การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของคนไทยจากการบริโภคอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลที่ปนเปื้อนสารหนูอนินทรีย์

นางสาวเฟื่องฟ้า โสภณพงศ์พิพัฒน์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสัตวแพทยสาธารณสุข ภาควิชาสัตวแพทยสาธารณสุข
คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HEALTH RISK ASSESSMENT FOR THAI PEOPLE FROM CONSUMPTION OF SEAFOOD AND SEAFOOD PRODUCTS CONTAMINATED WITH INORGANIC ARSENIC

Miss Fuengfah Soponpongpipat

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Veterinary Public Health

Department of Veterinary Public Health

Faculty of Veterinary Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของคนไทยจากการบริโภคอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลที่ปนเปื้อนสารหนูอนินทรีย์
โดย	นางสาวเพื่องฟ้า โสภณพงศ์พิพัฒน์
สาขาวิชา	สัตวแพทยสาธารณสุข
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สัตวแพทย์หญิง ดร. เบญจมาศ ปัทมาลัย
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเทพ เรืองวิเศษ

คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสัตวแพทยศาสตร์
(ศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร. มงคล เตชะกำพุ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร. อลงกร อมรศิลป์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สัตวแพทย์หญิง ดร. เบญจมาศ ปัทมาลัย)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเทพ เรืองวิเศษ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร. ศุภชัย เนื้อนวลสุวรรณ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(นายพิศาล พงศาพิชญ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เฟื่องฟ้า โสภณพงศ์พิพัฒน์ : การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของคนไทยจากการบริโภคอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลที่ปนเปื้อนสารหนูอนินทรีย์ (HEALTH RISK ASSESSMENT FOR THAI PEOPLE FROM CONSUMPTION OF SEAFOOD AND SEAFOOD PRODUCTS CONTAMINATED WITH INORGANIC ARSENIC) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.สพญ.ดร. เบญจมาศ ปัทมาลัย, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ.ดร. สุเทพ เรืองวิเศษ, 118 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาระดับการปนเปื้อนสารหนูทั้งหมดและสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลชนิดต่างๆ ร่วมกับการประเมินปริมาณการได้รับสัมผัส และความเสี่ยงของสารหนูอนินทรีย์ต่อสุขภาพคนไทย ตัวอย่างที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ อาหารทะเลสด 12 ชนิด และผลิตภัณฑ์อาหารทะเล 7 ชนิด (n=10 ในแต่ละชนิดอาหาร) การตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารหนูทั้งหมดและสารหนูอนินทรีย์ใช้วิธี Hybrid Generation–Atomic Absorption Spectrophotometer (HG-AAS) ความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดและสารหนูอนินทรีย์ (mean ± SD) ในอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลมีค่าตั้งแต่ 0.011 ถึง 9.951 µg/g และ 0.001 ถึง 0.554 µg/g (น้ำหนักเปียก) ตามลำดับ ในการศึกษานี้พบว่าหอยได้แก่หอยแครง หอยแมลงภู่ และหอยลายมีระดับการปนเปื้อนของสารหนูทั้งหมดและสารหนูอนินทรีย์สูงกว่าอาหารชนิดอื่นๆ เปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์ต่อสารหนูทั้งหมดในอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลมีค่าตั้งแต่ 0.4 ถึง 11.02% การประเมินความเสี่ยงของสารหนูอนินทรีย์จากการบริโภคอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลใช้การประเมินความเสี่ยงทั้งเชิงกำหนดและเชิงความน่าจะเป็น จากการประเมินความเสี่ยงเชิงกำหนดพบว่าปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์จากการบริโภคอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลมีค่าระหว่าง 0.017 - 0.236 µg/kg bw/day เมื่อนำค่านี้มาเปรียบเทียบกับค่าความปลอดภัยของสารหนูอนินทรีย์ในคนที่ระดับ 0.3 µg/kg bw/day พบว่าคนไทยในทุกช่วงอายุมีความปลอดภัยจากการบริโภคอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล ส่วนการประเมินความเสี่ยงเชิงความน่าจะเป็นพบว่าปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์จากการบริโภคอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลมีค่าระหว่าง 0.049 ถึง 2.290 µg/kg bw/day เมื่อนำค่านี้มาเปรียบเทียบกับค่าความปลอดภัยพบว่าคนไทยในช่วงอายุมากกว่า 3 ปีขึ้นไปมีความเสี่ยงสูงต่อการได้รับสารหนูอนินทรีย์จากการบริโภคอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล โดยหอยแครงและหอยลายเป็นอาหารกลุ่มเสี่ยงของการปนเปื้อนสารหนูอนินทรีย์ในคนไทย

ภาควิชา สัตวแพทยสาธารณสุข ลายมือชื่อนิสิต เฟื่องฟ้า โสภณพงศ์พิพัฒน์

สาขาวิชา สัตวแพทยสาธารณสุข ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2553 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

5075558731: MAJOR VETERINARY PUBLIC HEALTH

KEYWORDS : Inorganic arsenic/ Total arsenic/ Seafood and Seafood products/ Risk Assessment

FUENGFAH SOPONPONGPIPAT: HEALTH RISK ASSESSMENT FOR THAI PEOPLE FROM CONSUMPTION OF SEAFOOD AND SEAFOOD PRODUCTS CONTAMINATED WITH INORGANIC ARSENIC. ADVISOR: ASST.PROF. BENJAMAS PATAMALAI, Ph.D., CO ADVISOR: ASST.PROF. SUTHEP RUANGWISES, Ph.D., 118 pp.

The objectives of this study were to analyze total and inorganic arsenic concentrations in seafood and seafood products and to evaluate dietary exposure and risk of inorganic arsenic to Thai people health. Samples were divided in 2 groups: 12 seafood and 7 seafood products (n=10 from each type). Total and inorganic arsenic concentrations were determined by using Hybrid Generation-Atomic Absorption Spectrophotometer (HG-AAS). Concentrations (mean ± SD) of total and inorganic arsenic in seafood and seafood products (on wet weight basis) were presented between 0.011 to 9.951 µg/g and 0.001 to 0.554 µg/g respectively. In this study, the mollusk including blood cockle, green mussel and short necked clam were showed the higher mean level of total and inorganic arsenic than other food types. The percentages of inorganic arsenic with respect to total arsenic were between 0.4 and 11.02%. Both deterministic and probabilistic risk estimates were used for assessing the risk of inorganic arsenic from ingested seafood and seafood products. From deterministic risk estimates, average daily dose (ADD) were found to be 0.017 - 0.236 µg/kg bw/day. When these ADD levels were compared with the safe dose at the level of 0.3 µg/kg bw/day, Thai people were found to be safe to consume seafood and seafood product. From probabilistic risk estimates, ADD were found to be 0.049 - 2.290 µg/kg bw/day. However, when these ADD levels were compared to the same safe dose level, Thai people older than 3 years old were found to be at high risk to expose to inorganic arsenic from seafood and seafood products consumption. This study also indicated that blood cockle and short necked clams could be the highest contributors of inorganic arsenic to Thai people.

Department : Veterinary Public Health Student's Signature Fuengfah Soponpongpipat

Field of Study : Veterinary Public Health Advisor's Signature Benjamas Patamalai

Academic Year : 2010 Co-Advisor's Signature Suthep Ruangwises

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีทุกประการ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สัตวแพทย์หญิง ดร.เบญจมาศ ปัทมาลัย และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเทพ เรืองวิเศษ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือในด้านการศึกษา การทำวิจัย และตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดจนสำเร็จด้วยดี ขอขอบพระคุณคุณพิศาล พงศาพิชญ์ ผู้อำนวยการสำนักมาตรฐานสินค้าและระบบคุณภาพ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลรายละเอียดด้านการบริโภคของคนไทยซึ่งนำมาใช้ในการคำนวณการได้รับสัมผัสในงานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณนายสัตวแพทย์ ดร. ปิยวัฒน์ สายพันธุ์ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์โปรแกรม @ Risk (Version 4.5.5, Palisade corp., USA) อีกทั้งให้คำปรึกษาในการใช้โปรแกรม ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร. อลงกรณ์ อมรศิลป์ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร. ศุภชัย เนื้อนวลสุวรรณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาสัตวแพทยสาธารณสุขทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้อันมีค่าด้วยความเมตตาแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาสัตวแพทยสาธารณสุขที่อำนวยความสะดวกในเรื่องเอกสารต่าง ๆ และให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆให้ดำเนินไปได้ด้วยดี และขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ นิสิตปริญญาโท-เอก ในภาควิชาสัตวแพทยสาธารณสุข ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้เสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา น้องชาย และเพื่อนๆที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจสนับสนุนในการศึกษาในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1 สารหนู..... 5

2.2 สารหนูในอาหารทะเล 7

2.3 กระบวนการเมตาบอลิซึมของสารหนู..... 7

2.4 ความเป็นพิษของสารหนู..... 8

2.5 อาหารทะเลกับเศรษฐกิจไทย..... 10

2.6 การปนเปื้อนสารหนูในอาหารทะเลและการควบคุม..... 11

2.7 การประเมินความเสี่ยง..... 15

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 18

3.1 การเก็บตัวอย่างอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล..... 18

3.2 การตรวจวิเคราะห์ระดับสารหนู..... 19

3.3 การประเมินความเสี่ยง..... 24

บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย 27

4.1 การสำรวจระดับการปนเปื้อนสารหนูทั้งหมดและสารหนูอนินทรีย์ใน อาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล..... 27

- ความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดในอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหาร ทะเล..... 27

- ความเข้มข้นของสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหาร ทะเล..... 31

- เปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์ต่อสารหนูทั้งหมดในอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล……. 32
4.2 ข้อมูลการบริโภคอาหารในกลุ่มอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลของคนไทย.....……. 37
4.3 การประเมินความเสี่ยงสารหนูอนินทรีย์……. 41
- การประเมินความเสี่ยงเชิงกำหนด (Deterministic estimates)……... 41
- การประเมินความเสี่ยงเชิงความน่าจะเป็น (Probabilistic estimates)…… 47
- การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity analysis)…… 52
- ความไม่แน่นอนของการประเมินความเสี่ยง..... 53
บทที่ 5 อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ ……... 54
รายการอ้างอิง ……..……..…….. 61
ภาคผนวก …… 65
ภาคผนวก ก …… 66
ภาคผนวก ข …… 73
ภาคผนวก ค …… 102
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์…….. 118

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การนำสารหนูมาใช้ประโยชน์	6
2	ความเป็นพิษในระบบต่างๆของสารหนู	9
3	ปริมาณและมูลค่าการส่งออกสินค้าอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์	10
4	ระดับการปนเปื้อนสูงสุดของสารหนู (MPC)	14
5	สภาวะการทดสอบสำหรับการหาปริมาณสารหนู	23
6	ค่าความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมด และสารหนูอนินทรีย์ในรูปของน้ำหนักเปียกในอาหารทะเลสด	29
7	ค่าความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมด และสารหนูอนินทรีย์ในรูปของน้ำหนักเปียกในผลิตภัณฑ์อาหารทะเล	30
8	เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย (Mean ± SD) ของสารหนูอนินทรีย์ต่อสารหนูทั้งหมด ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด ในอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล	33
9	ปริมาณการบริโภคอาหารในกลุ่มอายุแรกเกิดถึง 3 ปี	38
10	ปริมาณการบริโภคอาหารในกลุ่มอายุ 3 – 9 ปี	38
11	ปริมาณการบริโภคอาหารในกลุ่มอายุ 9 – 19 ปี	39
12	ปริมาณการบริโภคอาหารในกลุ่มอายุ 19 ปีขึ้นไป	40
13	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารหนูอนินทรีย์ (น้ำหนักเปียก)	42
14	ปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์รวมในแต่ละวัน (ADD) จากการบริโภคอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลในแต่ละช่วงอายุ	43
15	ปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์โดยเฉลี่ยในแต่ละวัน (Mean ADD) ของอาหารแต่ละชนิด	44
16	ปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ในแต่ละวัน (95^{th} ADD) ของอาหารแต่ละชนิด	45

ตารางที่ หน้า

17 ค่า Hazard quotient (HQ) ของอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลในแต่ละช่วงอายุ..... 47
18 ปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์รวมในแต่ละวัน (ADD) จากการบริโภคอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลในแต่ละช่วงอายุ..... 48
19 ค่า Hazard quotient (HQ) ของอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลในแต่ละช่วงอายุ..... 49
20 ค่า Hazard quotient (HQ) ในกลุ่มอายุแรกเกิดถึง 3 ปีในแต่ละชนิดอาหาร..... 50
21 ค่า Hazard quotient (HQ) ที่ 50^{th} percentile และ 95^{th} percentile ของผู้ที่อายุ 3 ปีขึ้นไป..... 51
22 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อค่า Hazard quotient ในแต่ละชนิดอาหารและช่วงอายุ.... 52

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเตรียมตัวอย่างสำหรับตรวจวิเคราะห์ระดับสารหนู.....	22
2	กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นโดยเฉลี่ยของสารหนูทั้งหมด ในอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลในหน่วย µg/g……....	34
3	กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นโดยเฉลี่ยของสารหนูอนินทรีย์ ในอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลในหน่วย µg/g……	35
4	กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์ต่อสารหนูทั้งหมดโดยเฉลี่ยในอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล.....	36

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สารหนู (Arsenic) มีต้นกำเนิดมาจากธรรมชาติพบกระจายทั่วไปในสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้คนยังนำสารหนูมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายในด้านการเกษตร และอุตสาหกรรม เช่น การทำเหมืองแร่ ถ่านหิน และโรงงานต่างๆ จึงทำให้มีการแพร่กระจายของสารหนูมากยิ่งขึ้น ปัญหาการปนเปื้อนสารหนูในอาหารและสิ่งแวดล้อมมีเกิดขึ้นในหลายประเทศทั่วโลกรวมทั้งในประเทศไทย (Mandal and Suzuki, 2002) มนุษย์มีโอกาสได้รับสารหนูจากทั้งทางอากาศ น้ำดื่ม และอาหาร ซึ่งอาหารและน้ำเป็นแหล่งสำคัญของการได้รับสารหนูในมนุษย์ (Lorenzana et al., 2009) อาหารทะเลเป็นแหล่งสำคัญที่ทำให้มนุษย์ได้รับสารหนู เนื่องจากมักจะพบการปนเปื้อนสารหนูในระดับที่สูงกว่าอาหารชนิดอื่นๆ (Schoof et al., 1999; Munoz et al., 2000; Fowler et al., 2007) การศึกษาของ Borak และ Hosgood (2007) และ Sirot และคณะ (2009) พบว่ามากกว่า 90% ของสารหนูที่ชาวอเมริกันได้รับ และมากกว่า 62% ของสารหนูที่ชาวฝรั่งเศสได้รับในแต่ละวันเป็นผลมาจากการบริโภคอาหารทะเล

สารหนูที่พบในอาหารทะเลมี 2 รูปคือ สารหนูอินทรีย์ (organic arsenic) และสารหนูอนินทรีย์ (inorganic arsenic) ส่วนใหญ่แล้วมักพบสารหนูอยู่ในรูปของสารหนูอินทรีย์ ซึ่งได้แก่ arsenobetaine (AB),arsenocholine (AC), arsenosugars, dimethylarsinic acid (DMA), monomethylarsonic acid (MMA), trimethylarsine oxide (TMAO) และ tetramethylarsonium ion (TMA+) ส่วนสารหนูอนินทรีย์ได้แก่ arsenate (As [V]) และ arsenite (As[III]) พบในปริมาณน้อยคือประมาณ 0.4-5.3% ของปริมาณสารหนูทั้งหมด (Schoof et al., 1999) อย่างไรก็ตามสารหนูอนินทรีย์มีความเป็นพิษสูงกว่าสารหนูอินทรีย์ โดยก่อให้เกิดความเป็นพิษทั้งแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรังต่อผิวหนัง ระบบประสาท ระบบทางเดินหายใจ ทางเดินอาหาร และระบบเลือด สารหนูอนินทรีย์ถูกจัดให้เป็นสารก่อมะเร็งในคนกลุ่มที่ 1 (Group I: human carcinogens) โดย International agency for research on cancer (IARC) (IARC, 1987) นอกจากนี้หน่วยงาน Agency for toxic substances and disease registry (ATSDR) ของสหรัฐอเมริกา ได้จัดสารหนูให้เป็นสารที่เป็นอันตรายลำดับที่หนึ่ง ตั้งแต่ปี 1997 จนถึงปัจจุบัน (ATSDR, 2007)

สารหนูมีความเป็นพิษสูงและปนเปื้อนอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมและอาหารจึงทำให้ต้องมีการกำหนดค่าความปลอดภัยของสารหนู ค่าความปลอดภัย (safe dose) คือปริมาณของสารที่คนสามารถได้รับตลอดชีวิตโดยไม่ทำให้เกิดอันตรายใดๆต่อสุขภาพ โดยใน ค.ศ.1989 องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้ประเมินค่าความปลอดภัยของสารหนูอนินทรีย์และกำหนดค่าความปลอดภัยในรูปของ Provisional tolerable weekly intakes (PTWI) ซึ่งหมายถึงปริมาณของสารที่คนสามารถรับได้อย่างปลอดภัยต่อสัปดาห์เป็นเวลานานตลอดชีวิตโดยไม่ทำให้เกิดความผิดปกติต่อสุขภาพสำหรับสารหนูอนินทรีย์ไว้ที่ 15 μg/kg bw/week โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของการพิจารณาว่าพิษที่สำคัญของสารหนูคือ พิษต่อผิวหนังในคน (WHO, 1989) ส่วน United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA) ประเมินอันตรายของสารหนูอนินทรีย์ต่อสุขภาพคนโดยใช้ข้อมูลจากการศึกษาความเป็นพิษในคนไต้หวันต่อการเกิดรอยโรคที่ผิวหนังเป็นพื้นฐานในการคำนวณค่า Reference dose (RfD) ซึ่งเทียบเท่ากับค่าความปลอดภัยของ WHO ไว้เท่ากับ 0.3 μg/kg bw/day (U.S. EPA, 1998) และในปีค.ศ. 2009 สหภาพยุโรปได้ทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชากรยุโรปจากการได้รับสารหนูอนินทรีย์ และให้ความเห็นว่าเนื่องจากปัจจุบันมีข้อมูลด้านฤทธิ์ก่อมะเร็งของสารหนูอนินทรีย์ในคนชัดเจนมากขึ้น การประเมินจึงควรตั้งอยู่บนพื้นฐานของการพิจารณาว่าพิษสำคัญของสารหนูอนินทรีย์คือ พิษก่อมะเร็งที่อวัยวะต่างๆแทนที่จะเป็นพิษต่อผิวหนัง ฉะนั้นการใช้ค่าความปลอดภัยหรือค่า PTWI ที่ WHO กำหนดไว้แต่เดิมนั้นไม่เหมาะสม สหภาพยุโรปจึงประเมินค่าความปลอดภัยโดยใช้ค่า Benchmark dose lower limit 1% ($BMDL_{01}$) ซึ่งหมายถึงปริมาณต่ำสุดของสารที่ทำให้เกิดมะเร็ง 1% ในคนทั้งหมด ในการนี้ได้ค่า $BMDL_{01}$ อยู่ในช่วง 0.3-8 μg/kg bw/day (EFSA, 2009) ล่าสุดในปีค.ศ. 2011 WHO ได้ทำการประเมินความเสี่ยงสารหนูอนินทรีย์ใหม่หลังจากที่มีข้อมูลเพิ่มเติมด้านกลไกการเกิดพิษ ข้อมูลระดับการปนเปื้อน และข้อมูลการเกิดมะเร็งในประเทศไต้หวันและจีน โดยการประเมินครั้งใหม่นี้ WHO พิจารณาว่าพิษสำคัญของสารหนูอนินทรีย์คือ พิษก่อมะเร็ง และกำหนดค่าความปลอดภัยในรูปของ Benchmark dose lower limit 0.5% ($BMDL_{0.5}$) ซึ่งหมายถึงปริมาณต่ำสุดของสารที่ทำให้เกิดการมะเร็งใน 0.5% ของคนทั้งหมด ในการนี้ได้ค่า $BMDL_{0.5}$ อยู่ในช่วง 2 – 7 μg/kg bw/day และให้ยกเลิกค่า PTWI เดิม เนื่องจากเป็นค่าที่อยู่ในช่วงของ $BMDL_{0.5}$ (WHO, 2011)

ในการคุ้มครองผู้บริโภค ประเทศต่างๆจะนำค่าความปลอดภัยดังกล่าวข้างต้นมาใช้คำนวณหาค่าระดับการปนเปื้อนสูงสุดของสารหนูที่ยอมให้มีได้ในอาหาร (Maximum permissible concentrations: MPC) Munoz และคณะ (2000) ได้ให้ข้อคิดเห็นว่าการกำหนดค่า MPC ของสารหนูในอาหารควรกำหนดเป็นค่าสำหรับสารหนูอนินทรีย์จะเหมาะสมกว่าการกำหนดเป็นค่า

MPC สำหรับสารหนูทั้งหมด เพราะความเป็นพิษของสารหนูส่วนใหญ่เกิดจากสารหนูอนินทรีย์ และจำเป็นต้องทราบถึงสัดส่วนของปริมาณสารหนูอนินทรีย์ต่อปริมาณสารหนูทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหารแต่ละประเภท แต่เนื่องจากการตรวจวิเคราะห์เฉพาะปริมาณสารหนูอนินทรีย์ทำได้ยากกว่าการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารหนูทั้งหมด ข้อมูลของการสำรวจการปนเปื้อนของสารหนูในอาหารส่วนใหญ่จึงเป็นข้อมูลการปนเปื้อนของสารหนูทั้งหมด ซึ่งส่งผลให้ในหลายๆประเทศกำหนดค่า MPC ไว้สำหรับสารหนูทั้งหมดเพียงอย่างเดียว

สำหรับประเทศไทย สำนักคณะกรรมการอาหารและยาได้กำหนดค่า MPC ทั้งสำหรับสารหนูทั้งหมดและสารหนูอนินทรีย์ไว้ดังนี้คือ ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 98) พ.ศ. 2529 กำหนดให้มีปริมาณสารหนูทั้งหมดปนเปื้อนได้ไม่เกิน 2 ppm สำหรับอาหารทุกชนิด (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 1986) และต่อมาในพ.ศ. 2546 ได้ออกประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 273) เพิ่มเติมในเรื่องการกำหนดค่าการปนเปื้อนของสารหนูอนินทรีย์ให้ปนเปื้อนได้ไม่เกิน 2 ppm สำหรับสัตว์น้ำและอาหารทะเล (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2003) ซึ่งการกำหนดค่าดังกล่าวอิงตามการกำหนดค่า MPC ของประเทศนิวซีแลนด์และไม่มีข้อมูลยืนยันว่าค่า MPC ที่กำหนดไว้นี้มีพื้นฐานมาจากการประเมินความเสี่ยงโดยใช้ข้อมูลการปนเปื้อนสารหนูและข้อมูลการบริโภคในประเทศไทย ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการกำหนดค่าดังกล่าวควรจะมีพื้นฐานมาจากการประเมินความเสี่ยงของประเทศนั้นๆ เนื่องจากในแต่ละประเทศมีชนิดของสัตว์น้ำที่นิยมบริโภคที่และปริมาณการบริโภคที่แตกต่างกัน ทำให้มีความเสี่ยงจากการบริโภคแตกต่างกัน

รายงานการปนเปื้อนของสารหนูในอาหารทะเลในประเทศไทยในปัจจุบันพบว่ามีเพียง 4 ฉบับและส่วนใหญ่รายงานเป็นค่าของปริมาณสารหนูทั้งหมด (ดานิศ, 1980; สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 1988) การปนเปื้อนของสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลมีในรายงานของ Rattanachongkiat และคณะ (2004) แต่จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยมีน้อยมาก ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับการนำมาใช้เป็นข้อมูลในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของคนไทย และ Ruangwises and Ruangwises (2011) รายงานการปนเปื้อนของสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลสด แต่ข้อมูลยังไม่ครอบคลุมในส่วนของผลิตภัณฑ์อาหารทะเล ด้วยเหตุนี้ในปัจจุบันจึงยังไม่มีหน่วยงานใดทำการประเมินปริมาณการได้รับสัมผัสสารหนูจากอาหารทะเลและประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพคนไทยจากการได้รับสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล ดังนั้นเพื่อที่จะศึกษาในหัวข้อดังกล่าวได้อย่างละเอียด จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมในด้านการวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูทั้งหมดและสารหนูอนินทรีย์ในอาหาร

ทะเลจำพวกปลา กุ้ง ปู ปลาหมึก และหอย และในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลจำพวกปลากระป๋องและอาหารทะเลอบหรือตากแห้ง ซึ่งเป็นอาหารที่คนไทยนิยมบริโภคและเป็นแหล่งการปนเปื้อนของสารหนูที่สำคัญ เพื่อรวบรวมข้อมูลการปนเปื้อนของสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล ร่วมกับอาศัยข้อมูลด้านการบริโภคอาหารของคนไทยที่จัดทำโดยสำนักงานมาตรฐานอาหารและสินค้าเกษตรแห่งชาติ (มกอช.) มาทำการประเมินการได้รับสัมผัสและประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพคนไทย ซึ่งปัจจุบันมีความต้องการข้อมูลด้านการประเมินความเสี่ยงของสารหนูในอาหารทะเล เพื่อนำไปใช้ประกอบการพิจารณาค่าระดับการปนเปื้อนสูงสุดที่ยอมรับได้ของสารหนูอนินทรีย์ในอาหารที่ใช้ในปัจจุบันว่าเหมาะสมหรือไม่ และข้อมูลการประเมินความเสี่ยงจำเป็นสำหรับการส่งออกสินค้าอาหารทะเลไปยังต่างประเทศเช่น สหภาพยุโรป ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา เนื่องจากประเทศคู่ค้าเหล่านี้มีความเข้มงวดอย่างมากในด้านสารโลหะหนักปนเปื้อนในอาหาร นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังช่วยชี้แนะให้เห็นถึงประเภทของอาหารที่เป็นกลุ่มเสี่ยงเพื่อเป็นประโยชน์ในการจัดการความเสี่ยงและการแก้ไขปัญหาได้อย่างถูกต้องเหมาะสมต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้มี 3 ข้อคือ 1) เพื่อหาระดับการปนเปื้อนสารหนูทั้งหมดและสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลชนิดต่างๆ 2) เพื่อหาปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์จากการบริโภคอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล และ 3) เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพคนไทยจากการได้รับสารหนูอนินทรีย์จากอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการประเมินความเสี่ยงของคนไทยจากการได้รับสารหนูอนินทรีย์จากการบริโภคอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลเท่านั้น และในการคำนวณเพื่อประเมินความเสี่ยงใช้ข้อมูลการปนเปื้อนเฉพาะที่ได้จากการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างในงานวิจัยนี้เท่านั้น ส่วนข้อมูลการบริโภคอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล เป็นข้อมูลการสำรวจปริมาณการบริโภคอาหารของคนไทยโดยสำนักงานมาตรฐานอาหารและสินค้าเกษตรแห่งชาติ (มกอช.) ในช่วงปี พ.ศ. 2545-2547

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สารหนู

สารหนูเป็นสารกึ่งโลหะ (metalloid) มีสัญลักษณ์คือ As พบในรูปธาตุหรือโลหะ และสารประกอบ แต่ในธรรมชาติส่วนมากมักพบเป็นสารประกอบ arsenides ของ ทองแดง นิเกิล เหล็ก หรือ arsenic sulfide หรือ arsenic oxide สำหรับในน้ำมักพบในรูป arsenate หรือ arsenite (กรมควบคุมมลพิษ, 1998) ปริมาณสารหนูพบมากเป็นอันดับที่ 20 ที่พื้นผิวโลกหรือเปลือกโลก พบเป็นอันดับที่ 14 ในน้ำทะเล และพบเป็นอันดับที่ 12 ในร่างกายมนุษย์ (Mandal and Suzuki, 2002) และถูกจัดลำดับให้เป็นสารที่เป็นอันตรายลำดับที่หนึ่งตั้งแต่ปี 1997 เป็นต้นมาโดย Agency for toxic substances and disease registry (ATSDR) (ATSDR, 2007)

สารหนูมี 4 oxidation state คือ +5 (arsenate), +3 (arsenite), 0 (arsenic) และ -3 (arsine) (Sharma and Sohn, 2009) สามารถแบ่งสารหนูได้เป็น 3 กลุ่มคือสารหนูอนินทรีย์ สารหนูอินทรีย์ และ arsine gas

มนุษย์มีโอกาสได้รับสารหนูจากอากาศ น้ำ และอาหาร โดยอาหารและน้ำเป็นแหล่งสำคัญของการได้รับสารหนูในมนุษย์ (Lorenzana et al., 2009) อาหารกลุ่มที่มีความสำคัญและเป็นแหล่งหลักที่ทำให้มนุษย์ได้รับสารหนูคือ อาหารทะเล (Schoof et al., 1999; Munoz et al., 2000; Fowler et al., 2007) และจากการสำรวจข้อมูลการได้รับสัมผัสสารหนูของชาวอเมริกัน Borak และ Hosgood (2007) พบว่ากว่า 90% ของสารหนูที่ได้รับในแต่ละวันมาจากการบริโภคอาหารทะเล ในทำนองเดียวกัน Sirot และคณะ (2009) พบว่าประมาณ 62% ของสารหนูที่ชาวฝรั่งเศสได้รับเป็นผลมาจากการบริโภคอาหารทะเล

การปนเปื้อนของสารหนูในสิ่งแวดล้อมและในน้ำทะเลมีสาเหตุมาจากการปนเปื้อนตามธรรมชาติที่เกิดจากการสึกกร่อนของพื้นผิวโลกหรือจากก๊าซของภูเขาไฟ โดยคาดว่ามีสารหนูจากแหล่งธรรมชาติประมาณปีละ 72,000 ตัน (กรมควบคุมมลพิษ, 1998) และยังเกิดจากการนำสารประกอบสารหนูสามารถมาใช้ประโยชน์หลายอย่างทางด้านการเกษตร อุตสาหกรรม และทางการแพทย์ และทางสัตวแพทย์ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การนำสารหนูมาใช้ประโยชน์

แหล่งที่ใช้	ประโยชน์
ด้านการเกษตร	- สารเคมีป้องกันและกำจัดแมลง (Insecticides) เช่น lead arsenate, sodium arsenite และ calcium arsenate - สารกำจัดวัชพืช (Herbicides) เช่น monosodium methanearsonate (MSMA), disodium methanearsonate (DSMA) และ cacodylic acid - น้ำยารักษาสภาพเนื้อไม้ (Wood preservatives) เช่น chromate copper arsenate และ pentavalent arsenic compound
ด้านอุตสาหกรรม	- ใช้ผสมกับโลหะอื่น เช่น ตะกั่ว ทองแดง เป็นโลหะอัลลอยด์หรือโลหะผสม - ใช้เป็นวัตถุกึ่งตัวนำ (semi-conductor) ในเครื่องมืออิเลคทรอนิกส์ - ใช้เป็นสารให้สีแดงหรือไม่มีสีในการผลิตแก้ว และทำให้แก้วหลอมละลาย - ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง สำหรับรักษาสภาพหนังสัตว์
ด้านการแพทย์	- ใช้เป็นส่วนประกอบของยารักษาโรคที่เกิดจากโปรโตซัว ได้แก่ trypanosomosis, amebiasis และโรคที่เกิดจากพยาธิ ได้แก่ schistosomiasis, filariasis ยาที่ใช้กันมากเช่น glycobiarsol, carbasone, tryparsamide เป็นต้น
ด้านการสัตวแพทย์	- ใช้เป็น Feed additives เช่น N-carbamyl-arsanilic acid เป็นยากำจัดพยาธิบางชนิดในสัตว์ปีก และ 3-nitro-4-hydroxyphenyl arsonic acid (Roxasone) เป็นสารเร่งการเจริญเติบโตในสัตว์ปีกและสุกร

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 1998; สมใจ และปารมี, 2007

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารหนูในอาหารทะเล

สารหนูที่พบในอาหารทะเลประกอบไปด้วย

1) สารหนูอนินทรีย์พบอยู่ในรูป arsenate (As [V]) และ arsenite (As[III]) โดยในน้ำทะเลจะพบในรูปของ arsenate มากกว่า arsenite ปริมาณสารหนูอนินทรีย์ที่พบในอาหารทะเลมีเพียง 0.4-5.3% ของสารหนูทั้งหมด (Schoof et al., 1999)

2) สารหนูอินทรีย์พบอยู่ในรูป arsenobetaine (AB), arsenocholine (AC), arsenosugars, dimethylarsinic acid (DMA), monomethylarsonic acid (MMA), trimethylarsine oxide (TMAO) และ tetramethylarsonium ion (TMA+) ในอาหารทะเลจะพบปริมาณของสารหนูอินทรีย์มากกว่าสารหนูอนินทรีย์ โดยมากกว่า 75% ของปริมาณสารหนูทั้งหมดพบอยู่ในรูปของ arsenobetaine (Munoz et al., 2000; Borak and Hasgood, 2007; Lorenzana et al., 2009)

กระบวนการเมตาบอลิซึมของสารหนู

เมื่อมนุษย์ได้รับสารหนูเข้าสู่ร่างกายมากกว่า 90% จะถูกดูดซึมที่ระบบทางเดินอาหาร โดยปริมาณการดูดซึมจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลาย จากนั้นสารหนูจะแพร่กระจายไปสู่เม็ดเลือดแดงและเนื้อเยื่อต่างๆในร่างกาย เช่น ตับ ไต ผิวหนัง ปอด และม้าม เป็นต้น Biotransformation ของสารหนูส่วนมากเกิดขึ้นที่ตับโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมี 2 กระบวนการคือ 1) Reduction-Oxidation reaction และ 2) Methylation reaction ผลของทั้ง 2 ปฏิกิริยาทำให้ arsenate ถูกรีดิวซ์ไปเป็น arsenite และผ่านการ methylation ไปเป็น monomethylarsonic acid, dimethylarsinic acid และ trimethylarsine oxide ส่วน arsenobetaine ที่พบมากในอาหารทะเลสดเช่น ปลา และหอยสองฝา เกิดจากสารตั้งต้น คือ trimethylated arsenosugars ซึ่งจุลินทรีย์ในอาหารทะเลสดจะเปลี่ยนอยู่ในรูป arsenocholine และ arsenobetaine ตามลำดับ การขับสารหนูออกจากร่างกาย ส่วนมากขับออกทางปัสสาวะ และอัตราการขับออกจะขึ้นอยู่กับรูปของสารหนู และชนิดของสารหนูที่ได้รับ จากข้อมูลการศึกษาในคนเมื่อได้รับ monomethylarsonic acid และ dimethylarsinic acid พบว่า 75-85% ของสารจะถูกขับออกทางปัสสาวะภายใน 1 วัน และเมื่อได้รับสารหนูอินทรีย์ชนิดอื่นที่พบในอาหารทะเล พบว่า 50-80% จะถูกขับออกภายใน 2 วัน (Fowler et al., 2007)

ความเป็นพิษของสารหนู

การก่อให้เกิดพิษของสารหนูขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่น โครงสร้างทางกายภาพและทางเคมีของสารประกอบ ทางเข้าสู่ร่างกาย ปริมาณและระยะเวลาที่ได้รับ อายุและเพศของผู้ที่ได้รับ รูปแบบของสารหนู ธาตุและสารประกอบอื่นๆที่ได้รับพร้อมกัน (สมใจ และปารมี, 2007; WHO, 2011) สารหนูอนินทรีย์มีความเป็นพิษมากกว่าสารหนูอินทรีย์ และสารหนูที่มีวาเลนซี่ 3 มีความเป็นพิษมากกว่าสารหนูที่มีวาเลนซี่ 5 ความเป็นพิษของสารหนูเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้คือ Arsenite > Arsenate > MMA > DMA > AB, AC, TMAO (Mandal and Suzuki, 2002)

ความเป็นพิษของสารหนูมีทั้งแบบเฉียบพลัน แบบกึ่งเฉียบพลัน และแบบเรื้อรัง ขึ้นอยู่กับปริมาณและระยะเวลาที่ได้รับ สรุปได้ดังตารางที่ 2 ระบบทางเดินอาหารเป็นระบบแรกที่จะพบความผิดปกติเมื่อได้รับสารหนูในปริมาณมากแบบเฉียบพลัน อาการที่พบคือ อาเจียน ปวดท้องอย่างรุนแรง ท้องเสีย แสบร้อนในลำคอ กลืนลำบาก ลมหายใจและอุจจาระมีกลิ่นคล้ายกระเทียม ไข้สูง กระหายน้ำ อ่อนเพลีย ความดันต่ำ ชัก และหมดสติ เนื่องจากสูญเสียน้ำและเกลือแร่ ค่า oral LD_{50} ของสารหนูอนินทรีย์ในหนู rat อยู่ในช่วง 15-293 mg/kg และสัตว์ทดลองอื่นๆอยู่ในช่วง 11-150 mg/kg (Sharma and Sohn, 2009) นอกจากนี้ยังมีหลักฐานชัดเจนแสดงว่าการได้รับสารหนูยังก่อให้เกิดมะเร็งในคนที่อวัยวะต่างๆได้แก่ มะเร็งที่ผิวหนัง ปอด ตับ ไต กระเพาะปัสสาวะ IARC จึงจัดให้สารหนูเป็นสารก่อมะเร็งในคนกลุ่มที่ 1 (IARC, 1987) สารหนูยังก่อให้เกิดความผิดปกติในทารก (teratogenic) โดยพบว่ามารดาที่ทำงานในโรงงานถลุงแร่และมีโอกาสได้รับสารหนูคลอดทารกที่มีความพิการมากขึ้น 5 เท่าเมื่อเทียบกับมารดาคนอื่นๆ และจากการศึกษาในหนูแฮมสเตอร์ ที่ได้รับ sodium arsenate ในขนาดสูง (6-10 mg/kg bw) ในวันที่ 8 ของการตั้งท้องทำให้เกิดความผิดปกติของลูกได้แก่ ภาวะกะโหลกศีรษะไม่ปิดหรือไม่มีเนื้อสมอง (anencephaly) ไม่มีไตทั้งสองข้าง (renal agenesis) และความผิดปกติของกระดูกซี่โครง ส่วนการศึกษาถึงฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ (mutagenic) ของสารหนูยังมีไม่มากนัก แต่มีข้อสันนิษฐานว่ามีความเกี่ยวข้องกันระหว่างการได้รับสารหนูอนินทรีย์ที่มีวาเลนซี่ 3 กับความผิดปกติของโครโมโซม (Fowler et al., 2007)

กลไกการเกิดพิษของสารหนูเกิดจากสารหนูที่มีวาเลนซี่ 3 ที่สามารถเข้าสู่เซลล์ร่างกายได้ง่ายกว่าสารหนูที่มีวาเลนซี่ 5 และทำปฏิกิริยากับ sulfhydryl group (-SH group) ที่มีอยู่ในโมเลกุลของโปรตีน เอนไซม์ glutathione (GSH), lipoic acid และ cysteine ในเซลล์ (Sharma and Sohn, 2009) ผลคือทำให้สารเหล่านี้สูญเสียการทำงานหรือการนำไปใช้ประโยชน์ของร่างกาย ทำให้กระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ผิดปกติ เกิด oxidative stress จาก free

radicals พวก superoxide anion hydrogen peroxide singlet oxygen และ hydroxyl radicals ส่งผลให้เกิด apoptosis ของเซลล์ กลไกการเกิดมะเร็งของสารหนูยังไม่แน่ชัด แต่คาดว่าเป็นกลไกที่ไม่มีผลโดยตรงต่อ DNA และกลไกการเกิดมะเร็งยังมีหลายอย่างเช่น chromosomal abnormalities oxidative damage รบกวนกระบวนการ DNA damage repair และมีผลเพิ่ม growth factor ที่เกี่ยวข้องกับ cellular proliferation เป็นผลให้เซลล์เจริญอย่างผิดปกติและก่อให้เกิดมะเร็งตามมา (EFSA, 2009; Fowler et al., 2007; Tapio and Grosche, 2006)

ตารางที่ 2 ความเป็นพิษในระบบต่างๆของสารหนู

ความเป็นพิษในระบบต่าง ๆ	**อาการ**
แบบเฉียบพลันและกึ่งเฉียบพลัน	
ทางเดินอาหาร	-คลื่นไส้ อาเจียน กระหายน้ำ เบื่ออาหาร heartburn ปวดท้อง ท้องเสีย
ผิวหนัง	-ผิวหนังอักเสบ ตุ่มแดง ผื่นสีเข้ม
ประสาท	-ไข้สูง สั่นกระตุก ชัก หมดสติ เส้นประสาทอักเสบ
ไต	-เนื้อตายที่บริเวณเนื้อไตส่วนนอก พบเม็ดเลือดขาว น้ำตาล และเลือดในปัสสาวะ ปัสสาวะไม่ออก ภาวะ uremia
ตับ	-เนื้อตาย เลือดคั่ง มีไขมันแทรกในเนื้อตับ
เลือด	-โลหิตจาง เกล็ดเลือดต่ำ เม็ดเลือดขาวต่ำ ไขกระดูกถูกกดการทำงาน
หัวใจและหลอดเลือด	-ความดันต่ำ หัวใจเต้นผิดปกติ หัวใจวาย
หายใจ	-ระคายเคืองเยื่อบุทางเดินหายใจ ปอดบวม หลอดลมอักเสบ
ตา	-ตาแดง เยื่อบุตาอักเสบ
แบบเรื้อรัง	
ทางเดินอาหาร	-เบื่ออาหาร น้ำหนักลด หลอดอาหารอักเสบ กระเพาะอาหารและลำไส้อักเสบ
ผิวหนัง	-หน้าบวม ผิวคล้ำ ตกสะเก็ด ผิวหนังแข็งด้านที่ฝ่ามือและฝ่าเท้า
ประสาท	-สูญเสียการได้ยิน สมองเสื่อม ปลายประสาทอักเสบ ชาที่มือ และปลายเท้า
ตับ	-ตับแข็ง ตับมีขนาดโต
เลือด	-Bone marrow hypoplasia โลหิตจาง เกล็ดเลือดต่ำ เม็ดเลือดขาวต่ำ
หายใจ	-เยื่อบุทางเดินหายใจอักเสบ หลอดลมอักเสบ
เมตาบอลิก	-เบาหวาน
ภูมิคุ้มกัน	-รบกวนกระบวนการสร้างเม็ดเลือดขาว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบเรื้อรังต่อระบบหัวใจและหลอดเลือด	
หัวใจ	-หัวใจเต้นผิดจังหวะ เยื่อหุ้มหัวใจอักเสบ
Peripheral artery	-เขียวที่ปลายมือปลายเท้า ปวดเมื่อยขา Blackfoot disease Rayuand's syndrome
Coronary artery	-หัวใจขาดเลือด
Cerebral artery	-หลอดเลือดแดงที่สมองขาดเลือด
Atherosclerosis	-การหนาตัวของผนังหลอดเลือดจากไขมันที่ carotid artery
ความดัน	-ความดันสูง

ที่มา: Fowler et al., 2007

อาหารทะเลกับเศรษฐกิจไทย

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตอาหารที่สำคัญ เนื่องจากอุดมไปด้วยผลิตผลจากการเกษตรและการประมงมากมาย รัฐบาลได้เล็งเห็นถึงศักยภาพด้านนี้ของประเทศจึงได้ประกาศนโยบายที่จะผลักดันให้ประเทศไทยเป็นครัวของโลก จากการสำรวจข้อมูลสินค้าที่ส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศพบว่า สินค้าอาหารทะเลเป็นที่ยอมรับและได้รับความนิยมมากในตลาดโลก ประเทศไทยจึงมีการส่งออกสินค้าอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์แปรรูปจากสัตว์น้ำเป็นอันดับต้นๆ ของโลก ถือเป็นอุตสาหกรรมหลักและทำรายได้ให้กับประเทศเป็นจำนวนมาก โดยมีมูลค่าการส่งออกดังแสดงในตารางที่ 3 ตลาดหลักของสินค้าอาหารทะเลคือสหรัฐอเมริกา สหภาพยุโรป และญี่ปุ่น (สถาบันอาหาร, 2009) นอกจากนี้ภายในประเทศเราเองอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์ยังเป็นอาหารที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย โดยมีการบริโภคทั้งแบบสดและทำเป็นอาหารแห้ง เนื่องจากมีผลิตภัณฑ์ให้เลือกรับประทานหลากหลาย รสชาติดี มีคุณค่าทางอาหารสูง ดังนั้นการที่จะพัฒนาให้สินค้าดังกล่าวมีมูลค่าการจำหน่ายสูงขึ้นและเพิ่มปริมาณการบริโภคในประเทศจะต้องทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพและมีความปลอดภัยเพื่อตอบสนองความต้องการและความเชื่อมั่นของผู้บริโภค

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกสินค้าอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์

	ปริมาณ (ตัน)	**มูลค่า (ล้านบาท)**
ปี 2550	1,674,358.50	192,060.75
ปี 2551	1,672,736.52	214,177.08

ที่มา: สถาบันอาหาร (2009)

การปนเปื้อนสารหนูในอาหารทะเลและการควบคุม

รายงานการปนเปื้อนสารหนูพบในหลายประเทศทั่วโลก ได้แก่ ประเทศอินเดีย ไต้หวัน ญี่ปุ่น ฟิลิปปินส์ จีน บังคลาเทศ สหรัฐอเมริกา อาร์เจนตินา เม็กซิโก อังกฤษ สวีเดน ฝรั่งเศส เวียดนาม รวมทั้งในประเทศไทย (Mandal and Suzuki, 2002) แต่รายงานการศึกษาปนเปื้อนของสารหนูในอาหารทะเลในประเทศไทยยังมีไม่มากนักและส่วนใหญ่รายงานเป็นปริมาณสารหนูทั้งหมด ส่วนข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลมีน้อยมากจนไม่เพียงพอสำหรับนำมาใช้ในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของคนไทย ทั้งนี้มีรายละเอียดดังนี้ การศึกษาการปนเปื้อนของสารหนูในอาหารทะเลของ ดานิศ (1980) ทำการสำรวจในหอยลาย หอยแครง หอยแมลงภู่ ปลาทู และกุ้ง พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณสารหนูทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 0.139 ± 0.243, 0.140 ± 0.199, 0.122 ± 0.187, 0.30 ± 0 และ 0.048 ± 0.044 ppm ตามลำดับ สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (1988) ได้ทำการศึกษาหาปริมาณสารหนูทั้งหมดในอาหารทะเลหลายชนิด พบการปนเปื้อนสารหนูคิดเป็นร้อยละ 81 ของจำนวนตัวอย่างอาหารทะเลทั้งหมด ปริมาณที่พบมีค่าเฉลี่ยดังนี้ ในปลาทะเล 0.16 ppm ปลาหมึก 0.2 ppm ปู 0.1 ppm กุ้ง 0.19 ppm หอย 0.23 ppm และกั้ง 0.35 ppm และในปี ค.ศ. 2004 Rattanachongkiat และคณะ ทำการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูทั้งหมดและปริมาณสารหนูอนินทรีย์ในปลาซาร์ดีน ปลาดุก กุ้งกุลา และปูม้า ที่จับจากบริเวณปากแม่น้ำปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช จำนวน 3 ตัวอย่างในสัตว์น้ำแต่ละชนิด พบปริมาณสารหนูทั้งหมด (น้ำหนักแห้ง) เท่ากับ 5.8 ± 0.4, 2.5 ± 0.3, 11 ± 0.5 และ 17 ± 1.1 ppm ตามลำดับ และพบปริมาณสารหนูอนินทรีย์ (น้ำหนักแห้ง) เท่ากับ 0.3 ± 0.01, 0.2 ±0.01, 0.8 ± 0.01 และ 0.9 ± 0.03 ppm ตามลำดับ รายงานล่าสุด Ruangwises and Ruangwises (2011) ศึกษาหาปริมาณสารหนูทั้งหมด และปริมาณสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลสด 8 ชนิด ที่เก็บจากอ่าวไทย ได้แก่ ปลาทู ปลาซาร์ดีน หอยแครง หอยแมลงภู่ หมึกกระดอง หมึกกล้วย กุ้งแชบ๊วย และปูม้า อย่างละ 15 ตัวอย่าง รวมจำนวน 120 ตัวอย่าง ผลการศึกษาของปริมาณสารหนูทั้งหมด(น้ำหนักเปียก) มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.53 ถึง 5.26 ppm โดยมีค่าต่ำที่สุดในปลาทู และสูงที่สุดในหอยแครง ปริมาณสารหนูอนินทรีย์ (น้ำหนักเปียก) มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.032 ถึง 0.352 ppm โดยมีค่าต่ำที่สุดในปลาทู และสูงที่สุดในหอยแครงเช่นกัน ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์ต่อสารหนูทั้งหมดพบต่ำสุดในกุ้งแชบ๊วย (1.2%) และพบสูงสุดในหอยแครง (7.3 %)

เนื่องจากสารหนูอนินทรีย์มีความเป็นพิษสูงทั้งแบบเฉียบพลัน เรื้อรังและเป็นสารก่อมะเร็ง ดังที่ได้กล่าวมา ในปีค.ศ. 1983 WHO จึงได้ทำการรวบรวมข้อมูลด้านความเป็นพิษของสารหนูในคนและนำมาวิเคราะห์เพื่อกำหนดค่าปริมาณของสารหนูอนินทรีย์ที่คนสามารถได้รับอย่างปลอดภัยทุกวันเป็นเวลานานตลอดชีวิตโดยไม่ทำให้เกิดความผิดปกติต่อสุขภาพ (Provisional maximum tolerable daily intake: PMTDI) เท่ากับ 2 µg/kg bw/day ต่อมาในปีค.ศ. 1989 WHO ยืนยันผลของการประเมินและปรับค่าความปลอดภัยในหน่วย น้ำหนักสารหนู/น้ำหนักตัว/วัน หรือค่า PMTDI เป็นหน่วย น้ำหนักสารหนู/น้ำหนักตัว/สัปดาห์ หรือค่า PTWI ของสารหนูอนินทรีย์เป็น 15 µg/kg bw/week เนื่องจากความเป็นพิษของการได้รับสารหนูส่วนมากจะเกิดแบบเรื้อรัง (WHO, 1989)

ในปีค.ศ. 1998 U.S. EPA ประเมินอันตรายต่อสุขภาพของสารหนูอนินทรีย์ และกำหนดค่า Reference dose (RfD) ซึ่งหมายถึงปริมาณสารที่ได้รับในแต่ละวันของประชากรโดยไม่ทำให้เกิดความเสี่ยงใดๆตลอดทั้งชีวิต โดยใช้ข้อมูลการศึกษาความเป็นพิษในคนของสารหนูจากน้ำดื่มและอาหาร โดยพิจารณาว่าพิษที่สำคัญของสารหนูคือ hyperpigmentation, keratosis และภาวะแทรกซ้อนต่อระบบเลือด ซึ่งผลของการศึกษาดังกล่าวได้ค่า No observed adverse effect level (NOAEL) ของสารหนูอนินทรีย์เท่ากับ 0.8 µg/kg bw/day ในการคำนวณ หาค่า RfD EPA ใช้ค่า uncertainty factor เท่ากับ 3 จึงได้ค่า RfD เท่ากับ 0.3 µg/kg bw/day (U.S.EPA, 1998)

ต่อมาในปีค.ศ. 2009 หน่วยงานด้านความปลอดภัยทางอาหารของสหภาพยุโรป (European food safety authority: EFSA) ประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชากรยุโรปจากการได้รับสารหนูอนินทรีย์ และให้ความเห็นว่าเนื่องจากปัจจุบันมีข้อมูลด้านฤทธิ์ก่อมะเร็งของสารหนูอนินทรีย์ในคนชัดเจนมากขึ้น โดยพบว่าก่อให้เกิดมะเร็งปอดและมะเร็งที่ระบบทางเดินปัสสาวะ นอกเหนือไปจากมะเร็งผิวหนัง การประเมินจึงควรตั้งอยู่บนพื้นฐานของการพิจารณาว่าพิษสำคัญของสารหนูอนินทรีย์คือ พิษก่อมะเร็งที่อวัยวะต่างๆแทนที่จะเป็นพิษต่อผิวหนัง ฉะนั้นการใช้ค่าความปลอดภัยหรือค่า PTWI ที่ WHO กำหนดไว้แต่เดิมนั้นไม่เหมาะสม สหภาพยุโรปจึงประเมินค่าความปลอดภัยโดยใช้ค่า Benchmark dose lower limit 1% ($BMDL_{01}$) ซึ่งหมายถึงปริมาณต่ำสุดของสารที่ทำให้เกิดการมะเร็งใน 1% ของคนทั้งหมด ในการนี้ได้ค่า $BMDL_{01}$ อยู่ในช่วง 0.3-8 µg/kg bw/day นอกจากนี้ EFSA ยังให้ความเห็นว่าการปนเปื้อนของสารหนูอนินทรีย์ในอาหารควรควบคุมให้อยู่ในระดับต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ (As low as reasonably

achievable : ALARA) แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังไม่ได้ทำการกำหนดค่าระดับการปนเปื้อนสูงสุดของสารหนูอนินทรีย์ขึ้นมา (EFSA, 2009)

ล่าสุดในปีค.ศ. 2011 WHO ทำการประเมินความเสี่ยงสารหนูอนินทรีย์อีกครั้งภายหลังมีข้อมูลด้านกลไกการเกิดพิษ ข้อมูลระดับการปนเปื้อนของสารหนูอนินทรีย์ในอาหารชนิดต่างๆ และข้อมูลปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์ในอาหารของคนประเทศต่างๆเพิ่มมากขึ้น ร่วมกับใช้ข้อมูลการเกิดมะเร็งปอดและมะเร็งกระเพาะปัสสาวะจากการได้รับสารหนูอนินทรีย์ของคนในประเทศไต้หวันและจีน จึงทำการประเมินค่าความปลอดภัยโดยใช้ค่า Benchmark dose lower limit 0.5% ($BMDL_{0.5}$) ซึ่งหมายถึงปริมาณต่ำสุดของสารที่ทำให้เกิดการมะเร็งปอดใน 0.5% ของคนทั้งหมด ในการนี้ได้ค่า $BMDL_{0.5}$ อยู่ในช่วง 2 – 7 µg/kg bw/day และได้ทำการยกเลิกค่า PTWI ของสารหนูอนินทรีย์เป็น 15 µg/kg bw/week (2 µg/kg bw/day) เนื่องจากเป็นค่าที่อยู่ในช่วงของ $BMDL_{0.5}$ (WHO, 2011)

ค่า Benchmark dose (BMD) เป็นค่าที่ได้จากการประเมินการตอบสนองต่อปริมาณการได้รับ (dose-response assessment) เหมือนกับค่า NOAEL แต่ค่า NOAEL เป็นการใช้ค่าที่ได้จากการทดลองเพียงค่าเดียวจึงมีความไม่แน่นอนสูง จึงมีการเปลี่ยนมาใช้ค่า BMD แทนค่า NOAEL เนื่องจากค่า BMD จะนำทุกค่าที่ได้จากการทดลองมาทำการคำนวณ โดยใช้โมเดลที่เหมาะสมกับข้อมูลการทดลองมากที่สุด ค่า BMD เป็นปริมาณสารที่ทำให้เกิดตอบสนองในประชากรที่ทำการศึกษา 0.5% หรือ 1% ตามที่หน่วยงานต่างๆกำหนดไว้ โดยค่า lower limit ของ BMD หรือ Benchmark dose lower limit (BMDL) จะนำไปใช้ในการคำนวณค่าความปลอดภัย

ในการคุ้มครองผู้บริโภคประเทศต่างๆจะนำค่าความปลอดภัยดังกล่าวข้างต้นมาใช้คำนวณหาค่า Maximum permissible concentrations (MPC) ของสารหนู แต่เนื่องจากการตรวจวิเคราะห์เฉพาะปริมาณสารหนูอนินทรีย์ทำได้ยากกว่าการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารหนูทั้งหมด ข้อมูลของการสำรวจการปนเปื้อนของสารหนูในอาหารส่วนใหญ่จึงเป็นข้อมูลการปนเปื้อนของสารหนูทั้งหมด ซึ่งส่งผลให้ในหลายๆประเทศกำหนดค่า MPC ไว้สำหรับสารหนูทั้งหมดเพียงอย่างเดียว แต่ Munoz และคณะ (2000) ได้ให้ข้อคิดเห็นว่าการกำหนดค่า MPC สำหรับสารหนูทั้งหมดเพียงอย่างเดียวนั้นไม่เหมาะสมสำหรับการคุ้มครองผู้บริโภคเพราะความเป็นพิษของสารหนูส่วนใหญ่เกิดจากสารหนูอนินทรีย์ และจำเป็นต้องทราบถึงสัดส่วนของปริมาณสารหนูอนินทรีย์ต่อปริมาณสารหนูทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหารแต่ละประเภท การกำหนดค่า MPC ของสารหนูในแต่ละประเทศ แสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ระดับการปนเปื้อนสูงสุดของสารหนู (MPC)

ประเทศ	สารหนูทั้งหมด	สารหนูอนินทรีย์
ฮ่องกง[1]	6 ppm สำหรับปลาและผลิตภัณฑ์ปลา 10 ppm สำหรับสัตว์น้ำมีเปลือก เช่น หอย กุ้ง ปู และผลิตภัณฑ์ 1.4 ppm สำหรับอาหารอื่นๆ	-
สิงคโปร์ มาเลเซีย[2]	1 ppm สำหรับปลาและผลิตภัณฑ์ปลา	
ออสเตรเลีย[2]	1 ppm สำหรับปลาและผลิตภัณฑ์ปลา	1 ppm สำหรับสาหร่ายทะเล
นิวซีแลนด์[3]	-	2 ppm สำหรับปลาและผลิตภัณฑ์ปลา
ไทย[4]	2 ppm สำหรับอาหารอื่นๆ	2 ppm สำหรับสัตว์น้ำและอาหารทะเล

ที่มา: [1]Man and He, 2000; [2]Munoz et al., 2000; [3]Edmonds and Francesconi, 1993; [4]สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2003

สำหรับประเทศไทย สำนักคณะกรรมการอาหารและยาได้กำหนดค่า MPC ทั้งสำหรับสารหนูทั้งหมดและสารหนูอนินทรีย์ไว้ดังนี้คือ ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 98) พ.ศ. 2529 กำหนดให้มีปริมาณสารหนูทั้งหมดปนเปื้อนได้ไม่เกิน 2 ppm สำหรับอาหารทุกชนิด (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 1986) และต่อมาในพ.ศ. 2546 ได้ออกประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 273) เพิ่มเติมในเรื่องการกำหนดค่าการปนเปื้อนของสารหนูอนินทรีย์ให้ปนเปื้อนได้ไม่เกิน 2 ppm สำหรับสัตว์น้ำและอาหารทะเล (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2003)

นอกจากอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลแล้ว อาหารกลุ่มอื่นๆ เช่น ข้าว ธัญพืช ผัก ชา กาแฟ น้ำดื่ม และสาหร่าย ยังเป็นแหล่งสำคัญของสารหนูอนินทรีย์ได้อีก โดยในข้าวมีรายงานค่าเฉลี่ยของสารหนูทั้งหมดเท่ากับ 0.1 - 0.4 mg /kg แต่มีเปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์สูงประมาณ 30-90 % นอกจากนี้กาแฟและชาซึ่งเป็นเครื่องดื่มไม่มีแอลกอฮอล์ที่คนนิยมบริโภคมากยังพบเปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์ในระดับสูงเช่นกันพบได้โดยพบตั้งแต่ 29 - 88 % ของสารหนูทั้งหมด น้ำดื่มยังเป็นแหล่งที่สำคัญของสารหนูอนินทรีย์ในอาหาร โดยเฉพาะในบริเวณที่มีการปนเปื้อนสารหนูสูง เนื่องจากมีการนำน้ำมาใช้ในการเตรียมอาหาร (EFSA, 2009)

การประเมินความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) หมายถึง กระบวนการประเมินโอกาสที่จะเกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์จากการได้รับสารเคมี ตามหลักการของ United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA, 1986) เป็นกระบวนการที่ประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนดังนี้

1. การระบุอันตราย (hazard identification) หมายถึง การระบุอันตรายทั้งวัสดุกายภาพ สารเคมี หรือ สิ่งมีชีวิตในอาหาร หรือสภาวะของอาหารที่จะเกิดผลเสียต่อสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งอาจปรากฏอยู่ในอาหารบางชนิดหรืออาหารบางกลุ่ม โดยทำการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลจากคุณสมบัติทางพิษวิทยา การศึกษาทางระบาดวิทยาในคนและสัตว์ การทดสอบความเป็นพิษในสัตว์ทดลอง

2. การแสดงลักษณะเฉพาะของอันตราย (hazard characterization) หมายถึง การประเมินลักษณะของผลเสียต่อสุขภาพ ในเชิงคุณภาพหรือเชิงปริมาณ หรือทั้งสองอย่าง เนื่องจากอันตรายประเภทต่างๆ ที่อาจพบในอาหาร และควรทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณการได้รับสัมผัสอันตรายจากวัสดุกายภาพ สารเคมี และสิ่งมีชีวิต กับความรุนแรงและหรือความถี่ของการเกิดผลเสียต่อสุขภาพ หรือเรียกว่าการประเมินการตอบสนองต่อปริมาณการได้รับ (dose-response assessment) ในขั้นตอนนี้ผลที่จะได้คือ ค่าความปลอดภัย (Safe dose) สำหรับสารเคมีที่ทำการศึกษาซึ่งหมายถึงขนาดหรือปริมาณของสารเคมีที่คนสามารถได้รับอย่างปลอดภัยทุกวันเป็นเวลานานตลอดชีวิตโดยไม่ทำให้เกิดความผิดปกติต่อสุขภาพ

3. การประเมินการได้รับสัมผัส (exposure assessment) หมายถึง การประเมินโอกาสที่คนๆหนึ่ง หรือประชากรกลุ่มหนึ่ง ที่ได้รับสารเคมีเข้าสู่ร่างกายจากกินอาหาร รวมทั้งการได้รับสัมผัสจากแหล่งอื่นๆ ถ้าเกี่ยวข้อง โดยอาศัยข้อมูลความเข้มข้น (Concentration) ของสารเคมีในอาหาร ข้อมูลปริมาณการบริโภคอาหาร และข้อมูลน้ำหนักตัวของคนหรือประชากรที่ศึกษา

วิธีในการประเมินการได้รับสัมผัสมี 2 รูปแบบคือ

3.1 การประเมินความเสี่ยงเชิงกำหนด (Deterministic or point estimates) เป็นวิธีการประมาณค่าที่ค่าเดียว โดยการคำนวณระดับการได้รับสัมผัสจะนำข้อมูลค่าเดียวมาใช้ เช่นข้อมูลค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน หรืออาจใช้ข้อมูลที่สูงกว่าระดับเฉลี่ยเช่นค่าที่ 90 - 99 เปอร์เซ็นต์ไทล์ในกรณีที่ต้องการประเมินการได้รับสัมผัสของกลุ่มผู้บริโภคที่อาจได้รับ

สารเคมีในระดับสูง หรือผู้บริโภคที่บริโภคอาหารบางประเภทในระดับสูงกว่าผู้บริโภคทั่วไป

3.2 การประเมินความเสี่ยงเชิงความน่าจะเป็น (Probabilistic or stochastic estimates) เป็นวิธีที่ใช้เทคนิคทางสถิติประกอบกับโปรแกรมการประมวลผลเฉพาะที่สามารถประมวลผลจากข้อมูลรายบุคคลหรือรายตัวอย่าง (individual data) ซึ่งวิธีวิเคราะห์แบบ Monte Carlo Simulation โดยโปรแกรม @Risk (Palisade corp., USA) เป็นวิธีที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย โดยมีหลักการคือตัวแปรทุกตัวในแบบจำลองมีโอกาสที่จะถูกสุ่มเลือก (random sampling) ซึ่งการสุ่มค่าที่เป็นไปได้นี้จะขึ้นกับรูปแบบของการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรนั้นๆ เมื่อสุ่มค่าที่ได้จากทุกตัวแปรแล้วจะนำค่าเหล่านั้นมาคำนวณในสมการประเมินการได้รับสัมผัส โดยการสุ่มค่าที่เป็นไปได้ในแต่ละครั้งมาคำนวณก็จะได้ผลลัพธ์หนึ่งค่า และจะมีการสุ่มค่าที่เป็นไปได้ซ้ำๆ ทำให้ได้ผลลัพธ์ตามจำนวนครั้งที่สุ่มซ้ำ ผลลัพธ์จำนวนมากที่ได้จะถูกนำมาสร้างเป็นรูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็น ดังนั้นวิธีนี้จะทำให้ได้ค่าของปริมาณการได้รับสัมผัสที่มีความถูกต้องมากกว่าวิธีแรกเนื่องจากผนวกความผันแปรและความไม่แน่นอนของแหล่งข้อมูลเข้าไปด้วย

โดยมีสมการในการคำนวณการได้รับสัมผัสดังนี้

$$ADD = \frac{\sum C_i \times IR_i}{BW}$$

เมื่อ ADD = ปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์รวมในแต่ละวัน มีหน่วยเป็น µg/kg bw/day

C_i = ความเข้มข้นของสารหนูอนินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหารแต่ละชนิด มีหน่วยเป็น ppm หรือ µg/g

IR_i = ปริมาณการบริโภคอาหารแต่ละชนิด มีหน่วยเป็น g/day

BW = น้ำหนักตัวในแต่ละกลุ่ม มีหน่วยเป็น kg

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. การแสดงลักษณะเฉพาะของความเสี่ยง (risk characterization) หมายถึง การคาดคะเนโอกาสของการเกิดผลเสียและความรุนแรงของผลกระทบที่อาจเกิดต่อสุขภาพของประชากรกลุ่มต่างๆ ทำได้โดยนำค่าตัวเลขต่างๆที่ได้จากการแสดงลักษณะของอันตราย และการประเมินการได้รับสัมผัสมาใช้ในการคำนวณดังสมการ

$$\text{Hazard quoteint (HQ)} = \frac{\text{ปริมาณของสารที่คนได้รับสัมผัสในแต่ละวัน (ADD)}}{\textbf{ค่าความปลอดภัย}}$$

โดย ค่า HQ $\leq$ 1 การปนเปื้อนของสารยังไม่รุนแรงจนเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน

ค่า HQ > 1 การปนเปื้อนของสารรุนแรงจนเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนต้องมีการแก้ไขเพื่อลดปริมาณการปนเปื้อน

ในงานวิจัยครั้งนี้จะศึกษาหาระดับการปนเปื้อนสารหนูทั้งหมดและสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลชนิดต่างๆ และนำข้อมูลการปนเปื้อนสารหนูอนินทรีย์ที่ทำการตรวจวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลการบริโภคของคนไทยที่ประสานงานขอข้อมูลจากสำนักงานมาตรฐานอาหารและสินค้าเกษตรแห่งชาติ (มกอช.) เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์และประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพคนไทยจากการได้รับสารหนูอนินทรีย์จากอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลร่วมกัน เพื่อเป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ของประเทศไทยสำหรับการส่งออกสินค้าอาหารทะเล และเป็นแนวทางในการจัดการความเสี่ยงของปัญหาการปนเปื้อนสารหนู และใช้ในการสื่อสารความเสี่ยงให้กับผู้ผลิต ผู้บริโภค และหน่วยงานรัฐบาลที่เกี่ยวข้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเสี่ยงของคนไทยจากการได้รับสารหนูอนินทรีย์จากอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล โดยประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัย 4 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1: การเก็บตัวอย่างอาหารทะเลสด และผลิตภัณฑ์อาหารทะเล

ระยะที่ 2: การเตรียมและตรวจวิเคราะห์ตัวอย่าง สำหรับหาความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดและสารหนูอนินทรีย์

ระยะที่ 3: การประเมินปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์

ระยะที่ 4: การแสดงลักษณะเฉพาะของความเสี่ยงของคนไทยต่อการได้รับสัมผัสสารหนูอนินทรีย์จากอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล

3.1 การเก็บตัวอย่างอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล

3.1.1 ชนิดของตัวอย่างที่เก็บ

3.1.1.1 อาหารทะเลสด 12 ชนิดคือ

- ปลา 5 ชนิดได้แก่ ปลาทู (*Rastrelliger brachysoma*) ปลาซาร์ดีน (*Sardinella gibbosa*) ปลาโอ (*Thunnus tonggol*) ปลาลิ้นหมา (*Cynoglossus macrolepidotus*) และปลากะพง (*Lates calcarifer*)
- กุ้ง 1 ชนิดได้แก่ กุ้งแชบ๊วย (*Penaeus merguiensis*)
- ปู 1 ชนิดได้แก่ ปูม้า (*Portunus pelagicus*)
- ปลาหมึก 2 ชนิดได้แก่ หมึกกล้วย (*Loligo duvauceli*) หมึกกระดอง (*Sepia pharaonis*)
- หอย 3 ชนิดได้แก่ หอยแครง (*Anadara granosa*) หอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) หอยลาย (*Paphia undulata*)

3.1.1.2 ผลิตภัณฑ์อาหารทะเล 7 ชนิดคือ

- ปลากระป๋อง 3 ชนิดได้แก่ ปลาซาร์ดีนในซอสมะเขือเทศ ปลาทูน่ากระป๋อง และปลากระป๋องปรุงรส
- อาหารทะเลตากแห้ง 4 ชนิดได้แก่ กุ้งแห้ง ปลาแห้ง ปลาหมึกแห้ง และปลาเค็ม

เกณฑ์ในการคัดเลือกชนิดของตัวอย่างอาหารทะเลสดพิจารณาจากสถิติการจับสัตว์น้ำของกรมประมง (กรมประมง, 2007) ร่วมกับการมีข้อมูลการบริโภคที่ชัดเจนของอาหารชนิดนั้นๆ ส่วนชนิดของผลิตภัณฑ์อาหารทะเลพิจารณาจากการมีข้อมูลการบริโภคที่ชัดเจนและเป็นชนิดที่คนไทยนิยมบริโภค สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารทะเลชนิดอื่น เช่นลูกชิ้นกุ้ง ลูกชิ้นปลา ปลาเส้นและปูอัด มีส่วนประกอบอื่นนอกเหนือไปจากเนื้อสัตว์ทะเลในปริมาณมาก จึงไม่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้

3.1.2 การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล 10 ตัวอย่างต่อชนิด รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 190 ตัวอย่าง โดยจำแนกเป็นตัวอย่างอาหารทะเลสด 120 ตัวอย่าง ปลากระป๋อง 30 ตัวอย่าง และอาหารทะเลตากแห้ง 40 ตัวอย่าง

- ตัวอย่างอาหารทะเลสด และอาหารทะเลตากแห้งสุ่มซื้อมาจากตลาดสดที่จังหวัดสมุทรสาครและระยองเนื่องจากเป็นแหล่งรวมอาหารทะเลที่จำหน่ายให้แก่ตลาดค้าปลีกในเขตภาคกลางและตะวันออกของประเทศ โดยปลา ปู ปลาหมึก และกุ้งเลือกซื้อ 1 ตัวจากแม่ค้าแต่ละราย รวม 10 ราย ส่วนหอยซื้อ 0.5 กิโลกรัมจากแม่ค้าแต่ละราย รวม 10 ราย และอาหารทะเลตากแห้งซื้อ 0.1 กิโลกรัมจากแม่ค้าแต่ละราย รวม 10 ราย
- ปลากระป๋องรวม 30 ตัวอย่าง ซื้อจากซุปเปอร์มาร์เก็ตและร้านสะดวกซื้อในเขตกรุงเทพมหานคร โดย 1 กระป๋องต่อตัวอย่าง

3.2 การตรวจวิเคราะห์ระดับสารหนู

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer รุ่น AAnalyst 300 Perkin Elmer equipped with an autosampler AS90 and flow injection system FIAS 400 พร้อมหลอดกำเนิดแสงสำหรับวิเคราะห์ธาตุสารหนู (arsenic)

2. แผ่นกรองไนลอน ขนาดรูกรอง 0.45 ไมโครเมตร (nylon membrane filter) Vertical®

3. เครื่องแก้ว (volumetric flasks, pipets, beakers เป็นต้น) class A

4. เตรียมเครื่องแก้วก่อนใช้งานโดยแช่ในสารละลาย nitric acid 10% v/v ทิ้งค้างคืนไว้ แล้วล้างด้วยน้ำหลายๆ ครั้ง ผึ่งให้แห้ง และเก็บในที่ปราศจากฝุ่นละออง

3.2.2 สารเคมีและสารมาตรฐาน

1. nitric acid ชนิด mercury-free, perchloric acid, hydrochloric acid, hydrazine, sodium borohydride, hydrobromic acid, potassium iodine, ascorbic acid และ sodium hydroxide ทั้งหมดเป็นชนิดเกรดวิเคราะห์ของบริษัท Merck (Darmstadt, Germany)

2. arsenic acid ที่มีความเข้มข้นของสารหนู 1000 ppm (Merck, Germany)

3. น้ำที่ใช้เตรียมสารละลายมาตรฐาน เตรียมสารละลายตัวอย่าง และล้างเครื่องแก้วหรือขวดพลาสติกเป็นน้ำชนิด ultrapure ที่มีความต้านทานอย่างน้อย 16 เมกะโอห์ม (Mohm) หรือน้ำกลั่น 3 ครั้ง

3.2.3 การเตรียมสารละลายเคมี

เตรียม reducing agent ชนิดที่ 1 โดยละลาย potassium iodine และ ascorbic acid อย่างละ 5 กรัม ในน้ำและปรับปริมาตรจนครบ 100 มิลลิลิตร

เตรียม reducing agent ชนิดที่ 2 โดยละลาย hydrazine 1.5 กรัม ในน้ำและปรับปริมาตรจนครบ 100 มิลลิลิตร แล้วตวงสารละลาย 1 มิลลิลิตร ผสมกับ hydrobromic acid 2 มิลลิลิตร

3.2.4 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณสารหนู

ใช้เฉพาะส่วนเนื้อของอาหารทะเลสด หั่นให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้ว freeze-dry เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ freeze-dried แล้วมาบด และเก็บในขวดแก้วในตู้เย็น จากนั้นเตรียมตัวอย่างตามวิธีของ Munoz และ คณะ (1999) ดังนี้

3.2.4.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับหาปริมาณสารหนูทั้งหมด

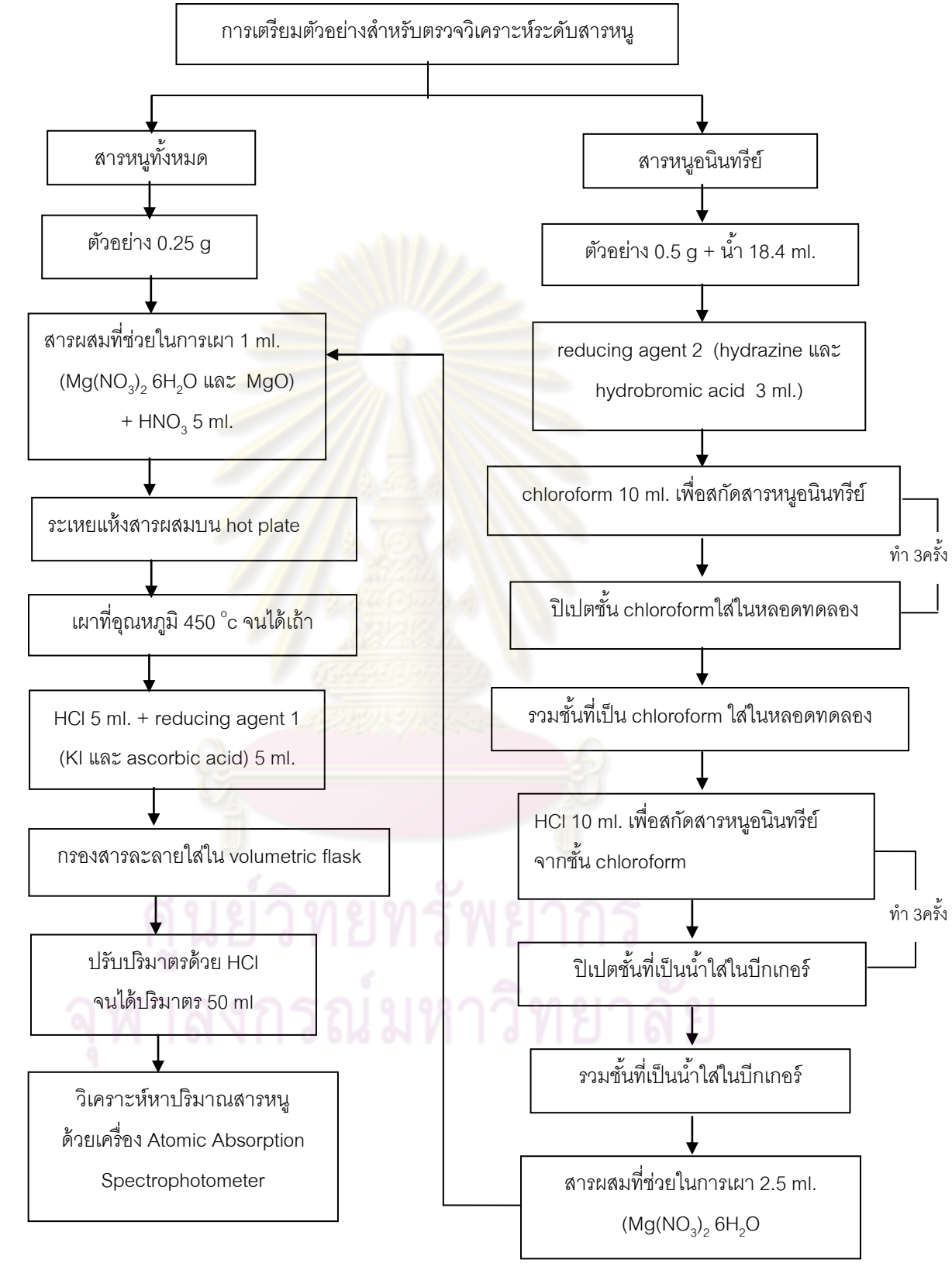
ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 0.25 กรัมใส่ใน beaker ขนาด 50 มิลลิลิตร เติม ashing mixture (20% w/v $Mg(NO_3)_2$ $6H_2O$ และ 2% w/v MgO) 1 มิลลิลิตร และ 50% v/v กรดไนตริก 5 มิลลิลิตร ระเหยแห้งสารผสมบน hot plate แล้วเผาที่อุณหภูมิ 450°c

จนได้เถ้า ละลายเถ้าด้วย hydrochloric acid (50% v/v) 5 มิลลิลิตร และ reducing agent ชนิดที่ 1 (5% w/v KI และ 5% w/v ascorbic acid) 5 มิลลิลิตร ตั้งสารละลายไว้ 30 นาที แล้วกรองสารละลายใส่ใน volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ถึง 50 มิลลิลิตร ด้วย hydrochloric acid (50% v/v) นำสารละลายที่ได้นี้ไปหาปริมาณสารหนูทั้งหมด

3.2.4.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับหาปริมาณสารหนูอนินทรีย์

ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 0.5 กรัมใส่ใน test tube ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำ 18.4 มิลลิลิตร เขย่าจนตัวอย่างเปียกน้ำจนทั่ว เติม reducing agent ชนิดที่ 2 (hydrazine และ hydrobromic acid) 3 มิลลิลิตร เขย่า (vortex) 30 วินาที จากนั้นสกัดสารหนูอนินทรีย์โดยเติม chloroform 10 มิลลิลิตร เขย่า 3 นาที ปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ 2,000 รอบต่อนาที (rpm) เป็นเวลา 5 นาที เพื่อแยกชั้น chloroform ออกจากชั้นที่เป็นน้ำ (aqueous phase) ใช้ปิเปตดูดแยกชั้น chloroform ออกใส่ในหลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร ทำการสกัดตัวอย่างด้วย chloroform 10 มิลลิลิตร ซ้ำอีก 2 ครั้ง รวม chloroform ที่สกัดได้ในหลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร ปั่นเหวี่ยงที่ 2,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที เพื่อแยกชั้น chloroform จากชั้นที่เป็นน้ำ สกัดสารหนูอนินทรีย์จากชั้น chloroform โดยเติม hydrochloric acid 0.1 โมลาร์ (0.1 M HCl) 10 มิลลิลิตร เขย่า 3 นาที ปั่นเหวี่ยงที่ 2,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที ใช้ปิเปตดูดแยกชั้นที่เป็นน้ำใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร สกัดสารหนูอนินทรีย์จากชั้น chloroform ด้วย hydrochloric acid 0.1 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร ซ้ำอีก 2 ครั้ง เตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับการหาปริมาณสารหนูทั้งหมด โดยเติม ashing mixture (20% w/v $Mg(NO_3)_2$ $6H_2O$ และ 2% w/v MgO) 2.5 มิลลิลิตร และ 50% v/v nitric acid 10 มิลลิลิตร สารละลายที่ได้นี้นำไปหาปริมาณสารหนูอนินทรีย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับตรวจวิเคราะห์ระดับสารหนู

3.2.5 การวิเคราะห์หาปริมาณสารหนู

วิเคราะห์หาปริมาณสารหนูทั้งหมดและสารหนูอนินทรีย์ในสารละลายตัวอย่าง โดยใช้ Hybrid Generation - Atomic Absorption Spectrophotometer (HG-AAS) โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานและใช้สภาวะของเครื่องมือ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สภาวะการทดสอบสำหรับการหาปริมาณสารหนู

Atomic absorption spectrophotometric conditions	
Element	Arsenic
Lamp	EDL current 380 mA
Slit	0.7 nm
Wavelength	193.7 nm
Loop sample	0.5 ml
Hydride generation	
Quartz cell	16 cm × 0.7 cm
Heating	Electrothermal
Cell temperature	900 °C
Carrier gas flow rate	Argon, 50-100 ml/min
Reducing agent	0.2% w/v sodium borohydride in 0.0125 M sodium hydroxide
Reducing agent flow rate	5-7 ml/min
Hydrochloric acid (10% v/v) flow rate	9 – 11 ml/min

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การประเมินความเสี่ยงสารหนูอนินทรีย์

การประเมินความเสี่ยงในงานวิจัยนี้ ได้ทำการประเมินในขั้นตอนที่ 3 และ 4 ของการประเมินความเสี่ยงคือ การประเมินการได้รับสัมผัส และการแสดงลักษณะเฉพาะของความเสี่ยงของสารหนูอนินทรีย์

3.3.1 การประเมินการได้รับสัมผัสสารหนูอนินทรีย์

การประเมินการได้รับสัมผัส สามารถทำการประเมินได้ 2 แบบคือ

1) การประเมินเชิงกำหนด (Deterministic หรือ point estimates) ลักษณะข้อมูลของระดับของการปนเปื้อน ข้อมูลการบริโภคอาหาร และน้ำหนักตัวที่นำมาใช้ในการคำนวณเป็นค่าเพียงค่าเดียว ได้แก่ค่าเฉลี่ยสำหรับคนทั่วไป และค่าที่ 95 เปอร์เซ็นต์ไทล์สำหรับกรณีที่ต้องการประเมินการได้รับสัมผัสของกลุ่มผู้บริโภคที่อาจได้รับสารหนูอนินทรีย์ในระดับสูง หรือผู้บริโภคที่บริโภคอาหารบางประเภทในระดับสูงกว่าผู้บริโภคทั่วไป

2) การประเมินเชิงความน่าจะเป็น (Probabilistic หรือ stochastic estimates) ลักษณะข้อมูลของระดับของการปนเปื้อน ข้อมูลการบริโภคอาหาร และน้ำหนักตัวที่นำมาใช้ในการคำนวณเป็นข้อมูลรายบุคคลหรือรายตัวอย่าง (individual data) การคำนวณอาศัยวิธีการวิเคราะห์แบบ Monte Carlo Simulation โดยใช้โปรแกรม @Risk (Palisade corp.)

3.3.1.1 การจำแนกข้อมูล

3.3.1.1.1 ข้อมูลระดับการปนเปื้อนสารหนูอนินทรีย์ นำข้อมูลระดับการปนเปื้อนสารหนูอนินทรีย์ในรูปของน้ำหนักเปียกของอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลที่ได้จากการตรวจวิเคราะห์ในระยะที่ 2 มาทำการจำแนกข้อมูลให้สอดคล้องกับข้อมูลการบริโภคอาหารของคนไทย

3.3.1.1.2 ข้อมูลการบริโภคอาหารของคนไทย ใช้ข้อมูลที่ทำการสำรวจการบริโภคอาหารไว้โดยสำนักงานมาตรฐานอาหารและสินค้าเกษตรแห่งชาติ (มกอช.) ในช่วงปี พ.ศ.2545-2547 โดยประสานงานขอข้อมูลรายละเอียดด้านการบริโภคอาหารที่เกี่ยวข้องได้แก่ ปริมาณการบริโภคอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลแต่ละประเภท อายุ เพศ และน้ำหนักตัวของประชากรแต่ละคนที่สำรวจ[1]

[1] พิศาล พงศาพิชณ์. ผู้อำนวยการสำนักมาตรฐานสินค้าและระบบคุณภาพ. ติดต่อส่วนตัว

3.3.1.2 **การคำนวณการได้รับสัมผัส**

โดยมีสมการการได้รับสัมผัสดังนี้

$$ADD = \frac{\sum C_i \times IR_i}{BW}$$

เมื่อ ADD = ปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์รวมในแต่ละวัน มีหน่วยเป็น µg/kg bw/day

C_i = ความเข้มข้นของสารหนูอนินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหารแต่ละชนิด มีหน่วยเป็น ppm หรือ µg/g

IR_i = ปริมาณการบริโภคอาหารแต่ละชนิด มีหน่วยเป็น g/day

BW = น้ำหนักตัวในแต่ละกลุ่ม มีหน่วยเป็น kg

3.3.3 **การแสดงลักษณะเฉพาะของความเสี่ยงของสารหนูอนินทรีย์**

ทำการแสดงลักษณะเฉพาะของความเสี่ยงของสารหนูอนินทรีย์ในแต่ละช่วงอายุ โดยคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Hazard quoteint (HQ)} = \frac{\text{ปริมาณของสารที่คนได้รับสัมผัสในแต่ละวัน (ADD)}}{\textbf{ค่าความปลอดภัย}}$$

ในการวิจัยนี้การเลือกค่าความปลอดภัยในการศึกษานี้คำนึงทั้งในด้านการเป็นสารก่อมะเร็งของสารหนูอนินทรีย์ ซึ่งทำการประเมินและกำหนดค่าความปลอดภัยไว้โดยสหภาพยุโรปในรูปของ $BMDL_{01}$ เท่ากับ 0.3 - 8 µg/kg bw/day ซึ่งใช้สำหรับการประเมินความเสี่ยงของสารหนูอนินทรีย์ต่อการเกิดมะเร็งที่ปอด ผิวหนัง กระเพาะปัสสาวะ และการเกิดรอยโรคที่ผิวหนัง (EU, 2009) รวมทั้งคำนึงถึงความเป็นพิษที่ผิวหนังที่กำหนดค่าความปลอดภัยโดย U.S. EPA ในรูปของ Reference dose เท่ากับ 0.3 µg/kg bw/day (EPA, 1998) เนื่องจากเป็นค่าที่คำนวณมาจากการศึกษาในประชากรจำนวนมาก และเป็นรอยโรคที่พบได้บ่อย ดังนั้นค่าความปลอดภัยในการศึกษานี้จึงเลือกใช้ค่า 0.3 µg/kg bw/day

โดยในกรณีที่พบว่า

ค่า HQ $\leq$ 1 แสดงว่าการปนเปื้อนของสารยังไม่รุนแรงจนเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน

ค่า HQ > 1 แสดงว่าการปนเปื้อนของสารรุนแรงจนเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน และบ่งชี้ว่าควรมีการดำเนินการแก้ไขเพื่อลดหรือควบคุมการปนเปื้อนของสารหนูอนินทรีย์ในอาหาร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การสำรวจระดับการปนเปื้อนสารหนูทั้งหมดและสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลชนิดต่างๆ ปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์ และความเสี่ยงต่อสุขภาพคนไทยจากการได้รับสารหนูอนินทรีย์จากอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล ผลการศึกษาประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

4.1 การสำรวจระดับการปนเปื้อนสารหนูทั้งหมดและสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล

จากการเก็บตัวอย่าง อาหารทะเลสด 12 ชนิด และผลิตภัณฑ์อาหารทะเล 7 ชนิด มาทำการสกัดและตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูทั้งหมดและสารหนูอนินทรีย์ในสารละลายตัวอย่าง โดยใช้ Hybrid Generation - Atomic Absorption Spectrophotometer (HG-AAS) ได้ค่าความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมด สารหนูอนินทรีย์ในรูปของน้ำหนักเปียก รวมทั้งเปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์ต่อสารหนูทั้งหมดในอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 6-8

4.1.1 ความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดในอาหารทะเลสด และผลิตภัณฑ์อาหารทะเล

ในอาหารทะเลสด ความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดในรูปของน้ำหนักเปียกมีค่าตั้งแต่ 0.011 ถึง 9.951 µg/g โดยความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดพบต่ำสุดในปลาโอ และพบสูงสุดในหอยแครง ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดของระดับการปนเปื้อนสารหนูทั้งหมดแสดงไว้ในตารางที่ 6

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดในอาหารทะเลสดชนิดต่างๆ ดังรูปที่ 2 พบว่าใน 5 อันดับแรก หอยแครงมีระดับการปนเปื้อนสารหนูทั้งหมดสูงที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.198 µg/g ตามด้วย กุ้งแชบ๊วยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.349 µg/g ปูม้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.816 µg/g หอยแมลงภู่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.121 µg/g และหอยลายมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.940 µg/g ในกลุ่มของปลาพบการปนเปื้อนสารหนูทั้งหมดสูงสุดในปลาทู โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.153 µg/g และหมึกกระดองพบสารหนูทั้งหมดมากกว่าใน

หมึกกล้วย การปนเปื้อนสารหนูทั้งหมดต่ำที่สุดพบในปลาโอโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.535 µg/g

ในผลิตภัณฑ์อาหารทะเล ค่าความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดในรูปของน้ำหนักเปียกมีค่าระหว่าง 0.011 ถึง 7.763 µg/g โดยความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดพบต่ำสุดปลากระป๋องปรุงรส และพบสูงสุดในปลาหมึกแห้ง โดยค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดของระดับการปนเปื้อนสารหนูทั้งหมดในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลแสดงไว้ในตารางที่ 7

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลชนิดต่างๆ ดังรูปที่ 2 พบว่ากุ้งแห้งมีระดับการปนเปื้อนสารหนูทั้งหมดสูงที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.502 µg/g ตามด้วยปลาหมึกแห้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.475 µg/g ปลาแห้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.638 µg/g ปลาเค็มโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.416 µg/g ในกลุ่มอาหารกระป๋องจะมีค่าความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดต่ำกว่าอาหารทะเลตากแห้ง โดยปลากระป๋องปรุงรสมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.806 µg/g ปลาทูน่ากระป๋องมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.450 µg/g และพบการปนเปื้อนสารหนูทั้งหมดต่ำสุดในปลาซาร์ดีนในซอสมะเขือเทศมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.295 µg/g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6 ค่าความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมด และสารหนูอนินทรีย์ในรูปของน้ำหนักเปียก ในอาหารทะเลสด

ชนิดอาหารทะเลสด	**สารหนูทั้งหมด** (µg/g) Mean ± SD (Min-Max)	**สารหนูอนินทรีย์** (µg/g) Mean ± SD (Min-Max)
ปลา		
- ปลาทู	1.153 ± 0.811	0.049 ± 0.033
(*Rastrelliger brachysoma*)	(0.517 - 2.910)	(0.017 - 0.102)
- ปลาซาร์ดีน	0.600 ± 0.137	0.032 ± 0.009
(*Sardinella gibbosa*)	(0.438 – 0.838)	(0.018 – 0.045)
- ปลาโอ	0.535 ± 0.242	0.031 ± 0.016
(*Thunnus tonggol*)	(0.011 – 0.851)	(0.001 – 0.063)
- ปลาลิ้นหมา	0.547 ± 0.178	0.026 ± 0.010
(*Cynoglossus macrolepidotus*)	(0.218 – 0.702)	(0.011 – 0.039)
- ปลากะพง	0.677 ± 0.214	0.025 ± 0.007
(*Lates calcarifer*)	(0.310 – 0.997)	(0.011 – 0.034)
กุ้งแชบ๊วย	4.349 ± 1.883	0.055 ± 0.016
(*Penaeus merguiensis*)	(1.314 – 8.130)	(0.037 – 0.085)
ปูม้า	3.816 ± 1.527	0.054 ± 0.022
(*Portunus pelagicus*)	(1.475 – 5.770)	(0.034 – 0.112)
ปลาหมึก		
- หมึกกระดอง	1.168 ± 0.662	0.049 ± 0.013
(*Sepia pharaonis*)	(0.582 – 2.410)	(0.036 – 0.077)
- หมึกกล้วย	1.142 ± 0.974	0.041 ± 0.013
(*Loligo duvauceli*)	(0.138 – 2.720)	(0.014 – 0.057)
หอย		
- หอยแครง	5.198 ± 2.714	0.305 ± 0.162
(*Anadara granosa*)	(1.346 – 9.951)	(0.118 – 0.554)
- หอยแมลงภู่	2.121 ± 1.087	0.065 ± 0.038
(*Perna viridis*)	(0.469 – 4.227)	(0.026 – 0.133)
- หอยลาย	1.940 ± 1.620	0.129 ± 0.112
(*Paphia undulata*)	(0.016 – 4.477)	(0.003 – 0.361)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7 ค่าความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมด และสารหนูอนินทรีย์ ในรูปของน้ำหนักเปียก ในผลิตภัณฑ์อาหารทะเล

ผลิตภัณฑ์อาหารทะเล	**สารหนูทั้งหมด** (µg/g) Mean ± SD (Min-Max)	**สารหนูอนินทรีย์** (µg/g) Mean ± SD (Min-Max)
ปลากระป๋อง		
- ปลาซาร์ดีนในซอสมะเขือเทศ	1.295 ± 1.125 (0.021 – 2.831)	0.0098 ± 0.0205 (0.0012 – 0.0680)
- ปลาทูน่ากระป๋อง	1.450 ± 1.227 (0.013 – 3.799)	0.0015 ± 0.0011 (0.0006 – 0.0039)
- ปลากระป๋องปรุงรส	1.806 ± 1.033 (0.011 – 3.003)	0.0017 ± 0.0009 (0.0004 – 0.0031)
อาหารทะเลตากแห้ง		
- กุ้งแห้ง*	5.502 ± 2.000 (0.294 – 7.486)	0.0110 ± 0.0046 (0.0053 – 0.0186)
- ปลาแห้ง*	2.638 ± 2.265 (0.058 – 5.744)	0.0043 ± 0.0046 (0.0014 – 0.0172)
- ปลาหมึกแห้ง*	3.475 ± 3.192 (0.381 – 7.763)	0.0084 ± 0.0099 (0.0021 – 0.0360)
- ปลาเค็ม	1.033 ± 1.277 (0.037 – 3.404)	0.0160 ± 0.0446 (0.0005 – 0.1428)

*แสดงในรูปน้ำหนักแห้งเนื่องจากไม่ได้ผ่านการ freeze-dry

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2 ความเข้มข้นของสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลสด และผลิตภัณฑ์อาหารทะเล

ในอาหารทะเลสด ความเข้มข้นของสารหนูอนินทรีย์ในรูปของน้ำหนักเปียกมีค่าระหว่าง 0.001 ถึง 0.554 µg/g โดยความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดพบต่ำสุดในปลาโอ และพบสูงสุดในหอยแครงเช่นเดียวกับที่พบในสารหนูทั้งหมด ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดของระดับการปนเปื้อนสารหนูทั้งหมดแสดงไว้ในตารางที่ 6

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลสดชนิดต่างๆ ดังรูปที่ 3 พบว่าใน 5 อันดับแรก หอยแครงมีระดับการปนเปื้อนสารหนูอนินทรีย์สูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 0.305 µg/g ตามด้วยหอยลายมีค่าเฉลี่ย 0.129 µg/g หอยแมลงภู่มีค่าเฉลี่ย0.065 µg/g กุ้งแชบ๊วยมีค่าเฉลี่ย 0.055 µg/g และปูม้ามีค่าเฉลี่ย 0.054 µg/g ในกลุ่มของปลาจะพบการปนเปื้อนสารหนูอนินทรีย์สูงสุดในปลาทู โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.049 µg/g และหมึกกระดองพบสารหนูอนินทรีย์มากกว่าในหมึกกล้วย การปนเปื้อนสารหนูอนินทรีย์พบต่ำสุดในปลาลิ้นหมาโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.115 µg/g

ในผลิตภัณฑ์อาหารทะเล ค่าความเข้มข้นของสารหนูอนินทรีย์ในรูปของน้ำหนักเปียกมีค่าระหว่าง 0.0004 ถึง 0.1428 µg/g โดยความเข้มข้นของสารหนูอนินทรีย์พบต่ำสุดปลากระป๋องปรุงรส และพบสูงสุดในปลาเค็ม ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดของระดับการปนเปื้อนสารหนูอนินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลแสดงไว้ในตารางที่ 7

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสารหนูอนินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลชนิดต่างๆ ดังรูปที่ 3 พบว่าปลาเค็มมีระดับการปนเปื้อนสารหนูอนินทรีย์สูงที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยที่ 0.0160 µg/g ตามด้วยกุ้งแห้งมีค่าเฉลี่ยที่ 0.0110 µg/g ปลาซาร์ดีนในซอสมะเขือเทศมีค่าเฉลี่ย 0.0098 µg/g ปลาหมึกแห้งมีค่าเฉลี่ยที่ 0.0084 µg/g ปลาแห้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0043 µg/g ปลากระป๋องปรุงรสมีค่าเฉลี่ยที่ 0.0017 µg/g และพบการปนเปื้อนสารหนูทั้งหมดต่ำสุดในปลาทูน่ากระป๋องมีค่าเฉลี่ยที่ 0.0015 µg/g

4.1.3 เปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์ต่อสารหนูทั้งหมดในอาหารทะเลสด และผลิตภัณฑ์อาหารทะเล

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์ในอาหาร} = \frac{\text{ปริมาณสารหนูอนินทรีย์ในอาหาร}}{\text{ปริมาณสารหนูทั้งหมด}} \times 100$$

เปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลแต่ละชนิดที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ ถือเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญ เนื่องจากข้อมูลด้านนี้ในประเทศไทยยังมีจำกัด รายงานการปนเปื้อนของสารหนูในอาหารส่วนมากมักอยู่ในรูปของสารหนูทั้งหมด เพราะวิธีการวิเคราะห์สารหนูอนินทรีย์ค่อนข้างยุ่งยาก จึงสามารถนำข้อมูลเปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปใช้คำนวณเทียบหาปริมาณสารหนูอนินทรีย์ในอาหารได้ในกรณีที่มีข้อมูลแต่เพียงปริมาณสารหนูทั้งหมด ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดของเปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์ต่อสารหนูทั้งหมดแสดงไว้ในตารางที่ 8

ในอาหารทะเลสด เปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์มีค่าระหว่าง 0.60 และ 26.09 % โดยพบต่ำสุดในกุ้งแชบ๊วย และพบสูงในหอยลาย หอยแครง ปลาโอ และหมึกกล้วย ในปลาเปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์มีค่าระหว่าง 1.62 ถึง 20.75 % โดยพบสูงสุดในปลาโอ กุ้งแชบ๊วยมีค่าระหว่าง 0.60 ถึง 3.83 % ปูม้ามีค่าระหว่าง 0.81 ถึง 5.84 % ปลาหมึกมีค่าระหว่าง 1.59 ถึง 12.65% โดยหมึกกล้วยมีเปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์สูงกว่าหมึกกระดอง หอยมีค่าระหว่าง 1.70 ถึง 26.09 % โดยพบสูงสุดในหอยลาย (11.02 %) ตามด้วยหอยแครง (6.87 %) และหอยแมลงภู่ (3.30 %) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลสดชนิดต่างๆ ดังรูปที่ 4 พบว่าค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์สูงที่สุดในหอยลาย (11.02 %) ตามด้วยปลาโอ (6.93 %) หอยแครง (6.87 %) หมึกกล้วย (6.09 %) และปลาซาร์ดีน (5.42 %) ตามลำดับ

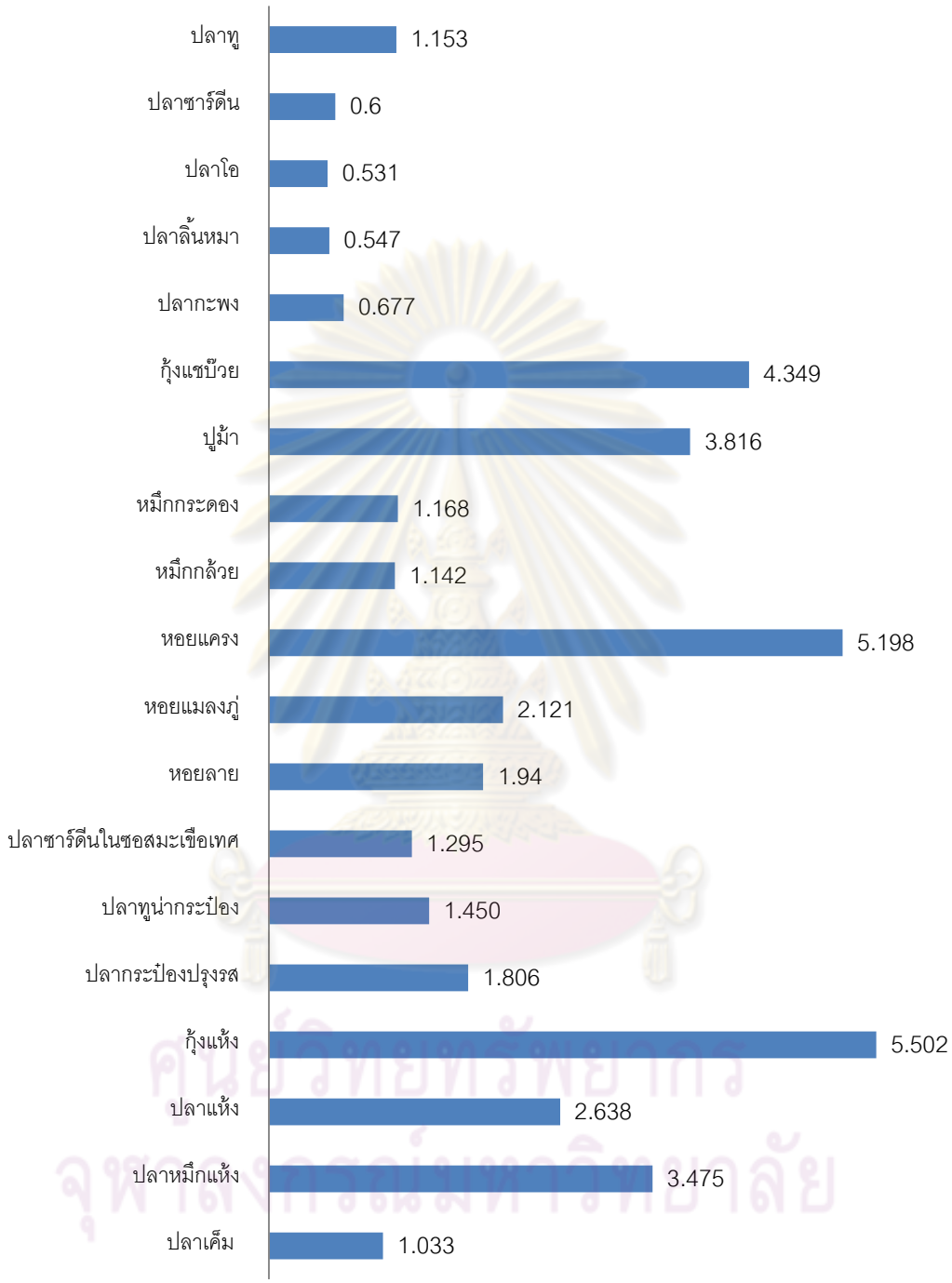
ในผลิตภัณฑ์อาหารทะเล เปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์มีค่าระหว่าง 0.01 ถึง 30.25 % โดยพบต่ำสุดในปลาทูน่ากระป๋อง และพบสูงสุดในปลาซาร์ดีนในซอสมะเขือเทศ ในกลุ่มของปลากระป๋องมีค่าระหว่าง 0.01 ถึง 30.25 % โดยพบสูงสุดในปลาซาร์ดีนในซอสมะเขือเทศ (6.24 %) ปลาทูน่ากระป๋อง (1.29 %) และปลากระป๋องปรุงรส (1.17 %) ตามลำดับ ในกลุ่มอาหารทะเลตากแห้ง มีค่าระหว่าง 0.03 ถึง 6.33 % โดยพบ

สูงสุดในปลาเค็ม (1.58 %) ตามด้วย ปลาแห้ง (1.07 %) กุ้งแห้ง (0.78 %) และปลาหมึกแห้ง (0.40 %) ตามลำดับ

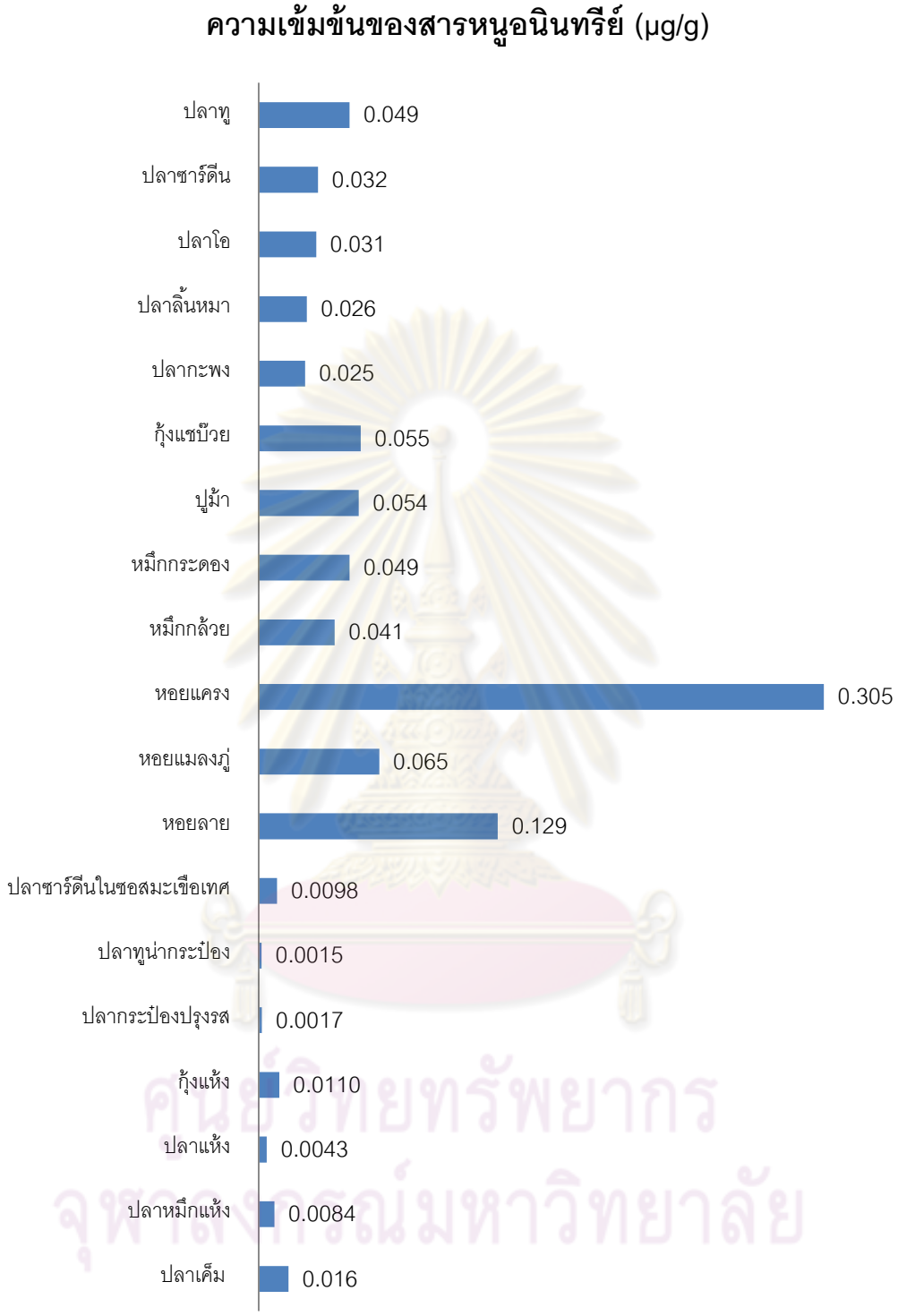
ตารางที่ 8 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย (Mean ± SD) ของสารหนูอนินทรีย์ต่อสารหนูทั้งหมด ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด ในอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล

ชนิดอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล	%สารหนูอนินทรีย์		
	Mean ± SD	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
ปลา			
- ปลาทู	4.45 ± 1.37	2.65	6.46
- ปลาซาร์ดีน	5.42 ± 1.48	2.78	7.75
- ปลาโอ	6.93 ± 5.08	3.45	20.75
- ปลาลิ้นหมา	4.96 ± 1.98	2.38	9.80
- ปลากะพง	4.01 ± 1.44	1.62	6.89
กุ้งแชบ๊วย	1.57 ± 0.96	0.60	3.83
ปูม้า	1.86 ± 1.61	0.81	5.84
ปลาหมึก			
- หมึกกระดอง	5.18 ± 2.26	1.72	8.73
- หมึกกล้วย	6.09 ± 3.68	1.59	12.65
หอย			
- หอยแครง	6.87 ± 3.35	1.89	12.81
- หอยแมลงภู่	3.30 ± 1.43	1.70	6.46
- หอยลาย	11.02 ± 7.02	4.80	26.09
ปลากระป๋อง			
- ปลาซาร์ดีนในซอสมะเขือเทศ	6.24 ± 9.90	0.06	30.25
- ปลาทูน่ากระป๋อง	1.29 ± 1.94	0.01	4.47
- ปลากระป๋องปรุงรส	1.17 ± 2.43	0.02	7.24
อาหารทะเลตากแห้ง			
- กุ้งแห้ง	0.78 ± 1.95	0.07	6.33
- ปลาแห้ง	1.07 ± 1.45	0.03	4.48
- ปลาหมึกแห้ง	0.40 ± 0.35	0.08	1.24
- ปลาเค็ม	1.58 ± 1.85	0.04	6.05

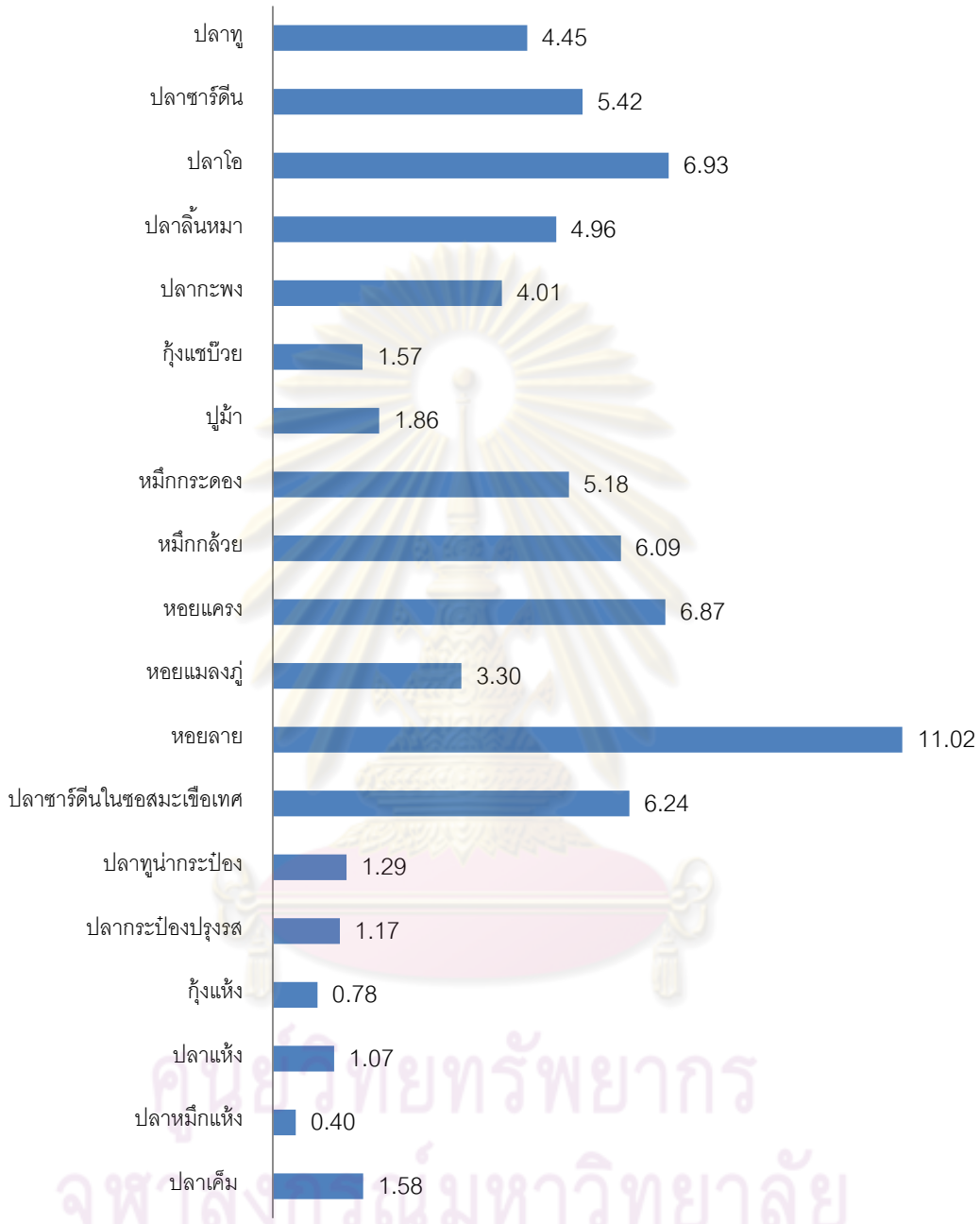
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นโดยเฉลี่ยของสารหนูทั้งหมด ในอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลในหน่วย µg/g



รูปที่ 3 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นโดยเฉลี่ยของสารหนูอนินทรีย์ ในอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลในหน่วย µg/g



รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์ต่อสารหนูทั้งหมดโดยเฉลี่ยในอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 ข้อมูลการบริโภคอาหารในกลุ่มอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลของคนไทย

ข้อมูลการบริโภคอาหารกลุ่มอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นข้อมูลจากสำนักงานมาตรฐานอาหารและสินค้าเกษตรแห่งชาติ (มกอช.) ซึ่งทำการสำรวจการบริโภคอาหารของคนไทยระหว่างปีพ.ศ.2545-2547 เป็นรายบุคคลแบบ per capita รวมทั้งข้อมูลที่เกี่ยวข้องได้แก่ อายุ เพศ และน้ำหนักตัวของประชากรแต่ละคนที่สำรวจ โดยมีพื้นที่การสำรวจครอบคลุม 17 จังหวัด คือกรุงเทพมหานคร และ16 จังหวัดที่เป็นตัวแทนของ 4 ภาค (ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้) จำนวนประชากรที่สำรวจครั้งนี้มีจำนวน 18,746 คน เป็นผู้ชาย 9,316 คน และผู้หญิง 9,430 คน เมื่อจำแนกตามกลุ่มอายุมีจำนวนเด็กทารกอายุแรกเกิดถึง 3 ปี 2,363 คน และผู้ที่อายุมากกว่า 3 ปีขึ้นไป 16,383 คน (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2006)

ในการคำนวณปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์ แบ่งกลุ่มอายุคนออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มอายุแรกเกิดถึง 3 ปี กลุ่มอายุ 3 – 9 ปี กลุ่มอายุ 9 – 19 ปี และกลุ่มอายุ 19 ปีขึ้นไป ข้อมูลปริมาณการบริโภคอาหารในกลุ่มอายุต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 9-12

ข้อมูลการบริโภคในกลุ่มเด็กทารกอายุแรกเกิดถึง 3 ปี และผู้ที่อายุ 3 ปีขึ้นไป มีความแตกต่างกันในด้านของชนิดอาหารที่ทำการสำรวจข้อมูลบริโภค เนื่องจากในกลุ่มเด็กทารกอายุแรกเกิดถึง 3 ปี มีชนิดของอาหารที่รับประทานน้อยกว่าโดยมี 5 ชนิดอาหาร ได้แก่ปลาทู ปลากะพง ปลาหมึก ปลากระป๋อง และปลาหมึกแห้ง สำหรับกลุ่มผู้ที่อายุ 3 ปีขึ้นไป มีชนิดอาหารที่บริโภค 16 ชนิด ได้แก่ ปลาทู ปลากะพง ปลาทะเลอื่นๆ กุ้งแชบ๊วย ปูม้า ปลาหมึก หอยแครง หอยแมลงภู่ หอยลาย ปลาซาร์ดีนในซอสมะเขือเทศ ปลาทูน่ากระป๋อง ปลากระป๋องปรุงรส กุ้งแห้ง ปลาแห้ง ปลาหมึกแห้ง และปลาเค็ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9 ปริมาณการบริโภคอาหารในกลุ่มอายุแรกเกิดถึง 3 ปี*

ชนิดอาหาร	ปริมาณการบริโภคอาหาร (g/day)							
	Min	Mean	SD	25^{th} percentile	Median	75^{th} percentile	95^{th} percentile	Max
ปลาทู	0	3.02	5.22	0	1	4	12.5	60
ปลากะพง	0	0.43	1.95	0	0	0	3	40
ปลาหมึก	0	0.2	0.72	0	0	0	1	8
ปลากระป๋อง	0	0.31	1.17	0	0	0	1.63	22.75
ปลาหมึกแห้ง	0	0.05	0.4	0	0	0	0.13	8

* ข้อมูลที่แสดงในตารางนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลดิบที่ได้จากการสำรวจการบริโภคอาหารของคนไทยในปีพ.ศ.2545-2547 โดย มกอช. (ประสานขอข้อมูลโดยตรงจากคุณพิศาล พงศาพิชณ์. ผู้อำนวยการสำนักมาตรฐานสินค้าและระบบคุณภาพ.)

ตารางที่ 10 ปริมาณการบริโภคอาหารในกลุ่มอายุ 3 – 9 ปี*

ชนิดอาหาร	ปริมาณการบริโภคอาหาร (g/day)							
	Min	Mean	SD	25^{th} percentile	Median	75^{th} percentile	95^{th} percentile	Max
ปลาทู	0	8.14	11.51	2.15	4.3	8.6	25.8	258
ปลากะพง	0	3.35	9.99	0	0	1.31	21	157.5
ปลาทะเลอื่นๆ	0	0.52	3.37	0	0	0	1.88	75
กุ้ง	0	2.56	5.87	0	0.6	2.4	12	72
ปูม้า	0	0.65	2.44	0	0	0	2.40	60
ปลาหมึก	0	2.54	5.11	0	0.95	1.9	9.50	60.8
หอยแครง	0	0.86	2.79	0	0	1	4	60
หอยแมลงภู่	0	0.5	1.77	0	0	0.35	1.40	42
หอยลาย	0	0.45	2.08	0	0	0	2	60
ปลาซาร์ดีนกระป๋อง	0	4.55	9.11	0	1.95	3.9	19.50	78
ปลาทูน่ากระป๋อง	0	0.29	1.76	0	0	0	1.95	39
ปลากระป๋องปรุงรส	0	1.17	4.55	0	0	0	4.50	72
กุ้งแห้ง	0	0.23	0.86	0	0	0	1.2	18
ปลาแห้ง	0	0.26	1.03	0	0	0	1	20
ปลาหมึกแห้ง	0	0.17	0.66	0	0	0	0.7	14
ปลาเค็ม	0	0.26	1.16	0	0	0	1.6	25.6

* ข้อมูลที่แสดงในตารางนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลดิบที่ได้จากการสำรวจการบริโภคอาหารของคนไทยในปีพ.ศ.2545-2547 โดย มกอช. (ประสานขอข้อมูลโดยตรงจากคุณพิศาล พงศาพิชณ์. ผู้อำนวยการสำนักมาตรฐานสินค้าและระบบคุณภาพ.)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 11 ปริมาณการบริโภคอาหารในกลุ่มอายุ 9 – 19 ปี*

ชนิดอาหาร	ปริมาณการบริโภคอาหาร (g/day)							
	Min	Mean	SD	25th percentile	Median	75th percentile	95th percentile	Max
ปลาทู	0	9.16	11.63	2.15	8.6	8.6	32.25	225.75
ปลากะพง	0	4.66	13.26	0	0	5.25	21	236.25
ปลาทะเลอื่นๆ	0	0.71	4.16	0	0	0	3.75	90
กุ้ง	0	3.16	7.65	0	1.2	2.4	14.4	144
ปูม้า	0	0.88	3.43	0	0	0	2.4	76.8
ปลาหมึก	0	3.79	7.57	0	1.9	3.8	19	114
หอยแครง	0	1.72	4.83	0	0	2	8	120
หอยแมลงภู่	0	0.96	2.73	0	0	1.4	5.6	56
หอยลาย	0	0.75	2.77	0	0	0	2	70
ปลาซาร์ดีนกระป๋อง	0	6.4	11.49	0	3.9	3.9	31.2	156
ปลาทูน่ากระป๋อง	0	0.72	3.83	0	0	0	3.9	78
ปลากระป๋องปรุงรส	0	2.33	7.19	0	0	2.25	13.5	90
กุ้งแห้ง	0	0.42	1.39	0	0	0.3	2.4	36
ปลาแห้ง	0	0.39	1.24	0	0	0	1.1	20
ปลาหมึกแห้ง	0	0.24	0.86	0	0	0	1.05	22.4
ปลาเค็ม	0	0.43	1.74	0	0	0	1.6	48

* ข้อมูลที่แสดงในตารางนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลดิบที่ได้จากการสำรวจการบริโภคอาหารของคนไทยในปีพ.ศ.2545-2547 โดย มกอช. (ประสานขอข้อมูลโดยตรงจากคุณพิศาล พงศาพิชญ์. ผู้อำนวยการสำนักมาตรฐานสินค้าและระบบคุณภาพ.)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 12 ปริมาณการบริโภคอาหารในกลุ่มอายุ 19 ปีขึ้นไป*

ชนิดอาหาร	ปริมาณการบริโภคอาหาร (g/day)							
	Min	Mean	SD	25^{th} percentile	Median	75^{th} percentile	95^{th} percentile	Max
ปลาทู	0	8.9	12.28	2.15	4.3	8.6	26.88	258
ปลากะพง	0	5.43	17.43	0	0	5.25	21	630
ปลาทะเลอื่นๆ	0	0.99	6.09	0	0	0	3.75	150
กุ้ง	0	2.72	6.45	0	0	2.4	12	115.2
ปูม้า	0	0.82	3.14	0	0	0	2.4	76.8
ปลาหมึก	0	2.79	6.2	0	0.95	1.9	11.4	152
หอยแครง	0	1.58	4.73	0	0	2	8	160
หอยแมลงภู่	0	0.9	2.98	0	0	1.4	4.2	84
หอยลาย	0	0.69	2.78	0	0	0	2	96
ปลาซาร์ดีนกระป๋อง	0	4.56	9.08	0	1.95	3.9	15.6	156
ปลาทูน่ากระป๋อง	0	0.5	3.03	0	0	0	3.9	78
ปลากระป๋องปรุงรส	0	1.57	5.44	0	0	0	4.5	90
กุ้งแห้ง	0	0.42	1.2	0	0	0.45	2.4	36
ปลาแห้ง	0	0.38	1.3	0	0	0	1	32
ปลาหมึกแห้ง	0	0.21	0.75	0	0	0	0.88	14
ปลาเค็ม	0	0.62	2.21	0	0	0.4	1.6	48

* ข้อมูลที่แสดงในตารางนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลดิบที่ได้จากการสำรวจการบริโภคอาหารของคนไทยในปีพ.ศ.2545-2547 โดย มกอช. (ประสานขอข้อมูลโดยตรงจากคุณพิศาล พงศาพิชญ์. ผู้อำนวยการสำนักมาตรฐานสินค้าและระบบคุณภาพ.)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 การประเมินความเสี่ยงสารหนูอนินทรีย์

4.3.1 การประเมินความเสี่ยงเชิงกำหนด (Deterministic estimates)

4.3.1.1 การหาปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์จากการบริโภคอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล

ปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์รวมในแต่ละวัน (ADD) คำนวณโดยใช้สมการ

$$ADD = \frac{\sum C_i \times IR_i}{BW}$$

เมื่อ ADD = ปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์รวมในแต่ละวัน มีหน่วยเป็น µg/kg bw/day

C_i = ความเข้มข้นของสารหนูอนินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหารแต่ละชนิด มีหน่วยเป็น ppm หรือ µg/g ในที่นี้ใช้ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารหนูอนินทรีย์ (น้ำหนักเปียก) ดังตารางที่ 13

IR_i = ปริมาณการบริโภคอาหารแต่ละชนิด มีหน่วยเป็น g/day ในที่นี้ใช้ค่าเฉลี่ยและค่าที่ 95 เปอร์เซ็นต์ไทล์ ของปริมาณการบริโภคอาหารในแต่ละช่วงอายุ ดังตารางที่ 9-12

BW = น้ำหนักตัวในแต่ละช่วงอายุ มีหน่วยเป็น kg

เนื่องจากข้อมูลการบริโภคที่สำรวจไว้โดยมกอช.นั้น รายงานปริมาณการบริโภคอาหารต่างๆไว้ในรูปของน้ำหนักเปียก ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกันในงานวิจัยนี้จึงใช้ค่าความเข้มข้นของสารหนูอนินทรีย์ในรูปของน้ำหนักเปียกในการคำนวณ และใช้เป็นค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลชนิดต่างๆ ที่แสดงไว้ในตารางที่ 13 ส่วนข้อมูลปริมาณการบริโภคอาหารใช้ค่าเฉลี่ยสำหรับคนทั่วไป และค่าที่ 95 เปอร์เซ็นต์ไทล์สำหรับเป็นตัวแทนของการประเมินการได้รับสัมผัสของกลุ่มผู้บริโภคที่บริโภคอาหารในระดับสูงกว่าผู้บริโภคทั่วไป และใช้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัวในประชากรแต่ละช่วงอายุ

ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารหนูอนินทรีย์ (น้ำหนักเปียก)

ชนิดอาหาร	สารหนูอนินทรีย์ (µg/g)
ปลาทู	0.049
ปลากะพง	0.025
ปลาทะเลอื่นๆ	0.029
กุ้งแชบ๊วย	0.055
ปูม้า	0.054
ปลาหมึก	0.045
หอยแครง	0.305
หอยแมลงภู่	0.065
หอยลาย	0.129
ปลาซาร์ดีนกระป๋อง	0.010
ปลาทูน่ากระป๋อง	0.002
ปลากระป๋องปรุงรส	0.002
กุ้งแห้ง	0.011
ปลาแห้ง	0.004
ปลาหมึกแห้ง	0.008
ปลาเค็ม	0.016

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากสมการการได้รับสัมผัสทำการคำนวณปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์รวมในแต่ละวัน (ADD) ในกลุ่มอายุแรกเกิดถึง 3 ปี ค่า ADD รวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.017 µg/kg bw/day และค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 เท่ากับ 0.076 µg/kg bw/day ในกลุ่มอายุ 3-9 ปี ADD รวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.082 µg/kg bw/day และค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 เท่ากับ 0.236 µg/kg bw/day ในกลุ่มอายุ 9-19 ปี ค่า ADD รวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.036 µg/kg bw/day และค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 เท่ากับ 0.192 µg/kg bw/day และในกลุ่มอายุ19 ปีขึ้นไป ค่า ADD รวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.028 µg/kg bw/day และค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 เท่ากับ 0.140 µg/kg bw/day ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์รวมในแต่ละวัน (ADD) จากการบริโภคอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลในแต่ละช่วงอายุ

ช่วงอายุ	ADD (µg/kg bw/day)	
	Mean	95th percentile
อายุแรกเกิดถึง 3 ปี	0.017	0.076
อายุ 3-9 ปี	0.082	0.236
อายุ 9-19 ปี	0.036	0.192
อายุ19 ปีขึ้นไป	0.028	0.140

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 15 ปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์โดยเฉลี่ยในแต่ละวัน (Mean ADD) ของอาหารแต่ละชนิด

ชนิดอาหาร	ระดับการปนเปื้อนสารหนูอนินทรีย์(µg/g)	Mean IR				Mean ADD** (µg/kg bw/day)			
		0-3 ปี	3-9ปี	9-19ปี	19 ปีขึ้นไป	0-3 ปี	3-9ปี	9-19ปี	19 ปีขึ้นไป
ปลาทู	0.049	3.02	8.14	9.16	8.9	0.0148	0.0193	0.0093	0.0077
ปลากะพง	0.025	0.43	3.35	4.66	5.43	0.0011	0.0041	0.0024	0.0023
ปลาทะเลอื่นๆ	0.029	-	0.52	0.71	0.99	-	0.0007	0.0004	0.0005
กุ้งแชบ๊วย	0.055	-	2.56	3.16	2.72	-	0.0068	0.0036	0.0026
ปูม้า	0.054	-	0.65	0.88	0.82	-	0.0017	0.0010	0.0008
ปลาหมึก	0.045	0.2	2.54	3.79	2.79	0.0009	0.0055	0.0035	0.0022
หอยแครง	0.305	-	0.86	1.72	1.58	-	0.0127	0.0109	0.0083
หอยแมลงภู่	0.065	-	0.5	0.96	0.9	-	0.0016	0.0013	0.0010
หอยลาย	0.129	-	0.45	0.75	0.69	-	0.0028	0.0020	0.0015
ปลาซาร์ดีนกระป๋อง	0.010	0.31	4.55	6.4	4.56	0.0003	0.0022	0.0013	0.0008
ปลาทูน่ากระป๋อง	0.002	-	0.29	0.72	0.5	-	0.00003	0.00003	0.00002
ปลากระป๋องปรุงรส	0.002	-	1.17	2.33	1.57	-	0.0001	0.0001	0.00005
กุ้งแห้ง	0.011	-	0.23	0.42	0.42	-	0.0001	0.0001	0.00008
ปลาแห้ง	0.004	-	0.26	0.39	0.38	-	0.00005	0.00003	0.00003
ปลาหมึกแห้ง	0.008	0.05	0.17	0.24	0.21	0.00004	0.00006	0.00004	0.00003
ปลาเค็ม	0.016	-	0.26	0.43	0.62	-	0.0002	0.0001	0.0002

* BW โดยเฉลี่ยในช่วงอายุแรกเกิดถึง 3 ปี = 9.99 kg, ในช่วงอายุ 3-9 ปี = 20.67 kg, ในช่วงอายุ 9-19 ปี = 48.08 kg และในช่วงอายุ 19 ปีขึ้นไป = 57.96 kg

**Mean ADD = C_i x IR_i/ BW โดย C_i คือความเข้มข้นของสารหนูอนินทรีย์โดยเฉลี่ยในอาหารแต่ละชนิด (µg/g) IR_i คือปริมาณการบริโภคอาหารโดยเฉลี่ยในอาหารแต่ละชนิด (g/day) BW คือน้ำหนักตัวโดยเฉลี่ยของประชากรแต่ละช่วงอายุ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 16 ปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ในแต่ละวัน (95^{th} ADD) ของอาหารแต่ละชนิด

ชนิดอาหาร	ระดับการปนเปื้อนสารหนูอนินทรีย์ (µg/g)	95^{th} IR				95^{th} ADD ** (µg/kg bw/day)			
		0-3 ปี	3-9 ปี	9-19 ปี	19 ปีขึ้นไป	0-3 ปี	3-9ปี	9-19ปี	19 ปีขึ้นไป
ปลาทู	0.049	12.5	25.8	32.25	26.88	0.0619	0.0612	0.0329	0.0227
ปลากะพง	0.025	3	21	21	21	0.0075	0.0254	0.0109	0.0091
ปลาทะเลอื่นๆ	0.029	-	1.88	3.75	3.75	-	0.0026	0.0023	0.0019
กุ้งแชบ๊วย	0.055	-	12	14.4	12	-	0.0319	0.0165	0.0114
ปูม้า	0.054	-	2.40	2.4	2.4	-	0.0063	0.0027	0.0022
ปลาหมึก	0.045	1	9.50	19	11.4	0.0045	0.0207	0.0178	0.0089
หอยแครง	0.305	-	4	8	8	-	0.0590	0.0507	0.0421
หอยแมลงภู่	0.065	-	1.40	5.6	4.2	-	0.0044	0.0076	0.0047
หอยลาย	0.129	-	2	2	2	-	0.0125	0.0054	0.0045
ปลาซาร์ดีนกระป๋อง	0.010	1.63	19.50	31.2	15.6	0.0016	0.0094	0.0065	0.0027
ปลาทูน่ากระป๋อง	0.002	-	1.95	3.9	3.9	-	0.0002	0.0002	0.0001
ปลากระป๋องปรุงรส	0.002	-	4.50	13.5	4.5	-	0.0004	0.0006	0.0002
กุ้งแห้ง	0.011	-	1.2	2.4	2.4	-	0.0006	0.0005	0.0005
ปลาแห้ง	0.004	-	1	1.1	1	-	0.0002	0.0001	0.0001
ปลาหมึกแห้ง	0.008	0.13	0.7	1.05	0.88	0.0001	0.0003	0.0002	0.0001
ปลาเค็ม	0.016	-	1.6	1.6	1.6	-	0.0012	0.0005	0.0004

* BW โดยเฉลี่ยในช่วงอายุแรกเกิดถึง 3 ปี = 9.99 kg, ในช่วงอายุ 3-9 ปี = 20.67 kg, ในช่วงอายุ 9-19 ปี = 48.08 kg และในช่วงอายุ 19 ปีขึ้นไป = 57.96 kg

**95^{th} ADD = C_i x IR_i/ BW โดย C_i คือความเข้มข้นของสารหนูอนินทรีย์โดยเฉลี่ยในอาหารแต่ละชนิด (µg/g) IR_i คือปริมาณการบริโภคอาหารที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ในอาหารแต่ละชนิด (g/day) BW คือน้ำหนักตัวโดยเฉลี่ยของประชากรแต่ละช่วงอายุ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 15 และ 16 ปริมาณการบริโภคปลาทูมีค่าสูงที่สุดในทุกช่วงอายุ ปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์ (ADD) ทั้งที่เป็นค่าเฉลี่ยและค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ในกลุ่มอายุแรกเกิดถึง 3 ปี พบค่า ADD สูงสุดในปลาทู (0.0148 – 0.0619 µg/kg bw/day) ในกลุ่มอายุ 3-9 ปี พบค่า ADD สูงสุดในปลาทู (0.0193 – 0.0612 µg/kg bw/day) ส่วนในกลุ่มอายุ 9-19 ปีพบค่า ADD สูงที่สุดในหอยแครง (0.0109 – 0.0507 µg/kg bw/day) และในกลุ่ม19 ปีขึ้นไปพบค่า ADD สูงที่สุดในหอยแครง (0.0083 – 0.0421 µg/kg bw/day) อาหารทะเลสดอื่นที่มีค่า ADD สูงคือปลากะพง กุ้งแชบ๊วย ปลาหมึก หอยแครง โดย ส่วนผลิตภัณฑ์อาหารทะเลพบค่า ADD สูงที่สุดในปลาซาร์ดีนกระป๋อง ตามด้วยปลาเค็ม กุ้งแห้ง ปลากระป๋องปรุงรส

4.3.1.2 การแสดงลักษณะเฉพาะของความเสี่ยงของสารหนูอนินทรีย์

ทำการแสดงลักษณะเฉพาะของความเสี่ยงของสารหนูอนินทรีย์ ในแต่ละช่วงอายุ โดยคำนวณได้จาก

$$\text{Hazard quoteint (HQ)} = \frac{\text{ปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์ในแต่ละวัน (ADD)}}{\textbf{ค่าความปลอดภัย}}$$

การเลือกค่าความปลอดภัยในการศึกษานี้คำนึงทั้งในด้านการเป็นสารก่อมะเร็งของสารหนูอนินทรีย์ ซึ่งทำการประเมินและกำหนดค่าความปลอดภัยไว้โดยสหภาพยุโรปในรูปของ $BMDL_{01}$ เท่ากับ 0.3 - 8 µg/kg bw/day (EU, 2009) รวมทั้งคำนึงถึงความเป็นพิษที่ผิวหนังที่กำหนดค่าความปลอดภัยโดย U.S. EPA ในรูปของ Reference dose เท่ากับ 0.3 µg/kg bw/day (EPA, 1998) ดังนั้นค่าความปลอดภัยในการศึกษานี้จึงเลือกใช้ค่า 0.3 µg/kg bw/day

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 17 ค่า Hazard quotient (HQ) ของอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลในแต่ละช่วงอายุ

ช่วงอายุ	HQ	
	Mean	95th percentile
อายุแรกเกิดถึง 3 ปี	0.06	0.25
อายุ 3-9 ปี	0.27	0.79
อายุ 9-19 ปี	0.12	0.64
อายุ19 ปีขึ้นไป	0.09	0.47

เมื่อนำค่า ADD รวมที่ค่าเฉลี่ยและค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ที่ได้จากการวิจัยนี้ (ตารางที่ 14) มาเปรียบเทียบกับค่าความปลอดภัย เท่ากับ 0.3 µg/kg bw/day จะได้ค่า Hazard quotient (HQ) ดังตารางที่ 17 โดยค่า HQ ที่ได้ในทุกช่วงอายุของประชากรไทยมีค่าต่ำกว่า 1 ซึ่งหมายความว่าระดับการปนเปื้อนของสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลยังไม่รุนแรงจนเป็นอันตรายต่อสุขภาพของคนไทย แต่อย่างไรก็ตามประชากรในช่วงอายุ 3-9 ปี มีค่า HQ สูงกว่าในช่วงอายุอื่น จึงมีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลสูงกว่าช่วงอายุอื่น

4.3.2 การประเมินความเสี่ยงเชิงความน่าจะเป็น (Probabilistic estimates)

ลักษณะข้อมูลของระดับของการปนเปื้อน ข้อมูลการบริโภคอาหาร และน้ำหนักตัวที่นำมาใช้ในการคำนวณแบบนี้เป็นข้อมูลของรายบุคคลหรือรายตัวอย่าง (individual data) อาศัยวิธีการวิเคราะห์แบบ Monte Carlo Simulation โดยใช้โปรแกรม @Risk (Palisade corp.) ซึ่งสามารถคำนวณตามสมการ Hazard quotient ($HQ = C_i \times IR_i / BW \times RfD$) และแสดงผลเป็นค่าทางสถิติและค่าที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ต่างๆ เนื่องจาก US.EPA แนะนำว่าค่า HQ เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 และค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทนของความเสี่ยงของประชากรโดยทั่วไปและความเสี่ยงของประชากรที่ได้รับสารหนูอนินทรีย์ในระดับสูง (US. EPA, 2001) ฉะนั้นในที่นี้ผู้วิจัยจึงเลือก ค่า HQ เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 และค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 มาใช้ในการรายงานผลการวิจัย

โปรแกรม @Risk (Version 4.5.5, Palisade corp., USA) ถูกนำมาใช้ร่วมกับ Microsoft Excel โดยข้อมูลดิบในแต่ละชุดจะถูกเลือกการกระจายตัวที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่น Best-Fit โดยโปรแกรมจะคำนวณเปรียบเทียบความเหมาะสม (Goodness of fit) ในการกระจายตัวของข้อมูลกับการกระจายตัวที่มีในโปรแกรม ซึ่งรูปแบบการกระจายตัวของแต่ละพารามิเตอร์แสดงไว้ในภาคผนวก ข (ตารางที่ 27-29) การสร้าง simulation ของแต่ละตัวแปรเป็นผลมาจากการสร้างสถานการณ์จำลอง 10,000 iteration ในการสุ่มตัวอย่างภายใต้การกระจายตัวของแต่ละตัวแปรนี้ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบ Latin hypercube ซึ่งมีการจัดกลุ่มของข้อมูลก่อนทำการสุ่ม

ปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์รวมในแต่ละวัน (ADD) ในกลุ่มอายุแรกเกิดถึง 3 ปี มีค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 เท่ากับ 0.049 µg/kg bw/day และค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 เท่ากับ 0.236 µg/kg bw/day ในกลุ่มอายุ 3-9 ปี มีค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 เท่ากับ 0.488 µg/kg bw/day และค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 เท่ากับ 2.290 µg/kg bw/day ในกลุ่มอายุ 9-19 ปี มีค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 เท่ากับ 0.362 µg/kg bw/day และค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 เท่ากับ 1.643 µg/kg bw/day และในกลุ่มอายุ19 ปีขึ้นไป มีค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 เท่ากับ 0.488 µg/kg bw/day และค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 เท่ากับ 2.012 µg/kg bw/day ปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์มีค่าสูงที่สุดในช่วงอายุ 3-9 ปี ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์รวมในแต่ละวัน (ADD) จากการบริโภคอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลในแต่ละช่วงอายุ

ช่วงอายุ	**ADD (µg/kg bw/day)**	
	50th percentile	**95th percentile**
อายุแรกเกิดถึง 3 ปี	0.049	0.236
อายุ 3-9 ปี	0.488	2.290
อายุ 9-19 ปี	0.362	1.643
อายุ19 ปีขึ้นไป	0.488	2.012

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อนำค่า ADD เปรียบเทียบกับค่าความปลอดภัย เท่ากับ 0.3 µg/kg bw/day ค่า HQ ที่ได้ในทุกช่วงอายุของประชากรไทยในช่วงอายุ 3 ปีขึ้นไป มีค่าสูงกว่า 1 ซึ่งหมายความว่าระดับการปนเปื้อนของสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของคนไทย โดยประชากรในช่วงอายุ 3-9 ปี มีค่า HQ สูงกว่าในช่วงอายุอื่น จึงมีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลสูงกว่าช่วงอายุอื่น ยกเว้นในช่วงอายุแรกเกิดถึง 3 ปี ที่ค่า Hazard quotient (HQ) มีค่าต่ำกว่า 1 ซึ่งหมายความว่าประชากรในกลุ่มนี้มีความปลอดภัยจากการบริโภคอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล ดังแสดงไว้ในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ค่า Hazard quotient (HQ) ของอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลในแต่ละช่วงอายุ

ช่วงอายุ	HQ	
	50^{th} percentile	95^{th} percentile
อายุแรกเกิดถึง 3 ปี	0.16	0.79
อายุ 3-9 ปี	1.63	7.63
อายุ 9-19 ปี	1.21	5.48
อายุ19 ปีขึ้นไป	1.63	6.71

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในกลุ่มอายุแรกเกิดถึง 3 ปี

เมื่อพิจารณา ค่า Hazard quotient (HQ) ในแต่ละชนิดอาหาร ในกลุ่มอายุแรกเกิดถึง 3 ปี ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 และค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ในอาหารทุกชนิด มีค่า HQ ต่ำกว่า 1 ค่า HQ พบสูงที่สุดในปลากะพง และต่ำสุดในปลากระป๋อง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ค่า Hazard quotient (HQ) ในกลุ่มอายุแรกเกิดถึง 3 ปีในแต่ละชนิดอาหาร*

ชนิดอาหาร	HQ	
	50^{th} percentile	95^{th} percentile
ปลาทู	0.027	0.222
ปลากะพง	0.095	0.364
ปลาหมึก	0.033	0.130
ปลากระป๋อง	0.002	0.027
ปลาหมึกแห้ง	0.007	0.044

* ค่า HQ ในตารางนี้รวบรวมจากรูปที่ 8-12 (ภาคผนวก ข)

ในกลุ่มอายุ 3 ปีขึ้นไป

เมื่อพิจารณา ค่า Hazard quotient (HQ) ในแต่ละชนิดอาหาร ในกลุ่มอายุ 3 ปีขึ้นไป (ดังแสดงในตารางที่ 21) ในอาหารทะเลสดค่า HQ จะมีค่าต่ำในปลา กุ้ง และปลาหมึก และเพิ่มขึ้นในปูม้า หอยแมลงภู่ หอยลาย และหอยแครง ในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลจะมีค่า HQ ต่ำ

ค่า Hazard quotient เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 ของคนไทยใน 3 ช่วงอายุ คือ 3-9 ปี 9-19 ปี และ 19 ปีขึ้นไป พบว่าค่า HQ ในอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลทุกชนิดมีค่าต่ำกว่า 1

ค่า Hazard quotient เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของคนไทยใน 3 ช่วงอายุ พบว่าค่า HQ ในปลาทู ปลากะพง ปลาทะเลอื่นๆ กุ้ง ปูม้า ปลาหมึก หอยแมลงภู่ปลาซาร์ดีนกระป๋อง ปลาทูน่ากระป๋อง ปลากระป๋องปรุงรส กุ้งแห้ง ปลาแห้ง ปลาหมึกแห้ง และปลาเค็ม มีค่าต่ำกว่า 1 ยกเว้นในหอยแครงและหอยลายที่มีค่า HQ สูงกว่า 1 โดยค่า HQ ของอาหาร 2 ชนิดนี้พบสูงที่สุดในกลุ่มอายุ 3 – 9 ปี (3.314 และ 2.085 ตามลำดับ) ดังนั้นหอยแครงและหอยลาย จัดเป็นอาหารกลุ่ม

เสี่ยงของสารหนูอนินทรีย์ในคนไทย ผู้บริโภคอาหาร 2 กลุ่มนี้ในระดับสูงจึงมีความเสี่ยงเพิ่มขึ้นจากการได้รับสารหนูอนินทรีย์ปนเปื้อนและอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

ตารางที่ 21 ค่า Hazard quotient (HQ) ที่ 50th percentile และ 95th percentile ของผู้ที่อายุ 3 ปีขึ้นไป

	50th HQ			95th HQ		
ชนิดอาหาร	**3-9 ปี**	**9-19 ปี**	**19 ปีขึ้นไป**	**3-9 ปี**	**9-19 ปี**	**19 ปีขึ้นไป**
ปลาทู	0.029	0.014	0.011	0.329	0.163	0.127
ปลากะพง	0.012	0.115	0.251	0.098	0.395	0.842
ปลาทะเลอื่นๆ	0.090	0.044	0.064	0.365	0.183	0.236
กุ้งแชบ๊วย	0.014	0.011	0.096	0.074	0.071	0.317
ปูม้า	0.131	0.078	0.065	0.508	0.289	0.223
ปลาหมึก	0.012	0.001	0.105	0.060	0.040	0.353
หอยแครง	0.727	0.628	0.694	3.314	2.799	2.860
หอยแมลงภู่	0.102	0.057	0.071	0.594	0.344	0.400
หอยลาย	0.481	0.241	0.249	2.085	1.050	1.134
ปลาซาร์ดีนกระป๋อง	0.002	0.001	0.008	0.029	0.017	0.117
ปลาทูน่ากระป๋อง	0.004	0.002	0.001	0.015	0.009	0.007
ปลากระป๋องปรุงรส	0.005	0.002	0.002	0.021	0.011	0.009
กุ้งแห้ง	0.008	0.007	0.006	0.033	0.028	0.022
ปลาแห้ง	0.003	0.001	0.002	0.016	0.006	0.008
ปลาหมึกแห้ง	0.004	0.002	0.001	0.024	0.016	0.008
ปลาเค็ม	0.002	0.001	0.001	0.069	0.056	0.044

* ค่า HQ ในตารางนี้รวบรวมจากรูปที่ 13-60 (ภาคผนวก ข)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity analysis)

พารามิเตอร์ที่มีผลต่อปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์ประกอบไปด้วยความเข้มข้นของสารหนูอนินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหารแต่ละชนิด และปริมาณการบริโภคอาหารแต่ละชนิด ซึ่งแตกต่างกันในอาหารแต่ละชนิด ดังตารางที่ 22 (รวบรวมจากภาคผนวก ค)

ตารางที่ 22 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์มากที่สุด ในแต่ละชนิดอาหารและช่วงอายุ

ชนิดอาหาร	พารามิเตอร์ที่มีผลต่อค่า ADD มากที่สุด			
	0-3 ปี	3-9 ปี	9-19 ปี	19 ปี ขึ้นไป
ปลาทู	IR	IR	IR	C
ปลากะพง	IR	IR	IR	IR
ปลาทะเลอื่นๆ	-	IR	IR	IR
กุ้งแชบ๊วย	-	IR	IR	IR
ปูม้า	-	IR	IR	IR
ปลาหมึก	-	IR	IR	IR
หอยแครง	-	IR	IR	IR
หอยแมลงภู่	-	C	C	C
หอยลาย	-	IR	IR	IR
ปลาซาร์ดีนกระป๋อง	C	C	C	C
ปลาทูน่ากระป๋อง	-	C	IR	IR
ปลากระป๋องปรุงรส	-	IR	IR	IR
กุ้งแห้ง	-	IR	IR	IR
ปลาแห้ง	-	C	C	C
ปลาหมึกแห้ง	C	C	C	C
ปลาเค็ม	-	C	C	C

C = ความเข้มข้นของสารหนูอนินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหารแต่ละชนิด

IR = ปริมาณการบริโภคอาหารแต่ละชนิด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความไม่แน่นอนของการประเมินความเสี่ยง

ความไม่แน่นอน (Uncertainty) ของการประเมินความเสี่ยงในการศึกษานี้มีดังนี้

- ความไม่แน่นอนของข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการประเมินความเสี่ยงเชิงกำหนดที่นำค่าเพียงค่าเดียวจากแต่ละพารามิเตอร์ของการศึกษามาใช้เป็นตัวแทนในการคำนวณปริมาณการได้รับสัมผัส การใช้ค่าเฉลี่ยเป็นตัวแทนของคนไทยทั้งหมดจึงมีความไม่แน่นอนสูง จึงมีการใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ร่วมด้วยเพื่อป้องกันการประเมินความเสี่ยงที่ต่ำกว่าความเป็นจริง การนำการประเมินความเสี่ยงเชิงความน่าจะเป็นมาใช้จะช่วยในการลดความไม่แน่นอนของข้อมูล เนื่องจากนำทุกค่าของแต่ละพารามิเตอร์มาใช้ในการประเมิน

- ความไม่แน่นอนจากโมเดลที่นำมาใช้และจากผู้ใช้โมเดลเอง การนำการประเมินความเสี่ยงเชิงความน่าจะเป็น ที่มีการใช้โปรแกรม @ Risk ซึ่งจำเป็นต้องใช้โดยผู้ที่มีประสบการณ์

- ข้อมูลความเข้มข้นของสารหนูอนินทรีย์ที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยงเป็นค่าที่ได้จากอาหารที่ยังไม่ผ่านกระบวนการปรุง ดังนั้นปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์อาจมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงเนื่องจากมีรายงานว่ากระบวนการปรุงอาหารมีผลต่อปริมาณสารหนูอนินทรีย์ทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง

- การแสดงลักษณะเฉพาะของความเสี่ยงของสารหนูอนินทรีย์ของคนไทยในการศึกษานี้เลือกใช้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 0.3 μg/kg bw/day ในการเปรียบเทียบกับปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์ ดังนั้นความเสี่ยงของคนไทยอาจมีค่าเปลี่ยนแปลงไปถ้าเปรียบเทียบกับค่าความปลอดภัยที่ระดับอื่น

- ในการศึกษานี้ประเมินเฉพาะการได้รับสารหนูอนินทรีย์จากการบริโภคอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลเท่านั้น แต่มีรายงานในอาหารชนิดอื่นๆที่พบการปนเปื้อนสารหนูอนินทรีย์ในระดับสูงเช่น ข้าว ธัญพืช และน้ำ ดังนั้นปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์ และความเสี่ยงที่ได้จากการศึกษานี้จึงยังไม่ใช่ค่าโดยรวมของคนไทย

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาการปนเปื้อนของสารหนูทั้งหมดและสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลสดที่ใช้เป็นอาหาร 12 ชนิด และผลิตภัณฑ์อาหารทะเล 7 พบว่าในอาหารทะเลสด ความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดมีค่าตั้งแต่ 0.011 ถึง 9.951 µg/g (น้ำหนักเปียก) ความเข้มข้นของสารหนูอนินทรีย์ในรูปของน้ำหนักเปียกมีค่าระหว่าง 0.001 ถึง 0.554 µg/g (น้ำหนักเปียก) พบการปนเปื้อนสารหนูทั้งหมดและสารหนูอนินทรีย์พบสูงสุดในหอย (หอยแครง หอยแมลงภู่ และหอยลายตามลำดับ) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาอื่นๆที่พบว่าในอาหารทะเล หอยเป็นอาหารทะเลสดที่มักพบการปนเปื้อนสารหนูในระดับสูงที่สุด (Ruangwises and Ruangwises, 2011; Munoz et al., 2000; Lorenzana et al., 2009) นอกจากนี้กุ้งแชบ๊วย และปูม้ายังพบพบการปนเปื้อนสารหนูทั้งหมดและสารหนูอนินทรีย์สูงเช่นกัน เนื่องจากอาหารทะเลสดเหล่านี้มักอาศัยอยู่หน้าดินและมีการขุดรูลงไปอาศัยในตะกอนดิน ซึ่งในตะกอนดินมักจะมีระดับของสารหนูสูง (Borak and Hosgood, 2007) จึงมักพบการปนเปื้อนสารหนูในปริมาณสูงกว่าอาหารทะเลสดชนิดอื่นๆ การได้รับสารหนูของอาหารทะเลสดเกิดจากการรับโดยตรงผ่านน้ำทะเลและจากอาหารพวกสาหร่ายทะเลและแพลงค์ตอน โดยจากอาหารถือเป็นกระบวนการหลัก (Borak and Hosgood, 2007) สาหร่ายทะเลจะรับสารหนูในรูปของ arsenate ที่พบในน้ำทะเลซึ่งมีโครงสร้างใกล้เคียงกับ phosphate โดยทั่วไปในสาหร่ายทะเลมีระดับสารหนูสูงกว่าในน้ำทะเล 1,000 – 10,000 เท่า (EFSA, 2009; Borak and Hosgood, 2007) เมื่ออาหารทะเลสดกินสาหร่ายทะเลเหล่านี้ก็จะได้รับสารหนูสะสมอยู่ภายในเนื้อเยื่อ

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดและสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลสดที่พบในการศึกษานี้กับการศึกษาก่อนหน้าในประเทศไทย Ruangwises and Ruangwises (2011) ทำการเก็บตัวอย่างจากชายฝั่งทะเลใน 6 จังหวัดของประเทศไทย พบว่าระดับการปนเปื้อนสารหนูทั้ง 2 ชนิดในอาหารทะเลสดมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารทะเล ยังไม่พบรายงานการปนเปื้อน สารหนูในประเทศไทยจึงไม่สามารถเปรียบเทียบได้

ความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดและสารหนูอนินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลพบต่ำกว่าในอาหารทะเลสดซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Munoz และคณะ (2000) ที่พบว่าอาหารกระป๋องและอาหารทะเลหมักเกลือจะพบการปนเปื้อนสารหนูต่ำที่สุดอาจเนื่องมาจากใน

กระบวนการผลิตปลากระป๋องมีผลให้เกิดการสูญเสียสารหนูที่ละลายน้ำได้ไป ในกระบวนการทำให้เค็มมีผลทำให้สูญเสียน้ำในเนื้อเยื่อเป็นผลให้สารหนูที่จับกับกล้ามเนื้อของอาหารทะเลสดอ่อนลงและละลายสู่ส่วนที่เป็นน้ำ และยังมีรายงานว่าความเข้มข้นของสารหนูจะลดลงเมื่อผ่านกระบวนการผลิต ได้แก่ การล้าง การแช่ และการต้ม (Devasa et al., 2008; WHO, 2011) ความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดในรูปของน้ำหนักเปียกมีค่าระหว่าง 0.011 ถึง 3.799 µg/g (น้ำหนักเปียก) และความเข้มข้นของสารหนูอนินทรีย์ในรูปของน้ำหนักเปียกมีค่าระหว่าง 0.0004 ถึง 0.1428 µg/g (น้ำหนักเปียก) ความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดและสารหนูอนินทรีย์ที่พบในการศึกษานี้พบอยู่ในช่วงของระดับการปนเปื้อนที่พบในการศึกษาก่อนหน้าในประเทศสเปน (Munoz et al., 2000) แต่มีค่าต่ำกว่าที่พบในประเทศฮ่องกง (Man and He, 2000) และสูงกว่าที่ทำการสำรวจในอาหารทะเลของประเทศจีน (Li et al., 2003) ค่าความเข้มข้นของสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลทั้งหมดที่พบในการศึกษานี้มีค่าไม่เกิน 2 ppm ตามที่กำหนดในประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 273 (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2003)

การตรวจหาปริมาณสารหนูทั้งหมดเพียงอย่างเดียวไม่สามารถบ่งบอกถึงปริมาณสารหนูอนินทรีย์ ดังเช่นในอาหารทะเลสดบางชนิดมีปริมาณสารหนูทั้งหมดสูง แต่ปริมาณสารหนูอนินทรีย์ต่ำ เปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์ต่อสารหนูทั้งหมดจึงต่ำ ในขณะที่อาหารทะเลสดบางชนิดมีปริมาณสารหนูทั้งหมดต่ำแต่ปริมาณสารหนูอนินทรีย์สูง เปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์ต่อสารหนูทั้งหมดจึงสูง ดังนั้นการตรวจวิเคราะห์หาระดับสารหนูทั้งหมดเพียงอย่างเดียวถึงแม้จะทำได้ง่ายกว่าการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูอนินทรีย์ แต่ไม่มีความเหมาะสมและไม่สามารถให้การคุ้มครองผู้บริโภคได้ เพราะความเป็นพิษของสารหนูส่วนใหญ่เกิดจากสารหนูอนินทรีย์

ในการศึกษานี้พบว่าเปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์ต่อสารหนูทั้งหมดในอาหารทะเลสดและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลมีความแตกต่างกันในแต่ละชนิดของอาหาร ในอาหารทะเลสดเปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์มีค่าต่ำในกุ้งแชบ๊วย และปูม้า และมีค่าสูงในหอยลาย หอยแครง ปลาโอ และหมึกกล้วย โดยอาหารทะเลสดยกเว้นหอย เปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์ต่อสารหนูทั้งหมดมีค่าระหว่าง 1.57% ถึง 6.93 % ในหอยมีเปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์ระหว่าง 3.3% - 11.02% สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารทะเลเปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์พบในระดับต่ำ (น้อยกว่า 2%) ยกเว้นปลาซาร์ดีนในซอสมะเขือเทศที่พบมากกว่า 6% จากการศึกษาของ Munoz และคณะ (2000) รายงานเปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์อยู่ในช่วง 0.02% – 6.88% Li และ คณะ (2003) รายงานเปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์ในระดับต่ำกว่า 2 % Ruangwises และ

Ruangwises (2011) รายงานอยู่ในช่วง 1.2% - 7.3% ถึงแม้ว่าเปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์ที่พบในการศึกษานี้จะสูงกว่าการศึกษาก่อนหน้า แต่อย่างไรก็ตามมีข้อมูลว่าในปลาทะเลสามารถพบเปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์ได้ถึง 7.3% อาหารทะเลสดมีเปลือกหรือฝาสามารถพบเปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์ได้ถึง 13% และเปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์ในสัตว์เหล่านี้อาจมากกว่า 25% ถ้าอาศัยอยู่ในบริเวณที่มีการปนเปื้อนสารหนูในระดับสูง (Lorenzana et al., 2009)

เมื่อทำการประเมินปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์จากการบริโภคอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลของคนไทยเชิงกำหนด (Deterministic estimates) โดยใช้ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล ใช้ค่าเฉลี่ยและค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของข้อมูลปริมาณการบริโภคอาหาร เพื่อเป็นตัวแทนของการประเมินการได้รับสัมผัสของกลุ่มผู้บริโภคอาหารในระดับทั่วไป และกลุ่มผู้บริโภคในระดับสูง พบว่าปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์รวมในแต่ละวันจากอาหารทะเลทุกชนิด ค่าเฉลี่ยและค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ในกลุ่มอายุแรกเกิดถึง 3 ปีเท่ากับ 0.017 และ 0.076 µg/kg bw/day ในกลุ่มอายุ 3-9 ปีเท่ากับ 0.082 และ 0.236 µg/kg bw/day ในกลุ่มอายุ 9-19 ปีเท่ากับ 0.036 และ 0.192 µg/kg bw/day และในกลุ่มอายุ19 ปีขึ้นไปเท่ากับ 0.028 และ 0.140 µg/kg bw/day เมื่อประเมินความเสี่ยงเชิงความน่าจะเป็น (Probabilistic estimates) ได้ปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์รวมในแต่ละวัน (ADD) ในกลุ่มอายุแรกเกิดถึง 3 ปี มีค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 และค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 เท่ากับ 0.049 และ 0.236 µg/kg bw/day ในกลุ่มอายุ 3-9 ปี มีค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 และค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 เท่ากับ 0.488 และ 2.290 µg/kg bw/day ในกลุ่มอายุ 9-19 ปี มีค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 และค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 เท่ากับ 0.362 และ 1.643 µg/kg bw/day และในกลุ่มอายุ 19 ปีขึ้นไป มีค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 และค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 เท่ากับ 0.488 และ 2.012 µg/kg bw/day จะเห็นได้ว่าประชากรในกลุ่มอายุ 3-9 ปี มีปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์รวมสูงกว่าในกลุ่มอื่นๆ 2-3 เท่า เนื่องจากโดยทั่วไปทารกและเด็กเล็กมักได้รับสารพิษมากกว่าผู้ใหญ่เมื่อพิจารณาจากปริมาณการกินอาหารเทียบกับน้ำหนักตัว (EFSA, 2009) สำหรับกลุ่มเด็กแรกเกิดถึง 3 ปี ปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์รวมต่ำกว่าประชากรในช่วงอายุอื่นเป็นผลเนื่องมาจากชนิดของอาหารที่บริโภคมีน้อยกว่าและระดับการปนเปื้อนสารหนูอนินทรีย์ต่ำ

การเปรียบเทียบปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์ของประชาชนในประเทศไทยกับประเทศต่างๆ ทำได้ยากเนื่องจากวิธีในการเก็บข้อมูล กลุ่มประชากรเป้าหมายที่ศึกษา ชนิดของอาหารทะเลที่นิยมบริโภค รวมทั้งวิธีในการประเมินความเสี่ยงมีความแตกต่างกัน โดยมีรายงานเฉพาะการประเมินความเสี่ยงเชิงกำหนด ดังเช่นรายงานของ Sirot และคณะ (2009) ศึกษาใน

ชาวฝรั่งเศสอายุ 18 ปีขึ้นไปปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์จากอาหารทะเล 83 ชนิด ในผู้หญิงมีค่าเฉลี่ยและค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 เท่ากับ 0.097 และ 0.237 µg/kg bw/day ในผู้ชายเท่ากับ 0.077 และ 0.191 µg/kg bw/day ซึ่งปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์ของคนฝรั่งเศสมีค่าสูงกว่าในคนไทยที่อายุ 19 ปีขึ้นไป รายงานการศึกษาของสหภาพยุโรป มีการสร้างสถานการณ์จำลอง (scenarios) ขึ้นมาในการคำนวณปริมาณการได้รับสัมผัสเนื่องจากข้อมูลของสารหนูอนินทรีย์มีน้อย และใช้การตั้งสมมติฐานของค่าสารหนูอนินทรีย์จากค่าสารหนูทั้งหมดที่มีรายงานการตรวจวิเคราะห์ ปริมาณการได้รับสัมผัสสารหนูอนินทรีย์จากอาหารทะเลในประชากรทั้งหมดของ 19 ประเทศที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.30 - 0.43 µg/kg bw/day และค่า 95th percentile เท่ากับ 0.514 - 0.69 µg/kg bw/day (EFSA, 2009) Yost และคณะ (1998) ศึกษาในประชากรสหรัฐอเมริกาและแคนาดาในช่วงอายุต่างๆ ปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์อยู่ในช่วง 8.3 - 14 µg/day และ 4.8 - 12.7 µg/day ตามลำดับ หรือเท่ากับ 0.138 – 0.233 µg/kg bw/day และ 0.08 – 0.212 µg/kg bw/day ตามลำดับ ในคนหนัก 60 กิโลกรัม ซึ่งปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์มีค่าต่ำกว่าในคนไทยและเป็นปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์จากอาหาร 14 ชนิดที่รวมอาหารทะเลไว้ (ปลาทะเล และกุ้ง) สำหรับในประเทศไทยมีรายการปริมาณการได้รับสัมผัสสารหนูอนินทรีย์จากอาหารโดย Ruangwises และ Saipan (2010) ในพื้นที่ที่มีรายงานการปนเปื้อนสารหนูสูงคือ อ.ร่อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช เท่ากับ 5.54 – 13.3 µg/kg bw/week (0.791 – 1.9 µg/kg bw/day) สำหรับผู้ชาย และ 6.11 – 12.1 µg/kg bw/week (0.873 – 1.729 µg/kg bw/day) สำหรับผู้หญิง แต่วิธีในการเก็บข้อมูลแตกต่างกันคือการศึกษานี้ใช้วิธี Duplicate food โดยตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารหนูอนินทรีย์จากอาหารที่คนกินในแต่ละมื้อต่อเนื่องเป็นเวลา 7 วัน

การแสดงลักษณะเฉพาะของความเสี่ยงของสารหนูอนินทรีย์ของคนไทย ได้จากการนำปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์จากการบริโภคอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลของคนไทยเปรียบเทียบกับค่าความปลอดภัย โดยค่าความปลอดภัยในการศึกษานี้เลือกใช้ค่า 0.3 µg/kg bw/day เนื่องจากพิจารณาทั้งในด้านการเป็นสารก่อมะเร็งของสารหนูอนินทรีย์ ซึ่งสหภาพยุโรปทำการประเมินและกำหนดค่าความปลอดภัยไว้โดยในรูปของ $BMDL_{01}$ เท่ากับ 0.3 - 8 µg/kg bw/day (EU, 2009) และพิจารณาการก่อพิษที่ผิวหนังที่กำหนดไว้โดย U.S. EPA ในรูปของ Reference dose เท่ากับ 0.3 µg/kg bw/day (EPA, 1998) อย่างไรก็ตามความเสี่ยงของคนไทยอาจมีค่าเปลี่ยนแปลงไปถ้าเปรียบเทียบกับค่าความปลอดภัยที่ระดับอื่น เช่นค่าความปลอดภัยขององค์การอนามัยโลกที่กำหนดไว้ในรูปของ $BMDL_{0.5}$ เท่ากับ 2 - 7 µg/kg bw/day จากวิธีการประเมินความเสี่ยงเชิงกำหนด (Deterministic estimates) ปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์มีค่าระหว่าง 0.017 - 0.236 µg/kg bw/day เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความปลอดภัย 0.3 µg/kg

bw/day จึงได้ค่า Hazard quotient ในทุกช่วงอายุของประชากรไทยต่ำกว่า 1 หมายความว่าระดับการปนเปื้อนของสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลยังไม่รุนแรงจนเป็นอันตรายต่อสุขภาพของคนไทย แต่อย่างไรก็ตามประชากรในช่วงอายุ 3-9 ปี มีค่า Hazard quotient สูงกว่าในช่วงอายุอื่น จึงมีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลสูงกว่าช่วงอายุอื่น ซึ่งแตกต่างจากวิธีประเมินความเสี่ยงเชิงความน่าจะเป็นที่มีปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์สูงกว่า โดยมีค่าตั้งแต่ 0.049 ถึง 2.290 µg/kg bw/day สำหรับค่า Hazard quotient ที่ได้ในทุกช่วงอายุของประชากรไทยในช่วงอายุ 3 ปีขึ้นไป มีค่าสูงกว่า 1 ซึ่งหมายความว่าระดับการปนเปื้อนของสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของคนไทย ยกเว้นในช่วงอายุแรกเกิดถึง 3 ปี ที่ค่า Hazard quotient มีค่าต่ำกว่า 1 ซึ่งหมายความว่าประชากรในกลุ่มนี้มีความปลอดภัยจากการบริโภคอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเล เมื่อพิจารณาค่า Hazard quotient ในอาหารทะเลแต่ละชนิด พบว่าค่า Hazard quotient ของหอยแครงและหอยลายมีค่ามากกว่าอาหารชนิดอื่น ดังนั้นหอยแครงและหอยลายจัดเป็นอาหารกลุ่มเสี่ยงของคนไทย การบริโภคหอยแครงและหอยลายในระดับสูงจึงมีความเสี่ยงที่จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพจากการได้รับสารหนูอนินทรีย์ปนเปื้อนสูงกว่าอาหารทะเลชนิดอื่น ประชากรกลุ่มที่มีความเสี่ยงสูงที่สุดจะเป็นช่วงอายุ 3-9 ปี เนื่องจากมีปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์และค่า Hazard quotient สูงกว่าในช่วงอายุอื่น จึงมีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลสูงกว่าช่วงอายุอื่น ผลจากการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity analysis) พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์มากที่สุดสำหรับหอยแครงและหอยลายคือปริมาณการบริโภค ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการบริโภคอาหารดังกล่าวในปริมาณมาก ดังเช่นในประเทศไต้หวันหลังจากทำการประเมินความเสี่ยงสารหนูอนินทรีย์จากการบริโภคหอยนางรม (*Crassostrea gigas*) จึงมีการกำหนดปริมาณการบริโภคหอยนางรมไว้ที่ 1.6 g/day จึงจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค (Liu et al., 2006) หรือต้องมีมาตรการแก้ไขเพื่อลดปริมาณการปนเปื้อน

เมื่อเปรียบเทียบการประเมินความเสี่ยงในทั้ง 2 รูปแบบ วิธีการประเมินความเสี่ยงเชิงกำหนดนี้ เป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและเสียค่าใช้จ่ายไม่มาก แต่เป็นวิธีที่มีความไม่แน่นอนสูงกว่า เนื่องจากการนำค่าเพียงค่าเดียวของแต่ละตัวแปรของการศึกษามาใช้เป็นตัวแทนในการคำนวณปริมาณการได้รับสัมผัส จึงมักนำมาใช้ในการประเมินความเสี่ยงขั้นต้นเพื่อดูแนวโน้มของความเสี่ยงหรือใช้ประเมินในกรณีที่ขาดข้อมูลรายตัวอย่าง สำหรับวิธีการประเมินความเสี่ยงเชิงความน่าจะเป็น (Probabilistic estimates) เป็นวิธีที่ใช้เทคนิคทางสถิติประกอบกับโปรแกรมการประมวลผลเฉพาะที่สามารถประมวลผลจากข้อมูลรายบุคคลหรือรายตัวอย่าง (individual data)

โดยมีหลักการคือตัวแปรทุกตัวในแบบจำลองมีโอกาสที่จะถูกเลือกแบบสุ่ม (random sampling) นำมาสร้างเป็นรูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็น วิธีนี้จะมีความถูกต้องมากกว่าวิธีแรก เนื่องจากผนวกความผันแปรและความไม่แน่นอนของแหล่งข้อมูลเข้าไปด้วย แต่วิธีนี้จำเป็นต้องอาศัยผู้ที่มีความรู้และประสบการณ์ เนื่องจากต้องใช้ร่วมกับโปรแกรม @Risk (Palisade corp.)ในการประเมิน วิธีการประเมินความเสี่ยงเชิงความน่าจะเป็นนี้มีความน่าเชื่อถือกว่าและจะนำมาใช้เมื่อต้องการจัดการความเสี่ยงของสารเคมีและใช้เป็นข้อมูลเมื่อต้องการกำหนดค่าความปลอดภัยของสาร (US. EPA, 1997)

จากผลการวิจัยในครั้งนี้ จะเห็นได้ว่า เมื่อพิจารณาในด้านการก่อมะเร็งและความเป็นพิษที่ผิวหนัง โดยเปรียบเทียบกับค่าความปลอดภัยเท่ากับ 0.3 μg/kg bw/day การประเมินความเสี่ยงในเชิงกำหนด สรุปได้ว่าคนไทยมีความปลอดภัยในบริโภคอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลที่ปนเปื้อนสารหนูอนินทรีย์ แต่การประเมินความเสี่ยงเชิงความน่าจะเป็นสรุปได้ว่าคนไทยในช่วงอายุมากกว่า 3 ปีขึ้นไปมีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการบริโภคอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลที่ปนเปื้อนสารหนูอนินทรีย์ โดยประชากรกลุ่มที่มีความเสี่ยงจากสารหนูอนินทรีย์สูงที่สุดในการศึกษานี้คือเด็กอายุ 3 - 9 ปี เนื่องจากปริมาณการได้รับสารหนูอนินทรีย์สูงเมื่อเทียบกับน้ำหนักตัว อาหารที่เป็นกลุ่มเสี่ยงสำหรับคนไทยคือหอยแครง และหอยลาย อาหารทะเลสดในกลุ่มหอยได้แก่ หอยแครง หอยลาย และหอยแมลงภู่พบการปนเปื้อนสารหนูทั้งหมดและสารหนูอนินทรีย์สูงกว่าอาหารทะเลชนิดอื่นๆ แต่ยังมีค่าไม่เกิน 2 ppm ตามที่กำหนดไว้โดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

- ควรหลีกเลี่ยงการบริโภคอาหารทะเลในกลุ่มหอยในปริมาณมาก เนื่องจากพบว่าการปนเปื้อนของสารหนูอนินทรีย์ในระดับสูง ซึ่งจัดได้ว่าเป็นอาหารกลุ่มเสี่ยงของสารหนูอนินทรีย์สำหรับคนไทย
- ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในด้านประเภทของอาหารที่เป็นกลุ่มเสี่ยงที่อาจต้องโดยการขยายเขตพื้นที่ในการเก็บตัวอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีรายงานการปนเปื้อนสารหนูอนินทรีย์สูง ขยายระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง และทำการประเมินความเสี่ยงในรายชนิดอาหารคือ ปลาทู เนื่องจากมีปริมาณการบริโภคสูงในคนไทย หอยแครงและหอยลาย เนื่องจากผลการประเมินความเสี่ยงถือเป็นอาหารกลุ่มเสี่ยงที่ควรหลีกเลี่ยงการบริโภคในระดับสูง

- ควรมีการสำรวจเพิ่มเติมในหอยชนิดอื่นๆที่มีการบริโภคอย่างแพร่หลายในประเทศเช่น หอยนางรม ซึ่งไม่ได้ทำการตรวจวิเคราะห์ในการศึกษานี้เนื่องจากขาดข้อมูลด้านการบริโภคและจัดว่ามีความน่าสนใจยิ่ง
- การตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูอนินทรีย์ในอาหารถือว่ามีความสำคัญเนื่องจากความเป็นพิษของสารหนูเกิดจากสารหนูอนินทรีย์แต่การตรวจหาปริมาณสารหนูทั้งหมดเพียงอย่างเดียวไม่สามารถบ่งบอกถึงปริมาณสารหนูอนินทรีย์ได้จึงไม่สามารถรับประกันความปลอดภัยต่อผู้บริโภคได้

ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัยนี้ จากการตรวจวิเคราะห์ทั้งปริมาณสารหนูทั้งหมดและสารหนูอนินทรีย์ทำให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ของสารหนูอนินทรีย์ต่อสารหนูทั้งหมดในอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลหลายชนิดเป็นข้อมูลพื้นฐานของประเทศ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในกรณีที่ต้องการประเมินความเสี่ยงสารหนูอนินทรีย์แต่มีเพียงข้อมูลสารหนูทั้งหมด โดยคำนวณปริมาณสารหนูอนินทรีย์จากข้อมูลสารหนูทั้งหมดที่มีจากเปอร์เซ็นต์ที่ได้ในการศึกษานี้ นอกจากนี้ข้อมูลด้านการประเมินความเสี่ยงของสารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลจากงานวิจัยนี้ สามารถนำไปใช้ประกอบการพิจารณากำหนดค่า Maximum permissible concentrations (MPC) ของสารหนูอนินทรีย์ในอาหารที่ใช้ในปัจจุบัน และยังเป็นหลักฐานทางวิทยาศาสตร์สำหรับการส่งออกสินค้าอาหารทะเลไปยังประเทศคู่ค้าที่มีความเข้มงวดอย่างมากในด้านโลหะหนักปนเปื้อนในอาหาร และยังเป็นแนวทางในการจัดการความเสี่ยงของปัญหาการปนเปื้อนสารหนู และใช้ในการสื่อสารความเสี่ยงให้กับผู้ผลิต ผู้บริโภค และหน่วยงานรัฐบาลที่เกี่ยวข้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 1998 (2541). สารหนู. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: บริษัทอินทีเกรเต็ด โปรโมชัน เทคโนโลยี จำกัด. 52 หน้า.

กรมประมง. 2007 (2550). “ปริมาณการจับสัตว์น้ำเค็ม ตารางที่ 2.1 ปริมาณการจับสัตว์น้ำเค็ม จำแนกตามชนิดสัตว์น้ำและแหล่งทำการประมง ปี 2550”. [Online]. Available: http://www.fisheries.go.th/it-stat/

ดานิศ ทวีติยานนท์. 1980 (2523). การศึกษาเพื่อหาปริมาณสารหนูในอาหารทะเลและอวัยวะสุกร. (รายงานการวิจัย) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 17 หน้า.

สถาบันอาหาร. 2009 (2552). “อุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำ”. [Online]. Available: http://fic.nfi.or.th/th/ thaifood/product52-fishery.asp

สมใจ เพ็งปรีชา และ ปารมี เพ็งปรีชา. 2007 (2550). อนุพันธุ์ของสารหนูในผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากอาหารทะเลสด. (รายงานการวิจัย) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 85 หน้า.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 1986 (2529). ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 98 เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน. กรุงเทพมหานคร : กระทรวงสาธารณสุข.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 1988 (2531). พิษวิทยาของสารหนูและประมวลสถานการณ์สารหนูเป็นพิษที่อำเภอร่อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช. กรุงเทพมหานคร : กระทรวงสาธารณสุข.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2003 (2546). ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 273 เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อนฉบับที่ 2. กรุงเทพมหานคร : กระทรวงสาธารณสุข.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2006 (2549). ข้อมูลการบริโภคอาหารของประเทศไทย. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

Agency for toxic substances and disease registry (ATSDR). 2007. 2007 Cercla priority list of hazardous substances that will be the subject of toxicological profiles and support. U.S.Department of health and human services. 44pp.

Borak, J. and Hosgood, H.D. 2007. Seafood arsenic: implications for human risk assessment. Regul. Toxicol. Pharm. 47: 204-212.

Devesa, V., Velez, D. and Montoro, R. 2008. Effect of thermal treatments on arsenic species contents in food. Food Chem. Toxicol. 46: 1-8

Edmonds, J.S. and Francesconi, K.A. 1993. Arsenic in seafoods: human health aspects and regulations. Mar. Pollut. Bull. 26 (12): 665-674.

European food safety authority (EFSA). 2009. Scientific opinion on arsenic in food. EFSA. J. 7 (10): 1351-1354.

Fowler, B.A., Selene, C.H., Chou, J., Jones, R.L. and Chen, C.J. 2007. Chapter 19: arsenic. In : Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. G.F. Nordberg, B.A. Fowler, M. Nordberg and L. Friberg (eds) New York: Academic Press. 367-405.

International Agency for Research on Cancer (IARC). 1987. Summary and evaluation: arsenic and arsenic compound. IARC Monographs Supplement. 7: 100-106.

Li, W., Wei, C., Zhang, C., Hulle, M.V., Cornelis, R. and Zhang, X. 2003. A survey of arsenic species in Chinese seafood. Food Chem. Toxicol. 41: 1103-1110.

Liu, C.W., Liang, C.P., Huang, F.M. and Hsueh, Y.M. 2006. Assessing the human health risks from exposure of inorganic arsenic through oyster (*Crassostrea gigas*) consumption in Taiwan. Sci. Total Environ. 361: 57-66.

Lorenzana, R.M., Yeow, A.Y., Colman, J.T., Chappell, L.L. and Choudhury, H. 2009. Arsenic in seafood: speciation issues for human health risk assessment. Hum. Ecol. Risk. Assess. 15: 185-200.

Man, C.K. and He, X.W. 2000. Arsenic in dried seafood consumed in Hong Kong. J. Radioanal. Nucl. Ch. 246 (1): 157-160.

Mandal, B.K. and Suzuki, K.T. 2002 . Arsenic round the world: a review. Talanta. 58: 201-235.

Munoz, O., Velez, D. and Montoro, R. 1999. Optimization of the solubilization, extraction and determination of inorganic arsenic [As(III) + (As(V)] in seafood products by acid digestion, solvent extraction and hydride generation atomic absorption spectrometry. Analyst 124: 601-607.

Munoz, O., Devesa, V., Suner, M.A., Velez, D., Montoro, R., Urieta, I., Macho, M.L. and Jalon, M. 2000. Total and inorganic arsenic in fresh and processed fish products. J. Agr. Food. Chem. 48: 4369-4376.

Rattanachongkiat, S., Millward, G.E. and Foulkes, M.E. 2004. Determination of arsenic species in fish, crustacean and sediment samples from Thailand using high

performance liquid chromatography (HPLC) coupled with inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). J. Environ. Monitor. 6: 254-261.

Ruangwises, S. and Ruangwises, N. 2011. Concentrations of total and inorganic arsenic in fresh fish, mollusks, and crustaceans from the Gulf of Thailand. J. Food Prot. 74 (3): 450-455.

Ruangwises, S. and Saipan, P. 2010. Dietary intake of total and inorganic arsenic by adults in arsenic-contaminated area of Ron Phibun District, Thailand. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 84: 274-277.

Schoof, R.A., Yost, L.J., Eickhoof, J., Crecelius, E.A., Cragin, D.W., Meacher, D.M. and Menzel, D.B. 1999. A market basket survey of inorganic arsenic in food. Food. Chem. Toxicol. 37: 839-846.

Sharma, V.K. and Sohn, M. 2009. Aquatic arsenic: toxicity, speciation, transformations, and remediation. Environ. Int. 35: 743-759.

Sirot, V., Guerin, T., Volatier, J.L. and Leblac, J.C. 2009. Dietary exposure and biomarkers of arsenic in consumers of fish and shellfish from France. Sci. Total. Environ. 407: 1875-1885.

Tapio, S. and Grosche, B. 2006. Arsenic in the aetiology of cancer. Mutat. Res. 612: 215-246.

United States Environmental protection agency (U.S. EPA). 1986. Guidelines for carcinogen risk assessment. EPA/630/R-00/004.

United States Environmental protection agency (U.S. EPA). 1997. “Policy for use of probabilistic analysis in risk assessment”. [Online]. Available: http://www.epa.gov/stpc/pdfs/probpol.pdf

United States Environmental protection agency (U.S. EPA). 1998. Arsenic, inorganic arsenic. CASRN 7440-38-2.

United States Environmental protection agency (U.S. EPA). 2001. Risk assessment guidance for superfund: Volume III - Part A, Process for conducting probabilistic risk assessment. EPA 540-R-02-002.

World health organization (WHO). 1989. Arsenic. WHO Food Additive Series 24.

World health organization (WHO). 2011. Evaluation of certain contaminants in food. WHO Technical Repoet Series 959.

Yost, L.J., Schoof, R.A. and Aucoin R. 1998. Intake of inorganic arsenic in the North American diet. Hum. Ecol. Risk. Assess. 4 (1): 137-152.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตารางที่ 23 ค่าความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมด สารหนูอนินทรีย์ในอาหารทะเลสดในรูปน้ำหนักแห้ง และเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยเฉลี่ยของตัวอย่างอาหารทะเลสด

อาหารทะเลสด	สารหนูทั้งหมด (μg/g)	สารหนูอนินทรีย์ (μg/g)	% ความชื้น
ปลา			
- ปลาทู (*Rastrelliger brachysoma*)	5.127 ± 3.491 (2.183 - 11.830)	0.220 ± 0.151 (0.091 - 0.471)	77.3
- ปลาซาร์ดีน (*Sardinella gibbosa*)	3.014 ± 0.644 (1.974 – 4.031)	0.159 ± 0.042 (0.090 – 0.211)	80.1
- ปลาโอ (*Thunnus tonggol*)	2.486 ± 1.204 (0034 – 3.735)	0.141 ± 0.071 (0.003 – 0.268)	77.0
- ปลาลิ้นหมา (*Cynoglossus macrolepidotus*)	2.499 ± 0.869 (1.152 – 3.429)	0.115 ± 0.039 (0.059 – 0.170)	77.9
- ปลากะพง (*Lates calcarifer*)	3.113 ± 0.982 (1.262 – 4.612)	0.116 ± 0.035 (0.058 – 0.179)	78.1
กุ้งแชบ๊วย (*Penaeus merguiensis*)	19.502 ± 7.417 (5.173 – 30.564)	0.248 ± 0.064 (0.184 – 0.360)	77.6
ปูม้า (*Portunus pelagicus*)	17.696 ± 7.112 (6.733 – 25.990)	0.247 ± 0.084 (0.161 – 0.454)	78.2
ปลาหมึก			
- หมึกกระดอง (*Sepia pharaonis*)	4.774 ± 2.347 (2.800 – 9.059)	0.208 ± 0.060 (0.140 – 0.320)	76.2
- หมึกกล้วย (*Loligo duvauceli*)	5.424 ± 5.010 (0.626 – 14.783)	0.191 ± 0.071 (0.063 – 0.311)	78.0
หอย			
- หอยแครง (*Anadara granosa*)	25.130 ± 11.950 (6.502 – 40.949)	1.453 ± 0.659 (0.676 – 2.435)	79.6
- หอยแมลงภู่ (*Perna viridis*)	10.839 ± 5.219 (2.309 – 19.661)	0.339 ± 0.200 (0.143 – 0.716)	80.5
- หอยลาย (*Paphia undulata*)	9.464 ± 7.759 (0.115 – 20.631)	0.631 ± 0.529 (0.025 – 1.718)	81.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 24 ค่าความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมด สารหนูอนินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลในรูปน้ำหนักแห้ง และเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยเฉลี่ยของตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารทะเล

ผลิตภัณฑ์อาหารทะเล	สารหนูทั้งหมด (µg/g)	สารหนูอนินทรีย์ (µg/g)	% ความชื้น
ปลากระป๋อง			
- ปลาซาร์ดีนในซอสมะเขือเทศ	3.992 ± 3.308 (0.070 – 7.008)	0.0122 ± 0.0070 (0.0037 – 0.0245)	69.1
- ปลาทูน่ากระป๋อง	4.780 ± 3.436 (0.047 – 9.222)	0.0053 ± 0.0042 (0.0021 – 0.0161)	71.5
- ปลากระป๋องปรุงรส	4.786 ± 2.544 (0.029 – 6.862)	0.0046 ± 0.0028 (0.0011 – 0.0087)	61.3
อาหารทะเลตากแห้ง			
- กุ้งแห้ง	5.502 ± 2.000 (0.294 – 7.486)	0.0110 ± 0.0046 (0.0053 – 0.0186)	-
- ปลาแห้ง	2.638 ± 2.265 (0.058 – 5.744)	0.0043 ± 0.0046 (0.0014 – 0.0172)	-
- ปลาหมึกแห้ง	3.475 ± 3.192 (0.381 – 7.763)	0.0084 ± 0.0099 (0.0021 – 0.0360)	-
- ปลาเค็ม	2.416 ± 2.963 (0.097 – 8.144)	0.0369 ± 0.1006 (0.0012 – 0.323)	59.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 25 ค่าความเข้มข้นรายตัวอย่างของสารหนูทั้งหมด (μg/g) ในอาหารแต่ละชนิด

ปลาทู	ปลาซาร์ดีน	ปลาโอ	ปลาลิ้นหมา	ปลากะพง
0.971	0.484	0.506	0.693	0.639
0.611	0.455	0.674	0.586	0.310
0.628	0.838	0.432	0.218	0.380
1.334	0.668	0.528	0.617	0.705
0.517	0.526	0.304	0.340	0.632
0.643	0.438	0.851	0.702	0.741
2.255	0.581	0.646	0.678	0.871
0.595	0.793	0.696	0.645	0.872
1.063	0.561	0.706	0.653	0.618
2.910	0.658	0.011	0.335	0.997

กุ้งแชบ๊วย	ปูม้า	หมึกกระดอง	หมึกกล้วย
5.717	3.407	0.582	0.526
8.130	2.316	0.714	0.783
2.238	4.256	2.410	0.138
1.314	5.684	0.883	0.273
3.541	1.475	1.260	0.703
3.560	4.550	1.307	0.722
4.524	1.914	0.625	2.560
4.641	5.770	0.911	2.720
4.751	3.781	0.730	2.254
5.076	5.004	2.260	0.735

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอยแครง	หอยแมลงภู่	หอยลาย
1.346	1.835	1.278
4.821	4.227	4.477
1.698	0.469	3.293
6.628	0.910	3.395
6.301	2.727	1.669
9.951	1.582	3.226
2.262	2.220	2.001
5.785	1.598	0.021
7.008	2.755	0.02
6.182	2.884	0.016

ปลาซาร์ดีนในซอสมะเขือเทศ	ปลาทูน่ากระป๋อง	ปลากระป๋องปรุงรส
1.944	1.709	1.701
1.508	1.346	2.744
2.106	1.702	1.74
2.235	3.799	2.304
2.831	2.74	1.749
0.05	1.531	2.122
2.16	1.627	2.621
0.076	0.013	3.003
0.021	0.016	0.011
0.022	0.016	0.063

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กุ้งแห้ง	ปลาแห้ง	ปลาหมึกแห้ง	ปลาเค็ม
7.486	3.118	7.763	2.359
6.868	4.092	5.226	2.23
5.548	4.855	7.721	1.776
6.744	5.744	7.316	3.404
6.208	3.562	0.386	0.101
4.806	4.467	2.872	0.037
5.252	0.058	0.917	0.084
5.639	0.211	1.055	0.131
6.175	0.138	1.113	0.092
0.294	0.137	0.381	0.116

ตารางที่ 26 ค่าความเข้มข้นรายตัวอย่างของสารหนูอนินทรีย์ (µg/g) ในอาหารแต่ละชนิด

ปลาทู	ปลาซาร์ดีน	ปลาโอ	ปลาลิ้นหมา	ปลากะพง
0.041	0.038	0.028	0.026	0.026
0.017	0.018	0.043	0.028	0.021
0.023	0.023	0.026	0.011	0.016
0.084	0.030	0.025	0.032	0.011
0.033	0.024	0.063	0.033	0.029
0.032	0.028	0.034	0.039	0.032
0.102	0.040	0.032	0.038	0.022
0.033	0.045	0.032	0.021	0.034
0.028	0.030	0.024	0.016	0.031
0.100	0.040	0.0009	0.015	0.031

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กุ้งแชบ๊วย	ปูม้า	หมึกกระดอง	หมึกกล้วย
0.070	0.038	0.039	0.040
0.049	0.043	0.036	0.038
0.057	0.034	0.041	0.014
0.050	0.054	0.050	0.035
0.046	0.052	0.038	0.052
0.037	0.040	0.077	0.056
0.041	0.112	0.055	0.047
0.045	0.061	0.066	0.057
0.074	0.060	0.041	0.036
0.085	0.050	0.049	0.038

หอยแครง	หอยแมลงภู่	หอยลาย
0.148	0.072	0.100
0.363	0.111	0.215
0.118	0.030	0.361
0.377	0.026	0.166
0.324	0.082	0.130
0.554	0.038	0.160
0.290	0.038	0.147
0.186	0.033	0.003
0.132	0.133	0.003
0.553	0.088	0.004

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปลาซาร์ดีนในซอสมะเขือเทศ	ปลาทูน่ากระป๋อง	ปลากระป๋องปรุงรส
0.0035	0.0039	0.0024
0.0014	0.0008	0.0015
0.0023	0.0007	0.0024
0.004	0.0017	0.0031
0.004	0.003	0.0016
0.0045	0.0014	0.0004
0.0012	0.0017	0.0008
0.0058	0.0006	0.0015
0.0032	0.0007	0.0008
0.068	0.0006	0.0024

กุ้งแห้ง	ปลาแห้ง	ปลาหมึกแห้ง	ปลาเค็ม
0.0053	0.0172	0.036	0.1428
0.0179	0.0035	0.0073	0.0008
0.0085	0.004	0.0063	0.0041
0.0143	0.002	0.0083	0.0044
0.0082	0.0037	0.0048	0.0009
0.007	0.0014	0.0056	0.0008
0.0074	0.0026	0.0027	0.0005
0.0111	0.0029	0.0038	0.0022
0.0121	0.0033	0.0067	0.0027
0.0186	0.0021	0.0021	0.0009

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การกระจายตัวของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ

ตารางที่ 27 การกระจายตัวของความเข้มข้น (C)

ชนิดอาหาร	การกระจายตัวของ C
ปลาทู	Lognorm(1.5412, 0.021145)
ปลากะพง	Normal(0.0252911, 0.0074708)
ปลาทะเลอื่นๆ	Lognorm(0.0294037, 0.0061326)
กุ้งแชบ๊วย	Extvalue(0.048643, 0.011054)
ปูม้า	Invgauss(0.024445, 0.030135)
ปลาหมึก	Lognorm(0.26123, 0.013042)
หอยแครง	Normal(0.30455, 0.16187)
หอยแมลงภู่	Lognorm(0.051124, 0.11196)
หอยลาย	Lognorm(2506.9, 0.10589)
ปลาซาร์ดีนกระป๋อง	Invgauss(0.0088722, 0.0013915)
ปลาทูน่ากระป๋อง	Extvalue(0.00104772, 0.00069441)
ปลากระป๋องปรุงรส	Normal(0.00169, 0.00087108)
กุ้งแห้ง	Lognorm(0.0081366, 0.0052001)
ปลาแห้ง	Lognorm(0.0029416, 0.0041626)
ปลาหมึกแห้ง	Lognorm(0.006652, 0.010936)
ปลาเค็ม	Invgauss(0.015608, 0.00049717)

ตารางที่ 28 การกระจายตัวของน้ำหนักตัวประชากร

แรกเกิด – 3 ปี	3-9 ปี	9-19 ปี	19 ปี ขึ้นไป
Lognorm(16.451, 3.5707)	Lognorm(12.737, 6.5529)	Lognorm(78.805, 12.427)	Invgauss(67.617, 2427.847)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 29 การกระจายตัวของปริมาณการบริโภค (IR)

	การกระจายตัวของ IR			
ชนิดอาหาร	0-3*	3-9*	9-19*	19 up*
ปลาทู	Extvalue(1.2573, 2.4244)	Lognorm(9.1774, 15.823)	Lognorm(10.429, 16.774)	Lognorm(10.185, 18.084
ปลากะพง	Triang(0.020592, 0, 40.018)	Normal(3.3463, 9.9929)	Triang(0.14234, 0.00012756, 236.3)	Triang(1.0416, 0.002627, 630.09)
ปลาทะเลอื่นๆ		Triang(0, 3.75, 75.016)	Triang(0, 0.94, 90.022)	Triang(0, 0.38, 150.07)
กุ้งแชบ๊วย		Extvalue(0.85613, 2.1608)	Normal(3.1629, 7.6501)	Triang(0, 0.6, 115.22)
ปูม้า		Triang(0, 0.6, 9.6)	Triang(0, 2.4, 76.817)	Triang(0, 0.24, 76.812)
ปลาหมึก	Triang(0, 0.01, 8.0077)	Extvalue(0.99798, 2.0129)	Invgauss(3.8208, 0.10376)	Triang(0, 0.1, 152.02)
หอยแครง		Triang(0, 2, 32)	Triang(0, 1.75, 120)	Triang(0, 1.58, 160)
หอยแมลงภู่		Triang(0, 0.51, 28)	Triang(0, 1.03, 56)	Triang(0, 1, 84)
หอยลาย		Triang(0, 0.5, 32)	Triang(0, 0.75, 70)	Triang(0, 0.7, 96)
ปลาซาร์ดีน กระป๋อง	Triang(0, 0.31, 22.75)	Extvalue(1.7825, 3.5992)	Extvalue(2.7944, 4.8019)	Triang(0, 4.5, 156)
ปลาทูน่า กระป๋อง		Uniform(0, 39.008)	Triang(0, 0.87, 39)	Triang(0, 0.39, 78)
ปลากระป๋อง ปรุงรส		Triang(0, 1.47, 72)	Triang(0, 2.33, 90)	Triang(0, 1.32, 78.75)
กุ้งแห้ง		Triang(0, 0.24, 18)	Triang(0, 0.45, 36)	Triang(0, 0.34, 12)
ปลาแห้ง		Triang(0, 0.26, 20)	Triang(0, 0.38, 20)	Triang(0, 0.38, 32)
ปลาหมึกแห้ง	Uniform(0, 8.0035)	Triang(0, 0.17, 14)	Triang(0, 0.24, 22)	Triang(0, 0.1, 14)
ปลาเค็ม		Triang(0, 0.55, 8)	Triang(0, 0.42, 48)	Triang(0, 0.61, 48)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่า Hazard quotient (HQ) ของอาหารทะเลชนิดต่างๆ ในกลุ่มอายุแรกเกิดถึง 3 ปี

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.000132732	5%	0.000230415
Maximum	26.47499847	10%	0.000387536
Mean	0.060629559	15%	0.000765465
Std Dev	0.392978151	20%	0.001168781
Variance	0.154431827	25%	0.005144424
Skewness	10.79007657	30%	0.009457923
Kurtosis	3266.18097	35%	0.013584195
Median	0.027176242	40%	0.017892408
Mode	0.003196126	45%	0.022589533
Left X	0.000230415	50%	0.027176242
Left P	5%	55%	0.032662917
Right X	0.221593946	60%	0.039082061
Right P	95%	65%	0.046437796
Diff X	0.244635403	70%	0.055619404
Diff P	90%	75%	0.066736259
#Errors	0	80%	0.081502341
Filter Min		85%	0.105541393
Filter Max		90%	0.138986155
#Filtered	0	95%	0.221593946

รูปที่ 8 HQ ของปลาทู

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	-0.02818764	5%	0.007167818
Maximum	6.509225368	10%	0.015640061
Mean	0.129812773	15%	0.024219118
Std Dev	0.14039648	20%	0.032844219
Variance	0.019711172	25%	0.041937016
Skewness	11.21159113	30%	0.051073555
Kurtosis	438.9514722	35%	0.060358789
Median	0.09465605	40%	0.070852757
Mode	0.006443321	45%	0.082488567
Left X	0.007167818	50%	0.09465605
Left P	5%	55%	0.108038232
Right X	0.364106894	60%	0.122915141
Right P	95%	65%	0.138804302
Diff X	0.356939075	70%	0.158878237
Diff P	90%	75%	0.178613782
#Errors	0	80%	0.205678657
Filter Min		85%	0.237374455
Filter Max		90%	0.283466309
#Filtered	0	95%	0.364106894

รูปที่ 9 HQ ของปลากะพง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.000766838	5%	0.001147315
Maximum	1.425118089	10%	0.003943658
Mean	0.045196162	15%	0.007111468
Std Dev	0.048865384	20%	0.010140114
Variance	0.002387826	25%	0.013319161
Skewness	5.127711857	30%	0.016876599
Kurtosis	87.75621003	35%	0.020447554
Median	0.03265141	40%	0.024044413
Mode	0.003141805	45%	0.028450403
Left X	0.001147315	50%	0.03265141
Left P	5%	55%	0.037282508
Right X	0.129654393	60%	0.042678118
Right P	95%	65%	0.048485518
Diff X	0.128507078	70%	0.054505013
Diff P	90%	75%	0.062212016
#Errors	0	80%	0.071319059
Filter Min		85%	0.083064437
Filter Max		90%	0.099932417
#Filtered	0	95%	0.129654393

รูปที่ 10 HQ ของปลาหมึก

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	6.30331E-06	5%	9.99748E-06
Maximum	0.799509287	10%	1.32E-05
Mean	0.006392851	15%	2.03E-05
Std Dev	0.025333742	20%	2.63591E-05
Variance	0.000641798	25%	0.00027827
Skewness	11.91532173	30%	0.000518599
Kurtosis	231.7512526	35%	0.000740785
Median	0.001580146	40%	0.000993179
Mode	0.000721794	45%	0.001278177
Left X	9.99748E-06	50%	0.001580146
Left P	5%	55%	0.001940832
Right X	0.027311174	60%	0.002381839
Right P	95%	65%	0.002910082
Diff X	0.029310922	70%	0.003641244
Diff P	90%	75%	0.004620684
#Errors	0	80%	0.006065513
Filter Min		85%	0.00838857
Filter Max		90%	0.013354321
#Filtered	0	95%	0.027311174

รูปที่ 11 HQ ของปลากระป๋อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	3.78E-06	5%	0.000649263
Maximum	0.609141767	10%	0.001254573
Mean	0.013030677	15%	0.001910109
Std Dev	0.023220334	20%	0.002534297
Variance	0.000539184	25%	0.00315995
Skewness	8.169160996	30%	0.003788061
Kurtosis	118.3401918	35%	0.004405911
Median	0.006838348	40%	0.005179848
Mode	0.003838868	45%	0.005929945
Left X	0.000649263	50%	0.006838348
Left P	5%	55%	0.007783751
Right X	0.044438425	60%	0.008893305
Right P	95%	65%	0.010305711
Diff X	0.043789162	70%	0.011886806
Diff P	90%	75%	0.01412634
#Errors	0	80%	0.017014042
Filter Min		85%	0.021275686
Filter Max		90%	0.028248888
#Filtered	0	95%	0.044438425

รูปที่ 12 HQ ของปลาหมึกแห้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่า Hazard quotient (HQ) ของอาหารทะเลชนิดต่างๆ ในกลุ่มอายุ 3 – 9 ปี

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.000969019	5%	0.001487597
Maximum	47.43088531	10%	0.003668749
Mean	0.099425103	15%	0.005691505
Std Dev	0.588518721	20%	0.00790534
Variance	0.346354285	25%	0.010363858
Skewness	55.82398388	30%	0.013044719
Kurtosis	4247.072891	35%	0.015949035
Median	0.028901979	40%	0.019521846
Mode	0.003864794	45%	0.02396464
Left X	0.001487597	50%	0.028901979
Left P	5%	55%	0.034501385
Right X	0.32942307	60%	0.041300505
Right P	95%	65%	0.049933553
Diff X	0.327935473	70%	0.060517237
Diff P	90%	75%	0.07572671
#Errors	0	80%	0.09775088
Filter Min		85%	0.129855976
Filter Max		90%	0.18639943
#Filtered	0	95%	0.32942307

รูปที่ 13 HQ ของปลาทู

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.000216834	5%	0.000594902
Maximum	0.329511672	10%	0.000918213
Mean	0.015068831	15%	0.000965313
Std Dev	0.048138813	20%	0.000976095
Variance	0.002317345	25%	0.001276844
Skewness	0.336345909	30%	0.002641625
Kurtosis	4.725343732	35%	0.003183294
Median	0.012272877	40%	0.004904268
Mode	0.00625447	45%	0.007655684
Left X	0.000594902	50%	0.012272877
Left P	5%	55%	0.017372094
Right X	0.098464422	60%	0.02250549
Right P	95%	65%	0.027627518
Diff X	0.157954589	70%	0.033785954
Diff P	90%	75%	0.040821381
#Errors	0	80%	0.049048662
Filter Min		85%	0.059727818
Filter Max		90%	0.073588423
#Filtered	0	95%	0.098464422

รูปที่ 14 HQ ของปลากะพง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.000186275	5%	0.000315955
Maximum	0.953954458	10%	0.007351439
Mean	0.123402655	15%	0.015521171
Std Dev	0.11957019	20%	0.024692209
Variance	0.01429703	25%	0.033989526
Skewness	1.528045326	30%	0.043576032
Kurtosis	6.111980074	35%	0.054290213
Median	0.090349592	40%	0.064840756
Mode	0.00337955	45%	0.076460272
Left X	-0.00031596	50%	0.090349592
Left P	5%	55%	0.104035184
Right X	0.364587098	60%	0.12027362
Right P	95%	65%	0.138119251
Diff X	0.364903054	70%	0.156449348
Diff P	90%	75%	0.177962795
#Errors	0	80%	0.206563011
Filter Min		85%	0.242077768
Filter Max		90%	0.287874311
#Filtered	0	95%	0.364587098

รูปที่ 15 HQ ของปลาทะเลอื่นๆ

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.00076991	5%	0.000439499
Maximum	0.23863481	10%	0.000561896
Mean	0.020204904	15%	0.000788395
Std Dev	0.029332744	20%	0.000976299
Variance	0.00086041	25%	0.001198143
Skewness	1.681033206	30%	0.003760245
Kurtosis	8.313718692	35%	0.00644314
Median	0.013976982	40%	0.008839999
Mode	0.006660713	45%	0.011337178
Left X	0.001439499	50%	0.013976982
Left P	5%	55%	0.016867472
Right X	0.07448253	60%	0.02006842
Right P	95%	65%	0.023553284
Diff X	0.088877523	70%	0.027751608
Diff P	90%	75%	0.03249345
#Errors	0	80%	0.038686395
Filter Min		85%	0.045648079
Filter Max		90%	0.05662911
#Filtered	0	95%	0.07448253

รูปที่ 16 HQ ของกุ้งแชบ๊วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.0012653	5%	0.006747046
Maximum	2.364630699	10%	0.007024162
Mean	0.175919562	15%	0.02022084
Std Dev	0.181822195	20%	0.034113329
Variance	0.033059311	25%	0.048761498
Skewness	2.326985833	30%	0.062629886
Kurtosis	13.98074918	35%	0.07866396
Median	0.131317884	40%	0.094836421
Mode	0.006006644	45%	0.112439908
Left X	0.007470456	50%	0.131317884
Left P	5%	55%	0.150103226
Right X	0.5080477	60%	0.170588836
Right P	95%	65%	0.194470793
Diff X	0.515518156	70%	0.222137272
Diff P	90%	75%	0.252153754
#Errors	0	80%	0.288599789
Filter Min		85%	0.330503732
Filter Max		90%	0.396124899
#Filtered	0	95%	0.5080477

รูปที่ 17 HQ ของปูม้า

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	5.217E-05	5%	0.000108607
Maximum	0.461872816	10%	0.000113897
Mean	0.017081821	15%	0.000170175
Std Dev	0.023164308	20%	0.000286604
Variance	0.000536585	25%	0.00222124
Skewness	2.357356091	30%	0.004180981
Kurtosis	21.7603505	35%	0.006063387
Median	0.011911747	40%	0.007948225
Mode	0.009167422	45%	0.009670628
Left X	9.18654E-05	50%	0.011911747
Left P	5%	55%	0.014176123
Right X	0.059965711	60%	0.016698394
Right P	95%	65%	0.019394143
Diff X	0.069152247	70%	0.02272954
Diff P	90%	75%	0.026386503
#Errors	0	80%	0.030816715
Filter Min		85%	0.036556788
Filter Max		90%	0.045556523
#Filtered	0	95%	0.059965711

รูปที่ 18 HQ ของปลาหมึก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.009304836	5%	0.016383998
Maximum	8.635548592	10%	0.070054308
Mean	1.067736945	15%	0.130000859
Std Dev	1.109921871	20%	0.196397245
Variance	1.231926559	25%	0.272169799
Skewness	1.716338234	30%	0.352418453
Kurtosis	6.961460462	35%	0.433591306
Median	0.727429032	40%	0.513003409
Mode	0.003361537	45%	0.611031055
Left X	0.016383998	50%	0.727429032
Left P	5%	55%	0.847279012
Right X	3.314181089	60%	0.981863201
Right P	95%	65%	1.13850975
Diff X	3.297797091	70%	1.31895411
Diff P	90%	75%	1.525561213
#Errors	0	80%	1.777925253
Filter Min		85%	2.130701303
Filter Max		90%	2.560258627
#Filtered	0	95%	3.314181089

รูปที่ 19 HQ ของหอยแครง

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.002084146	5%	0.007803014
Maximum	11.89396191	10%	0.016093202
Mean	0.185274032	15%	0.025165265
Std Dev	0.361854072	20%	0.034988906
Variance	0.130938369	25%	0.04474302
Skewness	12.3662265	30%	0.054815583
Kurtosis	279.2734758	35%	0.064554684
Median	0.101685397	40%	0.076235972
Mode	0.002237267	45%	0.087941609
Left X	0.007803014	50%	0.101685397
Left P	5%	55%	0.116628841
Right X	0.593846023	60%	0.132141352
Right P	95%	65%	0.150895402
Diff X	0.58604301	70%	0.172589615
Diff P	90%	75%	0.199500501
#Errors	0	80%	0.236679286
Filter Min		85%	0.290738285
Filter Max		90%	0.383622408
#Filtered	0	95%	0.593846023

รูปที่ 20 HQ ของหอยแมลงภู่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.00985803	5%	0.012000901
Maximum	5.913547039	10%	0.048054505
Mean	0.695953317	15%	0.087146915
Std Dev	0.710866635	20%	0.132108644
Variance	0.505331372	25%	0.178966403
Skewness	1.712716414	30%	0.2284704
Kurtosis	7.270683606	35%	0.285053194
Median	0.480702549	40%	0.33750841
Mode	0.002507814	45%	0.407685935
Left X	0.012000901	50%	0.480702549
Left P	5%	55%	0.561750054
Right X	2.084811211	60%	0.660085559
Right P	95%	65%	0.758633554
Diff X	2.07281031	70%	0.870904744
Diff P	90%	75%	0.995739937
#Errors	0	80%	1.166428685
Filter Min		85%	1.389875293
Filter Max		90%	1.658268571
#Filtered	0	95%	2.084811211

รูปที่ 21 HQ ของหอยลาย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	1.17579E-05	5%	1.23019E-05
Maximum	0.821655393	10%	1.6828E-05
Mean	0.00671891	15%	2.43042E-05
Std Dev	0.025055572	20%	3.07272E-05
Variance	0.000627782	25%	0.00028129
Skewness	11.83299073	30%	0.000517821
Kurtosis	242.6188641	35%	0.000747273
Median	0.001588442	40%	0.000993337
Mode	0.000582991	45%	0.001286476
Left X	1.23019E-05	50%	0.001588442
Left P	5%	55%	0.001929648
Right X	0.028638514	60%	0.002381827
Right P	95%	65%	0.002961136
Diff X	0.030477744	70%	0.003679411
Diff P	90%	75%	0.004727908
#Errors	0	80%	0.006331897
Filter Min		85%	0.009127682
Filter Max		90%	0.014299604
#Filtered	0	95%	0.028638514

รูปที่ 22 HQ ของปลาซาร์ดีนกระป๋อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.000138743	5%	0.000211391
Maximum	0.049279794	10%	0.000494792
Mean	0.004936714	15%	0.000807498
Std Dev	0.004924489	20%	0.00113907
Variance	2.42506E-05	25%	0.001485834
Skewness	2.136088472	30%	0.001846548
Kurtosis	10.29397196	35%	0.00222561
Median	0.003534918	40%	0.002610719
Mode	0.00023448	45%	0.003074056
Left X	0.000211391	50%	0.003534918
Left P	5%	55%	0.004061616
Right X	0.014532128	60%	0.004595004
Right P	95%	65%	0.00521873
Diff X	0.014320737	70%	0.005939459
Diff P	90%	75%	0.006808176
#Errors	0	80%	0.00793217
Filter Min		85%	0.009175745
Filter Max		90%	0.011059326
#Filtered	0	95%	0.014532128

รูปที่ 23 HQ ของปลาทูน่ากระป๋อง

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	9.89301E-05	5%	0.000131192
Maximum	0.066642836	10%	0.000479513
Mean	0.007120052	15%	0.000892133
Std Dev	0.007251521	20%	0.001336837
Variance	5.25846E-05	25%	0.001822645
Skewness	1.691840826	30%	0.00238357
Kurtosis	6.844292647	35%	0.00296767
Median	0.004975583	40%	0.003577787
Mode	0.000103506	45%	0.004238851
Left X	0.000131192	50%	0.004975583
Left P	5%	55%	0.005757097
Right X	0.021464717	60%	0.006652312
Right P	95%	65%	0.007674289
Diff X	0.021333525	70%	0.008787912
Diff P	90%	75%	0.010218453
#Errors	0	80%	0.011864412
Filter Min		85%	0.01399724
Filter Max		90%	0.016980471
#Filtered	0	95%	0.021464717

รูปที่ 24 HQ ของปลากระป๋องปรุงรส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	2.9218E-05	5%	0.000660782
Maximum	0.102252662	10%	0.001403443
Mean	0.011683498	15%	0.002160968
Std Dev	0.011422277	20%	0.002936634
Variance	0.000130468	25%	0.00375536
Skewness	2.235352476	30%	0.004602463
Kurtosis	10.90028519	35%	0.005473788
Median	0.008470976	40%	0.00649669
Mode	0.001207895	45%	0.007478823
Left X	0.000660782	50%	0.008470976
Left P	5%	55%	0.009645595
Right X	0.033340629	60%	0.010956882
Right P	95%	65%	0.012387707
Diff X	0.032679848	70%	0.013989167
Diff P	90%	75%	0.015841959
#Errors	0	80%	0.018150188
Filter Min		85%	0.021173153
Filter Max		90%	0.025788568
#Filtered	0	95%	0.033340629

รูปที่ 25 HQ ของกุ้งแห้ง

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	1.33E-06	5%	0.000231653
Maximum	0.203216136	10%	0.000466311
Mean	0.004887293	15%	0.000704093
Std Dev	0.007864273	20%	0.000957533
Variance	6.18468E-05	25%	0.001226392
Skewness	8.987477871	30%	0.001499941
Kurtosis	148.1707643	35%	0.001797193
Median	0.002862087	40%	0.002125886
Mode	0.000878085	45%	0.002473852
Left X	0.000231653	50%	0.002862087
Left P	5%	55%	0.003291568
Right X	0.015571048	60%	0.003748055
Right P	95%	65%	0.004304067
Diff X	0.015339395	70%	0.004960164
Diff P	90%	75%	0.005851525
#Errors	0	80%	0.006885286
Filter Min		85%	0.008311371
Filter Max		90%	0.010720104
#Filtered	0	95%	0.015571048

รูปที่ 26 HQ ของปลาแห้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	1.13653E-05	5%	0.000261833
Maximum	0.271983057	10%	0.000538469
Mean	0.00684657	15%	0.000818967
Std Dev	0.011608639	20%	0.001137073
Variance	0.00013476	25%	0.001457701
Skewness	7.560725633	30%	0.001800351
Kurtosis	106.8012468	35%	0.002180046
Median	0.003552082	40%	0.00258593
Mode	0.000456696	45%	0.003020706
Left X	0.000261833	50%	0.003552082
Left P	5%	55%	0.004117528
Right X	0.024128919	60%	0.004784219
Right P	95%	65%	0.005537223
Diff X	0.023867086	70%	0.006518761
Diff P	90%	75%	0.007692911
#Errors	0	80%	0.009319917
Filter Min		85%	0.011657313
Filter Max		90%	0.01555526
#Filtered	0	95%	0.024128919

รูปที่ 27 HQ ของปลาหมึกแห้ง

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	5.58526E-06	5%	7.72891E-05
Maximum	4.024944782	10%	0.000218516
Mean	0.02256864	15%	0.00037004
Std Dev	0.14047511	20%	0.000520977
Variance	0.019733256	25%	0.000682322
Skewness	15.96349343	30%	0.000870806
Kurtosis	338.9022544	35%	0.001057733
Median	0.00180342	40%	0.001280031
Mode	8.76699E-05	45%	0.001527044
Left X	7.72891E-05	50%	0.00180342
Left P	5%	55%	0.002124232
Right X	0.06885685	60%	0.002594339
Right P	95%	65%	0.00320864
Diff X	0.068779561	70%	0.004140501
Diff P	90%	75%	0.005746799
#Errors	0	80%	0.008231656
Filter Min		85%	0.012768893
Filter Max		90%	0.023789635
#Filtered	0	95%	0.06885685

รูปที่ 28 HQ ของปลาเค็ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่า Hazard quotient (HQ) ของอาหารทะเลชนิดต่างๆ ในกลุ่มอายุ 9 -19 ปี

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	-5.38026142	5%	0.000759483
Maximum	21.77442169	10%	0.001788705
Mean	0.049629144	15%	0.002849955
Std Dev	0.294980975	20%	0.004020039
Variance	0.087013776	25%	0.005292334
Skewness	44.79902679	30%	0.006677328
Kurtosis	3062.940341	35%	0.008251517
Median	0.014427171	40%	0.009962334
Mode	0.002293946	45%	0.012092379
Left X	0.000759483	50%	0.014427171
Left P	5%	55%	0.017101578
Right X	0.163413256	60%	0.020471776
Right P	95%	65%	0.024871789
Diff X	0.162653774	70%	0.030231239
Diff P	90%	75%	0.03778778
#Errors	0	80%	0.047496688
Filter Min		85%	0.064006865
Filter Max		90%	0.092152588
#Filtered	0	95%	0.163413256

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	-0.0231028	5%	0.009586718
Maximum	1.357268453	10%	0.018800166
Mean	0.147927818	15%	0.028840892
Std Dev	0.128831517	20%	0.038923774
Variance	0.01659756	25%	0.050040901
Skewness	1.592706129	30%	0.061513737
Kurtosis	7.311202698	35%	0.073613711
Median	0.114778295	40%	0.086728819
Mode	0.025788021	45%	0.100301623
Left X	0.009586718	50%	0.114778295
Left P	5%	55%	0.129945368
Right X	0.395154297	60%	0.148209602
Right P	95%	65%	0.165836871
Diff X	0.385567579	70%	0.188243166
Diff P	90%	75%	0.211729705
#Errors	0	80%	0.238325819
Filter Min		85%	0.274569929
Filter Max		90%	0.319561779
#Filtered	0	95%	0.395154297

รูปที่ 29 HQ ของปลาทู

รูปที่ 30 HQ ของปลากะพง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.000115268	5%	0.000862342
Maximum	0.721655786	10%	0.001017865
Mean	0.060371425	15%	0.005240014
Std Dev	0.062370746	20%	0.009723498
Variance	0.00389011	25%	0.014500995
Skewness	1.709359342	30%	0.019812901
Kurtosis	7.967926913	35%	0.024850626
Median	0.043596808	40%	0.030679787
Mode	0.003063821	45%	0.036994755
Left X	0.000386235	50%	0.043596808
Left P	5%	55%	0.050526593
Right X	0.18265909	60%	0.058877919
Right P	95%	65%	0.067706794
Diff X	0.186521435	70%	0.078495085
Diff P	90%	75%	0.089170977
#Errors	0	80%	0.102336243
Filter Min		85%	0.119114041
Filter Max		90%	0.141832024
#Filtered	0	95%	0.18265909

รูปที่ 31 HQ ของปลาทะเลอื่นๆ

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.000117638	5%	0.000125688
Maximum	0.212994188	10%	0.000157501
Mean	0.013154566	15%	0.000230768
Std Dev	0.033901088	20%	0.000380105
Variance	0.001149284	25%	0.000540773
Skewness	0.281127968	30%	0.000632306
Kurtosis	5.116877389	35%	0.000742826
Median	0.011282708	40%	0.004351893
Mode	0.00746404	45%	0.007784462
Left X	0.000175688	50%	0.011282708
Left P	5%	55%	0.014837865
Right X	0.070928641	60%	0.018634435
Right P	95%	65%	0.022633981
Diff X	0.108497407	70%	0.026853707
Diff P	90%	75%	0.032022443
#Errors	0	80%	0.037857853
Filter Min		85%	0.044269104
Filter Max		90%	0.054388974
#Filtered	0	95%	0.070928641

รูปที่ 32 HQ ของปลากุ้งแชบ๊วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.000146742	5%	0.006346499
Maximum	3.746308327	10%	0.013267951
Mean	0.104063178	15%	0.020419735
Std Dev	0.104695058	20%	0.028099345
Variance	0.010961055	25%	0.035247911
Skewness	6.096635201	30%	0.042796381
Kurtosis	156.2825077	35%	0.051027648
Median	0.077978604	40%	0.060110919
Mode	0.033303091	45%	0.068822816
Left X	0.006346499	50%	0.077978604
Left P	5%	55%	0.088403642
Right X	0.28932479	60%	0.09977141
Right P	95%	65%	0.110837072
Diff X	0.282978291	70%	0.125007212
Diff P	90%	75%	0.141507491
#Errors	0	80%	0.159686685
Filter Min		85%	0.185783133
Filter Max		90%	0.22094579
#Filtered	0	95%	0.28932479

รูปที่ 33 HQ ของปูม้า

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	1.06861E-05	5%	1.15961E-05
Maximum	11.90019798	10%	1.26612E-05
Mean	0.012906147	15%	4.35925E-05
Std Dev	0.137278722	20%	8.17313E-05
Variance	0.018845448	25%	0.000126414
Skewness	66.96442282	30%	0.000183361
Kurtosis	5650.742554	35%	0.000245861
Median	0.000567258	40%	0.000331376
Mode	2.80746E-05	45%	0.000429071
Left X	1.25E-05	50%	0.000567258
Left P	5%	55%	0.000747725
Right X	0.039909944	60%	0.000997059
Right P	95%	65%	0.001331545
Diff X	0.03992954	70%	0.001840336
Diff P	90%	75%	0.002663952
#Errors	0	80%	0.004095215
Filter Min		85%	0.007025488
Filter Max		90%	0.013524937
#Filtered	0	95%	0.039909944

รูปที่ 34 HQ ของปลาหมึก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.012334249	5%	0.014379729
Maximum	8.946450233	10%	0.061296657
Mean	0.908034509	15%	0.109560832
Std Dev	0.952129852	20%	0.171067894
Variance	0.906551255	25%	0.228059664
Skewness	1.888818245	30%	0.29598543
Kurtosis	8.338055529	35%	0.367248982
Median	0.628031135	40%	0.442610234
Mode	0.010804857	45%	0.53153491
Left X	0.014379729	50%	0.628031135
Left P	5%	55%	0.726319373
Right X	2.798951149	60%	0.83950299
Right P	95%	65%	0.971737981
Diff X	2.78457142	70%	1.124189377
Diff P	90%	75%	1.297226071
#Errors	0	80%	1.494616032
Filter Min		85%	1.777035356
Filter Max		90%	2.168126106
#Filtered	0	95%	2.798951149

รูปที่ 35 HQ ของหอยแครง

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.00280114	5%	0.004622214
Maximum	7.505680084	10%	0.009170079
Mean	0.105768403	15%	0.014095594
Std Dev	0.200581508	20%	0.019576231
Variance	0.040232941	25%	0.024874995
Skewness	11.36358899	30%	0.030812176
Kurtosis	260.5427237	35%	0.036738034
Median	0.057036679	40%	0.042902548
Mode	0.006040593	45%	0.049777027
Left X	0.004622214	50%	0.057036679
Left P	5%	55%	0.065241888
Right X	0.343721956	60%	0.074607588
Right P	95%	65%	0.085901923
Diff X	0.339099742	70%	0.098714605
Diff P	90%	75%	0.115814939
#Errors	0	80%	0.137967572
Filter Min		85%	0.169366851
Filter Max		90%	0.224298686
#Filtered	0	95%	0.343721956

รูปที่ 36 HQ ของหอยแมลงภู่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.003207016	5%	0.00574529
Maximum	3.43803072	10%	0.023518521
Mean	0.347635113	15%	0.042601071
Std Dev	0.357843746	20%	0.065240413
Variance	0.128052146	25%	0.089269616
Skewness	1.837402167	30%	0.114895754
Kurtosis	8.154714485	35%	0.14096579
Median	0.240571916	40%	0.170799926
Mode	0.001287467	45%	0.204865038
Left X	0.00574529	50%	0.240571916
Left P	5%	55%	0.282435834
Right X	1.049774408	60%	0.3274979
Right P	95%	65%	0.378836334
Diff X	1.044029118	70%	0.436823815
Diff P	90%	75%	0.503054142
#Errors	0	80%	0.579309106
Filter Min		85%	0.678133845
Filter Max		90%	0.81367141
#Filtered	0	95%	1.049774408

รูปที่ 37 HQ ของหอยลาย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	1.04997E-05	5%	1.80174E-05
Maximum	0.760793507	10%	2.72901E-05
Mean	0.004097551	15%	5.42674E-05
Std Dev	0.017209882	20%	9.55109E-05
Variance	0.00029618	25%	0.000234916
Skewness	17.92355244	30%	0.000361423
Kurtosis	555.5959229	35%	0.000502811
Median	0.000997287	40%	0.000643025
Mode	0.000199495	45%	0.00080688
Left X	1.80174E-05	50%	0.000997287
Left P	5%	55%	0.001205388
Right X	0.016981222	60%	0.001460614
Right P	95%	65%	0.001807393
Diff X	0.017782959	70%	0.002248844
Diff P	90%	75%	0.002918346
#Errors	0	80%	0.003932044
Filter Min		85%	0.005639663
Filter Max		90%	0.00904582
#Filtered	0	95%	0.016981222

รูปที่ 38 HQ ของปลาซาร์ดีนกระป๋อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.000198869	5%	4.64612E-05
Maximum	0.029857362	10%	8.02703E-05
Mean	0.002628718	15%	0.00022716
Std Dev	0.003076069	20%	0.00038026
Variance	9.4622E-06	25%	0.000547478
Skewness	2.347016815	30%	0.000741083
Kurtosis	11.34865134	35%	0.000924894
Median	0.00162199	40%	0.001146535
Mode	1.50337E-05	45%	0.001370206
Left X	4.64612E-05	50%	0.00162199
Left P	5%	55%	0.00192295
Right X	0.008700665	60%	0.002267695
Right P	95%	65%	0.002646573
Diff X	0.008747126	70%	0.00310689
Diff P	90%	75%	0.00365429
#Errors	0	80%	0.004324906
Filter Min		85%	0.005199963
Filter Max		90%	0.006463138
#Filtered	0	95%	0.008700665

รูปที่ 39 HQ ของปลาทูน่ากระป๋อง

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	2.3105E-05	5%	5.28136E-05
Maximum	0.039945494	10%	0.000124031
Mean	0.003635747	15%	0.00033382
Std Dev	0.003935278	20%	0.000581744
Variance	1.54864E-05	25%	0.000826054
Skewness	2.007028815	30%	0.001090044
Kurtosis	9.683882347	35%	0.001408837
Median	0.002484108	40%	0.001730672
Mode	5.42965E-06	45%	0.002075686
Left X	5.28136E-05	50%	0.002484108
Left P	5%	55%	0.002899803
Right X	0.011350526	60%	0.00338802
Right P	95%	65%	0.003894049
Diff X	0.01140334	70%	0.00450842
Diff P	90%	75%	0.00524714
#Errors	0	80%	0.006096861
Filter Min		85%	0.007163329
Filter Max		90%	0.008670758
#Filtered	0	95%	0.011350526

รูปที่ 40 HQ ของปลากระป๋องปรุงรส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	3.27519E-05	5%	0.000601969
Maximum	0.159347177	10%	0.001243916
Mean	0.009867051	15%	0.00185811
Std Dev	0.009786673	20%	0.002562144
Variance	9.5779E-05	25%	0.003244085
Skewness	2.706577751	30%	0.003922313
Kurtosis	18.31360761	35%	0.00466029
Median	0.007262643	40%	0.005542048
Mode	0.000660976	45%	0.006364803
Left X	0.000601969	50%	0.007262643
Left P	5%	55%	0.008251628
Right X	0.02805678	60%	0.009282657
Right P	95%	65%	0.010409257
Diff X	0.027454811	70%	0.011719652
Diff P	90%	75%	0.013313203
#Errors	0	80%	0.015123196
Filter Min		85%	0.017647419
Filter Max		90%	0.021105699
#Filtered	0	95%	0.02805678

รูปที่ 41 HQ ของกุ้งแห้ง

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	1.48E-06	5%	0.000102136
Maximum	0.07051231	10%	0.000204268
Mean	0.002025029	15%	0.000308118
Std Dev	0.00292821	20%	0.000416377
Variance	8.57442E-06	25%	0.000531351
Skewness	6.503743598	30%	0.000654853
Kurtosis	87.01361032	35%	0.000781709
Median	0.001218804	40%	0.000924828
Mode	0.000110025	45%	0.001071858
Left X	0.000102136	50%	0.001218804
Left P	5%	55%	0.001383206
Right X	0.006387088	60%	0.001583036
Right P	95%	65%	0.001807323
Diff X	0.006284953	70%	0.002073618
Diff P	90%	75%	0.002416456
#Errors	0	80%	0.002850702
Filter Min		85%	0.003474509
Filter Max		90%	0.004400177
#Filtered	0	95%	0.006387088

รูปที่ 42 HQ ของปลาแห้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	7.32336E-05	5%	0.000116131
Maximum	0.404707849	10%	0.00030802
Mean	0.004531156	15%	0.00050492
Std Dev	0.008620561	20%	0.000733216
Variance	7.43141E-05	25%	0.000951809
Skewness	14.92258549	30%	0.001194058
Kurtosis	526.1885066	35%	0.001452357
Median	0.002330894	40%	0.001721799
Mode	0.000361998	45%	0.0020215
Left X	0.000116131	50%	0.002330894
Left P	5%	55%	0.002661897
Right X	0.01591512	60%	0.003090031
Right P	95%	65%	0.003571148
Diff X	0.015798989	70%	0.004134485
Diff P	90%	75%	0.004935731
#Errors	0	80%	0.005975691
Filter Min		85%	0.007620274
Filter Max		90%	0.010277649
#Filtered	0	95%	0.01591512

รูปที่ 43 HQ ของปลาหมึกแห้ง

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	4.11E-06	5%	0.000104667
Maximum	15.43566608	10%	0.000215401
Mean	0.019800551	15%	0.000335029
Std Dev	0.187110131	20%	0.000452076
Variance	0.035010201	25%	0.00057523
Skewness	58.6821386	30%	0.000719081
Kurtosis	4644.179953	35%	0.000873264
Median	0.001498843	40%	0.001038668
Mode	0.000136389	45%	0.001239837
Left X	0.000104667	50%	0.001498843
Left P	5%	55%	0.001798711
Right X	0.055809114	60%	0.002201512
Right P	95%	65%	0.00272643
Diff X	0.055704447	70%	0.003500908
Diff P	90%	75%	0.004731007
#Errors	0	80%	0.006846392
Filter Min		85%	0.010718899
Filter Max		90%	0.020802179
#Filtered	0	95%	0.055809114

รูปที่ 44 HQ ของปลาเค็ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่า Hazard quotient (HQ) ของอาหารทะเลชนิดต่าง ๆ ในกลุ่มอายุ 19 ปีขึ้นไป

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	-0.00620036	5%	0.000505366
Maximum	36.62294769	10%	0.00128887
Mean	0.043340145	15%	0.002020513
Std Dev	0.48872037	20%	0.00287263
Variance	0.2388476	25%	0.003819095
Skewness	62.41314833	30%	0.004866924
Kurtosis	4293.952381	35%	0.005940387
Median	0.01076308	40%	0.007275808
Mode	0.000562329	45%	0.008962771
Left X	0.000505366	50%	0.01076308
Left P	5%	55%	0.0129542
Right X	0.126580298	60%	0.015559761
Right P	95%	65%	0.018896926
Diff X	0.126074932	70%	0.022858979
Diff P	90%	75%	0.028783763
#Errors	0	80%	0.036597617
Filter Min		85%	0.049798854
Filter Max		90%	0.071944147
#Filtered	0	95%	0.126580298

รูปที่ 45 HQ ของปลาทู

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.003117544	5%	0.019818295
Maximum	2.110978365	10%	0.042133603
Mean	0.317053239	15%	0.063272886
Std Dev	0.265313052	20%	0.08704868
Variance	0.070391016	25%	0.110723399
Skewness	1.279102032	30%	0.136784419
Kurtosis	4.984020359	35%	0.16117987
Median	0.250549704	40%	0.18899551
Mode	0.057377814	45%	0.218842432
Left X	0.019818295	50%	0.250549704
Left P	5%	55%	0.285289258
Right X	0.842312098	60%	0.319970518
Right P	95%	65%	0.360315233
Diff X	0.822493803	70%	0.406993687
Diff P	90%	75%	0.45766139
#Errors	0	80%	0.512438774
Filter Min		85%	0.59211427
Filter Max		90%	0.690876365
#Filtered	0	95%	0.842312098

รูปที่ 46 HQ ของปลากะพง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.002165515	5%	0.002469193
Maximum	0.562526762	10%	0.005224447
Mean	0.083506302	15%	0.011062586
Std Dev	0.07726644	20%	0.01770276
Variance	0.005970103	25%	0.024043627
Skewness	1.338055277	30%	0.030974085
Kurtosis	5.161266736	35%	0.038328663
Median	0.064070314	40%	0.046884593
Mode	0.001353786	45%	0.054817971
Left X	0.002646919	50%	0.064070314
Left P	5%	55%	0.073601529
Right X	0.236016005	60%	0.083643809
Right P	95%	65%	0.095060505
Diff X	0.236132474	70%	0.108501397
Diff P	90%	75%	0.122053675
#Errors	0	80%	0.140470773
Filter Min		85%	0.16208674
Filter Max		90%	0.188066259
#Filtered	0	95%	0.236016005

รูปที่ 47 HQ ของปลาทะเลอื่นๆ

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.001083129	5%	0.001216286
Maximum	1.061894178	10%	0.00998992
Mean	0.120663975	15%	0.01977329
Std Dev	0.10433035	20%	0.029546477
Variance	0.010884822	25%	0.039542988
Skewness	1.301746433	30%	0.049646858
Kurtosis	5.601495103	35%	0.061306186
Median	0.096399754	40%	0.072633527
Mode	0.005759872	45%	0.084135592
Left X	0.001216286	50%	0.096399754
Left P	5%	55%	0.109701879
Right X	0.316921532	60%	0.125653356
Right P	95%	65%	0.142307103
Diff X	0.315705247	70%	0.157890052
Diff P	90%	75%	0.176694527
#Errors	0	80%	0.199265152
Filter Min		85%	0.226365164
Filter Max		90%	0.262442946
#Filtered	0	95%	0.316921532

รูปที่ 48 HQ ของกุ้งแชบ๊วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.000262224	5%	0.005393556
Maximum	1.205837011	10%	0.011053185
Mean	0.083183761	15%	0.01682261
Std Dev	0.076556777	20%	0.022972744
Variance	0.00586094	25%	0.029244106
Skewness	2.587459035	30%	0.035774168
Kurtosis	18.63463103	35%	0.04198705
Median	0.0658179	40%	0.049759362
Mode	0.001536538	45%	0.057364535
Left X	0.005393556	50%	0.0658179
Left P	5%	55%	0.073779985
Right X	0.223147005	60%	0.082658075
Right P	95%	65%	0.092561334
Diff X	0.217753449	70%	0.102755733
Diff P	90%	75%	0.114453383
#Errors	0	80%	0.12832132
Filter Min		85%	0.146248311
Filter Max		90%	0.172263935
#Filtered	0	95%	0.223147005

รูปที่ 49 HQ ของปูม้า

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.000317072	5%	0.006044727
Maximum	0.944498599	10%	0.015773658
Mean	0.133667918	15%	0.025875598
Std Dev	0.112672886	20%	0.035799522
Variance	0.012695179	25%	0.046239309
Skewness	1.306787625	30%	0.056984842
Kurtosis	5.309459133	35%	0.068212636
Median	0.105072707	40%	0.080177985
Mode	0.005213307	45%	0.092577323
Left X	0.006044727	50%	0.105072707
Left P	5%	55%	0.120947525
Right X	0.352870077	60%	0.137282044
Right P	95%	65%	0.154670671
Diff X	0.34682535	70%	0.172907144
Diff P	90%	75%	0.19268775
#Errors	0	80%	0.218828171
Filter Min		85%	0.248784214
Filter Max		90%	0.288979292
#Filtered	0	95%	0.352870077

รูปที่ 50 HQ ของปลาหมึก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.011897888	5%	0.01639669
Maximum	6.80180788	10%	0.068181843
Mean	0.96839045	15%	0.123691335
Std Dev	0.963963981	20%	0.186397284
Variance	0.929226557	25%	0.249751136
Skewness	1.530773815	30%	0.32294336
Kurtosis	6.053917336	35%	0.397253186
Median	0.694616675	40%	0.486105442
Mode	0.003220082	45%	0.58730346
Left X	0.01639669	50%	0.694616675
Left P	5%	55%	0.804285645
Right X	2.859555244	60%	0.936926484
Right P	95%	65%	1.079181433
Diff X	2.843158554	70%	1.231936812
Diff P	90%	75%	1.411177635
#Errors	0	80%	1.640994191
Filter Min		85%	1.92784512
Filter Max		90%	2.271211147
#Filtered	0	95%	2.859555244

รูปที่ 51 HQ ของหอยแครง

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.005370424	5%	0.005867803
Maximum	9.116903305	10%	0.011420028
Mean	0.126914695	15%	0.017700184
Std Dev	0.245017076	20%	0.024139972
Variance	0.060033368	25%	0.031205904
Skewness	11.93106542	30%	0.038529053
Kurtosis	279.4355107	35%	0.045478567
Median	0.070512034	40%	0.053589843
Mode	0.007462946	45%	0.061338719
Left X	0.005867803	50%	0.070512034
Left P	5%	55%	0.080880851
Right X	0.400188565	60%	0.091908552
Right P	95%	65%	0.104997098
Diff X	0.394320762	70%	0.119465418
Diff P	90%	75%	0.138291687
#Errors	0	80%	0.161854327
Filter Min		85%	0.196123481
Filter Max		90%	0.256399721
#Filtered	0	95%	0.400188565

รูปที่ 52 HQ ของหอยแมลงภู่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.002806335	5%	0.004011509
Maximum	2.810764551	10%	0.006564134
Mean	0.361225064	15%	0.027268877
Std Dev	0.384721316	20%	0.05105738
Variance	0.148010491	25%	0.07837221
Skewness	1.610163024	30%	0.107669964
Kurtosis	6.400776744	35%	0.138429642
Median	0.249304667	40%	0.173383743
Mode	0.004841765	45%	0.208845034
Left X	0.004011509	50%	0.249304667
Left P	5%	55%	0.296869159
Right X	1.134494185	60%	0.344988704
Right P	95%	65%	0.396190286
Diff X	1.148505694	70%	0.457478464
Diff P	90%	75%	0.531488419
#Errors	0	80%	0.61267674
Filter Min		85%	0.726206899
Filter Max		90%	0.875773847
#Filtered	0	95%	1.134494185

รูปที่ 53 HQ ของหอยลาย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	0.000267572	5%	0.000382004
Maximum	2.080481768	10%	0.001029911
Mean	0.029195166	15%	0.001760997
Std Dev	0.088851393	20%	0.002513821
Variance	0.00789457	25%	0.003347944
Skewness	10.59379329	30%	0.004132186
Kurtosis	160.1429613	35%	0.005097586
Median	0.008451238	40%	0.006097694
Mode	0.000322518	45%	0.007130166
Left X	0.000382004	50%	0.008451238
Left P	5%	55%	0.009935862
Right X	0.116760097	60%	0.011683692
Right P	95%	65%	0.013933321
Diff X	0.116378094	70%	0.016863072
Diff P	90%	75%	0.021353638
#Errors	0	80%	0.028312506
Filter Min		85%	0.039021488
Filter Max		90%	0.060343109
#Filtered	0	95%	0.116760097

รูปที่ 54 HQ ของปลาซาร์ดีนกระป๋อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	1.4475E-05	5%	4.28542E-05
Maximum	0.026182033	10%	5.8986E-05
Mean	0.002095124	15%	0.000174017
Std Dev	0.002370489	20%	0.000307855
Variance	5.61922E-06	25%	0.000451839
Skewness	2.155251443	30%	0.000620742
Kurtosis	9.991127245	35%	0.000774574
Median	0.001355083	40%	0.000957054
Mode	1.09453E-05	45%	0.001142357
Left X	4.28542E-05	50%	0.001355083
Left P	5%	55%	0.00159547
Right X	0.006864983	60%	0.001853425
Right P	95%	65%	0.002157349
Diff X	0.006907837	70%	0.002508173
Diff P	90%	75%	0.002927231
#Errors	0	80%	0.003445662
Filter Min		85%	0.004137271
Filter Max		90%	0.005108306
#Filtered	0	95%	0.006864983

รูปที่ 55 HQ ของปลาทูน่ากระป๋อง

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	1.34484E-05	5%	3.71914E-05
Maximum	0.028911477	10%	0.000109598
Mean	0.002904401	15%	0.00027942
Std Dev	0.002965112	20%	0.000481786
Variance	8.79189E-06	25%	0.00069322
Skewness	1.595972394	30%	0.000925226
Kurtosis	6.581991004	35%	0.00117158
Median	0.002046363	40%	0.001433736
Mode	3.09676E-06	45%	0.001743387
Left X	3.71914E-05	50%	0.002046363
Left P	5%	55%	0.002382474
Right X	0.008751801	60%	0.002764595
Right P	95%	65%	0.003223635
Diff X	0.008788993	70%	0.003731492
Diff P	90%	75%	0.004276102
#Errors	0	80%	0.004952978
Filter Min		85%	0.005795481
Filter Max		90%	0.006937298
#Filtered	0	95%	0.008751801

รูปที่ 56 HQ ของปลากระป๋องปรุงรส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	1.60676E-05	5%	0.000488328
Maximum	0.074434236	10%	0.000992618
Mean	0.00796999	15%	0.001520962
Std Dev	0.007552437	20%	0.002076478
Variance	5.70393E-05	25%	0.002630559
Skewness	2.121128064	30%	0.003231906
Kurtosis	10.24225514	35%	0.003887665
Median	0.005951586	40%	0.004547356
Mode	0.000141277	45%	0.00521394
Left X	0.000488328	50%	0.005951586
Left P	5%	55%	0.006745411
Right X	0.022308627	60%	0.007564137
Right P	95%	65%	0.008516389
Diff X	0.021820299	70%	0.009580949
Diff P	90%	75%	0.010960699
#Errors	0	80%	0.012454544
Filter Min		85%	0.01443193
Filter Max		90%	0.017338553
#Filtered	0	95%	0.022308627

รูปที่ 57 HQ ของกุ้งแห้ง

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	1.76E-06	5%	0.000123531
Maximum	0.109743401	10%	0.000265803
Mean	0.002681187	15%	0.000394045
Std Dev	0.004146093	20%	0.000546137
Variance	1.71901E-05	25%	0.000701711
Skewness	8.004846156	30%	0.000856871
Kurtosis	124.2276236	35%	0.001024526
Median	0.001597337	40%	0.001197912
Mode	8.36056E-05	45%	0.001392179
Left X	0.000123531	50%	0.001597337
Left P	5%	55%	0.001831753
Right X	0.008375062	60%	0.002077773
Right P	95%	65%	0.002368694
Diff X	0.008251531	70%	0.00271673
Diff P	90%	75%	0.003192813
#Errors	0	80%	0.003761502
Filter Min		85%	0.004546297
Filter Max		90%	0.005771806
#Filtered	0	95%	0.008375062

รูปที่ 58 HQ ของปลาแห้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	5.07E-06	5%	0.000100164
Maximum	0.156308815	10%	0.00020257
Mean	0.002314769	15%	0.000300764
Std Dev	0.004023936	20%	0.000409769
Variance	1.61921E-05	25%	0.000524436
Skewness	10.69369933	30%	0.000641418
Kurtosis	275.0907836	35%	0.000766455
Median	0.001228877	40%	0.000912017
Mode	0.000231112	45%	0.001067361
Left X	0.000100164	50%	0.001228877
Left P	5%	55%	0.001421044
Right X	0.007869067	60%	0.001639864
Right P	95%	65%	0.001891973
Diff X	0.007768903	70%	0.002197193
Diff P	90%	75%	0.002558481
#Errors	0	80%	0.003113593
Filter Min		85%	0.003892937
Filter Max		90%	0.00515245
#Filtered	0	95%	0.007869067

รูปที่ 59 HQ ของปลาหมึกแห้ง

Summary Statistics			
Statistic	**Value**	**%tile**	**Value**
Minimum	9.92938E-06	5%	8.93793E-05
Maximum	7.23898983	10%	0.000180575
Mean	0.016544058	15%	0.000277688
Std Dev	0.135778385	20%	0.000373874
Variance	0.01843577	25%	0.000484567
Skewness	28.94753067	30%	0.000597705
Kurtosis	1166.941115	35%	0.000718114
Median	0.001193266	40%	0.000862482
Mode	0.000153105	45%	0.001007944
Left X	8.93793E-05	50%	0.001193266
Left P	5%	55%	0.001428817
Right X	0.044040382	60%	0.001737489
Right P	95%	65%	0.002193114
Diff X	0.043951003	70%	0.002758288
Diff P	90%	75%	0.003774142
#Errors	0	80%	0.005490641
Filter Min		85%	0.008914181
Filter Max		90%	0.016829509
#Filtered	0	95%	0.044040382

รูปที่ 60 HQ ของปลาเค็ม

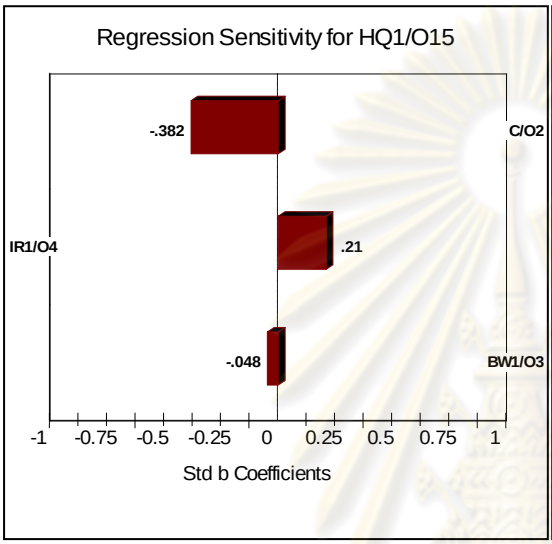
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

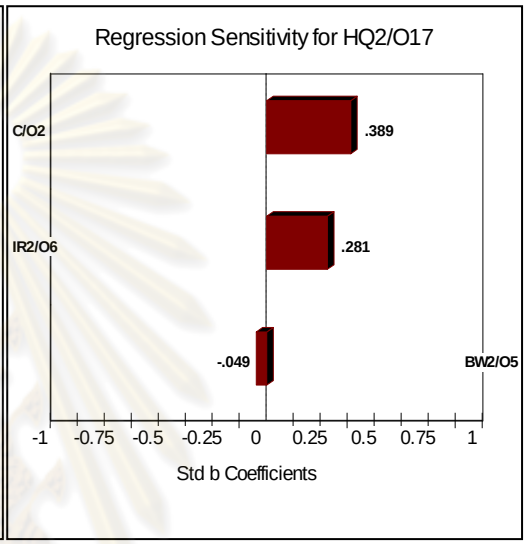
การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity analysis)

ปลาทู

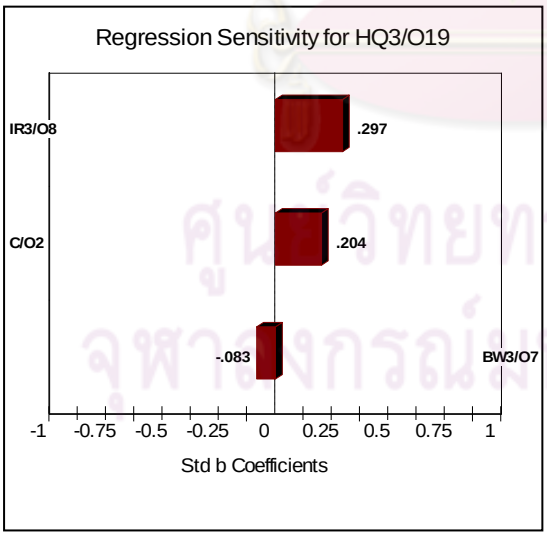
แรกเกิด – 3 ปี



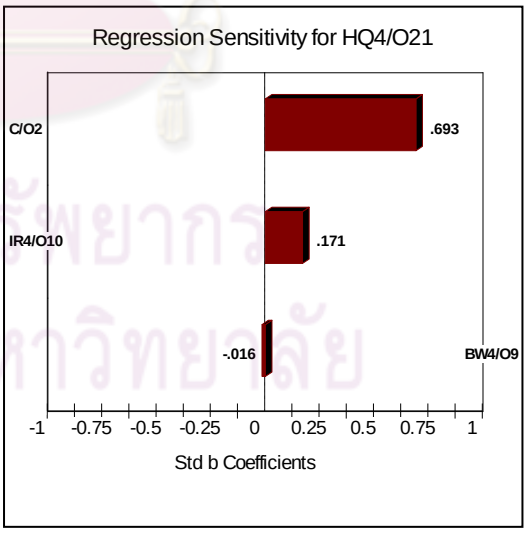
3 – 9 ปี



9 – 19 ปี

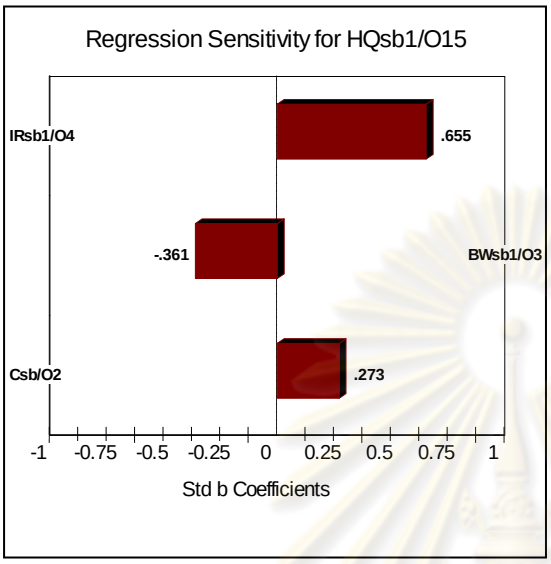


19 ปีขึ้นไป

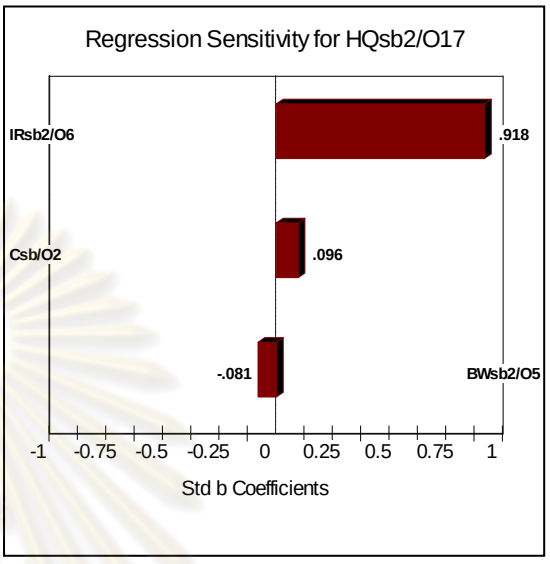


ปลากะพง

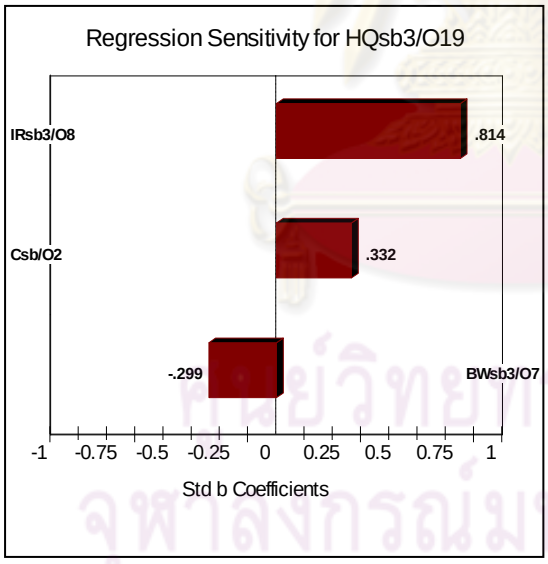
แรกเกิด – 3 ปี



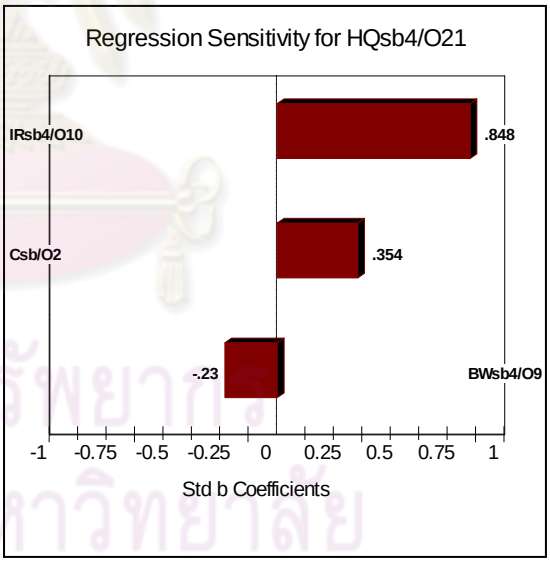
3 – 9 ปี



9 – 19 ปี



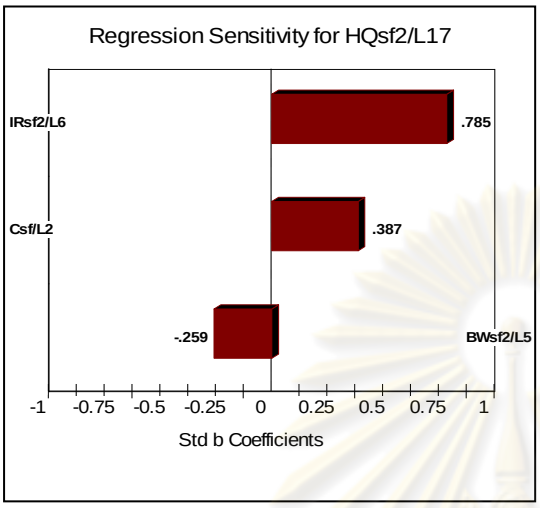
19 ปีขึ้นไป



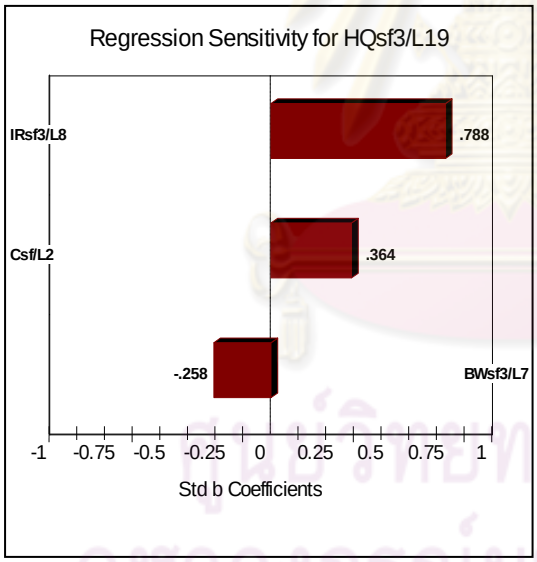
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปลาทะเลอื่นๆ

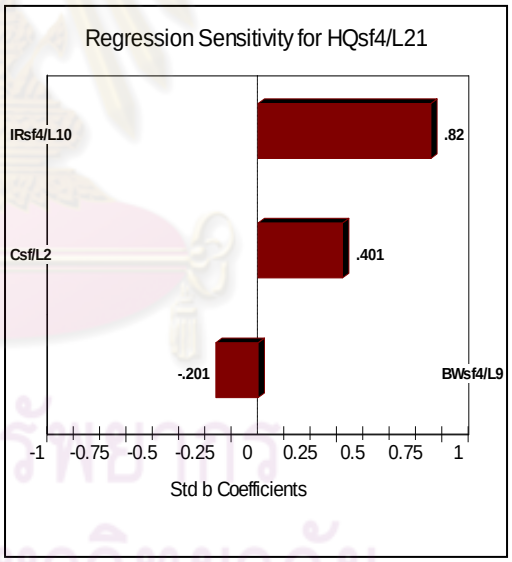
3 – 9 ปี



9 – 19 ปี



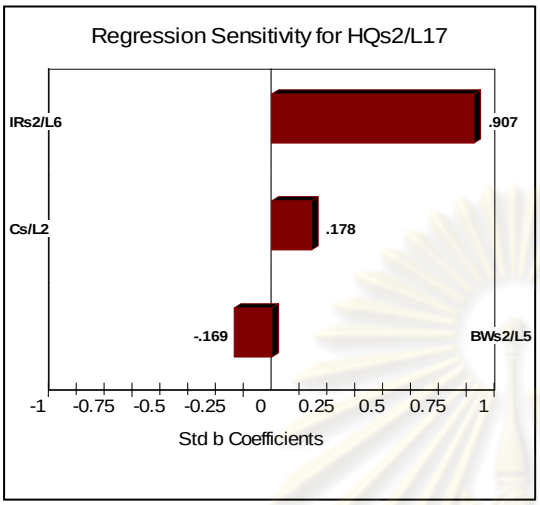
19 ปีขึ้นไป



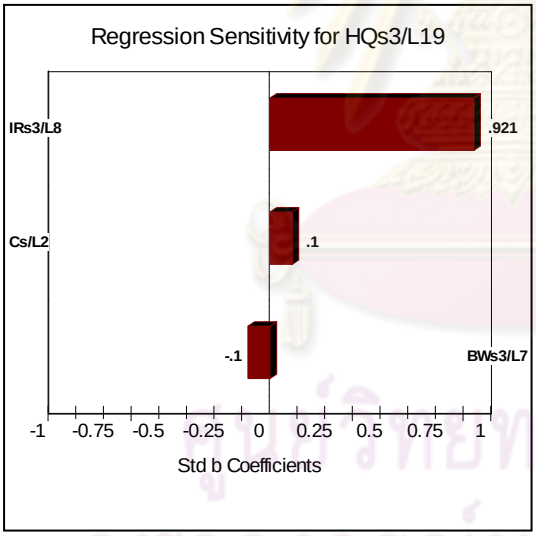
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กุ้งแชบ๊วย

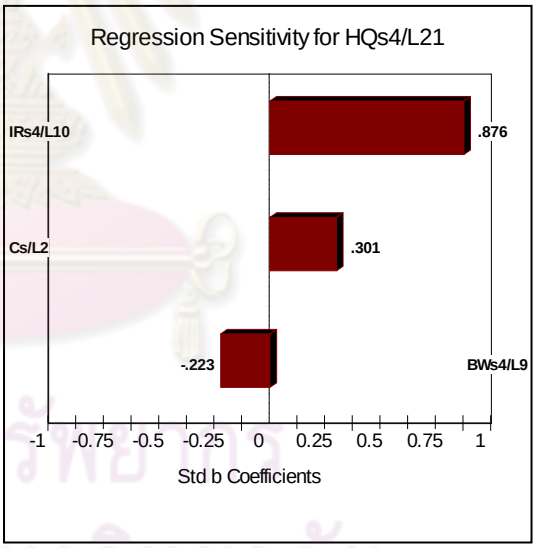
3 – 9 ปี



9 – 19 ปี



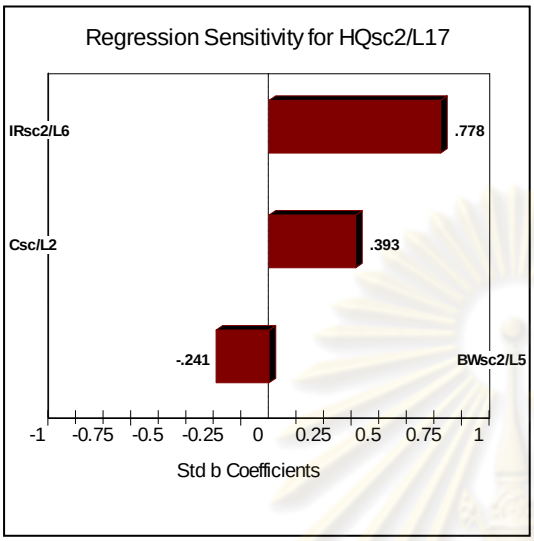
19 ปีขึ้นไป



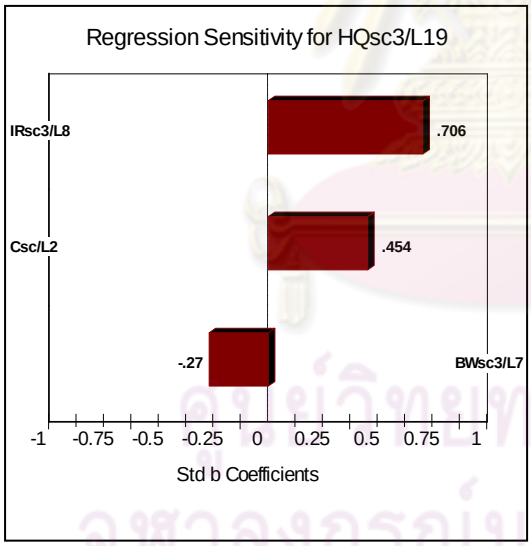
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปู่ม้า

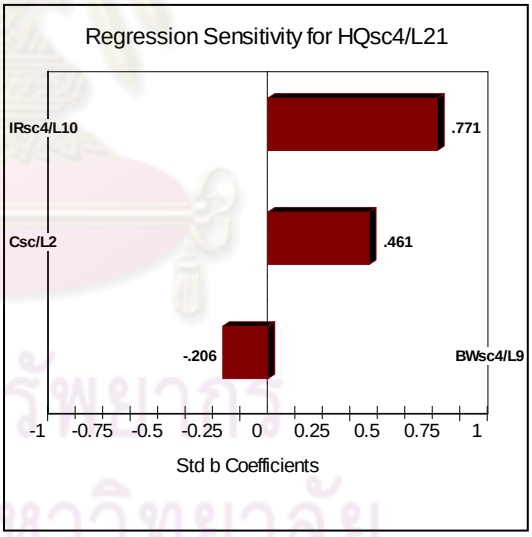
3 – 9 ปี



9 – 19 ปี



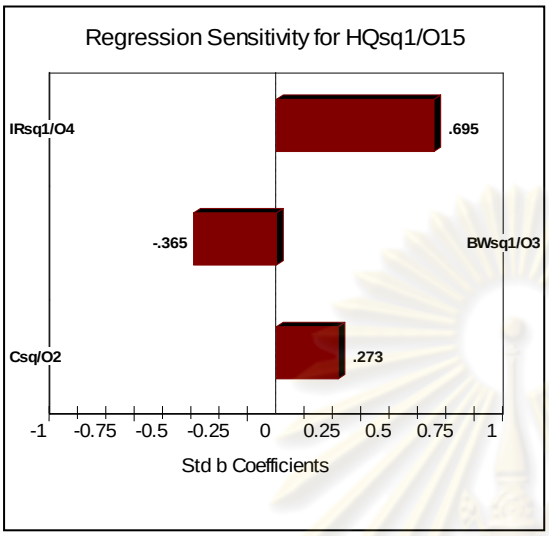
19 ปีขึ้นไป



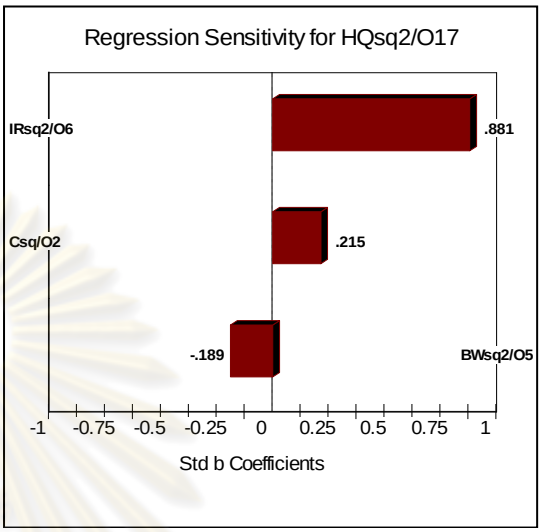
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปลาหมึก

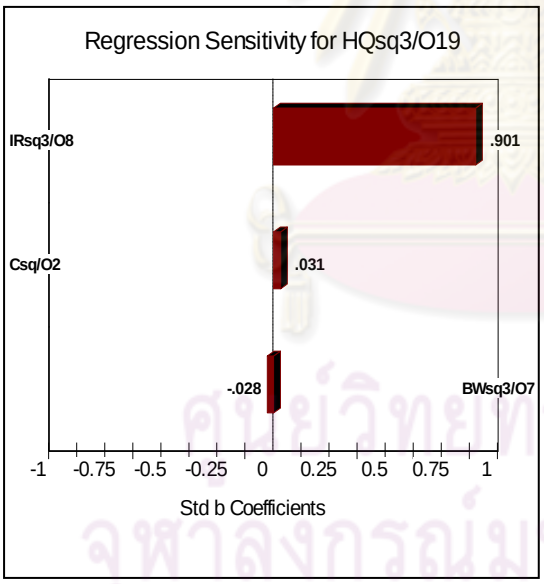
แรกเกิด – 3 ปี



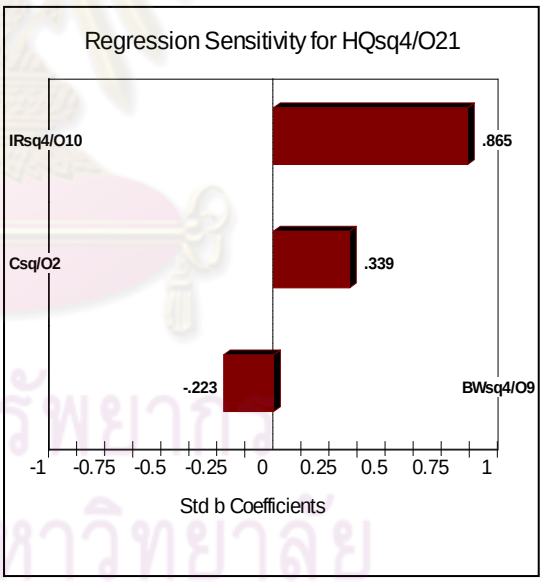
3 – 9 ปี



9 – 19 ปี



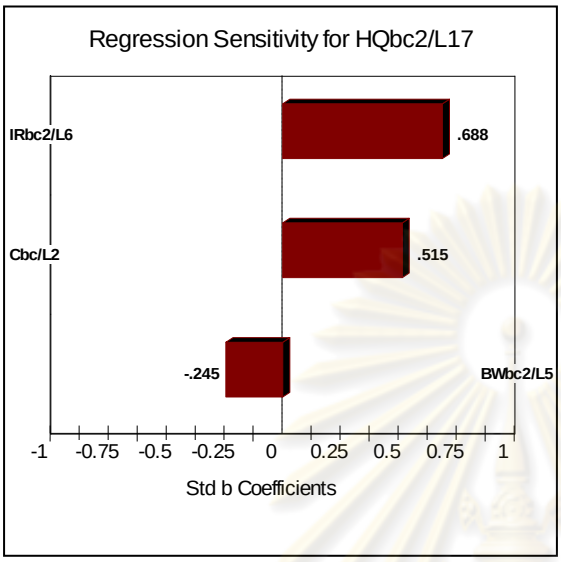
19 ปีขึ้นไป



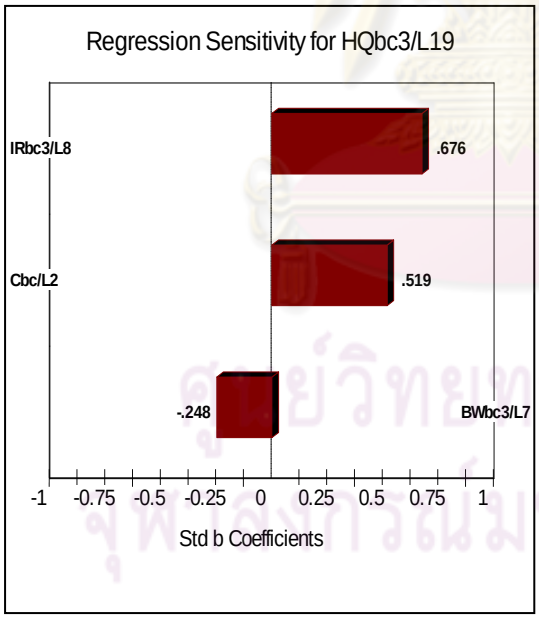
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอยแครง

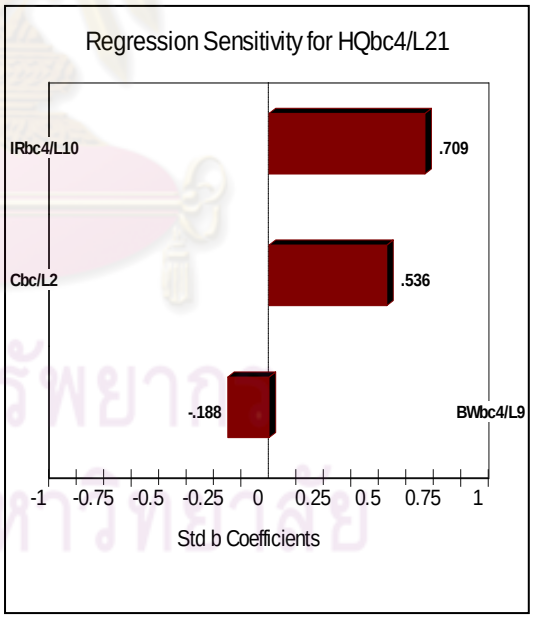
3 – 9 ปี



9 – 19 ปี

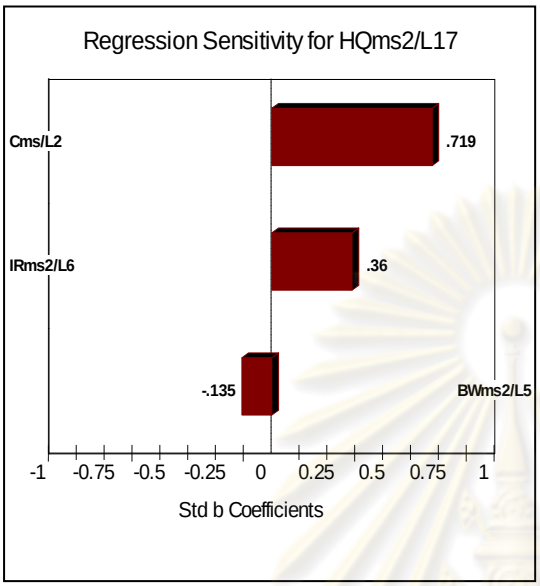


19 ปีขึ้นไป

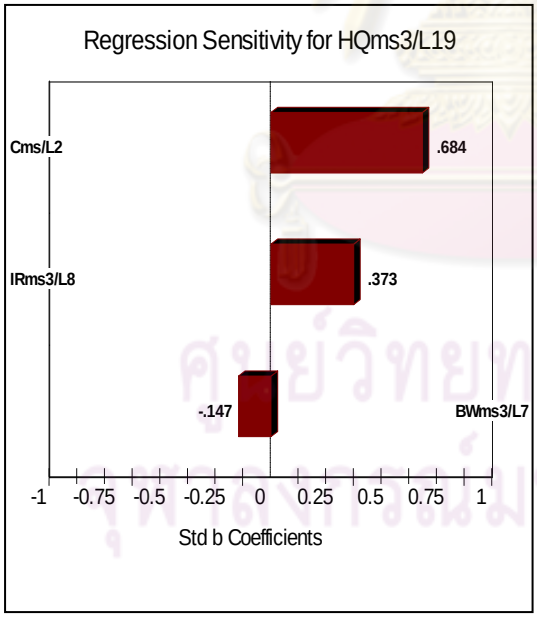


หอยแมลงภู่

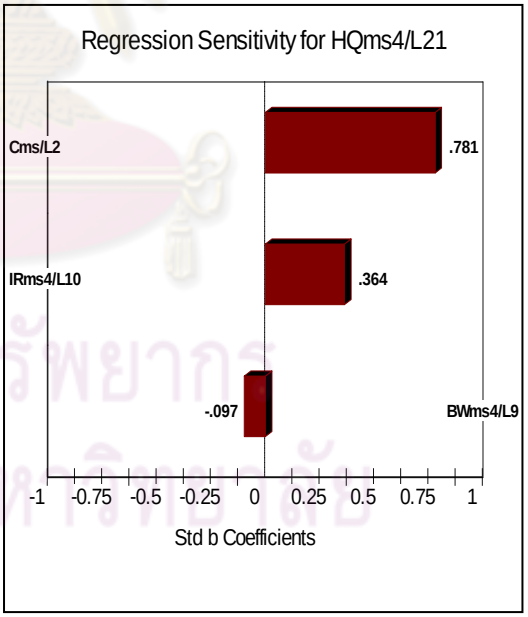
3 – 9 ปี



9 – 19 ปี

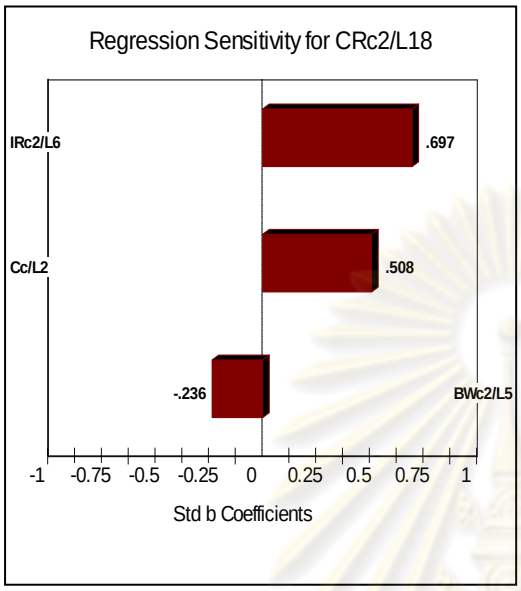


19 ปีขึ้นไป

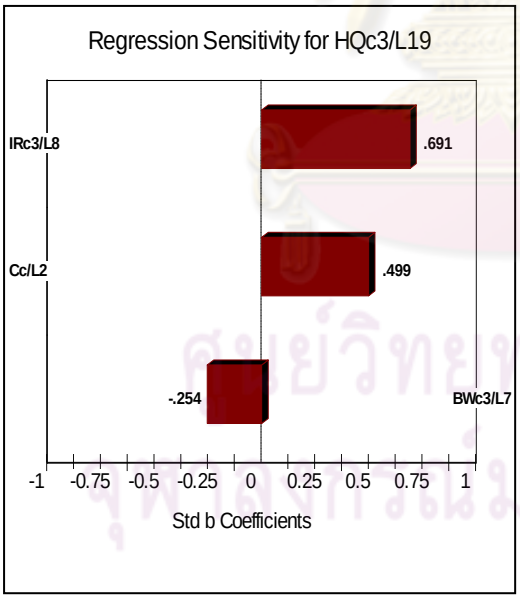


หอยลาย

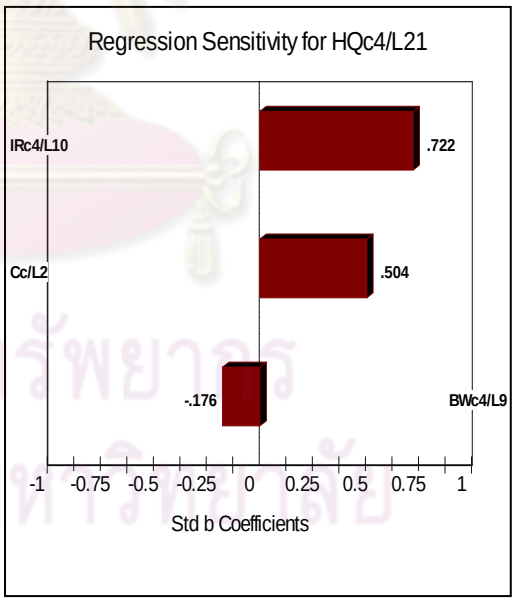
3 – 9 ปี



9 – 19 ปี

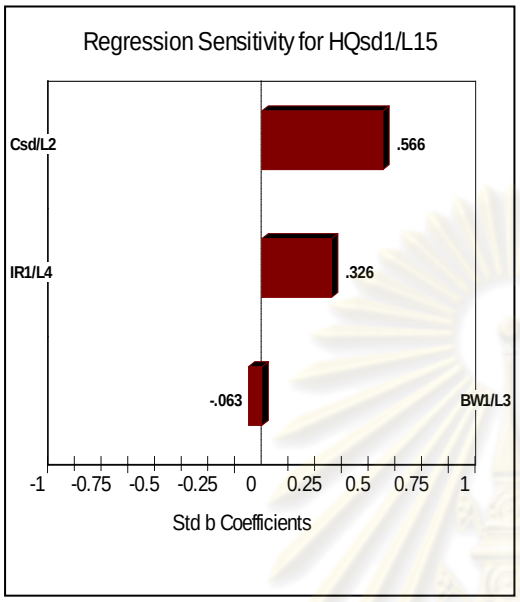


19 ปีขึ้นไป

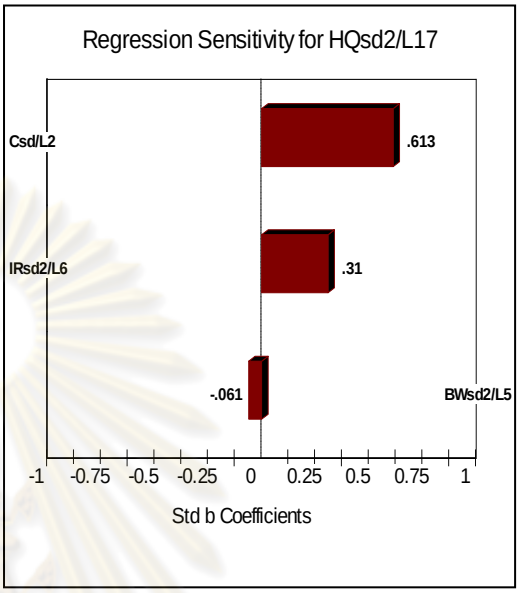


ปลาซาร์ดีนกระป๋อง

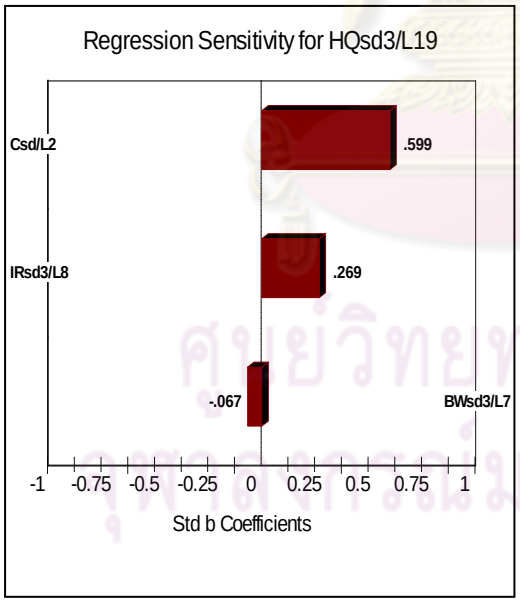
แรกเกิด 3 ปี



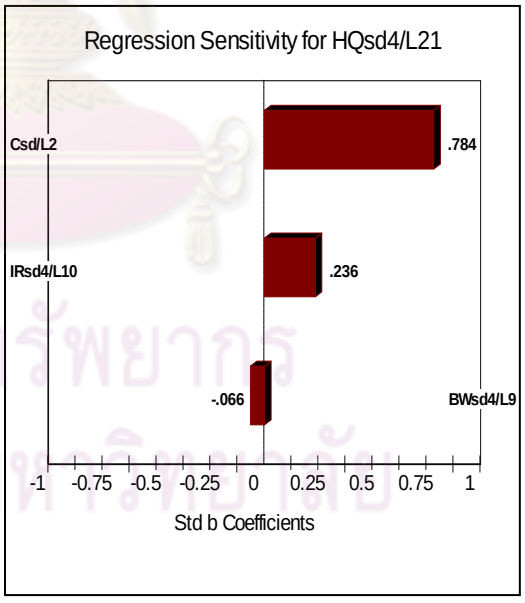
3 – 9 ปี



9 – 19 ปี



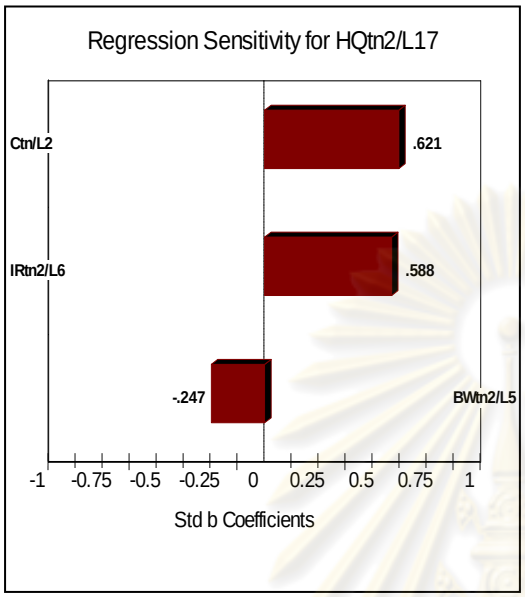
19 ปีขึ้นไป



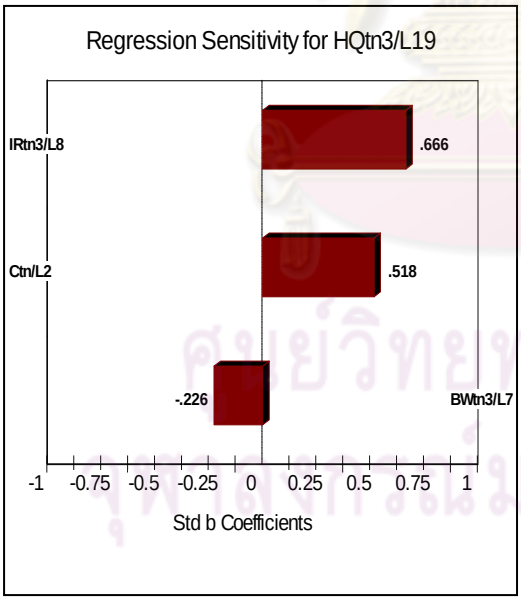
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปลาทูน่ากระป๋อง

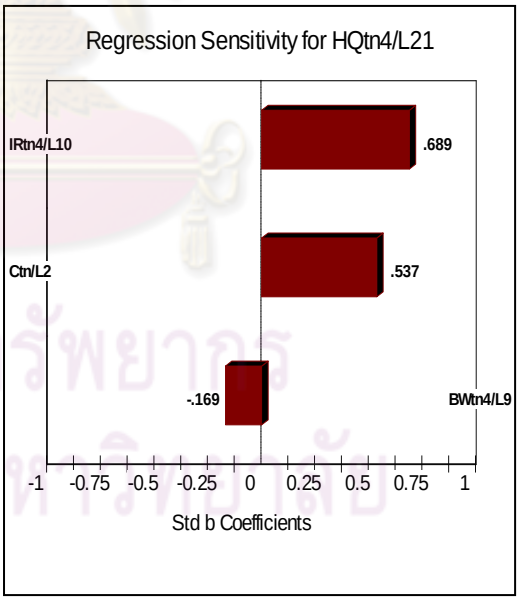
3 – 9 ปี



9 – 19 ปี

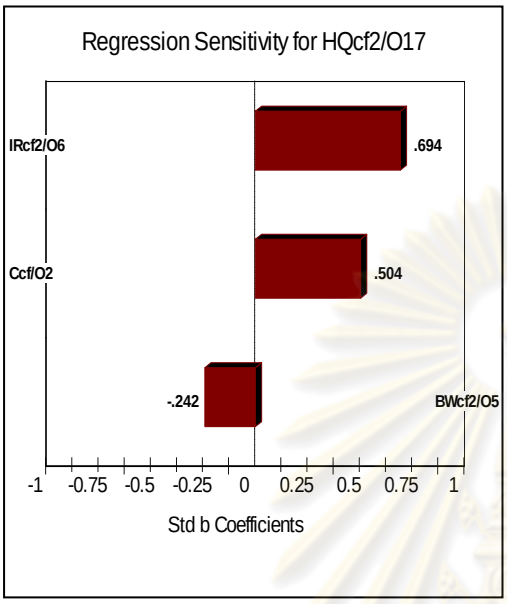


19 ปีขึ้นไป

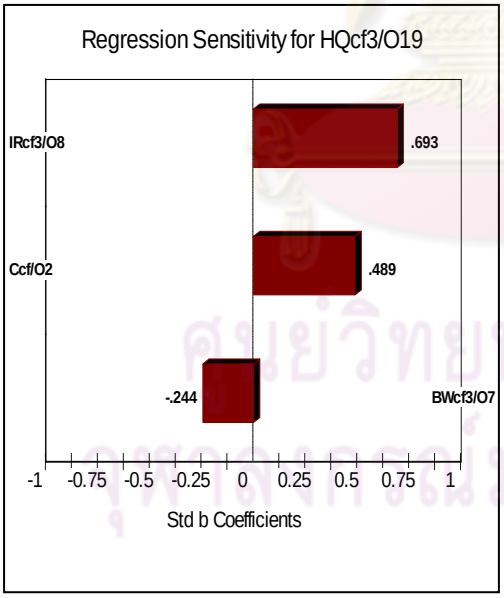


ปลากระป๋องปรุงรส

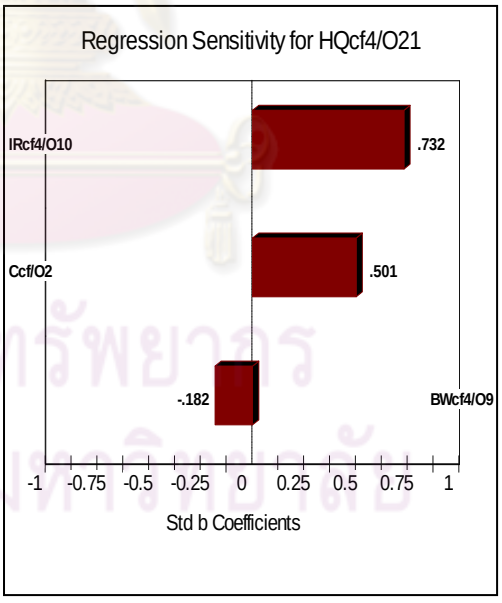
3 – 9 ปี



9 – 19 ปี

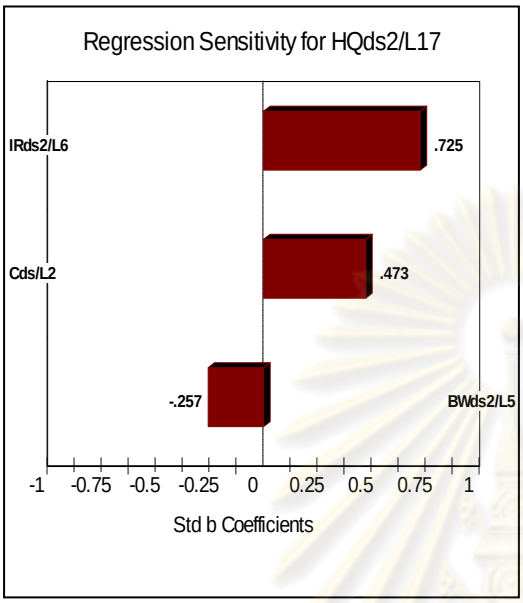


19 ปีขึ้นไป

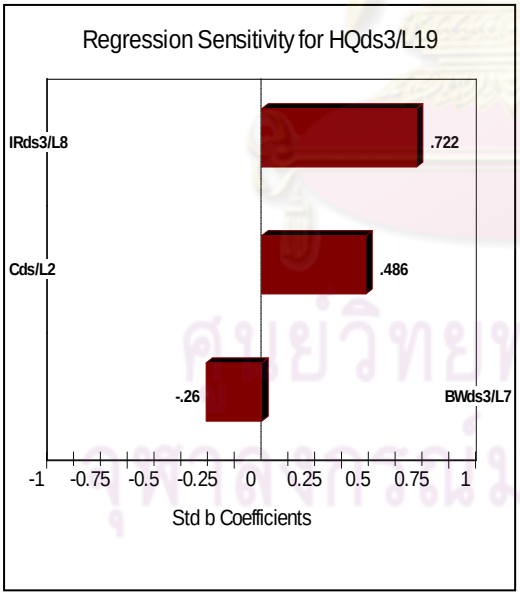


กุ้งแห้ง

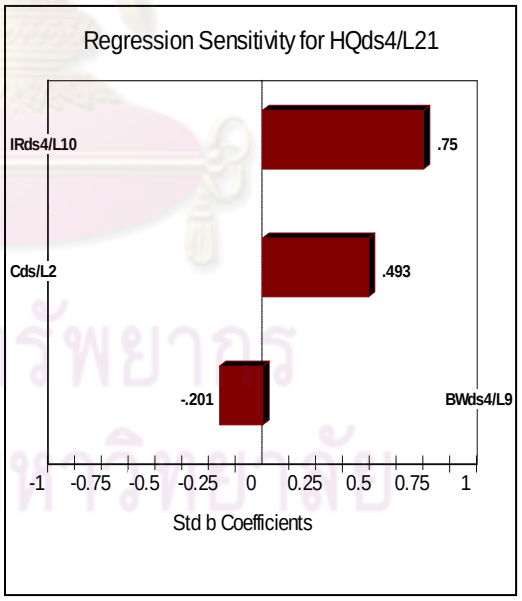
3 – 9 ปี



9 – 19 ปี

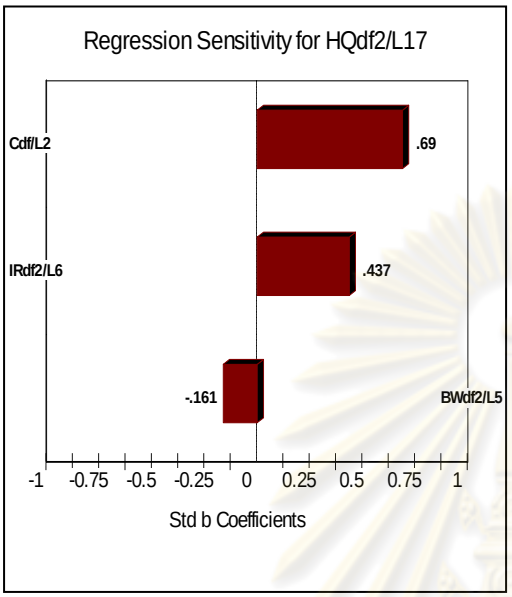


19 ปีขึ้นไป

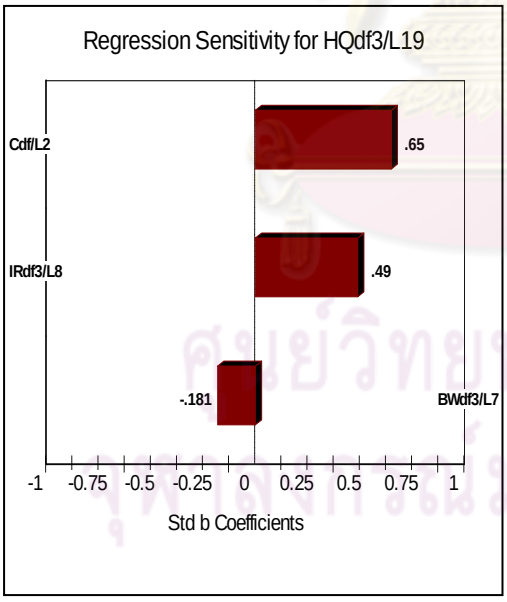


ปลาแห้ง

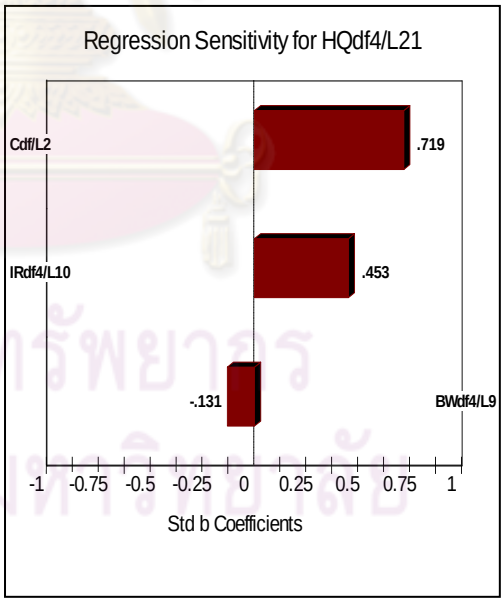
3 – 9 ปี



9 – 19 ปี

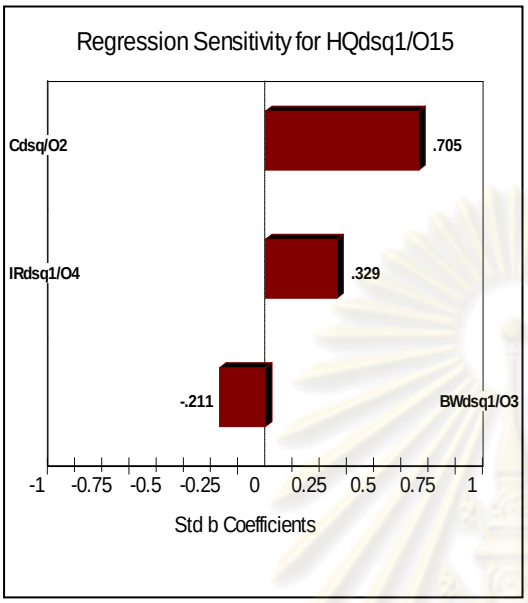


19 ปีขึ้นไป

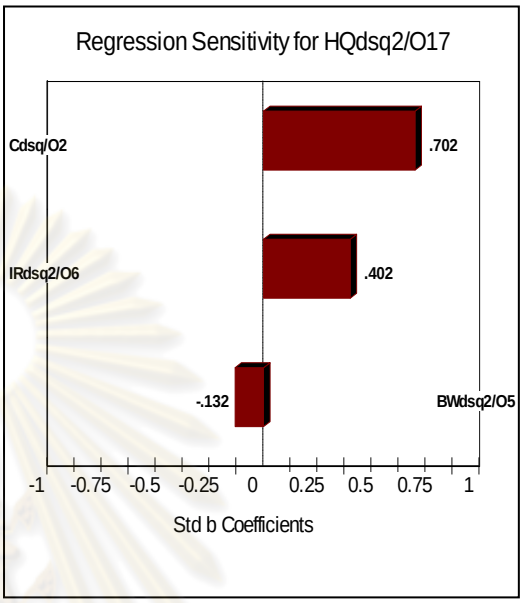


ปลาหมึกแห้ง

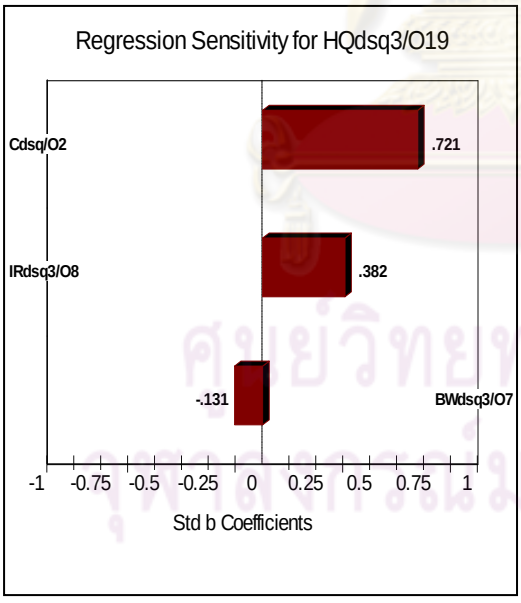
แรกเกิด 3 ปี



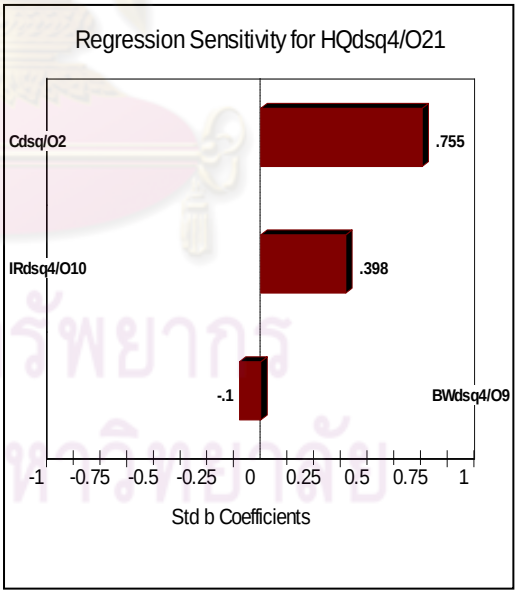
3 – 9 ปี



9 – 19 ปี

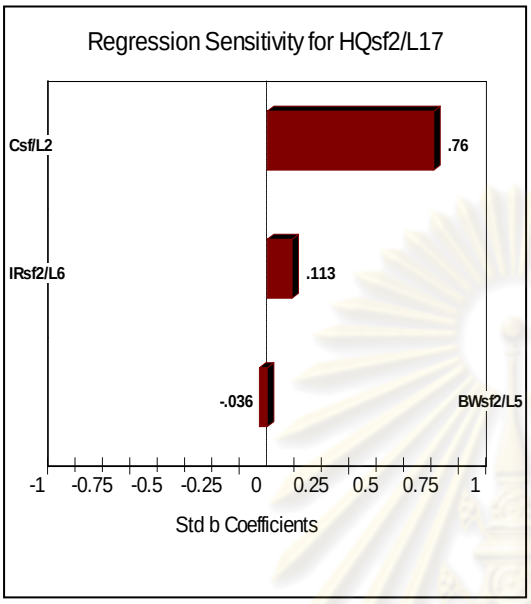


19 ปีขึ้นไป

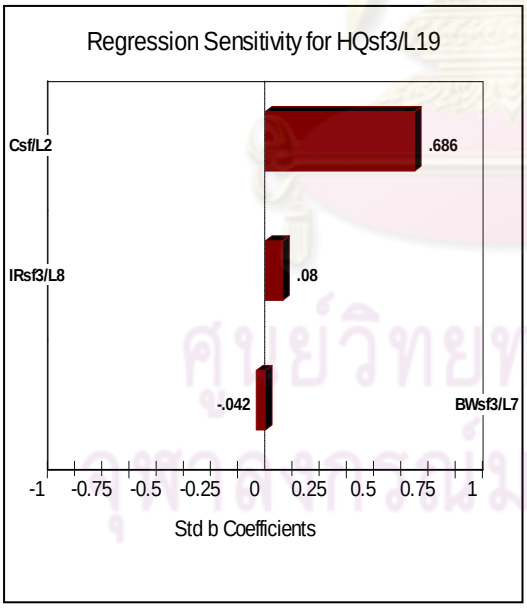


ปลาเค็ม

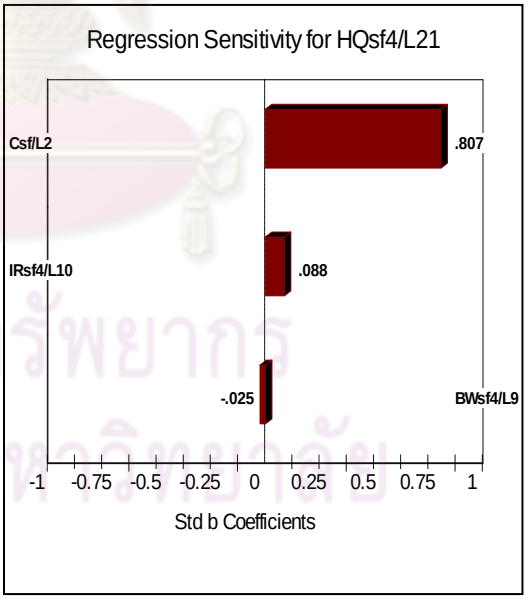
3 – 9 ปี



9 – 19 ปี



19 ปีขึ้นไป



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเฟื่องฟ้า โสภณพงศ์พิพัฒน์ เกิดเมื่อวันที่ 19 เมษายน พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีสัตวแพทยศาสตรบัณฑิต จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550 และเข้ารับการศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาสัตวแพทยสาธารณสุข ภาควิชาสัตวแพทยสาธารณสุข คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย