

Nguồn gốc và xu hướng biến đổi các khí nhà kính (carbon dioxide và methane) trong lòng các hang động đá vôi đã và đang khai thác du lịch tại Vườn Quốc gia Phong Nha - Kẻ Bàng

Origin and changing trend of greenhouse gases (cacbon dioxit and methane) in limestone caves that have been exploited for tourism in Phong Nha - Ke Bang National Park

Trần Ngọc^{a,b,*}, Trịnh Anh Đức^c
Tran Ngoc^{a,b,*}, Trinh Anh Duc^c

^a*Viện Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ Cao, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam*

^a*Institute of Research and Development, Duy Tan University, Da Nang, 550000, Vietnam*

^b*Khoa Môi trường và Khoa học Tự nhiên, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam*

^b*Faculty of Environmental and Natural Sciences, Duy Tan University, Da Nang, 550000, Vietnam*

^c*Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam*

^c*Institute of chemistry, Vietnam Academy of Science and Technology*

(Ngày nhận bài: 08/11/2021, ngày phản biện xong: 04/12/2021, ngày chấp nhận đăng: 14/01/2022)

Tóm tắt

Sự biến đổi của môi trường vi khí hậu bên trong các hang động có những nguyên lý riêng của nó, không giống với môi trường không khí bên ngoài. Các kết quả quan trắc thực địa và phân tích ở phòng thí nghiệm đều cho thấy hàm lượng các khí nhà kính như cacbon dioxit (CO₂), methane (CH₄), và một số khí khác trong các hang động đá vôi là khác nhau. Với các hang động đã và đang khai thác du lịch, nếu là hang kín (hang chỉ có một cửa), hàm lượng CO₂ trong hang thường ở mức cao và thay đổi đáng kể giữa ngày và đêm, giữa những vị trí có khách tham quan và không có khách tham quan, điều đó cho thấy có sự tích tụ khí CO₂ trong lòng hang động. Ngược lại, hàm lượng CH₄ lại thường rất nhỏ và ít biến đổi cho thấy môi trường lòng hang lại là nơi phân hủy khí CH₄, ngược với suy nghĩ từ trước đến nay cho rằng loại khí này luôn tích tụ trong môi trường kín.

Từ khóa: Khí nhà kính, CO₂, CH₄, hang động đá vôi.

Abstract

The change of the microclimate inside the caves has its principles, which are not the same as the atmosphere outside. The results of field observations and laboratory analysis show that the concentrations of greenhouse gases such as carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), and some other gases in the caves are different. With the caves that have been exploited for tourism, if it is a closed cave (the cave has only one mouth and no underground river), the CO₂ content in the cave is usually high and varies significantly between day and night, among caves, location with visitors and without visitors. This shows that there is an accumulation of CO₂ in the cave. In contrast, the concentration of CH₄ is usually very small and has little change, indicating that the cave environment is the place where CH₄ gas is decomposed, contrary to previous thought that this gas always accumulates in a closed environment.

Keywords: Greenhouse gas; CO₂; CH₄; limestone cave.

* *Corresponding Author:* Tran Ngoc, Faculty of Environmental and Natural Sciences, Duy Tan University, 55000, Danang, Vietnam; Institute of Research and Development, Duy Tan University, 55000, Danang, Vietnam
Email: daotaobq@gmail.com or tranngoc11@duytan.edu.vn

1. Mở đầu

Sự biến đổi của môi trường vi khí hậu bên trong các hang động đá vôi luôn có những nguyên lý riêng của nó mà không giống với môi trường không khí bên ngoài. Ngoài ra, việc khai thác du lịch hang động có thể làm thay đổi môi trường vi khí hậu trong lòng hang nhiều hơn. Khi lượng du khách tham quan đông có thể làm gia tăng nồng độ các khí nhà kính như CO₂ và CH₄ trong không khí lòng hang [1, 2, 3]. Bên cạnh đó, các khí độc như NO₂, hay CO cũng có khả năng lưu trữ, tích tụ trong lòng hang, gây ảnh hưởng đến sức khỏe khách tham quan. Các nghiên cứu về sự biến đổi môi trường vi khí hậu nói chung, khí nhà kính như CO₂ và CH₄ nói riêng, tồn tại trong lòng các hang động đá vôi đã đưa ra một số giả thuyết giải thích về nguồn gốc, cơ chế chuyển hóa, sự biến đổi của các khí này [3, 4]. Các kết quả nghiên cứu đều cho thấy môi trường vi khí hậu trong các hang động có sự trao đổi mạnh mẽ với môi trường bên ngoài. Thông thường, hàm lượng khí CO₂ trong đất (trong khoảng 1000 - 10000 ppm) cao hơn nhiều trong khí quyển (trong khoảng 380 - 450 ppm), chiếm thành phần chính của khí CO₂ tích tụ trong lòng các hang động [4, 5]. Trong trường hợp các hang động đang đưa vào khai thác du lịch, hàm lượng CO₂ trong hang là sản phẩm của quá trình hòa trộn giữa CO₂ khí quyển, CO₂ khuếch tán từ đất đá và nước thấm thấu và CO₂ do con người hô hấp. Hàm lượng khí CO₂ trong lòng hang là một yếu tố quan trọng quyết định đến nhiều quá trình địa hóa. Nếu hang kín (chỉ có một cửa), quá trình hòa tan đá vôi xảy ra cho đến khi toàn bộ khí CO₂ được hòa tan hết. Nếu hang hở (có nhiều cửa), hệ môi trường trong lòng hang sẽ duy trì quá trình tiếp xúc giữa nước thấm thấu và CO₂ có nguồn gốc từ đất hay các nguồn khác như khách du lịch tham quan và động vật sống trong lòng hang, dẫn đến làm tăng tổng lượng cacbonat hòa tan [5, 6, 7, 8]. Trong thực tế, trong lòng hang động thường

tồn tại các khu vực được coi là hệ mở/hở nằm ở phía trên gần cửa hang, ở những khu vực sâu hơn bên trong, môi trường trở thành hệ kín. Điều này có nghĩa là không phải chỗ nào trong lòng hang cũng xảy ra quá trình hòa tan đá vôi mà có những khu vực thì khí CO₂ trong lòng hang thấp, dẫn đến khí CO₂ thoát ra từ nước thấm thấu, và quá trình kết tủa calcite xảy ra mạnh hơn, làm tăng khả năng thành tạo của hệ thống thạch nhũ trong hang [1, 2, 3, 5, 9]. Như vậy, khai thác du lịch sẽ làm xáo trộn về cấu trúc cũng như môi trường vi khí hậu so với điều kiện tự nhiên, đặc biệt là khu vực được phép tham quan (có xây dựng các sàn đạo - lối đi phục vụ hoạt động tham quan). Việc xác định được hàm lượng CO₂ và cơ chế biến đổi của chúng trong lòng hang là cần thiết để khai thác hiệu quả và bảo vệ các di sản các hang động đá vôi.

Bên cạnh khí CO₂, CH₄ là khí thường gặp, chúng tích tụ trong các hang động do quá trình phân hủy của chất hữu cơ trong môi trường yếm khí tạo ra. Đây cũng là khí nhà kính phổ biến thứ hai sau khí CO₂ với hàm lượng trong khí quyển vào khoảng 1800 ppb. Khí CH₄ có hiệu ứng thu nhiệt lượng bằng 28 lần so với khí CO₂, nên mặc dù hàm lượng ít hơn nhiều so với CO₂, nhưng khí này cũng đóng vai trò quan trọng trong việc tạo ra hiệu ứng nhà kính – sự nóng lên toàn cầu của trái đất [1, 2, 3]. Tuy nhiên, hiểu biết của con người về nguồn gốc hình thành cũng như phân hủy của CH₄ chưa nhiều, đặc biệt là môi trường trong các hang động đá vôi. Cho đến nay chưa có nghiên cứu nào chỉ ra rõ ràng khí CH₄ có nguồn gốc từ những quá trình nào và xu hướng biến đổi ra sao trong môi trường đặc biệt như bên trong các hang động đá vôi. Trái với các suy nghĩ cho rằng CH₄ được sinh ra và sẽ tích tụ trong lòng các hang động, tuy nhiên kết quả quan trắc về khí này trong môi trường vi khí hậu của các hang động đá vôi ở Tây Ban Nha đã cho thấy

khí CH₄ không những không bị tích tụ mà lại bị phân hủy trong môi trường này [1].

Cho đến nay, các nghiên cứu về môi trường vi khí hậu trong lòng các hang động thuộc hệ thống hang động của di sản thiên nhiên thế giới Vườn Quốc gia Phong Nha - Kẻ Bàng là rất ít. Đặc biệt là các nghiên cứu về cơ chế xuất hiện, tích trữ, chuyển hóa, biến đổi của các khí nhà kính trong môi trường đặc biệt như trong lòng hang động đá vôi. Vì vậy, trong nghiên cứu này đặt ra việc sử dụng các quan trắc tại chỗ cũng như phân tích trong phòng thí nghiệm các loại khí khác nhau như các khí nhà kính CO₂ và CH₄ và các khí độc như CO, NO₂ trong lòng hang đá vôi tại Vườn Quốc gia Phong Nha-Kẻ Bàng. Các kết quả thu được sẽ đóng góp vào sự hiểu biết của con người về nguồn gốc, cơ chế chuyển hóa của các khí nhà kính trong môi trường vi khí hậu trong hang động nói chung và hang động đá vôi nói riêng.

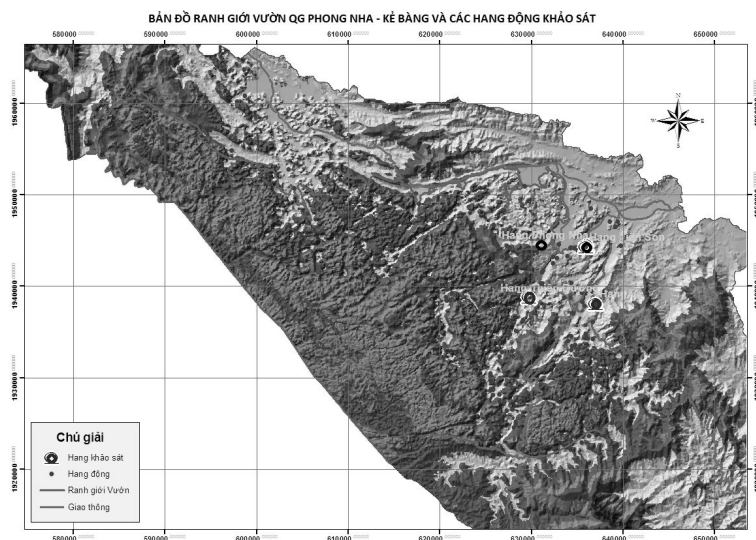
2. Phương pháp thực nghiệm

Các phương pháp được sử dụng trong nghiên cứu này là sự kết hợp giữa quan trắc thực địa và lấy mẫu phân tích trong phòng thí nghiệm (bao gồm phân tích nồng độ khí, phân tích đồng vị bền). Địa điểm được chọn để

nghiên cứu là các hang động đã và đang khai thác du lịch, bao gồm Phong Nha, Tiên Sơn và Thiên Đường - đều thuộc hệ thống hang động của di sản thiên nhiên thế giới Vườn Quốc gia (VQG) Phong Nha - Kẻ Bàng (Hình 1).

Các vị trí quan trắc và lấy mẫu dựa vào địa hình thực tế và cách bố trí khu vực tham quan của từng hang động [10]. Thời gian quan trắc và lấy mẫu tại thực địa được chọn vào mùa hè khi có lượng khách tham quan đông.

Thiết bị sử dụng để quan trắc liên tục và tại các thời điểm về nhiệt độ, độ ẩm, hàm lượng CO₂, CH₄, pCO₂ được thực hiện trên thiết bị: CO₂, CH₄ meter Sense CO₂ + RH/T Monitor w. Relay - cSense CO₂, Temp & %RH Monitor w. Relay & Data-Logger Kit. Lấy mẫu và phân tích đồng vị bền $\delta^{13}\text{C}$ bằng thiết bị G2101-i (Picarro Inc, Santa Clara, CA, USA). Ngoài ra, có sử dụng mô hình Keeling để phân tích mối quan hệ giữa hai thông số là 1/pCO₂ và tỷ lệ đồng vị $\delta^{13}\text{C}$ theo nguyên tắc: Đồng vị bền $\delta^{13}\text{C}$ trong khí quyển có một giá trị xác định, trong khi $\delta^{13}\text{C}$ có xuất xứ từ các nguồn khác (chẳng hạn từ môi trường đất hay hô hấp của con người) sẽ có $\delta^{13}\text{C}$ thay đổi khác hẳn [2, 3, 10].



Hình 1. Bản đồ tổng thể của VQG Phong Nha - Kẻ Bàng và vị trí các hang động khảo sát [10]

3. Kết quả quan trắc và phân tích

3.1. Phân tích các chỉ tiêu về môi trường không khí

Kết quả quan trắc tại chỗ các chỉ tiêu về môi trường không khí (nhiệt độ, độ ẩm, tốc độ gió và ánh sáng) trong 3 hang động đang khai thác du lịch Thiên Đường, Phong Nha và Tiên Sơn được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Các chỉ tiêu không khí trong hang động du lịch tại Phong Nha - Kẻ Bàng dịp 30/4-1/5/2015

Hang động	Nhiệt độ (°C)	Độ ẩm (%)	Tốc độ gió (m/s)	Ánh sáng (Lux)
Thiên Đường	21,3-24,3	89,5-99,5	0,0-0,2	0-6
Phong Nha	26,2-29,5	85,8-98,5	0,0-0,1	0-8
Tiên Sơn	22,2-25,6	78,4-94,5	0,0-0,1	0-27
Ngoài hang	30,9-32,1	79,1-82,4	0,3-0,4	38200-38800

Kết quả khảo sát các chỉ tiêu không khí ở Bảng 1 cho thấy: Nhiệt độ bên trong các hang động đều thấp hơn nhiệt độ bên ngoài, càng đi sâu vào hang nhiệt độ càng giảm. Kết quả này phản ánh một đặc điểm chung về nhiệt độ môi trường của hệ hang “lạnh” (những hang có nhiệt độ bên trong lòng hang luôn thấp hơn nhiệt độ bên ngoài hang). Dựa vào cấu trúc địa hình trong hang cũng như vị trí cửa hang để có thể khẳng định, ngoại trừ động Phong Nha, các hang động khảo sát đều là hang “lạnh”, có cửa hang nằm ở độ cao cao hơn so với nền hang. Đây là một trong nhiều chỉ số quan trọng dùng để đánh giá khả năng trao đổi không khí giữa bên ngoài và bên trong hang.

So với các đới khí hậu khác, độ ẩm trong không khí của khu vực VQG Phong Nha - Kẻ Bàng đặc trưng cho khu vực nhiệt đới gió mùa lại gần biển và khá cao (trung bình 79%) [10]. Tuy vậy, giá trị này vẫn thấp hơn nhiều so với độ ẩm bên trong lòng các hang khảo sát. Đặc biệt, càng vào sâu trong hang, độ ẩm càng tăng và có thể đạt mức bão hòa xấp xỉ 100%. Độ ẩm đạt mức bão hòa sẽ tạo nên hiện tượng ngưng tụ hơi nước trên bề mặt nền hang và các thạch nhũ. Trong trường hợp hàm lượng CO₂ trong không khí cao hơn mức cân bằng với quá trình thành tạo calcite thì nước ngưng tụ sẽ có tác động làm bào mòn lớp đá vôi để tạo ra

Ca(HCO₃)₂ dạng hòa tan. Ngoài ra, với điều kiện ẩm ướt như vậy, nếu các chỉ số khác như ánh sáng, dinh dưỡng cũng thuận lợi thì thực vật sẽ phát triển mạnh [1, 2, 3, 4].

Tốc độ gió cho thấy có sự đối lưu của không khí trong lòng hang. Với tiết diện/mặt cắt lòng hang lớn như vậy, tốc độ gió cỡ 0,1 hoặc 0,2 m/s cũng cho thấy khả năng đối lưu của không khí là đáng kể. Ngay cả với hang Tiên Sơn là hang chỉ có 1 lối ra (không phải hang thông) nhưng vẫn có sự đối lưu của không khí. Ngoài ra, có thể khẳng định các hang động có nhiều cửa và sông ngầm như Phong Nha và Thiên Đường, không khí đối lưu mạnh hơn ở Tiên Sơn.

Do các hang động khảo sát đều là hang đang khai thác du lịch, hệ thống đèn được thắp sáng trong thời gian khảo sát nên kết quả đo ánh sáng thực sự không phản ánh đúng ảnh hưởng của ánh sáng tự nhiên từ cửa hang vào đến vị trí khảo sát nằm sâu bên trong lòng hang. Tuy vậy, ở những vị trí khảo sát không lắp đặt đèn chiếu sáng (hoặc rất xa các điểm có đèn chiếu sáng) thì kết quả đo độ sáng là gần như bằng không.

3.2. Phân tích hàm lượng một số loại khí (CO₂, CH₄, CO, NO₂) và đồng vị bền δ¹³C-CO₂

Kết quả quan trắc hàm lượng một số khí trong và ngoài hang của 3 hang động Thiên Đường, Phong Nha, Tiên Sơn và phân tích đồng vị bền δ¹³C-CO₂ trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Hàm lượng một số khí (CO_2 , CH_4 , CO , NO_2) và đồng vị bền $\delta^{13}C-CO_2$,

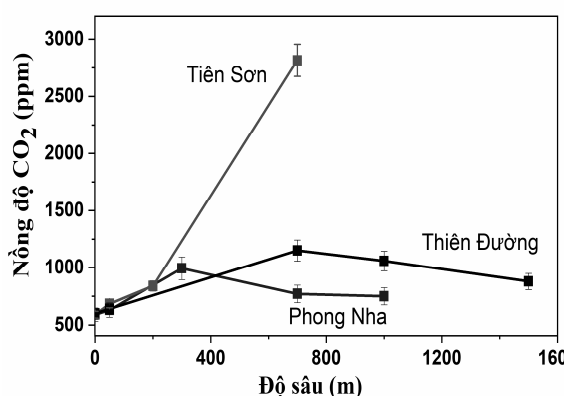
Hang động	CO_2 (ppm)	$\delta^{13}C$ (‰)	CH_4 (ppm)	CO (mg/m^3)	NO_2 ($\mu g/m^3$)
Thiên Đường	607 – 989	-20,6 - -15,9	1,4-1,6	0,3 - 1,3	210 - 270
Phong Nha	795 – 1025	-20,4 - -18,4	1,4 - 1,9	0,4 - 0,9	60 - 170
Tiên Sơn	805 – 2901	-25,7 - -17,1	1,3 - 1,6	0,2 - 0,8	110 - 290
Ngoài hang	465-520	-18,7	1,9- 2,0	1,2 - 1,3	120 - 160

Kết quả phân tích hàm lượng không khí ở Bảng 2 cho thấy:

Hàm lượng khí bên trong hang khác so với bên ngoài hang: Cụ thể, hàm lượng CO_2 bên trong tất cả các hang đều cao hơn hàm lượng bên ngoài hang. Với CH_4 thì bên trong hang hàm lượng lại chỉ bằng hoặc nhỏ hơn bên ngoài hang. Các kết quả đo đồng vị giữa các vị trí cho thấy, tỷ lệ đồng vị bền bên trong hang có xu hướng cao hơn bên ngoài hang. Với các khí khác thì đều có kết quả là hoặc thấp hơn (với CO) hoặc cao hơn (với NO_2) bên ngoài hang.

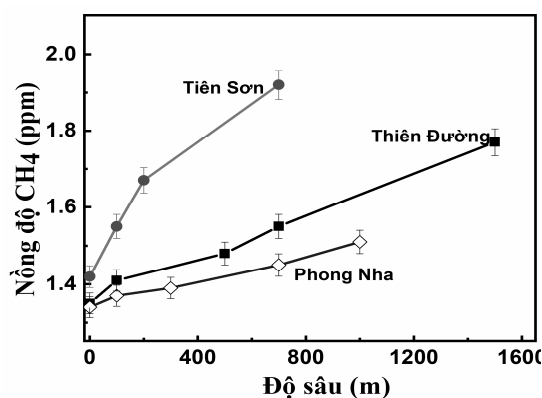
So sánh một cách tương đối kết quả quan trắc tại các hang cho thấy hàm lượng các khí quan trắc trong hang Tiên Sơn thay đổi nhiều hơn so với các hang còn lại. Chẳng hạn như hàm lượng CO_2 có điểm cao đến 2901 ppm, gấp 3 lần giá trị cao nhất ở các hang khác, trong khi CH_4 lại có giá trị thấp là 1,3 ppm. Hay như với tỷ lệ đồng vị bền $\delta^{13}C-CO_2$, kết quả đo đặc cũng cho thấy tại hang Tiên Sơn, sự phân bố tỷ lệ đồng vị cũng phức tạp nhất, giá trị $\delta^{13}C-CO_2$ đạt thấp đến cỡ -25,7‰.

Sự biến đổi hàm lượng theo độ sâu bên trong lòng hang: Chi tiết các kết quả khảo sát theo các vị trí trong lòng hang cho thấy hàm



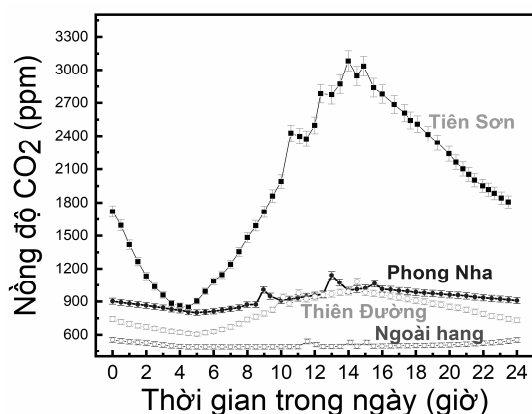
Hình 2. Sự biến đổi hàm lượng CO_2 theo độ sâu trong các hang Phong Nha, Thiên Đường và Tiên Sơn

lượng các khí như CO_2 và CH_4 không giống nhau giữa các vị trí khảo sát (Hình 2 và 3). Riêng với CO_2 , kết quả không cho thấy xu hướng thay đổi tuần tự có quy luật hoặc tăng dần, hoặc giảm dần từ bên ngoài vào bên trong hang, mà hàm lượng CO_2 ở các khu vực cho phép khách tham quan tập trung đông thường cao hơn các khu vực không có khách tham quan và cao hơn ở các vị trí sát cửa hang. Đối với hang Tiên Sơn do hang nông (chiều sâu hang chỉ 750m) lại chỉ có 1 lối vào, khu vực sàn đạo phục vụ khách tham quan qua trải dài suốt cả hang và sàn đạo trung tâm khách dừng lại ở gần cuối hang (700m) nên hàm lượng khí CO_2 đo được ở đây là cao nhất. Còn với động Thiên Đường và Phong Nha đều là các hang thông, lại có sông ngầm, nên hàm lượng khí CO_2 đo được ở các vị trí khách tham quan đông (độ sâu 300m đối với Phong Nha và 700m đối với Thiên Đường) là cao nhất, nếu đi sâu vào bên trong hàm lượng CO_2 lại giảm. Trong khi đó với CH_4 , xu hướng thay đổi là cao dần khi đi sâu vào trong lòng hang, rõ nhất là với hang Tiên Sơn. Kết quả phân tích hàm lượng khí CH_4 trong không khí ở sát mặt đất bên ngoài cửa hang cho giá trị tương đương với hàm lượng khí này ở bên trong sát cửa hang.



Hình 3. Sự biến đổi hàm lượng CH_4 theo độ sâu trong các hang Phong Nha, Thiên Đường và Tiên Sơn

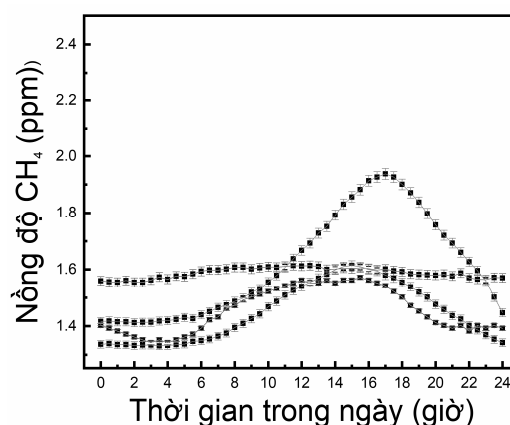
Ngoài ra, kết quả quan trắc khí CO₂ (Hình 4), CH₄ (Hình 5) và một số điều kiện môi trường khác như nhiệt độ không khí, độ ẩm và nhiệt độ bốc hơi cho thấy trong khi các điều



Hình 4. Sự biến đổi hàm lượng CO₂ theo thời gian trong một ngày đêm (vị trí quan trắc tại khu vực có khách tham quan đông)

Cụ thể, giá trị CO₂ đạt cực tiểu vào giữa đêm về sáng, đạt cực đại sau buổi trưa xế chiều (trong khoảng 12h-14h). Ngoài ra, ảnh hưởng của con người (qua quá trình hô hấp) đến nồng độ CO₂ tăng lên rất rõ, khi khu vực quanh đầu đo tập trung nhiều khách thăm quan. Một điểm đặc biệt nữa là kết quả khảo sát tại chỗ cũng cho thấy có sự phân tầng của khí CO₂ trong hang. Tại nền hang, hàm lượng CO₂ có giá trị cao nhất, càng lên cao trong lòng hang, CO₂ càng giảm. Đến độ cao trên 1m thì giá trị CO₂ trở nên ổn định, không tăng lên nữa [2, 3, 4]. Đối với khí CH₄ thì khác hơn, nồng độ khí này trong hang khá nhỏ (cỡ vài ppm) và thường nhỏ hơn bên ngoài trước cửa hang. Cũng có sự biến đổi tăng vào ban ngày và khu vực có nhiều người tham quan, tuy nhiên sự tăng này không đáng kể, sau đó về ban đêm nồng độ này lại giảm. Quy luật biến đổi của các hang đều tương đối giống nhau, nhưng ở hang Tiên Sơn, sự thăng giáng nồng độ CH₄ nhiều hơn với các hang còn lại.

kiện khác gần như không thay đổi (nhiệt độ và độ ẩm) thì hàm lượng khí CO₂ có thay đổi rõ rệt giữa ngày và đêm.



Hình 5. Sự biến đổi hàm lượng CH₄ theo thời gian trong một ngày đêm (vị trí quan trắc tại khu vực có khách tham quan đông)

4. Thảo luận

4.1. Ảnh hưởng của địa hình và sông ngầm đến hàm lượng CO₂ và CH₄

Các kết quả khảo sát từ ngoài vào sâu trong lòng các hang động cho thấy với các hang động chỉ có một lối vào và không có sông ngầm như hang Tiên Sơn luôn có hàm lượng CO₂ trung bình cao hơn các hang còn lại và cao hơn nhiều so với phía bên ngoài hang đó. Điều này chứng tỏ có sự tích tụ khí CO₂ bên trong lòng hang. Do hang chỉ có 1 cửa ra vào lại không có dòng chảy nên quá trình đối lưu không khí giữa bên trong hang và bên ngoài hang (nhất là về mùa hè) không mạnh. Với các hang có nhiều cửa hay có dòng chảy của sông ngầm như Phong Nha, Thiên Đường, không khí bên trong liên tục được luân chuyển và trao đổi với bên ngoài, hàm lượng của các chất khí trong lòng hang vì vậy ít bị tích tụ, phân bố đều hơn giữa các vị trí. Do trong hang kín, có sự tích tụ CO₂, quá trình cân bằng cacbonat - bicarbonat bị dịch chuyển về hướng bicarbonat, tức là hòa tan đá vôi [1, 3]. Nói cách khác, trong hang kín, quá trình thành

tạo nhũ đá sẽ chậm hơn ở trong các hang thông hay hang có sông ngầm. Trong trường hợp cụ thể là hệ thống hang động Phong Nha - Kẻ Bàng thì có thể thấy, thạch nhũ trong hang Tiên Sơn cũ hơn thạch nhũ trong Phong Nha hay Thiên Đường. Tại Phong Nha và Thiên Đường, có rất nhiều thạch nhũ đang trong quá trình thành tạo, nhưng ở Tiên Sơn thì không.

Không phải chỉ khí CO₂ mà cả khí CH₄ cũng được phân bố đều và có giá trị gần với giá trị bên ngoài không khí hơn đối với các hang có nhiều cửa hay có dòng chảy của sông ngầm như Phong Nha hay Thiên Đường.

4.2. Ảnh hưởng của hoạt động du lịch đến hàm lượng CO₂ và CH₄ trong hang

Các kết quả quan trắc từ ngoài hang vào sâu trong hang cho thấy khi vào sâu trong hang, tại các khu vực hiện đang mở cửa cho khách tham quan, hàm lượng khí CO₂ đều cao hơn tại các vị trí không (hoặc ít) mở cửa cho khách tham quan (Hình 2). Mặt khác, kết quả quan trắc liên tục theo thời gian cho thấy khoảng thời gian hàm lượng CO₂ tăng cao là trùng khớp với thời điểm khách du lịch tham quan nhiều nhất (ban ngày từ 8h sáng đến 16h chiều). Hơn nữa, tại vị trí đặt đầu đo quan trắc liên tục, khi có người lại gần, hàm lượng CO₂ đã nhảy lên rất cao. Điều đó cho thấy, không thể loại bỏ yếu tố con người đến sự biến đổi hàm lượng khí CO₂ trong không khí. Ở đây, chúng tôi chỉ khẳng định rằng không thể loại bỏ yếu tố con người đến sự biến đổi hàm lượng CO₂ trong lòng hang vì cũng rất có thể sự tăng lên của CO₂ trong lòng hang đến từ các quá trình tự nhiên khác. Chẳng hạn, các quan trắc ngày-đêm ở một số hang động đá vôi khác trên thế giới cũng cho thấy rằng hàm lượng CO₂ có xu hướng tăng lên vào ban ngày và giảm đi vào ban đêm [5]. Thực tế, chúng tôi nghiêng về giải thích là các hoạt động du lịch có làm tăng quá trình tích tụ khí CO₂ trong lòng hang nhưng so với các quá trình tự nhiên, vai trò của hoạt động du lịch vẫn là thứ

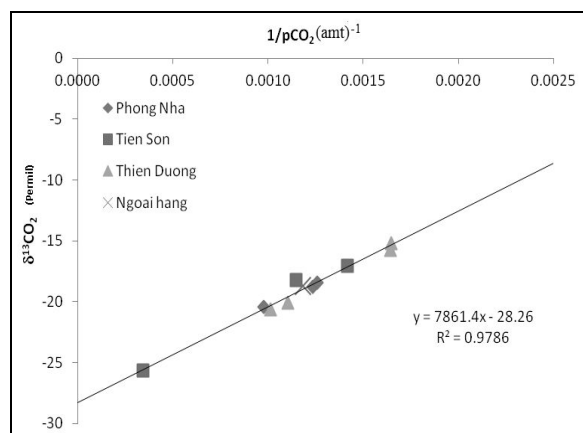
yếu [1, 2, 5]. Điển hình là hang Tiên Sơn nơi có CO₂ tích tụ nhiều nhất thì trên thực tế, lượng khách du lịch tham quan trong ngày ở hang này lại thấp hơn so với Phong Nha và Thiên Đường. Đối với khí CH₄, có sự tăng hàm lượng theo độ sâu của hang nhưng không đáng kể. Sự tăng chủ yếu tập trung ở khu vực có khách tham quan nhưng không phải tập trung ở những nơi đông người mà chủ yếu ở những nơi kín không có ánh sáng. Theo chúng tôi quan sát thì ở những vị trí đó có rác thải du lịch nhưng không được thu gom hết.

4.3. Xác định nguồn gốc của khí CO₂ và CH₄

Để xác định nguồn gốc của khí CO₂ và CH₄, chúng tôi đã phân tích mối tương quan của hàm lượng của chúng với đồng vị bền δ¹³C bằng mô hình Keeling [4, 5, 7, 9]. Qua đó xác định được mối tương quan quá trình khuếch tán tự nhiên hay quá trình hô hấp của con người đóng vai trò quyết định đóng góp vào khí CO₂ trong các hang động và vai trò của hệ thống hang động ngầm ở Phong Nha - Kẻ Bàng là nguồn phát sinh hay nơi phân hủy/tiêu thụ khí CH₄.

Trong trường hợp các hang động đang đưa vào khai thác du lịch, hàm lượng CO₂ trong hang là sản phẩm của quá trình hòa trộn giữa CO₂ khí quyển, CO₂ khuếch tán từ đất đá và nước thẩm thấu và CO₂ do con người hô hấp vì vậy ta dựa vào hai thông số là 1/pCO₂ và tỷ lệ đồng vị δ¹³C. Kết quả phân tích ở Hình 6 cho thấy, đường hồi quy tuyến tính cho giá trị δ¹³C = -28.26 ‰. Đây là giá trị tương ứng với điều kiện CO₂ trong hang không hề có sự đóng góp của CO₂ trong khí quyển (chỉ từ nước thẩm thấu và/hoặc hô hấp). Mặt khác, với hang Tiên Sơn, có giá trị khảo sát nằm gần gốc của đường hồi quy nhất cho thấy, hàm lượng CO₂ bên trong lòng hang ít chịu ảnh hưởng của CO₂ khí quyển hơn so với các hang có kết quả khảo sát nằm xa gốc đường hồi quy (như động Thiên Đường) [2, 3]. Nói theo cách khác, không khí bên trong động Thiên Đường có trao đổi với

khí quyển mạnh hơn là không khí trong hang Tiên Sơn. Ở hang Tiên Sơn, khí CO₂ đến chủ



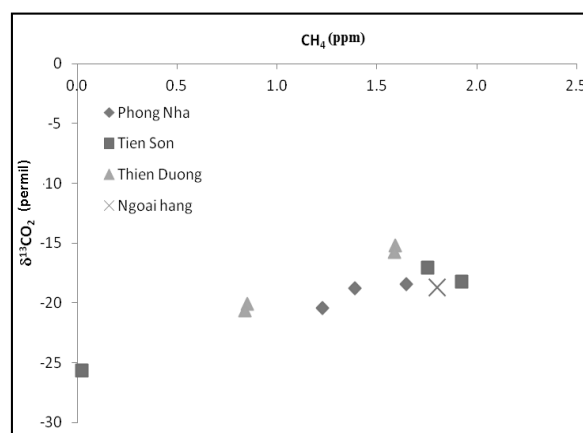
Hình 6. Áp dụng mô hình Keeling xác định nguồn gốc của khí CO₂ trong một môi trường của các hang Phong Nha, Thiên Đường và Tiên Sơn

Dựa vào kết quả áp dụng mô hình Keeling và mối tương quan giữa giá trị của đồng vị bền $\delta^{13}\text{C}$ và hàm lượng khí CH₄ có thể đánh giá được vai trò của hệ thống hang động ngầm ở Phong Nha - Kẻ Bàng là nguồn phát sinh hay nơi phân hủy/tiêu thụ khí metan. Mối tương quan giữa hai đại lượng $\delta^{13}\text{C}$ và CH₄ được biểu diễn trong Hình 6. Ở đây có sự tương quan khá tuyến tính giữa $\delta^{13}\text{C}$ và CH₄ theo xu hướng là $\delta^{13}\text{C}$ càng thấp thì hàm lượng CH₄ càng nhỏ. Do $\delta^{13}\text{C}$ thấp đặc trưng cho hệ cách biệt với khí quyển và $\delta^{13}\text{C}$ cao là môi trường có trao đổi mạnh với không khí xung quanh, có thể khẳng định là khí metan không bị tích tụ trong lòng hang. Ngược lại, không khí trong hang động tại Phong Nha - Kẻ Bàng còn là môi trường phân hủy khí CH₄. Nói cách khác, khí CH₄ tỷ lệ thuận với $\delta^{13}\text{C}$ có nghĩa là khí này tồn tại trong hang có nguồn gốc từ bên ngoài vào chứ không phải tự sinh ra bên trong hang như nhiều người suy nghĩ. Và khi vào trong hang, khí CH₄ bị phân hủy dần dần [1, 2, 5, 6].

5. Kết luận

Đây là nghiên cứu đầu tiên và có tính toàn diện về môi trường không khí bên trong một số hang động Phong Nha - Kẻ Bàng. Các kết quả

yếu từ quá trình khuếch tán và quá trình hô hấp bên trong lòng hang.



Hình 7. Mối tương quan giữa $\delta^{13}\text{C}$ trong CO₂ và hàm lượng khí metan (CH₄) trong lòng hang Phong Nha, Thiên Đường và Tiên Sơn

phân tích và đo đạc tại chỗ đã cho thấy bức tranh chi tiết về môi trường cũng như tác động của con người đến môi trường hang động ở đây. Các kết quả cho thấy hang động Phong Nha - Kẻ Bàng có khả năng lưu tích khí CO₂ và phân hủy khí CH₄. Ngoài ra, địa hình của hang động quyết định nhiều đến các yếu tố về môi trường bên trong lòng hang. Để phát triển du lịch một cách bền vững, cần sử dụng một số biện pháp để giảm bớt sự tích tụ khí CO₂ trong lòng hang, đặc biệt là ở hang Tiên Sơn. Biện pháp có thể là lắp đặt hệ thống quạt gió để làm tăng đối lưu không khí bên trong lòng hang với khí quyển bên ngoài.

Lời cảm ơn

Nhóm nghiên cứu xin chân thành cảm ơn Ban Quản lý Vườn Quốc gia Phong Nha - Kẻ Bàng đã hợp tác cùng khảo sát với nhóm.

Tài liệu tham khảo

- [1] T. A. Duc and J. G. Guinea Vulnerability. (2013). *Pressures, and protection of karst caves and their speleothems in Ha Long Bay -Vietnam*, Environmental Earth Sciences, ISSN 1866-6280-DOI 10.1007/s12665-013-2884-z.
- [2] Trần Ngọc, Trịnh Anh Đức. (2020). *Nghiên cứu nguồn gốc sự biến đổi hàm lượng CO₂ và động học quá trình thành tạo nhũ đá trong hệ thống hang động Phong Nha-Kẻ Bàng phục vụ phát triển du*

- lịch bền vững*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Duy Tân. 06(43) (2020) 24-30.
- [3] Trần Ngọc, Trịnh Anh Đức, Võ Văn Trí, Bùi Khắc Sơn, Trần Xuân Mùi. (2016). *Nghiên cứu các điều kiện vi khí hậu trong các hang động Phong Nha – Kẻ Bàng phục vụ phát triển du lịch bền vững*. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Tỉnh. Mã số 08-KHCN-QB.
- [4] Trịnh Anh Đức, Trần Ngọc, Vũ Đức Lợi, Nguyễn Thị Minh Nguyệt, Trịnh Hồng Quân. (2017). *Nghiên cứu nhũ đá trong hang động vườn quốc gia Phong Nha-Kẻ Bàng phục vụ đánh giá biến đổi khí hậu và môi trường khu vực*. Báo cáo tổng kết đề tài NAFOSTED. Mã số 104.99-2014.41.
- [5] A. Fernandez-Cortes, S. Cuezva, M. Alvarez-Gallego. (2015). *Subterranean atmospheres may act as daily methane sinks*. Nature communications. DOI: 10.1038/ncomms8003.
- [6] T.A. Duc. (2012). *Microscopic analysis of Speleothem in Ha Long Bay, a proxy for regional environmental assessment*. The Tenth International Symposium on Southeast Asian Water Environment.
- [7] I. Gams, J. Nicod, M. Sauro, E. Julian, and U. Anthony. (1993). *Environmental Change and Human Impacts on the Mediterranean karsts of France, Italy, and the Dinaric Region*. pp 42-50.
- [8] P.W. Williams. (2013). *Karst Terrains, Environmental Changes and Human Impacts*. Catena Verlag, Cremlingen-Destedt, p. 59-98.
- [9] J.M. Calaforra, A. Feranandez-Cortes, F. Sanchez-Martos, J. Gisbert and A. Pulido Bosch. (2003). *Environmental control for determining human impact and permanent visitor capacity in a potential show cave before tourist use*. Environmental Conservation, Cambridge University Press. Vol. 30, No. 2, pp. 160-167. <https://www.jstor.org/stable/44520669>.
- [10] Trần Nghi (chủ biên). (2009). *Di sản thiên nhiên thế giới - Vườn Quốc gia Phong Nha - Kẻ Bàng, Quảng Bình, Việt Nam*. NXB ĐHQG Hà Nội.