
NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG HẤP THU NHÂN PHÓNG XẠ TRONG NƯỚC THẢI KHAI THÁC TITAN CỦA CỎ VETIVER VÀ CÂY SẬY

Nguyễn Văn Hoài Nam^(a), Nguyễn Văn Mai^(b), Lê Hùng Anh^(c)

(a,b) Trung tâm Hạt nhân Tp. HCM – 217 Nguyễn Trãi, Quận 1, TP. Hồ Chí Minh

(c) Viện Khoa học Công nghệ và Quản lý Môi trường - Đại học Công nghiệp TP. Hồ Chí Minh 12 Nguyễn Văn Bào, Phường 4, Quận Gò Vấp, Tp. Hồ Chí Minh

Email: nguyennam20116@gmail.com; vietgreen@gmail.com

Tóm tắt: Nước thải trực tiếp từ mỏ khai thác titan chứa các nhân phóng xạ có thể gây ô nhiễm đất, nước ảnh hưởng đến sức khỏe con người cũng như sự cân bằng sinh thái. Trong những năm gần đây, phương pháp sử dụng thực vật xử lý ô nhiễm phóng xạ đang được quan tâm đầu tư nghiên cứu bởi chi phí đầu tư thấp, an toàn và thân thiện với môi trường. Do đó, nghiên cứu này nhằm mục đích đánh giá khả năng loại bỏ nhân phóng xạ ^{232}U và ^{238}Th trong nước thải khai thác titan của hai loại thực vật là cỏ vetiver (*Vetiveria zizanioides*) và cây sậy (*Phragmites australis*) ở quy mô pilot. Kết quả nghiên cứu cho thấy cả cỏ vetiver và cây sậy đều phát triển tốt trong môi trường ngập nước thải ô nhiễm phóng xạ có nồng độ hoạt độ 12,135 Bq/L, cây phát triển tốt nhất với chiều cao tăng 90% sinh khối tăng 43,4% đối với cỏ vetiver và chiều cao tăng 22,2% sinh khối tăng 8% với cây sậy sau khi kết thúc thí nghiệm.

Sau 15 ngày hiệu suất hấp thu nhân ^{238}U của cỏ vetiver đạt 59% cao hơn so với cây sậy đạt 48%. Tuy nhiên với nhân ^{232}Th hiệu suất hấp thu của cỏ vetiver đạt 79,7% thấp hơn so với cây sậy đạt 86,5%. Tổng alpha và beta của nước thải giảm mạnh trên 90% đối với cả mô hình trồng cỏ vetiver và sậy. Cụ thể hiệu suất xử lý nước thải với mô hình trồng cỏ vetiver đối với tổng alpha là 99,67% và beta là 95%; mô hình trồng cây sậy đối với alpha là 99,6% và beta là 91,3%. Nước thải đầu ra đều đạt tiêu chuẩn loại A theo QCVN 08-MT:2015/BTNMT. Mô hình xử lý nước thải ô nhiễm phóng xạ bằng cỏ vetiver và cây sậy cho thấy hiệu quả xử lý cao trong khi vận hành đơn giản có triển vọng áp dụng trong điều kiện thực tế để xử lý nước thải trong ngành công nghiệp khai thác titan.

Từ khóa: *Vetiver*, *Sậy*, *khai thác Titan*.

RESEARCH ON THE POSSIBILITY TREATMENT OF RADIOACTIVE SUBSTANCES IN THE WATER WASTE TITANIUM EXPLOITATION BY VETIVER GRASS AND THE REED

Nguyễn Văn Hoài Nam^(a), Nguyễn Văn Mai^(b), Lê Hùng Anh^(c)

(a,b) Center for Nuclear Techniques in HCM City, 217 Nguyen Trai Str., District 1, HCM City

(c) Institute of Environmental Science, Engineering and Management - Industrial university of Ho Chi Minh city 12 Nguyen Van Bao Str., District Go Vap, HCM City

Email: nguyennam20116@gmail.com; vietgreen@gmail.com; vanmaius@yahoo.com

Abstract: Direct sewage from titanium mines containing radio nuclides can contaminate soil and water seriously affecting human health as well as ecological balance. In recent years, the method of using flora in order to treat radioactive pollution is being investigated due to low investment costs, safety and environmental friendly. Therefore, the intention of this study is to evaluate the ability to remove radio nuclides ^{232}U and ^{238}Th in titanium mining wastewater by two types of vetiver grass and reed plants in pilot-scale. Result of the experiments has showed that both Vetiver grass and Reed grow well in the condition of flooded environment with the radioactive wastewater, these plants lead to the best growth with the height, biomass rising to 90% and 43.4% for Vetiver grass as well as 22.2% and 8% for Reed respectively after the experiment terminated.

After 15 days of planting uptake efficiency of ^{238}U of Vetiver grass reached 59% higher than that for Reed of 48%. However, with ^{232}Th nuclide, the uptake efficiency of Vetiver grass was 79.7% lower than that for Reed of reached 86.5%. Total alpha and beta were also quite well-modeled with a 90% processing efficiency for both Vetiver and Reed models. Specifically, wastewater treatment efficiency with Vetiver model for total alpha is 99.67% and beta is 95%; Reed model for alpha is 99.6% and beta is 91.3%. The output effluent meets the standard of Class A according to QCVN 08-MT: 2015 / BTNMT. Model of radioactive sewage treatment by Vetiver grass and Reed presents a good treatment efficiency in a simple operation with the prospect of applying in practical conditions for wastewater treatment in the Titanium mining industry.

Keywords: *Vetiver, Reed, Titanium mining*

1. MỞ ĐẦU

Hiện nay, việc nghiên cứu sử dụng thực vật làm chỉ thị trong quan trắc, đánh giá và xử lý môi trường đã được áp dụng rộng rãi trên thế giới. Thực vật chỉ thị liên quan mật thiết đến môi trường sống đồng thời cũng là một mắt xích quan trọng trong việc vận chuyển các nhân phóng xạ từ nguồn ô nhiễm đến con người và có thể được sử dụng như một phương pháp kỹ thuật xử lý môi trường [1-5].

Nghiên cứu sự hấp thụ phóng xạ vào thực vật là một lĩnh vực rất được quan tâm ở Việt Nam. Trong những năm qua đã có những công bố của các cán bộ khoa học trong nước, ví dụ như nhóm nghiên cứu của tác giả Nguyễn Hào Quang, Đặng Đức Nhận đã nghiên cứu xác định hệ số vận chuyển (TF) của ^{134}Cs và ^{84}Sr phóng xạ từ đất vào lúa và rau bắp cải trong một chương trình phối hợp nghiên cứu với Cơ quan Năng lượng nguyên tử quốc tế (IAEA) [4]. Đã có dự án điều tra về mức độ tồn lưu của ^{90}Sr , ^{137}Cs và $^{239+240}\text{Pu}$ trong đất không canh tác và canh tác của Việt Nam; điều tra về phóng xạ trong đất và thực vật [6-8]. Tác giả Lưu Việt Hưng cũng đã nghiên cứu quá trình tích tụ Urani, Thori và một số nhân phóng xạ khác từ đất vào cỏ vetiver và cây cải canh [9].

Đã có nhiều công bố của các nhà khoa học trên thế giới về nghiên cứu sử dụng cỏ vetiver và cây sậy để hấp thụ phóng xạ. Nualchavee Roongtanakiat và cộng sự đã nghiên cứu khả năng hấp thụ Uranium của cỏ vetiver [10]. Marko Cerne và cộng sự đã nghiên cứu trồng sậy xung quanh khu mỏ khai thác Urani để xử lý ô nhiễm [11]. Khả năng hấp thụ Uranium, thorium và radium cũng được Ilona Matveyeva cùng cộng sự nghiên cứu trên cây Sậy và một số loại thực vật khác [12].

Nghiên cứu khả năng hấp thụ nhân phóng xạ trong nước thải khai thác titan với đối tượng nghiên cứu là cỏ vetiver và cây sậy nhằm đánh giá khả năng hấp thụ và tích tụ urani, thori từ nước vào cây cũng như khả năng làm sạch môi trường bằng thực vật. Nội dung và lý do thực hiện nghiên cứu này là nhằm tìm ra hướng giải quyết vấn đề ô nhiễm một cách bền vững, nâng cao hiệu quả về kinh tế chính là nội dung và cũng là lý do thực hiện nghiên cứu này.

2. NỘI DUNG

2.1. Đối tượng và Phương pháp nghiên cứu

2.1.1 Đối tượng nghiên cứu

- Vetiver được mua từ cửa hàng bán vetiver 27/206 Điện Biên Phủ, phường 15, quận Bình Thạnh, tp Hồ Chí Minh. Sau khi lấy về vetiver được tách ra từng tép nhỏ, mỗi cây ban đầu cao 20cm, cắt bỏ lá chết. Vetiver được trồng trong thời gian 7 ngày để thích nghi với môi trường mới. Sau thời gian thích nghi vetiver bắt đầu phát triển. Vetiver sẽ được sử dụng để thực hiện thí nghiệm với quá trình chạy mẫu thực.

- Cây lau sậy được lấy từ phường Bình Khánh, quận 2, thành phố Hồ Chí Minh, cây lau sậy sau khi lấy về được cắt ngắn thành những đoạn nhỏ từ 20-30 cm. Sau đó trồng vào mô hình nước sạch chưa có phóng xạ. Lau sậy được trồng thích nghi 1 tuần trước khi cho vào môi trường mới.

- Nguồn nước thải sử dụng trong nghiên cứu này được lấy từ khu mỏ Nam Suối Nhum thuộc Công ty cổ phần khai thác titan Bình Thuận, xã Thuận Quý huyện Hàm Thuận Nam tỉnh Bình Thuận.

2.1.2 Phương pháp nghiên cứu

2.1.2.1 Phương pháp bố trí thí nghiệm quy mô pilot

- Thiết kế mô hình thí nghiệm gồm 2 bể bằng nhựa được đặt song song, mỗi bể có sức chứa tối đa 500 lít nước. Với chiều dài 1320mm, chiều rộng 950mm và cao 660mm được bố

trí thêm các lớp vật liệu lọc gồm cát, đá nhỏ và đá lớn. Ngoài ra còn có hệ thống bơm tuần hoàn nước thải để tăng cao hiệu quả xử lý.



Hình 2.1: Mô hình trồng vetiver và lau sậy quy mô pilot

2.1.2.2 Phương pháp phân tích

Các chỉ tiêu Gamma, alpha, beta được phân tích bằng hệ phổ kế Gamma phòng thấp Canberra và hệ đo tổng alpha, beta phòng thấp XBL tại Trung tâm Hạt nhân thành phố Hồ Chí Minh.

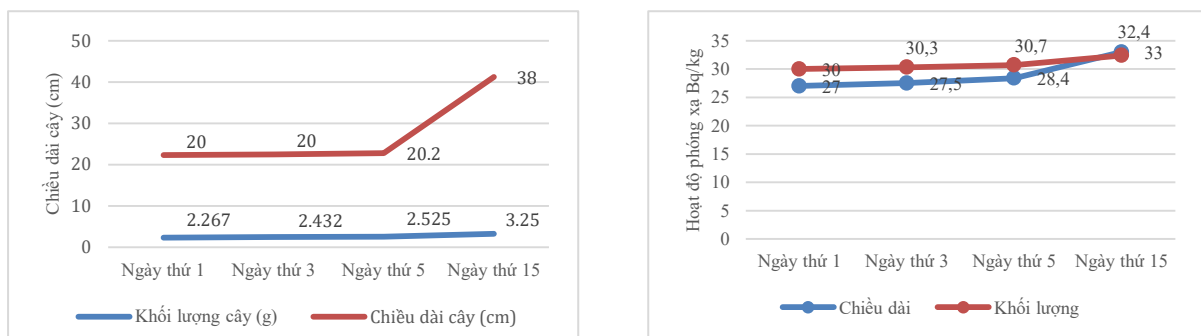
2.1.2.3 Phương pháp xử lý số liệu

Các kết quả nghiên cứu được tổng hợp và xử lý theo các phương pháp thống kê bao gồm: phương pháp thống kê mô tả, thống kê tương quan.

2. 2. Kết quả

2.2.1 Quá trình sinh trưởng của cây

Cỏ vetiver và cây sậy sau khi được trồng thích nghi trong thời gian 7 ngày được cho vào mô hình có chứa nước thải có nhân phóng xạ với hoạt độ của các nhân U-238, Th-232 là 25,3 Bq/Kg và 8.9 Bq/Kg và tiến hành chạy thí nghiệm trong thời gian 15 ngày. Sự sinh trưởng của cây được đánh giá qua sự hình thành phát triển chiều dài và sinh khối của cây. Kết quả sự sinh trưởng của cây được tổng hợp qua biểu đồ 2.1 và biểu đồ 2.2.

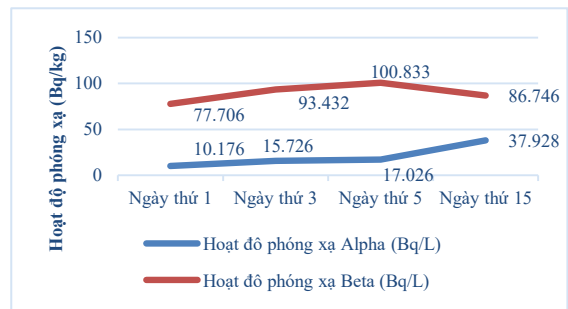
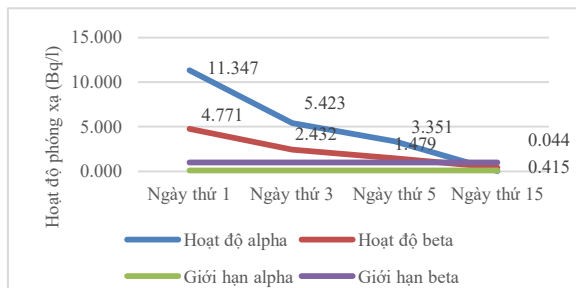


Biểu đồ 2.1 và 2.2: Sự tăng trưởng của cỏ vetiver và sậy sau các khoảng thời gian trồng

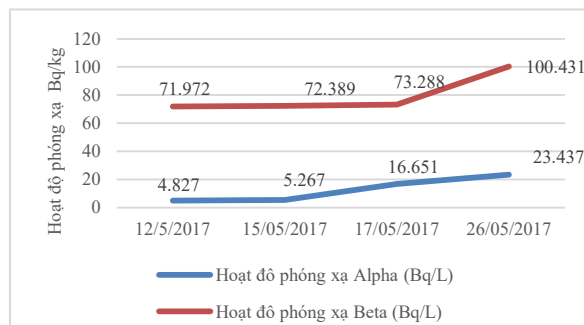
2.2.2 Khả năng hấp thu của cây qua các chỉ tiêu alpha, beta.

2.2.2.1 Cỏ Vetiver.

Hiệu quả xử lý nước thải cũng như khả năng hấp thu của cây cỏ vetiver qua các chỉ tiêu alpha, beta được thể hiện ở các biểu đồ 2.3, biểu đồ 2.4, và biểu đồ 2.5.



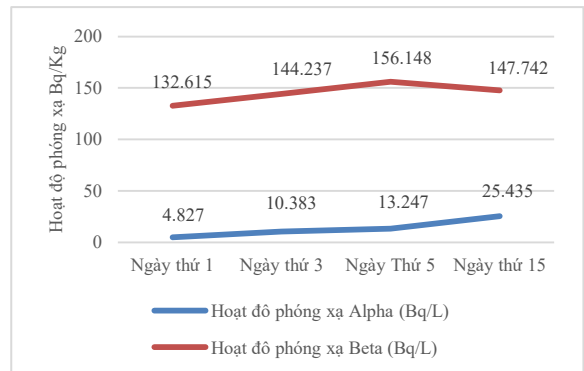
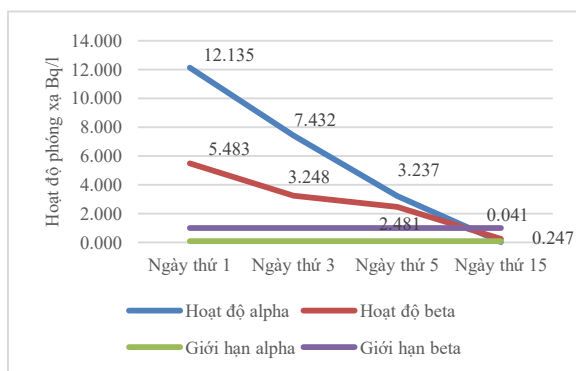
Biểu đồ 2.3 và 2.4 Nồng độ hoạt độ alpha, beta trong nước và thân sau các khoảng thời gian trồng cỏ



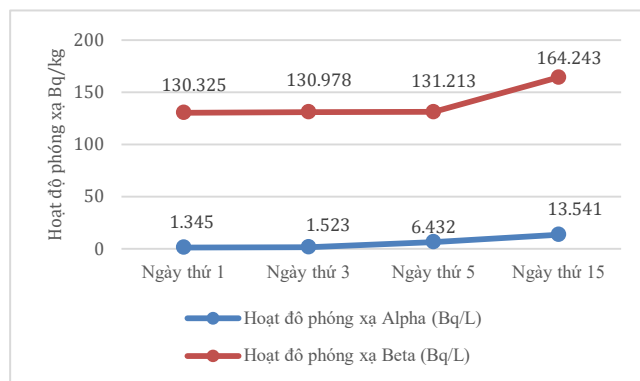
Biểu đồ 2.5 Nồng độ hoạt độ alpha, beta trong rễ cây trong các khoảng thời gian trồng cỏ

2.2.2.2 Cây Sậy.

Hiệu quả xử lý nước thải cũng như khả năng hấp thu của cây sậy qua các chỉ tiêu alpha, beta được thể hiện ở các biểu đồ 2.6, biểu đồ 2.7, và biểu đồ 2.8.



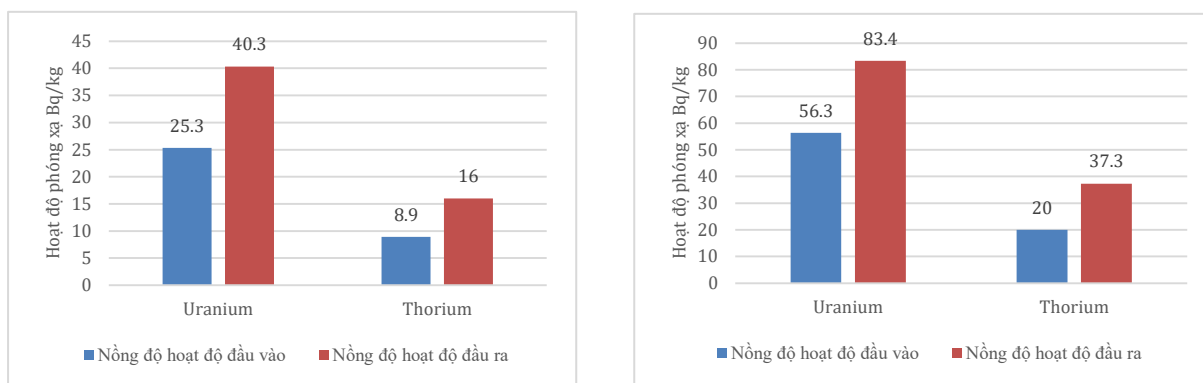
Biểu đồ 2.6 và 2.7 Nồng độ hoạt độ alpha, beta trong nước và trong thân sau các khoảng thời gian



Biểu đồ 2.8 Nồng độ hoạt độ alpha, beta trong rễ cây trong các khoảng thời gian trồng

2.2.3 Khả năng hấp thu của cây qua chỉ tiêu gamma.

Khả năng hấp thu Urani, Thori của cỏ vetiver và cây sậy được thể hiện ở biểu đồ 2.9 và biểu đồ 2.10



Biểu đồ 2.9 và 2.10: Nồng độ hoạt độ nhân U-238 và Th-232 của cỏ vetiver và sậy

2.3. Bàn luận

2.3.1 Quá trình sinh trưởng của cây

Biểu đồ thể hiện sự sinh trưởng của cây cho thấy kích thước của cây đã có xu hướng tăng lên, chứng tỏ dù trong môi trường có chứa nhân phóng xạ và có một lớp đất cát mỏng nhưng cỏ vetiver và cây sậy vẫn sống được, sinh trưởng và phát triển.

Cây đã có sự thay đổi chiều dài và phát triển thêm nhánh mới, khối lượng của cây tăng lên rõ rệt. Để loại bỏ yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hấp thu của thực vật nên mô hình không cho đất và thêm phân bón vào. Cỏ vetiver phát triển khá chậm cụ thể hai ngày đầu chỉ có sự thay đổi về khối lượng từ 2,267 g tăng lên 2,423g và chiều cao không đổi, rễ đã xuất hiện nhánh mới. Đến khi kết thúc thí nghiệm 15 ngày thì bộ rễ phát triển mạnh và cây đã có nhánh dài ra làm tăng chiều dài của cây từ 20cm lên 38cm. Sậy sau hai ngày đầu chỉ có sự thay đổi về khối lượng từ 30g tăng lên 30,3g và chiều cao không đổi, rễ đã xuất hiện nhánh mới. Đến khi kết thúc thí nghiệm 15 ngày thì bộ rễ phát triển mạnh và cây đã có nhánh dài ra làm tăng chiều dài của cây từ 27cm lên 33cm.

Các kết quả của nghiên cứu phù hợp với các kết quả nghiên cứu trong và ngoài nước. Theo Lưu Việt Hưng (2014), trong quá trình tích tụ Urani, Thori và một số nhân phóng xạ khác từ đất vào thực vật cho thấy cỏ vetiver phát triển tốt trong môi trường có phóng xạ và không có dấu hiệu bị ngộ độc hoặc không cho sinh khối [9]. Nghiên cứu trồng cây sậy hấp thụ nhân phóng xạ tại khu mỏ khai thác Uranium cũ Zirovski, Slovenia do Marko Cerne cùng cộng sự (2010) cũng cho thấy cây sậy phát triển tốt trong môi trường có nhiều nhân phóng xạ [11].

2.3.2 Khả năng hấp thu của cây qua các chỉ tiêu alpha, beta và gamma

2.3.2.1 Cỏ vetiver

Nồng độ hoạt độ phóng xạ alpha, beta của nước thải giảm rõ rệt sau 15 ngày chạy mô hình trồng cỏ vetiver, cụ thể: Hoạt độ phóng xạ alpha giảm từ 11,137 Bq/l xuống còn 0,044 Bq/l, beta giảm từ 4,771 Bq/l xuống còn 0,415 Bq/l

Nồng độ hoạt độ phóng xạ alpha hấp thu ở rễ sau khi kết thúc thí nghiệm là 37,978 Bq/Kg và ở thân là 23,437 Bq/Kg. Hoạt độ phóng xạ beta được cây hấp thu chỉ sau 2 ngày chạy mô hình, tuy nhiên chủ yếu chỉ ở phần rễ của cây hoạt độ từ 77.706 Bq/Kg tăng lên 93,432 Bq/Kg. Ở phần thân sau bốn ngày vẫn chưa có sự thay đổi nhiều, ta có thể thấy hoạt độ beta sau 4 ngày là 72,389 Bq/Kg. Khi lấy mẫu ở giai đoạn kết thúc thí nghiệm hoạt độ alpha tăng

đáng kể trong rễ, ta có thể thấy việc alpha di chuyển từ rễ lên thân xảy ra khá nhanh, chỉ sau 2-5 ngày đầu chạy thí nghiệm hoạt độ trong thân từ <4,827 đã tăng lên 16,651 sau 5 ngày chạy mô hình và 23,437 sau khi kết thúc 15 ngày.

Đối với nồng độ hoạt độ beta cho thấy sự di chuyển của beta từ rễ lên thân chậm hơn so với alpha, sau 5 ngày chạy mô hình thí nghiệm thì hoạt độ trong rễ tăng từ 77,706 Bq/kg lên 100,883 Bq/kg, tuy nhiên trong thân vẫn chưa có sự thay đổi nhiều sau 5 ngày. Có thể sau 5 ngày thì hoạt độ beta đã ít dần do nước thải không được bổ sung vào nên rễ bắt đầu quá trình chuyển hóa dinh dưỡng lên thân làm cho hoạt độ beta trên thân tăng lên rõ rệt sau khi kết thúc thí nghiệm. Hoạt độ của rễ sau khi kết thúc thí nghiệm giảm còn 86,746 Bq/kg và trong thân tăng lên 100,431 Bq/l.

Kết quả đo gamma cũng cho thấy đồng vị Urani tăng từ 25,3 Bq/kg lên 40,3 Bq/kg và Thori từ 8,9 Bq/kg lên 16,0 Bq/Kg.

Kết quả nghiên cứu phù hợp với các kết quả nghiên cứu trong và ngoài nước. Lưu Việt Hưng (2014) đã nghiên cứu quá trình tích tụ Urani, Thori và một số nhân phóng xạ khác từ đất vào thực vật cũng cho thấy Urani và Thori tích tụ chủ yếu ở phần rễ cây cao hơn ở thân và lá. Nhân Urani từ 3,77 Bq/kg đến 35,20 Bq/kg và Thori từ 2,61 Bq/kg đến 10,02 Bq/kg [9]. Nualchavee Roongtanakiat và cộng sự (2010) cũng đã nghiên cứu khả năng hấp thụ Uranium của hoa hướng dương, vetiver và purple guinea grass cho thấy nồng độ hoạt độ của nhân Urani từ 67,71 Bq/kg đến 133,46 Bq/kg sau 9 ngày thí nghiệm [10].

2.3.2.2 Cây Sậy

Nồng độ hoạt độ phóng xạ alpha, beta của nước thải giảm rõ rệt sau 15 ngày chạy mô hình trồng sậy, cụ thể, hoạt độ phóng xạ alpha giảm từ 12,135 Bq/l xuống còn 0,041 Bq/l, beta giảm từ 5,483 Bq/l xuống còn 0,247 Bq/l.

Hoạt độ phóng xạ alpha hấp thụ ở rễ sau khi kết thúc thí nghiệm là 25,435 Bq/Kg và ở thân là 13,541 Bq/Kg. Hoạt độ phóng xạ beta được cây hấp thụ chỉ sau hai ngày chạy mô hình, tuy nhiên chủ yếu chỉ ở phần rễ của cây nồng độ hoạt độ từ 132,615 Bq/Kg tăng lên 144,237 Bq/Kg. Ở phần thân sau bốn ngày vẫn chưa có sự thay đổi nhiều, kết quả đo được hoạt độ beta sau 4 ngày là 131,213 Bq/Kg. Khi lấy mẫu ở giai đoạn kết thúc thí nghiệm hoạt độ alpha tăng trong rễ, ta có thể thấy việc alpha di chuyển từ rễ lên thân xảy ra chậm hơn ở vetiver, sau 2-5 ngày đầu chạy thí nghiệm hoạt độ trong thân từ 1,345 Bq/kg tăng lên 6,432 sau 5 ngày chạy mô hình và 13,541 Bq/kg sau khi kết thúc 15 ngày.

Sau 5 ngày chạy mô hình thí nghiệm nồng độ hoạt độ beta trong rễ tăng từ 132,615 Bq/kg lên 156,148 Bq/kg, tuy nhiên trong thân vẫn chưa có sự thay đổi nhiều sau 5 ngày. Có thể sau 5 ngày rễ bắt đầu quá trình chuyển hóa dinh dưỡng lên thân làm cho hoạt độ beta trên thân tăng lên rõ rệt sau khi kết thúc thí nghiệm. Nồng độ hoạt độ của rễ sau khi kết thúc thí nghiệm giảm còn 147,742 Bq/kg và trong thân tăng lên 164,243 Bq/kg.

Kết quả đo gamma cũng cho thấy đồng vị Urani tăng từ 56,3 Bq/kg lên 83,4 Bq/kg và Thori từ 20 Bq/kg lên 37,3 Bq/Kg. Theo Ilona Matveyva và cộng sự (2015) cũng cho thấy kết quả hấp thụ Urani và Thori của cây Sậy chủ yếu ở rễ cây nhiều hơn ở thân và lá. Đồng vị ^{238}U từ 0,73 Bq/Kg lên 9,09 Bq/Kg và ^{232}Th từ 0,16 Bq/Kg lên 3,85 Bq/Kg [12].

3. KẾT LUẬN

Việc nghiên cứu và xử lý nước thải chứa nhân phóng xạ bằng sậy và cỏ vetiver bước đầu đã có kết quả khả quan. Điều này chứng tỏ việc sử dụng chúng để xử lý nước thải có chứa nhân phóng xạ là một bước đi đúng đắn, cần được quan tâm và phát triển hơn. Một số kết quả đáng chú ý như:

Vetiver sau thời gian trồng thích nghi 7 ngày và đưa vào trồng theo mô hình trong 15 ngày thì đã làm giảm hoạt độ phóng xạ alpha và beta với hiệu suất xử lý lần lượt là 99,6% và

91,3%. Sậy sau thời gian trồng thích nghi và đưa vào chạy mô hình trong 15 ngày thì cũng đã làm giảm được hoạt độ phóng xạ alpha và beta với hiệu suất cũng khá cao 99,67% và 95%.

Chất lượng nước sau xử lý đạt tiêu chuẩn thải loại A về tổng alpha và tổng beta cho nước thải công nghiệp (QCVN 40/2011-BTNMT).

Khả năng sử dụng cỏ vetiver và cây Sậy để xử lý tổng alpha, beta trong nước thải khai thác titan là khả thi và có triển vọng áp dụng hệ thống này trong điều kiện thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Lê Văn Khoa (2007), Chỉ thị sinh học môi trường, NXB Giáo dục, Hà Nội..
2. Ensley BD (2000), “Rationale for use of Phytoremediation”, in Trace Elements in Terrestrial Plants, Eds. Raskin & Ensley, John Wiley & Sons, Inc, New York, pp. 3-11.
3. IAEA (2004), Remediation of sites with dispersed radioactive contamination, Technical Reports No. 424, Vienna.
4. IAEA (2006), Classification of soil systems on the basis of transfer factors of radionuclides from soil to reference plants, Technical Reports No. 424, Vienna.
5. John J. Koranda, William L. Robison. (1978), “Accumulation of Radionuclides by Plants as a Monitor System”, Environmental Health Perspectives Vol. 27, pp. 165-179.
6. Trần Bình Trọng, Trịnh Đình Huân, Nguyễn Phương (2007), “Điều tra hiện trạng môi trường phóng xạ trên các tụ khoáng Đông Pao, Thèn Sin - Tam Đường (Lai Châu), Mường Hum (Lào Cai), Yên Phú (Yên Bái), Thanh Sơn (Phú Thọ) và An Điền, Ngọc Kinh - Sườn Giữa (Quảng Nam)”, Tạp chí Địa chất Tập 298, tr. 41-47.
7. N.Q. Huy et al. (2012), “Natural radioactivity and external dose assessment of surface soils in Vietnam”, Radiation Protection Dosimetry Vol. 151(3), pp. 522-532.
8. N.H. Quang, N.Q. Long, D.B. Lieu, T.T. Mai, N.T. Ha, D.D. Nhan, P.D. Hien (2004), 239+240 Pu, 90 Sr and 137 Cs inventories in surface soils of Vietnam, Journal of Environmental Radioactivity Vol. 75, pp. 329-337.
9. Lưu Việt Hưng (2014), “Nghiên cứu quá trình tích tụ urani, thori và một số đồng vị phóng xạ khác từ đất vào thực vật”. Luận Án TS. ĐHKHTN, ĐH QG Hà Nội, 2014
10. Nualchavee Roongtanakiat*, Pimsiri Sudsawad and Narippawat Ngernvijit, Uranium Absorption Ability of Sunflower, Vetiver and Purple Guinea Grass, Kasetsart J. (Nat. Sci.) 44 (2010), 182 – 190.
11. Marko Cerne, Borut Smodi, Marko Strok. Uptake of radionuclides by a common reed (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) grown in the vicinity of the former uranium mine at Zirovski vrh. Nuclear Engineering and Design 241 (2011) 1282–1286.
12. Ilona Matveyeva et al, Uptake of uranium, thorium and radium isotopes by plants growing in dam impoundment Tasotkel and the Lower Shu region (Kazakhstan), Article in Radiochimica Acta January (2015).