

Đánh giá hiệu quả xử lý nước thải có chứa thuốc trừ sâu Vitashield 40 EC bằng phương pháp kết hợp lý hóa và sinh học

Assessment of the effectiveness of combined physicochemical and biological methods for treating wastewater containing Vitashield 40 EC pesticide

Trần Ngọc Hạnh^{1*}, Tiêu Tuấn Phong², Trần Quang Nhật³ và Nguyễn Văn Tho³

¹ Khoa Nông nghiệp - Thủy sản, Trường Đại học Bạc Liêu;

² Khoa Kỹ thuật Công nghệ - Môi trường, Trường Cao đẳng Cần Thơ;

³ Khoa Kỹ thuật Hạ tầng đô thị - Trường ĐHXD Miền Tây;

* Tác giả liên hệ: tnhanh@blu.edu.vn

■ Nhận bài: 16/08/2024 ■ Sửa bài: 03/11/2024 ■ Duyệt đăng: 27/11/2024

TÓM TẮT

Mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá khả năng phân hủy thuốc trừ sâu Vitashield 40EC trong nước thải bằng chất xúc tác TiO_2 kết hợp với xử lý sinh học trong bể bùn hoạt tính. TiO_2 được sử dụng ở các tỷ lệ từ 0,75 đến 2 g/L và nồng độ Vitashield 40EC là 30 mg/L. Kết quả cho thấy với nồng độ TiO_2 1,75 g/L có hiệu quả phân hủy Vitashield 40EC cao nhất và thời gian phân hủy tối ưu là 10 phút. Khi được xử lý sinh học, với thời gian lưu 8 giờ, hiệu suất loại bỏ COD của bể bùn hoạt tính đạt 78% và loại bỏ được 80% tổng lượng photpho. Sau khi xử lý, COD trong nước thải đạt tiêu chuẩn loại A, tổng lượng photpho đạt tiêu chuẩn loại B (TCVN 5945-2010). Kết quả này cho thấy rằng có thể sử dụng kết hợp chất xúc tác TiO_2 và bể bùn hoạt tính để xử lý nước thải chứa thuốc trừ sâu.

Từ khóa: bùn hoạt tính, nước thải thuốc trừ sâu, oxy hóa nâng cao, quang xúc tác TiO_2 , thuốc trừ sâu Vitashield 40EC.

ABSTRACT

The objective of this study was to assess the ability of the photocatalyst, TiO_2 , in combination with biological treatment in an activated sludge tank, to decompose the pesticide Vitashield 40EC in waste water. TiO_2 was applied at rates from 0,75 to 2 g/L and the concentration of Vitashield 40EC was 30 mg/L. The results showed that a TiO_2 concentration of 1,75 g/L was most effective in decomposing Vitashield 40EC and the optimum time for decomposition was 10 minutes. When biologically treated, with a retention time of 8 hours, the COD removal efficiency of the activated sludge tank reached 78%, and 80% of the total phosphorus was removed. After treatment, COD in the wastewater met the standard of type A, total phosphorus met the standard of type B (TCVN 5945-2010). These results suggested that a combination of the photocatalyst, TiO_2 , and an activated sludge tank could be used to treat wastewater containing pesticide.

Keywords: activated sludge, pesticide wastewater, advanced oxidation, TiO_2 photocatalyst, Vitashield 40EC pesticide.

1. GIỚI THIỆU

Bên cạnh việc giúp tăng năng suất, sản lượng thì việc sử dụng quá mức các hóa chất bảo vệ thực vật đã gây ra những tác động không mong muốn và nguy hiểm, dẫn đến mất cân bằng sinh thái [1-5]. Khoảng 1–3% thuốc trừ sâu được phun cho cây trồng sẽ tác

động đến loài cụ thể, trong khi lượng thuốc còn lại sẽ ảnh hưởng đến các sinh vật không phải mục tiêu hoặc xâm nhập vào hệ sinh thái và gây ô nhiễm không khí, nước và đất [6]. Đặc biệt là các hợp chất bền vững, khó phân hủy trong môi trường sẽ gây ảnh hưởng rất lớn đến sức khỏe con người và động vật. Theo

Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), hàng năm có khoảng 3.000.000 trường hợp ngộ độc thuốc trừ sâu và 220.000 ca tử vong được xác nhận ở các nước đang phát triển [7]. Thuốc trừ sâu có nguy cơ tiếp xúc cao hơn với khoảng 2,2 triệu người, phần lớn trong số họ sống ở các nước đang phát triển [8].

Trên thế giới đã có nhiều công trình nghiên cứu về xử lý nước thải thuốc bảo vệ thực vật trong đó việc áp dụng các quá trình oxy hóa nâng cao như quang xúc tác đã mang lại nhiều kết quả khả quan. Nghiên cứu của Zeng và cộng sự (2010) sử dụng TiO_2 kết hợp Re^{3+} ở liều lượng 0,4 g/L để phân hủy quang xúc tác của dung dịch carbofuran ở các nồng độ 0,2, 0,4, 0,8 g/L; kết quả đạt được tỷ lệ phân hủy cao nhất là 54,89% sau 4 giờ thí nghiệm [9]. Nghiên cứu của Hassan và cộng sự (2023) bằng cách kết hợp Mo-TiO_2 làm chất bán dẫn, oxit graphene (oxit than chì) làm chất hỗ trợ và vụn sắt làm vật liệu từ tính tạo nên nanocomposite có khả năng hấp thụ ánh sáng khả kiến để thực hiện quá trình oxy hóa quang xúc tác các POP và PCB. Kết quả hiệu suất phân hủy quang xúc tác sử dụng nanocomposite $\text{Mo-TiO}_2/\text{GO}/\text{MS}$ của 17 loại thuốc trừ sâu có clo là hơn 55%; trong đó cao nhất là 94,29% đạt được đối với thuốc trừ sâu Endrine trong 60 phút; hiệu suất phân hủy PCB 148 và PCB 15 lần lượt là 83,42% và 67,82% [10]. Nghiên cứu của Min Li và cộng sự (2024) đã dùng phương pháp gia nhiệt mới để tối ưu hóa màng nano ZnO/TiO_2 cho phản ứng phân hủy quang xúc tác thuốc kháng sinh và thuốc nhuộm; kết quả cho thấy hiệu suất loại bỏ ciprofloxacin (CIP) có thể đạt 97,3%, loại bỏ 99,5% ofloxacin (OFX) và 77,6% tetracycline (TC) trong 2 giờ và 94,1% Rhodamine B (RhB) trong 1 giờ [11].

Hóa chất bảo vệ thực vật và nước thải từ việc sản xuất chúng chứa những chất độc hại và khó phân hủy nên cần phải loại bỏ khỏi môi trường. Mục tiêu của nghiên cứu là nước thải có chứa thuốc trừ sâu Vitashield 40EC sau quá trình xử lý kết hợp hóa lý và sinh học sẽ đạt tiêu chuẩn TCVN 5945-2010/BTNMT.

Trong nghiên cứu này, thuốc trừ sâu Vitashield 40EC được chọn để thí nghiệm

do được sử dụng rộng rãi, có hoạt chất là Chlorpyrifos thuộc họ lân hữu cơ, thuộc nhóm độc II, có thời gian phân hủy trung bình [12] và hiện tại cũng chưa có nghiên cứu nào về xử lý nước thải có chứa thuốc trừ sâu này. Trong phương pháp hóa lý, tác nhân quang xúc tác TiO_2 được sử dụng do những ưu điểm như không độc hại, tương thích sinh học, chi phí thấp, ổn định cấu trúc hóa học, dễ cố định trên nhiều bề mặt, khả năng oxy hóa cao [13]. Nghiên cứu được thực hiện thông qua các thí nghiệm: Thí nghiệm thứ nhất sẽ xác định liều lượng và thời gian xử lý hiệu quả nhất của tác nhân quang xúc tác TiO_2 đối với thuốc trừ sâu; Thí nghiệm thứ hai sẽ xác định thời gian xử lý nước thải thuốc trừ sâu sau khi xử lý bằng quang xúc tác tối ưu của bể bùn hoạt tính hoạt động theo mẻ với thời gian lưu nước là 6 và 8 giờ. Hiệu quả của nghiên cứu sẽ được đánh giá thông qua việc giảm nồng độ COD của thuốc trừ sâu theo thời gian xử lý. Kết quả nghiên cứu sẽ là cơ sở để đưa ra những khuyến cáo hoặc đề xuất các giải pháp thích hợp và hiệu quả đối với việc xử lý nước thải thuốc trừ sâu.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Địa điểm, thời gian nghiên cứu và đối tượng thí nghiệm

Địa điểm, thời gian nghiên cứu: Nghiên cứu được thực hiện tại phòng thí nghiệm Khoa Nông nghiệp - Trường Đại học Bạc Liêu. Thời gian: từ ngày 05/09/2023 đến ngày 14/12/2023

Đối tượng thí nghiệm:

+ Thuốc trừ sâu Vitashield 40EC do công ty Thanh Sơn Hóa Nông sản xuất, có hoạt chất là Chlorpyrifos với nồng độ là 400 g/L.

+ Bùn sử dụng vận hành bể bùn hoạt tính lấy tại công ty CP Bì Sà Gòn – Bạc Liêu khu công nghiệp Trà Kha, Thành phố Bạc Liêu và được nuôi trong điều kiện phòng thí nghiệm bằng nước thải của nhà máy pha với thuốc trừ sâu.

2.2. Các bước thực hiện thí nghiệm

2.2.1. Giai đoạn chuẩn bị

Lập đường chuẩn COD bằng cách pha thuốc trừ sâu ở các nồng độ 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 mg/L; sau đó đem đo độ hấp thụ quang ở bước sóng 600 nm.

Nuôi bùn để tạo môi trường thích nghi cho vi sinh vật phát triển: Bùn lấy tại bể lắng của hệ thống xử lý nước thải công ty CP Bia Sài Gòn – Bạc Liêu được đưa về phòng thí nghiệm và nuôi bằng nước thải của công ty kết hợp với nước thải thuốc trừ sâu nhằm tạo dòng vi khuẩn thích nghi; đến khi nồng độ bùn (MLSS) nằm trong khoảng từ 2500 – 3500 mg/L thì tiến hành thực hiện thí nghiệm.

Nồng độ thuốc trừ sâu Vitashield 40EC được xử lý bằng tác nhân hoá lý được pha là 30 mg/L.

2.2.2. Giai đoạn tiến hành thí nghiệm

Thí nghiệm 1: Đánh giá hiệu quả xử lý của tác nhân quang xúc tác theo liều lượng TiO_2 và thời gian chiếu sáng

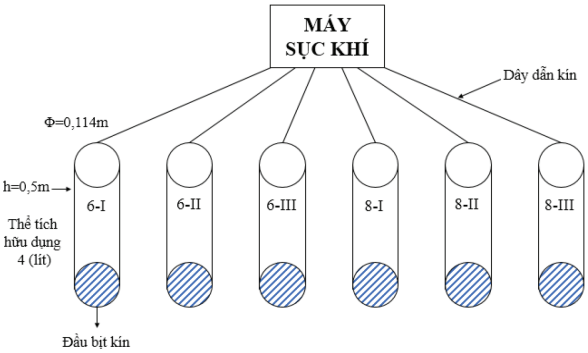
Thí nghiệm được bố trí trong 1 ống nhựa tự chế thể tích khoảng 300 mL có kết hợp khuấy từ, sục khí, chiếu sáng bằng bóng đèn UVA (có thông số kỹ thuật: Điện áp: 220V – 50Hz; Công suất: 15W; Kích thước: 4.5cmx20cm) ở bước sóng 350 nm, điều kiện nhiệt độ phòng.

Tiến hành thí nghiệm: Cho vào ống nhựa tự chế: 200 mL nước thải, ứng với mỗi lần là một liều lượng TiO_2 xác định; lượng TiO_2 sử dụng lần lượt là 0,75; 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2 g/L. Đặt bóng đèn UVA vào trong nước thải và đậy kín kèm theo khuấy từ, sục khí.

Tiến hành lấy mẫu phân tích chỉ tiêu COD vào khoảng thời gian 10, 20, 30, 40, 50, 60 phút. Thí nghiệm lặp lại 3 lần ứng với từng liều lượng TiO_2 xác định.

Thí nghiệm 2: Đánh giá hiệu quả xử lý nước thải của bể bùn hoạt tính tự tạo giữa thời gian lưu nước 6 giờ và 8 giờ sau khi qua xử lý bằng tác nhân hóa lý đạt hiệu quả cao nhất.

Mô hình thí nghiệm: sử dụng mô hình bể bùn hoạt tính làm việc theo mẻ tự tạo. Mô hình thí nghiệm gồm: Hệ thống chứa nước thải: gồm 6 ống nhựa đường kính 0,114 m; 1 đầu bịt kín với thể tích hữu dụng mỗi ống là 4 lít và chiều cao là 0,5 m; hệ thống cung cấp khí gồm: Máy nén khí loại Pony air - Model 03012; Áp lực cho phép: $P_{max} = 10 \text{ kg/cm}^2$; Áp lực làm việc: $P_w = 8 \text{ kg/cm}^2$.



Hình 1. Mô hình bể bùn hoạt tính

Tiến hành thí nghiệm: Cho vào ống nhựa 0,5 lít bùn và 1,5 lít nước thải sau khi xử lý bằng tác nhân hoá lý, cung cấp khí, sau đó: Tiến hành lấy mẫu đầu vào để phân tích thông số COD, P tổng. Trong quá trình vận hành sẽ tiến hành đo các thông số vận hành gồm: pH, DO, MLSS, MLVSS, F/M của bể bùn. Sau thời gian sục khí cần thiết, ngừng cung cấp khí, để lắng 1 giờ sau đó rút phần nước trong đem phân tích các thông số như COD, P tổng. Thí nghiệm được tiến hành với 3 chu kỳ liên tiếp.

2.3. Các chỉ tiêu và phương pháp phân tích

Các chỉ tiêu phân tích và phương pháp phân tích được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1: Phương pháp và các phương tiện phân tích các chỉ tiêu nước thải của thuốc trừ sâu [14, 15]

Chỉ tiêu	Phương pháp	Phương tiện
pH	Đo trực tiếp bằng điện cực	Máy đo pH hiệu Orion Model230A.
DO	Đo trực tiếp bằng điện cực	Máy đo Oximeter WTW 330
P tổng	Phương pháp $SnCl_2$	Cuvet 1cm Máy so màu quang phổ Jenway 6300 Spectrophotometer Các hoá chất cần thiết
MLVSS (chất rắn lơ lửng bay hơi trong hỗn dịch nước thải)	Phương pháp định trọng lượng xác	Cốc sứ Cân điện tử Sartorius CP 324S Tủ sấy hiệu Melag 405 Máy nung Heraeus Hanau
COD	Dicromate đun kín	Ống nghiệm COD Tủ sấy hiệu Melag 405 Các hoá chất cần thiết

Các quy trình phân tích dựa theo Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (AWWA – APHA, 1995), QCVN 08:2023/BTNMT được áp dụng tại phòng thí nghiệm Khoa Nông nghiệp.

2.5. Xử lý số liệu

Xử lý bảng tính, vẽ biểu đồ được thực hiện bằng phần mềm Microsoft Excel và phần mềm thống kê SPSS.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thí nghiệm dùng tác nhân quang xúc tác TiO_2 để xử lý thuốc trừ sâu Vitashield 40 EC

Từ đồ thị Hình 1 cho thấy: Nồng độ COD giảm theo thời gian xử lý, giảm nhanh trong 10 phút đầu, từ 10 phút trở đi nồng độ COD có giảm nhưng chậm hơn ban đầu. Khả năng phân hủy thuốc trừ sâu tăng khi tăng lượng TiO_2 sử dụng, tuy nhiên khi tăng đến nồng độ 1,75 g/L thì khả năng phân hủy không tăng nữa. Điều này có thể giải thích như sau: Khi cho chất xúc tác TiO_2 vào nước thải dưới tác dụng của ánh sáng, nó sẽ tạo ra các gốc tự do hydroxyl $\bullet OH$ (có khả năng oxy hóa cực mạnh) sẽ khoáng hóa các hợp chất hữu cơ khó phân hủy thành những chất đơn giản; 10 phút đầu phản ứng quá trình $\bullet OH$ tạo ra nhiều nên khả phân hủy thuốc trừ sâu nhanh, càng về sau sự hình thành $\bullet OH$ giảm thì quá trình phân hủy COD chậm dần. Ngoài ra, khi tăng liều lượng TiO_2 thì quá trình hình thành $\bullet OH$ càng nhiều, khả năng phân hủy càng cao; tuy nhiên khi TiO_2 nồng độ càng cao mà cường độ ánh sáng không đổi

thì sự hình thành gốc tự do hydroxyl sẽ không tăng lên do đó khả năng phân hủy COD của quá trình có chiều hướng giảm. Do đó TiO_2 ở liều lượng 1,75 (g/L) thì khả năng phân hủy thuốc trừ sâu đạt hiệu quả cao nhất so với các nồng độ khác ở cùng mức thời gian phản ứng. Sau 1 giờ phân hủy thì nồng độ COD còn lại là: 33,54 mg/L, đạt hiệu suất 70,5%. Từ kết quả thu được thì mức thời gian phân hủy thích hợp cho thuốc trừ sâu Vitashield 40EC bằng tác nhân quang xúc tác TiO_2 được chọn là 10 phút, ứng với liều lượng TiO_2 là 1,75 (g/L). Kết quả này sẽ được áp dụng để xử lý nước thải thuốc trừ sâu trước khi tiến hành thí nghiệm trên mô hình bể bùn hoạt tính.

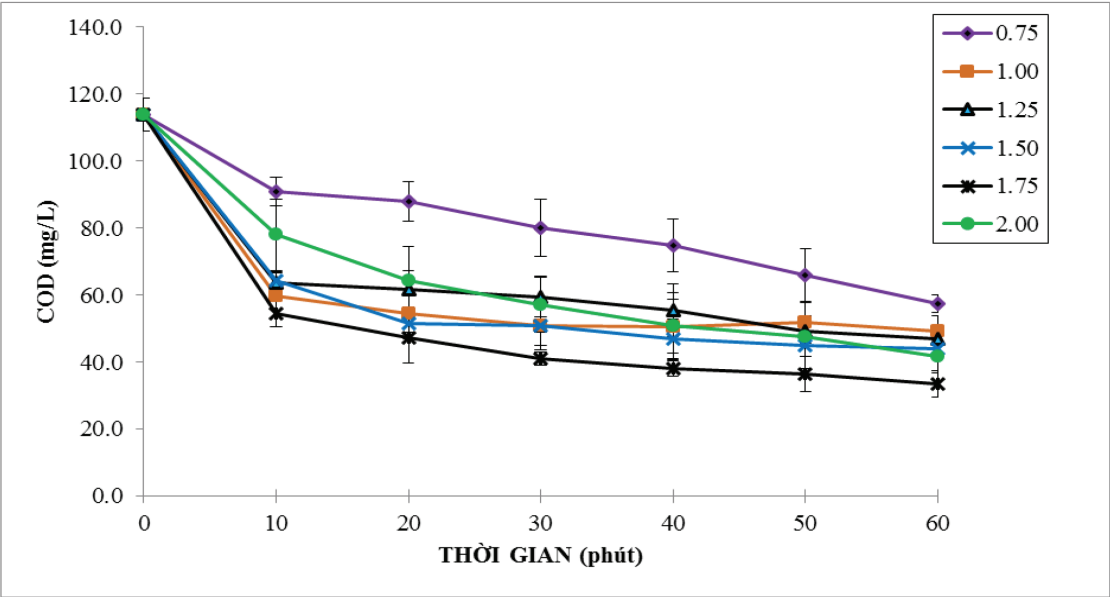
3.2. Thí nghiệm xử lý nước thải sau phản ứng quang xúc tác TiO_2 bằng bể bùn hoạt tính

Kết quả đo các thông số trong quá trình vận hành bể bùn hoạt tính khi cho nước thải sau xử lý bằng tác nhân TiO_2 được thể hiện trong Bảng 2 như sau:

Ghi chú: Các đơn vị áp dụng trong Bảng 3

- + DO: mg/L
- + pH: không có đơn vị
- + MLSS: mg/L
- + MLVSS: mg/L
- + F/M: d-1

Từ kết quả Bảng 2 cho thấy các thông số hoạt động của bể bùn hoạt tính như DO, pH, MLSS, MLVSS, F/M đều phù hợp để đưa vào vận hành hệ thống bùn hoạt tính xử lý nước thải.



Hình 2. Khả năng phân hủy thuốc trừ sâu Vitashield 40EC theo thời gian và liều lượng TiO_2

Bảng 2: Các thông số vận hành của bể bùn hoạt tính đối với nước thải thuốc trừ sâu Vitashield 40 EC sau xử lý bằng tác nhân TiO₂

Thông số	Chu kỳ	Thời gian lưu nước 6 giờ			Thời gian lưu nước 8 giờ		
		I-1	I-2	I-3	I-1	I-2	I-3
DO	1	5,10	4,70	4,30	5,90	5,80	5,80
DO	2	4,90	4,70	3,80	6,20	5,60	6,10
DO	3	5,80	5,20	4,40	5,80	5,00	4,90
pH	1	7,43	7,48	7,64	7,60	7,60	7,66
pH	2	6,69	6,91	6,98	7,00	6,96	7,03
pH	3	6,69	6,79	6,80	6,65	6,83	6,73
MLSS	1	3650	3700	3782	3352	3194	3376
MLSS	2	2984	3076	2904	2238	2112	2416
MLSS	3	2984	2682	3190	2934	3276	3010
MLVSS	1	2556	2590	2648	2346	2236	2364
MLVSS	2	2088	2154	2032	1566	1478	2234
MLVSS	3	2088	1878	2234	2054	2294	2106
F/M	1	0,061	0,060	0,059	0,088	0,093	0,088
F/M	2	0,077	0,075	0,079	0,137	0,145	0,127
F/M	3	0,074	0,083	0,070	0,101	0,090	0,098

Kết quả đo các COD và photpho tổng của nước thải sau xử lý bằng bùn hoạt tính được thể hiện trong Bảng 3 như sau:

Kết quả đo nồng độ COD của nước thải thuốc trừ sâu sau xử lý bằng bể bùn hoạt tính được thể hiện qua Hình 2.

Bảng 3: Kết quả thí nghiệm vận hành thí nghiệm bể bùn hoạt tính ở thời gian 6 giờ và 8 giờ của nước thải thuốc trừ sâu Vitashield 40 EC sau phản ứng quang xúc tác TiO₂

Chi tiêu (mg/L)	Chu kỳ	Đầu vào	Sau xử lý bằng quang xúc tác TiO ₂	Sau trộn với bùn hoạt tính	Thời gian lưu nước 6 giờ	Thời gian lưu nước 8 giờ
COD	1	183,43±1,69	72 ± 2	105,05	44,18 ± 2,47	21,55 ± 0,93
COD	2			108,28	43,10 ± 3,36	23.16 ± 4.07
COD	3			109,90	42,56 ± 1,87	26,40 ± 0,93
P _{tổng}	1	-	13,67±0,61	19,93	6,93 ± 0,41	3,75 ± 0,34
P _{tổng}	2			19,69	6,68 ± 0,27	4,32 ± 0,63
P _{tổng}	3			21,55	7,29 ± 0,25	4,29 ± 0,64

Từ đồ thị Hình 2 cho thấy: Nồng độ COD của thuốc trừ sâu sau khi xử lý bằng tác nhân quang xúc tác TiO₂ vẫn còn cao chưa đạt tiêu chuẩn loại A – TCVN 5945-2010 [16]. Nồng độ COD trong nước thải giảm sau công đoạn

xử lý bằng quang xúc tác TiO₂ nhưng sau khi trộn với bùn hoạt tính thì nồng độ COD của nước thải tăng lên do có thêm COD của bùn. Sau khi xử lý bằng bể bùn hoạt tính thì nồng độ COD của nước thải đều đạt loại A (TCVN

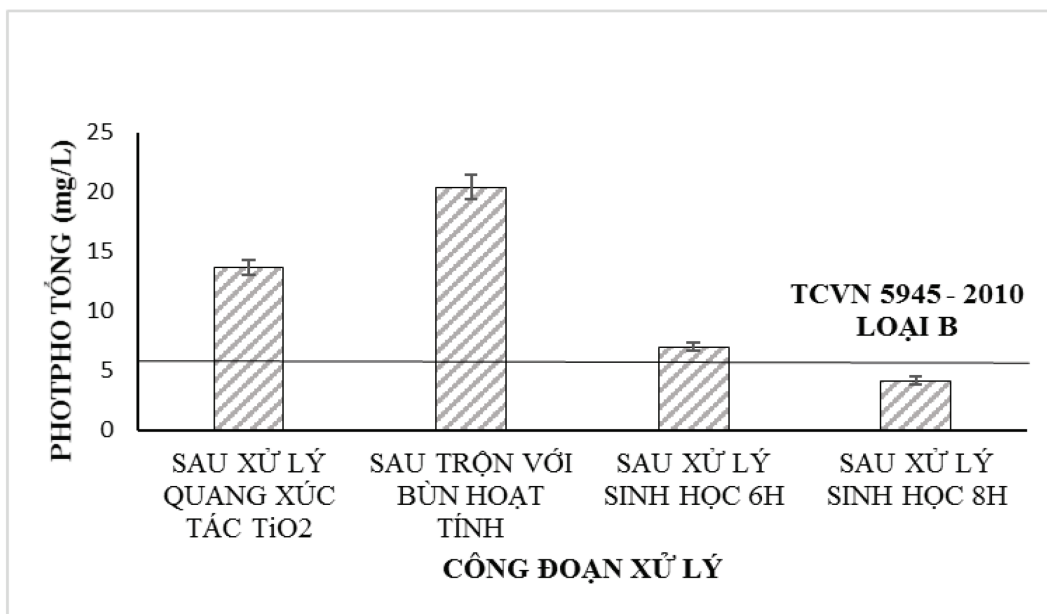
5945-2010) đối với mức 6 giờ và 8 giờ. Sau khi xử lý bằng tác nhân quang xúc tác TiO_2 thì các chất hữu cơ khó phân hủy trong nước thải thuốc trừ sâu đã được khoáng hóa thành các hợp chất đơn giản nhưng chưa triệt để, nồng độ chất ô nhiễm vẫn còn cao hơn tiêu chuẩn thải, do đó phải qua công đoạn xử lý sinh học bằng bể bùn hoạt tính; tại đây nhờ quá trình phân hủy của các nhóm vi sinh vật hiếu khí trong bùn nên các chất hữu cơ còn lại sẽ tiếp tục được oxy hóa hoàn toàn thành CO_2 và H_2O , thời gian xử lý càng lâu thì hiệu quả phân hủy càng cao. Cụ thể: Hiệu quả khử COD của bể bùn hoạt tính sau 6 giờ đạt hiệu suất 60%, còn ở thời gian 8 giờ là 78%.

Kết quả đo nồng độ Photpho tổng của nước thải thuốc trừ sâu sau xử lý bằng bể bùn hoạt tính được thể hiện qua Hình 3.

Từ đồ thị Hình 3 cho thấy: Nồng độ Photpho sau khi xử lý bằng tác nhân quang xúc tác TiO_2 vẫn còn cao, vượt tiêu chuẩn cho phép thải ra môi trường. Sau khi trộn với bùn hoạt tính thì nồng độ Photpho tăng lên do có thêm photpho của bùn. Sau khi xử lý bằng bể bùn hoạt tính, nhờ vào quá trình phân hủy của các nhóm vi sinh vật trong bùn đã góp phần làm giảm nồng độ của photpho trong nước thải, thời gian xử lý càng lâu thì hiệu quả phân hủy càng cao.

Kết quả nồng độ photpho trong nước thải đầu ra đạt loại B (TCVN 5945-2010) đối với mức 8 giờ, đạt loại C đối với mức 6 giờ

Cụ thể hiệu quả khử Photpho ở thời gian lưu nước 6 giờ là 65,8%; còn ở 8 giờ thì hiệu quả xử lý đạt 80%.



Hình 3. Nồng độ Photpho tổng trong nước thải thuốc trừ sâu Vitashield 40 EC qua xử lý bằng quang xúc tác TiO_2 và bùn hoạt tính

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Thí nghiệm nghiên cứu hiệu quả xử lý nước thải thuốc trừ sâu Vitashield 40 EC bằng tác nhân hóa lý kết hợp sinh học đã đạt được một số kết quả như sau: Liều lượng quang xúc tác TiO_2 hiệu quả nhất là 1,75 g/L và thời gian xử lý là 10 phút với hiệu suất phân hủy COD của thuốc trừ sâu đạt 52%; còn phương pháp xử lý bằng bể bùn hoạt tính thì thời gian lưu nước 8 giờ đạt hiệu quả tốt nhất với hiệu suất

loại bỏ COD và Photpho tổng của nước thải lần lượt là 78% và 80%. Kết quả nước thải sau xử lý kết hợp hóa lý và sinh học có COD đạt loại A và P_{tổng} đạt loại B theo TCVN 5945-2010.

Tuy nhiên hiệu quả của quá trình xử lý còn phụ thuộc vào nhiều yếu tố: cường độ chiếu sáng, nồng độ thuốc trừ sâu trong nước thải... Do đó, để có thể ứng dụng quy trình xử lý vào thực tế thì cần phải có những bước nghiên cứu tiếp chuyên sâu hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A. Sasmaz, M. Sasmaz, “The phytoremediation potential for strontium of indigenous plants growing in a mining area”, *Environ. Exp. Bot.* 67, 139–144, 2009.
- [2] S. Hua, J. L. Gong, G. M. Zeng, F. B. Yao, M. Guo, X. M. Ou, “Remediation of organochlorine pesticides contaminated lake sediment using activated carbon and carbon nanotubes”, *Chemosphere* 177, 65–76, 2017.
- [3] Z. Fallah, E. N. Zare, M. Ghomi, F. Ahmadijokani, M. Amini, M. Arjmand, M. Tajbakhsh, G. Sharma, H. Ali, A. Ahmad, P. Makvandi, E. Lichtfouse, M. Sillanp, R. S. Varma, “Toxicity and remediation of pharmaceuticals and pesticides using metal oxides and carbon nanomaterials”, *Chemosphere* 275, 130055, 2021.
- [4] A.S. Ganie, S. Bano, N. Khan, S. Sultana, Z. Rehman, M. M. Rahman, S. Sabir, F. Coulon, M. Z. Khan, “Nanoremediation technologies for sustainable remediation of contaminated environments: recent advances and challenges”, *Chemosphere* 275, 130065, 2021.
- [5] N. Yadav, V. K. Garg, A. K. Chhillar, J. S. Rana, “Detection and remediation of pollutants to maintain ecosustainability employing nanotechnology: a review”, *Chemosphere* 280, 130792, 2021.
- [6] B. R. Souza, G. M. Coelho, E. C. Rocha, F. G. Jesus, A. Menezes, M. S. Araújo, “Topical toxicity of *Esenbeckia pumila* extracts on leaf-cutting ants *Atta laevigata* and *Acromyrmex balzani*”, *J. Agric. Sci.* 9, 248–258, 2017.
- [7] A. Anju, S. P. Ravi, S. Bechan, “Water pollution with special reference to pesticide contamination in India”, *J. Water Resour. Protect.* 1–7, 2018.
- [8] L. A. Helfrich, D. L. Weigmann, P. A. Hipkins, E. R. Stinson, “Pesticides and Aquatic Animals: a Guide to Reducing Impacts on Aquatic Systems”, *Virginia Cooperative Extension*, Blacksburg, 2019.
- [9] R. Zeng, J. Wang, J. Cui, L. Hu, M. U Kangguo, “Photocatalytic degradation of pesticide residues with RE³⁺-doped nano-TiO₂”, *JOURNAL OF RARE EARTHS*, Vol. 28, Spec. Issue, Dec. 2010, p. 353.
- [10] S. S. M. Hassan, A. N. El-Shazly, A. M. Ismael, M. M. Yehia, A. H. Kamel, M.M. Rashad, “Enhanced photocatalytic degradation of chlorinated pesticides and polychlorinated biphenyls using Mo–TiO₂/GO/MS nanocomposite”, *Optical Materials* 142, 2023.
- [11] M. Li, R. Zhang, Z. Zou, L. Zhang, H. Ma, “Optimizing physico-chemical properties of hierarchical ZnO/TiO₂ nano-film by the novel heating method for photocatalytic degradation of antibiotics and dye”, *Chemosphere*, 346–354, 2024.
- [12] Cục kiểm soát ô nhiễm môi trường - Trung tâm Quan trắc MT Miền nam, “Tìm hiểu về thuốc bảo vệ thực vật: phân loại và độc tính”, 01/07/2022. [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://scem.gov.vn/vi/phan-tich/dioxin-va-chat-doc/tim-hieu-ve-thuoc-bao-ve-thuc-vat-phan-loai-va-doc-tinh-12.html>. [Truy cập 12/11/2023].
- [13] M. Zeshan, I.A. Bhatti, M. Mohsin, M. Iqbal, N. Amjed, J. Nisar, N.A. Masoud, T.S. Alomar, “Remediation of pesticides using TiO₂ based photocatalytic strategies: A review”, *Chemosphere* 300, 134525, 2022.
- [14] APHA, AWA and WEF, “Standard methods for the examination of water and wastewater”, 19th edition. *American public Health Association 1015 Fifteenth Street*, NW Washington, DC 20005, 1999.
- [15] QCVN 08:2023/BTNMT, “Quy chuẩn Kỹ thuật quốc gia về Chất lượng nước mặt”, *Bộ Tài nguyên và Môi trường*, 2023.
- [16] TCVN 5945-2010/BTNMT, “Tiêu chuẩn quốc gia về Nước thải công nghiệp – Tiêu chuẩn thải”, *Bộ Tài nguyên và Môi trường*, 2010.