

NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ Ô NHIỄM KIM LOẠI NẶNG VÀ TÁC ĐỘNG TIỀM TÀNG ĐẾN ĐẤT NÔNG NGHIỆP VÀ SỨC KHỎE NGƯỜI DÂN TẠI CÁC KHU VỰC KHAI THÁC MỎ Ở TỈNH THÁI NGUYÊN

Phạm Hoàng Nam¹*, Nguyễn Thị Thu Hiền², Bùi Văn Hối¹

¹*Trường Đại học Khoa học và Công nghệ Hà Nội, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam*

²*Viện Công nghệ Sinh học và Công nghệ Thực phẩm, Trường Đại học Mở Hà Nội*

*Email: pham-hoang.nam@usth.edu.vn

TÓM TẮT

Khai thác khoáng sản mang lại giá trị kinh tế không thể phủ nhận, tuy nhiên hoạt động này đã và đang là nguyên nhân chính dẫn đến ô nhiễm môi trường tại các địa điểm lân cận khu vực khai thác. Nghiên cứu này đánh giá mức độ ô nhiễm kim loại nặng (KLN) trong đất tại các khu vực khai thác mỏ và đất nông nghiệp lân cận ở tỉnh Thái Nguyên. Mẫu đất được thu thập từ bốn địa điểm: Mỏ chì - kẽm Tân Long, mỏ thiếc Hà Thượng, mỏ sắt Trại Cau và thành phố Thái Nguyên. Các kim loại nặng bao gồm: Asen (As), kẽm (Zn), đồng (Cu), cadmium (Cd), chì (Pb) được phân tích bằng phương pháp quang phổ nguồn plasma cảm ứng cao tần kết nối khối phổ (ICP-MS). Kết quả cho thấy, mức độ ô nhiễm KLN bảo động, vượt QCVN 03-MT:2015/BTNMT, đặc biệt tại 3 địa điểm khai thác mỏ. Nồng độ chì đạt 38.441,6 mg/kg tại Trại Cau (vượt tiêu chuẩn 128 lần), cadmium đạt 172,9 mg/kg tại Hà Thượng (vượt 17 lần), kẽm đạt 40.124,9 mg/kg tại Trại Cau (vượt 133 lần). Không có sự khác biệt đáng kể về nồng độ KLN giữa đất mỏ và đất nông nghiệp lân cận ($p > 0,05$), cho thấy sự lan truyền ô nhiễm. So sánh với các nghiên cứu trước đây cho thấy, xu hướng ô nhiễm tăng theo thời gian tại nhiều địa điểm. Phát hiện này cho thấy những lo ngại về môi trường và sức khỏe, bao gồm khả năng tích lũy sinh học trong chuỗi thức ăn và tác động đến năng suất nông nghiệp. Nghiên cứu đề xuất thiết lập vùng đệm giữa khu vực khai thác và nông nghiệp, áp dụng các kỹ thuật xử lý đất, giám sát nồng độ KLN và nâng cao nhận thức cộng đồng về các rủi ro sức khỏe liên quan.

Từ khóa: Đất nông nghiệp, ICP-MS, kim loại nặng, khai thác mỏ, ô nhiễm.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vấn đề ô nhiễm KLN trong môi trường đã và đang là mối quan tâm hàng đầu của cộng đồng khoa học toàn cầu kể từ thế kỷ trước, đặc biệt là tại các quốc gia đang phát triển như Việt Nam. Mặc dù các nguyên tố như kẽm (Zn), đồng (Cu) và chì (Pb) vốn tồn tại một cách tự nhiên trong vỏ trái đất và đóng vai trò quan trọng trong các chu trình địa hóa, nhưng sự gia tăng nồng độ của chúng trong nhiều hệ sinh thái đã vượt quá ngưỡng cho phép, dẫn đến những tác động độc hại đối với sinh vật sống. Sự gia tăng bất thường này chủ yếu bắt nguồn từ các hoạt động nhân sinh, bao gồm: Hoạt động khai thác mỏ kim loại, thải chất thải công

ngiệp nặng, việc sử dụng các hóa chất trong canh tác nông nghiệp với quy mô lớn [1, 2, 3].

Tỉnh Thái Nguyên nằm ở vùng Đông Bắc Việt Nam, được biết đến như một trung tâm khai thác khoáng sản quan trọng của quốc gia, với các hoạt động khai thác than và quặng kim loại quý mô lớn. Mặc dù những hoạt động khai thác này đã đóng góp đáng kể vào sự phát triển kinh tế địa phương và tạo ra nhiều việc làm cho người dân trong khu vực, nhưng đồng thời cũng gây ra những hậu quả môi trường không thể tránh khỏi. Các tác động này bao gồm: Sự suy thoái chất lượng đất, ô nhiễm nguồn nước ngầm, sự suy giảm đáng kể đa dạng sinh học, phần lớn do việc áp dụng công nghệ khai

thác lạt hậu và thiếu các biện pháp xử lý sơ bộ đạt tiêu chuẩn [2], [4], [5]. Là một trong những thủ phủ của ngành công nghiệp khai khoáng, tỉnh Thái Nguyên hiện đang quản lý hàng trăm điểm khai thác, bao gồm: Đá vôi, đất sét, than, quặng sắt, đolômit, cũng như các mỏ KLN như titan (Ti), vonfram (W), Pb, thiếc (Sn), vàng (Au), trong đó riêng sắt đã phát hiện trên 49 triệu tấn tại 42 điểm mỏ, sản lượng đã khai thác là 9,42 triệu tấn, khẳng định vị thế quan trọng của tỉnh Thái Nguyên trong ngành công nghiệp khai khoáng quốc gia. Các nghiên cứu khoa học gần đây đã cảnh báo về tình trạng ô nhiễm môi trường đáng lo ngại tại các khu vực khai thác. Cụ thể, nồng độ của nhiều KLN độc hại như: Chì (Pb), cadmium (Cd), kẽm (Zn), asen (As), thủy ngân (Hg) trong các mẫu đất và nước được phân tích đã vượt xa ngưỡng giới hạn cho phép theo các quy chuẩn môi trường hiện hành. Tình trạng này không chỉ gây ra những tác động tiêu cực trực tiếp đến hệ sinh thái địa phương, mà còn tiềm ẩn những rủi ro đối với sức khỏe của cộng đồng dân cư sinh sống trong vùng lân cận các khu vực khai thác [1, 3, 4, 6].

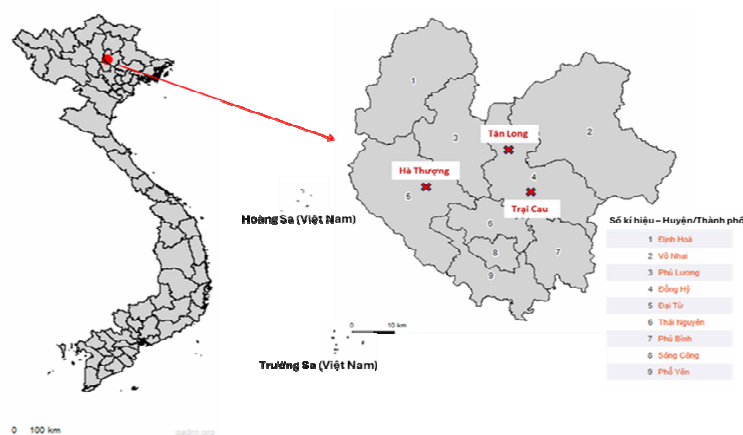
Hơn nữa, sự tích tụ KLN trong môi trường còn có thể gây ra hiện tượng sinh tích lũy trong chuỗi thức ăn, khi các KLN được hấp thụ bởi thực vật và tích tụ dần qua các bậc dinh dưỡng, cuối cùng có thể đạt đến nồng độ gây độc cho người tiêu dùng. Đặc biệt, việc canh tác nông nghiệp trên các vùng đất bị ô nhiễm KLN có thể dẫn đến sự tích lũy các chất độc hại trong các sản phẩm nông nghiệp, gây ảnh hưởng trực tiếp đến an toàn thực phẩm và sức

khỏe cộng đồng [7], [8], [9], [10]. Trước những thách thức này, việc triển khai các giải pháp quản lý môi trường hiệu quả và áp dụng công nghệ khai thác tiên tiến, thân thiện với môi trường trở nên cấp thiết hơn bao giờ hết. Đồng thời, cần tăng cường công tác giám sát môi trường, đánh giá tác động và thực hiện các biện pháp phục hồi sinh thái tại các khu vực bị ảnh hưởng, nhằm đảm bảo sự phát triển bền vững của ngành công nghiệp khai khoáng tại tỉnh Thái Nguyên nói riêng và Việt Nam nói chung... Do đó, nghiên cứu này nhằm cập nhật, đánh giá mức độ ô nhiễm KLN trong đất mỏ và đất nông nghiệp ở lân cận các khu vực khai thác mỏ của tỉnh Thái Nguyên bằng phương pháp quang phổ nguồn plasma cảm ứng cao tần kết nối khối phổ (ICP-MS), từ đó cung cấp cơ sở khoa học cho việc quản lý môi trường và bảo vệ sức khỏe cộng đồng.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Địa điểm nghiên cứu và phương pháp lấy mẫu

Mẫu đất được thu thập từ 4 địa điểm: Mỏ chì - kẽm Tân Long (huyện Đồng Hỷ), mỏ thiếc Hà Thượng (huyện Đại Từ), mỏ sắt Trại Cau (huyện Đồng Hỷ) và thành phố Thái Nguyên (Hình 1). Tại mỗi địa điểm, các mẫu được lấy ngẫu nhiên theo phương pháp tiêu chuẩn ở tầng mặt từ khu vực khai thác mỏ (đất mỏ) và vùng đất nông nghiệp lân cận đất mỏ trong phạm vi 50 m và được lặp lại 5 lần [11].



Hình 1. Vị trí của Thái Nguyên trên bản đồ Việt Nam và các địa điểm lấy mẫu nghiên cứu

2.2. Phương pháp phân tích hàm lượng kim loại trong đất

Nồng độ các kim loại trong các mẫu đất đã được phân tích bằng phương pháp ICP-MS [6]. Cụ thể, mỗi 0,5 g mẫu đất sau khi sấy khô được phân giải bằng hỗn hợp gồm: 3 ml H₂SO₄ đặc 95%, 10 giọt HClO₄ và 10 ml HNO₃ đặc. Sau đó, các mẫu được nung nóng từ 150 - 200°C cho đến khi dung dịch trong suốt. Dung dịch phân hủy được để nguội đến nhiệt độ phòng, được lọc bằng giấy định lượng (Whatman, 11 µm) để loại bỏ cát. Các cặn sau đó được làm đầy đến 25 ml bằng nước mili-Q với 2% HNO₃ và được bảo quản trong tủ lạnh cho đến khi phân tích. Phân tích được thực hiện bởi ICP-MS (Perkin Elmer ELAN 9000, Perkin Elmer Sciex Penlivia Canada). Các điều kiện ICP-MS là công suất RF: 1.300 W, lưu lượng khí plasma: 16 L/phút, lưu lượng khí phụ: 1,25 L/phút, lưu lượng khí phun sương: 0,9 L/phút, máy phun sương: Dòng chảy chéo, buồng phun: Khí kép PFA, ion theo dõi M/z (Pb: 208, Zn: 66, Cu: 63, Cd: 111, As: 75, Fe: 57). Việc định lượng được đo bằng đường chuẩn bên ngoài được chuẩn bị từ chất chuẩn hiệu chuẩn đa gia tốc ICP có độ tinh khiết cao (Perkin Elmer Life, Analytical Sciences).

2.3. Phương pháp phân tích số liệu

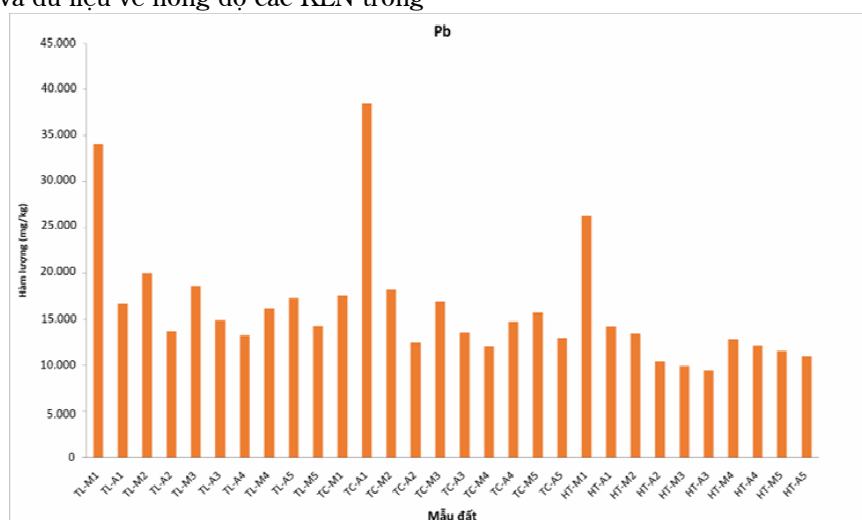
Các mẫu được thực hiện với độ lặp lại 5 lần tại mỗi địa điểm và dữ liệu về nồng độ các KLN trong

đất được xử lý và minh họa dưới dạng mg/kg đất khô. Sự khác nhau về nồng độ của từng kim loại giữa các địa điểm với nhau và giữa nhóm đất mở và đất canh tác lân cận được đánh giá dựa trên phân tích ANOVA (Analysis of Variances) và kiểm định Tukey HSD (Honest Significant Difference) trên R Studio phiên bản v2024.04.2+764 trên nền tảng R3.6.0 (<https://www.r-project.org/>).

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

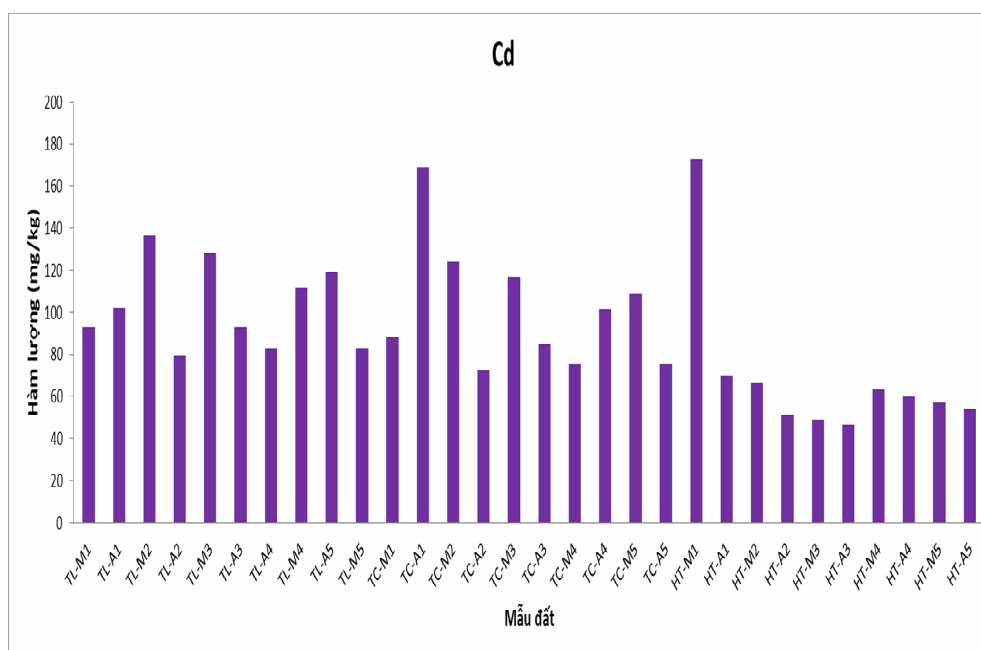
3.1. Sự tích lũy KLN trong đất tại các địa điểm nghiên cứu

Kết quả phân tích cho thấy, 3 địa điểm bao gồm: Mỏ chì - kẽm Tân Long, mỏ thiếc Hà Thượng và mỏ sắt Trại Cau đều có nồng độ KLN vượt ngưỡng cho phép theo QCVN 03:2015/BTNMT [12]. Đặc biệt, nồng độ của chì cao nhất được ghi nhận tại mỏ Trại Cau, với 38.441,6 mg/kg (mẫu TC-A1), vượt hơn 100 lần so với ngưỡng cho phép (300 mg/kg) (Hình 2). Tương tự, nồng độ cadmium (Cd) tại cả 3 địa điểm này đều vượt mức cho phép (10 mg/kg), với giá trị cao nhất đạt 172,9 mg/kg tại mỏ Hà Thượng (mẫu HT-M1), gấp khoảng 17 lần ngưỡng quy định (Hình 3). Nồng độ kẽm tại các địa điểm đều đáng báo động, cao nhất tại mỏ Trại Cau với 40.124,9 mg/kg (mẫu TC-A1), vượt gấp hơn 130 lần so với ngưỡng cho phép (300 mg/kg) (Hình 4). Nồng độ arsen cũng vượt nhiều lần so với QCVN 03:2015/BTNMT [12] (Hình 5).



Hình 2. Hàm lượng chì trong các mẫu đất nghiên cứu

(TL-M: Đất mở Tân Long, TL-A: Đất lân cận mỏ Tân Long; TC-M: Đất mở Trại Cau, TC-A: Đất lân cận mỏ Trại Cau; HT-M: Đất mở Hà Thượng, HT-A: Đất lân cận mỏ Hà Thượng)



Hình 3. Hàm lượng cadmium trong các mẫu đất nghiên cứu

(TL-M: Đất mở Tân Long, TL-A: Đất lân cận mở Tân Long; TC-M: Đất mở Trại Cau, TC-A: Đất lân cận mở Trại Cau; HT-M: Đất mở Hà Thượng, HT-A: Đất lân cận mở Hà Thượng)

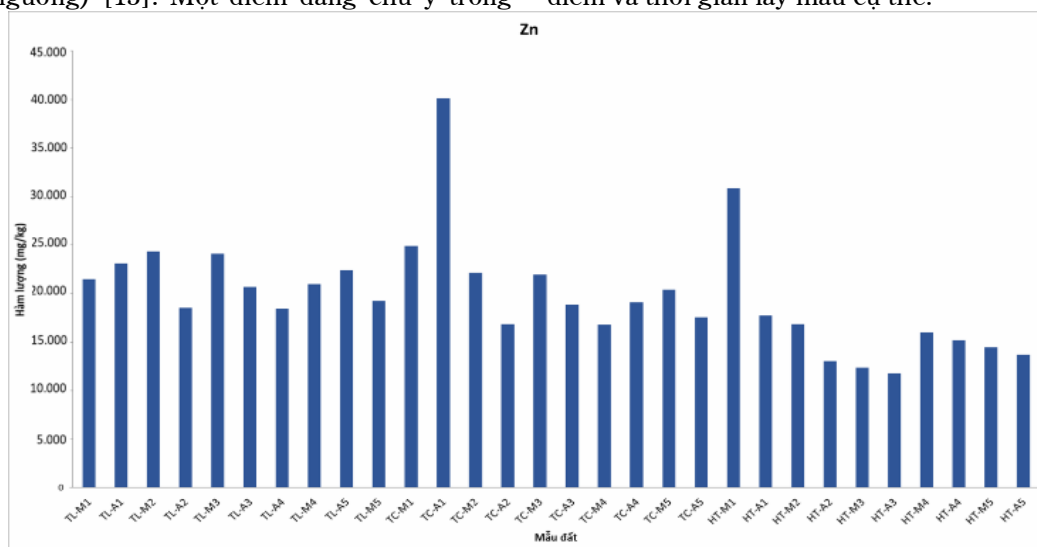
Một phát hiện đáng chú ý là không có sự khác biệt đáng kể về nồng độ KLN giữa đất mở và đất nông nghiệp lân cận tại cùng một địa điểm, trừ đối với Zn, Pb và Cd ở mở Hà Thượng (phân tích ANOVA kèm theo thử nghiệm Tukey HSD, $p > 0,05$) (Hình 6). Điều này trái ngược với kỳ vọng rằng, nồng độ KLN trong đất mở sẽ cao hơn so với đất nông nghiệp. Kết quả này cho thấy, sự lan truyền ô nhiễm từ khu vực khai thác mỏ đến các vùng đất nông nghiệp lân cận, có thể thông qua quá trình rửa trôi, gió cuốn bụi, hoặc nước mặt và nước ngầm. Một nguyên nhân khác, có thể do khoảng cách giữa điểm lấy mẫu đất mở và đất nông nghiệp lân cận khá nhỏ, chỉ là 20 m, do đó có thể thấy, các vùng đất nông nghiệp cận kề mỏ có thể bị ảnh hưởng trực tiếp bởi ô nhiễm kim loại. Ví dụ, tại mở Tân Long, nồng độ trung bình của chì trong đất mở là 20.655,5 mg/kg và trong đất nông nghiệp là 15.197,6 mg/kg. Tương tự, nồng độ trung bình của Zn trong đất mở là 22.026 mg/kg và trong đất nông nghiệp là 20.638,8 mg/kg. Tại mở Trại Cau, nồng độ trung bình của Pb trong đất mở là 16.255,6 mg/kg và trong đất nông nghiệp là 16.997,6 mg/kg, thậm chí còn cao hơn một chút so với đất mở. Những số liệu này minh họa cho sự lan

truyền ô nhiễm KLN từ khu vực khai thác mỏ đến vùng đất nông nghiệp xung quanh.

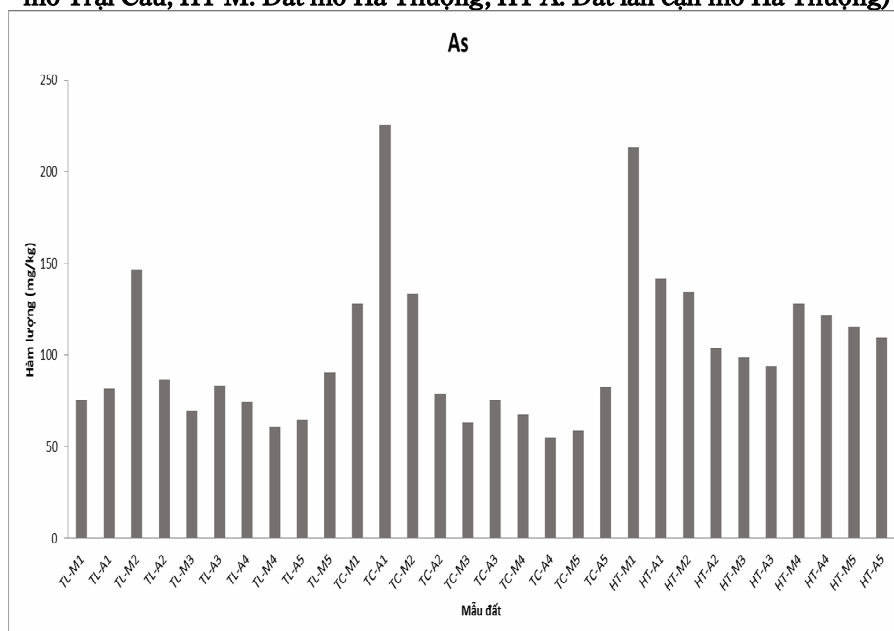
Kết quả này có sự khác biệt đáng kể về nồng độ một số KLN tại địa điểm Hà Thượng sau khoảng 5 năm theo các công bố trước đây. Cụ thể, nồng độ Pb đã tăng từ 600 mg/kg lên 26.239 mg/kg, trong khi nồng độ Cu lại giảm đáng kể từ 3.150 mg/kg xuống còn 32 mg/kg, dù vị trí lấy mẫu là tương đối giống nhau [3]. Điều này cho thấy, có sự thay đổi về tính chất ô nhiễm KLN theo thời gian, có thể do sự thay đổi trong hoạt động khai thác mỏ, các quá trình địa hóa tự nhiên, hoặc các biện pháp quản lý môi trường khác nhau được áp dụng trong khoảng thời gian này. Với địa điểm Tân Long, nghiên cứu của Chu Thi Thu Ha (2011) [13] cho thấy sự tương đồng đáng kể. Tại khu vực khai thác và chế biến quặng kẽm/chì ở Tân Long, cả hai nghiên cứu đều ghi nhận nồng độ cao bất thường của các KLN, đặc biệt là Pb và Cd. Dữ liệu từ nghiên cứu này chỉ ra rằng, hàm lượng Pb tại khu vực Tân Long dao động từ 13.290 - 34.104 mg/kg, vượt qua giới hạn cho phép của QCVN 03:2015/BTNMT đối với đất công nghiệp (300 mg/kg) hơn 100 lần [12]. Điều này phù hợp với kết quả trong nghiên cứu trước

đó, nơi ghi nhận nồng độ Pb tại khu vực bãi thải cũ dao động từ 1.100 - 13.000 mg/kg, vượt tiêu chuẩn an toàn của Việt Nam từ 15,7 - 185,7 lần. Tương tự, nồng độ Cd trong nghiên cứu này đạt mức từ 79,7 - 136,3 mg/kg, cao hơn nhiều so với ngưỡng cho phép (10 mg/kg), điều này cũng tương đồng với kết quả trước đây (5,7 - 30,5 lần vượt ngưỡng) [13]. Một điểm đáng chú ý trong

nghiên cứu này là không có sự khác biệt đáng kể về nồng độ KLN giữa đất khu vực khai thác và đất nông nghiệp ($p > 0,05$), trái ngược với kết quả nghiên cứu của Chu Thi Thu Ha (2011) [13], theo đó khu vực đất vườn gần bãi thải có nồng độ Pb và Cd thấp hơn nhiều so với trung tâm mỏ. Sự khác biệt này có thể do phương pháp lấy mẫu, địa điểm và thời gian lấy mẫu cụ thể.



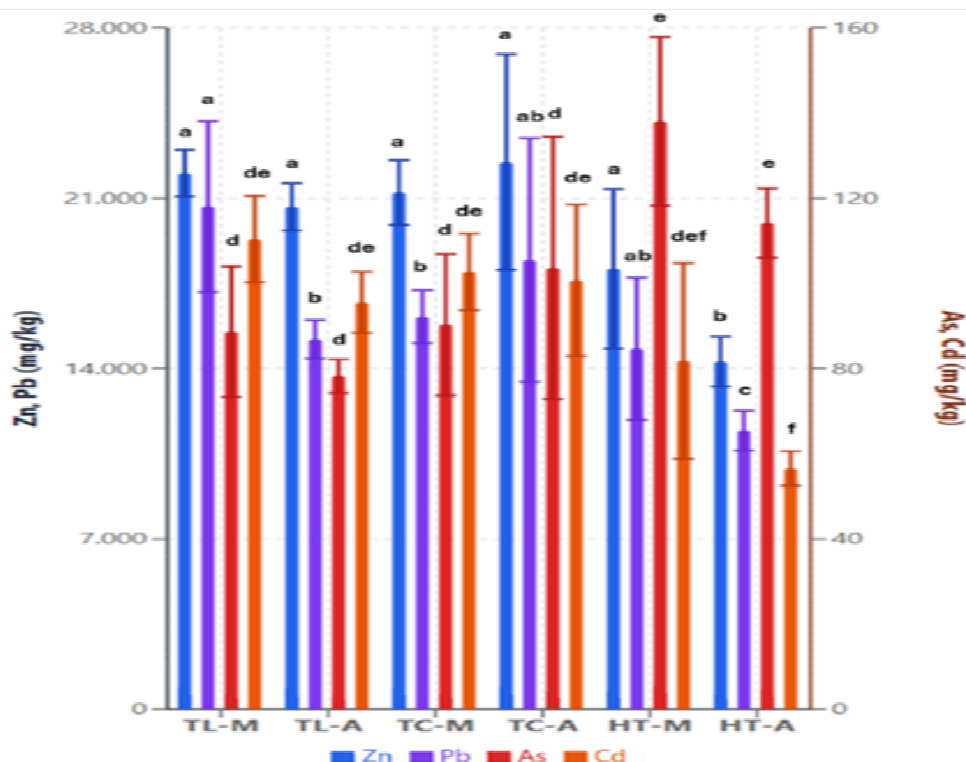
Hình 4. Hàm lượng kẽm trong các mẫu đất nghiên cứu
(TL-M: Đất mở Tân Long, TL-A: Đất lân cận mỏ Tân Long; TC-M: Đất mở Trại Cau, TC-A: Đất lân cận mỏ Trại Cau; HT-M: Đất mở Hà Thượng, HT-A: Đất lân cận mỏ Hà Thượng)



Hình 5. Hàm lượng asen trong các mẫu đất nghiên cứu
(TL-M: Đất mở Tân Long, TL-A: Đất lân cận mỏ Tân Long; TC-M: Đất mở Trại Cau, TC-A: Đất lân cận mỏ Trại Cau; HT-M: Đất mở Hà Thượng, HT-A: Đất lân cận mỏ Hà Thượng)

Kết quả phân tích đất tại mỏ sắt Trại Cau cho thấy mức ô nhiễm kim loại nặng nghiêm trọng hơn đáng kể so với nghiên cứu của Trần Thị Phả và cs (2010) [14]. Cụ thể, nồng độ Pb vượt QCVN 03:2015/BTNMT [12] 40 - 128 lần (so với 2,76 - 10,43 lần), Zn vượt 55 - 133 lần (so với 1,47 - 22,41 lần) và As vượt 2,2 - 9 lần (so với 1,17 - 2,75 lần) [14]. Đặc biệt, nồng độ Cd hiện tại vượt chuẩn 7,5 - 17 lần ở tất cả mẫu, trong khi kết quả nghiên cứu của Trần Thị Phả và cs (2010) [14] chỉ có một mẫu vượt 2,79 lần so với QCVN 03:2015/BTNMT [12]. Kết quả này cho thấy, tình trạng ô nhiễm KLN tại khu vực này đã gia tăng nghiêm trọng. Những khác biệt này có thể phản ánh sự gia tăng ô nhiễm theo thời gian, sự khác biệt về vị trí lấy mẫu cụ thể, hoặc có thể do phương pháp phân tích khác nhau. Nghiên cứu gần đây về ô nhiễm KLN tại các khu

vực khai thác mỏ ở tỉnh Thái Nguyên cho thấy sự tương đồng về xu hướng ô nhiễm nhưng khác biệt về mức độ. Cụ thể, nồng độ As trong nghiên cứu của Nguyễn Ngọc Sơn Hải và cs (2020) [15] lên đến 2.605 mg/kg, lớn hơn rất nhiều dữ liệu của nghiên cứu này, tuy nhiên nồng độ Pb lại thấp hơn khá nhiều (45 - 5.008 mg/kg so với 26.239,2 - 38.441,6 mg/kg). Đối với Zn, cả hai công bố đều ghi nhận nồng độ tương đương cao (30.865,6 - 40.124,9 ppm so với 64 - 31.789 mg/kg) [15]. Cả hai nghiên cứu có sự tương đồng về địa điểm (Hà Thượng, Trại Cau) và đều khẳng định tình trạng ô nhiễm đa kim loại nghiêm trọng tại các khu vực khai thác khoáng sản, với hàm lượng vượt xa ngưỡng cho phép theo QCVN 03-MT:2015/BTNMT với các mức độ khác nhau [12].



Hình 6. So sánh tổng hợp nồng độ các KLN trong từng mẫu ở các địa điểm nghiên cứu

Ghi chú: Các chữ cái khác nhau biểu hiện độ khác biệt có nghĩa ($p < 0,05$, phân tích ANOVA và Tukey HSD) trong hàm lượng từng kim loại giữa các mẫu (TL-M: Đất mỏ Tân Long, TL-A: Đất lân cận mỏ Tân Long; TC-M: Đất mỏ Trại Cau, TC-A: Đất lân cận mỏ Trại Cau; HT-M: Đất mỏ Hà Thượng, HT-A: Đất lân cận mỏ Hà Thượng).

Sự khác biệt về nồng độ KLN giữa nghiên cứu hiện tại và các nghiên cứu trước đây, cả trong nước và quốc tế, có thể được giải thích bởi nhiều yếu tố:

Các khu vực khai thác mỏ ở tỉnh Thái Nguyên có lịch sử khai thác lâu dài và thiếu các biện pháp kiểm soát ô nhiễm hiệu quả, dẫn đến sự tích lũy

KLN trong đất theo thời gian và sự lan truyền ô nhiễm ra môi trường xung quanh [4]. Ngoài ra, các điều kiện khí hậu tại Việt Nam, với lượng mưa cao và nhiệt độ cao, có thể thúc đẩy quá trình phong hóa và hòa tan các khoáng chất chứa KLN, dẫn đến sự giải phóng và lan truyền của chúng trong môi trường. Điều này khác với điều kiện khí hậu ôn đới tại châu Âu, nơi quá trình này diễn ra chậm hơn.

3.2. Tích lũy KLN và tác động đa chiều lên hệ sinh thái nông nghiệp

Sự ô nhiễm nghiêm trọng về KLN tại các địa điểm nghiên cứu, đặc biệt là sự lan truyền của chúng sang đất nông nghiệp lân cận, đặt ra những lo ngại lớn về an toàn thực phẩm và sức khỏe cộng đồng. KLN như Pb, Cd, Zn, As có thể được hấp thụ bởi cây trồng và tích lũy trong các bộ phận khác nhau của cây, bao gồm cả phần có thể ăn được. Quá trình này có thể dẫn đến sự tích tụ KLN trong chuỗi thức ăn, gây ra các vấn đề sức khỏe nghiêm trọng cho người tiêu dùng.

Chì (Pb) là một trong những KLN có nồng độ cao nhất tại tất cả các địa điểm nghiên cứu và vượt nhiều lần so với ngưỡng cho phép. Chì có thể ức chế quá trình sinh trưởng của cây trồng, làm giảm năng suất và gây ra các bệnh lý ở con người khi tích lũy trong cơ thể qua thời gian. Nghiên cứu của Flora và cs (2012); Sharma và Dubey (2005) đã chỉ ra rằng, chì có thể ức chế sự nảy mầm của hạt, làm giảm chiều cao cây và năng suất, ảnh hưởng đến quá trình quang hợp của cây trồng. Ở người, tiếp xúc lâu dài với chì có thể dẫn đến các vấn đề về thần kinh, thận và hệ thống tạo máu [16, 17].

Cadmium (Cd) được phát hiện với nồng độ cao tại các khu vực nghiên cứu, đặc biệt là tại mỏ Hà Thượng (lên đến 172,9 mg/kg). Cadmium được biết đến là một chất gây ung thư và có thể gây ra các vấn đề về thận và xương khi tích lũy trong cơ thể người [9]. Theo Rizwan và cs (2019) [8], cadmium có thể được hấp thụ dễ dàng bởi nhiều loại cây trồng, đặc biệt là các loại rau lá xanh và tích lũy trong các bộ phận có thể ăn được của cây. Điều này đặt ra mối lo ngại lớn về an toàn

thực phẩm cho cộng đồng dân cư sống gần các khu vực ô nhiễm [8].

Kẽm (Zn), mặc dù là một vi chất cần thiết cho sự phát triển của cây trồng, nhưng ở nồng độ cao được ghi nhận trong nghiên cứu này (lên đến hơn 40.000 mg/kg), có thể gây độc cho cây trồng và làm giảm đáng kể năng suất. Nghiên cứu của Rizwan và cs (2019) [8]; Broadley và cs (2007) [18] cho thấy, nồng độ kẽm cao trong đất có thể gây ra các triệu chứng như: Rễ ngắn và dày, lá vàng và chết mô, cuối cùng là làm giảm sinh trưởng và năng suất của cây trồng.

Asen (As) được phát hiện với nồng độ vượt ngưỡng cho phép tại hầu hết các địa điểm nghiên cứu, với giá trị cao nhất đạt 225,5 mg/kg tại mỏ Trại Cau (mẫu TC-A1). Asen là một chất độc mạnh, có thể gây ra nhiều vấn đề sức khỏe nghiêm trọng cho con người, bao gồm: Các bệnh về da, ung thư, các vấn đề về tim mạch và thần kinh [19], [20]. Nghiên cứu của Zhao và cs (2010) [20] đã chỉ rõ, As có thể được hấp thụ bởi nhiều loại cây trồng, đặc biệt là lúa gạo và tích lũy trong hạt.

Ngoài ra, sự hiện diện đồng thời của nhiều KLN có thể tạo ra hiệu ứng hiệp đồng, làm tăng độc tính của từng kim loại riêng lẻ. Nghiên cứu của Shahid và cs (2017) [21] đã phát hiện sự hiện diện đồng thời của cadmium và chì có thể làm tăng sự hấp thụ và độc tính của cả hai kim loại này đối với cây trồng. Điều này càng làm tăng mối lo ngại về tác động của ô nhiễm KLN đến hoạt động nông nghiệp tại các khu vực nghiên cứu. Sự lan truyền ô nhiễm từ khu vực khai thác mỏ đến vùng đất nông nghiệp xung quanh còn có thể dẫn đến sự suy giảm chất lượng đất về lâu dài. KLN có thể tồn tại trong đất trong thời gian dài và khó bị phân hủy, do đó việc phục hồi các vùng đất bị ô nhiễm sẽ đòi hỏi thời gian và chi phí đáng kể. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng, chi phí phục hồi đất bị ô nhiễm KLN có thể rất cao, đặc biệt là đối với các vùng đất có diện tích lớn và mức độ ô nhiễm cao [4, 7, 21, 22].

4. KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT

4.1. Kết luận

Ô nhiễm KLN tại 3 địa điểm khai thác mỏ ở tỉnh Thái Nguyên (mỏ chì - kẽm Tân Long, mỏ thiếc Hà Thượng và mỏ sắt Trại Cau), với nồng độ của nhiều KLN, đặc biệt là Pb, Cd, Zn, As vượt ngưỡng cho phép theo QCVN 03:2015/BTNMT nhiều lần. Phân tích dữ liệu không phát hiện sự khác biệt đáng kể về nồng độ KLN giữa đất mỏ và đất nông nghiệp lân cận, chứng minh sự lan truyền ô nhiễm từ khu vực khai thác. Kết quả này nhấn mạnh tính cấp thiết của các chiến lược quản lý môi trường hiệu quả cho hoạt động khai thác mỏ tại tỉnh Thái Nguyên.

4.2. Đề xuất

Thiết lập vùng đệm giữa khu vực khai thác và vùng nông nghiệp; áp dụng các biện pháp xử lý đất ô nhiễm như sử dụng chất cố định KLN, phương pháp rửa đất, hoặc các kỹ thuật sinh học; khuyến khích canh tác các loại cây không dùng làm thực phẩm trên đất ô nhiễm nặng; tăng cường giám sát nồng độ KLN trong đất và sản phẩm nông nghiệp; nâng cao nhận thức cộng đồng về nguy cơ sức khỏe liên quan đến ô nhiễm.

Việc bảo vệ đất nông nghiệp khỏi ô nhiễm KLN không chỉ đảm bảo tính bền vững của sản xuất nông nghiệp mà còn bảo vệ sức khỏe và an toàn của cộng đồng dân cư trong khu vực. Nghiên cứu cũng khuyến nghị các cơ quan quản lý nên thiết lập hệ thống giám sát môi trường liên tục và nâng cao hiệu quả thực thi các quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng đất. Bên cạnh đó, việc phát triển khung chính sách tổng thể bao gồm cơ chế hỗ trợ các biện pháp phục hồi môi trường và quản lý rủi ro sức khỏe cộng đồng là rất cần thiết.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 106.02-2019.23

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyen Ngoc Lien Nguyen, Bui Van Hoi, Pham Hoang Nam, To Hien Minh, Marie-

Geneviève Dijoux-Franca, Vu Cam Tu, Nguyen Thi Kieu Oanh (2022). Ionomics and metabolomics analysis reveal the molecular mechanism of metal tolerance of *Pteris vittata* L. dominating in a mining site in Thai Nguyen province, Vietnam. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(58): 87268 - 87280, doi: 10.1007/s11356-022-21820-8.

2. Bui Thi Kim Anh, Dang Dinh Kim, Nguyen Trung Kien, Tran Van Tua, Do Tuan Anh (2011). Phytoremediation potential of indigenous plants from Thai Nguyen province, Vietnam. *Journal of Environmental Biology*, 32(2): 257 – 262.

3. Hoang Nam Pham, Serge Michalet, Josselin Bodillis, Tien Dat Nguyen, Thi Kieu Oanh Nguyen, Thi Phuong Quynh Le, Mohamed Haddad, Sylvie Nazaret, Marie-Geneviève Dijoux-Franca (2017). Impact of metal stress on the production of secondary metabolites in *Pteris vittata* L. and associated rhizosphere bacterial communities. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(20): 16735 – 16750, doi: 10.1007/s11356-017-9167-2.

4. Bui Thi Kim Anh Bui, Dang Dinh Kim, Nguyen Trung Kien, Nguyen Ngoc Minh, Nguyen Quang Trung, Nguyen Hong Chuyen (2014). Phytoremediation of heavy metal polluted soil and water in Vietnam. *Journal of Vietnamese Environment*, 6(1): 47 – 51.

5. Pham Hoang Nam, Nguyen Quang Huy, Nguyen Thy Ngoc, Nguyen Thi Kieu Oanh, Bui Van Hoi, Nguyen Ngoc Lien, Nguyen Thi Thu Hien, Le Mai Huong, Nguyen Dinh Luyen, Nguyen Thi Huyen Thu, Tran Thi Hong Minh, Nguyen Tien Dat, Marie-Genevieve Dijoux-Franca (2022). Impact of metal contamination to the emergence of (multi) antibiotic resistant bacteria in Thai Nguyen, Vietnam. *Vietnam Journal of Biotechnology*, 20(1): 187 - 196, doi: 10.15625/1811-4989/13509.

6. Nguyen Ngoc Lien, Vu Cam Tu, To Hien Minh, Pham Hoang Nam, Nguyen Hai Dang,

- Nguyen Tien Dat, Nguyen Thi Kieu Oanh (2020). The interactions among the heavy metals in soils and in weeds and their antioxidant capacity under the mining activities in Thai Nguyen province, Vietnam. *Journal of Chemistry*, 1: 8010376, doi: 10.1155/2020/8010376.
7. R. A. Wuana, F. E. Okieimen (2011). Heavy metals in contaminated soils: A review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *ISRN Ecology*, 2011, 1 – 20, doi: 10.5402/2011/402647.
8. M. Rizwan, S. Ali, M. Z. U. Rehman, A. Maqbool (2019). A critical review on the effects of zinc at toxic levels of cadmium in plants. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(7): 6279 – 6289, doi: 10.1007/s11356-019-04174-6.
9. L. Järup, A. Åkesson (2009). Current status of cadmium as an environmental health problem. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 238(3): 201 – 208, doi: 10.1016/j.taap.2009.04.020.
10. Pham Hoang Nam, Pham Phuong Anh, Nguyen Thi Thu Huong, Guillaume Meiffren, Elisabeth Brothier, Isabelle Lamy, Serge Michalet, Marie-Geneviève Dijoux-Franca, Sylvie Nazaret (2018). Influence of metal contamination in soil on metabolic profiles of *Miscanthus x giganteus* belowground parts and associated bacterial communities. *Applied Soil Ecology*, 125: 240 – 249, doi: 10.1016/j.apsoil.2018.01.004.
11. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 7538-6:2010: Chất lượng đất - Lấy mẫu - Phần 6: Hướng dẫn về thu thập, xử lý và bảo quản mẫu đất ở điều kiện hiếu khí để đánh giá các quá trình hoạt động, sinh khối và tính đa dạng của vi sinh vật trong phòng thí nghiệm.
12. Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia QCVN 03-MT:2015/BTNMT về Giới hạn cho phép của một số kim loại nặng trong đất.
13. Chu Thi Thu Ha (2011). Survey on heavy metals contaminated soils in Thai Nguyen and Hung Yen provinces in Northern Vietnam. *Journal of Vietnamese Environment*, 1(1): 34 – 39, doi: 10.13141/jve.vol1.no1.pp34-39.
14. Trần Thị Phả, Hoàng Thị Mai Anh, Hà Thị Lan (2010). Đánh giá sự ô nhiễm kim loại nặng trong môi trường đất sau khai thác khoáng sản tại khu vực mỏ sắt Trại Cau, huyện Đồng Hỷ, tỉnh Thái Nguyên. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ*, 78(02): 93 – 96.
15. Nguyễn Ngọc Sơn Hải, Nguyễn Ngọc Nông, Nguyễn Khắc Giảng, Peter Sanderson, Ravi Naidu (2020). Sự tích lũy các kim loại nặng (As, Cd, Cu, Pb và Zn) trong đất bãi thải các mỏ khai thác khoáng sản tại tỉnh Thái Nguyên. *Tạp chí Khoa học Đất*, 59: 16 - 25.
16. G. Flora, D. Gupta, A. Tiwari (2012). Toxicity of lead: A review with recent updates. *Interdisciplinary Toxicology*, 5(2): 47 – 58, doi: 10.2478/v10102-012-0009-2.
17. P. Sharma, R. S. Dubey (2005). Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17, 35 – 52, doi: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202005000100004>.
18. M. R. Broadley, P. J. White, J. P. Hammond, I. Zelko, A. Lux (2007). Zinc in plants. *New Phytologist*, 173(4): 677 – 702, 2007, doi: 10.1111/j.1469-8137.2007.01996.x.
19. B. K. Mandal, K. T. Suzuki (2002). Arsenic round the world: A review. *Talanta*, 58(1): 201 – 235, doi: 10.1016/S0039-9140(02)00268-0.
20. F.-J. Zhao, S. P. McGrath, A. A. Meharg (2010). Arsenic as a food chain contaminant: Mechanisms of plant uptake and metabolism and mitigation strategies. *Annual Review of Plant Biology*, 61, 535 – 559, doi: 10.1146/annurev-arplant-042809-112152.
21. M. Shahid, C. Dumat, S. Khalid, N. K. Niazi, P. M. C. Antunes (2017). Cadmium bioavailability, uptake, toxicity and detoxification in soil-plant system. *Reviews of environmental contamination and toxicology*, 241, 73 – 137, doi: 10.1007/398_2016_8.

22. P. Sharma, S. Rai, K. Gautam, S. Sharma (2023). Chapter 11 - Phytoremediation strategies of plants: Challenges and opportunities in plants and their interaction to environmental pollution, A. Husen, Ed., Elsevier, 211 – 229, doi: 10.1016/B978-0-323-99978-6.00012-

STUDY OF HEAVY METAL CONTAMINATION AND ITS POTENTIAL IMPACT ON AGRICULTURAL SOILS AND HUMAN HEALTH IN MINING AREAS OF THAI NGUYEN PROVINCE

Pham Hoang Nam¹, Nguyen Thi Thu Hien², Bui Van Hoi¹

¹*Department of Life Sciences, University of Science and Technology of Hanoi, Vietnam Academy of Science and Technology*

²*Institute of Biological and Food Technology, Hanoi Open University*

Abstract

Mineral extraction generates undeniable economic benefits; however, this activity has been and continues to be a principal contributor to environmental contamination in the vicinity of mining operations. This study evaluated heavy metal contamination in soils from mining areas and adjacent agricultural lands in Thai Nguyen province. Soil samples were collected from four locations: Tan Long lead-zinc mine, Ha Thuong tin mine, Trai Cau iron mine and Thai Nguyen city. Heavy metals including arsenic (As), zinc (Zn), copper (Cu), cadmium (Cd), lead (Pb) were analyzed using Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS). Results showed alarming levels of heavy metals exceeding Vietnamese national technical regulations (QCVN 03-MT:2015/BTNMT), particularly at three mining sites. Lead concentrations reached 38,441.6 mg/kg at Trai Cau (exceeding standards by 128 times), cadmium reached 172.9 mg/kg at Ha Thuong (17 times above limits) and zinc reached 40,124.9 mg/kg at Trai Cau (133 times above limits). No significant difference was found between mining soils and adjacent agricultural soils ($p > 0.05$), indicating contamination spread. Comparison with previous studies showed increasing contamination trends over time at multiple sites. The findings highlight serious environmental and health concerns, including potential bioaccumulation in food chains and impacts on agricultural productivity. The study recommends establishing buffer zones between mining and agricultural areas, implementing soil remediation techniques, monitoring heavy metal concentrations, and raising community awareness about associated health risks.

Keywords: *Agricultural soil, ICP-MS, heavy metals, mining activities, pollution.*

Ngày nhận bài: 24/3/2025

Ngày chuyển phản biện: 28/3/2025

Ngày thông qua phản biện: 15/4/2025

Ngày duyệt đăng: 10/7/2025