

MÔ HÌNH SINH THÁI VÀ MỘT SỐ QUÁ TRÌNH SINH HỌC TRONG SÔNG

ThS. Đặng Xuân Hiến

Trung tâm Tư liệu khí tượng thủy văn

1. Giới thiệu

Các sinh vật trong sông ảnh hưởng đến nồng độ của nhiều chất do hoạt động trao đổi chất, các chuyển hoá, tích lũy và giải phóng. Các chất hữu cơ hoà tan và ở dạng hạt được sử dụng là chất nền cho các sinh vật phân huỷ mà sản phẩm phụ trong quá trình đồng hoá của chúng tạo ra các chất vô cơ. Sản xuất bậc một là quá trình chính trong đó các chất vô cơ hoà tan như CO_2 , PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- ... được tiêu thụ. Sự bài tiết, phóng xuất và chết sản sinh ra các chất hữu cơ hoà tan và ở dạng hạt. Vật chất và năng lượng được vận chuyển và lưu giữ lại trong các chuỗi thức ăn; các nguyên tố hoá học được quay vòng thông qua các phản ứng hoá học, các thành phần sinh học và vòng tuần hoàn vật chất và năng lượng trong hệ sinh thái.

2. Hệ sinh thái dòng chảy sông và các quá trình sinh thái

Hệ sinh thái được xác định bởi các biến vô sinh và các thành phần sinh học, các biến này thay đổi theo không gian và thời gian. Chức năng của thành phần hữu sinh trong hệ sinh thái sông được chia thành các bậc dinh dưỡng, các bậc này biểu thị các tương quan trong chuỗi thức ăn của chúng. Các chất hoá học như cacbon, ni tơ, photpho thông qua sinh hệ được chuyển hoá từ trạng thái vô sinh thành một diễn thế của bậc dinh dưỡng. Các chuyển hoá này bao gồm các chu trình cacbon, ni tơ, photpho tồn tại trong hệ sinh thái sông do sự tái chu trình tự nhiên các sản phẩm của hoạt động sinh học.

Các thành phần chủ yếu của hệ sinh thái sông tổng quát gồm các thành phần hoá học như chất vô cơ hoà tan, chất hữu cơ hoà tan, chất hữu cơ ở dạng hạt, và các thành phần hữu sinh như thực vật nổi, động vật nổi, động vật đáy, sinh vật phân huỷ, và một số loài trong các chuỗi thức ăn bậc cao.

Thực vật nổi là sinh vật sản xuất bậc một tạo ra các chất hữu cơ phức tạp từ các chất vô cơ thông qua phản ứng quang hợp. Thực vật nổi đóng vai trò là nguồn thức ăn chủ yếu cho các động vật nổi (sinh vật sản xuất bậc hai) mà loài này đến lượt nó bị tiêu thụ bởi các động vật ăn thịt như cá. Các hoạt động sinh học này tạo ra các chất vẫn chứa các vật liệu tế bào bị chết và các chất thải của phân thức ăn không được tiêu hoá. Các sinh vật phân huỷ như vi khuẩn và nấm tiến hành phân huỷ chất vẫn để giải phóng vào nước các chất vô cơ đơn giản ban đầu cho các sinh vật sản xuất sử dụng, như vậy một chu trình được hoàn thành.

3. Mô hình sinh thái và một số quá trình sinh học trong sông

Cơ sở của mô hình sinh thái là tổ hợp của mô hình thủy động lực và mô hình cân bằng chất sinh học. Mô hình thủy động lực một chiều được dựa trên cơ sở phương trình Saint-Venant. Mô hình cân bằng chất sinh học ở đây chính là phương trình vận chuyển tải-khuếch tán vật chất được viết ở dạng tổng quát cho dòng chảy sông một chiều.

Mối quan hệ của các thành phần sinh học-chất lượng nước với các quá trình sinh thái và sinh học được phân tích đánh giá trên cơ sở xây dựng một ma trận các thông số ảnh hưởng tương hỗ, và được chuyển tải thành các phương trình toán học, được viết riêng cho mỗi thành phần sinh học như: mô hình tảo, mô hình động vật nổi, mô hình vi khuẩn nitrat, mô hình vi khuẩn dị dưỡng, mô hình động vật đáy và các chất vô sinh khác. Các phương trình toán học này là thành phần phương trình cân bằng chất sinh học.

Với các thành phần sinh học như cá, động vật đáy thì sẽ không có các thành phần phân tải và khuếch tán trong phương trình cân bằng chất sinh học.

3.1. Mô hình hoá sự phát triển của tảo trong dòng chảy sông

Sự phát triển của tảo trong nước được biểu thị bằng phương trình tổng quát sau:

$$\frac{dC_P}{dt} = (\mu_A - r_P - m_P - \sigma_1 - \mu_Z^m) \cdot C_P \quad (1)$$

với: C_P - Nồng độ sinh khối tảo (g/m^3), μ_A - Hệ số tốc độ phát triển của tảo (ngày^{-1}), m_P - Hệ số tốc độ chết của tảo (ngày^{-1}), r_P - Hệ số tốc độ hô hấp của tảo (ngày^{-1}), σ_1 - Hệ số tốc độ lắng của tảo (ngày^{-1}), μ_Z^m - Hệ số tốc độ ăn tảo của động vật nổi.

Tảo hay gọi tổng quát hơn là thực vật nổi khi phát triển trong nước phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố như: bức xạ mặt trời, nhiệt độ, các chất dinh dưỡng, độc tố, động vật nổi, độ sâu nguồn nước, độ trong và thời gian chảy hay vận tốc dòng chảy. Các ảnh hưởng này có thể là tích cực hoặc tiêu cực. Thực vật nổi ở mức độ nào đó có tác động trở lại môi trường theo các khía cạnh khác nhau như: tác động trở lại yếu tố dinh dưỡng, độ trong, nhiệt độ và động vật nổi.

Sự phát triển của tảo trong nước được biểu thị bằng phương trình:

$$C_P(t) = C_P(0) \cdot e^{\mu_A \cdot t} \quad (2)$$

Trong đó: $C_P(t)$ - Sinh khối tảo ở thời gian t , (mg/l)
 $C_P(0)$ - Sinh khối tảo ở thời gian t_0 , (mg/l)
 μ_A - Hệ số tốc độ phát triển của tảo, (ngày^{-1})
 t - Thời gian. (ngày)

Sinh khối tảo $C_P(0)$ hay $(C_P)_0$ tính gần đúng từ nồng độ chlorophyll-a như

sau:

$$(C_P)_0 = \text{Chla} \cdot \alpha \quad (3)$$

Với: chla - Nồng độ chlorophyll-a (mg/l), α - Hệ số tỷ lệ ($\alpha = 0,077$).

Tốc độ phát triển μ_A của tảo được tính từ tốc độ phát triển lớn nhất $\mu_A^{\max}$ với sự tính đến việc cung cấp chất dinh dưỡng, điều kiện ánh sáng trong nước, nhiệt độ và ảnh hưởng của sự kìm hãm quang hợp:

$$\mu_A = \mu_A^{\max} \cdot f_N \cdot f_I \cdot f_T \cdot f_H \cdot f_L \quad (4)$$

ở đây: $\mu_A^{\max}$ - Hệ số tốc độ phát triển lớn nhất của tảo,
 f_N, f_I, f_T, f_H, f_L - Lần lượt là các hệ số ảnh hưởng của chất dinh dưỡng,

ánh sáng, nhiệt độ, ảnh hưởng của sự kìm hãm quang hợp và lắng của tảo.

Các yếu tố chủ yếu ảnh hưởng đến sự phát triển của tảo nói riêng hay thực vật nổi nói chung gồm: chất dinh dưỡng, ánh sáng, nhiệt độ, động vật nổi, sự kìm hãm quang hợp. Ảnh hưởng của các chất dinh dưỡng nitơ, photpho và silic đối với sự phát triển của tảo được biểu thị dưới dạng biểu thức của Michaelis-Menten. Ảnh hưởng của ánh sáng đến tốc độ phát triển được tính theo công thức Talling. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến tốc độ phát triển của tảo được đánh giá bằng công thức của O'Neill.

3.2 Mô hình hoá sự phát triển của động vật nổi

Tốc độ động học phát triển của động vật nổi trong nước được biểu thị bằng phương trình tổng quát sau:

$$\frac{dC_z}{dt} = (\mu_z - r_z - m_z - \eta_z) \cdot C_z \quad (5)$$

- với C_z - Nồng độ động vật nổi,
 μ_z - Tốc độ phát triển của động vật nổi, (ngày⁻¹)
 m_z - Tốc độ chết của động vật nổi, (ngày⁻¹)
 r_z - Tốc độ hô hấp của động vật nổi, xác định bằng thực nghiệm, (ngày⁻¹)
 η_B - Hệ số tốc độ ăn môi của cá đối với động vật nổi.

Nếu giả thiết rằng có đủ sinh khối tảo để cung cấp nguồn thức ăn cho động vật nổi, tốc độ phát triển của động vật nổi được biểu thị bằng:

$$\mu_z = \mu_{th} \cdot \frac{C_p}{C_p + K_{C_p}} \cdot C_p \cdot \mu_z^{am} \cdot f_T \cdot f_{DO} \quad (6)$$

Trong đó:

- C_p - Sinh khối tảo,
 μ_{th} - Hiệu suất tiêu hoá (đồng hoá) của động vật nổi,
 μ_z^{am} - Tốc độ ăn môi của động vật nổi,
 K_{C_p} - Hằng số Michaelis của động vật nổi đối với tảo,
 f_T - Hàm ảnh hưởng của nhiệt độ, $f_T = 1,047^{T-20}$,
 f_{DO} - Hàm ảnh hưởng của ôxi hoà tan.

với tốc độ tiêu hoá μ_{th} phụ thuộc vào tốc độ tiêu hoá lớn nhất μ_{th}^{max} và hàm lượng chlorophyll-a của nước. Giá trị μ_{th}^{max} chỉ đạt được ở nồng độ chlorophyll-a tối ưu.

3.3 Mô hình hoá sự phát triển của vi sinh vật nitrát

Sinh khối của các vi sinh vật nitrát của cột nước được tính như sau:

$$\frac{dB_N}{dt} = (\mu_N - m_N) \cdot B_N \quad (7)$$

- ở đây: B_N - Sinh khối của vi sinh vật nitrát,
 μ_N - Tốc độ phát triển của vi sinh vật nitrát,
 m_N - Tốc độ chết của vi sinh vật nitrát.

$$\text{với:} \quad \mu_N = \mu_N^{\max} \cdot \frac{NH_4}{NH_4 + k_{s,n}} \cdot f_{DO} \cdot f_T \quad (8)$$

- ở đây: f_T - Hàm ảnh hưởng của nhiệt độ,
 f_{DO} - Hàm ảnh hưởng của hàm lượng ôxi,
 $k_{s,n}$ - Hằng số Michaelis của quá trình ôxi hoá amôn,
 $\mu_N^{\max}$ - Tốc độ phát triển lớn nhất của vi sinh vật nitrát.

Sinh khối của sinh vật nitrát được tính bằng cách sử dụng công thức MNSL (maximal oxygen demand for nitrification under standardized condition) khi xác định nhu cầu ôxi lớn nhất cho quá trình nitrát hoá dưới các điều kiện tiêu chuẩn (Müller, 1995):

$$B_N = 0,0012 \cdot MNSL^{0,601} \quad (9)$$

3.4. Phương pháp số của mô hình

Các phương trình hyperbolic và parabolic một chiều dạng phi tuyến được giải bằng phương pháp số với các điều kiện ban đầu và điều kiện biên thích hợp. Tại các vị trí trên sông có sông nhánh gia nhập khi đó cần tới các điều kiện bổ sung, gồm điều kiện liên tục về lưu lượng, cân bằng mực nước và cân bằng vật chất.

Để giải số, các hàm liên tục $f(x,t)$, các đạo hàm theo thời gian t và theo không gian x của hàm $f(x,t)$ trong các phương trình Saint-Venant được xấp xỉ bằng các biểu thức sai phân theo sơ đồ sai phân ẩn Preismann, ta thu được các phương trình đại số phi tuyến. Phương trình đại số phi tuyến tiếp theo được tuyến tính hoá và chỉ giữ lại số hạng bậc nhất, từ đó ta thu được hệ phương trình đại số viết cho cặp điểm tính toán $(j,j+1)$. Nếu trên nhánh sông có N điểm tính, cùng với hai điều kiện biên của nhánh sông ta nhận được $2N$ phương trình đại số cho $2N$ ẩn số (Q_j, h_j) . Hệ này có thể được giải bằng một số phương pháp số thông dụng.

Bài toán cân bằng chất sinh học trong sông có dạng parabolic, có thể được giải bằng một số phương pháp sai phân. Ở đây bài toán cân bằng chất được giải bằng phương pháp phân rã toán tử thành hai bài toán: bài toán tải và bài toán khuếch tán. Bài toán tải ở dạng không thuần nhất có dạng phương trình hyperbolic, được giải bằng phương pháp đặc trưng, thay việc giải phương trình vi phân đạo hàm riêng bằng việc giải liên tiếp hệ hai phương trình vi phân thường phi tuyến trên lưới tính (x,t) . Nghiệm của chúng nhận được bằng phương pháp tích phân số. Bài toán khuếch tán có dạng phương trình vi phân đạo hàm riêng tuyến tính bậc hai dạng parabolic. Phương pháp số giải loại phương trình này là sơ đồ sai phân hữu hạn ẩn sáu điểm, cuối cùng ta thu được hệ phương trình đại số. Để giải hệ phương trình đại số này, có thể áp dụng một số phương pháp số quen thuộc.

Phương pháp số và mô hình trên đã được kiểm nghiệm với trường hợp nghiệm giải tích và một số bài toán thực tế, và đã chỉ ra rằng chúng cho nghiệm số thoả mãn yêu cầu.

4. Áp dụng

Mô hình đã được kiểm nghiệm với bộ số liệu đầy đủ của sông Rhein, sông Mosel. Đoạn sông Rhein được tính từ Kaub (km 546,2) tới Bonn (km 654,8) với nhánh sông gia nhập là sông Mosel, từ Cochem và gặp sông Rhein tại Koblenz.

Kết quả tính toán được so sánh với số liệu thực đo có sẵn trong sông Rhein và sông Mosel, cho thấy các kết quả tính toán khá chính xác, phù hợp với số liệu thực đo.

Bước đầu mô hình được ứng dụng để đánh giá sự phân bố một số thành phần sinh học-chất lượng nước trong các đoạn sông Hồng, sông Đà và sông Kẻ Sặt, nơi có cơ sở dữ liệu đo khá tốt so với các sông khác.

Các hệ số trong mô hình sinh thái được xác định trong Labo vi sinh vật và cân bằng chất sinh học. Các hệ số này sau đó được xử lý hồi quy.

Mô hình được ứng dụng để mô phỏng tải với các dữ liệu trên các đoạn sông sông Hồng, sông Đà với các biên trên là các trạm đo Yên Bái, Hòa Bình, Vụ Quang và biên dưới là trạm đo Sơn Tây. Các số liệu địa hình, điều kiện biên, số liệu nguồn thải, số liệu sinh thái-chất lượng nước của các đoạn sông trên được đo trong năm 1997.

Kết quả tính bước đầu cho các đoạn sông thuộc sông Hồng và sông Đà cho thấy mô hình bước đầu có sai số cho phép chấp nhận được.

5. Kết luận

Một số quá trình sinh học trong dòng chảy sông quan trọng nhất là quang hợp và sản xuất bậc một của thực vật nổi, sự phát triển, hô hấp và chết của thực vật nổi và động vật nổi, tốc độ ăn mồi của thực vật nổi và động vật nổi.

Các quá trình sinh học đóng vai trò rất quan trọng tới môi trường nước sông, chi phối chất lượng nước của nguồn nước sông. Các yếu tố ảnh hưởng đến các quá trình trên được chuyển tải thành các biểu thức toán học, vì thế dễ dàng định lượng được độ lớn của của chúng.

Bài báo này trình bày tóm tắt nội dung của mô hình sinh thái và một số quá trình sinh học trong sông. Các kết quả tính được kiểm chứng với số liệu đo đạc thực tế cho thấy mô hình trên có thể sử dụng để nghiên cứu sự phân bố của các thành phần sinh học và một số chất vô sinh trong sông.

Việc mô hình hoá sinh thái và một số quá trình sinh học trong sông là công cụ nhằm đánh giá đặc tính sinh thái-chất lượng nước của dòng chảy sông, từ đó có thể xác định được phạm vi ảnh hưởng của các nguồn nước thải cũng như của các tác động khác đối với nguồn nước sông, có tác dụng rất cấp thiết để bảo vệ và sử dụng hợp lý các nguồn nước này cho các yêu cầu phát triển kinh tế như cấp nước, tưới tiêu, nuôi trồng thủy sản và bảo vệ môi trường.

Tài liệu tham khảo

1. May, R. Model Ecosystems Princeton, NJ: Princeton University Press. 1994.
2. Morowitz, H.J. Entropy for Biologists. New York, NY: Academic Press 1989.
3. Pielou, E.C. Ecological diversity. New York, NY: Wiley. 1988.
4. Rheinheimer, G. Mikrobiologie der Gewässer. Jena: VEB Gustav Fisher. 1989.
5. Zotio, A.I. Thermodynamic Aspects of Developmental Biology. Basel : Karger. 1992.
6. Uhlmann, D. Hydrobiologie (Jena : Gustav Fisher. 1985.
7. Curtis F. Gerald. Applied Numerical Analysis. 1991.
8. Crank, J. The mathematics of diffusion. Oxford science publications. 1992.
9. Engeln Müllges. Numerik Algorithmen. VDI Verlag, 1996.
10. Michael B. Abbott. Method of characteristics. London...1988.
11. Richard H. Fhuch. Open- channel Hydraulics. Mc Graw-Hill international Editions. 1985.