EFFECTS OF BLUE-GREEN ALGAE IN CONDITIONING AGRICULTURAL SOIL AND POTENTIAL OF APPLICATION IN VIETNAM - A REVIEW

Hoang Huu Chien
TNU - University of Agriculture and Forestry

ARTICLE INFO

Received: 21/11/2021

Revised: 09/3/2022

Published: 04/4/2022

KEYWORDS

Cyanobacteria
Soil improvement
Culture
Potential
Vietnam

ABSTRACT

Agricultural land in Vietnam not only decreases in the area but also confronts the degradation of soil quality due to both natural and social-economic factors. Traditional soil conditioners, particularly organic fertilizers, have been more and more inadequate and difficult to control the quality. Recently, the role and potential of microalgae and blue-green algae in particular in agriculture have become a concerning subject of many researchers. The objectives of this review were to summarize the benefits of using blue-green algae in enhancing soil fertility as well as improving the yield and quality of agricultural products. The author has approached and updated the latest publications on the application of cyanobacteria in the world and studies on the distribution, species composition, and culturing conditions in Vietnam. Accordingly, the effectiveness of using c blue-green algae in soil amelioration has been systematically shown and the conditions of Vietnam are absolutely suitable for the cultivation of these microorganisms. Further studies should be required to overcome the obstacles in the use and culture of microalgae in Vietnam.

HIỆU QUẢ CỦA TẢO LAM TRONG CẢI TẠO ĐẤT NÔNG NGHIỆP VÀ TIỀM NĂNG ỨNG DỤNG TẠI VIỆT NAM - BÀI VIẾT TỔNG QUAN

Hoàng Hữu Chiến
Trường Đại học Nông Lâm – ĐH Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận bài: 21/11/2021

Ngày hoàn thiện: 09/3/2022

Ngày đăng: 04/4/2022

TỪ KHÓA

Cyanobacteria
Cải tạo đất
Nuôi trồng
Tiềm năng
Việt Nam

TÓM TẮT

Đất nông nghiệp ở nước ta không những đang suy giảm về diện tích mà còn đối mặt với tình trạng suy thoái về chất lượng do nhiều nguyên nhân thuộc cả về điều kiện tự nhiên và kinh tế - xã hội. Các vật liệu cải tạo đất truyền thống, điển hình là phân hữu cơ, đang ngày càng cạn kiệt về số lượng và khó kiểm soát về chất lượng. Gần đây, vai trò và tiềm năng ứng dụng của các loại vi tảo nói chung và tảo lam nói riêng trong nông nghiệp nhận được nhiều quan tâm của các nhà nghiên cứu. Mục tiêu của bài tổng quan là khái quát những lợi ích mang lại khi sử dụng tảo lam trong nâng cao độ phì đất cũng như cải thiện năng suất và chất lượng nông sản. Tác giả đã tiếp cận và cập nhật các kết quả nghiên cứu mới về ứng dụng của tảo lam trên thế giới và các nghiên cứu về sự phân bố, thành phần loài và điều kiện nuôi trồng ở Việt Nam. Theo đó, hiệu quả của sử dụng tảo lam trong cải tạo đất đã được chỉ ra một cách có hệ thống và điều kiện của Việt Nam hoàn toàn phù hợp cho việc nuôi trồng loại vi sinh này. Các nghiên cứu sâu hơn cần được thực hiện để khắc phục những trở ngại trong sử dụng và nuôi trồng vi tảo ở nước ta.

DOI: https://doi.org/10.34238/tnu-jst.5272

Email: hoanghuuchien@tuaf.edu.vn

1. Giới thiệu

Việt Nam là quốc gia đang phát triển với sự chuyển dịch mạnh mẽ về cơ cấu kinh tế cũng như sự diễn ra mạnh mẽ của công nghiệp hóa và đô thị hóa. Tuy nhiên, ngành nông nghiệp vẫn đóng vai trò quan trọng đối với kinh tế - xã hội, với 18% GDP và 15,2% giá trị xuất khẩu [1]. Để phát triển nông nghiệp, đất là tư liệu sản xuất cực kỳ quan trọng và không thể thay thế. Với ¾ diện tích tự nhiên là đồi núi với độ dốc cao cùng diễn biến ngày càng cực đoan của biến đổi khí hậu, đất đồi núi của nước ta đang đối mặt hiện tượng xói mòn mạnh [2], [3]. Trong khi đó, ở các vùng đồng bằng ven biển hoặc cửa sông, đất cũng có biểu hiện của sự thoái hóa thông qua các quá trình mặn hóa, phèn hoá và chua hóa [4]. Đây là các nhân tố thuộc về điều kiện tự nhiên gây ra tình trạng thoái hóa đất.

Cùng với quá trình thâm canh tăng năng suất cây trồng, đất nông nghiệp đang phải đối mặt với nguy cơ suy giảm chất lượng và ô nhiễm do lạm dụng hóa chất. Nhiều kết quả nghiên cứu đã chứng minh rằng, hàm lượng chất hữu cơ và sức sản xuất của đất đang bị suy giảm nghiêm trọng do sử dụng lâu dài phân bón hóa học [5]. Việc tăng cường bón các loại phân hữu cơ như phân chuồng, phân xanh, phân rác ủ kết hợp với phân khoáng được khuyến khích mạnh mẽ để cải tạo sức sản xuất của đất. Tuy nhiên, trong xu hướng công nghiệp hóa và hiện đại hóa nông nghiệp, nguồn vật liệu hữu cơ truyền thống đang ngày càng cạn kiệt, trong khi chất lượng phân bón chưa được kiểm soát chặt chẽ [6], do đó việc tìm kiếm các nguồn vật liệu thay thế là điều kiện tiên quyết để duy trì một nền nông nghiệp bền vững. Sản xuất nông nghiệp sạch, nâng cao chất lượng nông sản nhằm đảm bảo vệ sinh an toàn thực phẩm và thân thiện với môi trường đang là mục tiêu phấn đấu của ngành nông nghiệp nói chung và nông dân nói riêng. Nhận thức được rằng bảo vệ và cải tạo đất nông nghiệp là hoạt động có ý nghĩa quan trọng để đạt được các mục tiêu đó. Gần đây, các vật liệu cải tạo đất có nguồn gốc từ cả kinh nghiệm truyền thống và công nghệ hiện đại đã được áp dụng trong sản xuất nông nghiệp trên Thế giới, trong đó có vi tảo.

Công nghệ vi tảo có khả năng ứng dụng trong nhiều ngành, lĩnh vực như nuôi trồng thủy sản, chăn nuôi, công nghệ thực phẩm, thực phẩm chức năng, y học và dược phẩm… đối với ngành nông nghiệp nói chung và nhiệm vụ cải tạo đất cũng như nâng cao năng suất và chất lượng sản phẩm cây trồng nói riêng, nhiều nghiên cứu trên thế giới đã chỉ ra những tác động tích cực và hiệu quả của việc sử dụng tảo lam (*blue-green algae - BGA*) trong sản xuất phân bón và cải tạo đất. Ở Việt Nam, các nghiên cứu về tảo lam trong cải tạo đất đã được một số tác giả tiến hành như Võ Hành và CS (2006) [7], Phùng Thị Nguyệt Hồng (1992) [8], Dương Đức Tiến (1994) [9]. Tuy nhiên, nội dung và kết quả của các nghiên cứu này mới chỉ tập trung ở khả năng cố định N của tảo lam, trong khi các tác động tích cực khác chưa được đề cập nhiều. Hơn nữa, việc áp dụng công nghệ này chưa được quan tâm đúng mức, đồng bộ, khoa học và thực sự có hiệu quả trên diện rộng tại Việt Nam với các loại đất và cây trồng có đặc tính khác nhau.

Bằng việc kế thừa, phân tích và tổng hợp các kết quả nghiên cứu trên Thế giới và Việt Nam, bài viết tổng quan này sẽ tạo ra cách nhìn khái quát về hiện trạng và tiềm năng ứng dụng công nghệ vi tảo trong nông nghiệp, đặc biệt là hoạt động bảo vệ và cải tạo đất nông nghiệp tại Việt Nam.

2. Khái niệm và phân loại vi tảo

Tảo là nhóm sinh vật quang hợp tự dưỡng có mặt ở các dạng thủy vực khác nhau như ao, hồ, sông, suối và biển. Chúng có khả năng tạo ra khí oxy thông qua quá trình quang hợp. Tảo rất đa dạng và được phân chia thành nhiều ngành khác nhau với những đặc điểm và tính chất riêng biệt, từ vi khuẩn lam nhân đơn bào đến tảo đa bào nhân phức tạp.

Vi tảo là vi sinh vật đơn bào phát triển mạnh ở cả môi trường nước mặn và nước ngọt thuộc nhóm tảo. Mặc dù không có cấu trúc và cơ quan phức tạp khi so sánh với tảo thực vật, vi tảo vẫn có thể quang hợp nhờ vào các sắc tố quang hợp như chất diệp lục trong tế bào của chúng. Vi tảo chưa được phân loại một cách rõ ràng do chúng thuộc nhiều phân lớp thực vật và vi sinh vật khác nhau. Hiện tại việc phân loại có thể dựa trên sự khác nhau về sắc tố, sản phẩm lưu trữ, màng quang hợp hoặc một số đặc điểm hình thái khác. Sự phân loại vi tảo được mô tả ở bảng 1.

Bảng 1. *Phân loại vi tảo*

Ngành	Tên	Nơi sống
Chlorophyta	Tảo xanh	Nước ngọt và nước mặn
Chrysophyta	Tảo nâu vàng	Nước ngọt và nước mặn
Chryptophyta	Crytomonads	Nước mặn
Euglenophyta	Euglena	Nước ngọt
Cyanophyta	Tảo lam	Nước ngọt và nước mặn
Phaeophyta	Tảo nâu	Nước mặn
Pyrrhophyta	Dinoflagellates	Nước ngọt và nước mặn
Rhodophyta	Tảo đỏ	Nước ngọt và nước mặn
Xanthophyta	Tảo xanh vàng	Nước ngọt và nước mặn
Prochlorophyta	Prochloron	

(Nguồn: Hedimbi, 2010) [10]

Trong đó, tảo lam hay vi khuẩn lam (*Cyanobacteria – blue-green algae – BGA*) được biết đến nhiều nhất với khả năng cố định khí nitơ (N_2) từ không khí [11]-[13] và hòa tan lân khó tiêu (P) trong đất [14], [15]. Bên cạnh đó, tảo lam còn là nhóm vi sinh vật phong phú nhất trên trái đất, được tìm thấy ở nhiều môi trường khác nhau.

Việc phân loại BGA được điều chỉnh và tái bản liên tục trong những năm gần đây. Trong tương lai, các tài liệu đó sẽ tiếp tục được cập nhật, chỉnh sửa và bổ sung. Bảng 2 tổng hợp kết quả của các nghiên cứu phân loại BGA dựa vào cấu trúc phân tử. Theo đó, ngành Cyanophyta chỉ có một lớp *Cyanophyceae* và được phân chia thành 8 bộ với 46 họ.

Bảng 2. *Phân loại tảo lam*

Ngành	Lớp	Bộ	Họ
Cyanophyta	***Cyanophyceae***	*Gloeobacterales*	Gloeobacteraceae
		Synechococcales	Synechococcaceae
			Merismopediaceae
			Prochloraceae
			Coelosphaeriaceae
			Acaryochloridaceae
			Chamaesiphonaceae
			Romeriaceae
			Pseudanabaenaceae
			Leptolyngbyaceae
			Heteroleibleiniaceae
			Schizotrichaceae
		Spirulinales	Spirulinaceae
			Microcystaceae
		Chroococcales	Aphanothecaceae
			Cyanobacteriaceae
			Cyanothrichaceae
			Gomphosphaeriaceae
			Chroococcaceae
			Stichosiphonaceae
			Entophysalidaceae
			Hydrococcaceae
		Pleurocapsales	Dermocarpellaceae
			Xenococcaceae
			Hyellaceae
		Chroococcidiopsidales	Chroococcidiopsidaceae
			Cyanothecaceae
		Oscillatoriales	Borziaceae
			Coleofasciculaceae

Ngành	Lớp	Bộ	Họ
			Microcoleaceae
			Homoeotrichaceae
			Oscillatoriaceae
			Gomontiellaceae
			Scytonemataceae
			Symphyonemataceae
			Rivulariaceae
			Tolypothrichaceae
			Godleyaceae
			Chlorogloeopsidaceae
		Nostocales	Capsosiraceae
			Stigonemataceae
			Hapalosiphonaceae
			Fortieaceae
			Gloeotrichiaceae
			Aphanizomenonaceae
			Nostocaceae

(Nguồn: Komárek, 2014) [16]

3. Hiệu quả của tảo lam trong cải tạo đất và nâng cao năng suất, chất lượng nông sản

Đối với trồng trọt, giá trị chủ yếu của BGA là khả năng cố định N_2 để tạo ra nguồn dinh dưỡng đạm cung cấp cho cây trồng [17]-[21]. *Anabaena* và *Nostoc* là 2 loài tảo lam điển hình có khả năng cố định N_2 trong các dị bào dạng sợi [22]. Đối với dinh dưỡng lân (P), *Anabaena* và *Nostoc* có thể hòa tan tricalcium phosphate [23], [24] và hydroxyapatite [25], *Westiellopsis prolifica* và *Anabaena variabilis* có thể hòa tan P trong đá photphat và tricalcium photphat [15]. Các chất dinh dưỡng vi lượng như Mg, Fe, Ca, Zn, Na, S, Cl, B, Mn, Mg và Co cũng rất cần thiết cho sự sinh trưởng và phát triển của tảo lam [26]. Việc nuôi cấy tảo lam làm tăng hàm lượng Fe, Zn, Mn và Cu trong đất [27] cũng như trong các bộ phận của cây như Zn trong lá ngô [28] và Fe, Zn, Mn và Cu trong lúa mì [29].

Nếu tảo lam được nuôi cấy thành công, lớp vỏ sinh học của đất có thể được tạo ra [30] và có những tác động đáng kể trong bảo vệ và cải thiện tính chất vật lý của đất. Sợi tảo lam và chất tiết ngoại bào của chúng (chủ yếu là các exopolysaccharid hoạt động như chất kết dính, liên kết các hạt đất và thúc đẩy sự hình thành kết cấu đất) có khả năng làm tăng độ ổn định của đất [31]. Các exopolysaccharid cũng tăng cường khả năng giữ nước [32], [33] và bảo vệ hệ vi sinh vật đất [34].

Bón phân vi sinh hoặc chế phẩm sinh học chứa tảo lam được nhìn nhận là biện pháp kỹ thuật nâng cao sinh khối vi sinh vật trong đất trồng trọt như: sinh khối tảo lam trong đất canh tác lúa mì [35], [36] và đất canh tác đậu xanh [37]; hỗn hợp tảo lam với các vi sinh vật có ích khác trong đất trồng bông [38], đất trồng đậu bắp [39] và đất trồng hoa cúc [40]. Hỗn hợp tảo lục và tảo lam dạng khô cũng có hiệu quả trong tăng sinh khối vi sinh trong đất trồng lúa mì [41]. Bột tảo lam khô được coi là một loại phân bón hữu cơ (tan chậm) [42], [43] chứa một số chất kích thích sinh trưởng đối với cây trồng [44]. Do đó, việc sử dụng tảo lam rất có hiệu quả trong cải thiện sự sinh trưởng, phát triển, năng suất và chất lượng cây trồng như ngô, lúa mì và lúa gạo [35], [45]-[47], đậu và củ cải đường [48] và một số loại rau [49].

Thuốc bảo vệ thực vật sinh học: Nông nghiệp thông minh sử dụng chế phẩm nano vi tảo có thể cung cấp giải pháp sinh học trong phòng trừ sâu bệnh. Công nghệ nano hiện còn khá mới mẻ và đang được xúc tiến ứng dụng trong nhiều ngành và lĩnh vực; trong đó có nông nghiệp, đặc biệt là sản xuất phân bón và thuốc bảo vệ thực vật. Sử dụng nano vi tảo trong nông nghiệp bao gồm việc sử dụng thuốc bảo vệ thực vật nano. Sử dụng nanosilicon từ *oscillatoria agardihii* cho cây lúa mì làm giảm nguy cơ nhiễm bệnh phấn trắng, rỉ sắt và đốm lá [50]. Do đó, vi tảo được xác định là nhân tố tiềm năng giúp chống lại sâu bệnh và gia tăng năng suất cây trồng.

Ngoài ra, tảo lam còn được sử dụng trong xử lý nước ô nhiễm thông qua quá trình hấp thụ các chất dinh dưỡng, hấp phụ kim loại, loại bỏ chất hữu cơ và các chất ô nhiễm, sinh sống cộng sinh [51].

4. Điều kiện nuôi trồng tảo lam

Vi tảo nói chung và tảo lam nói riêng có khả năng sinh trưởng và phát triển mạnh ở điều kiện môi trường đa dạng. Hiệu suất quang hợp cao cùng với khả năng tích lũy sinh khối lớn khiến vi tảo đang được coi là một trong những nguồn nguyên liệu lớn cho các ngành công nghiệp [52]. So với những đối tượng nông nghiệp khác, việc nuôi trồng các loài vi tảo không cần đất đai màu mỡ và rộng lớn cũng như các điều kiện khắt khe trong bảo vệ như diệt trừ sâu bệnh, nấm mốc. Bên cạnh đó, việc nuôi trồng vi tảo ít gây ra sự cạnh tranh về tài nguyên và môi trường với hầu hết các sinh vật khác [53]. Hơn nữa, nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng phần lớn các loài vi tảo có thể được nuôi trồng tốt trong các loại nước thải công nghiệp và nước thải sinh hoạt [54], [55].

5. Tiềm năng và trở ngại của ứng dụng tảo lam trong nông nghiệp Việt Nam

Tảo lam có mặt hầu hết các thủy vực nước ngọt, lợ, mặn và kể cả môi trường trên cạn. Tảo lam phát triển được ở cả những vùng có khí hậu ấm áp đến cả những vùng bắc cực giá rét. Gần đây đã có khá nhiều công trình nghiên cứu về sự phân bố và thành phần loài của tảo lam ở Việt Nam. Theo đó, ghi nhận được 40 loài/dưới loài trong đất trồng lúa huyện Nghĩa Đàn, tỉnh Nghệ An [56], 49 loài ở Trà Vinh [57] và 49 loài thuộc 3 bộ (*Chroococcales*, *Oscillatoriales*, *Noctoscales*), 8 họ, 17 chi ở khu bảo tồn sinh thái Đồng Tháp Mười [58].

Ở nước ta, một số loài tảo lam đang được nuôi trồng với mục đích xử lý nước thải và thu lại sinh khối như *Chlorella sp.* [59] và *Scenedesmus sp.* [60]. Các nghiên cứu đều chỉ ra rằng, môi trường nước thải công nghiệp và nước thải đô thị ở Việt Nam khá phù hợp cho sự sinh trưởng, phát triển và tạo sinh khối của tảo lam. Tuy nhiên, công nghệ nuôi trồng vi tảo theo các phương pháp cổ truyền, bán liên tục như nuôi kín trong bịch nhựa, nuôi hở trong bể xi măng, bể sợi thủy tinh là những hệ thống nuôi trồng đang lạc hậu so với thế giới và tồn tại nhiều nhược điểm. Một vấn đề nữa cần lưu ý đó là thu hoạch sinh khối, một trong những công việc chính của nuôi trồng và chế biến vi tảo, hiện nay cũng còn được thực hiện một cách thủ công dẫn đến sinh khối thu hoạch được không nhiều và chất lượng sản phẩm chưa thực sự đảm bảo. Nhiều nghiên cứu chỉ ra rằng, khoản bỏ ra cho việc thu hoạch chiếm từ 20% đến 30% tổng chi phí sản xuất [61]. Để khắc phục hạn chế này, Phạm Thị Mai và CS (2019) [60] đã nghiên cứu được một số phương pháp thu hoạch vi tảo có hiệu suất cao nhưng chưa được ứng dụng phổ biến.

6. Kết luận

Có thể thấy vi tảo nói chung và tảo lam nói riêng đang có nhiều ứng dụng hữu ích trong nông nghiệp, đặc biệt là trong xu thế phát triển nông nghiệp bền vững công nghệ cao. Hầu hết các nghiên cứu đều khẳng định đặc tính sinh học tích cực của tảo lam đối với đất, cây trồng và môi trường. Mặc dù là có tiềm năng to lớn trong nuôi trồng và ứng dụng tảo lam nhưng các nghiên cứu về vi tảo và tảo lam ở Việt Nam còn đơn giản, chủ yếu mang tính kỹ thuật, kết quả chỉ dừng lại ở phát hiện thành phần loài cũng như sự phân bố của chúng trong môi trường.

Để đáp ứng các yêu cầu của nông nghiệp sạch, nông nghiệp thông minh và nông nghiệp công nghệ cao, các nghiên cứu sâu và mang tính hệ thống về đặc điểm hình thái, hoạt chất, tác dụng, phân loại, môi trường thích hợp cho tảo lam và nuôi trồng chúng cần được thực hiện trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

[1] T. H. Nguyen, T. H. Le, and T. Bui, "Structure of Agriculture, Forestry, and Aquaculture in Vietnam's Economy," *Statistical Science Information*, vol. 1, pp. 35-40, 2019.

[2] T. D. Nguyen, C. T. Dao, and V. M. Dang, *Mountainous Soils of Vietnam*. Hanoi: Agriculture Publishing House, 2003.

[3] X. D. Phan *et al.*, *Dealing with Climate change in Vietnam*. Hanoi: Thanh nien Publishing House, 2017.

[4] T. P. Le, K. P. Nguyen, C. N. Bui, X. H. Tran, and N. T. Le, "Saltwater intrusion risk in main rivers of Vinh Long province in the context of climate change and sea level rise," *Journal of Hydrometeorology*, vol. February, pp. 8-15, 2017.
[5] X. H. Nguyen, *Processes of Soil Degradation*. Hanoi: Vietnam National University Press, 2016.
[6] T. Q. Hoang and S. Kazuto, "Title "Organic Fertilizers" in Vietnam's Markets: Nutrient Composition and Efficacy of Their Application," *Sustainability*, vol. 10, pp. 24-37, 2018.
[7] H. Vo, S. H. Ho, N. T. Le, and D. T. Duong, "The Results of Isolating Some Species of Heterocyst Cyanobacteria from Agricultural Soil of Dak Lak Province," *VNU Journal of Science: Natural Sciences and Technology*, vol. 1, pp. 57-63, 2006.
[8] T. N. H. Phung, "A. Coute & P. Bourrelly, Les Cyanophycées du delta du MéKong (Viet – Nam)," *Nova Hedwigia*, vol. 54, no. 403, 1992.
[9] D. T. Duong, *Nitrogen-Fixation Cyanobacteria in Rice Fields*. Hanoi: Agriculture Publishing House, 1994.
[10] M. Hedimbi, *Introduction to Microbiology (MBL 3632)*, Namibia: Department of Biological Sciences, University of Namibia, 2010.
[11] P. Roger and S. Kulasooriya, *Blue-Green Algae and Rice*, Manila, Philipines: The International Rice Research Institute, 1980.
[12] G. Venkataraman, *Algal Biofertilizers and Rice Cultivation*, New Delhi: Today and Tomorrow's Printers and Publishers, 1972.
[13] A. Watanabe, S. Nishigaki, and C. Konishi, "Effect of nitrogen-fixing blue-green algae on the growth of rice plants," *Nature*, vol. 168, pp. 748-749, 1951.
[14] B. Mandal, P. Vlek, and L. Mandal, "Beneficial effects of blue-green algae and Azolla, excluding supplying nitrogen, on wetland rice fields: a review," *Biol. Fertil. Soils*, vol. 28, pp. 329-342, 1999.
[15] M. Yandigeri, A. Yadav, R. Srinivasan, S. Kashyap, and S. Pabbi, "Studies on mineral phosphate solubilization by cyanobacteria Westiellopsis and Anabaena," *Microbiology*, vol. 80, pp. 558-565, 2011.
[16] J. Komarek, J. Kastovsky, J. Mares, and J. Johansen, "Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) 2014, using a polyphasic approach," *Preslia*, vol. 86, no. 4, pp. 295-335, 2014.
[17] P. Roger, "N_2-fixing cyanobacteria as biofertilizers in rice fields," in *A. Richmond (Ed.), Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*, Oxford, Blackwell Science Ltd., 2004, pp. 392-402.
[18] G. Venkataraman, *Blue-green algae for rice production*, FAO Soils Bulletin, 1981.
[19] N. Sharma, S. Tiwari, K. Tripathi, and A. Rai, "Sustainability and cyanobacteria (blue-green algae): facts and challenges," *J. Appl. Phycol.*, vol. 23, pp. 1059-1081, 2011.
[20] E. Fernandez-Valiente, A. Ucha, A. Quesada, F. Legan´es, and R. Carreres, "Contribution of N_2-fixing cyanobacteria to rice production: availability of nitrogen from 15Nlabelled cyanobacteria and ammonium sulphate to rice," *Plant Soil*, vol. 221, pp. 107-112, 2000.
[21] P. Irisarri, S. Gonnet, and J. Monza, "Cyanobacteria in Uruguayan rice fields: diversity, nitrogen fixing ability and tolerance to herbicides and combined nitrogen," *J. Biotechnol.*, vol. 91, pp. 95-103, 2001.
[22] Berman-Frank, P. Lundgren, and P. Falkowski, "Nitrogen fixation and photosynthetic oxygen evolution in cyanobacteria," *Res. Microbiol.*, vol. 154, pp. 157-164, 2003.
[23] P. Bose, U. Nagpal, G. Venkataraman, and S. Goyal, "Solubilization of tricalcium phosphate by blue-green algae," *Curr. Sci.*, vol. 40, pp. 165-166, 1971.
[24] S. Mazhar and S. Hasnain, "Screening of native plant growth promoting cyanobacteria and their impact on Triticum aestivum var. Uqab 2000 growth," *African J. Agric. Res.*, vol. 6, pp. 3988-3993, 2011.
[25] H. Cameron and G. Julian, "Utilization of hydroxyapatite by cyanobacteria as their sole source of phosphate and calcium," *Plant Soil*, vol. 109, pp. 123-124, 1988.
[26] G. Markou, D. Vandamme, and K. Muylaert, "Microalgal and cyanobacterial cultivation: the supply of nutrients," *Water Res.*, vol. 65, pp. 186-202, 2014.
[27] M. Manjunath, A. Kanchan, K. Ranjan, S. Venkatachalam, R. Prasanna, B. Ramakrishnan, F. Hossain, L. Nain, Y. Shivay, A. Rai, and B. Singh, "Beneficial cyanobacteria and eubacteria synergistically enhance bioavailability of soil nutrients and yield of okra," *Heliyon*, vol. 2, p. e00066, 2016.

[28] R. Prasanna, N. Bidyarani, S. Babu, F. Hossain, Y. Shivay, and L. Nain, "Cyanobacterial inoculation elicits plant defense response and enhanced Zn mobilization in maize hybrids," *Cogent Food Agric.*, vol. 1, no. 1, p. 998507, 2015.

[29] A. Rana, M. Joshi, R. Prasanna, Y. Singh Shivay, and L. Nain, "Biofortification of wheat through inoculation of plant growth promoting rhizobacteria and cyanobacteria," *Eur. J. Soil Biol.,* vol. 50, pp. 118-126, 2012.

[30] S. Chamizo, G. Mugnai, F. Rossi, G. Certini, and R. De Philippis, "Cyanobacteria inoculation improves soil stability and fertility on different textured soils: gaining insights for applicability in soil restoration," *Front. Environ. Sci.,* vol. 6, no. 49, pp. 1-14, 2018.

[31] G. Mazor, G. Kidron, A. Vonshak, and A. Abeliovich, "The role of cyanobacterial exopolysaccharides in structuring desert microbial crusts," *FEMS Microbiol Ecol.,* vol. 21, no. 2, pp. 121-130, 1996.

[32] G. Colica, H. Li, F. Rossi, D. Li, Y. Liu, and R. De Philippis, "Microbial secreted exopolysaccharides affect the hydrological behavior of induced biological soil crusts in desert sandy soils," *Soil Biol. Biochem.,* vol. 68, pp. 62-70, 2014.

[33] A. Adessi, R. Cruz de Carvalho, R. De Philippis, C. Branquinho, and J. Marques da Silva, "Microbial extracellular polymeric substances improve water retention in dryland biological soil crusts," *Soil Biol. Biochem.,* vol. 116, pp. 67-69, 2018.

[34] B. Zhang, Y. Zhang, J. Zhao, N. Wu, R. Chen, and J. Zhang, "Microalgal species variation at different successional stages in biological soil crusts of the Gurbantunggut Desert, Northwestern China," *Biol. Fertil. Soils,* vol. 45, pp. 539-547, 2009.

[35] N. Karthikeyan, R. Prasanna, L. Nain, and B. Kaushik, "Evaluating the potential of plant growth promoting cyanobacteria as inoculants for wheat," *Eur. J. Soil Biol.,* vol. 43, pp. 23-30, 2007.

[36] L. Nain, A. Rana, M. Joshi, S. Jadhav, D. Kumar, Y. Shivay, S. Paul, and R. Prasanna, "Evaluation of synergistic effects of bacterial and cyanobacterial strains as biofertilizers for wheat," *Plant Soil,* vol. 331, pp. 217-230, 2010.

[37] N. Bidyarani, R. Prasanna, S. Babu, F. Hossain, and A. Saxena, "Enhancement of plant growth and yields in Chickpea (Cicer arietinum L.) through novel cyanobacterial and biofilmed inoculants," *Microbiol. Res.,* vol. 188-189, pp. 97-105, 2016.

[38] R. Prasanna, S. Babu, N. Bidyarani, A. Kumar, S. Triveni, D. Monga, A. Mukherjee, S. Kranthi, N. Gokte-Narkhedkar, A. Adak, K. Yadav, L. Nain, and A. Saxena, "Prospecting cyanobacteria-fortified composts as plant growth promoting and biocontrol agents in cotton," *Exp. Agric.,* vol. 51, pp. 42-65, 2015.

[39] M. Manjunath, A. Kanchan, K. Ranjan, S. Venkatachalam, R. Prasanna, B. Ramakrishnan, F. Hossain, L. Nain, Y. Shivay, A. Rai, and B. Singh, "Beneficial cyanobacteria and eubacteria synergistically enhance bioavailability of soil nutrients and yield of okra," *Heliyon,* vol. 2, p. e00066, 2016.

[40] A. Kanchan, K. Simranjit, K. Ranjan, R. Prasanna, B. Ramakrishnan, M. Singh, M. Hasan, and Y. Shivay, "Microbial biofilm inoculants benefit growth and yield of chrysanthemum varieties under protected cultivation through enhanced nutrient availability," *Plant Biosyst.,* vol. 153, pp. 306-316, 2019.

[41] N. Renuka, R. Prasanna, A. Sood, A. Ahluwalia, R. Bansal, S. Babu, R. Singh, Y. Shivay, and L. Nain, "Exploring the efficacy of wastewater-grown microalgal biomass as a biofertilizer for wheat," *Environ. Sci. Pollut. Res.,* vol. 23, pp. 6608-6620, 2016.

[42] J. Coppens, O. Grunert, S. Van Den Hende, I. Vanhoutte, N. Boon, G. Haesaert, and L. De Gelder, "The use of microalgae as a high-value organic slow-release fertilizer results in tomatoes with increased carotenoid and sugar levels," *J. Appl. Phycol.,* vol. 28, pp. 2367-2377, 2016.

[43] J. Vessey, "Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers," *Plant Soil,* vol. 555, pp. 571-586, 2019.

[44] D. Ronga, E. Biazzi, K. Parati, D. Carminati, E. Carminati, and A. Tava, "Microalgal biostimulants and biofertilisers in crop productions," *Agronomy,* vol. 9, no. 4, p. 192, 2019.

[45] D. Adams and P. Duggan, "Tansley Review No. 107. Heterocyst and akinete differentiation in cyanobacteria," *New Phytol.,* vol. 144, no. 1, pp. 3-33, 1999.

[46] M. Maqubela, P. Mnkeni, O. Malam Issa, M. Pardo, and L. D'Acqui, "Nostoc cyanobacterial inoculation in South African agricultural soils enhances soil structure fertility, and maize growth," *Plant Soil,* vol. 315, pp. 79-92, 2009.

[47] Y. Wang, Y. Q. Li, K. Lv, J. J. Cheng, X. L. Chen, Y. Ge, and X. Y. Yu, "Soil microalgae modulate grain arsenic accumulation by reducing dimethylarsinic acid and enhancing nutrient uptake in rice (Oryza sativa L.)," *Plant Soil*, vol. 430, pp. 99-111, 2018.

[48] Z. Svircev (Obreht), I. Tamas, P. Nenin, and A. Drobac, "Co-cultivation of N_2-fixing cyanobacteria and some agriculturally important plants in liquid and sand cultures," *Appl. Soil Ecol.*, vol. 6, pp. 301-308, 1997.

[49] M. J. Kim, C. K. Shim, Y. K. Kim, B. G. Ko, J. H. Park, S. G. Hwang, and B. H. Kim, "Effect of biostimulator Chlorella fusca on improving growth and qualities of Chinese chives and spinach in organic farm," *Plant Pathol. J.*, vol. 34, pp. 567-574, 2018.

[50] M. Haggag Wafaa, H. Abouziena, M. Abd El, M. Wahed, E. Hoballa, A. Islam, and M. Elsehememy, "Application of blue-green algae for integrated disease management of barley against foliar pathogens," *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, vol. 7, no. 10, pp. 266-272, 2015.

[51] H. Al-Jabri, P. Das, S. Khan, M. Thaher, and M. AbdulQuadir, "Treatment of Wastewaters by Microalgae and the Potential Applications of the Produced Biomass-A review," *Water*, vol. 13, pp.1-26, 2021.

[52] G. Randrianarison and M. Ashraf, "Microalgae: a potential plant for energy production," *Geol Ecol Landscapes*, vol. 1, no. 2, pp. 104-120, 2017.

[53] M.I. Khan, J.H. Shin, and J.D. Kim, "The promising future of microalgae: current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products," *Microb Cell Fact.*, vol. 17, no. 1, p. 36, 2018.

[54] N. Selmani, M. Mirghani, and M. Alam, "Study the growth of microalgae in palm oil mill effluent waste water," *IOP Conference series: earth and environmental science*, Putrajaya, Malaysia, 2013.

[55] E. Posadas *e. al.*, "Microalgae-based biofuels and bioproducts," in *Gonzalez-Fernandez C, Muñoz R, editors. Microalgae cultivation in wastewater*, Woodhead Publishing, 2017.

[56] C. H. Nguyen, D. D. Nguyen, and T. T. H. Le, "The Species Composition of Cyanobacteria in Rice Fields of Nghia Dan District, Nghe An Province," *VNU Journal of Science: Natural Sciences and Technology*, vol. 33, no. 2, pp. 24-29, 2017.

[57] T. B. N. Pham, "Variety of Blue-Green Algae (Cyanophyta) Species in Some Rice Fields and Aquaculture Ponds in Tra Vinh Province," *Agriculture – Aquaculture*, vol. 22, pp. 133-138, 2016.

[58] H. L. Nguyen and T. P. Ngo, "A taxonomic study on Cyanophyta in Dong Thap Muoi conservation area, Tien Giang Province," *Journal of Science, Can Tho University*, vol. 47A, pp. 86-92, 2016.

[59] C. B. Tran, "Technical efficiency of Chlorella sp. algae biomass culture using wastewater from Pangasianodon hypophthalmus ponds," *Journal of Science, Can Tho University*, vol. 28B, pp. 157-162, 2013.

[60] T. M. Pham, T. B. H. Doan, D. T. Tran, T. H. Nguyen, T. M. H. Pham, and Q. T. Nguyen, "Study on the Havesting Methods of Chlorella Sorokiniana and Scenedesmus Acuminatus Cultured in Municipal Wastewater," *Science Technology*, vol. 52, pp. 79-85, 2019.

[61] J. B. K. Park, R. J. Craggs, and A. N. Shilton, "Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production," *Bioresource Technology*, vol. 102, pp. 35-42, 2011.