1338 14642

ปัญหาพิเศษปริญญาตรี
ภาควิชาเทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช

เรื่อง

การศึกษาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในปลาทูน่ากระป๋องชนิดแช่น้ำเกลือและชนิดแช่น้ำมัน

THE INVESTIGATION OF SOME HEAVY METAL OF TUNA IN BRINE AND TUNA IN OIL.

T099157

โดย

นางสาวสาวิตรี เอี่ยมตระกูล

(อาจารย์ลักขณา อมรสิน)
ประธานกรรมการอาจารย์ที่ปรึกษา

ปพ.
ส 6871
2536

เลขหมู่ 99157
เลขทะเบียน
วัน.เดือน.ปี

ภาควิชารับรองแล้ว

.....

(อาจารย์สำเริง คำทอง)
หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ปพ.
ส 6871
2536

คำนิยม

ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงในความกรุณาของอาจารย์ลักษณา อมรสิน ประธานกรรมการอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางการศึกษา รวมทั้งตรวจแก้ไขปัญหาพิเศษฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์จิตตนา ภูติวรนาถ ที่กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่กรุณาให้คำแนะวิธีการใช้เครื่องมือต่าง ๆ และเอื้อเฟื้อสถานที่ทำการทดลอง รวมทั้งให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่อง Microwave Digestion และเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

ท้ายที่สุดขอขอบพระคุณบิดามารดาและขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ ทุกคน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการศึกษาอย่างดีตลอดมา

สาวิตรี เอี่ยมตระกูล

มีนาคม 2537

ชื่อเรื่อง : การศึกษาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในปลาทูน่ากระป๋องชนิดแช่น้ำเกลือและชนิดแช่น้ำมัน

โดย : นางสาวสาวิตรี เอี่ยมตระกูล

ชื่อปริญญา : วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

สาขาวิชา : เทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช

ประธานกรรมการที่ปรึกษาประจำตัวนักศึกษา : _____

(ลักษณา อมรสิน)

16 / มิถุนายน / 2537

บทคัดย่อ

อาหารกระป๋องเป็นอาหารสำเร็จรูปที่มีโอกาสปนเปื้อนโลหะหนักสูง ทั้งจากตัวกระป๋อง กระบวนการผลิตและจากวัตถุดิบ การศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์หาโลหะหนัก 6 ตัว คือ ทองแดง สังกะสี แคดเมี่ยม ตะกั่ว ปรอทและสารหนู โดยศึกษาในปลาทูน่ากระป๋องชนิดแช่ในน้ำมัน ใช้วิธีการแยกโลหะหนักออกจากตัวอย่างด้วยวิธี digestion ด้วยกรด HNO_3, H_2SO_4 และ H_2O_2 โดยใช้เครื่องย่อย Microwave Digester แล้ววัดหาปริมาณโลหะหนักโดยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณทองแดง สังกะสี แคดเมี่ยม ตะกั่ว อยู่ในช่วง 0.95-1.16, 4.65-9.58, 0.66-1.54, 0.09-0.349 ppm ตามลำดับ ส่วนปรอทและสารหนูนั้นตรวจไม่พบ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่กำหนดในพระราชบัญญัติอาหารของกระทรวงสาธารณสุข พบว่าปริมาณทองแดง สังกะสี แคดเมี่ยม ตะกั่ว ปรอทและสารหนูมีค่าต่ำกว่าที่กำหนด

Title : The Investigation of Some Heavy Metal of Tuna in Brine and Tuna in Oil.

By : Sawitri Iamtrakoon

Degree : Bachelor of Science (Agriculture)

Major Field : Pest Management Technology

Chairman, Project Advisor : _____

(ลักษณา ตนรัตน์)

16 / พฤษภาคม / 2534

Abstract

Canned food has high opportunity to contaminated with heavy metal from can, food processing and raw materials. This experiment was conducted on tuna in brine and tuna in oil. The samples were digested with HNO_3, H_2SO_4, H_2O_2 in Microwave digester and total metal were determined by using Atomic Absorption Spectrophotometer. The range of Copper, Zinc, Cadmium and Lead were 0.95-1.16, 4.65-9.58, 0.66-1.54 and 0.09-0.349 ppm. respectively . The amounts of Mercury and Arsenic were not detectable (ND). Since the metal concentration of all sample below the value of tolerances limits prescribed by the Ministry of Public Health and the Thai Industrial Standard Institute as well as the CODEX Alimentaries Commission FAO/WHO

สารบาญ

	หน้า
สารบาญ	(1)
สารบาญตาราง	(2)
คำนำ	1
การตรวจเอกสาร	3
โลหะหนัก	3
อาหารและความสำคัญของอาหาร	4
วัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุและภาชนะบรรจุแบบต่าง ๆ	5
กฎหมายและมาตรฐานคุณภาพอาหารกระป๋อง	9
ความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักกับสุขภาพ	18
อุปกรณ์และวิธีการ	39
อุปกรณ์	39
วิธีการ	40
ผลและวิจารณ์	44
สรุป	46
บรรณานุกรม	47
ภาคผนวก	50

สารบาญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	มาตรฐานโลหะหนักบางชนิดในอาหาร	8
2	ปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนในอาหารที่ร่างกายสามารถรับได้ภายใน 1 วัน	10
3	มาตรฐานอาหารเกี่ยวกับปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนในอาหารกระป๋องประเภทต่าง ๆ ของโครงการมาตรฐานอาหาร FAO/WHO (CODEX ALIMENTARIES)	11
4	กฎหมายและมาตรฐานอาหารเกี่ยวกับโลหะหนักปนเปื้อนในอาหารบรรจุภาชนะ	13
5	ปริมาณโลหะหนักสูงสุดในปลาซาร์ดีนกระป๋องที่กำหนดในกฎหมายอาหารประเภทต่าง ๆ	17
6	ปริมาณตะกั่วที่ปนเปื้อนในอาหารบางชนิด	19
7	ระดับตะกั่วในโลหิตที่มีผลต่อการเกิดอาการของโรคต่าง ๆ	23
8	ระดับของปรอทที่มีอยู่ตามปกติในสิ่งแวดล้อมและในสิ่งมีชีวิต	25
9	ระดับของปรอทในสิ่งแวดล้อมและในสิ่งมีชีวิต ในระหว่างที่เกิดการระบาดของพิษปรอท	26
10	ปริมาณสังกะสีในอาหารบางชนิด	30
11	ปริมาณแคดเมี่ยมในพืชและสัตว์ที่อาศัยใน polluted areas และ non polluted areas	35
12	เงื่อนไขของเครื่อง Microwave Digester Manal 301 A	40
13	เงื่อนไขของเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer สำหรับการวิเคราะห์	41
14	แสดงปริมาณตะกั่ว ทองแดง สังกะสี ปรอท สารหนู และแคดเมี่ยมที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่าง	42

การศึกษาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในปลาทูน่าชนิดแช่น้ำเกลือ และชนิดแช่ในน้ำมัน Investigation of Some Heavy Metal of Tuna in Brine and in Oil

คำนำ

ในสภาวะปัจจุบัน สาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษมีหลายประการ โลหะหนักก็เป็นสาเหตุหนึ่ง ซึ่งจัดเป็นสาเหตุใหญ่ที่สำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษในทะเลเนื่องมาจากมนุษย์ได้นำโลหะหนัก มาประกอบกิจกรรมมากมาย เช่น ทางด้านอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมแบตเตอรี่ อุตสาหกรรมสี เป็นต้น ทางด้านเกษตรกรรมก็มีการใช้ด้วยเช่นกัน ได้แก่ การใช้สารปราบศัตรูพืชที่มีโลหะหนักเป็นส่วนประกอบ จากการที่มนุษย์ได้ใช้โลหะหนักในด้านต่าง ๆ มากมายนี้เอง จึงเกิดปัญหาการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมทั้งในดิน น้ำ อากาศ และอาหาร ซึ่งมนุษย์ก็ได้รับโลหะหนักเข้าสู่ร่างกาย ทางการปนเปื้อนไปกับน้ำและอาหารนั่นเอง

อาหารจำเป็นสำหรับมนุษย์ทุกคน เนื่องจากมนุษย์ได้อาศัยอาหารเพื่อการดำรงชีพ สำหรับการเจริญเติบโตทั้งทางร่างกาย และสติปัญญา แต่ถ้าหากอาหารนั้นปนเปื้อนสารพิษแล้ว ก็ทำให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพ และสมรรถนะในการทำงาน ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการพัฒนาประเทศ ต้องอาศัยประชากรที่มีคุณภาพทั้งทางร่างกายและสติปัญญาเป็นสำคัญ หากสุขภาพร่างกายดี ปราศจากโรคภัยต่าง ๆ ประเทศก็จะพัฒนาไปได้ดี ดังนั้นการป้องกันปัญหาการตกค้างของสารพิษต่าง ๆ ในอาหาร น้ำ และสิ่งแวดล้อมจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องมีการวางแผน และดำเนินการอย่างรอบคอบ และมีประสิทธิผล หนึ่งในจำนวนอาหารนั้น อาหารกระป๋องกำลังเป็นที่นิยมในหมู่ผู้บริโภค เนื่องจากสภาวะการดำรงชีพในปัจจุบันต้องการความสะดวกสบาย และความรวดเร็ว ปลาทูน่ากระป๋องเป็นอาหารที่นิยมกันทั่วไป สามารถใช้ประกอบเป็นอาหารต่าง ๆ ได้มากมาย เช่น แซนวิช อาหารฟาสต์ฟู้ดต่าง ๆ และอื่น ๆ ได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการประกอบอาหารมากนัก แต่อาหารกระป๋องก็มีกรรมวิธีในการบรรจุที่ต้องอาศัยโลหะอย่างมาก ทั้งในด้านการประกอบตัวกระป๋อง ฝากระป๋อง และเชื่อมชิ้นส่วนของกระป๋องให้ติดกัน ดังนั้น จึงอาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนักในอาหารได้ อาหารกระป๋องที่ใช้วัตถุดิบจากทะเล เช่น ปลา กุ้ง หอย ฯลฯ อาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก ที่ปนเปื้อนอยู่ในทะเลด้วย

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปริมาณ ตะกั่ว แคดเมี่ยม สังกะสี ทองแดง ปรอท และสารหนู ในปลาทูน่ากระป๋องชนิดแช่น้ำมัน และชนิดในน้ำเกลือ

2. เพื่อศึกษาว่า ปริมาณการปนเปื้อนที่ตรวจพบจะเกินมาตรฐานที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนดหรือไม่

3. เพื่อหาแนวทางป้องกัน และแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดจากการสะสมของโลหะหนักดังกล่าว

ตรวจเอกสาร

1. โลหะหนัก

โลหะหนัก (heavy metal) หมายถึง ธาตุที่มี atomic number ระหว่าง 23-92 อยู่ในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 5 ขึ้นไป (ศิริมาส, 2532) โลหะหนักที่พบในสิ่งแวดล้อมมีความสำคัญทางพิษวิทยา มีแหล่งกำเนิดในธรรมชาติไม่มากนัก ต่อมาเมื่อมนุษย์ได้นำเอาโลหะหนักมาใช้กันอย่างกว้างขวาง ทำให้เกิดการปนเปื้อนในธรรมชาติ หรือสภาวะแวดล้อมมากขึ้น โลหะหนักมีการเปลี่ยนรูปในสิ่งแวดล้อม จึงมีการสะสมเพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่ทำให้สิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เกิดอันตรายขึ้นโลหะหนักสามารถสะสมในห่วงโซ่อาหาร ดังนั้นโลหะหนักแม้มีปริมาณเพียงเล็กน้อย ก็สามารถก่อให้เกิดปัญหาได้ กระทรวงสาธารณสุขจึงได้กำหนดมาตรฐานโลหะหนักบางชนิดในอาหารไว้ดังตารางที่ 1

โลหะหนักเข้าสู่ร่างกายได้หลายทางด้วยกัน ดังนี้

1. ทางผิวหนัง โดยการสัมผัสทำให้เกิดระคายเคืองในส่วนที่สัมผัสเนื้อเยื่อจะถูกทำลาย เกิดเป็นผื่นคัน

2. ทางระบบหายใจ โดยการสูดดมทำให้เยื่อบุทางเดินหายใจเกิดระคายเคือง

3. ทางปาก โดยการกินเข้าไปในรูปปะปนไปกับอาหาร น้ำและอื่น ๆ ทำให้เยื่อบุทางเดินอาหารระคายเคือง

2. อาหารและความสำคัญของอาหาร

อาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ อาหารทำให้ร่างกายเจริญเติบโต ช่วยซ่อมแซมเนื้อเยื่อ เสริมสร้างสติปัญญาและทำให้ร่างกายแข็งแรง ดังนั้นมนุษย์ควรได้รับอาหารที่มีคุณภาพดี มีปริมาณเหมาะสมกับความต้องการของร่างกาย แต่จากการศึกษาและการสำรวจของกระทรวงสาธารณสุข (2527) พบว่าประชาชนพบกับปัญหาการได้รับสารบางอย่างเกินความต้องการของร่างกาย หรือได้รับสารพิษปนเปื้อนมากับอาหาร

ปัญหาการได้รับสารพิษในอาหารนั้น นับวันจะทวีความสำคัญและพบมากขึ้น เพราะการพัฒนาทางอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มนุษย์ได้มีการนำเอาสารเคมีต่าง ๆ มาใช้ในการผลิตและเพื่อเพิ่มผลผลิต ทำให้สารเคมีปนเปื้อนในอาหารมากขึ้น กระทรวงสาธารณสุข (2527) ได้ให้ความหมายของสารปนเปื้อนในอาหารไว้ว่า เป็นสารที่ปนเปื้อนมาในอาหารโดยไม่ตั้งใจแต่เป็นผลที่เกิดจากกระบวนการผลิต วิธีการผลิต การบรรจุ การขนส่ง หรือการเก็บรักษา หรือเนื่องมาจากการปนเปื้อนรวมทั้งชิ้นส่วนแมลง สัตว์ และสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ เช่น สังกะสี ดีบุก สารหนู ทองแดง ตะกั่ว และปรอท เป็นต้น

สารปนเปื้อนที่พบในอาหารนั้น โดยเฉพาะโลหะหนัก ทำให้มีการถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหารไปสู่มนุษย์ได้ แม้ในปริมาณเพียงเล็กน้อยแต่ก็สามารถสะสมในร่างกายและอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตได้

กลไกการเกิดพิษของสารโลหะหนักมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของร่างกายดังนี้ (ศิวาพร, 2529)

1. ผลต่อเอนไซม์

ทำให้การทำงานของเอนไซม์ผิดปกติ โดยโลหะหนักจะรวมตัวกับหมู่ -SH ของเอนไซม์ หรือของโปรตีน ซึ่งมีผลให้การทำงานของเซลล์หรือเนื้อเยื่อต่าง ๆ ทำงานผิดปกติไป อาจทำให้เกิดการตายของอวัยวะต่าง ๆ ได้

2. ผลต่อการขนส่งออกซิเจนระหว่างเซลล์

ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเซลลดลง เช่น ตะกั่วรบกวนการทำงานของเอนไซม์ที่ช่วยสร้างฮีโมโกลบินในไขกระดูก ทำให้เกิดโลหิตจางเป็นผลให้การขนส่งออกซิเจนลดลง

3. ผลต่อกรดนิวคลีอิก

ทำให้การสังเคราะห์โปรตีนผิดปกติไปซึ่งอาจมีผลทำให้เกิดมะเร็งหรือ การเกิดลูกวิรูป หรือการกลายพันธุ์

การปนเปื้อนของโลหะหนักในอาหาร อาจสืบเนื่องมาจากกระบวนการผลิต กระบวนการแปรรูปและจากภาชนะบรรจุซึ่งเป็นส่วนสำคัญประการหนึ่งของกระบวนการแปรรูปภาชนะบรรจุมีหน้าที่สำคัญ 2 ประการคือ

1. ป้องกันอาหารที่บรรจุจากสภาวะที่ไม่พึงประสงค์ เพื่อให้สามารถเก็บรักษาอาหารไว้ได้ตามเวลาที่ต้องการ

2. เป็นสื่อชักจูงเพื่อการตลาดของผลิตภัณฑ์

<u>วัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ และภาชนะบรรจุแบบต่าง ๆ</u>

วัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ มีหลายชนิดขึ้นกับวัตถุประสงค์ในการป้องกันอาหารที่บรรจุอยู่ภายใน โดยแบ่งภาชนะบรรจุตามการใช้งานออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1. ภาชนะสำหรับผลิตภัณฑ์

ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์โดยตรง และมีจุดประสงค์ เพื่อรักษาคุณภาพ ของอาหารที่บรรจุ และเพื่อการจำหน่าย เช่น กระป๋องโลหะ ขวดแก้ว ซองพลาสติก และฟิล์มลามิเนตต่าง ๆ

2. ภาชนะเพื่อการขนส่ง จะใช้ใส่ผลิตภัณฑ์บรรจุ เพื่อการขนส่ง เช่น ลังไม้ กระสอบ กล่อง กระดาษลูกฟูก เป็นต้น

การใช้โลหะทำภาชนะบรรจุ จะมีข้อได้เปรียบกว่าการใช้วัสดุอื่น คือ ให้การป้องกันที่ดี ลดการแตกหักฉีกขาด สะดวกในการเก็บ และขนส่ง ที่อุณหภูมิห้อง

โลหะที่นิยมนำมาใช้ผลิตภาชนะบรรจุ คือ

1. แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก (tinplate)

ทำจากแผ่นเหล็ก ซึ่งเคลือบดีบุกไว้ทั้งสองด้าน แผ่นเหล็กที่นำมาเคลือบดีบุกอาจแบ่งได้หลายประเภท คือ L, MR และ D

แบบ L เป็นแผ่นเหล็กที่ผ่านการเตรียมเป็นพิเศษ มีปริมาณ ฟอสฟอรัส และโลหะอื่นตกค้างในปริมาณต่ำ นิยมใช้กับอาหารที่มีการกัดกร่อนสูง เช่น ผักดอง หรือน้ำผลไม้บางชนิด

แบบ MR มีฟอสฟอรัส และโลหะอื่นตกค้างมากกว่าชนิด L ใช้กับอาหารที่มีการกัดกร่อนปานกลาง หรือน้อย เช่น น้ำส้ม น้ำสับปะรด เป็นต้น

แบบ D นิยมใช้กับกระป๋องที่ขึ้นรูป โดยการรีด

การเคลือบดีบุกบนแผ่นเหล็ก มี 2 แบบ

1. การเคลือบ โดยการจุ่มแผ่นเหล็กลงในดีบุกหลอมเหลว โดยแผ่นเหล็กนี้จะมีดีบุกเคลือบหนา เรียก hot dipped tinplate

2. การเคลือบ โดยใช้กระแสไฟฟ้า ทำให้เคลือบได้บางขึ้น ช่วยประหยัดดีบุก เนื่องจากดีบุกดีมีราคาแพง และอาหารบางประเภทไม่จำเป็นต้องเคลือบดีบุกหนามาก การเคลือบด้วยวิธีนี้ สามารถกำหนดความหนาบางของดีบุกที่ใช้เคลือบได้ เมื่อใช้กับอาหารที่มีความกัดกร่อนสูง ด้านที่สัมผัสกับอาหาร จะมีการเคลือบดีบุกหนากว่าอีกด้านหนึ่ง

2. แผ่นเหล็กไม่เคลือบดีบุก (untinned or black plate)

ภาชนะชนิดนี้ นิยมใช้บรรจุสิ่งของที่ไม่ใช่อาหาร แต่อาหารบางชนิดก็สามารถนำมาบรรจุในภาชนะประเภทนี้ได้ ส่วนมากเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ เช่น ผักบางชนิด มะลยกอสุก เป็นต้น

ภาชนะชนิดนี้ ถึงแม้จะไม่เคลือบดีบุกแต่จะเคลือบแลกเกอร์แทน โดยก่อนเคลือบแลกเกอร์ จะต้องนำแผ่นเหล็กไปผ่านกระบวนการ bonderization เนื่องจากการเคลือบแลกเกอร์โดยตรงนั้น แลกเกอร์จะหลุดออกได้ง่าย ดังนั้น กระบวน bonderezation จึงช่วยให้แลกเกอร์เคลือบติดกับแผ่นเหล็ก โดยนำแผ่นเหล็กไปให้ความร้อนในสารละลายฟอสเฟต แต่แผ่นเหล็กที่ได้เมื่อขึ้นรูปเป็นกระป๋อง จะบัดกรีตะเข็บได้ยาก

3. อลูมิเนียม

กระป๋องที่ทำด้วยอลูมิเนียม มีข้อดี คือ

1. มีน้ำหนักเบา
2. ทนการกัดกร่อน โดยความชื้นในอากาศ
3. ไม่ทำให้เกิดรอยสีดำ กับอาหารที่มีกำมะถัน
4. สามารถขึ้นรูปเป็นภาชนะบรรจุได้หลายวิธี

แต่การใช้อลูมิเนียม จะมีข้อเสียเปรียบ คือ

1. การบัดกรีให้ติดกันทำได้ยาก
2. ทนต่อแรงดึงต่ำ อาจฉีกขาดได้ง่ายเมื่อทำตะเข็บคู่
3. เปิดด้วยเครื่องมือเปิดกระป๋องยากกว่ากระป๋องที่ทำจาเหล็กเคลือบดีบุก
4. อาจทำให้อาหารบางชนิดมีสีซีด
5. ต้องเพิ่มความหนาถึง 35% เพื่อให้แข็งแรงเท่ากระป๋องเคลือบดีบุก
6. อายุใช้งาน น้อยกว่ากระป๋องเคลือบดีบุก เมื่อใช้กับอาหารที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบมาก ๆ

นอกจากวัสดุที่นำมาทำกระป๋องแล้ว สิ่งที่สำคัญสำหรับการทำกระป๋องคือ การบัดกรีกระป๋อง ซึ่งการบัดกรีต้องใช้วัสดุ และเทคนิคในการทำอย่างระมัดระวังไม่เช่นนั้นจะเกิดการปนเปื้อนไปยังอาหารได้ สารที่ใช้บัดกรีนั้นมักเป็นโลหะผสม นิยมใช้โลหะผสมของดีบุกและตะกั่ว ในบางครั้งอาจเติมแอนติโมนี เงิน หรือ แคดเมียมลงไปเล็กน้อย เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของตะเข็บ สารบัดกรีที่นิยมใช้มีส่วนผสมของดีบุก 2% และตะกั่ว 98% (กิตติพงษ์, 2535) อาหารลงในกระป๋อง การสัมผัสระหว่างอาหารกับกระป๋อง อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น ผลที่เกิดขึ้นมี ทั้งข้อดีและข้อเสีย ข้อดี ได้แก่ ทำให้สีหรือรสชาติของอาหารดีขึ้น เช่น น้ำมะเขือเทศ นิยมบรรจุในกระป๋องที่ไม่เคลือบสารเคลือบจะทำให้สีและรสชาติของอาหารดีขึ้น หรือน้ำผลไม้จำพวกส้ม เมื่อบรรจุในกระป๋องไม่เคลือบภายในทำให้สีไม่คล้ำ เพราะเกิดการฟอกสี ส่วนข้อเสียที่เกิดขึ้น ได้แก่ อาจเกิดการฟอกสีแต่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ เนื่องจากสีได้เปลี่ยนไปจากเดิมในสภาพปกติ เช่น อาหารทะเลหรืออาหารที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบสูง ถ้าบรรจุในกระป๋อง ที่ไม่เคลือบภายในจะเกิดรอยสีดำของกำมะถัน อาหารที่เป็นกรดจะทำให้เกิดการผุกร่อน จึงต้องใช้การเคลือบภายในกระป๋องด้วยสารเคลือบ

สารเคลือบนี้มีหลายชนิดด้วยกัน เช่น สารเคลือบทนกรด, สารเคลือบทนกำมะถัน, สารเคลือบที่ใช้ได้ทั่วไป สำหรับอาหารทะเล เนื้อสัตว์บางชนิด สารเคลือบชนิดทนกำมะถันจะใช้ได้ดีที่สุด โดยสารเคลือบพวก phendic lacquer เป็นสารสังเคราะห์ที่นิยมใช้ เพราะสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดสีดำ และโอกาสปนเปื้อนสารกับอาหารได้น้อยมาก หมึกพิมพ์ที่ใช้พิมพ์นับเป็นส่วนประกอบหนึ่งของกระป๋องที่จูงใจผู้บริโภคให้สนใจในผลิตภัณฑ์ แต่หมึกพิมพ์นั้นอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ เนื่องจากในส่วนผสมของหมึกพิมพ์มีตัวทำละลายปนอยู่ ตัวทำละลายที่ใช้ละลายหมึกพิมพ์ควรถูกกำจัดออกหลังพิมพ์ เพื่อป้องกันไม่ให้มีกลิ่นปะปนอยู่ในอาหาร นอกจากนี้ในหมึกพิมพ์บางชนิดอาจมีตะกั่วปะปนอยู่ด้วย

ตารางที่ 1 มาตรฐานโลหะหนักบางชนิดในอาหาร

ชนิดโลหะหนัก	ปริมาณที่มีอยู่ได้สูงสุดในอาหาร 1 กิโลกรัม
ตะกั่ว	1 มิลลิกรัม
ทองแดง	20 มิลลิกรัม
ดีบุก	250 มิลลิกรัม
สารหนู	2 มิลลิกรัม
สังกะสี	100 มิลลิกรัม
ปรอท	0.02 มิลลิกรัม

ที่มา : กระทรวงสาธารณสุข (2527)

กฎหมายและมาตราฐานคุณภาพอาหารกระป๋อง

โครงการมาตรฐานอาหาร FAO/WHO CODEX และหน่วยงานของประเทศต่าง ๆ ที่มีหน้าที่รับผิดชอบเกี่ยวกับคุณภาพอาหาร ได้ตระหนักถึงอันตรายจากโลหะหนักที่ปนเปื้อนในอาหาร จึงมีการกำหนดปริมาณสูงสุดของโลหะในอาหารไว้ในกฎหมาย และมาตรฐานอาหาร เพื่อควบคุมให้อาหารมีการปนเปื้อนโลหะหนักเกินกว่าระดับที่จะบริโภคได้อย่างปลอดภัย ทั้งยังก่อให้เกิดความเป็นธรรมในด้านการค้าทั้งภายใน และระหว่างประเทศอีกด้วย หน่วยงานที่รับผิดชอบทางด้านคุณภาพอาหารในประเทศไทยมี 2 หน่วยงาน ซึ่งมีบทบาทความรับผิดชอบแตกต่างกัน ได้แก่ กระทรวงอุตสาหกรรม กระทรวงสาธารณสุขทำหน้าที่ควบคุมคุณภาพอาหารโดยออกกฎหมายควบคุม สำหรับงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเป็นหน่วยงานซึ่งให้การรับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ในรูปของเครื่องหมายมาตรฐาน โดยไม่มีข้อบังคับว่าผู้ผลิตทุกรายจะต้องได้รับการรับรองจากหน่วยงานนี้จึงเห็นได้ว่า กฎหมายพระราชบัญญัติอาหารกำหนดปริมาณโลหะหนักอย่างกว้าง ๆ และไม่ระบุชนิดของอาหาร ในขณะที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมระบุชนิดของอาหารอย่างเด่นชัดปริมาณโลหะหนักที่อนุญาตให้มีได้ในอาหารประเภทต่าง ๆ ที่กำหนดในมาตรฐาน CODEX ได้รวบรวมไว้ตารางที่ 2-5 ซึ่งแสดงปริมาณสูงสุดของโลหะหนักในอาหารที่กำหนดในพรบ. อาหารของกระทรวงสาธารณสุข และในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องประเภทต่าง ๆ ซึ่งกำหนดโดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ตารางที่ 2 ปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนในอาหารที่ร่างกายสามารถรับได้ภายใน 1 วัน

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก	
	mg/kg นน.ร่างกายต่อวัน	mg/kg นน.อาหารต่อวัน
As	0.05*	3.57
Cd	9.57×10^{-4} -1.19×10^{-3}	0.0684-0.0850
Cu	0.05*	35.71
Fe	-	-
Hg	7.14×10^{-4}	0.051
Pb	7.14×10^{-3}	0.051
Se	-	-
Sn	2.0*	142.8571
Zn	0.3-1.0*	21.4286-71.4286

* ค่าที่ประกาศใช้เป็นการชั่วคราว

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2528 ข)

ตารางที่ 3 มาตรฐานอาหารเกี่ยวกับปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนในอาหารกระป๋องประเภทต่าง ๆ ของโครงการมาตรฐานอาหาร FAO/WHO (CODEX alimentaries)

ชนิดของอาหาร	ปริมาณโลหะปนเปื้อนสูงสุด (PPM)								
	As	Cd	Cu	Fe	Hg	Pb	Se	Sn	Zn
1. ผักและผลไม้									
- หน่อไม้ฝรั่ง	-	-	-	-	-	-	-	250	-
- ถั่วกรีน	-	-	-	-	-	-	-	250	-
- แครอทและแตงกวา	-	-	-	-	-	-	-	250	-
- ฟรุทสลัด	-	-	-	-	-	-	-	250	-
- ฟรุทคอคเทล	-	-	-	-	-	-	-	250	-
- สับปะรดในน้ำเชื่อม	-	-	-	-	-	-	-	250	-
- เอปริคอทในน้ำเชื่อม	0.2	-	5.0	15	0.3	-	-	250	5.0
- ลูกพีชในน้ำเชื่อม	0.2	-	5.0	15	0.3	-	-	250	5.0
- ลูกแพรในน้ำเชื่อม	0.2	-	5.0	15	0.3	-	-	250	5.0
- ผลเตอเรนท์ในน้ำเชื่อม	0.2	-	5.0	15	0.3	-	-	250	5.0
- ผลไม้ประเภทส้มในน้ำเชื่อม	0.2	-	5.0	15	0.3	-	-	250	5.0
2. น้ำผลไม้									
- น้ำส้ม	0.2	-	5.0	15	0.3	-	-	250	5.0
- น้ำมะเขือเทศ	0.2	-	5.0	15	0.3	-	-	250	5.0
- น้ำสับปะรด	0.2	-	5.0	15	0.3	-	-	250	5.0
- น้ำมะนาว	0.2	-	5.0	15	0.3	-	-	250	5.0
- น้ำแอปเปิ้ล	0.2	-	5.0	15	0.3	-	-	150	5.0
- น้ำองุ่น	0.2	-	5.0	15	0.3	-	-	150	5.0
- น้ำแกรปฟุต	0.2	-	5.0	15	0.3	-	-	250	5.0
- น้ำแบลคเคอเรนท์	0.2	-	5.0	15	0.3	-	-	150	5.0

ชนิดของอาหาร	ปริมาณโลหะปนเปื้อนสูงสุด (PPM)								
	As	Cd	Cu	Fe	Hg	Pb	Se	Sn	Zn
3. น้ำผลไม้ชนิดเข้มข้น									
- น้ำแอปเปิ้ล	0.2	-	5.0	15	0.3	-	-	150	5.0
- น้ำส้ม	0.2	-	5.0	15	0.3	-	-	150	5.0
- น้ำองุ่น	0.2	-	5.0	15	0.3	-	-	150	5.0
- น้ำแบลคเคอเรนท์	0.2	-	5.0	15	0.3	-	-	150	5.0
- น้ำมะเขือเทศ	0.2	-	5.0	15	0.3	-	-	150	5.0

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2528 ข.)

ตารางที่ 4 กฎหมายและมาตรฐานอาหารเกี่ยวกับโลหะหนักปนเปื้อนในอาหารบรรจุภาชนะ

หน่วยงาน	ชนิดของอาหาร	หมายเลขมาตรฐาน	ปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนสูงสุด (ppm)							
			As	Cd	Cu	Fe	Hg	Pb	Sn	Zn
กระทรวงสาธารณสุข (พ.ร.บ.)	อาหารในภาชนะบรรจุปิดสนิท 1/									
	ก) ภาชนะโลหะ		2	-	20	-	0.5/0.02	1	250	100
	ข) ภาชนะที่ไม่เป็นโลหะ		2	-	-	-	0.5/0.02	1	-	-
สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (มอก.)	ข้าวโพดอ่อนกระป๋อง 2/	43 - 2516	-	-	-	-	-	-	250	-
	น้ำนมข้นหวาน 3/	48 - 2516	-	-	-	-	-	-	-	-
	สับปะรดกระป๋อง 4/	51 - 2516	-	-	-	-	-	-	250	-
	ลิ้นจี่กระป๋อง 5/	67 - 2517	-	-	-	-	-	-	250	-
	ลำไยกระป๋อง 6/	68 - 2517	-	-	-	-	-	-	250	-
	ผักกาดดองกระป๋อง 7/	69 - 2517	-	-	-	-	-	-	250	-
	ผักกาดผสมบรรจุกระป๋อง 8/	70 - 2517	-	-	-	-	-	-	250	-
	ถั่วลันเตากระป๋อง 9/	72 - 2517	-	-	-	-	-	-	250	-
	เห็ดฟางกระป๋อง 10/	73 - 2517	-	-	-	-	-	-	250	-
	ข้าวโพดครีมกระป๋อง 11/	98 - 2517	-	-	-	-	-	-	250	-
	น้ำส้มกระป๋อง 12/	99 - 2517	0.2	-	5.0	15	-	0.3	250	5.0
	น้ำมะเขือเทศกระป๋อง 13/	100 - 2517	0.2	-	5.0	15	-	0.3	250	5.0
	น้ำองุ่นกระป๋อง 14/	101 - 2517	0.2	-	5.0	15	-	0.3	250	5.0
	น้ำสับปะรดกระป๋อง 15/	112 - 2518	0.2	-	5.0	15	-	0.3	250	5.0

ตารางที่ 4 (ต่อ)

หน่วยงาน	ชนิดของอาหาร	หมายเลขมาตรฐาน	ปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนสูงสุด (ppm)							
			As	Cd	Cu	Fe	Hg	Pb	Sn	Zn
มอก.	เงาะกระป๋อง 16/	136 - 2518	-	-	-	-	-	-	250	-
	หน่อไม้ฝรั่งกระป๋อง 17/	141 - 2518	-	-	-	-	-	-	250	-
**	ปลาทูนากระป๋อง 18/	142 - 2518	-	-	-	-	-	0.5	200	-
	น้ำผลไม้สควอช 19/	187 - 2519	0.1	-	5.0	5.0	-	0.5	150	5.0
	นมแปลงไขมัน 20/	190 - 2519	-	-	-	-	-	-	-	-
	มะเขือเทศกระป๋อง 21/	246 - 2521	-	-	-	-	-	-	250	-
	กุ้งบรรจุกระป๋อง 22/	264 - 2521	2	-	20	-	0.5	2	250	100
	คอร์นบีฟกระป๋อง 23/	282 - 2521	-	-	-	-	-	2	250	-
	เนื้อปูกระป๋อง 24/	292 - 2522	2	-	20	-	-	0.5	150	100
	มะเขือเทศเข้มข้นบรรจุกระป๋อง 25/	305 - 2522	-	-	-	-	-	1	250	-
	เงาะสอดไส้สับปะรดบรรจุกระป๋อง 26/	372 - 2524	-	-	-	-	-	2	250	-
	หอยลายกระป๋อง 27/	430 - 2525	-	-	-	-	-	0.5	250	-
	ปลาหมึกกระป๋อง 28/	434 - 2525	2	-	20	-	0.5	2	250	100
	น้ำมะม่วงปรุงบรรจุกระป๋อง 29/	519 - 2527	2	-	20	-	0.5	2	250	100
	ปลาซาร์ดีนกระป๋อง 30/	89 - 2528	-	-	-	-	0.2	-	150	-

ตารางที่ 4 (ต่อ)

หมายเหตุ * ปรอทไม่เกิน 0.5 mg/kg สำหรับอาหารทะเล
0.02 mg/kg สำหรับอาหารประเภทอื่น

ที่มา : 1/ กระทรวงสาธารณสุข (2525)
2/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ก)
3/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ข)
4/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ค)
5/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ก)
6/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ข)
7/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ค)
8/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ง)
9/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 จ)
10/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ฉ)
11/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ช)
12/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ช)
13/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ฌ)
14/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ญ)
15/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ก)
16/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ข)
17/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ค)
18/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ง)
19/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ก)
20/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ข)
21/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ก)
22/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ข)
23/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ค)
24/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ก)
25/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ข)
26/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516)

27/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ก)

28/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ข)

29/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516)

30/ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516 ก)

ตารางที่ 5 ปริมาณโลหะหนักสูงสุดในปลาซาร์ดีนกระป๋องที่กำหนดในกฎหมายอาหารประเภทต่าง ๆ

กลุ่มประเทศ	มาตรฐานอาหารของ	ปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนสูงสุด (ppm)								
		As	Cd	Cu	Fe	Hg	Pb	Se	Sn	Zn
	โครงการมาตรฐานอาหาร FAO/WHO (CODEX)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. กลุ่มแอฟริกา	เคนยา	5.0	-	100	-	0.5	10	-	-	100
	แอฟริกาใต้	1.0	-	20	-	-	5.0	-	250	50
	อินเดีย	1.1	-	30	-	-	5.0	-	250	50
	สิงคโปร์	1.0	-	20	-	0.5	5.0	-	-	-
	ไทย									
	- พ.ร.บ. อาหาร	2.0	-	20	-	0.5	1.0	-	250	100
	- มอก.	-	-	-	-	0.15	-	-	150	-
	ฟินแลนด์	5.0	0.1	-	-	-	-	-	-	-
	ฮังการี	5.0	0.3	-	-	0.5	2.0	-	-	-
	สวีเดน	-	-	-	-	1.0	2.0	-	250	-
	อังกฤษ	-	-	20	-	-	3.0	-	250	50
4. กลุ่มลาตินอเมริกาและคาริเบียน		5.0	-	100	-	-	10	-	-	100
5. กลุ่มอเมริกาเหนือ	แคนาดา	-	-	-	-	-	-	-	250	-
6. กลุ่มแปซิฟิกตะวันตกเฉียงใต้	ออสเตรเลีย	1.0	0.2	10	-	0.5	2.5	1.0	150	150
	นิวซีแลนด์	2.0	1.0	30	-	0.5	4.0	2.0	150	40

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2528 ข)

99137

ความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักกับสุขภาพ

1. ตะกั่ว (Lead)

เป็นธาตุโลหะเก่าแก่ชนิดหนึ่งที่มนุษย์รู้จัก เป็นธาตุโลหะที่อ่อนสามารถโค้งงอได้ง่าย เป็นตัวนำความร้อนและไฟฟ้าที่เลว ในธรรมชาติจะไม่พบตะกั่วในรูปโลหะอิสระ แต่พบในแร่ซัลไฟด์หรือแก่กาลิน่าหรืออยู่รวมกับ โลหะอื่น เช่น ทองแดง สังกะสี เงิน และแคดเมี่ยม (Robinson,1987; Berman,1980)

ตะกั่วจะกระจายทั่วไปในธรรมชาติในรูปของธาตุ และถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในกระบวนการอุตสาหกรรมโดยใช้ในรูปของโลหะ (metallic form) เช่น ทำแบตเตอรี่ สายเคเบิล กระสุนปืน อาวุธเป็นต้น และใช้ในรูปของสารประกอบเคมี ได้แก่ พลาสติก สีทาบ้าน การทำเครื่องปั้นดินเผา ทำโลหะผสม เป็นสารที่เติมลงไปในน้ำมันเบนซินเพื่อป้องกันการกระตุกของเครื่องยนต์ (Verma and Doty,1979;Reilly,1980)

ตะกั่วจะปนเปื้อนทั่วไปในดิน อากาศ น้ำ และพืช เช่น ในดินและหินมีค่าเฉลี่ย 5-25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในน้ำ 1-60 ไมโครกรัมต่อลิตร ในอากาศ 0.0001-0.001 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและในพืช 0.1-2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (กิตติ,2528) จากการศึกษาของนักวิจัยหลายคนพบว่าปริมาณของตะกั่วในสิ่งแวดล้อมมีแนวโน้มสูงขึ้นเนื่องจากมีการนำเอาตะกั่วมาใช้กันมาก โดยตะกั่วที่ปนเปื้อนในบรรยากาศส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากรถยนต์ จากการศึกษาของเนริศพรรณ (2520) พบว่าอากาศบางแห่งของกรุงเทพฯ มีตะกั่วปนเปื้อนสูงถึง 600 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนตะกั่วที่ปนเปื้อนในน้ำมาจากน้ำเสียที่ปล่อยออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรม บ้านเรือนและแหล่งชุมชนเป็นส่วนใหญ่ Patterson (1965) กล่าวว่า ปัจจุบันน้ำผิวดินมีปริมาณตะกั่วมากกว่าในอดีตถึง 10 เท่า (0.5-5.0 ไมโครกรัมต่อลิตร) ความสามารถในการละลายน้ำของตะกั่วขึ้นอยู่กับความเป็นกรดด่าง และปริมาณเกลือในน้ำโดยน้ำกระด้างจะมีตะกั่วเพียง 30 ไมโครกรัมต่อลิตรน้ำอ่อนมีตะกั่วสูงถึง 500 ไมโครกรัมต่อลิตร (Davies,1973) สำหรับน้ำดื่มนั้น ทางองค์การอนามัยโลกได้กำหนดมาตรฐานของตะกั่วในน้ำได้สูงสุดไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 100 ไมโครกรัมต่อลิตร (WHO,1971) โดยทั่วไปตะกั่วในดินจะมีค่าค่อนข้างต่ำคือ ประมาณ 10-15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมแต่ในดินที่มีการเกษตรจะมี 2-200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เพราะมีการนำเอาสารเคมีที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบมาใช้กำจัดศัตรูพืชเช่น เลดอาร์ซิเนต Nyangababo และ Hamya (1986) ได้รายงานว่าปริมาณตะกั่วในดินจะขึ้นอยู่กับสภาพการจราจร โดยดินที่อยู่ริมถนนจะมีตะกั่วสูงกว่าดินที่ห่างไกลจากถนน และดินที่อยู่ลึกจะมีตะกั่วน้อยกว่าดินที่อยู่ผิวดิน

ในธรรมชาติจะมีตะกั่วปนเปื้อนในอาหารประมาณ 0.01 ส่วนในล้านส่วน (สุวิทย์, 2522) โดยตะกั่วที่ปนเปื้อนในอาหารนั้นอาจมาจากวัตถุดิบ สิ่งแวดล้อม หรือกระบวนการแปรรูปอาหารและการผลิต ตัวอย่างปริมาณการปนเปื้อนของตะกั่วในอาหารดังในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาณตะกั่วที่ปนเปื้อนในอาหารบางชนิด

ชนิดของอาหาร	ปริมาณตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
	MEAN	RANGE
ข้าว	0.17	<0.01-0.81
เนื้อสัตว์และปลา	0.17	<0.01-0.70
ผลไม้สด	0.12	<0.01-0.76
ผลไม้กระป๋อง	0.40	0.04-10.0
ผักสด	0.22	<0.01-1.50
ผักกระป๋อง	0.24	0.01-1.50
นม	0.03	<0.01-0.08

ที่มา : Reilly (1980)

จากตารางจะเห็นว่า ปริมาณตะกั่วในผลไม้กระป๋องค่อนข้างสูง รองลงมาคือผักกระป๋อง ทั้งนี้อาจเนื่องจากการถูกชะล้าง หรือมีการปลดปล่อยของตะกั่วจากกระป๋องหรือจากรอยเชื่อมต่อระหว่างกระป๋องกับฝากระป๋อง ที่น่าสังเกตคือผักสดก็มีปริมาณตะกั่วสูงกว่าอาหารชนิดอื่นอาจเนื่องจากพื้นที่ปลูกผักนั้นมีการปนเปื้อนของตะกั่วสูง หรือเนื่องจากมีการใช้สารเคมีต่าง ๆ ที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ

ตะกั่วในสัตว์และมนุษย์

จากการที่ตะกั่วได้ถูกนำไปใช้อุตสาหกรรมต่าง ๆ มากขึ้นนั้น ทำให้ตะกั่วถูกปลดปล่อยออกมาปนเปื้อนอยู่ตามแหล่งน้ำ อากาศ ดิน ตะกอน และพืชต่าง ๆ มากขึ้น ดังนั้น สัตว์ที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่มีการใช้สารตะกั่วหรือแหล่งที่มีสารตะกั่วสะสมอยู่สูง จะมีโอกาสได้รับสารตะกั่วเข้าไปสะสมอยู่ในร่างกายได้มาก Zook (1976) พบว่า ปลาทูน่าและปลาแซลมอนมีตะกั่วสะสมอยู่ประมาณ 0.13-1.99 และ 0.24-1.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ และเมื่อปลามีขนาดใหญ่ขึ้นระดับตะกั่วจะเพิ่มขึ้นด้วย

สารตะกั่วจะเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ทางอาหาร น้ำ ลมหายใจและผิวหนังที่เป็นแผลหรือมีรอยถลอก เมื่อสัมผัสกับสารตะกั่วที่มีปริมาณมากเป็นเวลานาน ตะกั่วจะซึมเข้าสู่ร่างกายได้ (มุกดา,2526) ปริมาณการสะสมของตะกั่วในร่างกายขึ้นอยู่กับโอกาส ระยะเวลา และการอยู่ใกล้หรือไกลจากแหล่งกำเนิดตะกั่ว (Hartweel และ คณะ, 1983) เช่น คนที่อาศัยอยู่ในกรุงเทพฯ มีปริมาณตะกั่วสะสมอยู่ในเส้นผมเฉลี่ยสูงกว่าคนในชนบทประมาณ 4 เท่า และประมาณ 22% ของคนที่อาศัยในกรุงเทพฯ มีปริมาณตะกั่วในเส้นผมสูงเกิน 30 ไมโครกรัมต่อกรัม นอกจากนี้ยังขึ้นกับสุขภาพ โภชนาการ และลักษณะการสัมผัส คนที่ทำงานในโรงงานผลิตแบตเตอรี่รถยนต์จะมีตะกั่วในเส้นผมเฉลี่ย 949.0 ไมโครกรัม ซึ่งสูงกว่าคนธรรมดาประมาณ 29 เท่า (เปี่ยมศักดิ์และคณะ,2526) Reilly (1980) กล่าวไว้ว่า การสะสมของตะกั่วในมนุษย์จะเพิ่มขึ้นตามอายุและระยะเวลาที่ได้รับ ถ้าร่างกายจะไปในร่างกายจะไปสะสมที่กระดูก (มุกดา,2526) ซึ่งตรงกับ Wesenberg และคณะ (1979) กล่าวว่า ตะกั่วมักไปสะสมในเนื้อเยื่อแข็ง ๆ เช่น ฟันกระดูกและยังสามารถไปสะสมในเนื้อเยื่อส่วนอื่น ๆ ได้อีก เช่น เลือด ตับ ไต ผมและน้ำเหลือง

นอกจากนี้ ตะกั่วยังสามารถถ่ายทอดผ่านรกจากมารดาเข้าสู่ทารกในครรภ์ได้ พบว่าตะกั่วจะผ่านรกไปยังทารกเมื่อมารดาตั้งครรภ์ได้เพียง 12 สัปดาห์ โดยจะสะสมที่กระดูกทารกมาที่สุดถึง 80 ไมโครกรัมต่อกรัม ส่วนในรก หัวใจและเลือดจะมีการสะสมน้อยกว่า (Reilly,1980) ในทารกวัย 1-2 เดือน ร่างกายจะดูดซึมตะกั่วได้เป็น 2 เท่าของผู้ใหญ่ โดยทารกดูดซึมตะกั่วได้ 7 ไมโครกรัมต่อน้ำหนัก 1 กิโลกรัมต่อวัน (Verma and Doty, 1979)

14642

ความเป็นพิษของตะกั่ว

ตะกั่วเป็นธาตุที่ไม่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตบอลิซึ่มของร่างกาย ถ้าร่างกายมีตะกั่วสะสมอยู่มากหรือสารตะกั่วเข้าไปในร่างกายในปริมาณมาก จะเกิดพิษต่อร่างกายมนุษย์และสัตว์ ระดับความเป็นพิษของตะกั่วต่อสิ่งมีชีวิตจะแตกต่างกัน ในมนุษย์ระดับความเข้มข้น ของสารอินทรีย์ตะกั่วระหว่าง 3.00-7.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อาจทำให้ตายได้ (บัญญัติ, 2520) ส่วนทารกจะมีความไวต่อความเป็นพิษของตะกั่วมากกว่าเด็กอ่อน Verma และ Doty (1979) รายงานว่าปริมาณตะกั่วในเลือดของเด็กสูงสุดไม่ควรเกิน 30 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ถ้าสูงกว่านี้จะเกิดพิษตะกั่วอย่างรุนแรงทำให้ไตอักเสบ และโลหิตจางได้ ถ้าเด็กมีตะกั่วสะสมอยู่มากถึงระดับหนึ่งจะทำให้เด็กเซื่องซึม เบื่ออาหาร โลหิตจาง น้ำหนักลด ความประพฤติแปรปรวน ท้องผูก ท้องเดิน ปวดท้อง ปวดศีรษะ การเจริญเติบโตช้ากว่าเด็กปกติทั่วไป ที่สำคัญคือทำลายระบบประสาทและทำให้การพัฒนาของสมองชะงัก (กิตติ, 2524)

เมื่อร่างกายได้รับตะกั่วเข้าไปสะสมอยู่มากเกินไป จะทำให้เกิดพิษต่อร่างกายเรียกว่า "โรคตะกั่วเป็นพิษ" ซึ่งอาจจะเป็นโรคตะกั่วเป็นพิษแบบเฉียบพลัน (Acute lead poisoning) หรือโรคตะกั่วเป็นพิษแบบเรื้อรัง (chronic lead poisoning) พิษตะกั่วแบบเฉียบพลันจะมีอาการคือ มีผลต่อระบบทางเดินอาหารโดยตรง เช่น เจ็บคอ ฝีดคอ กระหายน้ำ มีกลิ่นโลหะในปาก ปวดหน้าท้อง คลื่นไส้อาเจียน ท้องร่วงหรืออาจท้องผูก อุจจาระมีเลือดหรือมีสีดำเนื่องจากมีตะกั่วซัลไฟด์ บางรายมีอาการกระตุกของกล้ามเนื้อ กล้ามเนื้ออ่อนเพลียเจ็บปวดเป็นตะคริว มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลางเช่น ปวดศีรษะ นอนไม่หลับ เศร้าซึม และเนื้อเยื่อสมองถูกทำลาย ปัสสาวะน้อยลง มีอัลบูมินและเมือกในปัสสาวะน้อยลง มีอัลบูมินและเมือกในปัสสาวะ ไตอักเสบ อาจเสียชีวิตใน 1-2 วัน ส่วนพิษตะกั่วแบบเรื้อรังเกิดขึ้นเนื่องจาก ได้รับสารตะกั่วเข้าไปปริมาณน้อยแต่เป็นเวลานานทำให้เกิดอาการของโลหิตจาง เบื่ออาหาร ท้องผูก เป็นตะคริวที่หน้าท้อง มีเส้นตะกั่วที่ขอบเหงือกสีม่วงคล้ำ (lead lind) มีอาการทางประสาทและสมอง การแพ้พิษตะกั่วอินทรีย์จะมีอาการนอนไม่หลับ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดศีรษะ กล้ามเนื้อไม่มีแรง อ่อนเพลีย น้ำหนักลด ใจสั่น ตกใจง่าย ท้องร่วง ปวดท้อง และเพ้อคลั่ง (Reilly, 1980; Duffus 1980 ; Berman, 1980; Harrison และ Laxen, 1981 ; Voors และคณะ,1982)

ความเป็นพิษของตะกั่วต่อระบบประสาท Purdy และคณะ (1981) รายงานว่าสารตะกั่วเข้าไปทำลายเซลล์ประสาทโดยตรง หรือทำให้เกิดอาการบาดเจ็บที่สมอง ทำให้สมองเกิดอาการบวมโดยในขั้นแรกสารตะกั่วเพียงเล็กน้อย จะเข้าไปยับยั้งการสังเคราะห์โคแฟกเตอร์ (cofactor) ที่สำคัญของการถ่ายทอดข่าวสารของระบบประสาท

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

(neurotranmitter) ซึ่งทำให้สมองพัฒนาช้า มนุษย์และสัตว์ถ้าได้รับสารตะกั่วเข้าสู่กระแสโลหิตมากกว่า 80 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร จะทำให้พฤติกรรมเปลี่ยนไป ที่ไตตะกั่วจะไปทำให้ท่อซึ่งทำหน้าที่ดูดซึมกลูโคส กรดอะมิโนและฟอสเฟตทำหน้าที่ลดลง ทำให้การทำงานของไตล้มเหลว (มุกดา, 2526) นอกจากนี้ตะกั่วจะยับยั้งการทำงานของน้ำย่อยที่มีหมู่ซัลไฮดริล (SH-group) โดยตะกั่วจะรวมตัวกับหมู่ซัลไฮดริล ทำให้น้ำย่อยไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ (Verma และ Doty, 1979)

การทำให้เกิดโรคโลหิตจางเป็นผลจากสารตะกั่วไปยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ heme ซึ่งจะนำไปใช้ในการสังเคราะห์ฮีโมโกลบิน โดยตะกั่วไปยับยั้งการทำงานการทำงานของน้ำย่อย delta-aminolevulinic aciddehydrase (ALA dehydrase) ซึ่งจะเปลี่ยน delta-aminolevulinic acid (ALA) ให้เป็น porphobilinogen และยับยั้งน้ำย่อยที่จะนำเหล็กมารวมกับ porphobilinogen ให้เป็น heme ทำให้ heme ลดลง เซลเม็ดเลือดแดงมีอายุสั้น จำนวนเม็ดเลือดแดงลดลงด้วย บุคคลที่เกิดอาการเป็นพิษของตะกั่วนี้จะพบ ALA ในปัสสาวะ และยังพบ coproporphyrin สะสมในปัสสาวะและเม็ดเลือดแดงด้วย (บัญญัติ, 2520 ; เปี่ยมศักดิ์, 2525) นอกจากนี้ตะกั่วยังสามารถทำลาย hemeglobin ที่มีอายุมาก โดยตะกั่วจะเป็นตัวเร่งให้ฮีโมโกลบินเปลี่ยนเป็นเม็ทฮีโมโกลบินได้เร็วขึ้น ทำให้มีการนำออกซิเจนได้น้อยลง และตะกั่วยังเร่งการทำงานของม้าม และตับในการกำจัดเม็ดโลหิตแดงทำให้จำนวนเม็ดโลหิตแดงน้อยลง (เปี่ยมศักดิ์, 2525) ระดับตะกั่วในโลหิตที่มีผลต่อการเกิดอาการโรคต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ระดับตะกั่วในโลหิตที่มีผลต่อการเกิดอาการของโรคต่าง ๆ

ระดับตะกั่วในโลหิต (ไมโครกรัมต่อ 100 มล.	อาการที่เกิดขึ้น	ผู้ได้รับอันตราย
10	S-ALAD enzyme inhibition	เด็ก+ผู้ใหญ่
N-20	Erythrocyte protoporphyrin elevation	ผู้หญิง+เด็ก
20-30	Erythrocyte protoporphyrin elevation	ผู้ชาย
40	Increased urinary ALA excretion	เด็ก+ผู้ใหญ่
40	Anaemia	เด็ก
40	Co-proporphyrin elevation	เด็ก+ผู้ใหญ่
50	Anaemia	ผู้ใหญ่
50-60	Cognitive (contral nervous system) deficits	เด็ก
50-60	Peripheral neuropothies	เด็ก+ผู้ใหญ่
80-100	Encephalopathic symptoms	เด็ก
100-120	Encephalopathic symptoms	ผู้ใหญ่

ที่มา : Harrison และ Laxen (1981)

2. <u>ปรอท (Mercury)</u>

ปรอทสามารถรวมได้กับสารทั้งอินทรีย์และอนินทรีย์ ใช้เป็นส่วนประกอบของยารักษาโรค อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ ยาฆ่าเชื้อโรค ตลอดจนใช้ในอุตสาหกรรมเคมี

สารปรอทที่ตกค้างในอาหารหรือสิ่งแวดล้อม มักอยู่ในรูปของเมทธิล โดยเฉพาะที่ตรวจพบในเนื้อปลาทั้งนี้เนื่องจากการที่ปรอทในรูปต่าง ๆ นั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะปรอทพวกอนินทรีย์จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของอินทรีย์ โดยธรรมชาติตลอดเวลา ระดับปรอทหรือสารพิษอื่น ๆ จากสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งไปยังสิ่งมีชีวิตอีกชนิดหนึ่ง ได้โดยการกินเป็นทอด ๆ เช่น แพลงตอนกินแบคทีเรีย ปลาเล็กกินแพลงตอน ปลาใหญ่กินปลาเล็ก คนหรือสัตว์กินปลาขบวนการนี้เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของสารปรอทให้มากขึ้นในสิ่งมีชีวิตตามลำดับ จึงเป็นขบวนการที่นับว่ามีความสำคัญในการถ่ายทอดสารพิษจากสิ่งแวดล้อมมาสู่คนและสัตว์ ซึ่งคนจะได้รับสารพิษจำนวนมากที่สุด เพราะคนเป็นระดับการถ่ายทอดขั้นสุดท้าย

ตารางที่ 8 ระดับปรอทที่มีอยู่ตามปกติในสิ่งแวดล้อม และในสิ่งมีชีวิต

สิ่งแวดล้อม		
อากาศ		
1. ในชนบท	0.01-0.17	ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร
2. ในแหล่งอุตสาหกรรม	100	ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร
3. ในเหมืองแร่	20,000	ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร
น้ำ		
1. น้ำจากมหาสมุทร	0.03-2.00	ppb. (แล้วแต่ความลึก)
2. น้ำทั่ว ๆ ไป	0.02-0.07	ppb.
สิ่งมีชีวิต		
พืช		
มันฝรั่ง	0.01	ppm.
ยะเขือเทศ	0.02	ppm.
ข้าวสาลี ข้าวบาร์เล่ย์	0.08-0.15	ppm.
ข้าวสาร	0.015	ppm.
สาหร่ายทะเล	0.023-0.037	ppm.
สัตว์		
สมอง	01	ppm.
ไต	2.75	ppm.
ตับ	0.3	ppm.
ลำไส้ใหญ่	0.05	ppm.
กล้ามเนื้อ	0.15	ppm.
ไข่	<0.1	ppm.

ที่มา : การสำรวจสิ่งแวดล้อมในประเทศสหรัฐอเมริกา

ตารางที่ 9 ระดับของปรอทในสิ่งแวดล้อม และในสิ่งมีชีวิต ในระหว่างที่เกิดการระบาดของพิษปรอท

ตัวอย่างที่ตรวจจากอ่าวมินามาตะ	ระดับปรอท (ppm.)	จำนวนเท่าของน้ำทะเล
น้ำทะเล	$0.5*10^{-3}$	1
แพลงตอน	5	10,000
หอย	6	60,000
ปลา ปู	39	78,000
แมลงในน้ำ	100	200,000
เนื้อเยื่อไตผู้ป่วย	144	288,000
เส้นผมผู้ป่วย	705	1,410,000
เลือดผู้ป่วย	1,300	2,600,000

ความเป็นพิษของปรอท

ปรอทพวกอนินทรีย์ดูดซึมได้ดีโดยทางปอด และกระเพาะอาหาร ดูดซึมผ่านผิวหนังได้ไม่ค่อยดี หลังจากดูดซึมแล้วส่วนใหญ่จะไปอยู่ตับ และไต ปรอทอินทรีย์ดูดซึมได้ดีโดยทางปอด กระเพาะอาหาร และทางผิวหนัง แล้วพวกเฟนนิล และเม็ททอกซีเอ็ททิลจะสลายตัวภายในร่างกายได้ปรอทในรูปของอนินทรีย์แล้วจะไปอยู่ที่ไตเพื่อขับถ่ายออก ปรอทไม่ว่าจะอยู่ในรูปใดจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของเม็ทธิลในร่างกาย ซึ่งเป็นรูปที่คงทนที่สุด จะกระจายตัวอยู่ในกระแสโลหิตแล้วไปเกาะกับเม็ดเลือดแดง นอกจากนี้ปรอทเมทธิลยังไปสะสมอยู่ในสมองมากว่าปรอทตัวอื่น ๆ โดยจะไปสะสมในสมองส่วนซีรีบรัม และ ซีรีเบลลั่ม

ปรอทในรูปอินทรีย์ และอนินทรีย์ มีกลไกการออกฤทธิ์ทางชีวเคมีเหมือนกัน ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นคล้ายกับที่เกิดกับโลหะชนิดอื่นๆ คือ ปรอทในรูปไอออนสามารถรวมตัวกับหมู่ซัลฟ์ไฮดริล (-SH) ในโปรตีน และเอ็นไซม์ ไอออนปรอทจะรวมตัวกับหมู่ซัลฟ์ไฮดริลของเอนไซม์ทุกชนิด ทำให้หน้าที่ของเอ็นไซม์ถูกขัดขวาง เมตาบอลิซึมของร่างกายก็ถูกรบกวนไปด้วย จุดแรกที่ปรอทจะทำลาย คือ เยื่อหุ้มเซลเนื่องจากมีเอ็นไซม์ที่มีหมู่ซัลฟ์ไฮดริลจำนวนมาก เมื่อไอออนปรอทไปรวมตัวกับหมู่ซัลฟ์ไฮดริล แล้วปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่าง ๆ ก็เสียไป เมื่อไอออนปรอท เข้าไปในเซลแล้ว ก็จะไปรวมตัวกับ สารที่มีหมู่ซัลฟ์ไฮดริลในไซโตปลาสซึม ไมโตคอนเดรียไลโซโซม และ นิวเคลียส ทำให้ความเสียหายของเซลเพิ่มขึ้น

อาการป่วยในคนที่เป็นพิษจากปรอท คือ เริ่มแรกมีอาการชาที่แขน ขา เท้า และริมฝีปาก ต่อมาอีก 2-3 สัปดาห์ มีอาการกระวนกระวาย พูดจาไม่รู้เรื่อง ครวญคราง ฟังไม่ได้ยิน ตัวเกร็ง สั่น ชักกระตุก รายที่อาการหนักมากจะควบคุมสติไม่ได้ ดิ้นพราดตลอดวัน และบางทีก็หมดสติไปเลย คนที่มีชีวิตอยู่ก็จะเป็นอัมพาต พิการ

3. <u>ทองแดง (Copper)</u>

ทองแดงเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีพของพืช และสัตว์ จัดอยู่ในหมู่ 2 B ของตารางธาตุมีเลขอะตอม 29 มวลอะตอม 63.54 ความหนาแน่น 8.69 มีจุดหลอมเหลว 1,083 องศาเซลเซียส มีเลขออกซิเดชั่น + 1 และ + 2 จึงเกิดเป็นสารประกอบได้สองกลุ่ม คือ [cuprous] [Cu(II)] และ cupric [cu(III)] เช่น cupric oxide เป็นต้น ทองแดงเป็นโลหะที่อ่อนดัดงอได้ง่าย ทนต่อการกัดกร่อนนำความร้อนได้ดี และนำไฟฟ้าได้ดีเป็นที่สองรองจากเงิน ในธรรมชาติทองแดงจะพบอยู่รวมกับซัลไฟด์ เช่น สินแร่ chalcopyrite ($CuFes_2$) ; chalcocite (Cu_2S) และรวมกับ carbonate (McNeely และคณะ, 1979)

ทองแดงถูกนำไปใช้ประโยชน์ทั้งในรูปของโลหะทองแดง และสารประกอบของทองแดงกันอย่างกว้างขวางในทางอุตสาหกรรม เช่น การทอผ้า เม็ดสีในการผลิตเซรามิคและเส้นใย อุปกรณ์ไฟฟ้า สายไฟฟ้า อุปกรณ์สำหรับกระบวนการผลิตอาหาร ทำโลหะผสมกับโลหะต่าง ๆ เช่น สังกะสี ดีบุก ทอง และเงิน (McNeely และคณะ, 1979; Reilly, 1980) นอกจากนั้น สารประกอบของทองแดงยังถูกนำไปใช้ในการผลิตยารักษาโรคหลายประเภทและยาปราบศัตรูพืชพวก fungicide เช่น การใช้เกลือทองแดง เพื่อควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำ การใช้สารประกอบทองแดงรักษาความสดของอุ่นและมะเขือเทศ (McNeely และคณะ, 1979 ; Reilly, 1980)

การนำทองแดงมาใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวาง ทำให้ทองแดงกระจายอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม จากการศึกษาพบว่า มีในดิน 2-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Reilly, 1980) ในน้ำใต้ดิน 12 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำทะเล 0.0010.025 มิลลิกรัมต่อลิตร (McNeely และคณะ, 1979)

ทองแดงในสัตว์และมนุษย์

ทองแดงเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางเดินอาหารและทางเดินหายใจ โดยทองแดงถูกดูดซึมเข้าบริเวณทางเดินอาหารร้อยละ 30 การดูดซึมส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่กระเพาะอาหาร ปริมาณการดูดซึมจะขึ้นอยู่กับธาตุอื่น ๆ ที่ปนเปื้อนมากับอาหาร เช่น อาหารที่มีสังกะสีและโมลิบดินั่มสูงจะมี ปริมาณการดูดซึมของทองแดงต่ำ (Reilly, 1980) เมื่อทองแดงเข้าสู่ร่างกายจะกระจายไปปรากฏอยู่ในเนื้อเยื่อต่าง ๆ ได้แก่ ตับ สมอง ไต หัวใจ และผมจะมีทองแดงสะสมอยู่มากที่สุด รองลงมาได้แก่ กระดูก ม้าม ผิวหนัง ตับและกล้ามเนื้อ ส่วนพวกต่อมต่าง ๆ เช่น pituitary, thyroid และ prostate จะมีทองแดงสะสมอยู่น้อยที่สุด (Reilly, 1980) Berman (1980) ได้รายงานว่าปริมาณทองแดงที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อต่าง ๆ ในร่างกายจะลดลงเมื่อมีอายุมากขึ้น ยกเว้นที่สมองทองแดงจะสะสมมากขึ้นตามอายุ ในคนปกติโดยเฉลี่ยจะมีทองแดงในเลือด 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และเพศหญิงจะมีปริมาณทองแดงในเลือดสูงกว่าเพศชาย โดยเฉพาะผู้ที่คุมกำเนิด หรืออยู่ในระหว่างตั้งครรภ์ จะมีทองแดงในเลือดสูงถึง 2 มิลลกรัมต่อลิตร (Reilly, 1980)

ความเป็นพิษของทองแดง

ทองแดงเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการดำรงชีพ เนื่องจากเป็นองค์ประกอบในเอนไซม์ต่าง ๆ เช่น tyrosinase, ascorbic acid oxidase, cytochrome oxidase, monamine oxidase และ uricase ดังนั้นทองแดงจึงมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์ฮีโมโกลบิน การสร้างเซลล์เม็ดเลือดสี และการสร้างปลอกไมอีลินหุ้มเส้นใยประสาท (Arena, 1976 ; Albert, 1979) ถ้าร่างกายได้รับทองแดงมากหรือน้อยเกินไปจะเกิดโทษต่อร่างกาย โดยเด็กและทารกที่ขาดทองแดงจะมีอาเจียน ท้องร่วงและเกิดโลหิตจาง (Reilly, 1980) ถ้าร่างกายได้รับ copper sulfate มากเกินไปทำให้เกิดอาการน้ำลายฟูมปาก คลื่นเหียน อาเจียน ท้องร่วง ตับถูกทำลาย แต่ถ้าได้รับ ionic copper เข้าไปมาก อาการที่เกิดจะรุนแรงมากคือเม็ดเลือดแดงถูกทำลายมีเลือดออกตามกระเพาะอาหารและลำไส้ หัวใจเต้นผิดปกติ ความดันโลหิตสูง มีเลือดออกมากับปัสสาวะ กล้ามเนื้อหดตัวอย่างรุนแรงและตายในที่สุด (National Academy of Science Comitee on Copper, 1977) คนหรือสัตว์ที่ขาดทองแดงจะแสดงอาการโลหิตจาง พบอาการผิดปกติของระบบหมุนเวียนโลหิตและหัวใจ กระบวนการสร้างเม็ดเลือด การสร้างเม็ดสี ตลอดจนการสร้างกระดูกจะลดลง

ทองแดงถูกดูดซึมได้ดีจากลำไส้ ทองแดงที่ถูกดูดซึมจะอยู่ในกระแสโลหิตทั้งส่วนเม็ดเลือดและซีรั่ม และมีการสะสมในตับและเนื้อเยื่อบางชนิด โดยทั่วไปทองแดงจะอยู่ในสภาพของคิวปริคไอออนและคิวปรัสไอออน ทองแดงในสภาพดังกล่าวสามารถรวมตัวได้ดีกับส่วนไลโซโซม ไมโตคอนดรีย และนิวเคลียสของเซลล์ การสะสมของทองแดงในตับจะแตกต่างกันไป ตับจะขับถ่ายออกมาทางน้ำดีแล้วมีการดูดซึมกลับเข้าสู่กระแสโลหิตอีกทางลำไส้ กลไกในการเป็นพิษของทองแดงยังไม่ทราบแน่นอน เชื่อกันว่าตับและเนื้อเยื่ออื่น ๆ สามารถเก็บทองแดงในปริมาณที่จำกัด ปริมาณของทองแดงที่มีอยู่สูง ๆ ในอวัยวะดังกล่าวจะมีผลต่อการไปยับยั้งการทำหน้าที่ของเอนไซม์โดยเฉพาะในตับ ทำให้หน้าที่ของตับเสียไป ตับจะเกิดเนื้อตายทำให้ไม่สามารถที่จะรับ หรือขับถ่ายทองแดงได้จะพบว่าระดับของเอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของตับสูงขึ้นมากในเลือดเช่น เอ็นไซม์กลูตามิกออกซาโลอิ-ติกแอซิด ทรานส์อามิเนส เอ็นไซม์แลกติกดีไฮโรจีเนส พลาสม่าอาจีเนส และพลาสม่าบิลิ-รูบิน หน้าที่ของตับจะเสียไปภายในไม่กี่สัปดาห์ ทองแดงที่สะสมอยู่ที่ตับจะถูกขับออกมาจากตับเข้าสู่กระแสโลหิต แล้วไปรวมตัวกับเม็ดเลือดแดง และมีบางส่วนขับออกทางปัสสาวะภายใน 24 ชั่วโมง ก่อนที่จะเกิดอาการผิดปกติที่เรียกว่า "ฮีโมโลติกโครซีส" ทองแดงที่รวมตัวกับเม็ดเลือดแดงนั้นจะจับกันแน่นไม่หลุดอย่างง่าย ๆ

ภายในเม็ดเลือดแดง ไอออนของทองแดงจะเปลี่ยนเฟอรัสฮีโมโกลบินไปเป็นเม็ทฮีโมโกลบินไอออนของทองแดงในรูปของคิวปริค (+2) จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของคิวปรัส (+1) หลังจากที่เปลี่ยนฮีโมโกลบินเป็นเม็ทฮีโมโกลบิน ทองแดงในรูปของคิวปรัสสามารถรวมตัวกับหมู่ซัลฟ์ไฮดริลของสารประกอบต่าง ๆ เช่น กลูธาไธโอน และสามารถรวมตัวกับเอนไซม์ที่มีหมู่ซัลฟ์ไฮดริลด้วย ดังนั้นจึงพบว่าระดับของกลูธาไธโอนในเม็ดเลือดลดลงอย่างมากซึ่งมีผลทำให้เม็ดเลือดเปราะ แตกง่าย อาการดีซ่านและเม็ดเลือดแดงแตกเป็นอาการเด่นที่พบ หากตรวจทางโลหิตวิทยาจะพบว่า ปริมาณของฮีโมโกลบินและพีวีซีลดลงเม็ดเลือดขาวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าระดับบิลิรูบินในพลาสม่าและระดับเม็ทฮีโม-โกลบินสูงขึ้น

4. สังกะสี (Zinc)

สังกะสีมีเลขอะตอม 30 มวลอะตอม 65.35 ความถ่วงจำเพาะ 7.14 จุดหลอมเหลว 420 องศาเซลเซียส เลขออกซิเดชั่น + 2 ในธรรมชาติพบในสินแร่ zinc blende, calamine, zincite และ ร่วมกับแคดเมี่ยม ตะกั่ว พลวงและสารหนู โลหะสังกะสีถูกนำมาใช้เพื่อทำโลหะผสมต่าง ๆ เช่น ทองเหลือง บรอนซ์ ใช้เคลือบเหล็กเพื่อป้องกันสนิม สารประกอบของสังกะสีมีความสำคัญในอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ เช่น ยา ยางเม็ด สี ยาปราบศัตรูพืช นอกจากนั้นยังมีการใช้สารประกอบอินทรีย์ของสังกะสีเป็นสารเพิ่มออกแทนในน้ำมันเชื้อเพลิงแทนสารประกอบอินทรีย์ของตะกั่วด้วย (Reilly, 1980)

สังกะสีมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืช สัตว์ และคน สังกะสีเป็นส่วนประกอบเอนไซม์ต่าง ๆ เช่น alcohol dehydrogenase ในยีสต์และตับของคน, alkaline ใน E. Coli รก และเม็ดเลือดขาวของคน, corneal collagenase และ ALA-dehydratase ในเนื้อเยื่อของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม, lactate dehydrobenase ในกล้ามเนื้อกระต่าย, aldolase ในยีสต์และ E. Coli เป็นต้น สังกะสีมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต การพัฒนากระดูก และการมีลักษณะผิวพรรณที่ดี นอกจากนั้นยังช่วยในการรักษาสมดุลของโมเลกุลอินซุลินในเบตาเซล และของตับอ่อนอีกด้วย (Berman, 1980 ; Reilly, 1980)

ในอาหารแต่ละชนิดมีปริมาณสังกะสีแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ปริมาณสังกะสีในอาหารบางชนิด

ชนิดของอาหาร		ปริมาณสังกะสี RANGE	
ผักทั่วไป	1/	6.8	ppm.
มะเขือเทศ	3/	0.5	mg/100 gm
ผลไม้	1/	1.2	ppm.
ปลา	2/	13-44	ppm.
ตับหมู	4/	26.8-60.4	mg/kg
เนื้อสัตว์ปีก	5/	2 mg/100 gm	
ธัญญพืช	1/	6.3	ppm.

ที่มา : 1/ Ferre และ Marsa (1983)

2/ Reilly (1980)

3/ Gracia และ คณะ (1983)

4/ Thomas (1983)

5/ Lawter และ Klevary (1984)

ความเป็นพิษของสังกะสี

อาหารประเภทถั่ว เนื้อและอาหารทะเลมีสังกะสีปริมาณสูง ส่วนในผักมีปริมาณต่ำ 20-30% ของสังกะสีในอาหารจะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย การดูดซึมสังกะสีขึ้นกับองค์ประกอบของอาหารนั้น เช่น อาหารที่มี phytates และ fiber จะมีการดูดซึมสังกะสีต่ำ ส่วนกรดอะมิโนจะทำให้การดูดซึมสูงขึ้นสังกะสีถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดที่ลำไส้เล็กในส่วนของดูโอดีนั่มบริเวณ Mucosal cell สังกะสีจะเกาะกับอัลบูมินหรือทรานส์เฟอรินในเลือดและสะสมที่ตับ ม้าม ไต ตับอ่อน ส่วนของร่างกายที่มีการสะสมสังกะสีสูงสุด ได้แก่ prostate gland ตา ผม และเล็บ สังกะสีถูกขับออกจากร่างกายทางเหงื่อและอุจจาระซึ่งเป็นสังกะสีที่ถูกขับออกมาทางลำไส้บริเวณดูโอดีนั่มและทางตับอ่อน สังกะสีถูกขับทางปัสสาวะน้อยมาก ดังนั้น ถ้าในปัสสาวะมีปริมาณของสังกะสีสูงจึงเป็นการแสดงความผิดปกติของร่างกาย เช่น เป็นอาการของโรคไต (nephrosis) ตับแข็งเนื่องจากแอลกอฮอล์ (post alcoholic hepatic cirrhosis pophyria) (Berman, 1980; Reilly, 1980)

เนื่องจากสังกะสีเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต คนจึงจำเป็นต้องได้รับสังกะสีในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อให้กระบวนการต่าง ๆ ในร่างกายดำเนินไปอย่างปกติ จากการศึกษา ถ้าได้รับสังกะสีในปริมาณต่ำกว่าความต้องการอาการที่ปรากฏเด่นชัด ได้แก่ อัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่าปกติ เกิดแผลฟกช้ำที่ผิวหนังและแขนขา อวัยวะต่าง ๆ ทำงานผิดปกติ มีอาการปัสสาวะไม่ออก (น้อย) (anorexia) มีความต้านทานโรคต่ำ โลหิตจาง เนื่องจากเม็ดเลือดแตก บาดแผลปิดยาก (Berman, 1980)

ดังที่กล่าวมาแล้วว่า สังกะสีมักพบรวมกับแคดเมี่ยม ตะกั่ว พลวงและสารหนู ดังนั้นการเกิดพิษของสังกะสีจึงเกิดร่วมกับโลหะชนิดอื่น เมื่อเปรียบเทียบกับความเป็นพิษของโลหะชนิดต่าง ๆ สังกะสีจัดได้ว่าเป็นโลหะที่มีความเป็นพิษต่ำ

อาการพิษเฉียบพลันเนื่องจากได้รับสังกะสีมากเกินไป ได้แก่ คลื่นไส้ อาเจียน เยื่อบุทางเดินอาหารลึกกร่อน ท้องร่วง ตาลาย เซื่องซึม สูญเสียการควบคุมกล้ามเนื้อ เป็นตะคริว ไตไม่ทำงานและโลหิตจาง

อาการพิษเรื้อรังของสัตว์ยังไม่ปรากฏชัด โดยมากจะเกิดร่วมกับพิษของโลหะหนักชนิดอื่น (Crosby, 1979 ; Berman, 1980 ; Reilly, 1980)

สารหนู Arsenic

สารหนูหรืออาซีนิกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มอนินทรีย์และกลุ่มอินทรีย์ กลุ่มอินทรีย์ยังแบ่งออกเป็นหลายพวก เช่น พวกอลิฟาติก พวกไตรวาเลนท์ และพวกเฟนนิลอาร์เซนิก พวกเฟนนิลอาร์เซนิกใช้เป็นสารที่เติมในอาหารสำหรับเลี้ยงสัตว์ โรคที่เกิดจากสารหนูพบว่าเป็นโรคที่สำคัญรองจากตะกั่ว สารหนูอนินทรีย์พบได้ตามธรรมชาติและพวกที่สังเคราะห์ขึ้นมาในรูปของสารประกอบต่าง ๆ ซึ่งมีการใช้อย่างแพร่หลาย

สาเหตุของการเป็นพิษ

สารหนูอนินทรีย์พบได้ทั่วไปทั้งในดินและจากสินแร่ หรืออาจพบในรูปที่ผสมกับโลหะตัวอื่น ๆ หรือสารอื่น ๆ เช่น กำมะถัน สารหนูที่พบตามธรรมชาติส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของพัยไรท์ (FeS_2. $FeAs_2$) และอยู่ในรูปของซัลไฟด์ (As_2S) ในอุตสาหกรรมถ่านหินที่ใช้ความร้อนมักจะเกิดสารหนูในรูปของไตรออกไซด์ (As_2O_3) ซึ่งจะปะปนอยู่กับฝุ่นละอองหรือควันในสิ่งแวดล้อม

สารหนูพวกอนินทรีย์ ส่วนใหญ่จะใช้เป็นส่วนผสมของสารกำจัดวัชพืช เช่น สารหนูพวกไตรออกไซด์ (สารหนูขาว) โซเดียมอาซีไนท์ และเกลืออัลคาไลต่าง ๆ ของสารหนู เช่น โซเดียม หรือโปรตัสเซียม หรือแคลเซียมอาซีเตน พวกคอปเปอร์อะเซ็ทโตอาซีไนท์ (ปารีส กรีน) เลดอาซีเนท สารหนูพวกไตรออกไซด์ใช้เป็นยาฆ่าแมลงที่มีคุณภาพสูงสารหนูพวกอนินทรีย์ยังใช้เป็นยาเบื่อหนู และใช้สำหรับป้องกันเนื้อไม้เป็นอย่างดี นอกจากนี้สารหนูยังใช้เป็นส่วนผสมของสีบางชนิด เป็นส่วนผสมของผงซักฟอกและยาบางชนิด

สารหนูอินทรีย์ เช่น โซเดียมคาโคไดเลทและพิลไซด์ใช้สำหรับรักษาโรคพยาธิหัวใจในสุนัข ยา 2 ตัวนี้เป็นพวกเฟนนิลออแกนิคที่มีคุณสมบัติคล้ายสารหนูอนินทรีย์ และสารหนูอินทรีย์พวกอาลิฟาติก ไม่มีคุณสมบัติเหมือนพวกเฟนนิลอาร์เซนิก ที่ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารเสริมสัตว์

สารหนูอินทรีย์ที่ใช้เป็นยากำจัดวัชพืช เช่น โมโนโซเดียม มีเทนอาโซเนท หรือเอ็มเอส-เอ็มเอ และไดโซเดียม มีเทนอาโซเนทหรือดีเอสเอ็มเอ เป็นพิษต่อสัตว์และทำให้เกิดอาการพิษคล้ายคลึงกับที่เกิดจากสารหนูอนินทรีย์

ความเป็นพิษ

สารหนูอนินทรีย์เป็นพิษต่อคนและสัตว์ ความเป็นพิษมากหรือน้อยจะต่างกันไปขึ้นกับชนิดของสารหรือส่วนประกอบของสาร วิถีทางที่ได้รับ อัตราการดูดซึมจากระเพาะอาหารอัตราการเกิดเมตาบอลิซึมและการขับถ่ายออกจากร่างกาย ความเป็นพิษโดยทั่วไปสารหนูไตรวาเล้นท์เป็นพิษมากกว่าพวกเพนตะวาเล็นท์ สารหนูที่ละลายน้ำได้ เช่น โซเดียมอาซิไนท์ ดูดซึมได้ดีผ่านกระเพาะอาหารและลำไส้ตลอดจนผิวหนัง ส่วนสารหนูพวกไตรออกไซด์และพวกอื่น ๆ ซึ่งละลายน้ำได้น้อยกว่าส่วนใหญ่จะขับถ่ายทางอุจจาระ

สารหนูพวกไตรวาเลนท์หรือเพนตาวาเลนท์เมื่อเข้าสู่ร่างกาย จะออกฤทธิ์ต่อเซลล์เหมือนกัน คือ จะไปรวมตัวกับหมู่ซัลฟ์ไฮดริล (-SH) ของเซลล์ต่าง ๆ รวมทั้งโปรตีนและเอนไซม์ ดังแสดงในสมการดังนี้

$$R\text{-}As = O + 2R\text{-}SH \rightarrow R\text{-}As(\text{-}S\text{-}R)_2 + H_2O$$

สารประกอบอีกอย่างหนึ่งของสารหนูที่เป็นพิษร้ายแรงคือ ก๊าซอาร์ซีน ซึ่งมีฤทธิ์ไปรวมตัวกับหมู่ซัลฟ์ไฮดริลของเอนไซม์เช่นเดียวกัน เอ็นไซม์ที่ถูกอาร์ซีนขัดขวาง ได้แก่ ไพรูวิคดีไฮโดรจีเนสและเฮกโซไคเนส เป็นต้น และจะไปขัดขวางเอ็นไซม์อาร์บีซีคาตาเลสทำให้เกิดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นพิษต่อเม็ดเลือดแดง ทำให้ผนังเม็ดเลือดแดงสลายตัวไปผลตามมาก็คือเซลล์ต่าง ๆ ถูกทำลายทั้งเซลล์ตับ ม้ามและไต

สารหนูเป็นอันตรายต่อหลอดเลือดฝอยของเนื้อเยื่อทุกชนิด เนื้อเยื่อที่มีหลอดเลือดฝอย เช่น กระเพาะอาหาร ลำไส้ ตับ ไต ปอด ตลอดจนผิวหนังชั้นอินิเดอมิส เมื่อหลอดเลือดฝอยถูกทำลายจะทำให้ปริมาณของเลือดในร่างกายน้อยลง ความดันเลือดจะลดต่ำลงอย่างรวดเร็วจนถึงระดับที่ทำให้เกิดอาการช็อคได้ กล้ามเนื้อหัวใจทำงานผิดปกติเนื่องจากมีเลือดไปหล่อเลี้ยงไม่พอ ผนังของกระเพาะอาหารและลำไส้จะเกิดอาการบวมน้ำในที่สุดผนังของกระเพาะอาหารและลำไส้จะค่อย ๆ ลอกหลุดออก

อาการของไตอักเสบคือ ไตบวม เซลล์ในส่วนของท่อไตเกิดการเสื่อมสลาย ปริมาณของปัสสาวะที่ขับถ่ายออกมาจะสูงอย่างเห็นได้ชัด ตรวจพบโปรตีน เม็ดเลือดแดงและคาสท์ในปัสสาวะ

หากผิวหนังสัมผัสกับสารหนู หลอดเลือดฝอยในบริเวณนั้นจะพองตัวและเกิดการเสื่อมสลายตัว ผิวหนังเกิดเป็นตุ่มน้ำใสอยู่ข้างใน มีอาการบวมน้ำ ต่อมาผิวหนังจะแห้งแตกระแหงและมีเลือดไหลทำให้มีโอกาสติดเชื้อง่าย สารหนูสามารถทำให้เกิดมะเร็งผิวหนังได้ด้วย

ในรายที่เป็นพิษแบบเฉียบพลันจากสารหนูอนินทรีย์ มักตายใน 2-3 วันหลังจากรับสารนี้เข้าไปอาการที่พบคือ จะแสดงอาการเจ็บปวด เดินวนเวียน กระสับกระส่าย ตัวสั่น น้ำลายไหล อาเจียน ท้องเดิน หัวใจเต้นอ่อน อุณหภูมิ ท้องเดิน หัวใจเต้นอ่อน อุณหภูมิร่างกายลดต่ำกว่าปกติหมดความรู้สึกแล้วตาย

ในรายที่ไม่รุนแรง อาจมีชีวิตอยู่หลายวัน โดยมีอาการชีม เบื่ออาหาร ท้องเสีย พบเยื่อเมือกของลำไส้และเลือดปนออกมาด้วย ถ่ายปัสสาวะมากกว่าปกติ จะกระหายน้ำ เกิดอาการขาดน้ำ ขาเป็นอัมพาต สั่น ปลายเท้าเย็น อุณหภูมิร่างกายลดต่ำกว่าปกติ หมดความรู้สึกแล้วตาย อาการเรื้อรังแบบนี้จะพบมากในคน ในสัตว์ไม่ค่อยมี ในรายที่ได้รับก๊าซอาร์ซีน จะพบอาการของโลหิตจางเนื่องจากเม็ดเลือดแตก มีอาการเฉียบพลันคือ คลื่นไส้ อาเจียน หายใจสั้น ปวดศีรษะ

5. <u>แคดเมียม (Cadmium)</u>

แคดเมียม (cadmium) เป็นธาตุที่จัดอยู่ในหมู่ IIB ของตารางธาตุ มีคุณสมบัติต่าง ๆ คือ มีมวลอะตอม 112.40 มีความหนาแน่น 8.65 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ที่ 20 ซ.) จุดเดือด 765 ซ. จุดหลอมเหลว 320.9 ซ. มี oxidation number+2 เป็นโลหะสีขาวเงินอ่อนจึงงอและตีแผ่ได้ละลายได้ดีในกรดอินทรีย์ (Reilly, 1980) เนื่องจากแคดเมียมมีโครงสร้างอะตอมและคุณสมบัติอทางเคมีคล้ายกับสังกะสี ในธรรมชาติมักจะพบแคดเมียมกับสังกะสีเกิดอยู่ด้วยกันเสมอ (Berman, 1979) ในสภาพที่เป็นธาตุอิสระแคดเมียมไม่ละลายน้ำ

แคดเมียมเป็นธาตุที่พบอยู่ทั่วไปในดิน สินแร่ น้ำ อากาศ และสิ่งมีชีวิต ในธรรมชาติจะพบแคดเมียมมีปริมาณเล็กน้อยในน้ำและในดิน (Duffus, 1980) แคดเมียมในเปลือกโลกโดยเฉลี่ยมีประมาณ 0.15-0.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในน้ำจืดมีอยู่ประมาณ 0.001-0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทะเลมีประมาณ 0.0001 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (McNeely และคณะ, 1979) แคดเมียมที่พบปนเปื้อนอยู่กับโลหะต่าง ๆ เช่น สังกะสี ตะกั่ว ทองแดง และดีบุก (Reilly, 1980) นอกจากนี้แคดเมียมจะรวมตัวกับกำมะถันเป็นสินแร่ greenockite (Cds) (กิตติ, 2528) ตามรายงานของ Duffus (1980) และ Elinder (1982) ได้มีการนำแคดเมียมมาใช้ประโยชน์ต่าง ๆ โดยเฉพาะทางด้านอุตสาหกรรม ได้แก่ การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า การผลิตโลหะผสม การผลิตแบตเตอรี่ พลาสติกพีวีซี การผลิตสีต่าง ๆ เซรามิก ขวดหรือแก้วสี แท่งควบคุมเตาปฏิกรณ์ ปรมาณู อุปกรณ์วิทยุ และโทรทัศน์ เป็นต้น

ตามปกติแล้วแคดเมียมที่แพร่กระจายในธรรมชาติมีปริมาณไม่มากจนทำให้เกิดปัญหา แต่มาจากการนำแคดเมียมสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้น (Wesenberg, 1983) Lagerwerff และ Specht (1970) กล่าวว่าโรงงานถลุงแร่ การเสียดสีของล้อรถยนต์กับถนน การเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล และไอเสียของน้ำมันจะปล่อยแคดเมียมสู่สิ่งแวดล้อมสูงถึง 20-90 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อนุภาคของแคดเมียมที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศจะตกลงมาสู่ผิวดินและพืชโดยฝน หรือหิมะ หรือฝุ่นละออง (Haghiri, 1973) เช่น Munshower (1977) พบว่าแคดเมียมในดินจะลดลงไปตามระยะทางที่อยู่ห่างจากโรงงานถลุงแร่ และมีค่าใกล้เคียงกันเมื่ออยู่ห่างจากโรงงานตั้งแต่ 24 กิโลเมตรขึ้น ดังนั้นพืชและสัตว์ที่อาศัยอยู่ในบริเวณพื้นที่ที่มีอุตสาหกรรมจะมีปริมาณแคดเมียมอยู่มากกว่า ที่อาศัยในพื้นที่ที่ไม่มีอุตสาหกรรมตั้งอยู่ ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ปริมาณแคดเมียมในพืชและสัตว์ที่อาศัยใน polluted areas non-polluted areas

ชนิด	ปริมาณแคดเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
	polluted areas	nonpolluted areas
หญ้า	1.72	0.07
ถั่วอัลฟัลฟ่า	0.83	0.06
ข้าวบาร์เลย์	0.65	0.08
ตับวัว	1.67	0.22
ตับหมู	0.24	0.14
ไตหมู	0.99	0.39

ที่มา : munshower (1977)

แคดเมียมในสัตว์และมนุษย์

ปริมาณแคดเมียมที่สะสมในสัตว์ขึ้นอยู่กับปริมาณของแคดเมียมที่มีอยู่ในอาหารในห่วงโซ่อาหาร ปริมาณแคดเมียมที่มีอยู่ในดินและพืชจะถูกสะสมไปอยู่ในห่วงโซ่อาหารของมนุษย์และสัตว์ (Root และคณะ, 1975; Street และคณะ, 1978) Friberg และคณะ (1974) พบว่าในหอยนางรมและหอยกาบมีแคดเมียมสะสมอยู่มากกว่า 1 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักเปียก โดยนวกหอยสะสมแคดเมียมไว้ในเนื้อ ปูจะสะสมไว้ในไตและอวัยวะย่อยอาหาร ส่วนในสัตว์น้ำเค็มที่ใช้เป็นอาหารมีแคดเมียมสะสมอยู่ระหว่าง 0.05-3.66 มิลลิกรัมต่อไมโครกรัม (Reilly, 1980) กัลยา และคณะ (2521) ได้สำรวจพบว่ามีแคดเมียมในสัตว์ทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน ได้แก่ ปลา ปลาหมึก หอยเชลล์ ปูลาย มีค่า 0.42, 0.81, 42.80 และ 45.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้งตามลำดับ ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจะพบแคดเมียมสะสมที่ไตมากที่สุด รองลงมาคือที่ตับ (Bruweene และคณะ, 1980; anthony และคณะ, 1982)

แคดเมียมเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ทางระบบทางเดินหายใจและระบบทางเดินอาหาร การดูดซึม การสะสมและการกำจัดแคดเมียมออกจากร่างกายจะขึ้นอยู่กับทางที่ได้รับแคดเมียมเข้าไปและคุณสมบัติทางเคมีหรือกายภาพของแคดเมียม (Standstead และคณะ, 1979) Friberg และคณะ (1974); Webb (1975) และ Reilly (1980) ได้พบว่าการดูดซึมแคดเมียมที่บริเวณทางเดินอาหารจะต่ำมากประมาณร้อยละ 5,6 และ 2-8 ตามลำดับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอาหาร ได้แก่ โปรตีน วิตามิน และแคลเซียม ปกติมนุษย์จะได้รับแคดเมียมจากอาหารประมาณวันละ 4-64, 50 และ 10-30 ไมโครกรัม (อำนาจ, 2520; Standstead และคณะ, 1979 ; Reilly, 1980) ส่วนในประเทศญี่ปุ่น เมืองที่มีโรคพิษแคดเมียมเกิดขึ้นนั้นประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณแห่งนั้นจะได้รับแคดเมียมเข้าไปในร่างกายจากทางอาหารมากกว่า 200 ไมโครกรัมต่อวันต่อคน (Elinder,1982) สำหรับการได้รับแคดเมียมทางลมหายใจจะขึ้นอยู่กับขนาดและการละลายของแคดเมียม โดยร่างกายจะดูดซึมได้ร้อยละ 10-50 ของปริมาณที่หายใจเข้าไป (Sandstead และคณะ, 1979; Elinder, 1982) นอกจากนี้การสูบบุหรี่ 20 มวน ร่างกายจะได้รับแคดเมียมเข้าไป 3 ไมโครกรัม และแคดเมียมจะถูกปอดดูดซึมไว้ประมาณ 1.5 ไมโครกรัม (Elinder, 1982)

Sandstead และคณะ (1979) รายงานว่าการดกค้างของแคดเมียมในร่างกายจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบในอาหาร ถ้าอาหารขาดแคลเซียมและโปรตีนจะมีการสะสมแคดเมียมในตับและไตเพิ่มขึ้น แคดเมียมเมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดจะรวมตัวกับไทโอนีนซึ่งเป็นโปรตีนที่มีโมเลกุลต่ำเกิดเป็นเมทัลโลไทโอนีน (metallothionein) ทำให้มีการสะสมแคดเมียมในไต ตับ และในอวัยวะอื่น ๆ (Reilly, 1980; Duffus, 1980) Wesenberg (1983) รายงานว่ากระดูก ฟัน กล้ามเนื้อ เป็นอวัยวะที่มีแคดเมียมสะสมอยู่ต่ำกว่าไตและตับ การกำจัดแคดเมียมออกจากร่างกายทางปัสสาวะและอุจจาระจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ในร่างกายมนุษย์แคดเมียมจะถูกขับออกกับปัสสาวะประมาณ 0.3-0.7 ไมโครกรัมต่อวัน นอกจากนี้แคดเมียมปริมาณน้อย ๆ ยังถูกขับถ่ายปนกับเหงื่อผ่านผิวหนังและผมอีกด้วย (Webb, 1975) Elinder (1982); Berman (1980) และ Reilly (1980) รายงานว่าแคดเมียมมี half life ในร่างกายมนุษย์ยาวนานมากประมาณ 7-30, 38 และ 40 ปีตามลำดับ ทำให้ร่างกายมีแคดเมียมสะสมอยู่สูงเมื่อมีอายุอยู่ในช่วงวัยกลางคน ดังนั้นคนที่มีอายุ 50 ปี จะมีแคดเมียมสะสมในร่างกายประมาณ 15-30 และ 25-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Reilly, 1980; FAO และ WHO, 1972)

<u>ความเป็นพิษของแคดเมียม</u>

แคดเมียมเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่มีพิษร้ายแรงต่อมนุษย์ ร่างกายเมื่อได้รับแคดเมียมเข้าไปแคดเมียมจะจับกับโปรตีน ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำทำให้แคดเมียมถูกเก็บสะสมไว้ในอวัยวะต่างๆ โดยเฉพาะในไตจะมีแคดเมียมสะสมอยู่สูงกว่าที่อื่น การขจัดแคดเมียมออกจากร่างกายเกิดขึ้นได้ช้ามาก (Wesenberg และคณะ, 1979; Reilly, 1980; Elinder, 1982) เมื่อร่างกายมีแคดเมียมสะสมอยู่มากทำให้เกิดอาการโรคพิษแคดเมียม โดยมีอาการของโรคสองแบบคือ ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน และความเป็นพิษแบบเรื้อรัง (Elinder, 1982)

ลักษณะความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของแคดเมียม ตามรายงานของ Berman (1980); Reilly (1980) และ Elinder (1982) กล่าวว่าถ้าร่างกายได้รับแคดเมียมจากอาหารในปริมาณสูง หรือได้รับ 10-15 มิลลิกรัมต่อลิตรจากเครื่องดื่ม จะทำให้เกิดอาการคลื่นเหียนปวดท้องอย่างรุนแรง เป็นตะคริว ปวดหัว ท้องร่วง และอาจช็อคในทันทีที่ได้รับ ส่วนการหายใจเอาอากาศที่มีแคดเมียมออกไซด์เข้มข้น 15 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรเป็นเวลา 8 ชั่วโมง หรือมีความเข้มข้นสูงกว่า แต่ในระยะเวลาอันสั้นจะเกิดคอแห้ง ระคายคอ แน่นหน้าอก หายใจไม่ออก ปวดศีรษะ อาเจียน เป็นตะคริว ในที่สุดทำให้เป็นโรคปอดบวม ปอดอักเสบ และตายภายใน 4-7 วันที่ได้รับ นอกจากนี้พบว่าทำให้เกิดไต

อักเสบและการทำงานของตับเสื่อมลง (Elinder, 1982; Berman, 1980) ความเป็นพิษแบบเรื้อรังจะเกิดขึ้น เมื่อร่างกายได้รับแคดเมียมในปริมาณเพียงเล็กน้อยแต่เป็นระยะเวลานาน 20-30 ปี ทำให้กระดูกเปราะและไตพิการ เนื่องจากแคดเมียมไปรวมกับโปรตีนเซลล์ภายในไตทำให้การกรองสารและดูดซึมโปรตีนกลับสู่ไตผิดปกติ เป็นเหตุให้โปรตีนถูกขับออกมากับปัสสาวะมากขึ้น นอกจากนี้แคดเมียมยังไปรบกวนการดูดกลับแคลเซียมและฟอสฟอรัสให้ผิดปกติ ทำให้มีแคลเซียมกับฟอสฟอรัสออกมากับปัสสาวะมาก ร่างกายจึงขาดธาตุทั้งสอง ดังนั้นร่างกายจึงนำแคลเซียมและฟอสฟอรัสจากกระดูกมาใช้ เป็นเหตุให้กระดูกเกิดการแตกเปราะและมีรูปร่างผิดปกติ โค้งงอ โดยเฉพาะกระดูกสันหลัง กระดูกเชิงกราน ซี่โครงและขา ลักษณะของอาการแบบนี้เรียกว่าโรคอิไตอิโต ซึ่งพบครั้งแรกในประเทศญี่ปุ่นระหว่างสงครามโลกครั้งที่สอง (Berman, 1980' Reilly, 1980; Duffus, 1980; Elinder, 1982)

จากการศึกษาพบว่าแคดเมียมที่เข้าสู่ร่างกายก่อให้เกิดอาหารผิดปกติในอวัยวะต่าง ๆ ได้แก่ ทำให้เป็นโรคปอดบวม ถุงลมในปอดบวมพองและผนังถุงลมถูกทำลายโรคโลหิตจาง ความดันโลหิตสูง ตับถูกทำลาย ประสาทดมกลิ่นผิดปกติ (Berman, 1980; Reilly, 1980) Sandstead และคณะ (1979) กล่าวว่าในสัตว์ถ้าได้รับแคดเมียมเข้าไปในร่างกาย 170-500 ไมโครกรัมต่อวันจะทำให้โลหิตจาง ความดันโลหิตสูง และอายุสั้นลง ส่วน Duffus (1980) และ Elinder (1982) รายงานว่าแคดเมียมจะไปรบกวนระบบการสืบพันธุ์ในสัตว์ ทำให้โครดมโซมผิดปกติ ตัวอ่อนผิดปกติ ซึ่งตรงกับที่ Wier และ Walter (1976) ได้ทดลองพิษของแคดเมียมที่มีต่อหอยน้ำจือ พบว่าแคดเมียมทำให้การขยายพันธุ์ของหอยลดลง

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์ Atomic Absorption Spectrophotometer (Perkin Elmer Model 5100)
2. เครื่อง Microwave digester Manual 301 A
3. เครื่องชั่งอย่างละเอียด
4. เครื่องแก้วต่าง ๆ
   - แท่งแก้วคน (Stirring rod)
   - ปิเปต ขนาด 1 มิลลิลิตร
   - กรวยแก้วหรือกรวยพลาสติก
5. กระดาษกรอง
6. ขวด vial

สารเคมีชนิด Analytical Grade

1.	สารละลายมาตรฐานของทองแดง	ของ BHD
2.	สารละลายมาตรฐานของสังกะสี	ของ BHD
3.	สารละลายมาตรฐานของแคดเมียม	ของ BHD
4.	สารละลายมาตรฐานของตะกั่ว	ของ BHD
5.	สารละลายมาตรฐานของปรอท	ของ BHD
6.	สารละลายมาตรฐานของสารหนู	ของ BHD
7.	กรดไนตริค	ของ Merck
8.	กรดซัลฟุริค	ของ Merck
9.	ไฮดรเจนเปอร์ออกไซด์	ของ Merck

ตัวอย่าง

1.	ปลาทูน่ากระป๋องชนิดแช่น้ำมัน	ยี่ห้อ King fish, Sealect Heing
2.	ปลาทูน่ากระป๋องชนิดแช่น้ำเกลือ	ยี่ห้อ King fish, Sealect Heing

วิธีการ

การเก็บตัวอย่างปลาทูน่ากระป๋อง

เลือกชนิดที่ประชาชนนิยมบริโภค โดยการสุ่มจากห้างสรรพสินค้า

วิธีวิเคราะห์หาปริมาณทองแดง สังกะสี แคดเมี่ยม ตะกั่ว ปรอท และสารหนู

วิธีการวิเคราะห์ได้ดัดแปลง AOAC ปี 1989 ร่วมกับวิธีการของ prolabo ตามคู่มือเครื่อง Microwave Digeter Manual 301 A

1. การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์

นำปลาทูน่ากระป๋องมาบดละเอียดด้วยแท่งแก้วคน (stirring rod) นำตัวอย่างที่บดละเอียดแล้วอย่างละ 1 กรุม ใส่ในหลอดแก้วสำหรับย่อยสารของเครื่อง Microwave Digester Manual 301 A (ระวังอย่าให้ติดข้างหลอด) เติมสารละลายมาตรฐานของทองแดง, สารละลายมาตรฐานของสังกะสี, สารละลายมาตรฐานของแคดเมี่ยม, สารละลายมาตรฐานของตะกั่ว, สารละลายมาตรฐานของปรอท, และสารละลายมาตรฐานของสารหนู ซึ่งเข้มข้นอย่างละ 1 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ลงไปในหลอดแก้วย่อยสารโดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มแรกเติมสารละลายมาตรฐานของปรอทและสารหนู กลุ่มที่สองเติมสารละลายมาตรฐานของสังกะสี, ทองแดง, ตะกั่ว และแคดเมียม แล้วนำไปติดตั้งในเครื่อง Microwave Digester ทั้งนี้การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ทุกครั้งจะทำ blank ควบคู่ไปด้วย โดยการใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างปลาทูน่า โดยตั้งเงื่อนไขของเครื่องดังนี้

ตารางที่ 12 เงื่อนไขของเครื่อง Microwave Digester Manual 301 A

STEP #	REAGENT	SPEED	VOLUMN (ML)	POWER	TIME	DRY
1	H_2SO_4	10	1	-	-	-
2	HNO_3	5	5	20	15	-
3	H_2O_2	1	5	20	5	-
4	HNO_3	5	3	20	5	-

หมายเหตุ : เงื่อนไขนี้ได้ดัดแปลงจากวิธีการย่อยสลายตับวัว (beef liver)

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐานเพื่อทำ standard curve

การเตรียมสารละลายมาตรฐานของทองแดง สังกะสี แคดเมี่ยม ตะกั่ว ปรอท และสารหนู ใช้สารละลายมาตรฐานของแต่ละชนิดเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้เป็นสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

3. การวิเคราะห์

1. หา standard curve ของทองแดง สังกะสี แคดเมี่ยม ปรอท ตะกั่ว และสารหนู โดยนำสารละลายมาตรฐานของโลหะแต่ละชนิดที่เตรียมไว้ข้างต้น มาวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ซึ่งเครื่องจะนำค่า absorbance ที่วัดได้มาเขียนกราฟเป็น standard curve เพื่อใช้เทียบหาปริมาณของโลหะจากตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์

ตารางที่ 13 เงื่อนไขของเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer สำหรับการวิเคราะห์

ชนิดของธาตุ		ชนิดของเปลวไฟ
ตะกั่ว	ใช้ flame	ชนิด air acetylene
ทองแดง	ใช้ flame	ชนิด air acetylene
สังกะสี	ใช้ flame	ชนิด air acetylene
ปรอท	ใช้ flameless	ชนิด anhydried
สารหนู	ใช้ flameless	ชนิด anhydried
แคดเมี่ยม	ใช้ flame	ชนิด air acetylene

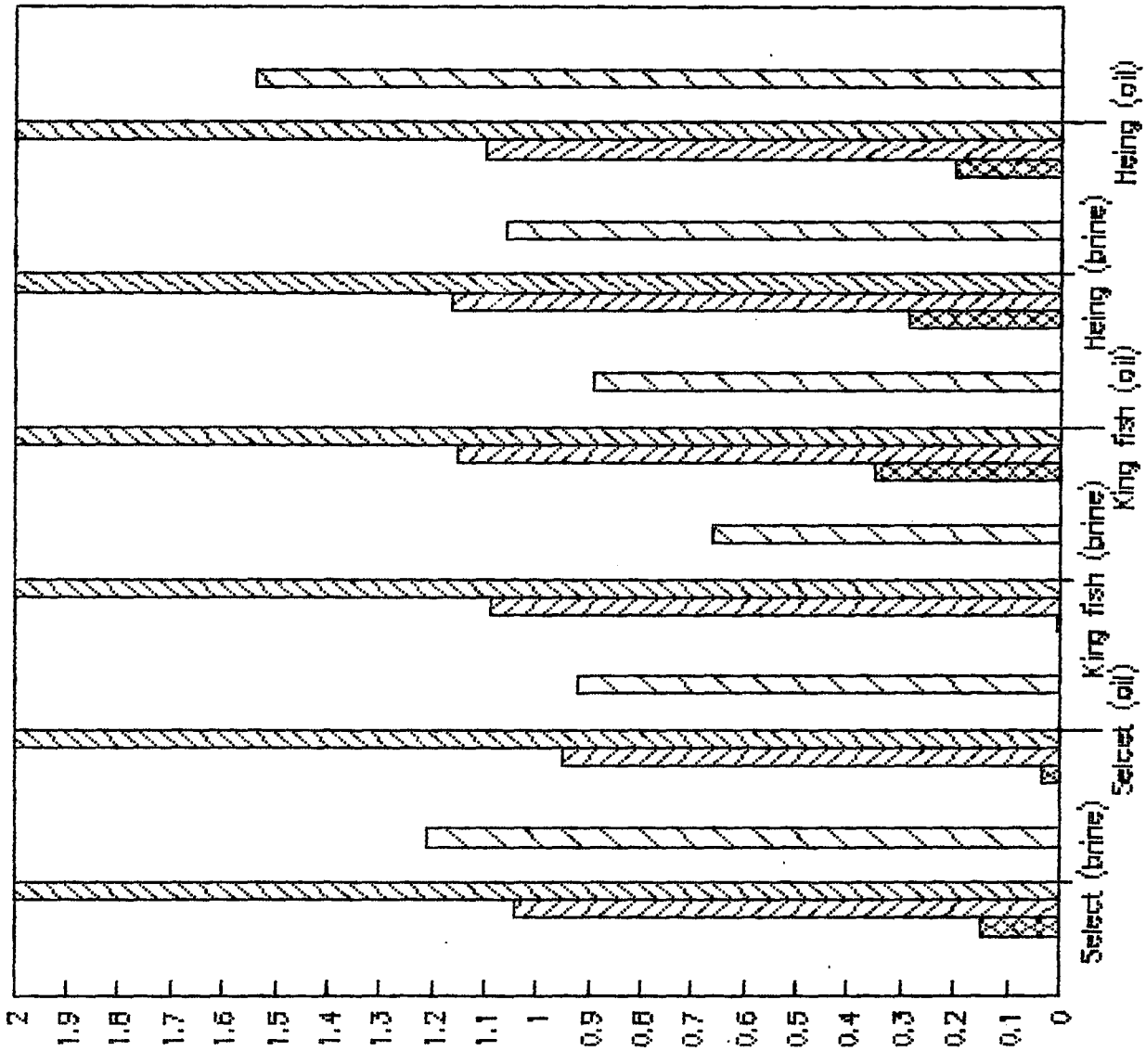
2. การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว ทองแดง สังกะสี ปรอท สารหนู และแคดเมียมในตัวอย่าง ปลาทูน่ากระป๋อง โดยนำเอาสารละลายซึ่งเตรียมได้จากข้อ 1. พร้อมทั้งblank มาวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ซึ่งจะได้ค่าปริมาณตะกั่ว ทองแดง สังกะสี ปรอท สารหนู และแคดเมี่ยม ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 14 แสดงปริมาณตะกั่ว ทองแดง สังกะสี ปรอท สารหนู และแคดเมี่ยมที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่าง (ppm)

โลหะหนัก / ตัวอย่าง	ตะกั่ว	ทองแดง	สังกะสี	ปรอท	สารหนู	แคดเมี่ยม
Select (brine)	0.150	1.04	5.81	ND	ND	1.21
King fish (brine)	0.033	0.95	4.65	ND	ND	0.92
Heinz (brine)	0.007	1.09	4.9	ND	ND	0.66
Select (oil)	0.349	1.15	8.22	ND	ND	0.89
King fish (oil)	0.290	1.16	7.25	ND	ND	1.06
Heinz (oil)	0.202	1.10	9.58	ND	ND	1.54

หมายเหตุ : ค่าที่ได้ลบจาก blank แล้ว

ND = วัดค่าไม่ได้



กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในทูน่าแช่ในน้ำเกลือและแช่ในน้ำมัน

= ตะกั่ว

= สังกะสี

= ทองแดง

= แคดเมี่ยม

ผลและวิจารณ์

ปริมาณโลหะที่ตรวจพบในอาหารกระป๋องแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 13 จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าปริมาณโลหะต่าง ๆ ที่ตรวจพบในอาหารชนิดเดียวกันมีความแตกต่างกันไม่มาก ยกเว้นสังกะสีซึ่งมีค่าสูงมาก ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากการเก็บตัวอย่าง ตัวอย่างที่เก็บมานั้นอาจเก็บมาโดยมีวันหมดอายุใกล้เคียงกัน ระยะเวลาที่อาหารอยู่ในกระป๋องใกล้เคียงกัน การปนเปื้อนของโลหะเนื่องจากการกัดกร่อนของกระป๋องเป็นไปในระยะเวลาใกล้เคียงกัน และตัวอย่างอาหารมีส่วนผสมในอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกัน

จากตารางที่ 14 แสดงปริมาณโลหะหนักในอาหารแต่ละชนิดซึ่งแสดงความแตกต่างของปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ยี่ห้อต่าง ๆ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ย จากค่าดังกล่าวนำมาสรุปเปรียบเทียบปริมาณเฉลี่ยโลหะหนักต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนในตัวอย่างอาหารแต่ละชนิด โดยแสดงในลักษณะกราฟแท่ง จากกราฟและตารางสามารถสรุปได้ดังนี้

1. เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักที่พบในอาหารแต่ละชนิด กับปริมาณโลหะหนักที่มีได้สูงสุดในอาหารซึ่งกำหนดไว้ในพระราชบัญญัติอาหารในภาชนะบรรจุโดยกระทรวงสาธารณสุข มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับอาหารกระป๋องประเภทต่าง ๆ ซึ่งกำหนดโดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหารซึ่งกำหนดโดยโครงการมาตรฐานอาหาร FAO/WHO (CODEX) พบว่าในปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในอาหารทุกตัวอย่างต่ำกว่าปริมาณที่กำหนดไว้ในพระราชบัญญัติและมาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหารทั้งของไทยและของโครงการมาตรฐานอาหาร FAO/WHO (CODEX) แสดงว่าอาหารกระป๋องยี่ห้อต่าง ๆ ที่ใช้เป็นตัวอย่างในการทดลองมีคุณภาพในด้านการปนเปื้อนของโลหะหนักถูกต้องตามกฎหมาย และตรงตามมาตรฐานของไทยและของโครงการมาตรฐานอาหาร FAO/WHO (CODEX) จึงทำให้มั่นใจได้ว่าอาหารที่นำมาทดลองมีความปลอดภัยในการที่จะบริโภคโดยไม่เกิดอันตรายเนื่องจากการปนเปื้อนของโลหะหนัก

2. เมื่อพิจารณาปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในอาหารแต่ละประเภท จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่ในน้ำมันจะมีแนวโน้มของปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่อยู่ในน้ำเกลือ ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่แช่ในน้ำเกลือภาชนะจะถูกเคลือบด้วยสารเคลือบที่สามารถทนต่อการกัดกร่อนของน้ำเกลือได้ เพราะเกลือจะช่วยเร่งปฏิกิริยาการกัดกร่อนร่วมกับไนเตรตซึ่งมีอยู่ในอาหารประเภทโปรตีนทุกชนิด ส่วนผลิตภัณฑ์ชนิดแช่ในน้ำมันนั้นภาชนะบรรจุไม่จำเป็นต้องเคลือบสารเคลือบเพื่อป้องกันการกัดกร่อน เพราะเป็นอาหารประเภทโปรตีนซึ่งแตกตัวในกรดอะมิโนซึ่งเป็นสารหน่วงการเกิดการกัดกร่อน นอกจากนั้นการปนเปื้อนของโลหะหนักปริมาณสูงในปลาทูน่าชนิดแช่น้ำมัน อาจมีสาเหตุมาจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาหารดังกล่าวมีปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนสูงกว่าอาหารชนิดอื่น

ไนเตรตที่ปนเปื้อนในอาหารอาจมีสาเหตุทั้งจากการปนเปื้อนในวัตถุดิบ และจากการเติมสารปรุงแต่งอาหารในขบวนการผลิต ไตเตรตอิออนมิใช่สารที่ก่อให้เกิดพิษต่อมนุษย์และสัตว์โดยตรง แต่จะก่อให้เกิดพิษต่อเมื่อเปลี่ยนรูปเป็นไนไตรต์อิออนโดยแบทีเรียในช่องปาก ลำไส้ และกระเพาะอาหาร พิษของไนไตรต์ที่สำคัญคือ ก่อให้เกิดโรค methacmoglobinacmia ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไนเตรต์และเฟอรัสอิออนในฮีโมโกลบิน ทำให้เปลี่ยนสภาพเป็น methacmoglobin ซึ่งมีความสามารถในการนำออกซิเจนต่ำลงร่างกายขาดออกซิเจน ผิวหนังและปากมีสีเขียวคล้ำ และจะกลับคืนสู่สภาพปกติเมื่อร่างกายไม่ได้รับไนเตรตอิออนอีก นอกจากนั้น เมื่อไตเตรตทำปฏิกิริยากับสารประกอบอามีนบางชนิดในร่างกายในสภาพเป็นกรด จะเกิดเป็นสารประกอบไนไตรซามีน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งและก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ (กุลชลี, 2525 ; WHO, 1978)

สรุป

ในการตรวจหาปริมาณโลหะหนักในอาหารกระป๋องบางชนิดซึ่งผลิตในประเทศไทย ซึ่งได้แก่ ปลาทูน่าในน้ำมันและปลาทูน่าในน้ำเกลือ พบว่าตัวอย่างอาหารทุกประเภทที่ใช้ในการทดลองซึ่งเป็นอาหารยี่ห้อต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว มีปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนต่ำกว่าปริมาณสูงสุดที่อนุญาตให้มีได้ในอาหาร ที่กำหนดในพรบ. FAO/WHO (CODEX) จึงเป็นที่แน่ใจได้ว่าอาหารเหล่านั้นมีความปลอดภัยที่จะใช้บริโภค ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในอาหารชนิดเดียวกันแต่ต่างยี่ห้อไม่มีความแตกต่างกัน แต่จะแตกต่างกันตามชนิดของอาหารซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของอาหารนั้นอาหารที่มีปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนสูงสุดคือยี่ห้อ Heinz ในน้ำมัน

ชนิดของโลหะที่ปนเปื้อนในอาหาร พบว่า ชนิดของโลหะที่พบเป็นปริมาณสูงในอาหารทุกประเภท ได้แก่ สังกะสี, ทองแดง โลหะหนักที่ปนเปื้อนในปริมาณต่ำ ได้แก่ ปรอท, สารหนู, ตะกั่ว, แคดเมี่ยม สำหรับแคดเมี่ยมและตะกั่วที่ปนเปื้อนในอาหารคาดว่าส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อน มีเพียงส่วนน้อยที่อยู่ในรูปอิออนอิสระ

บรรณานุกรม

กระทรวงสาธารณสุข. 2527. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98
เรื่อง กำหนดมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน.

_____. 2528. ความเป็นพิษของโลหะหนัก. จุลสารสภาวะแวดล้อม 4(5) : 24-31.

นพมาศ ชูวรเวช. 2526. ตะกั่ว สารมหาภัย. สารสิ่งแวดล้อม ข่าวสารสำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค 4(41) : 7.

บัญญัติ สุขศรีนาม. 2520. ตะกั่ว สารมหาภัย. สารสิ่งแวดล้อม 3(2) : 9-18.

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, วรวิทย์ ชีวาภรณาภิวัฒน์ และ มุนี เศรษฐบุตร. 2526. การเปรียบเทียบปริมาณตะกั่วในเส้นผมของคนในชนบทกับคนในกรุงเทพฯ. วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม 5 : 1-8.

ผุสดี ปริยานนท์ และกิ่งแก้ว วัฒนเสริมกิจ. 2528. การวิเคราะห์หาปริมาณของแมงกานีส สังกะสีในดิน และกากของเสียของโรงงานถ่านไฟฉายในเขตกรุงเทพมหานคร. วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม 7(7) : 1-23.

พิมล เรียนวัฒนา และ ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2525. เคมีสภาวะแวดล้อม. โอ เอส พริ้นติ้งเฮ้าส์ จำกัด. กรุงเทพฯ. 215 น.

พิมพรรณ เกิดอุดม และเชษฐมาศ ศรีสุชาติ. 2528. การศึกษาหาปริมาณของสารตะกั่วและแมงกานีสในเลือด และปัสสาวะของคนงานในโรงงานถ่านไฟฉาย. วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม 7(7) : 79-93.

เพริศพรรณ เกรียวสกุล. 2528. ปริมาณตะกั่วและแมงกานีสในอากาศในโรงงานถ่านไฟฉาย. วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม 7(7) : 48-60.

เพริศพรรณ คณาธารณา. 2520. ปัญหามลภาวะของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย. สถาบันวิจัยสภาวะแลดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 6 น.

มัลลิกา เอียงผาสุก. 2530. การตรวจหาปริมาณโลหะดีบุก ตะกั่ว เหล็ก สังกะสี แคดเมียม และทองแดง ในอาหารกระป๋องบางชนิดที่ผลิตในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มาลินี ลิ้มโภคา. 2527. พิษวิทยาและปัญหาที่พบในสัตว์. โรงพิมพ์จรัลสนิทวงศ์, กรุงเทพฯ. 364 น.

มุกดา จิรภูมิมินทร์. 2526. ตะกั่วของแถบที่เราไม่ต้องการ. วิทยาสตร์ 37(2) : 751-757.

ศิริมาส รัตนสุวรรณนุกูล. 2532. โลหะหนักในอาหารของเด็กวัยก่อนเรียนในกรุงเทพมหานคร.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สถาบันสภาวะแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2520. การศึกษาปัญหามิษตะกั่ว. สถาบันสภาวะแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. 73 น.

สมใจ ไชยราช และ สามารถ เรียนสร้อย. 2528. การศึกษาปริมาณแมงกานีส สังกะสี และตะกั่วในอาหารของคนงานโรงงานถ่านไฟฉาย. วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม 7(7) : 61-67.

สุวิทย์ อารีกุล. 2522. สารพิษในอาหาร. สุขภาพ 8(1) : 91-99.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2528. สารโลหะหนักปนเปื้อน ในผลิตภัณฑ์อาหาร. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ 69 น.

อำนาจ สิทธิตรชกุล. 2520. มลพิษอันเกิดจากโลหะบางชนิด. วิทยาศาสตร์ 31(10) : 29-40.

Albert, A. 1960. Selective Toxicology. Methuen Co., Ltd., London. 233 p.

Anthony, R.G. and R. Kozlowski. 1982. Heavy metals in tissue of small mammals inhabiting waste water irrigated habitats. J. Environ. Qual. 11(1) : 20-22

Barrett, M. 1985. Detrmiation of trace metal in canned food use in Egypt by using AAS. Food Sci. Tech Abstr. 17(9) : 42.

Berman, E. 1980. Toxic Metals and Their Analysis. Hyden, London. 293 p.

Chakravorty, S.C. and B. Ghosk. 1981. Role of nitrates in the corrosion of tin plates processed food cans-A review. Indian Food Packer 35(2) : 70-75.

FAO. 1973. Evaluation of Mercury, Lead, Cddmium and the food Additive Amaranth Uiethylprocarbonate and Octyl Gallate.

FAO Nutrition Mecting Report Serics No. 51A. 246 p.

FAO. and WHO. 1972. Evaluation of certain food additive and of the contaminants mercury, lead and cadmium. Sixteeth Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additive. 32 p.

Johnson, M.A, M.J. Baieer and J.L. Greger. 1982 Effect of dietary tin on zinc, copper, iron, mangarease and magnesium metabolism of adult males. Chem. Abstr. 97(7) : 505.

Oehme, F.W. 1979. Toxicity of Heavy Metals in the Environment Part 2. Marcel Dekker, Inc., New York. 971 p.

Reilly, C. 1980. Metal contamination of Food. Applied Science Publishers Ltd., London. 235 p.

Sitting, M. 1976. Toxic Metals : Pollution Control and worker Protection. Park Ridge, New Jersey. 245 p.

Stewart, G.F. and M.A. Amerine. 1973. Food Science and lechnology a Series of Monographs. Academic Press, New York. 294 p.

Thomas, B. 1984. Copper and Zinc content in foods of plant and animal arigin. Chem. Abstr. 100 (9) : 489.

Verma, M.M, C,L. Adinazayaniah, N.V. Sharma, B.T. Kumar, V.B. Saxena and T.v. Mathew. 1983. Trace element in some canned meat products. J. Food Sci. Technol. 20(4) : 153-154.

Webb, M. 1975. Cadmium. Chem. Food Envi. Brit. Med Bull. 31 : 246-250.

WHO. 1978. Nitrates, Nitrites and N-Nitroso Compound. WHO, Geneva. 107 p.

ภาคผนวก

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข
ฉบับที่ 69 (พ.ศ. 2525)
เรื่อง อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 5 และมาตร 6 (1) (2) (4) (5) (6) (7) (9) และ (10) แห่งพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุขออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ให้ยกเลิกประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2522) เรื่องกำหนดอาหารที่บรรจุในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท เป็นอาหารควบคุมเฉพาะและกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานและฉลาก ลงวันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2522 และประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 52 (พ.ศ. 2523) เรื่องแก้ไขเพิ่มเติมประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2522) ลงวันที่ 18 เมษายน พ.ศ. 2523

ข้อ 2 ให้อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท เป็นอาหารควบคุมเฉพาะ

ข้อ 3 อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท หมายความว่า

(1) อาหารที่ผ่านกรรมวิธีที่ใช้ทำลายหรือยับยั้งการขยายพันธุ์ของจุลินทรีย์ด้วยความร้อนภายหลัง หรือก่อนการบรรจุหรือปิดผนึก ซึ่งเก็บรักษาไว้ในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่เป็นโลหะ หรือวัตถุอื่นที่คงรูปที่สามารถป้องกันมิให้อากาศภายนอกเข้าไปในภาชนะบรรจุได้และสามารถเก็บรักษาไว้ได้ในอุณหภูมิปกติ หรือ

(2) อาหารในภาชนะบรรจุที่ชนิดลามิเตน (laminate) ฉาบ เคลือบ อัด หรือติดด้วยโลหะหรือสิ่งอื่นใด หรืออาหารในภาชนะบรรจุที่เป็นขวดแก้วที่ฝามียาง หรือวัสดุอื่นผนึก หรืออาหารในภาชนะบรรจุอื่น ซึ่งสามารถป้องกันมิให้ความชื้นหรืออากาศผ่านซึมเข้าภายในภาชนะบรรจุนั้นได้ในภาวะปกติและสามารถเก็บรักษาไว้ได้ในอุณหภูมิปกติ

ข้อ 4 อาหารตามข้อ 2 ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) ไม่มีสี กลิ่นหรือรสที่ผิดจากสภาพของอาหารนั้น

(2) ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

(3) ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

(4) ไม่มีสารปนเปื้อน เว้นแต่ดังต่อไปนี้

(ก) อาหารในภาชนะบรรจุที่เป็นโลหะ

ดีบุก ไม่เกิน 250 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

สังกะสี ไม่เกิน 100 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

ทองแดง ไม่เกิน 20 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

ตะกั่ว ไม่เกิน 1 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

เว้นแต่อาหารที่มีสารตะกั่วปนเปื้อนตามธรรมชาติในปริมาณสูง ให้มีได้ตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

สารหนู ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

ปรอท ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

สำหรับอาหารทะเล และไม่เกิน 0.02 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม สำหรับอาหารอื่น

(ข) อาหารในภาชนะบรรจุที่ไม่เป็นโลหะ

ตะกั่ว ไม่เกิน 1 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

เว้นแต่อาหารที่มีสารตะกั่วปนเปื้อนตามธรรมชาติในปริมาณสูง ให้มีได้ตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

สารหนู ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

ปรอท ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

สำหรับอาหารทะเล และไม่เกิน 0.02 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม สำหรับอาหารอื่น

ข้อ 5 อาหารตามข้อ 3 (1) ที่ผ่านกรรมวิธีให้ความร้อนภายหลังการบรรจุหรือปิดผนึก นอกจากต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตามข้อ 4 แล้ว ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานเฉพาะดังนี้ด้วย คือ ไม่มีวัตถุกันเสีย เว้นแต่วัตถุกันเสียที่ติดมากับวัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบของอาหารนั้น

ความในวรรคหนึ่งไม่รวมถึงการใช้โพแทสเซียมไนไตรท์ หรือ โซเดียมไนไตรท์ หรือโพแทสเซียมไนเตรท หรือโซเดียมไนเตรท ในปริมาณที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา สำหรับเนื้อหมักชนิดเค็มมีโพรดัก (cured meat prodect)

ข้อ 6 อาหารตามข้อ 3 (1) ชนิดที่ความเป็นกรด-ด่าง สูงกว่า 4.5 นอกจากต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตามข้อ 4 และข้อ 5 แล้วต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานเฉพาะดังนี้ด้วยคือ ไม่มีจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญเติบได้ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิปกติ

ข้อ 7 อาหารตามข้อ 3 (1) ชนิดที่มีความเป็นกรด-ด่าง ตั้งแต่ 4.5 ลงมา และข้อ 3 (2) นอกจากต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตามข้อ 4 และข้อ 5 แล้วต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานเฉพาะดังนี้ด้วย คือ

(1) ตรวจพบจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส หรือ 55 องศาเซลเซียส

(ก) ไม่เกิน 1000 ต่ออาหาร 1 กรัม สำหรับอาหารตามข้อ 3 (1)

(ข) ไม่เกิน 10000 ต่ออาหาร 1 กรัม สำหรับอาหารตามข้อ 3 (2)

(2) ตรวจพบยีสต์และราไม่เกิน 100 ต่ออาหาร 1 กรัม

(3) ตรวจไม่พบบักเตรีชนิดโคลิฟอร์ม หรือตรวจพบบักเตรีชนิดโคลิ-ฟอร์มไม่เกิน 3 ต่ออาหาร 1 กรัม ในกรณีที่ตรวจโดยวิธี เอ็ม พี เอ็น (Most Probable Number)

ข้อ 8 ภาชนะบรรจุอาหารตามข้อ 2 ต้อง

(1) สะอาด

(2) ไม่เคยใช้ใส่อาหารหรือวัตถุอื่นใดมาก่อน ถ้าภาชนะบรรจุนั้นเป็นโลหะ

(3) ไม่มีตะกั่ว สนิมเหล็ก หรือสีอื่นใดติดอยู่ที่ด้านในของภาชนะบรรจุ นอกจากสีของแล็กเคอร์หรือสีของดีบุก และด้านในของภาชนะบรรจุที่ทำด้วยแผ่นเหล็ก ต้องเคลือบดีบุก หรือสารอื่นใดที่ป้องกันมิให้อาหารสัมผัสกับแผ่นเหล็กได้โดยตรง

(4) ไม่รั่วหรือบวม

(5) เป็นภาชนะบรรจุ ที่ไม่มีสารออกมาปนเปื้อนกับอาหารในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

ข้อ 9 อาหารตามข้อ 2 ต้องมีน้ำหนักเนื้ออาหาร (drained weight)ตามที่กำหนดไว้ในบัญชีท้ายประกาศนี้ เว้นแต่อาหารประเภทที่ไม่อาจแยกเนื้ออาหารได้

การตรวจหาน้ำหนักเนื้ออาหารให้ใช้วิธีตามที่กำหนดในหนังสือ เอ โอ เอ ซี (Association of Official Analytical Chemists) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 13

ข้อ 10 การแสดงฉลากของอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่องฉลาก

ประกาศฉบับนี้ ไม่กระทบกระเทือนถึงใบสำคัญการขึ้นทะเบียนตำรับอาหารซึ่งออกให้ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2522) เรื่องกำหนดอาหารที่บรรจุในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท เป็นอาหารควบคุมเฉพาะ และกำหนดคุณภาพ หรือมาตรฐานและฉลาก ลงวันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2522 และประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 52 (พ.ศ. 2523) เรื่อง แก้ไขเพิ่มเติมประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2522) ลงวันที่ 18 เมษายน พ.ศ. 2523 และให้ผู้ที่ได้รับใบสำคัญการขึ้นทะเบียนตำรับอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับดังกล่าว มาดำเนินการแก้ไขตำรับอาหารให้มีรายละเอียดถูกต้องตามประกาศฉบับนี้ภายในเก้าสิบวันนับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ

ประกาศฉบับนี้ ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 4 สิงหาคม 2525

ส. พริ้งพวงแก้ว

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข

(99 ร.จ. 22 ตอนที่ 127 (ฉบับพิเศษ แผนกราชกิจจาฯ) ลงวันที่ 9 กันยายน 2525)

บัญชีน้ำหนักเนื้ออาหาร

ประเภทอาหาร	ชนิด	น้ำหนักเนื้ออาหารเป็นร้อยละของน้ำหนักสุทธิ
ผลไม้	1. ชิ้นหรือแว่น	ไม่น้อยกว่า 60
	2. ทั้งผล	ไม่น้อยกว่า 40
พืชผัก	1. ชิ้น	ไม่น้อยกว่า 60
	2. เมล็ด	ไม่น้อยกว่า 50
	3. ฝักหรือหัว	ไม่น้อยกว่า 40
	4. ดองเค็มหรือหวาน เช่น ชิเชกฉ่าย กิงฉ่าย ตั้งฉ่าย	ไม่น้อยกว่า 65
	5. เต้าหู้ยี้	ไม่น้อยกว่า 60
	6. เต้าเจี้ยว	ไม่น้อยกว่า 60

ประเภทอาหาร	ชนิด	น้ำหนักเนื้ออาหารเป็นร้อยละของน้ำหนักสุทธิ
เนื้อสัตว์	1. บรรจุในน้ำเกลือ ซอส น้ำมัน หรือสิ่งอื่นที่ไม่ใช่เครื่องปรุง	ไม่น้อยกว่า 60
	2. เนื้อหอยในน้ำเกลือ ซอส น้ำมัน	ไม่น้อยกว่า 50
	3. ไส้กรอกในน้ำเกลือ	ไม่น้อยกว่า 50
อาหารปรุงสำเร็จรูปที่ทำให้สุกแล้ว	1. แกงเผ็ดต่าง ๆ	ไม่น้อยกว่า 50
	2. พะแนงต่าง ๆ	ไม่น้อยกว่า 65
	3. แกงกะหรี่ หรือ มัสหมั่น	ไม่น้อยกว่า 60
	4. ผัดเผ็ดอย่างแห้ง เช่น ผัดพริกขิง ผัดเผ็ดปลาหรือกุ้ง	ไม่น้อยกว่า 90
	5. กุ้งเค็มหรือหวาน	ไม่น้อยกว่า 80
	6. หมูหวาน	ไม่น้อยกว่า 75
	7. ไก่หรือหมูพะโล้/ไก่หรือหมูหรือหมูต้มเค็ม	ไม่น้อยกว่า 55

เห็ดหรืออาหารประเภทหรือชนิดอื่นที่มิได้กำหนดไว้ในบัญชี ให้มีน้ำหนักเนื้ออาหารตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา