NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM KHẢ NĂNG LẮNG ĐỌNG PHÙ SA Ở KHU VỰC RỪNG NGẬP MẶN VEN BIỂN THÀNH PHỐ CẦN THƠ

LÝ TRUNG NGUYÊN[1*], DANH TÍNH[1], LÊ THANH KHANG[1]
[1]Khoa Môi trường và Tài nguyên thiên nhiên, Đại học Cần Thơ

Tóm tắt
Nghiên cứu được thực hiện nhằm đánh giá vai trò của rừng ngập mặn (RNM) trong việc giảm năng lượng sóng và lắng đọng phù sa tại khu vực ven biển. Thí nghiệm đã lắp đặt thiết bị đo sóng và thu mẫu phù sa lắng đọng tại hai vị trí đặt cách nhau 50 m trong và ngoài bìa rừng để làm đối chứng. Tại các vị trí lắp thiết bị, cấu trúc RNM được khảo sát với diện tích mỗi ô tiêu chuẩn (OTC) 100 m² (10 x 10 m) và được mô tả bằng phương pháp đo đạc thủ công, trong đó, chiều cao của cây đo bằng thước đo cao 15 m, chiều cao rễ và đường kính thân đo bằng thước dây 1 m, lặp lại 3 lần theo mỗi OTC. Ngoài ra, đường kính thân cây RNM được đo tại 1,3 m từ mặt đất. Cao trình mặt đất được xác định bằng phương pháp thủ công, theo nguyên tắc ống thông nhau. Kết quả nghiên cứu cho thấy sự khác biệt rõ rệt về cấu trúc rừng và khả năng lắng đọng phù sa giữa khu vực trong và ngoài bìa rừng. Tại khoảng cách 50 m tính từ bìa rừng, mật độ cây và rễ cao, năng lượng sóng giảm 19 - 39%. Kết quả đo đạc và phân tích khối lượng phù sa cho thấy khả năng lắng đọng phù sa cao hơn ở trong rừng so với vị trí bìa rừng là 36,07%. Kết quả tương quan cũng cho thấy, cấu trúc rừng có mối tương quan tốt với khả năng lắng động phù sa trong rừng thông qua chắc năng giảm sóng.
Từ khóa: *Cấu trúc RNM, giảm sóng, lắng đọng phù sa, ven biển thành phố Cần Thơ.*
Ngày nhận bài: *7/11/2025;* ***Ngày sửa chữa:*** *5/12/2025;* ***Ngày duyệt đăng:*** *22/12/2025*

Field study on sediment deposition potential in coastal mangroves of Can Tho city

Abstract
The study was conducted to assess the role of mangrove forests (MF) in reducing wave energy and sediment deposition in coastal areas. Instruments for measuring waves and collecting deposited sediment samples were installed at two locations, 50 m apart, inside and outside the forest edge as controls. At the instrumented locations, the MF structure was surveyed within standard plots (SP) of 100 m² (10 × 10 m) and described using manual measurement methods, in which tree height was measured with a 15 m measuring rod, root height and trunk diameter were measured with a 1 m tape, repeated three times for each SP. In addition, mangrove trunk diameter was measured at 1.3 m above ground. Ground elevation was determined manually using the water tube leveling method. The study results showed clear differences in forest structure and sediment deposition between the inside and edge of the forest. At a distance of 50 m from the forest edge, tree and root density were high, and wave energy decreased by 19 - 39%. Measurements and analysis of sediment mass indicated that sediment deposition inside the forest was 36.07% higher than at the forest edge. Correlation results also showed that forest structure was well correlated with sediment deposition within the forest through its wave attenuation function.
Keywords: *Coastal of Can Tho city, mangrove forest structure, sediment deposition, wave attenuation.*
JEL Classifications: *O13, O44, P18.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

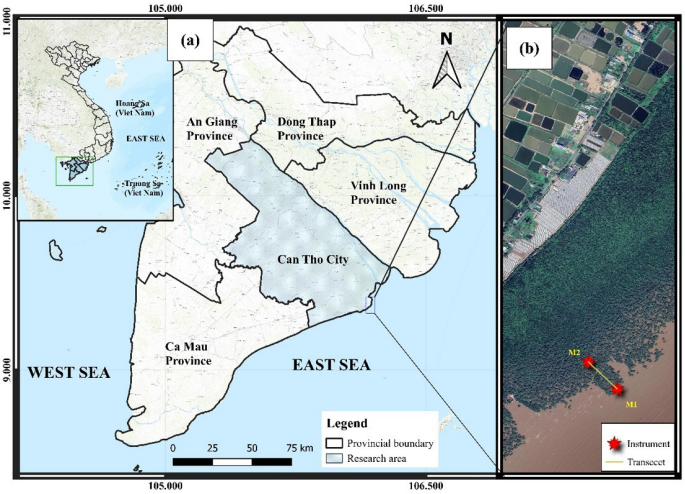
Các hệ sinh thái RNM ven biển, nơi tiếp giáp giữa đất liền và đại dương [1], đóng vai trò quan trọng trong việc bảo vệ đường bờ trước các tác động tự nhiên nhờ khả năng hấp thụ năng lượng sóng và động lượng từ đại dương [2]. Tuy nhiên, biến đổi khí hậu và mực nước biển dâng đang làm gia tăng nguy cơ xói lở bờ biển [3]. Các giải pháp cơ sở hạ tầng xanh như: Đầm lầy ngập mặn và rạn san hô, đã được chứng minh là hiệu quả trong việc giảm năng lượng sóng, lắng đọng phù sa và bảo vệ bờ biển [4], [5], [6]. Các rạn san hô và RNM đóng vai trò như một cấu trúc nền sinh học có khả năng tạo lập môi trường lưu giữ các hạt trầm tích lơ lửng thông qua cơ chế giảm sóng và lắng đọng phù sa [7]. Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) của Việt Nam là khu vực dễ bị tổn thương do biến đổi khí hậu, mực nước biển dâng và những thay đổi về chế độ thủy văn trong khu vực. RNM không chỉ giúp tiêu tán năng lượng sóng mà còn thúc đẩy lắng đọng phù sa, giảm xói mòn [8], [9]. Hiệu quả của RNM phụ thuộc lớn vào mật độ, cấu trúc rừng và điều kiện thủy văn [10]. Thành phố Cần Thơ, sau sáp nhập bao gồm cả

đường bờ biển tỉnh Sóc Trăng cũ, nơi được đánh giá là khu vực chịu ảnh hưởng nặng nề nhất trước tác động của biến đổi khí hậu và nước biển dâng [11]. Do đó, nghiên cứu tập trung vào đánh giá vai trò của cấu trúc RNM ven biển đến tiêu tán năng lượng sóng và lắng đọng phù sa tại RNM ven biển thành phố Cần Thơ, nhằm làm cơ sở để đề xuất giải pháp bảo vệ và phát triển bền vững vùng ven biển.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Khu vực nghiên cứu

Các bãi bồi rộng lớn dọc theo bờ biển ĐBSCL được tạo ra bởi một lượng lớn trầm tích được vận chuyển bởi sông Mekong [12]. RNM được chọn cho nghiên cứu này nằm ở tỉnh Sóc Trăng cũ (nay là thành phố Cần Thơ) (Hình 1). Diện tích RNM từ năm 2016 đến 2022 tại khu vực vực ven biển tỉnh Sóc Trăng cũ có xu hướng tăng [13], với diện tích rừng bần chua (Sonneratia caseolaris) lớn nhất cả nước, phân bố chủ yếu tại khu vực ven biển huyện Trần Đề [8].



Hình 1. (a) Vị trí đồng bằng sông Cửu Long của Việt Nam, nằm ở phía Nam Việt Nam và bờ biển thành phố Cần Thơ. (b) Tuyến nghiên cứu (đường màu vàng) ở RNM ở vùng ven biển thành phố Cần Thơ. Các ngôi sao màu đỏ biểu thị vị trí triển khai lắp đặt thiết bị đo sóng và thu mẫu lắng đọng phù sa

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Đo đạc cấu trúc RNM

Cấu trúc RNM được đo đạc tại 2 OTC, thiết bị thu mẫu phù sa lắng đọng nằm ở trung tâm ô. Mỗi OTC có diện tích 100 m^2 (rộng 10 m và dài 10 m). Ngoài ra, mật độ rễ còn được đo bằng cách đếm tổng số rễ và chiều cao rễ trong ô phụ với diện tích 1 m^2 (1x1 m), lặp lại 3 lần trong mỗi OTC. Mật độ cây RNM được xác định bằng cách đếm số cây riêng lẻ của từng OTC (Hình 2).

Hình 2. (a) Ô tiêu chuẩn để đo đạc cấu trúc RNM với diện tích là 100 m^2; (b) Ô tiêu chuẩn để xác định mật độ rễ cây có diện tích là 1m^2

Cấu trúc RNM được mô tả thông qua các thông số như sau: Mật độ cây rừng, chiều cao cây, đường kính thân. Mỗi đặc tính được xác định bằng cách sử dụng một số công cụ, ví dụ như đo đường kính ngang ngực sử dụng thước dây 1 m (Hình 3). Ngoài ra, đường kính thân và gốc cây được đo ở từng cây ngập mặn với độ cao tương ứng là 1,3 m và 0 m [14].

2.2.2. Thu mẫu phù sa lắng đọng

Để thu mẫu phù sa lắng đọng trong nước, nghiên cứu sử dụng các ống nhựa PVC được thiết kế lắp đặt theo hình tròn 360° (Hình 4). Việc bố trí các ống thu mẫu phù sa theo phương 360° nhằm mục tiêu nhận dạng xu hướng vận chuyển phù sa chủ đạo tại khu vực nghiên cứu, phục vụ cho việc so sánh tương đối khả năng lắng đọng giữa các vị trí trong và ngoài RNM. Các ống nhựa để thu mẫu phù sa lắng đọng được lắp đặt theo các hướng khác nhau để đánh giá hướng vận chuyển phù sa. Với đường kính ống thu mẫu là 9 cm và chiều cao ống là 30 cm.

Hình 3. Phương pháp đo đường kính ngang ngực (D1.3) của cá thể cây được khảo sát bằng thước dây tại độ cao 1,3 m so với mặt đất

Vùng biển thành phố Cần Thơ chịu ảnh hưởng của chế độ bán nhật triều điển hình thuộc biển Đông, với hai chu kỳ triều đầy đủ (bao gồm 2 lần nước lên và 2 lần nước xuống) trong 24 giờ. Để đảm bảo thu thập đại diện tổng lượng phù sa lắng đọng, thiết bị thu mẫu sẽ được lắp đặt cố định tại vị trí nghiên cứu trong 24 giờ liên tục, thu thập tổng lượng phù sa lắng đọng (gram/ngày). Thiết bị được được lắp đặt cố định tại hai điểm bìa rừng và cách bìa rừng 50 m khi thủy triều xuống, chịu được lực của sóng biển khi thủy triều lên, với khả năng chịu được các điều kiện môi trường như dòng chảy, sóng và thủy triều. Số mẫu phù sa lắng đọng thu thập tại vùng RNM huyện Trần Đề, Sóc Trăng cũ là 2 mẫu: Mẫu tại vị trí bìa rừng, mẫu tại vị trí cách bìa rừng 50 m. Các mẫu trầm tích được xác định khối lượng phù sa lắng đọng (gram).

2.2.3. Đo đạc và phân tích năng lượng sóng biển

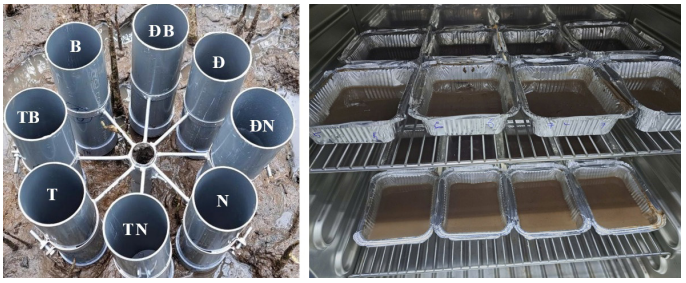
Nghiên cứu [15] thể hiện chi tiết cách tính toán sóng biển tại khu vực Sóc Trăng, đã lắp đặt các thiết bị áp suất trong hệ thống giám sát thời gian thực để đo các đặc tính sóng tại cùng vị trí với các thiết bị thu mẫu phù sa. Chiều cao sóng có ý nghĩa được tính toán từ dữ liệu áp suất. Định nghĩa về chiều cao sóng có ý nghĩa, Hs , được xác định theo công thức (1) [16]:

$$Hs = 4m_0 = 4[\int S_\eta(f)df]^{1/2} \quad (1)$$

Trong đó m_0 là phương sai của cao độ mặt nước, η và Sη(f) mật độ phổ của độ dịch chuyển bề mặt theo hàm số tần số f. Chiều cao sóng có ý nghĩa được xác định bằng cách tích phân phổ bề mặt thu được từ phổ áp suất dựa trên lý thuyết sóng tuyến tính. Cách tính toán cụ thể chiều cao sóng được áp dụng theo phương pháp của nghiên cứu do Ly và cs (2022) [17].

2.2.4. Xử lý mẫu phù sa lắng đọng

Theo sơ đồ các bước xử lý phù sa lắng đọng (Hình 5), các mẫu phù sa được thu thập ngoài hiện trường sẽ được đưa vào từng khay nhôm sấy khô ở nhiệt độ 105°C trong 24 giờ đến khi khối lượng phù sa không đổi, thu được khối lượng (m_1). Cân các khay đựng mẫu phù sa lắng đọng thu được khối lượng (m_2). Cuối cùng, thu được khối lượng phù sa lắng đọng sau khi đã sấy khô ($m_1 - m_2$).



Hình 4. Thiết bị thu mẫu phù sa lắng đọng và phân tích mẫu trong phòng thí nghiệm

Toàn bộ quy trình xử lý được thực hiện trong phòng thí nghiệm thuộc Bộ môn Tài nguyên đất đai, khoa Môi trường và Tài nguyên thiên nhiên, tuân thủ nghiêm ngặt các yêu cầu về thao tác và kiểm soát sai số, đảm bảo sự nhất quán và độ tin cậy về kết quả của khối lượng mẫu sau khi đã xử lý.

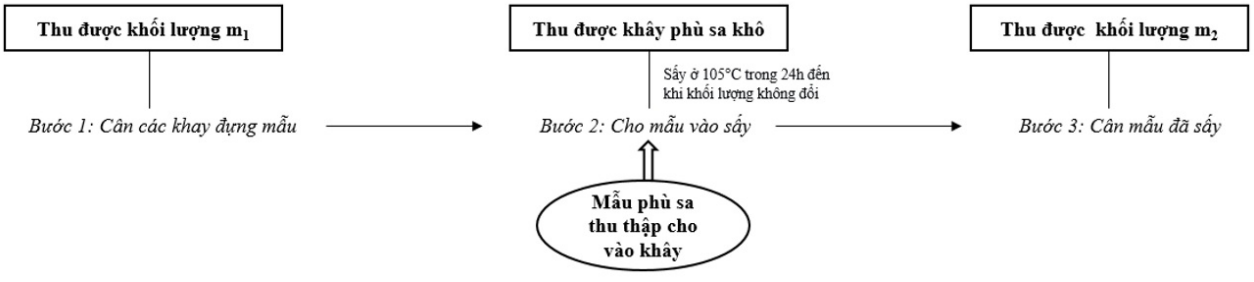
2.2.5. Đánh giá mối liên hệ giữa năng lượng sóng và sự lắng đọng phù sa

Để liên hệ sự phân bố kích thước hạt trầm tích lơ lửng với ứng suất cắt phía trên và bên trong tán cây được xác định kích thước hạt tương đương có thể bị lơ lửng bởi một vận tốc cắt nhất định dựa trên vận tốc rơi hạt đi xuống (w_s):

$$\frac{u_*}{w_s} = \alpha \quad (2)$$

Trong đó αv đại diện cho các giai đoạn huyền phù khác nhau và dao động từ các đợt bùng nổ trầm tích ở trạng thái huyền phù khi α ≤1 đến huyền phù phát triển hoàn chỉnh khi α >> 1 [18]. Lưu ý rằng tỷ lệ này có liên quan đến nghịch đảo của số Rouse. Đặt 1 dựa trên các lập luận sau: (1) Để một kích thước hạt cụ thể được treo trên bệ, nó phải chịu một ứng suất cắt đủ để có thể di chuyển nó ra khỏi bệ. (2) Đối với phạm vi kích thước hạt trầm tích được đo trong huyền phù trong thí nghiệm này, một khi các hạt này được huy động, về mặt lý thuyết, chúng sẽ trực tiếp chuyển sang trạng thái huyền phù. Công thức tính (3) [19]:

$$W_s = \frac{v}{D}(\sqrt{10.36^2 + 1.049D*^3} - 10.36 \quad (3)$$



Hình 5. Sơ đồ các bước xử lý mẫu phù sa lắng đọng

Trong đó:

v độ nhớt động học của nước (9.35 x 10-7m2s2)

D là kích thước hạt quan tâm

là kích thước hạt không thứ nguyên $D_* = \left(\left(\frac{g(s-1)}{v^2}\right)^{1/3}\right)D)$

g là hằng số gia tốc trọng trường

s là tỷ lệ mật độ hạt trầm tích cacbonat (= 2600 kg. m^{-3}) được ước tính bằng sự dịch chuyển trọng lực [20] đến mật độ nước (ρ_w = 1026 kg.m^{-3}) từ các mẫu trầm tích thu được tại khu vực.

Tuy nhiên, trong nghiên cứu, các công thức trên được ứng dụng để giải thích cho mối liên hệ giữa khả năng giảm sóng, do việc đo đạc kích thước phù sa không được đo đạc và phân tích vì thiếu thiết bị, nên nghiên cứu giả sử rằng kích thước hạt phù sa là tương tự và không ảnh hưởng nhiều tổng số lượng phù sa lắng động.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc điểm cấu trúc RNM

Các đặc điểm cấu trúc của RNM được trình bày trong Bảng 1. Đường kính thân và chiều cao cây tại vị trí bìa rừng có xu hướng lớn hơn rõ rệt so với vị trí cách bìa rừng 50 m. Cụ thể, đường kính thân cây trung bình tại bìa rừng là (25,57 cm), trong khi tại vị trí cách bìa rừng 50 m chỉ đạt (8,5 cm). Tuy nhiên, độ lệch chuẩn tại vị trí cách bìa rừng 50 m tương đối lớn (13,29 cm), phản ánh sự biến động đáng kể trong kích thước thân cây tại khu vực này.

Bảng 1. Đặc điểm thảm thực vật của cây Bần chua (Sonneratia caseolaris sp.)

STT	Các thông số của RNM	Vị trí M1 (cm) Mean (std.)	Vị trí M2 (cm) Mean (std.)
1	Đường kính thân cây	25,57 (6,75)	8,5 (13,29)
2	Chiều cao cây	7,50 (1,73)	4,7 (5,049)
3	Đường kính gốc cây	43,18 (8,24)	13,19 (17,25)
4	Chiều cao rễ	50,48 (9,74)	31,46 (19,95)
5	Đường kính rễ	4,96(1,78)	3,49 (1,72)
6	Mật độ cây (/OTC)	3	9
7	Mật độ rễ (/m^2)	41	52

(Ghi chú: M1- Vị trí bìa rừng, M2 - Vị trí cách bìa rừng 50 m)

Khả năng sinh trưởng tự nhiên mạnh tại vị trí cách bìa rừng 50 m, nơi các cây non dễ dàng bám rễ và phát triển. Sự hiện diện đồng thời của nhiều cây con và cây trưởng thành trong quần thể làm gia tăng mức độ biến thiên về đường kính thân giữa các cá thể.

3.2. Đánh giá khả năng giảm sóng của RNM ven biển

Kết quả đo đạc cho thấy, năng lượng sóng tại vị trí cách bìa rừng 50 m luôn thấp hơn so vị trí bìa rừng, với mức suy giảm dao động từ 19% - 39%. Hệ số góc trong các mô hình tuyến tính giữa bìa rừng và vị trí cách bìa rừng 50 m đều nhỏ hơn 1 chứng tỏ sóng đã bị tiêu giảm rõ rệt khi truyền qua khu vực RNM (Bảng 2).

Bảng 2. Số liệu đo của sóng truyền qua RNM

Độ sâu của nước	Vị trí đo	
Nông	**M1 so với M2**	
	Hệ số góc	0,6178
	Hệ số chặn	0,0022
	R2	0,9877
Trung bình	**M1 so với M2**	
	Hệ số góc	0,7940
	Hệ số chặn	0,0146
	R2	0,9946
Sâu	**M1 so với M2**	
	Hệ số góc	0,8176
	Hệ số chặn	0,0283
	R2	0,9773

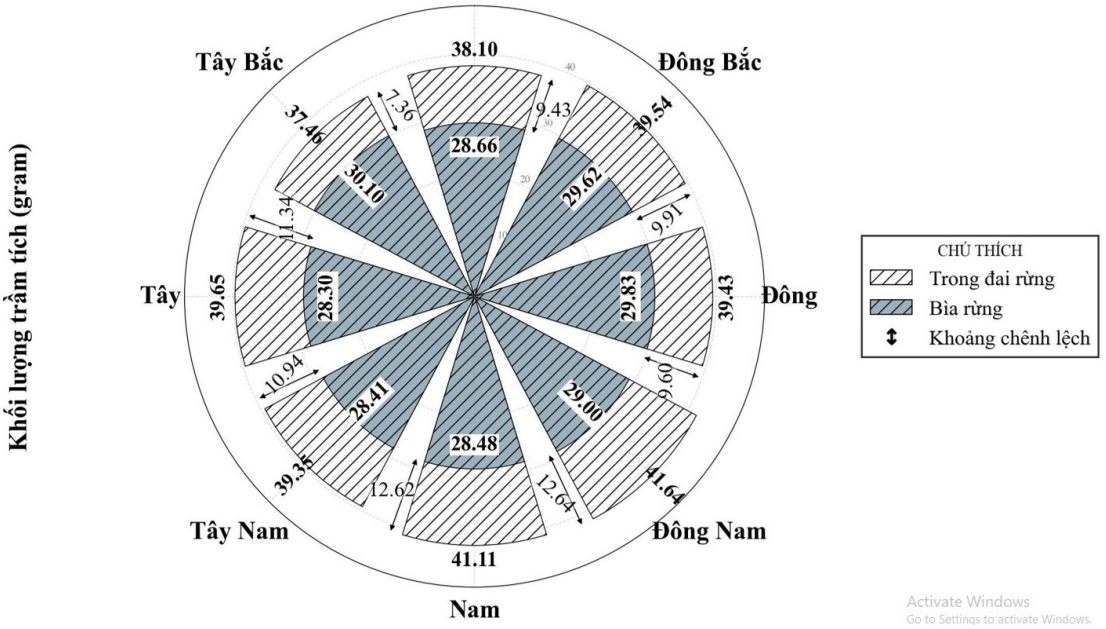
(Ghi chú: M1- Vị trí bìa rừng, M2 - Vị trí cách bìa rừng 50 m)

Khả năng cản sóng của RNM tại vị trí cách bìa rừng 50 m có hiệu quả, nơi có cấu trúc rừng phát triển hơn so với khu vực bìa rừng. Từ kết quả cho thấy vai trò rõ rệt của RNM trong việc làm giảm động năng sóng, tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình lắng đọng phù sa và ổn định bờ biển.

3.3. Đánh giá khả năng lắng đọng phù sa của RNM ven biển

Khối lượng phù sa lắng đọng tại mỗi khu vực biểu thị cho khả năng giảm nhiễu động từ môi trường nước lên hạt trầm tích, đảm bảo quá trình lắng được lắng đọng diễn ra hiệu quả. Lượng trầm tích lắng đọng thu được nhiều nhất chủ yếu ở hướng Tây Bắc tại vị trí bìa rừng và hướng Đông Nam tại vị trí cách bìa rừng 50 m. Khối lượng phù sa lắng đọng tại vị trí bìa rừng dao động từ 28,30 đến 30,10 (gram), giá trị cao nhất ở hướng Tây Bắc là 30,10 (gram), thấp nhất ở hướng Tây (28,30 gram) và giá trị trung bình toàn khu vực đạt 29,05 (gram). Ở vị trí trong rừng cách bìa rừng 50 m có khối lượng phù sa dao động từ 37,46 (gram) đến 41,64 (gram), giá trị trung bình của khối lượng phù sa là 39,534 (gram). Độ chênh lệch khối lượng phù sa lắng đọng tại vị trí bìa rừng so với vị trí cách bìa rừng 50 m dao động từ +7,36 (gram) đến + 12,64 (gram) (Hình 6). Nhờ có lợi thế về mật độ rễ và cây tạo điều kiện cho nơi đây giữ vai trò như một bẫy trầm tích cho quá trình bồi tụ phù sa.

Kết quả nghiên cứu này phù hợp với nghiên cứu của [21] về hướng vận chuyển trầm tích

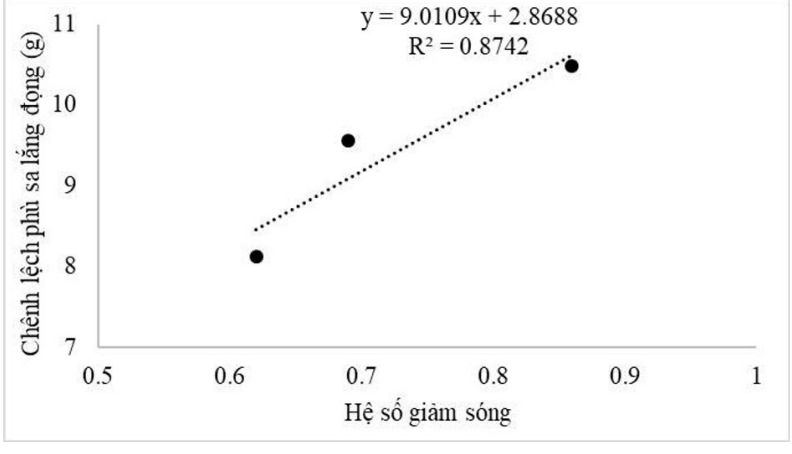


Hình 6. Khối lượng phù sa lắng đọng tại vị trí bìa rừng (màu xanh dương) và vị trí cách bìa rừng 50 m (màu cam)

vùng ven biển Sóc Trăng cũ (nay là thành phố Cần Thơ). Nghiên cứu chỉ ra rằng trầm tích thuộc vùng biển Trần Đề và Vĩnh Châu, tỉnh Sóc Trăng có xu hướng di chuyển dọc bờ biển đi về phía Nam. Dựa trên các vector, hướng Tây Bắc và Đông Nam là hai hướng chính chi phối quá trình vận chuyển trầm tích trong khu vực.

3.4. Đánh giá mối liên hệ giữa cấu trúc rừng khả năng giảm sóng và lắng đọng phù sa

RNM đóng vai trò quan trọng trong việc điều tiết dòng chảy và thúc đẩy lắng đọng phù sa. Kết quả tương quan cho thấy, khi hệ số giảm sóng tăng thì sự chênh lệch về khả năng lắng đọng phù sa giữa 2 vị trí trong RNM cũng tăng (Hình 7). Điều này có thể được giải thích như sau: Tại điểm bìa rừng với mật độ cây thưa, khả năng giảm sóng kém dẫn đến năng lượng sóng cao, vận tốc ma sát (u^*) cao, khiến tỷ số $\alpha > 1$, duy trì trạng thái huyền phù bùng nổ và hạn chế lắng đọng. Ngược lại, tại điểm cách bìa rừng 50 m mật độ rừng cao làm giảm 19 - 39% năng lượng sóng, u^* giảm đáng kể, đưa tỷ số $\alpha \leq 1$ tạo điều kiện cho huyền phù ổn định và thúc đẩy quá trình lắng đọng phù sa. Nhìn chung, cấu trúc RNM có khả năng làm giảm năng lượng sóng biển khi đi qua khoảng cách 50 m cây rừng. Việc suy giảm năng lượng sóng này giúp phù sa có khả năng lắng đọng nhiều hơn.



Hình 7. Biểu đồ tương quan về hệ số giảm sóng và lượng phù sa lắng đọng

Qua đó cho thấy, tại những vị trí có cây RNM phát triển, với mật độ càng cao thì khả năng làm giảm sóng biển càng tốt. Việc suy giảm năng lượng sóng biển tạo điều kiện cho phù sa được lắng đọng nhanh và nhiều hơn, góp phần bảo vệ bờ biển. Tuy nhiên, cũng cần có những nghiên cứu chuyên sâu hơn để đánh giá tác động của dòng chảy ven biển đến khả năng tích tụ hoặc mang đi phù sa ven biển. Đặc biệt trong điều kiện hiện nay, RNM được xem là một trong những giải pháp xanh và mang tính bền vững (nature based solution) để bảo vệ đường bờ biển trước tác động của biến đổi khí hậu và nước biển dâng.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã khẳng định vai trò quan trọng của RNM trong việc giảm năng lượng sóng và thúc đẩy quá trình lắng đọng phù sa tại khu vực ven biển thành phố Cần Thơ. Kết quả cho thấy tại vị trí cách bìa rừng 50 m, nơi có mật độ cây và rễ cao hơn, năng lượng sóng giảm từ 19% - 39%, đồng thời khả năng lắng đọng phù sa tăng 36,07% so với vị trí bìa

rừng. Ngoài ra, có mối liên hệ thuận giữa khả năng giảm sóng của RNM và khả năng làm lắng đọng phù sa trong RNM. Nghiên cứu nhấn mạnh tầm quan trọng của RNM trong việc giảm xói mòn bờ biển, bảo vệ hệ sinh thái ven biển. Do đó, việc bảo tồn và phát triển RNM cần được ưu tiên trong các chiến lược quản lý và phát triển bền vững vùng ven biển ĐBSCL, nhằm ứng phó với các thách thức từ biến đổi khí hậu■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. C. Ehler, B. Cicin-Sain, R. Knecht, R. South, and R. Weiher, Guidelines for Integrating Coastal Management Programs and National Climate Action Plans. 1997.

2. K. K. Arkema et al., "Coastal habitats shield people and property from sea level rise and storms," Nature Climate Change, vol. 3, no. 10, pp. 913–918, 2013, doi: 10.1038/nclimate 1944.

3. L. Mentaschi, M. I. Vousdoukas, J.-F. Pekel, E. Voukouvalas, and L. Feyen, "Global long-term observations of coastal erosion and accretion," Scientific Reports, vol. 8, no. 1, 12876, 2018, doi: 10.1038/s41598-018-30904-w.

4. V. Vuik, S. N. Jonkman, B. W. Borsje, and T. Suzuki, "Nature-based flood protection: The efficiency of vegetated foreshores for reducing wave loads on coastal dikes," Coastal Engineering, vol. 116, pp. 42–56, 2016, doi: 10.1016/j.coastaleng.2016.06.001.

5. P. L. Wiberg, S. R. Taube, A. E. Ferguson, M. R. Kremer, and M. A. Reidenbach, "Wave attenuation by oyster reefs in shallow coastal bays," Estuaries and Coasts, vol. 42, no. 2, pp. 331–347, 2019, doi: 10.1007/s12237-018-0463-y.

6. Z.-C. Huang, T.-J. Hsu, and T. N. Ly, "Field evidence of flocculated sediments on a coastal algal reef," Communications Earth & Environment, vol. 6, p. 8, 2025, doi: 10.1038/s43247-024-01957-9.

7. Z.-C. Huang, T.-J. Hsu, and T. N. Ly, "Field observations on flocculation of suspended sediment in coastal algal reef environments," in EGU General Assembly 2025, Vienna, Austria, Apr. 27–May 2, 2025, EGU25-2995, doi: 10.5194/egusphere-egu25-2995.

8. L. T. Lợi, L. T. Nguyên, N. N. Duy, and V. P. Đ. Trí, "Đánh giá khả năng giảm sóng triều của độ dày RNM tại huyện Trần Đề, tỉnh Sóc Trăng," Can Tho University Journal of Science, vol. 55, no. Environment, pp. 18–26, 2019, doi: 10.22144/ctu.jsi.2019.127.

9. M. Yoshikai et al., "Scaling relations and substrate conditions controlling the complexity of Rhizophora prop root system," Estuarine, Coastal and Shelf Science, vol. 248, 107014, 2021, doi: 10.1016/j.ecss.2020.107014.

10. T. Quang Bao, "Effect of mangrove forest structures on wave attenuation in coastal Vietnam," Oceanologia, vol. 53, no. 3, pp. 807–818, 2011, doi: 10.5697/oc.53-3.807.

11. K. Schmitt, T. Albers, T. T. Pham, S. C. Dinh, et al., "Site-specific and integrated adaptation to climate change in the coastal mangrove zone of Soc Trang Province, Viet Nam," Journal of Coastal Conservation, vol. 17, pp. 545–558, 2013, doi: 10.1007/s11852-013-0253-4.

12. G. Brunier, E. J. Anthony, M. Goichot, M. Provansal, and P. Dussouillez, "Recent morphological changes in the Mekong and Bassac river channels, Mekong delta: The marked impact of river-bed mining and implications for delta destabilisation", Geomorphology, vol. 224, pp. 177–191, 2014, doi: 10.1016/j.geomorph.2014.07.009.

13. H. T. Tính, V. Q. Tuấn, L. T. Nguyên, và L. Q. Tâm, "Hiện trạng RNM tỉnh Sóc Trăng thay đổi như thế nào từ năm 2016 đến 2022 – phân tích từ ảnh vệ tinh", CTU J. Sci., vol 60, số p.h 3, tr 52-61, tháng 6 2024.

14. Food and Agriculture Organization (FAO), Manual on Forest Inventory with Particular Reference to Mixed Tropical Forests. Rome: FAO, 1981. https://www.fao.org/3/ae578e/ae578e06.htm.

15.Le Tan Loi, Nguyen Tan Phong, Ly Trung Nguyen (2024). Intertidal bare mudflat and wave attenuation: A case study in the Vietnamese Mekong Delta. Ecological Engineering, Volume 206, 107320, ISSN 0925-8574, https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107320.

16. T. N. Ly and Z. C. Huang, "Real-time and long-term monitoring of waves and suspended sediment concentrations over an intertidal algal reef," Environmental Monitoring and Assessment, vol. 194, no. 839, 2022, doi: 10.1007/s10661-022-10491-0.

17. I. R. Young, Wind Generated Ocean Waves, Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 1999.

18. R. L. Soulsby, Dynamics of Marine Sands, London, UK: Thomas Telford, 1997.

19. Pomeroy, A. W. M., Lowe, R. J., Ghisalberti, M., Storlazzi, C., Symonds, G., & Roelvink, D. (2017). Sediment transport in the presence of large reef bottom roughness. Journal of GeophysicalResearch: Oceans, 122(2), 1347-1368, doi:10.1002/2016jc011755.

20. M. V. W. Cuttler, R. J. Lowe, J. L. Falter, and D. Buscombe, "Estimating the settling velocity of bioclastic sediment using common grain-size analysis techniques," Sedimentology, vol. 64, no. 4, pp. 987–1004, 2017, doi: 10.1111/sed.12338.

21. N. T. H. Lan, P. Q. Trung, N. M. Đạo, and V. T. M. Thắm, "Mô hình vận chuyển trầm tích vùng ven biển Sóc Trăng bằng phương pháp phân tích xu hướng cấp hạt," 2023. https://tailieuso.tlu.edu.vn/handle/DHTL/13095.