การปนเปื้อนของสารหนูในพืชน้ำและสัตว์น้ำ บริเวณตำบลร่อนพิบูลย์ ถึงลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช

Arsenic Contamination in Aquatic Organisms from Tambon Ronpibul to Pak Phanang River Basin, Changwat Nakhon Si Thammarat

ตรีรัตน์ ทองบริบูรณ์

Threerat Tongboriboon

เลขหมู่ QA181.A7 ต146 2540 ฉ.2

Order Key 29008

Bib Key 137592

2 1 ก.ค. 2543

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Environmental Management

Prince of Songkla University

2540

ชื่อวิทยานิพนธ์	การปนเปื้อนของสารหนูในพืชน้ำและสัตว์น้ำ บริเวณตำบลร่อนพิบูลย์ ถึงลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช
ผู้เขียน	นางสาวตรีรัตน์ ทองบริบูรณ์
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการที่ปรึกษา

....ประธานกรรมการ
(ดร.บรรจง วิทยวีรศักดิ์)

....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล อารีย์กุล)

....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปีติวงษ์ ตันติโชดก)

คณะกรรมการสอบ

....ประธานกรรมการ
(ดร.บรรจง วิทยวีรศักดิ์)

....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล อารีย์กุล)

....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปีติวงษ์ ตันติโชดก)

....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ณรงค์ ณ เชียงใหม่)

....กรรมการ
(ดร.ไพรัตน์ สงวนไทร)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ก้าน จันทร์พรหมมา)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การปนเปื้อนของสารหนูในพืชน้ำและสัตว์น้ำ บริเวณตำบลร่อนพิบูลย์ถึงลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช
ผู้เขียน	นางสาวตรีรัตน์ ทองบริบูรณ์
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2540

21 ก.ค. 2543

บทคัดย่อ

การศึกษาการปนเปื้อนของสารหนูในพืชน้ำและสัตว์น้ำ บริเวณตำบลร่อนพิบูลย์ถึงลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ได้ดำเนินการโดยการหาปริมาณของสารหนูในพืชน้ำ สัตว์น้ำ น้ำ และดินตะกอน ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอพชั่นสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบแกรไฟต์ เฟอร์เนส (Graphite Furnance Atomic Absorption Spectrophotometer : AAS) และหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในพืชน้ำและสัตว์น้ำกับปริมาณสารหนูในน้ำและดินตะกอน เพื่อศึกษาว่าพืชน้ำและสัตว์น้ำชนิดใดที่สามารถนำมาใช้เป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพของการปนเปื้อนสารหนูได้บ้าง

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณสารหนูในพืชน้ำมีค่าระหว่าง 0.23-2.97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก โดยพืชน้ำที่พบสารหนูสูงสุดคือ ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) ส่วนปริมาณสารหนูในสัตว์น้ำมีค่าระหว่าง ตรวจไม่พบ-2.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก โดยพบสูงสุดในหอยขม (*Sinotaia ingallsiana*) ปริมาณสารหนูในน้ำมีค่าระหว่าง ตรวจไม่พบ-0.246 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณสารหนูในดินตะกอนมีค่าระหว่าง 100.70-1,854.84 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง พบว่าปริมาณสารหนูในน้ำและดินตะกอนจะมีปริมาณสารหนูสูง บริเวณพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดการแพร่กระจายของสารหนูในตำบลร่อนพิบูลย์

ผลการศึกษาดัชนีชี้วัดทางชีวภาพพบว่า ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) และหอยขม (*Sinotaia ingallsiana*) มีปริมาณสารหนูสัมพันธ์กับปริมาณสารหนูในน้ำและดินตะกอน แต่ยังไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพ เนื่องจากกระแสน้ำอาจพัดพาให้เคลื่อนที่ไปได้ไกล ๆ จึงไม่สามารถเป็นตัวแทนที่ดีของจุดเก็บตัวอย่าง ยกเว้นในแหล่งน้ำนิ่ง

Thesis Title	Arsenic Contamination in Aquatic Organisms from Tambon Ronpibul to Pak Phanang River Basin, Changwat Nakhon Si Thammarat
Author	Miss Threerat Tongboriboon
Major Program	Environmental Management
Academic Year	1997

Abstract

Contaminations of arsenic in Aquatic Organisms from Tambon Ronpibul to Pakphanang River Basin, Changwat Nakorn Si Thammarat was studied. Samples of aquatic organisms, water and sediment were collected. The concentrations of arsenic were analysed by using graphite furnance atomic absorption spectrophotometer.

The results showed that the concentration of arsenic in aquatic plants were between 0.23 - 2.97 mg/kg wet weight. The highest levels were found in *Eichhornia crassipes*. The concentrations of arsenic in aquatic animals were between non detected level - 2.45 mg/kg wet weight. The highest levels were found in *Sinotaia ingallsiana*. The concentrations of arsenic in water were between non detected level - 0.246 mg/l. And the concentrations of arsenic in sediment between 100.70 - 1,854.84 mg/kg dry weight.

There were relatively high correlations of arsenic concentrations between *Eichhornia crassipes* and *Sinotaia ingallsiana* and their ambient environment. However, *Eichhornia crassipes* and *Sinotaia ingallsiana* were not suitable as bioindicators to predict the contamination of arsenic in this area because they were not good representatives of sampling sites as they cound be moved by stream tide to a distance far away, except in a still water environment.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ ดร.บรรจง วิทยวีรศักดิ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล อารีย์กุล และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิติวงษ์ ตันติโชดก คณะกรรมการที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ณรงค์ ณ เชียงใหม่ และ ดร.ไพรัตน์ สงวนไทร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งร่วมกันตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งให้คำแนะนำและความช่วยเหลือต่าง ๆ ด้วยดี

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในการศึกษาขั้นต้น

ขอขอบคุณอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่าน ในภาควิชาพิษวิทยา คณะแพทยศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัยด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ คุณไพโรจน์ สิริมนตาภรณ์ สถาบันการวิจัยเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดสงขลา ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการจำแนกชนิดสัตว์น้ำ

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ช่วยสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณเจริญศักดิ์ งามไตรไร คุณอำนวย ศรีระแก้ว คุณนิภา มหารัชพงศ์ และคุณสุรชาติ เพชรแก้ว ที่ได้ช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างเป็นอย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ พี่ชาย และน้องชาย ครอบครัวทองบริบูรณ์ เพื่อน ๆ และพี่ ๆ สิ่งแวดล้อมรุ่น 5, 6 และ 7 รวมทั้งคุณกอบกิตติ์ รุธิรโก ที่ได้เป็นกำลังใจตั้งแต่เริ่มต้นทำงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จโดยสมบูรณ์ และท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านที่ไม่สามารถกล่าวนามได้ทั้งหมดในที่นี้ไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ตรีรัตน์ ทองบริบูรณ์

สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบาญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการภาพประกอบ	(10)
บทที่	
1 บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์	14
2 วิธีดำเนินการวิจัย	15
วัสดุ	15
อุปกรณ์	15
วิธีดำเนินการ	16
การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง	16
การกำหนดชนิดตัวอย่าง	22
การเก็บตัวอย่าง	22
วิธีเก็บตัวอย่างในภาคสนาม	23
วิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง	23
วิธีการนำเสนอข้อมูล	24
3 ผล	25
การศึกษาปริมาณการปนเปื้อนของสารหนู	25
การศึกษาดัชนีชี้วัดทางชีวภาพ	36

สารบาญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 บทวิจารณ์	52
5 บทสรุป	59
บรรณานุกรม	61
ภาคผนวก	72
ประวัติผู้เขียน	94

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
1	คำอธิบายสถานีเก็บตัวอย่าง	24
2	ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในตัวอย่างพืชน้ำ เก็บตัวอย่าง ครั้งที่ 1 และ 2	27
3	ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในตัวอย่างสัตว์น้ำ เก็บตัวอย่าง ครั้งที่ 1 และ 2	28
4	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ เก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2	31
5	ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในดินตะกอน เก็บตัวอย่าง ครั้งที่ 1 และ 2	32
6	สัดส่วนปริมาณสารหนูในพืชน้ำและสัตว์น้ำต่อปริมาณสารหนู ในน้ำ	37
7	สัดส่วนปริมาณสารหนูในพืชน้ำและสัตว์น้ำต่อปริมาณสารหนู ในดินตะกอน	38
8	คำอธิบายสถานีเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3	39
9	ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนู เก็บตัวอย่างครั้งที่ 3	42
10	ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในผักตบชวาและหอยขม กับปริมาณสารหนูในน้ำและดินตะกอน	44
11	ปริมาณสารหนูที่กำหนดไว้เป็นมาตรฐาน	84
12	แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารหนูในน้ำบริเวณตำบลร่อนพิบูลย์ถึงลุ่มน้ำปากพนังกับแหล่งน้ำอื่น ๆ ในภาคใต้ และค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ	85
13	แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารหนูในดินตะกอนบริเวณตำบลร่อนพิบูลย์ถึงลุ่มน้ำปากพนังกับแหล่งอื่น ๆ	87
14	แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารหนูในพืชน้ำบริเวณลุ่มน้ำปากพนังกับพืชแหล่งอื่น ๆ	88

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
15	แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารหนูในสัตว์น้ำบริเวณลุ่มน้ำปากพนังกับสัตว์น้ำแหล่งอื่น ๆ	89
16	แสดงขนาดของพืชน้ำที่ใช้ศึกษา	90
17	แสดงขนาดของปลาและกุ้งที่ใช้ศึกษา	91
18	แสดงขนาดของหอยที่ใช้ศึกษา	93

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1	วัฏจักรของสารหนู	7
2	การแพร่กระจายสารหนูในสิ่งแวดล้อม	8
3	แผนที่จุดเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2	18
4-9	จุดเก็บตัวอย่างที่ 1-6 เก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2	19
10	แผนที่จุดเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3	20
11-14	จุดเก็บตัวอย่างที่ 1-4 เก็บตัวอย่างครั้งที่ 3	21
15	การปนเปื้อนของสารหนูในน้ำและดินตะกอน เก็บตัวอย่างครั้งที่ 1	34
16	การปนเปื้อนของสารหนูในน้ำและดินตะกอน เก็บตัวอย่างครั้งที่ 2	35
17	การปนเปื้อนของสารหนูในพืชน้ำ สัตว์น้ำ น้ำ และดินตะกอน เก็บตัวอย่างครั้งที่ 3	44
18	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในดินตะกอนกับปริมาณสารหนูในน้ำ	46
19	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในดินตะกอนกับปริมาณสารหนูในหอยขม	46
20	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในดินตะกอนกับปริมาณสารหนูในรากผักตบชวา	47
21	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในดินตะกอนกับปริมาณสารหนูในลำต้นผักตบชวา	47
22	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในดินตะกอนกับปริมาณสารหนูในใบผักตบชวา	48
23	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในดินตะกอนกับปริมาณสารหนูในก้านใบผักตบชวา	48

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
24	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในน้ำกับปริมาณสารหนูในหอยขม	49
25	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในน้ำกับปริมาณสารหนูในรากผักตบชวา	49
26	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในน้ำกับปริมาณสารหนูในลำต้นผักตบชวา	50
27	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในน้ำกับปริมาณสารหนูในใบผักตบชวา	50
28	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในน้ำกับปริมาณสารหนูในก้านใบผักตบชวา	51
29	อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดินตะกอน (grap sampler)	81
30	อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำ (water sampler)	81
31	เครื่องมือวัดพิกัดจุดเก็บตัวอย่าง (Global position system)	81
32	เครื่องตรวจสอบคุณภาพน้ำ (U-10 Horiba)	81
33	อะตอมมิกแอบซอพชั่น สเปกโตรสโกปี แบบแกรไฟต์ (Graphite Furnance Atomic Absorption Spectrophotometer)	82
34	เครื่องย่อยไมโครเวฟ (Microwave Digestion)	82
35	หอยขม (*Sinotaia ingallsiana*)	83
36	ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*)	83

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ในสถานการณ์โลกปัจจุบันสิ่งแวดล้อมมีบทบาทสำคัญยิ่งต่อวิถีชีวิตของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตอบสนองความต้องการด้านต่าง ๆ เช่น เป็นปัจจัยสี่ และเครื่องอำนวยความสะดวกของชีวิตมนุษย์ ในอดีตที่ผ่านมาปัญหาสิ่งแวดล้อมมีน้อย เนื่องจากประชากรของโลกยังมีจำนวนไม่มาก แต่ในปัจจุบันมีประชากรถึง 4,800 กว่าล้านคน จึงมีปัญหาสิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นมากมายจากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติเพื่อการผลิตและมีการปล่อยสารพิษทำลายสิ่งแวดล้อมโดยทางตรงและทางอ้อม ปรากฏการณ์ดังกล่าวพบได้ในทุกมุมโลก เช่น ป่าไม้ถูกทำลาย ที่ดินเสื่อมโทรม น้ำเสีย อากาศเสีย รวมทั้งการปนเปื้อนของสารพิษในพืชผัก และอาหาร ฯลฯ ในประเทศไทยปัญหาพิษสารหนูที่อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นตัวอย่างของพิษภัยจากปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ชัดเจนที่สุด โดยได้มีการตรวจพบผู้ป่วยด้วยโรคไข้ดำครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2530 ที่ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช (นายแพทย์สาธารณสุขจังหวัดนครศรีธรรมราช, 2531) และนำไปสู่การค้นหาสาเหตุและการร่วมมือแก้ไขจากหน่วยงานต่าง ๆ แต่จนปัจจุบันนี้ปัญหาพิษสารหนูยังคงมีอยู่ ซึ่งได้มีการสำรวจหาปริมาณสารหนูและโลหะชนิดอื่น ๆ ในตัวอย่างตะกอนดิน น้ำบ่อ น้ำคลอง ตะกอนท้องน้ำ พืชผัก และเนื้อสัตว์ในเขตตำบลร่อนพิบูลย์หลายครั้ง พบว่าหลายตัวอย่างมีระดับสารหนูสูงผิดปกติ สาเหตุเนื่องจากทำเลที่ตั้งของตำบลร่อนพิบูลย์เป็นพื้นที่ราบที่ประกอบด้วยกรวดหินดินทรายและสินแร่ดีบุกที่ผุพังตามธรรมชาติจากหินแกรนิตบนเทือกเขาใกล้ ๆ บริเวณนั้น ประกอบกับมีการขุดแร่ ร่อนแร่ดีบุกบนเทือกเขามานานกว่า 100 ปีแล้ว สินแร่ดีบุกเหล่านี้มีสารหนูปะปนอยู่ด้วย สารหนูเหล่านี้ส่วนหนึ่งละลายได้ในน้ำ ทำให้สามารถแพร่กระจาย ออกไปได้ไกล ๆ โดยอาศัยลำน้ำธรรมชาติและระบบทางน้ำใต้ดินระดับตื้น ซึ่งห้วยร่อนนาและสาขาเป็นลำน้ำธรรมชาติที่พบว่ามีสารหนูปนเปื้อนอยู่ในระดับสูง ห้วยนี้มีทิศการไหลของน้ำจากเทือกเขาร่อนนาและเขา

สวนจันทร์ไปทางทิศตะวันออกผ่านตำบลร่อนพิบูลย์แตกสาขาเป็นลำคลองน้อยใหญ่แล้วออกสู่ทะเลที่อ่าวปากพนัง สารหนูที่ปนเปื้อนอยู่นั้นบางส่วนละลายอยู่ในน้ำบางส่วนตกตะกอนอยู่ในดิน การแพร่กระจายเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาโดยการเคลื่อนที่ไปกับกระแสน้ำและการเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร ทำให้พืชและสัตว์น้ำมีระดับสารหนูสูงผิดปกติ

เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของสารหนู ปัจจุบันกรมทรัพยากรธรณีได้ทำการเคลื่อนย้ายกองขี้แร่และถมดินบริเวณโรงแต่งแร่ แต่การศึกษาการปนเปื้อนของสารหนูในพืชน้ำและสัตว์น้ำก็ยังมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งหากพบว่ามีการสะสมของสารหนูในพืชน้ำและสัตว์น้ำแล้ว ก็เป็นที่คาดหมายได้ว่าสิ่งมีชีวิตในระดับสูงขึ้นไปของห่วงโซ่อาหารจะได้รับสารหนูเข้าสู่ร่างกายด้วยและประชาชนที่อยู่ในพื้นที่ก็จะมีความเสี่ยงต่อการได้รับสารหนู หากบริโภคพืชน้ำหรือสัตว์น้ำที่มีการปนเปื้อนสารหนูในระดับสูง การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาการปนเปื้อนของสารหนูในสิ่งแวดล้อมที่ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น เนื่องจากทำการศึกษาระดับการปนเปื้อนของสารหนูในพืชน้ำและสัตว์น้ำควบคู่ไปกับการศึกษาระดับการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำและดินตะกอน นอกจากนี้ยังทำการสำรวจดูว่าพืชน้ำและสัตว์น้ำชนิดใดบ้างที่จะเป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพของการปนเปื้อนของสารหนูในระบบนิเวศน้ำจืดได้บ้าง เพื่อช่วยในการคาดคะเนการปนเปื้อนของสารหนูในแหล่งน้ำผิวดิน หรือใช้ระดับสารหนูในน้ำหรือดินตะกอนคาดคะเนระดับสารหนูในพืชน้ำและสัตว์น้ำที่ใช้เป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพ ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้จะทำให้ทราบถึงสถานการณ์ความรุนแรงการปนเปื้อนของสารหนูที่เกิดขึ้นในระบบนิเวศ และยังมีประโยชน์เนื่องจากเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผน การกำหนดแผนการจัดการสิ่งแวดล้อม หรือปรับเปลี่ยนวิธีการป้องกันปัญหาพิษสารหนูในปัจจุบันและอนาคตต่อไป

การตรวจเอกสาร

1. คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารหนู

สารหนู (Arsenic) เป็นธาตุกึ่งโลหะที่มีอยู่แพร่หลายในธรรมชาติ มีเลขอะตอม = 33 น้ำหนักอะตอม = 74.92 วาเลนซี่ = -3, 0 ,+3 และ +5 ความหนาแน่น 5.727 จุดหลอมเหลวที่ 817 °C จุดระเหิดที่ 613 °C (Ronald Eisler,1994 : 190) สารหนูแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ 4 ประเภท (กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2530 : 3-8) ดังนี้

1.1 ประเภทโลหะ (Arsenic, As_4) มีลักษณะเป็นของแข็งหรือผง ไม่ละลายน้ำมี 3 ชนิด คือ

1.1.1 metallic arsenic เป็นรูปที่มีคุณสมบัติคงทนที่สุดภายใต้สภาวะปกติ มีสีเทา มีจุดหลอมละลาย 817°C (ในภาชนะปิดสนิท ภายใต้ความดัน 36 บรรยากาศ)

1.1.2 yellow arsenic ลักษณะเป็นผงสีเหลือง มีความถ่วงจำเพาะ 1.97 และเปลี่ยนรูปเป็น metallic arsenic ได้ง่ายเมื่อถูกแสงหรือความร้อน

1.1.3 amorphous arsenic form เป็นสารหนูที่มีรูปร่างไม่แน่นอน มีสีดำ ความถ่วงจำเพาะ 3.7 และสามารถเปลี่ยนรูปเป็น matallic arsenic ได้ ที่อุณหภูมิ 270°C

1.2 ประเภทสารประกอบอนินทรีย์ของสารหนู (inorganic arsenic compounds) ที่สำคัญ คือ

1.2.1 arsenic trioxide, As_2O_3 เป็นสารเคมีที่ได้จากการถลุงโลหะ arsenic หรือแร่กำมะถันที่มีสารหนูประกอบอยู่ด้วย มีน้ำหนักโมเลกุล 197.82 ประกอบด้วยสารหนู 75.74 % ออกซิเจน 24.26 % มีความถ่วงจำเพาะ 3.74-4.15 จุดเดือดประมาณ 465°C และจะกลายเป็นไอโดยที่ไม่มีการหลอมละลายที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือด (193°C)

1.2.2 arsenic pentoxide หรือ arsenic anhydride, As_2O_5 เป็นสารเคมีที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของ matallic arsenic หรือ arsenic trioxide กับ nitric acid เมื่อนำสารละลายนี้ไประเหย นำส่วนที่เหลือขจัดน้ำออกไปจะได้ผลึก หรือผงสีขาวของ arsenic pentoxide และจะถูกเปลี่ยนไปเป็น arsenic trioxide ด้วยความร้อน มีน้ำหนักโมเลกุล 229.82 ประกอบด้วยสารหนู 65.20 % ออกซิเจน 34.81 % ความถ่วงจำเพาะ 4.086 จุดหลอมละลาย 315° C

1.2.3 arsenous acid , H_3AsO_3 เกิดขึ้นจากการละลายของ arsenic trioxide

1.2.4 arsenic acid หรือ orthoarsenic acid, H_3AsO_4 สังเคราะห์ได้จากการนำ arsenic trioxide ละลายในกรดไนตริก แล้วนำสารละลายนี้ไประเหยจะได้ผลึกสีขาว ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล 141.93 ประกอบด้วยสารหนู 52.78 % ไฮโดรเจน 2.13 % และออกซิเจน 45.09 % ละลายได้ดีในน้ำ แอลกอฮอล์ และกลีเซอรอล

1.2.5 arsenites สูตรโมเลกุลของ arsenites คือ MH_2AsO_3, M_2HAsO_3 และ M_3AsO_3 โดย M คืออิออนที่มีวาเลนซี่ 1 เกลือ arsenites ที่สำคัญได้แก่

1.2.5.1 cupric arsenite, $CuHAsO_3$ หรือเรียกชื่ออื่นว่า Scheele's Green หรือ Swedish Green ซึ่งมีสารหนูเป็นองค์ประกอบ 40 % ลักษณะเป็นผงสีเขียวค่อนข้างเหลือง มีน้ำหนักโมเลกุล 187.5 ไม่ละลายน้ำและแอลกอฮอล์ ละลายได้ในกรดเจือจางและแอมโมเนีย

1.2.5.2 lead arsenite, $Pb(AsO_2)_2$ มีสารหนูเป็นองค์ประกอบ 35 % ตะกั่ว 49 % ลักษณะเป็นผงสีขาว น้ำหนักโมเลกุล 421.03 ความถ่วงจำเพาะ 5.85 ไม่ละลายน้ำ ละลายได้ในกรดไนตริกเจือจาง

1.2.5.3 sodium arsenite, $NaAs_2O_2$ มีสารหนูเป็นองค์ประกอบ 57.6 % ลักษณะเป็นผงสีเทา น้ำหนักโมเลกุล 129.9 ละลายได้ดีในน้ำร้อน หรือน้ำเย็น ละลายได้เล็กน้อยในแอลกอฮอล์

1.2.6 arsenates เป็นเกลือของ arsenic acid ที่สำคัญ คือ

1.2.6.1 calcium arsenate, $Ca_3(AsO_4)_2$ มีสารหนูเป็นองค์ประกอบ 38 % ลักษณะเป็นผงสีขาว น้ำหนักโมเลกุล 396.06 ละลายน้ำได้เล็กน้อย ละลายในกรดเจือจาง

1.2.6.2 lead arsenate, $PbHAsO_4$ มีสารหนูเป็นองค์ประกอบ 21.6 % ตะกั่ว 60 % ลักษณะเป็นผลึกสีขาว น้ำหนักโมเลกุล 347.14 ความถ่วงจำเพาะ 5.79 ไม่ละลายน้ำ ละลายในกรดไนตริกเจือจางและในด่าง

1.2.7 halides of arsenic โดยทั่วไปจะไม่พบ แต่จะพบในการวิเคราะห์ทางเคมี สารประกอบสำคัญในกลุ่มนี้ คือ

1.2.7.1 arsenic trichloride, $AsCl_3$ มีน้ำหนักโมเลกุล 181.28 ประกอบด้วยสารหนู 41.32 % คลอรีน 58.68 % มีลักษณะเป็นของเหลวคล้ายน้ำมัน สีค่อนข้างเหลือง

1.2.7.2 arsenic tribromide, $AsBr_3$ มีน้ำหนักโมเลกุล 314.66 ประกอบด้วยสารหนู 23.81 % โบรมีน 76.19 % เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำเปลี่ยนรูปไปเป็น As_2O_3 และ HBr

1.2.7.3 arsenic trifluoride, AsF_3 เป็นของเหลว มีน้ำหนักโมเลกุล 131.91 ประกอบด้วยสารหนู 56.79 % ฟลูออไรด์ 43.21 %

1.2.8 arsenic sulfides เป็นสารที่มีคุณสมบัติละลายน้ำได้น้อย เมื่ออยู่ในสถานะของน้ำที่ไม่มีออกซิเจน และตัวกลางที่มี hydrogen sulfide สารประกอบนี้จะสะสมและตกตะกอนลงมา สารประกอบที่สำคัญของพวก arsenic sulfides ได้แก่ realgar (tetraarsenic

tetrasulfide), orpiment (arsenic trisulfides) และ arsenic pentasulfides สำหรับ realgar และ orpiment พบในธรรมชาติในของแร่สารหนู ส่วน arsenic trisulfides และ pentasulfide ได้จาก ปฏิกิริยาของ hydrogen sulfide กับ trivalent หรือ pentavalent inorganic arsenic compounds ในสภาวะที่มี hydrochloric acid

1.3 ประเภทสารประกอบอินทรีย์ของสารหนู (organic arsenic compounds) ที่สำคัญ และใช้กันแพร่หลาย ได้แก่ methanearsonic acid, cacodylic acid, methyldihydroxyarsine, trimethylarsine, dimethylhydroxyarsine และ trimethylarsine oxide ส่วนกลุ่มของ aromatic arsenic derivatives ซึ่งเป็นสารที่ใช้เติมในอาหารสัตว์ และยารักษาโรคสัตว์ที่สำคัญ ได้แก่ 4-nitrophenylarsonic acid,3-nitro-4hydroxyphenylarsonic acid, arsanilic acid และ 3-nitro-4-ureidophenylarsonic acid

1.4 ประเภทก๊าซ สารหนูที่ออกมาในรูปก๊าซ คือ arsine หรือ arsenic hydride (AsH_3) เป็นก๊าซที่เกิดขึ้นเมื่อสารประกอบสารหนูอนินทรีย์ทำปฏิกิริยากับ nascent hydrogen หรือเกิดขึ้นเมื่อ matallic arsenic ทำปฏิกิริยากับน้ำให้ก๊าซ arsine ออกมา ก๊าซนี้มีความเป็นพิษสูง ไม่มีสี เป็นก๊าซที่ไม่ก่อให้เกิดความระคายเคือง ละลายได้ในน้ำ และละลายได้เล็กน้อยในแอลกอฮอล์และด่าง

2. แหล่งกำเนิดของสารหนูในสิ่งแวดล้อม

สารหนูมีอยู่ทั่วไปและแพร่กระจายไปยังพื้นที่ทุกแห่งบนผิวโลก โดยอยู่รวมกับหิน สินแร่และดินต่าง ๆ ซึ่งพอจะจำแนกแหล่งกำเนิดสารหนูในสิ่งแวดล้อมได้ดังนี้ (WHO, 1981 : 33-39)

2.1 จากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ

หิน ดิน และดินตะกอน (rocks, soils, sediment) สารหนูจะพบกระจายในแร่ต่าง ๆ ที่พบมากคือรูป arsenides ของทองแดง ตะกั่ว เงิน หรือทอง หรือในรูป sulfide สินแร่ที่มีสารหนูอยู่ได้แก่ arsenopyrite (FeAsS), realgar (As_4S_4) หรือ orpiment (As_2S_3) นอกจากนี้สารหนูยังพบอยู่ในดิน ถ่านหิน ตะกอนและพบปริมาณมากขึ้นในเขตแหล่งของสินแร่ sulfide แม้ในดินที่ไม่มีการปนเปื้อนด้วยสารหนูมาก่อนก็จะพบในปริมาณ 0.2-40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ดินที่มีการปนเปื้อนสารหนูมีสารหนูสูงถึง 550 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

สำหรับปริมาณสารหนูในตะกอนตามธรรมชาติจะน้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง)

อากาศและน้ำ (Particulate matter) ในอากาศและน้ำ จะมีทั้งสารประกอบอนินทรีย์และอินทรีย์ของสารหนู ในน้ำจะพบสารหนูในรูปสารอินทรีย์ ได้แก่ methylarsonic acid และ dimethylarsenic acid ในจำนวนที่น้อยกว่าในรูปสารอนินทรีย์พวก arsenite และ arsenate

ในกลุ่มสิ่งมีชีวิต (Biota) เหล็กและอะลูมิเนียมในดินจะจับกับ arsenate ion ซึ่งจะมีผลต่อการดูดสารของพืช โดยทั่วไปจะพบสารหนูประมาณ 0.01-5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ในพืชที่ปลูกในดินที่ไม่เคยได้รับสารหนูเลย ถ้าในบริเวณที่มีการใช้สารหนูเป็นสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช ปริมาณสารหนูในพืชจะยิ่งสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในราก นอกจากนี้ในสาหร่ายทะเลก็พบสารหนูด้วยเช่นกัน

2.2 จากอุตสาหกรรมและการใช้สารหนู

สารหนูใช้มากในทางการเกษตร ป่าไม้ ในอุตสาหกรรมผลิตสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ใช้ในการเกษตร อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมโลหะผสม และอุตสาหกรรมยา เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้สารประกอบสารหนูในชีวิตประจำวันทั่ว ๆ ไป เช่นสารประกอบ phenylarsenic บางชนิดใช้เป็นสารเจือปนของอาหารเป็ด ไก่ สุกร และยังใช้รักษาโรคได้บ้าง ใช้ทำสีทาและใช้ในอุตสาหกรรมทำแก้วสลับสีหรือแก้วโอปอ เซรามิค ใช้เป็นตัวกันการตกตะกอนในน้ำมันหล่อลื่น และใช้ในการผลิตยารักษาโรคเช่น เป็นยาเจริญอาหาร ยารักษาโรคผิวหนัง

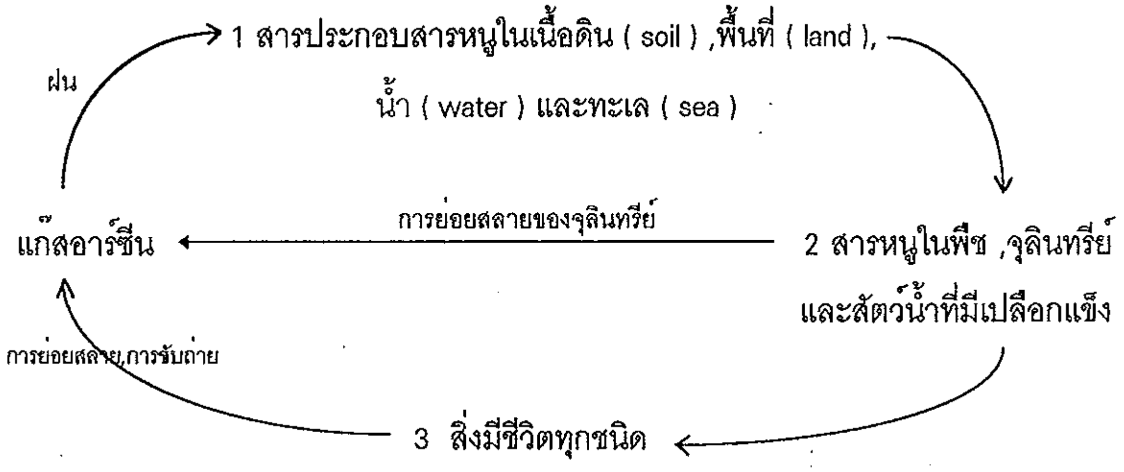
2.3 จากแหล่งมลภาวะในสิ่งแวดล้อม

การเผาไหม้ถ่านหินและการถลุงแร่โลหะก็เป็นแหล่งกำเนิดสารหนูในอากาศที่สำคัญ รวมทั้งการเผาไหม้ไม้ที่ใช้สารรักษาเนื้อไม้ที่มีสารหนูเป็นองค์ประกอบ จะทำให้เกิดการปล่อยสารหนูในบรรยากาศ ขี้เถ้าที่เหลือก็จะมีสารหนูอยู่

3. วัฏจักรและการปนเปื้อนของสารหนูในสิ่งแวดล้อม

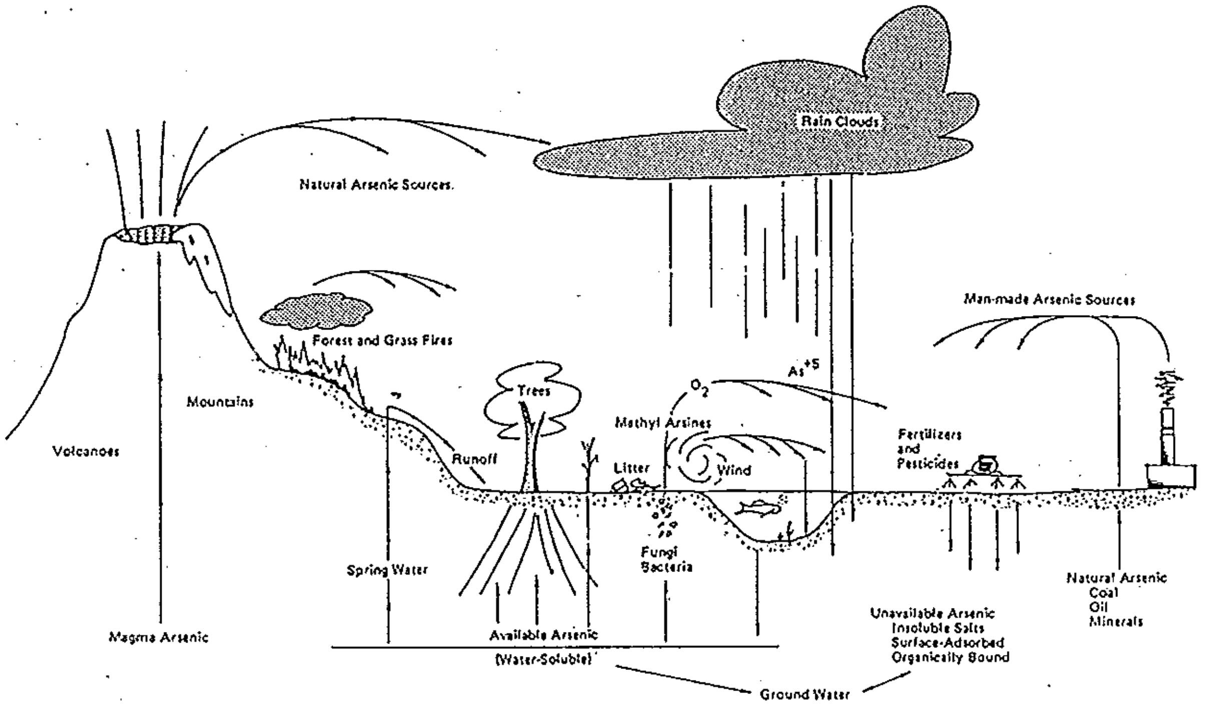
สารหนูมีอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมโดยจะพบสารประกอบสารหนูในดิน น้ำ ดินตะกอน และทะเล แต่จะพบสารหนูในรูปสารประกอบอินทรีย์น้อยกว่ารูปสารประกอบ

อนินทรีย์ และสารหนูสามารถแพร่เข้าสู่สิ่งมีชีวิต โดยจะสะสมในพืช จุลินทรีย์และสัตว์น้ำ เมื่อเกิดการย่อยสลายของจุลินทรีย์จะได้สารหนูในรูปของแก๊สอาร์ซีน และจะกลับมาสะสมในน้ำและดินเมื่อมีฝนตก ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 วัฏจักรของสารหนู (Frost,1967 : 194-208)

วัฏจักรของสารหนูในสิ่งแวดล้อมจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างคงที่ โดยพบสารหนูในทุก ๆ แห่ง สารหนูจะอยู่รวมกับหิน สินแร่และดินต่าง ๆ กระบวนการทางธรรมชาติทำให้สารหนูแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม เกิดการปนเปื้อนของสารหนูในแหล่งน้ำใต้ดิน พืชที่อยู่ในบริเวณที่มีการปนเปื้อนของสารหนู ก็สามารถดูดซับสารหนูได้โดยผ่านขบวนการทางเคมี ในแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนของสารหนูทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำได้รับสารหนูเข้าไปด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้สารหนูแพร่กระจายเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร มนุษย์เป็นผู้ทำให้มีการแพร่กระจายสารหนูในสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง เช่น อุตสาหกรรมถลุงโลหะ อุตสาหกรรมทำเครื่องแก้วและเซรามิค อุตสาหกรรมฟอกหนัง อุตสาหกรรมย้อมสีและอุตสาหกรรมผลิตสารเคมีกำจัดศัตรูพืช นอกจากนี้ยังมาจากอุตสาหกรรมเคมีต่าง ๆ การกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม และการผลิตธาตุแรเอิร์ท (rare earth) อุตสาหกรรมผลิตยาฆ่าแมลงพวก Paris green และแคลเซียม เมตะอาร์โซเนต การใช้ยาปราบศัตรูพืช และอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทำให้มีปริมาณสารหนูอยู่ทั่วไปในปริมาณที่สูง ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 การแพร่กระจายสารหนูในสิ่งแวดล้อม (NAS, 1977 : 70)

<u>การปนเปื้อนสารหนูในน้ำ</u>

โดยทั่วไปสารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำอยู่ทั้งในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สารประกอบอินทรีย์ส่วนใหญ่ได้แก่ กรดเมธิลอาร์โซนิคและกรดไดเมธิลอาร์เซนิค แต่มักมีอยู่ในปริมาณต่ำกว่ารูปสารประกอบอนินทรีย์ เช่น อาร์เซไนต์และอาร์เซเนต และในน้ำที่มีออกซิเจนต่ำพบว่ามีสารอินทรีย์พวกไตรวาเลนต์เป็นส่วนใหญ่ พบว่าสารหนูในน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน มีค่าน้อยกว่า 10 ไมโครกรัม/ลิตร แต่อาจจะมีสูงถึง 1 มิลลิกรัมต่อลิตรได้ (Pershagen and Vahter, 1979 : 1128) ในประเทศไทย ปริมาณสารหนูในแหล่งน้ำผิวดินโดยทั่วไปมีค่าต่ำ จากรายงานการสำรวจคุณภาพน้ำแม่น้ำท่าจีน ปี 2525 ของสำนักคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พบปริมาณสารหนูในแม่น้ำท่าจีนมีค่าเฉลี่ยตลอดปีอยู่ในช่วง 1.2-6.8 ไมโครกรัมต่อลิตร

<u>การปนเปื้อนสารหนูในดิน</u>

ดินที่มีปริมาณสารหนูอยู่สูงมักจะเป็นดินที่ถูกพัดพามาจากเหมืองแร่ และดินที่มีสารอินทรีย์อุดมสมบูรณ์ แหล่งกำเนิดที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนสารหนูในดิน ได้แก่ การ

ประกอบการอุตสาหกรรมต่าง ๆ การทำเหมืองแร่ ถลุงโลหะ อุตสาหกรรมเคมีที่ต้องใช้แร่พวกกำมะถันและฟอสฟอรัส การเผาไหม้ถ่านหิน โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พื้นพิภพและกิจกรรมการเกษตรต่าง ๆ ในธรรมชาติดินที่ไม่มีการปนเปื้อนสารหนูจะมีสารหนูตั้งแต่ 0.1-40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยเฉลี่ย 5-6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่จะขึ้นอยู่กับสภาพทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่นั้น ๆ ด้วย (NAS, 1977) ในหินและแร่พวก iron pyrite (FeS_2) จะพบสารหนูมากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (NRCC, 1978 : 1-349) สารหนูสามารถสะสมได้สูงถึง 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในดินเหนียว (fine soil) ซึ่งมีพวกออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียม แต่จะสะสมได้น้อยในดินทราย (sandy soil) ซึ่งมีออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียมน้อย (NAS, 1977 : 43)

<u>การปนเปื้อนสารหนูในพืช</u>

ปริมาณสารหนูที่ปนเปื้อนในพืชจะมากหรือน้อยก็ขึ้นกับชนิดของพืช อัตราการเจริญเติบโต สภาพของดินที่เพาะปลูก และแหล่งกำเนิดมลพิษ (NAS, 1977 : 48-53) ความเข้มข้นของสารหนูในพืชที่เพาะปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อนอยู่ในช่วง 0.009-1.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยน้ำหนักแห้ง และพบว่าใบของพืชจำพวกผักมีปริมาณสารหนูสูงกว่าพืชชนิดอื่น ๆ ผลไม้มีสารหนูอยู่ค่อนข้างต่ำ และเห็ดต่าง ๆ สามารถสะสมสารหนูได้ค่อนข้างสูง พืชทั่วไปมักสะสมสารหนูในรากสูงกว่าส่วนอื่น ๆ หญ้าบางชนิดที่ปลูกบนดินที่ปนเปื้อนสารหนูอยู่สูงจะสะสมปริมาณสารหนูเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน (อ้างตามสมพรและอุดมลักษณ์, 2531 : 88)

<u>การปนเปื้อนสารหนูในสัตว์น้ำ</u>

สารหนูมีอยู่ทั่วไปในสัตว์เพราะสัตว์สามารถรับสารหนูเข้าสู่ร่างกายได้โดยสารหนูจะปนเปื้อนอยู่ในพืชที่กิน ในน้ำที่ดื่ม ในอากาศที่หายใจ (NAS, 1977 : 53) ปริมาณสารหนูในสัตว์น้ำเค็ม จะมีค่าแตกต่างกันไปไม่ว่าจะเป็นในตับ ในเนื้อเยื่อ แต่จะมีค่าสูงที่สุดในไขมัน และปริมาณสารหนูที่สะสมในสัตว์ยังขึ้นอยู่กับอายุของสัตว์น้ำ สภาพพื้นที่อยู่อาศัย (Ronald Eisler, 1994 : 213) สารหนูที่สะสมใน Crustacean ที่ขายอยู่ โดยเก็บจากชายฝั่งของสหรัฐอเมริกา มีค่า 3-10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) (Hall et al., 1978) หรือประมาณ 1-10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) (Fowler and unlu, 1978 : 711-720) ในฮ่องกง ปริมาณสารหนูที่อนุญาตให้มีในอาหารทะเลสำหรับบริโภค อยู่ในช่วง 6-10

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) อย่างไรก็ตามค่าที่ตรวจพบจะมีค่าเกินกว่าที่กำหนด โดยพบสารหนูสูงเกินมาตรฐานคิดเป็น 22 % ในปลา, 29 % ในปู, 20 % ในหอยสองฝา, 21 % ในกุ้งเล็กและ 100 % ในกุ้งตัวใหญ่ (phillips et al., 1982 : 27-45)

4. การดูดซึมเข้าสู่ร่างกายและความเป็นพิษของสารหนู

4.1 สารหนูสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 4 ทาง (WHO, 1981 : 67-70) คือ

4.1.1 ผ่านทางเดินหายใจ การดูดซึมขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของสารประกอบสารหนู สารประกอบสารหนูที่มีขนาดเล็กและละลายได้ในน้ำจะถูกดูดซึมเข้าปอดอย่างรวดเร็ว สารที่มีขนาดใหญ่ จะติดอยู่ในทางเดินหายใจส่วนบน และถูก cilia ขับออกมาเข้าสู่ทางเดินอาหาร

4.1.2 ผ่านทางเดินอาหาร การดูดซึมขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบสารหนูชนิดนั้น การดูดซึมจะมีค่อนข้างต่ำในช่องปากและกระเพาะอาหาร แต่จะดูดซึมได้ดีในลำไส้เล็ก

4.1.3 ผ่านทางผิวหนัง พบว่าสารประกอบอนินทรีย์สารหนูบางชนิด เช่น arsenic acid, arsenic trioxide และ arsenic trichloride สามารถซึมผ่านผิวหนังได้

4.1.4 ผ่านทางรก สารหนูสามารถผ่านทางรกไปยังทารกในครรภ์ได้ ระดับสารหนูในเลือดของทารกจะสูงเท่ากับระดับสารหนูในเลือดของมารดา ในบางกรณีสารหนูสามารถทำให้ทารกในครรภ์พิการ หรือเสียชีวิตได้

4.2 ความเป็นพิษของสารหนู จำแนกตามประเภทของสารประกอบ (WHO, 1981 : 140-144) ดังนี้

4.2.1 สารประกอบอนินทรีย์ของสารหนู จะมีพิษเฉียบพลันและกึ่งเฉียบพลันต่ออวัยวะหลายระบบเช่น ทางเดินหายใจ ทางเดินอาหาร หัวใจและหลอดเลือด รวมทั้งระบบเลือด จากการศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่า ชนิด trivalent จะมีความเป็นพิษสูงกว่าชนิด pentavalent และสารหนูในสภาวะสารละลายจะมีความเป็นพิษสูงกว่าสารหนูที่ไม่ละลาย เนื่องจากถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้มากกว่า ปริมาณที่ทำให้ตายจะแตกต่างกันไปตามชนิดของสารหนูนั้น ๆ อาการสำคัญคือ การผิดปกติของกระเพาะอาหารและลำไส้ โดยเกิดจากการอักเสบของกระเพาะอาหารและลำไส้อย่างรุนแรง ทำให้มีอาการอาเจียน ปวดท้องอย่าง

รุนแรง ถ่ายอุจจาระเป็นน้ำหรือเป็นเลือด การบวมของใบหน้า และความผิดปกติของหัวใจ แสบร้อนในลำคอ คอตีบ ลมหายใจและอุจจาระมีกลิ่นเหมือนกระเทียม กระหายน้ำ ผิวหนังเย็นและชื้น ไข้สูง หน้าซีด อ่อนเพลีย สั่นกระตุก ความดันต่ำ ชัก หมดสติ เนื่องจากร่างกายเสียน้ำและเกลือแร่

สารหนูจะมีพิษเรื้อรังถ้าได้รับติดต่อกันเป็นเวลานาน จะทำให้มีอาการอ่อนเพลีย เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน จมูก และเหงือกมีเลือดออก ตาอักเสบ กระหายน้ำ เสียงแหบ ไอ ผิวหนังอักเสบ ตกสะเก็ดและลอกอย่างรุนแรง ฝ่ามือและฝ่าเท้าลอก เล็บหักง่าย ข้อเท้าและหนังตาล่างบวม คอเป็นสีดำ หนังตาและหัวนมดำ ลมหายใจมีกลิ่นเหมือนกระเทียม ไตอาจอักเสบเรื้อรัง ปัสสาวะไม่ออก ตับแข็ง ดีซ่าน มีพิษต่อระบบประสาทส่วนปลาย ชาตามมือและปลายเท้าจนกลายเป็นอัมพาตได้ มือเท้าห้อย ผมร่วง สั่นกระตุก ลำไส้ใหญ่อักเสบ ปวดท้องอย่างรุนแรง ชักเนื่องจากขาดอ๊อกซิเจน โลหิตจาง และเป็นมะเร็งที่ผิวหนังได้

4.2.2 สารประกอบอินทรีย์ของสารหนู จะมีความเป็นพิษสูงต่ออวัยวะบางระบบ ในขณะที่สารหนูอินทรีย์ในอาหารทะเลจะมีความเป็นพิษต่ำ จากการที่ได้มีการนำสารหนูอินทรีย์บางชนิดมาทำเป็นยา ทำให้เกิดอาการข้างเคียงต่ออวัยวะต่าง ๆ มากมาย เช่น ผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง ผิวหนังอักเสบ ตับถูกทำลาย และระบบเลือดผิดปกติ เป็นต้น ในอาหารทะเลบางชนิด จะพบปริมาณของสารประกอบอินทรีย์ของสารหนูสูง แต่การเกิดพิษอย่างเฉียบพลัน และกึ่งเฉียบพลันจากสารหนูในอาหารทะเลค่อนข้างต่ำ ส่วนกรณีพิษเรื้อรังนั้น ความเป็นพิษยังไม่สามารถสรุปได้

5. สภาพปัญหาความเป็นพิษของสารหนูในประเทศไทย

เนื่องจากในปี พ.ศ.2530 ได้มีการตรวจพบผู้ป่วยโรคไข้ดำที่ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช และนำไปสู่การค้นหาสาเหตุของการเกิดโรค ปรากฏว่าโรคไข้ดำที่เกิดกับผู้ป่วยมีสาเหตุมาจากการดื่มน้ำที่ปนเปื้อนสารหนู ซึ่งเกิดจากกระบวนการขุดแร่ ร่อนแร่ ทำให้สารหนูมีการแพร่กระจายในแหล่งน้ำต่าง ๆ ที่ประชาชนนำไปบริโภค จากปัญหาดังกล่าวได้มีการร่วมมือแก้ไขปัญหาพิษสารหนูจากหน่วยงานต่าง ๆ แต่จนปัจจุบันนี้ปัญหาพิษสารหนูยังคงมีอยู่ โดยมีรายงานการศึกษาว่าพืชผักและผลไม้

ส่วนหนึ่งมีระดับสารหนูที่สูงผิดปกติ ส่วนประเภทเนื้อสัตว์นั้นพบว่าหอยขมสะสมสารหนูได้สูงที่สุด (1.52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมาได้แก่ กุ้ง (0.48 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และปลา (0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามลำดับ (กองวิชาการ สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2530) และพบว่าคนงานในโรงงานร่อนแร่ป่วยด้วยโรคพิษสารหนูเรื้อรังในอัตรา 46 % นอกจากนี้น้ำทิ้งจากโรงงานร่อนแร่ยังมีความเข้มข้นของสารหนู 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าค่าที่กำหนดของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (มีสารหนูได้ไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) ถึง 16 เท่า (อรพรรณ์ เมธาดิลกกุลและคณะ, 2530)

ต่อมาในปี พ.ศ.2531 กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ได้ทำการศึกษาปริมาณสารหนูในตัวอย่างพืช ผัก และผลไม้ที่ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่ามีระดับสารหนูเฉลี่ย 0.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่างพืชผักที่มีสารหนูสูงได้แก่ ผักโขม มะม่วง คื่นช่าย กระเพรา มีระดับสารหนู 1.62, 1.53, 1.56 และ1.54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนปริมาณสารหนูในปลาน้ำจืดที่จับในแม่น้ำลำคลองรอบ ๆ ตำบลร่อนพิบูลย์ พบว่ามีค่าเฉลี่ย 0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่างปลาช่อนมีสารหนู 0.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กุ้งแม่น้ำมีสารหนู 0.43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สูงสุด 0.81 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตำบลควนชุม) สัตว์น้ำจืดที่พบมีระดับสารหนูเกินมาตรฐานคือ หอยขม ที่ตำบลนาพลู อำเภอเมือง มีถึง 2.88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เฉลี่ย 1.52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (นายแพทย์สาธารณสุขจังหวัดนครศรีธรรมราช, 2531)

ในปี พ.ศ.2532 ได้มีการตรวจหาปริมาณโลหะหนักตกค้างในหอยแครงสดที่ซื้อจากตลาดในกรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียงรวม 30 ตัวอย่าง พบว่ามีทองแดง ดีบุก สังกะสี ปรอทและตะกั่วในปริมาณที่ต่ำกว่ามาตรฐานมาก แต่พบสารหนูเกินมาตรฐาน 10 ตัวอย่าง ปริมาณสารหนูสูงสุดที่พบคือ 2.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2532)

ในปี พ.ศ. 2534 ได้มีการศึกษาปริมาณสารหนูทั้งในแหล่งน้ำ พืช ผัก ผลไม้ และเส้นผมของชาวบ้านในพื้นที่ ต.ร่อนพิบูลย์ อ.ร่อนพิบูลย์ ในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงและพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่ำ ผลการศึกษาพบการปนเปื้อนของสารหนูในแหล่งน้ำในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูง มีค่าพิสัยระหว่าง 0.055-5.560 มิลลิกรัมต่อลิตร การตรวจปริมาณสารหนูในเส้นผมของชาวบ้านในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงและ พื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่ำมีค่าพิสัยระหว่าง 0.26-

19.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 0.10-13.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในพืชผักและผลไม้ พบว่าปริมาณสารหนูยังไม่เกินมาตรฐานตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข (2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (ณรงค์ ณ เชียงใหม่, 2534) สำหรับปริมาณสารหนูในตัวอย่างดิน ตะกอนท้องน้ำและน้ำในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงต่อพิษสารหนูใน ต.ร่อนพิบูลย์ ครอบคลุมพื้นที่ 12 ตารางกิโลเมตร พบว่าปริมาณสารหนูในดิน ในตะกอนท้องน้ำ และในน้ำอยู่ในช่วง 50-5,300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ,120-6,700 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 0.026-1.45 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (สุรพล อารีย์กุล, 2534)

ในปี พ.ศ.2535 จากงานวิจัยของ ไพชยนต์ เจริญศรี พบว่าการตรวจสอบสภาพพื้นที่บนเทือกเขาร่อนนาพบแหล่งแร่ที่ยังคงมีกองขี้แร่อาร์เซโนไพไรต์หลงเหลืออยู่ประมาณ 4 แหล่ง และจากการตรวจสอบการแพร่กระจายของสารหนูในแหล่งน้ำผิวดิน พบการปนเปื้อนของสารหนูสูงเกินมาตรฐานเกือบทุกตัวอย่าง ทั้งน้ำบนยอดเขาก่อนที่จะนำมาใช้และน้ำที่ไหลออกจากพื้นที่ร่อนพิบูลย์และมีการศึกษาหาปริมาณสารหนูและแคดเมียม ในน้ำ เส้นผม และเล็บของชาวบ้านในอำเภอร่อนพิบูลย์จากการศึกษาพบว่าปริมาณสารหนูและแคดเมียมในน้ำมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่องค์การอนามัยโลกกำหนดรวมทั้งพบปริมาณสารหนูและแคดเมียมในเส้นผมและเล็บของชาวบ้านด้วย (Hironaka, H. และคณะ, 2535)

ในปี พ.ศ.2537 วรพิณ วิทยวราวัฒน์ ทำการศึกษาการปนเปื้อนของสารหนู แคดเมียมและตะกั่วในลุ่มแม่น้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ผลการศึกษาพบว่าปริมาณสารหนูมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำดื่มที่องค์การอนามัยโลกกำหนดไว้(0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยปริมาณสารหนูที่ตรวจพบมีค่าพิสัยระหว่าง 0.02-0.43 มิลลิกรัมต่อลิตร และในตะกอนท้องน้ำมีค่าพิสัยระหว่าง 6.89-381.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ จริยา อินทรรัศมี (2537) ได้ทำการศึกษาปริมาณสารหนูในปลาช่อนที่จับในอำเภอร่อนพิบูลย์ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.076-0.477 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยมีค่าเฉลี่ย 0.224 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และพบว่าเมื่อทำให้สุกโดยการต้ม 5 ,10 และ 15 นาที ปริมาณสารหนูจะลดลงร้อยละ 51.34 ,62.50 และ 70.98 ตามลำดับ หากทำให้สุกโดยการทอด 5 ,10 และ 15 นาที ปริมาณสารหนูลดลงร้อยละ 16.52 ,24.55 และ 30.36 ตามลำดับ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการปนเปื้อนของสารหนูในตัวอย่างพืชน้ำและสัตว์น้ำบริเวณตำบลร่อนพิบูลย์ถึงลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช
2. เพื่อหาความสัมพันธ์ของระดับสารหนูในตัวอย่างพืชน้ำ สัตว์น้ำกับระดับสารหนูในตัวอย่างน้ำและดินตะกอน ในบริเวณเดียวกัน
3. เพื่อสำรวจดูว่าพืชน้ำและสัตว์น้ำชนิดใดที่อาจใช้เป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพ ซึ่งบอกความมากน้อยของการปนเปื้อนของสารหนูในสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้นได้

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยสารเคมีระดับคุณภาพวิเคราะห์ ดังนี้

Arsenic standard solution	Merck, Germany
Nitric acid	Merck, Germany
Nickle(II) - chloride	Merck, Germany

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำ
   - ขวดพลาสติก (High Density Polyethylene ; HDPE) ขนาด 500 ml
   - ถังน้ำแข็งสำหรับแช่ตัวอย่าง
   - ถุงพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่างดินตะกอน พืชน้ำ และสัตว์น้ำ
   - เครื่องมือเก็บตัวอย่างน้ำ (Water Sampler) ชนิด Kemmer
   - เครื่องมือเก็บตัวอย่างดินตะกอน (Grab Sampler) ชนิด Ekman Bottom Grab
2. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างในภาคสนาม
   - เครื่องตรวจสอบคุณภาพน้ำ (U-10 Horiba, Ltd. Kyoto Japan)
   - GPS (Global Positioning System ; IPS - 360 Sony, Japan)
3. อุปกรณ์ในการย่อยตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ
   - เครื่องย่อยตัวอย่าง (Microwave Digestion) ; MDS-2000 CEM Corporation, USA.
   - ตู้อบความร้อน (Drying Oven) 25-180 องศาเซลเซียส : Clayson New Zealand
   - เครื่องร่อนคัดขนาด 80 เมช
   - เครื่องชั่งแบบละเอียด (Analytical balance) ; Sartorius Model B 3100S Germany

- เครื่องเซนตริฟิวจ์ (Centrifuge) ; H-11 Kokusan Enshinki Co., Ltd. Japan
- อุปกรณ์เครื่องแก้วที่จำเป็นอื่น ๆ

4. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในห้องปฏิบัติการ
   - เครื่องอะตอมมิกแอบซอพชั่นสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แบบแกรไฟต์ เฟอร์เนส (Graphite Furnance Atomic Absorption Spectrophotometer) ; GTA 100 SpectrAA - 800 Varian
   - อุปกรณ์เครื่องแก้วที่จำเป็นอื่น ๆ

วิธีดำเนินการ

การศึกษาแบ่งเป็น 2 ระยะ ระยะแรกเป็นการสำรวจเชิงกว้าง เพื่อศึกษาการปนเปื้อนของสารหนูในพืชน้ำ สัตว์น้ำ น้ำ และดินตะกอน ในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างและระยะที่สองเป็นการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ของระดับสารหนูในพืชน้ำและสัตว์น้ำที่น่าสนใจกับระดับสารหนูในน้ำและดินตะกอน เพื่อดูว่ามีความเหมาะสมในการใช้เป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งรายละเอียดวิธีดำเนินการศึกษามีดังนี้

1. การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง

ทำการกำหนดสถานีเก็บตัวอย่างในแผนที่ของกรมแผนที่ทหารบก ลำดับชุดระวางที่ 4925I 4952II 5025III และ5025IV มาตราส่วน 1 : 50,000 โดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยคำนึงถึงแหล่งที่ก่อให้เกิดการแพร่กระจายของสารหนูเป็นหลัก ซึ่งได้แก่บริเวณลำคลองที่ไหลจากตำบลร่อนพิบูลย์ ถึงลุ่มน้ำปากพนัง ดังนี้

1.1 การศึกษาระยะแรก ได้ทำการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 1 และ 2 เพื่อทำการศึกษาการปนเปื้อนของสารหนูในพืชน้ำ สัตว์น้ำ น้ำ และดินตะกอน ซึ่งแสดงในแผนที่จุดเก็บตัวอย่าง (ภาพประกอบ 3-9)

จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 คือ คลองร่อนนา ต.ร่อนพิบูลย์ อ.ร่อนพิบูลย์

จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 คือ คลองแม่กลอง ต.ควนพัง อ.ร่อนพิบูลย์

จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 คือ คลองชะเมา ต.ท่าเรือ อ.เชียรใหญ่

จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 คือ คลองหัวตรุด ต.ปากนคร อ.เมืองนครศรีธรรมราช

จุดเก็บตัวอย่างที่ 5 คือ คลองชะอวด ต.บ้านเนิน อ.เชียรใหญ่

จุดเก็บตัวอย่างที่ 6 คือ แม่น้ำปากพนัง ต.ปากพนัง อ.ปากพนัง

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนของสารหนูในพืชน้ำและสัตว์น้ำ ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2 ได้นำค่าผลการวิเคราะห์มาหาสัดส่วนการสะสมปริมาณสารหนูในพืชน้ำและสัตว์น้ำต่อปริมาณสารหนูในน้ำและดินตะกอนบริเวณเดียวกัน เพื่อหาชนิดของพืชน้ำและสัตว์น้ำที่มีการสะสมปริมาณสารหนูสูง แล้วดำเนินการเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาว่าพืชน้ำและสัตว์น้ำชนิดนั้น ๆ สามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพได้หรือไม่

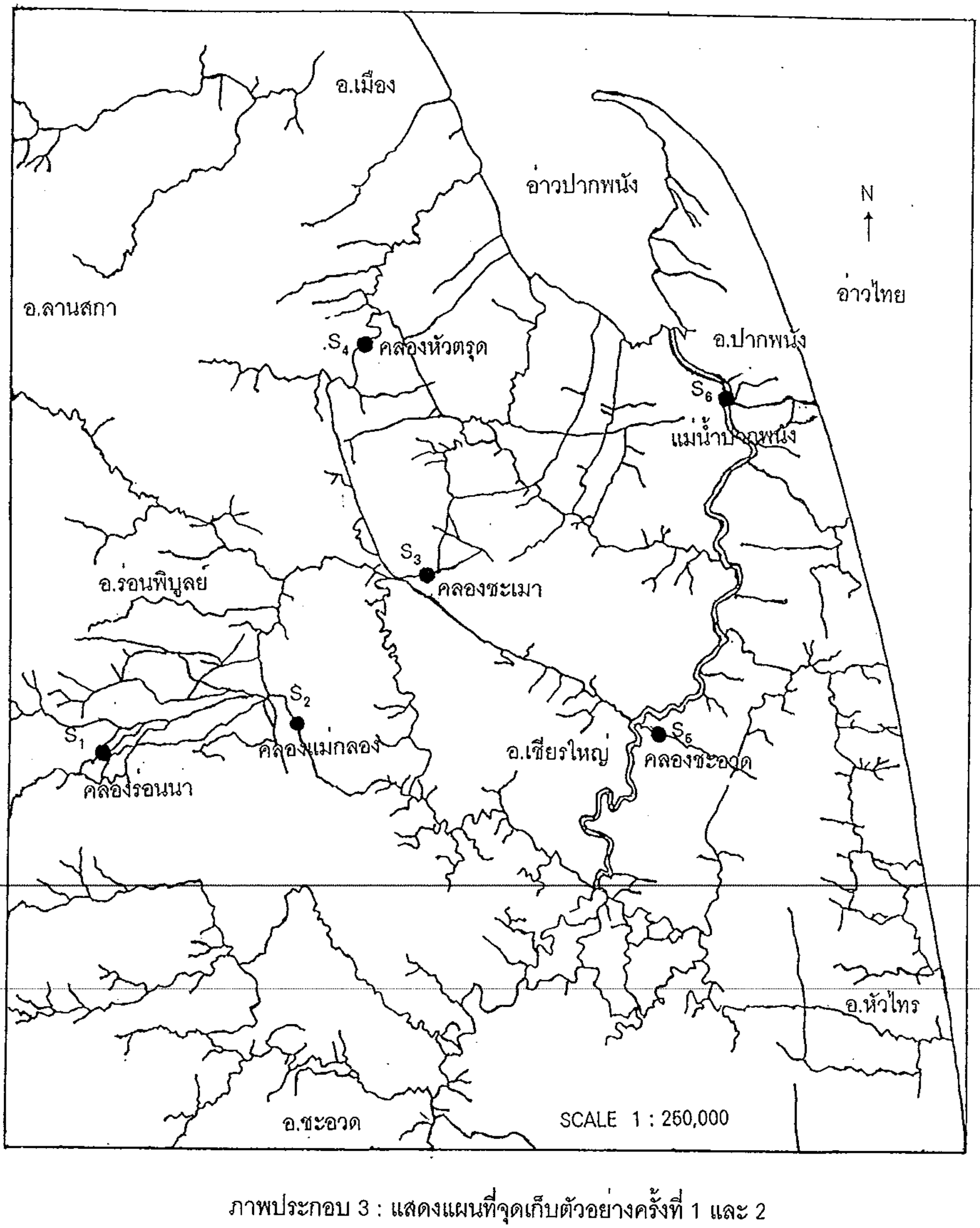
1.2 การศึกษาระยะที่สอง ดำเนินการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 3 ได้เปลี่ยนแปลงสถานีเก็บตัวอย่างใหม่ โดยเน้นที่การมีชนิดของพืชน้ำและสัตว์น้ำที่สนใจในจุดที่เก็บตัวอย่าง และการมีระดับความเข้มข้นของสารหนูลดหลั่นลงมาตามลำดับของสถานีเก็บตัวอย่าง เพื่อให้ง่ายต่อการดูระดับสารหนูในน้ำและดินตะกอน แสดงในแผนที่จุดเก็บตัวอย่าง(ภาพประกอบ 10-14)

จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 คือ คลองแม่กลอง ต.ควนพัง อ.ร่อนพิบูลย์

จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 คือ คลองไร่ลุ่ม ต.ควนพัง อ.ร่อนพิบูลย์

จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 คือ คลองชะเมา ต.ท่าเรือ อ.เชียรใหญ่

จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 คือ คลองฆ้อง ต.สวนหลวง อ.เชียรใหญ่



ภาพประกอบ 3 : แสดงแผนที่จุดเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2

จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 คลองร่อนนา

จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 คลองแม่กลอง

จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 คลองชะเมา

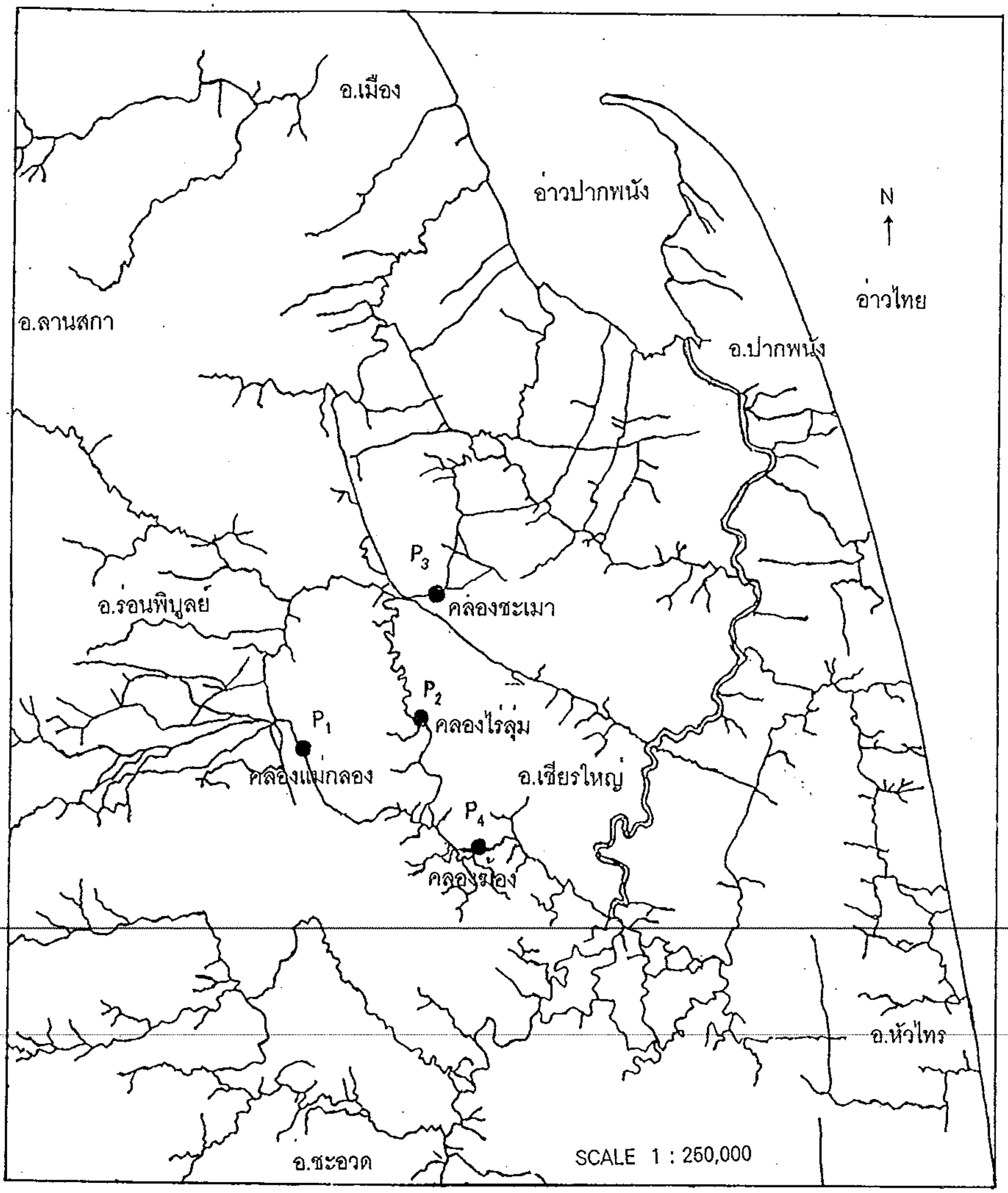
จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 คลองหัวตรุด

จุดเก็บตัวอย่างที่ 5 คลองชะอวด

จุดเก็บตัวอย่างที่ 6 แม่น้ำปากพนัง

ภาพประกอบ 4-9 . แสดงจุดเก็บตัวอย่างที่ 1-6 เก็บตัวอย่างครั้งที่ 1และ 2

CENTRAL LIBRARY
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY



ภาพประกอบ 10 : แสดงแผนที่จุดเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3

จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 คลองแม่กลอง

จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 คลองไร่ลุ่ม

จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 คลองชะเมา

จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 คลองฆ้อง

ภาพประกอบ 11-14 : แสดงจุดเก็บตัวอย่างที่ 1-4 เก็บตัวอย่างครั้งที่ 3

2. การกำหนดชนิดตัวอย่าง ได้ทำการเก็บชนิดตัวอย่างเพื่อให้ครอบคลุมระบบนิเวศของแต่ละสถานีดังนี้

2.1 ตัวอย่างพืชน้ำ ได้แก่ หญ้า, ผักบุ้ง, ผักตบชวา, สาหร่าย, จอก และแหน

2.2 ตัวอย่างสัตว์น้ำ ได้แก่ ปลา (ปลากินพืชและปลากินสัตว์), กุ้ง และหอย (หอยฝาเดียว และหอยสองฝา)

2.3 ตัวอย่างน้ำ

2.4 ตัวอย่างดินตะกอน

3. การเก็บตัวอย่าง

3.1 การเก็บตัวอย่างระยะแรก ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 ดำเนินการเก็บตัวอย่างในเดือน สิงหาคม 2539 และครั้งที่ 2 ดำเนินการเก็บตัวอย่างในเดือน ธันวาคม 2539 ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างพืชน้ำ สัตว์น้ำ น้ำ และดินตะกอน ในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนสารหนูตลอดลำคลองจากตำบลร่อนพิบูลย์ถึงลุ่มน้ำปากพนัง เพื่อทำการศึกษาการปนเปื้อนของสารหนู ตลอดจนศึกษาปริมาณสารหนูที่สะสมในตัวอย่างชนิดต่าง ๆ และตัวอย่างที่เก็บเป็นตัวอย่างผสม (Composite Sample) สำหรับพืชน้ำหรือสัตว์น้ำแต่ละชนิด ซึ่งมีการกำหนดขนาดของพืชน้ำและสัตว์น้ำ โดยจะต้องมีขนาดโตเต็มที่ และใช้สำหรับบริโภค

3.2 การเก็บตัวอย่างระยะที่สอง ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 ในเดือนเมษายน 2540 ซึ่งเป็นการเก็บตัวอย่างเพื่อทำการศึกษาถึงชนิดตัวอย่างที่อาจจะใช้เป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพในสิ่งแวดล้อมได้ โดยดำเนินการศึกษาและตั้งสมมติฐานว่า ถ้าพบว่าพืชน้ำหรือสัตว์น้ำชนิดใดเป็นตัวแทนที่ดีของจุดที่ทำการเก็บตัวอย่าง, มีอยู่ทั่วไป, ง่ายต่อการเก็บตัวอย่าง, ง่ายต่อการจำแนกชนิด และมีการสะสมสารหนูในปริมาณสูง และมีระดับสารหนูสัมพันธ์กับระดับสารหนูในน้ำหรือดินตะกอน (Samecra-Cymerman and Kempers : 1996, 242, quoting Franzin and McFarlane, 1980 ; UNEP : 1990, 15) ก็สามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพได้

หมายเหตุ : วิธีการเก็บตัวอย่างยึดหลักการเก็บตัวอย่างของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 (ภาคผนวก ก-ค)

4. วิธีการเก็บตัวอย่างในภาคสนาม

4.1 ตัวอย่างน้ำ เก็บไว้ในภาชนะพลาสติกพร้อมทั้งเก็บรักษาด้วยการเติมกรดไนตริกเข้มข้นจำนวน 2 มิลลิลิตรต่อตัวอย่างน้ำ 1 ลิตร ซึ่งทำให้ตัวอย่างน้ำมีค่าพีเอชต่ำกว่า 2 เพื่อป้องกันไม่ให้ธาตุตกตะกอนหรือเกิดการดูดซับกับผนังของภาชนะที่ใส่ ปิดฝาให้แน่นและแช่ตัวอย่างน้ำไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส ระหว่างรอการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

4.2 ตัวอย่างดินตะกอน เก็บไว้ในถุงพลาสติกที่แห้ง และสะอาดเก็บไว้ไม่ให้ถูกแสงแดดและความร้อน จนกระทั่งถึงสถานีที่ทำการวิจัยจึงนำดินตัวอย่างใส่ถาด ซึ่งรองด้วยพลาสติก ผึ่งแดด จากนั้นจึงบดดินที่แห้งสนิทนี้ให้ละเอียด ร่อนคัดขนาดด้วยตะแกรงขนาด 80 เมช และเอาเฉพาะขนาดทรายละเอียด (Fine Sand) มาวิเคราะห์หาปริมาณสารหนู โดยย่อยตัวอย่างกับกรดไนตริก ด้วยเครื่องย่อยไมโครเวพ ก่อนนำไปวัดปริมาณสารหนู ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอพชั่นสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แบบแกรไฟต์ เฟอร์เนส

4.3 ตัวอย่างพืชน้ำและสัตว์น้ำแต่ละชนิด ล้างด้วยน้ำบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่าง ทำการวัดขนาดความยาว และชั่งน้ำหนัก เก็บไว้ในถุงพลาสติกที่สามารถปิดถุงได้มิดชิดแล้วแช่เย็นในถังน้ำแข็ง ขนส่งกลับมาที่ห้องปฏิบัติการแล้วเก็บไว้ในตู้เย็นแช่แข็งจนถึงเวลาวิเคราะห์ (สำหรับตัวอย่างหอย ทำการแช่น้ำสะอาดเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนแช่แข็ง)

5. วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง

5.1 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างในภาคสนาม

- ใช้เครื่อง GPS (Global Positioning System) วัดพิกัดจุดเก็บตัวอย่าง

- ใช้เครื่องตรวจสอบคุณภาพน้ำ (U-10 Horiba) วัดค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเค็ม และอุณหภูมิ

5.2 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

5.2.1 การย่อยตัวอย่าง ก่อนการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูได้ทำการย่อยตัวอย่างพืชน้ำ สัตว์น้ำ และดินตะกอนกับกรดไนตริก ด้วยเครื่องย่อยไมโครเวพ ดังนี้

5.2.1.1 ตัวอย่างพืชน้ำและสัตว์น้ำ ล้างตัวอย่างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ แล้วหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ด้วยมีดแสตนเลส (ตัวอย่างปลาใช้ส่วนเนื้อบริเวณ

ลำตัว ตัวอย่างหอยใช้เนื้อทั้งตัว ตัวอย่างกุ้งแกะหัวและเปลือกออกใช้ทั้งตัว ตัวอย่างพืชน้ำใช้ทุกส่วนรวมกัน) จากนั้นบดให้ละเอียดด้วยครกบดยา และทำการชั่งตัวอย่าง ๆ ละ 0.5 กรัม เติมกรดไนตริกเข้มข้นจำนวน 2 มิลลิลิตร แล้วทำการย่อยด้วยเครื่องย่อยไมโครเวพจนเป็นสารละลายใส เป็นเวลา 50 นาที (CEM Corporation,1994) ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ทำการปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นปราศจากอิออน

5.2.1.2 ตัวอย่างดินตะกอน นำดินตะกอนที่ผึ่งแดดหรืออบให้แห้งสนิทและทำการร่อนคัดขนาดด้วยตะแกรงขนาด 80 เมชแล้ว นำมาชั่ง 0.1 กรัม เติมกรดไนตริกเข้มข้นจำนวน 2 มิลลิลิตร แล้วทำการย่อยด้วยเครื่องย่อยไมโครเวพ เป็นเวลา 60 นาที (CEM Corporation,1994) ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ทำการปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นปราศจากอิออน

5.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารหนู นำตัวอย่างที่ทำการย่อยแล้วมาวิเคราะห์ปริมาณสารหนู ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอพชั่นสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แบบแกรไฟต์ เฟอร์เนส ที่ความยาวคลื่น 193.7 nm

วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณสารหนูในพืชน้ำ สัตว์น้ำหรือดินตะกอน} = \frac{A \times 25}{B} \ \mu g/g \ (ppm)$$

เมื่อ A = ค่าความเข้มข้นที่ได้จากการอ่าน μg/ml

B = น้ำหนักเป็นกรัม (g) ของพืชน้ำ สัตว์น้ำ หรือดินตะกอน

25 = ปริมาณของสารละลาย (ml)

6. การนำเสนอข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและแปลผล โดยหาค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$), ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) และหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารหนูในพืชน้ำและสัตว์น้ำกับระดับสารหนูในน้ำและดินตะกอนด้วยวิธี Linear Regression Analysis

บทที่ 3

ผล

1. การศึกษาปริมาณการปนเปื้อนของสารหนู

ทำการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ซึ่งเก็บตัวอย่างพืชน้ำ สัตว์น้ำ น้ำ และดินตะกอน บริเวณลำคลองที่ไหลจากตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ ถึงลุ่มน้ำปากพนัง อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 6 สถานี ดังตาราง 1

ตาราง 1 แสดงคำอธิบายสถานีเก็บตัวอย่าง

สถานี	บริเวณจุดเก็บตัวอย่าง	พิกัด
S_1	คลองร่อนนา ต.ร่อนพิบูลย์ อ.ร่อนพิบูลย์	N 8°11' 33.3" E 99°49' 56.7"
S_2	คลองแม่กลอง ต.ควนพัง อ.ร่อนพิบูลย์	N 8°13' 55.6" E 99°56' 38.3"
S_3	คลองชะเมา ต.ท่าเรือ อ.เมือง	N 8°15' 00.1" E 100° 00' 24.3"
S_4	คลองหัวตรุด ต.ปากนคร อ.เมือง	N 8°24' 27.0" E 99°59' 42.8"
S_5	คลองชะอวด ต.บ้านเนิน อ.เชียรใหญ่	N 8°10' 07.5" E 100° 08' 43.6"
S_6	แม่น้ำปากพนัง ต.ปากพนัง อ.ปากพนัง	N 8°20' 54.7" E 100°12' 1.0"

ผลการศึกษาปริมาณการปนเปื้อนของสารหนูในตัวอย่างพืชน้ำ สัตว์น้ำ น้ำ และดินตะกอน มีรายละเอียดดังนี้

1.1 ปริมาณสารหนูในพืชน้ำ พบปริมาณสารหนูในพืชน้ำทุกชนิดที่เก็บตัวอย่างได้ในแต่ละสถานี โดยพบสารหนูตกค้างอยู่ในหญ้า (*Paspalum vaginatum Sw.*), ผักบุ้ง (*Ipomoea aquatica Forsk*), จอก (*Pistia stratiotes L.*), แหนเป็ดเล็ก (*Lemna perpusilla Torr.*), ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) และสาหร่ายพุงชะโด (*Ceratophyllum demersum L.*) ซึ่งการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 พบปริมาณสารหนูสูงสุดในสาหร่ายพุงชะโด บริเวณสถานี S_5 คลองชะอวด ตำบลบ้านเนิน อำเภอเชียรใหญ่ มีค่าเท่ากับ 1.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก รองลงมาคือผักตบชวา บริเวณสถานี S_3 คลองชะเมา ตำบลท่าเรือ อำเภอเมือง (1.46 มิลลิกรัม

ต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก) และสถานี S_4 คลองหัวตรุด ตำบลปากนคร อำเภอเมือง (1.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก) ตามลำดับ (ตาราง 2)

ส่วนการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 พบปริมาณสารหนูสูงสุดในผักตบชวา บริเวณสถานี S_5 คลองชะอวด ตำบลบ้านเนิน อำเภอเชียรใหญ่ มีค่าเท่ากับ 2.97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก รองลงมาคือแหนเป็ดเล็ก บริเวณสถานี S_6 คลองชะอวด ตำบลบ้านเนิน อำเภอเชียรใหญ่ (1.88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก) และสาหร่ายพุงชะโด บริเวณสถานี S_4 คลองหัวตรุด ตำบลปากนคร อำเภอเมือง (1.47 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก) ตามลำดับ (ตาราง 2)

1.2 ปริมาณสารหนูในสัตว์น้ำ พบปริมาณสารหนูทั้งในปลา หอย และกุ้ง โดยพบสารหนูในหอยมากกว่าในปลาและกุ้ง จากการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 พบสารหนูสูงสุดในหอยขม บริเวณสถานี S_2 คลองแม่กลอง ตำบลควนพัง อำเภอร่อนพิบูลย์ มีค่าเท่ากับ 2.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก รองลงมาคือหอยปากควาย บริเวณสถานี S_2 คลองแม่กลอง ตำบลควนพัง อำเภอร่อนพิบูลย์ (1.64 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก) และหอยขม บริเวณสถานี S_3 คลองชะเมา ตำบลท่าเรือ อำเภอเมือง (1.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก) ตามลำดับ (ตาราง 3)

ส่วนการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 พบปริมาณสารหนูสูงสุดในหอยขม บริเวณสถานี S_4 คลองหัวตรุด ตำบลปากนคร อำเภอเมือง มีค่าเท่ากับ 2.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก รองลงมาคือหอยขม บริเวณสถานี S_2 คลองแม่กลอง ตำบลควนพัง อำเภอร่อนพิบูลย์ (2.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก) และหอยกาบ บริเวณสถานี S_4 คลองหัวตรุด ตำบลปากนคร อำเภอเมือง (1.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก) ตามลำดับ (ตาราง 3)

1.3 ปริมาณสารหนูในน้ำ จากการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 พบสารหนูสูงสุดบริเวณสถานี S_1คลองร่อนนา ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ มีค่าเท่ากับ 245.5 ไมโครกรัมต่อลิตร รองลงมาบริเวณสถานี S_2 คลองแม่กลอง ตำบลควนพัง อำเภอร่อนพิบูลย์ (54.08 ไมโครกรัมต่อลิตร) และบริเวณสถานี S_3 คลองชะเมา ตำบลท่าเรือ อำเภอเมือง (13.99 ไมโครกรัมต่อลิตร) ตามลำดับ (ตาราง 4)

ส่วนการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 พบสารหนูสูงสุดบริเวณสถานี S_1 คลองร่อนนา ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ มีค่าเท่ากับ 38.24 ไมโครกรัมต่อลิตร รองลงมาบริเวณสถานี S_2 คลองแม่กลอง ตำบลควนพัง อำเภอร่อนพิบูลย์ มีค่าเท่ากับ 21.3 ไมโครกรัมต่อลิตร และบริเวณสถานี S_3 คลองชะเมา ตำบลท่าเรือ อำเภอเมือง (10.68 ไมโครกรัมต่อลิตร) ตามลำดับ (ตาราง 4)

1.4 ปริมาณสารหนูในดินตะกอน จากการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 พบสารหนูสูงสุดบริเวณสถานี S_1 คลองร่อนนา ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ มีค่าเท่ากับ 1,854.84 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง รองลงมาบริเวณสถานี S_2 คลองแม่กลอง ตำบลควนพัง อำเภอร่อนพิบูลย์ (512.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง) และบริเวณสถานี S_4 คลองหัวตรุด ตำบลปากนคร อำเภอเมือง (339.55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ (ตาราง 5)

ส่วนการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 พบสารหนูสูงสุดบริเวณสถานี สถานี S_1 คลองร่อนนา ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ มีค่าเท่ากับ 1,112.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง รองลงมาบริเวณสถานี S_2 คลองแม่กลอง ตำบลควนพัง อำเภอร่อนพิบูลย์ (364.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง) และบริเวณสถานี S_6 คลองชะอวด ตำบลบ้านเนิน อำเภอเชียรใหญ่ (228.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ (ตาราง 5)

จากการศึกษาการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำ และดินตะกอน จะเห็นว่าปริมาณสารหนูมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จากบริเวณตำบลร่อนพิบูลย์สู่บริเวณลุ่มน้ำปากพนังทั้งการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2 ดังภาพประกอบ 15 และ 16

ตาราง 2 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในตัวอย่างพืชน้ำ เก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2

สถานี / ชนิดตัวอย่าง	S 1		S 2		S 3		S 4		S 5		S 6	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
หญ้า (*Paspalum vaginatum Sw.*)	0.46	0.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ผักบุ้ง (*Ipomoea aquatica Forsk*)	-	-	0.7	0.84	-	-	0.23	0.47	0.43	0.57	-	-
จอก (*Pistia stratiotes L.*)	-	-	0.85	-	0.84	0.34	1.06	0.89	0.71	0.76	-	-
แหนเป็ดเล็ก (*Lemna perpusilla Torr.*)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.88	-	-
ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*)	-	-	1.09	0.86	1.46	1.04	1.37	1.44	0.95	2.97	1.12	0.97
สาหร่ายพุงชะโด (Ceratophyllum demersum L.)	-	-	1.28	1.01	-	-	0.87	1.47	1.96	0.26	-	-

หมายเหตุ : หน่วยปริมาณสารหนูเป็น มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก, - หมายถึง ไม่มีชนิดตัวอย่าง , nd. หมายถึง ตรวจไม่พบสารหนู (<2ppb)

ตาราง 3 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในตัวอย่างสัตว์น้ำ เก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2

สถานี / ชนิดตัวอย่าง	S 1		S 2		S 3		S 4		S 5		S 6	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1. ปลา												
1.1 ปลากินพืช												
ปลาตะเพียนทราย (*Puntius leiacanthus*)	0.79	nd.	0.23	-	-	-	-	0.48	-	0.35	-	-
ปลาซิวหางแดง (*Rasbora borapetensis*)	-	-	0.16	0.29	0.53	0.58	0.01	-	-	-	-	-
ปลากระดี่หม้อ (*Trichogaster trichopterus*)	-	-	-	0.77	0.31	-	-	-	-	-	-	-
ปลาหางแดง (*Barbus orphoides*)	-	-	-	0.61	0.49	nd.	-	nd.	-	-	-	-
ปลาซ่อนทรายแก้ว (*Sillago sihama*)	-	-	-	-	-	-	nd.	0.33	-	-	-	1.73
ปลาแป้นเล็ก (*Leiognethus brevirostris*)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.27	-	0.03	-
ปลากระบอกดำ (*Liza subviridis*)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	nd.	1.79
ปลาชี้ขม (*Osteochilus hasseltii*)	-	-	-	-	-	0.56	-	-	-	-	-	-
ปลาโสด (*Hampara macrolepidota*)	-	-	-	-	-	nd.	-	-	-	-	-	-
ปลานิล (*Tilapia nilotica*)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.05	-	-

หมายเหตุ : หน่วยปริมาณสารหนูเป็น มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก, - หมายถึง ไม่มีชนิดตัวอย่าง , nd. หมายถึง ตรวจไม่พบสารหนู (<2ppb)

ตาราง 3 (ต่อ)

ชนิดตัวอย่าง \ สถานี	S 1		S 2		S 3		S 4		S 5		S 6	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1.2 ปลากินสัตว์												
ปลาแขยงใบข้าว (*Mystus cavasius*)	-	-	0.15	0.44	nd.	0.37	0.57	0.81	-	-	0.19	-
ปลาเนื้ออ่อน (*Ompok bimaculatus*)	-	-	0.26	0.88	-	-	nd.	0.74	-	-	-	-
ปลาแมวหูดำ (*Setipinna melanochir*)	-	-	0.64	-	-	-	-	-	0.71	1.4	0.09	nd.
ปลาสลาด (*Notopterus notopterus*)	-	-	0.65	0.2	0.65	0.71	-	0.58	-	0.47	-	-
ปลากดหิน (*Leiocassis siamensis*)	-	-	nd.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ปลาดุกด้าน (*Clarias batrachus*)	-	-	-	0.78	0.34	0.54	-	0.05	-	-	-	-
ปลาช่อน (*Channa striatus*)	-	-	-	0.65	nd.	0.9	-	0.43	-	-	-	-
ปลาดุกทะเล (*Plotosus canius Hamilton*)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.37	-	0.65	0.73
ปลาขี้ตัง (*Scatophagus argus*)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.95
ปลากดหัวโม่ง (*Arius maculatus*)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.7

หมายเหตุ : หน่วยปริมาณสารหนูเป็น มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก, - หมายถึง ไม่มีชนิดตัวอย่าง , nd. หมายถึง ตรวจไม่พบสารหนู (<2ppb)

ตาราง 3 (ต่อ)

สถานี / ชนิดตัวอย่าง	S 1		S 2		S 3		S 4		S 5		S 6	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
2. หอย												
2.1 หอยฝาเดียว												
หอยขม (*Sinotaia ingallsiana*)	-	-	2.45	2.27	1.59	1.05	0.53	2.35	-	-	-	-
หอยโข่ง (*Pila ampullacea*)	-	-	0.30	0.72	0.34	0.02	1.19	0.23	-	0.01	-	-
2.2 หอยสองฝา												
หอยกาบ	-	-	1.49	-	0.58	0.58	-	1.10	-	-	-	-
หอยปากควาย	-	-	1.64	-	1.21	0.90	1.47	-	-	-	-	-
หอยแครง (*Arca granulosa*)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.49	0.59
3. กุ้ง												
กุ้งขาว (*Metapenaeus lysianassa*)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.98	0.10	0.008
กุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.62	-	-	-
กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.33

หมายเหตุ : หน่วยปริมาณสารหนูเป็น มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก, - หมายถึง ไม่มีชนิดตัวอย่าง , nd. หมายถึง ตรวจไม่พบสารหนู (<2ppb)

ตาราง 4 แสดงผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ เก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2

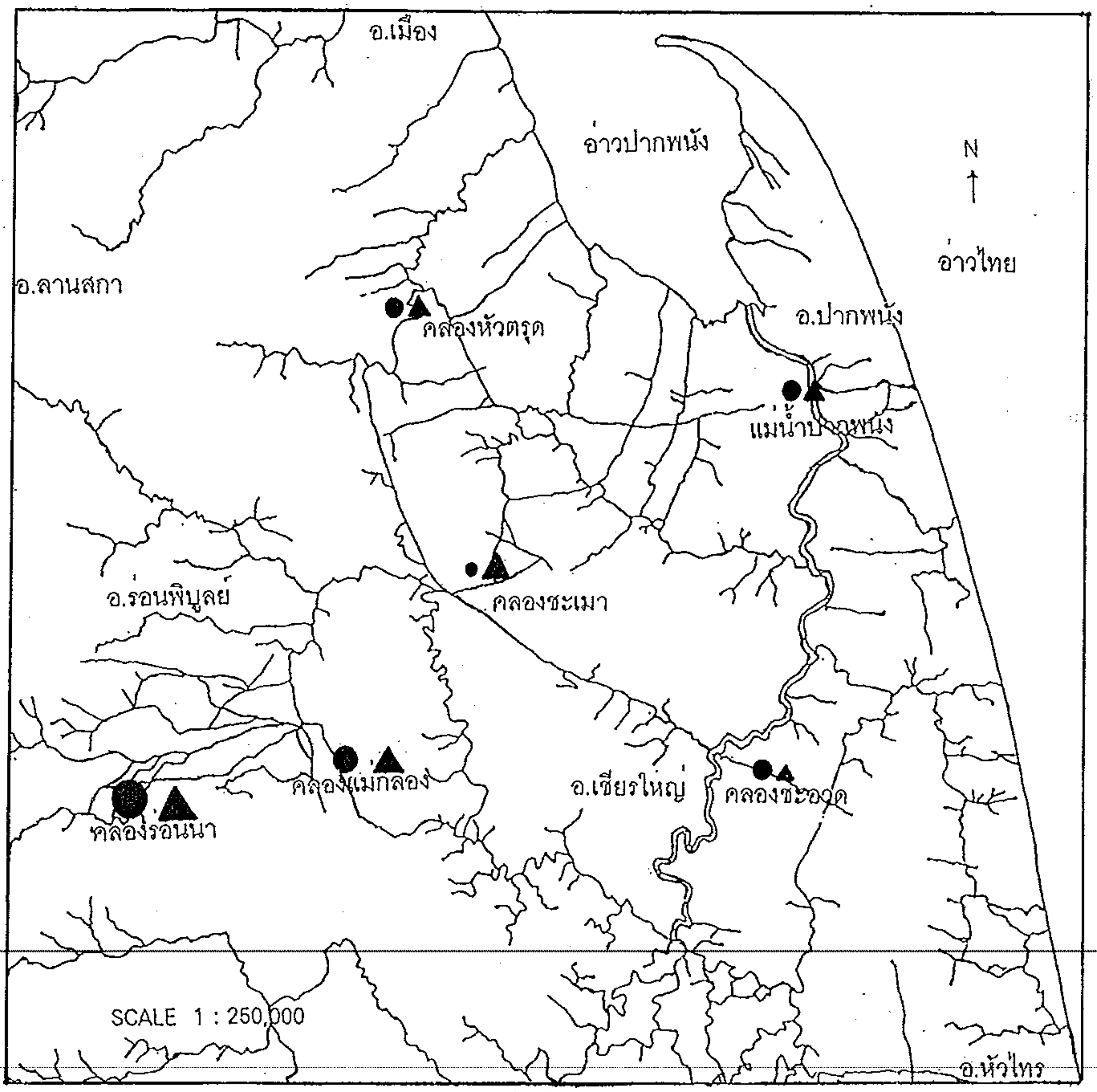
สถานี	อุณหภูมิ (°C)		พีเอช		ค่าความเค็ม (%)		ค่าการนำไฟฟ้า (ms/cm)		ปริมาณสารหนู (ppb)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
S 1	26.5	25	4.63	6.1	0	0	0.103	0.05	245.5	38.24
S 2	27.6	28	6.32	7.5	0	0	0.14	0.07	54.08	21.3
S 3	27.6	29	6.26	7	0	0	0.13	0.03	13.99	10.68
S 4	26.4	28	6.23	7.7	0	0	0.061	0.06	6.23	nd.
S 5	32.9	26	7.39	7.3	1	0	0.209	0.09	5.86	nd.
S 6	28.7	28	6.87	7.5	10	0	2	0.28	6.59	nd.

หมายเหตุ : nd. = ตรวจไม่พบสารหนู (<2ppb)

ตาราง 5 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในดินตะกอน เก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2

สถานี	ปริมาณสารหนู (มก./กก.. นน.แห้ง)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
S_1	1,864.84	1,112.60
S_2	512.60	364.87
S_3	253.35	221.80
S_4	339.55	189.85
S_5	290.95	228.35
S_6	278.00	193.85

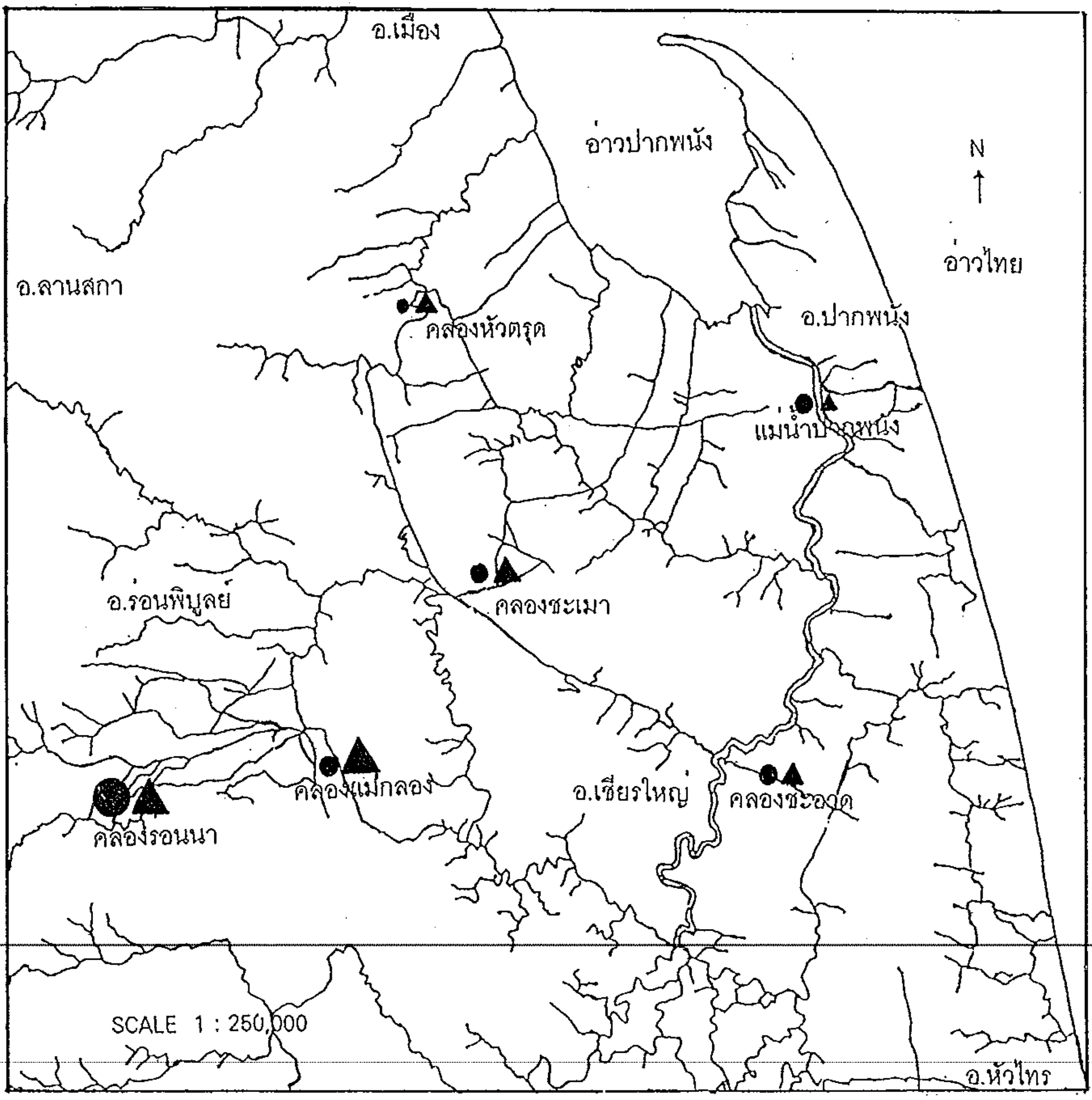
ภาพประกอบ 15 แสดงการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำและดินตะกอน เก็บตัวอย่างครั้งที่ 1



<u>สัญลักษณ์</u>

น้ำ (ไมโครกรัม/ลิตร)	ดินตะกอน (มก./กก.นน.แห้ง)
▲ 0 - 6.00	● 0 - 255
▲ 6.10 - 11.00	● 251 - 510
▲ 11.10 - 16.00	● 511 - 765
▲ 16.10 - 21.00	● 766 - 1,020
▲ >21.00	● > 1,020

ภาพประกอบ 16 แสดงการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำและดินตะกอน เก็บตัวอย่างครั้งที่ 2



<u>สัญลักษณ์</u>

น้ำ (ไมโครกรัม/ลิตร)	ดินตะกอน (มก./กก.นน.แห้ง)
▲ 0 - 1.25	● 0 - 190
▲ 1.26 - 2.50	● 191 - 380
▲ 2.51 - 5.00	● 381 - 570
▲ 5.10 - 11.25	● 571 - 760
▲ >11.25	● > 760

2. การศึกษาดัชนีชี้วัดทางชีวภาพ

ในการศึกษาดัชนีชี้วัดทางชีวภาพ ได้ทำการคัดเลือกพืชน้ำและสัตว์น้ำ โดยมีเงื่อนไขดังนี้คือ เป็นตัวแทนที่ดีของจุดที่ทำการเก็บตัวอย่าง มีอยู่ทั่วไป ง่ายต่อการเก็บตัวอย่าง ง่ายต่อการจำแนกชนิด และมีการสะสมสารหนูในปริมาณสูง และมีระดับสารหนูสัมพันธ์กับระดับสารหนูในน้ำหรือดินตะกอน (Samecra-Cymerman and Kempers : 1996, 242, quoting Franzin and McFarlane, 1980 ; UNEP : 1990, 15) ซึ่งในการศึกษาดัชนีชี้วัดทางชีวภาพได้ดำเนินการศึกษา 2 ขั้นตอน คือ

2.1 การหาสัดส่วนปริมาณสารหนูในพืชน้ำ และสัตว์น้ำ โดยเปรียบเทียบกับปริมาณสารหนูในน้ำ และดินตะกอน

จากผลการศึกษาครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ได้ทำการหาสัดส่วนปริมาณสารหนูในพืชน้ำ และสัตว์น้ำเปรียบเทียบกับปริมาณสารหนูในน้ำ และดินตะกอน ดังตาราง 6 และ 7 พบสัดส่วนเป็นดังนี้

2.1.1 สัดส่วนปริมาณสารหนูในพืชน้ำต่อปริมาณสารหนูในน้ำ จากการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 พบสัดส่วนสูงสุดในสาหร่ายพุงชะโด บริเวณสถานี S_5 คลองชะอวด ตำบลบ้านเนิน อำเภอเชียรใหญ่ มีค่าเท่ากับ 334.47 รองลงมาคือผักตบชวา บริเวณสถานี S_4 คลองหัวตรุด ตำบลปากนคร อำเภอเมือง มีค่าเท่ากับ 219.90 ส่วนการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 พบสัดส่วนสูงสุดในผักตบชวา บริเวณสถานี S_5 คลองชะอวด ตำบลบ้านเนิน อำเภอเชียรใหญ่ มีค่าเท่ากับ 2,233.08 รองลงมาคือแหนเป็ดเล็ก บริเวณสถานี S_5 เช่นกัน มีค่าเท่ากับ 1,413.53 (ตาราง 6)

2.1.2 สัดส่วนปริมาณสารหนูในสัตว์น้ำต่อปริมาณสารหนูในน้ำ จากการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 พบสัดส่วนสูงสุดในหอยขม บริเวณสถานี S_4 คลองหัวตรุด ตำบลปากนคร อำเภอเมือง มีค่าเท่ากับ 235.96 รองลงมาคือหอยขม บริเวณสถานี S_3 คลองชะเมา ตำบลท่าเรือ อำเภอเมือง มีค่าเท่ากับ 113.65 ส่วนการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 พบสัดส่วนสูงสุดในหอยขม บริเวณสถานี S_4 มีค่าเท่ากับ 1,740.74 รองลงมาคือหอยกาบ บริเวณสถานี S_4 เช่นกัน มีค่าเท่ากับ 814.81 (ตาราง 6)

2.1.3 สัดส่วนปริมาณสารหนูในพืชน้ำต่อปริมาณสารหนูในดินตะกอน จากการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 พบสัดส่วนสูงสุดในสาหร่ายพุงชะโด บริเวณสถานี S_5 คลองชะอวด

ตำบลบ้านเนิน อำเภอเชียรใหญ่ มีค่าเท่ากับ 6.74×10^{-3} รองลงมาคือผักตบชวา บริเวณสถานี S_3คลองชะเมา ตำบลท่าเรือ อำเภอเมือง มีค่าเท่ากับ 5.76×10^{-3} ส่วนการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 พบสัดส่วนสูงสุดในผักตบชวา บริเวณสถานี S_6 มีค่าเท่ากับ 1.3×10^{-2} รองลงมาคือแหนเป็ดเล็ก บริเวณสถานี S_5 เช่นกัน มีค่าเท่ากับ 8.23×10^{-3} (ตาราง 7)

2.1.4 สัดส่วนปริมาณสารหนูในสัตว์น้ำต่อปริมาณสารหนูในดินตะกอน จากการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 พบสัดส่วนสูงสุดในหอยขม บริเวณสถานี S_3 คลองชะเมา ตำบลท่าเรือ อำเภอเมือง มีค่าเท่ากับ 6.28×10^{-3} รองลงมาคือหอยปากควาย บริเวณสถานี S_3 คลองชะเมา ตำบลท่าเรือ อำเภอเมือง และหอยขม บริเวณสถานีที่ 2 คลองแม่กลอง ตำบลควนพัง อำเภอร่อนพิบูลย์ มีค่าเท่ากับ 4.78×10^{-3} ส่วนการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 พบสัดส่วนสูงสุดในหอยขม บริเวณสถานี S_4 คลองหัวตรุด ตำบลปากนคร อำเภอเมือง มีค่าเท่ากับ 1.24×10^{-2} รองลงมาคือหอยกาบ บริเวณสถานี S_4 เช่นกัน มีค่าเท่ากับ 5.79×10^{-3}(ตาราง 7)

จากผลการศึกษาสัดส่วนปริมาณสารหนูในพืชน้ำ และสัตว์น้ำ เปรียบเทียบกับปริมาณสารหนูในน้ำและดินตะกอน พบว่าพืชน้ำและสัตว์น้ำที่ ใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาดัชนีชี้วัดทางชีวภาพได้ คือ ผักตบชวาและหอยขม เนื่องจากมีการสะสมปริมาณสารหนูสูงเมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำและสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ มีอยู่ทั่วไป ง่ายต่อการเก็บตัวอย่างและจำแนกชนิด ซึ่งผักตบชวาเป็นพันธุ์ไม้น้ำจืดประเภทล้มลุก มีอายุอยู่ได้หลายปี ทั้งในน้ำนิ่งและน้ำไหล น้ำลึกและน้ำตื้น ระบบรากจะเป็นรากฝอย (fibrous root) มีลักษณะอวบขาว ซึ่งรากจะมีความแข็งแรงและมีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับสารอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาโดยการนำผักตบชวามาใช้ในการลดปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งพบว่าผักตบชวาขนาดกลางมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักได้ดีที่สุด (ข้าวทิพย์ เจนธุระกิจ และพิมล เรียนวัฒนา, 2533 ; 2537) ส่วนหอยขมเป็นหอยฝาเดียว อาศัยอยู่ในน้ำจืด ชอบอาศัยอยู่ในน้ำนิ่งหรือน้ำที่ไหลไม่แรงมากนัก และชอบอยู่ในบริเวณที่ร่มเย็น อาหารของหอยขมได้แก่ ตะไคร่น้ำ โคลนตม พืชน้ำสัตว์น้ำเล็ก ๆ และอินทรีย์สาร (ศักดิ์ชัย ชูโชติ และ ธานี พูนดี, 2529) และหอยขมเป็น Deposite feeder ซึ่งสามารถบ่งชี้ถึงลักษณะทางเคมีของดินตะกอนได้ (UNEP, 1990 : 15) ดังนั้นการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างผักตบชวา หอยขม น้ำ และดินตะกอน

ตาราง 6 แสดงสัดส่วนปริมาณสารหนูในพืชน้ำและสัตว์น้ำต่อปริมาณสารหนูในน้ำ

สัดส่วน	S 1		S 2		S 3		S 4		S 5		S 6	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
หญ้า : น้ำ	1.87	15.43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ผักบุ้ง : น้ำ	-	-	12.94	39.44	-	-	36.92	348.15	73.38	428.57	-	-
จอก : น้ำ	-	-	15.72	-	60.04	31.84	170.14	659.26	121.16	571.43	-	-
แหนเป็ดเล็ก : น้ำ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,413.53	-	-
ผักตบชวา : น้ำ	-	-	20.16	40.38	104.36	97.39	219.90	1,066.67	162.12	2,233.08	169.95	776.00
สาหร่ายพุงชะโด : น้ำ	-	-	23.67	47.42	-	-	139.65	1,088.89	334.47	195.49	-	-
หอยขม : น้ำ	-	-	45.30	106.57	113.65	98.31	85.07	1,740.74	-	-	-	
หอยโข่ง : น้ำ	-	-	5.55	33.80	24.30	1.87	191.01	170.37	-	7.52	-	
หอยกาบ : น้ำ	-	-	27.55	-	41.46	54.31	-	814.81	-	-	-	
หอยปากควาย : น้ำ	-	-	30.33	-	86.49	84.27	235.96	-	-	-	-	
หอยแครง : น้ำ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74.36	472.00

ตาราง 7 แสดงสัดส่วนปริมาณสารหนูในพืชน้ำและสัตว์น้ำต่อปริมาณสารหนูในดินตะกอน

สัดส่วน	S 1		S 2		S 3		S 4		S 5		S 6	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
หญ้า : ดินตะกอน	2.48×10^{-4}	5.30×10^{-4}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ผักบุ้ง : ดินตะกอน	-	-	1.37×10^{-3}	2.30×10^{-3}	-	-	6.78×10^{-4}	2.48×10^{-3}	1.48×10^{-3}	2.50×10^{-3}	-	-
จอก : ดินตะกอน	-	-	1.66×10^{-3}	-	3.32×10^{-3}	1.53×10^{-3}	3.12×10^{-3}	4.69×10^{-3}	2.44×10^{-3}	3.33×10^{-3}	-	-
แหนเป็ดเล็ก : ดินตะกอน	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.23×10^{-3}	-	-
ผักตบชวา : ดินตะกอน	-	-	2.13×10^{-3}	2.36×10^{-3}	5.76×10^{-3}	4.69×10^{-3}	4.03×10^{-3}	7.58×10^{-3}	3.27×10^{-3}	1.30×10^{-2}	4.03×10^{-3}	5.00×10^{-3}
สาหร่ายพุงชะโด : ดินตะกอน	-	-	2.50×10^{-3}	2.77×10^{-3}	-	-	2.56×10^{-3}	7.74×10^{-3}	6.74×10^{-3}	1.14×10^{-3}	-	-
หอยขม : ดินตะกอน	-	-	4.78×10^{-3}	6.22×10^{-3}	6.28×10^{-3}	4.73×10^{-3}	1.56×10^{-3}	1.24×10^{-2}	-	-	-	-
หอยโข่ง : ดินตะกอน	-	-	5.85×10^{-4}	1.97×10^{-3}	1.34×10^{-3}	9.02×10^{-3}	3.50×10^{-3}	1.21×10^{-3}	-	4.38×10^{-5}	-	-
หอยกาบ : ดินตะกอน	-	-	2.91×10^{-3}	-	2.29×10^{-3}	2.61×10^{-3}	-	5.79×10^{-3}	-	-	-	-
หอยปากควาย : ดินตะกอน	-	-	3.20×10^{-3}	-	4.78×10^{-3}	4.06×10^{-3}	4.33×10^{-3}	-	-	-	-	-
หอยแครง : ดินตะกอน	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.76×10^{-3}	3.04×10^{-3}

2.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในพืชน้ำและสัตว์น้ำกับปริมาณสารหนูในน้ำและดินตะกอน

ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 จำนวน 4 สถานี (ดังตาราง 8) ซึ่งทำการศึกษาปริมาณสารหนูในน้ำ ดินตะกอน หอยขมและผักตบชวา (แยกวิเคราะห์เป็นส่วนราก ลำต้น ใบ และก้านใบ) โดยแต่ละสถานีทำการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

ตาราง 8 แสดงคำอธิบายสถานีเก็บตัวอย่าง

สถานี	บริเวณจุดเก็บตัวอย่าง	พิกัด
P_1	คลองแม่กลอง ต.ควนพัง อ.ร่อนพิบูลย์	N 8°11' 33.3" E 99°49' 56.7"
P_2	คลองไร่ลุ่ม ต.ควนพัง อ.ร่อนพิบูลย์	N 8°13' 55.6" E 99°56' 38.3"
P_3	คลองชะเมา ต.ท่าเรือ อ.เมือง	N 8°15' 00.1" E 100° 00' 24.3"
P_4	คลองฆ้อง ต.สวนหลวง อ.เชียรใหญ่	N 8°06' 33.1" E 100°04' 51.2"

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในน้ำ ดินตะกอน หอยขม และผักตบชวาเป็นดังนี้

2.2.1 ปริมาณสารหนูในตัวอย่างน้ำ พบปริมาณสารหนูสูงสุดในสถานี P_1 คลองแม่กลอง ตำบลควนพัง อำเภอร่อนพิบูลย์ มีค่าเท่ากับ 162.36±5.04 ไมโครกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ สถานี P_2 คลองไร่ลุ่ม ตำบลควนพัง อำเภอร่อนพิบูลย์ มีค่าเท่ากับ 32.94±1.14 ไมโครกรัมต่อลิตร และต่ำที่สุดในสถานี P_4 คลองฆ้อง ตำบลสวนหลวง อำเภอเชียรใหญ่ มีค่าเท่ากับ 9.47±0.11 ไมโครกรัมต่อลิตร (ตาราง 9)

2.2.2 ปริมาณสารหนูในตัวอย่างดินตะกอน มีปริมาณสารหนูสูงสุดในสถานี P_1 คลองแม่กลอง ตำบลควนพัง อำเภอร่อนพิบูลย์ มีค่าเท่ากับ 558.29±22.44 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง รองลงมาคือสถานี P_2 คลองไร่ลุ่ม ตำบลควนพัง อำเภอร่อนพิบูลย์ มีค่าเท่ากับ 187.70±5.88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง และต่ำที่สุดในสถานี P_4 คลองฆ้อง ตำบลสวนหลวง อำเภอเชียรใหญ่ มีค่าเท่ากับ 100.70±2.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง (ตาราง 9)

2.2.3 ปริมาณสารหนูในตัวอย่างหอยขม มีปริมาณสารหนูสูงสุดในสถานี P_1 คลองแม่กลอง ตำบลควนพัง อำเภอร่อนพิบูลย์ มีค่าเท่ากับ 2.53±2.44 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก รองลงมาคือสถานี P_3 คลองชะเมา ตำบลท่าเรือ อำเภอเมือง มีค่าเท่ากับ 0.64±0.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก และต่ำที่สุดในสถานี P_4 คลองฆ้อง ตำบลสวนหลวง อำเภอเชียรใหญ่ มีค่าเท่ากับ 0.36±0.08 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก (ตาราง 9)

2.2.4 ปริมาณสารหนูในตัวอย่างผักตบชวา ซึ่งวิเคราะห์แยกส่วน ได้ผลดังนี้

2.2.4.1 ปริมาณสารหนูในราก มีปริมาณสารหนูสูงสุดในสถานี P_1 คลองแม่กลอง ตำบลควนพัง อำเภอร่อนพิบูลย์ มีค่าเท่ากับ 1.30±0.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก รองลงมาคือสถานี P_2 คลองไร่ลุ่ม ตำบลควนพัง อำเภอร่อนพิบูลย์ มีค่าเท่ากับ 0.55±0.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก และต่ำที่สุดในสถานี P_4 คลองฆ้อง ตำบลสวนหลวง อำเภอเชียรใหญ่ มีค่าเท่ากับ 0.18±0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก (ตาราง 9)

2.2.4.2 ปริมาณสารหนูในลำต้น มีปริมาณสารหนูสูงสุดในสถานี P_1 คลองแม่กลอง ตำบลควนพัง อำเภอร่อนพิบูลย์ มีค่าเท่ากับ 0.07±0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก รองลงมาคือสถานี P_2 คลองไร่ลุ่ม ตำบลควนพัง อำเภอร่อนพิบูลย์ มีค่าเท่ากับ 0.05±0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก และต่ำที่สุดในสถานี P_4 คลองฆ้อง ตำบลสวนหลวง อำเภอเชียรใหญ่ มีค่าเท่ากับ $0.03 \pm 5.77 \times 10^{-3}$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก (ตาราง 9)

2.2.4.3 ปริมาณสารหนูในใบ มีปริมาณสารหนูสูงสุดในสถานี P_1 คลองแม่กลอง ตำบลควนพัง อำเภอร่อนพิบูลย์ มีค่าเท่ากับ 0.57±0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก รองลงมาคือสถานี P_2 คลองไร่ลุ่ม ตำบลควนพัง อำเภอร่อนพิบูลย์ มีค่าเท่ากับ 0.43±0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก และต่ำที่สุดในสถานี P_4 คลองฆ้อง ตำบลสวนหลวง อำเภอเชียรใหญ่ มีค่าเท่ากับ 0.19±0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก (ตาราง 9)

2.2.4.4 ปริมาณสารหนูในก้านใบ มีปริมาณสารหนูสูงสุดในสถานี P_1 คลองแม่กลอง ตำบลควนพัง อำเภอร่อนพิบูลย์ และสถานี P_2 คลองไร่ลุ่ม ตำบลควนพัง อำเภอ

ร่อนพิบูลย์ มีค่าเท่ากับ $0.33 \pm 5.7 \times 10^{-3}$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก และต่ำที่สุดในสถานี P_4 คลองฆ้อง ตำบลสวนหลวง อำเภอเชียรใหญ่ มีค่าเท่ากับ 0.12 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก (ตาราง 9)

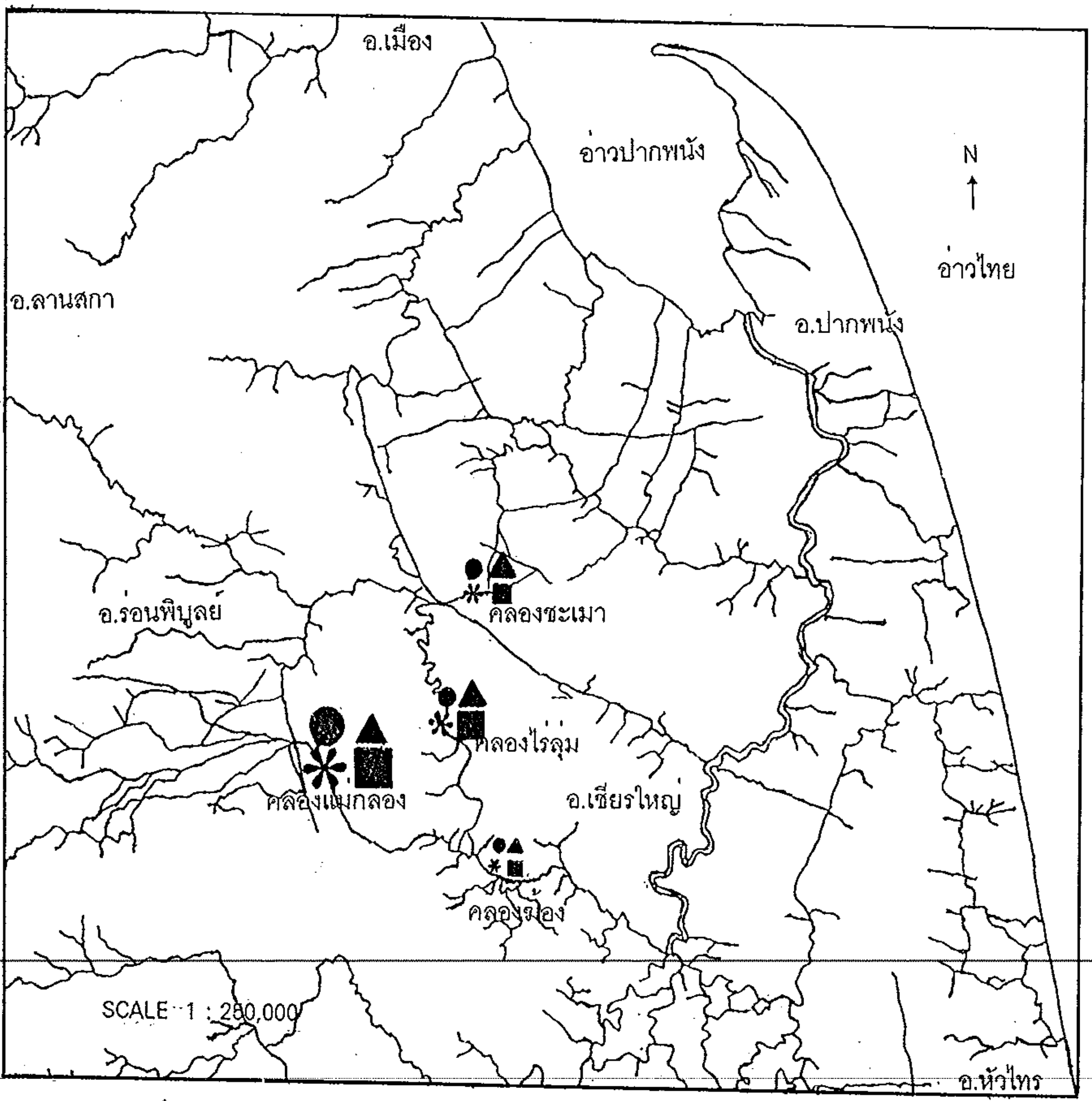
จากการศึกษาปริมาณสารหนูในหอยขม ผักตบชวา น้ำ และดินตะกอน จะเห็นการปนเปื้อนของสารหนู ดังภาพประกอบ 17

ตาราง 9 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนู เก็บตัวอย่างครั้งที่ 3

สถานี / ชนิดตัวอย่าง	น้ำ (ไมโครกรัม/ลิตร)	ดินตะกอน (มิลลิกรัม/กก. นน. แห้ง)	หอยขม (มิลลิกรัม/กก. นน. เปียก)	ผักตบชวา (มิลลิกรัม/กก. นน.เปียก)			
				ราก	ลำต้น	ใบ	ก้านใบ
P 1	162.36±5.04	558.29±22.44	2.53±2.45	1.30±0.58	0.07±0.02	0.57±0.06	$0.33\pm5.7\times10^{-3}$
P 2	32.94±1.14	187.70±5.88	0.57±0.06	0.55±0.31	0.05±0.01	0.43±0.03	$0.33\pm5.7\times10^{-3}$
P 3	30.51±2.37	133.77±4.15	0.64±0.45	0.22±0.09	$0.03\pm5.78\times10^{-3}$	0.26±0.11	0.13±0.04
P 4	9.47±0.11	100.70±2.25	0.36±0.08	0.18±0.05	$0.03\pm5.77\times10^{-3}$	0.19±0.04	0.12±0.02

หมายเหตุ : แต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง 3 ซ้ำ, รายงานผลเป็น MEAN±SD.

ภาพประกอบ 17 แสดงการปนเปื้อนของสารหนูในพืชน้ำ สัตว์น้ำ น้ำ และดินตะกอน เก็บตัวอย่างครั้งที่ 3



สัญลักษณ์

ราก (มก./กก.นน.เปียก)
- 0 - 0.20
- 0.21 - 0.40
- 0.41 - 0.60
- 0.61 - 0.80
- > 0.80

หอยขม (มก./กก.นน.เปียก)
- 0 - 0.40
- 0.41 - 0.80
- 0.81 - 1.20
- 1.21 - 1.60
- > 1.60

น้ำ (มก./ล.)
- 0 - 0.010
- 0.011 - 0.030
- 0.031 - 0.090
- 0.091 - 0.270
- > 0.271

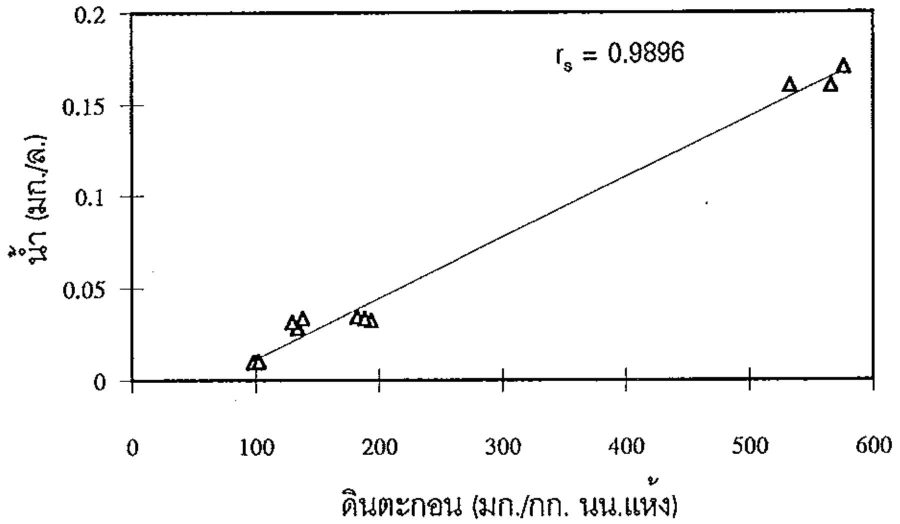
ดินตะกอน (มก./กก.นน.แห้ง)
- 0 - 110
- 111 - 220
- 221 - 330
- 331 - 440
- > 440

จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว เมื่อนำมาหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในน้ำ และดินตะกอนกับปริมาณสารหนูในพืชน้ำ และสัตว์น้ำ โดยวิธี Linear Regression Analysis พบค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ ดังตาราง 10 และภาพประกอบ 18-28

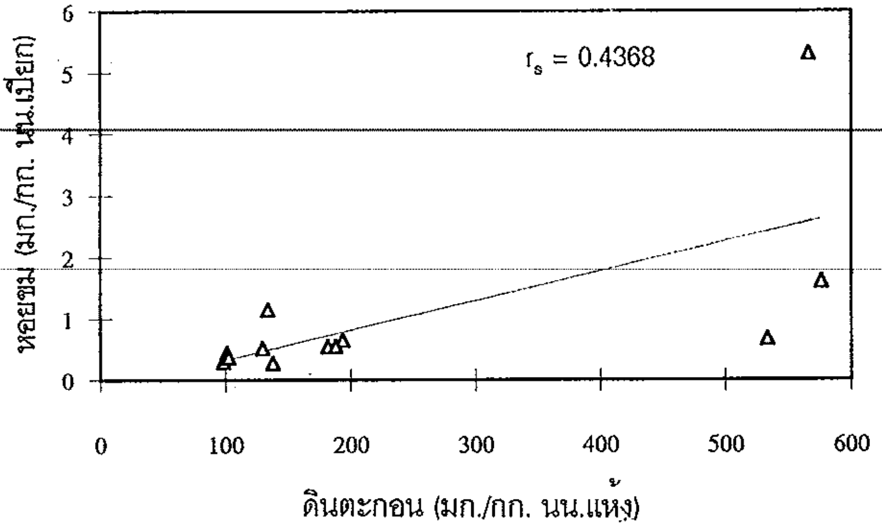
ตาราง 10 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในผักตบชวาและหอยขมกับปริมาณสารหนูในน้ำและดินตะกอน

ชนิดความสัมพันธ์	ค่าความสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (r_s)
ดินตะกอน-น้ำ	0.9896
ดินตะกอน-หอยขม	0.4368
ดินตะกอน-รากผักตบชวา	0.6983
ดินตะกอน-ลำต้นผักตบชวา	0.6047
ดินตะกอน-ใบผักตบชวา	0.7053
ดินตะกอน-ก้านใบผักตบชวา	0.4912
น้ำ-หอยขม	0.4055
น้ำ-รากผักตบชวา	0.7018
น้ำ-ลำต้นผักตบชวา	0.5897
น้ำ-ใบผักตบชวา	0.6709
น้ำ-ก้านใบผักตบชวา	0.4233

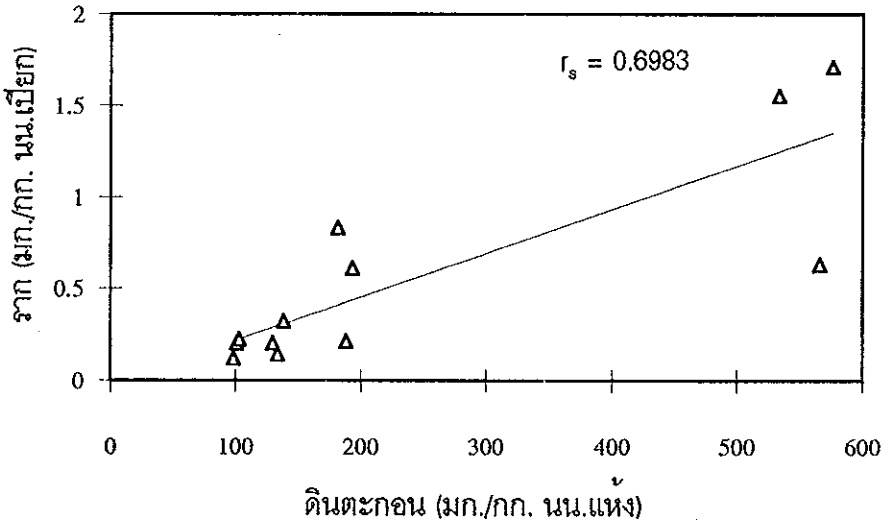
ภาพประกอบ 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในดินตะกอนกับปริมาณสารหนูในน้ำ



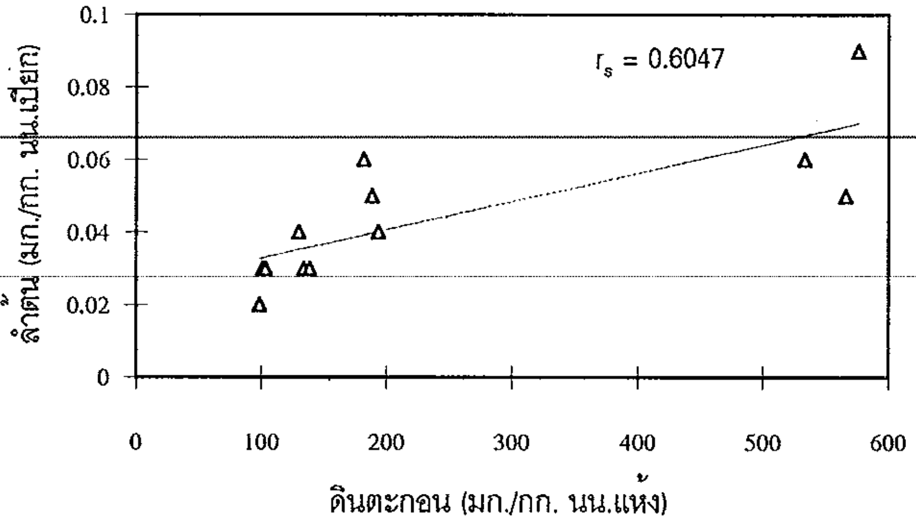
ภาพประกอบ 19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในดินตะกอนกับปริมาณสารหนูในหอยขม



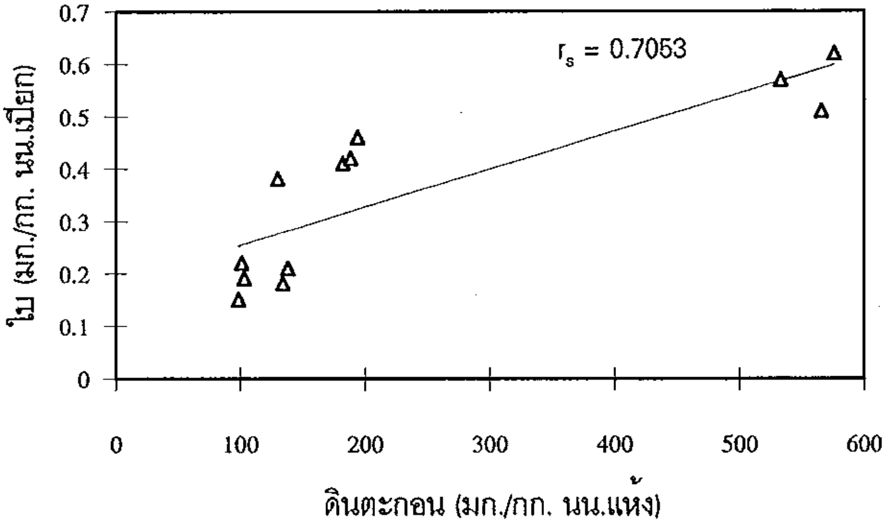
ภาพประกอบ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในดินตะกอน กับปริมาณสารหนูในรากผักตบชวา



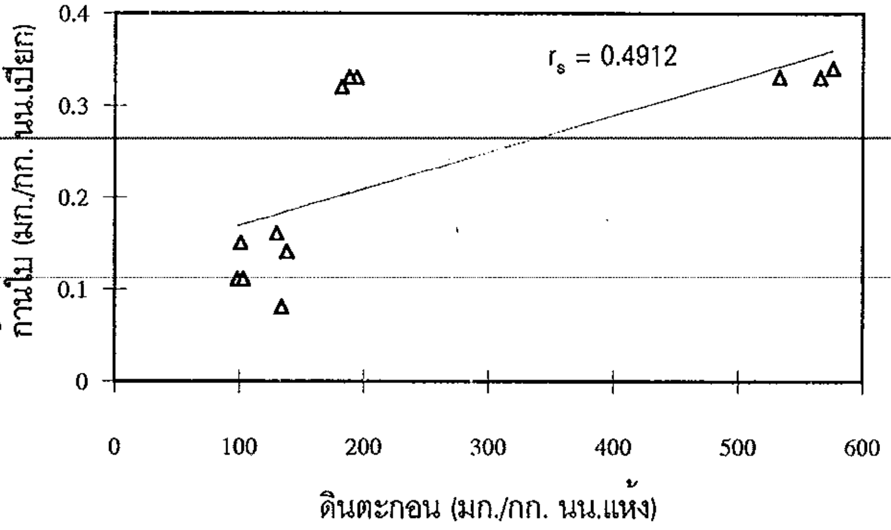
ภาพประกอบ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในดินตะกอนกับปริมาณสารหนูในลำต้นผักตบชวา



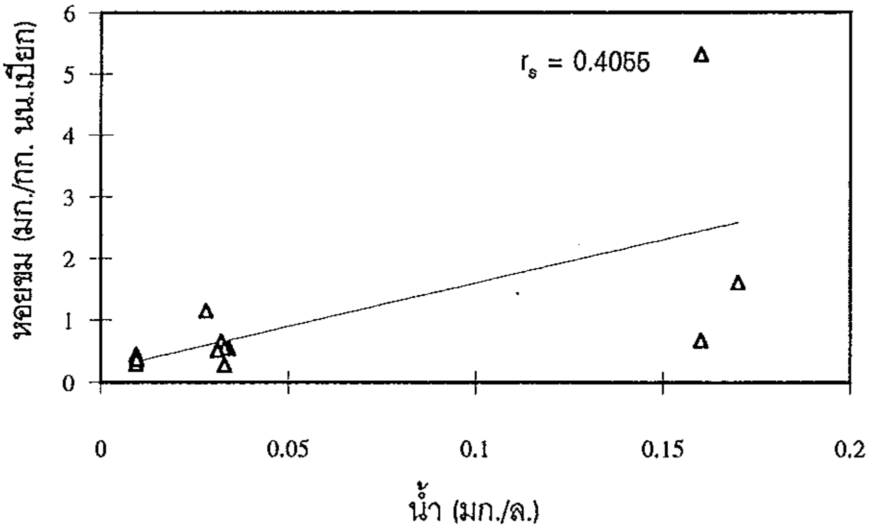
ภาพประกอบ 22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในดินตะกอนกับปริมาณสารหนูใบผักตบชวา



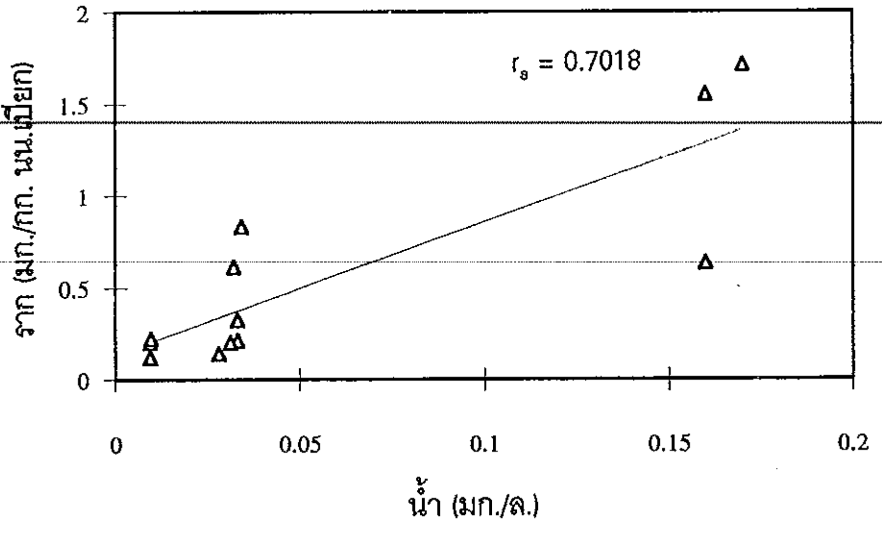
ภาพประกอบ 23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในดินตะกอนกับปริมาณสารหนูก้านใบผักตบชวา



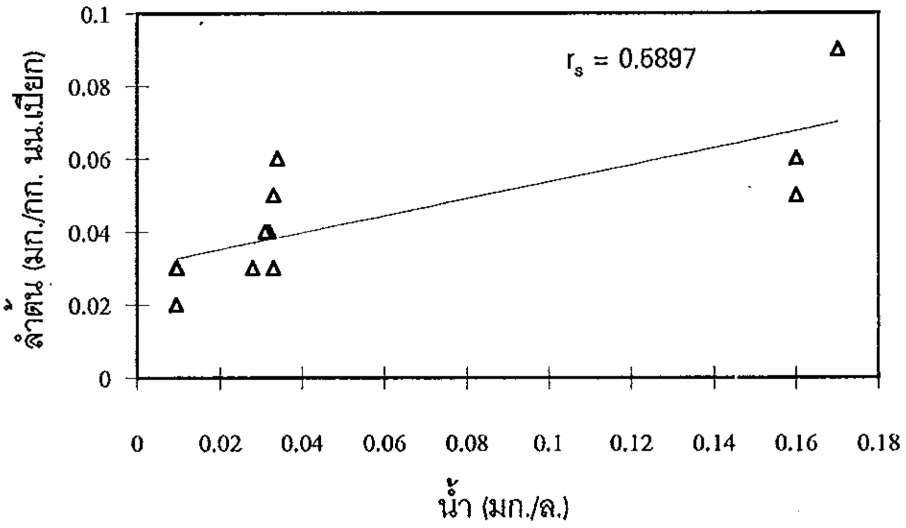
ภาพประกอบ 24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในน้ำกับปริมาณสารหนูในหอยขม



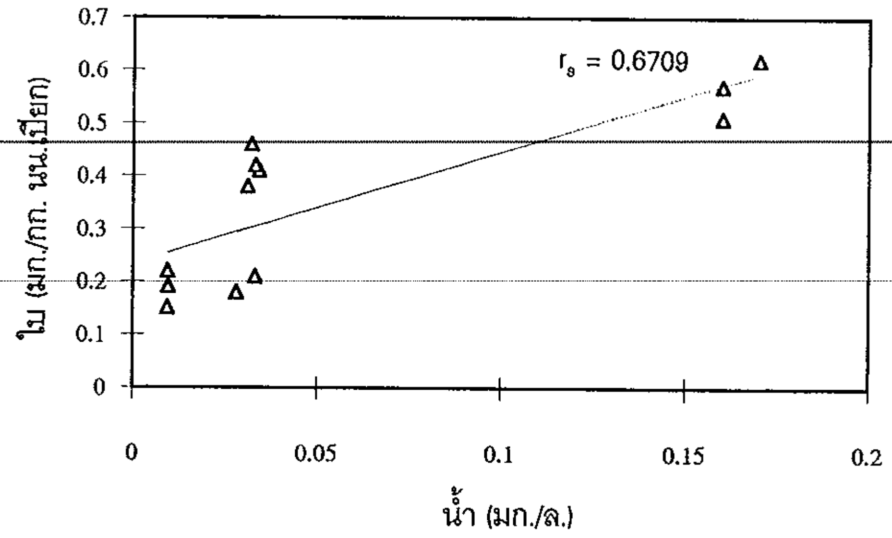
ภาพประกอบ 25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในน้ำกับปริมาณสารหนูในรากผักตบชวา



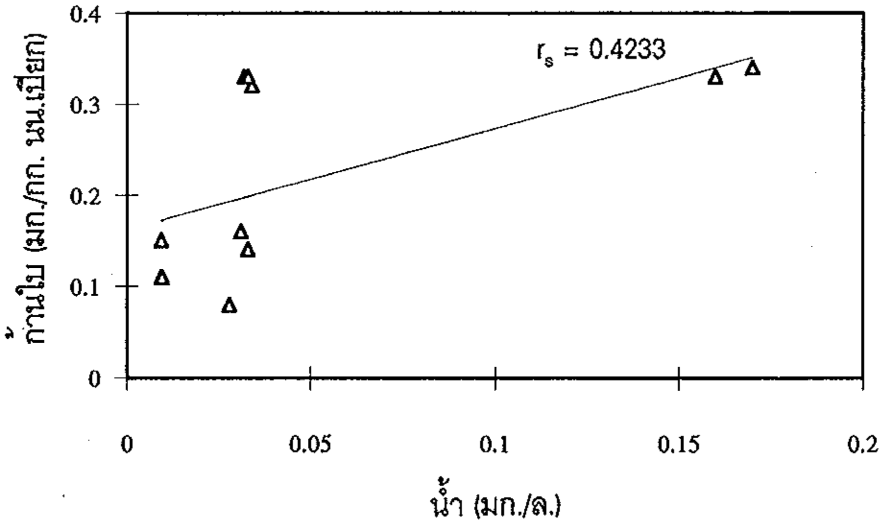
ภาพประกอบ 26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูน้ำกับปริมาณสารหนูในลำต้นผักตบชวา



ภาพประกอบ 27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในน้ำกับปริมาณสารหนูในใบผักตบชวา



ภาพประกอบ 28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในน้ำกับปริมาณสารหนูในก้านใบผักตบชวา



บทที่ 4

บทวิจารณ์

1. การศึกษาการปนเปื้อนของสารหนู

1.1 ตัวอย่างพืชน้ำ พืชน้ำจัดเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความสำคัญเพราะเป็นผู้ผลิตขั้นต้น ๆ ในระบบนิเวศทางน้ำ (Pip, E. ,1990) พืชน้ำจะมีการสะสมโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ไว้ โดยดูดซึมโลหะหนักผ่านระบบรากและเมื่อเกิดการเน่าเปื่อยหรือมีการบริโภคก็จะมีการส่งผ่านโลหะหนักสู่สิ่งมีชีวิตระดับที่สูงกว่า (McIntosh et al. ,1978 ; Mudroch and Capobianco, 1979) และเมื่อมีการสะสมโลหะหนักในปริมาณที่สูงจะสังเกตเห็นถึงลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น มีจำนวนน้ำหนัก และความหลากหลายทางชนิดลดลง (Crowder et al.,1989) จากข้อมูลผลการวิเคราะห์ตัวอย่างพืชน้ำพบว่าปริมาณสารหนูมีค่าต่ำ ซึ่งตรงกับ Ronald Eisler (1994 : 201) กล่าวไว้ว่า โดยทั่วไปจะพบสารหนูในสิ่งมีชีวิตมีค่าน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก แต่จะพบสารหนูในปริมาณที่สูงขึ้นถ้าสิ่งมีชีวิตอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดสารหนู การศึกษาครั้งนี้พบว่าสาหร่ายพุงชะโดมีปริมาณสารหนูสูงสุดในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 แต่มีค่าต่ำสุดในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 จึงไม่แน่ชัดว่ามีการสะสมปริมาณสารหนูจริงหรือไม่ ส่วนผักตบชวา พบปริมาณสารหนูสูงตัวอย่างที่เก็บมาทั้ง 2 ครั้ง (ตาราง 2) ซึ่งผักตบชวาจะเป็นพืชน้ำที่พบได้ทั่วไปในบริเวณดังกล่าว แม้ว่าเป็นพืชน้ำที่ลอยเคลื่อนที่ไปตามกระแสน้ำ แต่ก็มีส่วนหนึ่งที่อยู่กับที่ โดยถูกยึดเหนี่ยวด้วยสิ่งกีดขวางหรืออยู่ในแอ่งน้ำนิ่ง จะเห็นว่าการสะสมปริมาณสารหนูในพืชน้ำแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน พืชน้ำที่พบมีการสะสมสารหนูสูงบางตัวอย่างก็ไม่ได้อยู่ใกล้พื้นที่ตำบลร่อนพิบูลย์ เช่น แหนเป็ดเล็ก และผักตบชวา มีการสะสมสารหนูสูงในสถานี S_6 บริเวณคลองชะอวด อำเภอเชียรใหญ่ ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 อาจจะเป็นไปได้ว่าพืชน้ำดังกล่าวลอยมาจากทางต้นน้ำที่มีการปนเปื้อนของสารหนู ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในพืชน้ำครั้งนี้พบว่าตัวอย่างพืชน้ำส่วนใหญ่มีค่าไม่เกินมาตรฐาน ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข (2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ยกเว้นผักตบชวา ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนหน้านี้ที่ทำการศึกษาปริมาณสารหนูในพืช ผัก และผลไม้ ในตำบลร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช

ของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2531) และณรงค์ ณ เชียงใหม่ (2534) โดยพบว่า ผลการวิเคราะห์พืชน้ำกับผลการวิเคราะห์พืช ผัก และผลไม้ มีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามปริมาณสารหนูในพืชจะมีค่าแตกต่างกันไป ขึ้นกับชนิดของพืช ชนิดของดิน สภาพทางภูมิศาสตร์ และแหล่งกำเนิดมลพิษ (NAS , 1977 : 48-53) เช่นจากการศึกษาการแพร่กระจายของสารหนู บริเวณลำคลองใกล้เหมืองแร่ที่ Whitewood Creek, South Dakota พบปริมาณสารหนูในพืชน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 1.884 ± 43 ถึง 2,572 ± 42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง (James S. Kuwabara et al. ,1990 : 394-409) นอกจากนี้ปริมาณสารหนูในพืชน้ำ ยังขึ้นอยู่กับฤดูกาลอีกด้วย โดยจะมีค่ามากที่สุดในช่วงฤดูใบไม้ผลิ หรือฤดูร้อนตอนต้น (Aggett and Aspell, 1980; Mudroch and Capobianco, 1979) เช่น จากการศึกษาของ Aggett and Aspell (1980) พบปริมาณสารหนูใน *Ceratophyllum demersum* ในทะเลสาบ Ohakuri มีค่าสูงถึง 1,262 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีค่าต่ำลงถึง 214-204 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ภายใน 8-10 สัปดาห์ต่อมา และผลการศึกษาของ Mudroch and Capobianco (1979) พบปริมาณสารหนูใน *Myriophyllum verticillatum* มีค่าสูงถึง 1,200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีค่าลดลงถึง 130 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ภายใน 3 เดือนต่อมา ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าปัจจัยที่ทำให้ปริมาณสารหนูลดลง คือการเจริญเติบโตของพืชน้ำชนิดนั้น ๆ ซึ่งจะส่งผลให้มวลชีวภาพเพิ่มขึ้น

1.2 ตัวอย่างสัตว์น้ำ ในการศึกษาปริมาณสารหนูใน ปลา กุ้งและหอยครั้งนี้พบว่า หอยจะมีการสะสมปริมาณสารหนูมากกว่าในปลาและกุ้ง (ตาราง 3) ทั้งนี้เพราะว่าหอยเป็นสัตว์หน้าดินที่มีพฤติกรรมการกินอาหารแบบกรองกิน ในขณะที่ปลาและกุ้งมีการดำรงชีวิตโดยเคลื่อนที่ไปมาในน้ำ และมีพฤติกรรมการกินอาหารที่แตกต่างจากหอย ผลการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ U.S. Department of the Interior (1988) และ Tamaki and Frankenberger (1992) ที่กล่าวไว้ว่าหอยสามารถสะสมสารหนูได้สูงที่สุด นอกจากพฤติกรรมการกินอาหารแล้ว ปัจจัยสภาพแวดล้อม อายุของสัตว์น้ำและสภาพที่อยู่อาศัยก็เป็นสาเหตุที่ทำให้มีการสะสมของสารหนูในสัตว์น้ำแตกต่างกันด้วย (Ronald Eisler, 1994 : 213) ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้พบว่าปริมาณสารหนูในปลา กุ้ง และหอยส่วนใหญ่จะมีค่าไม่เกินมาตรฐานตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข (2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ยกเว้นหอยขม ผลการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับผลการสำรวจปริมาณสารหนูในปลาน้ำจืด

ที่จับในแม่น้ำลำคลองรอบ ๆ ตำบลร่อนพิบูลย์ก่อนหน้านี้ที่พบว่ามีสารหนูในระดับต่ำ ยกเว้นหอยขมที่มีระดับสารหนูสูงเกินมาตรฐาน (นายแพทย์สาธารณสุขจังหวัดนครศรีธรรมราช ,2531) และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาปริมาณสารหนูในสัตว์น้ำบริเวณอ่าวปากพนัง โดยสุกัญญา บุญเฉลิมกิจ และคณะ (2539) ซึ่งทำการศึกษาในปี พ.ศ. 2536 - 2538 พบว่ามีค่าสอดคล้องกันคือปริมาณสารหนูที่ตรวจพบมีค่าไม่เกินมาตรฐานตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข (2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โดยสรุปผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าสัตว์น้ำสามารถนำมาบริโภคได้ยกเว้นหอยขม ฉะนั้นจึงควรมีการประชาสัมพันธ์ให้ชาวบ้านทราบและควรงดบริโภคหอยขมในพื้นที่ดังกล่าว นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณสารหนูในปลา มีค่าสอดคล้องกับการศึกษาของ May and Mckinney (1981) ที่ตรวจพบปริมาณสารหนูในปลาน้ำจืด ระหว่างปี 1976-1977 จาก 98 สถานี มีค่าระหว่าง 0.05-2.92 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก

1.3 ตัวอย่างน้ำ ผลการศึกษาพบปริมาณสารหนูสูงสุด ในสถานี S_1 บริเวณคลองร่อนนา ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ (ตาราง 4) สาเหตุที่สารหนูมีปริมาณสูงในสถานีที่ 1 ทั้งการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 เนื่องจากอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดการแพร่กระจายของสารหนูคือบริเวณโรงแต่งแร่เก่า บนเทือกเขาร่อนนา โดยสารหนูจะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ ตามสถานีที่ห่างไกลออกไป และจากการศึกษาพบว่าในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 พบปริมาณสารหนูสูงกว่าการเก็บครั้งที่ 2 ทุกตัวอย่าง เนื่องจากช่วงที่ทำการเก็บตัวอย่างเป็นช่วงที่ฝนที่ตกมีปริมาณน้อย ส่วนการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 เป็นช่วงที่ฝนตกชุก และเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างเป็นช่วงที่เพิ่งเกิดน้ำท่วมขึ้นในบริเวณที่ราบลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช อาจมีผลทำให้ปริมาณสารหนูถูกเจือจางลง จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณสารหนูมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทั่วไปของ US.EPA กำหนดไว้ (0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร) ในสถานี S_1- S_2 และมีค่าไม่เกินมาตรฐานน้ำทั่วไปของ US.EPA กำหนดไว้ (0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร) ในสถานีที่ S_3 - S_6 ทั้งการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 และผลการศึกษาในครั้งนี้ ยังพบว่าค่าปริมาณสารหนูที่ตรวจพบมีค่าสอดคล้องกับการศึกษาของสุกัญญา บุญเฉลิมกิจ และคณะ (2539) ซึ่งทำการศึกษาปริมาณสารหนูตกค้างเฉลี่ยในน้ำ ระหว่างปี พ.ศ. 2536 - 2538 ผลการศึกษาพบว่าปริมาณสารหนูในแหล่งน้ำจากบริเวณเทือกเขาร่อนนา-สวนจันทร์ ในอำเภอร่อนพิบูลย์ มีปริมาณสารหนูตกค้างค่อนข้าง

สูง และจะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จากบริเวณอำเภอร่อนพิบูลย์ไปยังลุ่มน้ำปากพนัง หากเปรียบเทียบผลการศึกษาในครั้งนี้กับผลการศึกษาปริมาณสารหนูในแหล่งน้ำอื่น ๆ ในประเทศไทย พบว่าปริมาณสารหนูมีค่าอยู่ในระดับสูงกว่า (ตาราง 12 ภาคผนวก ซ)

1.4 ตัวอย่างดินตะกอน ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 พบปริมาณสารหนูสูงสุดในดินตะกอน ในสถานี S_1 บริเวณคลองร่อนนา ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ (ตาราง 5) สาเหตุที่สารหนูมีปริมาณสูงในสถานี S_1 ทั้งการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 เนื่องจากเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดสารหนูซึ่งเป็นบริเวณโรงแต่งแร่เก่า บนเทือกเขาร่อนนา สาเหตุที่ปริมาณสารหนูในดินตะกอนมีปริมาณสูงต่ำในแต่ละสถานี เนื่องจากองค์ประกอบของดินตะกอนแตกต่างกัน โดยสารหนูสามารถสะสมได้สูงในดินละเอียด (fine soil) ซึ่งมีพวกออ๊กไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียม แต่จะสะสมได้น้อยในดินทราย (sandy soil) ซึ่งมีออ๊กไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียมน้อย (NAS, 1977 : 43) ปริมาณสารหนูที่พบในดินตะกอนจะมีปริมาณลดลงไปเรื่อย ๆ ตามระยะทางที่ห่างจากแหล่งกำเนิด (บริเวณตำบลร่อนพิบูลย์) ผลการศึกษาปริมาณสารหนูในน้ำและดินตะกอนมีค่าสอดคล้องกับผลการศึกษาของ อารีย์ สุวรรณมณี (2534) และวรพิณ วิทยวราวัฒน์ (2537) คือปริมาณสารหนูในน้ำและดินตะกอนมีค่าลดลงจากจุดกำเนิดการแพร่กระจายของสารหนูไปสถานีที่ห่างออกไป

จากผลการศึกษาในครั้งนี้ ทำให้ทราบว่าสารหนูสามารถแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ โดยสารหนูที่สะสมในดินตะกอนสามารถถูกถ่ายทอดไปยังสัตว์น้ำที่อาศัยหาอาหารอยู่ตามพื้นดิน เช่น หอย และปลาหน้าดินบางชนิด หรืออาจเกิดกระบวนการทางเคมีทำให้โลหะในดินตะกอนละลายกลับคืนสู่ชั้นน้ำได้อีก (Bryan and Uysal, 1978 ; Hanson and Hoss, 1986) โดยสารหนูที่ตกตะกอนอยู่ตามท้องน้ำ จะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลาย ให้อยู่ในรูปของสารหนูอินทรีย์และถูกออ๊กซิไดส์ ให้สามารถเคลื่อนตัวกลับมาละลายอยู่ในน้ำได้อีก (WHO,1981 ; Elder, 1988) และสาเหตุที่สารหนูแต่ละสถานีมีปริมาณการสะสมในแต่ละชนิดตัวอย่างไม่เท่ากัน เนื่องจากการแพร่กระจายของสารหนูลงสู่แม่น้ำ รูปฟอร์มของสารหนูแตกต่างกัน องค์ประกอบของดินตะกอน การแข่งขันกันแพร่กระจายของโลหะชนิดอื่นกับสารหนูเข้าสู่สิ่งมีชีวิต ปัจจัยทางกายภาพ เช่น ความเค็ม ปฏิกิริยารีด๊อกซ์ หรือค่าพีเอช (G.W. Bryan & W.J. Langston : 1992, 89)

2. การศึกษาดัชนีชี้วัดทางชีวภาพ

2.1 การหาสัดส่วนปริมาณสารหนูในพืชน้ำ และสัตว์น้ำ โดยเปรียบเทียบกับปริมาณสารหนูในน้ำและดินตะกอน บริเวณเดียวกัน

การศึกษาดัชนีชี้วัดทางชีวภาพ ได้ดำเนินการศึกษาโดยตั้งสมมติฐานว่า ถ้าพบว่าพืชน้ำหรือสัตว์น้ำชนิดใดเป็นตัวแทนที่ดีของจุดที่ทำการเก็บตัวอย่าง มีอยู่ทั่วไป ง่ายต่อการเก็บตัวอย่าง ง่ายต่อการจำแนกชนิด และมีการสะสมสารหนูในปริมาณสูง และมีระดับสารหนูสัมพันธ์กับระดับสารหนูในน้ำหรือดินตะกอน (Samecra-Cymerman and Kempers : 1996, 242, quoting Franzin and McFarlane, 1980 ; UNEP : 1990, 15) ก็อาจใช้พืชน้ำหรือสัตว์น้ำชนิดนั้น ๆ เป็นดัชนีบ่งบอกการปนเปื้อนของสารหนูในระบบนิเวศทางน้ำในบริเวณดังกล่าวได้ และในทางกลับกัน ถ้าเราทราบปริมาณสารหนูในน้ำหรือในดินตะกอน เราก็สามารถที่จะคาดคะเนปริมาณสารหนูในสัตว์น้ำหรือพืชน้ำที่เลือกใช้เป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพได้ ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเลือกชนิดตัวอย่างที่เหมาะสมตามเกณฑ์เพื่อดำเนินการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 3

จากผลการศึกษาการปนเปื้อนของสารหนู โดยการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2 พบว่าพืชน้ำที่มีการสะสมสารหนูในปริมาณที่สูงทั้งการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2 คือ ผักตบชวา ส่วนสัตว์น้ำที่มีการสะสมปริมาณสารหนูสูงได้แก่ หอยขม จากนั้นได้นำผลการวิเคราะห์มาหาค่าสัดส่วนปริมาณสารหนูในพืชน้ำต่อปริมาณสารหนูในน้ำและดินตะกอน การศึกษาในครั้งนี้ พบว่าสัดส่วนปริมาณสารหนูในพืชน้ำต่อปริมาณสารหนูในน้ำ มีค่าสอดคล้องกับการศึกษาของ Lee et al. (1991) และ Reay (1972) โดยมีค่าสัดส่วน อยู่ในช่วง 17-20,702 และ 100-20,000 และการศึกษาครั้งนี้ได้พบสัดส่วนสูงสุดในผักตบชวา (ตาราง 6 และ 7) ดังนั้นในการเลือกพืชน้ำเพื่อดำเนินการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 3 ได้เลือกผักตบชวามาศึกษาว่าสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพได้หรือไม่ เนื่องจากเป็นพืชน้ำที่มีการสะสมปริมาณสารหนูสูงกว่าพืชน้ำชนิดอื่น พบได้ทั่วไปในบริเวณดังกล่าว และง่ายต่อการเก็บตัวอย่าง ส่วนตัวอย่างสัตว์น้ำได้เลือกหอยขมมาศึกษาว่าพอจะใช้เป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพได้หรือไม่ เนื่องจากพบสัดส่วนการสะสมปริมาณสารหนูสูงกว่าสัตว์น้ำชนิดอื่น และมีค่าสัดส่วนปริมาณสารหนูในหอยขมต่อปริมาณสารหนูในน้ำและดินตะกอนสูง ทั้งการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2 (ตาราง 6 และ7) นอกจากนี้หอยขมยังมี

อยู่ทั่วไป พบได้เกือบทุกสถานีเก็บตัวอย่าง หากินอยู่กับที่ ไม่เคลื่อนย้ายไปไกล ๆ ง่ายต่อการเก็บตัวอย่างและจำแนกชนิด

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณสัดส่วนของสารหนูในพืชน้ำต่อสารหนูในน้ำและดินตะกอน จะมีค่ามากน้อยแตกต่างกันไป นอกจากจะขึ้นกับน้ำหนักเปียกแล้ว ปัจจัยอื่น ๆ เช่นพื้นที่ที่ศึกษา ฤดูกาล อายุของเนื้อเยื่อ และชนิดของสิ่งมีชีวิต (Guilizzoni,1991) ก็มีผลทำให้ปริมาณสัดส่วนของสารหนูในพืชน้ำต่อสารหนูในน้ำและดินตะกอนมีค่าต่างกัน

2.2. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในพืชน้ำ และสัตว์น้ำกับปริมาณสารหนูในน้ำและดินตะกอน

จากการดำเนินการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2 พบปริมาณสารหนูมีการแพร่กระจายในตัวอย่างพืชน้ำ สัตว์น้ำ น้ำ และดินตะกอน จากนั้นได้หาตัวแทนของพืชน้ำและสัตว์น้ำในการศึกษาเพื่อใช้เป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพ ซึ่งได้แก่ผักตบชวาและหอยขม จึงได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในพืชน้ำและสัตว์น้ำที่คัดเลือกมากับปริมาณสารหนูในน้ำ และดินตะกอนบริเวณเดียวกัน ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในตัวอย่างต่าง ๆ เป็นดังนี้

2.2.1 ตัวอย่างน้ำ พบว่าปริมาณสารหนูมีค่ามากที่สุดในสถานี P_1 บริเวณคลองแม่กลอง ตำบลควนพัง อำเภอร่อนพิบูลย์ ซึ่งเป็นสถานีที่อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดสารหนูมากกว่าจุดอื่น ๆ และมีค่าลดลงเรื่อย ๆ ไปยังสถานีที่ห่างออกไป เช่นเดียวกับการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2

2.2.2 ตัวอย่างดินตะกอน พบว่าปริมาณสารหนูมีค่ามากที่สุด ในสถานี P_1 บริเวณคลองแม่กลอง ตำบลควนพัง อำเภอร่อนพิบูลย์ ซึ่งเป็นสถานีที่อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดสารหนูมากกว่าจุดอื่น ๆ และมีค่าลดลงเรื่อย ๆ ไปยังสถานีที่ห่างออกไป เช่นเดียวกับการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และ 2

2.2.3 ตัวอย่างผักตบชวา ได้ทำการวิเคราะห์แยกส่วน พบว่าปริมาณสารหนูในรากสูงกว่าส่วนอื่น ๆ คือ ต้น ใบ และก้านใบ อาจเป็นเพราะรากเป็นส่วนที่อยู่ใต้น้ำมีหน้าที่ดูดซับอาหารและแร่ธาตุต่าง ๆทำให้มีการสะสมสารหนูในปริมาณที่สูงกว่าส่วนอื่น ๆ

2.2.4 ตัวอย่างหอยขม พบว่าปริมาณสารหนูมีค่ามากที่สุดในสถานี P_1 บริเวณคลองแม่กลอง ตำบลควนพัง อำเภอร่อนพิบูลย์ ซึ่งเป็นสถานีที่อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดสารหนู

มากกว่าจุดอื่น ๆ สาเหตุที่ปริมาณสารหนูที่พบในหอยขมในสถานี P_1 มีค่าสูง เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีการสะสมสารหนูในน้ำและดินตะกอนสูงกว่าสถานีอื่น ๆ ปริมาณสารหนูที่สะสมในหอยขมซึ่งเป็นสัตว์น้ำที่อยู่ในบริเวณดังกล่าว จึงมีค่าปริมาณสารหนูสูงด้วย

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้น ได้นำมาหาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในพืชน้ำและสัตว์น้ำกับปริมาณสารหนูในน้ำและดินตะกอนบริเวณเดียวกัน พบว่าปริมาณสารหนูในน้ำกับดินตะกอน มีความสัมพันธ์กันมาก ปริมาณสารหนูในดินตะกอนกับใบผักตบชวา และปริมาณสารหนูในน้ำกับรากผักตบชวา มีความสัมพันธ์กันปานกลาง (r_s > 0.6) ปริมาณสารหนูในดินตะกอนกับหอยขม และปริมาณสารหนูในน้ำกับหอยขมมีความสัมพันธ์กันน้อย (r_s < 0.6) (ตาราง 10) ผักตบชวาเป็นพืชน้ำที่พบได้ทั่วไป มีลักษณะเด่นชัด แยกจากพืชน้ำอื่น ๆ ได้ง่าย มีขนาดใหญ่ จึงง่ายต่อการเก็บตัวอย่าง อาจใช้เป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพได้ แต่เนื่องจากผักตบชวาเป็นพืชลอยน้ำ จึงอาจเคลื่อนที่ไปตามกระแสน้ำได้ จนไม่อาจใช้เป็นตัวแทนของสถานีเก็บตัวอย่างได้ จึงไม่เหมาะสำหรับคลองที่กระแสน้ำไหลอยู่ตลอดเวลา แต่อาจเหมาะกว่าถ้าใช้ในแหล่งน้ำนิ่ง เช่น ขุมเหมืองเก่า สระน้ำ ทะเลสาบน้ำจืดเล็ก ๆ หรือบึง ในการศึกษาครั้งนี้เน้นเก็บตัวอย่างผักตบชวาเฉพาะที่ถูกยึดเหนี่ยวไว้ด้วยสิ่งกีดขวางในน้ำ หรือติดอยู่ในเวิ้งอ่าวของลำคลอง ซึ่งทำให้ไม่ลอยไปไหนได้ ส่วนหอยขมเป็นสัตว์หน้าดินที่หากินตะไคร่น้ำ โคลนตม พืชน้ำ สัตว์น้ำเล็ก ๆ และอินทรีย์สาร (ศักดิ์ชัย ชูโชติ และ ธานี พูนดี, 2529) และหอยขมเป็น Deposite feeder ซึ่งสามารถบ่งชี้ถึงลักษณะทางเคมีของดินตะกอนได้ (UNEP, 1990 : 15) หอยขมมักอยู่กับที่ พบได้ทั่วไป ง่ายต่อการจำแนกชนิด ง่ายต่อการเก็บตัวอย่าง และมีการสะสมสารหนูในปริมาณสูง จึงอาจใช้เป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพได้ แต่เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในดินตะกอนกับหอยขม และปริมาณสารหนูในน้ำกับหอยขมมีความสัมพันธ์กันน้อย และในเวลาน้ำหลาก หอยขมที่เกาะอยู่ตามกิ่งไม้ ขอนไม้อาจลอยไปได้ไกล ๆ ได้ด้วย ดังนั้นบางครั้งหอยขมอาจเป็นตัวแทนที่ไม่ดีนักของจุดที่ทำการเก็บตัวอย่าง ทำให้หอยขมไม่เหมาะสมในการเป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพในแหล่งน้ำผิวดิน ที่มีกระแสน้ำไหลแรง แต่อาจเหมาะสมกว่าถ้าใช้ในแหล่งน้ำนิ่ง เช่น ขุมเหมืองเก่า สระน้ำ ทะเลสาบน้ำจืดเล็ก ๆ หรือบึง

บทที่ 5

บทสรุป

การศึกษาในครั้งนี้ พบว่ามีการปนเปื้อนของสารหนูจากบริเวณตำบลร่อนพิบูลย์ไปยังที่ราบลุ่มน้ำปากพนัง ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในพืชน้ำ สัตว์น้ำ น้ำ และดินตะกอน เป็นดังนี้ คือปริมาณสารหนูในพืชน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 0.23 - 2.97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก โดยพืชน้ำที่พบสารหนูสูงสุดคือผักตบชวา ส่วนปริมาณสารหนูในสัตว์น้ำ มีค่าอยู่ระหว่าง ตรวจไม่พบ - 2.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก โดยพบสูงสุดในหอยขม ปริมาณสารหนูในน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง ตรวจไม่พบ - 0.246 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารหนูในดินตะกอน มีค่าอยู่ระหว่าง 100.70 - 1,854.84 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง โดยจะพบปริมาณสารหนูสูงที่สุดในดินตะกอน ในพื้นที่ตำบลร่อนพิบูลย์ ซึ่งเป็นบริเวณที่ใกล้กับโรงแต่งแร่เก่า จากการศึกษาในครั้งนี้จะเห็นว่าสารหนูมีอยู่ทั่วไปในระบบนิเวศ โดยสารหนูสามารถแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งมีชีวิตผ่านทางห่วงโซ่อาหาร (NAS, 1977 : 70) ซึ่งสารหนูที่สะสมในดินตะกอนสามารถถูกถ่ายทอดไปยังสัตว์น้ำที่อาศัยหาอาหารอยู่ตามพื้นดิน เช่น หอย และปลาหน้าดินบางชนิด หรืออาจเกิดกระบวนการทางเคมีทำให้โลหะในดินตะกอนละลายกลับคืนสู่ชั้นน้ำได้อีก (Bryan and Uysal, 1978 ; Hanson and Hoss, 1986) สำหรับปริมาณสารหนูที่พบในพืชน้ำและสัตว์น้ำส่วนใหญ่ยังมีปริมาณที่ต่ำ ยกเว้นหอยขมและผักตบชวา ในการศึกษาดัชนีชี้วัดทางชีวภาพ พบว่าผักตบชวาและหอยขมมีปริมาณสารหนูสัมพันธ์กับปริมาณสารหนูในน้ำและดินตะกอน แต่ยังไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพ เนื่องจากกระแสน้ำสามารถพัดพาให้เคลื่อนที่ไปได้ไกล ๆ จึงไม่เหมาะที่จะเป็นตัวแทนที่ดีของจุดเก็บตัวอย่าง ยกเว้นในแหล่งน้ำนิ่ง

แม้ว่าค่าปริมาณสารหนูในน้ำและดินตะกอนจะผันแปรไปตามการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อม และฤดูกาล ตลอดจนปัจจัยอื่น ๆ อยู่บ้างแต่อย่างไรก็ดีค่าที่วิเคราะห์ได้ครั้งนี้ สามารถใช้เป็นข้อมูลในการบ่งชี้สภาวะแวดล้อมบริเวณนี้ว่ามีการปนเปื้อนของสารหนูอยู่ และยังเป็นประโยชน์ในการศึกษาครั้งต่อไป ตลอดจนเปรียบเทียบปริมาณสารหนูที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงในอนาคตอีกด้วย

ข้อคิดเห็น

1. การศึกษาดัชนีชี้วัดทางชีวภาพในครั้งนี้ เป็นการศึกษาดัชนีชี้วัดทางชีวภาพเบื้องต้น เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นมากยิ่งขึ้น ผู้ที่สนใจอาจจะศึกษาเพิ่มเติมจากการศึกษาครั้งนี้ โดยเพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่างให้มากขึ้น และควรทำ control group เพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารหนูกับแหล่งที่ไม่มีการปนเปื้อนของสารหนูควบคู่กัน

2. ผู้ที่สนใจอาจทำการศึกษาเรื่องดัชนีชี้วัดทางชีวภาพในห้องปฏิบัติการอีกครั้งหนึ่ง เกี่ยวกับพืชน้ำ และสัตว์น้ำที่นำมาใช้เป็น ดัชนีชี้วัดทางชีวภาพ เพราะสามารถควบคุมปัจจัยด้านต่าง ๆ ในสิ่งแวดล้อมได้ และจะทำให้สามารถพิสูจน์สมมติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้ได้มากยิ่งขึ้น

3. การปนเปื้อนของสารหนูในระบบนิเวศ ผู้สนใจสามารถที่จะศึกษาต่อไปถึงลำดับการถ่ายทอดปริมาณสารหนูในห่วงโซ่อาหาร ซึ่งจะทำให้การศึกษาการปนเปื้อนของสารหนูในระบบนิเวศสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

4. เนื่องจากสารหนูมีรูปลักษณ์ทางเคมีที่แตกต่างกัน ผู้ที่สนใจสามารถที่จะศึกษาถึงรูปลักษณ์ทางเคมีของสารหนูในตัวอย่างชนิดต่าง ๆ กัน เพื่อที่จะทราบว่าสารหนูที่มี อยู่ในรูปลักษณ์ทางเคมีที่เป็นอันตรายหรือไม่

5. การปนเปื้อนของสารหนูในสิ่งแวดล้อมจะมีผลต่อความเสี่ยงของประชาชนที่ได้รับสารหนู จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่เจ้าหน้าที่ของรัฐ หรือนักวิจัยได้ติดตามตรวจสอบ เฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารหนูอย่างต่อเนื่อง เพื่อรายงานสถานการณ์การปนเปื้อน และลดความเสี่ยงของประชาชนในพื้นที่ต่อไปได้

บรรณานุกรม

ข้าวทิพย์ เจนธุระกิจ และ พิมล เรียนวัฒนา. 2533. "การนำผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) มาใช้ในการลดปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม". การอนามัยและสิ่งแวดล้อม. 13 (3 กันยายน - ธันวาคม), 49-70

คณะกรรมการอาหารและยา, สำนักงาน. กองวิชาการ. 2531. โครงการสำรวจติดตามปัญหาการปนเปื้อนของสารหนูในเนื้อสัตว์ ผัก และผลไม้. รายงานผลการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข. กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, สำนักงาน. กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2526. มาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, สำนักงาน. กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2530. สารหนู. กรุงเทพฯ.

———. 2530. คู่มือการเก็บและรักษาตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์โลหะหนัก. กรุงเทพฯ.

———. 2534. รายงานสถานการณ์สิ่งแวดล้อมเรื่องสารพิษในประเทศไทย พ.ศ.2530 - 2534. กรุงเทพฯ.

จันทร์เพ็ญ ชูประภาวรรณ. 2531. "ปัญหาพิษสารหนูที่อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช", การประชุมปฏิบัติการระหว่างคณะกรรมการระบาดวิทยาแห่งชาติและกระทรวงสาธารณสุข. หน้า 9-12. กรุงเทพฯ : กระทรวงสาธารณะสุข.

จริยา อินทรรัศมี. 2537. "การลดปริมาณสารหนูในปลาช่อนจากแหล่งที่มีการปนเปื้อนสารหนูโดยวิธีการต้มหรือการทอด (Decreasing of Arsenic in Ophicephalus Stritus From Arsenic Contaminated Place by Boiling or Frying)", วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล. (สำเนา)

ช่อทิพย์ อาธารมาศ. 2531. พรรณไม้น้ำของไทย. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สงขลา.

โชติ สวัตถิ. 2509. หอยเมืองไทย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ณรงค์ ณ เชียงใหม่. 2534. "ปริมาณสารหนูในแหล่งน้ำ พืช ผัก ผลไม้ และเส้นผม ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช", วารสารสงขลานครินทร์. 13 (มกราคม-มิถุนายน 2534), 59-67.

ธีรวัชร อินทรสูตร. 2530. มลพิษสารหนูในแหล่งน้ำบาดาลอำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช. กรุงเทพฯ : กระทรวงสาธารณสุข.

นิตยา มหาผล. 2532. รายงานการระบาดของโรคพิษสารหนูที่อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช. กรุงเทพฯ : กระทรวงสาธารณสุข.

นายแพทย์สาธารณสุขจังหวัดนครศรีธรรมราช. 2531. "การแก้ไขปัญหาสารหนูเป็นพิษที่อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช". นครศรีธรรมราช : สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดนครศรีธรรมราช. (สำเนา)

เนาวรัตน์ ศุขะพันธ์. 2516. การศึกษาชีววิทยาบางประการของหอยขม. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

บรรจง วิทยวีรศักดิ์. 2536. "ปัญหาสารหนูที่ร่อนพิบูลย์", สงขลานครินทร์เวชสาร. 4 (ตุลาคม - ธันวาคม 2536), 267-276.

ประยูร เอื้อไพบูลย์. 2539. "โรคพิษสารหนู", ความก้าวหน้าของการศึกษาวิจัยป้องกันโรคพิษสารหนูเรื้อรัง ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช : รายงานการประชุม วันที่ 11 มิถุนายน 2539 กองระบาดวิทยา. หน้า 8-30. กรุงเทพฯ : กระทรวงสาธารณสุข.

พึงใจ ลิ้มเจริญ. 2531. ปัญหาพิษสารหนูที่อำเภอร่อนพิบูลย์. กรุงเทพฯ : กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม.

พัชรา เพ็ชรพิรุณ, กำพล ลอยชื่น และ ศรันย์ เพชรพิกุล. 2538. "การแพร่กระจายของโลหะหนักในดินตะกอนพื้นผิวบึงบอระเพ็ด", วารสารการประมง. 2 (มีนาคม - เมษายน 2538), 148-155.

ไพชยนต์ เจริญไชยศรี. 2536. "สรุปผลการปฏิบัติงานปัญหาพิษสารหนูที่อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช". กรุงเทพฯ : กรมทรัพยากรธรณี.

มงคล ณ สงขลา และ จันทร์เพ็ญ ชูประภาวรรณ. 2539. "สถานการณ์ปัจจุบัน และแนวทางการจัดการปัญหาพิษสารหนูที่อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช", ความก้าวหน้าของการศึกษาวิจัยและแนวทางป้องกันพิษสารหนูเรื้อรัง ตำบลร่อนพิบูลย์. : รายงานการประชุมครั้งที่ 1 วันที่ 11 มิถุนายน 2539 กองระบาดวิทยา. หน้า 1-6. กรุงเทพฯ : กระทรวงสาธารณสุข.

วรพิณ วิทยวราวัฒน์. 2537. "การปนเปื้อนของสารหนู แคดเมียมและตะกั่วในลุ่มแม่น้ำปากพนังจังหวัดนครศรีธรรมราช (Contamination of Arsenic Cadmium and Lead in Pak Phanang River Basin, Changwat Nakhon Si Thammarat", วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (สำเนา)

วิทยาศาสตร์การแพทย์, กรม. และ คณะกรรมการอาหารและยา, สำนักงาน กระทรวงสาธารณสุข. ม.ป.ป. โครงการศึกษาวิจัยปริมาณโลหะหนักในอาหารทะเล. กรุงเทพฯ.

ศักดิ์ชัย ชูโชติ และ ธานี พูนดี. 2529. "การศึกษาการเลี้ยงหอยขมในกระชัง", วารสารการประมง. 6 (พฤศจิกายน 2529), 623-627.

สมพร ภวการค้าดี และ อุดมลักษณ์ ศรีทัศนีย์. 2531. "สารหนูในสิ่งแวดล้อม", วารสารอนามัยสิ่งแวดล้อม. 11 (มกราคม-เมษายน 2531), 79-90.

สุกัญญา บุญเฉลิมกิจ, เจนวิทย์ วงศ์ษานูน และ มูนิฮิโร ฟูกูดะ. 2539. "การศึกษาสารหนูในอ่าวปากพนังโดยใช้ตัวอย่างชีวภาพ". กรุงเทพฯ : กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

อนามัย, กรม. กองอนามัยสิ่งแวดล้อม. 2531. "รายงานผลการศึกษาเรื่องปัญหาสารหนูเป็นพิษที่ร่อนพิบูลย์", วารสารการอนามัยและสิ่งแวดล้อม. 11 (มกราคม-เมษายน 2531), 7-30.

อรพรรณ์ เมธาดิลกกุล และคณะ. 1989. "โรคพิษอาร์เซนิคในคนงานร่อนแร่ จังหวัดนครศรีธรรมราช พ.ศ.2530", การอนามัยและสิ่งแวดล้อม. 12 (Jan-Apr 1989), 83-98.

อารี สุวรรณมณี. 2534. "การแพร่กระจายของสารหนูในสภาพแวดล้อม อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช (Distribution of Arsenic in the Environment of Amphoe Ronpibul Changwat Nakhon Si Thammarat)", วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (สำเนา)

APHA-AWWA-WPCE. 1985. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 18th ed. New York : American Public Health Association.

Aggett, J. and Aspell, A. C.. 1981. Arsenic from geothermal sources in the Waikato Catchment. N. Z. J. Sci. 23, 77-82.

Aggett, J. and O' Brien, G. a.. 1985. Detailed model for the mobility of arsenic in lacustrine sediments based on measurements in Lake Ohakuri. Environmental Science Technology. 19, 231-238.

Bryan ,G.W. and Langston ,W.J. 1992. "Bioavailability, Accumulation and Effect of Heavy Metal in Sediments with Special Reference to United Kingdom Estuaries : a review" , Environmental Pollution. 76 (1992), 89-131.

Bryan, G.W. and H. Uysal. 1978. Heavy metal in the burrowing bivalae *Scrobicularia plana* from the Tarmer Estuary in the relation to environmental levels. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 58:89-108.

Cheung , Y.H. and Wong. M.H. 1992. "Comparison of Trace Metal Contents of Sediments and Mussels Collected within and outside Tolo Harbour , Hong Kong", Environmental Management. 16 (1992). 743-751.

Crowder, A.; Dushenko, W. T.; Greig, J. and Poland, J. S. 1989. "Metal contamination in sediments and biota of the Bay of the Quinte, Lake Ontario, Canada". Hydrobiologia. 188/189, 337-343.

Eisler Ronald. 1994. "A review of arsenic hazards to plants and animals with emphasis on fishery and wildlife resources", In Arsenic in the environment, Part II : Human health and ecosystem effects, p.185-259. Nriagu, Jerome O.,ed. Wiley , New York .

Elder,J.F. 1988. Metal biogeochemistry in surface water systems. US. Geological Survey Circular 1013.

Everaarts, J.M. and Swennen, C. 1987. "Heavy Metals (Zn, Cu, Cd, Pb) in some Benthic Invertebrate Species and in Sediment from Three Coastal Areas in Thailand and Malaysia", Science Social Thailand. 13 (1987), 189-203.

Everaarts, J.M. ; Swennen, C. and Cheewasedtham , W. 1994. "Heavy Metal (Cu, Zn, Cd, Pb) in Surface Sediment and Organisms in a Short food chain, from the Intertidal Zone of Pattani Bay, Thailand", Wallaceana. 72 (1994), 17-24.

Ferguson, John F. and Gavis, Jerome. 1972. "A Review of the Arsenic Cycle in Natural Water", Water Research. 6 (1972), 1259-1274.

Fowler, S.W. and Unlu, M.Y. 1979. "Factors affecting bioaccumulation and elimination of arsenic in the shrimp *Lysmata seticaudata*". Chemosphere. 9, 711-720.

Guilizzoni, P.. 1991. The role of heavy metals and toxic materials in the physiological ecology of submersed macrophytes. Aquat. bot. 41, 87-110.

Hall, R.A.; Zook, E.G. and Meaburn, G.M. 1978. "National Marine Fisheries Service survey of trace elements in the fishery resources". NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF-721, 1-313.

Hanson, P.J. and D.E. Hoss. 1986. "Trace metal concentions in Menhaden larvae Brevoortia patronus from the northern gulf of Mexico". Estuarine coastal and shelf science. 23, 305-315.

Hironaka, H. 1992. (Personal Communication) Fukuoka City Institute of Public Health, Fukuoka, Japan.

~~Hutchison, G. E.. 1975. A treatise on Limnology, Vol. 3. Wiley, New York.~~

Ishinishi, Noburn.; Tsuchiya Kenzaburo ; Vahter Marie and Fowler Bruce A.. 1986. Handbook on the Toxicology of Metals. 2d ed. s.l. : Elsevier Science Publishers B.V.

Jenkins, D.W. 1980. Biological monitoring of toxic trace metal. Vol. 2. Toxic trace metal in plants and animals of the world. Part I U.S. Environ. Prot. Agency Rep. 600/3-80-090, 30-138.

Kitts H.J. ; Millward G.E. ; Morris A.W. and Ebdon L.. 1994. "Arsenic Biogeochemistry in the Humber Estuary, U.K.". Estuarine, Coastal and Shelf Science. 39 (1994) , 157-172.

Krynitsky Alexander J. 1987. "Preparation of Biological Tissue for Determination of Arsenic and Selenium by Graphite Furnance Atomic Absorption Spectrometry", Analytical Chemistry. 59 (14 July 1987), 1884-1886.

Kuwabara , James S.; Member ; ASCE ; Chang Cecily C.Y. and Pasilis Sofie P.. 1990. "Effects of Benthic Flora on Arsenic Transport", Journal of Environmental Engineering. 166 (March/April 1990), 394-407.

Lima, A.R.; Curtis, C.; Hammermeister, D.E. ; Markee, T.P. ; Northcott, C.E. and Brooke, L.T.. 1984. "Acute and chronic toxicities of arsenic(III) to fathead minnows, flagfish, daphnids, and an amphipod". Arch. Environ. Conta. Toxicol. 13, 595-601.

Lub Ming-Dean, Baker,R.W. and Henley,D.E. 1973. "Arsenic analysis and toxicity a review", Science of the total environmental. 2 (May 1973), 1-12.

Maeda , Shigeru ; Kumamoto Twtsushi ; Yonemoto Mayumi ; Nakajima Seishiro and Takeshita Toshio. 1983. "Bioaccumulation of Arsenic by Freshwater algae

and the Application to the Removal of Inorganic Arsenic from an Aqueous Phase. Part I. Screening of Freshwater Algae Having High Resistance to Inorganic Arsenic", <u>Separation Science and Technology</u>. 18 (1983) , 375-385.

McIntosh, A. W.; Shephard, B.K.; Mayers, R. A.; Atchison, G. J. and Nelson, D. W. 1987. Some aspects of sediment distribution and macrophyte cycling of heavy metals in a contaminated lake. <u>J. Environ. Qual</u>. 7, 301-305.

Mudroch, A., and Capobianco, J. A. 1979. "Effects of mine effluent on uptake of Co, Ni, Cu, As, Zn, Cd, Cr and Pb by aquatic macrophytes". <u>Hydrobiologia</u>. 64, 223-231.

National Academy of Sciences (NAS). 1977. <u>Arsenic</u>. NAS, Washington, DC.

National Research Council of Canada (NRCC). 1978. "Effects of arsenic in the Canadian Environment". <u>Natl. Res. Counc. Can. Publ</u>. NRCC 15391, 1-349.

Nitayaporn Tonmanee, Jurai Thongmary and Orathai Sukreeyapongse. 1992. "The Quantitative Study of Arsenic and Lead (As, Pb) in Soil and Water in the Land after Mining, Amphoe Ronpiboon, Changwat Nakorn Si Thammarat." p.225 In <u>Abstract of the Second Princess Chulabhorn Science Congress on Environmental Science and Technology</u>, November 2-6, 1992. Bangkok : The Chulabhorn Research Institute.

Pershagen, G. and Vahter, M. 1979. Arsenic-A Toxicological and Epidemiological Appraisal, Naturvardsverket Rapp. SNV PM 1128. Liber Tryck, Stockholm.

Phillips, D.J.H.; Thomson, G.B.; Gabuji, K.M. and Ho, C.T. 1982. "Trace metals of toxicological singnificance to man in Hong Kong seafood". Environ. Pollut. 3B, 27-45.

Pip, E. 1990. "Cadmium, copper and lead in aquatic macrophytes in Shoal Lake (Manitoba-Ontario)". Hydrobiologia. 208, 253-260.

Samecka-Cymerman, A. and Kempers, A.J.. 1996. "Bioaccumulation of Heavy Metals by Aquatic Macrophytes Around Wroclaw, Poland", Ecotoxicology and Environmental Safety. 35 (1996), 242-247.

Surapon Arrykul. 1996. "Contamination of Arsenic, Cadmium, and Lead in Pakphanang River Basin, Nakhon Si Thammarat, Thailand". In International Symposium on Geology and Environment. (31 Jan - 2 Feb). p 309-318. Chaingmai.

Tamaki, S. and Frankenberger, Jr.. 1992. "Environmental biochemistry of arsenic". Rev. Environ. Contam. Toxicol. 124, 79-110.

UNEP. 1990. "Contamination monitoring programes using marine organisms". Quality Assurance and Good Laboratory Practice. Reference methods for marine pollution studies. No. 57, 1-26.

U.S. Department of the Interior. 1988. Arsenic Hazards to Fish, Wildlife, and Invertebrates : A Synoptic Review, Biol. Rep. 85/Contaminant Hazard Rev. Rep. No. 12. Fish and Wildlife Service, Washington, DC.

Vos, G. and Hovens, J.P.C. 1986. "Chromium, nickel, copper, zinc, arsenic, selenium, cadmium, mercury and lead in Dutch fishery products 1977-1984". Sci. Total Environ. 52, 25-40.

World Health Organization. 1981. Arsenic : Environmental Health Criteria 18. WHO, Geneva

Woolson, E.A. 1975. "Arsenic pesticides". ACS Ser. 7, 1-176.

Zehr, Bradlay D. ; Vankuren Judith P. and McMahon Hung M. 1994. "Inorganic Microwave Digestions Incorporating Base", Analytical Chemistry. 66 (1 July 1994), 2194-2196.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการเก็บและรักษาตัวอย่างน้ำเพื่อการวิเคราะห์โลหะหนัก

(ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2530)

1. ตัวอย่างน้ำผิวดินที่มิใช่ทะเล

1.1 จุดเก็บตัวอย่าง

1.1.1 แหล่งน้ำไหล ซึ่งได้แก่ แม่น้ำ ลำธาร คลอง คูระบายน้ำ ฯลฯ การเก็บตัวอย่างให้เก็บที่จุดกึ่งกลางความกว้างของแหล่งน้ำที่ระดับกึ่งกลางความลึก

1.1.1.1 เก็บตัวอย่างน้ำจากปากแม่น้ำ ปากคลอง ปากคูน้ำที่ระบายออกจากแหล่งน้ำเสีย ในกรณีที่ศึกษามลพิษจากโลหะหนัก

1.1.1.2 เก็บตัวอย่างน้ำจากลำน้ำในบริเวณที่มีการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ทางด้านอุปโภค บริโภค การประมง ฯลฯ ในกรณีที่ติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคและสัตว์น้ำ

1.1.1.3 เก็บตัวอย่างน้ำตลอดลำน้ำ โดยกำหนดสถานีเก็บเป็นระยะโดยพิจารณาจากกิจกรรมชายฝั่งแม่น้ำ เช่น แหล่งอุตสาหกรรม แหล่งเกษตรกรรม และชุมชน ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำในปัจจุบันและแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงในอนาคต

1.1.2 แหล่งน้ำนิ่ง ซึ่งได้แก่ทะเลสาบน้ำจืด หนองบึง อ่างเก็บน้ำ ฯลฯ ให้กำหนดจุด เก็บตัวอย่างน้ำให้กระจายครอบคลุมพื้นที่โดยการแบ่งพื้นที่ออกเป็นตารางหรือพื้นที่ย่อย (systematic grid sampling) การเก็บตัวอย่างสำหรับแหล่งน้ำที่มีความลึกเกิน 2 เมตร ให้เก็บที่จุดกึ่งกลางความลึก

1.2 เครื่องมือเก็บตัวอย่างและภาชนะบรรจุ

เครื่องมือเก็บตัวอย่าง ใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่าง (water sampler) หรืออาจใช้ภาชนะบรรจุเก็บเป็นขวดแก้วชนิดบอโรซิลิเคต เช่น ไพเรกซ์ หรือขวดพลาสติกสีขาว ซึ่งผ่านการล้างด้วยกรดไนตริก 50 % ชนิดที่มีความบริสุทธิ์สูง (analytical reagent grade) แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น

1.1.3 วิธีการเก็บตัวอย่าง เก็บตัวอย่างน้ำโดยใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างน้ำ หรืออาจใช้

ภาชนะบรรจุเก็บ

1.1.4 ปริมาณตัวอย่างน้ำ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

1.1.5 การเก็บรักษาตัวอย่างในระหว่างนำส่ง

1.1.5.1 ให้นำส่งตัวอย่างโดยเร็วที่สุด

1.1.5.2 ในกรณีที่ไม่สามารถนำส่งได้ทันทีให้เติมกรดไนตริกเข้มข้นชนิดที่มีความบริสุทธิ์สูง (analytical reagent grade) ปริมาณ 1-2 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตัวอย่างน้ำ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือจนค่าพีเอชของตัวอย่างต่ำกว่า 2 และนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

1.1.6 ฉลาก ควรเขียนด้วยหมึกที่กันน้ำได้และควรมีรายละเอียดดังนี้

1.1.6.1 หมายเลขกำกับตัวอย่าง

1.1.6.2 ชนิดของโลหะหนักที่ต้องการวิเคราะห์

1.1.6.3 สถานที่เก็บตัวอย่าง (ตำบล อำเภอ จังหวัด)

1.1.6.4 วัน เวลา ที่เก็บ

1.1.6.5 ชื่อผู้เก็บและหน่วยงานที่ส่ง

1.1.7 ใบนำส่ง

1.1.7.1 หมายเลขกำกับตัวอย่าง

1.1.7.2 ชนิดของโลหะหนักที่ต้องการวิเคราะห์และ/หรือปัญหาที่เกิดขึ้น

1.1.7.3 รายละเอียดของตัวอย่าง ได้แก่สถานที่เก็บ (ตำบล อำเภอ จังหวัด), จุดเก็บ, วิธีการเก็บ, การเก็บรักษา, อุณหภูมิที่เก็บรักษา, วันเวลาที่เก็บ, ชื่อผู้เก็บและหน่วยงานที่ส่ง, รายละเอียดอื่น ๆ

1.1.7.4 แผนผังจุดเก็บตัวอย่างโดยสังเขป

ภาคผนวก ข

วิธีการเก็บและรักษาตัวอย่างดินตะกอนเพื่อการวิเคราะห์โลหะหนัก

(ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2530)

1. จุดเก็บตัวอย่าง

1.1 ในกรณีศึกษาการสะสมของโลหะหนักในดินตะกอน มีแนวทางการเก็บตัวอย่างดังนี้

1.1.1 แม่น้ำ ลำคลอง ให้เก็บตัวอย่างบริเวณปากแม่น้ำ ปากคลอง หรือคูน้ำ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการทับถมของดินตะกอน และ/หรือเก็บตัวอย่างตลอดลำน้ำ โดยเก็บกึ่งกลางแม่น้ำ คลอง หรือคูน้ำนั้น ๆ

1.1.2 แหล่งน้ำต่าง ๆ เช่น ทะเลสาบ หนองบึง อ่างเก็บน้ำ กำหนดจุดเก็บให้กระจายครอบคลุมทุกพื้นที่ โดยการแบ่งพื้นที่ออกเป็นตารางหรือพื้นที่ย่อย (systematic grid sampling)

1.1.3 ชะวากทะเลและทะเล ใช้จุดเก็บตัวอย่างตามหลักการของการเก็บตัวอย่างน้ำดังกล่าว

1.2 ในกรณีศึกษาการเปรียบเทียบการสะสมของโลหะหนักในดินตะกอน และในน้ำให้เก็บตัวอย่างบริเวณจุดเก็บน้ำตัวอย่าง

2. เครื่องมือเก็บตัวอย่างและภาชนะบรรจุ

2.1 ในกรณีที่ต้องการศึกษาเฉพาะผิวหน้าดินตะกอน ให้ใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างดินตะกอนชนิด grab sampler เช่น Ekman bottom grab, Peterson grab ฯลฯ

2.2 ในกรณีที่ศึกษาการสะสมของสารดังกล่าวในแต่ละชั้นของดินตะกอนให้ใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างดินตะกอนตามระดับความลึก (core sampler)

ภาชนะบรรจุ ใช้ขวดพลาสติกสีขาว ซึ่งผ่านการล้างให้สะอาดด้วยกรดไนตริก 50% ชนิดที่มีความบริสุทธิ์สูง (analytical reagent grade) แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น

3. วิธีการเก็บตัวอย่าง เก็บตัวอย่างบริเวณผิวดิน โดยใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างดินตะกอนหรือเครื่องมือเก็บตัวอย่างดินตะกอนตามระดับความลึก ในกรณีที่ไม่มีเครื่องมือดังกล่าวอนุโลมให้ใช้ภาชนะที่ไม่ใช่โลหะตักเฉพาะส่วนหน้าที่เป็นดินเลน

4. ปริมาณตัวอย่าง เก็บตัวอย่างดินตะกอน แต่ละจุดประมาณ 1 กิโลกรัม
5. ฉลาก ควรเขียนด้วยหมึกที่กันน้ำได้และควรมีรายละเอียดดังนี้
   5.1 หมายเลขกำกับตัวอย่าง
   5.2 ชนิดของโลหะหนักที่ต้องการวิเคราะห์
   5.3 สถานที่เก็บตัวอย่าง (ตำบล อำเภอ จังหวัด)
   5.4 วัน เวลา ที่เก็บ
   5.5 ชื่อผู้เก็บและหน่วยงานที่ส่ง
6. ใบนำส่ง
   6.1 หมายเลขกำกับตัวอย่าง
   6.2 ชนิดของโลหะหนักที่ต้องการวิเคราะห์และ/หรือปัญหาที่เกิดขึ้น
   6.3 รายละเอียดของตัวอย่าง
      6.3.1 สถานที่เก็บ (ตำบล อำเภอ จังหวัด)
      6.3.2 จุดเก็บ
      6.3.3 วิธีการเก็บ
      6.3.4 การเก็บรักษา
      6.3.5 อุณหภูมิที่เก็บรักษา
      6.3.6 วันเวลาที่เก็บ
      6.3.7 ชื่อผู้เก็บและหน่วยงานที่ส่ง
      6.3.8 รายละเอียดอื่น ๆ
   6.4 แผนผังจุดเก็บตัวอย่างโดยสังเขป

ภาคผนวก ค

วิธีการเก็บและรักษาตัวอย่างสัตว์น้ำเพื่อวิเคราะห์โลหะหนัก

(ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2530)

1. ตัวอย่างปลา

1.1 เครื่องมือเก็บตัวอย่างและภาชนะบรรจุ ควรเลือกใช้ให้เหมาะสมดังนี้

1.1.1 อวนลาก (haul seines) ใช้สำหรับจับปลากลางน้ำ

1.1.2 ตาข่ายดักปลาหรืออวนติด (gill net) ใช้จับปลาบริเวณปากแม่น้ำ ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ หรือแม่น้ำ

1.1.3 อวนลากหน้าดิน (trawls) ใช้จับปลาในพื้นที่กว้าง ๆ เช่นทะเล

1.1.4 เบ็ดลาว (long lines) ใช้จับปลากลางน้ำในทะเลลึก

1.1.5 เครื่องมือจับปลาอื่น ๆ

ภาชนะบรรจุ

นำปลาแต่ละตัวอย่างใส่ถุงพลาสติกม้วนถุงไล่อากาศออกให้หมด ต่อจากนั้นนำไปใส่ถุงพลาสติกอีกชั้นหนึ่งติดฉลาก ม้วนถุงไล่อากาศออกให้หมด ม้วนปากถุงให้แน่นนำถุงที่ใส่ปลาทั้งหมดใส่รวมกันในถุงพลาสติกใบใหญ่

1.2 วิธีการเก็บตัวอย่าง ใช้เครื่องมือที่เหมาะสมตามข้อ 1.1 โดยอาศัยหลักการดังนี้

1.2.1 ในกรณีศึกษาการสะสมปริมาณของโลหะเพื่อความปลอดภัยในการบริโภค

1.2.1.1 เก็บตัวอย่างพันธุ์ปลาที่นำมาใช้บริโภค มีปริมาณมากพอในธรรมชาติและเป็นปลาที่อยู่ประจำถิ่น

1.2.1.2 เก็บตัวอย่างปลาที่มีอายุ ความยาวใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นปลาโตเต็มวัยนำมาใช้บริโภค

1.2.1.3 เก็บตัวอย่างปลาขนาดที่ต้องการได้แล้ววัดขนาดความยาว ชั่งน้ำหนัก และล้างปลาแต่ละตัวด้วยน้ำบริเวณที่จับ

1.2.2 ในกรณีศึกษาปริมาณการสะสมของโลหะหนักในแง่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.2.2.1 ถ้าตรวจสอบการสะสมของสารดังกล่าวในปลาเป็นระยะเวลาหลาย ๆ ปี ให้เก็บตัวอย่างปลาชนิดเดียวกัน ขนาดเดียวกัน จากสถานที่เดียวกัน ในช่วงเวลาเดียวกันของปี และให้ใช้วิธีการจับ รวมทั้งการวิเคราะห์แบบเดิม

1.2.2.2 พันธุ์ปลาที่เลือกควรง่ายต่อการจำแนกชนิด หาง่าย มีปริมาณมากพอในธรรมชาติ เป็นปลาที่อยู่ประจำถิ่น ควรทราบว่าเป็นปลากินพืชหรือสัตว์เป็นอาหาร และทราบวงจรชีวิตของปลานั้น ๆ

1.2.2.3 เก็บตัวอย่างปลาที่ต้องการได้แล้ว วัดขนาดความยาว ชั่งน้ำหนักและล้างปลาแต่ละตัวด้วยน้ำบริเวณที่จับตัวอย่างที่ถ่ายจากเครื่องมือจับเพื่อนำมาแยกชนิด ควรมีภาชนะสะอาดรองรับ หากจำเป็นต้องกองที่พื้นเรือ ควรทำความสะอาดบริเวณนั้น เพื่อมิให้ตัวอย่างปนเปื้อนน้ำมันที่ใช้ในเรือ

1.3 ปริมาณตัวอย่าง จำนวนปลาแต่ละชนิดควรมากพอที่จะเป็นตัวแทนทางสถิติได้

1.3.1 ปลาขนาดเล็กกว่า 20 ซม. เก็บไม่น้อยกว่า 10 ตัว

1.3.2 ปลาขนาดระหว่าง 20-60 ซม. เก็บไม่น้อยกว่า 5 ตัว

1.3.3 ปลาขนาดใหญ่ระหว่าง 60 ซม. เก็บไม่น้อยกว่า 3 ตัว

1.4 การเก็บรักษาตัวอย่างระหว่างการส่ง

1.4.1 ให้นำส่งโดยเร็วที่สุด ระหว่างการส่งให้แช่เย็นหรือน้ำแข็ง

1.4.2 ในกรณีที่ไม่สามารถนำส่งได้ทันทีให้เก็บรักษาตัวอย่างโดยการแช่แข็ง

1.5 ฉลาก ควรเขียนด้วยหมึกที่กันน้ำได้และควรมีรายละเอียดดังนี้

1.5.1 หมายเลขกำกับตัวอย่าง

1.5.2 ชนิดของโลหะหนักที่ต้องการวิเคราะห์

1.5.3 สถานที่เก็บตัวอย่าง (ตำบล อำเภอ จังหวัด)

1.5.4 วัน เวลา ที่เก็บ

1.5.5 ชื่อผู้เก็บและหน่วยงานที่ส่ง

1.6 ใบนำส่ง

1.6.1 หมายเลขกำกับตัวอย่าง

1.6.2 ชนิดของโลหะหนักที่ต้องการวิเคราะห์และ/หรือปัญหาที่เกิดขึ้น

1.6.3 รายละเอียดของตัวอย่าง

1.6.3.1 สถานที่เก็บ (ตำบล อำเภอ จังหวัด)

1.6.3.2 จุดเก็บ

1.6.3.3 ความลึกที่เก็บ

1.6.3.4 เครื่องมือที่ใช้จับ

1.6.3.5 ชนิดของปลา

1.6.3.6 ขนาดของปลา

1.6.3.7 การเก็บรักษา

1.6.3.8 วันเวลาที่เก็บ

1.6.3.9 ชื่อผู้เก็บและหน่วยงานที่ส่ง

1.6.3.10 ลักษณะของคุณภาพน้ำรวมทั้งปัญหามลพิษ

1.6.3.11 รายละเอียดอื่น ๆ

2. ตัวอย่างหอย

2.1 เครื่องมือเก็บตัวอย่างและภาชนะบรรจุ

เครื่องมือเก็บตัวอย่าง ใช้เครื่องมือที่เหมาะสมกับชนิดของหอย

ภาชนะบรรจุ ขึ้นกับวิธีการนำส่ง เช่นถังพลาสติก ถุงพลาสติก ฯลฯ

2.2 วิธีการเก็บตัวอย่าง

2.2.1 เลือกหอยชนิดที่พบมากในบริเวณนั้น (major species) ตัวอย่างเช่น หอยแมลงภู่ หอยนางรม หอยกระพง หอยแครง หอยลาย

2.2.2 เก็บตัวอย่างหอยในขณะที่น้ำลด หรืออาจดำน้ำเก็บ

2.2.3 เลือกหอยขนาดที่ต้องการและนำมาล้างทำความสะอาดเปลือกด้วยน้ำบริเวณที่เก็บตัวอย่างในขณะที่ฝาหอยปิดสนิท

2.3 ปริมาณตัวอย่าง ให้เก็บหอยในพื้นที่ละประมาณ 25-100 ตัว ขึ้นกับขนาดของหอย

2.4 การเก็บรักษาตัวอย่างระหว่างการส่ง ให้นำส่งโดยเร็วที่สุด

2.4.1 ในกรณีที่หอยยังมีชีวิตอยู่ ให้แช่หอยด้วยน้ำตัวอย่างบริเวณที่จับในภาชนะบรรจุที่ไม่ใช่โลหะ หรือนำหอยใส่ถุงพลาสติกโดยไม่ปิดปากถุง นำส่งตัวอย่างภายใน 24 ชั่วโมง

2.4.2 ในกรณีนำส่งโดยการแช่เย็นหรือแช่แข็ง ให้นำหอยแต่ละตัวอย่างใส่ถุงพลาสติก ม้วนปากถุงไล่อากาศออกให้หมด ต่อจากนั้นนำไปใส่ถุงพลาสติกอีกชั้นหนึ่งติดฉลาก มัดปากถุงให้แน่น นำถุงใส่หอยทั้งหมดใส่รวมกันในถุงใหญ่ก่อนนำไปแช่เย็นหรือแช่แข็ง

2.5. ฉลาก ควรเขียนด้วยหมึกที่กันน้ำได้และควรมีรายละเอียดดังนี้

2.5.1. หมายเลขกำกับตัวอย่าง

2.5.2 ชนิดของโลหะหนักที่ต้องการวิเคราะห์

2.5.3 สถานที่เก็บตัวอย่าง (ตำบล อำเภอ จังหวัด)

2.5.4 วัน เวลา ที่เก็บ

2.5.5 ชื่อผู้เก็บและหน่วยงานที่ส่ง

2.6 ใบนำส่ง

2.6.1 หมายเลขกำกับตัวอย่าง

2.6.2 ชนิดของโลหะหนักที่ต้องการวิเคราะห์และ/หรือปัญหาที่เกิดขึ้น

2.6.3 รายละเอียดของตัวอย่าง

2.6.3.1 สถานที่เก็บ (ตำบล อำเภอ จังหวัด)

2.6.3.2 จุดเก็บ

2.6.3.3 ความลึกที่เก็บ

2.6.3.4 เครื่องมือที่ใช้จับ

2.6.3.5 ชนิดของหอย

2.6.3.6 ขนาดของหอย

2.6.3.7 การเก็บรักษา

2.6.3.8 วันเวลาที่เก็บ

2.6.3.9 ชื่อผู้เก็บและหน่วยงานที่ส่ง

2.6.3.10 ลักษณะของคุณภาพน้ำรวมทั้งปัญหามลพิษ

2.6.3.11 รายละเอียดอื่น ๆ

ภาคผนวก ง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

ภาพประกอบ 29 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดินตะกอน

(grap sampler)

ภาพประกอบ 30 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำ

(water sampler)

ภาพประกอบ 31 เครื่องมือวัดพิกัดจุดเก็บตัวอย่าง

(Global position system)

ภาพประกอบ 32 เครื่องตรวจสอบคุณภาพน้ำ

(U-10 Horiba)

ภาคผนวก จ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ภาพประกอบ 33 อะตอมมิกแอบซอพชั่น สเปกโตรสโกปี แบบแกรไฟต์ (Graphite Furnance Atomic Absorption Spectrophotometer)

ภาพประกอบ 34 เครื่องย่อยไมโครเวฟ (Microwave Digestion)

ภาคผนวก ฉ

พืชน้ำและสัตว์น้ำที่ใช้ศึกษาดัชนีชี้วัดทางชีวภาพ

ภาพประกอบ 35 หอยขม (*Sinotaia ingallsiana*)

ภาพประกอบ 36 ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*)

ภาคผนวก ช

ตาราง 11 ปริมาณสารหนูที่กำหนดไว้เป็นมาตรฐาน

ชนิด	สารหนูที่ยอมให้มีได้ (ppm)	หน่วยงานที่กำหนด
1. น้ำ		
น้ำดื่ม	0.01	องค์การอนามัยโลก,2537
น้ำบาดาล	0.05	กรมทรัพยากรธรณี, 2528
แหล่งน้ำผิวดินที่มิใช่ทะเล	0.01	กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและพลังงาน, 2535
น้ำทิ้งที่ระบายออก	0.25	กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2528
จากโรงงานอุตสาหกรรม		
2. ร่างกาย		
เลือด	0.025	กระทรวงสาธารณสุข
เนื้อเยื่อ	1	กระทรวงสาธารณสุข
เส้นผม	1	กระทรวงสาธารณสุข
เล็บ	1	กระทรวงสาธารณสุข
3. อาหาร		
ผักและผลไม้	2	กระทรวงสาธารณสุข
อาหารกระป๋อง	2	กระทรวงสาธารณสุข
อาหารที่ผลิตเพื่อจำหน่าย	2	กระทรวงสาธารณสุข

ตาราง 12 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารหนูในน้ำบริเวณตำบลร่อนพิบูลย์ถึงลุ่มน้ำปากพนังกับแหล่งน้ำอื่นๆ ในภาคใต้ และค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ

แหล่งน้ำ	ความเข้มข้นของสารหนู (ppb)	เอกสารอ้างอิง
บริเวณตำบลร่อนพิบูลย์ถึงลุ่มน้ำปากพนัง	ตรวจไม่พบ-245.5	วิทยานิพนธ์ฉบับนี้
แม่น้ำชุมพร 2526	0.0035	กองอนามัยสิ่งแวดล้อม กระทรวงสาธารณสุข 2529
แม่น้ำเทพา 2526	0.07	"
แม่น้ำตาปี 2526	0.003	"
แม่น้ำปากพนัง 2526	0.007	"
แม่น้ำปัตตานี 2526	0.044	"
แม่น้ำสายบุรี 2526	0.012	"
แม่น้ำโกลก 2526	0.08	"
บริเวณอำเภอร่อนพิบูลย์	26-1450	สุรพล อารีย์กุล 2533
เขตที่มีความเสี่ยงสูง (หมู่ที่ 1 2 12 และ 13)	0.055-5.560	ณรงค์ ณ เชียงใหม่ 2534
เขตที่มีความเสี่ยงต่ำ (หมู่ 8 9 11 และ 14)	0.086-3.880	"
ลุ่มน้ำห้วยหัวเหมือง อ.ร่อนพิบูลย์	60-1500	กรมทรัพยากรธรณี 2536
ลุ่มน้ำห้วยร่อนนา อ.ร่อนพิบูลย์	40-210	กระทรวงอุตสาหกรรม 2536
ลุ่มน้ำห้วยหนองเป็ด อ.ร่อนพิบูลย์	60-370	"
ลุ่มแม่น้ำเถลิง อ.ร่อนพิบูลย์	10-190	"
ลุ่มแม่น้ำปัตตานี	0.0-144.4	สุรพล อารีย์กุลและกัลยาณี คุปตานนท์ 2536
บริเวณลุ่มแม่น้ำปากพนัง	1.02-427.07	วรพิณ วิทยวราวัฒน์ 2537

ตาราง 12 (ต่อ)

แหล่งน้ำ	ความเข้มข้น (ppb)	เอกสารอ้างอิง
มาตรฐานน้ำในแหล่งน้ำจืดของไทย (2528)	10	สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่ง-ชาติ 2528
มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่ม (2528)	50.0	สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่ง-ชาติ 2528

ตาราง 13 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารหนูในดินตะกอนบริเวณตำบลร่อนพิบูลย์ถึงลุ่มน้ำปากพนังกับแหล่งอื่น ๆ

แหล่งน้ำ	ความเข้มข้นของสารหนู (ppm)	เอกสารอ้างอิง
บริเวณตำบลร่อนพิบูลย์ถึงลุ่มน้ำปากพนัง	100.70-1,864.84	วิทยานิพนธ์ฉบับนี้
บริเวณตำบลร่อนพิบูลย์	120-6700	สุรพล อารีย์กุล 2533
ลุ่มน้ำห้วยหัวเหมือง อ.ร่อนพิบูลย์	550-1,000	กรมทรัพยากรธรณี 2536
ลุ่มน้ำห้วยร่อนนา อ.ร่อนพิบูลย์	100-800	กระทรวงอุตสาหกรรม 2536
ลุ่มน้ำห้วยหนองเป็ด อ.ร่อนพิบูลย์	500-800	"
ลุ่มน้ำคลองเถลิง อ.ร่อนพิบูลย์	85-1,000	"
ลุ่มแม่น้ำปัตตานี	1-5,835.19	สุรพล อารีย์กุล 2536
บริเวณลุ่มน้ำปากพนัง	6.83-381.24	วรพิณ วิทยวราวัฒน์ 2537

ตาราง 14 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารหนูในพืชน้ำ บริเวณลุ่มแม่น้ำปากพนังกับพืชแหล่งอื่น ๆ

บริเวณเก็บตัวอย่างและชนิดของพืชน้ำ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	เอกสารอ้างอิง
พืชน้ำบริเวณตำบลรอนพิบูลย์ถึงลุ่มน้ำปากพนัง	0.23-2.97 (นน.เปียก)	วิทยานิพนธ์ฉบับนี้
Coontail, *Ceratophyllum demersum*	20-1,060 (นน.แห้ง)	Jenkin, 1980
From geothermal areas,		
New Zealand		
Grasses		
From arsenic-treated areas	0.5-60,000 (นน.แห้ง)	NAS, 1977
Nontreated-area	0.1-0.9 (นน.แห้ง)	NAS, 1977
White spruce, Picea alba		
Arsenic-contaminated soil		
Branch	2.8-14.3 (นน.แห้ง)	Jenkin, 1980
Leaf	2.1-9.6 (นน.แห้ง)	Jenkin, 1980
Trunk	0.3-55 (นน.แห้ง)	Jenkin, 1980
Root	45-130 (นน.แห้ง)	Jenkin, 1980
Control site		
All samples	<2.4 (นน.แห้ง)	Jenkin, 1980
Aquatic plants		
Arsenic-treated areas	20-1,450 (นน.แห้ง)	NAS, 1977
Untreated areas	1.4-13 (นน.แห้ง)	NAS, 1977
Iris moss, Chondrus crispus		
Whole	5-12 (นน.แห้ง)	Jenkin, 1980

ตาราง 15 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารหนูในสัตว์น้ำ บริเวณลุ่มแม่น้ำปากพนังกับสัตว์น้ำแหล่งน้ำอื่น ๆ

บริเวณเก็บตัวอย่างและชนิดของสัตว์น้ำ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	เอกสารอ้างอิง
สัตว์น้ำ	ตรวจไม่พบ-2.46(นน.เปียก)	วิทยานิพนธ์ฉบับนี้
Fish, various species		
Whole	0.04-0.2 (นน.เปียก)	Woolson, 1975
Netherland, 1977-1984, muscle	0.04-0.2 (นน.เปียก)	Vos and Hovens, 1986
Nationwide, USA, whole fish		
1976-1977	0.27 (นน.เปียก)	Lima et al., 1984
1978-1979	0.16 (นน.เปียก)	Lima et al., 1984
1980-1981	0.15 (นน.เปียก)	Lima et al., 1984
1984	0.14 (นน.เปียก)	Lima et al., 1984
Channel catfish, *Ictalurus punctatus*		
Muscle		
Native	0.0-0.3 (นน.เปียก)	Jenkin, 1980
Cultured	0.2-3.1 (นน.เปียก)	Jenkin, 1980
Whole, nationwide	<0.05-0.3 (นน.เปียก)	Jenkin, 1980
Mollusks, edible tissues		
Hong Kong, 1976-1978		
Bivales	3.2-39.6 (นน.เปียก)	Phillips et al., 1982
Gastropods	19-176 (นน.เปียก)	Phillips et al., 1982
Cephalopods	0.7-5.5 (นน.เปียก)	Phillips et al., 1982
USA		
6 species	2-3 (นน.เปียก)	Hall et al., 1978
8 species	3-4 (นน.เปียก)	Hall et al., 1978

ตาราง 16 แสดงขนาดของพืชน้ำ

ชนิดตัวอย่าง	ขนาด (ซม.)
หญ้า (*Paspalum vaginatum Sw .*)	สูง 18.0 - 21.7
ผักบุ้ง (*Ipomoea aquatica Forsk*)	ยาว 30 - 70
จอก (*Pistia stratiotes L .*)	สูง 6.0 - 7.6
แหนเป็ดเล็ก (*Lemna perpusilla Torr .*)	สูง 4.5 - 5.0
ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*)	ยาว 28 - 32
สาหร่ายพุงชะโด (Ceratophyllum demersum L.)	ยาว 30

ตาราง 17 แสดงขนาดของปลาและกุ้ง

ชนิดตัวอย่าง	ขนาดความยาว (ซม.)
1. ปลา	
1.1 ปลากินพืช	
ปลาตะเพียนทราย (*Puntius leiacanthus*)	4.5 - 4.8
ปลาซิวหางแดง (*Rasbora borapetensis*)	9.0 - 9.7
ปลากระดี่หม้อ (*Trichogaster trichopterus*)	8.9 - 9.4
ปลาหางแดง (*Barbus orphoides*)	10.9 - 11.2
ปลาซ่อนทรายแก้ว (*Sillago sihama*)	11.8 - 12.3
ปลาแป้นเล็ก (*Leiognethus brevirostris*)	10.2 - 11.7
ปลากระบอกดำ (*Liza subviridis*)	14.5 - 15.6
ปลาขี้ขม (*Osteochilus hasseltii*)	11.4 - 12.6
ปลาโสด (*Hampara macrolepidota*)	13.3 - 14.4
ปลานิล (*Tilapia nilotica*)	14.6 - 15.8
1.2 ปลากินสัตว์	
ปลาแขยงใบข้าว (*Mystus cavasius*)	17.3 - 18.7
ปลาเนื้ออ่อน (*Ompok bimaculatus*)	13.4 - 14.2
ปลาแมวหูดำ (*Setipinna melanochir*)	11.1 - 12.4
ปลาสลาด (*Notopterus notopterus*)	20.0 - 21.3
ปลากดหิน (*Leiocassis siamensis*)	11.9 - 13.2
ปลาดุกด้าน (*Clarias batrachus*)	26.5 - 28.7
ปลาช่อน (*Channa striatus*)	28.5 - 31.4
ปลาดุกทะเล (*Plotosus canius Hamilton*)	33.6 - 37.8
ปลาขี้ตัง (*Scatophagus argus*)	15.8-17.8
ปลากดหัวโม่ง (*Arius maculatus*)	21.0 - 22.3

ตาราง 17 (ต่อ)

ชนิดตัวอย่าง	ขนาดความยาว (ซม.)
2. กุ้ง	
กุ้งขาว (*Metapenaeus lysianassa*)	8.2 - 8.7
กุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*)	17.1 - 19.2
กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*)	10.0 - 12.0

ตาราง 18 แสดงขนาดของหอย

ชนิดตัวอย่าง	ขนาด กว้าง x ยาว (ซม.)
1. หอยฝาเดียว	
หอยขม (*Sinotaia ingallsiana*)	1.9x2.8 - 2.3x3.5
หอยโข่ง (*Pila ampullacea*)	4.5x6.0 - 5.0x6.4
2 . หอยสองฝา	
หอยกาบ	2.4x4.5 - 3.0x4.8
หอยปากควาย	2.2x4.5 - 3.0x5.9
หอยแครง (*Arca granulosa*)	3.0x4.0 - 3.5x5.0

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางสาวตรีรัตน์ ทองบริบูรณ์

วัน เดือน ปีเกิด 30 พฤษภาคม 2515

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	**ชื่อสถาบัน**	**ปีที่สำเร็จการศึกษา**
วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ทั่วไป)	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่	2536