



การศึกษาเปรียบเทียบระดับสารหนูในปัสสาวะกับระดับสารหนูในเส้นผมของเด็กนักเรียน  
ในตำบลดร่อนพิบูลย์ อำเภอดร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช

A Comparative Study of Urinary Arsenic Levels Versus Hair Arsenic Levels of  
Schoolchildren in Tambon Ron Phibun Amphoe Ron Phibun  
Changwat Nakhon Sri Thammarat

วารางคณา ชัชเวช

Warangkana Chatchawet

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Environmental Health

Prince of Songkla University

2544

๑

|         |                       |
|---------|-----------------------|
| เลขที่  | QD181.A7 ๑46 2544 ๑.2 |
| Bib Key | 211864                |
|         | 1.1.0.0.2544          |

(1)



ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเปรียบเทียบระดับสารหนูในปัสสาวะกับระดับสารหนูในเส้นผมของเด็ก  
นักเรียนในตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช

ผู้เขียน นางสาว วรางคณา ชัชเวช

สาขาวิชา อานามัยสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการที่ปรึกษา

คณะกรรมการสอบ

นางน วิฑิตศักดิ์ ประธานกรรมการ  
(นายสัตวแพทย์ ดร. บรรจง วิทย์วีรศักดิ์)

นางน วิฑิตศักดิ์ ประธานกรรมการ  
(นายสัตวแพทย์ ดร. บรรจง วิทย์วีรศักดิ์)

[Signature] กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุรพล อารีย์กุล)

[Signature] กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุรพล อารีย์กุล)

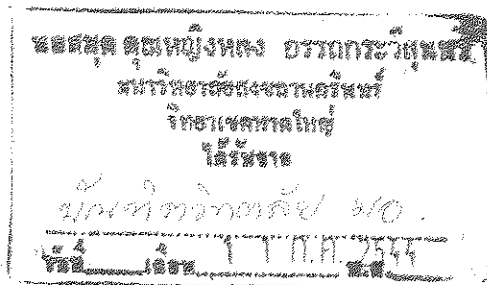
[Signature] กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ณรงค์ ณ เชียงใหม่)

[Signature] กรรมการ  
(ดร. อลัน ทีเตอร์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ  
ศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม

[Signature]  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปิติ ทฤษฎีคุณ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย



ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเปรียบเทียบระดับสารหนูในปัสสาวะกับระดับสารหนูในเส้นผมของเด็กนักเรียนใน  
ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช

ผู้เขียน นางสาวรวงคณา ชัชเวช

สาขาวิชา อณามัยสิ่งแวดล้อม

### บทคัดย่อ

ผู้วิจัยได้ศึกษาเปรียบเทียบระดับสารหนูในปัสสาวะกับระดับสารหนูในเส้นผมของเด็กนักเรียนใน  
ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยทำการสุ่มตัวอย่างเด็กนักเรียนอายุ 10 ขวบ  
จากพื้นที่เสี่ยงสูงต่อพิษสารหนูเรื้อรัง (หมู่ที่ 1, 2, 12 และ 13) และอีกกลุ่มหนึ่งจากพื้นที่เสี่ยงต่ำ (หมู่ที่ 7, 8,  
9, 11 และ 14) เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งเป็นเด็กนักเรียนในตำบลเขาพระ อำเภอรัตนภูมิ จังหวัดสงขลา  
ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ไม่มีรายงานการปนเปื้อนของสารหนู ตัวอย่างปัสสาวะและเส้นผมของเด็กนักเรียนเหล่านี้ได้รับการ  
วิเคราะห์หาระดับสารหนูรวมในปัสสาวะ ระดับสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอลิท์ในปัสสาวะ และระดับสาร  
หนูรวมในเส้นผมด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แบบกราไฟต์ เฟอร์เนส พบว่า ความ  
สัมพันธ์ระหว่างระดับสารหนูรวมในปัสสาวะ และระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอลิท์ใน  
ปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมมีน้อย โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) = 0.220 ( $p=0.030$ ) และ  
0.140 ( $p=0.171$ ) ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของระดับสารหนูรวมในปัสสาวะ ระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์  
และเมตาบอลิท์ในปัสสาวะ และระดับสารหนูรวมในเส้นผมระหว่างกลุ่มเสี่ยงสูง กลุ่มเสี่ยงต่ำ และกลุ่มควบคุม  
มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $p<0.01$ ) จากผลการศึกษารูปได้ว่าค่าระดับสารหนูรวมใน  
ปัสสาวะ และระดับสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอลิท์ในปัสสาวะ ยังไม่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นดัชนีบ่งชี้การ  
ได้รับสารหนูอย่างเรื้อรังในแต่ละบุคคลแทนค่าระดับสารหนูรวมในเส้นผม แต่สามารถใช้ค่าเฉลี่ยของระดับ  
เหล่านี้เปรียบเทียบปริมาณการได้รับสารหนูระหว่างประชากรกลุ่มต่างๆได้

Thesis Title     A Comparative Study of Urinary Arsenic Levels Versus Hair Arsenic  
                  Levels of Schoolchildren in Tambon Ron Phibun Amphoe Ron phibun  
                  Changwat Nakhon Sri Thammarat  
Author           Miss Warangkana Chatchawet  
Major Program   Environmental Health  
Academic Year   2000

#### **Abstract**

The objectives of this study were to compare total urinary arsenic levels and urinary inorganic arsenic and its metabolite to total hair arsenic levels of schoolchildren in Tambon Ron Phibun Amphoe Ron phibun Changwat Nakhon Sri Thammarat. The subjects were 10 year-old schoolchildren from villages No. 1, 2, 12 and 13 which were high risk areas of exposure to arsenic. Another group was from villages No. 7, 8, 9, 11 and 14 which were low risk areas of exposure to arsenic. These two groups of subjects were studied in comparison to a control group which were schoolchildren in Tambon Khao Phra Amphoe Rattaphum Changwat Songkhla where no arsenic contamination had ever been reported. Urine and hair samples were collected from each of the schoolchildren. Total urinary arsenic, urinary inorganic arsenic and its metabolites and total hair arsenic were quantitated by graphite furnace atomic absorption spectrophotometry. It was found that the association of the levels of total urinary arsenic and those of urinary inorganic arsenic and its metabolites to the levels of total hair arsenic were low ( $r = 0.220$  ( $p=0.030$ ) and  $0.140$  ( $p=0.171$ ), respectively). However, there were significant differences of the average levels of the total urinary arsenic, the urinary inorganic arsenic and its metabolites and the total hair arsenic between the high risk group, the low risk group, and the control group ( $p<0.01$ ). It was concluded that the total urinary arsenic levels and the levels of urinary inorganic arsenic and its metabolites were not suitable enough to be used as a biological index of chronic arsenic exposure in place of the total hair arsenic levels. However, their average levels could be used as indicators of arsenic exposure among different population groups.

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ นายสัตวแพทย์ ดร. บรรจง วิทย์วิรัตน์ดี ประธานกรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. สุรพล อารีย์กุล กรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ณรงค์ ฤ เชียงใหม่ หัวหน้าสาขาวิชานามัยสิ่งแวดล้อม และกรรมการสอบ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาในการศึกษาวิจัยและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร. อลัน กีเตอร์ กรรมการสอบ ที่ให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้เสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาพยาธิวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัยด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณมูลนิธิมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนสนับสนุนสำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้

ท้ายสุดนี้ผู้เขียนขออภิมะลึกพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ตลอดจนสถาบันการศึกษาทุกแห่งที่เคยให้การศึกษา และขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยจนสำเร็จการศึกษา

วรางคณา ชัชเวช

## สารบัญ

|                                | หน้า |
|--------------------------------|------|
| บทคัดย่อ.....                  | (3)  |
| Abstract.....                  | (4)  |
| กิตติกรรมประกาศ.....           | (5)  |
| สารบัญ.....                    | (6)  |
| รายการตาราง.....               | (7)  |
| รายการภาพประกอบ.....           | (8)  |
| บทที่                          |      |
| 1 บทนำ                         |      |
| บทนำต้นเรื่อง.....             | 1    |
| การตรวจเอกสาร.....             | 2    |
| วัตถุประสงค์.....              | 6    |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 7    |
| 2 วิธีดำเนินการวิจัย.....      | 8    |
| 3 ผล.....                      | 15   |
| 4 บทวิจารณ์.....               | 30   |
| 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....     | 32   |
| บรรณานุกรม.....                | 34   |
| ภาคผนวก.....                   | 38   |
| ประวัติผู้เขียน.....           | 52   |

## รายการตาราง

| ตาราง   | หน้า |
|---|------|
| 1 ระดับสารหนูรวมในปัสสาวะของกลุ่มเสี่ยงสูง กลุ่มเสี่ยงต่ำ และกลุ่มควบคุม.....                                 | 19   |
| 2 ระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะของกลุ่มเสี่ยงสูง กลุ่มเสี่ยงต่ำ และ<br>กลุ่มควบคุม..... | 19   |
| 3 ระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงสูง กลุ่มเสี่ยงต่ำ และกลุ่มควบคุม.....                                  | 20   |

## รายการภาพประกอบ

| ภาพประกอบ   | หน้า |
|---|------|
| 1 ขอบเขตหมู่บ้านในตำบลร้อนพิบูลย์ อำเภอร้อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช.....  | 10   |
| 2 แสดงการกระจายของระดับสารหนูรวมในบ่อบาดาลของกลุ่มเสียงสูงด้วย $\log_{10}$ .....  | 20   |
| 3 แสดงการกระจายของระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในบ่อบาดาลของกลุ่มเสียงสูงด้วย $\log_{10}$ .....                                  | 21   |
| 4 แสดงการกระจายของระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสียงสูงด้วย $\log_{10}$ .....  | 21   |
| 5 แสดงการกระจายของระดับสารหนูรวมในบ่อบาดาลของกลุ่มเสียงต่ำด้วย $\log_{10}$ .....  | 22   |
| 6 แสดงการกระจายของระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในบ่อบาดาลของกลุ่มเสียงต่ำด้วย $\log_{10}$ .....                                  | 22   |
| 7 แสดงการกระจายของระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสียงต่ำด้วย $\log_{10}$ .....  | 23   |
| 8 แสดงการกระจายของระดับสารหนูรวมในบ่อบาดาลของกลุ่มเสียงสูงและกลุ่มเสียงต่ำด้วย $\log_{10}$ .....  | 23   |
| 9 แสดงการกระจายของระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในบ่อบาดาลของกลุ่มเสียงสูงและกลุ่มเสียงต่ำด้วย $\log_{10}$ .....                  | 24   |
| 10 แสดงการกระจายของระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสียงสูงและกลุ่มเสียงต่ำด้วย $\log_{10}$ .....   | 24   |
| 11 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารหนูในบ่อบาดาลกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสียงสูง.....   | 25   |
| 12 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารหนูในบ่อบาดาลกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสียงต่ำ.....   | 25   |
| 13 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารหนูในบ่อบาดาลกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสียงสูงและกลุ่มเสียงต่ำ.....                                     | 26   |
| 14 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในบ่อบาดาลกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสียงสูง.....                      | 26   |
| 15 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในบ่อบาดาลกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสียงต่ำ.....                      | 27   |
| 16 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในบ่อบาดาลกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสียงสูงและกลุ่มเสียงต่ำ.....      | 27   |
| 17 การแพร่กระจายของระดับสารหนูรวมในบ่อบาดาลที่มีสารหนูรวมในเส้นผมเกินมาตรฐานเปรียบเทียบกับกลุ่มที่มีระดับสารหนูรวมในเส้นผมไม่เกินมาตรฐาน..... | 28   |



## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพประกอบ   | หน้า |
|---|------|
| 18 การแพร่กระจายของระดับสารประกอบสารหนูอินทรีย์และเมตาบอลิท์ในปลาสวายที่มี<br>สารหนูรวมในเส้นผมเกินมาตรฐานเปรียบเทียบกับกลุ่มที่มีระดับสารหนูรวมในเส้นผมไม่<br>เกินมาตรฐาน..... | 29   |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### บทนำต้นเรื่อง

ในปีพ.ศ. 2530 ได้มีการตรวจพบผู้ป่วยโรคพิษสารหนูเรื้อรังจำนวนกว่า 1,300 รายในพื้นที่ ต. ร่อนพิบูลย์ อ. ร่อนพิบูลย์ จ. นครศรีธรรมราช โดยสันนิษฐานว่ามีสาเหตุหลักมาจากการดื่มน้ำบ่อที่ปนเปื้อนด้วยสารหนูในระดับที่สูงเกินค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ในน้ำดื่ม ในครั้งนั้นทางราชการได้เข้ามาให้ความช่วยเหลือต่างๆ เช่น แจกโอ่งน้ำให้ชาวบ้านไว้รองรับน้ำฝนเพื่อใช้ดื่มแทนน้ำบ่อ ขุดเจาะบ่อน้ำบาดาลให้ชุมชนใช้ ต่อท่อประปาลำเลียงน้ำสะอาดจากแหล่งน้ำปลอดสารหนูในพื้นที่ตำบลอื่นมายังตำบลร่อนพิบูลย์ ตรวจระดับสารหนูในบ่อน้ำต่างๆ ในเนื้อสัตว์ พืชผัก ผลไม้ที่ชาวบ้านบริโภค และประชาสัมพันธ์รณรงค์ให้ชาวบ้านงดดื่มน้ำบ่อโดยให้ดื่มน้ำฝนแทน สถานการณ์ของปัญหานี้ได้คลี่คลายไปในทางที่ดีขึ้นมาก แต่ยังคงจำเป็นต้องมีการสำรวจระดับสารหนูในประชากรทั้งหมดของ ต. ร่อนพิบูลย์ เพื่อสำรวจผู้ป่วยที่ยังหลงเหลืออยู่ และดูผลสัมฤทธิ์ของมาตรการที่รัฐบาลได้ดำเนินการมาจนถึงปัจจุบัน

ระดับสารหนูในเส้นผมสามารถนำมาใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ปริมาณสารหนูที่เข้าสู่ร่างกาย เนื่องจากในเส้นผมมีปริมาณ keratin สูง และ sulfhydryl groups ใน keratin สามารถจับกับสารหนูอนินทรีย์วาเลนซ์ 3 ได้ ส่วนสารหนูอนินทรีย์จากอาหารทะเลถูกดูดซึมเข้าสู่เส้นผมได้น้อยมาก (Lauwery and Hoet, 1993) พบว่าระดับสารหนูในเส้นผมมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการได้รับสารหนูอนินทรีย์จากสิ่งแวดล้อม มากกว่าการได้รับสารหนูอนินทรีย์จากน้ำดื่มเพียงอย่างเดียว ในกรณีที่สิ่งแวดล้อมนั้นมีการปนเปื้อนของสารหนูในอากาศด้วย (Lauwery and Hoet, 1993) แต่การวิเคราะห์ระดับสารหนูในเส้นผมมีขั้นตอนยุ่งยากโดยเฉพาะการล้างสิ่งปนเปื้อนที่ผิวนอกของเส้นผม และการย่อยตัวอย่างเส้นผมให้เป็นสารละลายใส่ง่อนการวิเคราะห์ ซึ่งต้องใช้เวลานาน ต้นทุนสูง และไม่เหมาะกับการวิเคราะห์ตัวอย่างจำนวนมาก

มีความพยายามที่จะใช้ระดับสารหนูในปัสสาวะเป็นดัชนีบอกการได้รับสารหนูแทนระดับสารหนูในเส้นผม ซึ่งค่าปริมาณสารหนูรวม (total arsenic) ในปัสสาวะอาจใช้เป็นดัชนีในการบอกปริมาณสารหนูอนินทรีย์ที่ร่างกายได้รับเข้าไปได้ ยกเว้นในกรณีที่มีการรับประทานอาหารทะเลมาก่อนการเก็บตัวอย่างปัสสาวะเพราะจะตรวจพบระดับสารหนูสูงกว่าปกติ (Norin and Vahter, 1981) เนื่องจากมีการขับถ่าย arsenobetaine และ arsenocholine ที่ได้จากอาหารทะเลออกมาในปัสสาวะด้วย (Buchet, Lauwerys and Roels, 1980) ทำให้การแปลผลการวิเคราะห์ผิดพลาดได้ง่ายโดยเข้าใจผิดคิดว่าร่างกายได้รับสารหนูอนินทรีย์มากเกินไป ดังนั้นค่าระดับสารหนูรวมในปัสสาวะจะเป็นดัชนีบอกการได้รับสารหนูอนินทรีย์ที่มีพิษสูงได้ก็ต่อเมื่อมีการรับประทานอาหารทะเลเป็นเวลา 3-5 วันก่อนการเก็บตัวอย่างปัสสาวะมาตรวจ (Buchet,

Lauwerys and Roels, 1980) ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์โดยการแยกชนิด (speciation) ของสารประกอบสารหนูในตัวอย่างปัสสาวะขึ้นมาเพื่อแยกสารประกอบอินทรีย์สารหนูที่มาจากอาหารทะเลออกจากสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาโบไลต์ (Nixon and Moyer, 1992) วิธีการนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

1. Cation-exchange column chromatography เพื่อแยกสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาโบไลต์ (monomethylarsonic acid และ dimethylarsinic acid) ออกจาก arsenobetaine และ arsenocholine ในปัสสาวะ

2. Atomic absorption spectrophotometry แบบ graphite furnace เพื่อวัดปริมาณของส่วนที่เป็นสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาโบไลต์ และปริมาณของส่วนที่เป็นสารประกอบอินทรีย์สารหนูที่มาจากอาหารทะเล

พบว่าวิธีนี้มีความรวดเร็วและไม่สลับซับซ้อนเหมือนวิธีอื่นๆ ค่าที่วัดได้มีความแม่นยำดี ปริมาณต่ำสุดที่วิธีนี้สามารถวัดได้คือ 15 ไมโครกรัม/ลิตร ประสิทธิภาพของการสกัดสารประกอบสารหนูมีมากกว่าร้อยละ 95 วิธีการนี้อาจนำมาใช้ในการติดตามตรวจวัดระดับสารหนูในร่างกาย โดยมีข้อแม้ว่าต้องได้รับสารหนูอย่างต่อเนื่องไม่ว่างวันเกิน 5 วัน เพราะไม่เช่นนั้นอาจไม่พบสารหนูในปัสสาวะเลยก็ได้

จากผลการประชุมด้านการแพทย์เพื่อแก้ปัญหาพิษสารหนู. ร่อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช (2541) มีแนวความคิดที่จะสำรวจผู้ป่วยโรคพิษสารหนูเรื้อรังโดยการวิเคราะห์หาระดับสารหนูในตัวอย่างปัสสาวะแทนการวิเคราะห์หาระดับสารหนูในตัวอย่างเส้นผม เนื่องจากการวิเคราะห์ในตัวอย่างเส้นผมมีขั้นตอนยุ่งยาก ใช้เวลานาน ต้นทุนสูง และไม่เหมาะกับการวิเคราะห์ตัวอย่างจำนวนมาก ซึ่งตัวอย่างปัสสาวะจะใช้ spotted urine แทนการเก็บปัสสาวะ 24 ชั่วโมงในการตรวจหาชนิดและปริมาณของสารประกอบสารหนูในปัสสาวะ เนื่องจากการเก็บปัสสาวะ 24 ชั่วโมงในชุมชนเป็นไปได้ยากมาก ซึ่งในการศึกษานี้จะตรวจหาชนิดและปริมาณของสารประกอบสารหนูในปัสสาวะ (spotted urine) และนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณของสารหนูรวมในเส้นผมเพื่อดูว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ มากน้อยเพียงใด และมีค่าใดของสารประกอบสารหนูในปัสสาวะที่สามารถนำมาใช้เป็นดัชนีบ่งชี้การได้รับสารหนูแบบเรื้อรังแทนระดับสารหนูในเส้นผมได้บ้าง

## การตรวจเอกสาร

/ สารหนู (Arsenic, As) เป็นธาตุกึ่งโลหะหรือเมทัลลอยด์ (metalloid) ที่มีอยู่แพร่หลายในธรรมชาติ มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 74.9 เลขอะตอมเท่ากับ 33 มี oxidation number -3, 0, 3 และ 5 มีความหนาแน่น 5.778 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 26°C มีความแข็ง 3.5 โมลส์ จุดหลอมเหลว 816°C มีความดัน 3.91 เมกะปาสคาล และระเหิดที่อุณหภูมิ 615°C ลักษณะโดยทั่วไปมีสีน้ำเงินแกมเทาเป็นมันวาววับคล้ายเงินและเปราะผิวมองเมื่อกระทบกับอากาศหรืออาจพบในรูปอื่น ๆ (Ishinishi, et al., 1986) คือ

สารหนูเหลืองมีลักษณะเป็นผงสีเหลือง เปลี่ยนรูปเป็นโลหะสารหนูได้ง่าย เมื่อถูกแสงหรือความร้อน

สารหนูมีรูปร่างไม่แน่นอน (รูปแบบอสัณฐาน) มีสีดำ เปลี่ยนรูปเป็นโลหะได้ เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 270°C

สารหนูส่วนมากที่พบทั่วไปในธรรมชาติอยู่ในรูปของสารประกอบ ซึ่งสารประกอบสารหนูสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ตามคุณสมบัติทางกายภาพทางเคมีและความเป็นพิษ ได้แก่

1. สารประกอบอนินทรีย์สารหนู (Inorganic arsenic compounds) แบ่งเป็น

ก. Trivalent compounds (มีวาเลนซ์ 3) เช่น arsenic trioxide, sodium arsenite และ arsenic trichloride ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา ผลิตภัณฑ์ที่มีสารหนูเจือปน ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องแก้ว ใช้ผลิตยาฆ่าแมลง และสัตว์กัดแทะ ยาฆ่าวัชพืช ยารักษาเนื้อไม้ ผลิตภัณฑ์ทำถังทองเรือ เป็นต้น

ข. Pentavalent compounds (มีวาเลนซ์ 5) เช่น arsenic pentoxide, arsenic acid หรือเกลือ arsenate ใช้ผลิตสารกำจัดแมลงและสารกำจัดศัตรูพืช เป็นต้น

2. สารประกอบอินทรีย์สารหนู (Organic arsenic compounds) มีทั้งที่เป็น trivalent และ pentavalent เช่น arsenobetaine และ arsenocholine ในอาหารทะเล ซึ่งมีพิษต่ำมาก, arsanilic acid, methylarsine, dimethylarsinic acid (cacodylic acid), trimethylarsine, carbarsone และ arspenamine เป็นต้น ใช้ผลิตสารกำจัดวัชพืชและสารกำจัดแมลง, ผสมในอาหารและน้ำสำหรับสัตว์ เคยใช้เป็นอาวุธเคมีในสงครามโลก เป็นต้น

3. แก๊สอาร์ซีน (Arsine gas, AsH<sub>3</sub>) เป็นแก๊สไม่มีสีแต่มีกลิ่นฉุนคล้ายกระเทียม ระเหยง่ายหนักกว่าอากาศ 2.7 เท่า ติดไฟง่าย หากถูกความร้อนจะกลายเป็น As แก๊สอาร์ซีนเป็นแก๊สพิษ มีอันตรายร้ายแรงต่อสุขภาพทำให้ถึงตายได้ ความเข้มข้นของ AsH<sub>3</sub> เพียง 30 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ในอากาศจะทำให้เกิดอาการของพิษสารหนูในคนได้ ซึ่งแก๊สอาร์ซีนจะเกิดขึ้นเมื่อมีไฮโดรเจนรวมกับสารประกอบสารหนูชนิดอนินทรีย์ในสภาพที่เป็นของเหลว แก๊สอาร์ซีนนี้อาจเกิดจากขั้วแบตเตอรี่ที่มี As เจือปนและแช่อยู่ในกรดซัลฟูริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ก็ได้ แก๊สอาร์ซีนใช้ในโรงงานอิเล็กทรอนิกส์เซมิคอนดักเตอร์ (semiconductor) และผลิตเป็นสินค้าเพื่อนำไปเตรียมเป็นสารหนูชนิดอินทรีย์

สารประกอบสารหนูในรูปของเกลือ arsenate หรือ arsenite ส่วนใหญ่จะละลายน้ำได้ โดยที่เกลือ arsenate มักจะละลายน้ำได้ดีกว่าเกลือ arsenite การเปลี่ยนจากเกลือ arsenate ไปเป็นเกลือ arsenite หรือจากเกลือ arsenite มาเป็นเกลือ arsenate นี้ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง และสารเคมีในน้ำที่สามารถ reduce หรือ oxidise ได้ สารหนูในน้ำสามารถจับกับอนุพันธ์ phosphate แล้วตกตะกอนได้ สารหนูในตะกอนดินใต้น้ำมักจะถูก reduced ด้วยสารอินทรีย์ เกิดเป็นสารประกอบ arsenic sulfide

เมื่อเผาสารหนู จะได้ควันขาวของ arsenic trioxide ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับ sodium hydroxide เกิด sodium arsenite ได้ แต่ถ้าเอา arsenic trioxide มาทำปฏิกิริยากับกรดเกลือจะได้ arsenic trichloride แทน (ไมตรี, 2531)

#### การดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย

สารหนูเข้าสู่ร่างกายได้ 4 ทาง ได้แก่

1. ผ่านทางเดินหายใจ การดูดซึมขึ้นอยู่กับขนาด และชนิดของสารประกอบสารหนู สารประกอบสารหนูที่มีขนาดเล็กและละลายได้ดีในน้ำจะถูกดูดซึมเข้าสู่ปอดได้อย่างรวดเร็ว สารที่มีขนาดใหญ่จะติดอยู่ในทางเดินหายใจส่วนบน และถูก cilia ขับออกมาเข้าสู่ทางเดินอาหาร เช่น การหายใจเอาสารหนูในบรรยากาศเข้าไปหรือการทำงานเกี่ยวกับการใช้สารหนู ได้แก่ ในเหมืองแร่หรือโรงงานผลิตยาฆ่าแมลงประเภทสารหนู เป็นต้น (Ishinishi, et al., 1986)

2. ผ่านทางเดินอาหาร การดูดซึมขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบสารหนู ชนิดนั้น การดูดซึมจะมีค่อนข้างต่ำในช่องปากและกระเพาะอาหาร แต่จะดูดซึมได้ดีในส่วนลำไส้เล็ก คือ ประมาณ 60-90% เช่น การรับประทานอาหารและเครื่องดื่มที่ปนเปื้อนสารหนู หรือรับประทานยาประเภทยาหม้อ เป็นต้น นอกจากนี้ยังอาจได้รับจากการสูบบุหรี่อีกด้วย ในปริมาณเฉลี่ยถึงวันละ 2-20 ไมโครกรัม เพราะบุหรี่ทำมาจากใบยาสูบที่ใช้ยาฆ่าแมลงประเภทสารหนู มีผู้พบว่าในบริเวณที่ใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชประเภทสารหนู มีสารหนูในยาสูบถึง 52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (บุหรี่ 1 มวนหนักประมาณ 1 กรัม) (เดชา, 2528)

นอกจากนี้ เรายังได้รับสารหนูจากอาหารทะเลเป็นส่วนใหญ่ และโดยทั่วไปร่างกายจะได้รับสารหนูวันละไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม ปกติร่างกายไม่ควรรับสารหนูเกินวันละ 50 ไมโครกรัม

3. ผ่านทางผิวหนัง พบว่าสารประกอบอนินทรีย์สารหนูบางชนิด เช่น arsenic acid, arsenic trioxide และ arsenic trichloride สามารถซึมผ่านผิวหนังได้บ้างเล็กน้อย (Ishinishi, et al., 1986)

4. ผ่านทางรก สารหนูสามารถผ่านรกไปยังทารกในครรภ์ได้ ระดับสารหนูในเลือดของทารกจะสูงเท่ากับระดับสารหนูในเลือดของมารดา ในบางกรณีสารหนูสามารถทำให้ทารกในครรภ์พิการ หรือเสียชีวิตได้ (Ishinishi, et al., 1986)

#### การกระจายของสารหนูในร่างกาย

หลังจากสารหนูถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะเข้าไปสะสมอยู่ในเม็ดเลือดได้มากเป็น 3 เท่าของพลาสมา และปล่อยออกมาจากเม็ดเลือดแดงอย่างรวดเร็ว เพื่อแพร่กระจายไปยังอวัยวะต่างๆ สารหนูจะพบกระจายอยู่มากที่เนื้อเยื่อของตับ ไต และปอด ต่อมาจะกระจายไปยังอวัยวะอื่นๆ เช่น เส้นผม ผิวหนัง เยื่อบุทางเดินหายใจส่วนบน ต่อมไทรอยด์ กระดูก และ epididymis การสะสมในเส้นผมจะเกิดภายใน 2 สัปดาห์ หลังจากได้รับสารหนูเข้าไปและจะสะสมอยู่นานเป็นปีๆ เนื่องจากมีจำนวน sulfhydryl groups มาก ในเส้น

ผม เล็บ ฟัน กระดุก และผิวหนัง จะพบปริมาณการสะสมของสารหนูอยู่มาก ส่วนในกล้ามเนื้อ เส้นประสาท และสมอง จะพบสารหนูในปริมาณไม่มากนัก แต่จะสะสมอยู่นาน (Ishinishi, et al., 1986)

#### การเปลี่ยนแปลงของสารหนูในร่างกาย

สารประกอบอนินทรีย์สารหนูจะถูกเปลี่ยนแปลงด้วยปฏิกิริยา methylation ก่อนที่ร่างกายจะขับออกมา คือ เมื่อ arsenite ผ่านไปที่ตับจะถูกเปลี่ยนไปเป็น monomethyl arsenic acid (MMA) และ dimethyl arsenic acid (DMA) ซึ่งสาร MMA และ DMA จะมีพิษน้อยมากเมื่อเทียบกับ arsenite หรือ arsenate ซึ่งเป็นสารประกอบอนินทรีย์ ในคนที่ได้รับสารหนูในปริมาณต่างๆ จะตรวจพบสารประกอบอนินทรีย์สารหนูประมาณร้อยละ 20 MMA ร้อยละ 20 และ DMA ร้อยละ 60 (Buchet, Lauwerys and Roels, 1980)

ถ้าร่างกายได้รับสารหนูอนินทรีย์เข้าไปในปริมาณมากเกินไปที่ตับจะเปลี่ยนเป็น MMA หรือ DMA ได้หมด (ปฏิกิริยา methylation มีประสิทธิภาพลดลง) ก็จะทำให้สารหนูอนินทรีย์ที่เหลือเข้าไปสะสมในส่วนต่างๆ ของร่างกายเกิดเป็นพิษได้ (Norin and Vahter, 1981)

#### การขับถ่ายสารหนูออกจากร่างกาย

สารหนูส่วนใหญ่ (ประมาณร้อยละ 90) จะถูกขับออกมาทางปัสสาวะ ซึ่งส่วนใหญ่ขับออกในรูป MMA และ DMA มีส่วนน้อย (ประมาณร้อยละ 5-10) ถูกขับออกทางอุจจาระ

นอกจากนี้สารหนูยังถูกขับออกมาทางอื่นๆ อีก เช่น ทางน้ำนม เหงื่อ ผิวหนัง เส้นผม และเล็บ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณสารหนูที่ได้รับเข้าไป อัตราการขับถ่ายจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบสารหนู คนที่ได้รับสารหนูในปริมาณต่างๆ ทุกวันจะขับสารหนูประมาณร้อยละ 60-70 ของปริมาณสารหนูที่ได้รับในแต่ละวัน สารประกอบอนินทรีย์สารหนูจากอาหารทะเลประมาณร้อยละ 50-80 ของปริมาณที่ได้รับจะถูกขับออกทางปัสสาวะได้เร็วภายใน 2 วัน (Norin and Vahter, 1981) และพบว่าสารประกอบอนินทรีย์สารหนูจะถูกขับถ่ายออกไปได้เร็วกว่าสารประกอบอนินทรีย์สารหนูและสารหนูชนิด pentavalent ซึ่งจับกับ sulfhydryl groups ได้ไม่แน่นจะถูกขจัดออกไปได้เร็วกว่าสารหนูชนิด trivalent ถ้าได้รับเป็นเวลานานๆ การขับถ่ายสารหนูจะเกิดขึ้นรวดเร็วในช่วงสัปดาห์แรก หรือเดือนแรกๆ หลังจากนั้นการขับถ่ายจะช้าลงต่างๆ ที่ร่างกายยังได้รับสารหนูอยู่ (Ishinishi, et al., 1986)

#### ดัชนีชี้ทางชีวภาพของการได้รับสารหนูเข้าสู่ร่างกาย ได้แก่

1. เส้นผม ระดับสารหนูในเส้นผมสามารถนำมาใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ปริมาณสารหนูที่เข้าสู่ร่างกาย เนื่องจากในเส้นผมมีปริมาณ keratin สูง และ sulfhydryl groups ใน keratin สามารถจับกับสารหนูอนินทรีย์วาเลนซี 3 ได้ ส่วนสารหนูอนินทรีย์จากอาหารทะเลถูกดูดซึมเข้าสู่เส้นผมได้น้อยมาก (Lauwery and Hoet, 1993)

2. ปัสสาวะ ซึ่งค่าปริมาณสารหนูรวม (total arsenic) ในปัสสาวะอาจใช้เป็นดัชนีในการบอกปริมาณสารหนูอนินทรีย์ที่ร่างกายได้รับเข้าไปได้ ยกเว้นในกรณีที่มีการรับประทานอาหารทะเลมาก่อนการเก็บตัวอย่าง

ปัสสาวะเพราะจะตรวจพบระดับสารหนูสูงกว่าปกติ (Norin and Vahter, 1981) เนื่องจากมีการขับถ่าย arsenobetaine และ arsenocholine ที่ได้จากอาหารทะเลออกมาในปัสสาวะด้วย (Buchet, Lauwerys and Roels, 1980) ทำให้การแปลผลการวิเคราะห์ผิดพลาดได้ง่ายโดยเข้าใจผิดคิดว่าร่างกายได้รับสารหนูอนินทรีย์มากเกินไป ดังนั้นค่าระดับสารหนูรวมในปัสสาวะจะเป็นดัชนีบอกการได้รับสารหนูอนินทรีย์ที่มีพิษสูงได้ก็ต่อเมื่อมีการงดรับประทานอาหารทะเลเป็นเวลา 3-5 วันก่อนการเก็บตัวอย่างปัสสาวะมาตรวจ (Buchet, Lauwerys and Roels, 1980) หรือต้องแยกสารประกอบอินทรีย์สารหนูที่มาจากอาหารทะเลออกจากสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ (Nixon and Moyer, 1992)

3. เลือด สารหนูจะถูกปลดปล่อยจากเม็ดเลือดแดงเพื่อแพร่กระจายไปสะสมยังอวัยวะต่างๆอย่างรวดเร็ว และสารประกอบสารหนูอินทรีย์ที่ได้รับจากอาหารทะเลจะมีเป็นจำนวนมากที่ปะปนอยู่ในเม็ดเลือดแดง ซึ่งเป็นการยากที่จะแยกสารประกอบสารหนูอินทรีย์ออกจากเม็ดเลือดแดง จึงยังไม่เหมาะสมที่จะใช้ตัวอย่างเลือดในการเป็นดัชนีบ่งชี้ทางชีวภาพของการได้รับสารหนู (Ishinishi, et al., 1986) ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2531) ได้ตรวจตัวอย่างเลือดของประชาชนในอำเภอรัตนพิบูลย์จำนวน 144 ตัวอย่าง พบว่ามีปริมาณสารหนูเกินปกติร้อยละ 94 โดยที่ยังไม่ได้แยกสารประกอบสารหนูอินทรีย์ออกจากเม็ดเลือดแดงจึงทำให้เกิดความเข้าใจผิดได้ว่าปริมาณสารหนูที่เกินปกตินั้นเกิดจากการได้รับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์หรือจากที่มีสารหนูอินทรีย์จากอาหารทะเลปนอยู่ด้วย

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาาระดับสารหนูรวมในเส้นผมและในปัสสาวะ
2. เพื่อศึกษาาระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะ
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารหนูรวมในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผม
4. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผม
5. ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระดับสารหนูรวมในเส้นผม ระดับสารหนูรวมในปัสสาวะ และระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะระหว่างกลุ่มเสี่ยงสูง กลุ่มเสี่ยงต่ำ และกลุ่มควบคุม

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.สามารถตรวจสอบได้ว่าระดับสารหนูรวมในปลัสวาะและ/หรือระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลท์ในปลัสวาะใช้เป็นดัชนีบอกการได้รับสารหนูแบบเรื้อรังแทนการใช้ระดับสารหนูในเส้นผมได้หรือไม่
- 2.เป็นการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ระดับสารหนูในตัวอย่างปลัสวาะของผู้ป่วยในกรณีได้รับพิษแบบเฉียบพลัน



## บทที่ 2

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### วัสดุ

|   |                           |
|---|---------------------------|
| Arsenic standard solution                               | Merck, Germany            |
| Nitric acid   | Merck, Germany            |
| Palladium chloride                                      | BDH, England              |
| Potassium persulfate                                    | Merck, Germany            |
| Magnesium nitrate                                       | Merck, Germany            |
| Ammonium hydroxide                                      | May & Baker,<br>Australia |
| Triton x - 100  | Sigma, U.S.A.             |
| Arsenic hollow cathode lamp                             | Varian, Australia         |
| Graphite tubes  | Varian, Australia         |
| Cellulose ester filter 0.8 $\mu$ m pore, 37 mm diameter | SKC, U.S.A                |
| Argon   | TIG, Thailand             |

#### อุปกรณ์

- อุปกรณ์เก็บตัวอย่างเส้นผม
  - กรรไกรตัดผม
  - ถุงปิดสำหรับเก็บเส้นผม
- อุปกรณ์เก็บตัวอย่างปัสสาวะ
  - กระบอกเก็บปัสสาวะที่ผ่านการล้างกรด
- อุปกรณ์ในการย่อยตัวอย่าง
  - เตาอบไมโครเวฟ (Microwave oven) MDS-2000 CEM Corporation, USA.
  - ตู้อบความร้อน (Drying oven) Clayson, New Zealand
  - เครื่องชั่งแบบละเอียด (Analytical balance) Sartorius Model B 3100S, Germany

#### 4. อุปกรณ์ในการสกัดแยกชนิดของสารประกอบสารหนู

- Solid phase extraction vacuum manifold                      Supelco, U.S.A.
- Cation exchange extraction tubes                                      Supelco, U.S.A.

#### 5. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์สารหนู

- เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แบบกราฟไฟต์ เฟอร์เนส (graphite furnace atomic absorption spectrophotometer, AAS) รุ่น GTA 100 SpectrAA-800 ของ Varian, Australia

### วิธีดำเนินการวิจัย

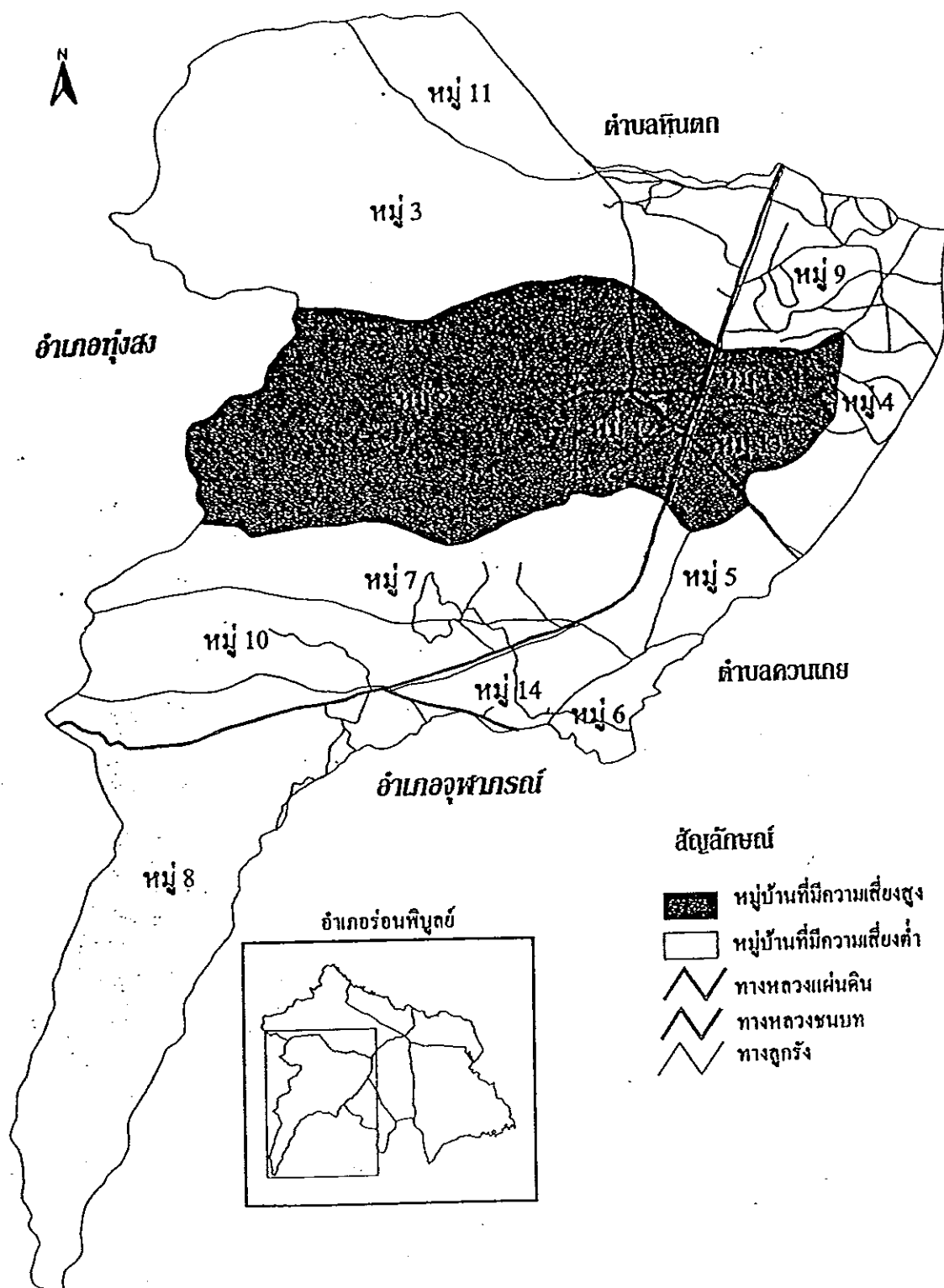
#### 1. การสุ่มตัวอย่าง

การศึกษาครั้งนี้ศึกษาในเด็กนักเรียนอายุ 10 ขวบ (เกิดปี พ.ศ. 2531 และเกิดในพื้นที่ที่ศึกษาไม่ได้โดยย้ายมาจากพื้นที่อื่น) ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างใน ต.ร่อนพิบูลย์ อ.ร่อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มเสียงสูง และกลุ่มเสียงต่ำ กลุ่มละ 50 คน กลุ่มเสียงสูง คือ เด็กนักเรียนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของสารหนูสูง ได้แก่ หมู่ที่ 1, 2, 12 และ 13 กลุ่มเสียงต่ำ คือ เด็กนักเรียนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของสารหนูต่ำ ได้แก่ หมู่ที่ 7, 8, 9, 11 และ 14 (ณรงค์ ณ เชียงใหม่, 2534) สำหรับกลุ่มควบคุมใช้เด็กนักเรียนจำนวน 30 คนในพื้นที่หมู่ที่ 4 ตำบลเขาพระ อำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา ซึ่งไม่มีประวัติการปนเปื้อนของสารหนู เด็กนักเรียนทั้ง 3 กลุ่ม ทำการสุ่มตัวอย่างโดยวิธี simple random sampling

#### 2. วิธีการเก็บตัวอย่าง

2.1 ตัวอย่างปัสสาวะ เก็บตัวอย่างปัสสาวะ(spotted urine) โดยใส่ตัวอย่างปัสสาวะลงในกรงปุกที่เตรียมไว้(ภาคผนวก ค.) แล้วแบ่งตัวอย่างปัสสาวะออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ทาความเข้มข้นของ creatinine ส่วนที่ 2 นำมาเติมกรดไนตริกให้ได้ pH < 2 เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูรวม สารประกอบสารหนูอนิน ทรีรีย และเมตาบอไลต์ นำปัสสาวะทั้ง 2 ส่วนแช่เย็นไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส ระหว่างรอการวิเคราะห์

2.2 ตัวอย่างเส้นผม ตัดเส้นผมกลุ่มตัวอย่างให้คิดโคน โดยมีความยาวของเส้นผมประมาณ 5 เซนติเมตร แล้วเก็บไว้ในถุงปิดที่เตรียมไว้ (ภาคผนวก ค.)



ภาพประกอบ 1 ขอบเขตหมู่บ้านในตำบลรัตนพิบูลย์ อำเภอรัตนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช  
ที่มา : กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี

### 3. วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.1 ตัวอย่างปัสสาวะ นำปัสสาวะส่วนแรกไปส่งวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ creatinine โดยวิธี Jasse's reaction ที่หน่วยเคมีคลินิก ภาควิชาพยาธิวิทยา โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ และปัสสาวะส่วนที่ 2 นำมาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 นำมาวิเคราะห์หาระดับสารหนูรวม โดยนำแมกนีเซียมไนเตรดมา 0.14 กรัม ผสมด้วย ไตตรอน เอกซ์ - 100 ปริมาตร 200 ไมโครลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำสารละลายที่ได้มา 0.7 มิลลิลิตร ผสมกับ spotted urine 0.3 มิลลิลิตร แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วย เครื่อง AAS แบบ graphite furnace ที่ความยาวคลื่น 193.7 นาโนเมตร (ดัดแปลงวิธีการจาก Nixon, et al., 1991) (ภาคผนวก ข.)

ส่วนที่ 2 นำมาวิเคราะห์แยกชนิดของสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ ด้วยวิธี cation-exchange column chromatography (ภาคผนวก ก.) หลังจากนั้นนำแมกนีเซียมไนเตรดมา 0.14 กรัม ผสมด้วย ไตตรอน เอกซ์ - 100 ปริมาตร 200 ไมโครลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำสารละลายที่ได้มา 0.7 มิลลิลิตร ผสมกับ spotted urine ที่แยกชนิดสารประกอบ สารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ 0.3 มิลลิลิตร แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS แบบ graphite furnace ที่ความยาวคลื่น 193.7 นาโนเมตร (ดัดแปลงวิธีการจาก Nixon and Moyer, 1992) (ภาคผนวก ข.)

#### วิธีการคำนวณ

ระดับสารหนูรวมในปัสสาวะ

$$= \frac{A \times 100}{0.3} \frac{\mu\text{g/gCr (ppm)}}{\text{Cr}}$$

เมื่อ A = ค่าความเข้มข้นที่ได้จากการอ่าน ( $\mu\text{g/l}$ )

Cr = ระดับ creatinine ในปัสสาวะ (mg%)

0.3, 100 = ค่าคงที่

ระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะ

$$= \frac{A \times V \times 100}{0.3} \frac{\mu\text{g/gCr (ppm)}}{\text{Cr}}$$

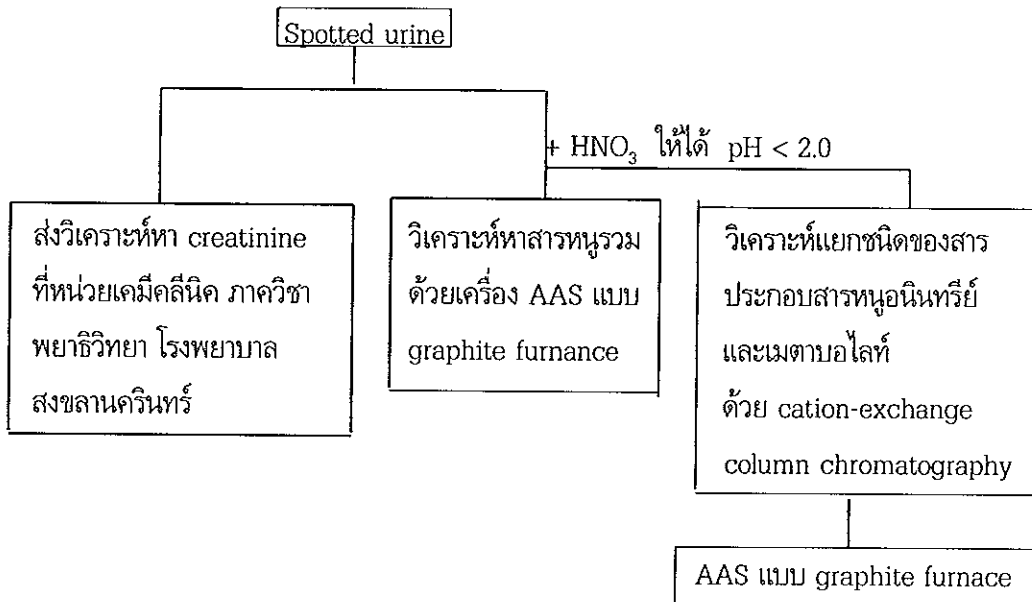
เมื่อ A = ค่าความเข้มข้นที่ได้จากการอ่าน ( $\mu\text{g/l}$ )

Cr = ระดับ creatinine ในปัสสาวะ (mg%)

V = ปริมาตร washing solution (ml)

0.3, 100 = ค่าคงที่

### แผนภูมิของการวิเคราะห์ปัสสาวะ



### 3.2 ตัวอย่างเส้นผม

3.2.1 นำตัวอย่างเส้นผมมาล้างโดยวิธีวิธีการของ WHO คือ ล้างด้วย acetone แล้วล้างต่อด้วยน้ำกลั่น, น้ำกลั่น, น้ำกลั่น และ acetone ตามลำดับ โดยให้เส้นผมจมอยู่ใน acetone หรือน้ำกลั่นนั้น คนเส้นผมเป็นระยะๆ นานประมาณ 10 นาที ในแต่ละสารละลาย หลังจากนั้นอบเส้นผมให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (UNEP, 1987)

3.2.2 ชั่งเส้นผมให้ได้น้ำหนัก 0.5 กรัม แล้วนำไปย่อยด้วยกรดไนตริก 70 % ในเครื่องย่อย microwave จนเป็นสารละลายใส (CEM corporation, 1994) ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของกรดไนตริกเท่ากับ 0.1 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูรวมด้วยเครื่อง AAS แบบ graphite furnace ที่ความยาวคลื่น 193.7 นาโนเมตร (ภาคผนวก ข.)

วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณสารหนูในเส้นผม} = \frac{A \times V}{B} \quad \mu\text{g/g (ppm)}$$

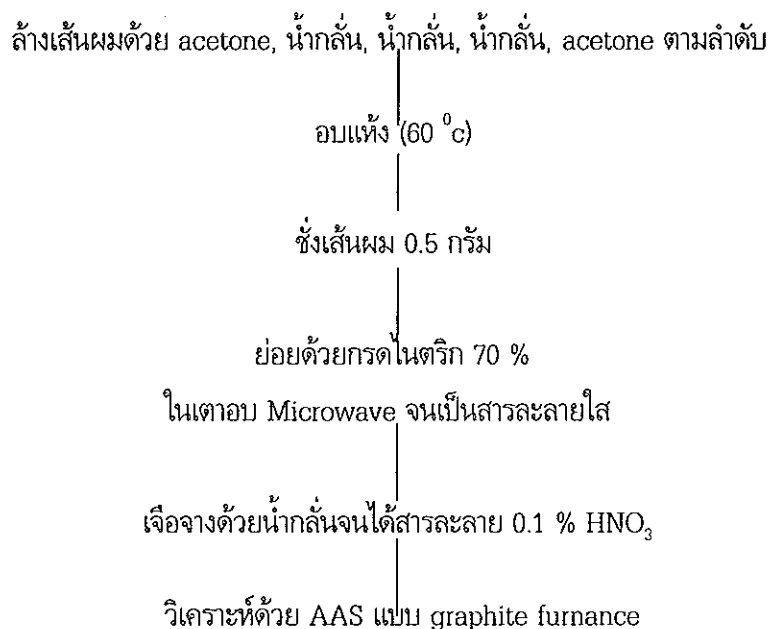
B

เมื่อ A = ค่าความเข้มข้นที่ได้จากการอ่าน ( $\mu\text{g/ml}$ )

B = น้ำหนักเป็นกรัม (g) ของเส้นผม

V = ปริมาตรของสารละลาย (ml)

### แผนภูมิของการวิเคราะห์เส้นผม



#### 4. การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์

##### 4.1 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ระดับสารหนูในปัสสาวะ

การวิเคราะห์ระดับสารหนูในปัสสาวะ ใช้ตัวอย่างควบคุมคุณภาพ (urine metals control) จากบริษัท Bio-Rad Laboratories Limited, Germany ซึ่งแบ่งเป็น 2 ระดับความเข้มข้น คือ 12-18 µg/L และ 36.9-55.5 µg/L ทำการวิเคราะห์ระดับสารหนูในตัวอย่างควบคุมคุณภาพโดยใช้วิธีเดียวกับการวิเคราะห์ระดับสารหนูในตัวอย่างจริง โดยกระทำ 5 ซ้ำ นำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (coefficient of variation, C.V.) ความถูกต้อง (accuracy) และขีดจำกัดของการตรวจหา (detection limit) ดังสูตรต่อไปนี้

$$\text{Coefficient of variation (C.V.)} = \frac{\text{S.D.} \times 100}{\text{mean}}$$

เมื่อ S.D. = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

mean = ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{ปริมาณสารที่วิเคราะห์ได้}}{\text{ปริมาณสารที่มีอยู่จริง}} \times 100$$

$$\text{Detection limit} = \frac{2 \times \text{S.D.}}{m}$$

เมื่อ S.D. = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของ absorbance

m = ค่าความชันของกราฟ

#### 4.2 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ระดับสารหนูในเส้นผม

การวิเคราะห์ระดับสารหนูในเส้นผม ใช้ตัวอย่างเส้นผมคนปกติมาเติมสารละลายมาตรฐานสารหนู ทำการวิเคราะห์ระดับสารหนูในตัวอย่างเส้นผมคนปกติโดยใช้วิธีเดียวกันกับการวิเคราะห์ระดับสารหนูในตัวอย่างจริง โดยกระทำ 5 ซ้ำ นำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (coefficient of variation, C.V.) ความถูกต้อง (accuracy) และขีดจำกัดของการตรวจหา (detection limit) ดังสูตรข้างต้น

#### 5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 หากความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารหนูรวมในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผม และสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมด้วยกราฟ และ Spearman rank correlation coefficient

5.2 ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระดับสารหนูรวมในเส้นผม ระดับสารหนูรวมในปัสสาวะ ระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะของกลุ่มเสี่ยงสูง กลุ่มเสี่ยงต่ำ และกลุ่มควบคุมด้วย Kruskal - Wallis Test

5.3 ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระดับสารหนูรวมในปัสสาวะของกลุ่มที่มีระดับสารหนูรวมในเส้นผมเกินมาตรฐานกับกลุ่มที่มีระดับสารหนูรวมในเส้นผมไม่เกินมาตรฐาน และ ค่าเฉลี่ยระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะของกลุ่มที่มีระดับสารหนูรวมในเส้นผมเกินมาตรฐานกับกลุ่มที่มีระดับสารหนูรวมในเส้นผมไม่เกินมาตรฐานด้วย Mann-Whitney U-test

### บทที่ 3

#### ผล

จากการศึกษาระดับสารหนูในปัสสาวะและในเส้นผม ของเด็กนักเรียนใน ต.ร่อนพิบูลย์ อ.ร่อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช ได้ผลดังต่อไปนี้

#### 1. ระดับสารหนูในปัสสาวะ

##### 1.1 ระดับสารหนูรวมในปัสสาวะ

1.1.1 ผลการควบคุมคุณภาพต้องการหาประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ระดับสารหนูรวมในปัสสาวะ จากการทดสอบหาประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ระดับสารหนูรวมในปัสสาวะ พบว่า วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์หาระดับสารหนูรวมในปัสสาวะ มีค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (coefficient of variation ,C.V) ร้อยละ 7.77 มีค่าความถูกต้อง (accuracy) เฉลี่ยร้อยละ  $94.27 \pm 9.40$  และมีขีดจำกัดของการตรวจหา (detection limit) 13.87 ไมโครกรัมต่อลิตร

##### 1.1.2 ผลการวิเคราะห์ระดับสารหนูรวมในปัสสาวะ

ระดับสารหนูรวมในปัสสาวะของกลุ่มเสี่ยงสูงมีค่าเฉลี่ย  $126.13 \times / \div 1.86$  ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน มีพิสัยระหว่าง 23.19-493.51 ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน ระดับสารหนูรวมในปัสสาวะของกลุ่มเสี่ยงต่ำมีค่าเฉลี่ย  $90.77 \times / \div 2.03$  ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน มีพิสัยระหว่าง 21.84-983.47 ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน ระดับสารหนูรวมในปัสสาวะของกลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ย  $48.08 \times / \div 2.48$  ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน มีพิสัยระหว่าง ตรวจไม่พบ-168.23 ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน (ตาราง 1)

##### 1.2 ระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอลิท์ในปัสสาวะ

1.2.1 ผลการควบคุมคุณภาพต้องการหาประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอลิท์ในปัสสาวะ

จากการทดสอบหาประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอลิท์ในปัสสาวะ พบว่า วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์หาระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และ เมตาบอลิท์ในปัสสาวะ มีค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (coefficient of variation, C.V.) ร้อยละ 8.02 มีค่าความถูกต้อง (accuracy) เฉลี่ยร้อยละ  $95.06 \pm 4.91$  และมีขีดจำกัดของการตรวจหา (detection limit) 18.56 ไมโครกรัมต่อลิตร

##### 1.2.2 ผลการวิเคราะห์ระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอลิท์ในปัสสาวะ

ระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอลิท์ในปัสสาวะของกลุ่มเสี่ยงสูงมีค่าเฉลี่ย  $54.21 \times / \div 2.27$  ไมโครต่อกรัมครีเอตินีนมีพิสัยระหว่าง ตรวจไม่พบ-262.28 ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน



ระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะของกลุ่มเสี่ยงต่ำมีค่าเฉลี่ย  $36.61 \times / \div 2.58$  ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน มีพิสัยระหว่าง ตรวจไม่พบ-838.21 ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน ระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะของกลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ย  $17.50 \times / \div 2.59$  ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน มีพิสัยระหว่าง ตรวจไม่พบ-89.40 ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน (ตาราง 2)

## 2. ระดับสารหนูรวมในเส้นผม

### 2.1 ผลการควบคุมคุณภาพเพื่อหาประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ระดับสารหนูรวมในเส้นผม

จากการทดสอบหาประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ระดับสารหนูรวมในเส้นผม พบว่า วิธีการใช้ในการวิเคราะห์หาระดับสารหนูรวมในเส้นผม มีค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (coefficient of variation , C.V.) ร้อยละ 6.98 มีค่าความถูกต้อง (accuracy) เฉลี่ยร้อยละ  $97.15 \pm 4.25$  และมีขีดจำกัดของการตรวจหา (detection limit) 0.11 ไมโครกรัมต่อกรัม

### 2.2 ผลการวิเคราะห์ระดับสารหนูรวมในเส้นผม

ระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงสูงมีค่าเฉลี่ย 0.055 ไมโครกรัมต่อกรัม มีพิสัยระหว่างตรวจไม่พบ-10.69 ไมโครกรัมต่อกรัม ระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงต่ำมีค่าเฉลี่ย 0.055 ไมโครกรัมต่อกรัม มีพิสัยระหว่าง ตรวจไม่พบ-4.97 ไมโครกรัมต่อกรัม สารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มควบคุมทุกตัวอย่าง ตรวจไม่พบ (ตาราง 3)

## 3. ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระดับสารหนูรวมในปัสสาวะของกลุ่มเสี่ยงสูง กลุ่มเสี่ยงต่ำ และกลุ่มควบคุม

จากการทดสอบทางสถิติ พบว่าระดับสารหนูรวมในปัสสาวะของกลุ่มเสี่ยงสูง กลุ่มเสี่ยงต่ำ และกลุ่มควบคุม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% กล่าวคือ ในกลุ่มเสี่ยงสูงจะมีระดับสารหนูรวมในปัสสาวะสูงกว่ากลุ่มเสี่ยงต่ำและกลุ่มควบคุม และกลุ่มเสี่ยงต่ำจะมีระดับสารหนูรวมในปัสสาวะสูงกว่ากลุ่มควบคุม (ตาราง 1)

## 4. ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะของกลุ่มเสี่ยงสูง กลุ่มเสี่ยงต่ำ และกลุ่มควบคุม

จากการทดสอบทางสถิติ พบว่าระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ของกลุ่มเสี่ยงสูง กลุ่มเสี่ยงต่ำ และกลุ่มควบคุม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% กล่าวคือในกลุ่มเสี่ยงสูงจะมีระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะสูงกว่ากลุ่มเสี่ยงต่ำและกลุ่มควบคุม และกลุ่มเสี่ยงต่ำจะมีระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะสูงกว่ากลุ่มควบคุม (ตาราง 2)

## 5. ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงสูง กลุ่มเสี่ยงต่ำ และกลุ่มควบคุม

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงสูง กลุ่มเสี่ยงต่ำ และกลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % กล่าวคือ ในกลุ่มเสี่ยงสูงจะมีระดับสารประกอบสารหนูรวมในเส้นผมสูงกว่ากลุ่มเสี่ยงต่ำและกลุ่มควบคุม และกลุ่มเสี่ยงต่ำจะมีระดับสารประกอบสารหนูนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะสูงกว่ากลุ่มควบคุม (ตาราง 3)

#### 6. ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารหนูรวมในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผม

จากผลการกระจายของระดับสารหนูรวมในปัสสาวะ สารประกอบสารหนูนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะ และสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงสูง กลุ่มเสี่ยงต่ำ มีการกระจายไม่เป็นการแจกแจงปกติจึงแปลงข้อมูลเป็น  $\log_{10}$  (ภาพประกอบ 2-10) แต่การกระจายยังคงไม่เป็นการแจกแจงปกติจึงหาความสัมพันธ์โดย Spearman rank correlation coefficient (Spearman's rho)

##### 6.1 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารหนูรวมในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงสูง

เมื่อนำระดับสารหนูรวมในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงสูงมาหาค่าความสัมพันธ์ โดยวิธี Spearman's rho พบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์( $r$ ) = 0.138 ( $p=0.350$ ) แสดงว่า ระดับสารหนูรวมในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงสูง ไม่มีความสัมพันธ์กันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ภาพประกอบ 11)

##### 6.2 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารหนูรวมในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงต่ำ

เมื่อนำระดับสารหนูรวมในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงต่ำมาหาค่าความสัมพันธ์ โดยวิธี Spearman's rho พบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์( $r$ ) = 0.204 ( $p=0.159$ ) แสดงว่า ระดับสารหนูรวมในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงต่ำ ไม่มีความสัมพันธ์กันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ภาพประกอบ 12)

##### 6.3 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารหนูรวมในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงสูงและกลุ่มเสี่ยงต่ำ

เมื่อนำระดับสารหนูรวมในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงสูงและกลุ่มเสี่ยงต่ำมาหาค่าความสัมพันธ์ โดยวิธี Spearman's rho พบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์( $r$ ) = 0.220 ( $p=0.030$ ) แสดงว่า ระดับสารหนูรวมในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงสูงและกลุ่มเสี่ยงต่ำ มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ภาพประกอบ 13)

#### 7. ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารประกอบสารหนูนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผม

##### 7.1 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารประกอบสารหนูนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงสูง

เมื่อนำระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอลิท์ในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงสูงมาหาค่าความสัมพันธ์ โดยวิธี Spearman's rho พบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) = 0.020 ( $p=0.894$ ) แสดงว่า ระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอลิท์ในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงสูง ไม่มีความสัมพันธ์กันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ภาพประกอบ 14)

7.2 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอลิท์ในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงต่ำ

เมื่อนำระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอลิท์ในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงต่ำมาหาค่าความสัมพันธ์ โดยวิธี Spearman's rho พบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) = 0.179 ( $p=0.218$ ) แสดงว่า ระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอลิท์ในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงต่ำ ไม่มีความสัมพันธ์กันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ภาพประกอบ 15)

7.3 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอลิท์ในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงสูงและกลุ่มเสี่ยงต่ำ

เมื่อนำระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอลิท์ในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงสูงและกลุ่มเสี่ยงต่ำมาหาค่าความสัมพันธ์ โดยวิธี Spearman's rho พบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) = 0.140 ( $p=0.171$ ) แสดงว่า ระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอลิท์ในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงสูงและกลุ่มเสี่ยงต่ำ ไม่มีความสัมพันธ์กันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ภาพประกอบ 16)

8. จากการไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างระดับสารหนูรวมในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผม และระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอลิท์ในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงสูงและกลุ่มเสี่ยงต่ำ จึงแบ่งกลุ่มของระดับสารหนูรวมในเส้นผมออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีระดับสารหนูรวมเกินมาตรฐาน (มากกว่า 1 ไมโครกรัมต่อกรัม : กระหวางสาธารณสุขกำหนดไม่เกิน 1 ไมโครกรัมต่อกรัม) และกลุ่มที่มีระดับสารหนูรวมไม่เกินมาตรฐาน (น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 ไมโครกรัมต่อกรัม) หลังจากนั้นนำค่าเฉลี่ยระดับสารหนูรวมในปัสสาวะของกลุ่มที่มีระดับสารหนูรวมในเส้นผมเกินมาตรฐานมาทดสอบความแตกต่างกับกลุ่มที่มีระดับสารหนูรวมในเส้นผมไม่เกินมาตรฐานของกลุ่มเสี่ยงสูงและกลุ่มเสี่ยงต่ำ และค่าเฉลี่ยระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอลิท์ในปัสสาวะของกลุ่มที่มีระดับสารหนูรวมในเส้นผมเกินมาตรฐานมาทดสอบความแตกต่างกับกลุ่มที่มีระดับสารหนูรวมในเส้นผมไม่เกินมาตรฐานของกลุ่มเสี่ยงสูงและกลุ่มเสี่ยงต่ำ

8.1 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระดับสารหนูรวมในปัสสาวะของกลุ่มที่มีระดับสารหนูรวมในเส้นผมเกินมาตรฐานกับกลุ่มที่มีระดับสารหนูรวมในเส้นผมไม่เกินมาตรฐานของกลุ่มเสี่ยงสูงและกลุ่มเสี่ยงต่ำ

จากการทดสอบทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ( $P=0.031$ ) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ภาพประกอบ 17)

8.2 ผลการทดสอบความแตกต่างของสารประกอบสารหนูอินทรีย์และเมตาบอลิท์ในปัสสาวะของกลุ่มที่มีระดับสารหนูรวมในเส้นผมเกินมาตรฐานกับกลุ่มที่มีระดับสารหนูรวมในเส้นผมไม่เกินมาตรฐานของกลุ่มเสี่ยงสูงและกลุ่มเสี่ยงต่ำ

จากการทดสอบทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ( $P=0.147$ ) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ภาพประกอบ 18)

ตาราง 1 ระดับสารหนูรวมในปัสสาวะของกลุ่มเสี่ยงสูง กลุ่มเสี่ยงต่ำ และกลุ่มควบคุม (ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน)

| กลุ่มตัวอย่าง  | ขนาดตัวอย่าง<br>(n) | ระดับสารหนูรวมในปัสสาวะ |                  | พิสัย<br>(Range) |
|----------------|---------------------|-------------------------|------------------|------------------|
|                |                     | GM <sup>1</sup>         | GSD <sup>2</sup> |                  |
| กลุ่มเสี่ยงสูง | 48                  | 126.13**                | 1.86             | 23.19 - 493.51   |
| กลุ่มเสี่ยงต่ำ | 49                  | 95.34**                 | 2.03             | 21.84 - 983.47   |
| กลุ่มควบคุม    | 29                  | 48.08**                 | 2.48             | ND - 168.23      |

หมายเหตุ \*\* กลุ่มเสี่ยงสูง กลุ่มเสี่ยงต่ำ และกลุ่มควบคุมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $P<0.01$ )

<sup>1</sup> ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (geometric mean)

<sup>2</sup> ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเรขาคณิต (geometric standard deviation)

ND = ตรวจไม่พบ ( $<13.87 \mu\text{g/l}$ )

ตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้ค่า ND ใช้ค่า  $13.87/2$  ในการคำนวณ

ตาราง 2 ระดับสารประกอบสารหนูอินทรีย์และเมตาบอลิท์ในปัสสาวะของกลุ่มเสี่ยงสูง กลุ่มเสี่ยงต่ำ และกลุ่มควบคุม (ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน)

| กลุ่มตัวอย่าง  | ขนาดตัวอย่าง<br>(n) | ระดับสารประกอบในปัสสาวะ |                  | พิสัย<br>(Range) |
|----------------|---------------------|-------------------------|------------------|------------------|
|                |                     | GM <sup>1</sup>         | GSD <sup>2</sup> |                  |
| กลุ่มเสี่ยงสูง | 48                  | 54.21**                 | 2.27             | ND - 262.28      |
| กลุ่มเสี่ยงต่ำ | 49                  | 36.61**                 | 2.58             | ND - 838.21      |
| กลุ่มควบคุม    | 29                  | 17.50**                 | 2.59             | ND - 89.40       |

หมายเหตุ \*\* กลุ่มเสี่ยงสูง กลุ่มเสี่ยงต่ำ และกลุ่มควบคุมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $P<0.01$ )

<sup>1</sup> ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (geometric mean)

<sup>2</sup> ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเรขาคณิต (geometric standard deviation)

ND = ตรวจไม่พบ ( $<18.56 \mu\text{g/l}$ )

ตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้ค่า ND ใช้ค่า  $18.56/2$  ในการคำนวณ

ตาราง 3 ระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงสูง กลุ่มเสี่ยงต่ำและกลุ่มควบคุม (ไมโครกรัมต่อกรัม)

| กลุ่มตัวอย่าง  | ขนาดตัวอย่าง<br>(n) | ระดับสารหนูรวม<br>ในเส้นผม | พิสัย<br>(Range) |
|----------------|---------------------|----------------------------|------------------|
| กลุ่มเสี่ยงสูง | 48                  | 0.055 <sup>1,**</sup>      | ND - 10.69       |
| กลุ่มเสี่ยงต่ำ | 49                  | 0.055 <sup>1,**</sup>      | ND - 4.97        |
| กลุ่มควบคุม    | 29                  | ND                         | ND               |

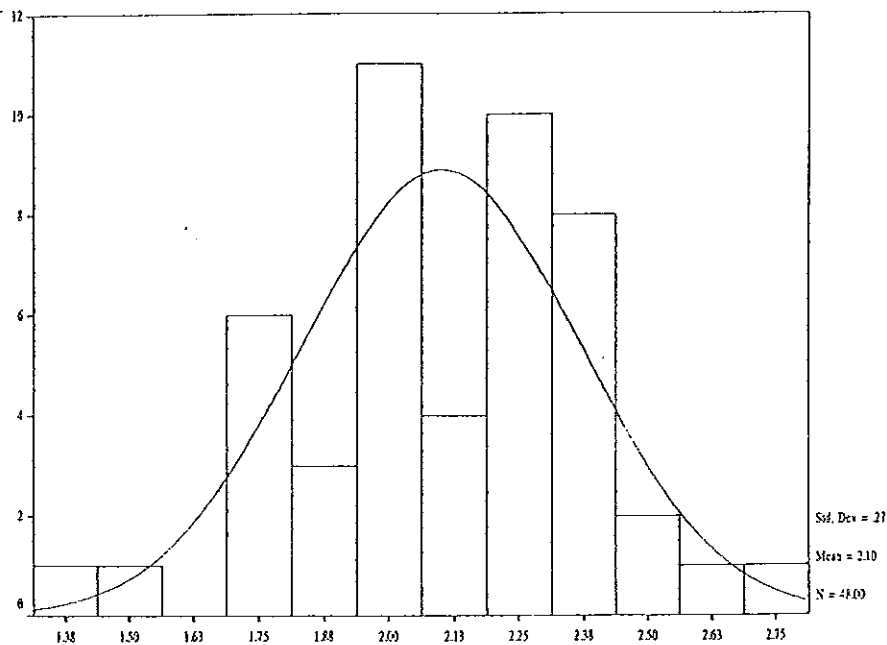
หมายเหตุ \*\* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.01$ )

<sup>1</sup> ค่ามัธยฐาน (median)

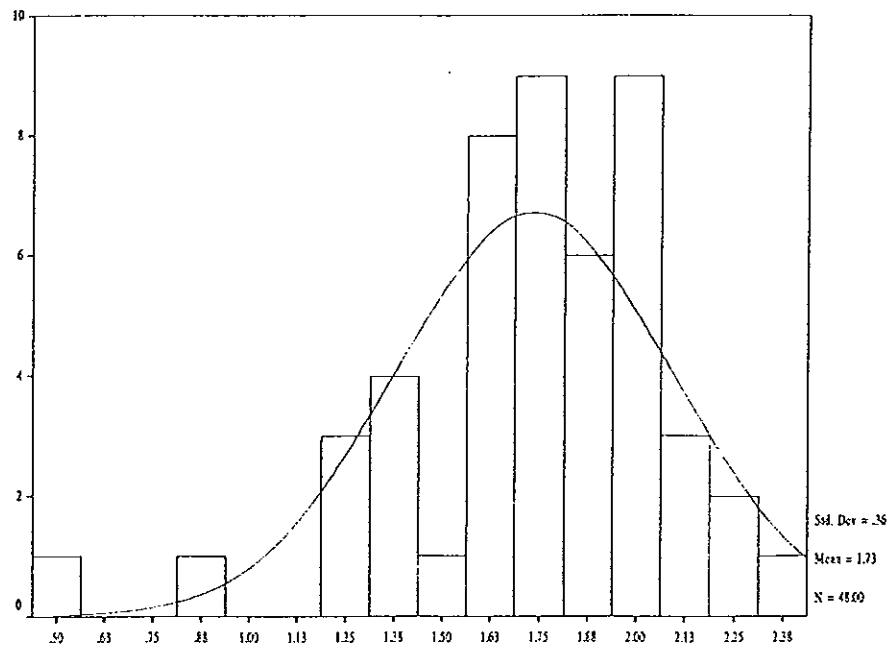
ND = ตรวจไม่พบสารหนู ( $< 0.11 \mu\text{g/g}$ )

ตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้ค่า ND ใช้ค่า  $0.11/2$  ในการคำนวณ

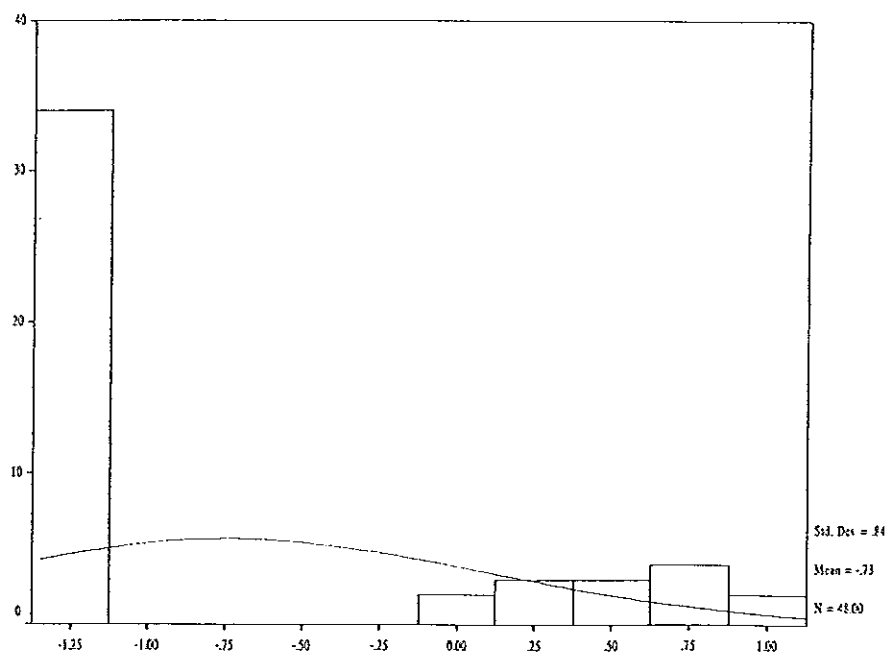
ภาพประกอบ 2 แสดงการกระจายของระดับสารหนูรวมในปัสสาวะของกลุ่มเสี่ยงสูงด้วย  $\log_{10}$  (ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน)



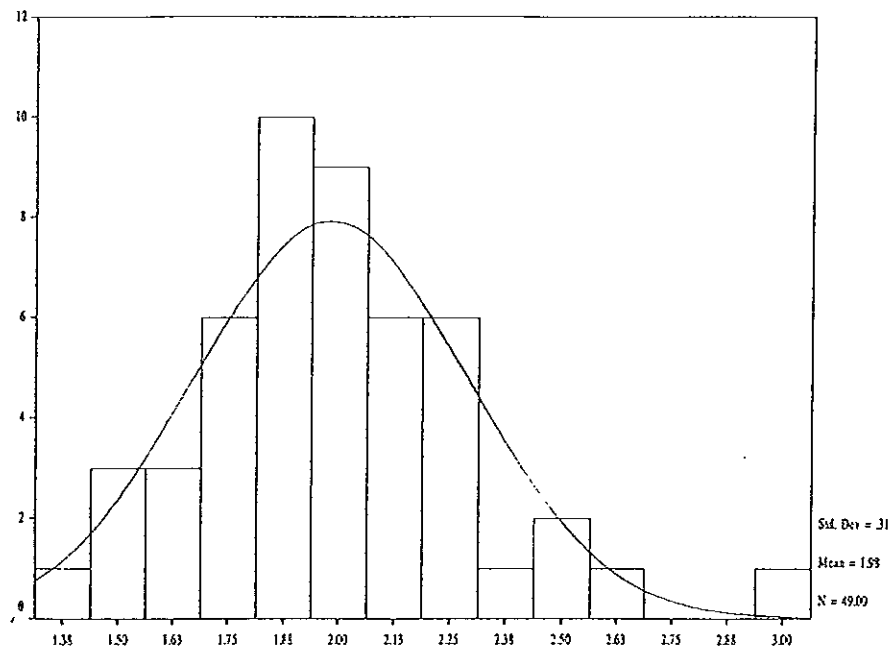
ภาพประกอบ 3 แสดงการกระจายของระดับสารประกอบสารหนูอินทรีย์และเมตาบอลิท์ในปัสสาวะของ  
กลุ่มเสี่ยงสูงด้วย  $\log_{10}$  (ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน)



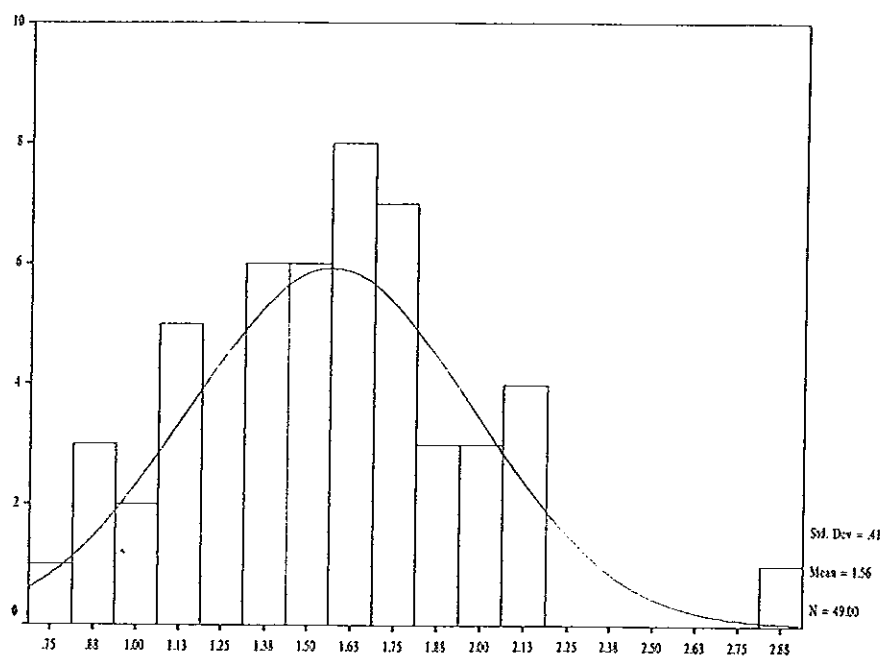
ภาพประกอบ 4 แสดงการกระจายของระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงสูงด้วย  $\log_{10}$   
(ไมโครกรัมต่อกรัม)



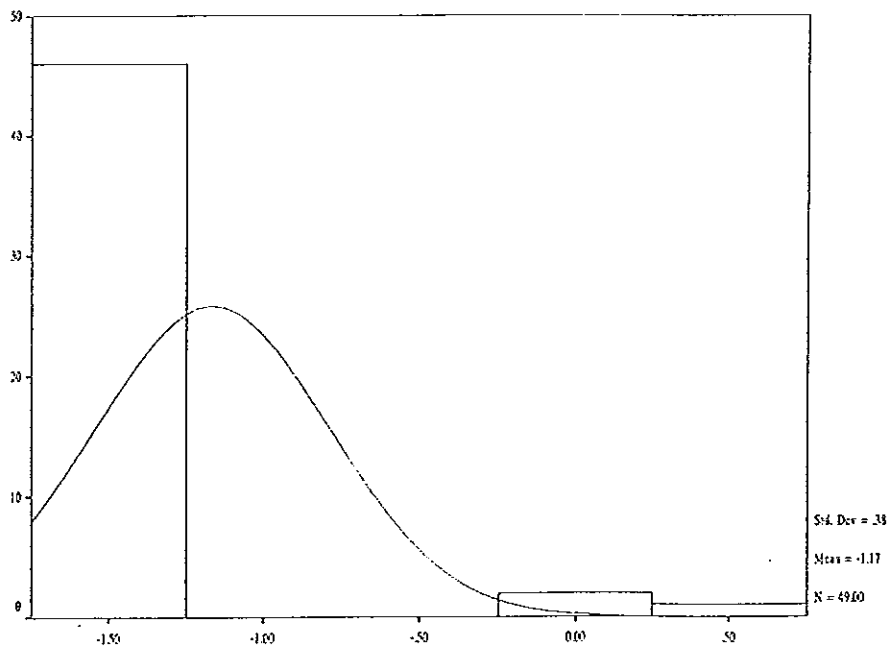
ภาพประกอบ 5 แสดงการกระจายของระดับสารหนูรวมในปัสสาวะของกลุ่มเสี่ยงต่ำด้วย  $\log_{10}$   
(ไม่โครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน)



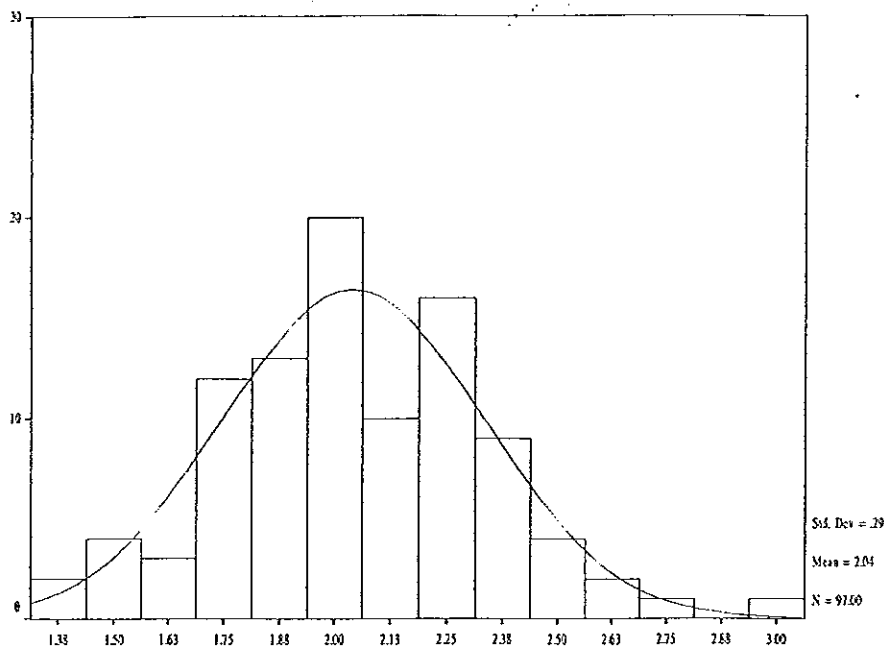
ภาพประกอบ 6 แสดงการกระจายของระดับสารประกอบสารหนูอินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะของกลุ่มเสี่ยงต่ำด้วย  $\log_{10}$  (ไม่โครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน)



ภาพประกอบ 7 แสดงการกระจายของระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงต่ำด้วย  $\log_{10}$   
(ไม่โครกรัมต่อกรัม)

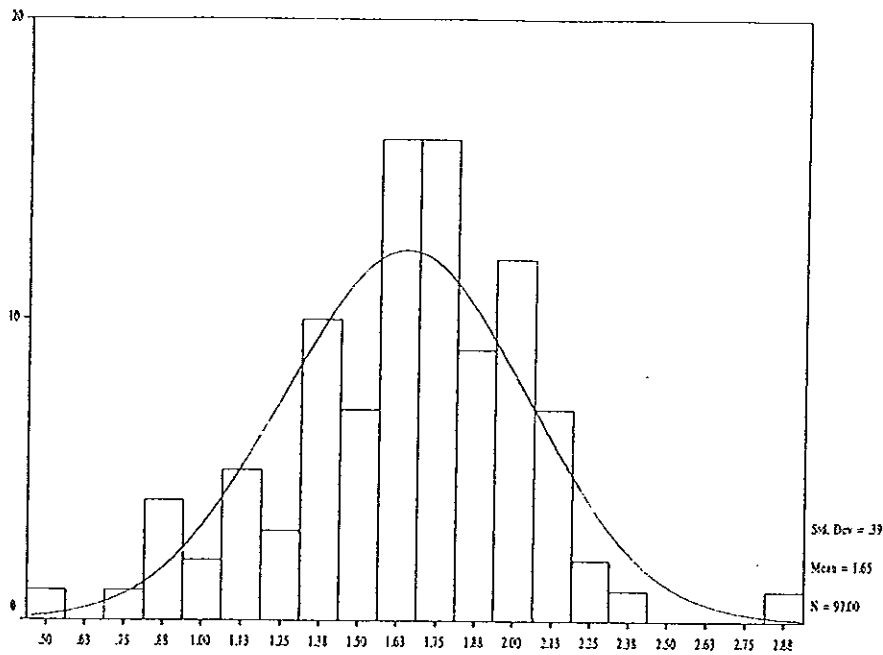


ภาพประกอบ 8 แสดงการกระจายของระดับสารหนูรวมในปีสภาวะของกลุ่มเสี่ยงสูงและกลุ่มเสี่ยงต่ำด้วย  $\log_{10}$  (ไม่โครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน)

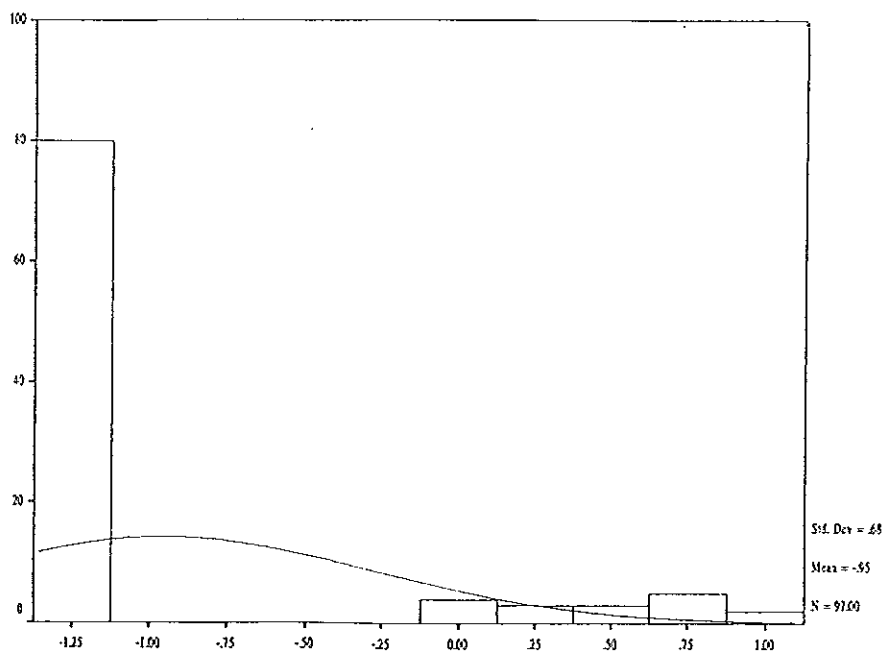




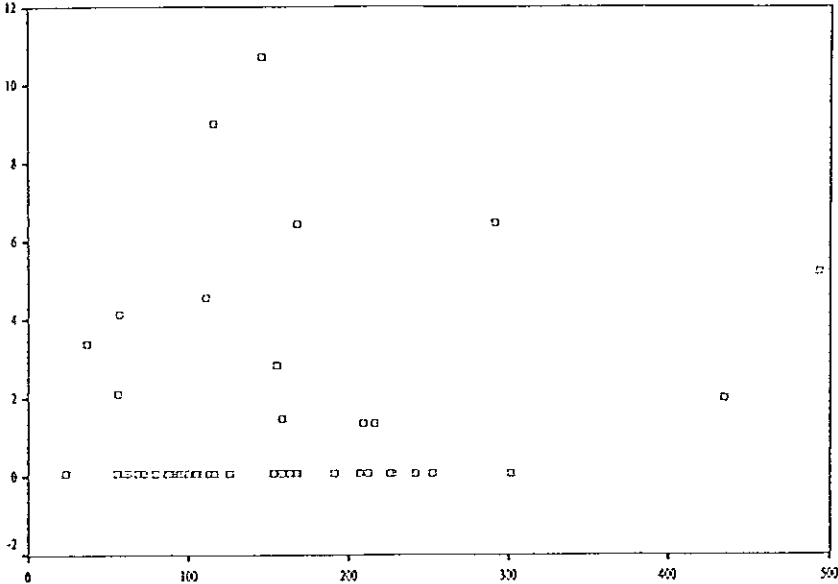
ภาพประกอบ 9 แสดงการกระจายของระดับสารประกอบสารหนูอินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะของกลุ่มเสี่ยงสูงและกลุ่มเสี่ยงต่ำด้วย  $\log_{10}$  (ไมโครกรัมต่อกรัมเอตินีน)



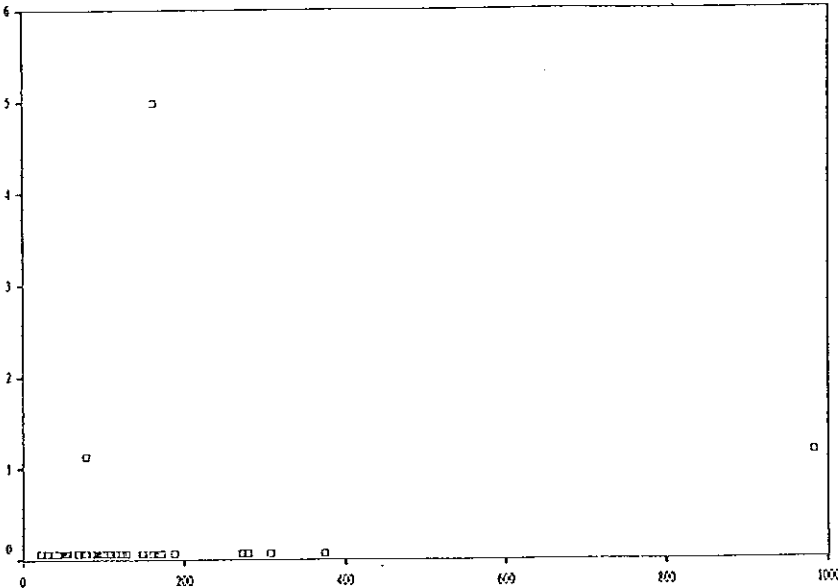
ภาพประกอบ 10 แสดงการกระจายของระดับสารหนูรวมในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงสูงและกลุ่มเสี่ยงต่ำด้วย  $\log_{10}$  (ไมโครกรัมต่อกรัม)



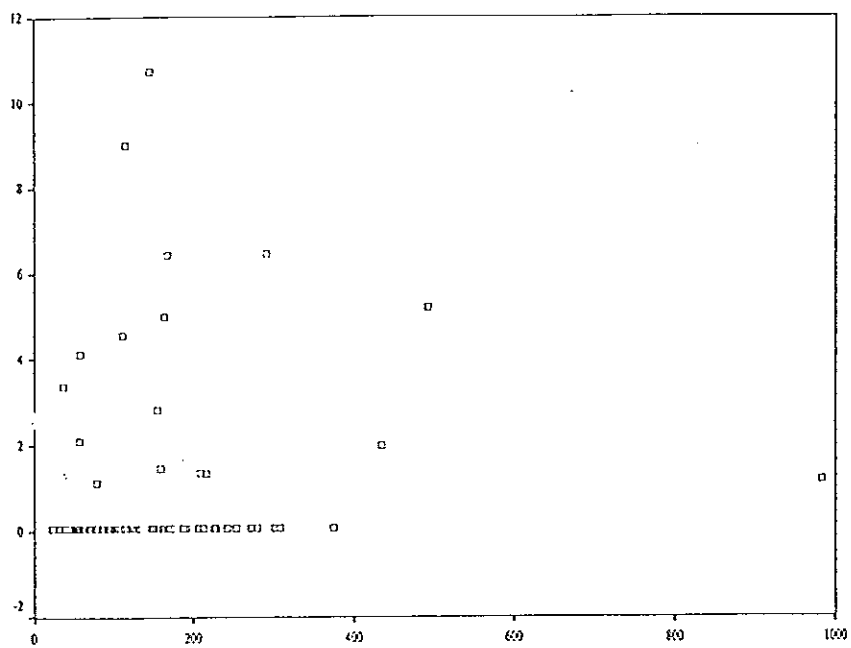
ภาพประกอบ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารหนูรวมในใบสวาะ (X) ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน กับระดับสารหนูรวมในเส้นผม (Y) ไมโครกรัมต่อกรัม ของกลุ่มเสี่ยงสูง



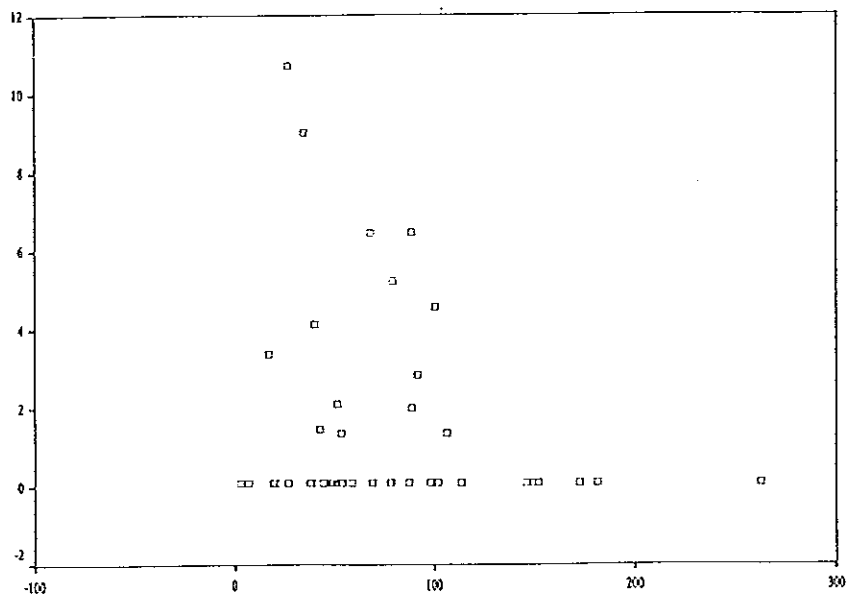
ภาพประกอบ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารหนูรวมในใบสวาะ (X) ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน กับระดับสารหนูรวมในเส้นผม (Y) ไมโครกรัมต่อกรัม ของกลุ่มเสี่ยงต่ำ



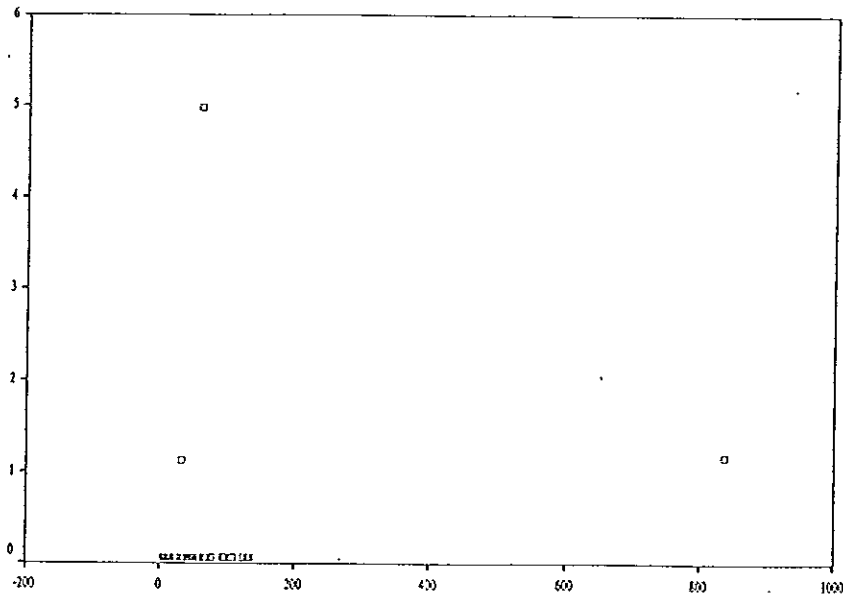
ภาพประกอบ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารหนูรวมในปลาสวาย (X) ไมโครกรัมต่อกรัมเนื้อสัตว์  
กับระดับสารหนูรวมในเส้นผม (Y) ไมโครกรัมต่อกรัม ของกลุ่มเสียงสูงและกลุ่มเสียงต่ำ



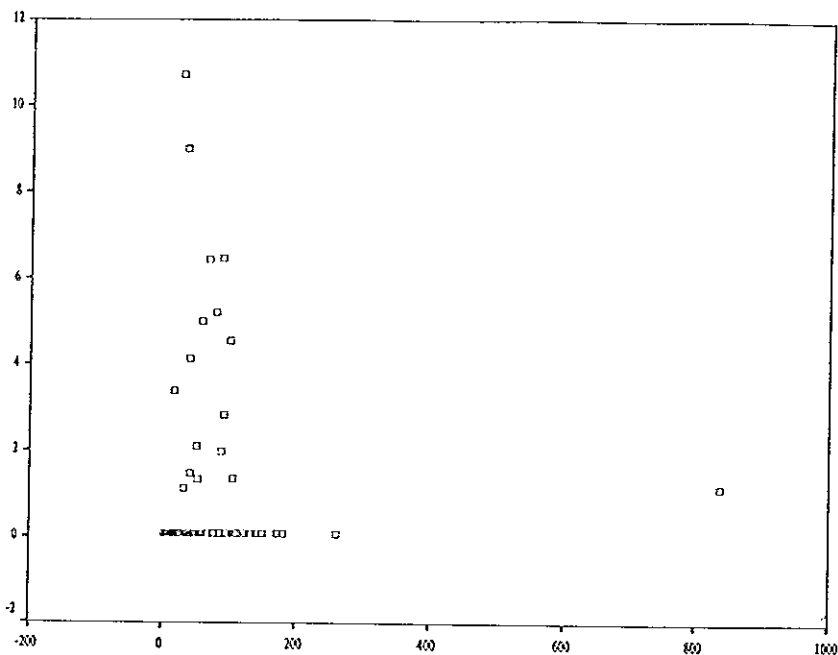
ภาพประกอบ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารประกอบสารหนูอินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปลาสวาย (X)  
ไมโครกรัมต่อกรัมเนื้อสัตว์ กับระดับสารหนูรวมในเส้นผม (Y) ไมโครกรัมต่อกรัม  
ของกลุ่มเสียงสูง



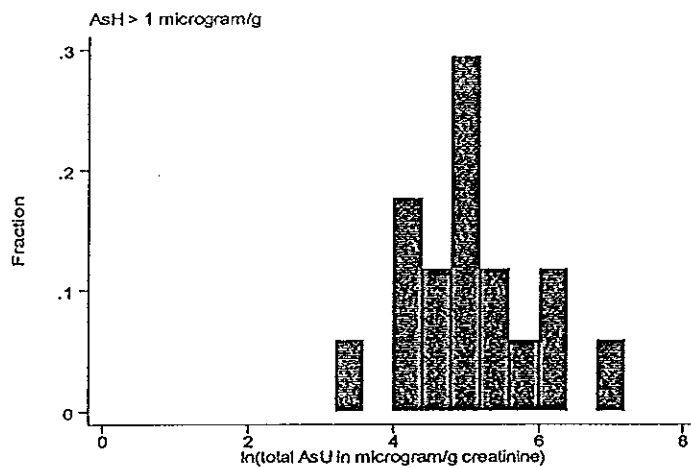
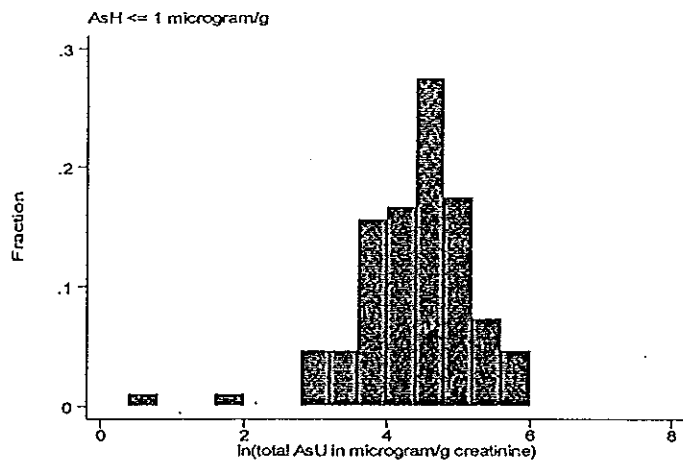
ภาพประกอบ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารประกอบสารหนูอินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะ (X) ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน กับระดับสารหนูรวมในเส้นผม (Y) ไมโครกรัมต่อกรัม ของกลุ่มเสี่ยงต่ำ



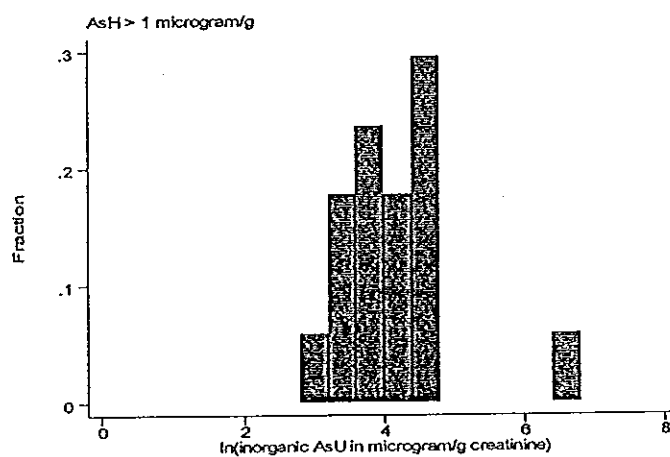
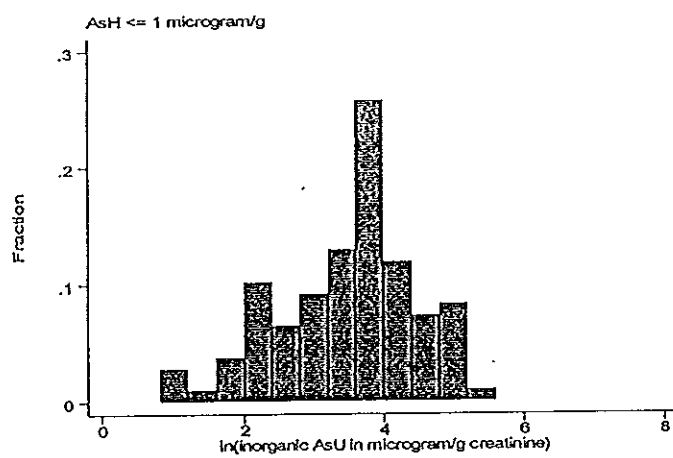
ภาพประกอบ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารประกอบสารหนูอินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะ (X) ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน กับระดับสารหนูรวมในเส้นผม (Y) ไมโครกรัมต่อกรัม ของกลุ่มเสี่ยงสูงและกลุ่มเสี่ยงต่ำ



ภาพประกอบ 17 การแพร่กระจายของระดับสารหนูรวมในปัสสาวะด้วย  $\log_{10}$  (ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน)  
 ที่มีระดับสารหนูรวมในเส้นผมเกินมาตรฐาน ( $> 1$  ไมโครกรัมต่อกรัม) เปรียบเทียบกับ  
 กลุ่มที่มีระดับสารหนูรวมในเส้นผมไม่เกินมาตรฐาน ( $\leq 1$  ไมโครกรัมต่อกรัม)



ภาพประกอบ 18 การแพร่กระจายของระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะด้วย  $\log_{10}$  (ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน) ที่มีระดับสารหนูรวมในเส้นผมเกินมาตรฐาน ( $> 1$  ไมโครกรัมต่อกรัม) เปรียบเทียบกับกลุ่มที่มีระดับสารหนูรวมในเส้นผมไม่เกินมาตรฐาน ( $\leq 1$  ไมโครกรัมต่อกรัม)



## บทที่ 4

### บทวิจารณ์

ระดับสารหนูรวมในเส้นผมเป็นดัชนีบ่งชี้การได้รับสารหนูแบบเรื้อรังในคนทั่วไป แต่เนื่องจากมีความยุ่งยากในขั้นตอนโดยเฉพาะการล้างสิ่งปนเปื้อนที่ผิวนอกของเส้นผมและการย่อยตัวอย่างเส้นผมให้เป็นสารละลายใส่ก่อนการวิเคราะห์ จึงมีความพยายามที่จะหาระดับสารหนูในตัวอย่างอื่นมาเป็นดัชนีชี้แทน ถ้าหากว่ามีดัชนีชี้ตัวใดมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระดับสารหนูรวมในเส้นผม กล่าวคือถ้าระดับสารหนูรวมในเส้นผมมีค่าสูง ค่าดัชนีชี้ตัวนั้นก็มีค่าสูงตาม หรือระดับสารหนูรวมในเส้นผมมีค่าต่ำ ค่าดัชนีชี้ตัวนั้นก็มีค่าต่ำตาม ก็อาจสามารถนำดัชนีชี้ตัวนั้นมาใช้แทนได้ การศึกษาที่จึงได้ทดสอบระดับสารหนูรวม และสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะ มาใช้แทนระดับสารหนูรวมในเส้นผมได้หรือไม่ (การเก็บตัวอย่าง และวิเคราะห์สารหนูในปัสสาวะง่าย และเสียเวลาน้อยกว่าในเส้นผม) โดยดูที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ซึ่งบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์โดยตรงกับระดับสารหนูรวมในเส้นผม

การที่ระดับสารหนูรวมในปัสสาวะโดยเฉลี่ย ระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะโดยเฉลี่ย และระดับสารหนูรวมในเส้นผมโดยเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มเสี่ยงสูง มีค่าสูงกว่ากลุ่มเสี่ยงต่ำ ซึ่งสูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ นั้น มีสาเหตุมาจากการที่เด็กนักเรียนในกลุ่มเสี่ยงสูงมีโอกาสได้รับสารหนูจากสิ่งแวดล้อมในปริมาณที่มากกว่ากลุ่มเสี่ยงต่ำ และสารหนูที่ได้รับส่วนใหญ่เป็นสารประกอบสารหนูอนินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในดินและน้ำดื่มซึ่งถูกขับถ่ายทางปัสสาวะเมื่อรับประทานเข้าไป โดยที่ก่อนหน้านี้ กิตติยา รักษ์วงศ์ (2542) ได้รายงานการศึกษาสิ่งแวดล้อมและปัจจัยเสี่ยงต่างๆที่เด็กนักเรียน ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช สัมผัสดังนี้

-ทำเลที่ตั้งของบ้านเรือน พบตัวอย่างดินที่มีการปนเปื้อนสารหนูรวมสูงกว่า 40 มิลลิกรัมต่อไมโครกรัม ในพื้นที่เสี่ยงสูงทุกหมู่บ้าน ซึ่งแต่ละหมู่บ้านพบการปนเปื้อนของสารหนูรวมในตัวอย่างดินร้อยละ 30 ถึงร้อยละ 90.5 ส่วนในพื้นที่เสี่ยงต่ำพบปริมาณสารหนูรวมสูงกว่า 40 มิลลิกรัมต่อไมโครกรัม เพียง 2 หมู่บ้าน ซึ่งแต่ละหมู่บ้านพบการปนเปื้อนของสารหนูรวมในตัวอย่างดินร้อยละ 17.65 และร้อยละ 20

-พฤติกรรมเสี่ยงต่างๆ เช่น การเล่นดินทรายเป็นประจำ ไม่ล้างมือก่อนรับประทานอาหาร นิยมวางอาหารบนโต๊ะ วางอาหารบนพื้นปูน และดื่มน้ำที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง กลุ่มเสี่ยงสูงจะมีพฤติกรรมเสี่ยงต่างๆเหล่านี้สูงกว่ากลุ่มเสี่ยงต่ำทุกพฤติกรรม

-ความสะอาดของน้ำดื่ม พบตัวอย่างน้ำดื่มที่มีระดับสารหนูรวมสูงเกินมาตรฐานขององค์การอนามัยโลก ในพื้นที่เสี่ยงสูง 3 หมู่บ้าน ในพื้นที่เสี่ยงต่ำไม่พบปริมาณการปนเปื้อนสารหนูรวมที่เกินมาตรฐาน

จากที่ผลการศึกษาพบว่า ระดับสารหนูรวมในปัสสาวะ และระดับสารประกอบสารหนูอินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะของกลุ่มเสี่ยงสูงจะมีค่าสูงกว่ากลุ่มเสี่ยงต่ำซึ่งสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญตามลำดับ บ่งชี้ว่าค่าเฉลี่ยระดับสารหนูรวมในปัสสาวะ และค่าเฉลี่ยระดับสารประกอบสารหนูอินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะสามารถบอกความแตกต่างของการได้รับหรือสัมผัสกับสารหนูในกลุ่มประชากรต่างกลุ่มกันได้

การที่ค่าระดับสารหนูรวมในปัสสาวะกับค่าระดับสารหนูรวมในเส้นผมมีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ ค่าระดับสารหนูอินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะกับค่าระดับสารหนูรวมในเส้นผมไม่มีความสัมพันธ์กัน การทดสอบความแตกต่างระหว่างระดับสารหนูรวมในปัสสาวะที่มีระดับสารหนูรวมในเส้นผมเกินมาตรฐานกับกลุ่มที่มีระดับสารหนูรวมในเส้นผมไม่เกินมาตรฐาน และการทดสอบความแตกต่างระหว่างระดับสารประกอบสารหนูอินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะที่มีระดับสารหนูรวมในเส้นผมเกินมาตรฐานกับกลุ่มที่มีระดับสารหนูรวมในเส้นผมไม่เกินมาตรฐาน บ่งชี้ว่าเราไม่สามารถนำค่าระดับสารหนูรวมในปัสสาวะ และระดับสารหนูอินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะมาใช้เป็นดัชนีบอกการได้รับสารหนูแบบเรื้อรังแทนการใช้ระดับสารหนูรวมในเส้นผมได้ เหตุผลประการหนึ่งเพราะตัวอย่างปัสสาวะที่ใช้เป็น spotted urine ซึ่งผลการศึกษาที่ได้ในแต่ละกลุ่มมีค่าพิสัยกว้างมาก เพราะว่า ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ระดับสารหนูรวม และระดับสารประกอบสารหนู อินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะ ต้องนำมาหารกับค่าครีเอตินีนซึ่งมีความแตกต่างกันบ้างในแต่ละคนและ ยังแปรผันได้กับชนิดของอาหารที่รับประทานเข้าไป เช่น ถ้ารับประทานอาหารจำพวกเนื้อสัตว์ จะมีการขับครีเอตินีนออกทางปัสสาวะเพิ่มขึ้น 10-30 % (Carl and Edward, 1994)

การใช้ปัสสาวะ 24 ชั่วโมงจะเหมาะสมกว่าเพราะได้เฉลี่ยค่าความเข้มข้นของครีเอตินีนในแต่ละช่วงวันไว้แล้ว พบว่าในตัวอย่าง spotted urine ที่เจือจางมากมีค่าระดับครีเอตินีนต่ำมากค่าที่วิเคราะห์ได้จะแปรปรวนมากตามไปด้วย แต่การเก็บปัสสาวะ 24 ชั่วโมงนั้นเป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติเมื่อต้องการสำรวจผู้ป่วยจำนวนมากในกลุ่มประชากรหนึ่งๆ แต่ยังคงเป็นวิธีการเก็บปัสสาวะที่เหมาะสมที่สุดในการวิเคราะห์หาระดับสารหนูในปัสสาวะ

ถ้าจะมีการวิเคราะห์ระดับสารหนูรวมในปัสสาวะอย่างเดียวก็จะต้องให้กลุ่มตัวอย่างนั้นงดอาหารทะเลอย่างน้อย 3-5 วันก่อนการเก็บตัวอย่าง มิฉะนั้นจะมีสารประกอบสารหนูอินทรีย์ปะปนได้ จากการศึกษาในครั้งนี้แสดงถึงมีสารประกอบสารหนูอินทรีย์ (อาหารทะเล) ปนเปื้อนในสารหนูรวมด้วย (ระดับสารประกอบสารหนูอินทรีย์มีประมาณร้อยละ 46.90-48.82 ของระดับสารหนูรวม) เนื่องจากการศึกษานี้ไม่ได้ให้เด็กนักเรียนงดอาหารทะเลก่อนการเก็บตัวอย่าง



## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### บทสรุป

การศึกษาครั้งนี้พบว่า

1.ระดับสารหนูรวมในเส้นผมโดยเฉลี่ยของกลุ่มเสี่ยงสูงมีค่าเกินเกณฑ์ แต่มีนักเรียนที่มีระดับสารหนูรวมในเส้นผมเกินมาตรฐาน 13 คน (ร้อยละ 27.08) กลุ่มเสี่ยงต่ำมีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ แต่มีนักเรียนที่มีระดับสารหนูเกินมาตรฐาน 3 คน (ร้อยละ 6.12) กลุ่มควบคุมทุกตัวอย่างตรวจไม่พบ

2.ระดับสารหนูรวมในปัสสาวะโดยเฉลี่ยของกลุ่มเสี่ยงสูง 135.22 ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินิน กลุ่มเสี่ยงต่ำ 90.77 ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินิน กลุ่มควบคุม 53.04 ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินิน

3.ไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างระดับสารหนูรวมในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผม และระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอลิท์ในปัสสาวะกับระดับสารหนูรวมในเส้นผม ทำให้ทราบว่าระดับสารหนูรวมในปัสสาวะและระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอลิท์ในปัสสาวะไม่เหมาะสมที่จะใช้แทนระดับสารหนูรวมในเส้นผมในการบ่งชี้ปริมาณการได้รับสารหนูอย่างแท้จริง

4.ระดับสารหนูรวมในปัสสาวะโดยเฉลี่ยและระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอลิท์ในปัสสาวะโดยเฉลี่ยของกลุ่มเสี่ยงสูง กลุ่มเสี่ยงต่ำ และกลุ่มควบคุมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ คือกลุ่มเสี่ยงสูงมีค่าระดับสารหนูรวมเฉลี่ยในปัสสาวะสูงกว่ากลุ่มเสี่ยงต่ำซึ่งมีระดับสูงกว่ากลุ่มควบคุม

### ข้อเสนอแนะ

1. ในการวิเคราะห์ระดับสารหนูในปัสสาวะนั้นปัสสาวะที่ใช้ควรเป็นปัสสาวะ 24 ชั่วโมง มากกว่าปัสสาวะที่เก็บในเวลาใดเวลาหนึ่ง (spotted urine) ถึงแม้ว่าการเก็บปัสสาวะ 24 ชั่วโมงจะเป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติเมื่อต้องการสำรวจผู้ป่วยจำนวนมากในกลุ่มประชากรหนึ่งๆ แต่ปัสสาวะที่ได้มีความเข้มข้นเฉลี่ยที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์ระดับสารหนูในปัสสาวะ

2. จากผลการวิเคราะห์พบว่ายังมีการสะสมของสารหนูในเส้นผมของกลุ่มเสี่ยงสูงเกินค่ามาตรฐาน และยังพบระดับสารหนูรวมในปัสสาวะ และระดับสารประกอบสารหนูและเมตาบอไลต์ในปัสสาวะมีค่าค่อนข้างสูงดังนั้นหน่วยงานของรัฐควรมีการติดตามตรวจสอบการได้รับสารหนูของเด็กนักเรียนอย่างต่อเนื่องและหามาตรการป้องกันการได้รับสารหนูต่อไป

3. ควรหามาตรการแก้ไข/ป้องกันพิษสารหนูที่จะเกิดขึ้น เนื่องจากพบว่าเด็กนักเรียนที่อาศัยในตำบลร้อนพิบูลย์ ยังคงมีสารหนูในร่างกายอยู่ซึ่งจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย สติปัญญา และการเกิดโรค มะเร็งจากพิษสารหนู ซึ่งจากการศึกษาของ อัญชลี และคณะ (2540) พบว่าการได้รับสารหนูขนาดต่ำอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเกิดการสะสมในเส้นผมมีความสัมพันธ์กับพัฒนาการล่าช้าของเด็กทั้งทางด้านร่างกาย การรับรู้ และสติปัญญา

### บรรณานุกรม

- กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2531. "สาระนั้นรู้เกี่ยวกับสารหนู". วารสารวิทยาศาสตร์บริการ. 117, 5-10.
- กิตติยา รัชชวงศ์. 2542. "พฤติกรรมเสี่ยงและแหล่งที่มาของการได้รับสารหนูในเด็กนักเรียน ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช" วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.(ลำเนา)
- จันทร์เพ็ญ ชูประภาวรรณ. 2535. "ปัญหาพิษสารหนูที่ อ.ร่อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช". กรุงเทพฯ : กระทรวงสาธารณสุข ลำเนา.
- เดชา ชูตินารา. 2528. "ประโยชน์ของสารหนู", ข่าวสารการชน. 30 (พฤศจิกายน 2528), 68.
- ธาดา เปี่ยมพวงศานต์. 2531. "พิษสารหนูเรื้อรังรุนแรง ร่องรอยทางคลินิกสู่การศึกษาทางระบาดวิทยา", วารสารกรมการแพทย์. 5, 279-281.
- ณรงค์ ณ เชียงใหม่. 2534. "ปริมาณสารหนูในแหล่งน้ำ พืช ผัก ผลไม้ และเส้นผม ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช", วารสารสงขลานครินทร์. 13 (มกราคม-มิถุนายน 2534), 59-67.
- บรรจง วิทย์วิรศักดิ์. 2536. "ปัญหาสารหนูที่ร่อนพิบูลย์", สงขลานครินทร์ เวชสาร. 11 (ตุลาคม - ธันวาคม 2536), 267-277.
- ประยูร เอื้อไพบูลย์. 2539. "โรคพิษสารหนู", ในความก้าวหน้าของการศึกษาวิจัยและแนวทางป้องกันโรคพิษสารหนูเรื้อรัง : รายงานการประชุมวิชาการ 11 มิถุนายน 2539 กองระบาดวิทยา กระทรวงสาธารณสุข. หน้า 8-14. กรุงเทพฯ.
- ไมตรี สุทธจิตต์. 2531. สารพิษรอบตัวเรา. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

- วรพิน วิทยวราวัฒน์. 2537. "การปนเปื้อนของสารหนู แคดเมียมและตะกั่วในลุ่มแม่น้ำปากพนัง"  
วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.  
(สำเนา)
- วิชัย เอกพลากร และอมรา ทองหงษ์. 2538. "ระบาดวิทยาโรคพิษสารหนู ต.ร้อนพิบูลย์ อ.ร้อนพิบูลย์  
จ.นครศรีธรรมราช", ในความก้าวหน้าของการศึกษาวิจัยและแนวทางป้องกันโรคพิษสารหนูเรื่อง :  
รายงานการประชุมวิชาการ 11 มิถุนายน 2539 กองระบาดวิทยา กระทรวงสาธารณสุข.  
หน้า 15-19 กรุงเทพฯ.
- วิทยาศาสตร์การแพทย์, กรม. 2531. การระบาดของโรคพิษสารหนูตำบลร้อนพิบูลย์ อำเภอร้อนพิบูลย์ จังหวัด  
นครศรีธรรมราช. กรุงเทพฯ.
- สมบูรณ์ จิรโรจน์วัฒน์. 2531. "พิษสารหนูต่อผิวหนัง", สงขลานครินทร์เวชสาร. 6 (เมษายน-มิถุนายน 2531).  
176-182.
- สุโขทัยธรรมมาธิราช, มหาวิทยาลัย. 2534. เอกสารการสอนชุดวิชา หน่วยที่ 8-16 พิษวิทยาและเวชศาสตร์  
อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.
- อนามัย, กรม. กองอาชีพอนามัย. 2536. โรคจากการประกอบอาชีพ. กรุงเทพฯ.
- อัญชลี ศิริพิทยาคุณกิจ และคณะ. 2540. "ความสัมพันธ์ของการได้รับสารหนูเรื่องรังกับการเจริญเติบโต และ  
ความสามารถทางสติปัญญา ในเด็กวัยเรียน อำเภอร้อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช" ใน การ  
ศึกษาและวิจัยโลหะมีพิษในลุ่มน้ำปากพนังและลุ่มน้ำปัตตานี : รายงานการประชุม 17 ตุลาคม  
2540. หน้า 20-24.
- Buchet, J.P., Lauwerys, R. and Roels, H. 1980. Comparison of Several Methods for the  
Determination of Arsenic Compounds in Water and in Urine. Int. Arch. Occup.  
Environ. Health, 46(1980), 110-129.
- Carl A. Burtis, Edward R. Ashwood. 1994. Tietz Textbook of Chemistry.  
Philadelphia, USA.

- CEM corporation. 1994. General Guideline for Microwave Sample Preparation. USA.
- Friberg Lars, Noberg, Gunnar F. and Vouk, Velmir B. 1986. Handbook on the Toxicology of Metals. Amsterdam : Elsevier.
- Hironaka, H. 1992. (Personal Communication) Fukuoka City Institute of Public Health, Fukuoka, Japan.
- Hiroshi. Yamauchi and Yukio Yamamura. 1985. "Metabolism and Excretion of Orally Administrated Arsenic Trioxide in Hamster", Toxicology. 34(1985), 113-131
- Hiroshi Yamauchi, et al. 1989. "Biological Monitoring of Arsenic Exposure of Gallium Arsenic and Inorganic Arsenic Exposed Worker by Determination of Inorganic Arsenic and Its Metabolites in Urine and Hair", American Industrial Hygiene Association. 50 (November 1989), 606-612.
- \_\_\_\_\_. 1992. "Metabolism of Subcutaneous Administered Indium Arsenic in the Hamster". Toxicology and Applied Pharmacology. 20(April 1992), 66-70.
- Ishinishi H., et al. 1986. Handbook on the Toxicology of Metals. 2d ed. Elsevier Science Publisher B.V.
- Lauwerys, R.R. and Hoest, P. 1993. Industrial Chemical Exposure Guideline for Biological Monitoring. Boca Raton : Lewis Publishers.
- Norin Harald and Vahter Marie. 1981. "A Rapid Methods for the Selective Analysis of Total Urinary Metabolites of Organic Arsenic". Scand Journal Work Environmental Health. 7(1981), 38-44.

Nixon, David E., et al. 1991. "Total Arsenic in Urine : Palladium-Persulfate VS Nickel as a Matrix Modifier for Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry", *Clinical Chemistry*. 37(1991), 1575-1579.

Nixon, David E. and Moyer, Thomas P. 1992. "Arsenic Analysis II : Rapid Separation and Quantification of Inorganic Arsenic Plus Metabolites and Arsenobetaine form Urine", *Clinical Chemistry*. 38(1992), 2479-2483.

United Nations Environment Programme. 1987. "The Determination of Methylmercury Total Mercury and Total Selenium in Human Hair',Regional seas,Reference Methods for Marine Pollution,Studies. 46(october 1987).3.

Valentine, J. Kang, H. and Spirey. 1979. "Arsenic Level in Human Blood, Urine and Hair in Response to Exposure Via Drinking Water". *Environ. Res.* 20(1979), 24.

ภาคผนวก

### ภาคผนวก ก

วิธีแยกชนิดของสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะ ด้วยวิธี Cation - exchange column chromatography (ดัดแปลงวิธีการจาก Nixon and Moyer, 1992)

1. ใส่ ethanol ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงใน solid phase extraction (SPE) tube รองระดับ ethanol อยู่เหนือผิวเกลือประมาณ 1-2 มิลลิเมตร เติมน้ำ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เมื่อระดับน้ำเกลือประมาณ 1-2 มิลลิเมตรเหนือผิว เติม acidified urine (blank urine ที่นำมาเติม  $\text{HNO}_3$  ให้  $\text{pH} < 2$ ) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร

2. รองระดับ acidified urine เกลือประมาณ 1-2 มิลลิเมตร ย้าย SPE tube ไปยังหลอดแก้วที่ 2 หลังจากนั้นเติมน้ำ spotted urine (urine ของกลุ่มตัวอย่างที่เติม  $\text{HNO}_3$  ให้  $\text{pH} < 2$ ) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เมื่อระดับ spotted urine เกลือประมาณ 1-2 มิลลิเมตร เติมน้ำ washing solution (70%  $\text{HNO}_3$  ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมด้วย ethanol ปริมาตร 1.4 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร) ปริมาตร 6 มิลลิลิตร รองน้ำ washing solution ใน SPE tube แห่ง (flow rate ของเครื่องไม่ควรเกิน 5 มิลลิลิตรต่อนาที)

3. นำสารละลายจากหลอดแก้วที่ 2 ที่แยกได้ไปวิเคราะห์หาระดับสารประกอบสารหนูอนินทรีย์และเมตาบอไลต์ ด้วยเครื่อง AAS แบบ graphite furnace รุ่น GTA 100 SpectrAA - 800 ของ Varian ต่อไป

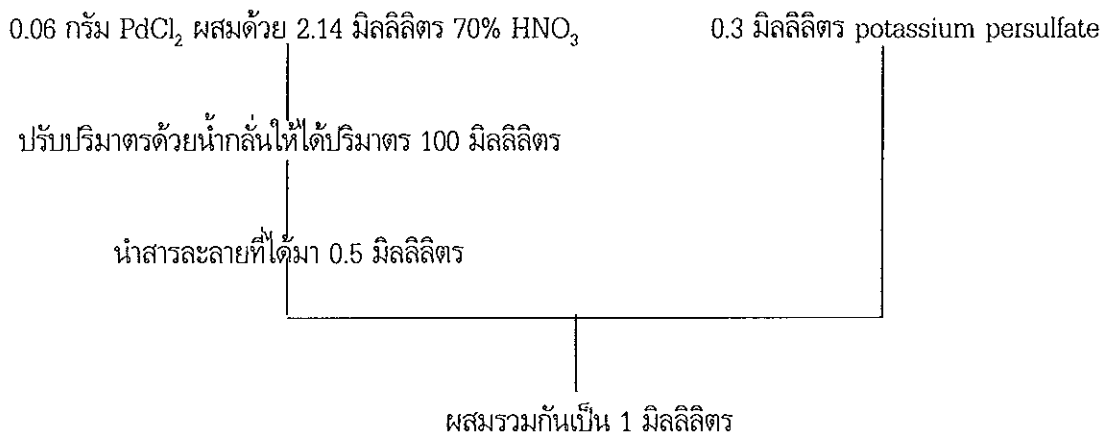


### ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์หาระดับสารหนูรวมในปัสสาวะ สารประกอบสารหนูอินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะ และสารหนูรวมในเส้นผมด้วยเครื่อง AAS แบบ graphite furnace รุ่น GTA 100 SpectrAA - 800 ของ Varian (ดัดแปลงวิธีการจาก Nixon, et al., 1991)

โดยมี modifier คือ  $\text{PdCl}_2 + 70\% \text{HNO}_3$  ผสมด้วย potassium persulfate  
make up คือ  $0.1\% \text{HNO}_3$

วิธีการเตรียม modifier



พารามิเตอร์ของเครื่อง AAS แบบ graphite furnace รุ่น GTA 100 SpectrAA - 800 ของ Varian ในการวิเคราะห์ระดับสารหนูรวม และสารประกอบสารหนูอินทรีย์และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะ

| Step No. | Temp (deg <sup>o</sup> C ) | Time (s) | Argon Gas Flow (L/min) |
|----------|----------------------------|----------|------------------------|
| 1        | 85                         | 5.0      | 3.0                    |
| 2        | 95                         | 40.0     | 3.0                    |
| 3        | 120                        | 10.0     | 3.0                    |
| 4        | 300                        | 10.0     | 3.0                    |
| 5        | 1400                       | 5.0      | 3.0                    |
| 6        | 1400                       | 10.0     | 3.0                    |
| 7        | 1400                       | 10.0     | 0.0                    |
| 8        | 2600                       | 0.7      | 0.0                    |
| 9        | 2600                       | 2.0      | 0.0                    |
| 10       | 2600                       | 2.0      | 3.0                    |

พารามิเตอร์ของเครื่อง AAS แบบ graphite furnace รุ่น GTA 100 SpectrAA - 800 ของ Varian ในการวิเคราะห์ระดับสารหนูรวมในเส้นผม

| Step No. | Temp (deg <sup>o</sup> C ) | Time (s) | Argon Gas Flow (L/min) |
|----------|----------------------------|----------|------------------------|
| 1        | 85                         | 5.0      | 3.0                    |
| 2        | 95                         | 40.0     | 3.0                    |
| 3        | 120                        | 10.0     | 3.0                    |
| 4        | 1400                       | 5.0      | 3.0                    |
| 5        | 1400                       | 1.0      | 3.0                    |
| 6        | 1400                       | 2.0      | 0.0                    |
| 7        | 2600                       | 0.6      | 0.0                    |
| 8        | 2600                       | 2.0      | 0.0                    |
| 9        | 2600                       | 2.0      | 3.0                    |

### ภาคผนวก ค

#### วิธีการเตรียมเครื่องแก้วและภาชนะบรรจุตัวอย่าง

##### วิธีการเตรียมเครื่องแก้วและภาชนะบรรจุตัวอย่างปัสสาวะ

นำอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นของสารต่างๆ แช่ในน้ำซึ่งละลายผงต่างที่ปราศจากฟอสเฟต(Biozen,USA) เป็นเวลา 1 วัน แล้วนำไปแช่ในกรดไนตริกเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนำไปแช่ในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 วัน แล้วนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นปราศจากอิออน 3 ครั้ง และนำไปอบจนแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส

##### วิธีการเตรียมภาชนะบรรจุตัวอย่างเส้นผม

นำภาชนะบรรจุตัวอย่างเส้นผมแช่ในน้ำซึ่งละลายผงต่างที่ปราศจากฟอสเฟต(Biozen,USA) เป็นเวลา 1 วัน แล้วนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นปราศจากอิออน 3 ครั้ง และนำไปผึ่งให้แห้ง

## การทดสอบทางสถิติ

### การทดสอบแบบ Kruskal - Wallis - test

วิธีวิเคราะห์หาเรียนซ์ที่ใช้กับข้อมูลที่ถูกจำแนกทางเดียว ที่มีการแจกแจงแบบ parametric โดยข้อมูลมาจากตัวแทนมากกว่าสองตัวแทนขึ้นไป เช่น ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ Completely randomized design นั้นจะมีประสิทธิภาพสูงก็ต่อเมื่อข้อมูลจะเป็นไปตามข้อกำหนดหลายประการ เช่นความคลาดเคลื่อนจะต้องมีการแจกแจงแบบปกติ และวาเรินซ์ของประชากรที่ตัวแทนถูกสุ่มมาจะต้องมีค่าเท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติอาจได้ข้อมูลที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดดังกล่าว วิธี non parametric ที่เรียกว่า Kruskal - Wallis - test จะสามารถนำมาแทนวิธีวิเคราะห์ดังกล่าวได้ โดยเฉพาะข้อมูลที่มีลักษณะอันดับสเกล (ordinal scale) ที่ต้องการเสนอลักษณะที่ได้จากการวัดในเชิงคุณภาพ (qualitative scale) ให้มีลักษณะในเชิงปริมาณ (quantitative scale)

วิธีทดสอบแบบ Kruskal - Wallis - test เป็นวิธีทดสอบที่นำค่าผลรวมของอันดับจากตัวแทนมาใช้ จึงถือว่าการทดสอบแบบ rank sum test ชนิดหนึ่ง

วิธีทดสอบมีขั้นตอนดังนี้

1. ให้อันดับ ( rank ) ของค่าสังเกตแต่ละค่าจากข้อมูลทั้งหมด ถ้าค่าสังเกตมีค่าเท่ากัน จะใช้ค่าเฉลี่ยของอันดับ
2. หาผลรวมของค่าอันดับ ( rank sum ) ของแต่ละตัวแทน
3. คำนวณค่าทดสอบสถิติ H ดังนี้

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k R_i^2 / n_i - 3(n+1)$$

โดย

$R_i$  = ผลรวมของค่าอันดับของตัวแทนที่ i

$n_i$  = จำนวนค่าสังเกตของตัวแทนที่ i

$$n = \sum_{i=1}^k n_i$$

= จำนวนค่าสังเกตทั้งหมด เมื่อมีตัวแทน k ตัวแทน

### การทดสอบแบบ Mann - Whitney U - test

ใช้ในการเปรียบเทียบตัวอย่างสุ่มอิสระ 2 กลุ่ม ที่มีการแจกแจงแบบ nonparametric ว่าสุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงเหมือนกันหรือไม่ หรือมีค่าเฉลี่ยหรือค่ามัธยฐานแตกต่างกันหรือไม่โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบ จะวัดแบบอันดับสเกล (ordinal scal)

สมมติว่าสุ่มตัวอย่างอิสระจำนวน  $n_1 + n_2$  ขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้

1. จัดอันดับ (rank) ของข้อมูลตัวอย่างทั้ง 2 ชุด ซึ่งรวมเข้าเป็นชุดเดียวกันจากค่าน้อยที่สุดไปหาค่าสูงที่สุด ให้ค่าน้อยที่สุดอยู่ในอันดับ 1 และค่าถัดมาเป็นอันดับ 2 และดำเนินการเช่นนี้จนครบค่าที่เท่ากันให้อยู่ในอันดับที่เป็นค่าเฉลี่ยของอันดับค่าเหล่านั้น

2. หาผลรวมของอันดับของข้อมูลสำหรับตัวอย่างแต่ละชุดแยกจากกัน โดยกำหนดให้

$R_1$  = ผลรวมของอันดับที่ของข้อมูลตัวอย่างชุดที่มีจำนวนข้อมูลน้อยกว่า และให้  $n_1$  เป็นจำนวนข้อมูลชุดที่น้อยกว่า

$R_2$  = ผลรวมของอันดับที่ของข้อมูลตัวอย่างชุดที่มีจำนวนข้อมูลมากกว่า และให้  $n_2$  เป็นจำนวนข้อมูลชุดที่มากกว่า

ในกรณีข้อมูลมีจำนวนเท่ากัน  $n_1$  และ  $n_2$  จะเป็นจำนวนชุดใดก็ได้แล้วแต่ผู้ใช้จะกำหนด

3. ค่าทดสอบสถิติคือค่า U คำนวณได้ดังนี้

$$U_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - R_1$$

$$U_2 = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - R_2$$

$$\text{หรือ } U_2 = n_1 n_2 - U_1$$

เปรียบเทียบค่า  $U_1$  และ  $U_2$  ค่าใดน้อยกว่าค่านั้นจะเป็นค่าทดสอบสถิติ U แล้วดำเนินการทดสอบตามขั้นตอนการทดสอบนัยสำคัญ

### การทดสอบแบบ Spearman rank correlation coefficient

Spearman rank correlation coefficient ใช้สัญลักษณ์  $r_s$  หรือ  $\rho$  เป็นวิธีที่ใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยที่ตัวแปรนั้นจะต้องอยู่ในรูปของข้อมูลในมาตราเรียงอันดับ (Ordinal scale)

Spearman นักจิตวิทยาชาวอังกฤษได้คิดวิธีการนี้ขึ้นปี ค.ศ. 1906 จึงมีผู้เรียกวิธีการนี้อีกอย่างหนึ่งว่า Spearman's (Spearman's Rho) หรือ Rho Correlation ซึ่งการหาความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้อาจเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรประเภทเดียวกันของประชากรกลุ่มเดียวกัน แต่มีการจัดอันดับสองครั้งเช่นการจัดอันดับความสามารถของนักเรียนโดยครู 2 คน หรือความสัมพันธ์ระหว่างอันดับของบุคคลเดียวกันบนสองตัวแปร เช่น ผลการสอบกลางปีกับผลการสอบปลายปี

วิธีนี้มักใช้เปรียบเทียบข้อมูล 2 ชุด ว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใดเมื่อมีขนาดข้อมูลเล็กๆ หรือไม่มากนัก คือประมาณ 20- 30

การทำ Spearman rank correlation coefficient :  $r_s$  หรือ  $\rho$  มีข้อกำหนดที่สำคัญดังนี้  
ระดับของตัวแปร

ตัวแปรทั้ง 2 ตัวอยู่ในมาตราเรียงลำดับ หรือมาตราอัตราส่วน (Ratio Scale) ก็ได้ แต่ต้องเปลี่ยนมาตราเรียงอันดับก่อน จึงจะหาโดยวิธีนี้ได้

ลักษณะของข้อมูล ข้อมูลประกอบด้วยตัวแปร 2 ชุด เช่น ตัวแปร X กับ Y และสามารถจัดอันดับข้อมูลได้ การทดสอบ ทำตามลำดับดังนี้

1. จัดอันดับคะแนนแต่ละชุด โดยเรียงจากคะแนนต่ำสุดไปหาคะแนนสูงสุดหรือคะแนนสูงสุดไปหาคะแนนต่ำสุดก็ได้ แต่ต้องเป็นแบบเดียวกันทั้ง 2 ชุด ในกรณีที่มีคะแนนซ้ำกัน ให้ถืออันดับเฉลี่ยเป็นอันดับของคะแนนแต่ละคนนั้น

ให้  $R_x$  แทน อันดับคะแนนชุด X

$R_y$  แทน อันดับคะแนนชุด Y

2. หาผลต่างระหว่างอันดับของคะแนน (d)

$$d = R_x - R_y$$

3. ยกกำลังสองของผลต่างระหว่างอันดับของคะแนน ( $d^2$ )

4. หาผลรวมทั้งหมดของกำลังสองของผลต่างระหว่างอันดับของคะแนน ( $\sum d^2$ )

5. คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $\rho$ ) โดยใช้สูตร

$$\rho = 1 - \frac{6\sum d^2}{N(N_2 - 1)}$$

เมื่อ  $\rho$  แทน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากผลต่างของอันดับของคะแนน

$\sum d^2$  แทน ผลรวมทั้งหมดของกำลังสองของผลต่างระหว่างอันดับของคะแนนแต่ละคู่

N แทน จำนวนคู่ของอันดับ

การทดสอบนัยสำคัญ การที่จะทราบค่า  $\rho$  ที่คำนวณได้นั้นมีนัยสำคัญหรือไม่ เราสามารถทดสอบได้ดังนี้

1. ถ้าขนาดของกลุ่มตัวอย่างน้อยกว่าหรือเท่ากับ 25 คือ ( $N \leq 25$ ) ใช้ทดสอบด้วย  $t$  จากสูตร

$$t = \rho \sqrt{\frac{N - 2}{1 - \rho^2}}$$

แล้วนำค่า  $t$  ที่คำนวณได้ ไปเทียบกับค่าวิกฤติของ  $t$  จากตาราง ที่ Degrees of freedom ( $df$ ) =  $n - 2$

ถ้าค่า  $t$  ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่าวิกฤติของ  $t$  จากตาราง ก็แสดงว่าตัวแปรทั้งสองชุดมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ถ้าค่า  $t$  ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติของ  $t$  จากตาราง ก็แสดงว่าตัวแปรทั้งสองชุดไม่มีความสัมพันธ์กันหรือสัมพันธ์กันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

2. ถ้าขนาดของกลุ่มตัวอย่างมากกว่า 25 (คือ  $N > 25$ ) ใช้ทดสอบ  $Z$  จากสูตร

$$Z = \rho \sqrt{N - 1}$$

ถ้าค่า  $Z$  ที่คำนวณได้ มีค่ามากกว่าค่าวิกฤติของ  $Z$  จากตาราง แสดงว่าตัวแปรทั้งสองชุดมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ถ้าค่า  $Z$  ที่คำนวณได้ มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติของ  $Z$  จากตาราง แสดงว่าตัวแปรทั้งสองชุดไม่มีความสัมพันธ์กันหรือสัมพันธ์กันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

3. ใช้ตารางสำเร็จที่บอกค่าวิกฤติของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อันดับ (ที่  $df = N - 2$ )

ถ้าค่า  $\rho$  ที่คำนวณได้มากกว่าค่าวิกฤติของ  $\rho$  จากตาราง แสดงว่าตัวแปรทั้งสองชุดมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ถ้าค่า  $\rho$  ที่คำนวณได้น้อยกว่าค่าวิกฤติของ  $\rho$  จากตาราง แสดงว่าตัวแปรทั้งสองชุดไม่มีความสัมพันธ์กันหรือสัมพันธ์กันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

การแปลผล ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้เป็นเพียงค่าที่แสดงว่าตัวแปรทั้งสองนั้นเป็นไปตามกัน คล้อยตามกันหรือกลับกันเท่านั้น ไม่ได้หมายความว่าตัวแปรหนึ่งเป็นเหตุและอีกตัวแปรหนึ่งเป็นผลแต่อย่างใด

## ภาคผนวก จ

## ผลการวิเคราะห์ระดับสารหนูรวมในเส้นผม และระดับสารหนูในปัสสาวะ

| กลุ่มตัวอย่าง  | ระดับสารหนูรวม<br>ในปัสสาวะ<br>( $\mu\text{g/gCr}$ ) | ระดับสารประกอบสารหนู<br>อนินทรีย์และเมตาบอไลต์<br>ในปัสสาวะ<br>( $\mu\text{g/gCr}$ ) | ระดับสารหนูรวม<br>ในเส้นผม<br>( $\mu\text{g/g}$ ) |
|----------------|--|--|---|
| กลุ่มเสี่ยงสูง |  |  |   |
| คนที่ 1        | 125.33   | 43.96  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 2        | 90.97  | 38.10  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 3        | 225.70   | 171.97   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 4        | 56.32  | 51.38  | 2.08  |
| คนที่ 5        | 55.32  | 37.18  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 6        | 23.19  | ตรวจไม่พบ  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 7        | 166.81   | 87.32  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 8        | 79.73  | 48.62  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 9        | 36.50  | ตรวจไม่พบ  | 3.36  |
| คนที่ 10       | 110.91   | 100.79   | 4.53  |
| คนที่ 11       | 57.18  | 39.98  | 4.11  |
| คนที่ 12       | 112.84   | 48.05  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 13       | 104.37   | 20.54  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 14       | 252.85   | 101.80   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 15       | 94.08  | 68.87  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 16       | 60.18  | 58.85  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 17       | 167.24   | 151.31   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 18       | 167.12   | 68.30  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 19       | 86.81  | 49.90  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 20       | 206.97   | 181.06   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 21       | 71.90  | 19.03  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 22       | 99.86  | 19.29  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 23       | 87.97  | 53.49  | ตรวจไม่พบ   |



| กลุ่มตัวอย่าง  | ระดับสารหนูรวม<br>ในปัสสาวะ<br>( $\mu\text{g/gCr}$ ) | ระดับสารประกอบสารหนู<br>อนินทรีย์และเมตาบอไลต์<br>ในปัสสาวะ ( $\mu\text{g/gCr}$ ) | ระดับสารหนูรวม<br>ในเส้นผม<br>( $\mu\text{g/g}$ ) |
|----------------|--|---|---|
| คนที่ 24       | 55.54  | 26.70   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 25       | 62.47  | 49.27   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 26       | 212.04   | 77.81   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 27       | 190.88   | 54.05   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 28       | 115.31   | 34.69   | 8.98  |
| คนที่ 29       | 152.78   | 149.23  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 30       | 493.51   | 79.35   | 5.18  |
| คนที่ 31       | 158.08   | 42.56   | 1.44  |
| คนที่ 32       | 92.84  | ตรวจไม่พบ   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 33       | 145.11   | 26.60   | 10.69   |
| คนที่ 34       | 208.97   | 106.42  | 1.33  |
| คนที่ 35       | 301.55   | 262.28  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 36       | 154.58   | 92.01   | 2.80  |
| คนที่ 37       | 291.38   | 88.97   | 6.44  |
| คนที่ 38       | 227.60   | 38.88   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 39       | 115.83   | 29.39   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 40       | 216.24   | 53.48   | 1.32  |
| คนที่ 41       | 162.88   | 113.61  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 42       | 242.06   | 53.78   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 43       | 68.93  | 50.92   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 44       | 434.78   | 89.15   | 1.96  |
| คนที่ 45       | 105.66   | 78.39   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 46       | 157.95   | 145.76  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 47       | 162.67   | 69.27   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 48       | 167.04   | 98.15   | ตรวจไม่พบ   |
| กลุ่มเสี่ยงต่ำ |  |   |   |
| คนที่ 1        | 107.55   | 46.58   | ตรวจไม่พบ   |

| กลุ่มตัวอย่าง | ระดับสารหนูรวม<br>ในปัสสาวะ<br>( $\mu\text{g/gCr}$ ) | ระดับสารประกอบสารหนู<br>อนินทรีย์และเมตาบอไลต์<br>ในปัสสาวะ ( $\mu\text{g/gCr}$ ) | ระดับสารหนูรวม<br>ในเส้นผม<br>( $\mu\text{g/g}$ ) |
|---------------|--|---|---|
| คนที่ 2       | 53.15  | 34.15   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 3       | 112.51   | 69.42   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 4       | 45.72  | 33.21   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 5       | 29.98  | ตรวจไม่พบ   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 6       | 160.51   | ตรวจไม่พบ   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 7       | 100.16   | 76.78   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 8       | 86.19  | 71.31   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 9       | 69.43  | 42.31   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 10      | 37.69  | 27.21   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 11      | 85.80  | ตรวจไม่พบ   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 12      | 147.63   | 49.93   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 13      | 108.92   | ตรวจไม่พบ   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 14      | 77.78  | 45.74   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 15      | 21.84  | ตรวจไม่พบ   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 16      | 148.95   | 96.03   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 17      | 55.90  | ตรวจไม่พบ   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 18      | 123.21   | 33.43   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 19      | 162.46   | 59.66   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 20      | 87.52  | 49.24   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 21      | 96.82  | 26.07   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 22      | 120.76   | 57.96   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 23      | 163.01   | 58.15   | 4.9709  |
| คนที่ 24      | 95.69  | 55.75   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 25      | 108.43   | 40.68   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 26      | 374.29   | 132.97  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 27      | 187.65   | 96.67   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 28      | 171.45   | 43.75   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 29      | 306.745  | 125.57  | ตรวจไม่พบ   |

| กลุ่มตัวอย่าง      | ระดับสารหนูรวม<br>ในปัสสาวะ<br>( $\mu\text{g/gCr}$ ) | ระดับสารประกอบสารหนู<br>อินทรีย์และเมตาบอลิท์<br>ในปัสสาวะ ( $\mu\text{g/gCr}$ ) | ระดับสารหนูรวม<br>ในเส้นผม<br>( $\mu\text{g/g}$ ) |
|--------------------|--|--|---|
| คนที่ 30           | 79.56  | 21.23  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 31           | 278.67   | 134.39   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 32           | 49.81  | ตรวจไม่พบ  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 33           | 34.27  | ตรวจไม่พบ  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 34           | 167.125  | 130.43   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 35           | 86.30  | ตรวจไม่พบ  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 36           | 52.28  | 37.57  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 37           | 90.77  | 52.11  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 38           | 51.14  | 33.39  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 39           | 42.69  | 22.11  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 40           | 68.03  | ตรวจไม่พบ  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 41           | 983.47   | 838.21   | 1.16  |
| คนที่ 42           | 128.03   | 41.85  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 43           | 77.91  | 32.85  | 1.11  |
| คนที่ 44           | 54.54  | ตรวจไม่พบ  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 45           | 67.27  | 47.23  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 46           | 31.05  | 22.23  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 47           | 123.52   | 33.58  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 48           | 84.44  | 26.64  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 49           | 271.53   | 109.20   | ตรวจไม่พบ   |
| <b>กลุ่มควบคุม</b> |  |  |   |
| คนที่ 1            | 80.98  | 42.56  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 2            | 118.52   | 89.40  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 3            | 49.20  | 26.13  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 4            | 55.06  | ตรวจไม่พบ  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 5            | 45.05  | 20.80  | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 6            | 49.96  | ตรวจไม่พบ  | ตรวจไม่พบ   |

| กลุ่มตัวอย่าง | ระดับสารหนุรวม<br>ในปัสสาวะ<br>( $\mu\text{g/gCr}$ ) | ระดับสารประกอบสารหนุ<br>อนินทรีย์และเมตาบอไลต์<br>ในปัสสาวะ ( $\mu\text{g/gCr}$ ) | ระดับสารหนุรวม<br>ในเส้นผม<br>( $\mu\text{g/g}$ ) |
|---------------|--|---|---|
| คนที่ 7       | 40.81  | 24.50   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 8       | 35.43  | 19.81   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 9       | 22.57  | 18.70   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 10      | 102.75   | 43.31   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 11      | 71.56  | 66.12   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 12      | 168.23   | 58.90   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 13      | 79.37  | 38.40   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 14      | ตรวจไม่พบ  | ตรวจไม่พบ   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 15      | 128.37   | 52.70   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 16      | 88.63  | 41.32   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 17      | 53.98  | 30.60   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 18      | 22.53  | ตรวจไม่พบ   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 19      | 102.75   | 29.40   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 20      | 67.10  | ตรวจไม่พบ   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 21      | ตรวจไม่พบ  | ตรวจไม่พบ   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 22      | 53.04  | 14.85   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 23      | 45.98  | ตรวจไม่พบ   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 24      | 85.29  | ตรวจไม่พบ   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 25      | 27.16  | ตรวจไม่พบ   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 26      | 21.74  | ตรวจไม่พบ   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 27      | 41.41  | ตรวจไม่พบ   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 28      | 48.94  | ตรวจไม่พบ   | ตรวจไม่พบ   |
| คนที่ 29      | 102.29   | 32.70   | ตรวจไม่พบ   |

## ประวัติผู้เขียน

|   |                          |                     |  |
|---|--------------------------|---------------------|--|
| ชื่อ  | นางสาว วรางคณา ชัชเวช    |                     |  |
| วัน เดือน ปี เกิด                           | 30 พฤษภาคม 2517          |                     |  |
| วุฒิการศึกษา                                |                          |                     |  |
| วุฒิ  | ชื่อสถาบัน               | ปีที่สำเร็จการศึกษา |  |
| พยาบาลศาสตร์บัณฑิต<br>(เกียรตินิยมอันดับ 2) | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ | 2538                |  |