

ĐÁNH GIÁ HÀM LƯỢNG KIM LOẠI NẶNG VÀ KHẢ NĂNG TÁI SỬ DỤNG TRONG NÔNG NGHIỆP CỦA TRO ĐỐT RÁC THẢI SINH HOẠT

LÂM VĂN GIANG¹, LÊ ĐỨC TRUNG²
HUỲNH THỊ NGỌC HÂN³, TRẦN THÀNH^{2,4*}

¹ Khoa Môi trường và Tài nguyên, Trường Đại học Bách Khoa TP. Hồ Chí Minh, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh

² Viện Môi trường và Tài nguyên, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh

³ Khoa Môi trường, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. Hồ Chí Minh

⁴ Viện Nghiên cứu và Phát triển sinh học nông nghiệp tiên tiến, Trường Đại học Nguyễn Tất Thành

Tóm tắt:

Xử lý tro đốt rác thải sinh hoạt là một trong những thách thức lớn của công tác BVMT trên toàn cầu. Tại Việt Nam, việc sử dụng tro xỉ từ quá trình đốt rác vẫn còn hạn chế, gây ra tiềm ẩn rủi ro đối với môi trường và sức khỏe cộng đồng. Nghiên cứu nhằm phân tích hàm lượng kim loại nặng và đánh giá tiềm năng tái sử dụng tro đốt từ các lò đốt rác thải sinh hoạt trong nông nghiệp. Thông qua các phương pháp lấy mẫu và phân tích, thành phần dinh dưỡng như N, P, K cùng dư lượng kim loại nặng (As, Hg, Pb, Cd) được xác định để đánh giá khả năng tái sử dụng. Kết quả cho thấy, tro và xỉ đều có hàm lượng dinh dưỡng cao và các kim loại nặng nằm trong ngưỡng an toàn cho ứng dụng trong nông nghiệp. Nghiên cứu đề xuất các giải pháp tái sử dụng tro theo hướng phát triển nông nghiệp bền vững, giảm phụ thuộc vào phân bón hóa học và đóng góp vào nền kinh tế tuần hoàn thông qua quản lý chất thải hiệu quả.

Từ khóa: Tro, tro xỉ than, kim loại nặng, xỉ, lò đốt rác thải rắn, tái sử dụng.

Ngày nhận bài: 29/8/2024; Ngày sửa chữa: 9/9/2024;

Ngày duyệt đăng: 23/9/2024.

1. Giới thiệu

Dân số Việt Nam đang tăng nhanh, đưa nước ta trở thành quốc gia đông dân thứ 14 trên thế giới. Sự gia tăng dân số liên tục làm trầm trọng thêm những thách thức trong quản lý chất thải, vì lượng rác thải sinh hoạt ngày càng tăng. Các bãi chôn lấp hiện tại đang quá tải, ảnh hưởng tiêu cực đến các cộng đồng lân cận. Các nhà máy đốt rác phát điện được coi là giải pháp tiên tiến, được áp dụng rộng rãi ở các quốc

EVALUATION OF HEAVY METAL CONTENT AND AGRICULTURAL REUSE POTENTIAL OF MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION ASH

Abstract:

Municipal solid waste incineration ash presents a significant environmental challenge globally. In Vietnam, the utilization of ash from waste incineration remains limited, posing potential risks to both the environment and public health. This study aims to analyze the heavy metal content and assess the potential reuse of ash from municipal solid waste incinerators in agriculture. Through sampling and analysis methods, the nutrient composition, including N, P, K, along with heavy metal residues (As, Hg, Pb, Cd), were determined to evaluate its reuse potential. The results indicate that both ash and slag contain high nutrient levels, and the heavy metal content falls within safe limits for agricultural applications. The study proposes solutions for the sustainable reuse of ash, reducing reliance on chemical fertilizers and contributing to the circular economy through effective waste management.

Keywords: Ash; coal ash; heavy metals; municipal solid waste incinerator; slag; reuse.

JEL Classifications: Q51, Q52, Q53.

gia như Nhật Bản, Trung Quốc và một số nước châu Âu (Tun et al., 2020). Tại Việt Nam, một số cơ sở như Nhà máy xử lý rác thải Đan Phượng, Nhà máy đốt rác phát điện Sóc Sơn và Nhà máy đốt rác phát điện Cần Thơ đã sử dụng công nghệ này. Tuy nhiên, việc xử lý tro xỉ từ các nhà máy đốt rác vẫn là một trong những mối lo ngại của Việt Nam.

Mặc dù công nghệ ủ phân hữu cơ từ chất thải rắn đã được biết đến, nhưng vẫn tồn tại những thách

thức ở Việt Nam. Ví dụ, phân compost từ Vietstar và Tân Sinh Nghĩa gặp khó khăn với giá cao và chất lượng thấp do phân loại rác không đầy đủ, dẫn đến tồn đọng rác và phân bón. Việc ứng dụng tro đốt trong nông nghiệp còn hạn chế so với sử dụng trong vật liệu xây dựng, một phần do lo ngại về các nguy cơ tiềm ẩn như sự hiện diện của độc tố hoặc chất phóng xạ, nguy cơ nổ và khả năng ăn mòn hoặc ngộ độc (Van, 2019). Tro có thể ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe con người hoặc tương tác với các yếu tố khác gây ra rủi ro gián tiếp (Ngo & Bui, 2015).

Nghiên cứu cho thấy, tro đốt có thể được sử dụng trong cải thiện đất nông nghiệp, vật liệu xây dựng và phục hồi môi trường các mỏ đá vôi (Ngo & Bui, 2015). Tro có tiềm năng đáng kể trong nông nghiệp do hiệu quả cải thiện chất lượng đất và năng suất cây trồng. Hàm lượng cao các nguyên tố như kali, natri, kẽm, canxi, magiê và sắt trong tro có thể tăng năng suất của các loại cây trồng khác nhau (Hafeez et al., 2023). Tính kiềm và hàm lượng khoáng chất cao của tro trở thành lựa chọn khả thi để sử dụng làm phân bón hoặc cải tạo đất. Thêm vào đó, tro cải thiện cấu trúc đất, tăng độ xốp, khả năng giữ nước và thoát nước (Rashid et al., 2023). Điều này đã chứng minh có lợi cho việc trồng rau xanh, hoa hồng và rau muống, đặc biệt ở các hộ gia đình đô thị với không gian hạn chế. Tro rẻ tiền và dễ tìm cho phép tạo ra các vườn rau hoặc hoa mini với ít công sức và chi phí. Hơn nữa, tro còn là vật liệu lọc nước hiệu quả, hấp thụ chất hữu cơ hòa tan và duy trì độ trong của nước, có lợi cho nuôi cá cảnh (Lavane et al., 2018).

Trước những thách thức môi trường do việc đốt rác thải và tiềm năng hứa hẹn của tro đốt trong sử dụng nông nghiệp, nghiên cứu đã phân tích hàm lượng kim loại nặng và đánh giá tiềm năng tái sử dụng tro đốt từ các lò đốt rác thải sinh hoạt trong nông nghiệp. Bằng cách hiểu rõ thành phần của tro đáy, nghiên cứu tìm cách xác định khả năng ứng dụng của nó trong môi trường nông nghiệp. Điểm mới của nghiên cứu nằm ở việc đánh giá toàn diện tro đốt, tập trung vào thành phần hóa học, các rủi ro và lợi ích tiềm ẩn khi áp dụng vào đất. Nghiên cứu này có ý nghĩa đối với tính bền vững môi trường, khám phá các cách sáng tạo để quản lý chất thải, đồng thời nâng cao năng suất nông nghiệp. Hơn nữa, các kết

quả có ý nghĩa to lớn đối với phát triển bền vững và tăng trưởng kinh tế - xã hội, vì việc sử dụng tro đốt trong nông nghiệp có thể giảm sự phụ thuộc vào phân bón hóa học, giảm chi phí nông nghiệp và giảm thiểu tác động môi trường của các thực hành quản lý chất thải. Điều này phù hợp với việc thúc đẩy nền kinh tế tuần hoàn, nơi các chất thải được tái sử dụng để tạo ra các sản phẩm giá trị gia tăng, đóng góp vào BVMT và phát triển kinh tế.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Các mẫu tro và than được thu thập từ lò đốt sau 15 phút kể từ khi quá trình đốt bắt đầu, nhằm đảm bảo tính đồng nhất và đại diện cho chất lượng tro tại thời điểm nhiệt độ và phản ứng hóa học đã ổn định. Các mẫu này được cung cấp bởi Công ty Cổ phần Nam Long Xanh – một đơn vị hàng đầu trong lĩnh vực công nghệ đốt chất thải rắn tại huyện Bình Chánh, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam. Quá trình lấy mẫu được thực hiện vào tháng 8/2023, với mục tiêu đảm bảo dữ liệu thu thập phản ánh chính xác điều kiện và đặc điểm của quá trình đốt trong thời gian nghiên cứu.

2.2. Phương pháp lấy mẫu và phân tích

Đối với tro thu được từ đốt chất thải rắn đồng nhất, ba mẫu đại diện được lấy ngẫu nhiên từ các vị trí khác nhau trong khối rác, đảm bảo sự phân bố đại diện để so sánh với ngưỡng chất thải nguy hại.

Các mẫu đã trải qua phân tích khả năng rửa trôi theo tiêu chuẩn ASTM D5233-92 (Nguyen et al., 2023), phương pháp thử nghiệm tiêu chuẩn cho chiết xuất một mẻ đối với chất thải. Sau đó, nồng độ Cadmium (Cd), Đồng (Cu), Chì (Pb) và Niken (Ni) được xác định bằng phương pháp EPA SW-846 Method 3050B và TCVN 647:2007. Phương pháp quang phổ hấp thụ nguyên tử (AAS) được sử dụng để phân tích Sắt (Fe) theo ACIAR-AAS 008-2007, Magiê (Mg) theo ACIAR-AAS 011-2007, Mangan (Mn) theo ACIAR-AAS 012-2007, Kẽm (Zn) theo ACIAR-AAS 019-2007, Thủy ngân (Hg) theo ACIAR-AAS 009-2007 và Asen (As) theo ACIAR-AAS 001-2007 (García & Báez, 2012).

Để có cái nhìn toàn diện và đưa ra các giải pháp hiệu quả, nghiên cứu đồng thời phân tích cả than.



▲ Hình 1. Mẫu tro (A) và than (B) sử dụng trong thí nghiệm

Việc này nhằm so sánh và đánh giá cụ thể sự khác biệt giữa hai loại sản phẩm phụ, từ đó xác định rõ hơn tiềm năng ứng dụng của từng loại trong các bối cảnh khác nhau. Như vậy, việc lựa chọn và phân tích cả tro và than không chỉ mở rộng phạm vi nghiên cứu mà còn giúp đưa ra những khuyến nghị chi tiết hơn, phù hợp với các mục tiêu sử dụng trong nông nghiệp bền vững và quản lý chất thải. Dữ liệu thu thập được xử lý và phân tích thống kê bằng Microsoft Excel 2016 và SPSS 20.

2.3. Các phương pháp đánh giá cho mục đích tái sử dụng

Các phương pháp đánh giá, cơ sở pháp lý cho việc tái sử dụng tro và than dựa trên các tiêu chuẩn, quy định sau:

Quy chuẩn Kỹ thuật Quốc gia về Ngưỡng Chất thải nguy hại – Tiêu chuẩn Việt Nam (QCVN) 07:2009/BTNMT: Quy chuẩn này định nghĩa ngưỡng chất thải nguy hại, bao gồm cả thành phần nguy hại vô cơ và hữu cơ. Quy chuẩn cũng quy định các yêu cầu kỹ thuật về lấy mẫu, phân tích, nhận dạng và phân loại chất thải nguy hại (QCVN 07:2009/BTNMT, 2009) (Huyen & Tram, 2019).

QCVN: 2018/BNNPTNT – Quy chuẩn Kỹ thuật Quốc gia về Chất lượng Phân bón đặt ra các tiêu chuẩn chất lượng, yếu tố giới hạn, phương pháp thử nghiệm và yêu cầu quản lý đối với phân bón trong quá trình sản xuất, nhập khẩu và kinh doanh tại Việt Nam.

Nghị định số 108/2017/NĐ-CP của Chính phủ về quản lý phân bón quy định quản lý nhà nước về phân

bón, bao gồm công nhận, khảo nghiệm, sản xuất, buôn bán, xuất khẩu, nhập khẩu, quản lý chất lượng, ghi nhãn, quảng cáo, hội thảo và sử dụng phân bón tại Việt Nam.

Quyết định số 100/2008/QĐ-BNN về sản xuất, kinh doanh và sử dụng phân bón đã nêu rõ sai số định lượng cho phép và các tiêu chí định lượng bắt buộc cho các loại phân bón khác nhau.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đánh giá thành phần dinh dưỡng trong tro và than từ lò đốt rác thải sinh hoạt

Bảng 1 cung cấp thông tin về hàm lượng N, K, P của tro và than thu được từ quá trình đốt rác thải sinh hoạt đô thị. Dữ liệu trình bày chỉ ra các thành phần hóa học chính có thể ảnh hưởng đến sự phát triển của cây trồng khi các vật liệu này được bổ sung vào đất.

Cả tro và than đều thể hiện tính kiềm tương đối cao với giá trị pH lần lượt là 9,8 và 9,4. Tính kiềm này có thể có lợi trong ứng dụng nông nghiệp để tăng pH đất và trung hòa đất chua. Các nghiên cứu đã chỉ ra tăng lượng tro bay có thể nâng cao pH của đất

Bảng 1. Thành phần N, K, P của tro và than sau khi đốt rác thải sinh hoạt

Thông số	Đơn vị	Mẫu tro	Mẫu than
pH		9.8	9.4
Độ ẩm	%	8.2	10.6
Tổng N	%	0.5	0.83
Tổng P dưới dạng P ₂ O ₅	%	1.12	0.32
Tổng K dưới dạng K ₂ O	%	3.07	1.05

(Kishor et al., 2010). Tuy nhiên, pH quá cao, trong khoảng từ 11 đến 12, có thể ức chế nghiêm trọng hô hấp của vi khuẩn, ảnh hưởng đến hoạt động enzyme và phá vỡ chu trình nitơ trong đất.

Cây trồng phát triển tốt trong điều kiện độ ẩm cao, trên 90%, vì cường độ hô hấp tăng thúc đẩy sự nảy mầm nhanh chóng. Đối với đất cát, việc áp dụng tro bay có thể thay đổi cấu trúc đất, tăng cường sự sẵn có của vi chất dinh dưỡng và cải thiện khả năng giữ nước (Page et al., 1979). Mặc dù hàm lượng độ ẩm tương đối thấp của tro và than, tro bay có khả năng giữ nước từ 49–66% theo trọng lượng. Thêm tới 46% tro bay có thể giảm mật độ khối của đất. Tăng nồng độ tro bay trong đất nông nghiệp đã cho thấy cải thiện độ xốp của đất và khả năng giữ nước, có lợi cho sự phát triển của cây trồng (Khan & Wajid, 1996). Độ ẩm đất cao, khi được bổ sung tro đốt, tạo ra môi trường lý tưởng cho sự nảy mầm của hạt giống.

Hàm lượng nitơ trong tro và than lần lượt là 0,5% và 0,83%. Nitơ là chất dinh dưỡng thiết yếu cho sự phát triển của cây trồng, thúc đẩy sự phát triển mạnh mẽ. Hàm lượng phốt pho (dưới dạng P_2O_5) trong tro là 1,12% và trong than là 0,32%. Phốt pho hỗ trợ sự phát triển của rễ và hoa, đóng vai trò quan trọng trong sự phát triển của cây trồng.

Hàm lượng kali (dưới dạng K_2O) trong tro là 3,07%, đáp ứng tiêu chuẩn QCVN 01-189:2019/

BNNPTNT, yêu cầu tối thiểu 3,0% K_2O trong phân bón hỗn hợp. Điều này cho thấy, tro có thể là nguồn cung cấp kali hiệu quả cho cây trồng. Mặc dù hàm lượng kali trong than là 1,05%, thấp hơn yêu cầu của QCVN, nhưng nó vẫn có thể được sử dụng để bổ sung kali trong đất.

Như vậy, hàm lượng N, K, P trong tro và than từ quá trình đốt rác thải sinh hoạt đô thị cho thấy tiềm năng cải thiện chất lượng đất (QCVN01-189:2019/BNNPTNT, 2019). Với khả năng giữ nước và các chất dinh dưỡng thiết yếu, tro và than có thể hỗ trợ sự phát triển của cây trồng, giảm chi phí phân bón và thúc đẩy nông nghiệp bền vững. Việc sử dụng tro và than như một nguồn phân bón khả thi không chỉ mang lại lợi ích kinh tế, mà còn góp phần BVMT và thực hành nông nghiệp bền vững.

3.2. Đánh giá thành phần dư lượng kim loại nặng trong tro và than từ lò đốt rác

Bốn vi chất dinh dưỡng Nickel (Ni), Mangan (Mn), Titan (Ti) và Đồng (Cu) được liệt kê trong Bảng 2 có thể có lợi cho đất và cây trồng ở nồng độ thấp. Tuy nhiên, niken quá mức có thể ảnh hưởng xấu đến cây trồng bằng cách làm chậm sự nảy mầm, ức chế sự phát triển của chồi và rễ, giảm sinh khối, giảm hấp thu chất dinh dưỡng từ rễ, ức chế quang hợp và thoát hơi nước. Niken ở nồng độ thấp đóng vai trò thiết yếu trong thực vật, vi khuẩn và nấm;

Bảng 2. Hàm lượng kim loại từ tro và than

Kim loại nặng	Đơn vị	Mẫu tro	Mẫu than	Ngưỡng chất thải nguy hại QCVN 07:2009/BTNMT
As	mg/kg	ND	ND	36.88
Hg	mg/kg	ND	ND	3.69
Pb	mg/kg	13.1	3.95	276.6
Cd	mg/kg	ND	ND	9.22
Ni	mg/kg	16.4	5.78	1291
Co	mg/kg	Lower 3.0	ND	1475
Sb	mg/kg	ND	ND	18.44
Cr	mg/kg	29.9	11.6	-
Sn	mg/kg	ND	ND	-
Mn	mg/kg	557	189	-
Ti	mg/kg	444	147	-
Cu	mg/kg	32.4	13.4	-

* Ghi chú: ND – Không phát hiện

Bảng 3. Đánh giá hàm lượng kim loại nặng độc hại và tác động của chúng đến sự phát triển của cây trồng (Ashfaqe et al., 2016)

Kim loại nặng	Liều lượng	Ảnh hưởng sinh lý, chuyển hóa và năng suất cây trồng
Cd	200 mg CdCl ₂ /kg soil	Giảm quang hợp rỗng, hoạt động RuBisCo, tăng peroxid hóa lipid và hàm lượng H ₂ O ₂ .
	25, 50, 100 and 150 mg CdCl ₂ /kg soil	Giảm trọng lượng khô, diện tích lá, tốc độ quang hợp rỗng, hàm lượng chlorophyll và năng suất hạt
	25 and 50 μM/l CdCl ₂	Giảm quang hợp, tăng trưởng, huỳnh quang chlorophyll, diện tích lá, trọng lượng khô và tăng hoạt động enzyme chống oxy hóa.
Pb	150 – 1500 μM of Pb(C ₂ H ₃ O ₂) ₂	Suy giảm tăng trưởng, hàm lượng chlorophyll, carotenoid và mức proline.
As	5 – 50 μM Na ₂ AsO ₄	Ức chế sự nảy mầm của hạt và kìm hãm sự phát triển của cây.
	25 μM Na ₃ AsO ₃	Giảm phát triển rễ và chồi.
Cu	5 – 50 μM CuSO ₄ ·5H ₂ O	Giảm sự nảy mầm của hạt, ức chế tăng trưởng cây trồng và giảm chiều dài rễ và chồi.
Ni	200 μM NiSO ₄ /kg soil	Giảm quang hợp, hàm lượng chlorophyll, độ dẫn khí khổng, hàm lượng nitơ và hoạt động của các enzyme như RuBisCo và nitrate reductase.

do đó, thiếu niken có thể dẫn đến giảm tăng trưởng, nhiễm trùng lá và mô phân sinh, thay đổi quá trình chuyển hóa nitơ và giảm hấp thu sắt (Ahmad & Ashraf, 2012). Hàm lượng niken trong tro (16,4 ppm) cao hơn 2,8 lần so với trong than (5,78 ppm).

Mangan là một chất dinh dưỡng khoáng quan trọng cho cây trồng, đóng vai trò đáng kể trong nhiều quá trình sinh lý, đặc biệt là quang hợp (Rashed và cộng sự, 2019). Thiếu mangan thường gặp ở đất có pH trên 6 và ở các loại đất nhiệt đới bị phong hóa mạnh. Mangan rất quan trọng trong việc cải thiện khả năng chịu stress. Nồng độ giới hạn cho thiếu mangan thường dưới 20 ppm trong trọng lượng khô của lá non. Hàm lượng mangan trong tro (557 ppm) cao hơn 2,9 lần so với trong than (189 ppm).

Titan được coi là có lợi cho sự phát triển của cây trồng. Nó được hấp thụ qua rễ và lá, và được biết đến là cải thiện năng suất cây trồng bằng cách kích thích hoạt động enzyme, tăng hàm lượng chlorophyll và quang hợp, tăng cường hấp thụ chất dinh dưỡng, tăng khả năng chịu stress và cải thiện năng suất, chất lượng cây trồng. Titan được xem là có lợi ở nồng độ

thấp nhưng có thể gây hại ở nồng độ cao (Lyu et al., 2017).

Cuối cùng, đồng là một chất dinh dưỡng thiết yếu cho cây trồng, nhưng đồng quá mức có thể ảnh hưởng tiêu cực đến sự phát triển của cây. Hàm lượng đồng trong tro (32,4 ppm) cao hơn 2,4 lần so với trong than (13,4 ppm). Mặc dù đồng là một vi chất dinh dưỡng cần thiết cho cây trồng, nhưng dư thừa đồng là độc hại đối với hầu hết các loài thực vật (Shabbir et al., 2020).

Theo dữ liệu, hàm lượng kim loại trong tro và than từ quá trình đốt rác thải sinh hoạt đô thị đều dưới ngưỡng tuyệt đối được quy định bởi QCVN 07:2009/BTNMT (Quy chuẩn Kỹ thuật Quốc gia về Ngưỡng Chất thải Nguy hại). Do đó, các mẫu tro và than có thể được coi là không nguy hại đối với con người và môi trường (QCVN 07:2009/BTNMT, 2009). Sau khi sàng lọc, tỷ lệ tro so với than được xác định là 12% tro và 88% than. Tuy nhiên, nồng độ kim loại nặng trong tro cao hơn đáng kể so với trong than. Kết quả cho thấy sự tích lũy kim loại trong tro cao hơn khoảng 2,5 đến 3 lần so với trong than.

3.3. Đánh giá hàm lượng kim loại nặng độc hại và tác động của chúng đến sự phát triển của cây trồng

Các kim loại như Asen (As), Thủy ngân (Hg), Cadmium (Cd), Cobalt (Co), Antimon (Sb) và Thiếc (Sn) thường gây hại cho cây trồng khi tiếp xúc. Những kim loại này có ảnh hưởng xấu đến chức năng sinh lý và sinh hóa của cây, bao gồm ức chế sự phát triển, gây vàng lá, hoại tử, cuộn lá, thay đổi hoạt động của khí khổng, rối loạn chức năng màng tế bào, ức chế quang hợp và hô hấp, thay đổi quá trình chuyển hóa và hoạt động của các enzyme quan trọng (Ashfaqe et al., 2016). Nghiên cứu của Farha Ashfaqe và cộng sự nêu bật tác động của kim loại nặng lên cây trồng (Bảng 3).

Tuy nhiên, kết quả từ Bảng 2 cho thấy, cả tro và than đều không phát hiện được Asen (As), Thủy ngân (Hg), Cadmium (Cd), Cobalt (Co), Antimon (Sb) hoặc Thiếc (Sn). Đây là một lợi thế khi xem xét sử dụng tro và than trong các sản phẩm hỗ trợ sự phát triển của cây trồng. Hàm lượng chì trong tro và than lần lượt là 13,1 ppm và 3,95 ppm. Hàm lượng crom trong tro là 29,9 ppm, trong khi trong than là 11,6 ppm. Mặc dù nồng độ chì và crom trong cả tro và than đều thấp hơn đáng kể so với các tiêu chuẩn quy định, nhưng các kim loại này có hại cho cả con người và sinh vật, nên được xem xét cẩn thận khi sử dụng trong ứng dụng nông nghiệp (Pratush et al., 2018).

Dữ liệu phân tích cho thấy, hàm lượng chì trong tro cao hơn khoảng ba lần so với trong than, do đó tro có nguy cơ cao hơn so với than nếu được bổ sung vào đất với cùng lượng. Tương tự, hàm lượng crom trong tro cao hơn khoảng 2,5 lần so với trong than. Mặc dù crom có thể vừa có lợi vừa có hại, việc bổ sung đúng cách có thể thúc đẩy sự phát triển của cây trồng.

Bảng 4. Tiêu chí định lượng bắt buộc cho phân bón

Kim loại nặng	Ngưỡng giới hạn (100/2008/QĐ-BNN)
As	≤ 2,0 mg/kg hoặc ppm
Cd	≤ 2,5 mg/kg hoặc ppm
Pb	≤ 250,0 mg/kg hoặc ppm
Hg	≤ 2,0 mg/kg hoặc ppm

3.4. Đánh giá tiềm năng tái sử dụng tro và than từ lò đốt rác thải sinh hoạt cho mục đích nông nghiệp

Ngoài việc so sánh với các tiêu chuẩn chất thải nguy hại, xét theo các tiêu chí định lượng bắt buộc cho phân bón (bao gồm phân bón hữu cơ, hữu cơ-khoáng, vi sinh và sinh học hữu cơ được sản xuất từ rác thải đô thị, chất thải chế biến công nghiệp, chất thải thực phẩm, chất thải chăn nuôi và phân bón lá hữu cơ) theo Quyết định số 100/2008/QĐ-BNN của Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn quy định về sản xuất, kinh doanh và sử dụng phân bón", hàm lượng kim loại nặng trong cả tro và than không vượt quá giới hạn định lượng bắt buộc. Do đó, có tiềm năng cho việc sử dụng chúng trong nông nghiệp sau khi đáp ứng các yêu cầu quy định về thương mại hóa và sản xuất thử nghiệm chất thải.

Nghiên cứu cho thấy, mặc dù có sự hiện diện của kim loại nặng trong tro và than, nồng độ của chúng nằm trong giới hạn cho phép. Do đó, tro và than có thể được xem xét cho các ứng dụng nông nghiệp, cung cấp một cách bền vững để tái chế các vật liệu thải thành các chất cải tạo đất có giá trị (Campos et al., 2020; Ukwattage et al., 2013).

Tro, với hàm lượng cao các nguyên tố như Kali (K), Phốt pho (P), và Nitơ (N), phù hợp cho các loại cây có nhu cầu dinh dưỡng lớn như lúa, ngô, đậu tương và cây ăn trái (chuối, xoài, cam) nhằm cải thiện năng suất. Trong khi đó, than có cấu trúc xốp và khả năng giữ nước tốt, thích hợp cho các loại cây trồng trong đất cát hoặc đất thoát nước nhanh, như rau màu (xà lách, cải xanh), hoa (hoa hồng, hoa cúc) và cây cảnh.

Ngoài ra, tính kiềm của tro giúp trung hòa đất chua, đặc biệt hữu ích cho các khu vực có pH thấp. Điều này cho phép sử dụng tro trong canh tác cây công nghiệp như cà phê, chè, cao su, giúp duy trì độ pH ổn định và cung cấp dưỡng chất thiết yếu. Nhờ khả năng cải thiện cấu trúc đất và tăng khả năng giữ nước, than có thể hỗ trợ sự phát triển của các cây trồng ngắn ngày và cây rau trong nhà kính, góp phần tối ưu hóa nguồn nước, chất dinh dưỡng.



Để mở rộng và triển khai rộng rãi các công nghệ mới, cần xem xét và thực hiện các giải pháp khác nhau. Về mặt chính sách, cần có các chính sách phù hợp từ các cơ quan chính phủ hoặc tổ chức và cá nhân quan tâm đến việc sử dụng tro và than này (Munawar et al., 2021). Trước hết, các chính sách nên hỗ trợ doanh nghiệp hướng tới phát triển xanh và quản lý chất thải môi trường. Những chính sách này nên là trọng tâm ban đầu và tham chiếu để phù hợp với tinh thần "Tăng trưởng Xanh" quốc gia (Lorek & Spangenberg, 2014), khai thác tiềm năng của các cá nhân hoặc nhóm nhằm sử dụng loại chất thải tro và than này.

Để tối ưu hóa lượng tro và than có thể tái sử dụng, sự hỗ trợ từ doanh nghiệp hoặc chính phủ là cần thiết. Hơn nữa, các chính sách khuyến khích phân loại rác tại nguồn nên được tăng cường. Hạn chế chính của quá trình này là thu gom đúng cách rác thải theo thành phần để đảm bảo nguồn nguyên liệu đầu vào ổn định, tránh các yếu tố có hại trong sản phẩm cuối cùng. Cần rút kinh nghiệm từ các chính sách và chương trình đã được tổ chức ở Việt Nam trước đây để tránh những sai lầm dẫn đến kết quả không như mong đợi, chẳng hạn như "Dự án 3R" (Mohammed et al., 2020).

4. Kết luận

Phân tích tro và than từ lò đốt rác thải sinh hoạt bằng công nghệ khí hóa cho thấy cả hai đều chứa hàm lượng N, P và K cao, có lợi cho việc cải thiện độ phì nhiêu của đất. Tuy nhiên, tro có nồng độ kim loại nặng cao hơn so với than, với tỷ lệ 12% tro và 88% than trong các mẫu. Dù có sự hiện diện của kim loại nặng, các nồng độ này vẫn nằm trong giới hạn cho phép theo QCVN 07:2009/BTNMT, giúp phân loại tro và than là chất thải không nguy hại, có tiềm năng tái sử dụng trong nông nghiệp nếu được quản lý đúng cách. Việc ứng dụng này không chỉ giảm phụ thuộc vào phân bón hóa học, hạ thấp chi phí sản xuất mà còn giảm thiểu tác động tiêu cực từ quản lý chất thải. Nghiên cứu nhấn mạnh tiềm năng phát triển kinh tế tuần hoàn bền vững thông qua việc biến chất thải thành

tài nguyên, hứa hẹn đóng góp tích cực vào nông nghiệp và BVMT trong tương lai.

Mặc dù nghiên cứu đã cung cấp dữ liệu chi tiết về thành phần dinh dưỡng và kim loại nặng trong tro và than từ lò đốt rác thải sinh hoạt, một số hạn chế vẫn tồn tại. Thứ nhất, phạm vi mẫu thu thập giới hạn trong một địa điểm cụ thể và thời gian nhất định có thể chưa đại diện đầy đủ cho sự biến động theo thời gian và địa điểm khác nhau. Thứ hai, nghiên cứu tập trung vào việc phân tích thành phần hóa học mà chưa đánh giá sâu về các tác động lâu dài của tro và than đến hệ sinh thái đất và năng suất cây trồng qua nhiều vụ. Ngoài ra, các thử nghiệm thực địa ở quy mô lớn nhằm kiểm chứng hiệu quả và an toàn của việc sử dụng tro và than vẫn chưa được triển khai, hạn chế khả năng áp dụng ngay vào thực tế. Dựa trên kết quả nghiên cứu, các hướng đi mới có thể tập trung vào việc đánh giá dài hạn tác động của tro và than đối với các loại cây trồng và môi trường đất trong nhiều mùa vụ. Ngoài ra, nghiên cứu cần được mở rộng để xem xét sự kết hợp của tro và than với các loại phân bón hữu cơ và vi sinh nhằm tối ưu hóa hiệu quả sử dụng. Việc phát triển các quy trình xử lý bổ sung cho tro và than để giảm thiểu tối đa dư lượng kim loại nặng cũng là một hướng quan trọng. Nghiên cứu thêm về tiềm năng tích hợp tro và than trong các hệ thống canh tác khép kín hoặc nông nghiệp công nghệ cao cũng hứa hẹn mang lại giá trị mới, đồng thời góp phần phát triển mô hình kinh tế tuần hoàn bền vững.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả xin cảm ơn Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, đã cung cấp thời gian và cơ sở vật chất cần thiết cho nghiên cứu này; cảm ơn Trường Đại học Nguyễn Tất Thành đã hỗ trợ một phần địa điểm và thiết bị cho các thí nghiệm. Nhóm nghiên cứu trân trọng sự tham gia và hỗ trợ trong cuộc khảo sát được thực hiện bởi sinh viên Nguyễn Bình Thảo Nhi từ Khoa Môi trường và Tài nguyên tại Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Ahmad, M. S. A., & Ashraf, M. (2012). Essential roles and hazardous effects of nickel in plants. *Reviews of environmental contamination and toxicology*, 125-167.
2. Ashfaq, F., Inam, A., Sahay, S., & Iqbal, S. (2016). Influence of heavy metal toxicity on plant growth, metabolism and its alleviation by phytoremediation-a promising technology. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 1-19.
3. Campos, P., Miller, A. Z., Knicker, H., Costa-Pereira, M. F., Merino, A., & De la Rosa, J. M. (2020). Chemical, physical and morphological properties of biochars produced from agricultural residues: Implications for their use as soil amendment. *Waste management*, 105, 256-267.
4. García, R., & Báez, A. (2012). Atomic absorption spectrometry (AAS). *Atomic absorption spectroscopy*, 1, 1-13.
5. Hafeez, A., Rasheed, R., Ashraf, M. A., Qureshi, F. F., Hussain, I., & Iqbal, M. (2023). Effect of heavy metals on growth, physiological and biochemical responses of plants. In *Plants and their interaction to environmental pollution* (pp. 139-159). Elsevier.
6. Huyen, D. T. T., & Tram, L. T. B. (2019). Development of a procedure for evaluating the impacts of the accidental emission of hazardous chemicals, case study in Ho Chi Minh City, Vietnam. *Environmental Management*, 63(4), 486-494.
7. Khan, M. R., & Wajid, M. (1996). The effect of fly ash on plant growth and yield of tomato. *Environmental Pollution*, 92(2), 105-111.
8. Kishor, P., Ghosh, A., & Kumar, D. (2010). Use of fly ash in agriculture: A way to improve soil fertility and its productivity. *Asian Journal of Agricultural Research*, 4(1), 1-14.
9. Lavane, K., Minh, T. N. N., Thu, D. T. C., Le, N. T. T., & Ngan, N. T. C. (2018). Reusing honeycomb coal slag as buffer material in the biological filtration system to treat household domestic wastewater (Vietnamese version). *Journal of Agricultural Science and Technology* 2, 693-704.
10. Lorek, S., & Spangenberg, J. H. (2014). Sustainable consumption within a sustainable economy—beyond green growth and green economies. *Journal of Cleaner Production*, 63, 33-44.
11. Lyu, S., Wei, X., Chen, J., Wang, C., Wang, X., & Pan, D. (2017). Titanium as a beneficial element for crop production. *Frontiers in plant science*, 8, 597.
12. Mohammed, M., Shafiq, N., Abdallah, N., Ayoub, M., & Haruna, A. (2020). A review on achieving sustainable construction waste management through application of 3R (reduction, reuse, recycling): A lifecycle approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
13. Munawar, M. A., Khoja, A. H., Naqvi, S. R., Mehran, M. T., Hassan, M., Liaquat, R., & Dawood, U. F. (2021). Challenges and opportunities in biomass ash management and its utilization in novel applications. *Renewable and sustainable energy reviews*, 150, 111451.
14. Ngo, T. M., & Bui, Q. L. (2015). Study the nature, componet and proposal how to use ash form domestic waste by burner generate. *Journal of hydraulic engineering and environment*, 48, 50 - 56.
15. Nguyen, L. H., Tran, T. V. N., Hoang, M. G., Nguyen, H. G., Tong, T. K., Isobe, Y., Kawasaki, M., Ishigaki, T., & Kawamoto, K. (2023). Material and monetary flows of construction and demolition waste and assessment on physical and environmental properties of illegally dumped construction and demolition waste in Hanoi. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(60), 125965-125976.
16. Page, A., Elseewi, A. A., & Straughan, I. (1979). Physical and chemical properties of fly ash from coal-fired power plants with reference to environmental impacts. In *Residue Reviews* (pp. 83-120). Springer.
17. Pratush, A., Kumar, A., & Hu, Z. (2018). Adverse effect of heavy metals (As, Pb, Hg, and Cr) on health and their bioremediation strategies: a review. *International Microbiology*, 21, 97-106.
18. QCVN01-189:2019/BNNPTNT. (2019). National technical regulation on fertilizer quality. Plant Protection Department, Department of Science, Technology and Environment.
19. QCVN07:2009/BTNMT. (2009). National Technical Regulation on Hazardous Waste Thresholds. Vietnam Environment Administration, Department of Science and Technology, Department of Legal Affairs.
20. Rashed, M., Hoque, T., Jahangir, M., & Hashem, M. (2019). Manganese as a micronutrient in agriculture: crop requirement and management. *Journal of Environmental Science and Natural Resources*, 12(1-2), 225-242.
21. Rashid, A., Schutte, B. J., Ulery, A., Deyholos, M. K., Sanogo, S., Lehnhoff, E. A., & Beck, L. (2023). Heavy metal contamination in agricultural soil: environmental pollutants affecting crop health. *Agronomy*, 13(6), 1521.
22. Shabbir, Z., Sardar, A., Shabbir, A., Abbas, G., Shamshad, S., Khalid, S., Murtaza, G., Dumat, C., & Shahid, M. (2020). Copper uptake, essentiality, toxicity, detoxification and risk assessment in soil-plant environment. *Chemosphere*, 259, 127436.
23. Tun, M. M., Palacky, P., Juchelkova, D., & Sitař, V. (2020). Renewable Waste-to-Energy in Southeast Asia: Status, Challenges, Opportunities, and Selection of Waste-to-Energy Technologies. *Applied Sciences*, 10(20), 7312.
24. Ukwattage, N. L., Ranjith, P., & Bouazza, M. (2013). The use of coal combustion fly ash as a soil amendment in agricultural lands (with comments on its potential to improve food security and sequester carbon). *Fuel*, 109, 400-408.
25. Van, P. (2019). Waste treatment in the direction of burning and generating electricity (Vietnamese version) Sai Gon Giai Phong online Enviroment. View from <<https://www.sggp.org.vn/xu-ly-rac-thai-theo-huong-dot-phat-dien-606816.html>>.