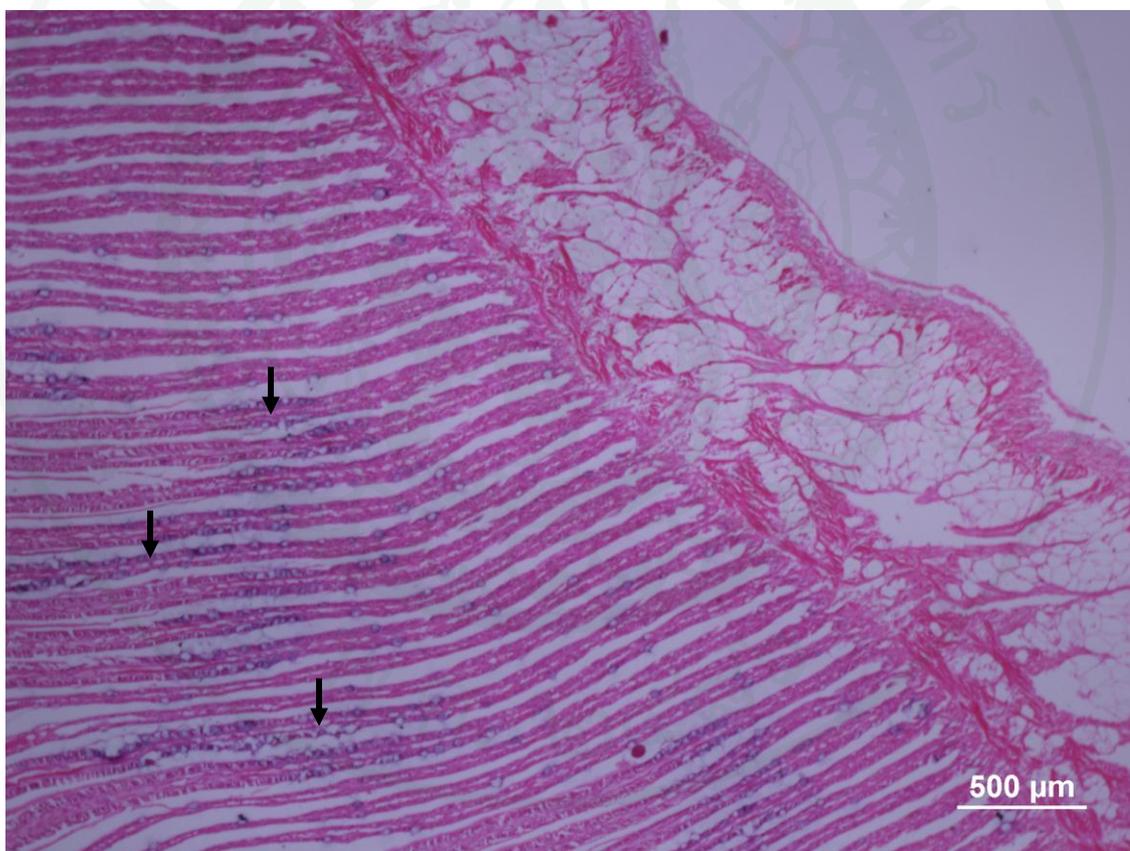
ความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณโลหะในดินตะกอน และเนื้อเยื่อหอย พบว่า ปริมาณของโครเมียมในดินตะกอน และในเนื้อเยื่อหอย มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) = 0.671

ความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณโลหะในดินตะกอน และเนื้อเยื่อหอย พบว่า ปริมาณของตะกั่วในดินตะกอน และในเนื้อเยื่อหอย มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) = 0.482

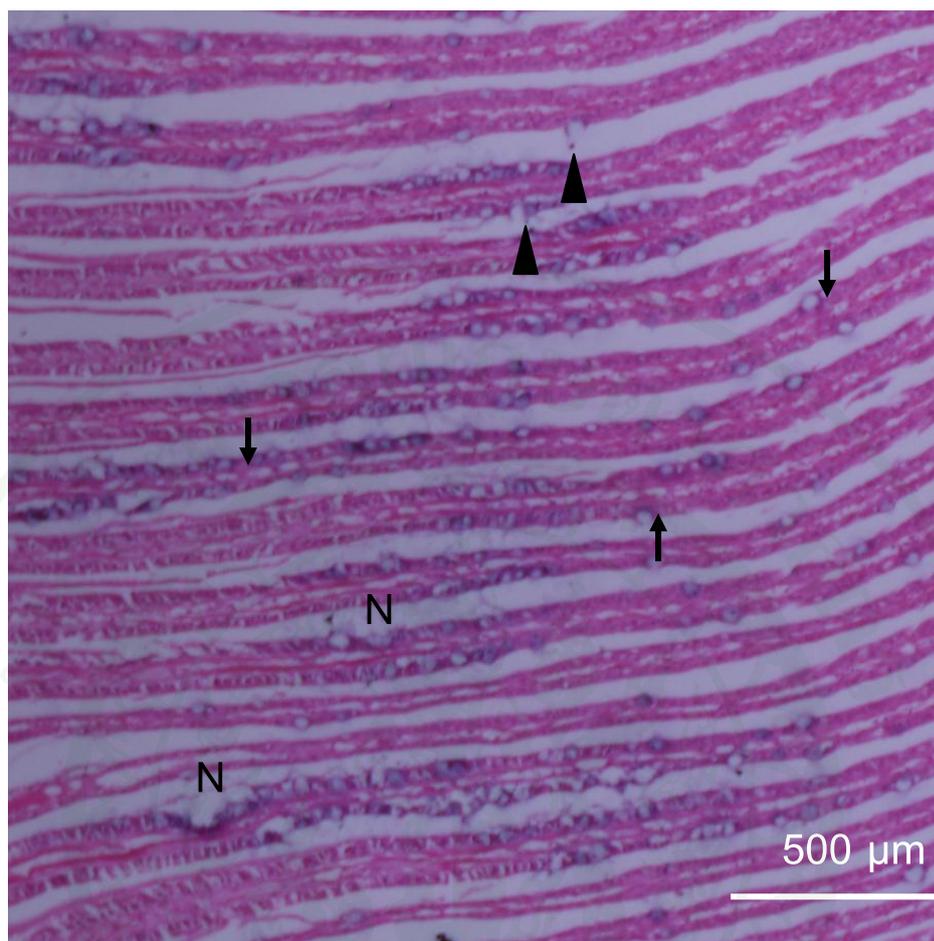
ความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณโลหะในดินตะกอน และเนื้อเยื่อหอย พบว่า ปริมาณของนิกเกิลในดินตะกอน และในเนื้อเยื่อหอย มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) = 0.746 ส่วนความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณโคบอลต์ ทองแดง และสังกะสี ในดินตะกอน และเนื้อเยื่อหอย พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ หรือ 99 เปอร์เซ็นต์

## 5. ลักษณะทางจุลกายวิภาคของทางเดินอาหารและไตของหอยสังข์โมพี

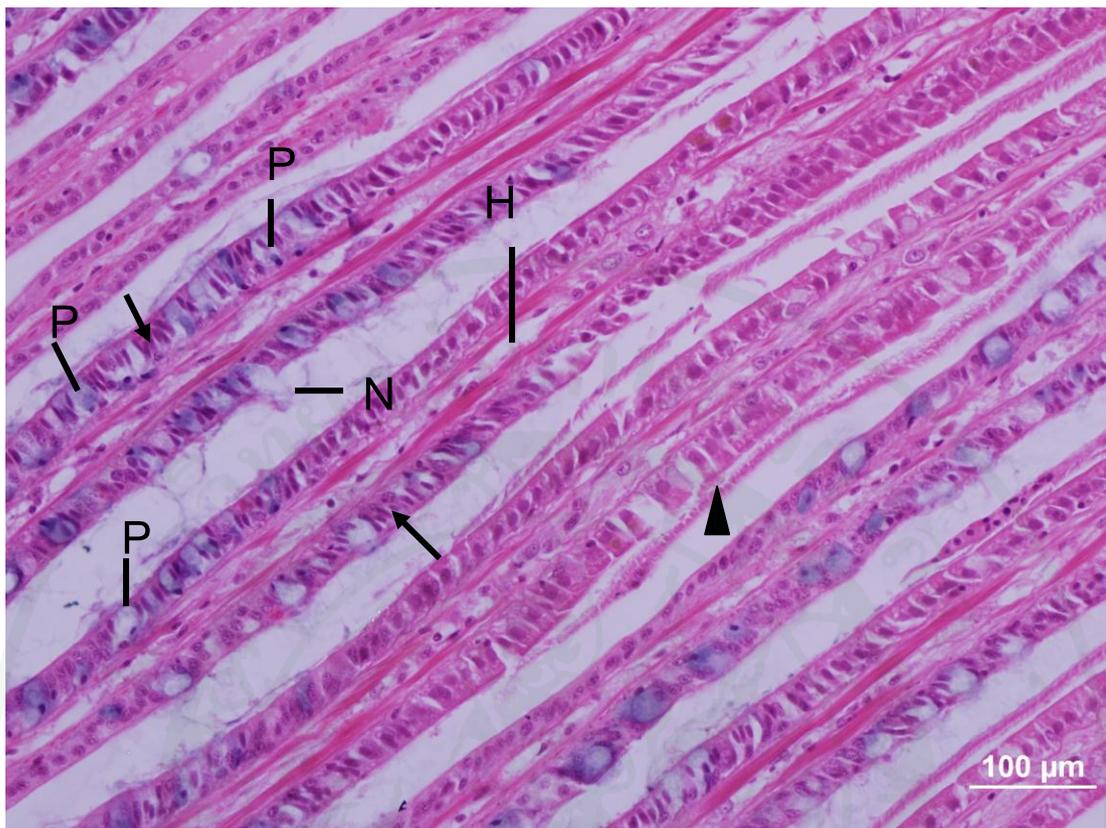
เมื่อศึกษาปริมาณโลหะ และโลหะหนักในเนื้อเยื่อของหอย แล้ว พบว่าไม่มีชนิดใด หรือค่าใดที่เกินมาตรฐาน แต่อย่างไรก็ตาม เนื้อเยื่อทางเดินอาหารบางส่วน ก็มีการเปลี่ยนแปลง จากการตรวจสอบเนื้อเยื่อเหงือกในครั้งนี้ พบความผิดปกติเช่นเดียวกับ Sawasdee *et al.* (2011) แต่มีลักษณะแตกต่าง คือ เซลล์เยื่อบุผิวของซี่เหงือกเพิ่มจำนวน (hyperplasia) เป็นบางบริเวณ พบ goblet cell ที่มีแวคิวโอลขนาดใหญ่ ย้อมติดสีน้ำเงินของฮีมาทอกซาลิน และ goblet cell ที่ตายแบบ necrosis โดยพบทั้งเซลล์ที่มีนิวเคลียสหดตัวแน่น (pyknosis) และบางเซลล์ก็ขาดในบางบริเวณของซี่เหงือกบางซี่ (ภาพที่ 5, 6, 7)



ภาพที่ 5 เหงือกของหอยสังข์โมพี ตัดตามแนวนอน แสดงบริเวณที่ผิดปกติ (ลูกศร) (H&E)

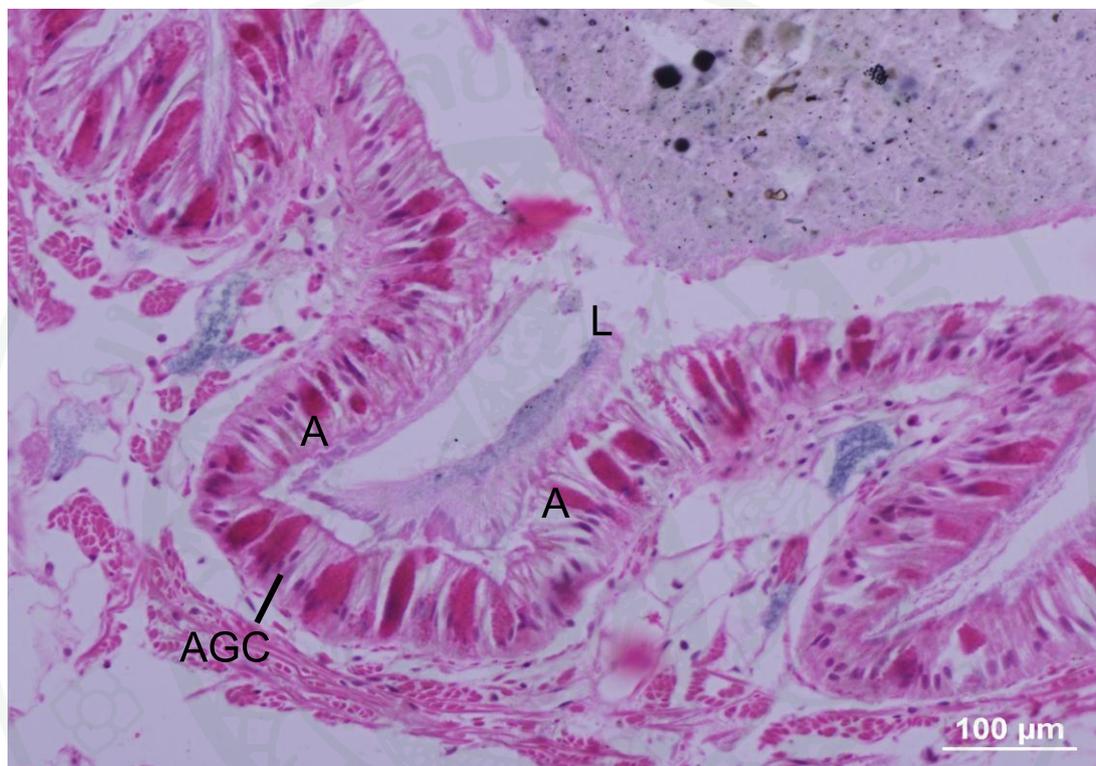


ภาพที่ 6 เหงือกของหอยสังข์โมพี ตัดตามแนวนอน เซลล์เยื่อบุผิวตาย (N) goblet cell มีเวคิวโอลขนาดใหญ่ (ลูกศร) บางเซลล์ตาย (หัวลูกศร) (H&E)

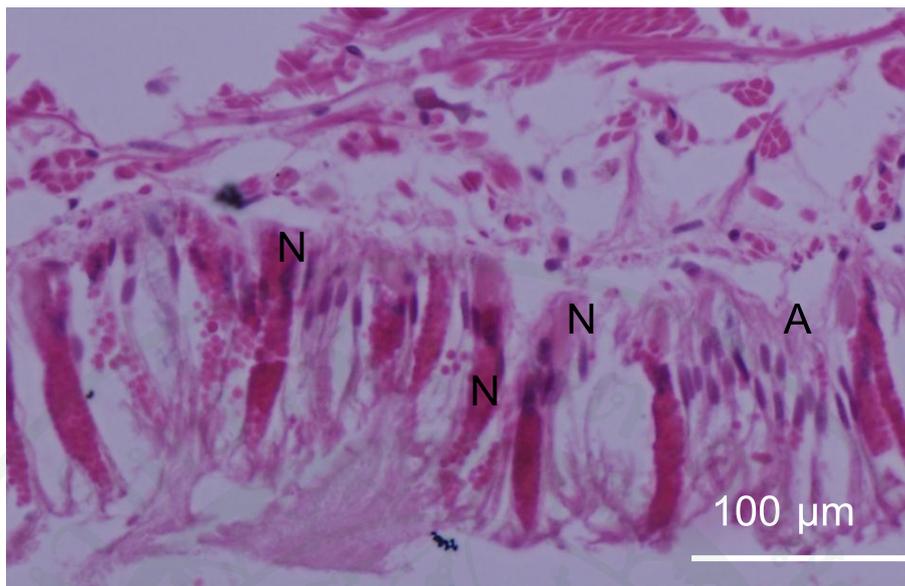


ภาพที่ 7 เหงือกของหอยสังข์โมพี ตัดตามแนวนอน goblet cell ส่วนใหญ่มีนิวเคลียสหดตัวแน่น (P) หลาย เซลล์ตาย (N) เห็นเยื่อหุ้มเซลล์ฉีกขาด เซลล์เยื่อบุผิว เพิ่มจำนวน (hyperplasia) (ลูกศร) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์เยื่อบุผิวที่ปกติ (หัวลูกศร) H = แอ่งเลือด (H&E)

เนื้อเยื่อกระเพาะอาหารของหอยสังข์โมพี มีลักษณะที่ผิดปกติบางบริเวณ เซลล์เยื่อบุผิวฝ่อเล็ก (atrophy) เป็นหย่อม (ภาพที่ 8) acidophilic gland cell ในบางบริเวณฝ่อเล็กเช่นกัน (ภาพที่ 9) รวมทั้งบางเซลล์ตายแบบ necrosis เยื่อหุ้มเซลล์ฉีกขาด องค์ประกอบภายในเซลล์กระจายออกมาภายนอก เห็นเป็นแกรนูลขนาดเล็ก ติดสีแดง

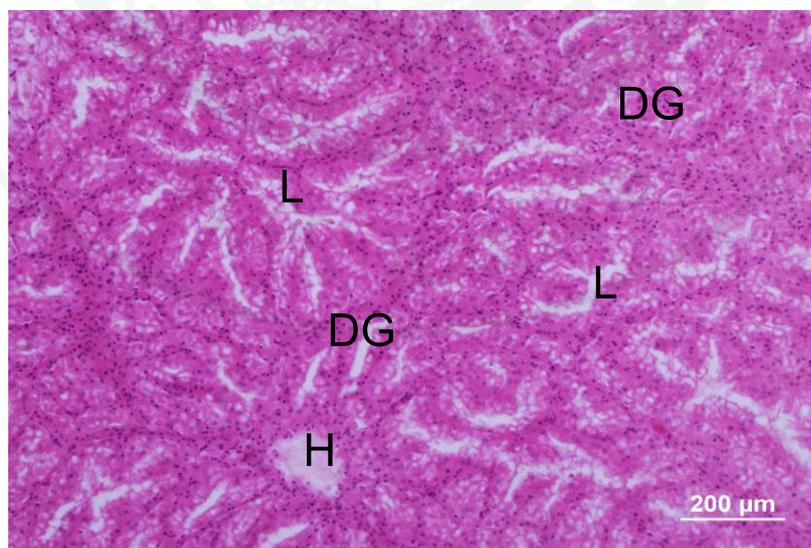


ภาพที่ 8 กระเพาะอาหารของหอยสังข์โมพี ตัดตามขวาง lumen (L) เซลล์เยื่อบุผิวฝ่อเล็ก (A) (atrophy) acidophilic gland cell ติดสีแดง (AGC) (H&E)

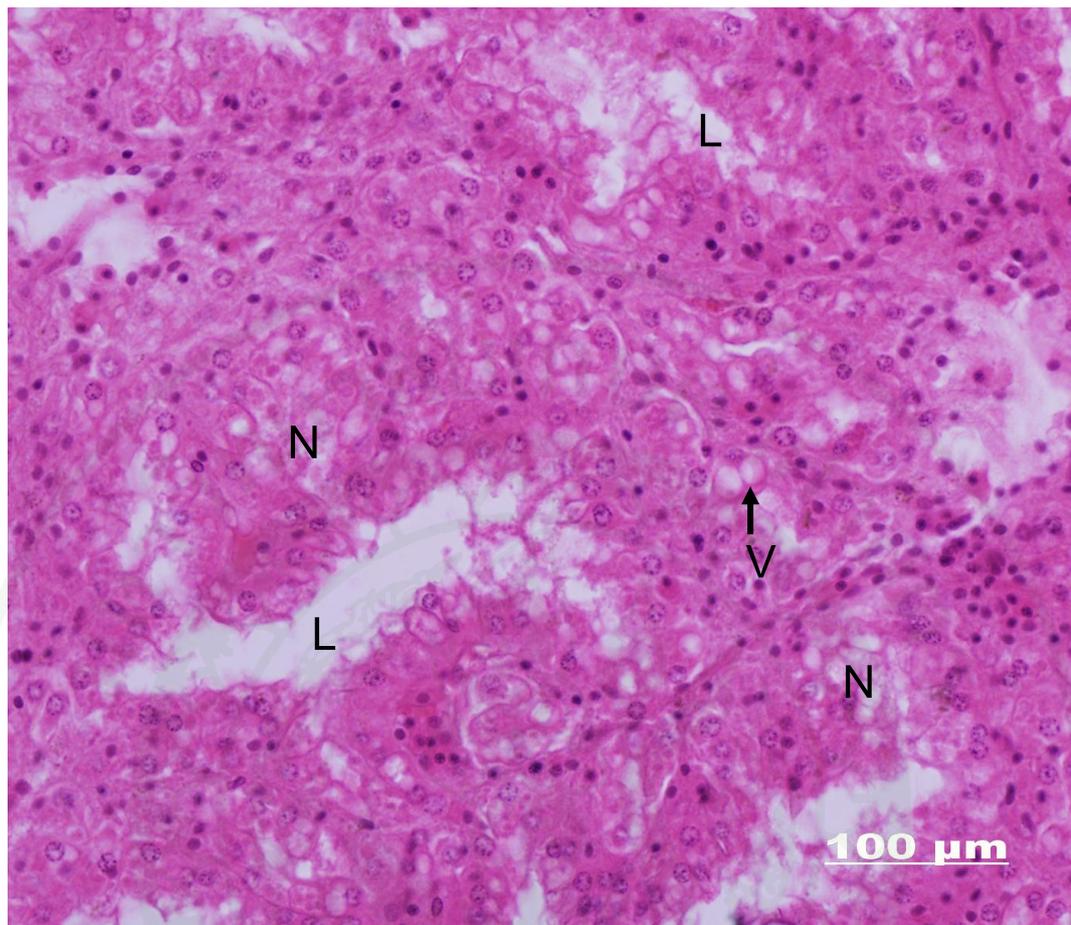


ภาพที่ 9 ภาวะเพาะอาหารของหอยสังข์โมพี แสดง acidophilic gland cell ตายแบบ necrosis (N) และ เซลล์เชื่อมุมฝืดกลอง(A)

จากภาพที่ 10 และ 11 บางบริเวณของ digestive gland พบ digestive cell ที่มีแวคิวโอลขนาดใหญ่ และมีเซลล์ตายเป็นหย่อม (focal necrosis) รวมทั้งเซลล์เชื่อมุมฝืดรอบแอ่งเลือด (haemolymph space )

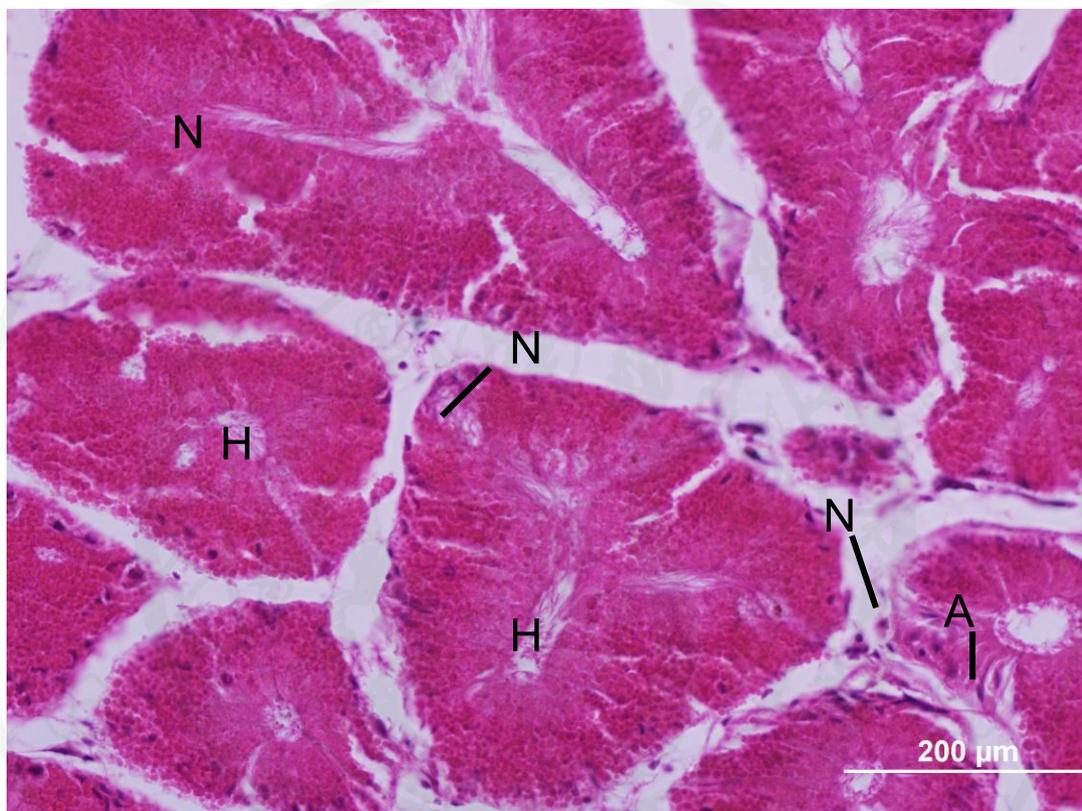


ภาพที่ 10 digestive gland ของหอยสังข์โมพี ตัดตามขวาง แสดง แอ่งเลือด (H), digestive gland (DG) และ lumen ของ digestive gland (L) (H&E)



ภาพที่ 11 digestive cell ตายเป็นหย่อม (N) หลายเซลล์มีแวคิวโอลขนาดใหญ่ (V) lumen ของ digestive gland (L) (H&E)

เนื้อเยื่อไตของหอยสังข์โมพีพบ nephrocyte ตายแบบ necrosis เป็นหย่อม มีนิวเคลียสเสื่อมสลาย บางบริเวณ พบเซลล์ฝ่อเล็กลง (ภาพที่ 12) โดยเฉพาะรอบแอ่งเลือด ส่วนเซลล์เชื่อมุผิวของท่อไต ยังคงมีลักษณะปกติ เห็นนิวเคลียส เยื่อหุ้มเซลล์ และ brush border ชัดเจน (ภาพที่ 13) ท่อไต่ยังคงมีชั้นเชื่อมุผิวส่วนใหญ่ เป็นปกติ



ภาพที่ 12 ไต ของหอยสังข์โมพี ตัดตามขวาง มีบริเวณที่ nephrocyte ตาย (N) และบริเวณที่ nephrocyte ฝ่อเล็กลง (A) (H&E)



ภาพที่ 13 ไตและท่อไต ของหอยสังข์โมพี ตัดตามขวาง มีบริเวณที่ nephrocyte ตาย (N) ส่วนท่อไต (U) เซลล์เยื่อหุ้ม ของท่อไตยังคงมีลักษณะปกติ (H&E)



ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์ และตะกั่ว ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า ใช้หอยสังข์โมพี เป็นดัชนีชี้วัดปริมาณ แคดเมียม โครเมียม นิกเกิล และตะกั่ว ในดินตะกอนได้

ความเป็นพิษของโลหะหนักมักเกิดจากการที่โลหะไปยับยั้งการทำงานของโปรตีน และเอนไซม์ที่สำคัญต่างๆ หรือไปกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระภายในเซลล์ ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้จะมีฤทธิ์ทำลายสารอินทรีย์ ที่เป็นโครงสร้างสำคัญของเซลล์ เช่น DNA หรือเยื่อหุ้มเซลล์ (เมธา, 2554)

ในร่างกายสัตว์ มีกระบวนการกำจัดสารพิษ ในหอยเช่นกัน โดยหอยแมลงภู่จะลดความเป็นพิษของโลหะหนักในตัวได้โดยโลหะหนักจะรวมตัวกับโปรตีนแล้วเก็บภายในเซลล์ ปริมาณโลหะหนักที่พบในเนื้อเยื่อหอย ไม่ขึ้นกับอายุ แต่ขึ้นอยู่กับปริมาณที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม (กังสดาล, 2545) แม้ว่าปริมาณโลหะหนัก โดยเฉพาะแคดเมียม และตะกั่ว ในตัวอย่างหอย จะยังต่ำกว่า เกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด แต่อาจจะมีผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำวัยอ่อนต่างๆ (Meteyer *et al.*, 1988)

การศึกษาจุลกายวิภาคของหอยสังข์โมพี แม้ว่าค่าของโลหะแต่ละชนิด เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน (สำหรับอาหารทะเล) ของกระทรวงสาธารณสุข (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2529) และค่ามาตรฐานของสหภาพยุโรป (European Union, 2008) แล้ว จะไม่เกินมาตรฐาน แต่เมื่อพิจารณาค่าของโลหะในน้ำ พบว่ามีค่าเกินมาตรฐาน (มาตรฐานสิ่งแวดล้อม, 2553) อยู่บ้าง จึงอาจทำให้เป็นสาเหตุของการพบพยาธิสภาพที่เหงือกของหอยตัวอย่าง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sawasdee *et al.* (2011) ที่พบว่า ปกติแล้วซึ่งเหงือก ประกอบด้วย เซลล์ทรงกระบอก (columnar cell) ที่มีซีเลียยาว และมี goblet cell แทรกอยู่ แต่หากได้รับโลหะเป็นจำนวนมากแล้ว ความยาวของซีเลียจะลดลง และ goblet cell จะสร้างมิวคัสเก็บไว้ใน แวกิวโอลเพิ่มมากขึ้น เซลล์เยื่อหุ้มผิวจะมีรูปร่างผิดปกติไป นิวเคลียสมีขนาดใหญ่ขึ้น ไปจนถึงชั้นเยื่อหุ้มผิวถูกทำลาย ส่วนการเกิดพยาธิสภาพที่ กระเพาะอาหาร และ digestive gland นั้น เนื่องจาก กระเพาะอาหาร เป็นที่ย่อยอาหาร และ digestive gland เป็นอวัยวะที่สะสมสารพิษ โดยเฉพาะโลหะมากที่สุด แต่ในขณะเดียวกัน ก็เป็นอวัยวะหลัก ที่ทำหน้าที่กำจัดสารพิษด้วย (Desouky, 2006; Pereira *et al.*, 2009) นอกจาก digestive gland แล้ว อวัยวะที่พบว่าการสะสมของโลหะ คือ ไต (Desouky, 2006) จึงพบพยาธิสภาพเกิดขึ้น ทั้งเซลล์เยื่อหุ้มผิวเพิ่มจำนวน ฝ่อเล็กลง หรือจนกระทั่งตาย แบบ necrosis ซึ่งการเกิดพยาธิสภาพนี้ไม่อยู่ในระดับที่รุนแรง สอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณโลหะในเนื้อเยื่อหอย และดินซึ่งมีปริมาณไม่สูงเกินค่ามาตรฐานสิ่งแวดล้อม (2553) มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน (สำหรับอาหารทะเล) ของ

กระทรวงสาธารณสุข (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2529) และคำมาตรฐานของสหภาพยุโรป  
(European Union, 2008)



## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

1. การตรวจพบปริมาณของโลหะและโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด ในน้ำ จะมีปริมาณที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ในระหว่างเดือนตุลาคม ยกเว้น ตะกั่ว และพบว่าโครเมียม ทองแดง นิกเกิล สังกะสี มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำ (มาตรฐานสิ่งแวดล้อม, 2553)
2. การตรวจพบปริมาณของโลหะและโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด ในดินตะกอน พบว่า ไม่มีชนิดใดที่มีค่าสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (มาตรฐานสิ่งแวดล้อม, 2553)
3. ปริมาณโลหะที่ตรวจพบในเนื้อเยื่อหอย คือ โครเมียม ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว นิกเกิล สังกะสี แคดเมียม และโคบอลต์ ในช่วงระยะเวลาต่างกัน เดือนเว้นเดือน ในรอบหนึ่งปีนั้น พบปริมาณโลหะ โครเมียม ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว นิกเกิล สังกะสี แคดเมียม และ โคบอลต์เฉลี่ย เท่ากับ 0.215 , 0.228 , 1.495 , 0.122 , 0.093 , 0.209 , 0.009 และ 0.017 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เรียงตามลำดับโดยค่าเฉลี่ย แตกต่างกันไปเล็กน้อย ยกเว้น เหล็ก พบปริมาณสูงกว่าโลหะอื่นๆ เนื่องจากว่าเป็นโลหะที่พบได้ตามธรรมชาติ (ภาสกร และคณิต, 2539) และปริมาณโลหะหนักจะสูงขึ้นในช่วงฤดูหนาว เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของโลหะทุกตัว ผลที่ได้ เรียงจากมากไปน้อย คือ เหล็ก > ทองแดง > โครเมียม > สังกะสี > ตะกั่ว > นิกเกิล > โคบอลต์ > แคดเมียม ปริมาณโลหะหนักที่มีต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานจึงไม่พบผลทางพยาธิสภาพที่เกิด กับเนื้อเยื่อระบบทางเดินอาหาร เมื่อศึกษาทางเนื้อเยื่อวิทยาจึงพบว่าเนื้อเยื่อเป็นปกติ
4. เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของโลหะแต่ละชนิดในแต่ละเดือนที่พบในเนื้อเยื่อหอย พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ได้แก่ โครเมียม ในเดือนธันวาคม ปริมาณเฉลี่ย 1.068 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เหล็กในเดือน ธันวาคม ปริมาณ 6.655 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นิกเกิลในเดือน ธันวาคม ปริมาณ 0.309 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สังกะสีในเดือนธันวาคม และกุมภาพันธ์ ปริมาณ 0.362 และ 0.382 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และโคบอลต์ ในเดือนธันวาคม ปริมาณ 0.054 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนทองแดง, ตะกั่ว และแคดเมียม เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนแล้ว ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ )

5. เมื่อหาค่าความสัมพันธ์ของโลหะในน้ำ ดินตะกอน และเนื้อเยื่อหอย พบว่าในน้ำไม่มีชนิดใดที่สัมพันธ์อย่างนัยสำคัญกับโลหะในดิน และเนื้อเยื่อหอยเลย แต่ โลหะในดิน เปรียบเทียบกับในเนื้อเยื่อหอย มีโลหะที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ คือ แคดเมียม โครเมียม และนิกเกิล ส่วน ตะกั่ว มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เหล็กมีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

6. เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานอาหารของกระทรวงสาธารณสุข และสหภาพยุโรปแล้ว พบว่าโลหะและโลหะหนักที่พบในเนื้อเยื่อหอยนั้น ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานมาก

### ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาผลของโลหะ และโลหะหนัก แต่ละชนิดในหอยสังข์โมพี โดยการควบคุมปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพแวดล้อม ปริมาณการให้สารในสัตว์ทดลอง เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นหากได้รับสารโดยตรง

2. เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานอาหารของกระทรวงสาธารณสุข และสหภาพยุโรปแล้ว พบว่าโลหะและโลหะหนักที่พบในเนื้อเยื่อหอยนั้น ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานมาก จึงสามารถบริโภคได้

3. แม้ว่าปริมาณโลหะในน้ำ จะเกินค่ามาตรฐานหลายชนิด ไม่ควรนำมาบริโภค แต่คุณภาพทางกายภาพโดยรวม ยังปกติ

4. ข้อผิดพลาดจากการตรวจหาปริมาณโลหะ อาจเกิดจากการเก็บรักษาตัวอย่าง ก่อนเข้าเครื่อง ICP-OES ส่วนข้อผิดพลาดในการเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาทางจุลกายวิภาค อาจเกิดจากการขั้นตอนการนำตัวอย่างออกจากเปลือก และการเก็บรักษาในน้ำยาคงสภาพทั้งตัว ทำให้อาจไม่ทั่วถึง

5. แม้ว่าการศึกษานี้จะพบว่าปริมาณของโลหะจะยังไม่อยู่ในระดับที่ก่ออันตรายต่อสิ่งมีชีวิต แต่ก็ควรจะมีการจัดการ หรือมาตรการป้องกัน การใช้ประโยชน์จากโลหะ โดยเฉพาะโลหะหนัก ให้เป็นไปอย่างระมัดระวังและรัดกุม เพื่อที่จะได้ไม่ก่อให้เกิดปัญหาในอนาคตต่อไป

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรองพรรณ สมบุรุษทรัพย์. 2544. การเปลี่ยนแปลงปริมาณโลหะหนักในสัตว์น้ำบริเวณป่าชายเลนที่รับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กรมควบคุมมลพิษ. 2547. แคลเดียม. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการเคมีเฉพาะเรื่อง. สำนักจัดการกากของเสียและอันตราย. กรมควบคุมมลพิษ, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ. 2547. การแก้ไขปัญหาน้ำเสียบางขุนเทียน.  
แหล่งที่มา <http://www.marinepcd.org>, 17 มิถุนายน 2547.

กระทรวงกลาโหม. 2547. จังหวัดสมุทรสาคร.  
แหล่งที่มา <http://www1.mod.go.th/heritage/nation/oldcity>, 2 ธันวาคม 2547.

กระทรวงพลังงาน. 2552. โคออลท์- 60.  
แหล่งที่มา <http://www.nppdo.go.th>, 6 ตุลาคม 2552.

กระทรวงสาธารณสุข. 2529. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 เรื่องมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน. กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ.

กั้งสดาน เหมกรณ์. 2545. ปริมาณแคลเดียมและตะกั่วในหอยแมลงภู่อายุต่างๆ ที่เลี้ยงแบบแพและแบบปักหลักบริเวณสถานีวิจัยประมงศรีราชา จังหวัดชลบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

งานสารพิษ. 2530. คู่มือการเก็บและรักษาตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์โลหะหนัก. คณะอนุกรรมการแก้ไขปัญหามลพิษทางน้ำ. คณะอนุกรรมการสิ่งแวดล้อมเรื่องสารพิษ งานสารพิษ กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

งานสิ่งแวดล้อม, 2553. **มาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม. ฝ่ายสิ่งแวดล้อม การไฟฟ้าฝ่ายผลิต แห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.**

นริศรา จิตโสภณ. 2547. **การปนเปื้อนของโลหะหนักในเนื้อเยื่อหอยแมลงภู่ บริเวณอ่าวไทยตอนใน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.**

พรณิชา ปิตตาทะโน. 2552. **ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักสะสมกับน้ำหนักของปลาชนิดที่เลี้ยงในบ่อบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝิ่งของเทศบาลเมืองเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.**

พัชรา เพ็ชรพิรุณ ดาเรศ รุ่งศฤงศ์ศักดิ์ และจันทร์จิรา แสงบึก. 2552. **การแพร่กระจายและอัตราการสะสมของโลหะหนักในสัตว์น้ำ บริเวณแม่น้ำเพชรบุรี. วารสารการประมง. 62(6): 529-540.**

ภารดี คะลา. 2541. **ศักยภาพของแม่น้ำเพชรบุรีต่อการรองรับปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.**

ภาสกร ถมพลกรัง และคณิต ไชยคำ. 2539. **ปริมาณโลหะหนักในน้ำและตะกอนดินในทะเลสาบสงขลาตอนนอก. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 9. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, สงขลา.**

มานี จันทวิมล. 2542. **ตะกั่ว และดีบุก. นานมีบุ๊คส์. กรุงเทพฯ. แปลจาก ไบรอัน แนพพ์. **Lead and Tin.** Atlantic Europe.**

มานี จันทวิมล. 2542. **ทองแดง เงิน และทองคำ. นานมีบุ๊คส์. กรุงเทพฯ. แปลจาก ไบรอัน แนพพ์. **Copper Silver and Gold.** Atlantic Europe.**

มานี จันทวิมล. 2542. **สังกะสี แคดเมียม และปรอท. นานมีบุ๊คส์. กรุงเทพฯ. แปลจาก ไบรอัน แนพพ์. **Zinc Cadmium and Mercury.** Atlantic Europe.**

มานี จันทวิมล. 2542. เหล็ก โครเมียม และแมงกานีส. นานมีบุ๊คส์. กรุงเทพฯ. แปลจาก ไบรอัน แนนพ์. **Iron Cromium and Manganese**. Atlantic Europe.

เมธา มีแต่้ม. 2554. **กลไกระดับเซลล์ในการลดพิษจากโลหะ**.

แหล่งที่มา <http://www.etm.sc.mahidol.ac.th/> 14 มีนาคม 2554.

วิรัตน์ ทองรอด. 2550. ยาแผนโบราณผสมสเตียรอยด์. **หมอชาวบ้าน**.29(338): 50-52.

ศิริมาศ สัทธิกรม. 2550. การแพร่กระจายของปริมาณแคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว ในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด. **วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**.

ศุภลักษณ์ โรมนันตพันธ์. 2545. **เทคนิคเนื้อเยื่อสัตว์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สนิท อักษรแก้ว. 2542. **การฟื้นฟู และการพัฒนา ทรัพยากรป่าชายเลน เพื่อสังคม และเศรษฐกิจอย่างยั่งยืน ของประเทศไทย**. อักษรสยามการพิมพ์. กรุงเทพฯ.

สุชาดา มะแส. 2540. การสะสมของแคดเมียมและปรอทในผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ. **วารสารการประมง** .50(1): 39-46.

สุรพล วิเศษสรรค์. 2542. **เอกสารประกอบการสอนวิชา 424281 พิษวิทยาชีวภาพเบื้องต้น**. ภาควิชา สัตววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานเขตบางขุนเทียน. 2548. **ข้อมูลทั่วไป : เขตบางขุนเทียน**. ศูนย์ข้อมูลกรุงเทพมหานคร . แหล่งที่มา : <http://www.bma.go.th/info/>, 21 ตุลาคม 2548.

อรทัย อร่ามพงษ์พันธ์. 2555. **การศึกษาวิจัยประเมินการใช้เซลล์ปลาช่อน (SSN-1 cells) เพื่อเป็นแบบ (Model) ในการศึกษาพิษวิทยาพันธุกรรมจากโลหะ**.

แหล่งที่มา <http://www.scpm.mahidol.ac.th>, 3 พฤษภาคม 2555.

- AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis of AOAC (Association of Official Agricultural Chemists) Metal and Other Elements**. Chapter 9. pp. 16-19.
- Bubel, A. 1984. Epidermal cells. pp. 400-477 *In* J. Bereiter- Hahn, A.G. Matalsy, and K.S. Richards, eds. **Biology of the Integument, Vol. 1, Invertebrates**. Springer-Verlag, Berlin and New York.
- Chan, S.Y. 2009. The Melogenidae (Mollusca: Gastropoda) of Singapore. **Nature in Singapore**. 2: 63-67.
- Chua, E.K., 2002. **Chek Jawa. Discovering Singapore's Biodiversity**. Simply Green, Singapore.
- Chua, S.C., J. Low and L. Gouw-Iwata. 2003. Singapore Waters. **Unveiling The Seas. Nature Society (Singapore)**. Marine Conservation Group, Singapore.
- Coleman, N. 1988. **What Shell Is that?**. Landsdowne Press, Sydney.
- Desouky, M.M.A. 2006. Tissue distribution and subcellular localization of trace metals in the pond snail *Lymnaea stagnalis* with special reference to the role of lysosomal granules in the metal sequestration. **Aquatic Toxicology**. 77:143-152.
- European Union. 2008. **Commission Regulation (EC) No 629/2008 of 2 July 2008 amending Regulation (EC) No 1881/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs**. Official Journal of the European Union.
- Garcia-Lopez, A.L., Uria-Galicia, E.A. and E. Ortiz-Ordonez. 2007. Histology Study of Mouth, Esophagus, Stomach and Intestine of *Polystira albida* (Gastropoda: Turridae). **Int. J. Morphol.** 25(4): 767-774.

- Griebel, R. 1993. Fine structure of the three cell types found in the digestive gland of *Elysa viridis* (Opisthobranchia: Sacoglossa). **The Veliger**. 36(2): 107-114.
- Hamilton, M.A., P.W. Rode, M.E. Merchant, and J. Snedon. 2008. Determination and comparison of heavy metals in selected seafood, water, vegetation and sediments by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry from an industrialized and pristine watery in Southeast Louisiana. **Microchem. J.** 88: 52-55.
- Humason, L.J. 1979. **Animal Tissue Techniques**. W.H. Freeman and Company, United State of America.
- Jerez, S., Motas, M., Canovas, R.A., Talavera, J., Almela, R.M. and A. Bel del Rio. 2010. Accumulation and tissue distribution of heavy metals and essential elements in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from Spanish Mediterranean coastline of Murcia. **Chemosphere**. 78: 258-264.
- Kabir, S. M. H., M. Admad, A.T.A. Ahmed, A.K A. Rahman and E.U. Haque. 2007. Molluscs. In Siddiqui, K. U. **Encyclopedia of Flora and Fauna of Bangladesh. Volume 17**. Asiatic Society of Bangladesh, Dhaka.
- Kress, A., L. Schmekel and J.A. Nott. 1994. Ultrastructure of the digestive gland in the opisthobranchia mollusk, Runcina. **The Veliger**. 37(4): 358-373.
- Meteyer, M.J., D.A. Wright and F.D. martin. 1988. Effect of cadmium on early developmental stages of the sheedshaeed minnow (*Cyprinodon variegates*). **Eviron. Toxicol. Chem.** 321-328.
- Nolf, F. 2007. *Pugilina dirki* (Mollusca: Gastropoda: Buccinoidea: Melongenidae): a new species from South India. **Neptunea**. 6(1): 1-19.

- Pain, J.D., 1955. Lead in the environment, pp. 356-391. *In* D.J. Hoffman; B.A. Rattner; G.A. Burton Jr. and J. Cairns Jr., eds. **The Handbook of Ecotoxicology**. CRC Press, United State of America.
- Pereira, P., J. Raimundo, C. Vale and E. Kadar. 2009. Metal concentrations in digestive gland and mantle of *Sepia officinalis* from two coastal lagoons of Portugal. **Sci. of the Total Environ.** 407: 1080-1088.
- Poutiers, J.M., 1998. Gastropods, pp. 364–686. *In* FAO. **The living marine resources of the Western Central Pacific. Vol. 1**. FAO species identification guide for fishery purposes. Rome.
- Rajeshkumar, S. and N. Munuswamy. 2011. Impact of metals on histopathology and expression of HSP70 in different tissues of Milk fish (*Chanos chanos*) of Kaattuppalli Island, South East Coast, India. **Chemosphere.** 83: 415-421.
- Sawasdee, B., H.R. Kohler and R. Triebskorn. 2011. Histopathological effects of copper and lithium in the ramshorn snail, *Marisa cornuarietis* (Gastropoda, Prosobranchia). **Chemosphere.** 85: 1033-1039.
- Siwela, A.H., C.B. Nyathi and Y.S. Naik. 2010. A comparison of metal levels and antioxidant enzymes in fresh water snails, *Lymnaea natalensis*, exposed to sediment and water collected from Wright Dam and Lower Mguza Dam, Bulawayo, Zimbabwe. **Ecotoxicol. and Environ. Safety.** 13: 1728-1732.
- Swennen, C., Moolenbeek, R.G., Ruttanadakul, N., Hobbeli Nk, H., Dekker, H. and S. Hajisamae. 2001. **The Molluscs of the Southern Gulf of Thailand**. The Biodiversity Research and Training Programe (BRT), Bangkok.

- Szefer, P., Kim, B.S., Kim, C.K., Kim, E.H. and C.B. Lee. 2004. Distribution and coassociations of trace elements in soft tissue and byssus of *Mytilus galloprovincialis* relative to the surrounding seawater and suspended matter of the southern part of the Korean Peninsula. **Environ. Pollut.** 129: 209-228.
- Wren, D.C.; S. Harris and N. Harttrup. 1995. Ecotoxicology of Mercury and cadmium, pp. 392-423. In D.J. Hoffman; B.A. Rattner; G.A. Burton Jr. and J. Cairns Jr., eds. **The Handbook of Ecotoxicology**. CRC Press, United State of America.
- WHO. 1977. **Environmental Health Criteria 3 : Lead**. World Health Organization, Geneva.
- WHO. 1992. **Environmental Health Criteria 134: Cadmium**. World Health Organization, Geneva.
- Wolf, H.D. and R. Rashid. 2007. Heavy metal accumulation in *Littoraria scabra* along polluted and pristine mangrove area of Tanzania. **Environmental pollution**. Xx :1-8.
- Yeap, T.S. 1990. **Molluska Malaysia**. Jabatan Perikanan, Kementerian Pertanian, Malaysia. Poster.



ตารางผนวกที่ 1 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ลำดับ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่าทางสถิติ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุด ตามการแบ่งลำดับ ประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์				
				ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5
1	สี กลิ่น และ รส (Colour, Odour and Taste)	-	-	ช	ช1	ช1	ช1	-
2	อุณหภูมิ (Temperature)	°C	°C	ช	ช2	ช2	ช2	-
3	ความเป็นกรดและ ด่าง (pH)	-	-	ช	5.0-9.0	5.0-9.0	5.0-9.0	-
4	ออกซิเจนละลาย (DO)2/	P20	mg/l	ช	6.0	4.0	2.0	-
5	บีโอดี (BOD)	P80	mg/l	ช	1.5	2.0	4.0	-
6	แบคทีเรียกลุ่มโค ลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)	P80	MPN/100 ml	ช	5,000	20,000	-	-
7	แบคทีเรียกลุ่มฟี คอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria)	P80	MPN/100 ml	ช	1,000	4,000	-	-
8	ไนเตรด (NO <sub>3</sub> ) ใน หน่วยไนโตรเจน		mg/l	ช	5.0	5.0	5.0	-
9	แอมโมเนีย (NH <sub>3</sub> ) ในหน่วย		mg/l	ช	0.5	0.5	0.5	-
10	ฟีนอล (Phenols)		mg/l	ช	0.005	0.005	0.005	-
11	ทองแดง (Cu)		mg/l	ช	0.1	0.1	0.1	-
12	นิกเกิล (Ni)		mg/l	ช	0.1	0.1	0.1	-
13	แมงกานีส (Mn)		mg/l	ช	1.0	1.0	1.0	-
14	สังกะสี (Zn)		mg/l	ช	1.0	1.0	1.0	-
15	แคดเมียม (Cd)		mg/l	ช	0.005**	0.005**	0.005**	-

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่าทางสถิติ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุด ตามการแบ่ง				
				ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5
16	โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์(Cr Hexavalent)		mg/l	ร	0.05*	0.05*	0.05*	-
17	ตะกั่ว (Pb)		mg/l	ร	0.05	0.05	0.05	-
18	ปรอททั้งหมด (Total Hg)		mg/l	ร	0.05	0.05	0.05	-
19	สารหนู (As)		mg/l	ร	0.01	0.01	0.01	-
20	ไซยาไนด์ (Cyanide)		mg/l	ร	0.005	0.005	0.005	-
21	กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) - ค่ารังสีแอลฟา (Alpha) - ค่ารังสีเบตา		Becquere l/l	ร	0.1	0.1	0.1	-
22	สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนทั้งหมด		Becquere l/l	ร	1.0	1.0	1.0	-
23	ดีดีที (DDT)		mg/l	ร	0.05	0.05	0.05	-
24	บีเอชซีชนิดแอลฟา (Alpha-BHC)		µg/l	ร	1.0	1.0	1.0	-
25	ดิลดริน (Dieldrin)		µg/l	ร	0.02	0.02	0.02	-
26	อัลดริน (Aldrin)		µg/l	ร	0.1	0.1	0.1	-
27	เฮปตาคลอร์		µg/l	ร	0.1	0.1	0.1	-
28	เอนดริน (Endrin)		µg/l	ร	ไม่สามารถตรวจพบ			-

### ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

หมายเหตุ : 1/ กำหนดค่ามาตรฐานเฉพาะในแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 สำหรับแหล่งน้ำประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามธรรมชาติ และแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ไม่กำหนดค่า

2/ ค่า DO เป็นเกณฑ์มาตรฐานต่ำสุด

๓ เป็นไปตามธรรมชาติ

๓1 ไม่มีวัตถุหรือสิ่งของที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ซึ่งจะทำให้สี กลิ่น และรสชาติของน้ำเปลี่ยนไปตามธรรมชาติ

๓2 อุณหภูมิของน้ำจะต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติเกิน 3 องศาเซลเซียส

(\* น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ  $\text{CaCO}_3$  ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

(\*\*) น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ  $\text{CaCO}_3$  เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

P20 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทด์ที่ 20 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

P80 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทด์ที่ 80 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

ที่มา : มาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2553)

## ตารางผนวกที่ 2 มาตรฐานคุณภาพดิน

ดัชนีคุณภาพดิน	หน่วย	ค่ามาตรฐาน <sup>1</sup>	ค่ามาตรฐาน <sup>2</sup>
1. สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compound)			
1) เบนซีน (Benzene)	mg/kg	6.5	15
2) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride)	mg/kg	2.5	5.3
3) 1,2-ไดคลอโรอีเทน (1,2-Dichloroethane)	mg/kg	3.5	7.6
4) 1,1-ไดคลอโรเอทิลีน (1,1-Dichloroethylene)	mg/kg	0.5	1.2
5) ซิส-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน (cis-1,2-Dichloroethylene)	mg/kg	43	150
6) ทรานส์-1, 2-ไดคลอโรเอทิลีน (trans-1,2-Dichloroethylene)	mg/kg	63	210
7) ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)	mg/kg	89	210
8) แอทธิลเบนซีน (Ethylbenzene)	mg/kg	230	230
9) สไตรีน (Styrene)	mg/kg	1,700	1,700
10) เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene)	mg/kg	57	190
11) โทลูอีน (Toluene)	mg/kg	520	520
12) ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)	mg/kg	28	6
13) 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,1-Trichloroethane)	mg/kg	630	1,400
14) 1,1,2-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,2-Trichloroethane)	mg/kg	8.4	19

## ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพดิน	หน่วย	ค่ามาตรฐาน <sup>1</sup>	ค่ามาตรฐาน <sup>2</sup>
15) ไซลีนทั้งหมด (Total Xylenes)	mg/kg	210	210
<b>2. โลหะหนัก (Heavy metals)</b>			
1) สารหนู (Arsenic)	mg/kg	3.9	27
2) แคดเมียมและสารประกอบแคดเมียม	mg/kg	37	810
3) โครเมียมชนิด เฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	mg/kg	300	640
4) ตะกั่ว (Lead)	mg/kg	400	750
5) แมงกานีสและสารประกอบแมงกานีส	mg/kg	1,800	32,000
6) ปปรอทและสารประกอบปรอท	mg/kg	23	610
7) นิกเกิลในรูปของเกลือที่ละลายน้ำได้ (Nickel, soluble salts)	mg/kg	1,600	41,000
8) ซีลีเนียม (Selenium)	mg/kg	390	10,000
<b>3. สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ (Pesticides)</b>			
1) อะทราซีน (Atrazine)	mg/kg	22	110
2) คลอเดน (Chlordane)	mg/kg	16	110
3) 2,4-ดี (2,4-D)	mg/kg	690	12,000
4) ดีดีที (DDT)	mg/kg	17	120
5) ดิลดริน (Dieldrin)	mg/kg	0.3	1.5
6) เฮปตาคลอร์ (Heptachlor)	mg/kg	1.1	5.5

## ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพดิน	หน่วย	ค่ามาตรฐาน <sup>1</sup>	ค่ามาตรฐาน <sup>2</sup>
7) เฮปตาคลอรั อีพ็อกไซด์ (Heptachlor Epoxide)	mg/kg	0.5	2.7
8) ลินเดน (Lindane)	mg/kg	4.4	29
9) เพนตะคลอโรฟีนอล	mg/kg	30	110
<b>4. สารพิษอื่น ๆ</b>			
1) เบนโซ (เอ) ไพรีน (Benzo (a) pyrene)	mg/kg	0.6	2.9
2) ไซยาไนต์และ สารประกอบไฮยาไนต์	mg/kg	11	35
3) พีซีบี (PCBs)	mg/kg	2.2	10
4) ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride)	mg/kg	1.5	8.3

**หมายเหตุ :**

- 1/ ดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม
- 2/ ดินที่ใช้ประโยชน์นอกเหนือจากการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม

การตรวจสอบคุณภาพดินให้ใช้วิธี Test Methods of Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods (SW-846) ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency)

**ที่มา :** มาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2553)

ตารางผนวกที่ 3 ผลการตรวจคุณภาพน้ำ

	สถานี	อุณหภูมิ				
		( <sup>o</sup> C)	pH	DO (mg/L)	Conductivity(mS/cm)	Salinity(ppt)
เม.ย. 52	1	31	7.3	6.28	48.18	25.24
	2	29	7.7	4.27	43.61	25.39
	3	29	6.2	5.66	47.79	30.32
มิ.ย. 52	1	30	7.1	4.45	41.16	23.53
	2	30	7.2	3.69	43.43	25.02
	3	30	7.2	4.53	40.89	23.52
ส.ค. 52	1	29	7.2	3.13	46.5	27.41
	2	30	7.9	5.97	41.9	23.7
	3	30	7.7	3.60	43.02	24.32
ต.ค. 52	1	24	8	4.91	47.29	30.87
	2	24	7.9	4.44	47.25	30.76
	3	25	8	5.40	48.07	31.05
ธ.ค. 52	1	26	7.2	4.85	47.1	28.1
	2	26	7.2	4.34	46.5	27.9
	3	26	7.2	5.26	47.5	29.9
ก.พ. 53	1	28	7.5	4.00	47.83	28.99
	2	28	7.5	3.68	47.8	29.02
	3	28	7.5	3.73	48.73	29.67

ตารางผนวกที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของเหล็ก

		Water	Soil	Tissue
Water	Pearson Correlation	1	.306	-.166
	Sig. (2-tailed)		.216	.510
	N	18	18	18
Soil	Pearson Correlation	.306	1	-.666**
	Sig. (2-tailed)	.216		.003
	N	18	18	18
Tissue	Pearson Correlation	-.166	-.666**	1
	Sig. (2-tailed)	.510	.003	
	N	18	18	18

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

ตารางผนวกที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของแคดเมียม

		Water	Soil	Tissue
Water	Pearson Correlation	1	-.182	.166
	Sig. (2-tailed)		.469	.509
	N	18	18	18
Soil	Pearson Correlation	-.182	1	.851**
	Sig. (2-tailed)	.469		.000
	N	18	18	18
Tissue	Pearson Correlation	.166	.851**	1
	Sig. (2-tailed)	.509	.000	
	N	18	18	18

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

ตารางผนวกที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ ของตะกั่ว

		Water	Soil	Tissue
Water	Pearson Correlation	1	.019	-.341
	Sig. (2-tailed)		.942	.166
	N	18	18	18
Soil	Pearson Correlation	.019	1	.482*
	Sig. (2-tailed)	.942		.043
	N	18	18	18
Tissue	Pearson Correlation	-.341	.482*	1
	Sig. (2-tailed)	.166	.043	
	N	18	18	18

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

ตารางผนวกที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ ของโคบอลต์

		Water	Soil	Tissue
Water	Pearson Correlation	1	-.176	-.193
	Sig. (2-tailed)		.484	.442
	N	18	18	18
Soil	Pearson Correlation	-.176	1	-.008
	Sig. (2-tailed)	.484		.974
	N	18	18	18
Tissue	Pearson Correlation	-.193	-.008	1
	Sig. (2-tailed)	.442	.974	
	N	18	18	18

**ตารางผนวกที่ 8** ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ ของทองแดง

		Water	Soil	Tissue
Water	Pearson Correlation	1	.181	-.181
	Sig. (2-tailed)		.474	.472
	N	18	18	18
Soil	Pearson Correlation	.181	1	-.141
	Sig. (2-tailed)	.474		.578
	N	18	18	18
Tissue	Pearson Correlation	-.181	-.141	1
	Sig. (2-tailed)	.472	.578	
	N	18	18	18

**ตารางผนวกที่ 9** ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ ของโครเมียม

		Water	Soil	Tissue
Water	Pearson Correlation	1	.096	.261
	Sig. (2-tailed)		.704	.296
	N	18	18	18
Soil	Pearson Correlation	.096	1	.671**
	Sig. (2-tailed)	.704		.002
	N	18	18	18
Tissue	Pearson Correlation	.261	.671**	1
	Sig. (2-tailed)	.296	.002	
	N	18	18	18

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

ตารางผนวกที่ 10 ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ ของสังกะสี

		Water	Soil	Tissue
Water	Pearson Correlation	1	-.197	.130
	Sig. (2-tailed)		.433	.607
	N	18	18	18
Soil	Pearson Correlation	-.197	1	-.199
	Sig. (2-tailed)	.433		.429
	N	18	18	18
Tissue	Pearson Correlation	.130	-.199	1
	Sig. (2-tailed)	.607	.429	
	N	18	18	18

ตารางผนวกที่ 11 ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ ของนิกเกิล

		Water	Soil	Tissue
Water	Pearson Correlation	1	-.225	-.204
	Sig. (2-tailed)		.370	.418
	N	18	18	18
Soil	Pearson Correlation	-.225	1	.746**
	Sig. (2-tailed)	.370		.000
	N	18	18	18
Tissue	Pearson Correlation	-.204	.746**	1
	Sig. (2-tailed)	.418	.000	
	N	18	18	18

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

ตารางผนวกที่ 12 ข้อตกลงมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน สหภาพยุโรป

Foodstuffs (1)	Maximum levels (mg/kg wet weight)
<b>Cadmium</b>	
Muscle meat of fish (24) (25), excluding species listed in points 3.2.6, 3.2.7 and 3.2.8	0,050
Muscle meat of the following fish (24) (25):	0,10
bonito ( <i>Sarda sarda</i> )	
common two-banded seabream ( <i>Diplodus vulgaris</i> )	
eel ( <i>Anguilla anguilla</i> )	
grey mullet ( <i>Mugil labrosus labrosus</i> )	
horse mackerel or scad ( <i>Trachurus species</i> )	
louvar or luvar ( <i>Luvarus imperialis</i> )	
mackerel ( <i>Scomber species</i> )	
sardine ( <i>Sardina pilchardus</i> )	
sardinops ( <i>Sardinops species</i> )	
tuna ( <i>Thunnus species, Euthynnus species, Katsuwonus pelamis</i> )	
wedge sole ( <i>Dicologlossa cuneata</i> )	
Muscle meat of the following fish (24) (25):	0,20
bullet tuna ( <i>Auxis species</i> )	
Bivalve molluscs (26)	1,0

ที่มา: European Union (2008)

## เอกสารผนวกที่ 1 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน

### ประกาศกระทรวงสาธารณสุข

ฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2529)

### เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน

.....

อาศัยตามอำนาจตามความในมาตรา 5 และมาตรา 6(3) แห่งพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุขออกประกาศไว้ ดังนี้

ข้อ 1 ให้ยกเลิกประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 80 (พ.ศ. 2527) เรื่อง กำหนดมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน ลงวันที่ 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2527

ข้อ 2 ให้อาหารที่มีสารปนเปื้อนที่ผลิตเพื่อจำหน่าย นำเข้าเพื่อจำหน่าย หรือที่จำหน่าย เป็นอาหารที่กำหนดมาตรฐาน

ข้อ 3 สารปนเปื้อน หมายความว่า สารที่ปนเปื้อนกับอาหารซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิต กรรมวิธีการผลิต โรงงานหรือสถานที่ผลิต การดูแลรักษา การบรรจุ การขนส่งหรือการเก็บรักษา หรือ เกิดเนื่องจากการปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อม

ข้อ 4 อาหารที่มีสารปนเปื้อน ต้องมีมาตรฐาน โดยตรวจพบสารปนเปื้อนได้ไม่เกินข้อกำหนด ดังต่อไปนี้

#### (1) โลหะ

(ก) ดีบุก 250 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

(ข) สังกะสี 100 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

(ค) ทองแดง 20 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

(ง) ตะกั่ว 1 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม เว้นแต่อาหารที่มี

สารตะกั่วปนเปื้อนตามธรรมชาติในปริมาณสูง ให้มีได้ตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

(จ) สารหนู 2 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

(ฉ)ปรอท 0.5 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม สำหรับอาหาร

ทะเล และไม่เกิน 0.02 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม สำหรับอาหารอื่น

(2) อฟลาทอกซิน 20 ไมโครกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

(3) สารปนเปื้อนอื่น ตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 5 ประกาศฉบับนี้ มิให้ใช้บังคับแก่อาหารที่ผลิตเพื่อจำหน่ายหรือที่จำหน่าย ที่ได้มีประกาศกระทรวงสาธารณสุข กำหนดให้เป็นอาหารควบคุมเฉพาะ หรืออาหารที่กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน และในประกาศกระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดปริมาณของสารปนเปื้อนไว้โดยเฉพาะ หรือกำหนดไว้เป็นอย่างอื่นแล้ว

ประกาศฉบับนี้ ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 21 มกราคม พ.ศ. 2529

มารุต บุญนาค

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข

(ราชกิจจานุเบกษาฉบับพิเศษ เล่มที่ 103 ตอนที่ 23 ลงวันที่ 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2529)

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ นางสาววิญญูทัย ชาวเมืองโขง  
เกิดวันที่ 15 เมษายน 2521  
สถานที่เกิด จังหวัดอุบลราชธานี  
ประวัติการศึกษา วท.บ. (เทคนิคการสัตวแพทย์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
ทุนการศึกษาที่ได้รับ ได้รับทุนผู้ช่วยสอนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
(พ.ศ. 2550)

