

XÂY DỰNG QUY TRÌNH GIÁM ĐỊNH ĐỊNH LƯỢNG ĐỒNG THỜI Hg, AS, CD, PB, ZN TRONG MẪU MÁU, NƯỚC TIỂU

Phạm Ngọc Tuấn^{1*}, Đặng Đức Khanh¹
Nguyễn Việt Chính¹, Nguyễn Anh Đức¹

TÓM TẮT

Mục tiêu: Xây dựng quy trình giám định định lượng đồng thời Hg, As, Cd, Zn, Pb trong mẫu máu, nước tiểu bằng ICP-MS.

Đối tượng và phương pháp: Xây dựng quy trình phân tích, định lượng đồng thời 5 nguyên tố kim loại (Hg, As, Cd, Pb, Zn) trên 01 mẫu máu, 01 mẫu nước tiểu của người khỏe mạnh; 25 mẫu máu và 25 mẫu nước tiểu của những trường hợp tử vong không rõ nguyên nhân, nghi ngờ ngộ độc nghề nghiệp, môi trường hoặc cố ý bằng kỹ thuật ICPMS sau khi xử lý mẫu bằng hệ lò vi sóng.

Kết quả: Xây dựng thành công quy trình định lượng đồng thời As, Zn, Hg, Cd, Pb trong mẫu máu và nước tiểu bằng kỹ thuật ICP-MS đáp ứng yêu cầu giám định độc chất pháp y. Phương pháp có khoảng tuyến tính rộng ($R^2 > 0,995$), với các thông số về độ lặp lại RSD_r% (0,5-3,5%), độ tái lập RSD_r% (1,5-7,6%). Hiệu suất thu hồi đạt 75-103%, phù hợp tiêu chí của AOAC. Điều kiện phân tích và xử lý mẫu bằng phá mẫu vi sóng 200°C trong 5 phút được tối ưu, kết hợp chế độ KED khí Heli giúp hạn chế nhiễu và tăng độ chính xác. Thời gian lưu mẫu 15-30 ngày ở -25°C bảo đảm độ ổn định phân tích.

Kết luận: Kết quả khẳng định quy trình có độ tin cậy cao, khả thi trong thực tiễn và có ý nghĩa trong chuẩn hóa giám định kim loại nặng trong giám định pháp y.

Từ khóa: ICPMS, giám định pháp y, kim loại nặng, máu, nước tiểu.

DEVELOPMENT OF A PROCEDURE FOR THE SIMULTANEOUS QUANTITATIVE DETERMINATION OF Hg, As, Cd, Zn, AND Pb IN BLOOD AND URINE SAMPLES

ABSTRACT

Objectives: To develop a procedure for the simultaneous quantitative determination of Hg, As, Cd, Zn, and Pb in blood and urine samples using ICP-MS.

Subjects and methods: To develop an analytical procedure and evaluate the simultaneous concentrations of five metal elements (Hg, As, Cd, Pb, and Zn) in one blood sample and one urine sample from a healthy individual, and 25 blood samples and 25 urine samples from cases of unexplained death suspected of occupational, environmental, or intentional poisoning, using the ICP-MS technique after sample preparation with a microwave digestion system.

Results: A procedure for the simultaneous determination of As, Zn, Hg, Cd, and Pb in blood and urine samples using the ICP-MS technique was successfully developed, meeting the requirements for forensic toxicological examination. The method showed a wide linear range ($R^2 > 0.995$), with repeatability RSD_r% of 0.5–3.5% and reproducibility RSD_r% of 1.5-7.6%. The recovery ranged from 75% to 103%, which complies with the AOAC criteria. The analytical conditions and sample preparation were optimized using microwave digestion at 200°C for 5 minutes, combined with Helium KED mode to reduce interferences and improve accuracy. Sample storage for 15-30 days at -25°C ensured analytical stability.

Conclusions: The results confirm that the procedure has high reliability, is feasible in practical application, and is significant for the standardization of heavy metal determination in forensic toxicological analysis.

Keywords: ICP-MS, forensic examination, heavy metals, blood, urine.

Chịu trách nhiệm nội dung: Phạm Ngọc Tuấn, Email: phamtuan0109@gmail.com

Ngày nhận bài: 18/12/2025; mời phản biện khoa học: 01/2026; chấp nhận đăng: 07/4/2026.

¹Viện Pháp y Quân đội.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Kim loại nặng như chì (Pb), thủy ngân (Hg), cadimi (Cd), asen (As) và kẽm (Zn) có độc tính sinh học cao, có khả năng tích lũy trong cơ thể, gây ra nhiều rối loạn cấp và mạn tính đối với sức khỏe con người [3], [4]. Trong lĩnh vực giám định pháp y, việc xác định nồng độ các kim loại này trong mẫu sinh học, đặc biệt là mẫu máu và nước tiểu đóng vai trò quan trọng giúp chẩn đoán nguyên nhân gây tử vong, đánh giá mức độ phơi nhiễm, hỗ trợ điều tra các vụ việc liên quan đến ngộ độc nghề nghiệp, môi trường hoặc cố ý [3]. Các mẫu máu và nước tiểu có ưu điểm là dễ thu thập, phản ánh tương đối chính xác tình trạng phơi nhiễm gần (máu) hoặc quá trình đào thải (nước tiểu) của cơ thể [1]. Tuy nhiên, trong lĩnh vực giám định pháp y, các mẫu sinh học thường được thu thập sau khi đã xảy ra tử vong hoặc trong điều kiện bảo quản hạn chế, dẫn đến nguy cơ biến đổi thành phần và nồng độ kim loại do phân hủy, nhiễm chéo hoặc chuyển hóa, thay đổi hóa học [3].

Hiện nay, kĩ thuật phân tích hiện đại, đặc biệt là quang phổ khối plasma cảm ứng (ICP-MS), đã tạo ra bước tiến lớn trong việc xác định chính xác hàm lượng kim loại ở mức vết (ppb-ppt) và khả năng phân tích đồng thời nhiều nguyên tố trong cùng một lần đo. Những ưu điểm này giúp ICP-MS trở thành công cụ đặc biệt phù hợp trong giám định pháp y, đáp ứng yêu cầu về thời gian phân tích, độ tin cậy của kết quả và giá trị pháp lí của chứng cứ. Mặc dù vậy, việc ứng dụng ICP-MS trong phân tích các mẫu sinh học phục vụ giám định pháp y vẫn đối mặt với nhiều thách thức, bao gồm yêu cầu nghiêm ngặt trong thu thập và bảo quản mẫu; ảnh hưởng của nền mẫu sinh học đến độ chính xác của kết quả; sự thiếu hụt các dữ liệu tham chiếu đặc thù cho đối tượng tử thi và khó khăn trong diễn giải mối liên quan giữa nồng độ kim loại đo được với cơ chế tử vong.

Từ thực tiễn trên, chúng tôi thực hiện nghiên cứu này nhằm xây dựng quy trình giám định định lượng đồng thời Hg, As, Cd, Zn, Pb trong mẫu máu, nước tiểu bằng ICP-MS. Qua đó, góp phần nâng cao chất lượng giám định pháp y và cung cấp chứng cứ khoa học trong điều tra.

2. ĐỐI TƯỢNG, PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

- Đối tượng: 01 mẫu máu, 01 mẫu nước tiểu của người khỏe mạnh dùng để nghiên cứu quy trình; 25 mẫu máu và 25 mẫu nước tiểu của những trường hợp tử vong không rõ nguyên nhân, nghi ngờ ngộ độc nghề nghiệp, môi trường hoặc cố ý được gửi tại Khoa xét nghiệm Độc học, Viện Pháp y Quân đội từ tháng 3/2025 đến tháng 12/2025.

- Vật liệu nghiên cứu: hóa chất chuẩn đơn của 05 nguyên tố kim loại có nồng độ 1.000 ppm (Merck). Các dung dịch acid HNO₃ 65%, H₂O₂ 30%, HCl 37% đều là hóa chất tinh khiết phân tích (Merck). Nước sử dụng là nước deion. Khí Argon, Heli có độ tinh khiết 99,999% (Messer). Các dung dịch chuẩn hóa thiết bị của hãng (Perkin Elmer).

- Thiết bị, dụng cụ: hệ thống khối phổ plasma cảm ứng ICPMS iCAP RQplus (Thermo Scientific) có trang bị bộ phận loại sự trùng khối bằng các chế độ đo va chạm và động học phản ứng, tích hợp bơm mẫu tự động ASX-560; lò vi sóng phá mẫu Mars6 Plus; cân phân tích Sartorius độ chính xác 10⁻⁴ g; bình định mức 10, 25, 50 ml; phễu, pipet, micropipette, cốc...; các ống falcon loại 15, 50 ml dùng chứa mẫu và dung dịch chuẩn; bình tia polietilen chứa nước cất siêu sạch.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

- Thiết kế nghiên cứu: xây dựng quy trình phân tích, định lượng đồng thời 5 nguyên tố kim loại (Hg, As, Cd, Pb, Zn) trong máu, nước tiểu bằng kĩ thuật ICPMS sau khi xử lí mẫu bằng hệ lò vi sóng [2], [5], [6].

- Tối ưu điều kiện phân tích đồng thời các nguyên tố kim loại bằng ICPMS:

+ Đo các nguyên tố kim loại ở chế độ va chạm, sử dụng khí Heli. Tối ưu hóa tự động các thông số thiết bị có ảnh hưởng đến độ nhạy của phép đo (như lưu lượng khí mang, công suất tạo plasma, thế thấu kính ion, độ sâu plasma) theo hướng dẫn vận hành thiết bị của hãng Themoscscientific.

+ Thế cộng hưởng cuộn cảm 1,6V; công suất cao tần 1.550W; độ sâu mẫu (sample depth) 8,0 mm; tốc độ khí tạo plasma, Ar 15,0 l/ph; tốc độ khí mang (makeup gas), Heli 0,001 l/ph hoặc 4 ml/ph; tốc độ khí phụ trợ (auxiliary gas) Argon 0,90 l/ph; tốc độ bơm phun (nebulizer pump) 0,10 rps; tốc độ khí phun sương 1,07 l/ph.

- Xử lí mẫu bằng lò vi sóng: lấy chính xác 0,5 mL mẫu máu hoặc 1,0 mL mẫu nước tiểu cho vào các ống teflon chuyên dụng của hệ thống phá mẫu vi sóng. Thêm 5 ml HNO₃ 65% và 2 mL H₂O₂ 30%, sau đó tiến hành vô cơ hóa mẫu theo chương trình phá mẫu tự động của lò vi sóng. Chuyển mẫu sau khi vô cơ hóa xong vào bình định mức 50 ml và định mức tới vạch bằng nước deion chứa 2,5% HNO₃; lắc đều mẫu và rung siêu âm 15 phút trước khi tiến hành phân tích trên ICPMS.

- Thẩm định phương pháp:

+ Tiến hành thẩm định phương pháp với các thông số: đường chuẩn làm việc, giới hạn phát hiện

(LOD), giới hạn định lượng (LOQ), độ chụm (độ lặp lại, tái lập), độ đúng (độ thu hồi).

+ Xây dựng đường chuẩn bằng phương pháp hồi quy tuyến tính theo nguyên lí bình phương tối thiểu, có hiệu chỉnh mẫu trắng; trong đó, hàm hiệu chuẩn được ép đi qua tín hiệu mẫu trắng ($f(0) = y_{\text{blank}}$) nhằm bù trừ các ảnh hưởng nền phát sinh từ hóa chất, quy trình xử lí mẫu và nhiễu thiết bị. Cách thiết lập hàm đường chuẩn này giúp phản ánh chính xác hơn đáp ứng phân tích thực, đặc biệt ở vùng nồng độ thấp. Trong đó, hệ số a là độ dốc của đường chuẩn, tính bằng phương pháp bình phương tối thiểu và thể hiện độ nhạy của phương pháp.

+ Xây dựng đường chuẩn xác định các nguyên tố kim loại nặng ở hai mức nồng độ khác nhau: mức thấp trong khoảng 0,1-25 $\mu\text{g/dL}$, áp dụng để phân tích 3 nguyên tố Hg, Cd, Pb; mức cao trong khoảng 1-250 $\mu\text{g/dL}$, áp dụng để phân tích 2 nguyên tố As, Zn (thường có hàm lượng cao hơn trong mẫu máu, nước tiểu).

- Xác định giới hạn phát hiện, giới hạn định lượng dựa trên việc phân tích mẫu trắng lặp lại 6 lần, tính độ lệch chuẩn s. Giới hạn phát hiện được tính $\text{LOD} = 3s$, giới hạn định lượng $\text{LOQ} = 10s$.

- Đánh giá độ lặp lại bằng cách phân tích lặp lại 6 lần với một nền mẫu máu, nước tiểu thêm chuẩn hỗn hợp 5 kim loại ở 3 nồng độ khác nhau (thấp, trung bình, cao). Sau đó, tính giá trị RSDr (%). Đánh giá độ tái lập trên cùng nền mẫu giữa các kĩ thuật viên và ngày thực hiện khác nhau, sau đó, tính giá trị RSDr (%). Đánh giá độ thu hồi bằng cách thêm chuẩn vào nền mẫu máu, nước tiểu thực xử lí mẫu bằng lò vi sóng theo quy trình trên ở 3 mức hàm lượng khác nhau của chất phân tích trong khoảng làm việc của đường chuẩn.

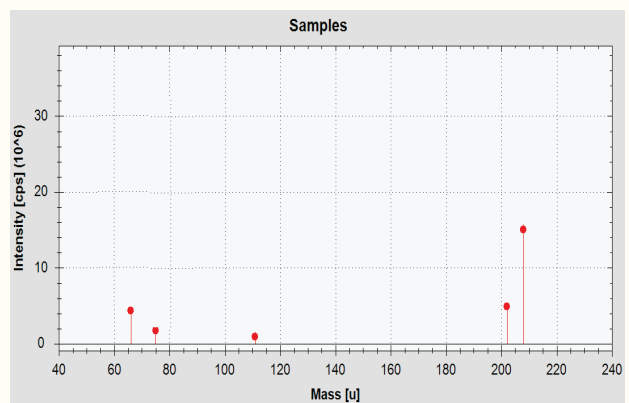
- Đạo đức: Nghiên cứu thông qua Hội đồng khoa học và Hội đồng y đức của Viện Pháp y Quân đội (Quyết định số 169/PY-KN ngày 09/03/2026). Tất cả các trường hợp nghi ngờ độc kim loại đều được tư vấn đầy đủ trước khi xét nghiệm, có kí giấy cam đoan làm xét nghiệm.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

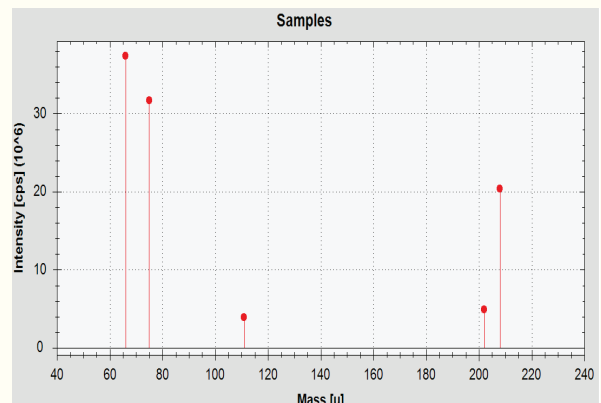
3.1. Kết quả tối ưu điều kiện phân tích bằng ICPMS

Tiến hành phân tích hỗn hợp dung dịch chuẩn chất phân tích As, Zn có nồng độ 200 $\mu\text{g/dL}$ và Hg, Cd, Pb có nồng độ 20 $\mu\text{g/dL}$. Kết quả cho thấy, cường độ tín hiệu của các nguyên tố giảm khi dùng khí Heli (KED), khi không dùng khí Heli tín hiệu của nguyên tố tăng (STD). Nguyên tố Hg thấy ở cả 2 chế độ thấy tín hiệu ít bị thay đổi (hình 1 và hình 2).

Chế độ KED giúp giảm nhiễu đa nguyên tử phát sinh trong plasma. Nhờ đó, bảo đảm kết quả phân tích chính xác và tin cậy hơn. Mặc dù cường độ tín hiệu nguyên tố giảm so với chế độ STD, nhưng đây là sự giảm có lợi vì loại bỏ được tín hiệu giả do nhiễu, giữ lại tín hiệu thực của nguyên tố phân tích. Với các nguyên tố dễ bị nhiễu như As và Zn, chế độ KED đặc biệt hiệu quả, giúp xác định nồng độ đúng hơn. Với nguyên tố Hg, kết quả cho thấy tín hiệu ổn định ở cả hai chế độ, chứng tỏ KED không làm ảnh hưởng xấu đến phép đo mà vẫn duy trì độ chính xác. Vì vậy, sử dụng chế độ KED là lựa chọn tốt nhất trong phân tích ICP-MS, nhất là khi đo các nguyên tố có nguy cơ chịu ảnh hưởng mạnh từ nhiễu đa nguyên tử.



Hình 1. Ảnh hưởng của khí Heli đến tín hiệu đo các nguyên tố As, Zn, Hg, Cd, Pb ở chế KED.



Hình 2. Ảnh hưởng của khí Heli đến tín hiệu đo các nguyên tố As, Zn, Hg, Cd, Pb ở chế STD.

- Khảo sát điều kiện vô cơ hóa:

Tiến hành khảo sát dựa trên kết quả phân tích 05 nguyên tố trong nghiên cứu là As, Zn, Hg, Cd, Pb. Thực hiện: lấy 0,5 ml máu và 1 ml nước tiểu vào bình Vessel, thêm 5 ml HNO_3 65% và 2 ml H_2O_2 . Lắc đều hỗn hợp, để 15 phút trước khi đóng nắp bình Vessel và đưa vào thiết bị (trong quá trình, thêm axit vào mẫu có hiện tượng sủi bọt nhẹ).

Bảng 1. Bảng điều kiện chạy lò vi sóng phá mẫu MARS 6 Plus

Phương pháp	PP1	PP2	PP3
Nhiệt độ (°C)	200	200	200
Thời gian tăng nhiệt độ (phút)	15	15	15
Thời gian giữ nhiệt độ (phút)	5	10	15
Áp suất (psi)	800	800	800
Công suất (W)	900-1.050	900-1.050	900-1.050

Mẫu máu, nước tiểu chạy lần lượt 3 phương pháp (như bảng 1) và mở nắp từ từ bằng dụng cụ chuyên dụng. Hút mẫu hết ra lọ thủy tinh 20 ml. Kết quả cả 3 phương pháp đều thu được dung dịch trong suốt, không màu hoặc màu vàng nhạt và không còn cặn rắn sau khi pha loãng. Việc cả ba phương pháp PP1, PP2, PP3 đều đạt được tiêu chí này chứng tỏ:

- Nhiệt độ 200°C và áp suất 800 psi là đủ để tạo điều kiện phân hủy hiệu quả các protein, lipid và carbohydrat phức tạp trong nền mẫu sinh học.

- Hỗn hợp axit HNO₃/H₂O₂ đã đạt được tỉ lệ oxi hóa/khử tối ưu cho lượng mẫu máu 0,5 ml và nước tiểu 1 ml.

Chúng tôi đã xác định: 5 phút giữ nhiệt ở 200°C (PP1) là điều kiện tối thiểu cần thiết để đạt sự phân hủy hoàn toàn nền mẫu máu và nước tiểu. Lựa chọn PP1 là quyết định tối ưu theo nguyên tắc hiệu quả và chi phí, bảo đảm tất cả các nguyên tố kim loại vết chuyển hoàn toàn thành dạng ion tan mà vẫn duy trì năng suất xử lí mẫu cao. Xử lí mẫu bằng lò vi sóng có ưu điểm là thời gian vô cơ nhanh và triệt để, hệ kín hạn chế sự nhiễm bẩn, đồng thời tiết kiệm lượng axit.

3.2. Kết quả thẩm định

- Khoảng tuyến tính:

Bảng 2. Đường chuẩn của 5 kim loại định lượng trong mẫu máu, nước tiểu

Nguyên tố	Phương trình	Hệ số R ²
As	Y = 23.453,7107*x + 3,3333	0,9971
Zn	Y = 58.743,9296*x + 543,3483	0,9973
Hg	Y = 594.396,9111*x + 1.706,793	0,9975
Cd	Y = 129.394,6112*x + 3,3333	0,9964
Pb	Y = 2.170.724,7022*x + 20.557,016	0,9952

Xây dựng đường chuẩn bằng cách phân tích dãy dung dịch chuẩn làm việc, ghi nhận cường độ tín hiệu của các nguyên tố phân tích. Kết quả thấy có sự tương quan tuyến tính chặt chẽ giữa cường độ tín hiệu với nồng độ của các nguyên tố (hệ số R² > 0,995), đáp ứng tốt yêu cầu về định lượng.

- Giới hạn phát hiện (LOD) và giới hạn định lượng (LOQ):

Bảng 3. Giới hạn phát hiện và giới hạn định lượng của các kim loại khảo sát

Nguyên tố	LOD (µg/dL)	LOQ (µg/dL)
As	0,0007	0,00231
Zn	0,0031	0,01023
Hg	0,0012	0,00396
Cd	0,0001	0,00033
Pb	0,0005	0,00165

Giới hạn phát hiện (LOD), giới hạn định lượng (LOQ) được xác định bằng phân tích lặp lại 6 lần mẫu trắng, trong cùng điều kiện như mẫu thử. Kết quả được tổng hợp trong bảng 3.

- Độ chính xác:

Bảng 4. Kết quả đánh giá độ chính xác, độ đúng trong mẫu máu và nước tiểu

Nguyên Tố	RSDr (%)	RSDR (%)	R (%)	
Mẫu máu	As	1,0-3,5	4,2-5,9	80,61-96,02
	Zn	0,8-2,8	1,5-7,0	76,78-92,83
	Hg	1,0-2,8	2,9-4,4	75,42-89,38
	Cd	0,5-2,7	4,3-5,3	75,71-99,17
	Pb	0,9-2,0	1,5-5,5	80,59-88,92
Mẫu nước tiểu	As	0,9-3,0	6,3-7,6	78,48-102,90
	Zn	0,7-2,9	2,7-4,8	75,20-96,94
	Hg	1,1-2,9	2,0-3,8	78,08-92,4
	Cd	0,5-2,5	4,4-5,2	77,63-102,69
	Pb	1,1-3,0	2,2-3,4	78,90-96,84

Giá trị RSDr(%): trong cả mẫu máu, nước tiểu đều thấp (≤ 3% với 5 nguyên tố). Phương pháp cho thấy phép phân tích có độ lặp lại tốt.

Giá trị RSDR(%): trong khoảng 1,5-8,0% nằm trong giới hạn chấp nhận được đối với phân tích vết. Do đó, phương pháp có độ tái lập tốt trên nhiều nền mẫu khác nhau.

Độ đúng (R-hiệu suất thu hồi): hiệu suất thu hồi của các nguyên tố trong cả mẫu máu và nước tiểu nằm trong khoảng 75-103%, phù hợp giới hạn chấp nhận của AOAC (70-120%). Điều này cho thấy độ đúng của phương pháp tốt, sai số hệ thống thấp và phương pháp không bị ảnh hưởng đáng kể bởi hiệu ứng nền. Do đó, quy trình phân tích bảo đảm độ chính xác cần thiết cho định lượng kim loại nặng ở mức lượng vết.

- Kết quả phân tích mẫu thực tế:

Kết quả phân tích 25 mẫu máu, 25 mẫu nước tiểu gửi giám định pháp y theo quy trình đã nghiên cứu trên ICP-MS. Kết quả phân tích cho thấy 5 mẫu máu và 3 mẫu nước tiểu có nồng độ Pb vượt ngưỡng cảnh báo của CDC. Chỉ tiêu kim loại Hg, As, Cd đều

nằm trong giới hạn bình thường. Phát hiện thấy 3 mẫu máu, 5 mẫu nước tiểu có nồng độ Zn cao hơn giới hạn sinh lí bình thường (70-120 µg/dL).

4. BÀN LUẬN

Quy trình định lượng đồng thời As, Zn, Hg, Cd, Pb trong mẫu máu và nước tiểu bằng kỹ thuật ICP-MS cho thấy nhiều ưu điểm vượt trội so với các phương pháp truyền thống như AAS, trắc quang hấp thụ phân tử và cực phổ. Ngoài việc lựa chọn số khối và chế độ phân tích nhằm hạn chế ảnh hưởng của hiện tượng trùng khối, các thông số khác có ảnh hưởng đến độ chính xác, độ nhạy, độ ổn định của phép phân tích, như công suất RF, lưu lượng khí mang, độ sâu plasma, thế thấu kính ion..., được tối ưu tự động sử dụng dung dịch chuẩn hóa thiết bị. Bên cạnh đó, các ảnh hưởng khác của dung môi hữu cơ và phương pháp xử lý mẫu bằng lò vi sóng cũng được nghiên cứu [7].

Phương pháp có độ nhạy và độ chọn lọc rất cao, đạt giới hạn phát hiện ở mức ppb-ppt, cho phép phát hiện các kim loại ở nồng độ vi lượng trong mẫu sinh học. Đồng thời, ICP-MS cho phép phân tích đa nguyên tố trong cùng một lần chạy mẫu, rút ngắn thời gian và tăng hiệu suất giám định. Phương pháp có độ chính xác và độ ổn định cao nhờ nguồn plasma ổn định và vùng tuyến tính rộng. Các đường chuẩn đạt $R^2 > 0,995$ trong khoảng nồng độ khảo sát, bảo đảm độ tin cậy và giảm sai số trong quá trình định lượng [3].

Quy trình xử lý mẫu đơn giản bằng phân hủy vi sóng, sử dụng lượng mẫu nhỏ, hạn chế nhiễu nhờ chế độ KED, phù hợp với nền mẫu phức tạp như máu và nước tiểu. Khí Heli được dùng giảm nhiễu đa nguyên tử sinh ra từ plasma hoặc nền mẫu. Heli không phản ứng hóa học mạnh với ion nguyên tố nghiên cứu nhưng gây va chạm làm giảm động năng các ion phức tạp hơn so với ion nguyên tố nghiên cứu, nên khi qua cổng năng lượng (KED) các ion gây nhiễu bị chặn lại còn ion mong muốn vẫn đi qua.

Tổng thể, ICP-MS là công cụ phân tích hiện đại, hiệu quả và phù hợp nhất cho giám định kim loại nặng trong độc chất pháp y.

5. KẾT LUẬN

Đã xây dựng thành công quy trình định lượng đồng thời As, Zn, Hg, Cd, Pb trong mẫu máu và nước tiểu bằng kỹ thuật ICP-MS, đáp ứng yêu cầu giám định độc chất pháp y.

Phương pháp có khoảng tuyến tính rộng ($R^2 > 0,995$), với các thông số về độ lặp lại RSDr% (0,5-3,5%), độ tái lặp RSDR% (1,5-7,6%). Hiệu suất thu hồi đạt 75-103%, phù hợp tiêu chí của AOAC. Điều kiện phân tích và xử lý mẫu bằng phá mẫu vi sóng 200°C trong 5 phút được tối ưu, kết

hợp chế độ KED khí Heli giúp hạn chế nhiễu và tăng độ chính xác. Thời gian lưu mẫu 15-30 ngày ở -25°C bảo đảm độ ổn định phân tích.

Khi áp dụng trên 25 mẫu máu và 25 mẫu nước tiểu thực tế, đa số mẫu có nồng độ As, Hg, Cd trong giới hạn sinh học bình thường; một số trường hợp ghi nhận Pb và Zn vượt ngưỡng.

Kết quả nghiên cứu khẳng định quy trình có độ tin cậy cao, khả thi trong thực tiễn và có ý nghĩa trong chuẩn hóa giám định kim loại nặng trong giám định pháp y.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Trương Thị Bình Giang, Đinh Thị Trường Giang, "Nghiên cứu xác định hàm lượng vết kim loại Se, Cu, Zn, Mg, Mn trong máu của một số bệnh nhân mắc bệnh về hô hấp bằng phương pháp phổ khối lượng plasma cao tần cảm ứng (ICP/MS)", *Tạp chí Phân tích Hóa, Lí và Sinh học*, Tập 27: tr. 59-65, 2022.
2. Hoàng Minh Tạo, Nguyễn Quang Trung, Lê Văn Nhân và CS, "Xây dựng quy trình phân tích kim loại nặng trong rượu tại Việt Nam trên thiết bị ICP/MS", *Tạp chí Phân tích Hóa, Lí và Sinh học*, Tập 22: tr. 53-61, 2017.
3. Jean-Pierre Goullé, Elodie Sausseureau, Loïc Mahieu & Michel Guerbet, "Current role of ICP-MS in clinical toxicology and forensic toxicology: a metallic profile", *Bioanalysis*, 6 (17), pp. 2245-2259, 2014.
4. Maria Argos, Tara Kalra, Paul J Rathouz, Yu Chen, et al., "Arsenic exposure from drinking water, and all-cause and chronic-disease mortalities in Bangladesh (HEALS): a prospective cohort study", *Lancet*, 376: pp. 252-58, 2010.
5. Ni Zhang, Kun Shen, Xiaoming Yang, et al., "Simultaneous determination of arsenic, cadmium and lead in plant foods by ICPMS combined with automated focused infrared ashing and cold trap", *Food Chemistry*, 264, pp. 462-470, 2018.
6. M.E Lagerström, M.P Field, M Séguret, et al., "Automated on-line flow-injection ICP-MS determination of trace metals (Mn, Fe, Co, Ni, Cu and Zn) in open ocean seawater: Application to the GEOTRACES program", *Marine Chemistry*, 155, pp. 71-80, 2013.
7. Bazzi A, Nriagu JO, Linder AM, "Determination of toxic and essential elements in children's blood with inductively coupled plasma-mass spectrometry", *J. Environ. Monit*, 10(10), pp. 1226-1232, 2008. □