

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ PLASMA LẠNH TRONG XỬ LÝ NƯỚC

A STUDY OF COLD PLASMA FOR WATER TREATMENT

Nguyễn Văn Dũng, Mai Phước Vinh, Nguyễn Thị Loan, Phạm Văn Toàn

Trường Đại học Cần Thơ; nvdung@ctu.edu.vn

Tóm tắt - Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu về plasma lạnh để xử lý nước. Plasma lạnh được tạo ra từ phương pháp phóng điện màn chắn với điện áp 15 kV và tần số 30 kHz. Công suất tổng của hệ thống đo được là 220 W. Lưu lượng nước và lưu lượng khí qua mỗi buồng plasma lần lượt là 0,7 lít/phút và 12 lít/phút. Kết quả thí nghiệm cho thấy plasma lạnh diệt gần như hoàn toàn Coliforms và *E. coli* chỉ cần nước được luân chuyển qua buồng plasma 1 hoặc 2 lần. Ngoài ra, plasma lạnh còn cho thấy khả năng phân rã hoạt chất Fenobucarb trong nước thải thuốc bảo vệ thực vật thông qua sự sụt giảm chỉ tiêu COD và dư lượng hoạt chất Fenobucarb. Tuy nhiên phương pháp tạo ra plasma lạnh bằng phóng điện màn chắn cũng gây ra các tác động phụ đến nước sau khi xử lý như tăng độ dẫn điện, giảm độ pH và đặc biệt là gia tăng rất mạnh nồng độ NO_2^- và NO_3^- .

Từ khóa - plasma lạnh; điện áp cao; tần số cao; xử lý nước; coliforms; *E. coli*; Fenobucarb

Abstract - This paper presents the results of using cold plasma for water treatment. Cold plasma is generated with the method of dielectric barrier discharges with voltage of 15 kV and frequency of 30 kHz. Total power of water treatment system is about 220 W. Water flow and air flow are 0,7 liter/minute and 12 liter/minute respectively. Experimental results show that cold plasma destroys or inactivates nearly all Coliforms and *E. coli* with only 1 or 2 times circulation through a plasma chamber of water. Besides, cold plasma can decompose Fenobucarb compound in pesticide-containing wastewater. However, the method of dielectric barrier discharges also create side-effects on water treatment such as an increase in electric conductivity, a reduce in pH and especially a very strong increase in concentration of NO_2^- and NO_3^- .

Key words - cold plasma; high voltage; high frequency; water treatment; coliforms; *E. coli*; Fenobucarb

1. Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, nghiên cứu plasma lạnh để xử lý nước là chủ đề thu hút sự quan tâm của nhiều nhà khoa học trên thế giới [1-6]. Công nghệ plasma lạnh kết hợp tác động của tia cực tím (UV) và các thành phần oxy hóa mạnh nên hiệu quả diệt khuẩn cao. Plasma lạnh có hiệu quả cao trong việc xử lý *E. coli*. Sau thời gian xử lý khoảng 90 s, toàn bộ *E. coli* trong nước có nồng độ 3×10^5 cfu/ml bị bất hoạt [8]. Kết quả tương tự cũng được trình bày tại [3, 7-9].

Plasma lạnh có khả năng phân rã các hợp chất hữu cơ được biểu hiện thông qua việc giảm hàm lượng COD và BOD_5 đo được giảm rất mạnh cũng như sự đổi màu của nước sau khi xử lý [2, 3, 9]. Ngoài ra, plasma lạnh có thể phân rã dư lượng thuốc kháng sinh sulfadiazine (SDZ) được sử dụng trong chăn nuôi gia súc với hàm lượng 10 mg/L trong vòng 30 phút [4] và phân hủy các chất ô nhiễm có nguồn gốc từ thuốc nhuộm cũng như các hợp chất có chứa clo và nhân benzen [5, 6].

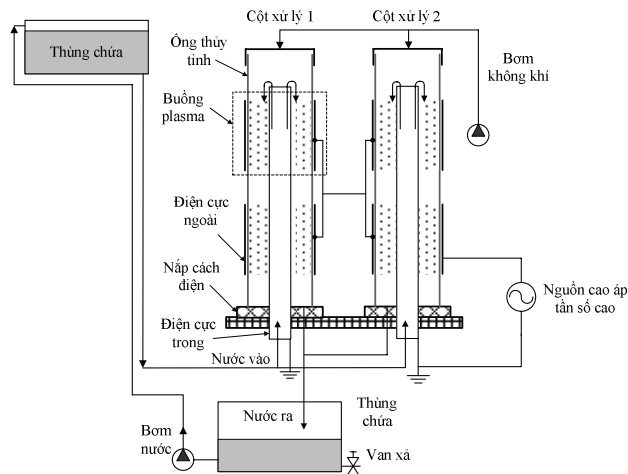
Tại Việt Nam, nghiên cứu về ứng dụng của plasma lạnh chỉ mới bắt đầu trong những năm gần đây với số lượng công trình nghiên cứu rất hạn chế [10-13]. Các ứng dụng của plasma lạnh được nghiên cứu bao gồm: xử lý bề mặt, xử lý khí thải, xử lý dụng cụ y tế, khử trùng hoa quả và xử lý nước. Đối với lĩnh vực xử lý nước, plasma lạnh đã được nghiên cứu để xử lý nước thải y tế và nước uống đóng chai với qui mô nhỏ khoảng vài m^3 /ngày tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thủ Đức [10, 11]. Đối với hệ thống xử lý nước thải y tế, kết quả khảo sát chỉ ra rằng, hiệu suất xử lý BOD_5 là 54%, COD là 51%, nitrat là 50%, phosphat là 60%, coliforms là 99,9% với điện áp 30 kV, dòng điện 4 A và lưu lượng là 500 ml/phút [10]. Đối với hệ thống nước đóng chai, plasma lạnh tiêu diệt hoàn toàn vi khuẩn với lưu lượng nước 0,7 lít/phút/module, điện áp 20 kV và dòng điện 2 A [11].

Mặc dù công nghệ xử lý nước thải y tế và nước uống bằng plasma lạnh trong điều kiện Việt Nam được nghiên cứu rất kỹ trong [10,11], công nghệ này vẫn chưa được nghiên cứu để xử lý một số loại nước khác như nước sông, nước ngầm, nước thải sinh hoạt và nước thải thuốc bảo vệ thực vật. Ngoài ra tác động phụ của plasma lạnh đến nước sau khi xử lý vẫn chưa được nghiên cứu kỹ. Do đó, nghiên cứu khả năng diệt khuẩn của plasma lạnh trong các môi trường nước khác nhau, khả năng phân rã các hợp chất hóa học trong nước thải và tác động phụ của plasma lạnh đến nước sau khi xử lý là rất cần thiết.

2. Bố trí thí nghiệm và trình tự thí nghiệm

2.1. Mô hình thí nghiệm hệ thống xử lý nước bằng plasma lạnh

Sơ đồ hệ thống xử lý được mô tả ở Hình 1. Hệ thống bao gồm 02 cột xử lý, mỗi cột chứa 2 buồng plasma mắc nối tiếp. Mỗi buồng plasma được nối với một bộ nguồn riêng. Không khí được bơm trực tiếp vào buồng plasma từ phía trên. Nước được đưa vào từ bên dưới của buồng plasma thông qua lỗ xuyên tâm của điện cực trong. Hệ thống hoạt động như sau. Nước sẽ theo đường ống từ thùng chứa trên đồng thời đi vào 2 cột xử lý với lưu lượng 0,7 lít/phút/cột xử lý. Khi luân chuyển qua buồng plasma, dưới tác động tổng hợp của UV và các thành phần oxy hóa mạnh trong môi trường nước như O_3 , O, H_2O_2 và gốc tự do $\cdot\text{OH}$, vi khuẩn sẽ bị tiêu diệt và các chất hóa học hữu cơ sẽ bị phân rã. Sau khi qua buồng plasma, nước sẽ theo đường ống trở về thùng chứa dưới. Từ đây, nước được đưa trở lại buồng chứa trên nhờ một bơm nước. Trong quá trình hoạt động, nước cần xử lý sẽ được luân chuyển tuần hoàn giữa các thùng chứa và buồng plasma đến khi đạt được độ “sạch” cần thiết theo tiêu chuẩn và được xả ra ngoài. Sau đó một mẻ nước mới cần xử lý sẽ được bơm vào thùng chứa và một chu kỳ xử lý mới sẽ được lặp lại.



Hình 1. Mô hình bố trí thí nghiệm

2.2. Mẫu nước thí nghiệm

Thí nghiệm sử dụng bốn loại mẫu nước khác nhau. Nước sông lấy tại cầu Bình Thủy, phường Long Hòa, thành phố Cần Thơ (TPCT). Nước ngầm lấy từ cây nước bị nhiễm phen của 01 hộ dân tại lộ vòng cung, An Bình, TPCT. Nước thải sinh hoạt được lấy từ hầm chứa nước thải của Khoa Môi trường và Tài nguyên thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ. Nước thải thuốc bảo vệ thực vật được lấy tại Công ty Cổ phần Thuốc sát trùng Cần Thơ. Thể tích nước cần cho 1 lần thí nghiệm là 20 lít. Số lần lặp lại của thí nghiệm là 03. Nước được đo các chỉ tiêu đầu vào và các chỉ tiêu sau khi được xử lý. Sau mỗi thời gian xử lý là 1h đối với nước sông và nước ngầm, 2h đối với nước thải thuốc bảo vệ thực vật và 3h đối với nước thải sinh hoạt, khoảng 2 lít nước được lấy ra từ hệ thống để đo các chỉ tiêu chất lượng nước.

2.3. Bộ nguồn cao áp tần số cao

Tất cả các thí nghiệm đều được thực hiện trên các bộ nguồn xung cao áp có điện áp đầu ra là 15,6 kV và tần số là 30 kHz. Tổng công suất của thiết bị là 220W (trong đó các bộ nguồn cao áp chiếm 83%; máy bơm nước chiếm 9% và máy bơm không khí chiếm 8%).

2.4. Phương pháp và thiết bị đo các chỉ tiêu

Bảng 1. Phương pháp và thiết bị phân tích các chỉ tiêu

TT	Thông số	Đơn vị	Phương pháp, thiết bị
1	Ozone	mg/L	Máy đo Ozone, Hanna
2	pH	-	Máy đo pH, Hanna
3	Độ dẫn điện (EC)	μS	Máy đo độ dẫn điện Conductivity Meter 4320
4	Nitric (NO_2^-)	mg/L	Phương pháp DIAZO
5	Nitrat (NO_3^-)	mg/L	Phương pháp SALICYLATE SODIUM.
6	BOD_5	mg/L	Winkler
7	COD	mg/L	Phương pháp Dicromate hoàn lưu
8	Tổng Coliform	MPN/100 ml	MPN

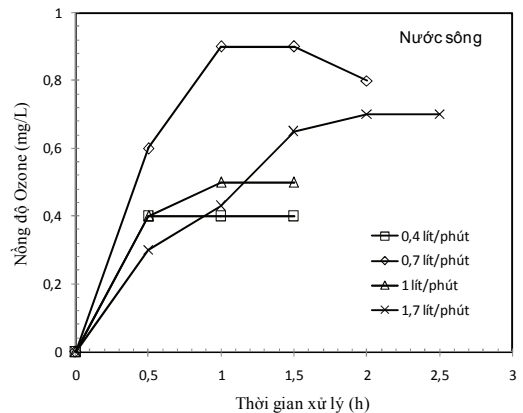
9	E.coli	MPN/100 ml	MPN
---	--------	------------	-----

Các chỉ tiêu chất lượng nước ở đầu vào và đầu ra của mỗi thí nghiệm được phân tích bằng những phương pháp và thiết bị được trình bày trong Bảng 1. Các quy trình phân tích tuân theo tiêu chuẩn “Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995)” bằng các thiết bị tại phòng thí nghiệm thuộc Bộ môn Kỹ thuật Môi trường, Khoa Môi trường và Tài nguyên thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ.

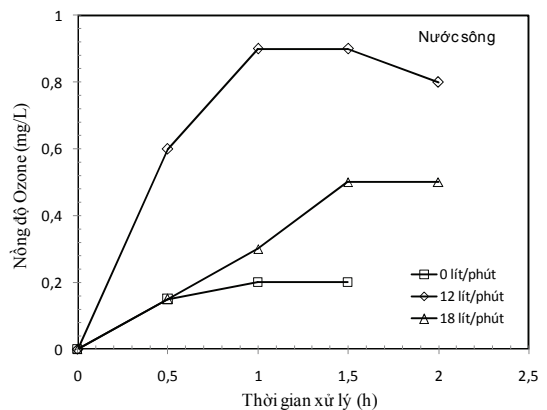
3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Ảnh hưởng của plasma lạnh đến nồng độ ozone trong nước

Ảnh hưởng của thời gian xử lý đến nồng độ ozone (O_3) trong nước với các lưu lượng nước khác nhau được cho ở Hình 2. Với lưu lượng không khí thổi qua buồng plasma là 12 lít/phút, thời gian xử lý tăng sẽ tăng hàm lượng O_3 hòa tan vào trong nước. O_3 có xu hướng bão hòa sau thời gian xử lý 1-1,5 giờ. Điều này có thể do hàm lượng O_3 sinh ra trong môi trường không khí trong khe hở điện cực của buồng plasma cũng đạt đến giá trị bão hòa. Kết quả tương tự ghi nhận được khi thay đổi lưu lượng khí nhưng giữ nguyên lưu lượng nước là 0,7 lít/phút như hình 3. Rõ ràng lưu lượng nước và không khí qua buồng plasma ảnh hưởng rất mạnh đến O_3 .



Hình 2. Ảnh hưởng của thời gian xử lý đến O_3 với các lưu lượng nước khác nhau (lưu lượng không khí qua buồng plasma: 12 lít/phút)

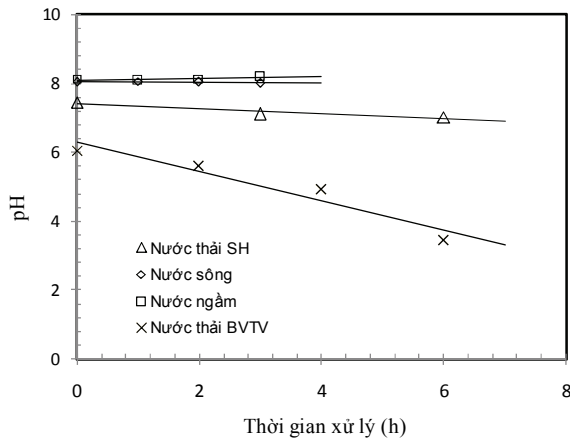


Hình 3. Ảnh hưởng của thời gian xử lý đến O_3 với các lưu lượng không khí khác nhau (lưu lượng nước: 0,7 lít/phút)

Từ Hình 2 và 3, ta có thể thấy nồng độ ozone trong nước đạt giá trị cao nhất ($\approx 0,9$ mg/lít) ứng với lưu lượng nước qua buồng plasma là 0,7 lít/phút và lưu lượng không khí là 12 lít/phút. Do đó lưu lượng nước và không khí tối ưu qua buồng plasma được xác định lần lượt là 0,7 lít/phút và 12 lít/phút. Đây là hai giá trị được chọn để vận hành mô hình thí nghiệm hệ thống xử lý nước ở Hình 1.

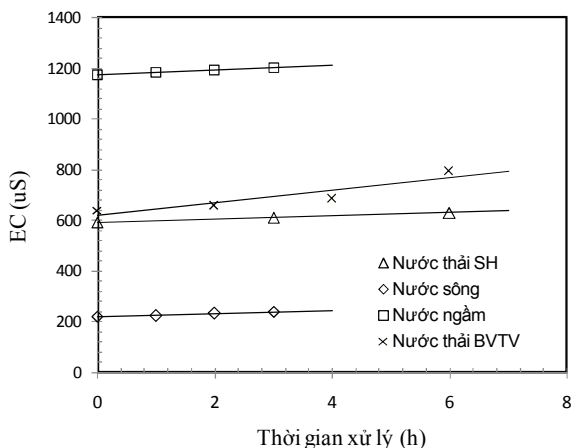
3.2. Ảnh hưởng của plasma lạnh đến độ pH

Hình 4 thể hiện sự phụ thuộc của độ pH của nước vào thời gian xử lý bằng plasma lạnh. Đối với nước sông và nước ngầm, khi thời gian xử lý ngắn (1-3 h) độ pH của nước hầu như không thay đổi (≈ 8). Trong khi đó độ pH của nước thải sinh hoạt giảm khoảng 5% (từ 7,4 giảm còn 7,1). Khi thời gian xử lý tăng thì độ pH của nước thải sinh hoạt sau khi xử lý giảm mạnh và chuyển từ môi trường có tính kiềm sang môi trường axit. Độ pH giảm khoảng 30% (từ 7,4 giảm còn 5,2) ứng với thời gian xử lý là 12 h. Đối với nước thải thuốc bảo vệ thực vật, độ pH giảm khoảng 43% tương ứng với thời gian xử lý là 6 h. Nguyên nhân của sự sụt giảm nồng độ pH có thể giải thích là do sự tương tác giữa plasma với nước sẽ làm tăng nồng độ H^+ , axit Nitric, axit Nitrous, H_2O_2 và O_2^- [4, 7].



Hình 4. Ảnh hưởng của thời gian xử lý đến độ pH

3.3. Ảnh hưởng của plasma lạnh đến độ dẫn điện



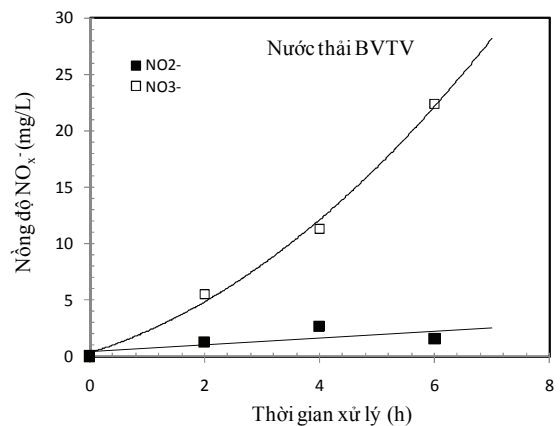
Hình 5. Ảnh hưởng của thời gian xử lý đến độ dẫn điện

Plasma lạnh làm tăng độ dẫn điện (EC) của nước sau khi xử lý (Hình 5). EC của bốn loại mẫu nước đều có xu hướng tăng tuyến tính khi thời gian xử lý tăng. EC của nước

thải thuốc bảo vệ thực vật có xu hướng tăng nhanh hơn so với ba loại nước còn lại. Điều này có thể được giải thích bằng sự tăng mạnh nồng độ các ion trong nước sau khi xử lý, chẳng hạn như H^+ , H_3O^+ , NO_3^- , NO_2^- [4].

3.4. Ảnh hưởng của plasma lạnh đến nồng độ NO_x

Nồng độ NO_2^- và NO_3^- trong nước sau khi xử lý tăng rất mạnh như thể hiện ở Hình 6 và Bảng 2. Điều đó cho thấy phương pháp tạo plasma lạnh bằng phóng điện màn chắn sẽ làm gia tăng mạnh nồng độ axit nitric và axit nitrous trong nước sau khi xử lý. Đối với nước ngầm sau 3 h xử lý nồng độ NO_2^- và NO_3^- tăng gấp 2÷3 lần. Đối với, nước thải sinh hoạt sau 12 h xử lý nồng độ NO_2^- và NO_3^- tăng gấp nhiều lần. Nguồn gốc xuất hiện các axit nitric và axit nitrous trong nước sau xử lý là do quá trình phóng điện tia lửa trong khe hở không khí ẩm giữa các điện cực sẽ hình thành các oxit nitơ NO_x (NO , NO_2). Khi NO_x kết hợp với nước/hoi nước sẽ tạo thành axit nitric và nitrous.



Hình 6. Ảnh hưởng của thời gian xử lý đến nồng độ NO_x trong nước thải BVTV

Bảng 2. Nồng độ NO_x trong nước ngầm và nước thải sinh hoạt

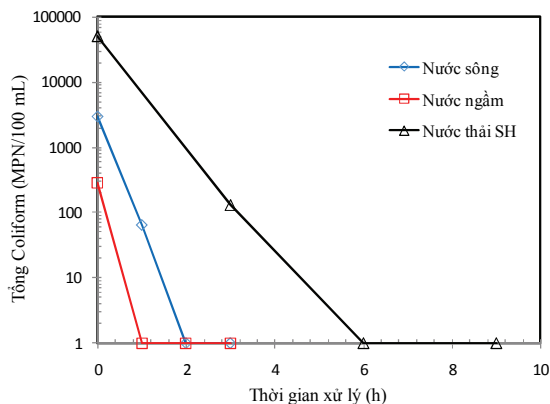
Mẫu nước	Thời gian lưu mẫu	NO_2^- (mg/L)	NO_3^- (mg/L)
Nước ngầm	Đầu vào	0,28	0,14
	Sau 3h xử lý	0,45	0,41
Nước thải sinh hoạt	Đầu vào	0,06	0,18
	Sau 12h xử lý	11,2	25,6

3.5. Khả năng diệt Coliforms và E.coli của plasma lạnh

Kết quả thí nghiệm cho thấy plasma lạnh diệt Coliforms hiệu quả như trình bày ở Hình 7. Đối với nước sông và nước ngầm, sau khoảng 0,5 - 1h xử lý (tương ứng nước được luân chuyển qua buồng plasma từ 1 đến 2 lần) là khoảng 98% Coliforms hiện diện trong nước bị tiêu diệt. Với thời gian xử lý khoảng 2h (tương ứng với nước được luân chuyển qua buồng plasma từ 2 đến 4 lần), khoảng 99,9% Coliforms trong nước bị tiêu diệt. Đối với nước thải sinh hoạt, do nồng độ Coliforms lớn gấp nhiều lần so với nước sông và nước ngầm nên thời gian xử lý cũng như số lần nước được luân chuyển qua buồng plasma cũng tăng lên tương ứng.

Khả năng diệt E.coli của plasma lạnh được trình bày ở Hình 8. Chỉ sau 1h xử lý (tương ứng 2 lần nước được luân chuyển qua buồng plasma), hầu như toàn bộ E.coli bị tiêu

diệt. Do thiếu số liệu tại thời điểm sau 0,5 h xử lý nên không thể so sánh được hiệu quả xử lý *E.coli* giữa nước sông và nước ngầm.

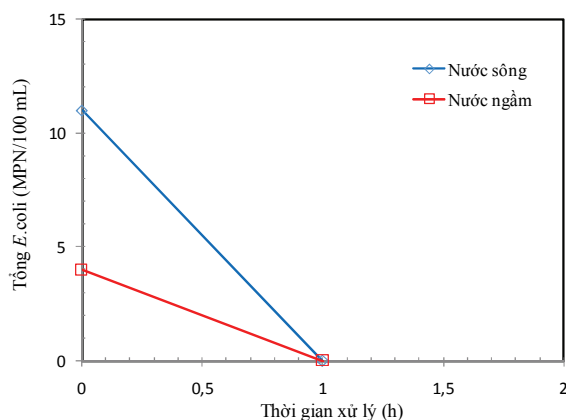


Hình 7. Ảnh hưởng của thời gian xử lý đến tổng Coliforms

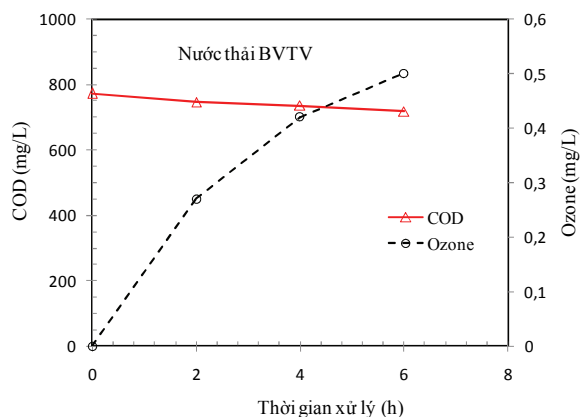
3.6. Khả năng phân rã hoạt chất Fenobucarb trong nước thải thuốc bảo vệ thực vật của plasma lạnh

Fenobucarb là hoạt chất thuộc nhóm carbamate và được xếp vào nhóm độc II (nhóm độc trung bình theo phân loại của WHO). Tên hóa học là 2-sec-butyphenyl N-methylcarbamate ($C_{12}H_{17}NO_2$).

Plasma lạnh có khả năng phân rã hoạt chất Fenobucarb thông qua sự sụt giảm chỉ tiêu COD (Hình 9) và giảm dư lượng hoạt chất (Hình 10). Thời gian xử lý tăng sẽ làm giảm chỉ tiêu COD. Sau 6 h xử lý, tuy chỉ tiêu COD chỉ giảm 7% nhưng dư lượng Fenobucarb đã giảm khoảng 60%. Ngoài ra, bằng đánh giá cảm quan, sau 6 h xử lý, màu sắc của nước thải chuyển từ đậm sang nhạt, đồng thời mùi hôi hóa chất cũng giảm rõ rệt. Cùng với sự giảm chỉ tiêu COD và dư lượng Fenobucarb, nồng độ ozone đo được tăng theo thời gian xử lý và đạt khoảng 0,5 mg/L sau 6 h xử lý. So với kết quả được trình bày ở Hình 2 và 3, rõ ràng hiệu quả hòa tan ozone trong nước bị giảm mạnh hay do sự hiện diện của các chất ô nhiễm trong nước thải bảo vệ thực vật đã tức thời phân rã ozone ngay khi hòa tan. Điều này làm sụt giảm mạnh hàm lượng ozone hiện diện trong nước cũng như có lẽ giảm hàm lượng gốc $\cdot OH$ sinh ra. Do đó hiệu quả tác động đến chỉ tiêu COD không cao.



Hình 8. Ảnh hưởng của thời gian xử lý đến tổng *E.coli*

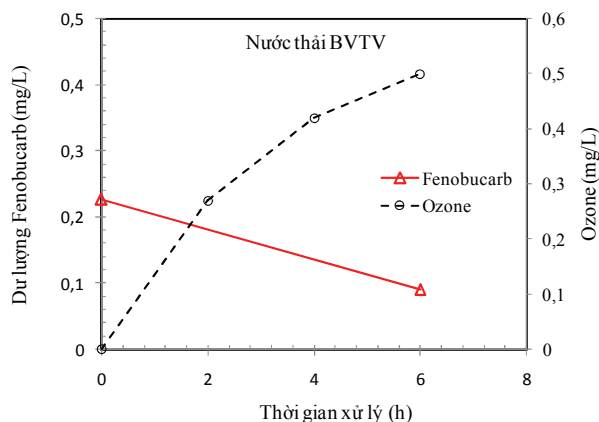


Hình 9. Ảnh hưởng của thời gian xử lý đến chỉ tiêu COD của nước thải thuốc bảo vệ thực vật

4. Bàn luận

4.1. Hiệu quả xử lý nước bằng plasma lạnh

Công nghệ tạo plasma lạnh từ hiện tượng phóng điện màn chắn tại nghiên cứu này chứng tỏ có hiệu quả rất cao trong việc tiêu diệt coliforms và *E.coli* trong nước như trình bày ở Hình 7 và 8. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đây trên thế giới [3, 7-9] và tại Việt Nam [10, 11]. Nguyên lý diệt khuẩn bằng plasma lạnh là tổng hợp của nguyên lý diệt khuẩn bằng UV, nguyên lý diệt khuẩn bằng chất oxy hóa bậc cao như (O , O_3 , $\cdot OH$...) và có thể là nguyên lý diệt khuẩn bằng điện trường cao. Đặc biệt một số loại vi khuẩn chỉ có thể bị tiêu diệt hoặc bất hoạt khi chịu tác động đồng thời của UV và các chất oxy hóa bậc cao [14]. Quá trình tác động của plasma lạnh đến nước trong hệ thống thí nghiệm đã được trình bày tại [13]. Kết quả của quá trình này là hình thành nên O_3 và UV trong khe không khí và các chất oxy hóa bậc cao như (O , O_3 , $\cdot OH$...) trong nước [13]. Nhờ vào tác động tổng hợp của UV và các thành phần oxy hóa mạnh này mà hiệu quả diệt khuẩn của plasma lạnh cao hơn so với các phương pháp khác. Ngoài ra, nhờ vào sự xuất hiện của gốc tự do $\cdot OH$ mà plasma lạnh còn có khả năng phân rã các hợp chất hóa học hữu cơ một cách hiệu quả.



Hình 10. Ảnh hưởng của thời gian xử lý đến nồng độ Fenobucarb trong nước thải thuốc bảo vệ thực vật

Hiệu quả phân rã hợp chất hóa học của plasma lạnh trong nghiên cứu này được trình bày ở Hình 9 và 10. Rõ ràng, plasma lạnh là công nghệ rất có tiềm năng dùng để phân rã hợp chất hóa học trong nước. Tuy nhiên hiệu quả xử lý hợp chất hóa học của nghiên cứu này không thể so sánh với các nghiên cứu trước đây [2, 4, 5] vì sử dụng các mẫu nước có chứa các loại hợp chất hóa học khác nhau với nồng độ khác nhau. Nguyên lý phân rã thuốc kháng sinh sulfadiazine bằng plasma lạnh đã được đề cập trong [4]. Tuy nhiên, do không xác định được sự hiện diện của các chất hình thành sau khi phân rã hoạt chất Fenobucarb, nên nguyên lý chung khi phân rã hợp chất hóa học này được đề nghị như sau. Sự tương tác của plasma và nước sẽ hình thành gốc tự do hydroxyl ($\cdot\text{OH}$). Do gốc tự do $\cdot\text{OH}$ có thể oxi hóa cao nhất trong số các tác nhân oxi hóa nên có lẽ $\cdot\text{OH}$ sẽ tấn công vào các liên kết có năng lượng thấp trong phân tử Fenobucarb bằng cách lấy đi điện tử từ liên kết. Kết quả là $\cdot\text{OH}$ sẽ phá vỡ các liên kết này và hình thành nên các chất hóa học mới không độc hoặc có độ độc giảm so với chất ban đầu. Điều đó có nghĩa là plasma lạnh đã phân rã hợp chất hữu cơ độc hại trong thuốc bảo vệ thực vật.

4.2. Tác động phụ của plasma lạnh đến nước sau khi xử lý

Mặc dù có hiệu quả cao trong việc diệt khuẩn và phân rã hợp chất hóa học trong nước như trình bày ở phần trên, công nghệ xử lý nước bằng plasma lạnh vẫn gây ra tác động không mong muốn đối với nước sau khi xử lý, đó là làm giảm độ pH (Hình 4), tăng độ dẫn điện EC (Hình 5) và gia tăng rất mạnh nồng độ NO_x^- khi thời gian xử lý đủ dài. Kết quả tương tự thu nhận được trong các nghiên cứu [1, 4, 8]. Đây chính là nhược điểm cố hữu của công nghệ plasma lạnh được tạo ra từ hiện tượng phóng điện màn chắn. Nguyên nhân gây ra sự thay đổi mạnh của các chỉ tiêu này (pH, EC và NO_x^-) đã được giải thích chi tiết trong mục 3.2, 3.3 và 3.4 của bài báo này. Các nghiên cứu kế tiếp cần tìm ra phương pháp hạn chế sự gia tăng các chỉ tiêu này.

5. Kết luận

Mô hình hệ thống xử lý nước bằng công nghệ plasma lạnh có hiệu quả cao trong việc tiêu diệt coliforms và *E.Coli*. Hơn nữa, mô hình hệ thống này còn có khả năng phân rã hoạt chất Fenobucarb trong nước thải thuốc bảo vệ thực vật. Tuy nhiên hiệu quả phân rã các chất hóa học hữu cơ này chưa cao. Ngoài ra quá trình xử lý nước bằng plasma lạnh còn gây ra tác động phụ đối với nước sau xử lý như giảm mạnh độ pH, tăng mạnh độ dẫn điện và đặc

biệt là tăng rất mạnh nồng độ NO_x^- (NO_2^- và NO_3^-). Do đó mô hình sẽ tiếp tục được nghiên cứu để có thể tăng hiệu quả xử lý đồng thời giảm tác động phụ và có thể ứng dụng vào thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] V.I. Grinevich, E.Y. Kvitykova, N.A. Plastinia and V.V. Rybkin, "Application of dielectric barrier discharge for waste water purification", *Plasma Chemistry and Plasma Process*, vol. 31, 2011, pp. 573-583.
- [2] M.M. Kuraica et al., "Application of coaxial dielectric barrier discharge for potable and waste water treatment", *Journal of Industrial and Engineering Chemical Research*, vol. 45, 2006, pp. 882-905.
- [3] W.S.A. Majeed et al., "Application of cascade dielectric barrier discharge plasma atomizers for waste water treatment", *Proceeding of the 6th International Conference on Environmental Science and Technology*. American science press., 2012.
- [4] S.P. Rong, Y.B. Sun and Z.H. Zhao, "Degradation of sulfadiazine antibiotics by water falling film dielectric barrier discharge", *Chinese Chemical Letter*, vol. 25, 2014, pp. 187-192.
- [5] M. Tichonovas et al., "Degradation of various textile dyes as wastewater pollutants under dielectric barrier discharge plasma treatment". *Chemical Engineering Journal*, vol. 229, 2013, pp. 9-19.
- [6] M.H. Valsero et al., "Removal of priority pollutants from water by means of dielectric barrier discharge atmospheric plasma", *Journal of Hazardous Materials*, vol. 262, 2013, pp. 664-673.
- [7] N. Shainsky et al., "Plasma acid: Water treated by dielectric barrier discharge", *Plasma processes and Polymers*, vol. 9, 2012, pp. 1-6.
- [8] V.E.Q. Velázquez et al., "Pulsed power supply and coaxial reactor applied to *E. coli* elimination in water by PDBD", *Revista internacional de contaminación ambiental*, vol. 29, 2013, pp. 25-31.
- [9] V.S. Taran, V.V. Krasnyj, A.S. Lozina and O.M. Shvets, "Investigation of pulsed barrier discharge in water-air gap". *Journal of Atomic Science and Technology (BAHT)*, vol. 83, 2013, pp. 249-251.
- [10] Trần Ngọc Đâm và Nguyễn Đức Long, "Thiết kế và chế tạo hệ thống xử lý nước thải y tế công suất 5 m³/ngày bằng công nghệ Plasma", *Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật*, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM, vol. 25, 2013, pp. 78-83.
- [11] Trần Ngọc Đâm và Lê Mạnh Hùng, "Thiết kế và chế tạo hệ thống xử lý nước uống đóng chai công suất 07 m³/ngày bằng công nghệ lọc trao đổi ion và Plasma", *Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật*, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM, vol. 33, 2015.
- [12] Nguyễn Văn Dũng và Nguyễn Hồng Nhanh, "Nghiên cứu về đặc tính phóng điện của buồng plasma lạnh", *Tạp chí Khoa học*, Trường Đại học Cần Thơ, vol. 35, 2014, pp. 9-16.
- [13] Nguyễn Văn Dũng, "Nghiên cứu ứng dụng công nghệ plasma lạnh trong xử lý nước: tổng hợp tài liệu". *Tạp chí Khoa học*, Trường Đại học Cần Thơ" vol. 36, 2015, pp. 106-111.
- [14] M.J. Sharrer and S.T. Summerfelt, "Ozonation followed by ultraviolet irradiation provides effective bacteria inactivation in a freshwater recirculating system", *Aquacultural Engineering*, vol.37, 2007, pp. 180-191.

(BBT nhận bài: 07/3/2016, hoàn tất thủ tục phân biên: 25/12/2016)