

ĐÁNH GIÁ TÍNH HIỆU QUẢ CỦA *RHIZOPHORA APICULATA* VÀ *NYPA FRUTICANS* TRONG GIẢM SÓNG DO TÀU THUYỀN GÂY RA

Lã Vĩnh Trung

Đại học Thủy lợi Cơ sở 2 - Tp. Hồ Chí Minh

Tóm tắt: Sóng tàu có khả năng gây mất ổn định và sạt lở bờ sông, đặc biệt ở những nơi có mật độ giao thông thủy tập nập. Trong khi đó, hệ thực vật ven bờ lại có khả năng bảo vệ bờ khỏi mối đe dọa này. Chuyến khảo sát được thực hiện ở tỉnh Cà Mau, Việt Nam nhằm phục vụ cho việc đánh giá khả năng tiêu sóng của hai loài thực vật, *Rhizophora apiculata*, một loài thuộc họ Đước với bộ rễ chống đặc biệt, và *Nypa fruticans*, loài dừa nước, qua đó làm sáng rõ sự tương tác giữa sóng tàu và rừng cây ven bờ. Kết quả cho thấy cả *R. apiculata* và *N. fruticans* đều đóng vai trò quan trọng trong việc tiêu sóng, và do đó, có khả năng bảo vệ bờ. Điểm đáng chú ý là chiều cao sóng có thể giảm hơn 50% ngay sau khi sóng lan truyền trong rừng cây một đoạn ngắn. Hệ số rỗng thực vật có ảnh hưởng rất lớn đến sự suy giảm sóng. Kết quả cũng cho thấy loài *R. apiculata* tiêu sóng hiệu quả hơn loài *N. fruticans* mặc dù hệ số rỗng lớn hơn. Cấu trúc bộ rễ đặc biệt của *R. apiculata* giúp sinh ra lực cản lớn hơn có thể là nguyên nhân dẫn đến hiện tượng này.

Summary: Boat-generated waves have a potential to erode a riverbank, especially where there is regular boat traffic whereas vegetation might be able to protect the riverbank from that threat. A field observation conducted in Ca Mau Province, Vietnamese Mekong Delta, investigated the interaction between boat-generated waves and vegetation. Two types of vegetation, *Rhizophora apiculata*, a mangrove species that has dense aerial roots, and *Nypa fruticans*, a palm species, were considered with respect to wave attenuation. The results indicated that both *R. apiculata* and *N. fruticans* play essential roles in dissipating wave energy and therefore have a high potential for riverbank protection. Remarkably, more than 50% of the wave height reduction can be obtained in a relatively short distance inside the vegetation belt. The vegetation porosity strongly affects the wave attenuation. In addition, *R. apiculata* was more effective than *N. fruticans* in wave height reduction, even though their porosity is greater. The special aerial root configuration of *R. apiculata* induces greater drag force that might account for this phenomenon.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sóng tạo ra bởi tàu bè chứa một nguồn năng lượng khá lớn có thể gây ảnh hưởng xấu đến môi trường sông nước và đe dọa hệ sinh thái. Ở những nơi có mật độ giao thông thủy đông đúc, sóng tàu trở nên phổ biến và gây nên hiện tượng sạt lở bờ sông (Nanson & nnk, 1994)

[8]. Đáng ngạc nhiên là chính các tàu nhỏ chạy gần bờ, có công suất động cơ lớn lại gây ra nhiều nguy hại cho bờ sông hơn là những con tàu to, chạy khá chậm và cách xa bờ (Schiereck, 2005) [11]. Hơn thế nữa, đã có nghiên cứu khẳng định rằng, ở những khúc sông có mật độ giao thông thủy lớn, các con sóng sinh ra, dù là cùng hướng hay ngược hướng, có thể kết hợp với nhau và gây ra nhiều hư hại cho bờ sông hơn là sóng đơn (Nascimento & nnk, 2010) [9].

Ngày nhận bài: 21/8/2017

Ngày thông qua phản biện: 18/01/2018

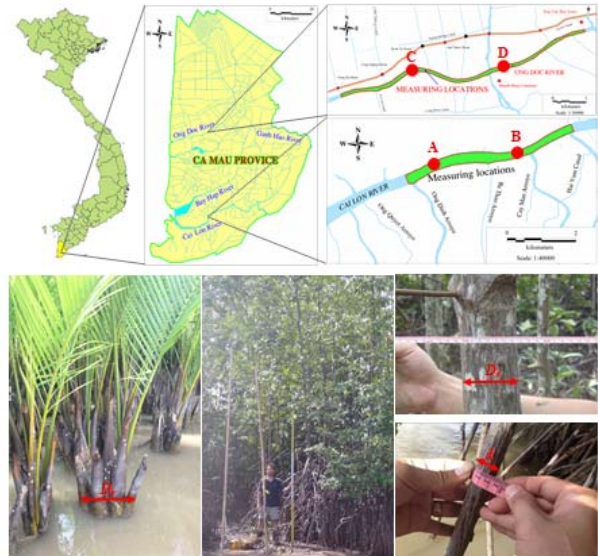
Ngày duyệt đăng: 02/02/2018

Hệ thực vật ven bờ được xem như là một trong các nhân tố quan trọng góp phần giữ chặt đất, ổn định bờ, tiêu hao năng lượng sóng nhờ vào tương tác giữa sóng với thân cây, rễ cây (Bonham, 1983; Coops & nnk, 1996) [1], [3]. Khả năng tiêu giảm sóng được đánh giá chủ yếu phụ thuộc vào hai yếu tố, đặc điểm loài thực vật (hình dạng, mật độ, độ cứng thân cây...) và đặc điểm con sóng (chủ yếu là chiều cao sóng, chu kỳ sóng, và hướng sóng). Tuy nhiên cho đến nay, việc khẳng định đại lượng nào có vai trò quan trọng nhất trong tiêu năng sóng vẫn chưa được ngã ngũ. Mặc dù sóng tàu và tác động của chúng đến ổn định bờ được xem là một trong những vấn đề cấp bách tại nhiều khu vực trên thế giới, nghiên cứu về vấn đề này lại rất hạn chế (McConchie & Toleman, 2003; Valegrakis & nnk, 2007) [6], [12]. Hơn nữa, trong khi các công trình bảo vệ bờ như kè bê tông, kè đá học được áp dụng rộng rãi từ khá lâu thì cách tiếp cận phi công trình như trồng cây chắn sóng lại ít phổ biến. Chỉ trong khoảng chục năm trở lại đây, khi xu hướng bảo vệ bờ bằng các giải pháp thân thiện với môi trường nhận được sự ủng hộ và đánh giá cao, việc ứng dụng thực vật bảo vệ bờ mới được nhìn nhận một cách đúng mực.

Vì vậy, nhiệm vụ của nghiên cứu này chính là tìm hiểu sự tương tác giữa sóng tàu và rừng cây ven bờ thông qua việc đo đạc sóng lan truyền qua rừng cây ngay tại hiện trường, tập trung đi sâu vào phân tích cấu trúc cây/rễ và hệ số rỗng thực vật. *Rhizophora apiculata*, một loài thuộc họ Đước và *Nypa fruticans*, họ dừa nước được lựa chọn do có cấu trúc, hình dáng cây đặc biệt. *R. apiculata* có bộ rễ rất độc đáo bao gồm rễ cái ăn sâu xuống đất và vô số rễ chống giúp cây đứng vững trong môi trường đất nhiều sinh lầy. *N. fruticans* với bộ rễ và quá nửa thân nằm dưới lớp bùn sét, chỉ có tán lá vươn cao khỏi bề mặt nước. Kết quả định lượng từ nghiên cứu này sẽ giúp cho việc phân tích so sánh hiệu quả tiêu sóng của hai loài *R. apiculata* và *N. fruticans* và trên cơ sở đó,

đánh giá tính khả thi trong phát triển rừng cây bảo vệ bờ.

2. KHU VỰC NGHIÊN CỨU



Hình 2.1. Bản đồ các vị trí khảo sát thực địa, loài *R. apiculata* trên sông Cái Lớn (A, B) và loài *N. fruticans* trên sông Ông Đốc (C, D)

Chuyến khảo sát thực địa được thực hiện tại tỉnh Cà Mau trên sông Cái Lớn, nơi có loài *R. apiculata* và sông Ông Đốc, nơi có loài *N. fruticans* phát triển khá tốt dọc hai bên bờ sông (Hình 2-1). Chế độ thủy triều vùng này là bán nhật triều, với dao động mực nước trong khoảng 0,9 đến 1,4 m. Có tổng cộng 04 vị trí được lựa chọn khảo sát và các vị trí này đều phải thỏa mãn ba điều kiện sau: (1) Giao thông thủy tấp nập; (2) Hai bên bờ sông được che phủ bởi loài đước *R. apiculata* hoặc dừa nước *N. fruticans*; và (3) Địa chất đất và địa hình bờ tương tự nhau với độ dốc bãi nằm trong khoảng 1,25 - 1,5%. Rừng cây dày hay thưa được thể hiện thông qua hệ số rỗng thực vật θ , cây cối càng rậm rạp thì giá trị hệ số rỗng càng tiến về 0 và ngược lại, rừng cây thưa thì giá trị này tiến tới 1. Quan sát tại khu vực này cho thấy kể cả vào thời điểm triều cao nhất trong ngày, mực nước đo tại hàng cây ngoài cùng của rừng Đước cũng chỉ ngang chiều cao bộ rễ. Tương tác giữa sóng tàu và *R. apiculata* chủ yếu do bộ rễ cây đảm nhiệm. Vì vậy, phần

thân cây sẽ không được xét đến trong nghiên cứu này. Cụ thể, trong nghiên cứu này, hệ số rỗng của loài *R. apiculata* và *N. fruticans* được xác định theo các công thức sau:

$$\theta_{R.apiculata} = 1 - N\pi d^2 / 4 \quad (2-1)$$

$$\theta_{Nypa_fruticans} = 1 - N\pi D_t^2 / 4 \quad (2-2)$$

Trong đó θ là hệ số rỗng thực vật, N là mật độ cây/m², n là mật độ rễ trung bình của một cây, d là đường kính trung bình của rễ cây (m), và D_t là đường kính thân cây (m). Chi tiết về đặc điểm rừng cây tại các vị trí khảo sát được thể hiện trong Bảng 2-1.

Bảng 2.1. Đặc điểm rừng cây tại các điểm khảo sát đã chọn

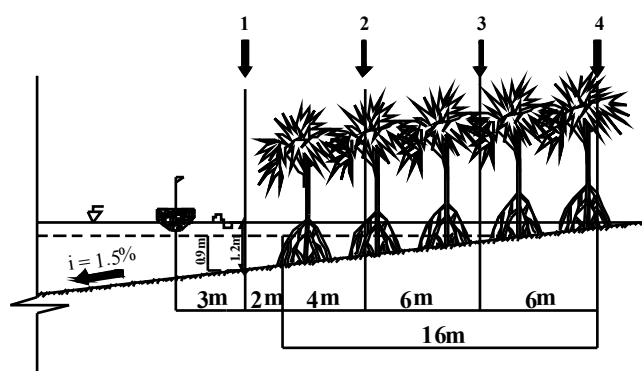
Vị trí	Loài	Mật độ cây N (cây/m ²)	Hệ số rỗng thực vật θ	Đường kính thân D_t (m)	Độ lệch chuẩn	Số rễ trung bình n (rễ/cây)	Độ lệch chuẩn	Đường kính rễ trung bình d (m)	Độ lệch chuẩn
A	<i>Rhizophora apiculata</i>	1,38	0,94	0,083	0,004	69	4,2	0,025	0,004
B		0,77	0,97	0,080	0,005	75	5,3	0,022	0,003
C	<i>Nypa fruticans</i>	1,08	0,69	0,600	0,040	N/A	-	N/A	-
D		0,44	0,87	0,610	0,050	N/A	-	N/A	-

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VÀ CÁC TRƯỜNG HỢP ĐO ĐẠC

3.1 Đo đạc và phân tích sóng tàu lan truyền qua rừng cây

Chiều cao sóng tàu được quan sát và ghi lại bằng máy quay kỹ thuật số, sau đó được xử

lý bằng phần mềm Corel Video Studio ProX3. Phần mềm này cho phép chia video ra thành nhiều ảnh liên tiếp với quãng ngắn giữa các ảnh chỉ là 1/20s, nhờ đó có thể quan sát được sự dao động mặt nước trong từng thời điểm.



Hình 3.1. Bố trí đo sóng lan truyền qua rừng cây và phương tiện tạo sóng

lại để phân tích sóng lan truyền. Hình 3-1 mô tả cách bố trí các cột đo ngoài hiện trường và phương tiện tạo sóng. Loại xuồng cao tốc này

Trên thân các cột đều có dán thước tỷ lệ để tiện quan sát mực nước dao động lên xuống. Cạnh mỗi cột có bố trí một máy quay ghi hình

có kích thước 5,5 x 2,1 m, độ môn nước là 0,6 m. Loại phương tiện này được chọn vì tính phổ biến của nó tại khu vực nghiên cứu. Chiều cao sóng được kiểm soát bởi tốc độ của xuồng, theo quy ước, tốc độ tàu chạy đạt 8,3 m/s tạo sóng thấp và 15,3 m/s cho ra sóng cao. Công tác tạo và đo sóng lan truyền qua rừng cây được thực hiện 2 lần mỗi ngày và mỗi vị trí đo mất một ngày. Vào ngày đầu tiên, lần đo thứ nhất là vào lúc 10 giờ sáng khi con triều lên cao nhất, lúc này mực nước đo tại vị trí cột 1 dao động trong khoảng 1,2 m. Lần thứ hai vào lúc 3.30 giờ chiều khi con triều xuống nhanh. Mực nước vào thời điểm này tuy thấp (0,9 m tại vị trí cột 1) nhưng vẫn đủ để sóng có thể lan truyền vào sâu bên trong rừng cây. Tại khu vực này, do thời điểm đạt đỉnh triều giữa các ngày không giống nhau (cách nhau 25 - 30 phút), thời gian đo cho mỗi ngày cũng lệch nhau khoảng 30 phút. Mỗi lần đo được thực hiện 3 lần và lấy giá trị trung bình để đảm bảo tính chính xác. Ngoài ra khi có gió mạnh hoặc có tàu bè khác qua lại

thì việc đo đạc sẽ tạm dừng nhằm hạn chế nhiễu sóng. Sau khi có được chiều cao sóng tại mỗi cột nhờ vào việc xử lý ảnh, độ giảm chiều cao sóng có thể được xác định bằng cách lập tỷ số H_x/H_l trong đó H_x là chiều cao sóng lớn nhất đo tại các cột 2, 3, và 4, và H_l là chiều cao sóng lớn nhất đo tại vị trí cột 1.

3.2 Các trường hợp đo đạc

Dựa trên chế độ thủy triều và tốc độ tàu chạy, bốn điều kiện thủy lực được thiết lập bao gồm sóng lớn triều lớn (SLTL), sóng nhỏ triều lớn (SNTL), sóng lớn triều nhỏ (SLTN), và sóng nhỏ triều nhỏ (SNTN). Ngoài ra, căn cứ theo hệ số rỗng thực vật θ lại chia ra rừng cây *R. apiculata* dày (vị trí A) và thưa (vị trí B) và rừng cây *N. fruticans* dày (vị trí C) và thưa (vị trí D). Tổng cộng có 14 trường hợp do bỏ qua việc đo đạc tại vị trí D trong điều kiện sóng lớn triều nhỏ và sóng nhỏ triều nhỏ. Bảng 3-1 thống kê chi tiết tất cả các trường hợp được thực hiện đo đạc ngoài thực địa.

Bảng 3.1: Tổng hợp các trường hợp thí nghiệm hiện trường

Loài	Tình trạng rừng cây (xét theo độ rỗng thực vật)	Chiều cao sóng tới H (m)	Chu kỳ sóng T (s)	Độ sâu mực nước h (m)	Trường hợp
<i>Rhizophora apiculata</i>	Dày ($\theta = 0.94$) Vị trí A	High (0.23)	1.35	1.20	Dày-SLTL
			1.37	0.90	Dày-SLTN
		Low (0.18)	1.65	1.20	Dày-SNTL
			1.70	0.90	Dày-SNTN
	Thưa ($\theta = 0.97$) Vị trí B	High (0.22)	1.35	1.18	Thưa-SLTL
			1.34	0.90	Thưa-SLTN
		Low (0.17)	1.65	1.18	Thưa-SNTL
			1.68	0.90	Thưa-SNTN
<i>Nypa fruticans</i>	Dày ($\theta = 0.69$) Vị trí C	High (0.23)	1.30	1.21	Dày-SLTL
			1.32	0.92	Dày-SLTN
		Low (0.19)	1.50	1.21	Dày-SNTL
			1.54	0.92	Dày-SNTN
	Thưa ($\theta = 0.87$) Vị trí D	High (0.22)	1.34	1.19	Thưa-SLTL
		Low (0.18)	1.55	1.19	Thưa-SNTL

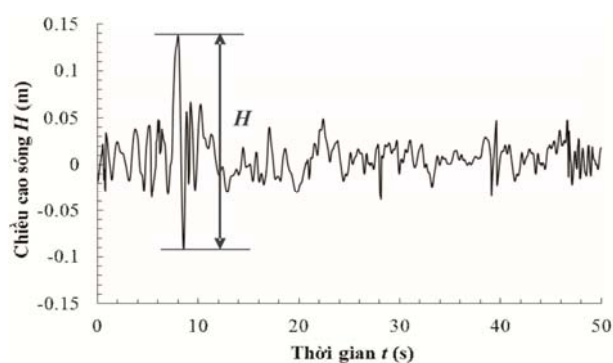
4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

4.1 Sự suy giảm chiều cao sóng khi lan truyền qua rừng cây

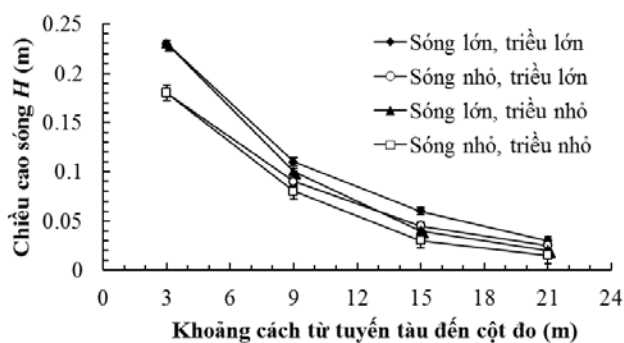
Sóng do xuồng cao tốc tạo ra đo tại vị trí cột số 1 có chiều cao dao động trong khoảng 0,17 - 0,23 m, chu kỳ sóng khá ngắn, từ 1,3 - 1,7 s. Hình 4-1 thể hiện sự dao động mặt nước theo thời gian tại cột 1, vị trí A trong điều kiện sóng lớn triều lớn. Mỗi video được quay trong vòng 50 s. Chiều cao sóng H được định nghĩa là khoảng cách theo phương thẳng đứng từ chân sóng đến đỉnh sóng. Do ảnh hưởng của các yếu tố bên ngoài như gió và dòng chảy nên mặt nước hơi bị nhiễu động và trong quá trình xử lý số liệu, các nhiễu động này sẽ được loại bỏ.

Kết quả phản ánh từ Hình 4-2 cho thấy chiều cao sóng giảm theo dạng hàm mũ và giảm rất đáng kể từ vị trí cột thứ 1 sang cột thứ 2, lần lượt là 52,2% cho vị trí A và 39,1% cho vị trí C. Khoảng cách giữa hai cột này là 6 m, trong đó tương tác giữa sóng và rừng cây chỉ mới diễn ra trong đoạn đường dài 4 m. Điều này

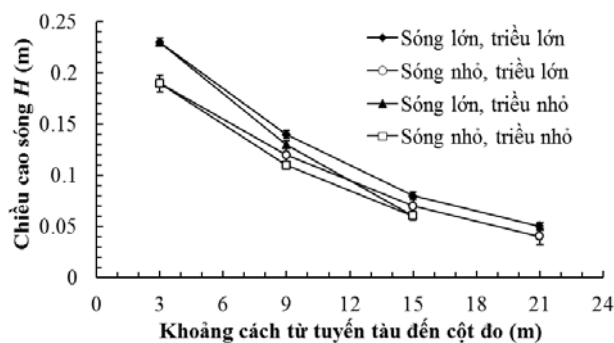
một lần nữa cho thấy khả năng tiêu sóng rất ấn tượng của *R. apiculata* và *N. fruticans*. Từ cột thứ 2 sang đến cột thứ 4 với tổng chiều dài sóng di chuyển là 12 m, chiều cao sóng tiếp tục giảm nhưng mức độ giảm không còn đột ngột nữa mà diễn ra từ từ. Theo quan sát tại hiện trường, khi sóng tiến dần vào bờ, do ảnh hưởng của nước nông, hiện tượng sóng vỡ đã xảy ra và kết thúc trước khi sóng kịp tiến tới cột thứ 2.



Hình 4-1: Dao động mặt nước ghi tại cột số 1, vị trí A trong điều kiện sóng lớn triều lớn



(a)



(b)

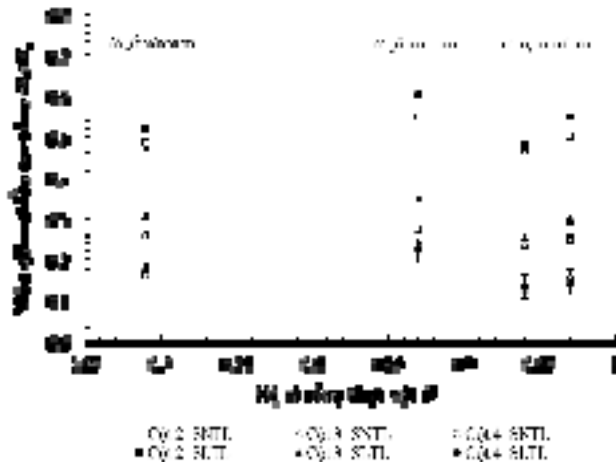
Hình 4.2: Sự thay đổi chiều cao sóng khi lan truyền qua rừng cây
(a) Vị trí A - *R. apiculata* dày và (b) Vị trí C - *N. fruticans* dày.

Tại vị trí B (*R. apiculata* mật độ thưa) và vị trí D (*N. fruticans* mật độ thưa) cũng thu được kết quả và khuynh hướng giảm sóng tương tự.

4.2 Ảnh hưởng của hệ số rỗng thực vật đến độ giảm chiều cao sóng

Mối quan hệ giữa hệ số rỗng thực vật θ và độ giảm chiều cao sóng tại mỗi cột đo được thể hiện trong Hình 4-3 trong điều kiện thủy lực khác nhau. Điều kiện rừng cây dày hay thưa rõ ràng có tác động rất lớn đến khả năng tiêu sóng. Khi mà hệ số rỗng thực vật θ càng tăng

(tiến đến 1), sự tương tác giữa sóng và cây càng giảm, và như thế sẽ làm tiêu năng sóng bị giảm sút.



Hình 4.3: Ảnh hưởng của hệ số nổi thực vật đến độ giảm chiều cao sóng

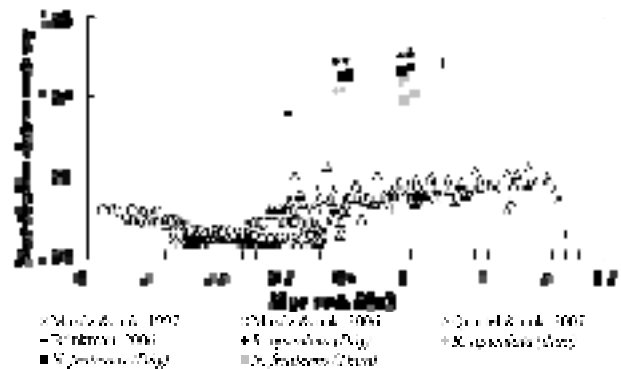
Xét cho cùng một loài cây, có thể thấy rõ ràng tại vị trí A, nơi có sự phân bố khá dày *R. apiculata* ($\theta = 0,94$), mức giảm chiều cao sóng tốt hơn so với vị trí B, nơi có sự phân bố *R. apiculata* thưa hơn ($\theta = 0,97$). Nếu sóng tới càng lớn, sự khác biệt này càng rõ nét, khoảng 14,6%. Tương tự, trong điều kiện sóng tới lớn, sự chênh lệch về mức giảm chiều cao sóng tại vị trí C (*N. fruticans*, $\theta = 0,69$) so với vị trí D (*N. fruticans*, $\theta = 0,87$) là vào khoảng 13,8%.

4.3 So sánh khả năng tiêu sóng của *R. apiculata* và *N. fruticans*

Hình 4-3 đã cho thấy cả *R. apiculata* và *N. fruticans* đều có khả năng tiêu sóng rất tốt, có thể áp dụng rộng rãi trong công tác bảo vệ bờ từ tác động của sóng tàu. Tuy nhiên, mức độ hiệu quả trong tiêu giảm sóng của *R. apiculata* là tốt hơn so với *N. fruticans*. Với cùng một điều kiện thủy lực (chiều cao sóng tới và chiều sâu mực nước giống nhau) và chiều dài rừng cây bằng nhau, lượng sóng tiêu hao sau khi lan truyền qua hết rừng cây *R. apiculata* nhiều hơn từ 8,5 - 10% so với rừng cây *N. fruticans* mặc dù hệ số nổi thực vật của rừng Đước *R. apiculata* lớn hơn khá nhiều. Cấu trúc bộ rễ đặc biệt hoạt động như một lưới cản tự nhiên

giúp tiêu hao nhiều năng lượng sóng có thể là lời giải thích cho hiện tượng này.

Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng cơ chế giảm sóng không chỉ phụ thuộc vào sự dày hay thưa của rừng cây mà còn phụ thuộc vào mực nước. Xét trong trường hợp loài *R. apiculata*, một khi mực nước vượt qua chiều cao bộ rễ cây, phần thân cây sẽ là đối tượng chính tương tác với sóng. Do diện tích tương tác của thân cây nhỏ hơn nhiều so với bộ rễ, tính hiệu quả trong tiêu sóng của loài này sẽ giảm đáng kể. Ngược lại, đối với loài *N. fruticans*, phần bẹ và lá sẽ là thành phần chính tương tác với sóng tàu khi nước dâng lên cao quá thân cây. Tuy nhiên, mực nước tại khu vực nghiên cứu không vượt quá chiều cao bộ rễ (đối với *R. apiculata*) hoặc chạm đến bẹ và lá (đối với *N. fruticans*) nên ảnh hưởng của mực nước đến độ giảm chiều cao sóng là không rõ ràng và được bỏ qua. Khi so sánh với kết quả các nghiên cứu trước đây, độ giảm chiều cao sóng trên mỗi mét dài rừng cây trong nghiên cứu này khá tương đồng với kết quả của Brinkman (2006) [2] và tỏ ra vượt trội so với kết quả của Mazda & nnk (1997 & 2006) [4], [5] hay Quartel & nnk (2007) [10] (Hình 4-4).



Hình 4.4: Độ giảm sóng trên mỗi mét rừng cây của nghiên cứu này so với các kết quả nghiên cứu trước đây.

Nandasena & nnk (2008) [7] có đề cập đến tác động của độ dốc bãi đến khả năng tiêu sóng của rừng cây chắn sóng. Khi mặt cắt ngang lòng sông có địa hình đáy (hướng vào bờ) tương đối dốc thì không chỉ rừng cây ven bờ

mà cả bãi sông cũng tham gia vào việc giảm năng lượng sóng. Hiệu quả tác động của bãi sông lên độ tiêu giảm sóng càng nhanh và mạnh nếu bãi có độ dốc lớn. So với độ dốc bãi i từ 1/500 đến 1/2000 trong các nghiên cứu của Mazda & nnk (1997 & 2006) [4], [5] hay Quartel & nnk (2007) [10], khu vực nghiên cứu tại Cà Mau có độ dốc bãi i trong khoảng 1/74 đến 1/80, dốc hơn rất nhiều, và đó có thể là lý do khiến cho kết quả giảm sóng trên mỗi mét dài rừng cây thu được tại khu vực này cao vượt trội.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

R. apiculata và *N. fruticans* đóng vai trò cực kỳ quan trọng trong việc bảo vệ bờ trước nguy cơ bị xói lở do hoạt động giao thông thủy phát triển mạnh mẽ ở khu vực tỉnh Cà Mau. Một lượng lớn năng lượng sóng bị triệt tiêu ngay khi sóng lan truyền vào rừng cây một quãng ngắn giúp giảm thiểu đáng kể nguy cơ sạt lở bờ do

tác động của sóng tàu. Hệ số rỗng thực vật có ảnh hưởng rất lớn đến hiệu quả giảm sóng của rừng cây, khi sóng tới có chiều cao càng lớn thì ảnh hưởng này càng trở nên rõ nét.

R. apiculata tỏ ra hiệu quả hơn *N. fruticans* trong tiêu giảm năng lượng sóng dù có hệ số rỗng thực vật lớn hơn. Cấu trúc đặc biệt của bộ rễ cây, hoạt động như một lưới chắn tự nhiên, hấp thụ năng lượng sóng hiệu quả. Khi so sánh với các nghiên cứu trước đây, kết quả của nghiên cứu này cho thấy tiềm năng vượt trội của *R. apiculata* và *N. fruticans* trong vai trò bảo vệ bờ. Độ dốc bãi được cho là nguyên nhân dẫn đến kết quả này, tuy nhiên đây mới chỉ là giả thuyết. Hướng đi sắp tới chính là áp dụng mô hình toán nhằm mô phỏng khả năng tiêu sóng của rừng cây trong các điều kiện độ dốc bãi thay đổi khác nhau nhằm đưa ra câu trả lời chuẩn xác nhất cho vấn đề này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bonham, A.J. (1983). “*The management of wave-spending vegetation as bank protection against boat wash*”. Landscape Planning 10, 15-30.
- [2] Brinkman, R.M. (2006). “*Wave attenuation in mangrove forests: an investigation through field and theoretical studies*”. Doctoral dissertation, James Cook University, Queensland, Australia.
- [3] Coops, H., Geilen, N., Verheij, H.J., Boeters, R. and Velde, G. (1996). “*Interaction between waves, bank erosion and emergent vegetation: an experimental study in a wave tank*”. Aquatic Botany, 53, 187-198.
- [4] Mazda, Y., Magi, M., Kogo, M. and Hong, P.N. (1997). “*Mangroves as a coastal protection from waves in the Tong King delta, Vietnam*”. Mangroves and Salt Marshes, 1, 127-135.
- [5] Mazda, Y., Magi, M., Ikeda, Y., Kurokawa, T. and Asano, T. (2006). “*Wave reduction in a mangrove forest dominated by Sonneratia sp*”. Wetland Ecology and Management, 14, 365-378.
- [6] McConchie, J.A. and Toleman, I.E.J. (2003). “*Boat wakes as a cause of riverbank erosion: A case study from the Waikato River, New Zealand*”. Journal of Hydrology (NZ), 42, 163-179.
- [7] Nandasena, N.A.K., Tanaka, N. and Tanimoto, K. (2008). “*Tsunami current inundation of ground with coastal vegetation effects; an initial step towards a natural solution for tsunami amelioration*”. Journal of Earthquake and Tsunami, 2(2), 157-171

- [8] Nanson, G.C., Krusenstierna, A.V., Bryant, E.A. and Renilson M.R. (1994). “*Experimental measurement of river-bank erosion caused by boat-generated waves on the Gordon River, Tasmania*”. Regulated rivers: Research & Management, 9, 1-14.
- [9] Nascimento, M.F., Neves, C.F. and Maciel, G.F. (2010). “*Wave generated by two or more ships in a channel*”. Proceeding of 32nd Conf. on Coastal Engineering, ASCE, Shanghai, China, 1-11.
- [10] Quartel, S., Kroon, A., Augustinus, P.G.E.F., Van Santen, P. and Tri, N.H. (2007). “*Wave attenuation in coastal mangroves in the Red River Delta, Vietnam*”. Journal of Asian Earth Sciences, 29, 576-584.
- [11] Schiereck, G.J. (2005). “*Introduction to Bed, Bank and Shore protection*”. The 3rd Edition, Taylor & Francis e-Library, New York.
- [12] Velegrakis, A.F., Vousdoukas, M.I., Vagenas, A.M., Karambas, T., Dimou, K. and Zarkadas, T. (2007). “*Field observations of wave generated by passing ships: A note*”. Coastal Engineering, 54, 369-375.