

KHẢO SÁT HIỆU QUẢ XỬ LÝ NƯỚC NHIỄM PHÈN SẮT BẰNG PHƯƠNG PHÁP SINH HỌC

INVESTIGATING EFFICIENCY OF TREATING ALUM-INFECTED WATER BY BIOLOGIC METHOD

Bùi Xuân Đông^{1*}, Phạm Thị Mỹ², Trịnh Thị Mỹ Hạnh¹, Hà Ngọc Tuấn³, Lê Thị Hoàng Linh⁴, Nguyễn Thị Hoàng Yến⁵, Thái Văn Kin⁶

¹Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; *xbui@dut.udn.vn*;

²Trường Đại học Sư phạm, Đại học Đà Nẵng; ³Trung tâm Chất lượng Nông lâm Thủy sản Vùng 2

⁴Công ty TNHH MTV Môi trường Đô thị Đà Nẵng; ⁵Trung tâm Kiểm dịch Y tế Quốc tế Đà Nẵng; ⁶Ngân hàng Oceanbank, Đà Nẵng

Tóm tắt - Xử lý nước ngầm nhiễm phèn sắt thông qua phản ứng kết tủa giữa ion sắt hòa tan và ion sulfide tạo ra bởi vi khuẩn khử sulfate (sulfate-reducing bacteria - SRB) đang thu hút sự quan tâm của nhiều nhà khoa học trên thế giới bởi hiệu quả xử lý cao, kinh tế và an toàn với môi trường. Trong nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành khảo sát hiệu quả xử lý nước sinh hoạt bị nhiễm phèn sắt bằng bể kỵ khí sử dụng chủng vi khuẩn khử sulfate được phân lập từ phân gia súc. Kết quả thí nghiệm cho thấy sau 8 ngày xử lý pH của mẫu nước nhiễm phèn sắt tăng từ 3,8 lên 7,4; hàm lượng H₂S trong nước tăng lên gấp 2 lần và hàm lượng ion sắt [Fe²⁺] giảm đi 2 lần. Kết quả thí nghiệm mở ra một phương hướng khả quan trong xử lý nước sinh hoạt và các nguồn nước bị nhiễm phèn khác, giúp nâng cao chất lượng cuộc sống

Từ khóa - vi khuẩn khử sulfate - SRB; nước ngầm; phèn sắt; phân gia súc; bể UASB; kỵ khí

1. Đặt vấn đề

Sự gia tăng mạnh các nhà máy, xí nghiệp cùng với sự tăng trưởng dân số đã làm cho nhu cầu nước sinh hoạt của các quốc gia ngày một gia tăng. Song chính điều này là nguyên nhân gây ra ô nhiễm các nguồn nước ngầm, nước bề mặt... Vấn đề bảo vệ và xử lý các nguồn nước bị ô nhiễm đã được nhiều nước quan tâm, trong đó có Việt Nam [1].

Theo Tổng cục môi trường, Bộ Tài nguyên và Môi trường thì ở nước ta, nước ngầm chiếm khoảng 35% đến 40% tổng lượng nước sinh hoạt của người dân. Ngoài ra, nó còn là nguồn nước quan trọng của ngành nông nghiệp và công nghiệp. Cụ thể, cả nước hiện nay có khoảng gần 300 nhà máy có sử dụng nước ngầm để biến nguồn tài nguyên thiên nhiên này thành sản phẩm phục vụ cuộc sống của con người. Cùng với đó là vô vàn các giếng đào, giếng khoan tự phát của người dân vùng nông thôn tiếp cận với nguồn nước ngầm để phục vụ sản xuất, tưới tiêu và sinh hoạt. Với trữ lượng khai thác đạt chừng 20 triệu m³ mỗi ngày, có thể nói đây là nguồn tài nguyên cực kỳ quan trọng trong đời sống sinh hoạt cộng đồng [2].

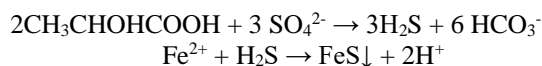
Một trong các nguyên nhân ô nhiễm thường gặp, đó là nước sông ngòi và nước giếng khoan bị nhiễm phèn sắt (KFe(SO₄)₂•12H₂O) nặng. Đây cũng chính là nguyên nhân gây ra những tác động xấu đến sinh hoạt, sản xuất của con người cũng như các vấn đề môi trường liên quan [3].

Các phương pháp chủ yếu được ứng dụng để xử lý nước nhiễm phèn sắt là phương pháp hóa - lý như dùng tro bếp, khử bằng vôi, hay xử lý bằng các chất oxy hóa mạnh (Cl₂, KMnO₄, O₃) đi kèm với dùng hệ thống lọc nước..., tuy nhiên các phương pháp này khá tốn kém và

Abstract - Treating alum groundwater via precipitation reaction between dissolving iron ion and sulfide ion created by sulfate reducing bacteria-SRB is attracting interest of many scientists in the world because of high treatment efficiency, economy and environmental safety. In this study, we investigate efficiency of treating domestic alum-infected sewage by anaerobic tank and sulfate reducing bacteria-SRB. After eight days treating, experimental results have shown that pH value of sewage sample increased from 3.8 to 7.4, H₂S content increased twice and Iron ion [Fe²⁺] decreased twice. The experimental results open a promising direction in treatment of water and other alum-infected water sources to improve the life quality.

Key words - sulfate reducing bacteria-SRB; ground water; alum; cattle dung; UASB (Upflow anaerobic sludge blanket); anaerobic.

không an toàn, thường gây ra những vấn đề ô nhiễm thứ cấp. Trong những năm gần đây, phương pháp xử lý nước nhiễm phèn sắt bằng vi khuẩn khử sulfate (SRB) thu hút sự quan tâm của nhiều nhà khoa học trên thế giới và đạt được những thành công nhất định [3]. Phương pháp này dựa trên khả năng khử ion sulfate (SO₄²⁻) đồng thời oxy hóa các hợp chất hữu cơ (lactate, acetate, ethanol, methanol), tạo ion sulfide (H₂S, HS⁻, S²⁻) của vi khuẩn SRB. Ion sulfide kết hợp với ion sắt hòa tan trong nước tạo kết tủa dưới dạng sulfide bền vững [4, 5]. Phản ứng loại bỏ sắt của vi khuẩn SRB sử dụng lactate được mô tả như sau:



Ưu điểm của phương pháp này là giá thành xử lý phù hợp, không tạo hóa chất tồn dư gây ô nhiễm thứ cấp, lượng cặn tạo ra từ kết tủa sulfide không đáng kể. Trong nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành khảo sát hiệu quả xử lý nước sinh hoạt bị nhiễm phèn sắt ở địa bàn xã Hòa Nhơn, Hòa Vang, Đà Nẵng bằng chủng vi khuẩn khử sulfate (sulfate-reducing bacteria - SRB) được phân lập từ phân gia súc.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Mẫu nước nhiễm phèn sắt được thu thập từ xã Hòa Nhơn, Hòa Vang, Đà Nẵng.

Chủng vi khuẩn khử sulfate được phân lập từ phân bò.

Mô hình khảo sát khả năng khử phèn sắt bằng chủng vi khuẩn khử sulfate.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp phân lập vi khuẩn khử sulfate (SRB)

Vi khuẩn khử sulfate (SRB) được phân lập theo 5 bước sau đây [6]:

- Bước 1 - Làm giàu SRB: SRB có trong mẫu phân bò thu thập về được làm giàu bằng cách cấy vào bình serum chứa môi trường dịch thể kỵ khí giàu chất hữu cơ, cho vi khuẩn khử sulfate SRB với tỷ lệ 10%, nuôi trong tủ ấm 30°C. Các lần cấy truyền tiếp theo được tiến hành sau 5 ÷ 7 ngày nuôi cấy theo tỷ lệ 10% thể tích. Qua mỗi lần cấy truyền, số lượng vi khuẩn SRB trong mẫu được tăng lên.

- Bước 2 - Phân lập SRB: Mẫu làm giàu lần 2 được dùng để phân lập SRB. Việc phân lập được tiến hành theo phương pháp pha loãng trên dây ống thạch bán lỏng (1%) bằng môi trường Posgate B cải tiến [7] với thành phần (g/l): KH₂PO₄ 0,5; KCl 0,5; NH₄Cl 15; CaCl₂ 0,1; Na₂SO₄ 1; MgSO₄ 1,5; lactat natri 4 (ml/l); cao nấm men 0,5; FeSO₄ 0,5; NaHCO₃ 0,5; axit thioglycolic 0,1; axit ascorbic 0,1; vitamin khác 1 (ml/l); thạch 15; nước biển 200 (ml/l), nước máy 800 (ml/l); pH 7 - 7,2. Ống thạch bán lỏng sau khi bổ sung nguồn vi sinh vật (10%) từ mẫu làm giàu được sục khí N₂ và ủ ở tư thế đảo ngược tại 30°C trong bóng tối. Khuẩn lạc đơn phát triển trong các ống pha loãng được tách bằng pipet Pasteur và chuyển sang môi trường dịch thể.

- Bước 3 - Nhuộm Gram: Sau khi cấy hoạt hóa, chủng SRB được nuôi cấy trên môi trường Posgate B cải tiến. Sau 24 giờ nuôi cấy, tiến hành nhuộm Gram và quan sát trên kính hiển vi quang học.

- Bước 4 - quan sát hình thái tế bào bằng kính hiển vi điện tử quét HITACHI S4800.

- Bước 5 - phân tích trình tự gen 16S rRNA.

2.2.2. Phương pháp định lượng vi sinh vật

Nhằm xác định số lượng VSV trên một đơn vị thể tích, chúng tôi sử dụng phương pháp đếm số lượng khuẩn lạc trên môi trường đặc.

Cách tiến hành:

- Chuẩn bị môi trường, phân phối vào đĩa petri tương tự như phương pháp phân lập.

- Pha loãng mẫu dung dịch nuôi cấy lỏng với các nồng độ 10⁻² đến 10⁻⁸.

- Nhỏ 1ml dung dịch ở mỗi độ pha loãng vào đĩa petri, dùng que trang đã khử trùng trang đều trên bề mặt đĩa. Lặp lại thao tác, 3 đĩa petri ứng với mỗi nồng độ pha loãng.

- Đậy nắp đĩa petri và nuôi cấy trong tủ ấm ở 30 - 40°C.

- Sau 48 - 72h lấy đĩa petri ra và chọn những đĩa petri ở nồng độ pha loãng mà tại đó, số khuẩn lạc trên đĩa petri dao động từ 20 - 200.

- Tính số lượng CFU (Colony Forming Unit: đơn vị hình thành khuẩn lạc) trong 1ml mẫu dung dịch ở mỗi độ pha loãng theo công thức:

$$M_i = \frac{A_i \cdot D_i}{V} \text{ (CFU/ml)}$$

Trong đó :

M_i: tổng số CFU trong 1ml mẫu dung dịch ở mỗi độ

pha loãng.

A_i : số khuẩn lạc trung bình/ đĩa

D_i: độ pha loãng mẫu

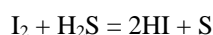
V: dung tích huyền phù tế bào cho vào mỗi đĩa (ml)

Mật độ tế bào trung bình M trong mẫu ban đầu là trung bình cộng của M_i ở các nồng độ pha loãng khác nhau.

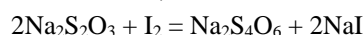
2.2.3. Xác định sự thay đổi pH của mẫu nước nhiễm phen sắt bằng máy đo pH (Hanna HI 2210)

2.2.4. Xác định hàm lượng H₂S trong nước nhiễm phen sắt bằng phương pháp chuẩn độ iot [8]

Dựa vào phản ứng oxi hóa khử giữa S²⁻ và I₂ khi cho một lượng dư iot đã biết trước thể tích và nồng độ vào trong mẫu nước có chứa H₂S.

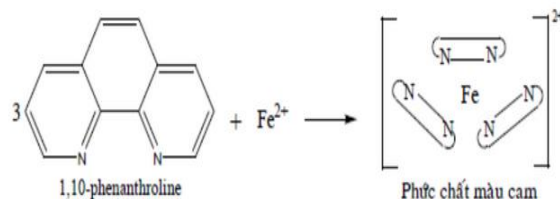
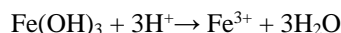


Sau đó chuẩn độ ngược lượng dư iot bằng dung dịch natri thiosunfat (Na₂S₂O₃) với chỉ thị hồ tinh bột.



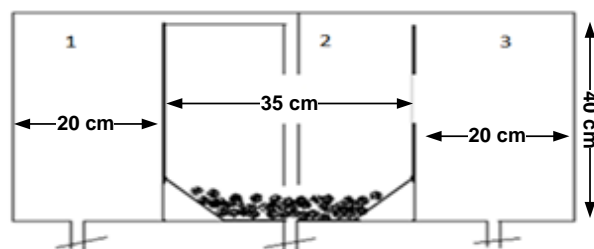
2.2.5. Xác định tổng sắt hòa tan bằng phương pháp trắc phổ dùng thuốc thử 1,10-phenantrolin (DIN 38406 E1-1, 1983) [9]

Sắt bị khử thành dạng Fe²⁺ bằng cách đun sôi với acid và hydroxylamine, sau đó được xử lý với 1,10-phenantrolin. Ba phân tử phenantrolin tạo phức với mỗi một nguyên tử Fe²⁺ tạo thành phức chất có màu đỏ-cam.



Phức chất [Fe(phen)₃]²⁺ có độ hấp thụ quang học cao nhất đo ở bước sóng (λ_{max}) 510nm, cường độ màu khá bền trong khoảng pH từ 2,5 đến 9 và màu sắc tỷ lệ với hàm lượng Fe (II).

2.3. Mô hình khảo sát khả năng xử lý nước nhiễm phen sắt của vi khuẩn khử sulfate kỵ khí



Hình 1. Mô hình xử lý nước nhiễm phen sắt trong phòng thí nghiệm (1) Bể điều hòa chứa nước nhiễm phen sắt đầu vào; (2) Bể UASB xử lý nước nhiễm phen sắt bằng vi khuẩn SRB phân lập từ phân trâu, bò; (3) Bể lắng chứa nước đầu ra sau khi xử lý.

Các thông số của bể UASB được thiết kế như trên Hình 1 với tổng chiều dài của bể là 75cm, chiều rộng

40cm và chiều cao 40 cm.

Nước bị nhiễm phen sắt được cho vào bể điều hòa số 1 để lắng một số cặn sỏi, cát có trong nước. Sau đó nước bị nhiễm phen sắt được chuyển sang bể kỵ khí (UASB) số 2 có chứa sẵn một lớp phôi bào phía dưới, đồng thời bổ sung dịch làm giàu vi khuẩn SRB sau lần cấy truyền thứ 2 vào.

Ủ trong điều kiện kỵ khí trong vòng 8 ngày.

2.4. Phương pháp xử lý số liệu

Các thí nghiệm trong nghiên cứu được lặp lại tối thiểu 3 lần, kết quả đưa ra là trung bình hoặc có tính chất đại diện tốt nhất cho 3 lần thí nghiệm.

Trong một số thí nghiệm có số lần lặp lại cao hơn và số liệu được xử lý thống kê. Giá trị trung bình (mean) được tính theo phương trình sau:

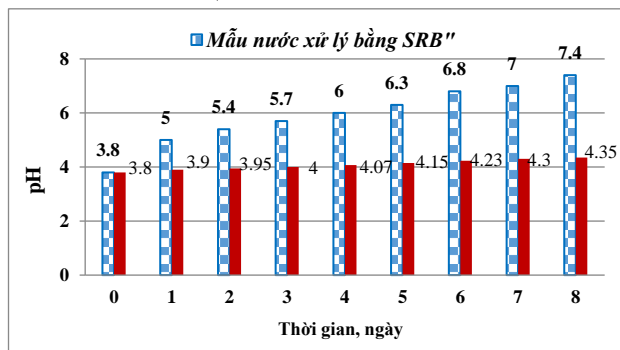
$$x = \frac{\sum x_i}{n}$$

Trong đó, x – là giá trị trung bình của mẫu; x_i – là giá trị của phép đo thứ i ; n – là tổng số lần đo hay xác định.

3. Kết quả nghiên cứu và khảo sát

3.1. Kết quả sự thay đổi pH của nước nhiễm phen sắt theo thời gian

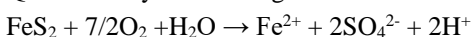
Mẫu nước nhiễm phen sắt thu được tại xã Hòa Nhon, Hòa Vang, Đà Nẵng trước khi đem đi xử lý thì được tiến hành khảo sát tính chất. Kết quả khảo sát tính chất nước nhiễm phen sắt như sau: pH = 3,8, nồng độ sắt $[Fe^{2+}] = 57$ mg/l; hàm lượng H_2S $[H_2S] = 45.7$ mg/l. Sau đó, mẫu nước được đưa vào xử lý theo mô hình (Hình 1). Sau 8 ngày khảo sát khả năng xử lý nước bị nhiễm phen sắt bằng chủng vi khuẩn SRB với mật độ khoảng 37×10^7 (CFU/l) ở quy mô phòng thí nghiệm, nhận thấy sự thay đổi pH của mẫu nước như sau (Hình 2).



Hình 2. Đồ thị biểu diễn sự thay đổi pH của nước nhiễm phen qua 8 ngày xử lý

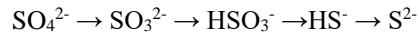
Như chúng ta đã biết, nước bị nhiễm phen là nước có pH thấp. Kết quả nghiên cứu của các nhà khoa học cho thấy acid trong nước phen ở khu vực này là sulphuric acid, được hình thành khi các khoáng sulfide (như pyrite, FeS_2) trong quặng tiếp xúc với oxy và nước [10].

Quá trình oxy hóa khoáng sulfide:



Đặc điểm của nước bị nhiễm phen sắt: nước có hàm lượng ion Fe^{2+} cao, nước có mùi tanh và có nhiều cặn bản màu vàng.

Vi khuẩn SRB thực hiện trao đổi chất, oxy hóa các chất hữu cơ sử dụng sulfate làm chất nhận điện tử cuối cùng [11]. Sự khử sulfate thành sulfide tiêu thụ 8 điện tử và các quá trình sinh hóa thông qua nhiều bước trung gian với sự tham gia của nhiều enzyme [12; 13]. Phản ứng có thể được tóm tắt như sau [14]:

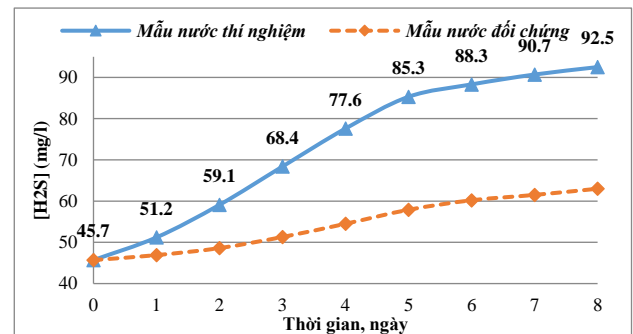


Kết quả từ Hình 2 cho thấy giá trị pH trong của mẫu nước nhiễm phen sắt sau 8 ngày xử lý bằng chủng vi khuẩn SRB đã thay đổi từ 3,8 lên 6,8 sau 6 ngày và đạt giá trị 7,4 sau 8 ngày. Trong khi đó, giá trị pH trong bể đối chứng thay đổi không đáng kể, tăng trong khoảng 3,8 đến 4,35.

Như vậy, giá trị pH của nước nhiễm phen sắt sau khi được xử lý bằng chủng vi khuẩn SRB nằm trong khoảng trung tính (7-7,4), thích hợp cho mục đích phục vụ sinh hoạt của người dân.

3.2. Kết quả thay đổi hàm lượng sulfate theo thời gian

Cùng với sự thay đổi pH của mẫu nước nhiễm phen sắt, trong quá trình xử lý, hàm lượng sulfate cũng biến đổi theo thời gian. Chúng tôi tiến hành khảo sát thay đổi hàm lượng sulfate thông qua việc xác định hàm lượng khí H_2S hòa tan trong hệ thống xử lý nước thải được sinh ra qua 8 ngày xử lý (Hình 3).

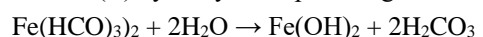


Hình 3. Đồ thị biểu diễn sự thay đổi hàm lượng H_2S của nước nhiễm phen sắt qua 8 ngày xử lý

Kết quả từ Hình 3 cho thấy, sau 8 ngày xử lý bằng chủng vi khuẩn SRB hàm lượng H_2S tăng gấp 2 lần (từ 45,7 mg/l đến 92,5 mg/l). Trong khi đó, ở mẫu nước đối chứng – mẫu nước xử lý không dùng vi khuẩn SRB thì hàm lượng H_2S tăng lên không đáng kể (từ 45,7 mg/l lên 63,0 mg/l). Nguyên nhân của sự tăng hàm lượng H_2S là do vi khuẩn SRB sử dụng sulfate làm chất nhận điện tử cuối cùng để oxy hóa các hợp chất hữu cơ và tận thu năng lượng cho mục đích sinh trưởng. Trong quá trình đó, khí H_2S được sinh ra. Kết quả nghiên cứu trên đây hoàn toàn phù hợp với các công trình nghiên cứu của các nhà khoa học trong nước và trên thế giới [3; 15].

3.3. Kết quả sự thay đổi nồng độ ion sắt trong nước nhiễm phen sau 8 ngày xử lý

Nguyên nhân chủ yếu của nước ngầm nhiễm phen là do hàm lượng ion sắt trong nước ngầm quá cao, và phân bố không đồng đều giữa các lớp trầm tích dưới đất sâu. Trong nước ngầm, sắt thường tồn tại ở dạng ion, sắt có hóa trị 2 (Fe^{2+}) là thành phần của các muối hòa tan. Sắt (II) bicarbonat là một muối không bền, nó dễ dàng thủy phân thành sắt (II) hydroxyt theo phản ứng sau:

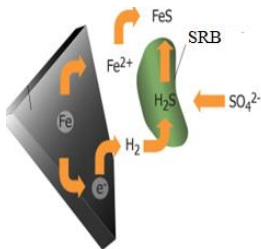


Nếu trong nước có oxy hòa tan, sắt (II) hydroxyt sẽ bị oxy hoá thành sắt (III) hydroxyt theo phản ứng sau:



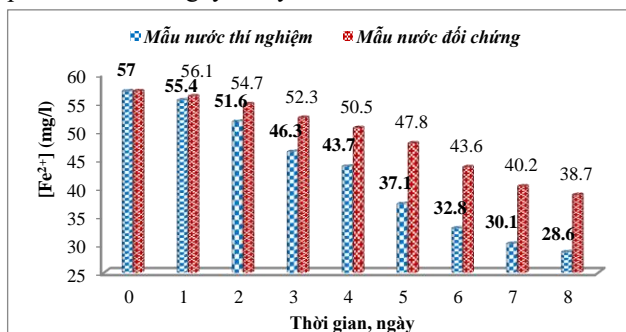
Hàm lượng sắt trong nước cao sẽ tạo ra **mùi tanh khó chịu** và có nhiều cặn bẩn màu vàng gây ảnh hưởng xấu đến chất lượng **nước ăn uống, sinh hoạt** và sản xuất, làm vàng quần áo khi giặt, làm hư hỏng các sản phẩm của ngành dệt may, giấy, phim ảnh, đồ hộp và làm giảm tiết diện vận chuyển nước của đường ống vì cùng với nước cứng, sắt có một hợp chất không tan sẽ đóng cặn lên bên trong đường ống... [16].

Trong quá trình xử lý nước nhiễm phen sắt vi khuẩn SRB khử ion sulfate (SO_4^{2-}) đồng thời oxy hóa các hợp chất hữu cơ (lactate, acetate, ethanol, methanol), tạo ion sulfide (H_2S , HS^- , S^{2-}) của vi khuẩn SRB. Ion sulfide kết hợp với ion sắt hòa tan trong nước, tạo kết tủa dưới dạng sulfide bền vững [4; 5] (Hình 4).



Hình 4. Quá trình tạo FeS bằng vi khuẩn SRB

Sự thay đổi hàm lượng ion sắt trong nước nhiễm phen sắt sau 8 ngày xử lý được thể hiện ở Hình 5.



Hình 5. Sự thay đổi hàm lượng ion sắt trong nước nhiễm phen sắt sau 8 ngày xử lý

Theo kết quả nghiên cứu ở đồ thị Hình 5, nhận thấy rằng, sau 8 ngày xử lý bằng chủng vi khuẩn SRB, hàm lượng ion sắt trong mẫu nước thí nghiệm giảm từ 57 mg/l xuống còn 28,6 mg/l (giảm 2 lần). Trong khi đó, ở mẫu nước đối chứng (không xử lý bằng vi sinh vật) thì hàm lượng ion sắt giảm từ 57 mg/l đến 38,7 mg/l. Nguyên nhân chủ yếu dẫn đến sự giảm này có thể là do hàm lượng ion sắt bị giữ lại trong bể điều hòa. Tuy nhiên, hàm lượng ion sắt trong mẫu thí nghiệm giảm mạnh hơn. Điều này chứng minh được hiệu quả xử lý nước nhiễm phen bằng vi khuẩn SRB. Vi khuẩn SRB đã cố định các ion sắt và làm lắng xuống đáy bể. Như vậy để loại bỏ sắt chỉ cần thu hồi cặn lắng và đem đi xử lý để thu hồi sắt ở dạng có thể sử dụng.

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, tác giả trình bày các kết quả thí

nghiệm nhằm khảo sát hiệu quả xử lý nước nhiễm phen sắt bằng chủng vi khuẩn khử sulfate phân lập từ phân gia súc. Kết quả thí nghiệm cho thấy sau 8 ngày xử lý pH của mẫu nước nhiễm phen, sắt tăng từ 3,8 lên 7,4; hàm lượng H_2S trong nước tăng lên gấp 2 lần chứng minh hàm lượng SO_4^{2-} đã giảm đi sau quá trình xử lý bằng vi khuẩn SRB. Bên cạnh đó, H_2S có thể dễ dàng loại bỏ ra khỏi nước vì chúng ít tan trong nước (H_2S có liên kết cộng hóa trị không phân cực). Kết quả nghiên cứu cũng chứng minh sau quá trình xử lý bằng vi khuẩn SRB hàm lượng ion sắt [Fe^{2+}] giảm đi 2 lần. Điều này giải thích bằng việc vi khuẩn SRB đã cố định ion Fe^{2+} và làm chúng lắng xuống bể UASB.

Trong nghiên cứu tiếp theo, nhóm tác giả sẽ khảo sát khả năng sinh độc tố của vi khuẩn SRB và chứng minh tính an toàn của chúng đối với sức khỏe con người nhằm đưa chế phẩm SRB vào ứng dụng trong thực tế. Đồng thời xác định ảnh hưởng của vi khuẩn SRB đến các chỉ số COD, BOD của nước sinh hoạt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bùi Duy Cam, Nguyễn Bảo Châm, "Nghiên cứu khả năng xử lý nước ô nhiễm kim loại nặng bằng axit humic", *Tạp chí phân tích Hóa, Lý và Sinh học*, Tập 10, số đặc biệt, 2005, tr. 3 – 8.
- [2] Chính phủ (2013), Nghị định số 201/2013/NĐ- CP: *Quy định chi tiết thi hành một số điều của luật tài nguyên nước*.
- [3] Nguyễn Thị Hải (2012). *Phân lập vi khuẩn khử sulfate (SRB) để ứng dụng trong xử lý nước thải axit từ hoạt động khai thác khoáng sản*, Luận văn Thạc sĩ chuyên ngành "Vi sinh vật học".
- [4] Hulshof A.H.M., Blowes D.M., Gould W., *Evaluation of in situ layers for treatment of acid mine drainage: A field comparison*, *Water Res.*, 40, 2006.p. 1816 – 1826.
- [5] Neculita C.M., Zagury G.J., Bussiere B., *Passive treatment of acid mine drainage in bioreactors using sulfate-reducing bacteria: Critical review and research needs*, *J. Environ. Qual.*, 36, 2007, p. 1 – 16.
- [6] Nguyễn Thị Thu Huyền, Trương Đại Cường, Lại Thúy Hiền, *Vi khuẩn khử sunphat ưa âm sử dụng dầu thô Desulfovibrio Desulfuricans DDH3P phân lập từ giếng khoan dầu khí mỏ Đại Hùng, Vũng Tàu*, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển T1192011*, số 4, tr. 21-33.
- [7] Дзержинская И.С., *Путательные среды для выделения и культивирования микроорганизмов*, Издательство АГТУ, 2008, 348 стр. (ISBN 978-5-89154-260-0)
- [8] Cord-Ruwish R, *A quick method for the determination of dissolved and precipitated sulfides in cultures of sulfate-reducing bacteria*, *J. Microbiol. Meth.* 4, 1985, p. 33 – 36.
- [9] DIN 38406-E1-1, *German standard methods for the examination of water, waste water and sludge, cation (group E), determination of iron (E1)*, 1983.
- [10] Brown M, Barley B, Wood H, *Minewater treatment: technology, application and policy*, IWA Publishing, London, 2002.
- [11] Posgate JR, *The sulphate reducing bacteria*, 2nd ed, Cambridge University Press, Cambridge, 1984
- [12] Frauque G., J LeGall and Barton L.L., *Sulphate-reducing and sulphur-reducing bacteria*, *Variation in Autotrophic life*, pp. 271-337, 1991.
- [13] Kremer D R, Hansen TA *Pathway of propionate degradation in Desulfovibrio propionicus*, *FEMS Microbiol. Lett.*, 49, pp. 273-277, 1988.
- [14] Peck H D, Lissolo T, *Assimilatory and dissimilatory sulphate reduction: enzymology and bio energetics*, *The Nitrogen and Sulphur Cycles*, pp. 99 – 132, 1988
- [15] Губин В.Е., Смирнов Ю.Г., Смирнова Г. Ф., Горелов В.С., Максимова Н.И., Баглай С.В., Зайнуллин Х.Н. - "Биохимическая очистка сульфатсодержащих сточных воды" - *Химия и технология воды*, 1984, т. 6, N 5, с.465.
- [16] Lê Văn Khoa, *Nghiên cứu đất phen*, NXB Đại học khoa học tự nhiên, (1996).