



DOI:10.22144/ctu.jvn.2022.211

## CÔNG NGHỆ XỬ LÝ NƯỚC THẢI CHI PHÍ THẤP GÓP PHẦN PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG NGUỒN NƯỚC VÙNG ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

Kim Lavane<sup>1\*</sup>, Nguyễn Trường Thành<sup>1</sup>, Huỳnh Vương Thu Minh<sup>1</sup> và Trần Văn Tỷ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Khoa Môi trường và Tài nguyên thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

<sup>2</sup>Trường Bách Khoa - Trường Đại học Cần Thơ

\*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Kim Lavane (email: klavane@ctu.edu.vn)

### Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 30/08/2022

Ngày nhận bài sửa: 20/09/2022

Ngày duyệt đăng: 17/10/2022

### Title:

Low-cost wastewater treatment technology for sustainable development of water resources in the Vietnamese Mekong Delta

### Từ khóa:

Công nghệ chi phí thấp, hoạt động vi sinh vật, cột lọc, tái sử dụng, xử lý nước thải

### Keywords:

Filtration column, low-cost technology, microbial activity, reuse, wastewater treatment

### ABSTRACT

Recycling treated wastewater offers a potential solution to reduce water demand stresses. Due to high potential health risks and environmental impacts, related research on wastewater recycling has been focused on technical issues to improve the treated water quality for appropriate applications. Although advanced treatment technologies can remove contaminants to meet criteria and guidelines, high capital and operational costs and side-effective concerns about byproducts have still existed. Soil-based biological processes potentially provide cost-effective and sustainable treatment strategies for water recycling and management. However, they have not yet been recognized to approach to what extent that treated effluents are suitable to supplement the existing water sources in different using sectors. In this review, low-cost treatment methods by using soil-base filtration columns to stimulate increasing microbial activities were critically analyzed and discussed based on the results of previous studies.

### TÓM TẮT

Tái chế nước thải là giải pháp tiềm năng để làm dịu căng thẳng nhu cầu nước. Do tiềm ẩn những rủi ro sức khỏe và tác động môi trường, các nghiên cứu tái chế nước thải đã tập trung vào vấn đề kỹ thuật để cải thiện chất lượng nước sau xử lý cho phù hợp với mục đích sử dụng. Mặc dù các công nghệ tiên tiến có thể xử lý nước thải đạt tiêu chuẩn và phù hợp mục đích tái sử dụng nhưng vẫn còn tồn tại về chi phí đầu tư và vận hành cao và phát sinh các sản phẩm phụ. Các quy trình sinh học có chi phí xử lý thấp và bền vững cho xử lý và quản lý nguồn nước. Tuy nhiên, phương pháp này vẫn chưa được nhìn nhận theo hướng tiếp cận về mức độ xử lý nước thải phù hợp để tái sử dụng. Trong tổng quan này, các phương pháp xử lý chi phí thấp sử dụng các cột lọc cát, đất để kích thích các hoạt động của vi sinh vật được phân tích và thảo luận dựa trên các kết quả nghiên cứu trước đó.

## 1. GIỚI THIỆU

Nước được coi là tài sản quốc gia ảnh hưởng đến cuộc sống và sự phát triển của một quốc gia hoặc khu vực. Trên thực tế, nguồn nước ngọt còn hạn chế nhưng nhu cầu nước ngày càng tăng đối với sản xuất

lượng thực, sử dụng trong gia đình và các ngành công nghiệp. Hiện tại, một số khu vực trên thế giới đang bị khan hiếm nước. Trong báo cáo UNDP gần đây về các mục tiêu phát triển bền vững, đến 2015 thế giới vẫn có khoảng 736 triệu người đang sống dưới mức tối thiểu các nhu cầu cơ bản. Theo dự đoán

của Tổ chức Lương thực thế giới đến năm 2025, 1,8 tỷ người sẽ sống ở các bang hoặc khu vực phải đối mặt với tình trạng khan hiếm nước và dân số thế giới có thể đang sống trong điều kiện căng thẳng về nước. Các xung đột về nguồn nước đã và đang gia tăng giữa những người sử dụng nước đã diễn ra ở một số khu vực trên thế giới vì không tiếp cận được nguồn nước ngọt do hạn hán, ô nhiễm môi trường. Tại quốc gia phát triển như Hoa Kỳ, xung đột nước cũng xảy ra ở California giữa thành phố và các khu vực nông nghiệp. Do đó, điều quan trọng hàng đầu đối với chúng ta hiện nay là phải bảo vệ tài nguyên nước bằng cách sử dụng bền vững và quản lý tốt, trong đó thu hồi nước từ nước thải là một giải pháp tiềm năng để đáp ứng mục tiêu này.

Tầm quan trọng của việc xử lý và tái sử dụng nước thải thường được thừa nhận trong lĩnh vực quản lý chất thải và phát triển bền vững. Tái chế nước thải đã qua xử lý thay vì thải bỏ ra môi trường đã trở nên quan trọng đối với sự phát triển bền vững mặc dù có những lo ngại về sự an toàn của nó đối với sức khỏe cộng đồng vẫn tồn tại trong quá trình sử dụng. Nói chung, nước sau khi được sử dụng được coi là nước thải và sẽ được xả vào các máy thu nước có hoặc không có xử lý. Trong nhiều thập kỷ qua, người ta đã nhận ra rằng nước thải là nguồn tài nguyên và có nhiều tiềm năng sử dụng nếu các vấn đề liên quan đến rủi ro sức khỏe cộng đồng và chất lượng môi trường do các chất gây ô nhiễm được loại bỏ. Trong khu vực Đông Nam Á, Singapore đã xử lý nước thải để tạo ra nước sạch đạt tiêu chuẩn nước uống bằng cách sử dụng công nghệ màng tiên tiến và khử trùng bằng tia cực tím. Mặc dù đã đạt được độ tinh khiết cao sau khi xử lý, nước sản xuất vẫn không được sử dụng trực tiếp để uống và nó chỉ được sử dụng để bổ sung vào tài nguyên nước mặt (Schnoor, 2009). Tại Hoa Kỳ, tái chế nước thải đã được thực hiện rộng rãi trong tưới tiêu cảnh quan, xả nước nhà vệ sinh, nạp bổ cập nước ngầm ở một số bang ở Tây Nam Hoa Kỳ (Ryu et al., 2005).

## 2. HẠN CHẾ CÒN TỒN TẠI TRONG XỬ LÝ VÀ TÁI SỬ DỤNG NƯỚC THẢI

Các quy trình xử lý thông thường được sử dụng để xử lý nước thải để tái chế nước thường bao gồm các quá trình vật lý, hóa học và sinh học. Những công nghệ này loại bỏ hiệu quả các chất rắn lơ lửng, chất hữu cơ, chất dinh dưỡng, mầm bệnh nhưng có rất ít hoặc không có thông tin về hiệu quả loại bỏ bằng các quy trình xử lý thông thường trong việc loại bỏ các thành phần chất ô nhiễm gây ra các mối lo ngại mới nổi (CECs: Contaminants of Emerging Compounds) trong nước được tái chế (Levine &

Asano 2004). Cần lưu ý thêm rằng các mầm bệnh được phát hiện ở mức độ nhất định trong nước tự nhiên ở miền Nam hoa Kỳ sau khi tiếp nhận các nguồn thải qua xử lý khử trùng bằng clo (Ryu et al., 2005) và điều này có nguy cơ ảnh hưởng đến sức khỏe trong trường hợp tưới rau (Hamilton et al., 2006). Một nghiên cứu khác báo cáo rằng sử dụng quá trình sinh học thông thường, lọc cát và clo hóa xử lý nước thải vẫn không đáp ứng tiêu chí loại bỏ hoàn toàn vi sinh vật để tái sử dụng nguồn nước (Rose et al., 1996). Hơn nữa, việc giảm sử dụng hóa chất trong khử trùng nước tái chế đã được chú ý cho các ứng dụng nông nghiệp và làm vườn (Calvo-Bado et al., 2003) vì sử dụng hóa chất oxy hóa để loại bỏ mầm bệnh dẫn đến hình thành các sản phẩm phụ gây ung thư (Christen 1998, Petala et al., 2006, Benner et al., 2013). Công nghệ lọc màng là một trong những công nghệ tiên tiến đã được áp dụng thành công để loại bỏ các chất gây ô nhiễm từ nước thải sinh hoạt để tạo ra nước uống an toàn (Schnoor 2009). Nghiên cứu về lọc nano (NF), thẩm thấu ngược (RO), quá trình oxy hóa nâng cao, lọc than hoạt tính cho thấy các dạng công nghệ xử lý này khá hiệu quả để loại bỏ các chất gây ô nhiễm vi lượng trong nước (Ternes et al., 2002, Radjenovic et al., 2008, Rosal et al., 2008). Tuy nhiên, chi phí đầu tư và vận hành của các quá trình công nghệ tiên tiến vẫn còn khá cao và khó áp dụng tại các vùng thiếu nhân lực kỹ thuật (Petala et al., 2006) trong khi các quá trình sinh học tự nhiên sẽ cung cấp một phương pháp xử lý với chi phí vận hành và bảo trì thấp.

Các phương pháp xử lý nước thải chi phí thấp đã và đang trở thành xu thế để loại bỏ các thành phần trong nước thải đáp ứng tiêu chí và mục đích sử dụng. Cần lưu ý rằng việc sử dụng trực tiếp quần thể vi sinh vật để gây ức chế tự nhiên hoặc kiểm soát quá trình lọc cát chậm có thể nâng cao hiệu quả và đẩy nhanh tiến trình áp dụng để kiểm soát sự tái tạo nguồn nước góp phần cho sự phát triển bền vững trong tương lai (Calvo-Bado et al., 2003). Phát hiện cách nay hơn 3 thập kỷ cho thấy các vi sinh vật phân lập môi trường khử sắt cho thấy hứa hẹn sẽ làm suy giảm các hợp chất hữu cơ mạch vòng (Lovley and Lonergan 1990). Các hợp chất hữu cơ dạng vết có thể được phân hủy sinh học hoặc chuyển hóa sinh học thông qua các quá trình sinh học phức tạp trong đất và nước thải (Onesios et al., 2009). Một nghiên cứu trước đây cho thấy *Pseudomonas* sp. có thể làm suy giảm nồng độ một loạt các hợp chất hydrocarbon thơm (Aukema et al., 2014). Nghiên cứu trước đây cho thấy rằng tá được được giải phóng vào trong nước được hấp thụ vào trầm tích nơi có màng sinh học và các sản phẩm ngoại bào (Stein et

al., 2008). Thay cho sự diễn tiến tự nhiên, việc tăng cường các hoạt động của vi sinh vật bằng cách làm giàu các vi sinh vật có lợi và tạo môi trường thuận lợi cho sự phát triển của vi khuẩn để loại bỏ các chất gây ô nhiễm như CECs hứa hẹn là giải pháp thích hợp xử lý sinh học nhưng cho đến nay vẫn ít được nghiên cứu áp dụng.

Các công nghệ hiện đại dường như không cung cấp một giải pháp lâu dài và bền vững cho hoạt động xử lý và tái chế nước thải do tiêu thụ nhiều năng lượng trong quá trình hoạt động và đòi hỏi trình độ khoa học kỹ thuật cao đối với nhân viên vận hành. Thay vào đó, công nghệ chi phí thấp cho thấy hứa hẹn sẽ loại bỏ các chất gây ô nhiễm trong nước thải đạt được một mức độ phù hợp nhưng vẫn cần có nhiều góc nhìn khác nhau để nghiên cứu cải tiến nhằm nâng cao hiệu quả của nó. Vì vậy, điều này đặt ra cho chúng ta câu hỏi là làm thế nào để nâng cao hiệu quả của phương pháp xử lý chi phí thấp trong xử lý nước thải đáp ứng các mục đích sử dụng để tiến tới phát triển bền vững.

### 3. CÔNG NGHỆ XỬ LÝ CHI PHÍ THẤP TIỀM NĂNG

Lọc đất từ lâu đã được sử dụng xử lý nước thải với chi phí thấp và loại bỏ chất dinh dưỡng hiệu quả. Theo các nghiên cứu trước đây, hệ thống lọc đất nhiều lớp (MSL: Multi-Soil-Layer) có thể loại bỏ hiệu quả nitơ, photpho và chất hữu cơ trong nước thải (Wakatsuki et al., 1993, Pattnaik et al., 2008, Baykuş and Karpuzcu 2021). Tuy nhiên, công nghệ này vẫn chưa được chấp nhận để xử lý nước thải ở nhiều vùng do những lo ngại đặc biệt về sự không ổn định trong việc loại bỏ vi khuẩn chỉ thị ô nhiễm phân. Sự cải tiến nhỏ được thực hiện để tăng khả năng loại bỏ vi khuẩn đó là sử dụng nhóm động vật nguyên sinh bản địa để sản vi khuẩn (Kim et al., 2021). Động vật nguyên sinh được xem là nhóm vi sinh vật điều soát mật độ và sự đa dạng của vi khuẩn môi trường tự nhiên. Nhiều nhà nghiên cứu cho rằng động vật nguyên sinh là động vật ăn thịt điều chỉnh quần thể vi khuẩn dị dưỡng trong môi trường đất và nước (Habte & Alexander 1975, Enzinger & Cooper 1976, Casida 1989, Gonzalez et al., 1990, Wright et al., 1995, Hahn & Hofle 2001, Rønn et al., 2002, Murase et al., 2006) và trong các hệ thống xử lý nước thải (Decamp et al., 1999, Ravva et al., 2010, Pinto & Love 2012, Kim et al., 2021). Theo Ravva et al. (2010), tỷ lệ tiêu thụ vi khuẩn của động vật nguyên sinh lên tới 106 tế bào/động vật nguyên sinh (Ravva et al., 2010). Một hệ thống xử lý dựa vào vật liệu đất được nạp bởi nước thải giàu chất dinh dưỡng và vi khuẩn có thể thúc đẩy tiềm năng phát triển của

động vật nguyên sinh bản địa. Điều này cho thấy, những nghiên cứu khám phá vai trò của động vật nguyên sinh bản địa để loại bỏ vi khuẩn bị hấp phụ trong các lớp lọc trong quá trình xử lý nước thải có tiềm năng phát triển ứng dụng để xử lý ao tiếp nhận chất thải, nước thải từ các hoạt động chăn nuôi có chứa nhiều vi khuẩn.

Lọc cát sinh học là công nghệ xử lý nâng cao đã được nghiên cứu để loại bỏ chất rắn lơ lửng, chất hữu cơ và mầm bệnh cho ứng dụng tưới tiêu (Hamoda et al., 2004, Langenbach et al., 2009). Trong quá trình lọc, các chất rắn lơ lửng, chất hữu cơ và vi sinh vật được giữ lại ở lớp trên cùng của nền vật liệu lọc dẫn đến vùng này của vật liệu có các vi khuẩn dị dưỡng hoạt động mạnh (độ sâu khoảng 10-20 cm). Theo nghiên cứu trước đây, các mầm bệnh bị tiêu diệt trong vùng lọc này được cho rằng là do các vi sinh vật có lợi xâm chiếm và kiểm soát (Weber-Shirk & Dick 1997). Oxy được tiêu thụ bởi vi sinh vật hiếu khí trong quá trình oxy hóa chất nền hữu cơ được giữ lại trong khu vực này. Điều này dẫn đến việc thiết lập điều kiện thiếu khí và kỵ khí trong các lớp lọc ở dưới. Các chất có thể oxy hóa thấp hơn như nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), sunfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) và sắt ( $\text{Fe}^{3+}$ ) sẽ đóng vai trò là các nhận điện tử để tiếp tục quá trình phân giải, chuyển hóa các chất ô nhiễm. Tuy nhiên, ảnh hưởng của vùng kỵ khí ở độ sâu thấp hơn đối với số phận và vận chuyển mầm bệnh vẫn chưa được biết rõ. Nghiên cứu trước đây đã đề cập rằng, hoạt động của động vật nguyên sinh trong vùng kỵ khí ít quan trọng hơn tình trạng hiếu khí (Kota et al., 1999).

Hiện nay, mức độ an toàn đối với việc tái chế và sử dụng nước thải sau xử lý thu hút nhiều sự chú ý và quan tâm của cộng đồng. Một quan tâm chính đó là các hóa chất mới, dạng vết gồm các sản phẩm chăm sóc cá nhân, dược phẩm, chất kích thích nội tiết tố, kháng sinh cũng như các sản phẩm phụ từ quá trình khử trùng nước (Christen 1998). Hiện tại, nồng độ của CECs được phát hiện ở dạng vết trong các kênh, rạch, sông nơi tiếp nhận nguồn xả từ các hệ thống công nhân, nhà máy xử lý nước thải (Onesios et al., 2009). Những chất dạng vết này có thể có tác động tiềm tàng đến hệ thống thủy sinh, nước ngầm và sinh vật. Việc loại bỏ các CEC khỏi nước bằng quy trình xử lý thông thường dường như không hiệu quả khi một số mức độ phát hiện vẫn còn tồn tại. Một số nghiên cứu cho rằng nhiều hợp chất không thể được loại bỏ bằng công nghệ chi phí thấp như đất và bộ lọc sinh học cho nước tái chế (Zearley & Summers 2012, Onesios-Barry et al., 2014).

Cơ chế kết hợp giữa quá trình lý hóa và sinh học có thể mang lại tiềm năng ứng dụng để loại chất ô nhiễm khó xử lý trong nước thải. Đây cũng là hệ thống lọc sinh học nhưng vật liệu lọc được làm giàu chất khoáng hoặc tuyển chọn vật liệu tự nhiên giàu khoáng chất. Thực tế, vi sinh vật có thể giữ một vai trò nhất định trong quá trình phân hủy và chuyển hóa các chất ô nhiễm CECs trong quá trình lọc đất (Onesios-Barry et al., 2014). Tuy nhiên, hoạt động của các cộng đồng vi sinh vật khó có thể đạt mức cao và ổn định do sự sẵn có của nguồn carbon, và dưỡng chất ở lớp dưới của bộ lọc sinh học không đáp ứng (Pang & Liu 2006). Hàm lượng khoáng chất của môi trường rắn cho thấy lợi thế để tăng cường sự xâm lấn và hoạt động của vi sinh vật trong quá trình lọc (Mauck & Roberts 2007, Gülay et al., 2014). Cơ chế hấp phụ của kháng sinh vào màng sinh học đã được đề cập trong nghiên cứu trước đây (Wunder et al., 2011). Do đó, các chất ô nhiễm hữu cơ vi lượng có thể được loại bỏ bởi các vi khuẩn khử sắt và các vi sinh vật này rất mạnh để đồng hóa các hợp chất hữu cơ vòng (Jahn et al., 2005, Tobler et al., 2007) và chúng tăng trưởng dính bám tạo màng sinh học (Lovley 1987, Jr & Das 2002). Sự phát triển của màng sinh học trên toàn bộ bề mặt môi trường có khả năng giúp loại bỏ các chất gây ô nhiễm như CECs thông qua các quá trình hấp phụ bởi màng sinh học hoặc chuyển hóa bởi các enzyme khác nhau của hệ vi sinh trong hệ thống.

Vi khuẩn khử sắt được tìm thấy trong nhiều môi trường dưới bề mặt và trầm tích nơi có nhiều  $Fe^{3+}$ . Những vi khuẩn này có đặc trưng là thể hiện tốt khả năng oxy hóa hiệu quả các hợp chất hữu cơ thành  $CO_2$  cùng với sự khử  $Fe^{3+}$  thành  $Fe^{2+}$  (Lovley, 1993). *Geobacter metallireducens* và *Geobacter*

*sulferreducens* là hai chi thuộc họ *Geobacteraceae*. Những vi khuẩn này được Derek Lovley phân lập trong trầm tích sông vào năm 1987. Nghiên cứu trước đây cho thấy những vi khuẩn này có khả năng xử lý các vật liệu hữu cơ trong môi trường đất và dưới bề mặt (Lovley & Lonergan 1990, Kazumi et al., 1995, Anderson et al., 1998, Jahn et al., 2005).

Đồng bằng sông Cửu Long là khu vực có nguồn vật liệu giàu khoáng sắt, nhôm như vùng đất phèn (Nguyễn và ctv., 2021). Sự sẵn có của oxit sắt trong đất dẫn đến quá trình khử vi sinh vật cùng với quá trình oxy hóa kỵ khí acetate (Küsel et al., 2002). Đất phèn sau khi được nhiệt phân có thể hấp phụ lân trong dung dịch (Nguyễn và ctv., 2021). Hồ hấp kỵ khí có tốc độ truyền electron tương đối chậm, tuy nhiên nhiều chủng loại vi khuẩn kỵ khí có quá trình trao đổi chất khá đặc thù. Thông qua việc phân lập và làm giàu quần thể, chúng ta có thể có cơ hội tìm ra chủng có thể oxy hóa các chất ô nhiễm khó xử lý và kích thích cơ chế bất hoạt vi khuẩn để tăng hiệu quả xử lý nước thải phục vụ mục đích tái chế và tái sử dụng.

#### 4. KẾT LUẬN

Công nghệ xử lý nước thải chi phí thấp mở ra nhiều cơ hội để chúng ta khám phá khả năng loại bỏ chất hữu cơ, dinh dưỡng, vi sinh trong nước thải. Các mô hình xử lý nước thải cột lọc cát, đất với sự kết hợp hoạt động của các vi sinh vật và các quá trình hấp phụ có khả năng loại bỏ các chất ô nhiễm trong nước thải. Do đó, việc nghiên cứu ứng dụng các công nghệ xử lý có chi phí thấp để xử lý nước thải nhằm cải thiện chất lượng nước và tái sử dụng lại ở ĐBSCL cần được quan tâm đúng mức.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Anderson, R. T., Rooney-Varga, J. N., Gaw, C. V., & Lovley, D. R. (1998). Anaerobic Benzene Oxidation in the Fe(III) Reduction Zone of Petroleum-Contaminated Aquifers. *Environmental Science & Technology*, 32(9), 1222-1229. doi:10.1021/es9704949
- Aukema, K. G., Kasinkas, L., Aksan, A., & Wackett, L. P. (2014). Use of Silica-Encapsulated *Pseudomonas* sp. Strain NCIB 9816-4 in Biodegradation of Novel Hydrocarbon Ring Structures Found in Hydraulic Fracturing Waters. *Applied and Environmental Microbiology*, 80(16), 4968-4976. doi:10.1128/aem.01100-14
- Baykuş, N., & Karpuzcu, M. (2021). An investigation into the role of treatment performance and soil characteristics of soil-based wastewater treatment systems. *Water Science and Technology*, 85. doi:10.2166/wst.2021.512
- Benner, J., Helbling, D. E., Kohler, H.-P. E., Wittebol, J., Kaiser, E., Prasse, C., . . . Boon, N. (2013). Is biological treatment a viable alternative for micropollutant removal in drinking water treatment processes? *Water Research*, 47(16), 5955-5976. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2013.07.015
- Calvo-Bado, L. A., Pettitt, T. R., Parsons, N., Petch, G. M., Morgan, J. A. W., & Whipps, J. M. (2003). Spatial and Temporal Analysis of the Microbial Community in Slow Sand Filters Used for Treating Horticultural Irrigation Water. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(4), 2116-2125. doi:10.1128/aem.69.4.2116-2125.2003

- Casida, L. E. (1989). Protozoan Response to the Addition of Bacterial Predators and Other Bacteria to Soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 55(8), 1857-1859.
- Christen, K. (1998). Wastewater reuse: Water shortage solution or long-term nightmare? *Environmental Science & Technology*, 32(19), 447A-447A. doi:10.1021/es983747m
- Decamp, O., Warren, A., & Sanchez, R. (1999). The role of ciliated protozoa in subsurface flow wetlands and their potential as bioindicators. *Water Sci. Technol.*, 40(Copyright (C) 2012 American Chemical Society (ACS). All Rights Reserved.), 91-98. doi:10.1016/s0273-1223(99)00444-8
- Enzinger, R. M., & Cooper, R. C. (1976). Role of bacteria and protozoa in the removal of *Escherichia coli* from estuarine waters. *Appl Environ Microbiol*, 31(Copyright (C) 2012 U.S. National Library of Medicine.), 758-763.
- Gonzalez, J. M., Iriberry, J., Egea, L., & Barcina, I. (1990). Differential rates of digestion of bacteria by freshwater and marine phagotrophic protozoa. *Appl Environ Microbiol*, 56(Copyright (C) 2013 U.S. National Library of Medicine.), 1851-1857.
- Gülay, A., Tatari, K., Musovic, S., Mateiu, R. V., Albrechtsen, H.-J., & Smets, B. F. (2014). Internal Porosity of Mineral Coating Supports Microbial Activity in Rapid Sand Filters for Groundwater Treatment. *Applied and Environmental Microbiology*, 80(22), 7010-7020. doi:10.1128/aem.01959-14
- Habte, M., & Alexander, M. (1975). Protozoa as agents responsible for the decline of *Xanthomonas campestris* in soil. *Appl Microbiol*, 29(Copyright (C) 2012 U.S. National Library of Medicine.), 159-164.
- Hahn, M. W., & Hofle, M. G. (2001). Grazing of protozoa and its effect on populations of aquatic bacteria. *FEMS Microbiol. Ecol.*, 35(Copyright (C) 2013 American Chemical Society (ACS). All Rights Reserved.), 113-121. doi:10.1111/j.1574-6941.2001.tb00794.x
- Hamilton, A. J., Stagnitti, F., Premier, R., Boland, A.-M., & Hale, G. (2006). Quantitative Microbial Risk Assessment Models for Consumption of Raw Vegetables Irrigated with Reclaimed Water. *Applied and Environmental Microbiology*, 72(5), 3284-3290. doi:10.1128/aem.72.5.3284-3290.2006
- Hamoda, M. F., Al-Ghusain, I., & Al-Mutairi, N. Z. (2004). Sand filtration of wastewater for tertiary treatment and water reuse. *Desalination*, 164(3), 203-211. doi:10.1016/S0011-9164(04)00189-4
- Jahn, M. K., Haderlein, S. B., & Meckenstock, R. U. (2005). Anaerobic Degradation of Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and o-Xylene in Sediment-Free Iron-Reducing Enrichment Cultures. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(6), 3355-3358. doi:10.1128/aem.71.6.3355-3358.2005
- Jr, F. C., & Das, A. (2002). Adhesion of Dissimilatory Fe(III)-Reducing Bacteria to Fe(III) Minerals. *Geomicrobiology Journal*, 19(2), 161-177. doi:10.1080/01490450252864262
- Kazumi, J., Haggblom, M. M., & Young, L. Y. (1995). Degradation of Monochlorinated and Nonchlorinated Aromatic Compounds under Iron-Reducing Conditions. *Applied and Environmental Microbiology*, 61(11), 4069-4073.
- Kim, L., Yan, T., Yost, R., & Porter, G. (2021). A Sustainable and Low-Cost Soil Filter Column for Removing Pathogens from Swine Wastewater: The Role of Endogenous Soil Protozoa. *IS(18)*, 2472.
- Kota, S., Borden, R. C., & Barlaz, M. A. (1999). Influence of protozoan grazing on contaminant biodegradation. *FEMS Microbiology Ecology*, 29(2), 179-189. doi:10.1111/j.1574-6941.1999.tb00609.x
- Küsel, K., Wagner, C., Trinkwalter, T., Gößner, A. S., Bäuml, R., & Drake, H. L. (2002). Microbial reduction of Fe(III) and turnover of acetate in Hawaiian soils. *FEMS Microbiology Ecology*, 40(1), 73-81. doi:10.1111/j.1574-6941.2002.tb00938.x
- Langenbach, K., Kusch, P., Horn, H., & Kästner, M. (2009). Slow Sand Filtration of Secondary Clarifier Effluent for Wastewater Reuse. *Environmental Science & Technology*, 43(15), 5896-5901. doi:10.1021/es900527j
- Levine, A. D., & Asano, T. (2004). Peer Reviewed: Recovering Sustainable Water from Wastewater. *Environmental Science & Technology*, 38(11), 201A-208A. doi:10.1021/es040504n
- Lovley, D. R. (1987). Organic matter mineralization with the reduction of ferric iron: A review. *Geomicrobiology Journal*, 5(3-4), 375-399. doi:10.1080/01490458709385975
- Lovley, D. R., & Lonergan, D. J. (1990). Anaerobic Oxidation of Toluene, Phenol, and p-Cresol by the Dissimilatory Iron-Reducing Organism, GS-15. *Applied and Environmental Microbiology*, 56(6), 1858-1864.
- Mauck, B. S., & Roberts, J. A. (2007). Mineralogic Control on Abundance and Diversity of Surface-Adherent Microbial Communities. *Geomicrobiology Journal*, 24(3-4), 167-177. doi:10.1080/01490450701457162
- Murase, J., Noll, M., & Frenzel, P. (2006). Impact of Protists on the Activity and Structure of the Bacterial Community in a Rice Field Soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 72(8), 5436-5444. doi:10.1128/aem.00207-06

- Nguyễn, H. C., Phạm, N. T., Phạm, V. T., Nguyễn, X. L., Tăng, L. H. N., Trương, T. P., & Huỳnh, T. T. L. J. C. T. U. J. o. S. (2021). Sử dụng đất phèn tiềm tàng nung hấp phụ lân trong nước thải sau túi ủ biogas.
- Onesios-Barry, K. M., Berry, D., Proescher, J. B., Sivakumar, I. K. A., & Bouwer, E. J. (2014). Removal of Pharmaceuticals and Personal Care Products during Water Recycling: Microbial Community Structure and Effects of Substrate Concentration. *Applied and Environmental Microbiology*, 80(8), 2440-2450. doi:10.1128/aem.03693-13
- Onesios, K. M., Yu, J. T., & Bouwer, E. J. (2009). Biodegradation and removal of pharmaceuticals and personal care products in treatment systems: a review. *Biodegradation*, 20(4), 441-466. doi:10.1007/s10532-008-9237-8
- Pang, C. M., & Liu, W.-T. (2006). Biological Filtration Limits Carbon Availability and Affects Downstream Biofilm Formation and Community Structure. *Applied and Environmental Microbiology*, 72(9), 5702-5712. doi:10.1128/aem.02982-05
- Pattnaik, R., Yost, R. S., Porter, G., Masunaga, T., & Attanandana, T. (2008). Improving multi-soil-layer (MSL) system remediation of dairy effluent. *Ecological Engineering*, 32(1), 1-10. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.08.006
- Petala, M., Tsiridis, V., Samaras, P., Zouboulis, A., & Sakellaropoulos, G. P. (2006). Wastewater reclamation by advanced treatment of secondary effluents. *Desalination*, 195(1-3), 109-118. doi:10.1016/j.desal.2005.10.037
- Pinto, A. J., & Love, N. G. (2012). Bioreactor Function under Perturbation Scenarios Is Affected by Interactions between Bacteria and Protozoa. *Environmental Science & Technology*, 46(14), 7558-7566. doi:10.1021/es301220f
- Radjenovic, J., Petrovic, M., Ventura, F., & Barcelo, D. (2008). Rejection of pharmaceuticals in nanofiltration and reverse osmosis membrane drinking water treatment. *Water Res.*, 42(14), 3601-3610. doi:10.1016/j.watres.2008.05.020
- Ravva, S. V., Sarreal, C. Z., & Mandrell, R. E. (2010). Identification of protozoa in dairy lagoon wastewater that consume Escherichia coli O157:H7 preferentially. *PLoS One*, 5(12), e15671.
- Rønn, R., McCaig, A. E., Griffiths, B. S., & Prosser, J. I. (2002). Impact of Protozoan Grazing on Bacterial Community Structure in Soil Microcosms. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(12), 6094-6105. doi:10.1128/aem.68.12.6094-6105.2002
- Rosal, R., Rodríguez, A., Perdigón-Melón, J. A., Mezcuca, M., Hernando, M. D., Letón, P., . . . Fernández-Alba, A. R. (2008). Removal of pharmaceuticals and kinetics of mineralization by O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in a biotreated municipal wastewater. *Water Research*, 42(14), 3719-3728. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2008.06.008
- Rose, J. B., Dickson, L. A., Farrah, S. R., & Carnahan, R. P. (1996). Removal of pathogenic and indicator microorganisms by a full-scale water reclamation facility. *Water Res.*, 30(11), 2785-2797. doi:10.1016/S0043-1354(96)00188-1
- Ryu, H., Alum, A., & Abbaszadegan, M. (2005). Microbial Characterization and Population Changes in Nonpotable Reclaimed Water Distribution Systems. *Environ. Sci. Technol.*, 39(22), 8600-8605. doi:10.1021/es0506071
- Schnoor, J. L. (2009). NEWater Future? *Environ. Sci. Technol.*, 43(17), 6441-6442. doi:10.1021/es902153f
- Stein, K., Ramil, M., Fink, G., Sander, M., & Ternes, T. A. (2008). Analysis and Sorption of Psychoactive Drugs onto Sediment. *Environmental Science & Technology*, 42(17), 6415-6423. doi:10.1021/es702959a
- Ternes, T. A., Meisenheimer, M., McDowell, D., Sacher, F., Brauch, H.-J., Haist-Gulde, B., . . . Zulei-Seibert, N. (2002). Removal of Pharmaceuticals during Drinking Water Treatment. *Environmental Science & Technology*, 36(17), 3855-3863. doi:10.1021/es015757k
- Tobler, N. B., Hofstetter, T. B., Straub, K. L., Fontana, D., & Schwarzenbach, R. P. (2007). Iron-Mediated Microbial Oxidation and Abiotic Reduction of Organic Contaminants under Anoxic Conditions. *Environmental Science & Technology*, 41(22), 7765-7772. doi:10.1021/es071128k
- Wakatsuki, T., Esumi, H., & Omura, S. (1993). High performance and nitrogen and phosphorus-removable on-site domestic waste water treatment system by multi-soil-layering method. *Water Sci. Technol.*, 27(Copyright (C) 2012 American Chemical Society (ACS). All Rights Reserved.), 31-40.
- Weber-Shirk, M. L., & Dick, R. I. (1997). Biological mechanisms in slow sand filters. *Journal (American Water Works Association)*, 89(2), 72-83. doi:10.2307/41295732
- Wright, D. A., Killham, K., Glover, L. A., & Prosser, J. I. (1995). Role of pore size location in determining bacterial activity during predation by protozoa in soil. *Appl. Environ. Microbiol.*, 61(Copyright (C) 2013 American Chemical Society (ACS). All Rights Reserved.), 3537-3543.
- Wunder, D. B., Bosscher, V. A., Cok, R. C., & Hozalski, R. M. (2011). Sorption of antibiotics to biofilm. *Water Research*, 45(6), 2270-2280. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2010.11.013
- Zearley, T. L., & Summers, R. S. (2012). Removal of Trace Organic Micropollutants by Drinking Water Biological Filters. *Environmental Science & Technology*, 46(17), 9412-9419. doi:10.1021/es301428e