

Khảo sát phương pháp lấy mẫu và xác định kim loại trong nước mưa: một số kết quả quan trắc bước đầu tại Thành phố Hồ Chí Minh

Võ Trương Gia Hân^{1,2}, Nguyễn Lý Sỹ Phú^{1,2,*}, Trịnh Đan Phương^{1,2}, Đặng Nguyễn Minh Chiến^{1,2}, Lê Quốc Hậu^{1,2}

¹Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Việt Nam, Việt Nam

²Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Liên hệ

Nguyễn Lý Sỹ Phú, Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Việt Nam, Việt Nam

Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Email: nlsphu@hcmus.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 31-12-2023
- Ngày sửa đổi: 17-5-2024
- Ngày chấp nhận: 27-8-2024
- Ngày đăng: 31-12-2024

DOI: 10.32508/stdjns.v7iS1.1360



Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



TÓM TẮT

Lắng đọng tổng (bao gồm khô và ướt) là một quá trình quan trọng giúp loại bỏ ô nhiễm kim loại khỏi không khí. Trong đó lấy mẫu nước mưa là phương pháp tương đối phổ biến để ước tính sự lắng đọng. Hiện nay, trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu về lắng đọng kim loại, tuy nhiên ở Việt Nam cũng như khu vực Đông Nam Á, lĩnh vực này chưa thu hút được sự quan tâm đúng mức. Bài báo trình bày bước đầu tìm hiểu nồng độ của 6 kim loại (Pb, Zn, As, Ni, Cu, Cr) trong các mẫu nước mưa được thu thập tại khu vực đô thị Thành phố Hồ Chí Minh (TP.HCM) và thiết kế và đánh giá mô hình lấy mẫu nước mưa để xác định nồng độ kim loại và bước đầu khảo sát nồng độ của 6 kim loại trong mẫu thu được. Nồng độ kim loại được phân tích bằng phương pháp ICP-MS. Khảo sát gồm việc thực hiện trên mẫu rỗng, đánh giá quá trình bay hơi và so sánh với lượng mưa lý thuyết. Kết quả cho thấy mô hình thiết kế là phù hợp và đáng tin cậy để thu thập mẫu nước mưa nhằm xác định hàm lượng các kim loại. Kết quả quan trắc trong 5 tháng (tháng 1 đến tháng 6 năm 2023) cho thấy sự có mặt của cả 6 kim loại với nồng độ trung bình giảm dần theo thứ tự Zn (46,9 $\mu\text{g/L}$), Ni (4,53 $\mu\text{g/L}$), Cu (4,34 $\mu\text{g/L}$), Pb (2,46 $\mu\text{g/L}$), Cr (1,33 $\mu\text{g/L}$) và As (0,20 $\mu\text{g/L}$). Hiện tượng pha loãng đóng vai trò quan trọng trong việc xác định nồng độ kim loại trong mẫu nước mưa. Ngoài ra, phân tích ma trận tương quan đã thể hiện rằng có sự tương quan đáng kể giữa các kim loại Cr, Cu, Zn, As điều này cho thấy sự đóng góp quan trọng của các nguồn ô nhiễm có nguồn gốc nhân tạo đối với nồng độ kim loại trong mẫu nước mưa. Nhìn chung, mô hình lấy mẫu được thiết kế phù hợp cho việc khảo sát sự lắng đọng ướt cho kim loại trong không khí tại TP.HCM cũng như cung cấp số liệu ban đầu về hàm lượng 6 kim loại trong các mẫu nước mưa.

Từ khoá: Kim loại, lắng đọng tổng, nước mưa, ICP-MS, TP.HCM

MỞ ĐẦU

Các kim loại nặng (KLN) là các chất gây ô nhiễm trong nước ngầm, nước mặt và nước mưa¹⁻³. Một số các KLN phổ biến như: As, Ni, Pb, Zn,... là các tác nhân phổ biến gây ô nhiễm thường gặp trong các hệ sinh thái trên trái đất. Trong không khí, kim loại nặng phần lớn tồn tại ở pha rắn (bụi). Nguồn gốc của kim loại vô cùng đa dạng, các nguyên tố có thể đến từ nguồn tự nhiên (hoạt động núi lửa phun trào, xói mòn đất, phong hoá địa chất...) và nguồn gốc nhân tạo chiếm phần lớn hàm lượng kim loại nặng trong khí quyển (giao thông vận tải, hoạt động công nghiệp, đốt sinh khối...) ⁴⁻⁶. KLN từ các nguồn phát thải được giải phóng vào môi trường khí quyển, trải qua các quá trình biến đổi và sau đó trở lại môi trường khí quyển thông qua quá trình lắng đọng. Về cơ bản, có hai loại lắng đọng trong khí quyển là lắng đọng khô và lắng đọng ướt. Lượng chất ô nhiễm lắng đọng khí quyển phụ thuộc vào một số yếu tố, chẳng hạn như: khoảng

cách đến nguồn phát thải, điều kiện khí tượng, v.d. gió, tần suất và lượng mưa, và cấu trúc của bề mặt lắng đọng giúp tăng cường thu giữ các aerosol. Lắng đọng ướt là quá trình các chất ô nhiễm từ không khí được mưa, tuyết hoặc sương lồi cuốn xuống bề mặt trái đất và do đó quá trình này chỉ xảy ra trong một số thời gian nhất định, trong khi đó lắng đọng khô xảy ra liên tục trong toàn bộ thời gian⁷. Khi kết hợp 2 quá trình trên lại với nhau, chúng được gọi chung là lắng đọng tổng. Hơn nữa, nghiên cứu⁸ đã cho biết việc loại bỏ các chất ô nhiễm từ khí quyển bằng lắng đọng ướt thường được coi là một yếu tố trung gian tự nhiên quan trọng trong việc làm sạch bầu khí quyển. Mưa là một hiện tượng biểu thị đặc trưng nhất cho quá trình lắng đọng ướt tại khu vực có khí hậu nhiệt đới ẩm gió mùa, đặc biệt là Việt Nam. Các chất ô nhiễm bị nước mưa rửa trôi, nhờ hiệu ứng lồi cuốn của mưa, các chất ô nhiễm như kim loại nặng được dẫn nhập vào môi trường khác nhau như đất, nước,...⁹. Tốc độ loại bỏ của các hợp chất do ảnh

Trích dẫn bài báo này: Hân V T G, Phú N L S, Phương T D, Chiến D N M, Hậu L Q. Khảo sát phương pháp lấy mẫu và xác định kim loại trong nước mưa: một số kết quả quan trắc bước đầu tại Thành phố Hồ Chí Minh. *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.* 2024; 7(S1):80-93.

hường của mưa được ước tính dựa trên các đặc điểm của trận mưa, bao gồm cường độ mưa, kích thước hạt mưa. Tầm quan trọng của quá trình này cần được xem xét, đặc biệt là trong bối cảnh tăng trưởng đô thị, như là sự mở rộng của các ngành công nghiệp và sự phát triển của giao thông đô thị. Lắng đọng khí quyển là một cơ chế quan trọng gây ô nhiễm nước mưa tại khu vực đô thị.

Nghiên cứu về lắng đọng kim loại trong không khí, tập trung vào đo đặc nồng độ kim loại trong nước mưa, đã được thực hiện rộng rãi tại nhiều quốc gia trên thế giới^{3,10-12}. Mục tiêu của những nghiên cứu này là hiểu rõ ảnh hưởng của hoạt động con người đối với sự tích tụ kim loại nặng trong khí quyển. Nghiên cứu của¹³ tại sườn núi Himalaya đã tập trung vào hiện tượng lắng đọng ướt của 10 kim loại nặng trong nước mưa. Kết quả cho thấy khu vực thành thị có nồng độ kim loại cao hơn so với khu vực nông thôn¹¹, trong nghiên cứu tại Bắc Kinh, Trung Quốc về lắng đọng tổng của 9 kim loại nặng, đã xác định hệ số làm giàu (EF) cao cho As, Zn, Pb và Cu, đồng thời chỉ ra ảnh hưởng lớn từ nguồn nhân tạo. Nghiên cứu của³ về nồng độ kim loại nặng trong trầm tích từ đồng bằng sông Dương Tử đã chỉ ra mức ô nhiễm nước uống vượt quá mức tiêu chuẩn, đặc biệt là Ni, Cu, Zn và Pb. Những nghiên cứu này cũng mô tả ảnh hưởng của vận chuyển ô nhiễm không khí từ hoạt động công nghiệp ở Trung Âu đến lưu vực Địa Trung Hải, cũng như tác động của bụi từ sa mạc Sahara đối với sự lắng đọng ướt của nguyên tố vi lượng trong nước mưa ở khu vực Địa Trung Hải và Bắc Âu. Các nghiên cứu cũng nhấn mạnh sự khác biệt đáng kể trong nồng độ các nguyên tố vi lượng trong tổng lượng mưa giữa các nguồn ô nhiễm không khí, và do đó, việc giám sát tổng lượng mưa cũng được coi là quan trọng để hiểu rõ nguồn gốc của ô nhiễm không khí¹⁰.

Tại Việt Nam, nghiên cứu về lắng đọng chất ô nhiễm trong không khí, cụ thể như lắng đọng KLN vẫn còn nhiều hạn chế. Đặc biệt chưa có nghiên cứu được công bố về lắng đọng KLN trong mẫu nước mưa. Một số nghiên cứu đã thực hiện tại Hà Nội, Thái Nguyên và Đà Lạt sử dụng phương pháp quan trắc sinh học (biomonitoring) trên mẫu rêu để ước tính lắng đọng KLN^{14,15}. Tuy nhiên, phương pháp này phụ thuộc vào mô hình sinh trưởng và hấp thụ của thực vật, mang lại độ không đảm bảo cao. Năm 2014, các mẫu nước mưa đã được thu thập tại Hà Nội và Thái Nguyên theo mạng lưới APMN và được chuyển sang Đài Loan để phân tích hàm lượng Hg theo dự án liên kết giữa Trung Tâm Quan Trắc Môi Trường Miền Bắc (NCEM) và APMN, tuy nhiên những dữ liệu về hàm lượng Hg trong mẫu này vẫn chưa được công bố. Các nghiên cứu tại TPHCM đã tập trung vào ô nhiễm

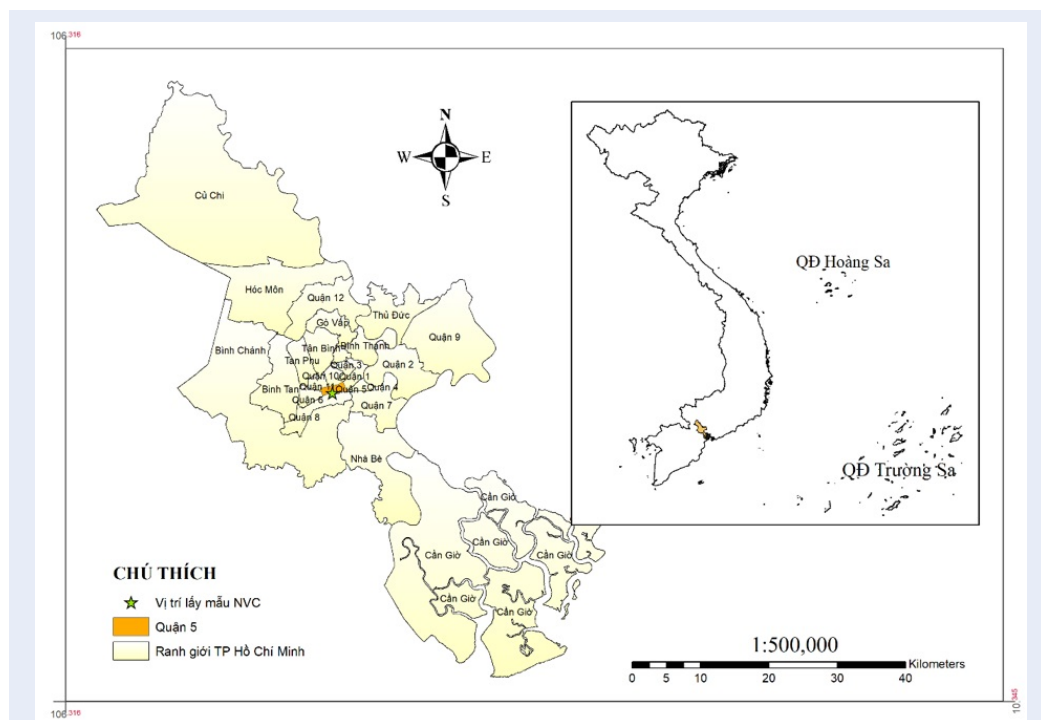
không khí, với sự chú ý đặc biệt đến tác động của ô nhiễm không khí đối với sức khỏe con người và môi trường^{2,13,16-18}. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chủ yếu tập trung vào đánh giá nồng độ và tác động trực tiếp đối với sức khỏe con người từ các chất ô nhiễm không khí. Các mẫu bụi PM10 thu thập tại TPHCM đã cho thấy hàm lượng KLN tương đối cao, đặc biệt là nồng độ Cr ở mức có khả năng gây ung thư đối với trẻ em¹³. Tuy nhiên, cần thêm nghiên cứu để ước lượng lắng đọng và tác động của KLN trong không khí đến khu vực này, điều này đặt ra nhu cầu mở rộng và đa dạng hóa các nghiên cứu về lắng đọng chất ô nhiễm, đặc biệt là ở mức độ tỉ mỉ và chi tiết hơn.

Thành phố Hồ Chí Minh là một thành phố đông dân và năng động hàng đầu tại Việt Nam cũng như khu vực Đông Nam Á. Các hoạt động sản xuất, dịch vụ, thương mại và giao thông tại TPHCM đều cao nhất so với tất cả các khu vực khác tại Việt Nam, và vì vậy vấn đề quan trắc đánh giá ô nhiễm môi trường không khí từ đó để ra những giải pháp để bảo vệ môi trường cũng trở nên quan trọng và cần có nhiều hơn những cơ sở dữ liệu đáng tin cậy để nâng cao hiệu quả quản lý và phát triển bền vững lâu dài. Bên cạnh đo đạc ô nhiễm không khí thì lắng đọng ô nhiễm từ không khí cũng cần được đánh giá để có cái nhìn tổng quát về tác động của ô nhiễm không khí đến môi sinh và con người. Các khu công nghiệp lớn với nhiều ngành nghề bao phủ tại TPHCM là những nguồn phát thải KLN tiềm tàng lớn vào môi trường không khí và kết quả quan trắc từ nhóm nghiên cứu cho thấy rằng những lo lắng về KLN trong không khí tại TPHCM là hoàn toàn có cơ sở. Bài báo trình bày thiết kế một mô hình lấy mẫu lắng đọng tổng nhằm thu thập mẫu nước mưa và tiến hành phân tích nồng độ kim loại trong các mẫu thu được. Kết quả này không chỉ đóng góp vào việc cung cấp một phương pháp tối ưu và chi phí hiệu quả để thu mẫu nước mưa, mà còn giúp mô tả nồng độ kim loại, tạo tiền đề cho việc ước tính quá trình lắng đọng của chúng. Hơn nữa, đây có thể được xem là nghiên cứu đầu tiên cung cấp một nguồn dữ liệu có giá trị để đánh giá hiện trạng và cung cấp hiểu biết về những nguồn ô nhiễm tác động đến nồng độ kim loại trong mẫu nước mưa.

PHƯƠNG PHÁP

Vị trí nghiên cứu

Các mẫu mưa được thu tại Trường Đại học Khoa học Tự nhiên thuộc Đại học Quốc gia TP.HCM cơ sở Nguyễn Văn Cừ (NVC) (10°76'N-106°68'E, Hình 1). Vị trí lấy mẫu ở tại trung tâm của thành phố, cách ngã sáu Cộng Hoà khoảng 500 m, nơi dòng lưu thông của các phương tiện tập nập. Các phương tiện giao thông



Hình 1: Bản đồ vị trí thành phố Hồ Chí Minh và vị trí lấy mẫu tại Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM

chủ yếu ở khu vực này là xe máy, ô tô, xe buýt. Hệ lấy mẫu được đặt trên nóc tòa nhà E của Trường để tránh ảnh hưởng của bụi từ đường có thể tác động ảnh hưởng đến kết quả đo đạc. Nhìn chung vị trí đặt mẫu phải đảm bảo hạn chế tối đa các tác động ngoại vi đến quá trình lắng đọng của bụi và nước mưa. Ngoài ra, việc lựa chọn lấy mẫu tại vị trí NVC vì các lý do sau:

1. Vị trí lấy mẫu cần bảo đảm cho việc quan trắc trong thời gian dài và giảm thiểu rủi ro mất mát dụng cụ lấy mẫu cũng như tiện lợi trong việc thu mẫu;
2. Theo các nghiên cứu trước đây vị trí NVC quận 5 có thể đại diện tương đối cho khu vực đô thị thuộc TP.HCM;
3. Việc phân tích mẫu kim loại nặng bằng phương pháp ICP-MS là rất tốn kém và do đó việc mở rộng nhiều vị trí là tương đối khó khăn.

Thiết kế mô hình lấy mẫu nước mưa để phân tích kim loại

Mô hình lấy mẫu nước mưa thông qua bộ lấy mẫu nước mưa mà nhóm đã thiết kế dựa theo nghiên cứu khác¹⁹. Mô hình được thiết kế với dụng cụ thu mẫu hở toàn thời gian với bình hứng chuyên dụng (High-density polyethylene, HDPE) 1 lít để thu thập nước mưa. Thiết kế của dụng cụ lấy mẫu phải đảm bảo cho hệ lấy mẫu luôn thẳng đứng và che chắn, nhằm giảm thiểu tác động không mong muốn của môi trường như nhiệt độ, gió, con người,... Mô hình lấy mẫu được

đặt tại tòa nhà E để tránh ảnh hưởng của bụi đường có tác dụng ảnh hưởng đến kết quả đo đạc. Mẫu nước mưa được lấy theo tần suất 1 tuần/lần, trong những ngày không có mưa không tiến hành lấy mẫu và đo đạc dữ liệu. Tổng cộng 10 mẫu nước mưa đã được thu thập từ ngày 31/12/2022 đến 06/06/2023. Các dụng cụ thu mẫu trước khi đặt lên hệ thống lấy mẫu đều được làm sạch bằng dung dịch HNO_3 5% và rửa bằng nước siêu tinh khiết, sau đó được để khô tự nhiên trong 24 giờ. Sau đó, tiếp tục thực hiện acid hóa mẫu bằng dung dịch HNO_3 65% và bảo quản tủ lạnh. Tiếp tục, tiến hành nung mẫu cách thủy ở nhiệt độ $80-90^\circ\text{C}$ trong 2 giờ. Mẫu sau khi kết thúc quá trình nung sẽ được để nguội ở nhiệt độ phòng và tiến hành lọc mẫu trước khi thực hiện đo. Mặc dù các kim loại được nghiên cứu có đặc tính tương đối bền và không bị phân hủy dưới tác động của ánh sáng mặt trời, tuy nhiên, nếu lượng nước trong bộ lấy mẫu bốc hơi nhiều, có thể gây ảnh hưởng đáng kể đến nồng độ của kim loại trong mẫu khi thực hiện đo, dẫn đến sai số trong quá trình thu mẫu. Đã khảo sát về độ bay hơi của mẫu để đánh giá tính phù hợp của mô hình sử dụng.

Đối với mẫu trắng (blank), thực hiện tương tự và tiến hành song song với mẫu nước mưa, mẫu blank được thay thế bằng 40 mL nước DIW (deionized Water) nhằm đánh giá nhiễm bẩn. Ngoài ra, nghiên cứu cũng

tiến hành thực hiện mẫu Blank sampler để kiểm tra độ nhiễm bẩn của dụng cụ lấy mẫu. Các mẫu được lưu trữ trong tủ lạnh cho đến khi thực hiện phân tích bằng ICP-MS. Xác định mẫu blank là rất quan trọng để đánh giá ảnh hưởng của môi trường thí nghiệm và đồng thời kiểm tra hiệu suất của quy trình ngâm rửa dụng cụ lấy mẫu.

Các kim loại Pb, Zn, As, Ni, Cu, Cr trong các mẫu nước mưa được xác định bằng ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry). Đường chuẩn được dựng tại các điểm nồng độ 0, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 ppb và có hệ số hồi quy thỏa điều kiện $0,99 \leq R^2 \leq 1$. Đường chuẩn này được sử dụng để tính toán nồng độ các kim loại có trong mẫu. Giới hạn phát hiện (Limit of detection, LOD) của phương pháp xác định nồng độ các kim loại nặng trong nước mưa như sau As (0,033), Cu (0,1), Pb (0,033), Cr (0,1), Ni (0,1), Zn (0,55) ppb. Độ chính xác của quy trình phân tích được xác định dựa trên phép đo lặp lại cùng 1 mẫu chuẩn và mẫu thật nhiều lần và giá trị SD giữa các lần đo phải nhỏ hơn 5%.

QA/QC

Việc lấy mẫu, bảo quản, vận chuyển và phân tích mẫu bằng ICP-MS được tiến hành với các biện pháp phòng ngừa đặc biệt để tránh lây nhiễm chéo trong các mẫu. Việc phân tích mẫu nghiên cứu đã thực hiện theo phương pháp phân tích US EPA method 200.7²⁰ và US EPA method 200.8²¹ đối với 6 kim loại bằng ICP-MS. Phương pháp cung cấp các quy trình chi tiết cho việc chuẩn bị mẫu, hiệu chuẩn thiết bị, kiểm soát chất lượng và phân tích dữ liệu để đảm bảo kết quả chính xác và đáng tin cậy. Phương pháp này được công nhận và chấp nhận rộng rãi trong việc giám sát môi trường, kiểm tra tuân thủ quy định và nghiên cứu liên quan đến đánh giá chất lượng nước và ô nhiễm môi trường về kim loại. Ngoài ra, các mẫu đo lặp được thực hiện sau mỗi 10 mẫu đo nhằm kiểm tra độ tái lập của kết quả phân tích và có độ lệch dưới 5%.

Tất cả các mẫu (bao gồm mẫu blank) được bảo quản tốt trong tủ lạnh. Găng tay phòng sạch được sử dụng trong suốt quá trình lấy mẫu và phân tích trong phòng thí nghiệm. Thiết bị phân tích được chuẩn hóa bằng cách sử dụng các dung dịch chuẩn có nồng độ kim loại khác nhau. Mẫu thêm chuẩn được thực hiện nhằm đảm bảo độ tin cậy của phương pháp với hiệu suất thu hồi ở 90-110% cho tất cả các kim loại được khảo sát.

Mô hình HYSPLIT

Mô hình Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT), phát triển bởi Cơ quan Biển và

Đại dương Hoa Kỳ (NOAA), đã được sử dụng trong nhiều nghiên cứu khác nhau để mô phỏng quỹ đạo di chuyển của khối không khí trước khi đến địa điểm thu mẫu^{22,23}. Mô hình này đã được áp dụng rộng rãi trong nghiên cứu ô nhiễm không khí cả trong nước và trên toàn cầu. Các quỹ đạo truy hồi (backward trajectories, BWT) trong vòng 48 giờ được tính toán bằng mô hình HYSPLIT²⁴, với đầu vào từ hệ thống dữ liệu toàn cầu của Trung tâm Dự báo Môi trường Quốc gia (GDAS $1^\circ \times 1^\circ$). BWT được tính toán mỗi 24 giờ tại độ cao 1000 m trên mực nước biển, tương ứng với thời điểm lấy mẫu. Các BWT được tính cho các ngày có mưa.

Xác định nồng độ kim loại trong nước mưa và nồng độ trọng số thể tích

Nồng độ kim loại trong nước mưa được tính toán theo công thức:

$$C = (C_{do} - C_{blank}) \times 1,01$$

Trong đó, C_{do} là nồng độ kim loại đo được từ mẫu nước mưa (ppb); C_{blank} là nồng độ kim loại đo được từ mẫu nước DIW +acid (ppb); 1,01 là hệ số pha loãng. Ngoài ra, trong quá trình lắng đọng, việc xác định nồng độ trung bình trọng số thể tích là vô cùng quan trọng. Đặc biệt đối với mẫu nước mưa, hiện tượng giảm nồng độ do tăng thể tích mẫu, được gọi là yếu tố pha loãng, tác động đáng kể đến quá trình ước lượng nồng độ, ảnh hưởng lớn đến việc tính toán tổng lượng lắng đọng. Công thức được biểu diễn như sau:

$$C(VWM) = \frac{\sum i.c_i.v_i}{\sum i.v_i}$$

Trong đó, C_i là nồng độ mẫu thứ i và V_i là thể tích mẫu thứ i ²³.

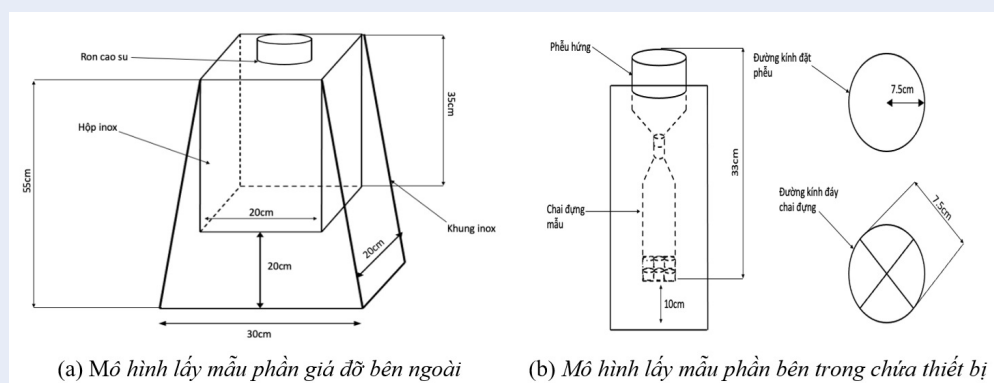
Phân tích thống kê

Việc phân tích tương quan và kiểm định t của Pearson. So sánh tương quan được coi là ý nghĩa thống kê khi giá trị $p < 0,05$. Dữ liệu nồng độ lượng mưa được tóm tắt dưới dạng trung bình $\pm$ SD.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Khảo sát tính phù hợp của mô hình lấy mẫu lắng đọng tổng

Đã thiết kế mô hình lấy mẫu lắng đọng tổng để khảo sát tính phù hợp của thiết kế bằng cách kiểm tra lượng bay hơi và mẫu blank. Hình 2 mô tả chi tiết mô hình dùng lấy mẫu; mô hình được thiết kế với kích thước phù hợp để bộ dụng cụ thu mẫu có thể được bảo vệ một cách chắc chắn nhất. Bộ thu mẫu được cấu tạo từ 2 phần bao gồm chân đế bằng vật liệu inox (Hình 2a)



Hình 2: Sơ đồ thiết kế hệ thống lấy mẫu nước mưa để xác định nồng độ kim loại

và bộ thu mẫu bao gồm chai thu mẫu chuyên dụng 1 lít, phễu thu mẫu và khớp nối (Hình 2b). Phần tiếp xúc giữa phễu và chân đế inox được gắn ron bằng cao su giúp phễu được cố định và chắc chắn hơn và hạn chế hư hại phễu. Phần chân đế được thiết kế chắc chắn và gắn liền với nhau làm cho mô hình cân bằng. Hộp inox bao quanh chai đựng mẫu với kích thước đã được cân chỉnh nhằm đựng vừa chai thu mẫu 1 lít. Hộp inox dùng để bảo vệ chai đựng mẫu khỏi tác động của gió, ánh sáng mặt trời.

Để khảo sát tính phù hợp của mô hình, nhóm đã tiến hành kiểm tra tốc độ bay hơi của mẫu nước bằng việc đặt các ống ly tâm với thể tích nước 30 mL ở trong và ngoài mô hình (Hình 3) với tần suất 1 tuần/lần. Kết quả cho thấy tổng lượng bay hơi một tuần khoảng 5,5 mL (Bảng 1), có thể thấy lượng bay hơi thay đổi không đáng kể qua các tuần ở các ống và các ống đặt trong mô hình có sự bay hơi ít hơn so với ống đặt ngoài mô hình. Điều này có thể thấy rằng việc thiết kế hộp bao quanh chứa nước mưa là cần thiết giúp hạn chế sự bay hơi làm mất mẫu.

Nhằm xác nhận sự phù hợp của mô hình đã được xây dựng dựa vào các dữ liệu về lượng mưa (đơn vị mm) được thu thập để tính toán lượng mưa theo lý thuyết và so sánh với lượng mẫu nước mưa thu được thực tế. Hình 4 cho thấy các điểm dữ liệu luôn tập trung gần đường hồi quy với hệ số $R=0,99$, thể hiện mối tương quan dương giữa lượng mưa thực tế và lượng mưa lý thuyết, vì thế, có thể kết luận rằng mô hình đã thiết kế là phù hợp, cung cấp thêm bằng chứng cho việc mô hình đã thiết kế được xem xét là phù hợp và có thể áp dụng trong các giai đoạn tiếp theo.

Đối với mô hình được thiết kế, việc khảo sát mẫu blank là vô cùng cần thiết. Kết quả khảo sát mẫu blank tại Bảng 2 cho thấy rằng mẫu blank cũng chứa các thành phần của kim loại nặng, tuy nhiên nồng độ các

kim loại trong mẫu blank theo quan sát khá nhỏ so với mẫu thật. Kết quả blank sampler cũng tương tự với mẫu blank DIW + acid cho thấy rằng sampler khi mang đi lấy mẫu là không chứa các kim loại được khảo sát. Nhìn chung, kết quả sau khi tính tỉ lệ phần trăm đều nhỏ hơn 30% cho thấy nồng độ mẫu thu được là phù hợp tính toán và quy trình ngâm rửa dụng cụ lấy mẫu tương đối tốt và phù hợp cho nghiên cứu.

Nồng độ kim loại nặng trong mẫu nước mưa

Nồng độ kim loại nặng trong nước mưa đại diện cho lắng đọng tổng của kim loại trong thời gian khảo sát. Bảng 3 thể hiện giá trị nồng độ trung bình kim loại trong suốt khoảng thời gian khảo sát của tất cả 6 kim loại với nồng độ trung bình giảm dần theo thứ tự $Zn\ 46,9\ \mu g/L > Ni\ 4,53\ \mu g/L > Cu\ 4,34\ \mu g/L > 2,46\ \mu g/L > Cr\ 1,33\ \mu g/L > As\ 0,20\ \mu g/L$. Khảo sát đã được thực hiện tại khu vực đô thị thành phố với lượng xe lưu thông qua lại và mật độ dân số đông, có thể xem đây là một nguyên nhân gây phát thải chất ô nhiễm vào không khí và được lôi cuốn bởi mưa thông qua quá trình lắng đọng ước. Tương tự, các nghiên cứu tại Indonesia, Australia, Uganda, Ấn Độ và Palestine, đều được thực hiện tại các khu vực đô thị, nơi phát thải lượng lớn phương tiện giao thông²⁵⁻³⁰.

Theo quan sát từ Bảng 3, nồng độ kim loại trong mẫu nước mưa có xu hướng giảm dần theo thời gian khảo sát, với giá trị cao nhất được ghi nhận vào tháng 1. Theo đó, nồng độ của Zn ở tháng 1 và tháng 4 lần lượt là $15,1\ \mu g/L$ và $14,8\ \mu g/L$, giảm khoảng 50% so với tháng 5. Nồng độ của Pb ở tháng 1 là $0,93\ \mu g/L$, tháng 5 là $2,82\ \mu g/L$, và nồng độ tháng 5 gấp 5 lần nồng độ ở tháng 4. Đặc biệt, nồng độ của Ni ở tháng 1 rất cao $17,1\ \mu g/L$ nhưng tháng 4 và 5 lại xuống rất thấp. Tuy nhiên, nồng độ của As trong tháng 1 và tháng 5 là $0,15\ \mu g/L$ và cao hơn với tháng 4 là $0,11\ \mu g/L$. Riêng đối

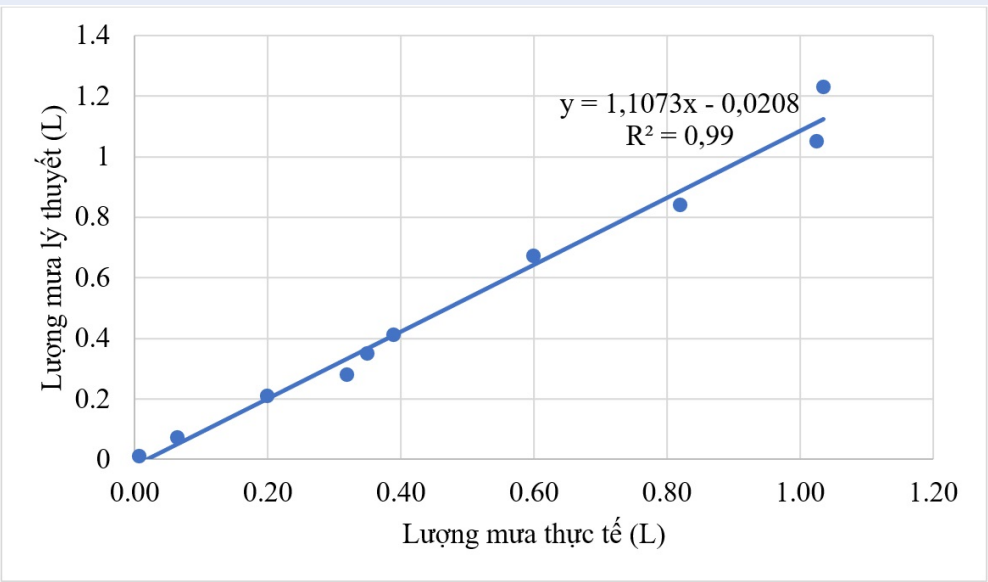
Bảng 1: Thể tích bay hơi trên các ống qua các tuần

Thời gian đặt	Thời gian thu	Thể tích còn lại (mL)		Thể tích ban đầu (mL)	Thể tích bay hơi (mL)	Thể tích bay hơi (mL)
		Bên trong	Bên ngoài		(Ống bên trong)	(Ống bên ngoài)
23/5/2023	30/5/2023	25	22,5	30	5	7,5
30/5/2023	6/6/2023	24	22	30	6	8
6/6/2023	13/6/2023	24	21	30	6	9



Bảng 2: So sánh nồng độ mẫu blank với nồng độ mẫu

Kim loại	Nồng độ blank DIW+Acid	Nồng độ Blank sampler	Nồng độ TB của mẫu (đã trừ blank)	% blank/mẫu thật trung bình
Cr	0,30	0,36	1,33	22,6
Ni	0,70	0,87	4,53	15,5
Cu	0,40	0,52	4,34	9,2
Zn	12,70	13,00	46,80	27,1
	0,21	0,27	2,46	8,5
As	0,01	0,02	0,18	5,6



Hình 4: Biểu đồ tương quan giữa lượng mưa thực tế và lượng mưa lý thuyết

Bảng 3: Nồng độ trung bình ($\pm$ S.D.) các kim loại trong mẫu nước mưa (μ g/L)

	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Pb
Tháng 1	0,81 $\pm$ 0,71	17,1 $\pm$ 23,1	2,81 $\pm$ 2,21	15,1 $\pm$ 0,74	0,15 $\pm$ 0,05	0,93 $\pm$ 0,27
Tháng 2	4,46	2,50	17,4	191,4	0,68	9,83
Tháng 4	N.D	0,12	2,18 $\pm$ 1,02	14,8 $\pm$ 4,09	0,11	0,52 $\pm$ 0,30
Tháng 5	1,10 $\pm$ 0,96	0,94 $\pm$ 0,55	3,61 $\pm$ 2,96	39,5 $\pm$ 23,5	0,15 $\pm$ 0,09	2,82 $\pm$ 1,75
Trung bình	1,33 $\pm$ 1,38	4,53 $\pm$ 10,3	4,34 $\pm$ 4,76	46,9 $\pm$ 52,0	0,20 $\pm$ 0,18	2,46 $\pm$ 2,83
Min - Max	0,17–4,46	0,12–33,5	0,66–17,4	5,57–191,4	0,05–0,68	0,30–9,83

*Tháng 2 nhóm nghiên cứu chỉ thu được 1 mẫu nước mưa

với nồng độ trung bình của Cr và Cu không có sự biến động đáng kể qua các tháng, mức cao nhất của Cr và Cu được ghi nhận vào tháng 5. Ngoại trừ tháng 2, do nghiên cứu chỉ thu được một mẫu và lượng mưa thực tế cũng khá ít nên nồng độ kim loại trong tháng này cao hơn so với các tháng còn lại. Lượng mưa là một yếu tố quan trọng góp phần giải thích sự thay đổi nồng độ kim loại trong mẫu nước mưa trong tháng 4,5 so với tháng 1. Tuy nhiên, các yếu tố khác như phát thải ô nhiễm không khí thay đổi, yếu tố khí tượng, vận chuyển tầm xa của chất ô nhiễm,... đều đóng vai trò trong việc giải thích cụ thể diễn biến nồng độ kim loại trong mẫu nước mưa và cần thêm nhiều hơn các dữ liệu quan trắc trong thời gian dài để có những phân tích đánh giá toàn diện.

Ảnh hưởng của khối không khí và lượng mưa đến nồng độ kim loại trong mẫu

Nồng độ kim loại trong nước mưa có thể chịu ảnh hưởng từ sự biến đổi của khối không khí theo các chu kỳ, do vận chuyển từ xa. Hình 5a, b mô tả đường đi của không khí và các giai đoạn mưa trong tháng 1. Khối không khí chủ yếu di chuyển theo hướng Đông Bắc, từ lục địa Trung Quốc qua biển Đông, tác động lên khu vực TP.HCM. Những khối không khí theo hướng này thường mang theo chất ô nhiễm từ lục địa Trung Quốc và có khả năng vận chuyển xa, ảnh hưởng đến nhiều khu vực, trong đó có TP.HCM⁷. Nồng độ Ni, Pb có xu hướng tăng cao vào tháng 1 (Bảng 3), nguyên nhân có thể từ việc gió Đông Bắc vận chuyển khối ô nhiễm không khí từ lục địa Trung Quốc về TP.HCM^{7,31}.

Trung Quốc, với ngành công nghiệp phát triển mạnh mẽ, đặc biệt là khai thác mỏ, sản xuất kim loại, và chế

tạo hóa chất, gây ra phát thải kim loại nặng¹⁷. Với vai trò hàng đầu trong sản xuất sắt thép và kim loại màu thế giới, Trung Quốc là nguồn chính của phát thải Ni vào không khí. Do đó, tăng cao nồng độ Ni vào tháng 1 chủ yếu có thể được giải thích bởi gió Đông Bắc mang chất ô nhiễm từ lục địa Trung Quốc. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng nồng độ kim loại nặng trong không khí và nước mưa không chỉ bị ảnh hưởng bởi hướng gió Đông Bắc, mà còn bởi các yếu tố như môi trường xung quanh vị trí lấy mẫu và điều kiện thời tiết³². Lượng mưa cũng đóng vai trò quan trọng trong việc ảnh hưởng đến nồng độ kim loại trong mẫu nước mưa, và tháng 1 thường là tháng có lượng mưa thấp nhất, do đó có thể giảm khả năng pha loãng, đóng góp vào việc tăng nồng độ kim loại trong mẫu nước mưa vào tháng 1.

Tháng 4 thường là giai đoạn chuyển mùa tại TPHCM²⁶, và có thể quan sát rằng các khối không khí gây mưa tác động đến khu vực khảo sát, di chuyển từ hướng Đông Bắc sang Đông và Đông Nam trong tháng này (Hình 5c). Gió Đông Nam, đi qua vùng biển phía Đông Nam Việt Nam và đổ về đất liền, tạo điều kiện cho mưa^{7,31}. Gió từ biển Đông thường ít ô nhiễm kim loại do không có nguồn phát thải kim loại nào trong khu vực này^{7,31}. Do đó, nồng độ của các kim loại thu được trong tháng 4 thường thấp hơn so với tháng 1 và tháng 5.

Hình 6 mô tả quỹ đạo của khối không khí gây mưa trong 2 giai đoạn của tháng 5, được chia thành 2 xu hướng rõ ràng. Từ ngày 5 đến 18/5, tương tự như tháng 4, giai đoạn này vẫn nằm trong quá trình chuyển mùa từ hướng Đông Bắc sang Đông và Đông Nam. Đến ngày 18 đến 31, các khối không khí đã thay đổi hoàn toàn và quỹ đạo đến từ hướng Tây Nam, đi qua phía Nam Thái Lan, một phần của Malaysia và vịnh Thái Lan sau đó đến TPHCM. Nhìn chung, vào tháng 5, hình thể thời tiết chính tại TPHCM bị chi phối bởi các khối không khí phía Nam thông qua gió mùa Tây Nam. Các khối không khí này đi qua một phần của các khu vực đất liền có thể có các hoạt động phát thải kim loại nặng, và do đó, nồng độ kim loại nặng trong tháng 5 cao hơn so với tháng 4. Ngoài ra, kim loại nặng tăng cao trong tháng 5 cũng có thể đến từ yếu tố phát thải tại chỗ. Tuy nhiên, phạm vi của khảo sát chưa đủ dữ kiện để xem xét đến đóng góp của yếu tố này.

Nồng độ trọng số thể tích

Nồng độ trọng số thể tích (VWM) của các kim loại đo có giá trị 0,11 - 33,1 $\mu\text{g/L}$, với giá trị thấp nhất là As vào tháng 5 và cao nhất là Zn vào tháng 5. Nồng độ VWM của Zn cao hơn so với các kim loại khác, có

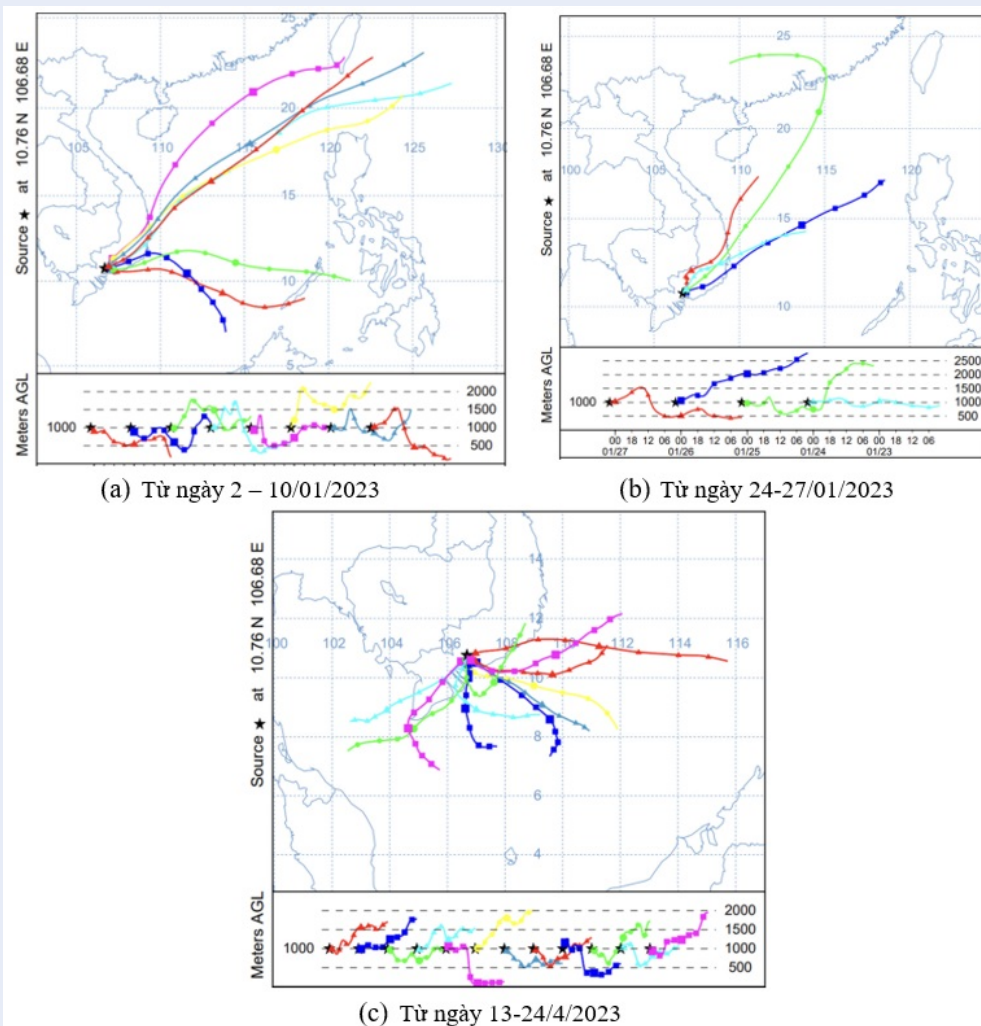
thể là yếu tố chính của khí quyển tại vị trí khảo sát. Nồng độ trọng số thể tích khác biệt so với nồng độ không có trọng số thể tích. Hiện tượng nồng độ giảm khi thể tích mẫu tăng (do tác động của mưa, góp phần vào việc pha loãng nồng độ kim loại trong mẫu) có thể là nguyên nhân gây ra sự khác biệt giữa nồng độ trọng số thể tích (Bảng 4) và nồng độ trung bình (Bảng 3). Đặc biệt, nồng độ trọng số thể tích thường thấp hơn so với nồng độ trung bình (0,71 - 1,5 lần).

Tương quan giữa lượng mưa và nồng độ kim loại

Hình 7 thể hiện xu hướng tương quan âm giữa nồng độ của các kim loại trong mẫu nước mưa và lượng mưa. Khi lượng mưa tăng, hiện tượng pha loãng nồng độ kim loại trong mẫu nước mưa, còn được biết đến là hiệu ứng pha loãng, trở nên rõ rệt. Theo nghiên cứu của¹², tương quan giữa nồng độ kim loại và lượng mưa chỉ ra rằng lắng đọng ướt là cơ chế chính trong mùa mưa. Điều này thể hiện khi có mưa, các hạt và hợp chất ô nhiễm bị kéo xuống mặt đất; tuy nhiên, khi lượng mưa lớn, nước mưa sạch được thêm vào bình chứa, dẫn đến pha loãng nồng độ kim loại trong mẫu nước mưa. Hầu hết các kim loại như Cr, Cu, Zn, As, Pb đều có xu hướng giảm nồng độ khi lượng mưa tăng. Hiện tượng này có thể được giải thích bằng việc kim loại trong mùa gió mùa Tây Nam bị ảnh hưởng bởi hiệu ứng pha loãng của lượng mưa, theo nghiên cứu của¹³.

Tương quan giữa các kim loại

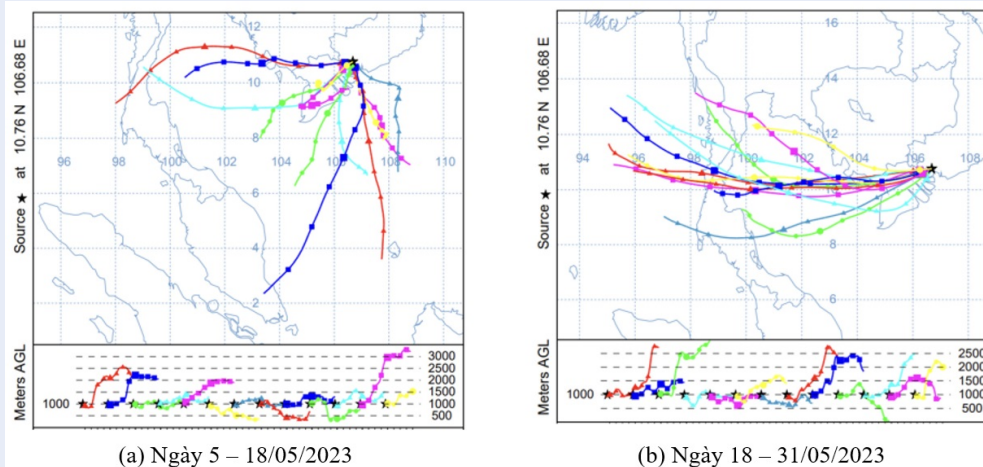
Bảng 5 biểu thị các kim loại Cr, Cu, Zn, As đều có mối tương quan dương có ý nghĩa với $r > 0,8$. Các hệ số tương quan giữa các kim loại nặng được phân tích để đánh giá mối quan hệ cũng như bước đầu dự đoán được nguồn gốc của các kim loại có trong mẫu nước mưa^{33,34}. Kim loại Cr thể hiện kết quả tương quan dương mạnh với các kim loại khác (Cu, Zn, As, Pb) thông qua các cặp Cr-Cu ($r=0,988$), Cr-Zn ($r=0,924$), Cr-As ($r=0,973$) và Cr-Pb ($r=0,953$). Tức là nồng độ của Cr càng tăng thì nồng độ của Cu, Zn, As và Pb tăng theo. Tương tự, kim loại Pb cũng thể hiện kết quả tương quan dương mạnh với các kim loại khác như Cu, Zn, As với các cặp tương ứng như sau Pb-Cu ($r=0,950$), Pb-Zn ($r=0,977$) và Pb-As ($r=0,945$). Hơn nữa, các cặp Cu-Zn ($r=0,948$), As-Cu ($r=0,990$), As-Zn ($r=0,961$) có mối tương quan dương với nhau, điều này cho thấy rằng các kim loại này đều có nguồn gốc giống nhau, trong khi các cặp còn lại không tương quan. Nhìn chung, kết quả thể hiện rằng các kim loại được khảo sát trong nghiên cứu này có thể có chung nguồn gốc. Ngoài ra, nếu hai kim loại có tương quan



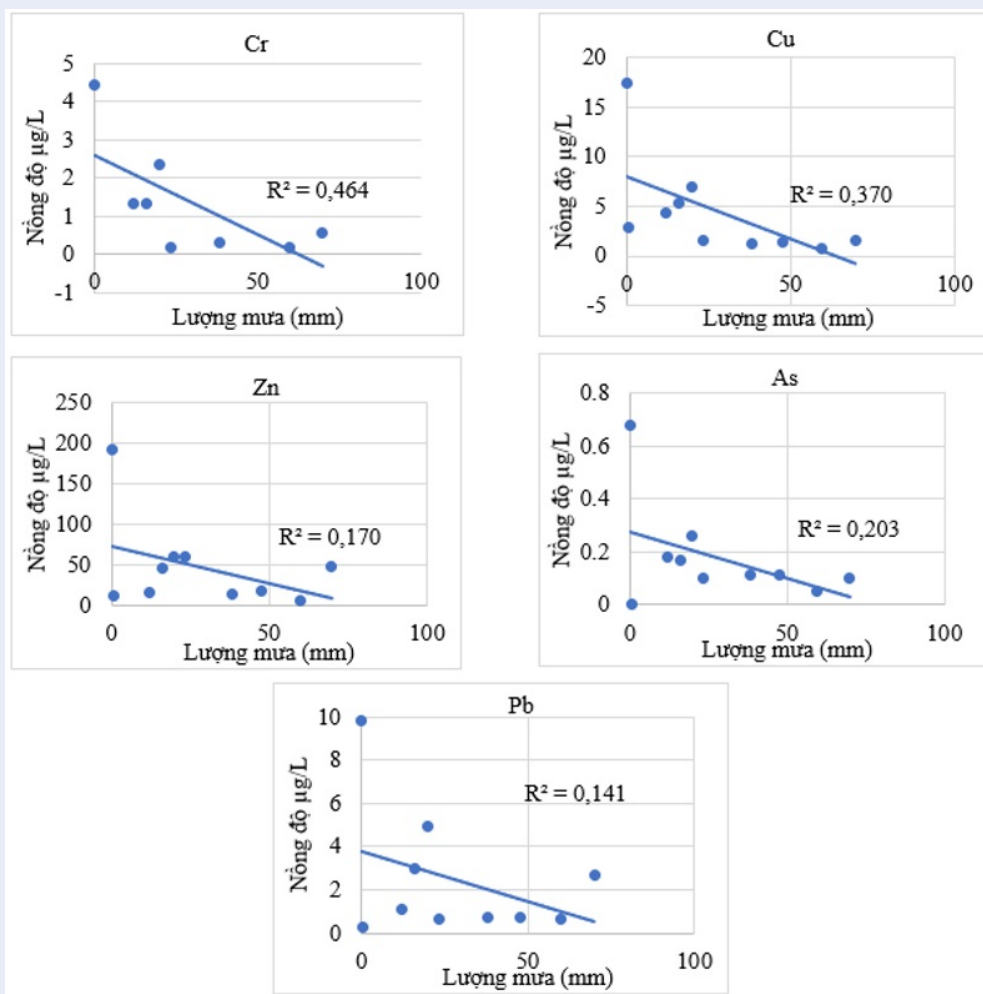
Hình 5: Quỹ đạo khối không khí tầng 1 (a,b) và tháng 4 (c).

Bảng 4: Nồng độ trọng số thể tích của các kim loại giữa các tháng có mưa

	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Pb
Tháng 1	0,56	25,3	2,02	14,8	0,13	0,84
Tháng 2	4,46	2,50	17,4	191,4	0,68	9,83
Tháng 4	N.D	N.D	1,47	17,7	N.D	0,73
Tháng 5	0,73	0,90	2,36	33,1	0,11	2,25



Hình 6: Quỹ đạo khối không khí tháng 5



Hình 7: Biểu đồ tương quan giữa lượng mưa và nồng độ kim loại

Bảng 5: Tương quan của các kim loại trong giai đoạn nghiên cứu

	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Pb
Cr	1	-,422	,988**	,924**	,973**	,953**
Ni		1	-,370	-,314	-,277	-,398
Cu			1	,948**	,990**	,950**
Zn				1	,961**	,977*
As					1	,945**
						1

** Mức ý nghĩa 0,01

* Mức ý nghĩa 0,05

dương cao thì việc kiểm soát một kim loại có lợi cho việc giảm ô nhiễm của kim loại còn lại. Ngoài ra, các phép phân tích tương quan cũng cho thấy mối quan hệ giữa các nguồn ô nhiễm với nhau trong đó các kim loại như As và Cr được cho là phần lớn đến từ nguồn nhân tạo thông qua các hoạt động của con người như công nghiệp, giao thông vận tải ... Mặt khác, Ni không thể hiện mối tương quan mạnh với bất kỳ kim loại nào khác và cho thấy sự thay đổi khác nhau về nồng độ mưa từ các kim loại khác, cho thấy nó có thể bắt nguồn từ một nguồn cục bộ³⁵. Có thể đưa ra kết luận rằng hầu hết các kim loại được khảo sát trong nghiên cứu này đều có thể đến từ nguồn nhân tạo. Tuy nhiên tương quan chỉ là mối quan hệ tương đối cũng như trong nghiên cứu này chưa xét đến các nguyên tố đặc trưng của lớp vỏ trái đất như Fe, Al và do đó việc nhận xét về nguồn là còn hạn chế. Để hiểu rõ hơn về các mối quan hệ giữa các kim loại cũng như đưa ra những nhận xét tốt hơn về nguồn thì cần có các nghiên cứu chi tiết và chuyên sâu hơn trong tương lai.

KẾT LUẬN

Bài báo trình bày việc thiết kế, khảo sát và đánh giá tính phù hợp của thiết bị lấy mẫu nước mưa đơn giản với chi phí thấp để phân tích nồng độ kim loại trong môi trường đô thị. Mô hình thiết kế đặc biệt chú ý đến yếu tố bay hơi của mẫu nước mưa trong quá trình thu thập và độ tin cậy của phương pháp làm sạch thiết bị lấy mẫu. Kết quả cho thấy mô hình thiết kế phù hợp và đảm bảo độ tin cậy của mẫu, với lượng mẫu nước mưa bay hơi không đáng kể (khoảng 5%) so với tổng lượng thu thập. Nồng độ kim loại trong mẫu blank thấp, chứng minh tính phù hợp của thiết bị lấy mẫu tại vị trí TP.HCM. Việc phân tích nồng độ kim loại trong mẫu nước mưa thu thập tại TP.HCM, kết quả cho thấy sự có mặt của cả 6 kim loại với nồng độ trung bình giảm dần theo thứ tự Zn (46,9 µg/L) > Ni (4,53 µg/L) > Cu (4,34 µg/L) > Pb (2,46 µg/L) > Cr (1,33 µg/L) > As (0,20 µg/L). Bên cạnh đó, khảo sát các yếu tố ảnh

hưởng đến nồng độ nước mưa, chỉ ra rằng lượng mưa và đường đi của khối không khí gây mưa đều có khả năng ảnh hưởng đến nồng độ kim loại, và do đó có thể tác động đến lắng đọng kim loại từ không khí. Mối tương quan dương tốt giữa các kim loại với nhau cho thấy sự đóng góp lớn từ nguồn phát thải nhân tạo đối với nồng độ kim loại trong mẫu nước mưa thu thập trong thời gian khảo sát. Đây là nghiên cứu đầu tiên về nồng độ kim loại nặng trong nước mưa tại đô thị TP.HCM, cung cấp thông tin mới về nồng độ kim loại trong mưa tại khu vực này và đồng thời cung cấp dữ liệu cơ sở cho các nghiên cứu về lắng đọng kim loại trong tương lai.

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

- BWT: Backward Trajectory – Quỹ đạo ngược
- DIW: Deionized water – Nước siêu tinh khiết
- HDPE: High-density polyethylene – Nhựa nhiệt dẻo
- HYSPPLIT: Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory - Mô hình kết hợp quỹ đạo Lagrange tích hợp hạt đơn
- ICP-MS: Inductively coupled plasma mass spectroscopy - Phương pháp khối phổ plasma cảm ứng cao tần
- LOD: Limit of detection – Giới hạn phát hiện
- N.D: Not Detected – Không phát hiện
- SD: Standard Deviation – Độ lệch chuẩn
- TP.HCM: Thành phố Hồ Chí Minh
- VMW: Volume-Weighted Mean Concentration – Nồng độ trọng số thể tích

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả xin cam đoan rằng không có bất kỳ xung đột lợi ích nào trong công bố bài báo.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh trong khuôn khổ đề tài mã số C2024-18-24

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Võ Trương Gia Hân viết bản thảo đầu tiên và hoàn thiện nội dung cho bản thảo. Nguyễn Lý Sỹ Phú thiết kế và giám sát các thí nghiệm, góp ý bản thảo. Trịnh Đan Phương thực hiện các thí nghiệm, góp ý bản thảo. Đặng Nguyễn Minh Chiến, Lê Quốc Hậu thực hiện các thí nghiệm, góp ý bản thảo. Tất cả các tác giả đã đồng thuận bản thảo cuối cùng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Archundia D, Duwig C, Spadini L, Uzu G, Guédron S, Morel MC, Martins JMF. How uncontrolled urban expansion increases the contamination of the Titicaca Lake basin (El Alto, La Paz, Bolivia). *Water Air Soil Pollut.* 2017;228:1-17; Available from: <https://doi.org/10.1007/s11270-016-3217-0>.
- Duong HH, Nguyen CDT, Nguyen LSP, To HT. Fine particulate matter (PM_{2.5}) in Ho Chi Minh City: Analysis of the status and the temporal variation based on the continuous data from 2013-2017. *Sci Technol Dev J Nat Sci.* 2018;2(5):130-137; Available from: <https://doi.org/10.32508/stdjns.v2i5.788>.
- Ma Y, Tang Y, Xu H, Zhang X, Liu H, Wang S, Zhang W. Bulk/wet deposition of trace metals to rural, industrial, and urban areas in the Yangtze River Delta, China. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2019;169:185-191; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.002>.
- Begum BA, Hopke PK. Identification of sources from chemical characterization of fine particulate matter and assessment of ambient air quality in Dhaka, Bangladesh. *Aerosol Air Qual Res.* 2019;19(1):118-128; Available from: <https://doi.org/10.4209/aaqr.2017.12.0604>.
- Begum BA, Nasiruddin M, Randal S, Sivertsen B, Hopke PK. Identification and apportionment of sources from air particulate matter at urban environments in Bangladesh. *Br J Appl Sci Technol.* 2014;4:3930-3955; Available from: <https://doi.org/10.9734/bjast/2014/11247>.
- Wu Y, Zhang J, Ni Z, Liu S, Jiang Z, Huang X. Atmospheric deposition of trace elements to Daya Bay, South China Sea: fluxes and sources. *Mar Pollut Bull.* 2018;127:672-683. doi:10.1016/j.marpolbul.2017.12.046; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.046>.
- Nguyen LSP, Pham TDH, Truong MT, Tran AN. Characteristics of total gaseous mercury at a tropical megacity in Vietnam and influence of tropical cyclones. *Atmos Pollut Res.* 2023;14(8):101813;.
- Yang F, Tan J, Shi ZB, Cai Y, He K, Ma Y, Duan F, Okuda T, Tanaka S, Chen G. Five-year record of atmospheric precipitation chemistry in urban Beijing, China. *Atmos Chem Phys.* 2012;12:2025-2035; Available from: <https://doi.org/10.5194/acp-12-2025-2012>.
- Gunawardena J, Egodawatta P, Ayoko GA, Goonetilleke A. Atmospheric deposition as a source of heavy metals in urban stormwater. *Atmos Environ.* 2013;68:235-242; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.11.062>.
- Brugnone F. Atmospheric deposition around the industrial areas of Milazzo and Priolo Gargallo (Sicily-Italy)—Part B: Trace elements. *Atmosphere.* 2023;14:737; Available from: <https://doi.org/10.3390/atmos14040737>.
- Guo L, Lyu Y, Yang Y. Concentrations and chemical forms of heavy metals in the bulk atmospheric deposition of Beijing, China. *Environ Sci Pollut Res.* 2017;24:27356-27365; Available from: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0324-4>.
- Tripathi L, Kang SC, Huang J, Sharma CM, Sillanpaa M, Guo JM, Paudyal R. Concentrations of trace elements in wet deposition over the central Himalayas, Nepal. *Atmos Environ.* 2014;95:231-238; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.06.043>.
- Truong MT, Nguyen LSP, Hien TT, Pham TDH, Do TTL. Source apportionment and risk estimation of heavy metals in PM₁₀ at a Southern Vietnam megacity. *Aerosol Air Qual Res.* 2022;22:220094; Available from: <https://doi.org/10.4209/aaqr.220094>.
- Nguyen AS. Determination of elements due to atmospheric deposition on *Barbula indica* moss at Dalat, Vietnam using NAA and TXRF techniques. *Sains Malaysiana.* 2021;50(6):1531-1541;.
- Nguyen VH. Atmospheric heavy metal deposition in Northern Vietnam: Hanoi and Thainguyen case study using the moss biomonitoring technique, INAA and AAS. *Environ Sci Pollut Res.* 2010;17:1045-1052;.
- Hien TT, Chi NDT, Nguyen NT, Vinh LX, Takenaka N, Huy DH. Current status of fine particulate matter (PM_{2.5}) in Vietnam's most populous city, Ho Chi Minh City. *Aerosol Air Qual Res.* 2019;19:2239-2251; Available from: <https://doi.org/10.4209/aaqr.2018.12.0471>.
- Nguyen LSP, Hien TT, Truong MT, Nguyen DTC, Sheu GR. Atmospheric particulate-bound mercury (PBM₁₀) in a Southeast Asia megacity: Sources and health risk assessment. *Chemosphere.* 2022;307:135707; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135707>.
- Phung D, Hien TT, Linh HN, Luong LMT, Morawska L, Chu C, Binh ND, Thai PK. Air pollution and risk of respiratory and cardiovascular hospitalizations in the most populous city in Vietnam. *Sci Total Environ.* 2016;557-558:322-330;.
- Deusdará KRL, Forti MC, Borma LS, Menezes RSC, Lima JRS, Ometto JPHB. Rainwater chemistry and bulk atmospheric deposition in a tropical semiarid ecosystem: The Brazilian Caatinga. *J Atmos Chem.* 2017;74:71-85; Available from: <https://doi.org/10.1007/s10874-016-9341-9>.
- U.S. Environmental Protection Agency. EPA Method 200.7 Revision 4.4: Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry. Cincinnati, OH: Office of Research and Development; 1994; Available from: <https://doi.org/10.1016/b978-0-8155-1398-8.50010-0>.
- U.S. Environmental Protection Agency. EPA Method 200.8 Revision 5.4: Determination of trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma-mass spectrometry. Cincinnati, OH: Office of Research and Development; 1994; Available from: <https://doi.org/10.1016/b978-0-8155-1398-8.50011-2>.
- Adhikari S, Zhang F, Zeng C, Tripathi L, Adhikari NP, Xu J, Wang G. Precipitation chemistry and stable isotopic characteristics at Wengguo in the northern slopes of the Himalayas. *J Atmos Chem.* 2019;76:289-313; Available from: <https://doi.org/10.1007/s10874-020-09399-1>.
- Cong Z, Kang S, Zhang Y, Li X. Atmospheric wet deposition of trace elements to central Tibetan Plateau. *Appl Geochem.* 2010;25(9):1415-1421; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2010.06.011>.
- Rolph GD, Ngan F, Draxler RR. Modeling the fallout from stabilized nuclear clouds using the HYSPLIT atmospheric dispersion model. *J Environ Radioact.* 2014;136:41-55;.
- Hasan NY, Driejana D, Sulaeman A. Composition of ions and trace metals in rainwater in Bandung City, Indonesia. *IPTEK J Proc Ser.* 2017;3(6); Available from: <https://doi.org/10.12962/j23546026.y2017i6.3310>.
- Huston R, Chan YC, Chapman H, Gardner T, Shaw G. Source apportionment of heavy metals and ionic contaminants in rainwater tanks in a subtropical urban area in Australia. *Water Res.* 2012;46(4):1121-1132; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.12.008>.
- Majumdar A, Satpathy J, Kayee J, Das R. Trace metal composition of rainwater and aerosol from Kolkata, a megacity in eastern India. *SN Appl Sci.* 2020;2:1-17; Available from: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03933-2>.
- Malassa H, Al-Rimawi F, Al-Khatib M, Al-Qutob M. Determination of trace heavy metals in harvested rainwater used for drinking in Hebron (South West Bank, Palestine) by ICP-MS. *Environ Monit Assess.* 2014;186:6985-6992; Available from:

- <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3904-5>.
29. Sekabira K, Origa HO, Basamba TA, Mutumba G, Kakudidi E. Heavy metal assessment and water quality values in urban stream and rainwater. *Int J Environ Sci Technol*. 2010;7:759-770;.
 30. Tian HZ, Lu L, Cheng K, Hao JM, Zhao D, Wang Y, Jia WX, Qiu PP. Anthropogenic atmospheric nickel emissions and its distribution characteristics in China. *Sci Total Environ*. 2012;417-418:148-157;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.11.069>.
 31. Nguyen LSP. Characterizations of atmospheric mercury concentration and deposition at a tropical mountain background site in East Asia: insight into potential driving mechanisms [Ph.D. thesis]. Taiwan: National Central University; 2020;.
 32. Morrow AC, Dunstan RH, Coombes PJ. Elemental composition at different points of the rainwater harvesting system. *Sci Total Environ*. 2010;408:4542-4548;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.002>.
 33. Cao S, Duan X, Zhao X, Wang B, Ma J, Fan D, Jiang G. Health risk assessment of various metal(loid)s via multiple exposure pathways on children living near a typical lead-acid battery plant, China. *Environ Pollut*. 2015;200:16-23;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.02.010>.
 34. Zhang M, Wang S, Wu F, Yuan X, Zhang Y. Chemical composition of wet precipitation and anthropogenic influence at a developing urban site in southeastern China. *Atmos Res*. 2007;84:311-322;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2006.09.003>.
 35. Kim JE, Han YJ, Kim PR, Holsen TM. Factors influencing atmospheric wet deposition of trace elements in rural Korea. *Atmos Res*. 2012;116:185-194;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.04.013>.

Investigation into sampling and determination method of metals in rainwater: A preliminary results at Ho Chi Minh City

Vo Trương Gia Han^{1,2}, Nguyen Ly Sy Phu^{1,2,*}, Trinh Dan Phuong^{1,2}, Dang Nguyen Minh Chien^{1,2}, Le Quoc Hau^{1,2}

ABSTRACT

The bulk deposition (both dry and wet) is an important process that removes metal pollution from the air. The rainwater sampling is a commonly employed method for the composition estimation. While extensive global research exists on metal deposition, there remains a notable lack of attention to this field in Southeast Asia as well as in Vietnam. The paper presented the designment a sampling model to determine metal concentrations and to conduct an initial analysis of the concentrations of six metals (Pb, Zn, As, Ni, Cu, Cr) in rainwater samples obtained at an urban environment of Ho Chi Minh City (HCMC). The metal concentrations were determined by the inductively-coupled mass spectrometry (ICP-MS) technique. The observation involved assessments of rainwater collection devices, evaluations of evaporation dynamics and comparisons with theoretical precipitation. The effectiveness and reliability of the sampling equipment in collecting rainwater samples facilitated the metal content analysis. An observations over a five-month period (January to June 2023) showed the presence of all six mentioned metals, with average concentrations decreasing in the order of Zn (46.9 $\mu\text{g/L}$), Ni (4.53 $\mu\text{g/L}$), Cu (4.34 $\mu\text{g/L}$), Pb (2.46 $\mu\text{g/L}$), Cr (1.33 $\mu\text{g/L}$), As (0.20 $\mu\text{g/L}$). The rainout effect plays an important role in determining metal concentrations in rainwater samples. A significant correlations found among these metals showed the substantial contribution of the anthropogenic pollution sources to the rainwater. The proposed sampling equipment suitably proved for conducting wet deposition studies, shedding light on metal presence in the atmosphere in HCMC. This would be a preliminary information about the concentration of the six metals in rainwater collected at an urban area of HCMC.

Key words: Metals, bulk deposition, rainwater, ICP-MS, Ho Chi Minh City

¹Faculty of Environment, University of Science, Vietnam

²Vietnam National University Ho Chi Minh City, Vietnam

Correspondence

Nguyen Ly Sy Phu, Faculty of Environment, University of Science, Vietnam

Vietnam National University Ho Chi Minh City, Vietnam

Email: nlsphu@hcmus.edu.vn

History

- Received: 31-12-2023
- Revised: 17-5-2024
- Accepted: 27-8-2024
- Published Online: 31-12-2024

DOI : 10.32508/stdjns.v7iS1.1360



Copyright

© VNUHCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Cite this article : Han V T G, Phu N L S, Phuong T D, Chien D N M, Hau L Q. Investigation into sampling and determination method of metals in rainwater: A preliminary results at Ho Chi Minh City. *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.* 2024; 7(S1):80-93.