

## EVALUATION OF DAILY INTAKE DOSE AND CARCINOGENIC RISK FROM Pb, As AND Cd EMISSIONS IN FLY ASH, BOTTOM ASH OF SOME WASTE INCINERATORS

Nguyen Thi Thu Thuy<sup>1\*</sup>, Nguyen Thi Hue<sup>2,3</sup>, Pham Quoc Viet<sup>2</sup>, Chu Viet Hai<sup>2</sup>, Vu Van Tu<sup>2</sup>, Chu Thi Ha<sup>4</sup>

<sup>1</sup>TNU - University of Science, <sup>2</sup>Institute of Environmental Technology - VAST

<sup>3</sup>Graduate University of Science and Technology - VAST, <sup>4</sup>Nguyen Hue High School - Thai Binh province

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<b>Received:</b> 25/12/2022	In this study, the concentrations of Pb, As, and Cd in 15 fly ash and bottom ash samples collected at five solid waste incinerators in the northern provinces of Vietnam were determined by ICP-MS. From the content of metals, the study evaluated the daily absorbed dose of metals through oral, respiratory and skin contact for workers working directly at incinerators. The results show that, daily intake dose values for all 3 metals Pb, Cd, and As: ingestion (99.6%) > and dermal contact (0.39%) > inhalation (0.01%). The non-carcinogenic risk (as measured by the HI index) shows a negligible risk for Pb, As in the waste incinerator. However, the HI value for Cd is 1.5 times the allowable value (1), which indicates a relatively high level of risk for this element. The study also evaluated the lifetime cancer risk for workers, it was arranged in the order: As > Cd > Pb and CR(inh) > CR(ing) ~ CR(dermal). In general, there was no health risk to workers in the studied incinerator.
<b>Revised:</b> 14/02/2023	
<b>Published:</b> 14/02/2023	
<b>KEYWORDS</b>	
Municipal incinerators	
Fly ash	
Bottom ash	
Daily intake dose	
Risk	

## ĐÁNH GIÁ LIỀU LƯỢNG HẤP THỤ HÀNG NGÀY, NGUY CƠ GÂY UNG THƯ TỪ CÁC KIM LOẠI Pb, As VÀ Cd TRONG TRO BAY, TRO ĐÁY CỦA MỘT SỐ LÒ ĐỐT RÁC THẢI

Nguyễn Thị Thu Thúy<sup>1\*</sup>, Nguyễn Thị Huệ<sup>2,3</sup>, Phạm Quốc Việt<sup>2</sup>, Chu Việt Hải<sup>2</sup>, Vũ Văn Tú<sup>2</sup>, Chu Thị Hà<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Khoa học - ĐH Thái Nguyên, <sup>2</sup>Viện Công nghệ môi trường - Viện Hàn lâm KHCNVN,

<sup>3</sup>Trường Đại học Khoa học và Công nghệ - Viện Hàn lâm KHCNVN,

<sup>4</sup>Trường Trung học phổ thông Nguyễn Huệ, tỉnh Thái Bình

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
<b>Ngày nhận bài:</b> 25/12/2022	Trong nghiên cứu này, hàm lượng các kim loại Pb, As, Cd trong 15 mẫu tro bay và tro đáy thu thập tại 5 lò đốt rác thải rắn thuộc các tỉnh tại miền Bắc Việt Nam được xác định bằng phương pháp ICP-MS. Nghiên cứu đã đánh giá liều lượng hấp thụ hàng ngày đối với các công nhân làm việc trực tiếp tại lò đốt thông qua ba đường tiếp xúc: đường miệng, đường hô hấp và tiếp xúc qua da. Giá trị liều lượng hấp thụ hàng ngày đối với cả Pb, Cd và As theo thứ tự là: qua đường miệng (99,6 %) > tiếp xúc qua da (0,39%) > đường hô hấp (0,01%). Nguy cơ rủi ro không gây ung thư cũng được đánh giá qua chỉ số rủi ro HI, cho thấy đối với Pb, As trong các lò đốt có nguy cơ rủi ro không đáng kể. Tuy nhiên, đối với Cd trong một số mẫu của lò đốt, giá trị HI là gấp 1,5 lần giá trị cho phép (1), cho thấy nguy cơ rủi ro khá cao. Nghiên cứu cũng đánh giá nguy cơ rủi ro gây ung thư suốt đời đối với các công nhân, kết quả cho thấy theo thứ tự: As > Cd > Pb và CR(inh) > CR(ing) ~ CR(dermal). Nhìn chung, không có nguy cơ ảnh hưởng đến sức khỏe đối với các công nhân làm việc trong các lò đốt rác nghiên cứu.
<b>Ngày hoàn thiện:</b> 14/02/2023	
<b>Ngày đăng:</b> 14/02/2023	
<b>TỪ KHÓA</b>	
Lò đốt rác thải	
Tro bay	
Tro đáy	
Liều lượng hấp thụ	
Rủi ro	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.7163>

\* Corresponding author. Email: [Thuyntt@tnu.edu.vn](mailto:Thuyntt@tnu.edu.vn)

## 1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây ở Việt Nam, tổng lượng chất thải rắn (bao gồm chất thải đô thị, y tế và công nghiệp) đã tăng lên nhanh chóng (ví dụ: tăng gấp đôi trong vòng chưa đầy 15 năm) do quá trình đô thị hóa-công nghiệp hóa phát triển mạnh mẽ và sự gia tăng dân số [1]. Trong quốc gia đang phát triển này, vẫn còn nhiều hạn chế trong các hoạt động quản lý chất thải (ví dụ: thu gom và xử lý), chủ yếu là do thiếu kinh phí, công nghệ, quy định lỏng lẻo và nhận thức yếu [1]. Ngoài phần lớn chất thải được chôn lấp, ước tính có khoảng 14% chất thải rắn của Việt Nam đã bị đốt cháy bởi một vài nhà máy đốt rác quy mô lớn và một số lò đốt quy mô nhỏ. Mặc dù phương pháp đốt được coi là một phương pháp hiệu quả để giảm lượng chất thải rắn của các lò đốt rác. Tuy nhiên, các chất ô nhiễm thứ cấp, như kim loại nặng Cd, Pb, As được phát thải khá nhiều từ các lò đốt rác thải rắn đô thị (MSW) và ngày càng thu hút sự quan tâm của các nhà nghiên cứu [2]. Như lò đốt rác thải rắn tại Trung Quốc đã thải ra 0,23 tấn, 0,93 tấn, 9,4 tấn As, Cd, Pb trong năm 2010 [2], lượng phát thải của các kim loại nặng này tăng lên 0,4 tấn, 6 tấn và 33 tấn vào năm 2015 [2]. Hơn nữa, các nguy cơ gây ung thư từ Cd, As, cao hơn năm lần mức cho phép ( $\leq 1,0 \times 10^{-6}$ ). Nói chung, các lò đốt rác thải rắn tạo ra ba dư lượng chính, đó là tro đáy (BA), tro bay (FA) và khí thải ra môi trường. Đối với mục đích quản lý chất thải, BA và FA đã được sử dụng trong sản xuất gạch xây dựng. Tuy nhiên, các chất độc hại chứa trong BA và FA có thể là mối đe dọa tiềm ẩn đối với môi trường. Các quá trình cháy (cả sơ cấp và thứ cấp) không thể phá hủy hoàn toàn các chất vô cơ (ví dụ: kim loại nặng). Do đó, BA và FA từ các bãi chôn lấp có thể được coi là nguồn ô nhiễm liên tục [3] – [7]. Đặc biệt, nguy cơ này cao hơn rất nhiều đối với các công nhân làm việc trực tiếp trong các lò đốt rác thải. Gần đây, tác động và sự phân bố kim loại nặng đến sức khỏe của con người ảnh hưởng từ các lò đốt rác nhận được sự quan tâm đáng kể [8], [9]. Tuy nhiên, những công bố này chỉ nghiên cứu sự xuất hiện của kim loại nặng trong một hoặc hai dư lượng trong và/hoặc sau khi thiêu đốt. Các thông tin về liều lượng hấp thụ hàng ngày rủi ro đối với sức khỏe con người cũng khan hiếm.

Chính vì vậy, trong nghiên cứu này, chúng tôi hướng đến các nội dung sau: a) Đánh giá liều lượng hấp thụ hàng ngày các kim loại Pb, As, Cd trong tro bay và tro đáy lò đốt rác đô thị; b) Đánh giá nguy cơ rủi ro sức khỏe (không gây ung thư); c) Đánh giá nguy cơ gây ung thư suốt đời đối với các công nhân làm việc trực tiếp tại lò đốt rác.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Thông tin mẫu phân tích

**Bảng 1.** Thông tin lò đốt rác thải đô thị và hàm lượng các kim loại Pb, As và Cd trong tro bay và tro đáy (mg/kg)

T	Địa điểm lấy mẫu	Kí hiệu	Khối lượng tro bay (kg/h)	Khối lượng tro đáy (kg/h)	Công suất (tấn/h)	Thời gian hoạt động trung bình (giờ/năm)	Hàm lượng kim loại (mg/kg) và độ lệch chuẩn (SD)					
							Pb (n=5)		As (n=5)		Cd (n=5)	
						Tro bay (FA)	Tro đáy (BA)	Tro bay (FA)	Tro đáy (BA)	Tro bay (FA)	Tro đáy (BA)	
1	Hà Nội	IW1	0,60	688	4,5	8030	518 ± 2,3	57,6 ± 1,4	8,67 ± 0,8	6,01 ± 0,2	45,2 ± 1,8	1,05 ± 0,4
2	Hải Phòng	IW2	0,02	21	1,0	7300	210 ± 2,1	148 ± 2	7,02 ± 0,3	13,4 ± 0,6	38,4 ± 1,5	4,99 ± 0,3
3	Bắc Ninh	IW3	0,70	800	5,0	8030	236 ± 1,2	136 ± 0,5	0,766 ± 0,2	9,42 ± 1,2	60,1 ± 0,02	2,35 ± 1,9
4	Bắc Giang	IW4	0,04	38	3,0	8030	112 ± 1,2	104 ± 0,5	5,16 ± 0,6	29,7 ± 0,1	30,3 ± 0,2	25,7 ± 0,7
5	Hải Dương	IW5	0,05	45	2,5	8030	2,7 ± 1,1	9,3 ± 0,9	1,22 ± 0,8	7,72 ± 0,2	20,3 ± 0,03	14,0 ± 0,3

Mẫu tro lò đốt rác thải được thu thập tại 5 lò đốt thuộc các khu vực Hà Nội, Hải Phòng, Bắc Ninh, Bắc Giang, Hải Dương trong khoảng thời gian từ năm 2019 – 2020. 15 mẫu tro bay được thu gom từ túi lọc bụi và tro đáy từ xỉ thải thu thập từ mỗi lò đốt, khối lượng mỗi mẫu từ 200 đến 500 gam. Nguyên liệu rác được đốt tại các lò chủ yếu là giẻ lau, nilon, vải, giấy, cao su dính dầu,

vỏ hộp sơn, nhựa, hộp hóa chất, bao bì, xốp, có cả chất thải nguy hại lẫn chất thải sinh hoạt. Thông tin các lò đốt được đưa ra trong Bảng 1.

## 2.2. Hóa chất và thiết bị

Các chất chuẩn kim loại Cd, Pb, As (Merck) dùng trong nghiên cứu này có nồng độ gốc là 1g/L. Các acid HCl, HNO<sub>3</sub> đều là loại tinh khiết phân tích của Merck. Khí Ar dùng làm khí mang trong quá trình phân tích là khí sạch đạt 99,9999%, các dung dịch tuning đều được cung cấp từ hãng. Dung dịch nội chuẩn được dùng trong nghiên cứu là El, Bi, Ho, In, Li, Sc, Tb và Y với nồng độ là 10 mg/L. Các mẫu được rây nhỏ về kích thước 0,125–mm để đồng nhất. Mẫu được axit hóa xử lý theo EPA 3051 [11] trên thiết bị ICM-MS, Perkin Elmer, Elan 6800 thuộc Phòng phân tích chất lượng môi trường, Viện hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Mỗi lò đốt được phân tích với 5 mẫu khác nhau và đánh giá độ lệch chuẩn (SD), độ chính xác được đánh giá qua chuẩn CRM 7302-a, với hiệu suất thu hồi đạt 86 – 94%.

## 2.3. Đánh giá rủi ro sức khỏe con người bởi kim loại nặng trong tro thải lò đốt rác

Trong nghiên cứu này, chúng tôi thực hiện đánh giá nguy cơ rủi ro không gây ung thư và nguy cơ gây ung thư đối với công nhân làm việc trực tiếp tại lò đốt rác. Công nhân tiếp xúc với tro bay và tro đáy thông qua các con đường sau: qua đường miệng (ID<sub>ing</sub>); đường hô hấp (ID<sub>inh</sub>) và tiếp xúc qua da với các hạt bụi (ID<sub>dermal</sub>). Theo [12], lượng tiêu thụ trung bình hàng ngày (ID) của một chất, được ước tính thông qua ba con đường tiếp xúc như sau (Phương trình 1-4) [12], [13].

$$ID_{ing} = C \times \frac{IngR \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-6} \quad (1)$$

$$ID_{inh} = C \times \frac{InhR \times EF \times ED}{PEF \times BW \times AT} \quad (2)$$

$$ID_{dermal} = C \times \frac{SA \times AF \times ABF \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-6} \quad (3)$$

$$LADD = \frac{C}{PEF \times AT_{can}} \times \frac{CR_{chil} \times EF_{chil} \times ED_{chil}}{BW_{chil}} \times \frac{CR_{adult} \times EF_{adult} \times ED_{adult}}{BW_{adult}} \quad (4)$$

Trong đó, ADI<sub>ing</sub>, ADI<sub>inh</sub> và ADI<sub>dermal</sub> (tính bằng mg/kg/ ngày) là giá trị trung bình hàng ngày hấp thụ thông qua tiêu hóa trực tiếp, hít vào và hấp thụ tiếp xúc qua da, tương ứng. CR là tỷ lệ tiếp xúc thông qua các ba đường (hoặc hấp thụ). Tỷ lệ hấp thụ khi nuốt phải bụi đường (kí hiệu IngR), tỷ lệ hấp thụ khi hít phải bụi đường (kí hiệu là InhR) và giá trị khi tiếp xúc qua da được đánh giá qua biểu thức (CR = SA × AF × ABF); LADD là liều lượng trung bình hàng ngày để ước tính nguy cơ gây ung thư suốt đời. Tất cả các yếu tố phơi nhiễm được sử dụng trong nghiên cứu này là những tham khảo trong các nghiên cứu [2], [13].

Nguy cơ rủi ro (không gây ung thư) được đánh giá thông qua chỉ số HI, tỷ lệ rủi ro khi nuốt phải, hít phải và qua da tiếp xúc bụi đường (HQ<sub>ing/inh/derm</sub>) được lấy bằng cách chia theo liều tham chiếu (RfD: liều lượng tham chiếu do các cơ quan chuyên môn như US EPA đưa ra) như sau [2], [13]:

$$HQ_{ing/inh/derm} = \frac{ADI_{ing/inh/derm}}{RfD} \quad (5)$$

$$HI = \sum HQ_i \quad (6)$$

Trong đó HQ là nguy cơ không gây ung thư theo con đường đơn lẻ; RfD là liều tham chiếu, có nghĩa là liều tối đa cần thiết để tránh phản ứng có hại khi hấp thụ, trên một đơn vị thời gian trên một đơn vị trọng lượng; i là viết tắt của các con đường. HI là nguy cơ không gây ung thư do nhiều con đường. Nếu HI > 1, nó chỉ ra rằng kim loại có thể gây nguy cơ rủi ro nguy hiểm (không gây ung thư) cho cộng đồng. Tuy nhiên, nếu HI ≤ 1, có thể kết luận rằng nguy cơ rủi ro là không đáng kể. Nguy cơ gây ung thư (CR) được đặt ra có thể được đánh giá bằng cách sử dụng [2], [12], [13]:

$$CR_i = ID_i \times CSf \quad (7)$$

$$CR = \sum CR_i \quad (8)$$

Trong đó, CSf (không thứ nguyên) là hệ số góc gây ung thư; i viết tắt của các con đường tiếp xúc. Giá trị CR từ  $10^{-6}$  đến  $10^{-4}$  cho biết có thể chấp nhận được hoặc nguy cơ gây ung thư có thể chấp nhận được. Nếu giá trị cao hơn  $10^{-4}$ , nó có nghĩa là rủi ro không thể chấp nhận được. Giá trị CR thấp hơn  $10^{-6}$  cho thấy không có nguy cơ sức khỏe đáng kể. Liều tham chiếu (RfD) và độ dốc ung thư yếu tố (CSf) cho mỗi con đường phơi nhiễm [2].

### 3. Kết quả và bàn luận

#### 3.1. Đánh giá liều lượng hấp thụ hàng ngày đối với các kim loại Pb, As, Cd trong lò đốt rác sinh hoạt

Trong nghiên cứu này, liều lượng hấp thụ hàng ngày của các kim loại nặng Pb, As, Cd theo ba con đường tiếp xúc được ước tính đối với các công nhân làm việc trực tiếp tại lò đốt rác. Dựa trên hàm lượng của Pb, As, Cd phân tích được theo Bảng 1, từ đó tính toán giá trị trung bình liều lượng hấp thụ các kim loại nặng. Giá trị liều lượng hấp thụ cụ thể đối với từng lò đốt được trình bày trong Hình 1. Trong tro bay, các kim loại có liều lượng hấp thụ trung bình qua đường miệng là: 0,0002 (mg/kg/day  $\times 10^{-3}$ ) đối với Pb; 2,84E-05 (mg/kg/day  $\times 10^{-3}$ ) đối với As, và 5,32E-05 (mg/kg/day  $\times 10^{-3}$ ) đối với Cd. Trong đó liều lượng hấp thụ Pb cao gấp 3,76 lần so với Cd và 7 lần so với As. Tương tự đối với liều lượng hấp thụ qua đường hít phải các hạt bụi và tiếp xúc qua da, liều lượng Pb cao hơn rất nhiều so với các kim loại khác, cụ thể cao gấp As 9,9 lần, Cd là 5,6 lần theo đường hô hấp và tiếp xúc qua da.

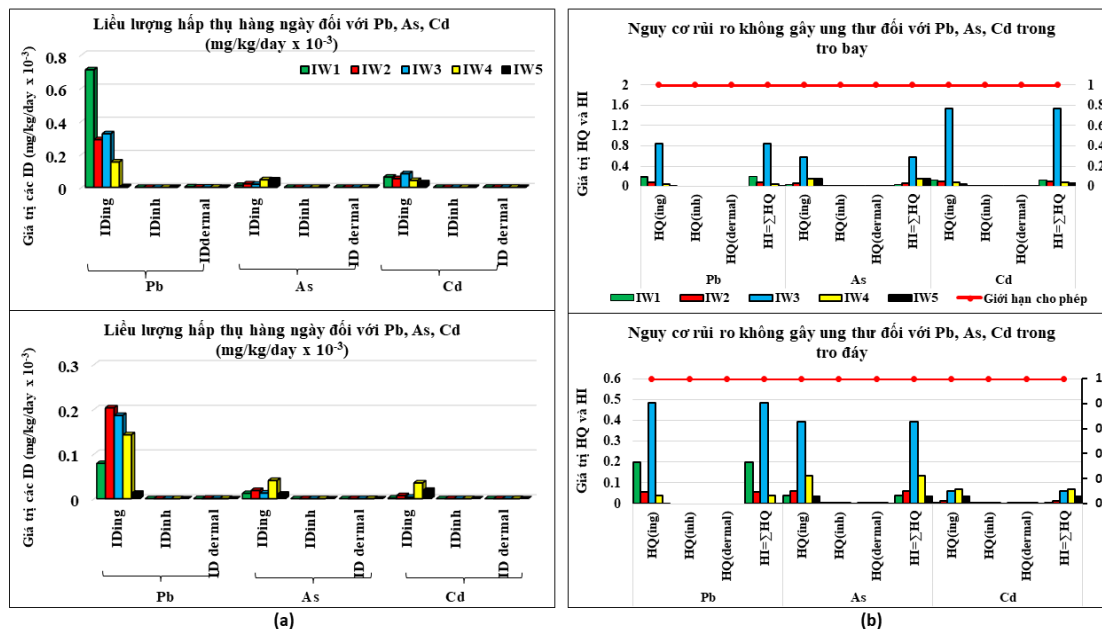
Trong tro đáy, nhìn chung liều lượng hấp thụ trung bình của Pb, Cd thấp hơn so với tro bay, ngoại trừ As. Tuy nhiên, liều lượng hấp thụ của Pb vẫn khá cao so với các kim loại còn lại, nhưng mức độ chênh lệch không quá lớn như trong tro bay. Liều lượng hấp thụ của Pb theo đường miệng, hô hấp và tiếp xúc qua da tương ứng cao gấp 6,3; 6,9; 6,9 lần đối với As và 9,1; 9,5; 9,5 đối với Cd. Rõ ràng với liều lượng hấp thụ của Pb trong nghiên cứu này thì sự có mặt của kim loại Pb trong tro bay lò đốt rác thải là rất đáng để quan tâm.

**Bảng 2.** Liều lượng hấp thụ trung bình hàng ngày và rủi ro không gây ung thư các kim loại nặng Pb, As, Cd đối với công nhân lò đốt rác qua các con đường tiếp xúc

		Liều lượng hấp thụ hàng ngày (mg/kg/day $\times 10^{-3}$ )				Rủi ro không gây ung thư			
		IDing	IDinh	IDdermal	LADD	HQ(ing)	HQ(inh)	HQ(dermal)	HI= $\sum$ HQ
<i>Tro bay (FA)</i>									
Pb	TB	0,0002	1,66E-08	1,18E-06	2,97E-10	0,232	0,000	0,000	0,232
	SD	0,0001	1,48E-08	1,05E-06	2,65E-10	0,347	0,000	0,000	0,347
As	TB	2,84E-05	1,67E-09	1,19E-07	3,00E-11	1,99E-01	4,18E-06	3,97E-04	1,99E-01
	SD	1,56E-05	7,86E-10	5,59E-08	1,41E-11	2,20E-01	1,97E-06	1,86E-04	2,20E-01
Cd	TB	5,32E-05	2,99E-09	2,12E-07	5,35E-11	3,81E-01	5,24E-05	4,25E-04	3,81E-01
	SD	2,06E-05	1,16E-09	8,23E-08	2,08E-11	0,646	2,00E-05	0,00016	6,47E-01
<i>Tro đáy (BA)</i>									
Pb	TB	0,00012	7E-09	4,98E-07	1,25E-10	0,156	0,000	0,000	0,156
	SD	7,9E-05	4,42E-09	3,15E-07	7,93E-11	0,197	0,000	0,000	0,197
As	TB	1,88E-05	1,01E-09	7,22E-08	1,82E-11	0,133	2,54E-06	0,0002	0,133
	SD	1,26E-05	7,38E-10	5,25E-08	1,32E-11	0,151	1,85E-06	0,0002	0,151
Cd	TB	1,32E-05	7,40E-10	5,26E-08	1,53E-08	0,037	1,30E-05	0,0001	0,037
	SD	1,41E-05	7,93E-10	5,64E-08	3,43E-08	0,029	1,39E-05	0,0001	0,029

Nhìn chung, trong cả tro bay và tro đáy có thể thấy tổng liều lượng hấp thụ đối với cả ba kim loại Pb, As và Cd qua ba con đường tiếp xúc theo thứ tự (Hình 1 a): qua con đường nuốt trực tiếp bụi chiếm 99,6% > qua con đường tiếp xúc qua da với hạt tro bụi chiếm 0,39% > qua đường hít

phải các hạt bụi chiếm 0,01%. Như vậy, có thể thấy liều lượng hấp thụ qua đường nuốt trực tiếp phải bụi đường chiếm một tỷ lệ đáng kể, đặc biệt khi xem xét đối với các công nhân làm việc tiếp xúc trực tiếp hàng ngày trong lò đốt rác thải.



**Hình 1.** (a) Liều lượng hấp thụ hàng ngày của Pb, As, Cd qua các con đường tiếp xúc tại 5 lò đốt rác thải sinh hoạt, (b) Đánh giá nguy cơ rủi ro (không gây ung thư) đối với Pb, As, Cd từ tro bay và tro đáy của lò đốt rác thải rắn

### 3.2. Đánh giá nguy cơ rủi ro (không gây ung thư) bởi các kim loại Pb, As, Cd trong lò đốt rác thải rắn

Nguy cơ rủi ro (không gây ung thư) của con người cũng được đánh giá thông qua các chỉ số nguy hiểm HI, đại diện tổng chỉ số nguy hiểm theo 3 con đường tiếp xúc HQing, HQinh, HQdermal. Các giá trị các HQ và HI trung bình trong 5 lò đốt rác rắn được trình bày trong Bảng 2, Hình 1 (b). Nguy cơ rủi ro đối với Pb chỉ đánh giá qua con đường nuốt trực tiếp bụi (Pb không có giá trị RfD đối với đường hô hấp và tiếp xúc qua da), đối với As và Cd được đánh giá nguy cơ rủi ro trong cả ba đường tiếp xúc. Kết quả tính toán cho thấy nguy cơ rủi ro không gây ung thư theo trật tự đối với cả ba kim loại:  $HQ(ing) > HQ(dermal) > HQ(inh)$ . Nguy cơ rủi ro không gây ung thư của Pb từ các con đường tiếp xúc cao hơn so với As và Cd. Cụ thể giá trị HI của Pb cao gấp 1,17 lần đối với As và 0,6; 4,2 lần đối với Cd tương ứng trong tro bay và tro đáy. Nhìn chung, giá trị trung bình của HI đối với cả ba kim loại đều nhỏ hơn 1 (ngưỡng cho phép), vì vậy không có nguy cơ rủi ro đáng kể từ Pb, As, Cd đối với các công nhân làm việc trực tiếp tại lò đốt khi tiếp xúc với tro bay và tro đáy. Tuy nhiên, từ Hình 1 (b) cho thấy, giá trị HI của các lò đốt cũng có sự khác biệt đáng kể. Sự khác biệt này phụ thuộc vào nhiều yếu tố của lò đốt rác như nhiệt độ, công suất, khối lượng rác thải đốt... Có thể thấy, đối với lò đốt IW3 có hàm lượng các kim loại khá cao, dẫn đến giá trị HQ(ing) và HI cao hơn so với các lò đốt còn lại. Riêng đối với Cd, giá trị HQ(ing) và HI(ing) là  $1,5 > 1$ , vượt ngưỡng giá trị cho phép [13], đối với Pb, giá trị HI là 0,84 sát với ngưỡng giá trị cho phép. Điều này có thể dẫn đến nguy cơ rủi ro cao đối với những công nhân làm việc trực tiếp tại lò đốt IW3. Sự khác biệt này có thể liên quan đến công suất, khối lượng tro bay và tro đáy của lò IW3 cao hơn so với các lò đốt khác, các thông tin này, đã được chúng tôi trình bày cụ thể trong Bảng 1. Như vậy, việc kiểm soát các lò đốt với như tối ưu hóa các thông số vận hành của lò đốt MSW và hệ thống kiểm soát khí thải APCD, nên được tiến hành.

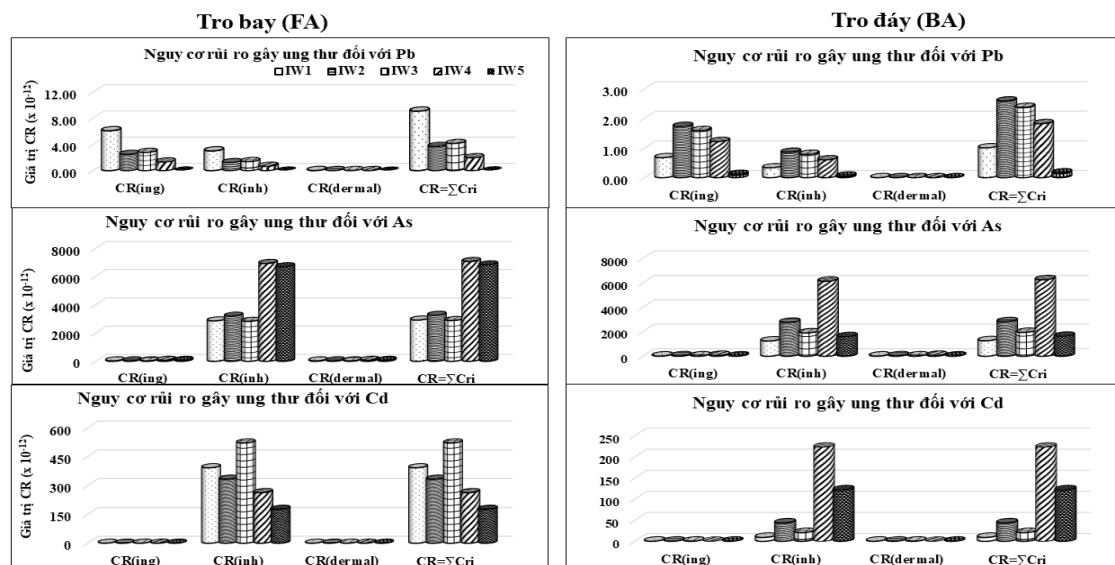
**3.3. Đánh giá nguy cơ rủi ro gây ung thư bởi các kim loại Pb, As, Cd trong lò đốt rác sinh hoạt**

Trong nghiên cứu này, nguy cơ rủi ro ung thư bởi Pb, As, Cd được đánh giá đối với công nhân lò đốt rác qua các đường tiếp xúc phơi nhiễm trong cả tro bay và tro đáy. Kết quả tính toán được trình bày chi tiết trong Bảng 3. Nguy cơ gây ung thư của các kim loại theo thứ tự: CR(inh) > CR(ing) ~ CR(dermal). Giá trị CR tổng của các kim loại nằm trong khoảng từ 3,78E-12 đến 4,59E-09 trong tro bay và từ 1,01E-12 đến 2,78E-09 trong tro đáy.

**Bảng 3.** Đánh giá nguy cơ rủi ro gây ung thư (CR) từ các kim loại nặng Pb, As, Cd trong tro bay và tro đáy của đối với công nhân lò đốt rác thải

		Tro bay				Tro đáy			
		CR(ing)	CR(inh)	CR(dermal)	CR=∑CRi	CR(ing)	CR(inh)	CR(dermal)	CR=∑CRi
<i>Tro bay (FA)</i>									
Pb	TB	2,53E-12	1,25E-12	0	3,78E-12	1,07E-12	5,27E-13	0	1,59E-12
	SD	2,25E-12	1,11E-12	0	3,37E-12	6,74E-13	3,33E-13	0	1,01E-12
As	TB	4,50E-11	4,50E-09	4,50E-11	4,59E-09	2,73E-11	2,73E-09	2,73E-11	2,78E-09
	SD	2,11E-11	2,11E-09	2,11E-11	2,16E-09	1,99E-11	1,99E-09	1,99E-11	2,02E-09
Cd	TB	0	3,37E-10	0	3,37E-10	0	8,36E-11	0	8,36E-11
	SD	0	1,31E-10	0	1,31E-10	0	8,96E-11	0	8,97E-11

Nguy cơ gây ung thư đối với các kim loại theo thứ tự: As > Cd > Pb. Trong đó, nguy cơ gây ung thư suốt đời của As trong tro bay và tro đáy tương ứng cao gấp 1,21x10<sup>3</sup> và 1,75x10<sup>3</sup> lần so với Pb; 16,6 lần và 33,2 lần so với Cd.



**Hình 2.** Nguy cơ rủi ro gây ung thư bởi các kim loại nặng Pb, As, Cd trong tro bay (FA) và tro đáy (BA) đối với công nhân lò đốt rác thải rắn

Mặt khác, từ Hình 2 có thể thấy nguy cơ gây ung thư từ các kim loại cũng có sự khác biệt trong tro bay, tro đáy và các lò đốt rác thải khác nhau. Cụ thể giá trị CR tổng trong tro bay đối với cả 3 kim loại cao nhất ở lò đốt rác IW1 với Pb, IW4 với As và IW3 đối với Cd. Tuy nhiên, trong tro đáy nguy cơ gây ung thư cao nhất ở lò đốt IW4 đối với As, Cd và IW2 đối với Pb. Như vậy có thể thấy, nguy cơ gây ung thư suốt đời phụ thuộc vào hàm lượng của các kim loại trong từng lò đốt rác thải, cũng như các con đường tiếp xúc phơi nhiễm. Nhìn chung, chúng tôi chưa tìm thấy nguy cơ ảnh hưởng đến sức khỏe đối với các công nhân làm việc trong các lò đốt rác nghiên cứu, các giá trị CR của các kim loại đều dưới giới hạn cho phép (10<sup>-6</sup>).

#### 4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, hàm lượng của Pb, As và Cd đã được phân tích và đánh giá trong tro bay và tro đáy của 5 lò đốt rác thải rắn thu thập tại một số tỉnh thuộc miền bắc Việt Nam. Từ hàm lượng các kim loại phân tích được, chúng tôi đã đánh giá liều lượng hấp thụ hàng ngày, các kim loại nặng đối với công nhân làm việc trực tiếp tại lò đốt với kết quả: liều lượng hấp thụ hàng ngày qua đường nuốt trực tiếp > đường tiếp xúc qua da > đường hô hấp. Nguy cơ rủi ro HI (không gây ung thư) cũng được đánh giá qua các đường tiếp xúc, thu được kết quả theo với thứ tự: HQ(ing) > HQ(dermal) > HQ(inh). Trong đó kim loại Cd có nguy cơ rủi ro (không gây ung thư) khá cao và vượt giá trị cho phép. Nghiên cứu cũng đánh giá nguy cơ rủi ro gây ung thư suốt đời bởi Pb, As và Cd đối với công nhân lò đốt, nhìn chung các giá trị CR đều dưới giới hạn cho phép, cho thấy chưa có nguy cơ đáng kể nào đối với sức khỏe của các công nhân tại 5 lò đốt rác thải rắn trong nghiên cứu.

#### Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ kinh phí từ Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) với mã dự án 104.04–2019.332.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] K. V. D. Berg and T. C. Duong, *Solid and industrial hazardous waste management assessment: Options and actions areas*. Hong Duc Publishing House, Hanoi, 2018.
- [2] Q. J. Zhou, J. Yang, M. Liu, Y. Liu, S. Sarnat, and J. Bi, "Toxicological risk by inhalation exposure of air pollution emitted from China's municipal solid waste incineration," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 52, pp. 11490–11499, 2018.
- [3] J. Wei, H. Li, and J. Liu, "Heavy metal pollution in the soil around municipal solid waste incinerators and its health risks in China," *Environmental Research*, vol. 203, pp. 1-12, 2022.
- [4] T. H. Nguyen, Q. V. Pham, T. P. M. Nguyen, V. T. Vu, T. H. Do, M. T. Hoang, and T. B. Minh, "Distribution characteristics and ecological risks of heavy metals in bottom ash, fly ash, and particulate matter released from municipal solid waste incinerators in northern Vietnam," *Environmental Geochemistry and Health*, Sep. 2022, Epub ahead of print, PMID: 36063242, doi: 10.1007/s10653-022-01335-4.
- [5] J. Haberl and M. Schuster, "Solubility of elements in waste incineration fly ash and bottom ash under various leaching conditions studied by a sequential extraction procedure," *Waste Management*, vol. 87, pp. 268–278, 2019, doi: 10.1016/j.wasman.2019.02.001S. J.
- [6] S. J. Huang, C. Y. Chang, D. T. Mui, F. C. Chang, M. Y. Lee, and C. F. Wang, "Sequential extraction for evaluating the leaching behavior of selected elements in municipal solid waste incineration fly ash," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 149, no. 1, pp. 180–188, 2007, doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.03.067
- [7] X. Jiang, Y. Li, and J. Yan, "Hazardous waste incineration in a rotary kiln: A review," *Waste Disposal & Sustainable Energy*, vol. 1, no. 1, pp. 3–37, 2019, doi: 10.1007/s42768-019-00001-3.
- [8] Q. Abbas, G. Liu, B. Yousaf, M. U. Ali, H. Ullah, and R. Ahmed, "Effects of biochar on uptake, acquisition and translocation of silver nanoparticles in rice (*Oryza sativa* L.) in relation to growth, photosynthetic traits and nutrients displacement," *Environmental pollution*, vol. 250, pp. 728-736, 2019.
- [9] P. Wang, Y. Hu, and H. Cheng, "Municipal solid waste (MSW) incineration fly ash as an important source of heavy metal pollution in China," *Environmental Pollution*, vol. 252, pp. 461–475, 2019, doi: 10.1016/j.envpol.2019.04.082.
- [10] H. Zhang, P. J. He, and L. M. Shao, "Fate of heavy metals during municipal solid waste incineration in Shanghai," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 156, no. 1-3, pp. 365-373, 2008.
- [11] EPA (Environmental Protection Agency), "Method 3051A microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils," *Z. Für Anal. Chem.*, vol. 111, pp. 362-366, 2007.
- [12] T. T. T. Nguyen, A. Q. Hoang, V. D. Nguyen, H. T. Nguyen, T. V. Vu, X. T. Vuong, and M. B. Tu, "Concentrations, profiles, emission inventory, and risk assessment of chlorinated benzenes in bottom ash and fly ash of municipal and medical waste incinerators in northern Vietnam," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, no. 11, pp. 13340-13351, 2021.
- [13] T. T. T. Nguyen, A. Q. Hoang, X. T. Vuong, V. D. Nguyen, G. H. Pham, and T. B. Minh, "Comprehensive insight into heavy metal (loid) s in road dust from industrial and urban areas in northern Vietnam: concentrations, fractionation characteristics, and risk assessment," *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, Published online: 26 Jul., 2022, doi: 10.1080/03067319.2022.2098478.