



(12) **BẢN MÔ TẢ GIẢI PHÁP HỮU ÍCH THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN
GIẢI PHÁP HỮU ÍCH**

(19) **Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ**

(11)



2-0004484

(51) **B01J 20/00; C02F 1/00**
2024.01

(13) **Y**

(21) 2-2025-00483

(22) 06/04/2023

(67) 1-2023-02289

(45) 25/11/2025 452

(43) 25/07/2023 424A

(73) **TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG HÀ NỘI (VN)**

Số 55, đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, thành phố Hà Nội

(72) **Chu Thị Thu Hiền (VN); Nguyễn Minh Việt (VN).**

(54) **VẬT LIỆU HẤP PHỤ TỪ TÍNH TỪ PHỂ THẢI CÂY NGÔ ĐỂ LOẠI BỎ CR(VI)
TRONG NƯỚC THẢI CŨNG NHƯ NƯỚC NGẦM**

(21) 2-2025-00483

(57) Giải pháp hữu ích đề cập đến quy trình điều chế vật liệu hấp phụ từ tính từ phế thải cây ngô kết hợp với Fe_3O_4 nhằm nâng cao hiệu quả loại bỏ Cr(VI) trong nước thải cũng như trong nước ngầm bao gồm các bước: thu gom thân cây ngô và sấy khô ở nhiệt độ 80°C trong thời gian 24 giờ; nung nguyên liệu thu được ở nhiệt độ 500°C trong thời gian 2 giờ trong môi trường khí argon; cho than sinh học thu được vào dung dịch hỗn hợp chứa FeCl_3 và FeCl_2 ; bổ sung dung dịch NaOH đến khi độ pH của dung dịch hỗn hợp đạt đến 10; ly tâm thu chất rắn và sấy khô ở nhiệt độ 80°C trong thời gian 12 giờ; nung chất rắn thu được trong lò nung điện ở nhiệt độ 500°C , làm nguội, rửa sạch bằng nước cất và sấy khô ở nhiệt độ 50°C trong thời gian 24 giờ để thu được vật liệu hấp phụ từ tính từ phế thải cây ngô kết hợp với Fe_3O_4 .

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Giải pháp hữu ích đề cập đến quy trình điều chế vật liệu hấp phụ từ tính từ phế thải cây ngô kết hợp với Fe_3O_4 nhằm nâng cao hiệu quả loại bỏ Cr(VI) trong nước thải cũng như trong nước ngầm bao gồm các bước: thu gom thân cây ngô và sấy khô ở nhiệt độ 80°C trong thời gian 24 giờ; nung nguyên liệu thu được ở nhiệt độ 500°C trong thời gian 2 giờ trong môi trường khí argon; cho than sinh học thu được vào dung dịch hỗn hợp chứa FeCl_3 và FeCl_2 ; bổ sung dung dịch NaOH đến khi độ pH của dung dịch hỗn hợp đạt đến 10; ly tâm thu chất rắn và sấy khô ở nhiệt độ 80°C trong thời gian 12 giờ; nung chất rắn thu được trong lò nung điện ở nhiệt độ 500°C , làm nguội, rửa sạch bằng nước cất và sấy khô ở nhiệt độ 50°C trong thời gian 24 giờ để thu được vật liệu hấp phụ từ tính từ phế thải cây ngô kết hợp với Fe_3O_4 .

Tình trạng kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Nước thải chứa kim loại chủ yếu đến từ các hoạt động công nghiệp và nó mang lại những tác động tiêu cực đến con người và môi trường. Do tính chất không phân hủy sinh học và có độc tính cao ngay cả ở mức độ thấp, nên việc tìm ra một phương pháp tiết kiệm và hiệu quả để xử lý nước ô nhiễm chỉ là vô cùng cần thiết.

Việc sử dụng phổ biến crôm (Cr) trong pin, mạ điện và in ấn dẫn đến việc giải phóng Cr, đặc biệt là Cr^{6+} vào nước (Nascimento và cộng sự, 2022; Ren và cộng sự, 2022; Sharma và cộng sự, 2022). Cr(VI) đã được liệt vào danh sách những chất ô nhiễm độc hại có thể mang đến những căn bệnh nguy hiểm cho con người như ung thư. Độc tính của Cr(VI) ổn định và tồn tại trong một thời gian vì chúng không thể tự phân hủy (S. Ren và cộng sự, 2022; Zhang và Jiao, 2022). Vì các tác động tiêu cực của Cr(VI) đối với con người và môi trường, nó cần được loại bỏ

khỏi nước thải trước khi thải ra sông hoặc biển (Sin et al., 2022; Y. Wang et al., 2022; Zhang và Jiao, 2022). Để giảm độc tính của Cr(VI), nhiều phương pháp khác nhau đã được sử dụng như khử hóa học, kết tủa hóa học và hấp phụ (Ding et al., 2021; Zhang et al., 2022). Các phương pháp nêu trên đều cố gắng làm giảm lượng Cr (VI) trong dung dịch hoặc chuyển nó thành dạng ít độc hơn như Cr(III) hoặc hydroxit Cr(OH)₃. Trong số các phương pháp này, quá trình khử và kết tủa hóa học cần bổ sung tác nhân hóa học trong khi quá trình hấp phụ có thể được thực hiện bằng cách bổ sung chất hấp phụ (Ding và cộng sự, 2021; do Nascimento và cộng sự, 2022; S. Ren và cộng sự, 2022; Sharma và cộng sự, 2022). Các nghiên cứu trước đây đã chứng minh rằng các tác nhân hóa học không chỉ tốn thêm chi phí xử lý mà còn khó thu hồi trong khi chất hấp phụ có thể dễ dàng tái chế.

Vật liệu cacbon đã được ứng dụng làm chất hấp phụ phổ biến nhất để xử lý ô nhiễm kim loại nặng như Cr(VI). Đây được coi là phương pháp đơn giản, dễ vận hành và chi phí thấp hơn so với các công nghệ khác (L. Li và cộng sự, 2022; Quyen và cộng sự, 2021; Y. Wang và cộng sự, 2022; Zhang và Jiao, 2022). Bên cạnh đó, chất hấp phụ từ tính được đề xuất là một vật liệu có thể tái chế hiệu quả đã và đang được quan tâm vì nó có thể dễ dàng lấy ra khỏi dung dịch bằng cách sử dụng nam châm từ tính bên ngoài. Chất hấp phụ từ tính có thể tạo ra bằng cách kết hợp các oxit kim loại từ tính với chất hấp phụ cacbon (An và cộng sự, 2022; anak Erison và cộng sự, 2022; Chen và cộng sự, 2022; Chin và cộng sự, 2022; Duan và cộng sự, 2022; Luo và cộng sự, 2022; Manoko và cộng sự, 2022; Y. Wang và cộng sự, 2022). Hiện nay, các chất hấp phụ than sinh học từ tính có nguồn gốc từ sinh khối hoặc vật liệu phế thải đã được phát triển và nghiên cứu rộng rãi (Duan et al., 2022; Luo et al., 2022; Manoko et al., 2022).

Những lợi thế của việc sử dụng sinh khối hoặc chất thải đã trở thành một trong những ý tưởng đầy hứa hẹn và tiềm năng để xử lý nước thải do chi phí thấp, nguồn nguyên liệu dồi dào và ít độc tính. Trong số các nguồn sinh khối, phế phẩm

từ ngành nông nghiệp được coi là ứng cử viên tiềm năng cao để sản xuất chất hấp phụ. Gạo, cà phê và ngô là những nông sản hàng đầu có sản lượng lớn nhất được sản xuất từ hoạt động nông nghiệp ở Việt Nam (Quyen và cộng sự, 2021; Yuhuan Yang và cộng sự, 2022). Cùng với các sản phẩm chính, một lượng lớn sinh khối như trấu, rơm rạ, vỏ cà phê, rơm ngô cũng được thải ra dưới dạng chất thải rắn.

Các nghiên cứu trước đây đã sử dụng than sinh học có nguồn gốc từ vỏ trấu (RHBC) để hấp thụ các chất ô nhiễm hữu cơ và kim loại nặng. Ví dụ, Pham và đồng nghiệp đã sử dụng RHBC như một chất kích hoạt persulfate để hấp phụ và phân hủy tetracycline trong nước thải (Huong et al., 2020). Oh và Seo cũng sử dụng RHBC-Fe₃O₄ làm chất hấp phụ từ tính tiềm năng để hấp phụ clophenol trong dung dịch (Oh và cộng sự, 2016; Oh và Seo., 2016). Yang và đồng nghiệp đã chứng minh rằng ZnO-RHBC có thể loại bỏ thuốc nhuộm đỏ 24 trên 82% (Yang và cộng sự, 2022). Tương tự như RHBC, than sinh học từ rơm ngô (CSBC) cũng nhận được sự quan tâm lớn về ứng dụng thân thiện với môi trường. Wang và cộng sự đã sử dụng FeCl₃-CSBC để thu giữ carbendazim (Wang và cộng sự, 2022). Li và cộng sự, đã sử dụng CSBC để hấp phụ NH₄⁺ và PO₄³⁻ trong nước thải (L. Li và cộng sự, 2022). Nascimento và đồng nghiệp cũng sử dụng CSBC biến tính hóa học để loại bỏ atrazine (Nascimento và cộng sự, 2022).

Là một sản phẩm nông nghiệp chính, ngô được trồng tại nhiều nước trên thế giới, do đó có sẵn một lượng lớn phế phẩm ngô có thể dùng để sản xuất chất hấp phụ để loại bỏ Cr(VI). Với nguồn tài nguyên sinh khối lớn, việc sử dụng phế phẩm từ cây ngô để sản xuất than sinh học từ tính sẽ mang lại tiềm năng để cung cấp chất hấp phụ chi phí thấp cho xử lý nước cũng như các ứng dụng môi trường khác.

Vì vậy, mục tiêu của công trình này là điều chế vật liệu hấp phụ từ tính có nguồn gốc than sinh học từ phế thải cây ngô kết hợp với Fe₃O₄ nhằm nâng cao hiệu quả loại bỏ Cr (VI) trong nước thải cũng như trong nước ngầm.

Bản chất kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Mục đích của giải pháp hữu ích đề xuất vật liệu hấp phụ từ tính từ phế thải cây ngô kết hợp với Fe_3O_4 nhằm nâng cao hiệu quả loại bỏ Cr(VI) trong nước thải cũng như trong nước ngầm.

Cụ thể, quy trình điều chế vật liệu hấp phụ từ tính từ phế thải cây ngô kết hợp với Fe_3O_4 nhằm nâng cao hiệu quả loại bỏ Cr(VI) trong nước thải cũng như trong nước ngầm bao gồm các bước:

(i) thu gom thân cây ngô, cắt thành các kích thước nhỏ nằm trong khoảng 200 đến 250 μm , tiếp đó rửa sạch nhiều lần bằng nước và sấy khô ở nhiệt độ 80°C trong thời gian 24 giờ;

(ii) nung nguyên liệu thu được ở bước (i) ở nhiệt độ 500°C trong thời gian 2 giờ trong môi trường khí argon thu được than sinh học từ thân cây ngô (CSBC);

(iii) cho than sinh học thu được ở bước (ii) vào dung dịch hỗn hợp chứa FeCl_3 và FeCl_2 và khuấy mạnh hỗn hợp trong thời gian 60 phút;

(iv) bổ sung dung dịch NaOH vào hỗn hợp đã khuấy thu được ở bước (iii) đến khi độ pH của dung dịch hỗn hợp đạt đến 10;

(v) ly tâm thu chất rắn ở tốc độ 1500 vòng/phút, tiếp đó sấy khô ở nhiệt độ 80°C trong thời gian 12 giờ;

(vi) nung chất rắn thu được ở bước (v) trong lò nung điện ở nhiệt độ 500°C, với tốc độ gia nhiệt là 5°C/phút trong thời gian 3 giờ, tiếp đó làm nguội đến nhiệt độ trong phòng, rửa sạch bằng nước cất và sấy khô ở nhiệt độ 50°C trong thời gian 24 giờ để thu được vật liệu hấp phụ từ tính từ phế thải cây ngô kết hợp với Fe_3O_4 (Fe@CSBC).

Theo một phương án của giải pháp hữu ích, dung dịch hỗn hợp chứa FeCl_3 và FeCl_2 được sử dụng trong bước (iii) có nồng độ FeCl_3 là 8mM và nồng độ FeCl_2 là 4mM.

Theo một phương án của giải pháp hữu ích, tỷ lệ trọng lượng của than sinh học (tính theo gram) so với thể tích dung dịch hỗn hợp chứa FeCl_3 và FeCl_2 (tính theo mililit) là 1: 5.

Theo một phương án, giải pháp hữu ích đề xuất vật liệu hấp phụ từ tính từ phế thải cây ngô kết hợp với Fe_3O_4 thu được chứa hàm lượng cacbon là 46,8%, hàm lượng oxy là 42,3%, hàm lượng hydro là 7,5% và hàm lượng sắt là 2,08%.

Theo một phương án, giải pháp hữu ích đề xuất vật liệu hấp phụ từ tính từ phế thải cây ngô kết hợp với Fe_3O_4 thu được có diện tích bề mặt S_{BET} là $508,4\text{m}^2/\text{g}$ và tổng thể tích lỗ rỗng là $0,55\text{cm}^3/\text{g}$.

Theo một phương án, giải pháp hữu ích đề xuất vật liệu hấp phụ từ tính từ phế thải cây ngô kết hợp với Fe_3O_4 có phổ nhiễu xạ tia X ở góc 2θ với các đỉnh nhiễu xạ ở khoảng 25,5, 35,5, 56,7 và $62,8^\circ$.

Mô tả văn tắt hình vẽ

Hình 1 là hình ảnh hiển vi quét điện tử (SEM) của bề mặt của vật liệu CSBC (a) và Fe@CSBC (b).

Hình 2 thể hiện khảo sát XPS của CSBC (a), Fe@CSBC (b) và phổ XPS của $\text{O}1s$ (c) và $\text{Fe } 2p$ (d) từ vật liệu Fe@CSBC .

Hình 3. Nhiễu xạ tia X của (a) CSBC, (b) Fe@CSBC và (c) Fe@CSBC sau khi tái sử dụng.

Hình 4. Tính chất từ tính của vật liệu hấp phụ Fe@CSBC .

Hình 5. Ảnh hưởng của thời gian đến quá trình hấp phụ Cr(VI) .

Hình 6. Động học hấp phụ của Cr(VI) mô hình bậc 1 (a) và mô hình bậc 2 (b).

Hình 7. Đường đẳng nhiệt hấp phụ của Cr(VI) bởi vật liệu Fe@CSBC và CSBC: đường đẳng nhiệt Langmuir (a) and đường đẳng nhiệt Freundlich (b).

Hình 8. Ảnh hưởng của lượng chất hấp phụ đến việc loại bỏ Cr(VI) .

Hình 9. Các thí nghiệm tái chế Fe@CSBC (a) và hàm lượng sắt còn lại trong Fe@CSBC sau các lần tái sử dụng vật liệu (b).

Hình 10. Ảnh hưởng của các ion nhau khác tới khả năng loại bỏ Cr(VI) bởi Fe@CSBC.

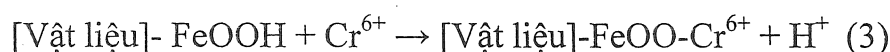
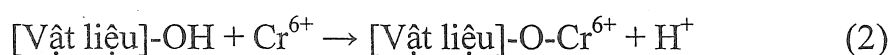
Hình 11. Thử nghiệm loại bỏ Cr(VI) trong mẫu nước ngầm và nước thải bởi Fe@CSBC.

Mô tả chi tiết giải pháp hữu ích

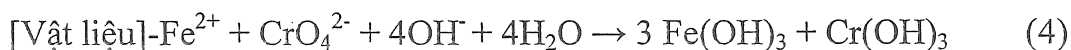
Sau đây, giải pháp hữu ích được mô tả chi tiết với các phương án thực hiện cụ thể, tuy nhiên các phương án này chỉ nhằm mục đích minh họa bản chất của giải pháp hữu ích chứ không nhằm mục đích giới hạn phạm vi yêu cầu bảo hộ của giải pháp hữu ích.

Crôm đã được sử dụng trong nhiều quy trình công nghiệp như pin, in ấn, mạ điện và dệt may. Tuy nhiên, việc thải crôm ra môi trường, cụ thể là Cr(VI) với độc tính cao có thể mang lại những tác động tiêu cực như ung thư ở người. Do đó, việc tìm ra phương pháp hiệu quả có thể sử dụng để loại bỏ Cr(VI) hoặc chuyển hóa nó thành dạng ít độc hơn là cần thiết để kiểm soát độc tính và tác hại của kim loại này đối với con người.

Cơ chế hấp phụ của crôm bằng chất hấp phụ từ tính Fe@CSBC có thể xảy ra theo nhiều cách khác nhau như hấp phụ theo diện tích bề mặt, lỗ xốp, lực hút tĩnh điện. Các nhà nghiên cứu trước đây đã chứng minh rằng Cr(VI) cũng có thể phản ứng với chất hấp phụ từ tính thông qua phản ứng trao đổi ion, tạo phức và oxi hóa khử. Ví dụ, sự trao đổi ion có thể xảy ra như các phản ứng: (1), (2), và (3)



Tạo phức bề mặt (chủ yếu do nhóm -COOH , C=O và -OH) và ion Cr^{6+} , trong khi phản ứng oxi hóa khử của Cr(VI) với nhóm khử (-OH) và Fe^{2+} xảy ra theo phản ứng (4):



So với CSBC, chất hấp phụ từ tính Fe@CSBC có diện tích bề mặt lớn hơn và các nhóm chức như Fe-O , FeOOH , C=O , COOH và -OH , dẫn đến hiệu suất hấp phụ của crôm được cải thiện.

Giải pháp hữu ích đề xuất quy trình điều chế vật liệu hấp phụ từ tính từ phế thải cây ngô kết hợp với Fe_3O_4 nhằm nâng cao hiệu quả loại bỏ Cr(VI) trong nước thải cũng như trong nước ngầm bao gồm các bước:

(i) thu gom thân cây ngô, cắt thành các kích thước nhỏ nằm trong khoảng 200 đến 250 μm , tiếp đó rửa sạch nhiều lần bằng nước và sấy khô ở nhiệt độ 80°C trong thời gian 24 giờ;

(ii) nung nguyên liệu thu được ở bước (i) ở nhiệt độ 500°C trong thời gian 2 giờ trong môi trường khí argon thu được than sinh học từ thân cây ngô;

(iii) cho than sinh học thu được ở bước (ii) vào dung dịch hỗn hợp chứa FeCl_3 và FeCl_2 và khuấy mạnh hỗn hợp trong thời gian 60 phút;

(iv) bổ sung dung dịch NaOH vào hỗn hợp đã khuấy thu được ở bước (iii) đến khi độ pH của dung dịch hỗn hợp đạt đến 10;

(v) ly tâm thu chất rắn ở tốc độ 1500 vòng/phút, tiếp đó sấy khô ở nhiệt độ 80°C trong thời gian 12 giờ;

(vi) nung chất rắn thu được ở bước (v) trong lò nung điện ở nhiệt độ 500°C, với tốc độ gia nhiệt là 5°C/phút trong thời gian 3 giờ, tiếp đó làm nguội đến nhiệt độ trong phòng, rửa sạch bằng nước cất và sấy khô ở nhiệt độ 50°C trong thời gian 24 giờ để thu được vật liệu hấp phụ từ tính từ phế thải cây ngô kết hợp với Fe_3O_4 .

Theo một phương án của giải pháp hữu ích, dung dịch hỗn hợp chứa FeCl_3 và FeCl_2 được sử dụng trong bước (iii) có nồng độ FeCl_3 là 8mM và nồng độ FeCl_2 là 4mM.

Theo một phương án của giải pháp hữu ích, tỷ lệ trọng lượng của than sinh học (tính theo gram) so với thể tích dung dịch hỗn hợp chứa FeCl_3 và FeCl_2 (tính theo mililit) là 1: 5.

CSBC và Fe@CSBC có bề mặt gồ ghề và hình dạng không đều, tuy nhiên, Fe@CSBC hiển thị cải thiện đáng kể lỗ rỗng và chứa các hạt nhỏ, xác nhận rằng các oxit sắt đã được nạp thành công trên CSBC sau các quá trình sửa đổi.

Thành phần nguyên tố và diện tích bề mặt riêng của CSBC và Fe@CSBC được khảo sát. CSBC chứa các nguyên tố cơ bản như cacbon (53,3%), oxy (36,4%) và hydro (5,5%). Trong khi đó, Fe@CSBC chứa các nguyên tố tương tự là cacbon, oxy, hydro và đặc biệt là sắt. Việc có mặt của thành phần sắt chứng minh rằng sắt đã được nạp vào CSBC, đồng thời hàm lượng oxy được tăng lên sau quá trình sửa đổi cũng chứng minh cho việc hình thành vật liệu hấp phụ theo giải pháp hữu ích. Ngoài ra, diện tích bề mặt riêng cũng xác nhận sự hình thành Fe-O sau khi biến tính CSBC.

Theo một phương án, giải pháp hữu ích đề xuất vật liệu hấp phụ từ tính từ phế thải cây ngô kết hợp với Fe_3O_4 thu được chứa hàm lượng cacbon là 46,8%, hàm lượng oxy là 42,3%, hàm lượng hydro là 7,5% và hàm lượng sắt là 2,08%.

Các tác giả giải pháp hữu ích cũng tiến hành các khảo sát XPS của các vật liệu CSBC và Fe@CSBC để xác nhận lại sự hiện diện của C và O trong vật liệu hấp phụ. Phổ của Fe 2p đã xuất hiện trong CSBC được sửa đổi, cho thấy việc nạp oxit sắt vào CSBC thành công sau khi biến tính với Fe_3O_4 . Độ phân giải cao của phổ O 1s và Fe 2p cũng được nghiên cứu tương ứng để xác định đỉnh có nguồn gốc từ Fe-O, C=O hoặc C-O-C, C-O, OH và Fe-O-Fe tương ứng.

Đỉnh của Fe_3O_4 và FeOOH cũng cần được xem xét để chứng minh rằng oxit sắt được nạp vào CSBC sau quá trình biến tính và vật liệu có chứa các nhóm chức chứa sắt như Fe-O và FeOOH , việc này có thể hỗ trợ để cải thiện hiệu suất hấp thụ Cr(VI) từ dung dịch nước.

Theo một phương án, giải pháp hữu ích đề xuất vật liệu hấp phụ từ tính từ phế thải cây ngô kết hợp với Fe_3O_4 thu được có diện tích bề mặt S_{BET} là $508,4\text{m}^2/\text{g}$ và tổng thể tích lỗ rỗng là $0,55\text{cm}^3/\text{g}$.

Cấu trúc pha của CSBC và Fe@CSBC được xác định dựa vào phân tích nhiễu xạ tia X. Cả hai chất hấp phụ đều có đỉnh nhiễu xạ chung tương ứng với mặt (002) của vật liệu cacbon. Tuy nhiên, cường độ của peak này có thể bị giảm và dịch chuyển lên mức cao hơn khi quan sát trong mẫu Fe@CSBC . Ngoài ra, Fe@CSBC phải có các đỉnh mới tương ứng cho (311), (511) và (440) là mặt phẳng tinh thể của Fe_3O_4 .

Ngoài ra, XRD của Fe@CSBC sau khi tái sử dụng cũng được xác định để chứng minh tính ổn định của vật liệu hấp phụ. Cấu trúc pha của Fe @ CSBC sau quá trình tái sử dụng tương tự như chất hấp phụ ban đầu chứng minh khả năng tái sử dụng của vật liệu.

Theo một phương án, giải pháp hữu ích đề xuất vật liệu hấp phụ từ tính từ phế thải cây ngô kết hợp với Fe_3O_4 có phổ nhiễu xạ tia X ở góc 2θ với các đỉnh nhiễu xạ ở khoảng $25,5$, $35,5$, $56,7$ và $62,8^\circ$.

Khả năng hấp phụ q_e (mg/g) và hiệu suất loại bỏ (% R) được tính toán theo các phương trình. 1 và 2, tương ứng:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} \quad (1)$$

$$\% R = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

trong đó, C_0 và C_e (mg/L) lần lượt là nồng độ ban đầu và nồng độ cân bằng. V (L) là thể tích chất bị hấp phụ và m (g) là lượng chất hấp phụ sử dụng cho thí nghiệm.

Tái sử dụng vật liệu*

Để xác định khả năng tái sử dụng của than sinh học từ tính, quá trình tái sinh Fe@CSBC được thực hiện bằng cách sử dụng dung dịch EDTA 0,05M làm tác nhân giải hấp phụ Cr(VI). Sau thử nghiệm giải hấp, Fe@CSBC được rửa bằng nước DI, sấy khô trong 24 giờ và tái sử dụng cho chu kỳ tiếp theo.

Ảnh hưởng của các ion khác

Ảnh hưởng của các cation như Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- và NO_3^- đến hiệu suất hấp phụ của Cr(VI) đã được kiểm tra bằng cách thêm dung dịch Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- và NO_3^- vào dung dịch Cr (VI) ($C_0 = 50$ mg/L) trong cùng điều kiện thí nghiệm dùng để loại bỏ Cr(VI) mà không có các cation/anion cùng tồn tại.

Thời gian phản ứng và động học hấp phụ

Hiệu suất loại bỏ Cr(VI) của vật liệu hấp phụ theo giải pháp hữu ích tăng nhanh khi thời gian phản ứng tăng từ 30 phút lên 90 phút, sau đó gần như hoàn thành trong 120 phút. Ở thời gian phản ứng 120 phút, chất hấp phụ CSBC có thể loại bỏ 71,6% Cr(VI), trong khi Fe@CSBC có khả năng loại bỏ tới 92,1% Cr(VI) khỏi dung dịch.

Điều này có thể giải thích rằng ban đầu, diện tích bề mặt lớn hơn, các vị trí hấp phụ và lỗ rỗng có sẵn để hấp phụ Cr (VI), do đó hiệu quả loại bỏ tăng nhanh. Sau đó, Cr(VI) gần như bao phủ hoàn toàn các vị trí hấp phụ, bề mặt và lỗ rỗng của chất hấp phụ, do đó không còn vị trí trống để hấp phụ hoặc thu giữ thêm các ion kim loại, dẫn đến không có sự hấp phụ nào nữa xảy ra.

Ví dụ thực hiện giải pháp hữu ích

Ví dụ 1. Quy trình chế tạo vật liệu hấp phụ

Để chế tạo vật liệu hấp phụ từ phế thải cây ngô, sinh khối thân ngô (CS) được thu gom từ ruộng ngô tại Thái Bình, Việt Nam. CS được cắt thành các kích thước nhỏ nằm trong khoảng từ 200 đến 250 μm , sau đó rửa sạch nhiều lần bằng nước và sấy khô ở 80°C trong 24 giờ.

1kg CS được đưa vào lò nung ở nhiệt độ 500°C trong 2 giờ dưới điều kiện khí Ar. Than sinh học thu được sau quá trình nhiệt phân được thu thập và đặt tên là CSBC.

Cho 200g CSBC được thêm vào 1L dung dịch nước FeCl_3 với nồng độ 8 mmol/L và FeCl_2 với nồng độ 4 mmol/L. Hỗn hợp trên được khuấy mạnh trong 60 phút, tiếp đó dung dịch chứa 3 mol/L NaOH được thêm vào dung dịch trên để tăng độ pH lên 10.

Chất rắn kết tủa được tách ra bằng cách ly tâm ở 1500 vòng/phút, sau đó sấy khô ở 80 °C trong 12h trước khi nung. Vật liệu được nung bằng cách sử dụng lò nung điện ở 500 °C, tốc độ gia nhiệt là 5 °C/phút trong 3 giờ. Sau đó làm nguội đến nhiệt độ phòng, rửa sạch bằng nước cất và sấy khô ở 50°C trong 24h để thu được vật liệu hấp phụ theo giải pháp hữu ích (Fe@CSBC).

Khảo sát tính chất cơ bản của vật liệu

Ảnh hiển vi điện tử quét (SEM)

Hình thái bề mặt của vật liệu được xác định thông qua phương pháp đo SEM. CSBC và Fe@CSBC có bề mặt gồ ghề và hình dạng không đều được thể hiện trong Hình 1(a) và 1(b). Fe@CSBC hiển thị cải thiện đáng kể lỗ rỗng và chứa các hạt nhỏ, xác nhận rằng các oxit sắt đã được nạp thành công trên CSBC sau các quá trình sửa đổi.

Thành phần nguyên tố và diện tích bề mặt của vật liệu

Thành phần nguyên tố và diện tích bề mặt riêng của CSBC và Fe@CSBC được liệt kê trong Bảng 1. Các nguyên tố như cacbon (53,3%), oxy (36,4%) và

hydro (5,5%) là các thành phần cơ bản của CSBC. Fe@CSBC chứa các nguyên tố tương tự với hàm lượng cacbon cao nhất là 46,8%, tiếp theo là oxy 42,3%, hydro 7,5% và sắt 2,08%. Kết quả chứng minh rõ ràng rằng sắt đã được nạp vào CSBC và hàm lượng oxy được tăng cường sau quá trình biến đổi. Diện tích bề mặt riêng của Fe@CSBC được cải thiện lên tới 508,4m²/g, trong khi tổng thể tích lỗ rỗng tăng lên 0,55cm³/g.

Bảng 1. Thành phần nguyên tố và diện tích bề mặt của vật liệu

Vật liệu	Cacbon	Oxy	Hydro	Sắt	Khác	S _{BET} (m ² /g)	T _{total} (cm ³ /g)
CSBC	53,3	36,4	5,5	0	4,8	397,5	0,47
Fe@CSBC	46,8	42,3	7,5	2,08	1,32	508,4	0,55

Thành phần hóa học và trạng thái nguyên tố (XPS)

Hình 2 thể hiện khảo sát XPS của CSBC và Fe@CSBC, xác nhận lại sự hiện diện của C và O trong vật liệu hấp phụ. Phổ của Fe 2p đã xuất hiện trong CSBC được sửa đổi, cho thấy việc nạp oxit sắt vào CSBC thành công sau khi biến tính với Fe₃O₄. Độ phân giải cao của phổ O1 s và Fe 2p cũng được nghiên cứu trong Hình 2c và Hình 2d tương ứng. Năm đỉnh cực đại xuất hiện ở mức năng lượng 530,4, 533, 534,6, 537,2 và 536,1 eV trong phổ O1 và được cho là có nguồn gốc từ Fe-O, C=O hoặc C-O-C, C-O, OH và Fe-O-Fe tương ứng.

Ngoài ra, phổ Fe 2p có hai cực đại ở 712 eV và 730 eV, tương ứng với Fe 2p_{3/2} và Fe 2p_{1/2}.

Bên cạnh đó, đỉnh của Fe₃O₄ và FeOOH cũng được hiển thị ở năng lượng liên kết lần lượt là 717 và 728 eV. Kết quả chứng minh rằng oxit sắt được nạp vào CSBC sau quá trình biến tính và vật liệu có chứa 12hem các nhóm chức chứa sắt

như Fe-O và FeOOH, việc này có thể hỗ trợ để cải thiện hiệu suất hấp thụ Cr(VI) từ dung dịch nước.

Nhiều xạ tia X

Cấu trúc pha của CSBC và Fe@CSBC được xác định dựa vào phân tích nhiễu xạ tia X trong Hình 3a và 3b tương ứng. Cả hai chất hấp phụ đều có đỉnh nhiễu xạ khoảng $25,5^\circ$, tương ứng với mặt (002) của vật liệu cacbon. Tuy nhiên, cường độ của peak này bị giảm và dịch chuyển lên mức cao hơn có thể được quan sát thấy trong mẫu Fe@CSBC. Ngoài ra, Fe@CSBC có các đỉnh mới ở $35,5$, $56,7$ và $62,8^\circ$ lần lượt được gán cho (311), (511) và (440) là mặt phẳng tinh thể của Fe_3O_4 . Kết quả cho thấy sự xuất hiện của oxit sắt trên CSBC biến tính, có thể hỗ trợ nâng cao hiệu suất loại bỏ crôm trong dung dịch.

Ngoài ra, XRD của Fe@CSBC sau khi tái sử dụng cũng được xác định để chứng minh tính ổn định của vật liệu hấp phụ. Cấu trúc pha của Fe @ CSBC sau quá trình tái sử dụng tương tự như chất hấp phụ ban đầu, đã chứng minh khả năng tái sử dụng của vật liệu (Hình 3c).

Tính chất từ của Fe@CSBC

Tính chất từ tính của Fe@CSBC được xác định thông qua từ kế và kết quả hiển thị trong Hình 4. Hình dạng đường cong từ từ kế đã xác nhận tính chất từ tính của vật liệu hấp phụ Fe@CSBC với giá trị từ hóa là $35,6 \text{ emu/g}$. Do đặc tính từ tính, chất hấp phụ có thể tách ra khỏi dung dịch một cách đơn giản bằng nam châm mà không cần thêm bất kỳ hóa chất hay nguồn cung cấp năng lượng nào.

Ví dụ 2. Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng tới khả năng hấp phụ Cr(VI) trong nước

Thí nghiệm hấp phụ được thực hiện bằng cách cho 0,05g chất hấp phụ vào 100 mL dung dịch Cr(VI) có nồng độ ban đầu ($C_0 = 50\text{-}300 \text{ mg/L}$), thời gian phản ứng ($t = 0\text{-}180 \text{ phút}$), pH dung dịch là 6,0 (độ pH được điều chỉnh bằng cách sử dụng NaOH 0,01M và HCl 0,01M). Sau mỗi phép thử, 3mL dung dịch được lấy ra,

lọc bằng màng 0,45 μ m và được phân tích bằng máy đo quang phổ UV-vis (UV-1226, bước sóng 540 nm).

Tái sử dụng vật liệu

Để xác định khả năng tái sử dụng của than sinh học từ tính, quá trình tái sinh Fe@CSBC được thực hiện bằng cách sử dụng 50mL dung dịch EDTA 0,05M làm tác nhân giải hấp phụ Cr(VI). Sau thử nghiệm giải hấp, Fe@CSBC được rửa bằng nước DI, sấy khô trong 24 giờ và tái sử dụng cho chu kỳ tiếp theo.

Ảnh hưởng của các ion khác

Ảnh hưởng của các cation như Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- và NO_3^- đến hiệu suất hấp phụ của Cr(VI) đã được kiểm tra bằng cách thêm 2mL dung dịch Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- và NO_3^- ($C_0 = 5\text{mg/L}$) vào 100mL Cr (VI) dung dịch ($C_0 = 50\text{mg/L}$) trong cùng điều kiện thí nghiệm dùng để loại bỏ Cr(VI) mà không có các cation/anion cùng tồn tại.

Thời gian phản ứng và động học hấp phụ

Hình 5 cho thấy khả năng hấp phụ của CSBC và Fe@CSBC đối với Cr(VI) trong dung dịch như là một hàm của thời gian phản ứng. Hiệu suất loại bỏ Cr(VI) tăng nhanh khi thời gian phản ứng tăng từ 30 phút lên 90 phút, sau đó gần như hoàn thành trong 120 phút. Ở thời gian phản ứng 120 phút, chất hấp phụ CSBC có thể loại bỏ 71,6% Cr(VI), trong khi Fe@CSBC có khả năng loại bỏ tới 92,1% Cr(VI) khỏi dung dịch.

Điều này có thể giải thích rằng ban đầu, diện tích bề mặt lớn hơn, các vị trí hấp phụ và lỗ rỗng có sẵn để hấp phụ Cr (VI), do đó hiệu quả loại bỏ tăng nhanh. Sau đó, Cr(VI) gần như bao phủ hoàn toàn các vị trí hấp phụ, bề mặt và lỗ rỗng của chất hấp phụ, do đó không còn vị trí trống để hấp phụ hoặc thu giữ thêm các ion kim loại, dẫn đến không có sự hấp phụ nào nữa xảy ra. Vì vậy, thời gian phản ứng 120 phút là phù hợp để loại bỏ Cr(VI), được chọn cho các thí nghiệm tiếp theo.

Đặc tính động học hấp phụ của Cr(VI) bởi CSBC và Fe@CSBC được thể

hiện trong Hình 6 và các tham số động học tóm tắt được liệt kê trong Bảng 2.

Hằng số (R^2) của Cr(VI) từ mô hình bậc nhất là khá thấp 0,79 đối với CSBC và 0,65 đối với Fe@CSBC. Ngoài ra, các giá trị q_e được tính toán từ động học bậc một khác xa so với giá trị thực nghiệm thu được, điều này khẳng định sự hấp phụ của Cr (VI) là không phù hợp với mô hình động học bậc nhất.

Mô hình động học bậc hai cung cấp độ phù hợp tốt ($R^2 = 0,96 - 0,98$) cho cả CSBC và Fe@CSBC và các giá trị q_e tính toán được từ mô hình thứ hai tương tự như kết quả thu được từ thực nghiệm, chứng tỏ sự hấp phụ của Cr(VI) tuân theo mô hình động học bậc 2.

Bảng 2. Thông số động học hấp phụ của Cr (VI) bởi vật liệu CSBC và Fe@CSBC

	lần thứ nhất				lần thứ hai		
Vật liệu	q_e (exp) (mg/g)	q_e (cal) (mg/g)	K_1 (min ⁻¹)	R^2	q_e (cal) (mg/g)	K_2 (g/mg.min)	R^2
CSBC	83,4	26,3	0,013	0,79	71,3	0,00015	0,98
Fe@CSBC	91,6	38,1	0,023	0,65	90,1	0,00091	0,96

Ảnh hưởng của nồng độ ban đầu và các đường đẳng nhiệt hấp phụ

Hiệu suất loại bỏ Cr cao được quan sát thấy khi nồng độ Cr thấp (< 200mg/L) và hiệu suất loại bỏ giảm đáng kể ở nồng độ Cr cao 300mg/L. Than sinh học từ tính Fe@CSBC có thể loại bỏ 95,7 % Cr(VI) ở $C_0 = 50\text{mg/L}$, tiếp theo là 91,3 ($C_0 = 100\text{mg/L}$), 73,1 ($C_0 = 200\text{mg/L}$) và 46,5% ($C_0 = 300\text{mg/L}$).

Kết quả tương tự cũng được tìm thấy đối với CSBC với hiệu suất loại bỏ Cr(VI) là 63,1% (50mg/L), 58,8% (100mg/L), 34,6 % (200mg/L) và 17,8% (300mg/L).

Ở nồng độ thấp và trung bình, diện tích bề mặt của chất hấp phụ cũng như tác nhân hấp phụ có sẵn để hấp thụ Cr(VI). Sau đó, khi lượng chất ô nhiễm tăng lên trên 200 mg/L, hiệu suất loại bỏ bị giảm do điện tích bề mặt và các vị trí hấp phụ đã suy giảm do sự chiếm chỗ của các ion Cr(VI). Than sinh học từ tính Fe@CSBC có tỷ lệ loại bỏ Cr(VI) lớn hơn CSBC do chứa nhóm chức Fe và từ trường hỗ trợ mang lại nhiều tương tác hơn với Cr(VI). Ngoài ra, cả hai chất hấp phụ đều cho hiệu suất tương đối thấp ở nồng độ Cr(VI) ban đầu cao, chứng tỏ vật liệu phù hợp để ứng dụng trong nước thải chứa hàm lượng Cr(VI) thấp và trung bình.

Bảng 3 hiển thị các tham số hấp phụ được tính từ các mô hình đẳng nhiệt hấp phụ. Hệ số tương quan (R^2) từ mô hình đường đẳng nhiệt Langmuir được tìm thấy ở mức cao 0,96 và 0,98 từ Fe@CSBC và CSBC, tương ứng. Tuy nhiên, đường đẳng nhiệt Freundlich mang lại giá trị R^2 thấp cho cả CSBC và CSBC biến tính. Bằng cách so sánh R^2 theo mô hình Langmuir và Freundlich, có thể kết luận rằng ion Cr(VI) phù hợp với mô hình hấp phụ đơn lớp. Khả năng hấp phụ Cr(VI) cao nhất theo đường đẳng nhiệt Langmuir được tìm thấy là 138,8 mg/g bởi Fe@CSBC và 90,6mg/g bởi CSBC. Fe@CSBC cho thấy khả năng hấp phụ Cr(VI) được tăng cường đáng kể cao hơn tới 35% so với CSBC. Hiện tượng này là do các nhóm chức Fe-O có trong chất hấp phụ mang lại khả năng tương tác mạnh với crôm. Với khả năng hấp phụ Cr(VI) cao, cho thấy tiềm năng ứng dụng của Fe@CSBC để loại bỏ crôm trong nước. Ngoài ra, do tính chất từ tính nên Fe@CSBC có thể dễ dàng tách ra khỏi dung dịch, và dễ dàng tái sử dụng lại cho các lần xử lý tiếp theo.

Bảng 3. Thông số hấp phụ của Cr (VI) dựa trên đường đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir và Freundlich

Vật liệu	Langmuir model			Freundlich model		
	$q_{\max}$ (mg/g)	K_L (L/g)	R^2	1/n	K_F (mg/g)	R^2

CSBC	90,6	0,18	0,98	0,21	6,1	0,81
Fe@CSBC	138,8	0,21	0,96	0,35	9,3	0,78

Ảnh hưởng của liều lượng chất hấp phụ đến khả năng loại bỏ Cr(VI)

Hình 8 hiển thị ảnh hưởng của lượng chất hấp phụ đến hiệu suất loại bỏ Cr(VI) bằng CSBC và Fe@CSBC trong điều kiện pH 6,0, nồng độ Cr(VI) 50 mg/L và thời gian tiếp xúc 180 phút. Hầu hết các ion crôm đã được loại bỏ khỏi dung dịch bằng cách sử dụng một lượng chất hấp phụ = 0,1g và tỷ lệ phần trăm loại bỏ Cr(VI) rất nhỏ đã được quan sát thấy với liều lượng chất hấp phụ tăng thêm lên đến 0,5g. Ví dụ, Fe@CSBC có thể hấp thụ 92,3% Cr(VI) ở 0,05g và tăng nhẹ lên 94,5 và 95,1 % ở liều 0,1 và 0,5g. tương ứng. Một xu hướng tương tự cũng được quan sát thấy đối với CSBC với 67, 71,2 và 71,6% Cr(VI) được loại bỏ cùng với liều lượng chất hấp phụ tương ứng là 0,05, 0,1 và 0,5g. Ban đầu, hiệu suất loại bỏ Cr(VI) tăng lên khi lượng chất hấp phụ tăng lên là do có nhiều vị trí hấp phụ và các nhóm chức tồn tại trong CSBC và Fe@CSBC. Sau đó, các ion Cr(VI) còn lại trong dung dịch ít hơn và số lượng chất hấp phụ trong dung dịch nhiều hơn có thể vón cục cũng như làm giảm khả năng tương tác của Cr(VI) với nhóm chức của chất hấp phụ, do đó không làm tăng đáng kể hiệu suất hấp phụ của Cr(VI).

Tái sử dụng chất hấp phụ

Việc khảo sát khả năng tái sử dụng Fe@CSBC sau quá trình hấp phụ Cr(VI) là cần thiết để mở rộng tiềm năng ứng dụng vật liệu hấp phụ trong việc xử lý nước. Như được hiển thị trong Hình 9a, hiệu quả của Cr(VI) được duy trì bằng cách tái sử dụng Fe@CSBC được tìm thấy là 97,6, 96,8, 95,7, 84,5, 78,6, 70,1, 58,3 và 42,3% sau lần thứ nhất, thứ hai, thứ ba, thứ tư, thứ năm, thứ sáu, thứ bảy và thứ tám tương ứng. Fe@CSBC được sử dụng lại không cho thấy sự thay đổi đáng kể về hiệu suất hấp phụ của Cr(VI) từ đầu đến lần thử nghiệm thứ tư, sau đó giảm nhẹ trong chu kỳ thứ năm, thứ sáu và giảm nhanh trong các chu kỳ còn lại (thứ 7 và thứ 8). Hiệu suất

loại bỏ Cr(VI) giảm sau 4 lần tái sử dụng vật liệu hấp phụ là do Fe@CSBC bị thất thoát và hàm lượng Fe giải phóng trong quá trình giải hấp phụ. Như được trình bày trong Hình 9b, hàm lượng sắt còn lại trong chất hấp phụ đã giảm khoảng 20% ở chu kỳ thứ 8, điều này cho thấy vai trò quan trọng của oxit sắt trong chất hấp phụ Fe@CSBC để thu giữ Cr(VI).

Ảnh hưởng của các ions khác trong dung dịch

Các cation như Ca^{2+} , Na^+ hoặc các anion bao gồm Cl^- và NO_3^- thường được phát hiện trong nước, do đó ảnh hưởng của các ion cùng tồn tại trong dung dịch Cr(VI) đã được xác định. Kết quả từ Hình 10 xác nhận rằng các cation hoặc anion cùng tồn tại không mang lại tác động tiêu cực đến hiệu quả loại bỏ crôm bằng cách sử dụng Fe@CSBC. Hiệu suất hấp phụ Cr(VI) chỉ giảm dưới 2% khi có mặt các ion đồng tồn tại, chứng tỏ Fe@CSBC có tính chọn lọc tốt để hấp phụ crôm trong dung dịch.

Ví dụ 3. Thử nghiệm với mẫu nước ngầm và nước thải

Hình 11 thể hiện khả năng hấp phụ crôm trong các mẫu nước ngầm và nước thải bằng cách sử dụng Fe@SCBC.

Hàm lượng chất ô nhiễm chứa trong nước ngầm là 32,8mg/L trong khi ở mẫu nước thải lên tới 167,3mg/L. Với hàm lượng crôm thấp trong nước ngầm, hiệu suất loại bỏ cao được quan sát thấy ở mức 90,3% bằng chất hấp phụ từ tính Fe@CSBC. Chất hấp phụ từ tính Fe@CSBC cũng cho thấy hiệu quả hấp phụ Cr(VI) tốt với hiệu suất loại bỏ 76,2% trong mẫu nước thải. Kết quả tiếp tục khẳng định khả năng thu giữ Cr(VI) của Fe@CSBC không chỉ trong dung dịch mà còn có thể mở rộng trong ứng dụng thực tế để xử lý nước ngầm và nước thải.

Hiệu quả đạt được của giải pháp hữu ích

Vật liệu hấp phụ Fe@SCBC chế tạo được theo giải pháp hữu ích này thể hiện khả năng hấp phụ Cr(VI) cao và hiệu suất loại bỏ Cr(VI) lớn trong nước ngầm

và nước thải. Bên cạnh đó, Fe@CSBC có đặc tính từ tính mạnh thuận lợi cho việc phân tách và dễ dàng tái sử dụng. Với khả năng tái sử dụng cao mà không làm giảm đáng kể hiệu suất loại bỏ Cr(VI) sau 4 chu kỳ, cho thấy vật liệu này có thể được áp dụng để xử lý nước thải có chứa Cr(VI).

Ngoài ra, quy trình sản xuất Fe@CSBC từ phế phẩm cây ngô rất đơn giản với chi phí thấp. Vì vậy, việc điều chế vật liệu hấp phụ từ phế phẩm cây ngô có thể mang lại giá trị kinh tế cũng như ý nghĩa xã hội, đặc biệt phù hợp với các nước đang phát triển như Việt Nam, tiết kiệm kinh phí cho việc làm sạch môi trường.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Vật liệu hấp phụ từ tính từ phế thải cây ngô kết hợp với Fe_3O_4 chứa hàm lượng cacbon là 46,8%, hàm lượng oxy là 42,3%, hàm lượng hydro là 7,5% và hàm lượng sắt là 2,08%, có diện tích bề mặt S_{BET} là 508,4 m^2/g và tổng thể tích lỗ rỗng là 0,55 cm^3/g , nhằm nâng cao hiệu quả loại bỏ Cr (VI) trong nước thải cũng như trong nước ngầm, trong đó vật liệu này được sản xuất bằng quy trình bao gồm các bước:

(i) thu gom thân cây ngô, cắt thành các kích thước nhỏ nằm trong khoảng 200 đến 250 μm , tiếp đó rửa sạch nhiều lần bằng nước và sấy khô ở nhiệt độ 80°C trong thời gian 24 giờ;

(ii) nung nguyên liệu thu được ở bước (i) ở nhiệt độ 500°C trong thời gian 2 giờ trong môi trường khí argon thu được than sinh học từ thân cây ngô;

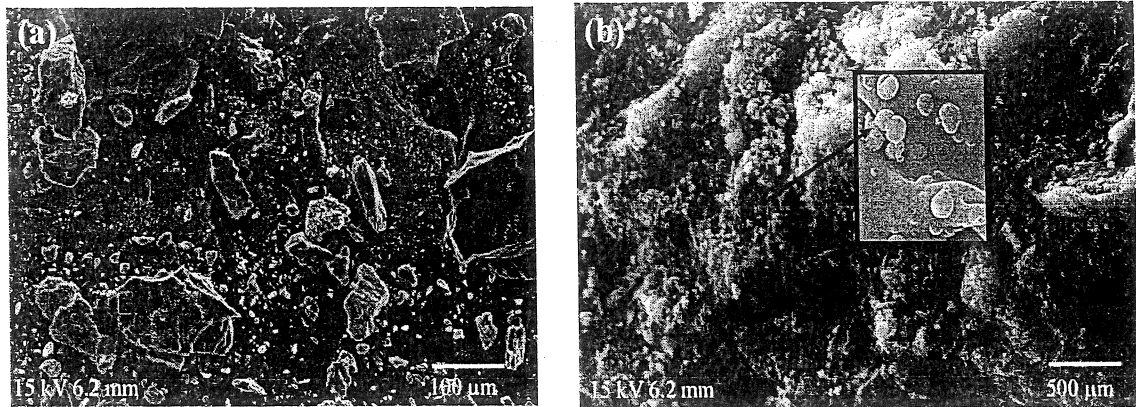
(iii) cho than sinh học thu được ở bước (ii) vào dung dịch hỗn hợp chứa FeCl_3 có nồng độ 8mM và FeCl_2 có nồng độ 4mM, trong đó tỷ lệ trọng lượng của than sinh học từ thân cây ngô (tính theo gram) so với thể tích dung dịch hỗn hợp chứa FeCl_3 và FeCl_2 (tính theo mililit) là 1: 5, và khuấy mạnh hỗn hợp trong thời gian 60 phút;

(iv) bổ sung dung dịch NaOH vào hỗn hợp đã khuấy thu được ở bước (iii) đến khi độ pH của dung dịch hỗn hợp đạt đến 10;

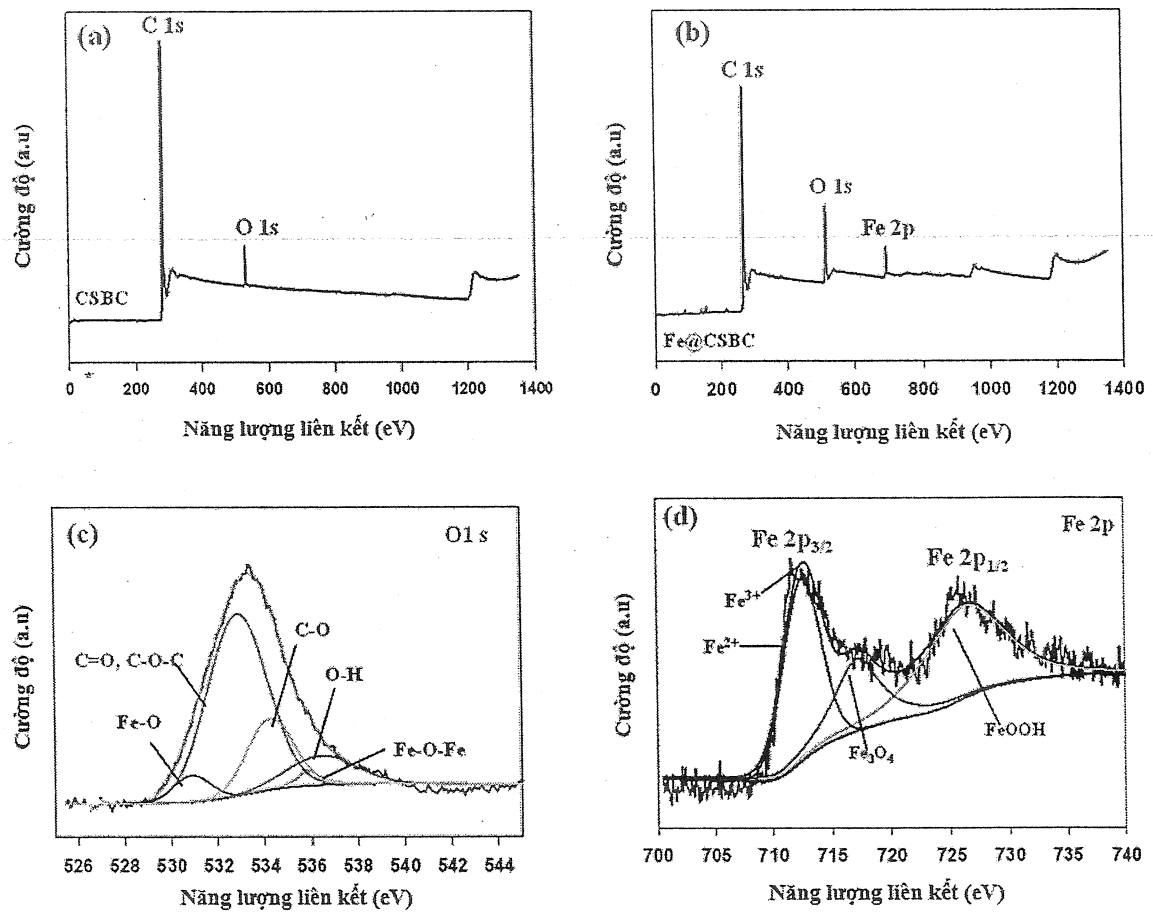
(v) ly tâm thu chất rắn ở tốc độ 1500 vòng/phút, tiếp đó sấy khô ở nhiệt độ 80°C trong thời gian 12 giờ;

(vi) nung chất rắn thu được ở bước (v) trong lò nung điện ở nhiệt độ 500°C, với tốc độ gia nhiệt là 5°C/phút trong thời gian 3 giờ, tiếp đó làm nguội đến nhiệt độ trong phòng, rửa sạch bằng nước cất và sấy khô ở nhiệt độ 50°C trong thời gian 24 giờ để thu được vật liệu hấp phụ từ tính từ phế thải cây ngô kết hợp với Fe_3O_4 .

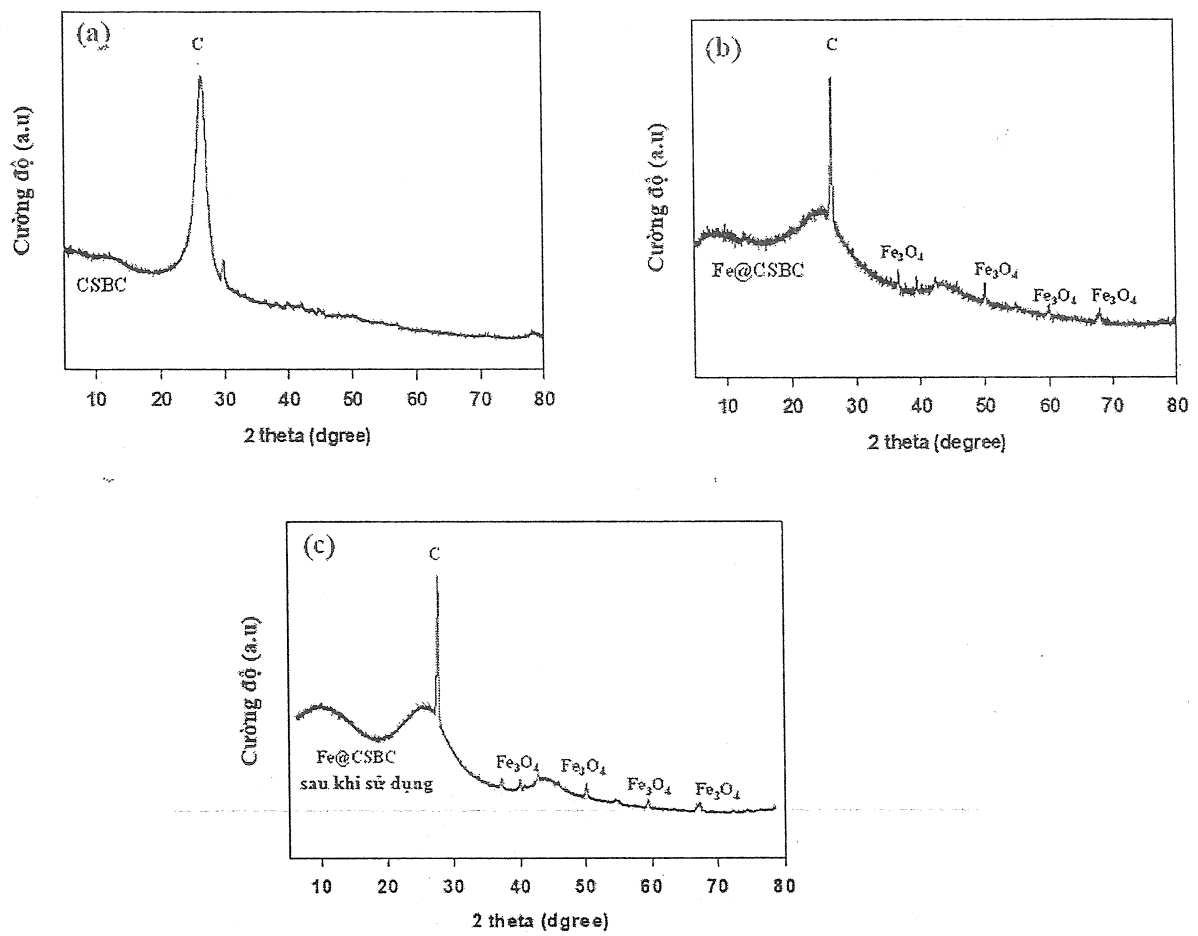
Hình 1



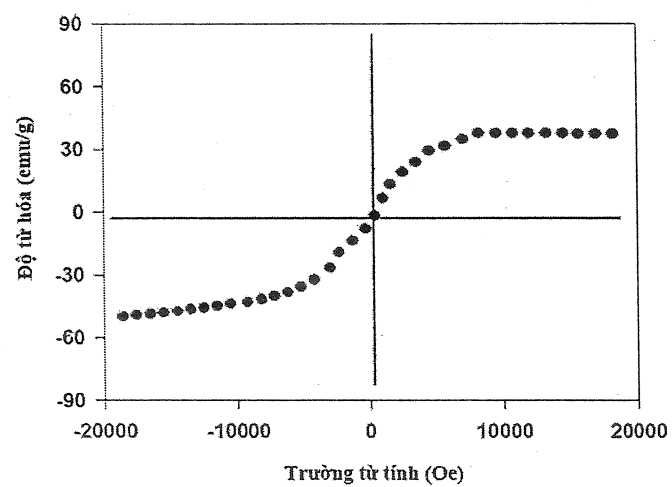
Hình 2



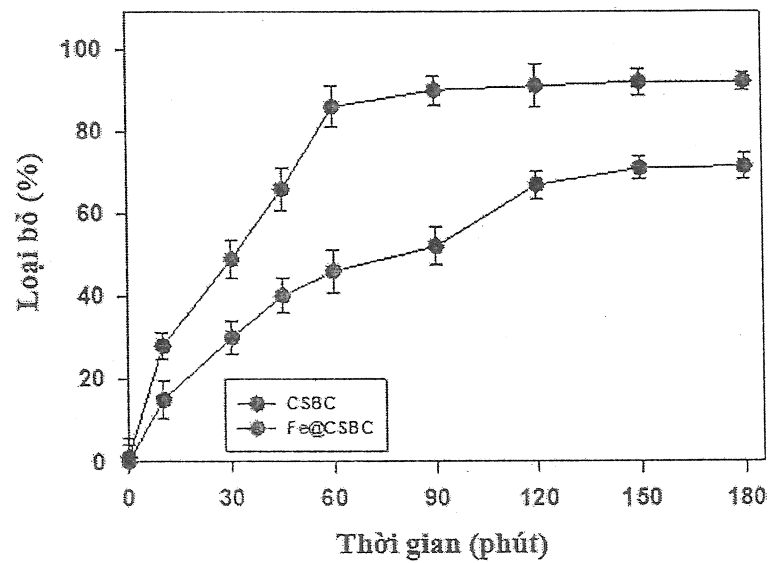
Hình 3



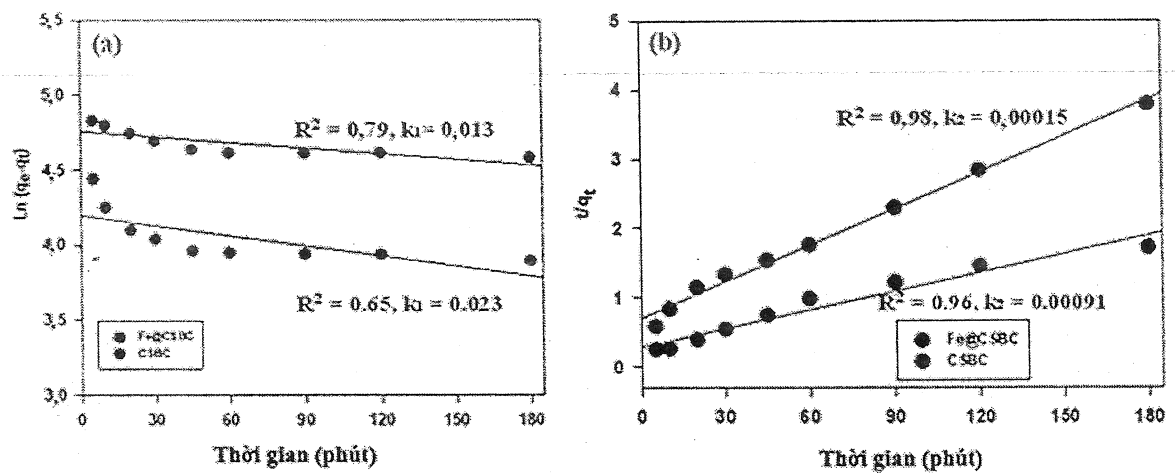
Hình 4



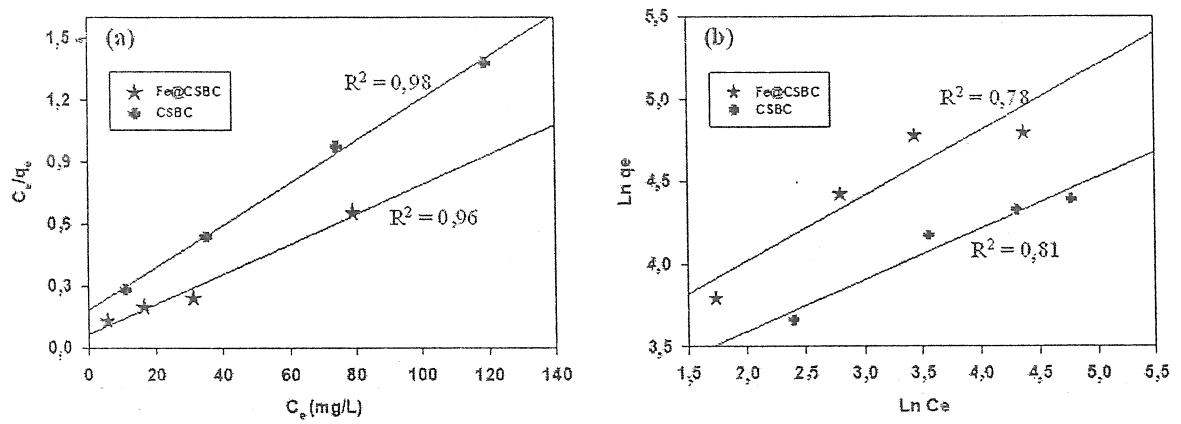
Hình 5



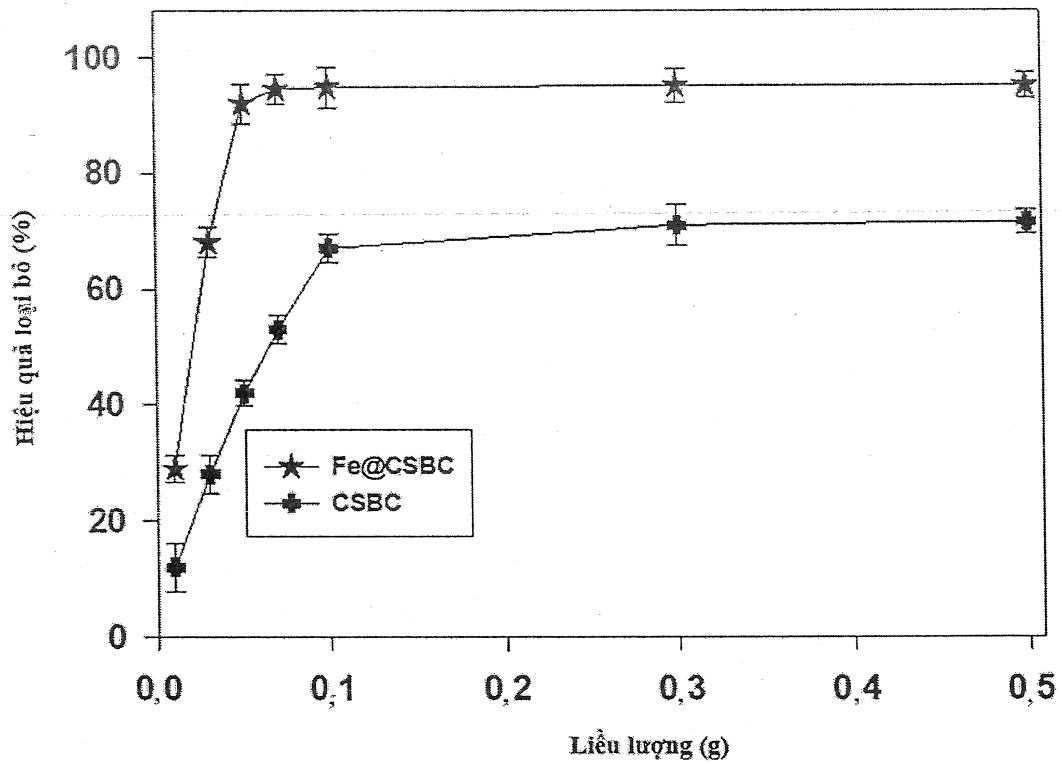
Hình 6



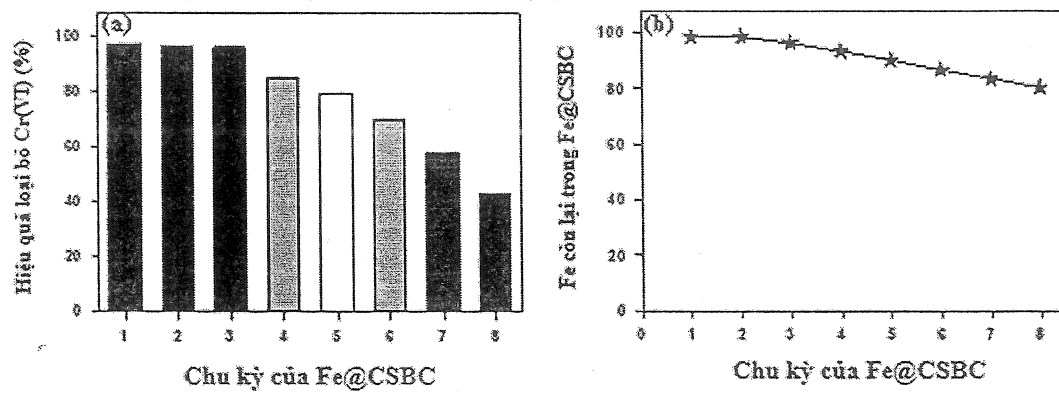
Hình 7



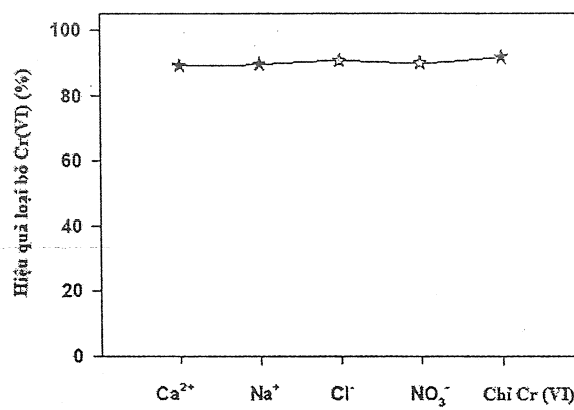
Hình 8



Hình 9



Hình 10



Hình 11

