



Đánh giá tiềm năng xử lý các chất ô nhiễm vi lượng trong nước thải bằng thực vật

BÙI VĂN NHUNG, ĐỖ KHẮC UẨN*

Trường Hóa và Khoa học sự sống, Đại học Bách khoa Hà Nội

Sự xuất hiện của các chất ô nhiễm vi lượng (Micropollutants - MPs) trong môi trường nước đã thu hút sự chú ý trên toàn thế giới. Các MPs có thể phát sinh trong nước thải sinh hoạt, nước thải đô thị, nước thải bệnh viện, nước thải công nghiệp, nông nghiệp,... Nồng độ các MPs trong nước thải có sự dao động lớn (16 - 7.750 ng/L), tùy thuộc đặc điểm của nguồn phát sinh. Một số MPs đã được phát hiện trong nước thải đô thị như carbamazepine (337 ng/L), citalopram (86 ng/L), diclofenac (510 ng/L), hydrochlorothiazide (1.070 ng/L), irbesartan (1.792 ng/L), ibuprofen (320 ng/L), naproxen (205 ng/L). Các MPs có khả năng gây ảnh hưởng tiêu cực đối với sức khỏe con người như rối loạn chức năng sinh sản nữ và nam, rối loạn tuyến thượng thận và suy giảm hệ miễn dịch, rối loạn tuyến giáp, rối loạn chức năng phát triển thần kinh ở trẻ em, rối loạn chuyển hóa và các bệnh về xương. Sinh vật cũng có thể bị biến đổi gen sau khi tiếp xúc hoặc hấp thụ các MPs. Các QCVN hiện nay chưa đề cập đến giá trị giới hạn cho phép của các MPs trong nước thải trước khi xả thải ra nguồn nước tiếp nhận.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong thời gian vừa qua, sự xuất hiện của các chất ô nhiễm vi lượng (Micropollutants - MPs) trong môi trường nước đã thu hút sự chú ý trên toàn thế giới [1]. Các MPs có thể ở dạng đơn chất hoặc ở dạng phức chất và có nồng độ thấp (tính theo $\mu\text{g/L}$ hoặc ng/L) [2]. Các MPs có nguồn gốc từ các nguyên liệu, sản

phẩm sử dụng trong hoạt động khác nhau (trong sinh hoạt, bệnh viện, khu công nghiệp, nông nghiệp,...) [3]. Bảng 1 tóm tắt các loại nguồn của một số chất ô nhiễm vi lượng chính trong hệ sinh thái nước.

Từ Bảng 1 cho thấy, các MPs có thể phát sinh từ nhiều nguồn khác nhau, thải ra sau khi sử dụng các sản phẩm tẩy rửa, thuốc, dược phẩm, sản phẩm chăm sóc sức khỏe, các chất hoạt động bề mặt [1, 3]. Nồng độ các MPs trong nước thải có sự dao động lớn, tùy thuộc đặc điểm của nguồn phát sinh. Bảng 2 tổng hợp sự thay đổi nồng độ của một số MPs trong nước thải.

Đặc biệt, một số MPs đã được phát hiện trong nước thải đô thị có nồng độ khá lớn, ví dụ carbamazepine (337 ng/L), citalopram (86 ng/L), diclofenac (510 ng/L), hydrochlorothiazide (1.070 ng/L), irbesartan (1.792 ng/L), ibuprofen (320 ng/L), naproxen (205 ng/L) [4]. Các MPs có khả năng gây ra tác động tiêu cực đến môi trường. Nhiều MPs có khả năng tích lũy sinh học, phân tán qua chuỗi thức ăn. Các MPs gây ảnh hưởng tiêu cực đối với sức khỏe con người bao gồm: Rối loạn chức năng sinh sản nữ và nam, rối loạn tuyến thượng thận và suy giảm hệ miễn dịch, rối loạn tuyến giáp, rối loạn chức năng phát triển thần kinh ở trẻ em, rối loạn chuyển hóa và các bệnh về xương [5]. Các MPs có thể làm suy giảm khả năng sinh sản của động vật, đột biến và ức chế vi sinh vật. Sinh vật cũng có thể bị biến đổi gen sau khi tiếp xúc hoặc hấp thụ các chất MPs [6].

Bảng 1. Nguồn phát sinh các chất ô nhiễm vi lượng vào môi trường nước [1,3]

STT	Nguồn phát sinh	Các nhóm chất ô nhiễm vi lượng	Các chất ô nhiễm vi lượng điển hình
1	Dược phẩm	Chất điều hòa lipid, thuốc chống co giật, kháng sinh, thuốc chẹn β và chất kích thích	Diclofenac, Sulfamethoxazole, Naproxen, Carbamazepine (chống động kinh), Ibuprofen, Ketoprofen
2	Sản phẩm chăm sóc cá nhân (PCPPs)	Nước hoa, chất khử trùng, bộ lọc tia cực tím và thuốc chống côn trùng	Triclosan, Methylparaben, Propylparaben, Caffeine, Irbesartan
3	Steroid hormones	Nội tiết tố	Estrone (E1), Bisphenol A (BPA), Estriol (E3), Estradiol (E2)
4	Chất hoạt động bề mặt	Chất hoạt động bề mặt không hoạt tính	Linear alkylbenzene sulfonates (LAS), Cocamidopropyl betaine, Nonylphenol ethoxylates (NPEs)
5	Hóa chất công nghiệp	Chất nhựa dẻo, chất chống cháy	Phenol, DBP, PBDEs, PCBS, Furans
6	Thuốc trừ sâu	Thuốc trừ sâu clo hữu cơ, thuốc trừ sâu lân hữu cơ, thuốc diệt cỏ và thuốc diệt nấm	Atrazine, Mancozeb, Hydrochlorothiazide,



Bảng 2. Nồng độ một số chất ô nhiễm vi lượng trong nước thải [4]

TT	Các chất ô nhiễm vi lượng điển hình	Nồng độ (µg/L)
1	Atenolol	0,32 - 33,12
2	Carbamazepine	0,04 - 3,78
3	Diclofenac	0,001 - 4,2
4	Estrone	0,01 - 0,17
5	Hydrochlorothiazide	0,85
6	Ibuprofen	0,004 - 603
7	Irbesartan	1,412
8	Ketoprofen	0,004 - 8,56
9	Naproxen	0,002 - 52,90
10	Caffeine	0,22 - 209
11	Sulfamethoxazole	0,003 - 0,98

Bảng 3. Những công nghệ tiên tiến xử lý MP [7, 8]

TT	Công nghệ xử lý	Khả năng xử lý các chất ô nhiễm vi lượng
1	Keo tụ hóa học	carbamepizine, diclofenac, sulfamethoxazole, trimethoprim, naproxen
2	Hấp phụ than hoạt tính	sulfamethoxazole, acetaminophen, atenolol, carbamazepine, diclofenac
3	AS kết hợp yếm khí	atenolol, sulfamethoxazole, trimethoprim, carbamazepine, metoprolol, diclofenac, oxazepam
4	Oxy hóa nâng cao	diclofenac, ketoprofen, sulfamethoxazole, trimethoprim, carbamazepine, metoprolol, diclofenac, oxazepam, atenolol
5	Màng lọc	Carbamazepine, sulfamethoxazole, atenolol, trimethoprim, diclofenac, ibuprofen

2. CÁC PHƯƠNG PHÁP XỬ LÝ CÁC CHẤT Ô NHIỄM VI LƯỢNG TRONG NƯỚC THẢI

Các nhà máy xử lý nước thải (XLNT) hiện nay thường được thiết kế để xử lý các thông số cơ bản nhằm đáp ứng các quy chuẩn về xả thải, mà chưa đề cập đến các thông số ô nhiễm vi lượng. Các thông số vi lượng thường có dải nồng độ thấp, cho nên hầu như các nhà máy XLNT hiện nay vẫn chưa xử lý được hoặc xử lý không hiệu quả với các thông số này. Chính vì vậy, nhiều nhà máy XLNT đã bổ sung các công đoạn phù hợp nhằm nâng cao hiệu quả xử lý MPs cho các nhà máy hiện nay. Bảng 3 mô tả các công nghệ xử lý tiên tiến được sử dụng trong xử lý nước thải.

Việc bổ sung công đoạn xử lý tại các nhà máy XLNT có thể giúp tăng hiệu suất loại bỏ MPs đến 90%. Tuy nhiên, việc bổ sung các công đoạn xử lý sẽ làm tăng chi phí đầu tư và vận hành. Tại Thụy Sĩ, chi phí cho quá trình xử lý ozon được tính với giá 25,38 Euro/người/năm, chi phí áp dụng cho nhà máy XLNT cho quy mô 10.000 dân. Tại Hà Lan, chi phí quá trình xử lý ozon được tính với giá 0,04 Euro/m³, chi phí áp dụng cho nhà máy XLNT cho quy mô 10.000 dân [8]. Do đó, việc nghiên cứu, phát triển các biện pháp xử lý bằng thực vật thân thiện môi trường, giảm chi phí xử lý là rất cần thiết. Ngoài ra, công nghệ ôxy hóa có thể tạo ra các sản phẩm phụ độc hại nếu không được kiểm soát tốt, yêu cầu chuyên môn kỹ thuật cao để vận hành và bảo trì hệ thống. Bên cạnh các phương pháp tiên tiến có thể xử lý các MPs như liệt kê trong Bảng 3, bãi lọc trồng cây cũng đã được nghiên cứu và thử nghiệm cho thấy có khả năng xử lý các MPs. Chi phí đầu tư và vận hành bãi lọc trồng cây không cao do sử dụng tự nhiên và có tiềm năng xử lý nước thải theo cách thân thiện với môi trường, bền vững.

3. TIỀM NĂNG XỬ LÝ CHẤT Ô NHIỄM VI LƯỢNG BẰNG THỰC VẬT

Các bãi lọc trồng cây có thể được phân loại theo nhiều tiêu chí khác nhau. Trong đó, hai tiêu chí để phân loại bãi lọc trồng cây là chế độ dòng chảy và các loại thực vật được sử dụng. Hệ thống bãi lọc trồng cây với dòng chảy trên bề mặt bao gồm: Bể xử lý hoặc kênh xử lý, được đổ đất hoặc vật liệu nền thích hợp để hỗ trợ bộ rễ của thực vật phát triển, mực nước tương đối nông chảy tràn qua lớp vật liệu nền. Nước di chuyển qua bãi lọc phải đảm bảo điều kiện tốc độ dòng chảy đều, để nước thải tiếp xúc với các vi sinh vật, tạo điều kiện phản ứng tối đa.

Hệ thống dòng chảy trên bề mặt xây dựng ít tốn kém, thiết kế đơn giản nhất. Hệ thống bãi lọc trồng cây dòng chảy ngầm dưới bề mặt có thể được phân loại theo hướng dòng chảy ngang và dòng chảy đứng. Đối với hệ thống dòng chảy ngang dưới bề mặt, nước thải được đưa vào hệ thống từ đầu vào và chảy chậm qua lỗ rỗng dưới bề mặt của vật liệu nền. Trên đường di chuyển, nước thải tiếp xúc với các vùng hiếu khí, vùng hiếu khí, vùng thiếu ôxy và vùng kỵ khí. Thực vật cung cấp ôxy vào hệ thống qua bộ rễ, tạo ra các vùng hiếu khí nằm xung quanh rễ.



Bảng 4. Các loài thực vật áp dụng trong bãi lọc trồng cây [5, 7, 8, 9]

STT	Loại thực vật	Tên tiếng Anh	Ứng dụng trong xử lý nước thải
1	Sậy thường	<i>Phragmites australis</i>	Nước thải từ các khu công nghiệp
2	Thủy trúc	<i>Cyperus alternifolius</i>	Nước thải sinh hoạt, nước thải mỏ
3	Bèo tai tượng	<i>Pistia stratiotes L.</i>	Nước thải sinh hoạt
4	Cỏ voi	<i>Pennisetum purpureum</i>	Nước thải sinh hoạt
5	Cỏ bác đèn	<i>Juncus effusus</i>	Nước thải công nghiệp, nước thải mỏ
6	Bèo tây	<i>Eichhornia crassipes</i>	Nước thải công nghiệp
7	Cây bờ nước	<i>Glyceria maxima</i>	Nước thải sinh hoạt, nước thải công nghiệp
8	Sậy	<i>Scirpus lacustris</i>	Nước thải sinh hoạt, nước thải công nghiệp
9	Hương bồ lá hẹp	<i>Typha latifolia</i>	Nước thải sinh hoạt, nước thải công nghiệp
10	Cỏ ruy băng	<i>Phalaris arundinaceae</i>	Nước thải sinh hoạt, nước thải công nghiệp
11	Rong đuôi chồn	<i>Cerarophyllum demersum</i>	Nước thải sinh hoạt
12	Đuôi chó gié	<i>Myriophyllum spicatum</i>	Nước thải sinh hoạt
13	Rong mái chèo	<i>Potamogeton pectinatus</i>	Nước thải sinh hoạt
14	Cói giấy	<i>Cyperus papyrus</i>	Nước thải nhiễm mặn

Hệ thống dòng chảy đứng bao gồm một bể bằng phẳng, chứa các lớp đá, sỏi và lớp cát, phía trên trồng thực vật. Nước thải đưa vào hệ thống dòng chảy đứng liên tục từ trên bề mặt, sau đó thấm dần xuống qua các lớp vật liệu nền và được thu gom dưới đáy. Phương pháp này cho phép việc vận chuyển, bổ sung oxy vào hệ thống tốt nhờ khuếch tán oxy từ không khí và nhờ thực vật, do đó làm tăng cường khả năng chất ô nhiễm. Các hệ thống dòng chảy đứng, có thể bố trí các bể song song để linh hoạt vận hành luân phiên theo các giai đoạn khác nhau.

Bên cạnh đó, còn có thể thiết kế bãi lọc trồng cây dạng dòng chảy đứng hướng từ dưới lên trên. Trong bãi lọc này, nước thải được đưa vào từ phía dưới đáy bể, nước sẽ thấm từ đáy bể lên phía trên, sau đó được thu gom ở bề mặt vật liệu. Cấu trúc của hệ thống này gồm: Đá ở lớp đáy, tiếp theo lớp sỏi thô, lớp trên cùng là sỏi mịn để trồng thực vật. Các hệ thực vật đóng vai trò quan trọng trong xử lý chất ô nhiễm trong hệ thống bãi lọc trồng cây. Một số loại thực vật điển hình sử

dụng trong các bãi lọc trồng cây được tổng hợp trong Bảng 5.

Bãi lọc trồng cây đã được các nước châu Âu, Mỹ, Nam Mỹ đưa vào sử dụng thành công và hiệu suất loại bỏ các MPs đến hơn 80%. Các loài thực vật đã được nghiên cứu và thử nghiệm thành công bao gồm Poaceae, Cyperaceae, Musaceae. Ở Việt Nam, bãi lọc trồng cây đã được nghiên cứu và từng bước ứng dụng trong xử lý nước thải. Năm 2010, bãi lọc trồng cây đã được sử dụng ở Đông Triều, Quảng Ninh. Hệ thống có tổng diện tích 3.600 m² để xử lý nước thải mỏ axit với lưu lượng khoảng 100 m³/ngày. Hệ thống gồm 1 bể kỵ khí dòng chảy ngang trên bề mặt, có kích thước khoảng 1.400 m², sử dụng vật liệu nền lớp bên dưới là 0,5 m đá vôi, lớp bên gồm phân compost trộn với rơm (0,5 m), trồng loài thực vật *Phragmites australis*; 1 bể dòng chảy ngang trên bề mặt, có diện tích khoảng 750 m², vật liệu nền là sỏi có kích thước 2 - 8 mm, trồng *Juncus effusus* và 1 bể thu gom nước đầu ra, có kích thước khoảng 250 m² được trồng *Juncus effusus*. Sau 2 năm vận hành, thực vật phát triển tốt, chất lượng nước thải sau xử lý ổn định, có khả năng kiểm soát các thông số pH, Fe, Mn, TSS và các kim loại nặng. Năm 2015, ở mỏ Núi Pháo, Thái Nguyên đã xây dựng hệ thống bãi lọc trồng cây dòng chảy ngang tự do để xử lý nước thải đầu ra của hệ thống kết hợp hóa, lý, sinh, hồ lắng có lưu lượng 18.000 m³/ngày. Hệ thống bãi lọc có diện tích khoảng 3.000 m², ban đầu, được trồng cỏ Vetiver, đến năm 2018, cỏ Vetiver được thay thế bằng các bể nổi Thủy Trúc. Hệ thống được quan trắc tự động, đến năm 2021, chất lượng nước thải sau khi đạt quy chuẩn xả thải của Bộ TN&MT (nay là Bộ Nông nghiệp và Môi trường). Năm 2018, hệ thống kết hợp giữa hóa, lý, sinh và bãi lọc trồng cây đã sử dụng ở khu công nghiệp Formosa, Hà Tĩnh, trong đó diện tích cho bãi lọc là 8,26 ha để xử lý nước thải khu công nghiệp sản xuất thép với công suất 36.000 m³/ngày. Hệ thống bao gồm 8 hồ chứa 6 bể dòng chảy ngầm và 3 bể dòng chảy trên bề mặt và bể chỉ thị sinh học, các bể sử dụng sỏi có kích thước 2 - 4 cm, được trồng loài thực vật *Phragmites australis* và *Juncus effusus* [9].

Các loài thực vật (Bảng 5) đã được nghiên cứu, thử nghiệm cho xử lý nhiều loại nước thải khác nhau. Đây là các loại thực vật có khả năng sinh trưởng, phát triển tốt, thích hợp với các điều kiện khác nhau và đã được đánh giá khả năng xử lý một số thông số ô nhiễm trong các nguồn nước thải. Tuy nhiên, các loại thực vật



Hình 1. Khảo sát bể sinh học xử lý nước thải mở



Hình 2. Bãi lọc trồng cây thủy trúc, xử lý nước thải mở (sau công đoạn xử lý sinh học)

trong hệ thống bãi lọc trồng cây ở Việt Nam chủ yếu mới đề cập đến việc xử lý thông số cơ bản trong QCVN chứ chưa đề cập đến kiểm soát và xử lý các MPs. Vì vậy, các loài thực vật trong Bảng 5 có thể thử nghiệm để đánh giá khả năng xử lý các chất ô nhiễm vi lượng.

4. KẾT LUẬN

Các chất ô nhiễm vi lượng (MPs) đã được phát hiện trong các nguồn nước thải (sinh hoạt, đô thị, bệnh viện, công nghiệp, nông nghiệp,...). Nồng độ các MPs trong nước thải có sự dao động lớn, tùy thuộc đặc điểm của nguồn phát sinh. Các MPs có khả năng gây ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường và sức khỏe con người. Các nhà máy XLNT hiện nay được thiết kế để xử lý các thông số cơ bản nhằm đáp ứng các quy chuẩn về xả thải, mà chưa đề cập đến các thông số ô nhiễm vi lượng. Các thông số vi lượng thường có dải nồng độ thấp, cho nên hầu như các nhà máy XLNT hiện nay vẫn chưa xử lý được hoặc xử lý không hiệu quả với các thông số này. Việc bổ sung công đoạn xử lý tiên tiến tại các nhà máy XLNT có thể giúp tăng hiệu suất loại bỏ MPs, tuy nhiên, sẽ làm tăng chi phí đầu tư và vận hành. Bãi lọc trồng cây có khả năng xử lý các MPs trong nước thải. Giá trị giới hạn cho phép của các MPs trong nước thải trước khi xả thải ra nguồn nước tiếp nhận cần được đề cập đến trong các QCVN để có cơ sở kiểm soát, giám sát các thông số này■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Luo, Y., Guo, W., Ngo, H. Hao., Nghiem, L. Duc., Hai, F. Ibney., Zhang, J. & Liang, S. (2014). A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, vol. 473-474, pp. 619-641.
2. Ronan G, Julien L.R, Romain M, Emmanuelle V, Catherine M, Fabrice N, Johnny G, Vincent R (2019) Organic micropollutants in a large wastewater treatment plant: What are the benefits of an advanced treatment by

activated carbon adsorption in comparison to conventional treatment?. *Chemosphere*, vol. 218, pp. 1050.

3. A. Pistocchi a, H.R. Andersen, G. Bertanza, A. Brander, J.M. Choubert, M. Cimbritz, J.E. Drewes, C. Koehler, J. Krampe, M. Launay, P.H. Nielsen, N. Obermaierl, S. Stanev, D. Thornberg (2022) Treatment of micropollutants in wastewater: Balancing effectiveness, costs and implications. *Science of the Total Environment*, vol. 850, pp. 157593.

4. Simon Gidstedt et al., (2021) A comparison of adsorption of organic micropollutants onto activated carbon following chemically enhanced primary treatment with microsieving, direct membrane filtration and tertiary treatment of municipal wastewater. *Science of the Total Environment*, vol. 811, pp. 152225.

5. Lapworth, D.J.; Baran, N.; Stuart, M.E.; Ward, R.S. (2012) Emerging organic contaminants in groundwater: A review of sources, fate and occurrence. *Environ. Pollut.*, vol. 163, pp. 287-303.

6. Jan Vymazal (2013) Emergent plants used in free water surface constructed wetlands: A review. *Ecological Engineering*, vol. 61, no. 7, pp. 582-592.

7. Zheng Qiu, Songhe Zhang (2021) Comparison of *Myriophyllum Spicatum* and artificial plants on nutrients removal and microbial community in constructed wetlands receiving WWTPs effluents. *Bioresource Technology*, vol. 321, pp. 124469.

8. Rodrigo Sepúlveda, Ana María Leiva, Gladys Vidal (2020) Performance of *Cyperus papyrus* in constructed wetland mesocosms under different levels of salinity. *Ecological Engineering*, vol. 151, pp. 105820.

9. Kim Lavane, Trần Hoàng Phúc, Lý Minh Tâm, Trần Thị Kim Loan, Nguyễn Trường Huy và Võ Thị Kiều Trinh (2023) Nghiên cứu trồng Cỏ Voi trong hệ thống đất ngập nước nhân tạo dòng chảy ngầm xử lý nước thải sinh hoạt. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, tập 59, số 1A, trang 9-15.