

ỨNG DỤNG PHỤ PHẨM SAU CHIẾT FUCOIDAN TỪ RONG NÂU TRONG CHẾ TẠO PHÂN BÓN SINH HỌC

Đến tòa soạn: 21-05-2025

Võ Mai Như Hiếu, Nguyễn Ngọc Linh, Cao Thị Thúy Hằng, Trần Nguyễn Hà Vy, Nguyễn Thị Thuận, Lê Tuấn Anh, Trần Xuân Thảo, Nguyễn Đình Thuát, Hoàng Hồng Hạnh, Phạm Đức Thịnh*

Viện Hải dương học, Viện Hàn Lâm KH&CNVN

Email: ducthinh@io.vast.vn

SUMMARY

UTILIZATION OF BROWN SEAWEED RESIDUES AFTER FUCOIDAN EXTRACTION FOR THE PRODUCTION OF BIOFERTILIZERS

This study explored the valorization of by-products generated during fucoidan extraction from brown seaweed for producing a liquid biofertilizer suitable for sustainable agriculture. The by-products included solid residues and potassium-rich alkaline wastewater obtained after hydrochloric acid extraction and ultrafiltration with a 100 kDa membrane. Chemical analyses showed that the wastewater contained significant levels of potassium (18.07–21.45 g/L), proteins, free amino acids, magnesium, and zinc, while the dried residue retained 26.3% alginate. A liquid biofertilizer was successfully formulated by alkaline oxidative hydrolysis of the residue, followed by nutrient blending using the wastewater. The final product demonstrated enhanced germination and early growth of Brassica juncea under laboratory conditions. This work highlights an effective circular bioeconomy strategy by transforming brown seaweed processing waste into a high-value agricultural input for organic and sustainable farming systems.

Keywords: Brown seaweed, Fucoidan by-products, Oligoalginate, Liquid biofertilizer, Sustainable.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phân bón có nguồn gốc từ rong biển đang ngày càng được quan tâm và ứng dụng rộng rãi trong nông nghiệp hiện đại, đặc biệt tại các quốc gia phát triển như Nam Phi, Anh và New Zealand. Những sản phẩm này được ghi nhận có khả năng cải thiện các đặc tính lý – hóa của đất, bổ sung vi lượng thiết yếu, tăng hiệu quả hấp thụ dinh dưỡng và từ đó góp phần nâng cao năng suất cũng như chất lượng nông sản [1].

Trong các loại rong biển, rong nâu được xem là nguồn nguyên liệu tiềm năng nhờ hàm lượng polysaccharide cao (fucoidan, alginate, laminaran), cùng với các dưỡng chất thiết yếu như protein, khoáng chất (K, Ca, Mg, Fe, Zn, I...), vitamin và rong

nâu còn chứa nhiều phytohormone tự nhiên như abscisic acid (ABA) và gibberellic acid (GA3) – những hormone điều hòa sinh trưởng thực vật [2]. Đặc biệt, các oligosaccharide có khối lượng phân tử thấp đã được chứng minh có tác dụng kích hoạt miễn dịch thực vật, tăng cường sức đề kháng với điều kiện bất lợi và thúc đẩy sinh trưởng [3].

Tại Việt Nam, rong nâu phân bố dày đặc ở khu vực ven biển miền Trung, mang lại lợi thế lớn về nguồn nguyên liệu. Tuy nhiên, hiện nay hoạt động khai thác rong nâu chủ yếu phục vụ mục đích chiết xuất fucoidan hoặc xuất khẩu thô. Các phụ phẩm như bã rong và nước thải sau chiết vẫn chưa được khai thác hợp lý, dù có chứa hàm lượng cao các chất hữu cơ, muối khoáng và hợp chất sinh học [3].

Một số nghiên cứu trong nước gần đây đã cho thấy tiềm năng lớn trong việc tái sử dụng các dòng phụ phẩm này để sản xuất phân bón sinh học. Việc sử dụng nước thải giàu kali, protein, acid amin và bã rong nâu giàu chất xơ và khoáng chất đã giúp cải thiện năng suất ở nhiều loại cây trồng như chè, lúa, dưa chuột [4].

Phương pháp thủy phân hóa học bã rong nâu kết hợp với nước thải giàu hoạt chất từ quá trình cô đặc dịch fucoidan có thể tạo ra oligoalginate có khối lượng phân tử thấp – một dạng hoạt chất có hoạt tính sinh học cao, thích hợp làm phân bón sinh học dạng lỏng. Đây là hướng tiếp cận đơn giản, hiệu quả, có khả năng ứng dụng rộng rãi trong thực tiễn.

Đặc biệt, việc tận dụng phụ phẩm và nước thải từ công nghiệp rong biển không chỉ mang lại hiệu quả kinh tế mà còn góp phần giảm thiểu ô nhiễm, hướng tới mô hình nông nghiệp tuần hoàn – sinh học – bền vững, phù hợp với định hướng chiến lược phát triển nông nghiệp hữu cơ tại Việt Nam trong bối cảnh hiện nay. Vì vậy, trong nghiên cứu này, bã thải rong nâu sau khi chiết fucoidan được sử dụng làm nguyên liệu để sản xuất phân bón sinh học dạng lỏng, nhằm tận dụng hiệu quả phụ phẩm giàu hoạt chất, đồng thời góp phần phát triển dòng sản phẩm phân bón thân thiện môi trường, hướng đến thị trường nông nghiệp hữu cơ và tuần hoàn.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU, THỰC NGHIỆM

2.1. Nguyên liệu và hóa chất

Bã rong nâu sau chiết fucoidan và nước thải từ quá trình cô đặc dịch chiết được cung cấp bởi Công ty Fucoidan Việt Nam. Nguyên liệu thu được từ quy trình chiết fucoidan bằng acid HCl (pH ~2), sau đó cô đặc bằng hệ thống màng siêu lọc 100 kDa [5]. Mẫu bã rong được sấy khô và nghiền mịn trước khi phân tích. Tất cả các

hóa chất sử dụng đều đạt độ tinh khiết phân tích (PA).

2.2. Phân tích thành phần nước thải

Nước thải sau cô đặc bằng màng 100 kDa được thu hồi, lọc sơ bộ và phân tích các chỉ tiêu: hàm lượng protein, kali (K_2O), magie (Mg^{2+}), kẽm (Zn^{2+}) và tổng chất hòa tan (TDS). Các phân tích kim loại được thực hiện theo phương pháp quang phổ hấp thụ nguyên tử (AAS) và theo phương pháp Kjeldahl (cho N tổng số).

2.3. Phân tích thành phần hóa học của bã rong nâu sau chiết fucoidan

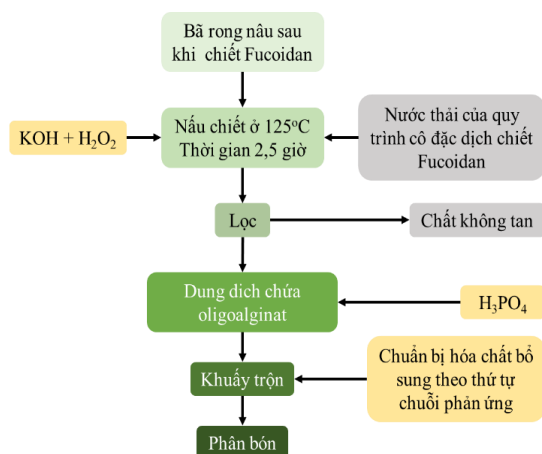
- Mẫu bã được phân tích các thành phần chính bao gồm: độ ẩm, protein tổng số, hàm lượng tro và alginate.
- Độ ẩm được xác định bằng phương pháp sấy đến khối lượng không đổi ở $105^{\circ}C$ [6].
- Protein được xác định theo phương pháp Kjeldahl [7].
- Hàm lượng tro được xác định bằng cách nung mẫu ở $550^{\circ}C$ [8]
- Alginate được chiết xuất theo phương pháp kiềm chuẩn hóa (Na_2CO_3) và xác định bằng phương pháp cân khối lượng sau kết tủa với $CaCl_2$ [9].

2.4. Quy trình điều chế phân bón sinh học dạng lỏng

Quy trình điều chế phân bón sinh học dạng lỏng từ nước thải và bã thải của quá trình chiết xuất fucoidan được thể hiện ở **Hình 1**.

Bã rong nâu sau khi chiết fucoidan được phối trộn với nước thải sau cô đặc theo tỷ lệ 1:10 (w/v), sau đó bổ sung 1,3% KOH và 1,8% H_2O_2 rồi tiến hành thủy phân ở nhiệt độ $125^{\circ}C$ trong 2,5 giờ bằng nồi autoclave. Dung dịch sau thủy phân được làm nguội, lọc tách pha rắn – lỏng, phần dịch lọc chứa oligoalginate được trung

hòa đến pH 7–8 bằng H_3PO_4 . Tiếp theo, hỗn hợp khoáng vi lượng bao gồm ure, acid citric, EDTA và các muối như ZnSO_4 , MgSO_4 , MnSO_4 , FeSO_4 , CuSO_4 , Na-molybdat, acid boric... được bổ sung theo công thức định sẵn. Dung dịch cuối được khuấy trộn liên tục trong 150 phút, kiểm tra pH và đóng chai. Sản phẩm phân bón dạng lỏng thu được có thể sử dụng trực tiếp qua lá hoặc hòa vào đất trong canh tác nông nghiệp.



Hình 1. Quy trình điều chế phân bón từ nước thải và bã rong trong quá trình chiết fucoidan

2.5. Thử nghiệm hiệu quả phân bón trong điều kiện phòng thí nghiệm

Phân bón sinh học dạng lỏng thu được từ quy trình thủy phân và phối trộn nêu trên được sử dụng để đánh giá ảnh hưởng đến khả năng nảy mầm và sinh trưởng ban đầu của cây cải bẹ xanh (*Brassica juncea*) trong điều kiện phòng thí nghiệm. Hai mô hình thử nghiệm được thiết kế: (1) trên môi trường giấy thấm đã khử trùng và (2) trên mẫu đất thu từ khu vực canh tác tại Đà Lạt.

Hạt giống cải bẹ xanh được xử lý sơ bộ bằng cách rửa qua nước cất vô trùng. Trong mô hình giấy thấm, đĩa Petri được lót bằng giấy lọc đã được luộc, thấm đều với dung dịch phân bón pha loãng theo tỷ lệ 1:30 (v/v) giữa dịch phân bón và nước vô trùng. Sau đó, các hạt giống được gieo

trực tiếp lên giấy đã xử lý và ủ trong điều kiện nhiệt độ và độ ẩm ổn định. Trên mô hình này tỉ lệ nảy được ghi nhận.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Phân tích thành phần thành phần nước thải sau quá trình cô đặc bằng màng 100kDa

Trong quy trình sản xuất fucoidan từ rong nâu bằng phương pháp hóa học, rong được xử lý kiềm nhẹ để loại bỏ tạp chất, sau đó chiết bằng dung dịch acid yếu kết hợp gia nhiệt. Dịch chiết thu được tiếp tục được cô đặc và tinh sạch bằng phương pháp siêu lọc sử dụng màng phân tử cắt 100 kDa nhằm loại bỏ các hợp chất có khối lượng phân tử nhỏ, đồng thời thu nhận fucoidan có trọng lượng phân tử cao.

Bảng 1. Kết quả phân tích thành phần nước thải sau quá trình cô đặc bằng màng 100kDa và thành phần hóa học của bã rong nâu sau khi chiết fucoidan

Thành phần	Đơn vị tính	Hàm lượng
a) Nước thải của quá trình cô đặc		
K_2O	g/L	18,07 - 21,45
Protein	mg/L	675 - 781
Mg^{2+}	g/L	0,85 - 1,10
Zn^{2+}	mg/L	4,20 - 5,40
Chất hòa tan tổng số	g/L	54,50 - 64,70
b) Bã rong nâu sau khi chiết fucoidan		
Độ ẩm	% khối lượng khô	6,46
Protein	% khối lượng khô	1,9
Tro	% khối lượng khô	12,4
Alginate	% khối lượng khô	26,3

Quá trình này tạo ra một lượng lớn nước thải chứa các hợp chất sinh học có giá trị bị loại bỏ trong bước lọc màng, bao gồm đường đơn, đường rượu (như mannitol), protein, và khoáng vi lượng (K, Mg, Zn, v.v.). Đây là nguồn phụ phẩm giàu dinh dưỡng, có thể tận dụng để sản xuất phân bón sinh học dạng lỏng, góp phần nâng cao hiệu quả khai thác nguyên liệu rong

nâu và giảm thiểu ô nhiễm môi trường. Kết quả phân tích thành phần nước thải sau quá trình cô đặc bằng màng 100 kDa được trình bày trong **Bảng 1a**.

Kết quả phân tích nguồn nước thải này không chỉ giàu kali – nguyên tố thiết yếu trong phân bón – mà còn cung cấp đạm hữu cơ (protein) và vi lượng (Mg, Zn) có khả năng tăng cường trao đổi chất và sức đề kháng của cây trồng. Do đó, tái sử dụng nước thải sau lọc fucoidan làm nguyên liệu cho phân bón sinh học là một hướng tiếp cận hiệu quả và bền vững.

3.2. Kết quả phân tích thành phần thành phần bã thải rong nâu sau khi chiết xuất fucoidan

Bên cạnh nước thải giàu hoạt chất, quá trình chiết xuất fucoidan từ rong nâu bằng dung dịch HCl ở pH ~2 còn tạo ra một lượng lớn bã thải rắn. Đây là phần còn lại sau khi chiết xuất fucoidan - thành phần sulfat polysaccharide có hoạt tính sinh học cao. Do sử dụng môi trường acid mạnh, bã thải thu được thường có tính acid nhẹ đến trung bình, có thể ảnh hưởng đến khả năng sử dụng trực tiếp trong đất và cần được trung hòa hoặc phối trộn phù hợp trước khi ứng dụng.

Tuy nhiên, bã thải này vẫn chứa hàm lượng đáng kể alginate – một loại acid uronic có cấu trúc mạch thẳng gồm các đơn vị lặp lại của mannuronate và guluronate – chưa bị tách chiết trong quy trình acid. Bã thải của quá trình này là nguồn nguyên liệu quý để sản xuất oligoalginate (OA) – hợp chất có trọng lượng phân tử thấp với vai trò chất kích thích sinh trưởng và miễn dịch thực vật. Ngoài alginate, bã thải còn chứa một lượng nhỏ laminaran, cellulose, chất xơ thô và khoáng vi lượng như K, Ca, Mg, Fe...

Với mục tiêu phát triển phân bón sinh học từ phụ phẩm rong biển, việc đánh giá

thành phần hóa học của bã rong nâu sau chiết fucoidan là cần thiết. Trong đó, hàm lượng alginate là chỉ tiêu quan trọng hàng đầu, quyết định khả năng tiếp tục khai thác tạo ra chế phẩm sinh học có giá trị.

Kết quả Phân tích thành phần bã rong nâu sau chiết fucoidan cho thấy mẫu có độ ẩm thấp (6,46%), thuận lợi cho bảo quản và xử lý. Hàm lượng protein đạt 1,9% khối lượng khô, phản ánh giá trị dinh dưỡng hữu cơ còn lại (**Bảng 1b**). Đáng chú ý, hàm lượng tro đạt 12,4% và alginate ở mức cao (26,3%) cho thấy bã thải vẫn chứa lượng đáng kể các hợp chất khoáng và polysaccharide có hoạt tính sinh học, đặc biệt là alginate - tiền chất quan trọng để sản xuất oligoalginate ứng dụng trong phân bón sinh học [3]. Kết quả này khẳng định tiềm năng tái sử dụng bã rong nâu như một nguyên liệu giá trị trong sản xuất phân bón sinh học thân thiện môi trường.

3.3. Ứng dụng phụ phẩm sau chiết fucoidan từ rong nâu trong chế tạo phân bón sinh học dạng lỏng

Từ nước thải giàu dinh dưỡng và bã rong nâu sau khi chiết xuất fucoidan, một chế phẩm phân bón sinh học dạng lỏng đã được điều chế thành công thông qua quy trình thủy phân và phối trộn khoáng đơn giản. Cụ thể, bã rong nâu được thủy phân bằng KOH 1,3% và H₂ O₂ 1,8% ở 125°C trong 2,5 giờ, phối hợp với nước thải cô đặc từ quy trình lọc màng 100 kDa theo tỷ lệ 1:10. Dung dịch sau thủy phân được trung hòa bằng H₃ PO₄ về pH 7–8 và bổ sung hỗn hợp khoáng vi lượng để hoàn thiện công thức phân bón.

Sản phẩm thu được là dạng dung dịch đồng nhất, có pH trung tính (7,2–7,8), độ nhớt thấp và ổn định sau 30 ngày bảo quản ở nhiệt độ thường. Kết quả phân tích sơ bộ cho thấy hàm lượng uronic acid đạt 1,8–2,5%, kali hữu hiệu (K₂ O) đạt 15–18 g/L, và tổng nitơ hữu cơ đạt 0,8–1,0 g/L. Các nguyên tố vi lượng như Mg²⁺, Zn²⁺,

Fe^{3+} vẫn được giữ lại ở mức thích hợp cho cây trồng.

Chế phẩm phân bón dạng lỏng này có thể sử dụng trực tiếp qua lá hoặc phối trộn vào đất trong canh tác hữu cơ. Nhờ chứa oligosaccharide trọng lượng phân tử thấp và hệ vi lượng cân đối, sản phẩm có tiềm năng kích thích sinh trưởng và tăng sức đề kháng cho cây, đồng thời góp phần tái sử dụng phụ phẩm rong biển theo hướng bền vững và kinh tế tuần hoàn.

3.3. Thử nghiệm phân bón lá trên cây trên cây trồng

Bảng 2. Tỷ lệ nảy mầm và sự phát triển của cải xanh khi sử dụng phân bón dạng dịch trên mô hình đĩa petri và mô hình đất

Giai đoạn	Đơn vị	Đối chứng	Sử dụng phân bón
a) Mô hình đĩa petri			
Tỷ lệ nảy mầm	%	58,25 ± 7,24	92,35 ± 6,71
5 ngày	mm	3,5 ± 1,2	6,7 ± 1,5
b) Mô hình đĩa petri			
Tỷ lệ nảy mầm	%	68,25 ± 3,64	81,75 ± 4,24
7 ngày	mm	40 ± 2,16	52 ± 3,14
14 ngày	mm	55 ± 3,14	91 ± 3,23

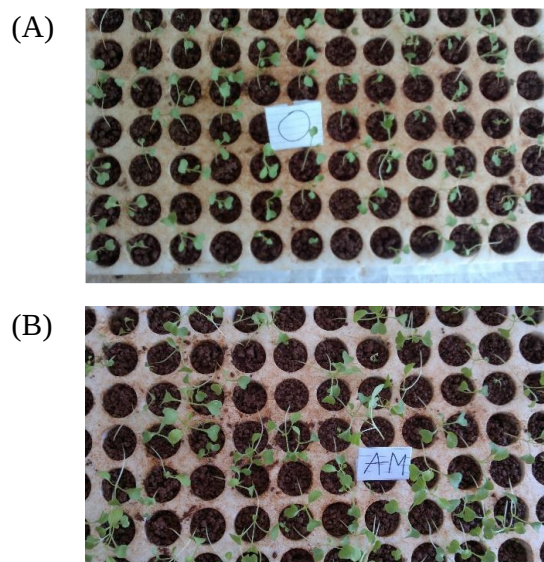


Hình 2. Kết quả thử nghiệm lên sự nảy mầm của cải bẹ xanh sau 5 ngày. A: Nhóm đối chứng; B: nhóm sử dụng phân bón dạng dịch

Sau 5 ngày gieo trồng trong điều kiện phòng thí nghiệm, tỷ lệ nảy mầm của hạt

giống cải bẹ xanh (*Brassica juncea*) ở lô sử dụng phân bón sinh học đạt $92,35 \pm 6,71\%$, cao hơn đáng kể so với lô đối chứng ($58,25 \pm 7,24\%$). Đến ngày thứ 5, chiều cao trung bình của cây con ở lô sử dụng phân bón đạt $6,7 \pm 1,5$ mm, trong khi lô đối chứng chỉ đạt $3,5 \pm 1,2$ mm (**Bảng 2a, Hình 2**)

Kết quả khảo sát trên mô hình đất cho thấy việc sử dụng phân bón sinh học từ phụ phẩm rong nâu sau chiết fucoidan giúp cải thiện rõ rệt tỷ lệ nảy mầm và sinh trưởng của cây cải bẹ xanh (*Brassica juncea*). Ở giai đoạn nảy mầm, tỷ lệ đạt $81,75\%$ ở lô xử lý, cao hơn so với lô đối chứng ($68,25\%$). Sau 7 ngày, chiều cao cây ở lô sử dụng phân bón đạt 52 mm, vượt trội so với đối chứng (40 mm). Đến ngày thứ 14, chiều cao tiếp tục tăng lên 91 mm so với 55 mm ở lô không sử dụng phân bón (**Bảng 2b, Hình 3**).



Hình 3. Sự phát triển của cải bẹ xanh sau 14 ngày sử dụng phân bón thử nghiệm. A: Nhóm đối chứng. B: nhóm sử dụng phân bón dạng dịch

Nhiều nghiên cứu đã ghi nhận tác dụng tích cực của chiết xuất rong biển trong việc cải thiện tỷ lệ nảy mầm và sinh trưởng cây con. Ví dụ, một nghiên cứu cho thấy chiết xuất từ rong biển *Ulva lactuca* đã cải thiện tỷ lệ nảy mầm và sinh

trưởng của cây *Citrullus lanatus* dưới điều kiện mặn [10]. Ngoài ra, oligoalginate – một sản phẩm phân hủy từ alginate trong rong nâu – đã được chứng minh là có tác dụng kích thích sinh trưởng cây trồng, bao gồm cả việc tăng tỷ lệ nảy mầm và chiều dài rễ [11].

Tác dụng này được cho là do sự hiện diện của các phytohormone tự nhiên như auxin, gibberellin và abscisic acid trong rong nâu, cùng với các oligosaccharide có khả năng kích hoạt các enzyme liên quan đến quá trình nảy mầm và sinh trưởng. Do đó, việc sử dụng phân bón sinh học từ phụ phẩm rong nâu không chỉ giúp tận dụng nguồn tài nguyên sẵn có mà còn góp phần vào phát triển nông nghiệp bền vững.

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy phụ phẩm của quá trình chiết fucoidan từ rong nâu, bao gồm nước thải cô đặc và bã thải rắn, còn chứa hàm lượng đáng kể các hợp chất hữu cơ và khoáng vi lượng có giá trị. Hàm lượng alginate trong bã thải đạt 26,3% khối lượng khô, là nguồn nguyên liệu tiềm năng để sản xuất oligoalginate có hoạt tính sinh học. Nước thải sau lọc bằng màng 100 kDa cũng chứa nhiều kali, protein và vi lượng thiết yếu. Từ hai nguồn phụ phẩm này, một chế phẩm phân bón sinh học dạng lỏng đã được điều chế thành công. Sản phẩm có tiềm năng ứng dụng trong nông nghiệp hữu cơ, góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng nguyên liệu rong biển và hướng tới mô hình sản xuất nông nghiệp bền vững, thân thiện với môi trường.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được thực hiện bởi sự hỗ trợ kinh phí của đề tài nghiên cứu khoa học thuộc Viện Hàn lâm Khoa học và công nghệ Việt Nam mã số QTRU02.07/25-26.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Mughunth R. J., Velmurugan S., Mohanalakshmi M., Vanitha K, (2024). A review of seaweed extract's potential as a biostimulant to enhance growth and mitigate stress in horticulture crops. *Scientia Horticulturae*, **334**, 113312.
2. Saebmehr H., Rafiee F., Givianrad M. H., Mostafavi G., (2022). Extraction of abscisic acid and gibberellin from *Sargassum muticum* (Phaeophyceae) and *Gracilaria corticata* (Rhodophyta) harvested from Persian Gulf. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, **21**, 590–604.
3. Salachna P., Grzeszczuk M., Meller E., Soból M., (2018). Oligo-Alginate with low molecular mass improves growth and physiological activity of *Eucomis autumnalis* under salinity stress. *Molecules*, **23**, 812.
4. Võ Mai Như Hiếu, Trần Thị Thanh Vân, Cao Thị Thúy Hằng, Nguyễn Thị Thuận, Trần Nguyễn Hà Vy, Nguyễn Ngọc Linh, Nguyễn Đình Thuật, Phạm Đức Thịnh, (2024). Ảnh hưởng của sản phẩm phân bón lá (FV-01) thu nhận từ nước thải sản xuất agar đối với mật độ, khối lượng và năng suất của búp chè tại Hà Nội và Thái Nguyên. *Tạp chí Phân tích Hóa, Lý và Sinh học*, **30**, 74–74.
5. Thinh P. D., Menshova R. V., Ermakova S. P., Anastuyuk S. D., Ly B. M., Zvyagintseva T. N., (2013). Structural characteristics and anticancer activity of fucoidan from the brown alga *Sargassum mcclurei*. *Marine Drugs*, **11**, 1453–1476.
6. Premarathna, A. D., Tuvikene, R., Fernando, P. H. P., Adhikari, R., Perera, M. C. N., Ranaheewa, T. H., Howlader M. M., Wangchuk P., Anura P. Jayasooriya A. P., Rajapakse, R. P. V. J. (2022). Comparative analysis of proximate compositions, mineral and functional chemical groups of 15 different seaweed species. *Scientific Reports*, **12**, 1–13.

7. Tapsoba F. WW. B., Samandouougou S., Bieogo E. W. W., Tankoano A., Traore A. S., Sawadogo-lingani H., (2022). Physico-chemical and Microbiological Characteristics of Infant Porridges Produced from Infant Flours Containing Millet and Sorghum Malt. *Journal of Food and Nutrition Research*, **10**, 541–549.
8. Pomeranz Y., Meloan C. E., (1995). *Food Analysis*. Food Analysis.
9. Calumpong H. P., Maypa A. P., Magbanua M., (1999). Population and alginate yield and quality assessment of four *Sargassum* species in Negros Island, central Philippines. *Hydrobiologia*, **398**, 211–215.
10. Radwan A. M., Ahmed E. A., Donia A. M., Mustafa A. E., Balah M. A., (2023). Priming of *Citrullus lanatus* var. *Colocynthoides* seeds in seaweed extract improved seed germination, plant growth and performance under salinity conditions. *Scientific Reports*, **13**, 1–12.
11. Hu, X., Jiang, X., Hwang, H., Liu, S., Guan, H., (2004). Promotive effects of alginate-derived oligosaccharide on maize seed germination. *Journal of applied phycology*, **16**, 73-76.