



Đánh giá công nghệ màng lọc bỏ nitrit trong nước cấp tại Hà Nam

ĐỖ KHẮC UẨN, ĐINH TÙNG DƯƠNG, PHẠM THU THẢO

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

PHAN THỊ LAN HƯƠNG

Trung tâm Quan trắc Tài nguyên và Môi trường, Sở Nông nghiệp và Môi trường Hà Nam

Tình trạng ô nhiễm nước mặt gây khó khăn cho các nhà máy xử lý nước. Trong nhiều trường hợp, hàm lượng nitrit trong nước vượt mức cho phép, có nguy cơ gây ảnh hưởng đến sức khỏe. Nitrit có thể được xử lý bằng các phương pháp khác nhau, như phương pháp hóa học, sinh học và lọc màng. Các phương pháp hóa học và sinh học hiệu quả nhưng sẽ khó khăn khi kiểm soát hóa chất dư và phát sinh bùn thải, khó phù hợp với quy mô nhỏ. Phương pháp lọc màng là giải pháp có khả năng loại bỏ nitrit, hệ thống linh hoạt, phù hợp với quy mô nhỏ hộ gia đình. Hiệu quả xử lý nitrit bằng màng lọc phụ thuộc vào các yếu tố như áp suất, nồng độ, nhiệt độ, điều kiện vận hành. Do đó, việc điều chỉnh điều kiện vận hành cần được nghiên cứu để tối ưu hóa hiệu quả của hệ thống màng lọc.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trên địa bàn Hà Nam có 37 đơn vị cấp nước sạch sử dụng cho mục đích sinh hoạt. Đa số nhà máy có công suất thiết kế trên 1.000 m³/ngày. Nguồn nước cấp nước sinh hoạt cho Hà Nam chủ yếu được khai thác từ nước mặt, cụ thể từ sông Hồng, sông Đáy, sông Châu Giang, sông Sắt. Trong những năm qua, diễn biến ô nhiễm các con sông chính trên địa bàn Hà Nam (sông Đáy, sông Hồng, sông Nhuệ, sông Duy Tiên, sông Châu Giang và sông Sắt) gây ảnh hưởng lớn đến các hoạt động khai thác và xử lý nước cấp. Thực tế tại địa phương cho thấy, việc ô nhiễm nước trên các sông làm thiếu hụt nguồn cấp nước sạch, chất lượng nước sau xử lý không đạt tiêu chuẩn, nhiều nhà máy cấp nước phải dừng hoạt động vào các đợt ô nhiễm nặng, kéo dài.

Tuy nhiên, thời gian gần đây, nguồn nước cấp cho các nhà máy có xu hướng bị suy giảm do các vấn đề ô nhiễm môi trường. Ví dụ nguồn nước cho Nhà máy nước sạch Đồng Du (xã Đồng Du, Bình Lục, Hà Nam) có hiện tượng không bảo đảm chất lượng, đặc biệt, vào thời điểm tháng 6/2024, nước thường xuyên vẫn đục, có mùi khó chịu. Nguồn nước của Nhà máy nước sạch Đồng Du lấy trực tiếp từ sông Châu Giang (tại vị trí thôn An Bài, xã Đồng Du) nằm trong đoạn từ đập Vĩnh Trụ đến trạm bơm Hữu Bị. Do là trục kênh tiêu chính nên toàn bộ nước mưa, nước mặt, nước thải, nước từ đồng ruộng... đều tập trung đổ vào sông Châu Giang qua hệ thống các kênh nhánh. Hiện tại, sông Châu Giang bị tắc nghẽn tại các vị trí Quan Trung, Vĩnh Trụ, không thể lấy nước sông Hồng từ cống Tắc Giang (Chuyên Ngoại, Duy Tiên) về, do vậy, nước không được lưu thông. Kết quả thử nghiệm phát hành

ngày 1/6/2024 do Trung tâm kiểm nghiệm TSL Hà Nội (là doanh nghiệp tiên phong trong lĩnh vực cung cấp dịch vụ kiểm nghiệm toàn diện và chuyên nghiệp từ khâu nhận mẫu đến trả kết quả tại Việt Nam) thực hiện hàm lượng Nitrit trong mẫu nước là 0,915 mg/l; kết quả thử nghiệm phát hành ngày 24/6/2024 hàm lượng Nitrit trong mẫu nước là 1,35 mg/l (theo Quy chuẩn QCVN 08:2023/BTNMT hàm lượng Nitrit trong nước cho phép để sử dụng vào mục đích sinh hoạt là 0,05 mg/l) [1, 2].

2. CÁC LOẠI MÀNG LỌC CÓ KHẢ NĂNG XỬ LÝ NITRIT

Những năm gần đây, công nghệ màng được nghiên cứu và phát triển mạnh mẽ. Các hệ thống lọc màng hiện nay thường được thực hiện nhằm loại bỏ nhiều thông số đồng thời, mà không đề cập đến việc loại bỏ nitrit. Vì vậy, việc phân tích, đánh giá các công nghệ màng có khả năng xử lý nitrit là rất cần thiết, phục vụ cho việc phát triển các hệ lọc màng chuyên biệt cho việc kiểm soát và xử lý nitrit trong các nguồn nước phục vụ sinh hoạt. Bảng 2 tổng hợp một số quy trình công nghệ màng có khả năng xử lý nitrit. Kết quả nghiên cứu quy mô phòng thí nghiệm cho thấy màng NF có thể xử lý nitrit (NO₂⁻), tỷ lệ loại bỏ dao động từ 5% đến 50%, trong khi nitrat (NO₃⁻) cho thấy sự thay đổi cao hơn, với tỷ lệ loại bỏ từ 30% đến 90%; Khả năng loại bỏ NH₄⁺ có thay đổi đáng kể từ 11% đến 90%. Việc loại bỏ nitrat (NO₃⁻) và nitrit (NO₂⁻) bằng các công nghệ màng khác nhau thể hiện trên Bảng 3. Về cơ bản, hiệu quả xử lý nitrit của màng lọc dựa trên một số cơ chế chính, bao gồm dựa vào kích thước lỗ mao quản của màng, dựa vào điện tích, hiệu ứng hydrat hóa và trao đổi ion

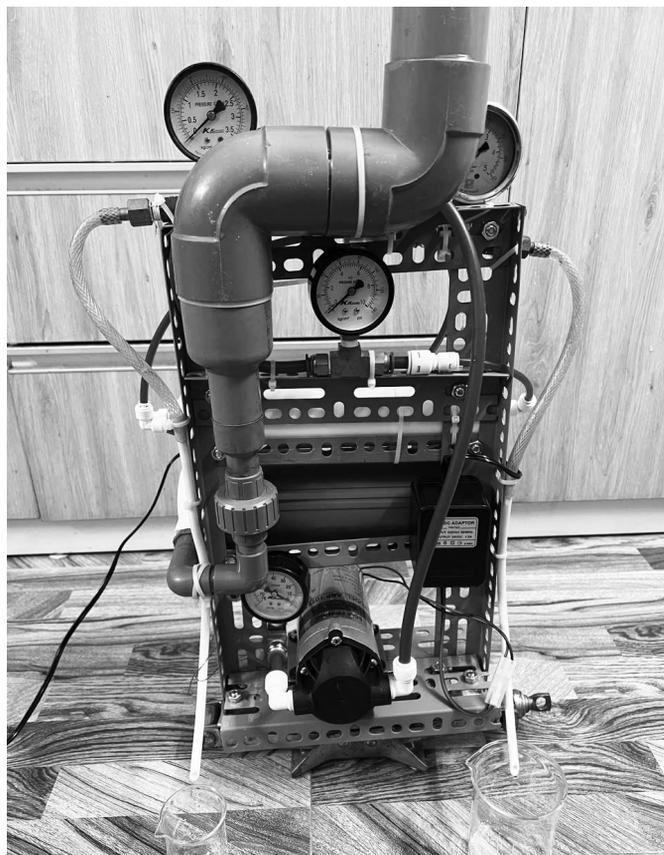


Bảng 1. So sánh ưu nhược điểm và khả năng xử lý nitrit của một số quy trình lọc màng [5,6,7]

Hệ màng lọc	Khả năng loại bỏ	Ưu điểm	Nhược điểm	Ứng dụng
Hệ màng MBR	MBR là sự kết hợp giữa màng lọc (thường là UF hoặc MF) và quá trình xử lý sinh học, giúp loại bỏ NH_4^+ và NO_3^- hiệu quả nhờ quá trình nitrat hóa và khử nitrat.	Hiệu quả cao trong xử lý các hợp chất nitơ nhờ quá trình sinh học, sản phẩm nước đầu ra sạch hơn, ít vi sinh vật gây bệnh.	Chi phí đầu tư và vận hành cao, yêu cầu bảo trì thường xuyên.	Xử lý nước thải sinh hoạt và công nghiệp. MBR có thể loại bỏ amoni qua quá trình chuyển hóa sinh học, sau đó màng lọc loại bỏ cặn bản và vi sinh vật.
Màng lọc Nano	Màng NF có khả năng loại bỏ các ion có kích thước lớn như NO_3^- và một phần NH_4^+ , tuy nhiên hiệu quả sẽ giảm đối với các ion nhỏ hơn. thông qua cơ chế sàng lọc theo kích thước và tương tác điện tích.	Loại bỏ chọn lọc các ion và có hiệu quả cao với các ion đa hóa trị, nước đầu ra có chất lượng cao.	Không loại bỏ hoàn toàn NH_4^+ vì kích thước ion nhỏ và tích điện đơn trị, đòi hỏi áp lực cao, chi phí vận hành lớn.	Loại bỏ nitrat và các hợp chất hữu cơ khác trong các hệ thống xử lý nước uống và nước ngầm, giúp giảm nồng độ các ion độc hại mà không loại bỏ hết các khoáng chất có lợi.
Màng thẩm thấu ngược	RO có hiệu quả cao trong việc loại bỏ NH_4^+ , NO_2^- và NO_3^- nhờ cơ chế thẩm thấu ngược dựa trên áp lực cao để ép nước qua màng bán thấm, lọc được các ion và phân tử nhỏ, có thể loại bỏ đến 99% các ion hòa tan trong nước.	Loại bỏ gần như hoàn toàn các ion amoni, nitrit và nitrat, hiệu quả xử lý rất cao, cung cấp nước đầu ra tinh khiết.	Cần áp lực cao và tiêu hao năng lượng lớn, tạo ra lượng lớn nước thải (concentrate).	Xử lý nước uống và nước ngầm, phù hợp cho các khu vực có nồng độ nitrat cao do phân bón và các chất thải nông nghiệp.
Màng trao đổi ion	Màng trao đổi ion sử dụng các hạt nhựa trao đổi ion để thay thế ion NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- bằng các ion khác, như Na^+ hoặc Cl^- .	Loại bỏ chọn lọc các ion cụ thể, chi phí vận hành hợp lý hơn so với RO.	Không thích hợp cho nước thải có hàm lượng chất hữu cơ cao và cần hoàn nguyên thường xuyên.	Xử lý nước uống để loại bỏ ion nitrat.

Bảng 2. Cơ chế xử lý nitrit trong nước bằng màng lọc [6,8]

Hệ màng lọc	Cơ chế xử lý
Hệ màng MBR	MBR kết hợp màng lọc (thường là UF hoặc MF) với bể xử lý sinh học, nơi các vi khuẩn chuyển hóa NH_4^+ thành NO_2^- và NO_3^- qua quá trình nitrat hóa. NO_3^- sau đó được chuyển hóa thành khí nitơ qua quá trình khử nitrat. Màng lọc giúp loại bỏ các cặn bản và vi sinh vật sau quá trình sinh học.
Màng lọc Nano	Màng NF có kích thước lỗ từ 0,001 đến 0,01 micron, cho phép loại bỏ các ion có kích thước phân tử lớn hơn và các chất đa hóa trị. Cơ chế hoạt động dựa vào sự sàng lọc kích thước lỗ và điện tích, nên có thể loại bỏ một phần NO_3^- và NO_2^- , tuy nhiên NH_4^+ ít bị loại bỏ do ion amoni có kích thước nhỏ và tích điện đơn trị.
Màng thẩm thấu ngược	Màng RO có kích thước lỗ rất nhỏ (dưới 0,001 micron), hoạt động theo nguyên tắc thẩm thấu ngược, áp suất cao đẩy nước sạch qua màng và giữ lại các ion và phân tử lớn hơn. RO có thể loại bỏ gần như hoàn toàn NH_4^+ , NO_2^- và NO_3^- do áp suất cao và tính thấm rất thấp của màng.
Màng trao đổi ion	Màng trao đổi ion dùng hạt nhựa trao đổi ion để thay thế NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- bằng các ion khác, như Na^+ hoặc Cl^- . Quá trình trao đổi ion đặc biệt hiệu quả với NO_3^- và yêu cầu hoàn nguyên để duy trì hiệu quả.



Hệ thống lọc màng xử lý nitrit trong nước



Vận hành hệ thống lọc màng xử lý nitrit trong nước

trên bề mặt màng. Động lực của quá trình lọc màng dựa vào các điều kiện về chênh lệch áp suất, nồng độ, nhiệt độ [6,7].

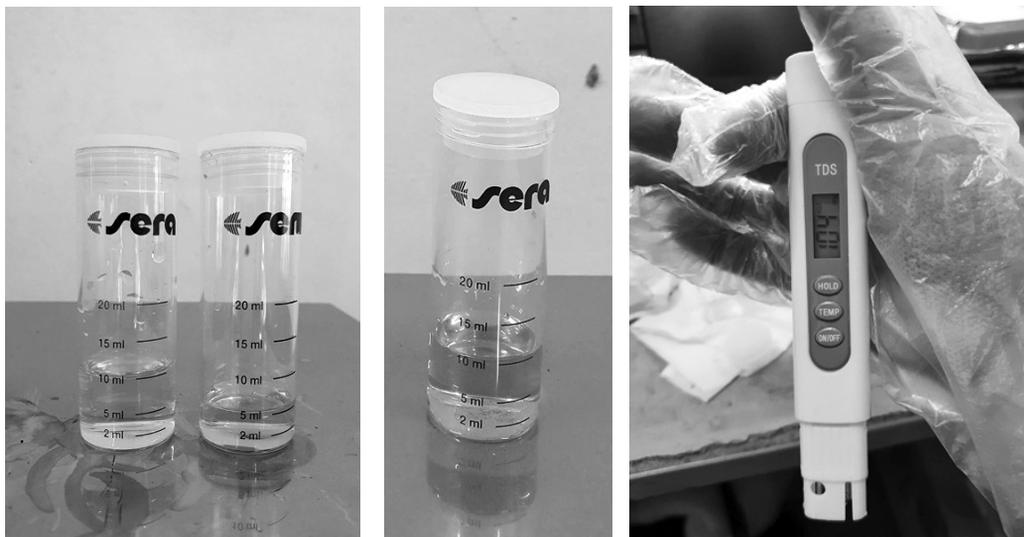
3. ẢNH HƯỞNG CỦA ĐIỀU KIỆN VẬN HÀNH ĐẾN HIỆU QUẢ XỬ LÝ NITRIT

Hiệu suất màng có thể bị ảnh hưởng bởi các yếu tố như năng suất lọc, nhiệt độ dòng vào và thành phần dòng vào và các vấn đề màng bị tắc, bị bám bẩn. Năng suất lọc của màng thường được tính bằng lít trên mét vuông mỗi giờ (L/m^2h). Năng suất lọc ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất loại bỏ nitrit của màng. Khi năng suất lọc tăng (ví dụ, từ 10 đến $45 L/m^2h$), khả năng loại bỏ cả nitrat và nitrit thường được cải thiện. Điều này là do

lưu lượng cao hơn làm tăng tốc các phân tử nước đi qua màng, tăng cường sự tương tác giữa các ion và bề mặt màng. Khi năng suất lọc tăng, khả năng loại bỏ các hợp chất có trọng lượng phân tử thấp hơn như nitrat được cải thiện đáng kể hơn so với nitrit. Ví dụ, khả năng loại bỏ nitrat có thể tăng từ 47% lên 68%, trong khi khả năng loại bỏ nitrit tăng từ 60% lên 74%. Sự cải thiện này xảy ra vì tốc độ vận chuyển chất tan vẫn tương đối ổn định, nhưng dòng nước tăng có nghĩa là khối lượng nước lớn hơn đang được xử lý, làm loãng hiệu quả nồng độ các ion đi qua. Dòng nước buộc các ion phải tương tác nhiều hơn với bề mặt màng, tăng cường cơ chế loại trừ kích thước và loại bỏ dựa trên điện tích. Khi năng suất lọc giảm, hiệu quả loại bỏ nitrit của màng có thể giảm, do giảm tương tác tổng thể giữa các ion nitrit và bề mặt màng, dẫn đến khả năng lọc kém hiệu quả hơn [6].

Nhiệt độ của nước cấp vào có thể ảnh hưởng lớn đến hiệu quả loại bỏ nitrat và nitrit. Nhiệt độ cao hơn có thể làm tăng tốc độ khuếch tán chất tan, ảnh hưởng đến quá trình vận chuyển ion. Tuy nhiên, khi nhiệt độ đầu vào lớn ($20-35^{\circ}C$), màng trở nên linh hoạt hơn, có thể dẫn đến việc mở rộng kích thước lỗ mao quản do giãn nở. Vì thế, dẫn đến giảm tỷ lệ loại bỏ cả nitrat và nitrit. Khi tăng nhiệt độ từ $10^{\circ}C$ lên $35^{\circ}C$ có thể làm giảm khả năng loại bỏ nitrat từ 64% xuống 54% và nitrit từ 74% xuống 64%. Sự giảm này là do nhiệt độ cao làm tăng tính di động của các ion và giảm sự tương tác giữa các ion và bề mặt màng, cho phép nhiều nitrat và nitrit đi qua hơn. Nhiệt độ cao hơn cũng làm tăng độ khuếch tán của chất tan, nghĩa là các ion có thể di chuyển tự do hơn qua dung dịch và màng, giúp giảm hiệu suất xử lý. Ở nhiệt độ thấp hơn $10^{\circ}C$, kích thước lỗ mao quản của màng có thể co lại, dẫn đến hiệu quả xử lý nitrat và nitrit cao hơn. Tuy nhiên, nhiệt độ rất thấp có thể làm chậm quá trình lọc, đòi hỏi phải điều chỉnh tăng áp suất để đảm bảo quá trình làm việc ổn định [7].

Nồng độ muối ($NaCl$) trong nước tăng có khả năng loại bỏ nitrat và nitrit của màng có thể giảm. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi tăng nồng độ $NaCl$ có thể làm giảm khả năng loại bỏ nitrat từ 24% xuống 3% và khả năng loại bỏ nitrit từ 42% xuống 17%. Nguyên nhân là do sự cạnh tranh của các ion natri (Na^+), làm giảm tương tác tĩnh điện giữa bề mặt màng và các ion nitrat và nitrit. pH của nước cấp ảnh hưởng đến điện tích bề mặt của màng và điện tích của các ion trong dung dịch, gây ảnh



Phân tích, đo đạc các thông số của amoni (NH_4^+), nitrit (NO_2^-), nitrat (NO_3^-) và tổng chất rắn hòa tan (TDS)

hưởng trực tiếp đến tốc độ loại bỏ nitrat và nitrit. Khi pH của nước cấp giảm (nhỏ hơn 5.0), bề mặt của màng trở nên ít tích điện âm hơn. Do đó, làm giảm lực đẩy tĩnh điện giữa màng và các ion tích điện âm (nitrat và nitrit), dẫn đến hiệu quả xử lý thấp, chỉ đạt khoảng 33% đối với nitrat và đạt khoảng 42% đối với nitrit. Ở pH cao (8.0), bề mặt màng trở nên tích điện âm hơn, làm tăng hiệu quả xử lý nitrat và nitrit thêm khoảng 10-20% so với điều kiện pH thấp [8]. Trong quá trình làm việc, các hợp chất hữu cơ và vô cơ có thể tích tụ trên bề mặt màng, tạo thành lớp bám bẩn. Lớp này có thể đóng vai trò là một lớp màng bổ sung, có thể cải thiện khả năng xử lý nitrat và nitrit. Tuy nhiên, màng lọc bị bám bẩn sẽ làm giảm năng suất lọc và gây ảnh hưởng đến hiệu suất của hệ thống.

4. KẾT LUẬN

Ô nhiễm nước mặt gây khó khăn cho các nhà máy xử lý nước trong việc kiểm soát chất lượng nước, đặc biệt là hàm lượng nitrit có nguy cơ vượt mức cho phép, gây ảnh hưởng đến sức khỏe người dân. Về mặt kỹ thuật, nitrit có thể được xử lý bằng các phương pháp hóa học, sinh học và lọc màng. Trong đó, phương pháp lọc màng là giải pháp linh hoạt, phù hợp với quy mô nhỏ như hộ gia đình, giúp loại bỏ nitrit trong nước để đảm bảo an toàn khi sử dụng. Việc nghiên cứu và phát triển các hệ thống lọc màng để kiểm soát nitrit là hết sức cần thiết. Trong quá trình làm việc, hiệu suất màng lọc chịu tác động bởi các yếu tố như năng suất lọc, nhiệt độ, nồng độ muối, pH và tình trạng bám bẩn trên bề mặt màng. Hiện tượng tắc màng sẽ làm giảm năng suất lọc và ảnh hưởng đến hiệu suất tổng thể. Do đó, cần có các nghiên cứu, đánh giá và điều chỉnh điều kiện vận hành để tối ưu hiệu quả của hệ thống màng lọc ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Minh Thu – Mạnh Hùng, Quyết liệt xử lý ô nhiễm nguồn nước, bảo đảm chất lượng nước sạch phục vụ nhân dân (4/9/2024).
2. Thanh Hiếu. Cả vạn hộ dân ở Hà Nam dùng nước sạch nhiễm bẩn? (4/9/2024).
3. Ngoc Lieu Le, Suzana P. Nunes (2016). *Materials and membrane technologies for water and energy sustainability, Sustainable Materials and Technologies*, 7: 1-28.
4. Jan Hoinkis, Sara Valero-Freitag, Martin P. Caporgno, Christian Pätzold (2011). *Removal of nitrate and fluoride by nanofiltration – a comparative study. Desalination and Water Treatment*, 30: 1-11.
5. François Garcia, Delphine Ciceron, Abdellah Saboni, Silvia Alexandrova (2006). *Nitrate ions elimination from drinking water by nanofiltration: Membrane choice. Separation and Purification Technology*, 52: 196-200.
6. Hanane El Mrabet, Fatima Elazhar, Sara Kitanou, Maryem Elazhar, Abdelrhani Mokhtari, Mohamed Taky, Azzedine Elmidaoui (2022). *Comparison of diverse direct and hybrid membrane processes for nitrate removal from brackish water. Desalination and Water Treatment*, 273: 73-80.
7. Ibrahim Musbah, Delphine Ciceron, François Garcia, Abdellah Saboni, Silvia Alexandrova (2016). *Nanofiltration membranes for drinking water production - retention of nitrate ions. Desalination and Water Treatment*, 57: 16758-16769.
8. Mubita, Porada, Aerts, van der Wal (2020). *Heterogeneous anion exchange membranes with nitrate selectivity and low electrical resistance. Journal of Membrane Science*, 607: 118000.