# BƯỚC ĐẦU NGHIÊN CỨU CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN HÀM LƯỢNG BICARBONATE TRONG NƯỚC SÔNG HỒNG

*Đến tòa soạn 2-3-2020*

**Hoàng Thị Thu Hà, Lê Thị Phương Quỳnh, Lê Như Đa**
*Học viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam*
*Viện Hóa học các Hợp chất thiên nhiên, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam*
**Nguyễn Thị Ánh Hường, Đinh Lê Minh**
*Khoa Hóa học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc Gia Hà Nội*
**Dương Thị Thủy**
*Viện Công nghệ môi trường, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam*
**Phạm Thị Mai Hương**
*Trường Đại học Công nghiệp Hà nội*

**SUMMARY**

## PRELIMINARY ASSESSMENT OF FACTORS IMPACTED ON BICARBONATE CONCENTRATIONS IN THE RED RIVER SYSTEM

*Bicarbonate is one variable of the main chemical composition in the water column of the world's rivers, affected by many factors such as lithological - geological characteristics, weathering processes, meteorological and hydrological characteristics, relative altitudes of wastershed and human activities. This paper presented the observation results of bicarbonate concentrations in the Red River, from the upstream to the downstream area, including urban rivers in Hanoi during the monthly sampling period from January to December 2019. The results showed that $HCO_3^-$ concentrations at 12 observed sites of the Red River system ranged from 87.3 to 423.9 mg/L, averaging 149.5 ± 89.4 mg/L for all sites. The significant difference in $HCO_3^-$ concentrations between the Red River upstream sites and the urban river sites reflected an important impact of human activities on riverine bicarbonate concentrations. Beside, $HCO_3^-$ concentrations in the Red River water also depended strongly on meteorological and hydrological characteristics, land use and agricultural practices as well as lithological and geological characteristics. Longterm observation should be carried out for determining the change of bicarbonate concentrations and fluxes of the Red River toward the South Asian Sea.*

***Keywords**: bicarbonate, dissolved inorganic carbon, urban river, Red River, surface water quality*

## 1. MỞ ĐẦU

Chuyển tải cacbon trong các dòng sông là một phần quan trọng trong chu trình cacbon toàn cầu, giữa các môi trường đất, đại dương và khí quyển. Các hệ thống sông suối trên thế giới không chỉ chuyển tải cacbon (dạng hòa tan và không tan) từ đất ra đại dương, mà còn phát thải một lượng đáng kể cacbon vào không khí, góp phần làm khí hậu nóng lên toàn cầu [7, 13].

Bicarbonate ($HCO_3^-$) trong nước sông là dạng chủ yếu của cacbon vô cơ hòa tan trong nước (chiếm >90% tổng cacbon vô cơ hoà tan gồm các dạng $HCO_3^-$, $CO_3^{2-}$, $CO_2$ ...), được coi như thành phần hóa học cơ bản của nước và rất nhạy cảm với những thay đổi của các yếu tố môi trường. Hàm lượng bicarbonate được quan

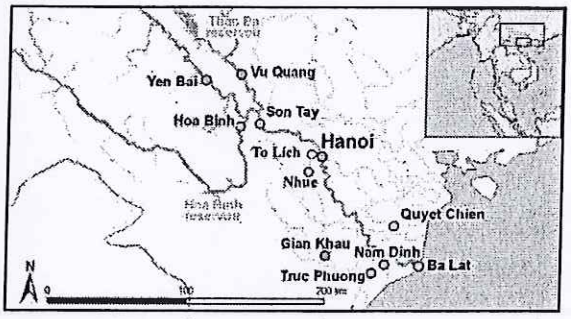
tâm đối với nhiều hệ thống sông trên thế giới do có liên quan đến chu trình cacbon, một số chu trình sinh địa hoá của các nguyên tố hóa học khác trong hệ lục địa-đại dương-khí quyển. Các nghiên cứu trước đây cho thấy, thay đổi hàm lượng $HCO_3^-$ trong các hệ thống sông có ý nghĩa quan trọng đối với quá trình sinh hóa và sinh thái trong các thủy vực nội địa, cũng như trong các đại dương do liên quan đến điều hòa $CO_2$ trong khí quyển và khí hậu [8, 12]. Các hoạt động của con người trong lưu vực đã và đang làm thay đổi $HCO_3^-$ trong các hệ thống sông và làm thay đổi tải lượng $HCO_3^-$ từ các hệ thống sông đổ vào các đại dương, liên quan đến chu trình cacbon toàn cầu [8, 10, 11].

Trong nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành quan trắc hàng tháng hàm lượng $HCO_3$- trong nước mặt hệ thống sông Hồng và một số sông nội đô vùng đồng bằng sông Hồng trong năm 2019, đồng thời bước đầu xem xét các yếu tố ảnh hưởng tới hàm lượng $HCO_3^-$ trong nước sông. Các kết quả thu được góp phần đánh giá chất lượng nước hệ thống sông Hồng, sông nội đô và làm cơ sở dữ liệu cho việc bảo vệ và quản lý nguồn nước có hiệu quả ở Việt Nam, cũng như đóng góp vào nghiên cứu chu trình cacbon toàn cầu.

## 2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Đối tượng nghiên cứu

Hệ thống sông Hồng có diện tích lưu vực khoảng 156.451 $km^2$ (51,2% diện tích thuộc lãnh thổ Việt Nam, 47,9% thuộc lãnh thổ Trung Quốc và 0,9% thuộc lãnh thổ Lào) (Hình 1). Sông Hồng đóng vai trò quan trọng trong đời sống kinh tế - chính trị ở miền Bắc Việt Nam.




*Hình 1. Hệ thống sông Hồng và các vị trí lấy mẫu năm 2019*

Trong đồng bằng sông Hồng, sông Tô Lịch có chiều dài 13,5km, lưu lượng nước khoảng 30 $m^3/s$, được coi là hệ thống nhận nước thải của thành phố Hà nội. Sông Nhuệ dài 74 km tính từ nguồn là cống Liên Mạc tới cống Phủ Lý (Hà Nam) với diện tích lưu vực khoảng 1.075 $km^2$. Trên địa bàn Hà Nội, sông có chiều dài 61,5 km, nhận nước sông Tô Lịch tại đập Thanh Liệt. Sông Đáy (diện tích lưu vực khoảng 6.595 $km^2$) nằm ở hữu ngạn sông Hồng, có chiều dài khoảng 274km tính từ cửa Hát Môn và đổ ra biển Đông qua cửa Đáy [1].

Lưu vực sông Hồng thuộc vùng khí hậu (bán-) nhiệt đới. Mùa mưa từ tháng 5 - tháng 10, thường chiếm 85 - 90% tổng lượng mưa năm. Trong lưu vực, gia tăng dân số và các hoạt động kinh tế, xã hội, bao gồm các khu đô thị, khu công nghiệp, làng nghề, khu khai thác và chế biến khoáng sản và nhiều vùng canh tác nông nghiệp đang diễn ra phổ biến. Một số nghiên cứu trước đây cho thấy nước thải sinh hoạt, nước thải sản xuất công nghiệp, nông nghiệp, làng nghề chưa qua xử lý, và rác thải được đổ xuống sông đã làm ô nhiễm nước sông Hồng, đặc biệt là các sông đô thị Tô Lịch - Nhuệ trong vùng đồng bằng [2, 3].

Đối tượng nghiên cứu của bài báo này là hàm lượng bicarbonate $HCO_3^-$ trong nước hệ thống sông Hồng, từ thượng nguồn tới hạ lưu, bao gồm cả sông đô thị Tô Lịch – Nhuệ trong năm 2019.

### 2.2. Phương pháp nghiên cứu

Các mẫu nước mặt được lấy tại 12 vị trí trên hệ thống sông Hồng, gồm: trạm thuỷ văn Hòa Bình (sông Đà); Vụ Quang (sông Lô); Yên Bái (sông Thao); Hà Nội trên nhánh chính sông Hồng; tại 4 trạm thủy văn trên các sông phân lưu: trạm Ba Lạt (trục chính sông Hồng); Trực Phương (sông Ninh Cơ); Nam Định (sông Đào); Quyết Chiến (sông Trà Lý); Gián Khẩu (sông Đáy); và 2 vị trí trên sông nội đô: Nhuệ (sông Nhuệ) và Tô Lịch (sông Tô Lịch). Các mẫu nước được lấy hàng tháng trong thời gian từ tháng 1/2019 – 12/2019, theo đúng tiêu chuẩn Việt Nam 6663 - 6: 2018.

Hàm lượng $HCO_3^-$ được phân tích ngay sau khi lấy mẫu theo phương pháp tiêu chuẩn [6]. Các phép đo được lặp lại 3 lần và lấy kết quả trung

bình. pH được đo bằng máy WQC-22A (TOA, Nhật Bản), nhằm xác định mối liên quan với hàm lượng $HCO_3^-$.

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Hàm lượng bicarbonate $HCO_3^-$ trong nước hệ thống sông Hồng

Kết quả quan trắc hàng tháng năm 2019 về pH và $HCO_3^-$ tại 12 vị trí trên hệ thống sông Hồng được trình bày trong bảng 1. Kết quả cho thấy pH tại các vị trí lấy mẫu dao động trong khoảng từ 6,7 – 7,7 và giá trị trung bình pH tại 12 điểm quan trắc dao động từ 6,9 đến 7,4, nước thuộc loại trung tính – kiềm.

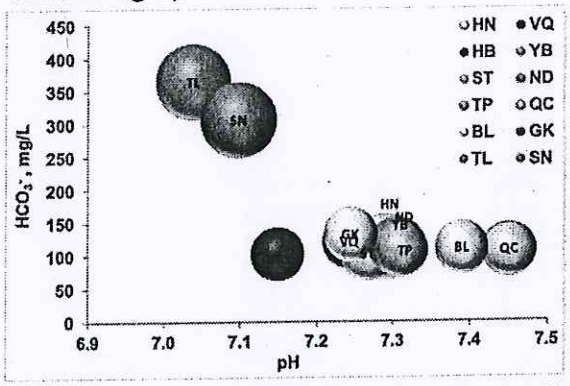
*Bảng 1. Giá trị trung bình (lớn nhất – nhỏ nhất) của pH và bicarbonate $HCO_3^-$ trong mẫu nước sông Hồng năm 2019*

| Vị trí lấy mẫu/ký hiệu mẫu | Tên sông | pH | Hàm lượng $HCO_3^-$, mg/L |
|---|---|---|---|
| Yên Bái (YB) | Thao | 7,3 (7,5-6,9) | 106,5 (130,2-87,3) |
| Vụ Quang (VQ) | Lô | 7,4 (7,6 – 7,0) | 121,2 (135,5-103,1) |
| Hòa Bình (HB) | Đà | 7,1 (7,2-6,9) | 102,8 (112,0-91,2) |
| Hà Nội (HN) | Hồng | 7,3 7,5-6,9) | 112,9 (136,5-101,1) |
| Trực Phương (TP) | Ninh Cơ | 7,2 (7,4-7,0) | 107,9 (119,1-101,1) |
| Quyết Chiến (QC) | Trà Lý | 7,3 (7,5-6,9) | 108,2 (120,0-100,2) |
| Nam Định (NĐ) | Đào | 7,3 (7,5-7,0) | 114,7 (119,1-107,1) |
| Ba Lạt (BL) | Hồng | 7,4 (7,7-7,2) | 111,2 (128,9-96,2) |
| Gián Khẩu (GK) | Đáy | 7,2 (7,5-6,9) | 132,2 (142,8-120,0) |
| Tô Lịch (TL) | Tô Lịch | 7,3 (7,4-7,0) | 365,7 (423,9-205,6) |
| Nhuệ (SN) | Nhuệ | 6,9 (7,2-6,7) | 307,5 (421,7-156,7) |

Theo các nghiên cứu trước đây, khi pH của nước sông nhỏ hơn 6,3, các ion carbonat chuyển sang dạng $CO_2$ hòa tan; khi pH lớn hơn 10,3, dạng tồn tại chủ yếu là $CO_3^{2-}$; trong khoảng 6,3 < pH < 10,3, dạng tồn tại chủ yếu là $HCO_3^-$. Như vậy, với pH trung bình đạt 6,7 – 7,2, cacbon vô cơ trong nước sông Hồng tại tất cả các vị trí quan trắc sẽ tồn tại chủ yếu dưới dạng $HCO_3^-$ và điều này cũng đã được quan sát thấy trong nghiên cứu trước đây của chúng tôi [5].

Kết quả quan trắc trong nghiên cứu này cho thấy hàm lượng $HCO_3^-$ tại 12 vị trí lấy mẫu dao động trong khoảng rất rộng, từ 87,3 mg/L đến 423,9 mg/L, trung bình đạt 149,5 ± 89,4 mg/L cho toàn bộ hệ thống sông Hồng. Các giá trị $HCO_3^-$ nhỏ nhất luôn quan trắc được tại vị trí Hòa Bình trên sông Đà, dao động trong khoảng 91,2 - 112,0 mg/L, trung bình đạt 102,8 ± 7,0 mg/L. Các giá trị $HCO_3^-$ lớn nhất quan trắc thấy tại điểm trên sông đô thị Tô Lịch với giá trị dao động trong khoảng 205,6 - 423,9 mg/L, trung bình đạt 365,7 ± 67,1 mg/L.

Kết quả biểu diễn đồng thời giá trị trung bình pH và $HCO_3^-$ tại 12 vị trí quan trắc (Hình 2) cho thấy có sự khác biệt rõ rệt giữa các sông đô thị Tô Lịch và Nhuệ với các sông nhánh và sông phân lưu của sông Hồng. Cụ thể là hàm lượng $HCO_3^-$ của các con sông nội đô Tô Lịch và Nhuệ (trong khoảng 156,7 - 423,9 mg/L) cao hơn từ 1,8 lần đến 3,0 lần so với các sông nhánh chính sông Hồng vùng thượng nguồn Lô – Đà – Thao (trong khoảng từ dưới 87 mg/L đến 142 mg/L).




*Hình 2. Giá trị trung bình pH và $HCO_3^-$ tại 12 điểm quan trắc trên hệ thống sông Hồng năm 2019*

### 3.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến hàm lượng bicarbonate trong nước hệ thống sông Hồng

**Dân số và nước thải đô thị**

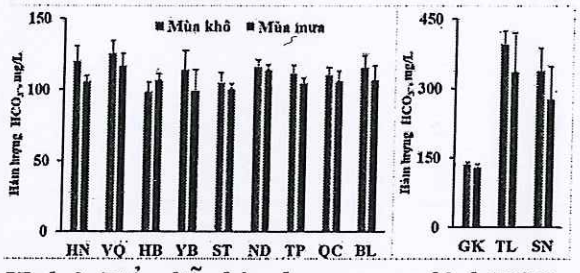
Như đã trình bày ở trên, hàm lượng $HCO_3^-$ trung bình tại 2 vị trí lấy mẫu sông nội đô (sông Nhuệ và Tô Lịch) cao hơn từ 1,8 đến 3,0 lần so với các vị trí quan trắc trên các nhánh chính sông Hồng. Sự khác biệt về kết quả quan trắc của sông Tô Lịch và sông Nhuệ so với các vị trí lấy mẫu

thượng nguồn phản ánh tác động rõ rệt của nước thải đô thị tới chất lượng nước sông, bao gồm nguồn cacbon đổ vào sông. Một số quan trắc trước đây cho thấy hệ thống sông đô thị (Nhuệ - Tô Lịch) bị ô nhiễm nghiêm trọng do các chất hữu cơ và dinh dưỡng [15]. Do nhận một lượng lớn nước thải sinh hoạt hầu như không qua xử lý (khoảng 140.000 $m^3$/ngày đêm) [2] nên nước sông bị ô nhiễm nặng, đặc biệt là các chất hữu cơ với hàm lượng COD khoảng 170 - 350 mg/L [3,4], đồng thời hàm lượng oxy hòa tan trong nước sông rất thấp (<1mg/L).

Như vậy, có thể thấy gia tăng dân số và đô thị cùng với gia tăng nước thải đổ vào các hệ thống sông có ảnh hưởng không nhỏ đến hàm lượng $HCO_3^-$ trong nghiên cứu này. Mặt khác, quá trình phân hủy yếm khí các chất hữu cơ có thể sinh ra một lượng lớn $CO_2$ trong hệ thống sông đô thị Tô Lịch và Nhuệ, và do đó, tốc độ bốc thoát $CO_2$ trong các hệ thống sông đô thị có thể cao hơn rất nhiều so với các sông nhánh chính ở thượng lưu sông Hồng.

**Chế độ khí hậu và thủy văn**

Biểu diễn giá trị trung bình $HCO_3^-$ thay đổi theo mùa tại tất cả các vị trí lấy mẫu trên sông Hồng và sông nội đô (Hình 3) cho thấy hàm lượng $HCO_3^-$ thường cao hơn vào mùa khô (các tháng 1, 2, 3, 4, 11 và 12), và thấp hơn vào mùa mưa (từ tháng 5 đến tháng 10), tại hầu hết các điểm quan trắc, ngoại trừ điểm Hòa Bình trên sông Đà. Điều này chứng tỏ có sự pha loãng, suy giảm hàm lượng $HCO_3^-$ trong nước sông vào mùa mưa, khi lưu lượng nước sông tăng. Sự biến đổi theo quy luật này cũng đã được quan sát thấy ở một số sông trên thế giới như: sông Xijiang [14], sông Longchuanjiang [11],....




*Hình 3. Biểu diễn hàm lượng trung bình $HCO_3^-$ thay đổi theo mùa tại các vị trí lấy mẫu*

Tại điểm Hòa Bình, hàm lượng $HCO_3^-$ không có sự khác biệt rõ rệt giữa mùa mưa và mùa khô, phản ánh ảnh hưởng của sự vận hành hàng loạt hồ chứa trên sông Đà tới lưu lượng nước, chế độ thủy văn của dòng sông trong các mùa mưa – khô, và vì vậy, ảnh hưởng tới hàm lượng cácbon trong nước sông.

**Đặc điểm địa chất**

Theo các nghiên cứu trước đây, sự phong hóa và các đặc điểm địa chất là yếu tố chi phối chủ yếu đến hàm lượng $HCO_3^-$ trong các dòng sông lớn trên thế giới và cho rằng các lưu vực có tỷ lệ đá cacbonat (đá vôi) cao thường có hàm lượng $HCO_3^-$ cao trong nước sông. Cai và cs. [8] cho rằng diện tích đá cacbonat trong lưu vực không phải là yếu tố quyết định hàm lượng $HCO_3^-$ trong nước sông khi so sánh hàm lượng $HCO_3^-$ và tỷ lệ diện tích đá cacbonat trong một số lưu vực sông lớn trên thế giới (Bảng 2).

*Bảng 2. Tỷ lệ đá cacbonat (%) và hàm lượng bicarbonate $HCO_3^-$ trong nước một số sông trên thế giới [8]*

| Tên sông | Diện tích lưu vực $10^3$ km$^2$ | % đá cacbo-nat trong lưu vực | Hàm lượng $HCO_3^-$ mg/L |
|---|---|---|---|
| Amazon | 5854 | 3,9 | 22,5 |
| Congo | 3699 | 10,1 | 13,7 |
| Orinoco | 1039 | 1,3 | 25,8 |
| Niger | 2440 | 6,3 | 33,6 |
| Mississippi | 3203 | 18,1 | 126,5 |
| Danube | 788 | 14,5 | 190,0 |
| Huanghe | 894 | 7,6 | 158,1 |
| Changjiang | 1794 | 44 | 108,6 |
| Mekong | 774 | 21,4 | 57,9 |
| Pearl | 477 | - | 93,6 |
| Ganges | 956 | 33,8 | 119,9 |
| *Sông Hồng (bao gồm sông nội đô), nghiên cứu này* | *156* | - | *149,5* |

Trong lưu vực sông Hồng, vùng đồi núi tạo nên một phần diện tích lớn ở thượng nguồn có độ xói mòn cao. Nền địa chất của vùng thượng nguồn có cấu tạo địa chất rất phức tạp được đặc trưng bởi đá vôi và silic trong khi vùng

đồng bằng phần lớn là do đất phù sa bồi tụ. Kết quả quan trắc hàm lượng $HCO_3^-$ cho thấy không có sự khác biệt rõ rệt giữa các điểm quan trắc trên các sông nhánh, trục chính sông Hồng, ngoại trừ các giá trị đặc biệt cao luôn quan trắc được tại các sông đô thị (Tô Lịch, Nhuệ) (Bảng 1, Hình 2). Như vậy, có thể thấy đối với hệ thống sông đô thị, tác động từ các nguồn nước thải đóng vai trò quan trọng hơn rất nhiều so với đặc điểm địa chất, đặc biệt đối với sông nhận nước thải không qua xử lý hoặc xử lý không triệt để như hệ thống sông Tô Lịch – Nhuệ trong nghiên cứu này.

Bảng 2 cho thấy hàm lượng $HCO_3^-$ trong nước hệ thống sông Hồng (bao gồm cả các sông đô thị, trung bình đạt 149,5 ± 89,4 mg/L) thấp hơn so với sông Danube (152,6 mg/L) và rất gần với các sông HuangHe (158,1 mg/L), Changjiang (108,6 mg/L), Ganges (119,9 mg/L), Mississippi (126,5 mg/L), và cao hơn rất nhiều so với các sông ở châu Phi (Orinoco: 25,8 mg/L; Congo: 13,7 mg/L; Niger: 33,5 mg/L). Bảng 2 cũng cho thấy các sông có giá trị hàm lượng $HCO_3^-$ cao là các sông vùng nhiệt đới. Do đó, bên cạnh yếu tố địa chất, ảnh hưởng của chế độ khí hậu –thủy văn tới hàm lượng $HCO_3^-$ trong nước sông cũng rất đáng được quan tâm.

**Hiện trạng sử dụng đất và canh tác nông nghiệp**

Các hoạt động canh tác và sản xuất nông nghiệp trong lưu vực có thể ảnh hưởng đến hàm lượng $HCO_3$- trong các hệ thủy văn. Đất canh tác nông nghiệp, trong các vùng khí hậu nhiệt đới mưa nhiều, thường được bổ sung các khoáng chất cacbonat nhằm cải tạo đất [9]. Vì vậy, rửa trôi đất canh tác nông nghiệp có thể làm gia tăng hàm lượng $HCO_3^-$ trong các thủy vực.

Kết quả quan trắc $HCO_3^-$ trong nghiên cứu này cho thấy các giá trị nhỏ nhất luôn quan trắc được tại vị trí Hòa Bình trên sông Đà và điểm Hòa Bình nằm tại vị trí riêng khác biệt so với các vị trí lấy mẫu khác trên đồ thị hình 2. Cần chú ý rằng, điểm lấy mẫu Hòa Bình trên sông Đà là nơi có mật độ dân cư thưa thớt, và diện tích đất rừng bao phủ chủ yếu lưu vực (> 70% tổng diện tích lưu vực), đồng thời trên sông Đà có hàng loạt hồ chứa được xây dựng gần đây trên cả địa phận Việt Nam và Trung Quốc. Như vậy, mật độ dân cư thấp cùng với ảnh hưởng của các hoạt động của con người (ví dụ: diện tích đất canh tác nhỏ) trong lưu vực thấp, có mức độ tác động thấp đến hàm lượng $HCO_3$.

## 4. KẾT LUẬN

Kết quả khảo sát năm 2019 cho thấy, hàm lượng $HCO_3^-$ trung bình tại 12 vị trí quan trắc trên hệ thống sông Hồng dao động trong khoảng rất rộng từ 87,3 – 423,9 mg/L, trung bình đạt 149,5 ± 89,4 mg/L cho toàn bộ hệ thống. Có sự khác biệt đáng kể giữa hàm lượng $HCO_3^-$ trong nước sông đô thị (Tô Lịch, Nhuệ) với các vị trí khác trên sông nhánh chính và phân lưu của sông Hồng, phản ánh ảnh hưởng rõ rệt của gia tăng dân số và nước thải sinh hoạt tới chất lượng nước sông đô thị trong vùng đồng bằng. Các yếu tố ảnh hưởng khác tới hàm lượng $HCO_3^-$ trong nước sông có thể kể đến là đặc điểm địa chất, chế độ khí hậu – thủy văn, tình hình sử dụng đất và canh tác nông nghiệp trong lưu vực sông Hồng.

Nghiên cứu sâu hơn về biến đổi hàm lượng $HCO_3^-$ và tải lượng $HCO_3^-$ dải năm hệ thống sông Hồng đổ ra biển cũng cần được thực hiện trong thời gian tới.

**LỜI CẢM ƠN**

Tập thể tác giả chân thành cảm ơn Quỹ NAFOSTED) (đề tài 105.08-2018.317) và Quỹ APN (đề tài CRRP2019-10MY-Le) đã tài trợ kinh phí thực hiện.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. Lê Thị Hường, Nguyễn Thanh Sơn (2010). Ứng dụng mô hình NAM khảo sát hiện trạng tài nguyên nước lưu vực sông Nhuệ - Đáy. Tuyển tập báo cáo Hội thảo khoa học lần thứ XIII. Tập 2. Thủy văn - Tài nguyên nước và Biển, Môi trường và Đa dạng sinh học. Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường, Thác Bà - 10/2010, 87-94.

2. Lương Duy Hanh, Nguyễn Xuân Hải, Trần Thị Hồng, Nguyễn Hữu Huấn, Phạm Hùng Sơn, Đinh Tạ Tuấn Linh, Nguyễn Việt Hoàng, Hồ Nguyên Hoàng, Phạm Anh Hùng, Phí

Phương Hạnh (2016). Đánh giá chất lượng nước sông liên quan đến ô nhiễm mùi của một số sông nội đô thành phố Hà Nội. Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường, Tập 32, Số 1S (2016) 147-155.

3. Nguyễn Hữu Huấn, Nguyễn Xuân Hải (2016). Nghiên cứu các thông số đặc trưng liên quan đến mức độ phát thải khí $H_2S$ trên sông Tô Lịch. Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường, Tập 32(1S), 186-191.

4. Nguyễn Hữu Huấn (2015). Nghiên cứu sự hình thành và phát tan hydrosunfua từ sông Tô Lịch. Luận án tiến sĩ khoa học môi trường, Trường Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 191 trang.

5. Vũ Hữu Hiếu, Lê Thị Phương Quỳnh, Dương Thị Thuỷ, Hồ Tú Cường (2011). Bước đầu khảo sát hàm lượng cácbon vô cơ hoà tan (DIC) trong môi trường nước hệ thống sông Hồng. Tạp chí Khí tượng – Thuỷ văn. Số 609: 41 – 46.

6. APHA (2012), "Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. 22nd Edition", American Public Health Association.

7. Battin TJ, Sebastiaan Luyssaert, Louis A. Kaplan, Anthony K. Aufdenkampe, Andreas Richter and Lars J. Tranvik (2009). The boundless carbon cycle. Nature Geoscience 2, 598-600.

8. Cai W. J., Guo X., Chen C. T. A., Dai M., Zhang L., Zhai W., Lohrenz S., Yin K., Harrison P., Wang Y. (2008). A comparative overview of weathering intensity and $HCO_3^-$ flux in the world's major rivers with emphasis on the Changjiang, Huanghe, Zhujiang (Pearl) and Mississippi Rivers, Continental Shelf Research, 28, 1538-1549.

9. Guo, J. H., and Guo J.H., Liu X.J., Zhang Y., Shen J.L., Han W. X., Zhang W.F, Christie P., Goulding K. W. T., Vitousek P.M , Zhang F.S. (2010). Significant acidification in major Chinese croplands. Science 327, 1008–1010.

10. Le Thi Phuong Quynh, Le Nhu Da, Dao Viet Nga, Rochelle-Newall Emma, Marchand Cyril, Nguyen Thi Mai Huong and Duong Thi Thuy (2018). Change in carbon flux of the Red River (Vietnam). Journal of Environmental Earth Science. 77, 658. Doi: 10.1007/s12665-018-7851-2.

11. Li S., Lu X. X., He M., Zhou Y., Bei R., LiLi A., Ziegler D. (2011). Major element chemistry in the upper Yangtze River: A case study of the Longchuanjiang River, Geomorphology, 129, 29–42.

12. Raymond P. A., Hamilton S. K. (2018). Anthropogenic influences on riverine fluxes of dissolved inorganic carbon to the oceans. Limnology and Oceanography Letters 3, 143–155.

13. Regnier, P., Friedlingstein, P., Ciais, P., Mackenzie, F. T., Gruber, N., Janssens, I. A., Laruelle, G. G., Lauerwald, R., Luyssaert, S., Andersson, A. J., Arndt, S., Arnosti, C., Borges, A. V., and Dale, A.W. (2013). Anthropogenic perturbation of the carbon fluxes from land to ocean, Nat. Geosci., 6(8), 597–607.

14. Sun H. G., Han J., Lu X. X., Zhang S. R., Li D. (2010). An assessment of the riverine carbon flux of the Xijiang River during the past 50 years, Quaternary International, 226, 38-43.

15. Trinh, A. D., Vachaud, G., Bonnet, M. P., Prieur, N., Vu, D. L., and Le, L. A. (2007). Experimental investigation and modelling approach of the impact of urban wastewater on a tropical river; a case study of the Nhue River, Hanoi, Vietnam, J. Hydrol., 334, 347–358.