รายงานการวิจัยสมบูรณ์

"การเกิดไมโครนิวเคลียสในเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ โดยการเหนี่ยวนำของตะกั่ว แคดเมียม และอนุภาคฝุ่นในอากาศ จังหวัดเชียงใหม่"

"Lymphocyte Micronucleus Induction by Lead, Cadmium and Particulate Matters in Chiang Mai Ambient Air"

รองศาสตราจารย์ ดร. วีระวรรณ เรืองยุทธิการณ์
นางสาวสุวนิตย์ ทองหนุน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อำนาจ มีเวที
รองศาสตราจารย์ ดร. ขจรศักดิ์ โสภาจารีย์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พ.ศ. 2547
สนับสนุนโดยทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนพัฒนาคณะแพทยศาสตร์-ส่วนที่ 1
(ส่วนส่งเสริมการวิจัย)
คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (รองศาสตราจารย์ ดร. สุพร คุตตะเทพ) ที่ให้ความอนุเคราะห์ยืมใช้เครื่องเก็บอากาศ และขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิจัยทางวิทยาศาสตร์การแพทย์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือในศูนย์ ตลอดจนสถานที่ชั่วคราวในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนพัฒนาคณะแพทยศาสตร์-ส่วนที่ 1 (ส่วนส่งเสริมการวิจัย)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่มีปนเปื้อนในอากาศจังหวัดเชียงใหม่ และศึกษาความผิดปกติของยีนในเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์โดยการเหนี่ยวนำให้เกิดไมโครนิวเคลียส เพื่อศึกษาผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงยีนเนื่องจากตะกั่ว แคดเมียม หรืออนุภาคฝุ่นรวมที่มีในอากาศจังหวัดเชียงใหม่ มีการเก็บอนุภาคฝุ่นรวมจาก 2 พื้นที่ในจังหวัดเชียงใหม่ที่มีความแตกต่างของการจราจร คือบริเวณตลาดหางดงที่มีการจราจรเบาบาง (เขตควบคุม) และบริเวณตลาดวโรรสที่มีการจราจรหนาแน่น (เป็นเขตศึกษา) ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของตะกั่วและแคดเมียมโดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอฟชั่นสเปกโตรมิเตอร์แบบซีแมน และทดสอบความผิดปกติของโครโมโซมโดยใช้วิธีเหนี่ยวนำให้เกิดไมโครนิวเคลียส ใช้ตัวอย่างเลือดจากอาสาสมัครชาย ที่มีสุขภาพดีจำนวน 5 ราย เลี้ยงเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์และทดสอบด้วยสารสกัดอนุภาคฝุ่นรวม หรือสารละลายมาตรฐานตะกั่วอะซีเตต หรือแคดเมียมอะซีเตต เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณของอนุภาคฝุ่นรวมที่เก็บได้จากอากาศบริเวณตลาดหางดงและตลาดวโรรสไม่เกินค่ามาตรฐานตามคุณภาพอากาศในบรรยากาศของประเทศไทยซึ่งระบุมาตรฐานอนุภาคฝุ่นรวมในบรรยากาศ 24 ชั่วโมงไว้ไม่เกิน 0.33 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้อนุภาคฝุ่นรวมที่เก็บได้จากอากาศบริเวณตลาดหางดงมีปริมาณโดยเฉลี่ย (328.81 $\pm$ 55.16 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) มากกว่าอนุภาคฝุ่นรวมที่เก็บได้จากอากาศบริเวณตลาดวโรรส (196.55 $\pm$ 74.31ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) แต่ปริมาณเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตะกั่ว (154.99 $\pm$ 34.50 ไมโครกรัมต่อลิตร) และแคดเมียม (4.36 $\pm$ 1.26 ไมโครกรัมต่อลิตร) ที่เก็บได้จากอากาศบริเวณตลาดหางดงมีปริมาณน้อยกว่าตะกั่ว (178.72 $\pm$ 83.99 ไมโครกรัมต่อลิตร) และแคดเมียม (6.15 $\pm$ 1.85 ไมโครกรัมต่อลิตร) ที่เก็บได้จากอากาศบริเวณตลาดวโรรส

เมื่อทดสอบการเกิดไมโครนิวเคลียสในเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ โดยการเหนี่ยวนำด้วยสารละลายมาตรฐานตะกั่วอะซีเตต ความเข้มข้น 75, 150 และ 300 ไมโครกรัมต่อลิตร แคดเมียมอะซีเตตความเข้มข้น 2, 4 และ 6 ไมโครกรัมต่อลิตร หรือสารสกัดอนุภาคฝุ่นรวมความเข้มข้น 1, 2 และ 4 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่ามีความถี่ของการเกิดไมโครนิวเคลียสเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ทุกความเข้มข้นที่ทดสอบของตะกั่วอะซีเตตและแคดเมียมอะซีเตต แต่เฉพาะความเข้มข้นต่ำ (1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ของอนุภาคฝุ่นรวมที่เก็บจากอากาศบริเวณตลาดวโรรสเท่านั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าปริมาณอนุภาคฝุ่นรวมบริเวณตลาดวโรรสที่มีการจราจรหนาแน่น มีค่าไม่เกินระดับมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของประเทศไทย แต่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดไมโครนิวเคลียสในเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ได้มากกว่าอนุภาคฝุ่นรวมที่เก็บได้จากอากาศบริเวณตลาดหางดงที่มีการจราจรเบาบาง และปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่มีในอากาศทั้งสองบริเวณแม้ว่าพบปริมาณตะกั่วและแคดเมียมน้อยกว่าค่ามาตรฐาน แต่อาจมีผลต่อสุขภาพ สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดความผิดปกติของยีนได้ หากได้รับเข้าสู่ร่างกายอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ABSTRACT

The aim of this research is to study the concentrations of lead (Pb) and cadmium (Cd), contaminating in Chiang Mai ambient air. Micronucleus induction in human lymphocytes was used in order to investigate the health impact to genotoxicity of Pb, Cd or total suspended particles (TSPs) in Chaing Mai air samples. TSPs was collected in two different traffic areas in Chaing Mai city. They were Hang-Dong market or low traffic area represented as a control site and Warorod market or heavy traffic area represented as a study site. The concentrations of Pb and Cd were determined by using Zeeman-graphite furnace atomic absorption spectrometer. The chromosomal aberration was investigated by using lymphocytes micronucleus assay. Human lymphocytes were isolated from the peripheral blood lymphocytes of 5 healthy male donors. The cultured lymphocytes was induced by lead acetate, cadmium acetate or the TSPs for 72 hours.

The results showed that concentrations of the TSPs collected from Hang-Dong and Warorod markets were not significantly higher than the standard TSPs values collected in ambient air for 24 hour (0.33 mg/m^3) in Thailand. An average concentration of the TSPs at Hang-Dong market (328.81 $\pm$ 55.16 µg/m^3) was higher than the TSPs collected at Warorod market (196.55 $\pm$ 74.31µg/m^3). However, the concentrations of Pb (154.99 $\pm$ 34.50 µg/l) and Cd (4.36 $\pm$ 1.26 µg/l) collected from the ambient air at Hang-Dong market was less than concentrations of Pb (178.72 $\pm$ 83.99 µg/l) and Cd (6.15 $\pm$ 1.85 µg/l) in the ambient air at Warorod market.

The frequency of micronuclei in lymphocyte cells induced by lead acetate at the concentrations of 75, 150, 300 µg/l or cadmium acetate at concentrations of 2, 4, 6 µg/l or the TSPs extract at the concentrations of 1, 2, 4 µg/ml were significantly increased ($P < 0.05$) from the negative control samples at every concentrations of Pb and Cd acetate but only with low concentration of TSPs (1 µg/ml) which collected from the ambient air at Warorod market.

In conclusion, the TSPs levels in the ambient air of heavy traffic area, the Warorod market, did not exceed the standard TSPs level in Thailand. However, the TSPs collected from the heavy traffic area could cause micronucleus induction in human lymphocytes more than the effect of TSPs in the ambient air at Hang-Dong market (low traffic area). In addition,

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Pb and Cd in both areas could cause genetic damage if it was a prolong exposure, even though the levels found was below the standard ambient air level.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อ	ค
ABSTRACT	จ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูปภาพ	ฌ
อักษรย่อและสัญญลักษณ์	ญ
บทนำ	1
อุปกรณ์การวิจัยและสารเคมี	12
วิธีการวิจัย	16
ผลการวิจัย	28
วิจารณ์และสรุปผลการวิจัย	41
บรรณานุกรม	46

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	โปรแกรมอุณหภูมิและเวลาสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว	22
2	โปรแกรมอุณหภูมิและเวลาสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียม	22
3	ปริมาณอนุภาคฝุ่นรวมที่เก็บอากาศจากบริเวณตลาดหางดง (เขตควบคุม) และบริเวณตลาดวโรรส (เขตศึกษา) โดยใช้เครื่องเก็บอากาศ high volume air sampler เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต่อตัวอย่างต่อวันต่อสัปดาห์เป็นเวลา 16 สัปดาห์ ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 ของเดือนธันวาคม 2545 ถึง สัปดาห์ที่ 2 ของเดือนเมษายน 2546	29
4	Percent recovery ของสารละลายมาตรฐานตะกั่วและแคดเมียมเมื่อผ่านการสกัดตัวอย่างกระดาษกรองด้วยวิธี hot acid extraction	31
5	ปริมาณตะกั่วในตัวอย่างอนุภาคฝุ่นรวมที่เก็บจากอากาศบริเวณตลาดหางดง (เขตควบคุม) และบริเวณตลาดวโรรส (เขตศึกษา) จังหวัดเชียงใหม่	32
6	ปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างอนุภาคฝุ่นรวมที่เก็บจากอากาศบริเวณตลาดหางดง (เขตควบคุม) และบริเวณตลาดวโรรส (เขตศึกษา)	34
7	ผลการเหนี่ยวนำการเกิดไมโครนิวเคลียสในเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ โดยสารละลายมาตรฐาน lead acetate 3 ความเข้มข้น ซึ่งเป็นปริมาณตะกั่วที่วัดได้จากตัวอย่างอนุภาคฝุ่นรวมที่เก็บจากอากาศในเมืองเชียงใหม่	38
8	ผลการเหนี่ยวนำการเกิดไมโครนิวเคลียสในเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ โดยสารละลายมาตรฐาน cadmium acetate 3 ความเข้มข้นซึ่งเป็นความเข้มข้นของปริมาณตะกั่วที่วัดได้จากตัวอย่างอนุภาคฝุ่นรวมที่เก็บจากอากาศในเมืองเชียงใหม่	39
9	จำนวนไมโครนิวเคลียสในเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิด หลังการเลี้ยงเซลล์เม็ดเลือดขาวกับสารสกัดอนุภาคฝุ่นรวมที่เก็บจากอากาศบริเวณตลาดหางดงซึ่งเป็นเขตควบคุม และบริเวณตลาดวโรรสซึ่งเป็นเขตศึกษา	40

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญรูปภาพ

รูป		หน้า

รูป		หน้า
1	ไมโครนิวเคลียสในเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ ดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 400 เท่า	11
2	ลักษณะและขนาดของ high volume air sampler (Graseby/GMWL-2000 ที่ใช้เก็บตัวอย่างอากาศ	17
3	การตั้งเครื่องเก็บอากาศจุดที่ 1 บริเวณตลาดหางดงซึ่งเป็นเขตควบคุม	17
4	การตั้งเครื่องเก็บอากาศจุดที่ 2 บริเวณตลาดหางดง (เขตควบคุม)	19
5	การตั้งเครื่องเก็บอากาศจุดที่ 1 บริเวณตลาดวโรรส (เขตศึกษา)	19
6	การตั้งเครื่องเก็บอากาศจุดที่ 2 บริเวณตลาดวโรรส (เขตศึกษา)	19
7	เปรียบเทียบปริมาณ ตะกั่ว ในตัวอย่างอนุภาคฝุ่นรวมที่เก็บจากอากาศ บริเวณตลาดหางดง (เขตควบคุม) และ บริเวณตลาดวโรรส (เขตศึกษา)	33
8	เปรียบเทียบปริมาณแคดเมี่ยมในตัวอย่างอนุภาคฝุ่นรวมที่เก็บจากอากาศ บริเวณตลาดหางดง (เขตควบคุม) และ บริเวณตลาดวโรรส (เขตศึกษา)	33
9	ลักษณะเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ที่มี 1 นิวเคลียสและพบ 1 หรือ 2 ไมโครนิวเคลียส ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 400 เท่า	36
10	ลักษณะเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ที่มี 4 นิวเคลียส (multinucleated cell) และพบ 1 ไมโครนิเคลียส	36

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อักษรย่อและสัญลักษณ์

PAHs	polycyclic aromatic hydrocarbon
VOCs	volatile organic compound
WHO	world health organization
Na^+/K^+ ATPase	sodium potassium atpase
K^+	potassium ion
OH	hydroxide
DNA	deoxyribonucleic acid
RNA	ribonucleic acid
SH	sulhydyl
GFAAS	graphite furnace atomic absorption spectrometry
GTA	graphite tube atomizer
TSPs	total suspended particle
NDCI	nuclear division cytotoxicity index
Ap	apoptotic
Nec	necrotic
M1	mononucleated cell
M2	binucleated cell
M3	trinucleated cell
M4	tetranucleated cell
BN	binucleated cell
MN	micronucleus
BNMN	binucleated micronucleus
μg	microgram
ml	milliliter
ER	error

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทนำ

ปัจจุบันปัญหามลพิษทางอากาศเป็นปัญหาระดับประเทศที่มีความสำคัญส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน โดยเฉพาะในเมืองใหญ่ ๆ ที่มีการจราจรคับคั่ง และอยู่ในเขตอุตสาหกรรม เช่น กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ นนทบุรี สระบุรี ลำปาง และเชียงใหม่ เป็นต้น เชียงใหม่เป็นเมืองใหญ่ที่มีปัญหามลภาวะทางอากาศเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบันจนน่าวิตก แหล่งกำเนิดมลภาวะทางอากาศที่สำคัญคือการจราจร อุตสาหกรรมในเมือง และการก่อสร้างอาคารต่าง ๆ มีผลทำให้อากาศปนเปื้อนด้วยมลสารมากมายที่มีผลต่อสุขภาพ ได้แก่ ฝุ่นละออง ซึ่งพบมากกว่ามาตรฐาน 1-3 เท่า (กรมอนามัย, 2540) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซค์ สารไฮโดรคาร์บอน และโลหะ เป็นต้น

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซค์ ออกไซค์ของไนโตรเจน ซัลเฟอร์ไดออกไซค์ สารไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ เช่น polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) และ volatile organic compounds (VOCs) และโลหะที่เป็นพิษ เช่น ตะกั่ว แคดเมียม นิเกิล ทองแดง แมงกานีส และสังกะสี จะรวมตัวเป็นอนุภาคฝุ่นรวมทั้งขนาดเล็กและใหญ่ ซึ่งกรมควบคุมมลพิษได้ทำการสำรวจสถานการณ์มลภาวะทางอากาศบริเวณอนุสาวรีย์ช้างเผือก และตลาดวโรรส ในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ พบว่าปริมาณอนุภาคฝุ่นรวมที่วัดได้อยู่ในช่วง 0.29–0.57 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมงไม่เกิน 0.33 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (สุธีลา และคณะ, 2544) อาจมีผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งทำให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจ และมะเร็งปอด

ฝุ่นละออง เมื่อเข้าสู่ระบบหายใจ การกระจายตัวและการตกค้างจะขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง ความหนาแน่น การถ่ายเทอากาศ และอัตราการหายใจ ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กจะเข้าสู่ระบบหายใจส่วนลึกได้ ปกติอนุภาคขนาดใหญ่และขนาด 5-10 ไมครอนจะถูกกักไว้ที่โพรงจมูกและทางเดินหายใจส่วนบน ถ้าเล็กกว่า 3 ไมครอน (โดยเฉพาะ 1 ไมครอน) จะตกค้างในทางเดินหายใจส่วนล่าง (สุธีลา และคณะ, 2544) อนุภาคฝุ่นรวมที่ตกค้างนี้จะถูกขับออกมาพร้อมกับเสมหะ แต่หากอนุภาคฝุ่นรวมสามารถละลายในน้ำได้ก็อาจซึมเข้าระบบน้ำเหลืองหรือเลือดซึ่งมีผลต่อระบบทางเดินหายใจและอวัยวะอื่น ๆ ทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับหลอดคลม ส่วนอนุภาคฝุ่นรวมที่ไม่สามารถขจัดออกจะสะสมในเนื้อเยื่อปอดและทำให้เกิดโรค เช่น โรคปอดแข็งจากภาวะฝุ่นจับ (pneumoconiosis) มีรายงานของสาธารณสุขจังหวัดเชียงใหม่ แสดงว่าในปี พ.ศ. 2538-2542 (กรมอนามัย, 2540) สาเหตุการเจ็บป่วยของผู้ป่วยนอก 21 กลุ่มโรค ต่ออัตราประชากร 100,000 คน มีสาเหตุมาจากโรคระบบทางเดินหายใจ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นอันดับหนึ่ง และมีรายงานจำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งของโรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538-2543 พบว่ามีจำนวนเพิ่มขึ้น (โรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่, 2543) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับจำนวนประชากรที่มีการแจ้งตายของแขวงศรีวิชัย จังหวัดเชียงใหม่ ในระหว่างปี พ.ศ. 2540-2544 ว่าการตายด้วยโรคระบบทางเดินหายใจและโรคมะเร็งสูงเป็นอันดับแรกเช่นกัน (สำนักงานแขวงศรีวิชัย, 2544) ทั้งนี้ข้อมูลระดับชาติก็บ่งชี้ว่าอุบัติการณ์ของการเกิดมะเร็งปอดในประเทศไทยสูงเป็นอันดับหนึ่งด้วย (Silarug, 2000) และที่น่าสนใจอย่างยิ่งก็คือการเกิดโรคมะเร็งปอดและโรคระบบทางเดินหายใจในผู้ป่วยที่ไม่สูบบุหรี่ งานวิจัยนี้ให้ความสนใจกับโลหะหนักที่มีปนกับอนุภาคฝุ่นรวมในอากาศ และอาจเป็นสาเหตุร่วมทำให้เกิดโรคดังกล่าวข้างต้น

จากรายงานของสำนักงานขนส่งจังหวัดเชียงใหม่พบว่ามีอัตราการจดทะเบียนรถเพิ่มขึ้นเป็นลำดับทุกปี (สำนักงานขนส่งจังหวัดเชียงใหม่, 2543) ส่งผลให้เกิดการจราจรที่คับคั่งเป็นเหตุให้มีการปนเปื้อนของสารพิษต่าง ๆ ในอนุภาคฝุ่นรวม รวมทั้งตะกั่วและแคดเมียมในอากาศ และอาจมีผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของกรมควบคุมมลพิษที่ได้สำรวจสถานการณ์มลภาวะทางอากาศบริเวณอนุสาวรีย์ช้างเผือก และตลาดวโรรส ในจังหวัดเชียงใหม่พบว่า มีสารตะกั่วปนเปื้อน (สุธีลา และคณะ, 2544) ในระดับที่สูงไม่เกินระดับมาตรฐาน แต่การได้รับตะกั่วเป็นระยะเวลานานมีผลกระทบต่อพัฒนาการทางสมองของเด็กเล็ก ทำให้ระดับสติปัญญาต่ำกว่าเกณฑ์ปกติ สำหรับผู้ใหญ่อาจไม่มีผลกระทบแบบเฉียบพลันให้สังเกตได้ แต่อาจมีผลแบบเรื้อรังต่อยืนซึ่งสามารถแสดงความผิดปกติได้ในระยะเวลาหลายปีหรือหลายสิบปีต่อมา ทั้งนี้เนื่องจากตะกั่วเป็นโลหะที่ทำให้เกิดความผิดปกติของโครโมโซมได้หากได้รับติดต่อกันเป็นเวลานานแม้ในปริมาณต่ำ ๆ (WHO, 1995a)

ตะกั่ว

ตะกั่วเป็นโลหะธาตุที่มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 207.2 และอยู่ในกลุ่มธาตุหมู่ IV A ของตารางธาตุ มีวาเลนซีหลายค่า คือ 1, 2 และ 4 แต่ตะกั่วส่วนมากจะอยู่ในสภาวะวาเลนซี 2 ซึ่งเสถียรมากที่สุด

แหล่งที่เกิด : สารตะกั่วก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพมาตั้งแต่สมัยโบราณ ซึ่งในปัจจุบันปัญหาของพิษจากสารตะกั่วยังพบมากและบ่อยขึ้น มีการพบสารตะกั่วทั้งในอากาศ ดิน น้ำ พืช และเครื่องอุปโภคบริโภคในครัวเรือน ทำให้มนุษย์มีโอกาสที่จะสัมผัสหรือรับสารตะกั่วได้มากยิ่งขึ้นในชีวิตประจำวัน

ตัวอย่างของสารตะกั่วที่พบบ่อย และมีโอกาสก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพของมนุษย์ ได้แก่

- ตะกั่วโมโนออกไซค์ (lead monooxide) หรือ litharge ใช้เป็นสารสีเหลืองผสมสีทาบ้าน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- ตะกั่วไดออกไซด์ (lead dioxide) ใช้เป็นขั้วอิเลกโทรดของแบตเตอรี่รถยนต์
- ตะกั่วคาร์บอเนต (lead carbonate) ผสมกับ lead hydroxide รวมเรียกว่า "white lead" ผสมในฝุ่นสีขาว สีน้ำมัน หมึกพิมพ์ และสีพลาสติก เป็นต้น
- ตะกั่วออกไซด์ (lead oxide) หรือ "red lead" หรือตะกั่วแดง ใช้เป็นสีทาโลหะเพื่อกันสนิม
- ตะกั่วอาร์เซเนต (lead arsenate) ใช้เป็นสารกำจัดแมลงและปราบศัตรูพืช
- ตะกั่วซิลิเกต (lead silicate) ใช้ผสมในกระเบื้อง และเครื่องเคลือบเซรามิก
- ตะกั่วเตตระเอทิล (tetraethyl lead) และตะกั่วเตตระเมทิล (tetramethyl lead) เป็น "สารกันน็อค" หรือเป็นสารป้องกันการกระตุกของเครื่องยนต์เวลาทำงานทำให้ค่าอ็อกเทนของน้ำมันสูงขึ้น จึงใช้ผสมในน้ำมันเบนซินในอัตราส่วน 0.7 กรัมต่อลิตร หรือร้อยละ 0.07 สารนี้มีสีแดง ฉะนั้นน้ำมันพิเศษทั้งหลายจึงมีสีแดงด้วย สารตะกั่วชนิดนี้เป็นสารอินทรีย์ของตะกั่วชนิดที่แพร่ระบาดในสิ่งแวดล้อมมากที่สุด (ไมตรี, 2534)

การดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย : ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือ

1. ทางการหายใจ :โดยสูดไอตะกั่วเข้าไปขณะทำงาน เช่นการหลอมตะกั่ว การบัดกรี ท่อไอเสียรถยนต์
2. ทางปาก :โดยการกินอาหารหรือขนมที่มีการปนเปื้อนของสารตะกั่ว ตลอดจนการใช้ภาชนะที่เคลือบด้วยสีที่มีส่วนผสมของสารตะกั่วเป็นตัวการทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารตะกั่วในอาหาร
3. ทางผิวหนัง : เมื่อสัมผัสกับน้ำมันรถยนต์ ตะกั่วมีการผสมในน้ำมันเบนซินที่ต้องการให้มีค่าอ็อกเทนสูง ซึ่งสารตะกั่วนี้จะออกมากับท่อไอเสีย (จุไรรัตน์, 2535)

การกระจายตัวและการสะสม

การกระจายตัวของตะกั่วในร่างกายมีความสำคัญต่อความเป็นพิษของตะกั่วมาก การกระจายอาจเป็นไปอย่างช้า ๆ หลังจากที่ถูกดูดซึมจากลำไส้แล้วตะกั่วจะถูกพาผ่านเส้นเลือดดำ เข้าสู่ตับ บางส่วนจะถูกขับออกทางน้ำดีและทางอุจจาระ ถ้าหากเข้าในปอดตะกั่วจะเข้าสู่กระแสเลือดได้โดยตรง กระแสไหลเวียนเลือดจะพาตะกั่วเวียนไปมาทั่วร่างกาย ใช้เวลาประมาณ 14 วินาที ตะกั่วจะถูกเนื้อเยื่อต่าง ๆ เก็บไว้อย่างทั่วถึง ตับและไตเป็นอวัยวะที่เก็บตะกั่วไว้ได้มากที่สุด แต่ต่อมาระดับตะกั่วในเนื้อเยื่ออ่อนทั้งหลายจะค่อย ๆ ลดลง แล้วเคลื่อนที่ไปตามกระแสเลือดไปเกาะสะสมที่กระดูกในสภาพเกลือ เช่นตะกั่วฟอสเฟต กระดูกจะมีตะกั่วสะสมมากขึ้นทีละน้อย ๆ จนเห็นได้ชัดด้วยภาพเอกซเรย์ แต่ถ้าสะสมที่ฟันจะเห็นเหงือกเป็น lead line สีเทาดำ ปริมาณตะกั่วที่สะสมจะเพิ่มขึ้นตามอายุขัยของคน แต่ระดับตะกั่วในเนื้อเยื่ออ่อนคงที่เสมอ (ไมตรี, 2534)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การขับออกจากร่างกาย

ตะกั่วที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายจะถูกขับออกทางปัสสาวะประมาณร้อยละ 76 ถูกขับออกทางอุจจาระร้อยละ 16 และ ทางผิวหนัง เหงื่อและเส้นขนเส้นผมร้อยละ 8 ในวันหนึ่ง ๆ ร่างกายสามารถขับตะกั่วออกมาได้เต็มที่ประมาณ 2 มิลลิกรัมเท่านั้น ถ้ากินมากเกินไปร่างกายก็จะขับออกไม่ทัน เกิดการสะสมในร่างกายขึ้น หากปริมาณตะกั่วในเลือดสูงถึง 0.8 ส่วนต่อล้านส่วน หรือ 80 ไมโครกรัมต่อเลือด 100 มิลลิลิตรในผู้ใหญ่ อาการพิษจะเริ่มแสดงให้เห็น และถ้ามีมากกว่านี้สมองและตับจะพิการถึงแก่ชีวิตได้ง่าย (ไมตรี, 2534)

อันตรายของสารตะกั่วทางชีวเคมีและสรีรวิทยา

ผลต่อเยื่อหุ้มเซลล์

จากการทดลองพบว่าตะกั่วอิออนชนิด Pb^{++} รวมตัวได้ดีกับเยื่อหุ้มเซลล์ที่ประกอบด้วย phospholipid ชนิด phosohatidyl choline แต่ตะกั่วอินทรีย์ไม่เกิดปฏิกิริยานี้ ตะกั่วทำให้เกิดความเปราะบางโดยแรงดันออสโมติคให้มากขึ้น เม็ดเลือดแดงที่อายุน้อยเมื่อเกิดมาใหม่ในไขกระดูกจะถูกทำลายด้วยสารตะกั่วได้ง่ายมากกว่าเม็ดเลือดแดงแก่ที่อยู่ในกระแสเลือด ตะกั่วมีผลทำให้อายุของเม็ดเลือดแดงในกระแสเลือดสั้นลงกว่าปกติ คือ น้อยกว่า 120 วัน

ตะกั่วสามารถรวมตัวกับเอนไซม์ Na^{+}/K^{+} ATPase บนเยื่อหุ้มเซลล์ของเม็ดเลือดและยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์นี้ จึงทำให้ไม่มีการสลายตัวของสารพลังสูง ATP มีผลต่อการเก็บ K^{+} เข้าเซลล์ ขณะเดียวกัน K^{+} ในเซลล์ก็รั่วออกมาข้างนอก นอกจากนี้พบว่าตะกั่วอาจรวมกับโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ที่อยู่บนเยื่อหุ้มเซลล์เม็ดเลือดแดง แล้วอาจผ่านเข้าไปรวมกับฮีโมโกลบินได้ด้วย (ไมตรี, 2534)

ผลต่อการสร้างฮีมและฮีโมโกลบิน

ตะกั่วในเลือดแม้เพียงเล็กน้อยมีผลต่อการสร้างเม็ดเลือดแดง และการสังเคราะห์ฮีม (heme) ซึ่งเป็นสารสีแดงของเม็ดเลือดแดง ผลเหล่านี้สามารถตรวจวัดได้อย่างชัดเจน ผลต่อการเปลี่ยนแปลงการสร้างฮีมและฮีโมโกลบินจะปรากฏให้เห็นก่อนที่จะมีอาการทางระบบประสาทหรือระบบอื่น ๆ ตะกั่วสามารถทำให้เกิดโรคโลหิตจางทั้งในคนและสัตว์ สาเหตุอย่างหนึ่งคือทำให้เม็ดเลือดแดงแตกในภาวะต่าง ๆ ได้ง่ายกว่าภาวะปกติ และยับยั้ง ATPase ที่อยู่บนเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้เม็ดเลือดแดงขาดพลังงานจาก ATP มีอายุสั้นลง แต่สาเหตุใหญ่ที่ทราบแน่นอนก็คือ ตะกั่วยับยั้งการสร้างฮีมและฮีโมโกลบินซึ่งจำเป็นต่อการนำพาออกซิเจนในเม็ดเลือดแดง (ไมตรี, 2534)

ผลต่อการทำงานของไต

การที่ได้รับตะกั่วเข้าไปมาก ๆ จนเลือดมีตะกั่วมากกว่า 100 ไมโครกรัมต่อเลือด 100 มิลลิลิตรจะก่อให้เกิดการทำลายเซลล์ของท่อเล็ก ๆ ของไต โดยเฉพาะท่อไตส่วนต้น (proximal

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

tubule) มีอาการคล้าย ๆ กับ Fanconi's syndrome ที่เกิดในเด็ก คือมีการขับกรดอะมิโนออกทางปัสสาวะเพิ่มขึ้น การขับน้ำตาลออกทางปัสสาวะ และการขับเกลือฟอสเฟตทางปัสสาวะมากขึ้นด้วย การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะเกิดขึ้นชั่วคราวแล้วปรับคืนสู่สภาพปกติได้ภายหลัง

บางครั้งอาการพิษของตะกั่วจะเกิดร่วมกับโรคเก๊าซ์ ทำให้กรดยูริคออกทางปัสสาวะน้อยกว่าปกติ มีการสะสมกรดยูริคเพิ่มมากขึ้นในเลือดและตกผลึกตามข้อต่อต่าง ๆ ทำให้มีอาการปวดตามข้อมือและเท้า (ไมตรี, 2534)

ผลต่อสมองและระบบประสาท

ตะกั่วเข้าไปทำลายระบบประสาทที่มีหน้าที่จดจำ เรียนรู้ และเกี่ยวข้องกับการรับความรู้สึก เด็กที่ได้รับพิษตะกั่วอนินทรีย์หรือผู้ใหญ่ที่ได้รับพิษตะกั่วชนิด tetraethyl lead [$Pb(C_2H_5)_4$] จะเกิดภาวะอย่างเดียวกันคือ สมองอักเสบ เนื่องจากมีตะกั่วเข้าไปในเนื้อเยื่อของระบบประสาทแล้วทำลายเซลล์ประสาท ตะกั่วเตตระเอทิลจะถูกเมตะบอไลซ์ไปเป็นตะกั่วไตรเอทิล ตะกั่วอินทรีย์ทั้งสองชนิดนี้จะสะสมในเนื้อเยื่อสมองได้ดี อาการทางสมองที่เกิดขึ้นได้แก่ ปวดหัว อ่อนเพลีย ง่วงนอน ซึม กระวนกระวาย ปัญญาอ่อน ความจำเสื่อม นอนไม่หลับ ประสาทหลอน อาจเพ้อคลั่ง วิงเวียน ชัก และเป็นอัมพาต อาจหมดสติได้ กรณีที่มีอาการนาน ๆ อาจเป็นใบ้หรือตาบอดเพราะประสาทที่รับความรู้สึกทางหูและตาเสื่อมลง หรืออาจกลายเป็นคนปัญญาอ่อนถ้าได้รับตะกั่วในสมัยที่เป็นเด็ก อาการปวดอย่างรุนแรงเกิดมาจากความผิดปกติของระบบประสาท

ผลต่อสารพันธุกรรม

ในทางกรรมพันธ์ตะกั่วจะรบกวนการทำงานทางชีวเคมีของ DNA และ RNA โดยตะกั่วสามารถจับกับหมู่ –OH ของฟอสเฟตในกรดนิวคลีอิกอย่างแน่นหนา การจับของตะกั่วทำให้อิเล็กตรอนถูกดึงเอาไว้ที่อะตอมออกซิเจน และฟอสฟอรัสมีประจุเป็นบวกมากขึ้น เลยทำให้ ester bond ระหว่างหมู่ฟอสเฟตกับ –OH ของน้ำตาลเพนโตสถูก hydrolize ได้ง่าย มีผลเสียหายต่อ t-RNA เนื่องจากตะกั่วจะทำให้โมเลกุล t-RNA ถูกตัดย่อยให้เล็กลง หรือทำให้โมเลกุล t-RNA เปลี่ยนรูปร่างจนไม่สามารถพากรดอะมิโนไปเกาะรวมกันที่ไรโบโซมได้ ถือว่าสารตะกั่วเป็นสารก่อกลายพันธุ์และสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่ง (ไมตรี, 2534)

ตะกั่วที่ปนเปื้อนในอากาศส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของฝุ่นตะกั่วออกไซด์ และตะกั่วอนินทรีย์ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีสารตะกั่วปนเปื้อน ระดับตะกั่วในเลือดประมาณร้อยละ 10-70 และร้อยละ 20-80 มาจากอากาศและอาหารตามลำดับ (วิยะดา และคณะ, 2544) ตะกั่วอนินทรีย์ที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งอยู่ในรูปอนุภาคมลสารขนาดเล็ก 0.2 ไมครอน สามารถเข้าสู่ร่างกายได้มากที่สุดทางการหายใจ และปริมาณร้อยละ 40 ของตะกั่วที่หายใจเข้าไปจะถูกดูดซึมทางปอด ซึ่งสามารถส่งผลทำให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจตามมา (สุธีลา และคณะ, 2544; วิยะดา และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved