

ARSENIC CONTAMINATION IN SOIL: CAUSES, EFFECTS, AND EFFECTIVE REMEDIATION SOLUTIONS - A MINIREVIEW

Nguyen Thi Minh Phuong

Duy Tan University

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 02/01/2025	The study examines the critical issue of arsenic contamination in soil, focusing on its sources, impacts, and remediation strategies. Aiming to understand the origins and consequences of arsenic pollution, the research evaluates effective mitigation methods. By conducting a comprehensive review of existing literature and theoretical frameworks, the study investigates contamination sources, including industrial and agricultural activities, and assesses remediation techniques such as adsorption, bioremediation, and chemical stabilization. The findings reveal that arsenic concentrations frequently exceed safety thresholds, with groundwater levels reaching up to 500 µg/L and soil levels up to 50 mg/kg. These elevated concentrations lead to reduced soil fertility, decreased crop yields, and severe health risks, including cancer and organ damage. To address these challenges, the study highlights effective remediation strategies, including the use of adsorbent materials (e.g., activated carbon), biological approaches such as phytoremediation, and the enforcement of stringent controls over arsenic emissions. The findings emphasize the urgent need for integrated approaches that combine advanced technologies, biological interventions, and regulatory measures to effectively mitigate arsenic contamination and safeguard environmental and public health.
Revised: 17/02/2025	
Published: 19/02/2025	
KEYWORDS	
Arsenic	
Soil contamination	
Phytoremediation	
Bioremediation	
Arsenic remediation	

Ô NHIỄM ASEN TRONG ĐẤT: NGUYÊN NHÂN, ẢNH HƯỞNG VÀ CÁC GIẢI PHÁP XỬ LÝ HIỆU QUẢ: MỘT BÀI ĐÁNH GIÁ NGẮN

Nguyễn Thị Minh Phương

Đại học Duy Tân

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 02/01/2025	Nghiên cứu này xem xét vấn đề quan trọng về ô nhiễm asen trong đất, tập trung vào các nguồn gốc, tác động và chiến lược xử lý. Nhằm hiểu rõ nguồn gốc và hậu quả của ô nhiễm asen, nghiên cứu này đánh giá các phương pháp giảm thiểu hiệu quả. Thông qua việc tổng hợp tài liệu hiện có và các khung lý thuyết, nghiên cứu tìm hiểu các nguồn ô nhiễm như hoạt động công nghiệp và nông nghiệp, đồng thời đánh giá các kỹ thuật xử lý như hấp phụ, xử lý sinh học và ổn định hóa học. Kết quả cho thấy nồng độ asen thường vượt ngưỡng an toàn, với mức trong nước ngầm lên đến 500 µg/L và trong đất lên đến 50 mg/kg. Những nồng độ cao này gây ra sự suy giảm độ phì nhiêu của đất, giảm năng suất cây trồng và các nguy cơ nghiêm trọng về sức khỏe, bao gồm ung thư và tổn thương cơ quan nội tạng. Để giải quyết những thách thức này, nghiên cứu đề xuất các chiến lược xử lý hiệu quả như sử dụng vật liệu hấp phụ (ví dụ, than hoạt tính), phương pháp sinh học như phytoremediation, và thực thi các biện pháp kiểm soát nghiêm ngặt đối với phát thải asen. Kết quả nhấn mạnh sự cần thiết của các cách tiếp cận tích hợp kết hợp công nghệ tiên tiến, can thiệp sinh học và các biện pháp quản lý nhằm giảm thiểu ô nhiễm asen và bảo vệ môi trường cũng như sức khỏe cộng đồng.
Ngày hoàn thiện: 17/02/2025	
Ngày đăng: 19/02/2025	
TỪ KHÓA	
Asen	
Ô nhiễm đất	
Phytoremediation	
Bioremediation	
Xử lý asen	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.11807>

Email: nguyentminhphuong@dtu.edu.vn

<http://jst.tnu.edu.vn>

128

Email: jst@tnu.edu.vn

1. Giới thiệu

Ô nhiễm asen (As) trong đất là một vấn đề môi trường nghiêm trọng, có tác động sâu rộng đến chất lượng đất, sức khỏe con người và động thực vật. Với khả năng tích tụ trong môi trường, As không chỉ làm giảm độ phì nhiêu của đất mà còn gây ra những rủi ro lớn cho hệ sinh thái, bao gồm sự suy giảm đa dạng sinh học và nguy cơ tích tụ As trong chuỗi thực phẩm [1], [2]. Ô nhiễm As không chỉ ảnh hưởng đến cây trồng mà còn có thể xâm nhập vào chuỗi thực phẩm, gây ra những rủi ro sức khỏe nghiêm trọng cho con người. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng việc tiêu thụ thực phẩm bị ô nhiễm As có thể dẫn đến các vấn đề sức khỏe như ung thư và các rối loạn khác [3]. Hơn nữa, ô nhiễm As cũng ảnh hưởng đến động vật hoang dã, làm giảm đa dạng sinh học và gây ra sự suy giảm quần thể động thực vật trong các khu vực bị ô nhiễm [4]. Một nghiên cứu cho thấy rằng nồng độ As cao trong đất có thể dẫn đến sự tích tụ As trong thực phẩm, đặc biệt là trong gạo, làm giảm giá trị dinh dưỡng của sản phẩm [1], [5].

Ngoài ra, ô nhiễm As trong đất còn có thể gây ra những vấn đề pháp lý và xã hội nghiêm trọng. Các vụ kiện liên quan đến ô nhiễm môi trường thường xoay quanh các vấn đề như trách nhiệm của các công ty trong việc bảo vệ môi trường và sức khỏe cộng đồng [6]. Điều này cho thấy rằng việc quản lý ô nhiễm As không chỉ là một vấn đề kỹ thuật mà còn là một thách thức lớn về chính sách và pháp lý. Đặc biệt, trong các khu vực như Bangladesh, nơi mà nước ngầm bị ô nhiễm As, việc sử dụng nước này cho tưới tiêu có thể dẫn đến ô nhiễm đất và ảnh hưởng đến sức khỏe cộng đồng [3], [7].

Mức độ ô nhiễm As trong đất đang trở thành một vấn đề môi trường nghiêm trọng ở nhiều khu vực trên thế giới, đặc biệt là ở những nơi có hoạt động nông nghiệp và công nghiệp. Theo các nghiên cứu, nồng độ As trong đất có thể vượt quá mức giới hạn an toàn, gây ảnh hưởng lớn đến chất lượng đất, cây trồng và sức khỏe con người. Một nghiên cứu tại Bangladesh cho thấy nồng độ As trong đất nông nghiệp có thể dao động từ 10 đến 500 mg/kg, trong khi giới hạn an toàn theo Tổ chức Y tế Thế giới (WHO) là dưới 10 mg/kg [8]. Tại Ấn Độ, các khu vực chịu ô nhiễm nặng từ thuốc trừ sâu chứa As đã ghi nhận nồng độ As trong đất lên tới 100 mg/kg, khiến đất trở nên kém màu mỡ và ảnh hưởng trực tiếp đến năng suất cây trồng [9].

Tại Việt Nam, các khu vực đồng bằng sông Cửu Long cũng ghi nhận mức độ ô nhiễm As trong đất nông nghiệp cao, chủ yếu do sử dụng thuốc trừ sâu và ô nhiễm từ các khu công nghiệp, làm tăng nguy cơ lây nhiễm As vào nguồn nước và thực phẩm [10], [11]. Các nghiên cứu cho thấy As trong đất có thể gây độc cho cây trồng, làm giảm năng suất, đặc biệt là các cây ngũ cốc như lúa, nơi mà mức độ As cao có thể làm giảm đến 30-50% năng suất so với các khu vực không ô nhiễm [12]. Việc này không chỉ ảnh hưởng đến sản lượng nông nghiệp mà còn có thể dẫn đến các vấn đề sức khỏe nghiêm trọng cho người tiêu dùng, đặc biệt là ở những khu vực có tỷ lệ tiêu thụ gạo cao như Bangladesh và Ấn Độ [13].

Để giải quyết vấn đề ô nhiễm As trong đất, cần có các biện pháp quản lý và giám sát hiệu quả. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng việc áp dụng các công nghệ xử lý và phục hồi đất có thể giúp giảm thiểu ô nhiễm As [14], [15]. Hơn nữa, việc nâng cao nhận thức cộng đồng về tác động của ô nhiễm As và khuyến khích các hành động bảo vệ môi trường cũng là rất cần thiết [16]. Việc sử dụng các biện pháp sinh học như than sinh học cũng đã được đề xuất như một giải pháp tiềm năng để giảm thiểu ô nhiễm As trong đất [14], [15].

Mục tiêu của bài báo này là cung cấp cái nhìn toàn diện về ô nhiễm As trong đất, bao gồm các nguồn gốc gây ô nhiễm, tác động của As đối với môi trường và sức khỏe con người, cũng như các phương pháp giám sát và xử lý hiệu quả. Bài báo sẽ phân tích các nguyên nhân chủ yếu dẫn đến ô nhiễm As trong đất, từ hoạt động tự nhiên đến sự tác động của con người qua nông nghiệp và công nghiệp. Đồng thời, bài báo cũng sẽ trình bày những ảnh hưởng tiêu cực của As đối với chất lượng đất, năng suất cây trồng và sức khỏe cộng đồng. Cuối cùng, bài báo sẽ xem xét các giải pháp xử lý và giảm thiểu ô nhiễm As, bao gồm các phương pháp sinh học, hóa học và kỹ thuật, nhằm bảo vệ môi trường và đảm bảo sự phát triển bền vững.

2. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu chính trong bài báo này là tổng quan và đánh giá toàn diện về ô nhiễm As trong đất, với mục tiêu làm rõ các nguồn gốc gây ô nhiễm, ảnh hưởng của As đối với môi trường và sức khỏe con người, cũng như các phương pháp xử lý hiệu quả. Cụ thể, bài báo sử dụng phương pháp tổng hợp tài liệu kết hợp với phân tích các nguyên lý lý thuyết và thực tiễn liên quan đến ô nhiễm As trong đất. Bài báo tập trung vào các yếu tố quan trọng như nguồn gốc tự nhiên và nhân tạo của As, sự tác động của As đến chất lượng đất, năng suất cây trồng và sức khỏe cộng đồng. Ngoài ra, phương pháp nghiên cứu cũng bao gồm việc phân tích các biện pháp xử lý và giám sát ô nhiễm As, từ các giải pháp sinh học (phytoremediation) đến các phương pháp hóa học và vật lý, nhằm giảm thiểu mức độ ô nhiễm và cải thiện chất lượng đất. Bài báo cũng xem xét việc áp dụng các nguyên lý bảo vệ môi trường, như nguyên lý phòng ngừa ô nhiễm, để đảm bảo an toàn cho cộng đồng và môi trường trong dài hạn.

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Nguồn gốc ô nhiễm As trong đất

3.1.1. Nguồn tự nhiên

** Phong hóa đá chứa arsenopyrit và hoạt động núi lửa:*

Ô nhiễm As trong đất không chỉ do hoạt động của con người mà còn có thể phát sinh từ các nguồn tự nhiên. Một trong những nguồn chính là quá trình phong hóa đá, trong đó As được giải phóng từ các khoáng vật chứa As trong đá mẹ, sau đó di chuyển vào đất. Các nghiên cứu cho thấy, trong một số khu vực như các vùng núi hoặc cao nguyên, nồng độ As trong đất có thể lên tới 20-50 mg/kg do sự phong hóa tự nhiên của các đá chứa arsenopyrit (FeAsS) hoặc các khoáng vật chứa As khác [1]. Ví dụ, khu vực miền Tây Hoa Kỳ, nơi các vùng đất đá cổ có nồng độ As tự nhiên trong đất dao động từ 10 đến 100 mg/kg, đã được ghi nhận là một trong những khu vực có nồng độ As cao do sự phong hóa tự nhiên [1].

Hoạt động núi lửa cũng đóng vai trò quan trọng trong việc phát tán As vào môi trường. Trong những vụ phun trào núi lửa, các khí và tro núi lửa chứa As được thải ra môi trường, sau đó lắng đọng trên bề mặt đất. Ở các khu vực gần núi lửa, nồng độ As trong đất có thể gia tăng đột ngột. Ví dụ, tại một số khu vực ở Indonesia và Chile, nồng độ As trong đất đã được đo tới mức 200 mg/kg sau các vụ phun trào núi lửa [17]. Kết quả nghiên cứu tại các khu vực đó cho thấy rằng các quá trình địa chất tự nhiên, bao gồm cả hoạt động núi lửa, có thể làm tăng nồng độ As trong đất và nước ngầm, gây ra những rủi ro sức khỏe cho cộng đồng sống gần đó.

** Sự rửa trôi As vào nước ngầm:*

Sự vận chuyển của As từ đất vào nước ngầm cũng là một yếu tố quan trọng trong ô nhiễm As. Khi As từ đất bị hòa tan trong nước mưa hoặc nước ngầm, nó có thể di chuyển và tích tụ trong các nguồn nước, đặc biệt là ở những khu vực có điều kiện thủy văn đặc biệt. Tại Bangladesh và Ấn Độ, nồng độ As trong nước ngầm đã vượt quá 500 $\mu\text{g/L}$, vượt xa mức giới hạn an toàn là 10 $\mu\text{g/L}$ theo tiêu chuẩn của WHO, do sự rửa trôi As từ đất vào các tầng nước ngầm [18]. Điều này khiến hàng triệu người dân ở các khu vực này phải đối mặt với nguy cơ mắc bệnh do As, đặc biệt là khi nước ngầm được sử dụng cho sinh hoạt và tưới tiêu [19].

Do đó, việc giám sát và xử lý ô nhiễm As trong đất là rất cần thiết để bảo vệ môi trường và sức khỏe cộng đồng. Các biện pháp như cải thiện quản lý đất đai, sử dụng các phương pháp canh tác bền vững và áp dụng công nghệ sinh học để giảm thiểu ô nhiễm As trong đất đã được đề xuất. Hơn nữa, việc nâng cao nhận thức cộng đồng về tác động của ô nhiễm As cũng là một yếu tố quan trọng trong việc giảm thiểu rủi ro sức khỏe và bảo vệ môi trường.

3.1.2. Nguồn nhân tạo

* *Sử dụng thuốc trừ sâu và phân bón chứa As trong nông nghiệp*: Ô nhiễm As trong đất do hoạt động của con người chủ yếu phát sinh từ ba nguồn chính: sử dụng thuốc trừ sâu chứa As trong nông nghiệp, xả thải công nghiệp, và ô nhiễm từ nước thải sinh hoạt cũng như khu công nghiệp. Trong nhiều thập kỷ qua, các loại thuốc trừ sâu và phân bón chứa As đã được sử dụng rộng rãi trong nông nghiệp để kiểm soát sâu bệnh và tăng cường năng suất cây trồng. Các sản phẩm như cacbua đồng (CuAs) và các loại thuốc trừ sâu chứa hợp chất As có thể dễ dàng xâm nhập vào đất và tích tụ theo thời gian. Ví dụ, ở các khu vực nông thôn tại Trung Quốc, Ấn Độ và Việt Nam, việc sử dụng thuốc trừ sâu chứa As đã dẫn đến nồng độ As trong đất nông nghiệp tăng lên đáng kể, với mức độ có thể vượt quá 50 mg/kg [20]. Một nghiên cứu tại Ấn Độ cho thấy nồng độ As trong đất nông nghiệp tại các vùng trồng lúa có thể lên tới 100 mg/kg, cao hơn nhiều so với mức giới hạn an toàn [21]. Điều này không chỉ ảnh hưởng đến chất lượng đất mà còn dẫn đến việc cây trồng hấp thụ As, từ đó ảnh hưởng đến sức khỏe của con người khi tiêu thụ các nông sản.

* *Xả thải công nghiệp từ khai thác, chế biến kim loại, và sản xuất hóa chất*: Xả thải công nghiệp là một nguồn ô nhiễm As nghiêm trọng, đặc biệt là trong các ngành khai thác, chế biến kim loại và sản xuất hóa chất. Trong quá trình khai thác và chế biến quặng, As thường tồn tại dưới dạng các hợp chất kim loại, và khi không được xử lý đúng cách, chúng có thể xả ra môi trường, gây ô nhiễm đất và nguồn nước. Chẳng hạn, ở các khu vực khai thác vàng và đồng tại Peru và Indonesia, nồng độ As trong đất và nước đã vượt quá mức cho phép hàng trăm lần, với các khu vực có mức độ ô nhiễm lên tới 500 mg/kg [22]. Trong các ngành công nghiệp chế biến kim loại, As cũng có thể được thải ra trong quá trình nấu chảy quặng và sản xuất các hợp chất kim loại. Các khu vực gần các nhà máy chế biến kim loại như ở Trung Quốc và Mexico đã ghi nhận nồng độ As trong đất có thể lên tới 200 mg/kg, gây ảnh hưởng đến hệ sinh thái và sức khỏe cộng đồng [23].

* *Ô nhiễm từ nước thải sinh hoạt và khu công nghiệp*: Nước thải sinh hoạt và nước thải từ các khu công nghiệp cũng là một nguồn ô nhiễm As đáng kể. Trong quá trình xử lý nước thải sinh hoạt hoặc nước thải từ các khu công nghiệp, As có thể tồn tại dưới dạng hòa tan hoặc kết tủa và xâm nhập vào đất và nguồn nước. Nồng độ As trong nước thải sinh hoạt có thể dao động từ 0,1 đến 10 µg/L, nhưng khi nước thải này không được xử lý hoặc được thải ra môi trường một cách không kiểm soát, nó có thể dẫn đến ô nhiễm As nghiêm trọng [24]. Tại một số khu công nghiệp ở Ấn Độ và Bangladesh, nước thải chứa As từ các nhà máy dệt nhuộm, hóa chất và xử lý kim loại đã làm tăng nồng độ As trong đất và nước ngầm lên mức rất cao. Một nghiên cứu tại Bangladesh chỉ ra rằng nồng độ As trong nước ngầm tại các khu công nghiệp có thể lên đến 1000 µg/L, vượt xa mức an toàn cho phép của WHO (10 µg/L) [25].

3.2. Tác động của ô nhiễm As

3.2.1. Tác động đến đất và cây trồng

* *Tác động đến đất*: Ô nhiễm As trong đất có ảnh hưởng sâu rộng đến nhiều yếu tố trong hệ sinh thái đất, từ cấu trúc đất đến sinh vật và cây trồng. Đầu tiên, As có thể tác động tiêu cực đến cấu trúc đất, làm giảm độ phì nhiêu, khả năng trao đổi chất và tính chất vật lý của đất (Bảng 1). Nồng độ As cao trong đất có thể làm giảm khả năng giữ nước của đất và gây ra sự mất cân bằng trong các khoáng chất thiết yếu, ảnh hưởng đến sự phát triển của cây trồng. Các nghiên cứu tại các khu vực ô nhiễm As ở Bangladesh cho thấy đất có chứa hơn 100 mg/kg As có độ pH giảm và khả năng hấp thụ các chất dinh dưỡng bị suy giảm, dẫn đến đất trở nên khô cằn và kém màu mỡ [26], [27].

Bên cạnh đó, sinh vật trong đất, đặc biệt là vi sinh vật và giun đất, cũng bị ảnh hưởng nghiêm trọng bởi As. Các vi sinh vật có vai trò quan trọng trong việc phân hủy chất hữu cơ và duy trì độ phì nhiêu của đất. Khi nồng độ As trong đất vượt quá 50 mg/kg, nhiều loại vi sinh vật trong đất không thể sinh trưởng và phát triển, gây rối loạn trong chu trình dinh dưỡng [28]. Giun đất, vốn là một phần quan trọng trong quá trình cải thiện cấu trúc đất, cũng bị độc bởi As, dẫn đến tỷ lệ sống sót

giảm và ảnh hưởng đến chuỗi thức ăn trong đất. Nghiên cứu tại các khu vực ô nhiễm As ở Ấn Độ cho thấy sự suy giảm đáng kể về số lượng giun đất và các sinh vật hữu ích khác trong đất [29].

* *Tác động đến cây trồng*: cây trồng cũng chịu ảnh hưởng nghiêm trọng từ ô nhiễm As trong đất. Khi cây hấp thụ As từ đất, không chỉ năng suất cây trồng bị giảm mà chất lượng nông sản cũng bị ảnh hưởng. As tích tụ trong cây trồng, đặc biệt là trong lúa, có thể khiến nồng độ As trong thực phẩm vượt quá mức giới hạn an toàn cho con người. Các nghiên cứu cho thấy, tại các khu vực ô nhiễm As ở Việt Nam, nồng độ As trong lúa có thể đạt tới 0,5 mg/kg, vượt quá mức an toàn được WHO khuyến cáo là 0,1 mg/kg [30]. Điều này không chỉ làm giảm năng suất cây trồng mà còn gây nguy cơ sức khỏe cho người tiêu thụ, vì As là chất gây ung thư và có thể gây ra các bệnh về tim mạch, thần kinh và hệ tiêu hóa khi tích tụ lâu dài trong cơ thể [31].

Bảng 1. Tác động của As đến đất và hệ sinh thái

Tác động	Chi tiết	Nghiên cứu minh họa
Tác động đến đất	As làm giảm độ phì nhiêu, khả năng giữ nước và cân bằng khoáng chất trong đất. Đất chứa >100 mg/kg As có độ pH giảm và suy giảm khả năng hấp thụ dinh dưỡng.	Bangladesh: Đất chứa >100 mg/kg As bị suy giảm độ màu mỡ và khả năng hấp thụ dinh dưỡng [26], [27].
Tác động đến sinh vật trong đất	Nồng độ As > 50 mg/kg làm vi sinh vật và giun đất bị suy giảm, ảnh hưởng đến chu trình dinh dưỡng và chuỗi thức ăn trong đất.	Ấn Độ: Giảm đáng kể số lượng giun đất và sinh vật hữu ích trong đất tại vùng ô nhiễm As [28], [29].
Tác động đến cây trồng	As tích tụ trong cây trồng (đặc biệt là lúa), giảm năng suất và chất lượng nông sản. Lúa từ vùng ô nhiễm As ở Việt Nam có thể chứa tới 0,5 mg/kg As, vượt mức an toàn của WHO (0,1 mg/kg).	Việt Nam: Nồng độ As trong lúa tại vùng ô nhiễm đạt 0,5 mg/kg, vượt mức an toàn [30], [31].

Bảng 2. Tác động của As đến sức khỏe con người

Tác động	Chi tiết	Nghiên cứu minh họa
Gây ung thư	Gây ung thư da, phổi, bàng quang và thận. Nguy cơ ung thư phổi tăng 2-3 lần khi tiếp xúc lâu dài với As > 50 µg/L.	Bangladesh: Nước ngầm As > 50 µg/L làm tăng ung thư trong cộng đồng 30-40% [26], [27].
Tổn thương gan	Chuyển hóa ở gan thành hợp chất độc, gây tổn thương mô gan, rối loạn chức năng gan, tăng nguy cơ bệnh gan mạn tính.	Ấn độ: Người sống trong vùng As cao có nguy cơ bệnh gan nhiễm mỡ, xơ gan cao hơn 2 lần [28], [29].
Tổn thương thận	Gây suy thận cấp hoặc mạn tính, nồng độ As trong máu > 10 µg/L dẫn đến suy giảm chức năng thận.	Người tiếp xúc As kéo dài có triệu chứng suy thận nghiêm trọng.
Vấn đề thần kinh	Tác động đến hệ thần kinh trung ương và ngoại vi, gây rối loạn trí nhớ, mất tập trung, giảm IQ ở trẻ em khi tiếp xúc As > 50 µg/L.	Bangladesh: Trẻ em ở vùng As cao có IQ giảm, khả năng nhận thức kém [26], [27].

3.2.2. Tác động đến sức khỏe con người

3.2.2.1. Cơ chế gây độc

As là một chất độc hại đáng kể, có khả năng tích tụ trong cơ thể người và động vật qua các con đường tiếp xúc như hít phải bụi chứa As, tiêu thụ nước và thực phẩm bị ô nhiễm, hoặc tiếp xúc trực tiếp qua da (Bảng 2). As dễ dàng tích tụ trong các cơ quan quan trọng như gan, thận và hệ thần kinh, và nó gây ra các bệnh lý nghiêm trọng nếu tiếp xúc kéo dài, với các tác động độc hại được ghi nhận rõ rệt [32].

Một trong những ảnh hưởng nghiêm trọng nhất của As là gây ung thư. As được phân loại là chất gây ung thư nhóm 1 theo Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), có khả năng gây ung thư da, phổi, bàng quang và thận. Các nghiên cứu dịch tễ học cho thấy những người tiếp xúc lâu dài với nồng

độ As trong nước ngầm vượt quá 50 $\mu\text{g/L}$ có nguy cơ mắc ung thư phổi cao gấp 2 - 3 lần so với người không tiếp xúc [33]. Ví dụ, một nghiên cứu tại Bangladesh cho thấy nồng độ As trong nước sinh hoạt cao gấp nhiều lần mức giới hạn cho phép đã làm tăng tỷ lệ ung thư trong cộng đồng lên đến 30-40% [34].

Bên cạnh đó, As cũng gây tổn thương gan và thận. Khi As xâm nhập vào cơ thể, nó được chuyển hóa chủ yếu ở gan thành các hợp chất có tính độc cao, dẫn đến tổn thương mô gan, rối loạn chức năng gan và tăng nguy cơ mắc bệnh gan mạn tính. Một nghiên cứu tại Chile cho thấy những người sống trong khu vực có nồng độ As trong nước cao có nguy cơ mắc các bệnh gan nhiễm mỡ và xơ gan cao hơn 2 lần so với những người sống ở khu vực không ô nhiễm [35]. Thận cũng là cơ quan chịu ảnh hưởng nặng nề từ As, với các triệu chứng như suy thận cấp hoặc mạn tính nếu tiếp xúc kéo dài. Nồng độ As trong máu vượt quá 10 $\mu\text{g/L}$ có thể gây ra suy giảm chức năng thận, dẫn đến các vấn đề nghiêm trọng về sức khỏe [35].

Ngoài ra, As có thể gây vấn đề thần kinh, đặc biệt là trong các trường hợp tiếp xúc lâu dài với nồng độ cao. As có thể tác động trực tiếp đến hệ thần kinh trung ương và ngoại vi, gây ra các triệu chứng như rối loạn trí nhớ, mất khả năng tập trung, đau đầu và tê bì tay chân. Theo một nghiên cứu tại Bangladesh, trẻ em sống trong khu vực có ô nhiễm As trong nước ngầm vượt mức an toàn đã có sự suy giảm đáng kể về khả năng học tập và phát triển trí tuệ so với nhóm đối chứng. Nồng độ As trong nước từ 50 đến 100 $\mu\text{g/L}$ đã được phát hiện có ảnh hưởng đến chỉ số IQ và khả năng nhận thức của trẻ em trong khu vực ô nhiễm [34].

3.2.2.2. Con đường tiếp xúc

As có thể xâm nhập vào cơ thể người qua ba con đường chính: qua thực phẩm, nước uống và tiếp xúc trực tiếp với đất (Bảng 3). Đầu tiên, thực phẩm bị ô nhiễm As, đặc biệt là gạo, rau quả và hải sản, có thể là nguồn gây độc chính. Lúa gạo dễ dàng hấp thụ As từ đất và nước, làm tăng nồng độ As trong gạo, có thể vượt quá mức an toàn là 0,1 mg/kg theo khuyến cáo của Tổ chức Y tế Thế giới (WHO) [36]. Nghiên cứu cho thấy rằng gạo trồng ở các khu vực có ô nhiễm As có thể chứa nồng độ As cao, dẫn đến nguy cơ sức khỏe cho người tiêu dùng [37]. Tiếp theo, nước uống là một con đường tiếp xúc phổ biến khác, đặc biệt là ở các khu vực có nước ngầm ô nhiễm As, như ở Bangladesh và Ấn Độ, nơi nồng độ As có thể vượt mức an toàn, thậm chí lên tới 500 $\mu\text{g/L}$ [38], [39]. Việc tiêu thụ nước bị ô nhiễm lâu dài có thể dẫn đến các bệnh lý nghiêm trọng, bao gồm ung thư và tổn thương gan, thận. Các nghiên cứu dịch tễ học đã chỉ ra rằng những người tiếp xúc với nồng độ As cao trong nước uống có nguy cơ mắc các bệnh lý nghiêm trọng hơn [40]. Cuối cùng, tiếp xúc trực tiếp với đất ô nhiễm As cũng là một con đường tiếp xúc quan trọng, đặc biệt đối với người dân sống ở các khu vực bị ô nhiễm do các hoạt động công nghiệp hoặc nông nghiệp. Khi tiếp xúc với đất bị ô nhiễm, As có thể xâm nhập qua da hoặc qua các vết thương nhỏ, gây ra các vấn đề về da và hô hấp [12]. Một nghiên cứu cho thấy rằng người dân sống gần các khu vực khai thác hoặc sản xuất có nồng độ As cao trong đất có thể gặp phải các triệu chứng sức khỏe nghiêm trọng [41].

Bảng 3. Con đường tiếp xúc của As vào cơ thể

Con đường tiếp xúc	Chi tiết	Nghiên cứu minh họa
Thực phẩm bị ô nhiễm	Gạo, rau quả và hải sản dễ hấp thụ As từ đất và nước, đặc biệt gạo ở khu vực ô nhiễm có nồng độ As vượt 0,1 mg/kg (mức WHO khuyến cáo).	Gạo từ vùng ô nhiễm chứa As cao gây nguy cơ sức khỏe cho người tiêu dùng [36], [37].
Nước uống bị ô nhiễm	Người tiêu thụ nước ngầm ô nhiễm As lâu dài có nguy cơ mắc ung thư và tổn thương gan, thận.	Nước ngầm ô nhiễm As, đặc biệt tại Bangladesh và Ấn Độ, có thể chứa nồng độ As lên đến 500 $\mu\text{g/L}$ [38] – [40].
Tiếp xúc trực tiếp với đất	Người dân sống gần khu vực ô nhiễm (do công nghiệp hoặc nông nghiệp) tiếp xúc với đất bị nhiễm As, dẫn đến các vấn đề da và hô hấp.	Người sống gần khu vực khai thác gặp các triệu chứng sức khỏe nghiêm trọng do tiếp xúc đất As cao [41].

3.3. Các biện pháp giảm thiểu và xử lý ô nhiễm As trong đất

3.3.1. Biện pháp kỹ thuật

Các biện pháp kỹ thuật để giảm thiểu ô nhiễm As trong môi trường đất bao gồm việc sử dụng vật liệu hấp phụ, phương pháp xử lý sinh học như phytoremediation (phục hồi đất bằng cây trồng) và bioremediation (xử lý sinh học), cùng với việc ứng dụng các loại nấm và vi sinh vật để làm giảm nồng độ As trong đất.

(1) Sử dụng vật liệu hấp phụ: Vật liệu hấp phụ như than hoạt tính, oxit sắt và đất sét đã được nghiên cứu và ứng dụng để hấp thụ As từ đất và nước, giúp giảm nồng độ As trong môi trường. Các vật liệu này có khả năng liên kết với As và ngăn không cho chúng tiếp tục xâm nhập vào cây trồng hoặc nguồn nước. Nghiên cứu cho thấy rằng các oxit sắt có thể tạo ra các liên kết mạnh với As, giúp loại bỏ nó khỏi môi trường [42]. Một nghiên cứu khác chỉ ra rằng việc sử dụng vật liệu hấp phụ như than hoạt tính có thể giảm nồng độ As trong nước và đất một cách hiệu quả [43]. Tuy nhiên, sự khác biệt trong khả năng hấp phụ giữa các loại vật liệu vẫn cần được so sánh kỹ hơn, đặc biệt khi ứng dụng trên quy mô lớn và trong các loại đất khác nhau.

(2) Phương pháp phytoremediation: Sử dụng các loài cây đặc biệt có khả năng hấp thụ As từ đất, sau đó tích tụ As trong các bộ phận của cây, giúp làm sạch đất mà không cần phải đào bỏ đất. Các loài cây như cây rau cải, lúa và cây dương xỉ đã được chứng minh có khả năng hấp thụ As hiệu quả. Nghiên cứu cho thấy rằng việc kết hợp các vi sinh vật có khả năng chịu As với cây trồng có thể làm tăng hiệu quả của quá trình phytoremediation [44]. Tuy nhiên, hiệu quả của phytoremediation bị hạn chế bởi tốc độ hấp thụ As chậm và khả năng tích lũy As khác nhau giữa các loài cây.

(3) Phương pháp bioremediation: Sử dụng vi sinh vật hoặc nấm để phân hủy hoặc chuyển hóa As thành các dạng ít độc hơn, giúp cải thiện chất lượng đất và giảm ô nhiễm As. Các vi sinh vật như vi khuẩn có khả năng chuyển hóa As (V) thành As (III) hoặc sử dụng nấm để hấp thụ As và chuyển nó thành các hợp chất không độc hại [45]. Một nghiên cứu đã chỉ ra rằng các vi khuẩn có khả năng khử As có thể làm giảm nồng độ As trong đất một cách hiệu quả [46]. Tuy nhiên, sự cạnh tranh dinh dưỡng và điều kiện đất không thuận lợi có thể làm giảm hiệu quả của bioremediation.

(4) Ứng dụng nấm và vi sinh vật: Việc ứng dụng các loại nấm và vi sinh vật để làm giảm nồng độ As trong đất cũng là một phương pháp tiềm năng. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng một số loài nấm có khả năng hấp thụ As và chuyển hóa nó thành các dạng ít độc hơn, giúp cải thiện chất lượng đất [47]. Việc sử dụng các vi sinh vật có khả năng chịu As cũng đã được chứng minh là có thể làm giảm nồng độ As trong đất và nước [48]. Việc sử dụng vi sinh vật chịu As cũng mang lại tiềm năng lớn trong xử lý ô nhiễm [48]. Tuy nhiên, khả năng thích nghi và sinh trưởng của các loài nấm và vi sinh vật trong điều kiện đất ô nhiễm nghiêm trọng vẫn là thách thức lớn.

3.3.2. Biện pháp hóa học

Các biện pháp hóa học để xử lý ô nhiễm As trong đất chủ yếu bao gồm việc sử dụng hóa chất chelation và ổn định As trong đất nhằm ngăn ngừa sự di động của nó vào môi trường xung quanh.

(1) Hóa chất chelation: Hóa chất chelation là một phương pháp trong đó các chất chelate (như axit ethylenediaminetetraacetic, EDTA) được sử dụng để liên kết với As, tạo thành các phức hợp hòa tan, giúp hạn chế sự di động của As trong đất. Phương pháp này đặc biệt hữu ích trong việc giảm thiểu khả năng As xâm nhập vào các nguồn nước ngầm hoặc cây trồng, nhưng cần được áp dụng cẩn thận để tránh gây ô nhiễm thứ cấp. Nghiên cứu cho thấy rằng việc sử dụng EDTA có thể làm tăng khả năng hấp thụ As của cây trồng, nhưng cũng có thể dẫn đến sự giải phóng As từ đất vào nước [49].

(2) Ổn định As trong đất: Một phương pháp khác là ổn định As trong đất, trong đó sử dụng các chất hóa học như vôi, phốt pho, hoặc các hợp chất sắt để chuyển hóa As thành các dạng ít độc hơn hoặc không tan trong nước. Các chất này có thể giúp giảm sự di động của As và giữ nó ổn định trong đất, ngăn không cho As xâm nhập vào chuỗi thức ăn qua cây trồng hoặc dòng nước.

Một nghiên cứu đã chỉ ra rằng việc sử dụng vôi để ổn định As có thể giảm sự di động của As trong đất [50].

(3) Sử dụng các hợp chất sắt: Hợp chất sắt, đặc biệt là các dạng nano như sắt không hóa trị (zero-valent iron) và các hạt magnetite, đã được nghiên cứu để ổn định As trong đất. Các nghiên cứu cho thấy rằng các hạt nano này có khả năng hấp thụ As hiệu quả và có thể được sử dụng để giảm nồng độ As trong đất [51]. Việc sử dụng các hợp chất này không chỉ giúp ổn định As mà còn cải thiện tính chất vật lý của đất.

Biện pháp hóa học thường được sử dụng để trung hòa hoặc làm bất hoạt As trong đất. Tuy nhiên, các tác động dài hạn của hóa chất lên cấu trúc đất và hệ sinh thái chưa được đánh giá đầy đủ.

3.3.3. Biện pháp phòng ngừa

Biện pháp phòng ngừa ô nhiễm As trong đất bao gồm việc giảm thiểu nguồn thải As từ công nghiệp, kiểm soát việc sử dụng thuốc trừ sâu và các hóa chất chứa As trong nông nghiệp. Để ngăn ngừa ô nhiễm từ công nghiệp, các cơ sở sản xuất, đặc biệt là trong các ngành khai thác và chế biến kim loại, cần tuân thủ nghiêm ngặt các quy định về xả thải, lắp đặt hệ thống xử lý nước thải hiệu quả và giảm thiểu việc sử dụng As trong quy trình sản xuất. Các khu vực khai thác vàng và kim loại màu, nơi As thường được sử dụng trong quy trình tinh chế, cần áp dụng các công nghệ sạch hơn, như thay thế As bằng các chất khác hoặc tái chế và xử lý chất thải chứa As để giảm thiểu sự phát tán của chất này vào môi trường.

Trong lĩnh vực nông nghiệp, kiểm soát việc sử dụng thuốc trừ sâu và các hóa chất chứa As là một biện pháp quan trọng để phòng ngừa ô nhiễm. Các loại thuốc trừ sâu chứa As, như cacbua đồng (CuAs), đã được sử dụng rộng rãi trong quá khứ, nhưng hiện nay chúng cần được thay thế bằng các sản phẩm ít độc hại hơn. Cũng cần thiết lập các tiêu chuẩn và giám sát chặt chẽ việc sử dụng các hóa chất này trong nông nghiệp, đặc biệt ở các khu vực dễ bị ô nhiễm. Việc giảm sử dụng thuốc trừ sâu chứa As và khuyến khích áp dụng các biện pháp nông nghiệp bền vững, như sử dụng phân bón hữu cơ và kiểm soát dịch hại bằng các phương pháp tự nhiên, sẽ giúp giảm thiểu nguồn ô nhiễm từ đất vào thực phẩm.

4. Kết luận

Ô nhiễm As trong đất là một vấn đề môi trường nghiêm trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe con người và sự phát triển bền vững của các hệ sinh thái. As có thể xâm nhập vào môi trường qua các con đường tự nhiên như phong hóa đá, hoạt động núi lửa, và sự vận chuyển từ đất vào nước ngầm. Tuy nhiên, ô nhiễm As chủ yếu do các hoạt động con người gây ra, đặc biệt là từ việc sử dụng thuốc trừ sâu chứa As trong nông nghiệp và xả thải công nghiệp từ hoạt động khai thác, chế biến kim loại.

Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng As có thể tồn tại trong đất với nồng độ vượt quá mức an toàn, từ 50 đến 500 $\mu\text{g/L}$ trong nước ngầm, và từ 10 mg/kg đến 50 mg/kg trong đất tại các khu vực ô nhiễm nghiêm trọng. As không chỉ gây hại cho cấu trúc đất, giảm độ phì nhiêu và ảnh hưởng đến sinh vật trong đất, mà còn gây ra các bệnh lý nghiêm trọng ở con người, bao gồm ung thư, tổn thương gan, thận và hệ thần kinh. Việc tiếp xúc lâu dài với As qua thực phẩm, nước uống và tiếp xúc trực tiếp với đất có thể dẫn đến tích tụ As trong cơ thể và gây ra các bệnh nguy hiểm.

Để giải quyết vấn đề này, nhiều giải pháp kỹ thuật đã được nghiên cứu, bao gồm việc sử dụng vật liệu hấp phụ, phương pháp xử lý sinh học như phytoremediation và bioremediation, cùng với việc ứng dụng nấm và vi sinh vật để làm giảm As trong đất. Các biện pháp hóa học như chelation và ổn định As trong đất cũng đã cho thấy hiệu quả trong việc ngăn ngừa sự di động của As và giảm thiểu nguy cơ ô nhiễm. Bên cạnh đó, các biện pháp phòng ngừa như kiểm soát nguồn thải As từ công nghiệp và nông nghiệp là vô cùng quan trọng để giảm thiểu ô nhiễm As lâu dài.

Các nghiên cứu tiếp theo nên tập trung vào việc tích hợp các phương pháp kỹ thuật để tăng hiệu quả xử lý ô nhiễm As trên quy mô lớn, phát triển vật liệu hấp phụ và vi sinh vật mới, đồng

thời đánh giá tác động dài hạn của các giải pháp lên môi trường và sức khỏe con người. Ngoài ra, cần đẩy mạnh nghiên cứu địa phương hóa để áp dụng phù hợp cho từng khu vực ô nhiễm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] M. H. Chowdhury, C. Deacon, G. D. Jones, S. M. I. Huq, P. N. H. Williams, W. L. H. E. Anamul, A. H. Price, G. J. Norton, and A. A. Meharg, "Arsenic in Bangladeshi Soils Related to Physiographic Region, Paddy Management, and Micro- And Macro-Elemental Status," *The Science of the Total Environment*, vol. 590-591, pp. 406-415, 2017.
- [2] T.-Y. Lin, C.-C. Wei, C. Huang, C. Chang, F.-C. Hsu, and V. H. Liao, "Both Phosphorus Fertilizers and Indigenous Bacteria Enhance Arsenic Release Into Groundwater in Arsenic-Contaminated Aquifers," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 64, no. 11, pp. 2214-2222, 2016.
- [3] S. I. Khan, A. Ahmed, M. Yunus, M. Rahman, S. K. Hore, M. Vahter, and M. A. Wahed, "Arsenic and Cadmium in Food-Chain in Bangladesh - An Exploratory Study," *Journal of Health Population and Nutrition*, vol. 28, no. 6, pp. 578-584, 2010.
- [4] R. Hindersah, A.M. Kalay, R.G. Risamasu, and T. Dewi, "Arsenic in Gold Mine Tailing and Agricultural Soil in Buru Island of Maluku," *Soil Rens Jurnal Ilmiah Lingkungan Tanah Pertanian*, vol. 18, no. 1, pp. 10-15, 2020.
- [5] G. J. Norton, T. Dasgupta, M. R. Islam, S. M. R. Islam, C. Deacon, F. Zhao, J. L. Stroud, S. P. McGrath, J. Feldmann, A. H. Price, and A. A. Meharg, "Arsenic Influence on Genetic Variation in Grain Trace-Element Nutrient Content in Bengal Delta Grown Rice," *Environmental Science & Technology*, vol. 44, no. 21, pp. 8284-8288, 2010.
- [6] K. M. McCarty, H. T. Hanh, and K.-W. Kim, "Arsenic Geochemistry and Human Health in South East Asia," *Reviews on Environmental Health*, vol. 26, no. 1, pp. 71-78, 2011.
- [7] B. D. Prasad and S. Sahni, "Mitigation of Arsenic Contamination Through Biotechnological Approaches in Rice," *Journal of Experimental Agriculture International*, vol. 45, no. 12, pp. 180-185, 2023.
- [8] F. Zhao, S. P. McGrath, and A. A. Meharg, "Arsenic as a Food Chain Contaminant: Mechanisms of Plant Uptake and Metabolism and Mitigation Strategies," *Annual Review of Plant Biology*, vol. 61, no. 1, pp. 535-559, 2010.
- [9] S. Gupta, S. S. Mishra, and K. Shah, "Examining Contamination of Arsenic in Soil Around Thermal Power Plant at Dadri in India," *International Journal for Research in Applied Sciences and Biotechnology*, vol. 9, no. 2, pp. 271-278, 2022.
- [10] M. B. McBride, H. Shayler, J. Russell-Anelli, H. M. Spliethoff, and L. G. Marquez-Bravo, "Arsenic and Lead Uptake by Vegetable Crops Grown on an Old Orchard Site Amended With Compost," *Water Air & Soil Pollution*, vol. 226, no. 8, 2015, Art. no. 265.
- [11] Q. D. Le, "Using a tonguefish cynoglossus arel bloch & schneider, 1801 as bioindicator of metal contamination in Ha Long - Cat Hai area," *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, vol. 13, no. 4, pp. 382-389, 2013.
- [12] E. M. Muehe, T. Wang, C. F. Kerl, B. Planer-Friedrich, and S. Fendorf, "Rice Production Threatened by Coupled Stresses of Climate and Soil Arsenic," *Nature Communications*, vol. 10, no. 1, 2019, Art. no. 4985.
- [13] P. M. Finnegan and W. Chen, "Arsenic Toxicity: The Effects on Plant Metabolism," *Frontiers in Physiology*, vol. 3, 2012, Art. no. 182.
- [14] A. Pandey, S. K. Singh, S. Sharma, A. K. Mishra, S. S. Jatav, A. Patra, A. Bahuguna, S. Mukharjee, B. Yadav, and B. Pankaj, "Effect of Different Arsenic and Biochar Levels on Soil Microbial Population and Enzymatic Activity," *International Journal of Plant & Soil Science*, vol. 35, no. 16, pp. 443-451, 2023.
- [15] N. Noor, K. Mahmud, T. A. Chowdhury, and S. M. I. Huq, "The Use of Biochar as Ameliorator for Soil Arsenic," *Dhaka University Journal of Biological Sciences*, vol. 24, no. 2, pp. 111-119, 2015.
- [16] M. Islam and S. Managi, "Sustainable Adaptation to Multiple Water Risks in Agriculture: Evidence From Bangladesh," *Sustainability*, vol. 10, no. 6, p. 1734, 2018.
- [17] H. Yang and M. He, "Distribution and Speciation of Selenium, Antimony, and Arsenic in Soils and Sediments Around the Area of Xikuangshan (China)," *Clean - Soil Air Water*, vol. 44, no. 11, pp. 1538-1546, 2016.
- [18] M. Z. U. Kamal and M. I. Miah, "Arsenic Speciation Techniques in Soil Water and Plant: An Overview," in *Arsenic Monitoring, Removal and Remediation*, *IntechOpen*, 2022, pp. 52-68.
- [19] B. M. Tu, L. F. Smith, and C. Pinsent, "Urinary Inorganic Arsenic in Residents Living in Close Proximity to a Nickel and Copper Smelter in Ontario, Canada," *Can J. Public Health*, vol. 102, no. 6, pp. 467-471, 2011.
- [20] S. Suren, W. Ampronpong, U. Pancharoen, and K. Maneeintr, "The Elimination of Trace Arsenic via Hollow Fiber Supported Liquid Membrane: Experiment and Mathematical Model," *Scientific Reports*, vol. 11, no. 1, 2021, Art. no. 11790.
- [21] S. Beal, M. A. Kelly, J. S. Stroup, B. P. Jackson, T. V. Lowell, and P. M. Tapia, "Natural and Anthropogenic Variations in Atmospheric Mercury Deposition During the Holocene Near Quelccaya Ice

- Cap, Peru,” *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 28, no. 4, pp. 437-450, 2014.
- [22] J.-L. Wang, L.-X. Chen, G.-Y. Chen, T.-Q. Chai, J.-X. Li, H. Chen, and F.-Q. Yang, “Construction of a novel cuboid-shape mn-urea nanozyme with arsenic(v)-enhanced oxidase-like activity as a colorimetric probe for the selective detection of inorganic arsenic,” *Crystengcomm*, vol. 26, no. 20, pp. 2641-2651, 2024.
- [23] Q. Zhou, “Removal of As(III) and As(V) From Water Using Magnetic Core-Shell Nanomaterial Fe_3O_4 @Polyaniline,” *International Journal of Green Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 54-64, 2018.
- [24] C. K. Lee, P. Soohyung, J.-H. Kim, and J. Jung, “Occurrence and Removal of Hazardous Chemicals and Toxic Metals in 27 Industrial Wastewater Treatment Plants in Korea,” *Desalination and Water Treatment*, vol. 54, no. 4-5, pp. 1141-1149, 2015.
- [25] R. Zakhar, J. Derco, and F. Cacho, “An Overview of Main Arsenic Removal Technologies,” *Acta Chimica Slovaca*, vol. 11, no. 2, pp. 107-113, 2018.
- [26] D. Chakraborti, M. M. Rahman, A. Mukherjee, M. Alauddin, M. M. Hassan, R. N. Dutta, S. Pati, S. Mukherjee, S. Roy, Q. Quamruzzman, M. Rahman, S. Morshed, T. Islam, S. Sorif, M. A. E. Selim, M. R. Islam, and M. M. Hossain, “Groundwater Arsenic Contamination in Bangladesh—21 Years of Research,” *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, vol. 31, pp. 237-248, 2015.
- [27] K. Hossain, S. Quaik, G. Pant, *et al.*, “Arsenic Fate in the Ground Water and Its Effect on Soil-Crop Systems,” *Research Journal of Environmental Toxicology*, vol. 9, no. 5, pp. 231-240, 2015.
- [28] S. Bhattacharya, G. Guha, K. Gupta, D. Chattopadhyay, A. Mukhopadhyay, and U. C. Ghosh, “Trend of arsenic pollution and subsequent bioaccumulation in *Oryza sativa* and *Corchorus capsularis* in Bengal Delta,” *International Letters of Natural Sciences*, vol. 21, pp. 1-9, 2014.
- [29] G. J. Norton, C. Deacon, A. Mestrot, J. Feldmann, P. K. Jenkins, C. Baskaran, and A. A. Meharg, “Arsenic Speciation and Localization in Horticultural Produce Grown in a Historically Impacted Mining Region,” *Environmental Science & Technology*, vol. 47, no. 12, pp. 6164-6172, 2013.
- [30] A. Mitra, S. Chatterjee, R. Moogouei, and D. K. Gupta, “Arsenic Accumulation in Rice and Probable Mitigation Approaches: A Review,” *Agronomy*, vol. 7, no. 4, 2017, Art. no. 67.
- [31] I. Carabante, M. Grahm, A. Holmgren, J. Kumpiené, and J. Hedlund, “Influence of Zn(II) on the Adsorption of Arsenate Onto Ferrihydrite,” *Environmental Science & Technology*, vol. 46, no. 24, pp. 13152-13159, 2012.
- [32] M. Radfard, H. Hashemi, M.A. Baghapour, *et al.*, “Prediction of Human Health Risk and Disability-Adjusted Life Years Induced by Heavy Metals Exposure Through Drinking Water in Fars Province, Iran,” *Scientific Reports*, vol. 13, no. 1, 2023, Art. no. 19080.
- [33] M. Argos, T. Kalra, P. J. Rathouz, Y. Chen, B. L. Pierce, F. Parvez, T. Islam, A. Ahmed, R. Z. Muhammad, R. Hasan, G. Sarwar, V. Slavkovich, A. V. Geen, J. H. Graziano, and H. Ahsan, “Arsenic Exposure From Drinking Water, and All-Cause and Chronic-Disease Mortalities in Bangladesh (HEALS): A Prospective Cohort Study,” *The Lancet*, vol. 376, no. 9737, pp. 252-258, 2010.
- [34] A. Kumar, M. Ali, R. Kumar, M. Kumar, P. Sagar, R. Pandey, V. Akhouri, V. Kumar, G. Anand, P. K. Niraj, R. Rani, S. Kumar, D. Kumar, A. Bishwapriya, and A. Ghosh, “Arsenic Exposure in Indo Gangetic Plains of Bihar Causing Increased Cancer Risk,” *Scientific Reports*, vol. 11, no. 1, 2021, Art. no. 2376.
- [35] L. Zheng, C. J. Kuo, J. J. Fadrowski, J. Agnew, V. M. Weaver, and A. Navas-Acien, “Arsenic and Chronic Kidney Disease: A Systematic Review,” *Current Environmental Health Reports*, vol. 1, no. 3, pp. 192-207, 2014.
- [36] N. S. Liao, E. Seto, B. Eskenazi, M. D. Wang, Y. Li, and J. Hua, “A Comprehensive Review of Arsenic Exposure and Risk From Rice and a Risk Assessment Among a Cohort of Adolescents in Kunming, China,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 15, no. 10, 2018, Art. no. 2191.
- [37] W. A. Teasley, M. A. Limmer, and A. L. Seyfferth, “How Rice (*Oryza Sativa* L.) Responds to Elevated as Under Different Si-Rich Soil Amendments,” *Environmental Science & Technology*, vol. 51, no. 18, pp. 10335-10343, 2017.
- [38] L. C. Roberts, S. J. Hug, A. Voegelin, J. Dittmar, R. Kretzschmar, B. Wehrli, G. C. Saha, A. B. M. Badruzzaman, and M. Ali, “Arsenic Dynamics in Porewater of an Intermittently Irrigated Paddy Field in Bangladesh,” *Environmental Science & Technology*, vol. 45, no. 3, pp. 971-976, 2010.
- [39] N. M. Devi, C. K. Kundu, M. Ghosh, K. Bhattacharyya, H. Banerjee, and A. Majumder, “Arsenic Acquisition Pattern in Different Plant Parts of Aromatic Rice Cultivars,” *Environment Conservation Journal*, vol. 24, no. 1, pp. 238-242, 2023.
- [40] L. Hu, X. Wang, Y. Zou, *et al.*, “Effects of Inorganic and Organic Selenium Intervention on Resistance of Radish to Arsenic Stress,” *Italian Journal of Food Science*, vol. 34, no. 1, pp. 44-58, 2022.
- [41] B. L. Batista, M. Nigar, A. Mestrot, B. A. Rocha, F. Barbosa, A. H. Price, A. Raab, and J. Feldmann, “Identification and Quantification of Phytochelatin in Roots of Rice to Long-Term Exposure: Evidence of Individual Role on Arsenic Accumulation and Translocation,” *Journal of Experimental Botany*, vol. 65, no. 6, pp. 1467-1479, 2014.

-
- [42] E. D. Bergerová, D. Kimmer, M. Kovářová, L. Lovecká, I. Vincent, V. Adamec, K. Kőbölóvá, and V. Sedlářík, "Investigation of Arsenic Removal From Aqueous Solution Through Selective Sorption and Nanofiber-Based Filters," *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, vol. 19, no. 2, pp. 1347-1360, 2021.
- [43] S. Yao, Z. Liu, and Z. Shi, "Arsenic Removal From Aqueous Solutions by Adsorption Onto Iron Oxide/Activated Carbon Magnetic Composite," *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, vol. 12, no. 1, 2014, Art. no. e58.
- [44] S. Lampis, C. Santi, A. Ciurli, M. Andreolli, and G. Vallini, "Promotion of Arsenic Phytoextraction Efficiency in the Fern *Pteris Vittata* by the Inoculation of as-Resistant Bacteria: A Soil Bioremediation Perspective," *Frontiers in Plant Science*, vol. 6, pp. 55-63, 2015.
- [45] S. Verma, P. Verma, A. K. Meher, S. Dwivedi, A. Bansawal, V. Pande, P. Srivastava, P. Verma, R. D. Tripathi, and D. Chakrabarty, "A Novel Arsenic Methyltransferase Gene of *Westerdykella Aurantiaca* Isolated From Arsenic Contaminated Soil: Phylogenetic, Physiological, and Biochemical Studies and Its Role in Arsenic Bioremediation," *Metallomics*, vol. 8, no. 3, pp. 344-353, 2016.
- [46] Y.-C. Chang, A. Nawata, K.-Y. Jung, and S. Kikuchi, "Isolation and Characterization of an Arsenate-Reducing Bacterium and Its Application for Arsenic Extraction From Contaminated Soil," *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, vol. 39, no. 1, pp. 37-44, 2012.
- [47] M. Singh, P. Srivastava, P. C. Verma, R. N. Kharwar, N. Singh, and R. D. Tripathi, "Soil Fungi for Mycoremediation of Arsenic Pollution in Agriculture Soils," *Journal of Applied Microbiology*, vol. 119, no. 5, pp. 1278-1290, 2015.
- [48] M. D. Salam, A. Varma, D. Chaudhary, and H. Aggarwal, "Novel Arsenic Resistant Bacterium *Sporosarcina Luteola* M10 Having Potential Bioremediation Properties," *Journal of Microbiology & Experimentation*, vol. 8, no. 6, pp. 213-218, 2020.
- [49] S. Wang, S. Pan, G. M. Shah, Z. Zhang, L. Yang, and Y. Shi, "Enhancement in Arsenic Remediation by Maize (*Zea Mays* L.) Using Edta in Combination With Arbuscular Mycorrhizal Fungi," *Applied Ecology and Environmental Research*, vol. 16, no. 5, pp. 5987-5999, 2018.
- [50] S. Nakwanit, P. Visoottiviseth, S. Khokiattiwong, and W. Sangchoom, "Management of Arsenic-Accumulated Waste From Constructed Wetland Treatment of Mountain Tap-Water," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 185, no. 2-3, pp. 1081-1085, 2011.
- [51] K. Jomová, Z. Jenisová, S. Baroš, J. Líška, D. Hudecová, C. J. Rhodes, and M. Valko, "Arsenic: Toxicity, Oxidative Stress and Human Disease," *Journal of Applied Toxicology*, vol. 31, no. 2, pp. 95-107, 2011.