



Original Article

Antibacterial and Antifungal Characteristics of Hydroxyl Apatite Composite Material Coated on Nitrogen-doped TiO₂ (HA/N-TiO₂)

Nguyen Thi Hue¹, Nguyen Thi Ha Giang¹, Nguyen Hoang Nam²,
Ho Thanh Sang³, Mai Viet Ha⁴, Nguyen Thi Ha^{4,*}

¹*Institute of Science and Technology for Energy & Environment,
Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet, Cau Giay, Hanoi, Vietnam*

²*Faculty of Environment, Hanoi University of Mining and Geology,
18 Vien Street, Bac Tu Liem, Hanoi, Vietnam;*

³*Hanoi University of Natural Resource and Environment, 41A Phu Dien, Bac Tu Liem, Hanoi, Vietnam*

⁴*Faculty of Environmental Sciences, VNU University of Science,
334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam*

Received 30 July 2024

Revised 28 August 2024; Accepted 23 October 2024

Abstract: Photocatalytic technology using nano-material HA/TiO₂ has been widely applied worldwide to treat pollutants, kill airborne gram-negative and gram-positive bacteria, and candida fungi, especially indoor air. In this study, HA/N-TiO₂ material was synthesized with oxidation-reduction absorption properties and photocatalytic ability in the visible-light irradiation that helps reduce costs compared to using ultraviolet light (UV). The structure and morphology of the material were evaluated using XRD, SEM methods, showing HA/N-TiO₂ has a spherical crystal structure, sharp, and uniform with particle sizes ranging from 10 to 30 nm. To assessment of the antibacterial and antifungal efficiency of the material, we inoculated the culture of microorganisms on 10x10 cm tiles coated with HA/N-TiO₂ solution with the coating thickness of 0.3 μm. This coating thickness resulted in optimal antibacterial efficacy. With continuous fluorescent light 20 W exposure for 1-9 hours, up to 96-100% of inoculated bacteria were eliminated. In real-scale experiments on the wall surfaces, the quantity of bacteria and mold decreased by 20% after 30 days when treated with HA/N-TiO₂ solution compared to the control sample. HA/N-TiO₂ material has the potential to treat bacteria and fungi on a practical scale if there is further cost-benefit analysis extensive research.

Keywords: Air pollution, bacteria and fungus, hydroxyl apatite, nitrogen-doped TiO₂.

* Corresponding author.

E-mail address: nguyenthiha@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5209>

Hiệu quả diệt vi khuẩn, nấm trong không khí của vật liệu tổ hợp Hydroxyl Apatite phủ trên TiO₂ pha tạp nito (HA/N-TiO₂)

Nguyễn Thị Huệ¹, Nguyễn Thị Hà Giang¹, Nguyễn Hoàng Nam²,
Hồ Thanh Sang³, Mai Việt Hà⁴, Nguyễn Thị Hà^{4,*}

¹*Viện Khoa học Công nghệ Năng lượng và Môi trường, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam*

²*Khoa Môi trường, Trường Đại học Mở Địa chất Hà Nội, 18 phố Viên, Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam*

³*Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội, 41A đường Phú Diễn, Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam*

⁴*Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 30 tháng 7 năm 2024

Chỉnh sửa ngày 28 tháng 8 năm 2024; Chấp nhận đăng ngày 23 tháng 10 năm 2024

Tóm tắt: Công nghệ xúc tác quang sử dụng vật liệu nano TiO₂ đã và đang được ứng dụng rộng rãi trên thế giới để xử lý các chất ô nhiễm, diệt khuẩn *gram âm*, *gram dương*, và nấm *canida* trong không khí, đặc biệt là không khí trong nhà. Trong nghiên cứu này, vật liệu tổ hợp Hydroxyl Apatite (HA) phủ trên TiO₂ pha tạp nito (HA/N-TiO₂) đã được chế tạo. Vật liệu có tính hấp phụ, oxi hóa khử và có khả năng xúc tác quang trong vùng ánh sáng khả kiến, giúp giảm chi phí so với sử dụng ánh sáng vùng tử ngoại (UV). Đánh giá cấu trúc và hình thái vật liệu bằng phương pháp XRD, và SEM cho thấy, HA/N-TiO₂ có cấu trúc tinh thể dạng cầu rõ nét, đồng đều, kích thước trong khoảng 10-20 nm. Đánh giá khả năng diệt vi khuẩn và vi nấm trên gạch viên kích thước 10x10 cm phủ dung dịch HA/N-TiO₂ với độ dày lớp phủ 0,3 μm cho hiệu quả xử lý khá rõ rệt. Dưới ánh sáng huỳnh quang 20W chiếu liên tục trong 1-9 giờ, hiệu quả diệt vi khuẩn đạt 96-100%. Ở quy mô thực tế đã thử nghiệm thành công trên bề mặt tường, số lượng vi khuẩn, nấm mốc khi có dung dịch HA/N-TiO₂ so với mẫu đối chứng giảm khoảng 20% sau 30 ngày. Vật liệu HA/N-TiO₂ có triển vọng xử lý vi khuẩn, vi nấm ở quy mô thực tế nếu có thêm các nghiên cứu mở rộng đánh giá chi phí hiệu quả.

Từ khóa: vi khuẩn và nấm, hydroxyl apatite, TiO₂ pha tạp nito, ô nhiễm không khí.

1. Mở đầu

Các vi khuẩn và nấm mốc phát tán từ các hoạt động sản xuất, sinh hoạt, khu lưu chứa, xử lý chất thải, đặc biệt từ bệnh viện gây ô nhiễm không khí trong nhà và xung quanh là tác nhân gây bệnh, ảnh hưởng đến sức khỏe. Trong môi

trường không khí, một số vi sinh vật thường gặp như các vi khuẩn Gram (+), Gram (-), trực khuẩn, nấm mốc,... xuất hiện ở những khu vực ẩm thấp, thiếu ánh sáng, không thoáng khí tạo điều kiện phát triển và là tác nhân gây bệnh. Cách tiếp cận xanh trong xử lý không khí nói chung và diệt khuẩn trong không khí nói riêng

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: nguyenthaha@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5209>

được nhiều tác giả quan tâm. Nghiên cứu của Hidayat và cộng sự [1] cho thấy bộ lọc không khí chứa AgNPs-[chi-SiG] có hiệu quả kháng khuẩn cao đối với *B. subtilis* trong không khí. Màng quang nhiệt sử dụng ống nano cacbon cũng cho hiệu quả loại PM_{2,5} và vi khuẩn trong không khí [2]. Để góp phần đảm bảo chất lượng không khí và sức khỏe cộng đồng, nghiên cứu này đã đưa ra các biện pháp khử trùng, diệt khuẩn, nấm mốc trong môi trường không khí trong nhà, đặc biệt cho các phòng cần tiệt trùng ở cơ sở y tế.

2. Địa điểm, phạm vi và phương pháp nghiên cứu

2.1. Địa điểm và phạm vi nghiên cứu

Vật liệu nanocomposite HA/N-TiO₂ được chế tạo ở qui mô phòng thí nghiệm và thực tế, được sử dụng để nghiên cứu khả năng diệt khuẩn Gram (-) và Gram (+) trong không khí.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp chế tạo vật liệu

Tổng hợp bột nano TiO₂ pha tạp nitơ (N-TiO₂) và bột nano composite HA/N-TiO₂: Quy

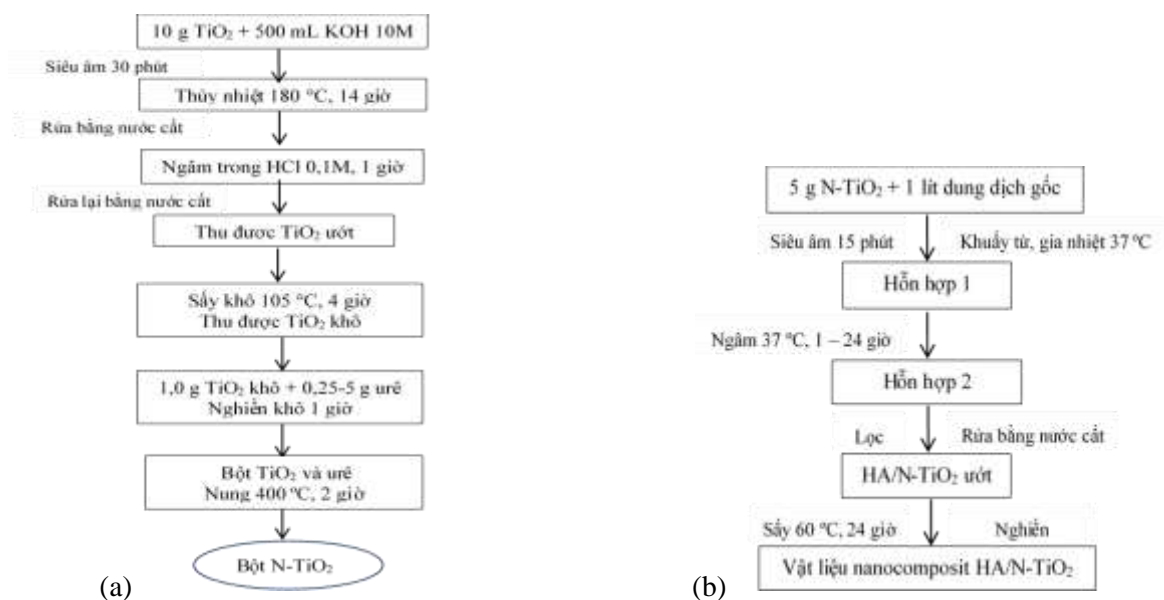
trình chế tạo vật liệu N-TiO₂ và bột nano composite HA/N-TiO₂ được đưa ra ở Hình 1 [3]. Dung dịch phức gốc được chuẩn bị từ MgCl₂.6H₂O và CaCl₂.2H₂O NaCl; KCl; KH₂PO₄; Na₂HPO₄.12H₂O; NaHCO₃ và nước cất 2 lần với thành phần như ở Bảng 1. Dung dịch phủ bề mặt HA/N-TiO₂ được hình thành khi thêm nước cất, chất phụ gia với tỉ lệ keo acrylic và chất trợ lắng PVC tương ứng 5 và 1%/L.

Dung dịch dạng huyền phù không bị sa lắng theo thời gian và được bảo quản ở nhiệt độ phòng.

2.2.2. Đánh giá độ bám dính, độ bền của vật liệu

Kết quả đánh giá độ bám dính, độ bền của dung dịch HA/N-TiO₂ trên nền xi măng theo tiêu chuẩn Việt Nam đạt điểm 1 theo Tiêu chuẩn Quốc gia về Sơn. Phương pháp cắt xác định độ bám dính của màng theo thang từ 1 đến 5 [4].

Để đánh giá mức độ chịu nước mưa, sử dụng gạch men được phủ (độ dày phủ ~ 0,3 μm) một nửa phủ dung dịch HA/N-TiO₂ và nửa phủ sơn lót thông dụng. Sau khi để khô gạch ở ngoài trời trong 1 ngày, điều chỉnh pH = 5 - 7 bằng dung dịch đệm acetat. Kết quả cho thấy phần có mẫu phủ dung dịch HA/N-TiO₂ vẫn giữ màu trắng sáng và nửa phần còn lại bị sẫm màu và có rêu bám dính.



Hình 1. Quy trình chế tạo nano TiO₂ pha tạp nitơ (a) và bột nano composite HA/N-TiO₂ (b).

2.2.3. Đánh giá hiệu quả diệt khuẩn, nấm

Hỗn hợp chủng vi khuẩn sử dụng gồm 2 chủng vi khuẩn Gram (+) gồm *B. cereus*, và *S. aureus* và 2 chủng vi khuẩn Gram (-) là *B. cepacia*, và *E. Coli*.

Quá trình nuôi cấy các chủng vi khuẩn từ dịch pha trong môi trường hiếu khí tổng số (HKTS) trên máy lắc. Dịch nuôi cấy được lấy mẫu, pha loãng, làm tiêu bản nhuộm màu. Quan sát dưới kính hiển vi, sử dụng phương pháp định lượng trực tiếp bằng buồng đếm tế bào (Hình 2).



Hình 2. Thí nghiệm diệt khuẩn trên gạch viên.

Chọn 3 vị trí lấy mẫu không khí trong phòng kín, tiến hành để xác định mật độ vi sinh theo TCVN 8129:2009. Tại bề mặt tường, tiến hành lấy mẫu bằng que cấy tâm bông ướt vô trùng, lấy từ 3 đến 5 vị trí trên bề mặt, diện tích điểm lấy mẫu 2 x 2 cm. Ngay sau khi lấy, mẫu được hòa vào 10 mL dung dịch SPW, lấy 50 μ L dung dịch này đưa vào các đĩa petri chứa môi trường HKTS ở các nồng độ pha loãng 10^{-1} , 10^0 , 10^1 . Sau 2 đến 5 ngày ủ ở nhiệt độ phòng, mẫu được lấy để đếm số khuẩn lạc.

Bảng 1. Thành phần ion trong dung dịch gốc

Ion	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	HPO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
Nồng độ (mmol/L)	142	5,0	1,5	25	103	10	27

2.2.4. Phương pháp phân tích và xử lý số liệu

i) Phương pháp nuôi cấy vi sinh vật:

Mẫu vi sinh được cấy lên đĩa thạch và đếm số khuẩn lạc trên máy. Kết quả số tế bào, A (CFU/mL) theo công thức:

$$A = \frac{N}{n_1 \times V \times F_1 + n_2 \times V \times F_2 + \dots + n_n \times V \times F_n} \quad (1)$$

Trong đó: N: tổng số khuẩn lạc đếm được trên các đĩa đã chọn; V: thể tích dịch mẫu (mL),

thường lấy 1 mL mỗi đĩa; F_n : độ pha loãng tương ứng.

Kết quả tính theo số CFU/m² theo công thức:

$$\text{CFU/m}^2 = \frac{\text{Số lượng khuẩn lạc} \times \text{Hệ số pha loãng}}{\text{Thể tích mẫu cấy (m}^2\text{)}} \quad (2)$$

Bảng 3. Kết quả xác định mật độ của một số chủng vi khuẩn trong dịch nuôi cấy

Chủng vi khuẩn	<i>S.aureus</i>	<i>B.cepacia</i>	<i>E.coli</i>	<i>B.cereus</i>
Kết quả (CFU/mL)	10 ⁸	10 ⁷	10 ⁷	10 ⁶

ii) Phương pháp nhuộm Gram:

Dựa trên khả năng bắt màu của tế bào chất và màng tế bào với thuốc nhuộm tím kết tinh và iốt mà hình thành hai loại phức chất khác nhau:

- Giữ nguyên màu của thuốc nhuộm nên không bị rửa trôi khi xử lý bằng cồn. Vi sinh vật có phức chất này thuộc loại *Gram (+)*.

- Không còn giữ được màu của thuốc nhuộm nên mất màu khi xử lý bằng cồn và bắt màu của thuốc nhuộm bổ sung. Vi sinh vật có phức chất này thuộc loại *Gram (-)*.

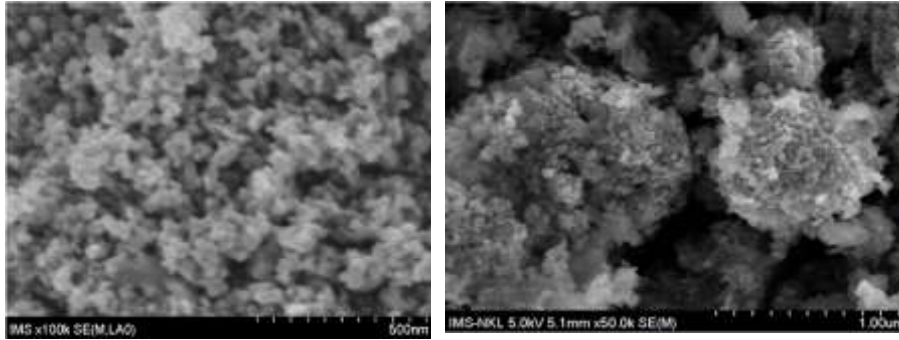
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả chế tạo và đánh giá đặc tính HA/N-TiO₂

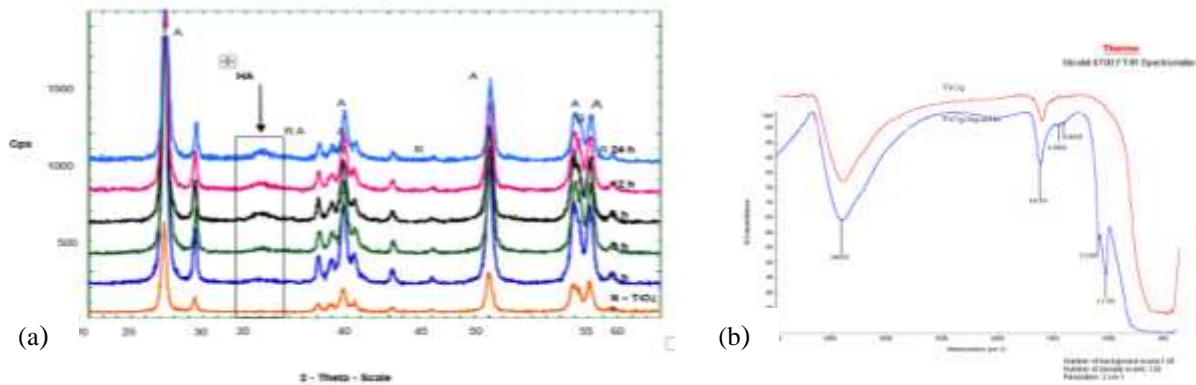
Vật liệu HA/N-TiO₂ đã được chế tạo theo sáng chế GPHI số 2319 [3] và đánh giá đặc tính vật liệu theo SEM, và XRD. Kết quả cho thấy vật liệu HA/N-TiO₂ có kích cỡ hạt khá đồng đều, trong khoảng 10-30 nm (Hình 3). Ngoài ra, kích thước và khoảng không gian giữa các hạt HA/N-TiO₂ thay đổi theo chiều tăng nồng độ Ca²⁺ và PO₄³⁻. Phổ XRD (Hình 4a) cho thấy cường độ nhiễu xạ của HA tăng đáng kể từ mẫu 1-6 và không tăng ở mẫu 12-24 giờ. Thành phần HA kết lắng trên bề mặt TiO₂ và hình thành cấu trúc tinh thể ổn định sau 3-6 giờ. Kết quả này cũng phù hợp với nghiên cứu của Nguyễn Thị Huệ (2013) [5]. Sau 6 giờ, HA kết lắng kém hơn do lượng lớn HA hình thành đã làm giảm lượng OH⁻ trong dung dịch. Ngoài ra, HA luôn có xu hướng quay

lại dung dịch tạo cân bằng, dẫn đến sự biến đổi điện tích bề mặt TiO_2 và làm cho một số liên kết giữa HA và TiO_2 mới hình thành dễ bị phá vỡ.

Phổ FTIR (Hình 4b) xuất hiện các pic đặc trưng ở mẫu HA/ TiO_2 .



Hình 3. Ảnh SEM của các mẫu HA/N- TiO_2 .



Hình 4. (a) Phổ XRD của các mẫu HA/N- TiO_2 sau khi ngâm bột N- TiO_2 trong dung dịch gốc tại 1, 3, 6, 12 và 24 giờ và (b) Phổ FTIR của mẫu HA/ TiO_2 .

3.2. Kết quả diệt vi khuẩn, nấm của dung dịch HA/N- TiO_2 ở quy mô phòng thí nghiệm

Hoạt tính diệt khuẩn của gạch men phủ vật liệu nano theo thời gian chiếu sáng được đánh giá bằng phương pháp cấy vi sinh vật lên bề mặt gạch thực hiện trong hệ kín. Với cường độ chiếu sáng liên tục trong 1-9 giờ, khoảng cách chiếu sáng 30 cm bằng đèn huỳnh quang (công suất 20 W) với hai mẫu gạch 10x10 cm, hiệu quả tiêu diệt vi khuẩn trên gạch phủ vật liệu nano đạt 96-100%. Kết quả này cũng phù hợp với nghiên cứu của Feng và cộng sự [6], trong đó hoạt tính kháng khuẩn được cải thiện khi chiếu xạ UV- với sợi màng nano PLA/ TiO_2 hàm lượng 0,75% theo trọng lượng TiO_2 A, kích thước $4,86 \pm 0,50$ nm có thể ức chế *E. coli*. Kết quả thử nghiệm ở qui

mô phòng thí nghiệm và qui mô thực tế, vật liệu HA/N- TiO_2 đã thể hiện hoạt tính kháng khuẩn trong điều kiện ánh sáng huỳnh quang và không có ánh sáng (Bảng 4 và 5).

Bảng 4. Thử nghiệm khả năng diệt khuẩn qui mô phòng thí nghiệm (với hỗn hợp 4 chủng vi khuẩn)

Thời gian tiếp xúc (giờ)	Tổng số vi sinh vật (CFU/mL)	Tổng vi sinh vật còn lại (%)
0	$9,45 \times 10^5$	100
1	$5,07 \times 10^5$	53,6
3	$2,58 \times 10^5$	27,3
6	$0,38 \times 10^5$	4,0
9	KPH	0 (vi sinh vật bị tiêu diệt hoàn toàn)

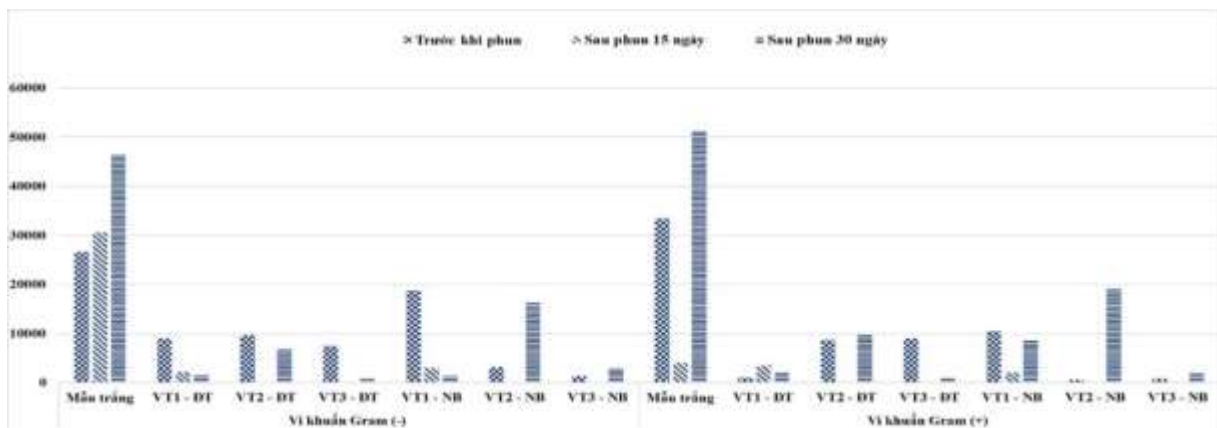
Ở qui mô thực tế, số lượng vi khuẩn, nấm mốc khi sử dụng dung dịch HA/N-TiO₂ so với mẫu đối chứng giảm khoảng 20% sau 30 ngày. So sánh hiệu quả diệt khuẩn với dung dịch dạng sơn của Nhật Bản (chứa 5-10% TiO₂) (Hình 5) cho thấy mức giảm đáng kể sau 15 ngày, đạt khoảng 80-95%. Tuy nhiên, sau 30 ngày, cả vi khuẩn *Gram (-)* và *(+)* đều có chiều hướng tăng lên. Điều này có thể do bị tái nhiễm từ môi trường. Hiệu quả này chưa cao có thể do tỉ lệ vật liệu sử dụng thấp. Theo một số nghiên cứu trước, khả năng diệt khuẩn phụ thuộc vào tỉ lệ thành phần pha tạp [7-9]. Vật liệu nanocomposite Ag/TiO₂ (0,04-0,05% Ag) có thể tiêu diệt hoàn toàn *S.aureus* ATCC 25923 [10]. Cioritã và cộng sự [11] đã sử dụng nano bạc Gr-Ag để cải tiến bộ lọc HEPA (High-Efficiency Particulate Air)

và cho thấy khả năng ức chế *S. aureus* và *E. coli* cao hơn đáng kể khi sử dụng hàm lượng Ag cao đến 5%. Cơ chế diệt khuẩn chưa được đánh giá trong nghiên cứu này, tuy nhiên theo Kim và cộng sự [12] khi sử dụng Graphene oxit (GO) kết hợp molybdenum disulfide (MoS₂) tạo thành các tấm nanocomposit GO-MoS₂ trên chất nền trong suốt có thể diệt vi khuẩn *Gram (-)*, *E. coli* ở qui mô thực tế. Cơ chế đưa ra là do vật liệu đã tăng cường khả năng oxy hóa glutathione và tăng một phần độ dẫn điện. Tuy nhiên, vật liệu chế tạo có tiềm năng ứng dụng diệt khuẩn trong không khí cả trong nhà và ngoài trời do có thể bám dính được cả trên tường xi măng, thạch cao. Ngoài ra, định hướng ứng dụng vật liệu là dùng dạng huyền phù phun trên bề mặt trực tiếp không trộn với các dung dịch sơn.

Bảng 5. Kết quả diệt vi khuẩn, nấm của dung dịch HA/N-TiO₂ ở quy mô thực tế

TT	Thông số vi sinh vật	Phương pháp phân tích	Kết quả (CFU/m ²)					
			Trước khi sử dụng dung dịch thử nghiệm và sơn thương mại			Sau 30 ngày sử dụng dung dịch thử nghiệm và sơn thương mại		
			T1 ₍₀₎	T2 ₍₀₎	T3 ₍₀₎	T1 ₍₇₎	T2 ₍₇₎	T3 ₍₇₎
1	Vi khuẩn <i>Gram (-)</i>	TCVN 12974:2020	2,3x10 ⁶	2,66x10⁶	2,4x10 ⁶	2,1x10 ⁶	1,27x10⁵	5,5x10 ⁵
2	Vi khuẩn <i>Gram (+)</i>	TCVN 4884-1:2015	6,5x10 ⁵	5,8x10⁵	6,25x10 ⁵	6,33x10 ⁵	1,3x10⁴	1,21x10 ⁵
3	Bào tử nấm mốc	TCVN 8275-1:2010	5,85x10 ⁵	1,1x10⁵	1,18x10 ⁵	5,5x10 ⁵	1,13x10⁴	1,27x10 ⁴

Chú thích: T1: mẫu tường không sơn; T2: mẫu tường sử dụng sơn nano HA/N TiO₂; T3: mẫu tường sử dụng sản phẩm sơn thương mại.



Hình 5. So sánh kết quả diệt vi khuẩn của dung dịch HA/N-TiO₂ và dung dịch dạng sơn của Nhật Bản ở quy mô thực tế (VT1; VT2, VT3 - vị trí 1,2,3 tương ứng ở mép trái, phải và giữa khu vực lấy mẫu; ĐT là mẫu của đề tài; NB là mẫu sơn của Nhật Bản).

4. Kết luận

Vật liệu HA/N-TiO₂ dạng dung dịch được tổng hợp qua 2 giai đoạn: tổng hợp bột nano N-TiO₂ và tổng hợp bột nanocomposite HA/N-TiO₂ có tính ổn định, có cấu trúc tinh thể rõ nét, đồng đều, kích thước 10-30 nm. Thành phần HA xuất hiện trong cấu trúc của tinh thể TiO₂, kết lắng tốt nhất trong khoảng 3 – 6 giờ.

Ở qui mô phòng thí nghiệm, khả năng diệt khuẩn của gạch men có phủ dung dịch HA/N-TiO₂ cho hiệu quả rõ rệt. Số lượng vi sinh vật đã giảm từ 100 xuống còn 53,6; 27,3 và 4,0% tương ứng sau 1, 3 và 6 giờ chiếu sáng bằng đèn huỳnh quang 20W. Sau 9 giờ vi sinh vật thử nghiệm đã bị diệt hoàn toàn. Ở qui mô thực tế, số lượng vi khuẩn bị tiêu diệt khi sử dụng dung dịch HA/N-TiO₂ phun phủ bề mặt giảm đáng kể so với số lượng vi khuẩn, mốc trên bề mặt tường không được phủ, đạt cao hơn khoảng 20% sau 30 ngày.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin trân trọng cảm ơn Đề tài thuộc Chương trình nghiên cứu phát triển sản phẩm thương mại cấp Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, mã số UDSPTM.03/22-23 đã hỗ trợ nghiên cứu.

Tài liệu tham khảo

- [1] M. I. Hidayat et al., Green Synthesis of Chitosan-Stabilized Silver-colloidal Nanoparticles Immobilized on White-Silica-Gel Beads and the Antibacterial Activities in A Simulated-air-filter, *Arabian Journal of Chemistry*, Vol. 15, No. 2, 2022, pp. 103596.
- [2] W. Dong et al., Carbon Nanotube-based Photothermal Membrane for Efficient Cold Air Heating and Removal of Particulate Matter and Airborne Bacteria, *Green Carbon*, Vol. 2, No. 1, 2024, pp. 101-108.
- [3] N. T. Hue, M. T. A. Thu, Production Process of Nitrogen-doped Titanium Dioxide Nanomaterials Coated with Hydroxyl Apatite, GPHI patent No. 2319, Decision No. 4860w/QD - SHTT dated May 7, 2020 (in Vietnamese).
- [4] Ministry of Science and Technology. TCVN 2097:2015 by the National Technical Standards Committee TCVN/TC35: Paints and Varnishes (in Vietnamese).
- [5] N. T. Hue, M. T. A. Thu, Research on Manufacturing and Evaluating the Antifungal Effect of Hydroxyl Apatite/TiO₂ Nano Paint in Hospitals, National Biotechnology Conference, 2013 (in Vietnamese).
- [6] S. Feng, F. Zhang et al., Physico-mechanical and Antibacterial Properties of PLA/TiO₂ Composite Materials Synthesized Via Electrospinning and Solution Casting Processes, *Coatings*, Vol. 9, No. 8, 2019, pp. 525.
- [7] A. G. Adeniyi et al., Banana and Plantain Fiber-Reinforced Polymer Composites, *Journal of Polymer Engineering*, Vol. 39, No. 7, 2019, pp. 597-611.
- [8] A. Besinis et al., Antibacterial Activity and Biofilm Inhibition by Surface Modified Titanium Alloy Medical Implants Following Application of Silver, Titanium Dioxide and Hydroxyapatite Nanocoatings, *Nanotoxicology*, Vol. 11, No. 3, 2017, pp. 327-338.
- [9] N. T. Hue, M. T. A. Thu, Study on Fabrication of Hydroxyl Apatite/TiO₂ Suspension and Assessment of Its Ability of Disintegrating Toxic Substances in the Air Environment, The 3rd International Workshop on Nanotechnology and Application, Vietnam, November 10-12, 2011.
- [10] N. T. Huu et al., Study on Mechanical and Antibacterial Properties of Nanocomposites Based on Polylactic Acid (PLA) and Ag/TiO₂. *Journal of Science and Technology*, Vol. 59, No. 2B, 2023, pp. 140-143 (in Vietnamese).
- [11] A. Ciorîță et al., Antibacterial Enhancement of High-Efficiency Particulate Air Filters Modified with Graphene-Silver Hybrid Material, *Microorganisms*, Vol. 11, No. 3, 2023, pp. 745.
- [12] T. I. Kim, B. Kwon et al., Antibacterial Activities of Graphene Oxide-molybdenum Disulfide Nanocomposite Films, *ACS Applied Materials & Interfaces*, Vol. 9, No. 9, 2007, pp. 7908-7917.