

QUẢN LÝ BỀN VỮNG QUỸ ĐẤT MẶN VEN BIỂN VÙNG ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG BẰNG CÂY RAU SAM BIỂN DỰA TRÊN TÍCH HỢP DỮ LIỆU ĐỊA KHÔNG GIAN VÀ THỰC NGHIỆM

Phan Thanh Thuận¹, Phùng Thị Hằng¹, Trần Thị Linh Nhâm², Nguyễn Võ Châu Ngân^{1,*}

¹Khoa Môi trường và Tài nguyên thiên nhiên, Đại học Cần Thơ

²Khoa Nông nghiệp và Thủy sản, Trường Đại học Bạc Liêu

* Email: nvcngan@ctu.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu đánh giá đặc điểm phân bố không gian, sự thích nghi thổ nhưỡng và tiềm năng phục hồi môi trường của loài rau sam biển (*Sesuvium portulacastrum* L.) tại khu vực ven biển Nam Bộ. Phương pháp nghiên cứu tích hợp dữ liệu khảo sát thực địa ($n = 10$) tại tỉnh Cà Mau, dữ liệu đối chứng từ mạng lưới GBIF ($n = 58$) và dữ liệu nền SoilGrids 2.0 trên nền tảng QGIS. Kết quả bản đồ hóa xác nhận sự phân bố liên tục của loài dọc theo đới triều và bãi bồi cửa sông. Phân tích đối chiếu chỉ số đất mặt (0–15 cm) khẳng định sinh cảnh thực địa có sự đồng nhất cao với dữ liệu nền vùng Nam Bộ, đặc trưng bởi nền đất sét nặng ($> 47\%$), pH $\sim 6,4$ và hàm lượng hữu cơ cao ($\text{SOC} > 40 \text{ g/kg}$). Về năng lực phục hồi môi trường, thực nghiệm chứng minh rau sam biển chịu mặn cực đoan đến 50% , đạt hiệu suất khử mặn đất 92% , và tích lũy hiệu quả kim loại nặng (Sắt $96,6\%$, cadmium $85,6\%$, chì đến 80%). Trong quản lý nước thải ao tôm, loài này xử lý hoàn toàn (100%) các dạng đạm độc hại (NH_3 , NO_2 , NO_3^-) chỉ sau 12 ngày. Ngoài giá trị sinh thái, cây còn tích lũy hàm lượng cao các hoạt chất quý Phytoecdysteroids và Omega-3 mang tiềm năng sinh dược học cao. Nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học quan trọng để ứng dụng mô hình ‘Vành đai xanh đa chức năng’, giúp ổn định cơ giới đất, phục hồi tầng đất mặt suy thoái do xâm nhập mặn và mở ra hướng phát triển kinh tế bền vững cho cộng đồng ven biển vùng đồng bằng sông Cửu Long.

Từ khóa: ĐBSCL, khử mặn sinh học, phục hồi môi trường đất, rau sam biển *Sesuvium portulacastrum* L., xử lý nước thải.

1. MỞ ĐẦU

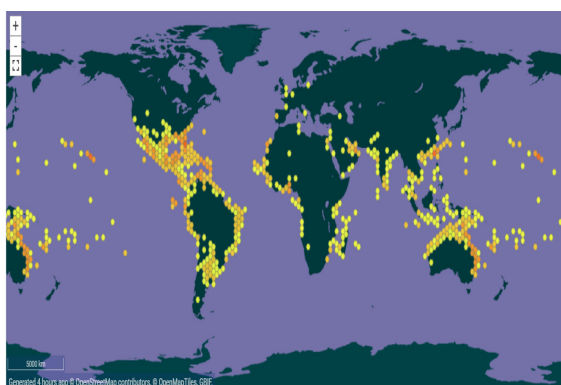
Biến đổi khí hậu và nước biển dâng đang đặt ra những thách thức chưa từng có đối với quản trị tài nguyên đất trên toàn cầu, đặc biệt là tại các vùng đồng bằng thấp. Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) của Việt Nam, một trong ba đồng bằng nhạy cảm nhất thế giới, đang phải đối mặt với tình trạng xâm nhập mặn ngày càng sâu và cực đoan. Theo kịch bản biến đổi khí hậu của Bộ Tài nguyên và Môi trường, nếu nước biển dâng thêm 100 cm, khoảng 39% diện tích ĐBSCL có nguy cơ bị ngập [1], kéo theo hệ lụy nghiêm trọng về mặn hóa và hoang hóa quỹ đất nông nghiệp.

Tại các tỉnh ven biển ở ĐBSCL như Đồng Tháp, Vĩnh Long, Cần Thơ và Cà Mau, sự xung đột giữa nuôi trồng thủy sản nước mặn và canh tác nông nghiệp nước ngọt đã dẫn đến tình trạng

suy thoái chất lượng đất liên vùng [2]. Việc phát triển các hình thức thâm canh siêu thâm canh nhưng không xử lý chất thải đạt chuẩn đã khiến nồng độ Ni-tơ, Phot-pho dư thừa tích tụ, gây phú dưỡng hóa và làm biến đổi tính chất lý - hóa của tầng đất mặt, một thực trạng đã được Ủy ban sông Mê Công cảnh báo là rủi ro môi trường trọng điểm tại hạ nguồn sông Mê Công [3]. Trong bối cảnh đó, việc tìm kiếm các giải pháp quản lý đất đai dựa trên tự nhiên nhằm phục hồi các diện tích đất mặn hoang hóa và bảo vệ môi trường sản xuất tại chỗ trở thành ưu tiên hàng đầu trong các chương trình nghị sự về quản lý đất đai bền vững.

Rau sam biển (*Sesuvium portulacastrum* L.) là loài thực vật chịu mặn bản địa đã được ghi nhận về khả năng thích nghi trong môi trường sống có nồng độ muối cao. Một số nghiên cứu quốc tế đã mở rộng tiềm năng của loài cây này

vượt ra ngoài khả năng khử mặn. Cụ thể, rau sam biển được xác định là loài cây có thể loại bỏ kim loại độc với nồng độ cao trong môi trường ô nhiễm [4, 5]. Thêm vào đó, các nghiên cứu tại Trung Đông và Ấn Độ cũng ghi nhận vai trò của loài thực vật này trong việc phục hồi các khu vực đất bị ô nhiễm dầu mỏ [6]; đồng thời chiết xuất được các hợp chất dược liệu quý như Phytoecdysteroids [7]. Tuy nhiên, tại Việt Nam, các nghiên cứu về rau sam biển mới chỉ dừng lại ở quy mô phòng thí nghiệm [8-10] hoặc một số khảo sát thực vật học rời rạc [11, 12].



Hình 1. Sơ đồ phân bố loài rau sam biển trên thế giới [13] và cây rau sam biển (ảnh nhỏ)

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm: (i) Phân tích đặc điểm phân bố và ngưỡng thích nghi môi trường của rau sam biển thông qua dữ liệu địa không gian; (ii) Đánh giá hiệu suất khử mặn và xử lý ô nhiễm hữu cơ dựa trên bằng chứng thực nghiệm trong nước và quốc tế; và từ đó (ii) Đề xuất các định hướng quản lý, phục hồi quỹ đất mặn bền vững thích ứng với biến đổi khí hậu. Kết quả nghiên cứu kỳ vọng sẽ cung cấp cơ sở khoa học cho việc quy hoạch và tối ưu hóa giá trị sử dụng các khu vực đất mặn tại ĐBSCL thông qua khai thác đa giá trị của cây rau sam biển.

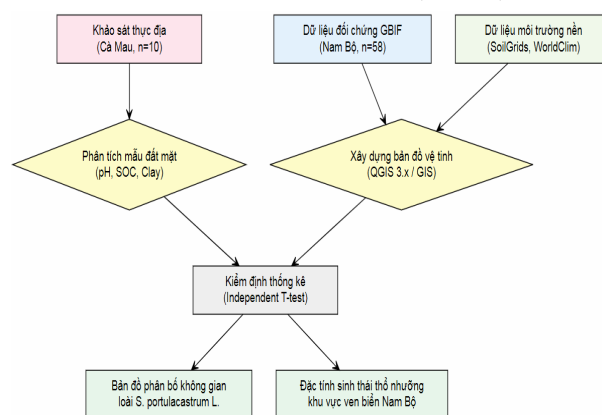
2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Khu vực nghiên cứu và quy trình thực hiện

Nghiên cứu được thực hiện tại dãy đất ven biển Nam Bộ, tập trung vào vùng ĐBSCL và Thành phố Hồ Chí Minh, trong phạm vi tọa độ từ 8,3°N đến 12,0°N vĩ độ Bắc. Đây là vùng sinh thái chuyển tiếp giữa lục địa và đại dương, chịu ảnh hưởng mạnh mẽ của chế độ thủy triều và xâm nhập mặn. Đặc điểm vùng nghiên cứu có địa hình thấp, nhiều bãi bồi ven biển và hệ thống rừng

ngập mặn đan xen là những sinh cảnh quan trọng cho sự phân bố của loài rau sam biển.

Quy trình nghiên cứu bắt đầu từ khâu thu thập dữ liệu thực địa, tích hợp dữ liệu thứ cấp đến phân tích không gian trên nền tảng GIS nhằm đánh giá toàn diện đặc tính sinh thái của loài (Hình 2).



Hình 2. Sơ đồ khung phương pháp luận và quy trình xử lý dữ liệu của nghiên cứu

2.2 Thu thập dữ liệu phân bố thực vật và dữ liệu môi trường nền

Dữ liệu về sự xuất hiện của loài rau sam biển được tổng hợp từ hai nguồn chính:

- Khảo sát thực địa: Khảo sát 10 vị trí có cây rau sam biển đang sinh trưởng tại dãy đất ven biển tỉnh Cà Mau (tháng 7/2025). Tại mỗi vị trí, tọa độ địa lý được xác định bằng máy GPS cầm tay. Đồng thời, mẫu đất tầng mặt (0 - 15 cm) được thu thập tại mỗi vị trí và chuyển về phòng thí nghiệm để phân tích các thông số: pH, cacbon hữu cơ trong đất (SOC) và thành phần cơ giới (sét).

- Dữ liệu đối chứng: Truy vấn 58 điểm được ghi nhận có sự xuất hiện của loài rau sam biển tại vùng Nam Bộ từ cơ sở dữ liệu từ Mạng lưới Thông tin Đa dạng Sinh học Toàn cầu (GBIF) [13]. Các điểm dữ liệu này được sàng lọc để đảm bảo tính chính xác về tọa độ trong giới hạn vĩ độ nghiên cứu.

Bên cạnh đó, để làm rõ yêu cầu sinh thái của loài thực vật này, một số nguồn dữ liệu bổ trợ cũng được tham khảo và tích hợp để xây dựng bức tranh toàn cảnh về sinh cảnh của rau sam biển:

- Dữ liệu thổ nhưỡng nền: Đối với 58 điểm đối chứng từ GBIF, các thông số pH, SOC và hàm lượng sét được trích xuất từ cơ sở dữ liệu SoilGrids 2.0 của Trung tâm Tham chiếu và

Thông tin Thổ nhưỡng Quốc tế (ISRIC) ở độ sâu 0 - 15 cm với độ phân giải 250 m [14].

- Dữ liệu môi trường: Các yếu tố khí hậu (nhiệt độ trung bình, lượng mưa) và đặc điểm xâm nhập mặn tại vùng nghiên cứu được thu thập từ cơ sở dữ liệu WorldClim [15], và các kịch bản môi trường của Bộ Tài nguyên và Môi trường (2021) [1].

- Dữ liệu thực nghiệm thứ cấp: Tổng hợp các kết quả nghiên cứu cây rau sam biển trước đây về năng lực xử lý ô nhiễm kim loại nặng và dầu mỡ [4, 5], hàm lượng các hoạt chất sinh học quý như Phytoecdysteroids và Omega-3 [7], ngưỡng chịu mặn [8, 9], và khả năng tích lũy đường chất [9, 10].

2.3 Phương pháp xử lý số liệu

Bản đồ phân bố được thực hiện trên phần mềm QGIS nhằm đạt độ chính xác cao về địa hình. Sử dụng ảnh vệ tinh độ phân giải cao từ dịch vụ Esri World Imagery giúp kiểm chứng chính xác vị trí của loài trên các bãi bồi ven biển và mép rừng ngập mặn, nơi các bản đồ vector thông thường bị thiếu chi tiết. Toàn bộ dữ liệu được quy chuẩn về hệ tọa độ WGS84. Vị trí của 10 điểm khảo sát thực địa và 58 điểm đối chứng GBIF được định vị thông qua hệ thống ký hiệu phân biệt nhau.

Số liệu về đặc tính đất được tổng hợp và trình bày dưới dạng trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn. Kiểm định Independent T-test được thực hiện để so sánh sự khác biệt về đặc tính thổ nhưỡng giữa nhóm khảo sát thực địa ($n = 10$) và nhóm đối chứng từ dữ liệu thứ cấp ($n = 58$), từ đó xác định ngưỡng thích nghi sinh thái của loài rau sam biển tại vùng Nam Bộ. Phân tích thống kê được thực hiện bằng phần mềm R với mức ý nghĩa $p < 0,05$.

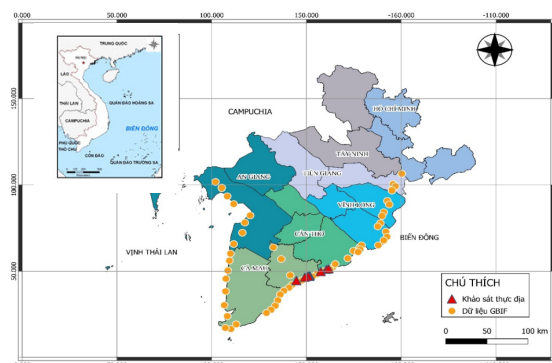
3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1 Phân bố không gian của rau sam biển tại Nam Bộ

Sự hiện diện không gian của rau sam biển trên dải ven biển Nam Bộ được xác lập thông qua sự tích hợp giữa dữ liệu khảo sát trực tiếp tại tỉnh Cà Mau và dữ liệu đối chứng GBIF (Hình 3).

Bản đồ kết quả cho thấy rau sam biển xuất hiện phổ biến dọc theo dải ven biển từ Thành phố Hồ Chí Minh đến mũi Cà Mau. Tại tỉnh Cà Mau, loài này không mọc đơn lẻ mà còn tham gia vào các quần xã thực vật chịu mặn đặc trưng [11]. Đặc điểm thân bò, phân nhánh mạnh và khả năng tái sinh vô tính cao giúp loài nhanh chóng che phủ các

vùng đới triều, các bãi bồi cửa sông và mép rừng ngập mặn cho thấy khả năng thích nghi cao với chu kỳ ngập triều và biến động độ mặn lớn.

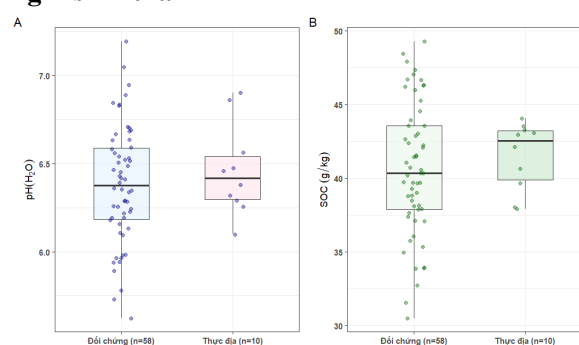


Hình 3. Bản đồ phân bố rau sam biển tại khu vực ven biển Nam Bộ
(Lược đồ vị trí Việt Nam ở góc trái được thu nhỏ phi tỷ lệ)

- Dữ liệu khảo sát thực địa ($n = 10$): Ghi nhận các quần thể mọc dày đặc tại khu vực ven biển Cà Mau, nơi có tốc độ bồi lắng phù sa nhanh.

- Dữ liệu đối chứng GBIF ($n = 58$): Cho thấy tính liên tục trong phân bố của loài tại các cửa sông lớn (Đồng Tháp, Vĩnh Long, Cần Thơ), khẳng định đây là loài tiên phong quan trọng trong hệ sinh thái ven biển giúp ổn định phù sa mới bồi.

3.2 Đặc điểm thổ nhưỡng và ngưỡng thích nghi sinh thái



Hình 4. So sánh đặc tính đất mặt (0 - 15 cm) giữa nhóm thực địa và nhóm GBIF

Sự tương quan đặc tính lý hóa đất giữa dữ liệu khảo sát và dữ liệu nền SoilGrids được minh chứng rõ nét qua phân tích đối chiếu các chỉ tiêu pH, hàm lượng SOC và thành phần cơ giới (Hình 4).

Kết quả phân tích cho thấy sự đồng nhất cao về điều kiện môi trường sống của rau sam biển trên toàn phạm vi nghiên cứu tại Nam Bộ:

- Về độ chua của đất: Giá trị pH trung bình tại các vị trí khảo sát thực địa ($6,44 \pm 0,27$) không khác biệt ý nghĩa thống kê so với dữ liệu đối chứng ($6,37 \pm 0,38$) với $p = 0,582$. Điều này xác nhận loài rau sam biển ưu tiên thích nghi trong môi trường đất từ chua nhẹ đến trung tính, giúp tối ưu hóa quá trình hấp thụ dinh dưỡng và trao đổi ion trong điều kiện mặn xâm nhập.

- Về hàm lượng hữu cơ: Chỉ số SOC ghi nhận tại thực địa đạt $41,47 \pm 2,56$ g/kg, tương đồng với mức $39,83 \pm 4,14$ g/kg của nhóm đối chứng ($p = 0,225$). Sự tích lũy hữu cơ ở mức cao (> 35

g/kg) minh chứng cho vai trò của loài trong việc bồi hoàn carbon, cải thiện độ phì và lý tính cho các tầng đất mặt ven biển.

- Về thành phần cơ giới: Hàm lượng sét trung bình đạt trên 47%, đặc biệt tại tỉnh Cà Mau ghi nhận mức $51,34 \pm 2,19\%$. Mặc dù giá trị $p = 0,051$ tiệm cận ngưỡng ý nghĩa, kết quả này cho thấy loài có xu hướng phát triển ưu thế trên nền đất có thành phần cơ giới mịn (đất sét nặng). Đặc điểm này giúp giữ ẩm tốt và tạo môi trường ổn định cho hệ rễ chùm phát triển mạnh mẽ, giúp cây bám trụ vững chắc trước tác động của sóng triều.

Bảng 1. So sánh đặc tính lý hóa đất mặt (0 - 15 cm) giữa nhóm thực địa và nhóm GBIF

Chỉ tiêu	Thực địa (n = 10)	Đối chứng (n = 58)	Giá trị p (T-test)
pH (H ₂ O)	6,44 - 0,27	6,37 - 0,38	0,582
SOC (g/kg)	41,47 - 2,56	39,83 - 4,14	0,225
Sét (%)	51,34 - 2,19	47,95 - 5,34	0,051

Việc không ghi nhận sự khác biệt ý nghĩa ($p > 0,05$) ở các chỉ tiêu then chốt (Bảng 1) khẳng định 10 điểm khảo sát tại tỉnh Cà Mau mang tính đại diện tiêu biểu cho sinh cảnh của loài tại Nam Bộ. Đặc biệt, hàm lượng sét cao ($> 47\%$) tạo môi trường cơ giới chặt, giúp hệ rễ chùm bám trụ vững chắc trước tác động xâm thực của sóng triều. Điều này phù hợp với mô tả hình thái về hệ rễ bò lan, rễ phụ phát triển mạnh giúp rau sam biển bám chắc vào đất cát ven biển và khai thác nước ngầm mặn [16]. Đây là cơ sở khoa học quan trọng để triển khai các đánh giá sâu hơn về hiệu suất khử mặn sinh học và khả năng xử lý ô nhiễm trong các điều kiện sinh thái khắc nghiệt.

3.3 Hiệu suất khử mặn sinh học và cải tạo lý hóa tính đất

3.3.1. Khả năng tích lũy muối và ngưỡng chịu mặn

Rau sam biển thể hiện sức sống mãnh liệt ở nồng độ muối từ 0,5 - 5,0% (tương đương 50‰). Cơ chế khử mặn của rau sam biển dựa trên khả năng hấp thụ và tích lũy các ion hòa tan (chủ yếu là Na⁺ và Cl⁻) vào các không bào ở mô lá mọng nước, dẫn đến sự gia tăng về sinh khối tươi và chiều dài rễ. Đáng chú ý, ở ngưỡng mặn 20-30‰, loài này không bị ức chế mà ngược lại còn gia tăng sinh khối tươi trung bình gấp 3,97 lần sau 60 ngày kèm theo sự tăng trưởng chiều dài rễ với sự khác biệt có ý nghĩa thống kê so với đối chứng [8, 9]. Điều này khẳng định tiềm năng khử mặn sinh học vượt trội của loài thực vật này so với các loài cây chịu mặn khác.

Kết quả thực nghiệm thủy canh cho thấy, hiệu suất loại bỏ muối của loài tỷ lệ thuận với nồng độ mặn của môi trường. Ở nồng độ NaCl 1%, hiệu suất loại bỏ muối đạt mức trung bình lên tới 92% [8]. Trong môi trường thủy canh ở các nồng độ mặn trung bình (10 - 20‰), khả năng loại bỏ muối của rau sam biển ghi nhận khoảng dao động thực nghiệm từ 52,2 - 73,2% [9]. Thậm chí ở ngưỡng mặn cực đoan 30‰ - tương đương với độ mặn tại các vùng bãi bồi ven biển tỉnh Cà Mau và Thành phố Hồ Chí Minh - rau sam biển vẫn đạt hiệu suất loại bỏ muối trong khoảng từ 23,17 - 25,65% sau 30 ngày canh tác ($p < 0,05$) [9].

3.3.2. Vai trò bồi đắp hữu cơ và xử lý ô nhiễm đa mục tiêu

Bên cạnh khả năng khử mặn, rau sam biển đóng vai trò quan trọng trong cải thiện độ phì và lý tính cho các vùng đất hoang hóa. Kết quả phân tích dữ liệu khảo sát thực địa và dữ liệu đối chứng cho thấy sự tương đồng cao của tầng đất mặt về đặc tính hữu cơ ($p = 0,225$). Hàm lượng SOC tại các điểm khảo sát duy trì ở mức cao (39,83 - 41,47 g/kg), hoàn toàn tương đồng với dữ liệu dự báo từ hệ thống SoilGrids 2.0 [13] cho các vùng đất mặn ven biển khu vực Nam Bộ (dao động từ 35 - 45 g/kg). Điều này khẳng định tính đại diện của các điểm lấy mẫu thực địa trong bối cảnh thổ nhưỡng của khu vực.

Rau sam biển là loài mọng nước, mô cây chứa nhiều đường và hợp chất hữu cơ dễ phân

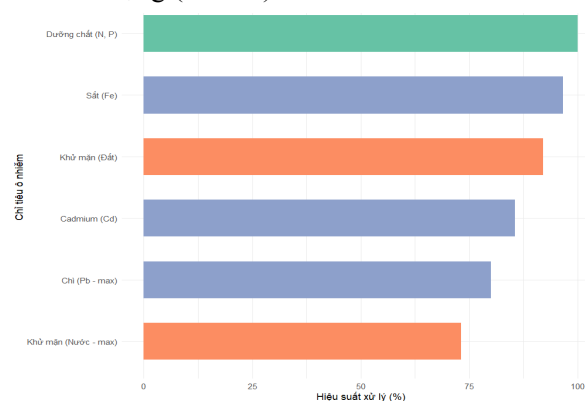
hủy [7]. Đặc điểm này biến sinh khối rơi rụng của cây thành nguồn thức ăn dễ tiêu cho hệ vi sinh vật đất. Thay vì mất nhiều thời gian để hoại mục như các loài thân gỗ, các đốt thân và lá của rau sam biến phân hủy nhanh chóng, giải phóng các hợp chất hữu cơ hòa tan trực tiếp bồi hoàn mùn cho tầng đất mặt [17]. Hơn nữa, khi bò lan trên mặt đất, các đốt thân cây dễ dàng ra rễ và tạo thành thảm thực vật dày, tạo ra một tiêu khí hậu ổn định, bảo vệ các hợp chất hữu cơ khỏi quá trình oxy hóa mạnh trong điều kiện khô hạn mặn [18]. Sự tích lũy SOC này còn được củng cố bởi các dịch rễ giàu polysaccharide, đóng vai trò là tác nhân kết dính các hạt sét và ổn định cấu trúc mùn trong đất mặn [19]. Trong thực tế điều kiện đất sét nặng đặc thù ở ĐBSCL, có chế kè trên giúp bổ sung dinh dưỡng hữu cơ, cải thiện cấu trúc tầng đất mặt.

Đáng chú ý, một số nghiên cứu quốc tế đã mở rộng vai trò của loài thực vật này như một siêu tích lũy không chỉ với muối mà còn với các kim loại nặng trong đất. Các kết quả thực nghiệm có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$) ghi nhận khả năng rau sam biển loại bỏ trung bình đến 96,6% sắt và 85,6% cadmium khỏi môi trường ô nhiễm [4]. Nghiên cứu của Le và cs (2025) cũng ghi nhận khả năng loại bỏ chì với khoảng hiệu suất dao động thực nghiệm từ 7,2 - 80,0% tùy thuộc vào nồng độ ô nhiễm nền [5]. Cơ chế này liên quan đến sự bài tiết axit hữu cơ ở rễ giúp vận chuyển và cô lập kim loại nặng trong mô thân lá. Nồng độ các chất này tích lũy cao nhất tại lá, tạo ra lợi thế lớn cho quản trị đất đai: thông qua việc cắt tỉa sinh khối định kỳ, một lượng lớn muối và kim loại nặng sẽ được tách rời khỏi hệ sinh thái đất, giúp phục hồi các tầng đất mặt bị suy thoái do tác động của nước thải công nghiệp và nuôi trồng thủy sản.

Hơn nữa, tiềm năng của rau sam biển còn được khẳng định trong việc phục hồi đất bị ô nhiễm dầu mỡ. Hệ rễ của loài này không chỉ trực tiếp hấp thụ các hợp chất dầu mỡ mà còn kích thích vi sinh vật phân hủy dầu trong vùng rễ, đẩy nhanh quá trình tự làm sạch của đất mặn [4]. Kết hợp với khả năng che phủ bề mặt giúp hạn chế bốc hơi nước và tích tụ muối mao dẫn, rau sam biển trở thành giải pháp đa mục tiêu trong việc ổn định cơ giới đất và bảo vệ hạ tầng đất đai trước biến đổi khí hậu [10].

3.4 Hiệu quả xử lý ô nhiễm và bảo vệ quỹ đất nuôi trồng thủy sản

Năng lực phục hồi môi trường của loài không chỉ dừng lại ở khử mặn mà còn mở rộng sang xử lý kim loại nặng và dinh dưỡng dư thừa với hiệu suất ấn tượng (Hình 5).



Hình 5. Biểu đồ tổng hợp hiệu suất xử lý ô nhiễm và khử mặn của rau sam biển

Trong các mô hình nuôi tôm thâm canh tại ĐBSCL, đặc biệt là tại tỉnh Cà Mau, lượng dinh dưỡng dư thừa là nguyên nhân chính gây suy thoái chất lượng đất. Kết quả thực nghiệm của Trần Thị Linh Nhâm và Lâm Thảo Nguyên (2025) ghi nhận loài có khả năng loại bỏ hoàn toàn (100%) các dạng đạm độc hại (NH_3 , NO_2 và NO_3^-) trong nước thải ao tôm có độ mặn 23‰ sau chu kỳ xử lý 12 ngày, với sự khác biệt đạt mức ý nghĩa thống kê rõ rệt so với lô đối chứng không trồng cây [10]. Tốc độ tăng trưởng sinh khối nhanh trong khoảng thực nghiệm từ 34,66 - 45,41%/ngày cho phép cây hấp thụ lượng lân hòa tan (PO_4^{3-}) lớn [10], ngăn chặn hiện tượng phú dưỡng hóa đất bờ bao - tác nhân gây ô nhiễm hữu cơ nghiêm trọng cho quỹ đất nuôi trồng thủy sản.

Sự hiện diện của rau sam biển dọc theo hệ thống bờ bao ao nuôi đóng vai trò như một hàng rào sinh học giúp chống xói lở bờ. Hệ thống rễ chùm dày đặc hấp thụ các chất ô nhiễm thẩm thấu qua bờ bao trước khi chúng xâm nhập vào các khu vực đất nông nghiệp nhạy cảm lân cận [8]. Việc duy trì thảm rau sam biển dọc bờ bao là giải pháp dựa vào tự nhiên ít tốn kém nhưng mang lại hiệu quả kép: vừa làm sạch môi trường, vừa bảo vệ quỹ đất sản xuất trước tác động của nước biển dâng. Kết quả đối chiếu thực địa tại tỉnh Cà Mau cho thấy, các mô hình canh tác có sự hiện diện của rau sam biển giúp duy trì độ bền vững của quỹ đất

nuôi trồng thủy sản cao hơn so với các bờ bao để trồng, góp phần quan trọng vào việc thực hiện mục tiêu quản lý đất đai bền vững tại địa phương.

3.5 Giá trị sinh dược học và tiềm năng phát triển kinh tế bền vững

Điểm khác biệt tiềm năng của rau sam biển nằm ở khả năng tổng hợp và tích lũy hàm lượng lớn các hợp chất sinh học có giá trị cao, đặc biệt là Phytoecdysteroids (điển hình là 20-Hydroxyecdysone) và Omega-3 [7]. Các minh chứng thực nghiệm thứ cấp đã định lượng và khẳng định giá trị dược liệu cũng như nguồn dinh dưỡng vượt trội của loài thực vật này:

- **Hàm lượng dinh dưỡng và protein:** Các kết quả phân tích chứng minh rau sam biển tích lũy hàm lượng dinh dưỡng ở mức rất cao với tỷ lệ protein đạt tới 39,38% trong sinh khối và rất giàu axit béo nhóm Omega-3 [7]. Nguồn sinh khối này chứa đầy đủ các axit amin thiết yếu, tạo cơ sở khoa học vững chắc để định hướng chuyển đổi loài cây hoang dại này thành nguồn nguyên liệu xanh cho ngành thực phẩm chức năng và phụ gia thức ăn chăn nuôi chất lượng cao [7].

- **Tích lũy Phytoecdysteroids:** Cây có khả năng tổng hợp và tích lũy hàm lượng lớn hợp chất bảo vệ thực vật quý giá Phytoecdysteroids [7]. Về mặt y dược học, đây là nhóm hợp chất có hoạt tính sinh học cao, mang lại giá trị dược liệu quý báu cho con người thông qua khả năng kháng viêm, tăng cường tổng hợp protein nội bào và hỗ trợ điều trị hiệu quả các bệnh lý về rối loạn chuyển hóa [7]. Đặc điểm tích lũy các hợp chất này tập trung chủ yếu trong mô lá mỏng nước cho phép tiến hành thu hoạch định kỳ thông qua cắt tỉa sinh khối mà không cần phá hủy toàn bộ thảm thực vật nền, bảo đảm tính bền vững cho hệ sinh thái [7].

Sự hình thành và tích lũy nồng độ cao của các hoạt chất thứ cấp này có mối tương quan mật thiết với phản ứng thích nghi sinh lý của cây trước áp lực môi trường khắc nghiệt. Các nghiên cứu tại Trung Đông và Ấn Độ chỉ ra rằng nhờ khả năng chống chịu trước ngưỡng mặn cực đoan lên đến 50% [8] đã kích hoạt con đường chuyển hóa tự vệ của loài, thúc đẩy cây tổng hợp mạnh mẽ Phytoecdysteroids [7] để chống lại các tác động tiêu cực từ hạn hán, xâm nhập mặn và ô nhiễm dầu mỡ [6]. Nói cách khác, biên độ mặn lớn và nền đất sét nặng đặc thù của vùng ven biển đóng vai trò như một tác nhân kích thích

sinh học tự nhiên, tối ưu hóa dược tính sinh học bên trong mô cây.

Sự xác lập về giá trị kinh tế thông qua hàm lượng hoạt chất (Phytoecdysteroids, Omega-3) và rau sam biển tỷ lệ protein cao mở ra tư duy quản trị tài nguyên đất hoàn toàn mới cho ĐBSCL. Thay vì xem các diện tích đất nhiễm mặn là đất suy thoái hay hoang hóa, cộng đồng địa phương hoàn toàn có thể trồng và khai thác rau sam biển như một loại cây kinh tế để đa dạng hóa thu nhập bên cạnh các mô hình nuôi trồng thủy sản truyền thống. Khi giá trị thương mại của cây được định hình, việc quy hoạch các ‘Vành đai xanh đa chức năng’ bao quanh hệ thống ao nuôi thủy sản sẽ nhận được sự đồng thuận cao từ người dân. Mô hình dựa vào tự nhiên này vừa phát huy hiệu quả xử lý triệt để ô nhiễm hữu cơ (N, P) sau 12 ngày [10], bảo vệ hệ thống bờ bao chống sạt lở, vừa tạo động lực sinh kế tuần hoàn lâu dài cho cộng đồng ven biển trước bối cảnh biến đổi khí hậu cực đoan.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu khẳng định rau sam biển (*Sesuvium portulacastrum* L.) là một giải pháp dựa vào tự nhiên tối ưu cho việc phục hồi và quản lý bền vững quỹ đất mặn ven biển vùng ĐBSCL. Loài thực vật bản địa này sở hữu dãy sinh thái rộng với khả năng thích nghi cao trong các điều kiện thổ nhưỡng đặc thù của khu vực như nền đất sét nặng (hàm lượng sét > 47%), hàm lượng hữu cơ cao (SOC ~ 40 g/kg) và khả năng chống chịu ngưỡng mặn cực đoan lên đến 50%. Song song với vai trò cải thiện lý hóa tính và bồi hoàn mùn tự nhiên cho tầng đất mặt, rau sam biển chứng minh năng lực xử lý ô nhiễm đa mục tiêu vượt trội thông qua cơ chế khử mặn sinh học, hấp thụ triệt để nguồn dưỡng chất dư thừa (đạm độc hại) từ nước thải ao nuôi tôm siêu thâm canh và cô lập hiệu quả các kim loại nặng độc hại (Sắt, Cadmium, Chì) ra khỏi hệ sinh thái đất.

Để hiện thực hóa tiềm năng của rau sam biển vào thực tiễn quản trị tài nguyên đất sạch và bền vững, nghiên cứu đề xuất 3 định hướng trọng tâm sau:

- Quy hoạch ‘Vành đai xanh đa chức năng’: Các địa phương ven biển cần chủ động quy hoạch thảm thực vật rau sam biển bao quanh hệ thống bờ bao ao nuôi thủy sản và các vùng giáp ranh

khu công nghiệp nhằm thiết lập hàng rào sinh học giúp chống xói lở, xử lý ô nhiễm tại chỗ và ngăn chặn rủi ro hoang hóa liên vùng.

- Phát triển chuỗi giá trị kinh tế tuần hoàn: Xây dựng cơ chế khuyến khích thu hoạch sinh khối định kỳ nhằm tối ưu hóa sinh kế cho cộng đồng địa phương thông qua hai hướng ứng dụng: làm phụ gia thức ăn chăn nuôi giàu protein và chiết xuất các hợp chất thứ cấp có giá trị sinh dược học cao (Phytoecdysteroids, Omega-3) phục vụ ngành dược phẩm.

- Hiện đại hóa quản lý tài nguyên thông qua số hóa: Đẩy mạnh ứng dụng tích hợp công nghệ địa không gian (GIS) và dữ liệu thổ nhưỡng toàn cầu (SoilGrids) để xây dựng các bản đồ phân vùng ưu tiên, hỗ trợ các cơ quan quản lý nhà nước ra quyết định quy hoạch chuyển đổi mục đích sử dụng đất mặn một cách chính xác trước bối cảnh biến đổi khí hậu cực đoan.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này thực hiện trong khuôn khổ hoạt động của Nhóm nghiên cứu mạnh Nông nghiệp - Đại học Cần Thơ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2021). *Kịch bản biến đổi khí hậu*. Nxb Tài nguyên - Môi trường và Bản đồ Việt Nam.

[2]. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2021). *Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia giai đoạn 2016 - 2020*. Nxb Dân trí.

[3]. Mekong River Commission (2024). *Mekong river basin 2023 state of the basin report*. Vientiane: MRC Secretariat

[4]. Kumawat, A. K., Vaish, S. & Pathak, B. (2025). Phytoremediation efficacy of *Sesuvium portulacastrum* L. in mitigating industrial effluents and heavy metal contamination. *Environmental Science and Pollution Research*, 32, 8340 - 8357. Doi:10.1007/s11356-025-36206-9.

[5]. Le, V. N., Bui, T. Q., Tran, H. M. D., Le, K. D., Le, V. D., & Nguyen, T. T. M. (2025). An initial study and prospective application of *Sesuvium Portulacastrum* L. in the simultaneous removal of salts and lead from polluted agricultural soils. *International Journal of Environmental Sciences*, 11(8), 2649 - 2661. doi:10.64252/vqp4zj72

[6]. Lokhande, V.H., Nikam, T.D., & Penna, S. (2009). *Sesuvium portulacastrum* (L.) L. a promising halophyte: Cultivation, utilization and distribution in India. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 56, 741 - 747. Doi:10.1007/s10722-009-9425-1.

[7]. Zhang, W., Wang, D., Cao, D., Chen, J., & Wei, X. (2024). Exploring the potentials of *Sesuvium portulacastrum* L. for edibility and bioremediation of saline soils. *Frontiers in Plant Science*, 15. Doi:10.3389/fpls.2024.1387102

[8]. Hồ Bích Liên (2025). Ability of *Sesuvium Portulacastrum* to remove salt from saline media. *Tạp chí khoa học Trường Đại học Thủ Dầu Một*, 7(1) 38 - 44. Doi:10.37550/tdmu. EJS/2025.01.608.

[9]. Ngô Thu Thủy, Lê Văn Nhân, Bùi Quang Minh, & Nguyễn Hùng Mạnh (2024). Đánh giá khả năng loại bỏ muối trong nước nhiễm mặn bằng cây sam biển (*Sesuvium portulacastrum* L.). *Tạp chí phân tích Hóa, Lý và Sinh học*, 30(2), 140 - 145.

[10]. Trần Thị Linh Nhâm, & Lâm Thảo Nguyên (2025). Nghiên cứu sử dụng rau sam biển (*Sesuvium portulacastrum*) xử lý các hợp chất N và P hòa tan trong nước thải nuôi tôm thẻ chân trắng siêu thâm canh. *Tạp chí Khoa học Đất*, 80, 31 - 36.

[11]. Đặng Văn Sơn, Nguyễn Thị Mai Hương, & Nguyễn Lê Tuyết Dung (2016). Đa dạng thành phần loài và thảm thực vật ở tỉnh Bạc Liêu. *Tạp chí khoa học Lâm nghiệp* 3, 4441 - 4449.

[12]. Phạm Hồng Tính, & Mai Sỹ Tuấn (2016). Phân tích định lượng các chỉ số đa dạng sinh học và phân bố của thảm thực vật thân gỗ rừng ngập mặn ven biển miền Bắc Việt Nam. *Tạp chí Sinh học*, 38(1) 53 - 60. Doi:10.15625/0866-7160/v38n1.7399

[13]. GBIF.org (2026). GBIF occurrence. <https://www.gbif.org/occurrence/search>

[14]. Poggio, L., de Sousa, L. M., Batjes, N. H., Heuvelink, G. B., Kempen, B., Ribeiro, E., & Rossiter, D. (2021). SoilGrids 2.0: Producing soil information for the globe with quantified uncertainty. *Soil*, 7(1), 217 - 240. Doi:10.5194/soil-7-217-2021.

[15]. Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2020). WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302 - 4315. Doi:10.1002/joc.5086

- [16]. Desai, N. M., Patil, M. S., Pawar, U. R. (2025). Biology and ecophysiological studies in *Sesuvium portulacastrum* (L.) L.. In: Penna, S., Nikalje, G. C. (eds) Harnessing *Sesuvium portulacastrum* for Biosaline Agriculture. Springer, Singapore. Doi:10.1007/978-981-96-3307-4_3.
- [17]. Fitzgerald, M., Gonzalez, K., Funk, J.L., Whitcraft, C. R., Allen, B. J. (2021). Recovering ecosystem functions in a restored salt marsh by leveraging positive effects of biodiversity. *Ecosphere*, 12(8), e03664. Doi:10.1002/ecs2.3664
- [18]. Lonard, R. I. & Judd, F. W. (1997). The biological flora of coastal dunes and wetlands. *Sesuvium portulacastrum* (L.) L. *Journal of Coastal Research*, 13(1) 96 - 104. <https://www.jstor.org/stable/4298595>
- [19]. Ahmadi, F., Mohammadkhani, N., Servati, M. (2022). Halophytes play important role in phytoremediation of salt-affected soils in the bed of Urmia Lake, Iran. *Scientific Reports*, 12(1) 12223. Doi:10.1038/s41598-022-16266-4
- [20]. Mnasri, M., Ghabriche, R., Fourati, E., Zaier, H., Sabally, K., Barrington, S., Lutts, S., Abdelly, C. & Ghnaya, T. (2015). Cd and Ni transport and accumulation in the halophyte *Sesuvium portulacastrum*: Implication of organic acids in these processes. *Frontier Plant Science*, 6, 156. Doi:10.3389/fpls.2015.00156

ASSESSING THE POTENTIAL FOR RESTORATION AND SUSTAINABLE MANAGEMENT OF COASTAL SALINE LANDS IN THE MEKONG DELTA USING *Sesuvium portulacastrum* L.: AN INTEGRATED APPROACH OF GEOSPATIAL DATA AND EXPERIMENTAL EVIDENCE

Phan Thanh Thuan¹, Phung Thi Hang¹,
Tran Thi Linh Nham², Nguyen Vo Chau Ngan¹

¹ College of Environment and Natural Resources, Can Tho University

² Faculty of Agriculture and Aquaculture, Bac Lieu University

Abstract

This study evaluates the spatial distribution characteristics, edaphic adaptation, and environmental remediation potential of shoreline purslane (*Sesuvium portulacastrum* L.) in the coastal region of Southern Vietnam. The methodology integrates field survey data (n = 10) in Ca Mau province, reference data sourced from the Global Biodiversity Information Facility network (n = 58), and the SoilGrids 2.0 baseline database within a QGIS platform. Mapping results confirm the continuous distribution of the species along intertidal zones and estuarine mudflats. Comparative analysis of the topsoil layer (0-15 cm) demonstrates that the field habitats exhibit a high degree of homogeneity with Southern baseline data, characterized by heavy clay soils (> 47%), a pH of approximately 6.4, and an elevated organic matter content (Soil Organic Carbon, SOC > 40 g/kg). Regarding environmental remediation performance, experimental outcomes prove that *Sesuvium portulacastrum* L. tolerates extreme salinity up to 50‰, achieves a soil desalination efficiency of 92%, and effectively accumulates heavy metals (96.6% for Iron, 85.6% for Cadmium, and up to 80% for Lead). In the management of shrimp aquaculture effluents, this species thoroughly eliminates (100%) toxic nitrogenous compounds (NH₃, NO₂⁻, NO₃⁻) within a 12-day period. Beyond its ecological value, the plant bioaccumulates high concentrations of valuable active compounds, specifically Phytoecdysteroids and Omega-3 fatty acids, showcasing significant biopharmaceutical potential. This research provides a crucial scientific foundation for deploying a 'Multifunctional green belt' model to stabilize soil mechanics, remediate topsoil degraded by saltwater intrusion, and open sustainable economic avenues for coastal communities in the Mekong Delta.

Keywords: Mekong Delta, biodesalination, soil environmental remediation, shoreline purslane (*Sesuvium portulacastrum* L.), wastewater treatment.

Ngày nhận bài: 20/4/2026

Ngày chuyển phản biện: 25/5/2026

Ngày thông qua phản biện: 10/6/2026

Ngày duyệt bài: 19/6/2026