



Original Article

Study on Extractable Major Ions in Bottom Ash from Municipal Solid Waste Incinerators

Nguyen Minh Phuong¹, Tran Hoang Hiep¹, Nguyen Thi Nham¹,
Nguyen Manh Ha¹, Nguyen Minh Viet¹, Nguyen Thi Hoang Lien^{2,*}

¹*Faculty of Chemistry, VNU University of Science, 19 Le Thanh Tong, Hoan Kiem, Hanoi, Vietnam*

²*Faculty of Environmental Sciences, VNU University of Science,
334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam*

Received 08th August 2025

Revised 15th September 2025; Accepted 30th September 2025

Abstract: Along with population growth and increasing social demands, the volume of municipal solid waste (MSW) has been rising significantly. At present, municipal solid waste incinerators are being widely used in many localities. This method considerably reduces both the volume and mass of waste; however, a large amount of bottom ash generates. Bottom ash is a solid residue that primarily accumulates non-volatile components such as metal oxides (silicon, iron, aluminum, etc.) or carbonate, sulfate, and chloride salts of sodium, potassium, calcium, and magnesium. In this study, the concentrations of extractable major ions (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) in bottom ash from municipal solid waste incineration were investigated under different conditions (extraction time, solid-liquid ratio, and type of extractant). The results show that the shaking time of four hours and a solid-to-liquid ratio of 1:25 are suitable for extracting the major ions Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , and Mg^{2+} from municipal solid waste incineration ash samples. In addition, citric acid is an effective and selective extracting agent for Ca^{2+} ion. The obtained results provide a scientific basis for further research on the recovery of valuable components from bottom ash, thereby contributing to its effective reuse.

Keywords: Municipal solid waste incinerator, bottom ash, extractable ions.

* Corresponding author.

E-mail address: nguyenthihoanglien@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5423>

Nghiên cứu thành phần một số ion có khả năng được chiết tách ra từ tro xỉ đáy lò đốt chất thải rắn sinh hoạt

Nguyễn Minh Phương¹, Trần Hoàng Hiệp¹, Nguyễn Thị Nhâm¹,
Nguyễn Mạnh Hà¹, Nguyễn Minh Việt¹, Nguyễn Thị Hoàng Liên^{2,*}

¹Khoa Hóa học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,
19 Lê Thánh Tông, Hoàn Kiếm, Hà Nội, Việt Nam

²Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 08 tháng 8 năm 2025

Chỉnh sửa ngày 15 tháng 9 năm 2025; Chấp nhận đăng ngày 30 tháng 9 năm 2025

Tóm tắt: Cùng với sự gia tăng dân số, nhu cầu xã hội, lượng chất thải rắn sinh hoạt phát thải ngày càng lớn. Hiện nay, ở nhiều địa phương, các lò đốt chất thải rắn sinh hoạt đang được sử dụng khá phổ biến. Phương pháp này làm giảm đáng kể thể tích và khối lượng của rác thải. Nhưng sau quá trình đốt sẽ để lại lượng lớn tro xỉ. Tro xỉ là pha tích lũy các thành phần khó bay hơi như các oxit kim loại (silic, sắt, nhôm,...) hay các muối cacbonat, sunfat, clorua của natri, kali, canxi và magie,... Trong nghiên cứu này, thành phần một số ion (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) có thể chiết tách ra từ các mẫu tro xỉ lò đốt chất thải rắn sinh hoạt trong các điều kiện khác nhau như thời gian chiết, tỉ lệ rắn/lỏng, loại dịch chiết sẽ được khảo sát. Kết quả nghiên cứu cho thấy các điều kiện chiết thời gian lắc 4 giờ; tỉ lệ rắn/lỏng 1:25 là phù hợp để chiết các ion Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} từ các mẫu tro xỉ lò đốt CTRSH. Bên cạnh đó, axit citric là tác nhân chiết hiệu quả và chọn lọc đối với ion Ca^{2+} . Các kết quả thu được sẽ là cơ sở khoa học cho các nghiên cứu tiếp theo nhằm thu hồi tối đa những thành phần có giá trị từ tro xỉ, hướng tới việc tái sử dụng hiệu quả tro xỉ.

Từ khóa: Tro xỉ, lò đốt chất thải rắn sinh hoạt, ion dễ chiết.

1. Mở đầu

Công nghệ đốt chất thải rắn sinh hoạt (CTRSH) được áp dụng khá phổ biến trên thế giới và ở Việt Nam sẽ tạo tro đáy là phần chất thải rắn còn lại sau khi thiêu đốt và tro bay là phần bụi mịn được giữ lại trong quá trình xử lý khí thải lò đốt [1-5]. Các nghiên cứu cũng đã chỉ ra rằng thành phần chính các hợp chất của tro xỉ đáy lò là CaO , SiO_2 , Fe_2O_3 và Al_2O_3 (>10% khối lượng), tiếp theo là Na_2O , K_2O , MgO và TiO_2

được phát hiện với một lượng nhỏ hơn (0,4-0,5%). Các thành phần ion này thường tồn tại ở trong tro xỉ dưới dạng các oxit kim loại, hydroxit và các muối cacbonate, sunfat và clorua [1-3, 5, 6]. Các nghiên cứu về đặc tính của tro xỉ lò đốt CTRSH ở Việt Nam cũng cho thấy bên cạnh sự tồn tại của một số thành phần kim loại nặng độc hại nằm ở các phân đoạn liên kết bền, khó trao đổi và chiết ra trong điều kiện thường, còn có một số khoáng vô cơ đa lượng, và trung lượng có ích cho sự phát triển của cây trồng trong tro xỉ

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: nguyenthihoanglien@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5423>

nằm ở dạng liên kết dễ hòa tan hoặc dễ trao đổi trong tro xỉ [2, 4].

Nhiều qui trình, điều kiện chiết tách đã được sử dụng như chiết bằng axit và/hoặc kiềm, chiết bằng nước kết hợp với bổ sung axit H_3PO_4 , axit HNO_3 , HCl với các nồng độ khác nhau, môi trường pH khác nhau, tỉ lệ rắn/lỏng,... để tách chiết các thành phần khác nhau như muối clorua kiềm như $NaCl$, KCl và $CaCl_2$, các muối dễ hòa tan, các kim loại nặng, kim loại nặng lưỡng tính từ tro bay và tro xỉ đáy lò đốt CTRSH [2, 7-11].

Vì vậy, nghiên cứu này tập trung đánh giá ảnh hưởng của điều kiện chiết (gồm thời gian lắc, tỉ lệ rắn/lỏng, số lần chiết và loại dịch chiết) tới hàm lượng của một số ion thường tồn tại ở dạng liên kết dễ trao đổi, dễ hòa tan trong tro xỉ, bao gồm Ca , Mg , Na và K . Các kết quả thu được sẽ là cơ sở khoa học cho các nghiên cứu tiếp theo nhằm thu hồi tối đa những thành phần có giá trị từ tro xỉ, hướng tới việc tái sử dụng hiệu quả tro xỉ.

2. Thực nghiệm

2.1. Nguyên liệu

Thí nghiệm khảo sát các điều kiện chiết được tiến hành trên 03 mẫu tro xỉ đáy lò được lấy từ lò đốt CTRSH qui mô cấp xã tại Vĩnh Phúc (nay là tỉnh Phú Thọ) (VP1 và VP2) và Hưng Yên (HY). Các mẫu tro xỉ sau khi mang về PTN sẽ được loại bỏ các thành phần rác thô hoặc thành phần chưa cháy hết, phơi khô tự nhiên. Các nghiên cứu trước đó của nhóm tác giả về thành phần các nguyên tố bằng phổ huỳnh quang tia X (XRF) cho thấy thành phần các nguyên tố chính trong các mẫu tro xỉ VP1, VP2 và HY sử dụng ở nghiên cứu này lần lượt là $CaO > SiO_2 > Al_2O_3 \sim Fe_2O_3 > K_2O$. Trong đó, có thành phần các nguyên tố Ca , K tính theo CaO và K_2O dao động lần lượt trong khoảng 55-60% và 1,83- 4,44%. Ngoài ra, Na và Mg có hàm lượng nhỏ hơn, không xác định được bằng phương pháp XRF.

Hóa chất: nước cất 2 lần, axit citric 98% (Merck), HNO_3 đặc (PA, Trung Quốc).

2.2. Quy trình thí nghiệm

2.2.1. Khảo sát ảnh hưởng của thời gian lắc

Cân 2 g tro xỉ vào bình nón 250 mL sạch, khô. Thêm vào mỗi bình nón 50 mL nước cất 2 lần, lắc nhẹ. Chuyển toàn bộ bình nón lên máy lắc và lắc trong các khoảng thời gian khác nhau là 0,5; 1; 2; 4 và 6 giờ.

Sau các khoảng thời gian trên, lọc lấy dịch chiết, axit hóa bằng cách thêm 1-2 giọt HNO_3 đặc và bảo quản dịch chiết ở tủ lạnh để xác định nồng độ các ion Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} bằng thiết bị AAS (AA6800 – Shimadzu).

2.2.2. Khảo sát ảnh hưởng của tỉ lệ rắn/lỏng

Tiến hành thí nghiệm chiết tương tự như mục 2.2.1, với các tỉ lệ rắn/lỏng khác nhau là 1:10 và 1:25 (w/v).

2.2.3. Khảo sát hàm lượng các ion giải phóng ra với qui trình chiết lặp lại với nước

Tiến hành thí nghiệm chiết tương tự như mục 2.2.1 với tỉ lệ R/L là 1:25 trong thời gian 4 giờ. Sau khi lắc xong, để yên mẫu trong 1 giờ. Sau khi tro xỉ lắng xuống, tiến hành ly tâm, gạn, tách dịch chiết, thu được dịch chiết lần 1. Phần dịch chiết lần 1 thu được tiến hành lọc qua giấy lọc, axit hóa bằng cách thêm 1-2 giọt HNO_3 đặc và bảo quản ở tủ lạnh. Tiếp tục thêm vào phần cặn tro xỉ còn lại một thể tích xác định nước cất 2 lần, lắc trong 4 giờ, thu được dịch chiết lần 2. Tiến hành lặp lại các bước ở trên, ta thu được dịch chiết lần 3.

2.2.4. Khảo sát qui trình chiết với axit citric

Áp dụng các điều kiện tối ưu ở trên, tiến hành thí nghiệm chiết với 03 mẫu tro xỉ VP1, VP2 và HY sử dụng tác nhân chiết là axit citric 0,1 M và 0,5 M.

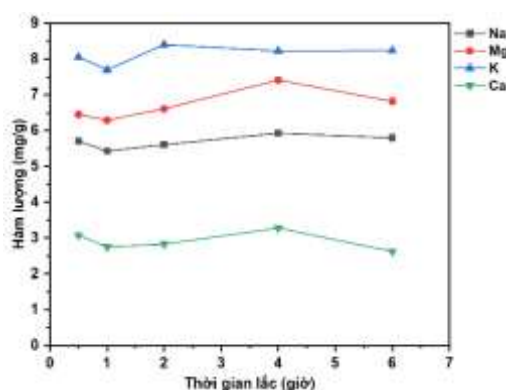
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Ảnh hưởng của thời gian lắc

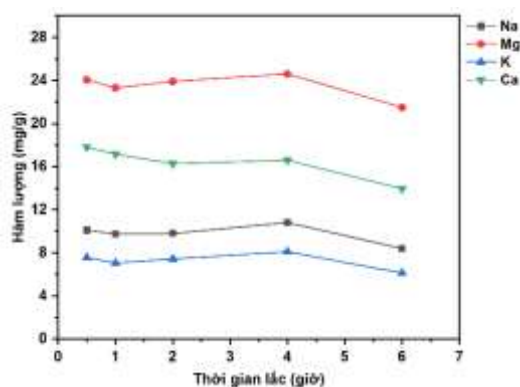
Kết quả khảo sát ảnh hưởng của thời gian lắc tới hàm lượng các ion giải phóng ra trong mẫu tro xỉ VP1 và VP2 được trình bày trong Hình 1 và 2.

Kết quả cho thấy nhìn chung hàm lượng các ion giải phóng ra ở các thời gian lắc là không khác nhau đáng kể. Tuy nhiên, tại thời gian lắc 4 giờ lượng ion giải phóng ra là nhiều nhất.

Bên cạnh đó, mẫu tro xỉ VP2 có hàm lượng các ion giải phóng trong quá trình chiết với nước cao hơn so với mẫu tro xỉ VP1, đặc biệt là các ion Mg^{2+} và Ca^{2+} . Sự khác nhau này có thể là sự khác nhau về thành phần chất thải rắn sinh hoạt ban đầu cũng như qui trình đốt tại 2 lò đốt.



Hình 1. Ảnh hưởng của thời gian lắc đối với mẫu tro xỉ VP1.



Hình 2. Ảnh hưởng của thời gian lắc đối với mẫu tro xỉ VP2.

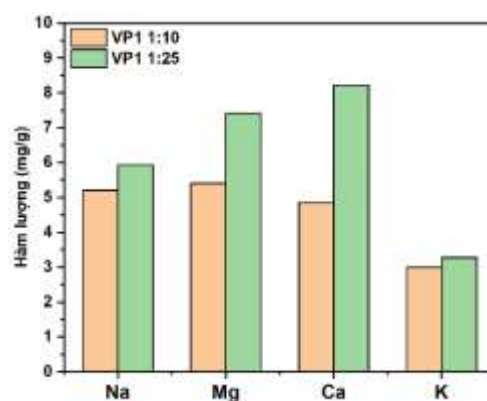
3.2. Ảnh hưởng của tỉ lệ rắn/lỏng

Kết quả khảo sát ảnh hưởng của hai tỉ lệ rắn/lỏng (1:10 và 1:25) tới hàm lượng các ion giải phóng ra trong mẫu tro xỉ VP1 và VP2 được trình bày trong Hình 3 và 4.

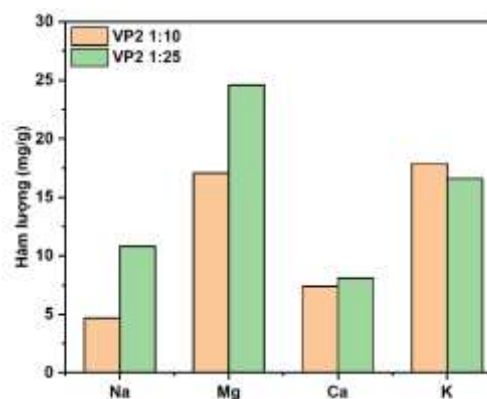
Kết quả cho thấy nhìn chung hàm lượng các ion giải phóng ra lớn hơn khi sử dụng tỉ lệ

rắn/lỏng = 1:25. Vì vậy, tỉ lệ này được sử dụng cho các nghiên cứu tiếp theo.

Với các kết quả tiền khảo sát về ảnh hưởng của thời gian lắc và tỉ lệ rắn/lỏng với nước đối với 2 mẫu tro xỉ VP1 và VP2 ở trên, nghiên cứu đã áp dụng các điều kiện chiết với thời gian lắc là 4 giờ, tỉ lệ rắn/lỏng là 1:25, qui trình chiết lặp lại 3 lần liên tiếp trên 03 mẫu tro xỉ là VP1, VP2 và HY với nước cất và axit citric ở các nồng độ khác nhau. Các kết quả được trình bày dưới đây.



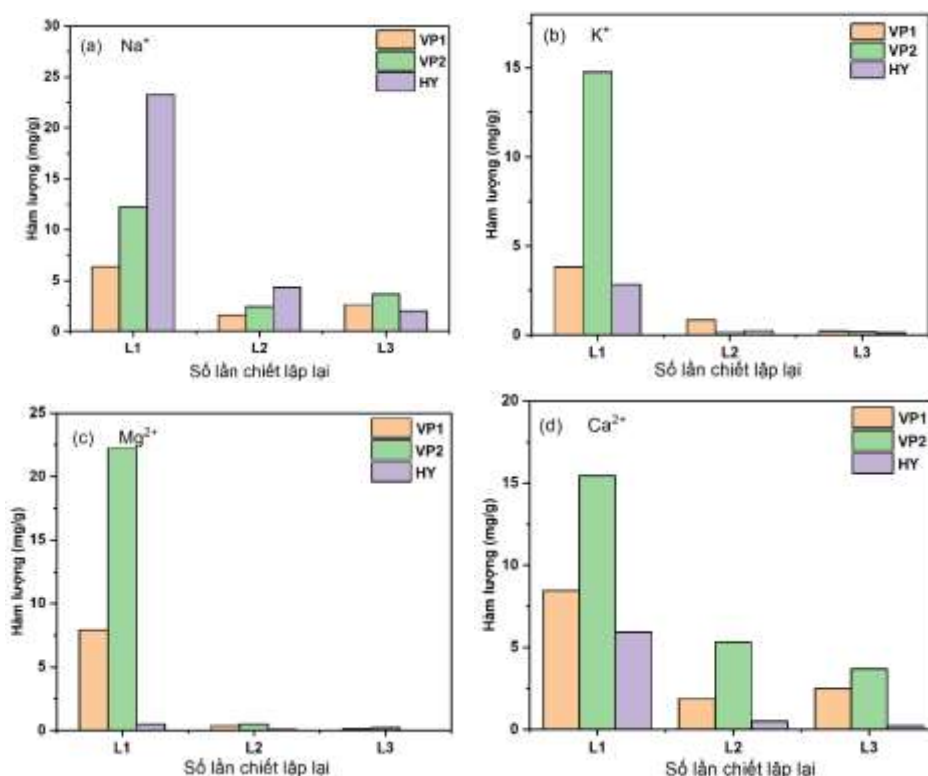
Hình 3. Ảnh hưởng của tỉ lệ rắn/lỏng đối với mẫu tro xỉ VP1.



Hình 4. Ảnh hưởng của tỉ lệ rắn/lỏng đối với mẫu tro xỉ VP2.

3.3. Hàm lượng các ion giải phóng ra với qui trình chiết lặp lại với nước

Kết quả về hàm lượng các ion Na^+ , K^+ , Mg^{2+} và Ca^{2+} giải phóng ra khi chiết với nước trong 3 lần liên tiếp được trình bày lần lượt trong Hình 5 (a, b, c, d).



Hình 5. Hàm lượng các ion (a) Na⁺, (b) K⁺, (c) Mg²⁺ và (d) Ca²⁺ giải phóng ra khi chiết lặp lại với nước.

Có thể dễ dàng nhận thấy, tỉ lệ các ion Na⁺, K⁺, Mg²⁺ và Ca²⁺ đã giải phóng trong lần chiết thứ nhất cao hơn đáng kể so với các lần chiết tiếp theo. Đây là xu hướng chung trong cả 3 mẫu tro xỉ.

Bên cạnh đó, hàm lượng các ion kim loại kiềm (Na⁺, K⁺) được giải phóng ra khi chiết với nước cất nhìn chung cao hơn so với các ion kim loại kiềm thổ Mg²⁺. Điều này có thể được giải thích là do các kim loại kiềm trong tro xỉ thường tồn tại dưới dạng các khoáng dễ tan trong nước như khoáng clorua, sunfat,... Trong khi đó, hàm lượng Ca²⁺ giải phóng ra cũng khá cao so với Mg²⁺, do Ca là một trong những thành phần hóa học chiếm tỉ lệ lớn (> 50%) trong các mẫu tro xỉ lò đốt CTRSH này [6, 7].

3.4. Hàm lượng các ion giải phóng ra với qui trình chiết lặp lại với axit citric

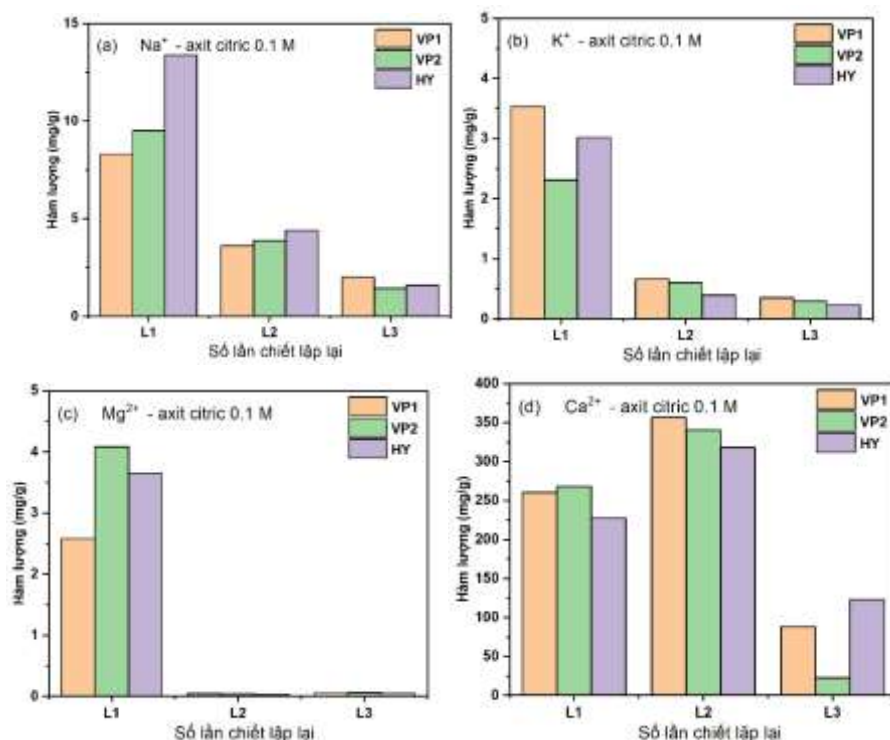
Để đánh giá ảnh hưởng của các tác nhân chiết khác nhau tới sự giải phóng các ion Na⁺, K⁺, Mg²⁺ và Ca²⁺ trong tro xỉ, qui trình chiết đã được áp dụng với axit citric ở 2 nồng độ là 0,1 M

và 0,5 M. Kết quả được trình bày lần lượt trong các Hình 6 (a, b, c, d) và Hình 7 (a, b, c, d).

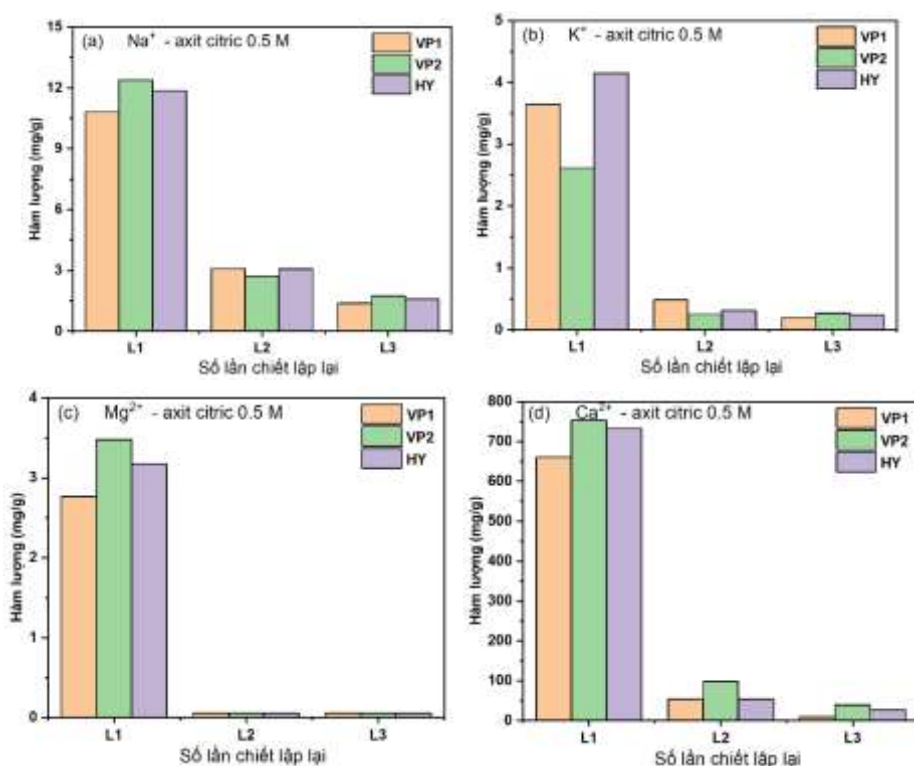
So sánh kết quả hàm lượng các cation giải phóng ra khi chiết với axit citric và nước, có thể thấy axit citric là tác nhân chiết chọn lọc đối với ion Ca²⁺.

Đồng thời, hàm lượng Ca²⁺ giải phóng ra rất lớn (~250 mg/g ngay ở lần thứ nhất với axit citric 0,1 M và ~700 mg/g ngay ở lần thứ nhất với axit citric 0,5 M). Trong khi đó, 3 ion còn lại được giải phóng ra với lượng rất ít so với Ca²⁺ và cũng không khác nhiều so với hàm lượng của chúng được giải phóng ra khi chiết với nước (trong khoảng 4-15 mg/g). Đây cũng là xu hướng chung được quan sát thấy trong cả 3 mẫu tro xỉ.

Những kết quả trên chỉ ra rằng axit citric là tác nhân chiết hiệu quả và chọn lọc đối với ion Ca²⁺. Nồng độ của axit citric cũng ảnh hưởng đáng kể tới hàm lượng Ca²⁺ chiết ra. Lượng ion được giải phóng ra khi sử dụng axit citric 0,5 M cao hơn khoảng 1,4 lần so với axit citric 0,1 M. Tuy nhiên, tổng hàm lượng Ca²⁺ giải phóng ra trong 2 lần chiết là tương đương nhau khi sử dụng axit citric 0,5 M và axit citric 0,1 M.



Hình 6. Nồng độ các cation (a) Na^+ , (b) K^+ , (c) Mg^{2+} và (d) Ca^{2+} giải phóng khi chiết với axit citric 0,1M.



Hình 7. Nồng độ các cation (a) Na^+ , (b) K^+ , (c) Mg^{2+} và (d) Ca^{2+} giải phóng khi chiết với axit citric 0,5 M.

Các nghiên cứu của các tác giả khác trên thế giới cũng chỉ ra xu hướng tương tự với nghiên cứu này [2, 10, 11]. Trong đó, hàm lượng các kim loại Ca, Cu, Mn, Zn, Cd, Pb giải phóng ra phụ thuộc nhiều vào pH dịch chiết, hàm lượng giải phóng ra giảm khi pH tăng; ngược lại hàm lượng giải phóng ra của các thành phần khác như Na, K hầu như không phụ thuộc vào pH [2, 10, 11].

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy các điều kiện chiết thời gian lắc 4 giờ; tỉ lệ rắn/lỏng 1:25 là phù hợp để chiết các ion Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} từ các mẫu tro xỉ lò đốt CTRSH.

Với tác nhân chiết là nước, các ion kim loại kiềm (Na^+ , K^+) được giải phóng ra nhiều hơn so với các ion kim loại kiềm thổ (Mg^{2+}), và chủ yếu được giải phóng ngay trong lần chiết đầu tiên.

Mặt khác, nghiên cứu cũng chỉ ra rằng axit citric là tác nhân chiết hiệu quả và chọn lọc đối với ion Ca^{2+} . Ở nồng độ axit citric cao hơn là 0,5 M, lượng Ca^{2+} giải phóng ra nhanh ngay trong lần chiết đầu tiên (~700 mg/g). Trong khi đó, ở nồng độ axit citric thấp hơn là 0,1 M, cần phải chiết đến lần thứ 2 mới thu được hàm lượng Ca^{2+} tương đương như khi sử dụng axit citric 0,5 M. Đây là những kết quả quan trọng cho những nghiên cứu tiếp theo để thu hồi thành phần Ca chiếm tỉ lệ rất lớn trong tro xỉ lò đốt CTRSH ở Việt Nam.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đề tài Khoa học và Công nghệ cấp Bộ Nông nghiệp và Môi trường mã số TNMT.2022.885.06.

Tài liệu tham khảo

- [1] D. Cudjoe, P. M. Acquah, Environmental Impact Analysis of Municipal Solid Waste Incineration in

- African Countries, *Chemosphere*, Vol. 265, 2021, pp. 129-186,
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129186>.
- [2] H. Luo, Y. Cheng, D. He, E. H. Yang, Review of Leaching Behavior of Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) Ash, *Science of the Total Environment*, Vol. 668, 2019, pp. 90-103,
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.004>.
- [3] C. H. Jung, T. Matsuto, N. Tanaka, T. Okada, Metal Distribution in Incineration Residues of Municipal Solid Waste (MSW) in Japan, *Waste Management*, Vol. 24, No. 4, 2004, pp. 381-391,
[https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(03\)00137-5](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(03)00137-5).
- [4] A. Zareen, A. P. Moghaddam, B. M. Steenari, Release of Salts from Municipal Solid Waste Combustion Residues, *Waste Management*, Vol. 23, No. 4, 2003, pp. 291-305,
[https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(02\)00154-X](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(02)00154-X).
- [5] H. M. Alhassan, A. M. Tanko, Characterization of Solid Waste Incinerator Bottom Ash and the Potential for its Use, *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, Vol. 2, No. 4, 2012, pp. 516-522.
- [6] N. M. Phuong, N. H. Anh, T. N. Minh, D. Q. Trung, T. D. Trinh, N. M. Viet, Characteristics of Bottom Ash from Domestic Waste Incinerators in Rural Areas of the Northern Delta, *Journal of Analytical Chemistry, Physics and Biology*, Vol. 27, No. 3, 2022, pp. 23-29 (in Vietnamese).
- [7] L. T. T. Trang, N. T. Ngan, N. Q. Minh, N. M. Ha, N. T. H. Lien, N. M. Viet, N. M. Phuong, Study on the Accumulation and Leaching of Heavy Metals in the Bottom Ash Samples from Municipal Solid Waste Incinerators, *VNU Journal of Science: Natural Sciences and Technology*, Vol. 41, No. 3, 2025, pp. 48-56,
<https://doi.org/10.25073/2588-1140/vnunst.5769>.
- [8] J. Tang, B. M. Steenari, Leaching Optimization of Municipal Solid Waste Incineration Ash for Resource Recovery: A Case Study of Cu, Zn, Pb and Cd, *Waste Management*, Vol. 48, 2016, pp. 315-322,
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.10.003>.
- [9] J. J. Dijkstra, H. A. V. D. Sloot, R. N. J. Comans, The Leaching of Major and Trace Elements from MSWI Bottom Ash as a Function of pH and Time, A. Z. Bordado, R. M. Quinta-Ferreira, the Influence of pH on the Leaching Behaviour of Inorganic Components from Municipal Solid Waste APC Residues, *Waste Management*, Vol. 29, 2009, pp. 2483-2493,
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.01>.