

# NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG VẬT LIỆU NANO COMPOSITE TỪ TÍNH TRONG XỬ LÝ MỘT SỐ CHẤT Ô NHIỄM HỮU CƠ TRONG NƯỚC

CAO PHƯƠNG ANH <sup>(1)</sup>, HÁN DUY LINH <sup>(1)</sup>, VŨ MINH CHÂU <sup>(1)</sup>

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Những năm gần đây, vật liệu nano thu hút được nhiều sự quan tâm từ các nhà khoa học do đặc tính ưu việt của chúng như diện tích bề mặt lớn và hiệu ứng lượng tử kích thước. Các hạt nano được coi là một trạng thái riêng biệt của vật chất. Trong lĩnh vực này, vật liệu nano từ tính và cụ thể là các hạt nano oxit sắt  $Fe_3O_4$  (IONPs) được nghiên cứu và ứng dụng ngày càng rộng rãi trong các lĩnh vực khác nhau bao gồm: xúc tác, lưu trữ dữ liệu, chất lỏng từ tính, và đặc biệt trong lĩnh vực y dược học và xử lý môi trường do độc tính thấp và khả năng tương thích sinh học cao [1, 2]. Các hạt nano oxit sắt từ đã được chứng minh có khả năng hấp phụ các kim loại nặng trong môi trường nước [3], hay được sử dụng như một tác nhân xúc tác quang hóa cho quá trình quang phân hủy một số thuốc nhuộm và hợp chất ô nhiễm hữu cơ trong nước [4, 5]. Mặt khác, các hạt nano oxit sắt cũng có hạn chế đáng kể là tính dễ bị ăn mòn hóa học và có ít nhóm chức trên bề mặt [6]. Do vậy, để khắc phục cũng như nâng cao đặc tính của vật liệu, giải pháp được sử dụng nhiều nhất là bao phủ các hạt nano oxit sắt bởi vật liệu phù hợp. Lớp phủ này không chỉ bảo vệ lõi từ tính, mà còn cung cấp thêm các nhóm chức trên bề mặt vật liệu [6, 7].

Hydroxyapatit (HAp) là một dạng canxi phosphat tự nhiên được ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực y sinh và xử lý môi trường do tính tương thích sinh học cao và không độc hại bởi thành phần tương tự với thành phần vô cơ trong xương và răng người [8]. Ngoài khả năng loại bỏ kim loại nặng trong môi trường nước theo cơ chế trao đổi ion, hydroxyapatit với cấu trúc lỗ xốp cũng đã được chứng minh có hiệu quả trong hấp phụ các chất ô nhiễm hữu cơ và thuốc nhuộm trong nước [9-11]. Chitosan, một polysaccharit tự nhiên cũng là một vật liệu được các nhà khoa học chú ý do sở hữu những đặc tính ưu việt như: không độc, tương hợp sinh học, phân hủy sinh học và chống vi khuẩn, và có thể được coi là chất hấp phụ hiệu quả về chi phí, đầy hứa hẹn để loại bỏ các anion nguy hại và một số các chất ô nhiễm hữu cơ trong nước thải [11, 12]. Tuy nhiên, chitosan cũng có đặc tính không mong muốn như độ bền cơ học kém, khối lượng riêng thấp, dễ kết tụ hoặc tạo keo, dẫn đến nhiều khó khăn trong ứng dụng.

Với những ưu điểm nổi bật của các hạt nano oxit sắt và khả năng hấp phụ hiệu quả của hydroxyapatit, chitosan trong môi trường nước, trong nghiên cứu này, chúng tôi tổng hợp các hạt nano oxit sắt, vật liệu nano composite giữa hydroxyapatit, chitosan với oxit sắt. Khảo sát các đặc tính, tính chất của vật liệu tổng hợp được. Sau đó đánh giá khả năng xử lý của các vật liệu này với một số tác nhân ô nhiễm môi trường, như 2,4-diclophenoxyacetic axit (2,4-D) và chrysoidin (2,4-diaminoazo benzen).

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Hóa chất

Sắt (III) clorua 99% ( $\text{FeCl}_3$ , Fisher), sắt (II) sulfat 99% ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , Merck), kali hydroxit 99% (KOH, Merck), amoni dihydro photphat 99% ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , Trung Quốc), canxi nitrat 99% ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , Trung Quốc), 2,4- diclophenoxaxetic axit 96% ( $\text{C}_8\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O}_3$ , Merck), chrysoidin 99% ( $\text{C}_{12}\text{H}_{13}\text{ClN}_4$ , Trung Quốc), axit axetic 99% ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ , Merck).

### 2.2. Tổng hợp nano oxit sắt

Các hạt nano oxit sắt từ (IONPs) được tổng hợp bằng phương pháp thủy nhiệt theo quy trình như sau: hỗn hợp của  $\text{FeCl}_3$  và  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  được hòa tan vào 100 mL nước cất. Sau đó, dung dịch KOH được thêm vào trong điều kiện khuấy liên tục ( $\text{pH} \sim 12$ ). Hỗn hợp này tiếp đó, được chuyển vào bình thủy nhiệt lõi Teflon, thực hiện phản ứng thủy nhiệt ở  $150^\circ\text{C}/7$  giờ. Sau khi kết thúc phản ứng, sản phẩm được lọc loại bỏ ion, sấy ở  $80^\circ\text{C}/12$  giờ.

### 2.3. Tổng hợp compozit IONPs/hydroxyapatit

Vật liệu compozit IONPs/hydroxyapatit được chế tạo theo quy trình sau: các hạt nano oxit sắt từ được phân tán trong dung dịch  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  nhờ thiết bị siêu âm. Dung dịch  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  và KOH được thêm tiếp vào hỗn hợp đến  $\text{pH} \sim 12$ . Chuyển hỗn hợp phản ứng vào bình thủy nhiệt lõi Teflon, tiến hành phản ứng ở  $150^\circ\text{C}/7$  giờ. Sản phẩm sau phản ứng được lọc loại bỏ ion, và sấy ở  $80^\circ\text{C}/12$  giờ.

### 2.4. Tổng hợp compozit IONPs/chitosan

Vật liệu compozit IONPs/chitosan được chế tạo theo quy trình sau: các hạt nano oxit sắt được phân tán trong dung dịch axit axetic đã hòa tan chitosan bằng thiết bị siêu âm. Sau đó nhỏ từ từ dung dịch KOH vào hỗn hợp. Sản phẩm sau đó được rửa bằng nước cất để loại bỏ ion, sấy ở  $50^\circ\text{C}/12$  giờ.

### 2.5. Các phương pháp khảo sát đặc tính của vật liệu

Vật liệu sau khi tổng hợp được sẽ được đo nhiễu xạ tia X trên thiết bị Bruker D8 Advance X-Ray. Đo quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier trên thiết bị FTIR Jasco-6300. Hình thái bề mặt của hạt vật liệu được phân tích trên thiết bị SEM/EXD. Điện thế Zeta của các hạt vật liệu được xác định trên thiết bị đo Zeta phoremeter IV (CAD instrument-tation) và tính chất từ của vật liệu được đặc trưng bằng độ từ hóa bão hòa trên hệ thiết bị từ kế mẫu rung (VSM).

### 2.6. Khảo sát khả năng hấp phụ 2,4-D

Một lượng 0,100 g vật liệu hấp phụ được phân tán đều với 100 mL dung dịch 2,4-D đã biết trước nồng độ trong bể rung siêu âm 5 phút, lắc đều trên máy lắc với tốc độ 300 vòng/phút trong 30 phút. Để nghiên cứu các đường hấp phụ đẳng nhiệt, các thí nghiệm được tiến hành trong thời gian 12 giờ, tại nhiệt độ phòng. Các hạt vật liệu được tách ra khỏi dung dịch bằng phương pháp li tâm. Nồng độ 2,4-D còn lại

trong dung dịch được xác định trên thiết bị sắc ký lỏng khối phổ 3 lần tứ cực (Agilent 6430 TripleQuad LC/MS/MS). Tiến hành các thí nghiệm với nồng độ 2,4-D lần lượt: 10; 15; 20; 25; 40 và 60 mg/L.

## 2.7. Khảo sát khả năng hấp phụ chrysoidin

Một lượng 0,100 g vật liệu hấp phụ được phân tán đều với 60 mL dung dịch chrysoidin có nồng độ 400 mg/L trong bể rung siêu âm - trong 5 phút, sau đó lắc đều trên máy lắc với tốc độ 300 vòng/phút - trong 30 phút. Để yên trong 12 tiếng tại nhiệt độ phòng. Các hạt vật liệu được tách ra khỏi dung dịch bằng phương pháp ly tâm. Nồng độ chrysoidin còn lại trong dung dịch được xác định trên thiết bị quang phổ UV-Vis (Thermo Scientific - Genesys 10S), tại bước sóng cực đại  $\lambda = 450$  nm.

## 2.8. Tính toán kết quả

Dung lượng hấp phụ của vật liệu đối với 2,4-D và chrysoidin được tính toán theo công thức (1):

$$q_e = \frac{V(C_0 - C_t)}{W} \quad (1)$$

Trong đó:  $C_0$  (mg/L) và  $C_t$  (mg/L) tương ứng lần lượt là nồng độ ban đầu và sau khi bị hấp phụ của 2,4-D và chrysoidin,  $W$  (g) là lượng vật liệu hấp phụ đã sử dụng, và  $V$  (L) là thể tích của dung dịch mẫu thí nghiệm.

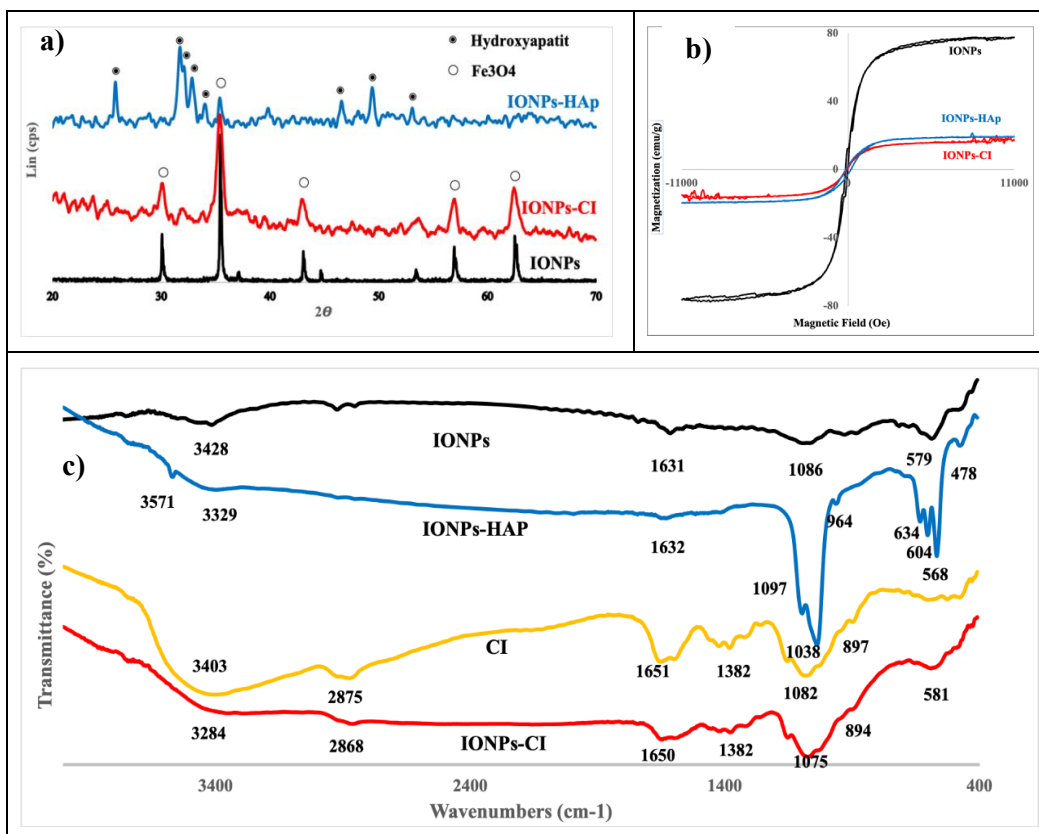
## 3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

### 3.1. Kết quả khảo sát tính chất của vật liệu

Cấu trúc và thành phần pha của oxit sắt từ (IONPs), hydroxyapatit (HAp), và vật liệu nano compozit oxit sắt từ/hydroxyapatit (IONPs-HAp), oxit sắt từ/chitosan (IONPs-CI) được đánh giá từ kết quả chụp nhiễu xạ tia X, được trình bày trên hình 1a. Giản đồ nhiễu xạ tia X đã chỉ ra rằng vật liệu oxit sắt từ chế tạo chủ yếu thuộc pha tinh thể  $Fe_3O_4$ , đặc trưng bởi các đỉnh nhiễu xạ tại  $2\theta = 30,1^\circ$ ;  $35,5^\circ$ ;  $43,1^\circ$ ;  $53,1^\circ$ ;  $57,1^\circ$  và  $62,5^\circ$ ; tương ứng với mặt phản xạ lần lượt: (220), (311), (400), (422), (511) và (440) [13]. Với vật liệu compozit  $Fe_3O_4$ /hydroxyapatit, các pic nhiễu xạ tại  $2\theta = 25,9^\circ$ ;  $31,8^\circ$ ;  $32,2^\circ$ ;  $32,9^\circ$ ;  $34,1^\circ$ ;  $39,7^\circ$ ;  $46,8^\circ$ ;  $49,7^\circ$  và  $53,1^\circ$  tương ứng với các mặt phản xạ lần lượt: (002), (211), (112), (300), (202), (310), (222), (213) và (004) đặc trưng của hydroxyapatit dễ dàng quan sát thấy trên giản đồ nhiễu xạ [14], pha tinh thể của  $Fe_3O_4$  chỉ có thể quan sát rõ tại pic nhiễu xạ  $2\theta = 35,5^\circ$ , được giải thích do sự xen phủ các đỉnh nhiễu xạ với HAp, và tỉ lệ thành phần của oxit  $Fe_3O_4$  trong vật liệu ít hơn so với hydroxyapatit. Với vật liệu compozit  $Fe_3O_4$ /chitosan, trên giản đồ nhiễu xạ tia X chỉ xuất hiện các pic nhiễu xạ đặc trưng của  $Fe_3O_4$  do chitosan tồn tại trên vật liệu ở trạng thái vô định hình.

Phổ hồng ngoại của hạt nano oxit sắt từ, hydroxyapatit và compozit oxit sắt từ/hydroxyapatit được so sánh trên hình 1c. Trên phổ hồng ngoại của oxit sắt từ, các băng sóng hấp thụ mạnh tại  $589$  và  $474\text{ cm}^{-1}$  tương ứng với dao động của liên kết Fe-O trong  $Fe_3O_4$  [15]. Đối với phổ hồng ngoại của hydroxyapatit, các băng sóng hấp thụ ở  $473$ ,  $568$ ,  $604$ ,  $962$ ,  $1038$  và  $1095\text{ cm}^{-1}$  đặc trưng bởi các dao động của

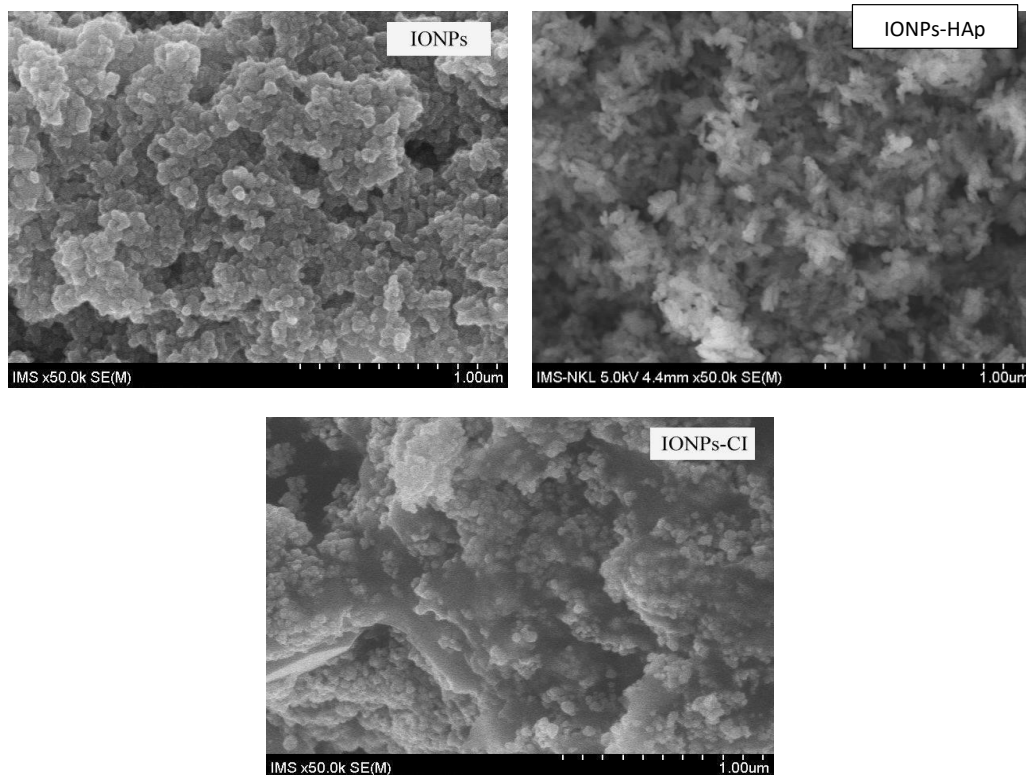
nhóm  $\text{PO}_4^{3-}$  trong cấu trúc hydroxyapatit. Ngoài ra, băng sóng đặc trưng của nhóm hydroxyl (OH) còn được quan sát thấy tại vị trí  $3571$  và  $634\text{ cm}^{-1}$  [16]. Phổ hồng ngoại của vật liệu compozit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /hydroxyapatit gần như tương tự phổ hồng ngoại của hydroxyapatit do các dải băng sóng đặc trưng của oxit sắt từ và hydroxyapatit gần nhau, dẫn đến hiện tượng trùng, chập băng sóng - nguyên nhân chủ yếu do vật liệu compozit có thành phần chủ yếu là hydroxyapatit. Với chitosan, các băng sóng hấp thụ điển hình đều xuất hiện:  $3403\text{ cm}^{-1}$  là dao động của liên kết O-H trùng với dao động của liên kết N-H, băng sóng hấp thụ ở  $1601\text{ cm}^{-1}$  là dao động của liên kết C-N; băng sóng hấp thụ ở  $1151\text{ cm}^{-1}$  và  $897\text{ cm}^{-1}$  đặc trưng cho dao động của cầu C-O-C. Phổ hồng ngoại của vật liệu compozit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /chitosan tương tự với phổ hồng ngoại của chitosan ngoại trừ băng sóng hấp thụ ở  $581\text{ cm}^{-1}$  cho thấy sự hiện diện của oxit sắt từ trong vật liệu.



**Hình 1.** Kết quả khảo sát đặc tính vật liệu: a) Giản đồ nhiễu xạ tia X; b) Đường cong từ trễ của vật liệu IONPs, IONPs-HAP và IONPs-CI; c) Phổ hồng ngoại

Tính chất từ của IONPs và vật liệu compozit IONPs-HAP, IONPs-CI được đo tại nhiệt độ phòng. Đường cong từ trễ của IONPs, IONPs-HAP và IONPs-CI được biểu diễn trên hình 1b. IONPs có từ độ bão hòa  $M_s = 77,20\text{ emu/g}$ , kết quả này tương đồng với công bố của D. Morillo [3] và W. Wu [17]. Từ độ bão hòa của vật liệu compozit giảm xuống  $19,18\text{ emu/g}$  với IONPs-HAP và  $17,88\text{ emu/g}$  với IONPs-

CI, do sự có mặt của hydroxyapatit và chitosan đã bao bọc các hạt IONPs trong vật liệu compozit làm giảm từ tính của vật liệu [7]. Tuy nhiên, các hạt vật liệu compozit này vẫn có khả năng tách ra khỏi nền mẫu một cách nhanh chóng thông qua một nam châm bên ngoài, nên có thể ứng dụng thu hồi nhanh vật liệu trong lĩnh vực xử lý môi trường.

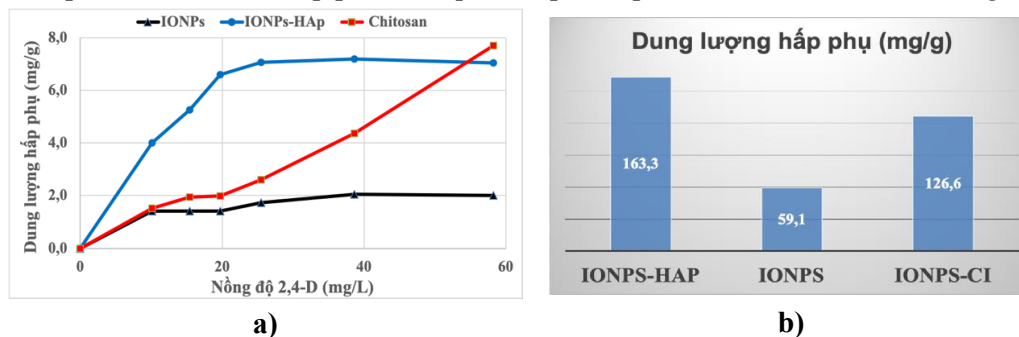


**Hình 2.** Ảnh chụp SEM của vật liệu IONPs, IONPs-HAp và IONPs-CI

Trên hình 2 là ảnh chụp SEM của vật liệu chế tạo ở độ phân giải cao. Có thể quan sát thấy các hạt  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  với kích thước  $\sim 100$  nm, hình dạng hạt gần cầu, và khá đồng nhất. Từ ảnh chụp SEM của vật liệu compozit có thể thấy các hạt nano  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  được phân tán đồng đều trên bề mặt vật liệu. Trong khi hình dáng của vật liệu compozit IONPs-HAp có dạng hình que, có kích thước chiều dài  $> 150$  nm thì kích thước của các hạt vật liệu compozit IONPs-CI lại tương đối lớn  $89,86 \pm 0,25$   $\mu\text{m}$ . Điện thế bề mặt trung bình của hạt nano oxit sắt từ, vật liệu compozit IONPs-HAp và IONPs-CI xác định từ phép đo điện thế Zeta lần lượt là: -36,61; -28,51; -10,02 mV. Từ kết quả chụp SEM và kết quả đo điện thế Zeta cho thấy phương pháp tổng hợp vật liệu dùng trong nghiên cứu với vật liệu compozit IONPs-HAp cho vật liệu với kích thước cỡ nano và điện tích bề mặt cao, có khả năng phân tán và ổn định tốt trong hệ phân tán, trong khi compozit IONPs-CI chưa được tối ưu dẫn đến kích thước hạt lớn, điện tích bề mặt thấp do đó các hạt của chúng ở dạng huyền phù dễ kết tụ, giảm hiệu quả trong lĩnh vực xử lý môi trường.

### 3.2. Khả năng hấp phụ 2,4-D và chrysoidin trong môi trường nước

Hình 3a đồ thị biểu diễn mối tương quan giữa nồng độ đầu của 2,4-D và dung lượng hấp phụ của các vật liệu khảo sát đối với 2,4-D. Dung lượng hấp phụ của các hạt nano oxit sắt từ đối với 2,4-D tăng theo chiều tăng nồng độ 2,4-D và bão hòa ở nồng độ 2,4-D trên 25 mg/L và giá trị này đạt cực đại ở khoảng 2,0 mg/g. Tương tự với vật liệu compozit IONPs-HAp, dung lượng hấp phụ tăng nhanh theo chiều tăng nồng độ 2,4-D và đạt bão hòa ở giá trị khoảng 7 mg/g với nồng độ 2,4-D trên 25 mg/L. Tuy nhiên với vật liệu compozit IONPs-CI, dung lượng hấp phụ tăng theo chiều tăng nồng độ 2,4-D và vẫn chưa có dấu hiệu đạt bão hòa với khoảng nồng độ 2,4-D khảo sát. Kết quả khảo sát khả năng hấp phụ chrysoidin (hình 3b) cũng chỉ ra rằng khả năng hấp phụ đối với chrysoidin của vật liệu compozit tăng lên đáng kể so với các hạt nano oxit sắt. Có thể giải thích sự khác biệt này là do vật liệu compozit IONPs-HAp và IONPs-CI có cấu trúc lỗ xốp, làm tăng đáng kể diện tích bề mặt riêng của vật liệu. Bên cạnh đó, hydroxyapatit và chitosan cũng cung cấp một lượng lớn các nhóm chức trên bề mặt vật liệu (nhóm hydroxyl/phosphat của hydroxyapatit, và nhóm hydroxyl/amino của chitosan). Kết quả nghiên cứu bước đầu cho thấy tiềm năng ứng dụng của vật liệu compozit lõi từ tính của hydroxyapatit và chitosan trong việc phát triển vật liệu hấp phụ hiệu quả, chi phí thấp và thân thiện với môi trường.



**Hình 3.** Đồ thị biểu diễn kết quả khảo sát khả năng hấp phụ của vật liệu:

- Đồ thị biểu diễn mối tương quan giữa nồng độ 2,4-D và dung lượng hấp phụ;
- Đồ thị biểu diễn dung lượng hấp phụ chrysoidin của các vật liệu thử nghiệm

### 4. KẾT LUẬN

- Các hạt nano oxit sắt từ, vật liệu compozit oxit sắt từ/hydroxiapatit và oxit sắt từ/chitosan đã được điều chế thành công bằng kỹ thuật thủy nhiệt.
- Kết quả phân tích thành phần pha, cấu trúc cho thấy các hạt nano oxit sắt từ có hình thái đồng nhất, kích thước hạt trung bình khoảng 100 nm, có điện thế bề mặt âm lớn, phân tán tốt trong vật liệu compozit với hydroxyapatit và chitosan.
- Nghiên cứu khả năng hấp phụ của vật liệu với việc loại bỏ 2,4-D và chrysoidin trong nước, kết quả chỉ ra rằng hiệu quả hấp phụ của vật liệu compozit IONPs-HAp và IONPs-CI có hiệu quả vượt trội so với hạt nano oxit sắt từ ban đầu.

**Lời cảm ơn:** Chúng tôi xin trân trọng gửi lời cảm ơn tới Phân viện Hóa - Môi trường và Khoa Hóa học - Đại học Khoa học Tự nhiên/ Đại học Quốc gia Hà Nội đã tạo điều kiện hỗ trợ thực hiện nghiên cứu này.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. N. Zhu *et al.*, *Surface modification of magnetic iron oxide nanoparticles*, *Nanomaterials*, 2018, **8**(10):810.
2. M. Saeedi, O. Vahidi and S. Bonakdar, *Synthesis and characterization of glycyrrhizic acid coated iron oxide nanoparticles for hyperthermia applications*, *Mater. Sci. Eng. C*, 2017, **77**:1060-1067.
3. D. Morillo, G. Pérez and M. Valiente, *Efficient arsenic(V) and arsenic(III) removal from acidic solutions with Novel Forager Sponge-loaded superparamagnetic iron oxide nanoparticles*, *J. Colloid Interface Sci.*, 2015, **453**:132-141.
4. Z. Mahmoudi, S. Azizian and B. Lorestani, *Removal of methylene blue from aqueous solution: A comparison between adsorption by iron oxide nanospheres and ultrasonic degradation*, *J. Mater. Environ. Sci.*, 2014, **5**(5):1332-1335.
5. A. Das, J. Singh and K. N. Yogalakshmi, *Laccase immobilized magnetic iron nanoparticles: Fabrication and its performance evaluation in chlorpyrifos degradation*, *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, 2017, **117**:183-189.
6. P. M. B. Chagas, L. B. de Carvalho, A. A. Caetano, F. G. E. Nogueira, A. D. Corrêa and I. do R. Guimarães, *Nanostructured oxide stabilized by chitosan: Hybrid composite as an adsorbent for the removal of chromium (VI)*, *J. Environ. Chem. Eng.*, 2018, **6**(1):1008-1019.
7. F. Carlos, M. M. N. Jo and P. Borges, *Towards the development of multifunctional chitosan- based iron oxide nanoparticles : optimization and modelling of doxorubicin release*, *Carbohydr. Polym.*, 2016, **153**:212-221.
8. S. Banerjee *et al.*, *A facile vacuum assisted synthesis of nanoparticle impregnated hydroxyapatite composites having excellent antimicrobial properties and biocompatibility*, *Ceram. Int.*, 2018, **44**(1):1066-1077.
9. H. Sebei *et al.*, *Hydroxyapatite-based sorbents : elaboration, characterization and application for the removal of catechol from the aqueous phase* To cite this version: HAL Id:hal-01619247 the removal of catechol from the aqueous phase, 2018.
10. Y. Li *et al.*, *Reed biochar supported hydroxyapatite nanocomposite: Characterization and reactivity for methylene blue removal from aqueous media*, *J. Mol. Liq.*, 2018, **263**:53-63.
11. V. C. Nguyen and Q. H. Pho, *Preparation of chitosan coated magnetic hydroxyapatite nanoparticles and application for adsorption of reactive blue 19 and Ni<sup>2+</sup> ions*, *Sci. World J.*, 2014.
12. S. Kang *et al.*, *Removal of methylene blue from water with montmorillonite nanosheets/chitosan hydrogels as adsorbent*, *Appl. Surf. Sci.*, 2018, **448**:203-211.

13. S. Bishnoi, A. Kumar, and R. Selvaraj, *Facile synthesis of magnetic iron oxide nanoparticles using inedible Cynometra ramiflora fruit extract waste and their photocatalytic degradation of methylene blue dye*, Mater. Res. Bull., 2018, **97**:121-127.
14. D. C. Manatunga *et al.*, *pH responsive controlled release of anti-cancer hydrophobic drugs from sodium alginate and hydroxyapatite bi-coated iron oxide nanoparticles*, Eur. J. Pharm. Biopharm., 2017, **117**:29-38.
15. L. Andrade *et al.*, *Synthesis and characterization of magnetic nanoparticles coated with silica through a sol-gel approach (Síntese e caracterização de nanopartículas magnéticas revestidas com sílica através de um processo sol-gel)*, Nano, 2009, **55**:420-424.
16. Y. Guesmi, H. Agougui, R. Lafi, M. Jabli and A. Hafiane, *Synthesis of hydroxyapatite-sodium alginate via a co-precipitation technique for efficient adsorption of Methylene Blue dye*, J. Mol. Liq., 2018, **249**:912-920.
17. W. Wu, Z. Wu, T. Yu, C. Jiang and W. S. Kim, *Recent progress on magnetic iron oxide nanoparticles: Synthesis, surface functional strategies and biomedical applications*, Sci. Technol. Adv. Mater., 2015, **16**(2):23501.

### SUMMARY

#### RESEARCH ON THE APPLICATION OF MAGNETIC COMPOSITE NANOMATERIAL IN TREATMENT OF SOME ORGANIC COMPOUNDS IN WATER

Iron oxide nanoparticles ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) were synthesized by hydrothermal method, and coated with hydroxyapatite and chitosan by simple methods. After synthesis, these materials were characterized via physicochemical methods: X-ray diffraction, Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), vibrating sample magnetometer (VSM), scanning electron microscopy (SEM/EDX) and Zeta phoremeter. The results show that the iron oxide particles were synthesized with nano-size, the material after coating with hydroxyapatite and chitosan still ensures the magnetism. These materials continue to be evaluated the ability to remove 2,4-D and chrysoidine in aqueous medium. The results show that the synthesized composite materials have the ability to selectively adsorb 2,4-D and chrysoidine, thereby showing the potential application of magnetic composite materials in the field of environmental remediation.

**Keywords:** Composite, iron oxide, hydroxyapatite, chitosan, 2,4-D, chrysoidine.

*Nhận bài ngày 02 tháng 7 năm 2021*

*Phản biện xong ngày 11 tháng 10 năm 2021*

*Hoàn thiện ngày 14 tháng 10 năm 2021*

<sup>(1)</sup> *Phân viện Hóa - Môi trường, Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga*