

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP VON-AMPE HÒA TAN PHÂN TÍCH ĐỊNH LƯỢNG Cd(II) TRONG DUNG MÔI XANH RELINE

STUDY ON STRIPPING VOLTAMMETRY METHOD FOR DETERMINATION Cd(II) IN RELINE GREEN SOLVENT

Nguyễn Quyền Phương Thảo¹, Phạm Đức Nam¹,
Dương Thị Hương Mơ¹, Trần Khánh Vân¹,
Công Tiến Dũng², Lê Thị Phương Thảo²,
Bùi Hoàng Bắc³, Nguyễn Thế Hữu⁴, Lê Thị Duyên^{2,*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/hu1h5804.2025.295>

TÓM TẮT

Một thế hệ dung môi mới có điểm eutecti sâu (Deep Eutectic Solvents, DES) đã xuất hiện vào đầu thế kỷ này và có thể thu được bằng cách trộn hai thành phần an toàn với nhau (không độc hại, có khả năng tái tạo và có thể phân hủy sinh học) tương tự như chất lỏng ion. Trong nghiên cứu này, dung môi xanh reline được sử dụng làm nền điện li trong phân tích định lượng Cd(II) bằng phương pháp von-ampe hòa tan sử dụng điện cực Au. Thế đỉnh pic khử của Cd(II) so với điện cực so sánh Ag,AgCl|Cl⁻ là -0,94V. Đã nghiên cứu điều kiện tối ưu của phương pháp phân tích như: thế điện phân, thời gian điện phân, bước nhảy thế, thời gian đặt xung. Trên cơ sở đó, đánh giá được độ lặp lại của phương pháp và xác định được giới hạn phát hiện (LOD) là 0,028ppm, giới hạn định lượng (LOQ) 0,093ppm ở thế điện phân -1,1V và thời gian điện phân 50s.

Từ khóa: Phân tích Cd(II), reline, von-ampe hòa tan.

ABSTRACT

A new generation of solvent, named Deep Eutectic Solvents (DES) has emerged at the beginning of this century and can be obtained by simply mixing together two safe components (nontoxic, renewable and biodegradable) similar like ion liquid. In this research, reline green solvent was used as electrolyte for determination of Cd(II) by stripping voltammetry method with Au working electrode. The reduction peak of Cd(II) was obtained at -0.94V vs Ag,AgCl|Cl⁻. Optimal conditions of the analytical method were investigated such as deposition potential, deposition time, potential step, pulse time. Based on these to estimate repeatability of method and reached detection limit (LOD) of 0.028ppm, quantitative limit (LOQ) of 0.093ppm at deposition potential of -1.1V and deposition time of 50s.

Keywords: Cd(II) determination, reline, stripping voltammetry.

¹Lớp Hóa dược K68, Trường Đại học Mở - Địa chất

²Khoa Khoa học cơ bản, Trường Đại học Mở - Địa chất

³Khoa Khoa học và Kỹ thuật Địa chất, Trường Đại học Mở - Địa chất

⁴Khoa Công nghệ Hóa, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: lethiduyen@humg.edu.vn

Ngày nhận bài: 26/5/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 26/6/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/7/2025

1. GIỚI THIỆU

Trong số các kim loại nặng thì cadimi là kim loại có độc tính cao với động vật và con người, chúng có thể gây ung thư, các bệnh về xương,... Cadimi có khả năng phong bế

một số vi chất có tác dụng sinh học là thành phần cấu tạo của hàng trăm loại men sinh hoá, tạo máu và nhiều chức năng trong hoạt động sống của con người như canxi, kẽm, sắt,... Vì vậy việc xác định hàm lượng cadimi trong

đối tượng mẫu có liên quan đến cuộc sống con người là cần thiết. Có nhiều phương pháp để xác định hàm lượng các kim loại nặng được các nhà khoa học quan tâm như phương pháp UV-VIS [1], phương pháp AAS [2-4], phương pháp ICP-MS, ICP-OES [5-7], hoặc các phương pháp điện hoá mà đặc biệt là phương pháp Von - Ampe [8-10].

Phương pháp điện hoá đã có từ lâu và là một thể mạnh trong việc xác định lượng vết kim loại với ưu điểm là độ nhạy, độ chọn lọc và độ lặp lại cao. Nhóm tác giả Shirley T Palisoc và cộng sự [9] cũng sử dụng phương pháp von - ampe hoà tan anot để xác định Cd^{2+} và Pb^{2+} bằng điện cực làm việc là điện cực thuỷ tinh. Tuy nhiên, hầu hết các dung dịch nền điện li sử dụng trong phân tích là các dung dịch nước có môi trường axit hay bazơ, khi thải ra môi trường với lượng lớn sẽ gây ảnh hưởng đến môi trường sinh thái và sức khoẻ con người.

Đầu thế kỷ XX, một thể hệ dung môi mới là Deep Eutectic Solvents (DES) - dung môi có điểm eutecti sâu xuất hiện với đặc tính tương tự chất lỏng ion (ILs) nhưng có thêm các ưu điểm đáp ứng yêu cầu của hoá học xanh [11] hiện nay đang được chú ý nghiên cứu trong nhiều lĩnh vực khoa học và công nghệ. Ưu điểm của loại dung môi này là rẻ hơn, hạn chế tối đa tác động bất lợi đến môi trường thông qua việc sử dụng các chất có nguồn gốc tự nhiên, ít độc hại, dễ phân huỷ sinh học và dễ tái chế. Điều này làm cho chúng trở thành những dung môi có giá trị thay thế cho các ứng dụng trong phân tích xanh [12-14]. Một trong những thành phần phổ biến nhất được sử dụng để hình thành hỗn hợp eutecti này là choline chloride (ChCl) và urea, khi trộn với muối kim loại ở điều kiện nhiệt độ giới hạn, hỗn hợp muối nóng chảy này có thể được xem như một chất eutecti sâu do sự hình thành các ion phức, ví dụ: $Al_2Cl_7^-$ và $Zn_2Cl_5^-$, do đó làm giảm năng lượng mạng tinh thể và giảm điểm nóng chảy/kết tinh của hệ.

Ứng dụng của dung môi DES trong việc xác định hàm lượng kim loại nặng ngày càng được nhiều nhà khoa học quan tâm. M. Naeemullah và cộng sự đã xác định cadimi trong nước với dung môi $ZnCl_2$: acetamide (1:2) bằng phương pháp FAAS [15] có giới hạn phát hiện là $0,504 \mu g.L^{-1}$.

Các nhà khoa học trong nước cũng đã đề cập đến nghiên cứu dung môi DES với mục đích thay thế dung môi hữu cơ hiện tại để hạn chế tối đa tác động bất lợi đến môi trường [16, 17]. Tác giả Lê Thị Thanh Xuân [18] đã nghiên cứu tổng hợp các dung môi eutecti sâu dựa trên cơ sở choline chloride với urea và 2-ankylbenzimidazole tạo hệ dung môi để tách và làm giàu Omega-3,6,9 từ mỡ và nguồn phế thải trong quá trình chế biến cá basa.

Tuy nhiên ứng dụng dung môi eutecti sâu phân tích kim loại là rất ít và mới đang tập trung ở việc nghiên cứu đặc điểm, tính chất của dung môi và áp dụng xác định thành phần hữu cơ. Nhóm tác giả Cù Hoàng Yến, Phan Bích Hà [19] sử dụng phương pháp ICP-MS xây dựng quy trình phân tích Pb và Cd trong dầu ăn sử dụng dung môi xanh (ChCl:urea) để chiết cho độ nhạy và độ chính xác cao, cụ thể là giới hạn phát hiện (LOD) là $0,5 ng/g$, giới hạn định lượng (LOQ) là $1 ng/g$, hiệu suất thu hồi đạt từ 82,6% - 102,4%, độ lặp lại 14,0%, độ tái lập nội bộ phòng thí nghiệm 18,1% và giá trị độ không đảm bảo đo là 30,7%.

Với tính chọn lọc, độ nhạy, độ chính xác cao, chi phí trang thiết bị ít tốn kém, phương pháp điện hoá đã và đang được nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu và ứng dụng. Tuy nhiên, hiện nay việc áp dụng phương pháp này sử dụng nền điện li là dung môi xanh ít được quan tâm nghiên cứu. Do vậy, nhóm nghiên cứu lựa chọn hướng nghiên cứu này nhằm xây dựng quy trình phân tích định lượng một số kim loại nặng trong dung môi xanh reline (ChCl:urea = 1:2 về số mol).

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Hoá chất và thiết bị

2.1.1. Hóa chất

Cadimi nitrat tetrahydrat ($Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$, $M = 308,48$), urea (H_2NCONH_2), choline chloride ($[(CH_3)_3NCH_2CH_2OH]^+Cl^-$) được mua từ hãng Sigma-Aldrich.

Pha dung môi reline: trộn 2 mol ure và 1 mol choline chloride, đun nhẹ khoảng $60^\circ C$ và khuấy đều cho đến khi dung dịch tan hết và trong suốt, sau đó để nguội và bảo quản kín tại nhiệt độ phòng.

2.1.2. Thiết bị

Sử dụng thiết bị phân tích điện hóa 797VA Computrace (Metrohm, Thụy Sĩ) với các điện cực gồm: điện cực làm việc (WE) là điện cực Au; điện cực so sánh (RE) là điện cực bạc - bạc clorua $Ag, AgCl|Cl^-$; điện cực phụ trợ (AE) là điện cực Pt.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Khảo sát các điều kiện ghi đo để lựa chọn điều kiện tối ưu

Bảng 1. Các thông số ghi đo lựa chọn điều kiện tối ưu phân tích Cd

Các thông số ghi đo	Cd
Điện cực làm việc	Điện cực Au
Chế độ ghi đo	Xung vi phân (DP)
Tốc độ khuấy (vòng/phút)	2000

Khoảng thế quét	$(-0,6 \div -1,3) \text{ V}$
Thế điện phân	$(-1,1 \div -1,4) \text{ V}$
Thời gian điện phân	$(10 \div 50) \text{ s}$
Thời gian đặt xung	$(0,01 \div 0,04) \text{ s}$
Bước nhảy thế	$(0,2 \div 0,7) \text{ V}$

Các thông số ghi đo được khảo sát như: Thế điện phân, thời gian điện phân, thời gian đặt xung và bước nhảy thế được đưa ra ở bảng 1.

2.2.2. Đánh giá độ lặp lại, giới hạn phát hiện (LOD) và giới hạn định lượng (LOQ) của phương pháp nghiên cứu

Để đánh giá độ lặp lại của phép ghi đo, tiến hành ghi đo lặp lại nhiều đường Von - Ampe hòa tan của Cd(II) tại cùng nồng độ và cùng điều kiện ghi đo trong khoảng thời gian ngắn. Độ lặp lại được đánh giá dựa trên các kết quả tính toán độ lệch chuẩn (S), độ lệch chuẩn trung bình ($S_{\bar{x}}$) và hệ số biến động (V).

Giới hạn phát hiện (LOD) là nồng độ nhỏ nhất của chất phân tích có thể tạo ra được tín hiệu có khả năng phân biệt một cách tin cậy với tín hiệu mẫu trắng (hay tín hiệu nền). Có nhiều quan điểm khác nhau về cách xác định về cách giới hạn phát hiện, phổ biến nhất là cách tính giới hạn phát hiện theo quy tắc 3σ . Theo quy tắc này, LOD được quy ước là nồng độ của chất nghiên cứu cho tín hiệu cao gấp 3 lần độ lệch chuẩn của đường nền.

Giới hạn định lượng (LOQ) là nồng độ nhỏ nhất của chất phân tích mà hệ thống phân tích định lượng được và có ý nghĩa định lượng so với tín hiệu của mẫu trắng (hay tín hiệu nền).

Sử dụng kết quả thí nghiệm nghiên cứu độ lặp lại để tính toán giới hạn phát hiện và giới hạn định lượng theo các công thức:

$$\text{LOD} = \frac{3 \cdot S \cdot C}{\bar{X}} \quad (1); \quad \text{LOQ} = \frac{10 \cdot S \cdot C}{\bar{X}} \quad (2)$$

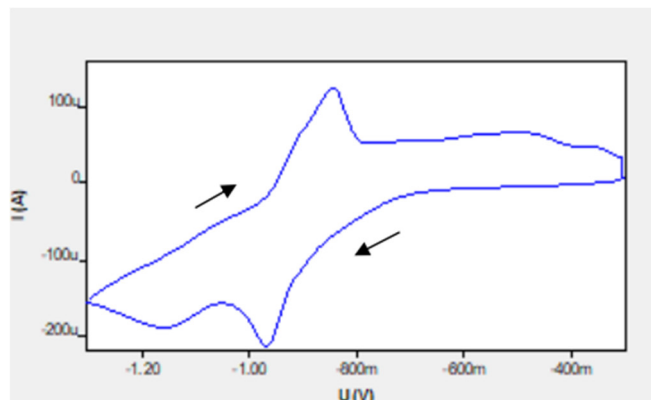
3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Nghiên cứu đường von-ampe vòng của Cd(II) trong nền reline

Tiến hành ghi đo đường von-ampe vòng (CV) của Cd(II) 2,5ppm trong nền điện li reline ở khoảng thế từ -0,3V đến -1,3V, kết quả được chỉ ra ở hình 1.

Kết quả cho thấy, trên đường CV thể hiện quá trình oxi hóa - khử của Cd(II) trong nền reline là quá trình thuận nghịch. Khi quét thế từ -0,3V đến -1,3V, pic khử xuất hiện ở -0,97V và ở chiều ngược lại, khi quét từ -1,3V đến -0,3V, pic oxi hóa xuất hiện ở -0,85V. Vậy có thể điện phân kết

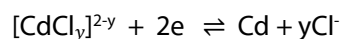
tủa Cd lên bề mặt điện cực Au ở thế âm hơn hoặc bằng -0,97V.



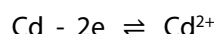
Hình 1. Đường CV của Cd(II) 2,5ppm trong nền reline

Cơ chế của quá trình có thể giải thích như sau [20, 21]:

Giai đoạn 1: Sự tạo phức của Cd^{2+} với ion Cl^- trong reline ($[\text{CdCl}_y]^{2-y}$), sau đó phức sẽ di chuyển đến bề mặt điện cực và tại đây xảy ra sự khử kim loại trong phức tạo thành kim loại Cd và tách ion Cl^- tự do trở lại dung dịch:



Giai đoạn 2: Sự hòa tan (sự oxi hóa) Cd kim loại thành Cd^{2+} :



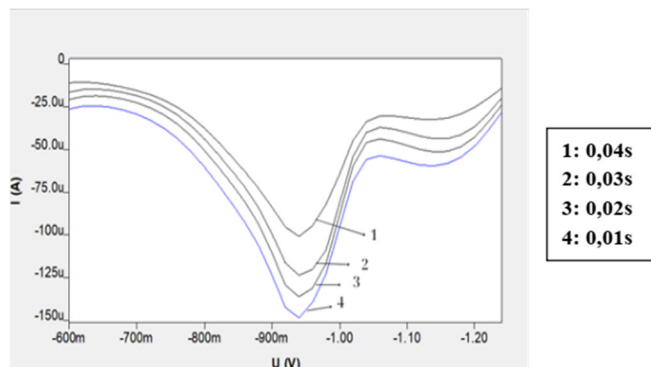
3.2. Khảo sát, lựa chọn các thông số ghi đo tối ưu

3.2.1. Khảo sát ảnh hưởng của thời gian đặt xung

Nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian đặt xung trong khoảng $(0,02 \div 0,05) \text{ s}$ và thu được kết quả ghi đo các đường von-ampe hòa tan catot xung vi phân (DPCSV) ở bảng 2 và hình 2.

Bảng 2. Kết quả đo khảo sát thời gian đặt xung

STT	1	2	3	4
t(s)	0,04	0,03	0,02	0,01
Up (V)	-0,94	-0,94	-0,94	-0,94
Ip.10 ⁵ (A)	-8,2	-9,71	-10,4	-11,1

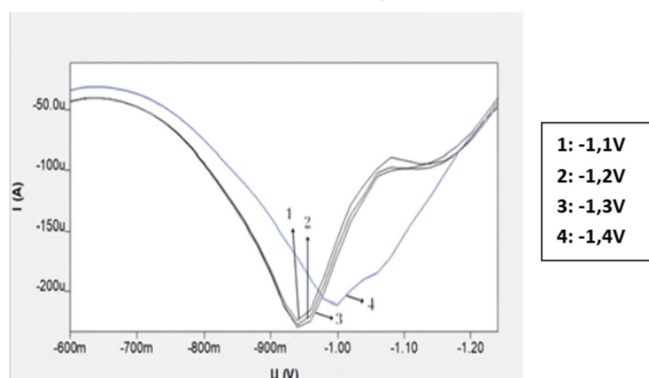


Hình 2. Đường DPCSV của Cd(II) khi thay đổi thời gian đặt xung Cd(II) 2,5ppm/reline, $E_{\text{dep}} = -1,0\text{V}$, $t_{\text{dep}} = 15\text{s}$

Bảng 2 chỉ ra rằng, khi thời gian đặt xung giảm thì I_p tăng, tuy vậy chân pic lại cao (pic 3, pic 4). Để pic thu được cân đối, chân pic thấp thì thời gian đặt xung được lựa chọn là 0,02s (pic 3).

3.2.2. Khảo sát ảnh hưởng của thế điện phân

Khi điện phân làm giàu, cần chọn thế điện phân thích hợp sao cho chỉ tích lũy làm giàu những nguyên tố cần xác định lên bề mặt điện cực, hạn chế tối đa những ảnh hưởng đến độ chính xác của phép phân tích. Chúng tôi nghiên cứu ảnh hưởng của thế điện phân trong khoảng (-1,1 ÷ -1,4)V. Kết quả chỉ ra trong hình 3.

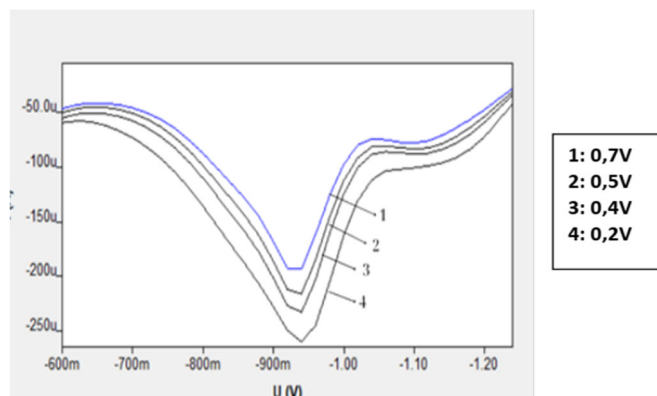


Hình 3. Đường DPCSV của Cd(II) khi thay đổi thế điện phân làm giàu Cd(II) 2,5ppm/reline, $t_{dep} = 15s$, thời gian đặt xung 0,02s

Từ kết quả nghiên cứu thu được có thể thấy, thế điện phân tăng từ -1,1 ÷ -1,3V (tương ứng với đường số 1, 2, 3) cho pic cân đối và cường độ thay đổi không đáng kể, khi thế điện phân âm hơn thì đỉnh pic lệch về phía âm hơn và không cân đối. Vì vậy để thu được pic đẹp, chúng tôi chọn giá trị thế điện phân trong các phép ghi đo sau là -1,1V (pic 1).

3.2.3. Khảo sát ảnh hưởng của bước nhảy thế

Tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của bước nhảy thế khi thay đổi bước nhảy từ 0,2V ÷ 0,7V. Kết quả đo được trình bày trong bảng 3 và hình 4.



Hình 4. Đường DPCSV của Cd(II) khi thay đổi bước nhảy thế Cd(II) 2,5ppm/reline, $E_{dep} = -1,1V$, $t_{dep} = 15s$

Bảng 3. Kết quả đo khảo sát bước nhảy thế

STT	1	2	3	4
Bước nhảy thế (V)	0,2	0,4	0,5	0,7
U_p (V)	-0,94	-0,94	-0,94	-0,94
$I_p \cdot 10^5$ (A)	20,2	18,4	17,2	15,3

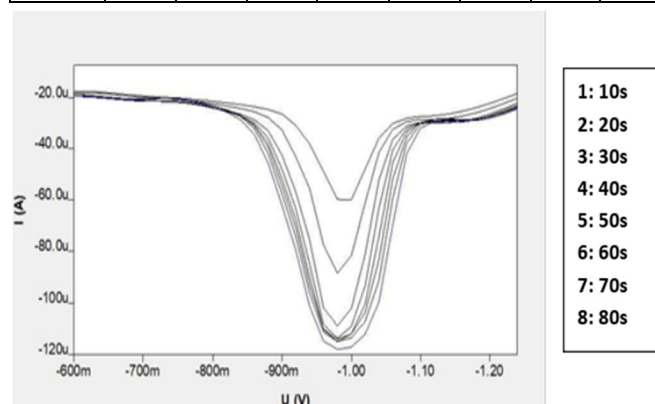
Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, khi thay đổi bước nhảy thế, đỉnh pic vẫn giữ nguyên. Khi tăng dần bước nhảy thế thì chân pic giảm dần và cường độ pic cũng giảm. Từ kết quả đã nghiên cứu, để thu được pic đều, cân đối, chân pic thấp và cường độ tương đối lớn, chúng tôi lựa chọn bước nhảy thế 0,4V (pic 3).

3.2.4. Khảo sát ảnh hưởng của thời gian điện phân

Để nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian điện phân đến cường độ pic, thời gian điện phân được thay đổi từ 10 ÷ 50s. Kết quả ghi đo được trình bày trong bảng 4 và hình 5.

Bảng 4. Kết quả đo khảo sát thời gian điện phân

STT	1	2	3	4	5	6	7	8
Thời gian (s)	10	20	30	40	50	60	70	80
$I_p \cdot 10^5$ (A)	3,91	6,62	8,48	8,88	8,97	9,03	9,06	9,13
U_p (V)	-0,97	-0,97	-0,97	-0,97	-0,97	-0,97	-0,97	-0,97



Hình 5. Đường DPCSV của Cd(II) khi thay đổi thời gian điện phân Cd(II) 0,1ppm/reline, $E_{dep} = -1,1V$, tốc độ quét thế = 0,05V/s

Từ kết quả nghiên cứu cho thấy, chiều cao pic tăng dần theo thời gian điện phân do thời gian điện phân càng lâu thì lượng chất được tích lũy trên bề mặt điện cực càng lớn. Tuy nhiên, từ 50s trở đi thì cường độ pic tăng chậm. Mặt khác, khi phân tích không thể thực hiện trong thời gian quá dài, vì vậy cần chọn thời gian điện phân phù hợp với dung dịch phân tích. Do đó, thời gian điện phân 50s được lựa chọn để ghi đo.

Từ những kết quả nghiên cứu, xác lập được các điều kiện tối ưu cho phép phân tích Cd như trình bày trong bảng 5.

Bảng 5. Các thông số đo tối ưu xác định hàm lượng Cd

Các thông số ghi đo	Cd
Điện cực làm việc	Au
Điện cực so sánh	Ag,AgCl Cl ⁻
Chế độ ghi đo	DP
Tốc độ khuấy (vòng/phút)	2000
Nền điện li	reline
Thế điện phân	-1,1V
Thời gian điện phân	50s
Thời gian đặt xung	0,02s
Bước nhảy thế	0,4V
Tốc độ quét thế	0,05V/s

3.3. Đánh giá độ lặp lại, giới hạn phát hiện và giới hạn định lượng của phương pháp

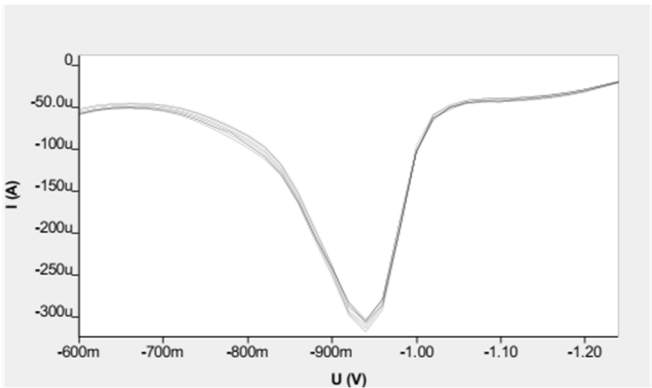
3.3.1. Độ lặp lại

Để đánh giá độ lặp lại của phép ghi đo, chúng tôi tiến hành ghi đo lặp lại 7 đường von - ampe hòa tan của Cd(II) 0,3ppm trong khoảng thời gian ngắn. Điều kiện ghi đo được tiến hành như điều kiện tối ưu đưa ra trong bảng 6.

STT		I _p (A)
		Cd(II)
1		-25,9.10 ⁻⁵
2		-26,2.10 ⁻⁵
3		-27,1.10 ⁻⁵
4		-26,8.10 ⁻⁵
5		-26,6.10 ⁻⁵
6		-24,6.10 ⁻⁵
7		-26,3.10 ⁻⁵
Số liệu tính toán	$\bar{X}$	26,2.10 ⁻⁵
	S	0,8153.10 ⁻⁵
	$S_{\bar{X}}$	0,3328.10 ⁻⁵
	V	3,1102 %

Độ lặp lại được đánh giá dựa trên các kết quả tính toán độ lệch chuẩn (S), độ lệch chuẩn trung bình ($S_{\bar{X}}$) và hệ số biến động (V). Kết quả này được trình bày trong bảng 6 và hình 6.

Từ kết quả nghiên cứu thu được cho thấy, phép ghi đo Cd(II) đều có độ lệch chuẩn, độ lệch chuẩn trung bình, hệ số biến động nhỏ. Phép ghi đo Cd(II) có hệ số biến động V nhỏ, chứng tỏ các phép ghi đo có độ lặp lại tốt.



Hình 6. Đường DPCSV của Cd(II) để nghiên cứu độ lặp lại của phép đo Cd(II) 0,3ppm/reline, E_{dep} = -1,1V, tốc độ quét thế = 0,05V/s, t_{dep} = 50s

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

Chúng tôi sử dụng kết quả nghiên cứu độ lặp lại và áp dụng vào các công thức (1) và (2) tính toán LOD, LOQ, kết quả thu được như sau:

- Giới hạn phát hiện: LOD_{Cd(II)} = 0,028ppm.
- Giới hạn định lượng: LOQ_{Cd(II)} = 0,093ppm.

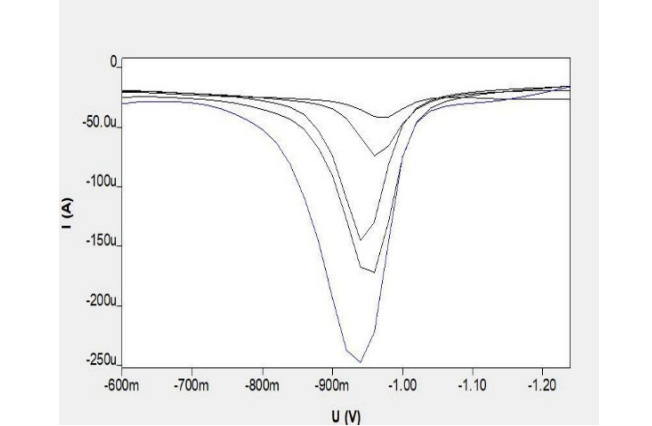
3.4. Xây dựng đường chuẩn xác định Cd(II)

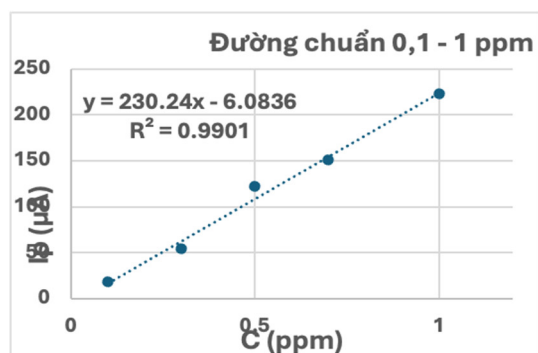
Để xây dựng đường chuẩn xác định hàm lượng cadimi, tiến hành nghiên cứu mối quan hệ tuyến tính giữa cường độ dòng điện (I_p) và nồng độ Cd(II) trong môi trường chất lỏng ion reline, dưới các điều kiện tối ưu đã được khảo sát và thiết lập.

Tiến hành xây dựng đường chuẩn của Cd(II) tại vùng nồng độ (0,1 ÷ 1)ppm ở các điều kiện đã đưa ra trong bảng 5. Kết quả ghi đo được trình bày trong bảng 7 và hình 7.

Bảng 7. Kết quả xây dựng đường chuẩn trong khoảng nồng độ (0,1 ÷ 1)ppm

STT	1	2	3	4	5
Cd(II) (ppm)	0,1	0,3	0,5	0,7	1
I _p x 10 ⁶ (A)	-17,7	-54,5	-122	-151	-223

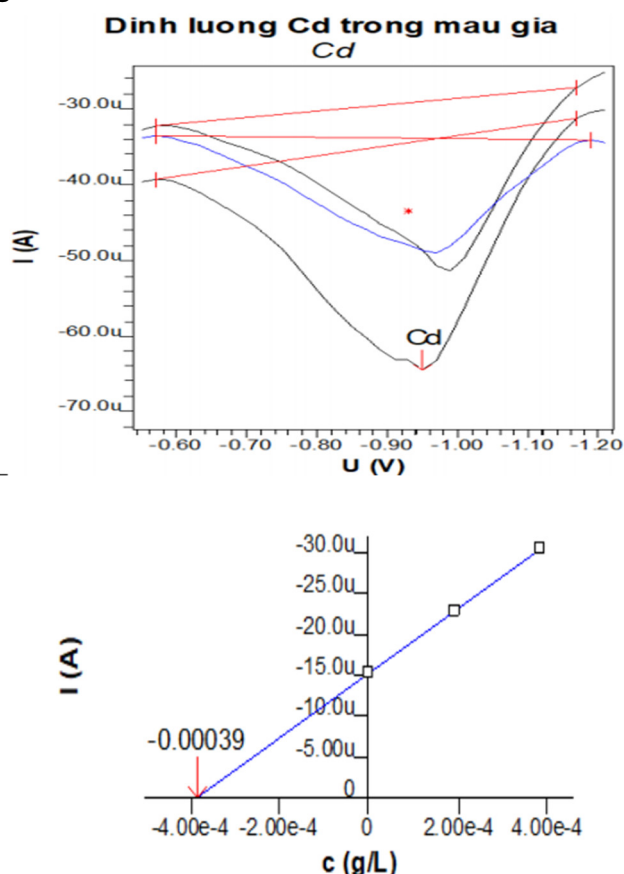




Hình 7. Đường chuẩn của Cd(II) vùng nồng độ (0,1 ÷ 1)ppm

Kết quả thu được cho thấy, ở vùng nồng độ (0,1 ÷ 1)ppm có sự phụ thuộc tuyến tính giữa I_p và nồng độ Cd(II) với hệ số tương quan $R^2 = 0,9901$. Do đó trong quá trình xử lý mẫu ta cần tính toán sao cho hàm lượng cadimi trong mẫu nằm trong khoảng tuyến tính bằng cách pha loãng hoặc làm giàu mẫu phân tích trước khi ghi đo để đạt được kết quả phân tích chính xác nhất.

3.5. Đo mẫu giả và đánh giá độ thu hồi Cd trong mẫu giả



Hình 8. Kết quả phân tích mẫu giả bằng phương pháp thêm đường chuẩn

Để nghiên cứu độ thu hồi Cd(II) trong mẫu giả, chuẩn bị 3 mẫu giả có nồng độ Cd(II) 0,4 ppm (nằm trong đường chuẩn đã xây dựng ở trên) và tiến hành định lượng bằng

phương pháp thêm đường chuẩn (hình 8). Kết quả nghiên cứu thu được sử dụng để tính toán độ thu hồi (Rev) được chỉ ra trong bảng 8.

Bảng 8. Kết quả xác định hàm lượng Cd(II) trong mẫu giả

Mẫu	Cd(II) (ppm)
Số lần ghi đo	
Lần 1	0,42
Lần 2	0,41
Lần 3	0,39
Giá trị trung bình	0,407
Độ lệch chuẩn	0,01528
Độ lệch chuẩn trung bình	0,00882
Hệ số biến động	3,75621%
Rev (%)	101,75

Kết quả xác định hàm lượng Cd trong mẫu giả (0,407ppm) xấp xỉ bằng nồng độ Cd pha chuẩn ban đầu với sai số tương đối 1,75%, độ thu hồi Cd trong mẫu giả đạt 101,75%. Kết quả chỉ ra phương pháp phân tích định lượng Cd(II) bằng phương pháp von-ampe hòa tan dùng nền điện li là dung môi relin có độ chính xác cao.

4. KẾT LUẬN

Phương pháp von-ampe hòa tan catot xung vi phân với điện cực Au có độ nhạy cao, độ lặp tốt, có thể phân tích định lượng Cd(II) trong dung môi relin có điểm eutecti sâu, một dung môi xanh trong phân tích. Đã xác định được các điều kiện tối ưu để phân tích cadimi với giới hạn phát hiện của phương pháp LOD = 0,028ppm và giới hạn định lượng LOQ = 0,093ppm tại thế điện phân làm giàu -1,1V và thời gian điện phân làm giàu 50s. Đường chuẩn được xây dựng trong khoảng nồng độ 0,1 - 1ppm tuyến tính với hệ số hồi quy $R^2 = 0,9901$.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Doriana Maria Popa, Mărioara Moldovan, Doina Prodan, Cornel Aldea, Călin Lazăr, Cecilia Lazea, Mirela Crișan, Lucia Maria Sur, Sorin C. Man, Cristina Borzan, "The evaluation of heavy metals in transylvania, as predictor for the health status of the exposed population," *Environmental Geochemistry and Health*, 43, 585–599, 2021.
- [2]. A. O. Ogunfowokan, A. S. Adekunle, B. A. Oyeboode, J. A. O. Oyekunle, A. O. Komolafe, G. O. Omoniyi-Esan, "Determination of Heavy Metals in Urine of Patients and Tissue of Corpses by Atomic Absorption Spectroscopy," *Chemistry Africa*, 2, 699-712, 2019.

- [3]. Mengting Jin, Hao Yuan, Bo Liu, Jiajia Peng, Liping Xu, Dezheng Yang, "Review of the distribution and detection methods of heavy metals in the environment," *Analytical Methods*, 12, 5747-5766, 2020.
- [4]. M. Siaka, C. M. Owens, G. F. Birch, "Evaluation of Some Digestion Methods for the Determination of Heavy Metals in Sediment Samples by Flame-AAS," *Analytical Letters*, 31 (4), 703-718, 1998.
- [5]. Cezara Voica, Adriana Dehelean, A Pamula, "Method validation for determination of heavy metals in wine and slightly alcoholic beverages by ICP-MS," *Journal of Physics: Conference Series*, 182, 2009.
- [6]. Şerife Tokaloğlu, Betül Çiçek, Neriman İnanc, Gökmen Zararsız, Ahmet Öztürk, Multivariate Statistical, "Analysis of Data and ICP-MS Determination of Heavy Metals in Different Brands of Spices Consumed in Kayseri, Turkey," *Food Analytical Methods*, 11, 2407-2418, 2018.
- [7]. Svetlana V. Smirnova, Dmitry V. Ilin, Igor V. Pletnev, "Extraction and ICP-OES determination of heavy metals using tetrabutylammonium bromide aqueous biphasic system and oleophilic collector," *Talanta*, 221, 121485, 2021.
- [8]. J Barón-Jaimez, M R Joya, J Barba-Ortega, "Anodic stripping Von - Ampe - ASV for determination of heavy metals," *Journal of Physics: Conference Series*, 466, 2nd International Meeting for Researchers in Materials and Plasma Technology, Bucaramanga, Colombia, 2013.
- [9]. Shirley T Palisoc, Royce Vincent M Chua, Michelle T Natividad, "Highly sensitive determination of heavy metals in upland and lowland rice using AgNP/BiNP/MWCNT/naion modified glassy carbon electrode via anodic stripping Von - Ampe," *Materials Research Express*, 7, 1, 2020.
- [10]. Simona Sawan, Rita Maalouf, Abdelhamid Errachid, Nicole Jaffrezic-Renault, "Metal and metal oxide nanoparticles in the voltammetric detection of heavy metals: A review TrAC," *Trends in Analytical Chemistry*, 131, 116014, 2020.
- [11]. L.H. Keith, L.U. Gron, J.L. Young, "Green analytical methodologies," *Chem. Rev.*, 107, 2695-2708, 2007.
- [12]. Belen Herce-Sesa, Jose A. Lopez-Lopez, Carlos Moreno, "Advances in ionic liquids and deep eutectic solvents-based liquid phase microextraction of metals for sample preparation in Environmental Analytical Chemistry," *Trends in Analytical Chemistry*, 143, 116398, 2021.
- [13]. Yu Chen, Tiancheng Mu, "Revisiting greenness of ionic liquids and deep eutectic solvents," *Green Chemical Engineering*, 2, 174-186, 2021.
- [14]. Yicong Wang, Shanshan Wang, Leilei Liu, "Recovery of natural active molecules using aqueous two-phase systems comprising of ionic liquids/deep eutectic solvents," *Green Chemical Engineering*, 3, 1, 5-14, 2022.
- [15]. M. Naeemullah, T.G. Tuzen, J. Kazi, Jamshed Ali, "Green and deep eutectic solvent microextraction method for FAAS determination of trace level cadmium in water samples using multivariate strategic approach," *At. Spectrosc.*, 37, 244-251, 2016.
- [16]. Huỳnh Thị Kim Tuyên, Đinh Thị A Thái, Trần Hoàng Phương, Võ Duy Thanh, Trần Văn Mẫn, Lê Mỹ Loan Phụng, "Nghiên cứu tính chất hoá lý và điện hoá của dung môi DESs tổng hợp từ 2,2,2 - trifluoroacetamide và muối LiTFSI ứng dụng làm chất điện giải trong pin Lithi-ion," *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ - Khoa học tự nhiên*, 4(20), 512-518, 2020.
- [17]. Thanh Xuan Le Thi, Hoai Lam Tran, Thanh Son Cu, Son Lam Ho, "Separation and Enrichment of Omega 3, 6, and 9 Fatty Acids from the By-Products of Vietnamese Basa Fish Processing using Deep Eutectic Solvent," *Journal of Chemistry*, 2018, Article ID 6276832, 10 pages, 2018.
- [18]. Lê Thị Thanh Xuân, "Nghiên cứu tổng hợp một số chất lỏng ion dạng 2-alkylbenzimidazole," *Tạp chí phân tích Hóa - Lý và Sinh học*, 24, 113-117, 2019.
- [19]. Cù Hoàng Yến, Phan Bích Hà, "Ứng dụng kỹ thuật vi chiết pha lỏng sử dụng dung môi xanh (Choline chloride - Urea) để định lượng chì và cadimi trong dầu ăn," *Tạp chí Y học TP. Hồ Chí Minh*, 5(23), 469 - 474, 2019.
- [20]. Andrew P. Abbott, Andrew Ballantyne, Robert C. Harris, Jamil A. Juma, Karl S. Ryder, Greg Forrest, "A Comparative Study of Nickel Electrodeposition Using Deep Eutectic Solvents and Aqueous Solutions," *Electrochimica Acta*, 176, 718-726, 2015.
- [21]. Andrey Shishov, Andrey Bulatov, Marcello Locatelli, Simone Carradori, Vasil Andrich, "Application of deep eutectic solvents in analytical chemistry. A review," *Microchemical Journal*, 135, 33-38, 2017.

AUTHORS INFORMATION

**Nguyen Quyen Phuong Thao¹, Pham Duc Nam¹,
Duong Thi Huong Mo¹, Tran Khanh Van¹, Cong Tien Dung²,
Le Thi Phuong Thao², Bui Hoang Bac³,
Nguyen The Huu⁴, Le Thi Duyen²**

¹Pharmaceutical Chemistry Class, K68, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

²Faculty of Basic Science, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

³Faculty of Geological Sciences and Engineering, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

⁴Faculty of Chemical Technology, Hanoi University of Industry, Vietnam