

BƯỚC ĐẦU ĐÁNH GIÁ BIẾN ĐỘNG HÀM LƯỢNG TỔNG CACBON HỮU CƠ (TOC) TRONG NƯỚC MƯA TẠI XÃ HÁT MÔN, HÀ NỘI

FIRST OBSERVATION OF TOTAL ORGANIC CARBON CONCENTRATIONS
IN RAINWATER COLLECTED IN HAT MON COMMUNE, HANOI CITY

Hoàng Thị Thu Hà^{1,2}, Lê Như Đa¹, Nguyễn Thị Mai Hương¹,
Phạm Thị Mai Hương³, Dương Thị Thủy⁴, Nguyễn Thị Ánh Hương⁵,
Phùng Thị Xuân Bình⁶, Lê Thị Phương Quỳnh^{1,*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2026.174>

TÓM TẮT

Tổng cacbon hữu cơ (TOC) trong nước mưa đóng vai trò quan trọng trong chu trình cacbon toàn cầu. Bài báo trình bày các kết quả đánh giá hàm lượng TOC trong nước mưa trong giai đoạn từ 6/2023 đến tháng 11/2025 tại xã Hát Môn, thành phố Hà Nội. Kết quả cho thấy hàm lượng TOC biến đổi trong khoảng rộng, từ 0,58 - 19,78mgC.L⁻¹, trung bình đạt 5,70mgC.L⁻¹. Giá trị trung bình TOC trong nước mưa thu thập tại xã Hát Môn, Hà Nội vào mùa khô (7,47mgC.L⁻¹) cao hơn so với mùa mưa (2,92mgC.L⁻¹), đồng thời giá trị trung bình toàn giai đoạn cao hơn so với giá trị trung bình trên thế giới và tại Châu Á, bước đầu phản ánh tác động của các yếu tố tự nhiên (lượng mưa) và các hoạt động của con người trong khu vực. Các kết quả nghiên cứu này đóng góp cơ sở dữ liệu về hàm lượng cacbon trong nước mưa để hỗ trợ các tính toán lắng đọng ướt của cacbon trong chu trình cacbon toàn cầu và cung cấp cơ sở khoa học nhằm đưa ra các biện pháp giảm thiểu ô nhiễm không khí ở Hà Nội.

Từ khóa: Nước mưa, tổng cacbon hữu cơ, xã Hát Môn, Hà Nội.

ABSTRACT

The concentration of total organic carbon (TOC) in rainwater plays an important role in the global carbon cycle. This study presents the analytical results of TOC concentrations in rainwater collected from June 2023 to November 2025 in Hat Mon commune, Hanoi, Vietnam. The results indicate that TOC concentrations varied in a wide range, from 0.58 - 19.78mgC.L⁻¹, with an average value of 5.70mgC.L⁻¹. The mean TOC concentration in rainwater collected in Hat Mon commune, Hanoi during the dry season (7.47mgC.L⁻¹) was higher than that during the rainy season (2.92mgC.L⁻¹), and the mean TOC value during the 2023 - 2025 period was higher than the World and Asian averages, initially reflecting the impact of natural factors (rainfall) and human activities in the area. Our first results contribute to the dataset of carbon concentrations in rainwater in order to support calculations of carbon wet deposition in the global carbon cycle and provide a scientific basis for proposing air pollution mitigation measures in Hanoi.

Keywords: Rainwater, total organic carbon, Hat Mon commune, Hanoi city.

¹Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

²Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

³Đại học Công nghiệp Hà Nội

⁴Viện Khoa học Công nghệ Năng lượng và Môi trường, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

⁵Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

⁶Trường Đại học Điện Lực

*Email: quynhltp@gmail.com

Ngày nhận bài: 05/3/2026

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 09/5/2026

Ngày chấp nhận đăng: 29/6/2026

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Lắng đọng ướt đã được nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu để làm sáng tỏ con đường chuyển tải các chất hóa học từ khí quyển vào bề mặt trái đất, cơ chế của mưa axit [1] hoặc để hiểu rõ sự phân tán chất ô nhiễm cục bộ và khu vực [2-4]. Trong đó, nghiên cứu về lắng đọng ướt, con đường chính để loại bỏ cacbon hữu cơ ra khỏi khí quyển, chuyển tải cacbon từ khí quyển vào bề mặt trái đất và liên quan trực tiếp đến chu trình cacbon toàn cầu là chủ đề nghiên cứu rất được quan tâm cầu [5, 6]. Mặc dù cacbon hữu cơ trong nước mưa có đóng góp quan trọng đối với chu trình cacbon toàn cầu, các nghiên cứu về hàm lượng cacbon hữu cơ trong nước mưa đặc biệt là tại các thành phố lớn ở các nước đang phát triển, nơi chịu tác động lớn của các hoạt động của con người còn hạn chế. Cho đến nay, hàm lượng cacbon hữu cơ chưa được phân tích thường xuyên trong nhiều mạng lưới giám sát [6]. Do đó, việc xác định mức độ hàm lượng TOC trong nước mưa ở các thành phố lớn, là rất cần thiết, nhằm cải thiện các tính toán chu trình cacbon, liên quan đến biến đổi khí hậu. Hơn nữa, trước khi áp dụng các biện pháp kiểm soát chất lượng nước mưa, việc xác định rõ mức độ và biến động các thành phần hóa học trong đó có hàm lượng tổng cacbon hữu cơ trong nước mưa là điều cần thiết.

Thủ đô Hà Nội là trung tâm kinh tế, văn hóa của Việt Nam. Tuy nhiên, môi trường không khí ở Hà Nội đã và đang chịu tác động đáng kể của các hoạt động của con người [7, 8]. Các công trình nghiên cứu trước đây đã đánh giá một vài thông số chất lượng nước mưa tại Hà Nội, nhằm khảo sát khả năng sử dụng như nguồn nước sinh hoạt [9, 10], tuy nhiên các nghiên cứu về hàm lượng cacbon trong nước mưa còn khá hạn chế [11]. Bài báo này trình bày các kết quả khảo sát phân tích hàm lượng tổng cacbon hữu cơ (TOC) trong nước mưa tại xã Hát Môn, thành phố Hà Nội trong mùa mưa và mùa khô trong giai đoạn năm 2023 - 2025. Các kết quả bước đầu đóng góp cơ sở dữ liệu về hàm lượng TOC trong nước mưa ở Hà Nội, cung cấp cơ sở khoa học nhằm hỗ trợ quản lý và phát triển bền vững môi trường đô thị ở quốc gia đang phát triển ở châu Á, đồng thời giúp cải thiện việc đánh giá tính toán chu trình cacbon toàn cầu.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Xã Hát Môn thuộc vùng ngoại thành phía tây bắc thành phố Hà Nội (tổng diện tích thành phố 3.360km², và tổng dân số đạt 8,5.10⁶ người năm 2025) (Hanoi-GSO, 2025) [12]. Xã Hát Môn (trước thuộc huyện Phúc Thọ cũ) nằm bên hữu ngạn sông Hồng và sông Đáy, có diện tích

đất tự nhiên là 37,67km², với đặc điểm chủ yếu là đất nông nghiệp và đang chuyển dịch mạnh sang đất phi nông nghiệp. Dân số năm 2025 đạt 73.008 người [13].

Trên địa phận xã, các hoạt động phát triển kinh tế đang có xu hướng gia tăng mạnh, bao gồm canh tác chuyên canh, sản xuất công nghiệp và làng nghề truyền thống. Một số khu/cụm công nghiệp như Tam Hiệp, Thanh Đa, Nam Phúc Thọ, và một số làng nghề như chế biến nông sản Hạ Hiệp (ví dụ bột sắn Liên Hiệp), mộc thôn Phú An, tủ bếp Hát Môn, cắt may làng Táo thôn Tam Thuấn và làng Thượng Hiệp, thôn Tam Hiệp; và nông nghiệp chuyên canh như bưởi và dâu tằm Hiệp Thuận, táo Tam Thuấn [13]. Tốc độ tăng trưởng kinh tế toàn xã năm 2025 đạt 13,5%, cơ cấu kinh tế chuyển dịch tích cực theo hướng tăng tỷ trọng công nghiệp - xây dựng (~58%), thương mại - dịch vụ (~29%), giảm tỷ trọng nông nghiệp - thủy sản (~13%).

Xã Hát Môn nằm trong vùng đồng bằng sông Hồng và sông Đáy, nơi có khí hậu chia thành 2 mùa: mùa mưa (tháng 5 - tháng 10) và mùa khô (tháng 11 - tháng 4). Tổng lượng mưa đạt 1945,3mm trong năm 2024 với khoảng 80% lượng mưa diễn ra trong mùa mưa [12]. Nhiệt độ không khí trung bình đạt 25,9°C (trong khoảng 18,4 - 30,9°C) và độ ẩm trung bình đạt 75,2 % (trong khoảng 63 - 83%) [12].

2.2. Phương pháp thu mẫu

Mẫu nước mưa được hứng trực tiếp bằng các dụng cụ đựng mẫu, tại sân thượng (ở độ cao khoảng 5m) của nhà dân tại thôn Hiệp Thuận, xã Hát Môn, ngoại thành Hà Nội (21°04'17.0"N 105°37'32.0"E) (hình 1). Phương pháp thu mẫu được trình bày chi tiết trong nghiên cứu trước đây của chúng tôi [10].



Hình 1. Vị trí thu mẫu nước mưa tại xã Hát Môn, Hà Nội

24 mẫu nước mưa được thu thập vào mùa mưa (từ tháng 5 đến tháng 10) và mùa khô (từ tháng 11 đến tháng 4) trong giai đoạn 2023 - 2025 (bảng 1). Các mẫu nước mưa được chuyển về phòng thí nghiệm ngay sau khi thu thập.

Bảng 1. Thông tin về mẫu nước mưa thu thập tại xã Hát Môn giai đoạn 2023 - 2025

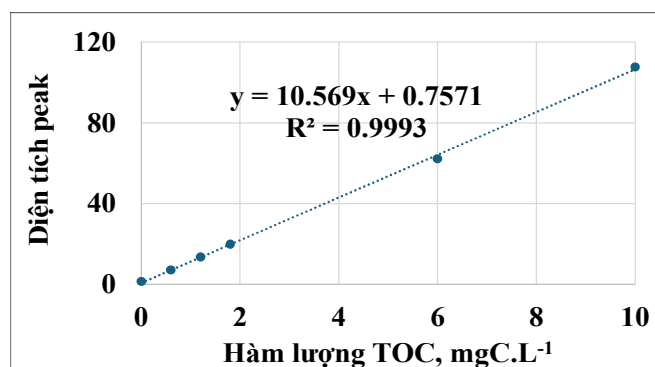
Năm	Mùa mưa	Mùa khô	Thời gian thu mẫu (ngày/ tháng)
2023	3	1	04/06; 13/09; 28/09; 06/11
2024	4	2	11/01; 27/02; 03/05; 12/05; 30/07; 16/09
2025	2	12	19/02; 25/02; 27/02; 06/03; 10/03; 12/03; 13/03; 17/03; 06/04; 12/04; 25/04; 5/5; 05/06; 18/11
2023-2025	9	15	6/2023 - 11/2025

2.3. Phương pháp phân tích mẫu

Mẫu nước mưa ngay sau khi thu thập, được axit hóa bằng axit H_3PO_4 (35 μL H_3PO_4 85% cho mỗi 30mL nước mẫu) và được bảo quản trong chai thủy tinh tối màu ở 4°C cho đến khi phân tích.

Hàm lượng TOC trong mẫu nước mưa được xác định bằng máy phân tích tổng cacbon hữu cơ (TOC-VCPH, Shimadzu, Nhật Bản) [14] tại Viện Hóa học, dựa trên nguyên tắc: các hợp chất cacbon hữu cơ có trong mẫu chuyển thành khí CO_2 với sự có mặt của xúc tác Pt ở nhiệt độ cao (680°C); sau đó thể tích CO_2 thoát ra được đo bằng detector NDIR [14].

Đường chuẩn phân tích TOC được xây dựng với dung dịch chuẩn ở các nồng độ 0,6; 1,2; 1,8; 5,0 và 10,0mgC.L⁻¹ ($R^2 = 0,9993$) (hình 2). Giá trị giới hạn phát hiện (LOD) đạt 0,1mgC.L⁻¹, và giá trị giới hạn định lượng (LOQ) là 0,5mgC.L⁻¹. Độ đúng của phương pháp được đánh giá thông qua phân tích mẫu CRM (batch 02 - 23, Hansell Laboratory) thu được sai khác (RSD%) nhỏ hơn 3%. Do đó, phương pháp có độ đúng tốt, đảm bảo độ tin cậy và tính xác thực của dữ liệu.



Hình 2. Đường chuẩn xác định hàm lượng TOC

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Hàm lượng TOC trong mẫu nước mưa tại xã Hát Môn, Hà Nội

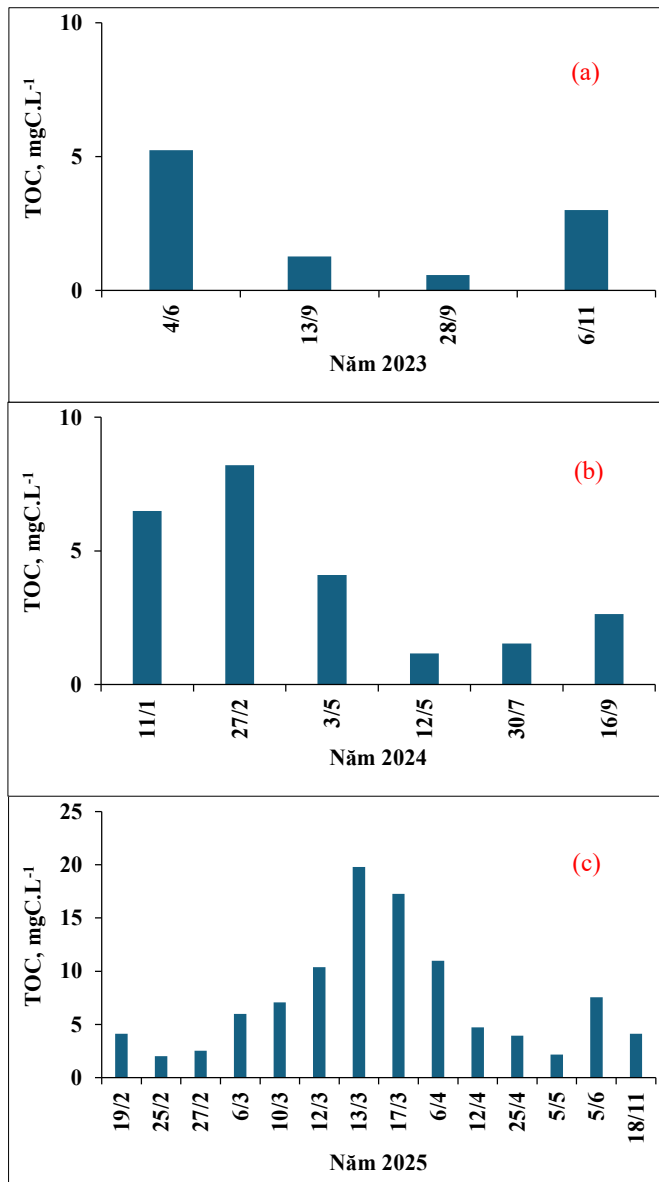
Kết quả phân tích 24 mẫu nước mưa thu thập tại xã Hát Môn, Hà Nội từ giai đoạn tháng 6/2023 đến tháng 11/2025 cho thấy hàm lượng TOC thay đổi trong khoảng rất rộng, từ 0,58 - 19,78mgC.L⁻¹, trung bình đạt 5,70 ± 4,85mgC.L⁻¹ (bảng 2, hình 3).

Bảng 2. Hàm lượng TOC trong 24 mẫu nước mưa khảo sát tại xã Hát Môn, Hà Nội

Năm	TOC, mgC.L ⁻¹
2023	2,53 ± 1,80
2024	4,02 ± 2,57
2025	7,33 ± 5,31
<i>Trung bình 24 mẫu</i>	<i>5,70 ± 4,85</i>
<i>Thấp nhất</i>	<i>0,58</i>
<i>Cao nhất</i>	<i>19,78</i>
<i>QCVN 08-2023/BTNMT cột A</i>	<i>≤ 4</i>
<i>cột B</i>	<i>≤ 6</i>

Ở một số nước đang phát triển, nước mưa cũng có thể là nguồn cung cấp nước sinh hoạt quan trọng cho người dân. Bảng 2 cho thấy giá trị trung bình TOC trong mẫu nước mưa tại xã Hát Môn, Hà Nội cao hơn so với giá trị cho phép trong quy chuẩn QCVN 08-2023/BTNMT cột A (Chất lượng nước tốt, nước có thể được sử dụng cho mục đích cấp nước sinh hoạt, bơi lội, vui chơi dưới nước sau khi áp dụng các biện pháp xử lý phù hợp). Giá trị trung bình TOC trong mẫu nước mưa tại xã Hát Môn, Hà Nội thấp hơn so với giá trị cho phép trong quy chuẩn QCVN 08-2023/BTNMT của cột B (Chất lượng nước trung bình, nước có thể sử dụng cho mục đích sản xuất công nghiệp, nông nghiệp sau khi áp dụng các biện pháp xử lý phù hợp), tuy nhiên giá trị TOC cao nhất (19,78mgC.L⁻¹) cao hơn giá trị cho phép của cột B.

Hàm lượng TOC trung bình năm trong mẫu nước mưa khảo sát tại xã Hát Môn, Hà Nội lần lượt đạt 2,53 ± 1,80mgC.L⁻¹ (năm 2023); 4,02 ± 2,57mgC.L⁻¹ (năm 2024) và 7,33 ± 5,31mgC.L⁻¹ (năm 2025) (bảng 2). Có thể thấy xu hướng gia tăng hàm lượng TOC qua các năm trong giai đoạn 2023 - 2025. Tuy nhiên, cần chú ý rằng hàm lượng TOC trung bình năm 2025 cao hơn các năm 2023 - 2024 có thể do số lượng mẫu năm 2025 được thu thập chủ yếu trong mùa khô (12/14 mẫu) cùng với các giá trị TOC cao trong mùa khô.



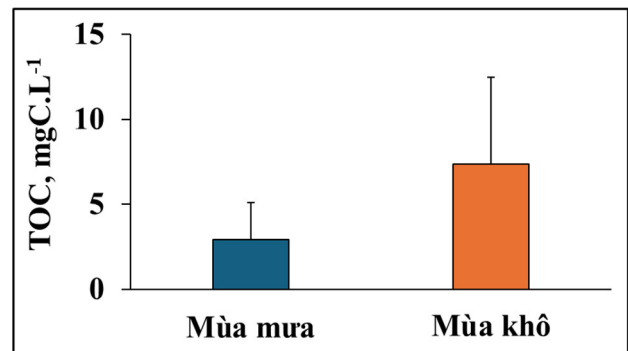
Hình 3. Hàm lượng TOC trong các mẫu nước mưa khảo sát tại xã Hát Môn, Hà Nội giai đoạn 2023 - 2025

Biến động theo mùa

Hàm lượng TOC trong các mẫu nước mưa tại xã Hát Môn trong mùa khô với các giá trị cao nhất thu được vào giữa mùa khô (tháng 3), và các giá trị thấp hơn thường quan trắc được vào giữa mùa mưa (hình 3), ngoại trừ giá trị quan trắc vào ngày 5/6/2025 (hình 3c). Các giá trị TOC cao nhất được quan sát thấy trong mùa khô phù hợp với kết quả nghiên cứu trước đây cho thấy sau mỗi giai đoạn không có mưa kéo dài trong nhiều ngày, hàm lượng cacbon hữu cơ trong nước mưa thường tương đối cao do sự tích tụ chất ô nhiễm trong không khí, thiếu khả năng tự làm sạch, đặc biệt là khi lượng mưa nhỏ [15, 16].

Giá trị trung bình hàm lượng TOC vào mùa mưa đạt $2,92 \pm 2,16 \text{ mgC.L}^{-1}$, thấp hơn so với giá trị quan trắc được

trong mùa khô ($7,37 \pm 5,09 \text{ mgC.L}^{-1}$) trong toàn bộ giai đoạn 2023 - 2025 (hình 4).



Hình 4. Hàm lượng TOC trung bình mùa mưa và mùa khô trong nước mưa tại xã Hát Môn, Hà Nội giai đoạn 2023 - 2025

Xu hướng giảm mạnh hàm lượng cacbon hữu cơ vào mùa mưa so với mùa khô cũng đã được quan sát thấy ở một số khu vực trên thế giới [11, 15]. Kết quả khảo sát TOC tại xã Hát Môn, Hà Nội (hình 4) với giá trị trung bình cao hơn rõ rệt vào mùa khô so với mùa mưa, tương ứng với sự gia tăng tần suất và lượng mưa cao (chiếm khoảng 80% tổng lượng mưa) thường diễn ra trong mùa mưa trong vùng khu vực nghiên cứu [12]. Điều này phù hợp với các nghiên cứu trước đây cho rằng hàm lượng cacbon hữu cơ trong nước mưa có sự giảm mạnh, đặc biệt vào giữa mùa mưa khi cường độ lượng mưa cao và tần suất có mưa lớn do có sự rửa trôi và pha loãng; trong khi các giá trị hàm lượng cacbon hữu cơ thường rất cao trong mùa khô khi lượng mưa thấp [11, 16].

Nghiên cứu [16] cho thấy, hàm lượng TOC trong nước mưa có mối tương quan tỷ lệ nghịch đáng kể và giảm theo lượng mưa. Tuy nhiên, nghiên cứu này chưa đánh giá được mối tương quan cụ thể giữa hàm lượng TOC và lượng mưa trong khu vực xã Hát Môn khi chưa thu thập được các dữ liệu về lượng mưa theo ngày trong suốt giai đoạn thu mẫu 2023 - 2025.

3.2. So sánh với hàm lượng TOC trong mẫu nước mưa trên thế giới

Kết quả khảo sát hàm lượng TOC trong một số nghiên cứu trên thế giới được trình bày trong bảng 3. Bảng 3 cho thấy hàm lượng TOC trong nước mưa ở các khu vực khác nhau trên thế giới biến đổi trong khoảng rộng. Một số nghiên cứu trước đây cho rằng hàm lượng TOC trong nước mưa phụ thuộc vào các yếu tố như vị trí địa lý khảo sát, đặc điểm khí tượng (lượng mưa, tốc độ gió, hướng gió), và mức độ tác động của các hoạt động của con người trong khu vực [22, 23].

Kết quả khảo sát của chúng tôi cũng cho thấy hàm lượng TOC trong nước mưa tại xã Hát Môn có sự biến

động theo mùa với giá trị cao hơn thu được vào mùa khô, phần nào phản ánh tác động của yếu tố khí tượng (lượng mưa) tới hàm lượng TOC, như đã trình bày ở trên.

Bảng 3. Hàm lượng TOC trong một số mẫu nước mưa trên thế giới

Tên vị trí khảo sát, Quốc gia	Mô tả vị trí khảo sát	Thời gian khảo sát	Hàm lượng TOC, mgC.L ⁻¹	Tài liệu tham khảo
Lưu vực sông và vịnh Thâm Quyển, Trung Quốc	Đô thị	2011 - 2012	0,58 - 14,4 (4,03)	[16]
Florida, Mỹ	Đô thị	—	2,6	[17]
Rzeszów, Ba Lan	Ngoại ô, phi công nghiệp	2015 - 2016	5	[18]
Puerto Rico, Mỹ	Rừng núi	2004 - 2007	0,5	[19]
Sumatra, Indonesia	Rừng đầm lầy	T5 - T7/2012	~ 3,3 - 4,1	[20]
Thành phố Poznań, Ba Lan	Đô thị	T4 - T12/2013	5,1	[21]
Jeziory, Ba Lan	Rừng bảo tồn	T4 - T12/2013	4,72	[21]
Xã Hát Môn, Hà Nội, Việt Nam	Ngoại ô, canh tác chuyên canh, làng nghề	6/2023 - 11/2025	0,58 - 19,78 (5,70 ± 4,85)	Nghiên cứu này
Trung bình châu Á		1985 - 2015	2,65 ± 0,9	[6]
Trung bình thế giới		1985 - 2015	2,64 ± 1,9	[6]

Mặt khác, một số nghiên cứu đã nhấn mạnh rằng hàm lượng TOC trong khí quyển chủ yếu bị ảnh hưởng bởi các nguồn nhân tạo hơn là các nguồn tự nhiên và biển [1]. Ví dụ, kết quả nghiên cứu [16] cho thấy hàm lượng TOC trong nước mưa tại khu vực đô thị ở Thâm Quyển, Trung Quốc có mối tương quan dương với hàm lượng bụi PM₁₀ trong khí quyển, chứng minh TOC trong nước mưa phản ánh ô nhiễm không khí do sự gia tăng nhanh chóng mức tiêu thụ nhiên liệu hóa thạch (ví dụ, khí thải từ phương tiện giao thông). Các tác giả này nhấn mạnh rằng với tốc độ đô thị hóa và công nghiệp hóa nhanh chóng, Thâm Quyển đã và đang phải đối mặt với vấn đề ô nhiễm không khí do sự gia tăng nhanh chóng lượng tiêu thụ nhiên liệu hóa thạch (ví dụ: khí thải từ phương tiện giao thông) [16].

Kết quả khảo sát hàm lượng TOC (trong khoảng 0,58 - 19,78; trung bình đạt 5,70mgC.L⁻¹) trong nghiên cứu này gần với kết quả khảo sát TOC trong nước mưa (trong khoảng 0,58 - 14,4, trung bình 4,03mgC.L⁻¹) lưu vực sông và vịnh Thâm Quyển, khu vực đô thị tại Trung Quốc trong giai đoạn 2011 - 2012 [16], cũng như vùng ngoại ô, phi

công nghiệp, Rzeszów (5 mgC.L⁻¹) [18] và vùng đô thị thuộc thành phố Poznań, Ba Lan (5,1mgC.L⁻¹) [21]. Tuy nhiên, hàm lượng TOC trong nghiên cứu này cao hơn nhiều so với vùng rừng núi Puerto Rico, Mỹ (0,5mgC.L⁻¹), đồng thời cao hơn so với giá trị hàm lượng cacbon hữu cơ trung bình trên thế giới và ở châu Á giai đoạn 1985 - 2015 (bảng 3). Điều này phần nào phản ánh tác động của các hoạt động của con người đến hàm lượng TOC trong nước mưa và không khí khu vực nghiên cứu. Đối với vùng nông nghiệp, đốt sinh khối và sản xuất nông nghiệp được coi là nguồn chủ yếu cung cấp TOC trong nước mưa [24]. Kết quả nghiên cứu của chúng tôi cho thấy hàm lượng TOC khá cao vào mùa khô tại xã Hát Môn, có thể liên quan đến các nguồn phát thải chất hữu cơ xung quanh vị trí lấy mẫu. Khu vực nghiên cứu tiếp giáp với trục đường chính nên có mật độ dân số, mật độ giao thông cao và các hoạt động làng nghề như: làng nghề đồ gỗ, làng nghề may mặc, và chăn nuôi nhỏ lẻ [13]. Những hoạt động này có khả năng phát thải hợp chất hữu cơ dễ bay hơi vào khí quyển [25; 26; 27]. Bên cạnh đó, cụm khu công nghiệp (ví dụ Nam Phúc Thọ) đang trong giai đoạn thi công xây dựng cũng có thể góp phần gia tăng tải lượng chất hữu cơ thông qua bụi xây dựng, khí thải từ máy móc và phương tiện vận chuyển nguyên vật liệu. Ngoài ra, xã Hát Môn cũng là khu vực canh tác nông nghiệp, với các vùng chuyên canh cây ăn quả (đặc biệt là bưởi), hoa màu và các hoạt động nông nghiệp theo mùa. Việc đốt sinh khối sau thu hoạch, cùng với quá trình phân hủy vật chất hữu cơ từ đất nông nghiệp, có thể làm tăng nồng độ cacbon hữu cơ trong khí quyển. Bên cạnh đó, các hoạt động phát triển kinh tế - xã hội ở các khu vực lân cận cũng có thể là nguồn đóng góp quan trọng TOC trong nước mưa ở xã Hát Môn [13]. Trong điều kiện mùa khô, lượng mưa thấp và thời gian lưu của các chất ô nhiễm trong không khí kéo dài, tạo điều kiện cho sự tích tụ các hợp chất hữu cơ, dẫn đến hàm lượng TOC trong nước mưa cao hơn trong các đợt mưa nhỏ trong mùa khô và các đợt mưa đầu mùa mưa. Tuy nhiên, cần có các đánh giá sâu hơn về sự đóng góp của từng nguồn phát thải tới hàm lượng TOC trong nước mưa tại xã Hát Môn nói riêng và Hà Nội nói chung. Các nghiên cứu tiếp theo sử dụng kết quả phân tích đồng vị phóng xạ (¹⁴C) cũng như các chỉ tiêu chất lượng nước khác là cần thiết.

3.3. Một số hạn chế của nghiên cứu và kiến nghị hướng nghiên cứu tiếp theo

Nghiên cứu này mới chỉ là kết quả bước đầu khảo sát đánh giá hàm lượng TOC trong nước mưa ở một xã thuộc ngoại ô Hà Nội và còn tồn tại một số hạn chế. Số

lượng mẫu thu thập mới chỉ được thực hiện tại một vị trí và số lượng mẫu phân bố theo thời gian, theo mùa còn hạn chế. Vì vậy, các nghiên cứu tiếp theo mở rộng vị trí khảo sát cũng như tần suất thu mẫu cần được tiến hành để đảm bảo thu được các kết quả có tính đại diện tốt hơn. Cần tiến hành quan trắc hàm lượng TOC theo chuỗi thời gian để có thể đánh giá được sự biến động của cacbon hữu cơ theo xu hướng dài hạn dưới các tác động của các điều kiện tự nhiên và các hoạt động của con người. Bên cạnh đó, các số liệu khí tượng như lượng mưa, hướng gió và các nguồn phát thải cacbon trong khu vực nghiên cứu cũng như các vùng lân cận có khả năng tác động cũng cần được thu thập và đánh giá ảnh hưởng của chúng tới biến động hàm lượng TOC trong nước mưa. Như đã đề cập ở trên, nghiên cứu sâu hơn, xác định được tỷ lệ đóng góp của các nguồn gây gia tăng cacbon hữu cơ trong mưa là cần thiết để có thể đưa ra được các biện pháp cụ thể phòng ngừa và khắc phục. Mặc dù là các kết quả bước đầu, nhưng nghiên cứu này lần đầu tiên cung cấp dữ liệu về hàm lượng TOC trong nước mưa, đóng góp cơ sở khoa học nhằm hỗ trợ quản lý và phát triển bền vững môi trường đô thị ở quốc gia đang phát triển như Việt Nam.

4. KẾT LUẬN

Kết quả khảo sát 24 mẫu nước mưa thu thập vào mùa mưa và mùa khô tại xã Hát Môn, thành phố Hà Nội giai đoạn từ 6/2023 đến 11/2025 cho thấy hàm lượng TOC trong nước mưa dao động trong khoảng rộng, từ 0,58 - 19,78mgC.L⁻¹, trung bình đạt $5,70 \pm 4,85\text{mgC.L}^{-1}$. Hàm lượng TOC tại vị trí quan trắc có sự biến động mạnh, phụ thuộc vào thời điểm thu mẫu với giá trị trung bình vào mùa khô cao hơn so với mùa mưa. Các kết quả bước đầu đóng góp cơ sở dữ liệu về chất lượng nước mưa và lắng đọng ướt của cacbon hữu cơ tại vùng ngoại ô thành phố Hà Nội. Tuy nhiên, nghiên cứu này mới chỉ được thực hiện quan trắc hàm lượng TOC tại 1 vị trí thuộc xã Hát Môn, Hà Nội và số lượng mẫu phân bố theo thời gian, theo mùa còn hạn chế. Cần mở rộng tần suất và vị trí khảo sát ở xã Hát Môn, cũng như cần có thêm các đánh giá sâu hơn về ảnh hưởng của các thông số khí tượng, và tỷ lệ đóng góp của các nguồn phát thải tới hàm lượng TOC trong nước mưa.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (VAST) cho nhiệm vụ hợp tác quốc tế mã số QTKR01.02/24-25. Tập thể tác giả xin chân thành cảm ơn Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã hỗ trợ kinh phí thực hiện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Huang D.Y., Xu Y.G., Zhou B., Zhang H.H., Lan J.B., "Wet deposition of nitrogen and sulfur in Guangzhou, a subtropical area in South China," *Environ. Monit. Assess.*, 171, 429-439, 2010.
- [2]. Tian Y.H., Yang L.Z., Yin B., Zhu Z.L., "Wet deposition N and its runoff flow during wheat seasons in the Tai Lake Region, China," *Agric. Ecosyst. Environ.*, 141, 224-229, 2011.
- [3]. Zhang H.P., Zhu Y.P., Li F.P., Chen C., "Nutrients in the wet deposition of Shanghai and ecological impacts," *Phys. Chem. Earth*, 36, 407-410, 2011.
- [4]. Le N.D., Nguyen T.M.H., Phung T.X.B., et al., "First observations of nutrients (nitrogen, phosphorus and silica) in atmospheric wet deposition in Hanoi City, Vietnam," *Water Air Soil Pollut.*, 237, 96, 2026. <https://doi.org/10.1007/s11270-025-08798-y>
- [5]. Xing J., Song J., Yuan H., Li X., Li N., Duan L., Qi D., "Atmospheric wet deposition of dissolved organic carbon to a typical anthropogenic-influenced semi-enclosed bay in the western Yellow Sea, China: Flux, sources and potential ecological environmental effects," *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 182, 109371, 2019.
- [6]. Iavorivska L., Boyer E.W., DeWalle D.R., "Atmospheric deposition of organic carbon via precipitation," *Atmospheric Environment*, 146, 153-163, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.06.006>
- [7]. Lasko K., Vadrevu K.P., Nguyen T.T.N., Justice C., "Analysis of air pollution over Hanoi, Vietnam using multi-satellite and MERRA reanalysis datasets," *PLoS ONE*, 13(5), e0196629, 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196629>
- [8]. Makkonen U., Vestenius M., Huy L.N., Anh N.T.N., Linh P.T.V., Thuy P.T., Phuong H.T.M., Nguyen H., Thuy L.T., Aurela M., Hellén H., Loven K., Kouznetsov R., Kyllönen K., Teinilä K., Kim Oanh N.T., "Chemical composition and potential sources of PM_{2.5} in Hanoi," *Atmospheric Environment*, 299, 119650, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.119650>
- [9]. Tran T.L., Nguyen T.T.H., "Rooftop rainwater harvesting and artificial groundwater recharge - A case study: Thanh Xuan district in south of Hanoi," *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 44(2), 286-300, 2022. <https://doi.org/10.15625/2615-9783/17081>
- [10]. Le N.D., Phung T.X.B., Nguyen T.M.H., Hoang T.T.H., Nguyen T.A.H., Pham T.M.H., Duong T.T., Le T.P.Q., "Assessment of fecal contamination and its potential risks of rainwater collected in Hanoi city, Vietnam," *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 47(4), 463-478, 2025. <https://doi.org/10.15625/2615-9783/23607>
- [11]. Lê Như Đa, Nguyễn Thị Mai Hương, Hoàng Thị Thu Hà, Đoàn Thị Oanh, Phạm Văn Lộc, Nguyễn Thị Phương Mai, Phạm Thị Mai Hương, Dương Thị Thủy, Lê Thị Phương Quỳnh, "Bước đầu khảo sát hàm lượng cacbon hữu cơ hòa tan (DOC) trong nước mưa ở quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội," *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Công nghiệp Hà Nội*, 60(3), 109-112, 2024. <http://doi.org/10.57001/huic5804.2024.107>
- [12]. Hanoi-GSO (General Statistics Office of Hanoi), *Niên giám thống kê thành phố Hà Nội năm 2024*. Nhà xuất bản Thống kê, 752 trang, 2025.

- [13]. Cổng thông tin điện tử thành phố Hà Nội, 2025. <https://hanoi.gov.vn/chi-dao-cua-ubnd-thanh-pho-ha-noi>
- [14]. Shimadzu, *Excellent in science: TOC application handbook*. Shimadzu Corporation, 79 pages, 2023.
- [15]. Zeng J., Guilin H., Shitong Z., Xuhuan X., Yikai L., Xi G., Di W., Rui Q., "Response of dissolved organic carbon in rainwater during extreme rainfall period in megacity: Status, potential source, and deposition flux," *Sustainable Cities and Society*, 88, 104299, 2023.
- [16]. Huang Y., Zhang L., Ran L., "Total organic carbon concentration and export in a human-dominated urban river: A case study in the Shenzhen River and Bay Basin," *Water*, 14, 2102, 2022. <https://doi.org/10.3390/w14132102>
- [17]. Kalev S., Toor G.S., "Concentrations and loads of dissolved and particulate organic carbon in urban stormwater runoff," *Water*, 12, 1031, 2020.
- [18]. Zdeb M., Zamorska J., Papciak D., Słyś D., "The quality of rainwater collected from roofs and the possibility of its economic use," *Resources*, 9(2), 12, 2020. <https://doi.org/10.3390/resources9020012>
- [19]. Gioda A., Reyes-Rodríguez G. J., Santos-Figueroa G., Collett Jr. J. L., Decesari S., Ramos M. C. K. V., Bezerra Netto H. J. C., de Aquino Neto F. R., Mayol-Bracero O. L., "Speciation of water-soluble inorganic, organic, and total nitrogen in a background marine environment: Cloud water, rainwater, and aerosol particles," *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116, D05203, 2011. <https://doi.org/10.1029/2010JD015010>
- [20]. Yupi H. M., Inoue T., Bathgate J., Putra R., "Concentrations, loads and yields of organic carbon from two tropical peat swamp forest streams in Riau Province, Sumatra, Indonesia," *Mires and Peat*, 18, Article 14, 1-15, 2016. <https://doi.org/10.19189/MaP.2015.OMB.181>
- [21]. Siudek P., Frankowski M., Siepak J., "Seasonal variations of dissolved organic carbon in precipitation over urban and forest sites in central Poland," *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 11001-11011, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4356-3>
- [22]. Cao J., Pan Y., Yu S., Zheng B., Ji D., Hu J., Liu J., "Rapid decline in atmospheric organic carbon deposition in North China between 2016 and 2020," *Atmospheric Environment*, 119030, 2022.
- [23]. Huang X.F., Li X.A., He L.Y., Feng N., Hu M., Niu Y.W., Zeng L.W., "5-year study of rainwater chemistry in a coastal mega-city in South China," *Atmos. Res.*, 97, 185-193, 2010.
- [24]. Godoy-Silva D., Nogueira R.F.P., Campos M.L.A.M., "A 13-year study of dissolved organic carbon in rainwater of an agro-industrial region of São Paulo state (Brazil) heavily impacted by biomass burning," *Sci. Total Environ.*, 609, 476-483, 2017.
- [25]. Cao L., Men Q., Zhang Z., Yue H., Cui S., Huang X., Zhang Y., Wang J., Chen M., Li H., "Significance of volatile organic compounds to secondary pollution formation and health risks observed during a summer campaign in an industrial urban area," *Toxics*, 12(1), 34, 2024. <https://doi.org/10.3390/toxics12010034>
- [26]. Im J.K., Cho Y.C., Noh H.R., Yu, S.J., "Geographical distribution and risk assessment of volatile organic compounds in tributaries of the Han River watershed," *Agronomy*, 11, 956, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050956>
- [27]. Mula V., Bogdanov J., Stanoeva J.P., Zeneli L., Zdravkovski Z., "Monitoring volatile organic compounds in air using passive sampling: Regional cross-border study between N. Macedonia and Kosovo," *Aerosol and Air Quality Research*, 24, 230170, 2024. <https://doi.org/10.4209/aaqr.230170>

AUTHORS INFORMATION

**Hoang Thi Thu Ha^{1,2}, Le Nhu Da¹, Nguyen Thi Mai Huong¹,
Pham Thi Mai Huong³, Duong Thi Thuy⁴, Nguyen Thi Anh Huong⁵,
Phung Thi Xuan Binh⁶, Le Thi Phuong Quynh^{1,2}**

¹Institute of Chemistry, Vietnam Academy of Science and Technology, Vietnam

²Graduate University of Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology, Vietnam

³Hanoi University of Industry, Vietnam

⁴Institute of Science and Technology for Energy and Environment, Vietnam Academy of Science and Technology, Vietnam

⁵University of Science, Vietnam National University, Hanoi, Vietnam

⁶Electric Power University, Vietnam