

METHOD DEVELOPMENT FOR DETERMINATION OF INORGANIC IMPURITIES IN WASTEWATER FROM METHAMPHETAMINE SYNTHESIS USING INDUCTIVELY COUPLED PLASMA - MASS SPECTROMETRY (ICP-MS)

Vu Tung Lam¹, Dang Thi Ngoc Lan¹, Nguyen Thi Thuy Linh¹, Pham Le Minh¹,
Hoang Ngoc Mai², Nguyen Xuan Truong², Tran Nguyen Ha^{1*}

¹Hanoi University of Pharmacy, ²Institute of Forensic Sciences

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 18/12/2022	The inorganic impurities are essential in the synthesis of methamphetamine, and might be present in wastewater near the production site. The determination of these elements therefore, may contribute useful information for the investigation of illegal methamphetamine production. In this study, ICP-MS was used to quantify 7 inorganic impurities (Li, B, Al, Ni, Zn, Pd, Pt) in wastewater with analysis conditions: plasma flow rate: 15.0 L/min, RF source capacity: 1.5 kW, sample depth 5.5 mm. Simple sample preparation using HNO ₃ was used. The method was validated according to AOAC 2016 guidelines. The selectivity and repeatability was adequate, as well as for linearity within the investigated concentrations of 1 - 250 ppb for Li, Ni; 5 - 250 ppb for B, Pd, Pt; 25 - 500 ppb for Al and 10 - 500 ppb for Zn. LOD ranged from 0.2 ppb to 7.6 ppb; LOQ from 0.8 ppb to 25.3 ppb. The recovery was 82.4 - 118.2 % with the concentration 10 ppb - 500 ppb; 87.3 - 109.3 % with the concentration 1 ppb - 10 ppb.
Revised: 11/01/2023	
Published: 11/01/2023	
KEYWORDS	
Methamphetamine	
Determination	
Inorganic impurities	
ICP-MS	
Wastewater	

XÂY DỰNG PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH CÁC CHẤT VÔ CƠ RÒ RỈ TRONG NƯỚC THẢI TỪ QUÁ TRÌNH TỔNG HỢP METHAMPHETAMIN BẰNG KỸ THUẬT PHỔ PHỐI NGUỒN PLASMA CẢM ỨNG (ICP-MS)

Vũ Tùng Lâm¹, Đặng Thị Ngọc Lan¹, Nguyễn Thị Thùy Linh¹, Phạm Lê Minh¹,
Hoàng Ngọc Mai², Nguyễn Xuân Trường², Trần Nguyên Hà^{1*}

¹Trường Đại học Dược Hà Nội, ²Viện Khoa học Hình sự

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 18/12/2022	Các nguyên tố vô cơ là những chất cần thiết trong quá trình tổng hợp methamphetamine và có thể bị rò rỉ ra môi trường ngoài. Việc định lượng các chất này trong nước thải cung cấp thêm thông tin hữu hiệu cho cơ quan điều tra để phát hiện các cơ sở sản xuất trái phép methamphetamine. Trong nghiên cứu này, phương pháp ICP-MS được xây dựng để định lượng 7 ion vô cơ (Li, B, Al, Ni, Zn, Pd, Pt) trong nước thải với các điều kiện phân tích: tốc độ dòng khí plasma 15,0 L/phút, công suất nguồn RF 1,5 kW, độ sâu mẫu 5,5 mm. Quy trình xử lý mẫu đơn giản chỉ bằng HNO ₃ . Phương pháp đã được thẩm định theo AOAC 2016 có độ chọn lọc và độ chính xác khá cao, có thể áp dụng vào thực tế. Khoảng tuyến tính để định lượng là 1 - 250 ppb với Li, Ni; 5 - 250 ppb với B, Pd, Pt; 25 - 500 ppb với Al và 10 - 500 ppb với Zn. LOD từ 0,2 ppb đến 7,6 ppb; LOQ từ 0,8 ppb đến 25,3 ppb. Tỷ lệ thu hồi đạt 82,4 - 118,2 % với mức nồng độ 10 ppb - 500 ppb, 87,3 - 109,3 % với mức nồng độ 1 ppb - 10 ppb.
Ngày hoàn thiện: 11/01/2023	
Ngày đăng: 11/01/2023	
TỪ KHÓA	
Methamphetamine	
Định lượng	
Chất vô cơ	
ICP-MS	
Nước thải	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.7135>

* Corresponding author. Email: ham@hup.edu.vn

1. Giới thiệu

Tại khu vực châu Á - Thái Bình Dương, Methamphetamine (MET) được sản xuất và tiêu thụ nhiều nhất trong nhóm ma túy. Tại Việt Nam cũng có sự gia tăng đáng kể các vụ buôn lậu và sản xuất ma túy dạng MET và Methylenedioxy Methamphetamine (MDMA) [1]. Do vậy, việc phát hiện sớm các cơ sở sản xuất ma túy là việc làm cần thiết, nhằm ngăn chặn các chất này được đưa vào lưu thông trong xã hội. Các dấu hiệu của cơ sở sản xuất ma túy có thể được phát hiện từ dư lượng nguyên liệu, chất thải của quá trình sản xuất thải ra môi trường xung quanh. Dữ liệu từ nước thải của quá trình là một trong những yếu tố quan trọng để chỉ điểm, điều tra, thu thập bằng chứng, đi đến kết luận một cơ sở có sản xuất MET và MDMA hay không. Các hoá chất từ nước thải phục vụ cho công tác điều tra có thể là chính các ma túy, các tiền chất thiết yếu cho sản xuất ma túy, các chất độn sử dụng trong sản xuất, cũng như các dung môi hữu cơ và các chất vô cơ. Chất vô cơ tham gia tổng hợp nguyên liệu sản xuất và sản phẩm ma túy với vai trò là chất khử hoặc xúc tác nên lượng thường nhỏ, do vậy cần có phương pháp phân tích có giới hạn phát hiện thấp. Kỹ thuật phổ khối nguồn cảm ứng plasma (ICP - MS) ra đời cách đây không lâu nhưng đã phát triển nhanh chóng vì có ưu điểm giới hạn phát hiện rất thấp, tốc độ nhanh và chính xác [2]. Trong thực tế, ICP - MS thường được sử dụng để phân tích đa lượng, vết, các nguyên tố trong mẫu môi trường như nước, bùn, trầm tích... [3]-[5]. Trong quá trình tổng hợp MET và MDMA, 7 tạp chất vô cơ Li, B, Al, Ni, Zn, Pd, Pt đóng vai trò xúc tác kim loại, chất khử hoặc chất phụ gia được đặc biệt chú ý [6]. Do vậy, chúng tôi đặt vấn đề xây dựng và thẩm định phương pháp phân tích các chất vô cơ trong nước thải bằng ICP - MS nhằm cung cấp thêm một công cụ cho các cơ quan quản lý trong công tác phòng chống tội phạm ma túy.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu

- Đối tượng nghiên cứu: Các nguyên tố vô cơ (Li, B, Al, Ni, Zn, Pd, Pt) trong nước thải.
- Đối tượng phân tích:
 - + Mẫu nền: các mẫu nước thải tại miệng đường ống đổ vào ao, hồ khu dân cư.
 - + Mẫu trắng: Nước deion 18,2 MΩ.cm

2.2. Hoá chất, chất chuẩn, thiết bị

- Máy khối phổ plasma cảm ứng, Bruker 810/820 MS-ICP Mass Spectrometers Thụy Sĩ, Trung tâm Giám định Ma túy, Viện Khoa học Hình sự, Bộ Công an; Bình khí Argon 99,999%.
- Acid siêu tinh khiết HNO₃ 69 - 70% (Merck, Đức).
- Dung dịch chuẩn 1000 ppm nguyên tố Pd (Merck, Đức) số lot: HC61206239.
- Dung dịch chuẩn 1000 ppm nguyên tố Pt (Merck, Đức) số lot: HC60096041.
- Các dung dịch chuẩn của các nguyên tố trong HNO₃ tinh khiết 3%.
- Dung dịch chuẩn hỗn hợp 1000 ppm các nguyên tố Li, B, Al, Ni, Zn (PerkinElmer, Mỹ) số lot: 2-014SGY1.
- Nước deion 18,2 MΩ.cm.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp lấy mẫu

- Nước thải được hứng bằng chai nhựa sạch, thêm HNO₃ đặc để đạt pH=2 (TCVN 6665:2011), đuổi hết không khí, bảo quản ở 4°C. Mẫu được bảo quản trong khoảng 1 tháng. Khi sử dụng, nước thải phải được lọc qua đầu lọc 0,45 μm.
- Mẫu nền: nước tại miệng ống thải đổ vào hồ Thiên Quang (Hà Nội).
- Chuẩn bị các dung dịch để thẩm định phương pháp
 - + Dung dịch pha mẫu T₀: từ dung dịch gốc siêu tinh khiết HNO₃, pha loãng thành dung dịch 3% bằng nước deion.

+ Dung dịch chuẩn C_0 : từ dung dịch gốc hỗn hợp 7 nguyên tố 1000 ppm, pha loãng thành dung dịch 1 ppm hoặc 10 ppm bằng dung dịch pha mẫu T_0 .

- Mẫu chuẩn C: dung dịch T_0 đã thêm lượng chuẩn C_0 để đạt các nồng độ cần thiết.

- Mẫu nền N: mẫu nước thải được acid hóa bằng HNO_3 siêu tinh khiết.

- Mẫu thử T: mẫu N đã thêm lượng chuẩn C_0 để đạt các nồng độ cần thiết.

2.3.2. Phương pháp phân tích

- Khảo sát các điều kiện của phương pháp ICP - MS: khảo sát tốc độ dòng khí plasma (dòng Argon từ 13 L/phút đến 17 L/phút); công suất nguồn RF từ 1,1 kW đến 1,6 kW và độ sâu mẫu từ 5 mm đến 7 mm. Các đồng vị chất phân tích được lựa chọn là Li 7, B 11, Al 27, Ni 60, Zn 66, Pd 105, Pt 195.

- Thẩm định phương pháp: theo hướng dẫn của AOAC 2016 với các tiêu chí: độ phù hợp hệ thống, độ đặc hiệu, độ tuyến tính, độ lặp lại, độ đúng.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Kết quả khảo sát các thông số của thiết bị ICP-MS

3.1.1. Chuẩn hóa số khối - Tuning máy

Vì mỗi đồng vị có một số khối nhất định nên tiến hành chuẩn hóa số khối của 7 nguyên tố cần phân tích. Từ dung dịch chuẩn gốc 10 ppm của các nguyên tố Ni, Pb, pha loãng đến nồng độ 10 ppb để chuẩn hóa.

3.1.2. Khảo sát tốc độ dòng khí plasma

- Tiến hành tiêm vào máy hỗn hợp chuẩn 7 nguyên tố Li, B, Al, Ni, Zn, Pd, Pt, nồng độ mỗi nguyên tố tương ứng là 100 ppb

- Tốc độ dòng khí Argon từ 13,0 L/phút đến 17,0 L/phút

- Năng lượng RF từ 1,0 kW đến 1,6 kW và độ sâu mẫu 5,0 – 7,0 mm.

- Dựa vào cường độ tín hiệu của hỗn hợp chuẩn để lựa chọn tốc độ dòng khí thích hợp nhất.

- Bảng 1 trình bày điều kiện phân tích tối ưu trên thiết bị ICP-MS sau khi được khảo sát.

Bảng 1. Điều kiện phân tích tồn chất vô cơ bằng ICP-MS

STT	Thông số	Giá trị được chọn		
1	Tốc độ dòng khí plasma (L/phút)	15,0		
2	Tốc độ dòng khí phụ trợ (L/phút)	2,0		
3	Tốc độ dòng khí mang (L/phút)	0,2		
4	Tốc độ dòng khí phun sương (L/phút)	1,0		
5	Công suất nguồn RF (kW)	1,5		
6	Độ sâu mẫu (mm)	5,5		
7	Thời gian chờ lấy mẫu (giây)	15		
8	Số lần quét khối (lần)	4		
9	Các điều kiện khác	Môi trường làm việc của máy	Điện áp một pha (V)	220 ± 10 %
		Nhiệt độ phòng (°C)	20 – 25	
		Độ ẩm phòng (%)	< 45	
		Nước làm lạnh plasma	Nhiệt độ nguồn nước vào (°C)	16 – 18
		Nhiệt độ nguồn nước ra (°C)	< 55	
	Áp suất khí Argon (psi)	80 – 82		

3.2. Thẩm định phương pháp phân tích

3.2.1. Độ phù hợp của hệ thống

Để xác định độ phù hợp hệ thống, tiêm lặp lại 6 lần liên tiếp mẫu chuẩn C chứa các nguyên tố có nồng độ 100 ppb, ghi lại cường độ tín hiệu đáp ứng của thiết bị.

Bảng 2 trình bày kết quả thẩm định độ phù hợp của hệ thống ICP-MS khi định lượng.

Bảng 2. Độ phù hợp hệ thống định lượng tồn chất vô cơ bằng ICP-MS

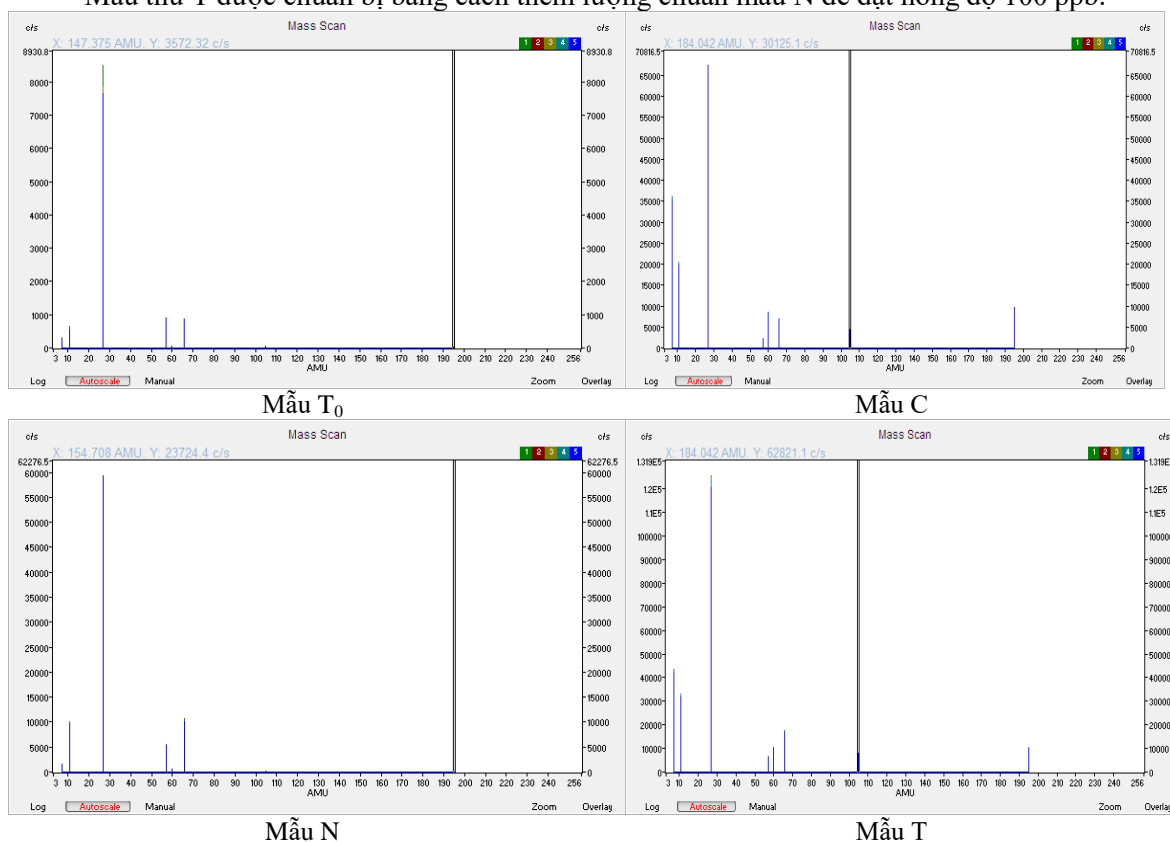
Nguyên tố	Cường độ tín hiệu (c/s)						
	Li 7	B 11	Al 27	Ni 60	Zn 66	Pd 105	Pt 195
Kết quả							
TB	35073,3	19696,6	61926,0	8552,4	5872,2	4688,3	9753,3
SD	486,7	158,7	410,5	101,2	112,8	67,0	70,8
RSD %	1,4	0,8	0,7	1,2	1,9	1,4	0,7

Kết quả độ lệch chuẩn tương đối (RSD %) của các nguyên tố đều không vượt quá 5%. Như vậy, độ phù hợp của hệ thống đạt yêu cầu theo hướng dẫn của AOAC.

3.2.2. Độ chọn lọc

Độ chọn lọc của phương pháp được xác định bằng cách phân tích các mẫu T₀, mẫu chuẩn C, mẫu nền N và mẫu thử T theo điều kiện đã lựa chọn. Hình 1 là phổ đồ các mẫu thẩm định độ chọn lọc của phương pháp.

- Mẫu chuẩn C được chuẩn bị bằng cách thêm lượng chuẩn vào dung dịch T₀ để đạt nồng độ 100 ppb.
- Mẫu thử T được chuẩn bị bằng cách thêm lượng chuẩn mẫu N để đạt nồng độ 100 ppb.



Hình 1. Phổ đồ thẩm định độ chọn lọc của phương pháp

Trên phổ đồ Mass Scan, mẫu T_0 có tín hiệu đáp ứng của các nguyên tố là nhỏ nhất; mẫu chuẩn C có tín hiệu tăng lên ở tất cả các nguyên tố tương ứng với lượng chuẩn hỗn hợp các nguyên tố đã thêm vào. Tương tự mẫu nền N ghi nhận có tín hiệu ở các nguyên tố khảo sát và mẫu thử T có tín hiệu tăng vọt tương ứng với các nguyên tố được thêm lượng chuẩn so với mẫu N.

3.2.3. Khoảng tuyến tính

Chuẩn bị dãy chuẩn nồng độ 1 - 250 ppb với Li, Ni; nồng độ 5 - 250 ppb với B, Pd, Pt; nồng độ 25 - 500 ppb với Al, 10 - 500 ppb với Zn với mẫu trắng là T_0 . Bảng 3 có kết quả các phương trình hồi quy giữa tỷ lệ tín hiệu đáp ứng với nồng độ, hệ số tương quan R.

Các kết quả cho thấy có sự tương quan tuyến tính chặt chẽ giữa nồng độ và tỷ lệ diện tích pic chuẩn ngoại với chuẩn nội, hệ số tương quan thỏa mãn $R > 0,99$ và giá trị độ chệch không vượt quá 15% ở các nồng độ thấp, trung bình và cao. Như vậy, phương pháp đã đáp ứng được yêu cầu về đường chuẩn và khoảng tuyến tính theo tiêu chuẩn của AOAC 2016.

Bảng 3. Kết quả khảo sát khoảng tuyến tính và LOD, LOQ

Nguyên tố	Nồng độ (ppb)						LOD (ppb)	LOQ (ppb)
	1	5	10	25	50	100		
Li	Phương trình hồi quy: $y = 420,25x - 871,92$		$R^2 = 0,9911$				0,6	1,9
Ni	Phương trình hồi quy: $y = 132,72x - 191,87$		$R^2 = 0,9915$				0,2	0,8
		5	10	25	50	100	250	
B	Phương trình hồi quy: $y = 259,78x - 901,8$		$R^2 = 0,9904$				0,7	2,2
Pd	Phương trình hồi quy: $y = 156,22x - 1403,2$		$R^2 = 0,9951$				1,5	5,1
Pt	Phương trình hồi quy: $y = 149,26x - 425,34$		$R^2 = 0,9902$				0,7	2,3
		25	50	100	250	500		
Al	Phương trình hồi quy: $y = 728,52x + 9890,2$		$R^2 = 0,9951$				7,6	25,3
		10	25	50	100	250	500	
Zn	Phương trình hồi quy: $y = 83,02x + 718,31$		$R^2 = 0,9931$				3,0	10,1

3.2.4. Giới hạn phát hiện (LOD) và giới hạn định lượng (LOQ)

Để xác định LOD, LOQ, chuẩn bị các dung dịch thử từ T_1 đến T_7 lần lượt là 0,1 ppb; 0,2 ppb; 0,5 ppb; 1,0 ppb; 5,0 ppb, 25 ppb và 50 ppb. Chạy mỗi mẫu 10 lần trong điều kiện đã lựa chọn. Song song chuẩn bị mẫu trắng, tính các giá trị SD, LOD, LOQ, R. Giá trị LOD thấp nhất thuộc về 2 nguyên tố Ni và Li. LOD lớn nhất là Al. Thực tế mẫu nền cho tín hiệu Al cao nhất nhưng giá trị LOD và LOQ của phương pháp còn liên quan đến chọn đồng vị của nguyên tố phân tích.

Giá trị LOD và LOQ của các chất cần phân tích được ghi trong bảng 3 tương đối thấp, phù hợp với mục đích phân tích lượng vết trong môi trường.

3.2.5. Độ lặp lại

Để thẩm định độ lặp lại của phương pháp, tiến hành phân tích 6 lần mẫu thử ở 3 mức nồng độ thêm chuẩn (điểm đầu, điểm giữa và điểm cuối của khoảng tuyến tính). Với Li, B, Ni, Pd, Pt, nồng độ chất chuẩn thêm vào lần lượt là 5 ppb, 50 ppb, 250 ppb; Al, Zn, nồng độ chất chuẩn thêm vào lần lượt là 50 ppb, 250 ppb, 500 ppb.

Bảng 4 cho thấy RSD(%) của tín hiệu đáp ứng ở từng nồng độ từ 1 - 4%, chứng tỏ phương pháp có độ lặp lại tốt, đạt yêu cầu của AOAC.

3.2.6. Độ đúng

Chuẩn bị các mẫu thử của các nguyên tố tương ứng với 3 mức nồng độ như đã chọn khi làm độ lặp lại, mỗi nồng độ làm 3 mẫu; mẫu trắng từ mẫu N. Tiến hành phân tích theo điều kiện đã lựa chọn. Tính % tìm lại nồng độ chuẩn thêm vào ban đầu. Bảng 4 trình bày kết quả của 7 nguyên tố cần phân tích.

Bảng 4. Kết quả độ lặp lại và độ đúng của phương pháp

Nguyên tố phân tích		Các mức nồng độ		
		5 ppb	50 ppb	250 ppb
Li	RSD(%) tín hiệu đáp ứng	1,5	1,6	1,0
	% nồng độ tìm lại	87,3	108,2	112,7
B	RSD(%) tín hiệu đáp ứng	6,9	2,3	3,2
	% nồng độ tìm lại	109,3	111,0	101,4
Ni	RSD(%) tín hiệu đáp ứng	3,6	0,5	2,8
	% nồng độ tìm lại	109,2	81,1	93,4
Pd	RSD(%) tín hiệu đáp ứng	12,1	2,2	1,4
	% nồng độ tìm lại	96,0	96,5	100,1
Pt	RSD(%) tín hiệu đáp ứng	1,4	0,6	1,5
	% nồng độ tìm lại	107,7	82,4	99,3
		50 ppb	250 ppb	500 ppb
Al	RSD(%) tín hiệu đáp ứng	0,8	6,2	2,9
	% nồng độ tìm lại	101,6	81,7	97,2
Zn	RSD(%) tín hiệu đáp ứng	3,3	1,6	1,1
	% nồng độ tìm lại	101,6	98,28	92,56

Tỷ lệ thu hồi đạt 82,4 - 108,2% với mức nồng độ 10 ppb - 500 ppb, 87,3 - 109,3% với mức nồng độ 1 ppb - 10 ppb, do vậy phương pháp đạt yêu cầu về độ đúng theo AOAC.

Bảy nguyên tố vô cơ cần phân tích trong đề tài cũng là các nguyên tố có mặt khá thường xuyên trong nước thải. Vai trò của các chất vô cơ này trong quy trình sản xuất MET và MDMA đã được khẳng định nên cần thiết phải phân tích chúng trong nước thải khu vực nghi ngờ phục vụ mục tiêu an ninh. Đề tài đã lựa chọn lấy mẫu từ cống thoát ra hồ Thiên Quang làm mẫu nên vì đây là nước thải sinh hoạt nên hàm lượng các chất vô cơ tương đối ít so với nước thải công nghiệp.

Do tính chất đặc thù của đề tài nên các nghiên cứu công bố trước đây về phân tích đồng thời 7 chất vô cơ bằng phương pháp ICP-MS trên nước thải không công bố. Các tác giả đã hướng đến xác định hàm lượng các chất vô cơ tích lũy trong động thực vật chỉ điểm chất lượng môi trường hoặc an toàn thực phẩm [7], [8]. Do đó, cùng phương pháp phân tích nhưng khoảng giá trị đo khác nhau rất lớn. Đối với đề tài này, hàm lượng chất vô cơ trong nước thải từ cơ sở sản xuất MET và MDMA sẽ cao hơn nhiều lần so với nước thải sinh hoạt hoặc nước tự nhiên nên việc xử lý làm giàu mẫu là không cần thiết.

Do không có mẫu nền hoàn toàn không chứa các chất cần phân tích nên phổ đồ trong thăm định độ phù hợp hệ thống, độ đặc hiệu xuất hiện tín hiệu đáp ứng của thiết bị đối với vài nguyên tố khá lớn, đặc biệt là Al. Phương pháp phân tích được xây dựng và ứng dụng tại Trung tâm giám định ma túy, Viện khoa học hình sự, do đó có tính khả thi ứng dụng cao. Tuy nhiên, do điều kiện chủ quan, phụ thuộc cơ quan điều tra thu giữ mẫu nước thải từ cơ sở sản xuất hoặc nghi ngờ sản xuất MET và MDMA, chưa có mẫu thực tế nên chưa thể ứng dụng phương pháp đã xây dựng.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng được quy trình phân tích 7 nguyên tố Li, B, Al, Ni, Zn, Pd, Pt trong nước thải bằng ICP-MS với quy trình xử lý mẫu đơn giản. Đồng thời đã khảo sát các điều kiện phân tích như tìm tốc độ dòng khí plasma 15,0 L/phút, công suất nguồn RF 1,5 kW, độ sâu mẫu 5,5 mm và các thông số, điều kiện khác cũng được khảo sát và lựa chọn tối ưu. Phương pháp được thăm định theo AOAC 2016, với các tiêu chí như độ phù hợp hệ thống (RSD < 2%), độ chọn lọc, khoảng tuyến tính (R > 0,99), LOD (0,2 - 7,6 ppb) và LOQ (0,8 - 25,3 ppb), độ lặp lại và độ đúng (Tỷ lệ thu hồi đạt 82,4 - 108,2% với mức nồng độ 10 ppb - 500 ppb, 87,3 - 109,3% với mức nồng độ 1 ppb - 10 ppb) đều đạt yêu cầu. Việc xác định nồng độ dư lượng của methamphetamin, các tiền chất cũng như chất độn sử dụng trong sản xuất methamphetamin, là

nguồn thông tin hữu ích cho công tác điều tra của cơ quan chức năng trong quá trình truy quét các cơ sở sản xuất methamphetamine trái phép.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này là sản phẩm của đề tài Khoa học công nghệ "Nghiên cứu, xây dựng quy trình phân tích hoá chất trong nước thải góp phần truy nguyên cơ sở sản xuất trái phép methamphetamine và MDMA", mã số CTMT.2021.C09.25.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] H. A. Nguyen, V. H. Truong, M. S. Nguyen, and M. G. Le, "Methamphetamine use and related factors among men who sell sex to men in three cities, Vietnam, 2011," (in Vietnamese), *Journal of Preventive Medicine*, vol. XXV, no. 6 (166), pp. 300 – 307, 2015.
- [2] S. C. Wilschefski and M. R. Baxter, "Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry: Introduction to Analytical Aspects," *Clinical Biochemist Reviews*, vol. 2019, no. 40 (iii), pp. 115-133, 2019.
- [3] C. H. Pham, M. C. Nguyen, T. M. H. Lu, N. T. Tran, T. G. Pham, V. T. Le, V. P. Phung, V. C. Dinh, and V. H. Le, "Simultaneous analysis of metals in various types medicinal herbs commonly use to produce functional foods by ICP – MS," (in Vietnamese), *Vietnam Journal of Food Control*, vol. 3, no. 1, pp. 29-37, 2020
- [4] Y. Huang, A. A. Keller, P. Cervantes-Avilés, and J. Nelson, "Fast Multielement Quantification of Nanoparticles in Wastewater and Sludge Using Single-Particle ICP-MS," *ACS ES&T Water*, vol. 1, no. 1, pp. 205-213, 2021.
- [5] Y. Zhang, L. Li, Q. Wang, M. Shen, W. Han, X. Yang, L. Chen, A. Ma, and Z. Zhou "Simultaneous determination of metabolic and elemental markers in methamphetamine-induced hepatic injury to rats using LC-MS/MS and ICP-MS," *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, vol. 411, no. 15, pp. 3361-3372, 2019.
- [6] D. Langone, B. Painter, C. Nash, J. Hulshof, S. Oldenhof, M. R. Johnston, and K. P. Kirkbride, "Impurity profiling of methamphetamine synthesized from methyl α -acetylphenylacetate," *Drug Testing and Analysis*, vol. 14, no. 7, pp. 1310-1324, 2022.
- [7] T. H. Tran, H. M. Le, and V. T. Nguyen, "Determination of the traces of heavy metals in the West Lake - Hanoi by ICP-MS," (in Vietnamese), *Journal of Analytical Sciences*, vol. 13, no. 2, pp. 111-115, 2008.
- [8] M. T. Hoang, Q. T. Nguyen, V. N. Le, N. T. Nguyen, T. P. T. Pham, T. T. Pham, and D. N. Vu, "Determination of the analytical produce of heavy metals in alcohol beverages in Vietnam using ICP-MS method," (in Vietnamese), *Journal of Analytical Sciences*, vol. 22, no. 4, pp. 53-61, 2017.