

Tổng quan về tái sinh rừng ngập mặn

Trần Thị Mai Sen¹, Hoàng Thị Lan², Lê Hồng Liên¹, Nguyễn Thị Kim Cúc³, Phạm Minh Toại^{1*}

¹Trường Đại học Lâm nghiệp

²Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

³Trường Đại học Thủy lợi

Overview of the regeneration of mangrove

Tran Thi Mai Sen¹, Hoang Thi Lan², Le Hong Lien¹, Nguyen Thi Kim Cuc³, Pham Minh Toai^{1*}

¹Vietnam National University of Forestry

²Vietnam Academy for Water Resources

³Thuyloi University

*Corresponding author: toaipm@vnuf.edu.vn

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.14.6.2025.049-060>

TÓM TẮT

Tái sinh tự nhiên đóng vai trò quan trọng trong phục hồi hệ sinh thái rừng ngập mặn (RNM) nhờ khả năng duy trì đa dạng sinh học và thích nghi với điều kiện môi trường. Bài báo này tổng hợp và phân tích các nghiên cứu trong và ngoài nước về quá trình tái sinh RNM, nhằm xác định các yếu tố quyết định đến sự thiết lập thành công của cây con trên bãi triều. Tái sinh RNM bắt đầu từ quá trình phát tán nguồn giống (trụ mầm, quả hoặc hạt), chịu ảnh hưởng bởi độ mặn, thời gian và biên độ ngập triều, sóng, dòng chảy, đặc điểm thể nền và đặc tính sinh học của loài. Khả năng phát tán và cố định trụ mầm phụ thuộc vào hình thái, trọng lượng, khả năng nổi và thời gian tiếp xúc thể nền. Bên cạnh đó, các yếu tố như nuôi trồng thủy sản, thay đổi dòng chảy, xói lở và bồi tụ cũng ảnh hưởng đáng kể đến quá trình tái sinh tự nhiên. Tại Việt Nam, các nghiên cứu định lượng về thiết lập tái sinh còn hạn chế, đặc biệt trong việc xác định điều kiện môi trường thuận lợi và khoảng thời gian cần thiết để cây con phát triển ổn định trên bãi triều. Bài báo tổng quan này góp phần làm rõ các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình tái sinh, vai trò của loài tiên phong, kỹ thuật lâm sinh trong phục hồi RNM. Kết quả tổng hợp là cơ sở định hướng các nghiên cứu tiếp theo và hỗ trợ xây dựng chiến lược phục hồi RNM bằng con đường tự nhiên, dựa trên sự kết hợp giữa hiểu biết sinh thái, lựa chọn loài phù hợp, kỹ thuật lâm sinh hợp lý và quản lý nhân văn.

ABSTRACT

Natural regeneration plays a key role in restoring mangrove ecosystems because of its capacity to sustain biodiversity and adapt to environmental conditions. This paper reviews and analyzes national and international studies on mangrove forest regeneration processes, with the aim of identifying the main factors that influence the successful establishment of mangrove seedlings on tidal flats. Mangrove regeneration starts with the dispersal of propagules, which can include viviparous seedlings, fruits, or seeds and is heavily influenced by factors such as salinity, tidal range and duration, wave dynamics, water flow, substrate characteristics, and species-specific biological traits. The success of dispersal and establishment of propagules depends on their morphology, weight, buoyancy, and exposure time to the substrate. Furthermore, factors such as aquaculture, changes in hydrology, erosion, and sedimentation have a significant impact on natural regeneration. In Vietnam, there is a lack of quantitative studies on seedling establishment, particularly regarding the identification of favorable environmental conditions and the time required for seedlings to establish and grow stably on tidal flats. This review clarifies the factors affecting regeneration, the role of pioneer species, and the application

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 16/06/2025

Ngày phản biện: 30/07/2025

Ngày quyết định đăng: 28/08/2025

Từ khóa:

Cấu trúc, phục hồi, rừng ngập mặn, tái sinh, trụ mầm.

Keywords:

Mangrove forest, propagule, restoration, regeneration, structure.

of silvicultural techniques in mangrove restoration. The synthesized findings offer a scientific foundation to guide future research and support the development of strategies for restoring mangrove ecosystems through natural regeneration, based on an integrated approach that combines ecological understanding, appropriate species selection, silvicultural techniques, and human-centered management.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Rừng ngập mặn (RNM) là hệ sinh thái (HST) quan trọng có chức năng bảo vệ bờ biển, duy trì đa dạng sinh học và cung cấp các nguồn tài nguyên kinh tế cho các cộng đồng ven biển. Tuy nhiên hiện nay, RNM toàn cầu đang phải đối mặt với sự suy thoái nghiêm trọng do khai thác quá mức, biến đổi khí hậu và sự gia tăng hoạt động sản xuất kinh tế. Sự suy giảm RNM không chỉ ảnh hưởng đến môi trường mà còn đe dọa sinh kế của hàng triệu người dân tại các khu vực ven biển.

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu ngày càng hiện hữu và cực đoan, việc phục hồi các chức năng của của HST này đang nhận được sự quan tâm lớn của các nhà quản lý và khoa học, là nhiệm vụ quan trọng và cần thiết cần phải thực hiện. Trong thời gian qua, đã có nhiều chương trình phục hồi rừng bằng con đường nhân tạo (trồng rừng) được triển khai thực hiện ở nhiều quốc gia trên thế giới, tuy nhiên kết quả từ các chương trình này chưa được thành công như kỳ vọng, điều này có thể do các điều kiện vật lý của khu vực trồng, kỹ thuật trồng hoặc sự thiết lập các chức năng của hệ sinh thái rừng ngập mặn khó khăn hơn so với phục hồi rừng bằng con đường tự nhiên [1]. Cũng có nhiều nghiên cứu cho rằng, tái sinh tự nhiên thường hiệu quả và bền vững hơn so với việc trồng mới, do đó tái sinh tự nhiên đang là một hướng đi mới với nhiều triển vọng. Tuy nhiên, quá trình tái sinh tự nhiên của cây ngập mặn (CNM) lại phụ thuộc nhiều vào các yếu tố môi trường bên ngoài cũng như là các đặc điểm riêng biệt của từng nguồn giống, điều này đã mở ra nhiều cách tiếp cận và hướng đi mới trong việc nghiên cứu các vấn đề liên quan đến phục hồi và bảo vệ HST rừng ngập mặn bằng con đường tự nhiên.

Bài báo này sẽ phân tích những nghiên cứu về tái sinh của HST RNM trên thế giới và ở Việt Nam, rút ra bài học và đề xuất giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả của phục hồi RNM bằng con

đường tự nhiên thông qua tái sinh. Trọng tâm là tổng quan các nghiên cứu, đánh giá đặc điểm tái sinh của các loài cây ngập mặn; những yếu tố thuận lợi và khó khăn trong quá trình tái sinh của chúng, đồng thời xác định các yếu tố quan trọng góp phần vào sự thành công của quá trình tái sinh tự nhiên.

2. PHƯƠNG PHÁP THU THẬP THÔNG TIN

- Phương pháp thu thập số liệu thứ cấp cho bài báo tổng quan về tái sinh rừng ngập mặn bao gồm việc nghiên cứu và tổng hợp tài liệu học thuật như các bài báo, các sách chuyên môn, các đề tài nghiên cứu, báo cáo từ các tổ chức và dự án; các dữ liệu thu thập từ các nguồn đáng tin cậy (Scopus, Web of Science, Google Scholar, tạp chí chuyên ngành, báo cáo của IPCC, UNEP...)

- Phân tích và tổng hợp thông tin: Sử dụng phương pháp phân tích tổng hợp (meta-analysis) để kết hợp các kết quả từ nhiều nghiên cứu khác nhau, so sánh và đối chiếu để rút ra kết luận về các đặc điểm tái sinh của các loài thực vật ngập mặn trong từng khu vực.

- Đánh giá kết quả: Phân tích các kết quả từ các nghiên cứu về tái sinh rừng ngập mặn đã được thực hiện, đánh giá đặc điểm tái sinh của các loài CNM; những yếu tố thuận lợi và khó khăn trong tái sinh của chúng để đưa ra những khuyến nghị trong công tác phục hồi và phát triển hệ sinh thái rừng ngập mặn dựa vào con đường tự nhiên.

3. TÁI SINH RỪNG NGẬP MẶN

3.1. Tái sinh rừng ngập mặn trên thế giới

Tái sinh rừng ngập mặn là quá trình sinh thái then chốt, góp phần vào duy trì cấu trúc quần xã, đa dạng loài và chức năng hệ sinh thái, đồng thời cung cấp cơ sở khoa học cho các hoạt động phục hồi và quản lý bền vững. Trên thế giới, nhiều nghiên cứu đã tập trung phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến tái sinh, như điều kiện môi trường, cấu trúc quần xã, cũng như hiệu quả của các mô hình trồng và phục hồi. Ví dụ,

nghiên cứu của Rignolda Djamaludin và cộng sự (2023) tại Sulawesi, Indonesia đã chỉ ra RNM tái sinh nhân tạo theo hướng thuần loài thường có mức độ đa dạng sinh học và khả năng thiết lập loài mới hạn chế, do ảnh hưởng của mật độ trồng dày và sự chi phối của loài trồng ban đầu. Ngược lại, tại các lô tái sinh theo hướng hỗn giao hoặc phục hồi tự nhiên có cấu trúc gần giống hơn với rừng tham chiếu, đồng thời tạo điều kiện thuận lợi cho sự xuất hiện của nhiều loài mới. Kết quả này khẳng định rằng các biện pháp phục hồi dựa trên tái sinh tự nhiên và hỗn giao có tiềm năng duy trì đa dạng loài và cải thiện chức năng sinh thái của hệ sinh thái RNM. Những bằng chứng này cũng phù hợp với xu thế nghiên cứu quốc tế về việc kết hợp cả tái sinh tự nhiên và các biện pháp kỹ thuật lâm sinh nhằm nâng cao hiệu quả phục hồi RNM [2]

Phát tán hạt giống là sự khởi đầu của quá trình tái sinh tự nhiên của CNM, Rabinowitz (1978) [3] nghiên cứu về khả năng phát tán hạt giống của CNM và cho rằng đặc tính phát tán hạt giống tương quan với sự phân bố không gian trong RNM. Các chi được tìm thấy ở rìa rừng, phía đất liền của RNM có trụ mầm nhỏ hơn, cần khoảng thời gian không bị ngập triều là 5 ngày để có thể cố định trên thể nền. Các chi được tìm thấy ở vùng nước sâu và lầy hơn thường có trụ mầm lớn hơn. Biên độ triều và khả năng thiết lập của trụ mầm trên bãi triều là yếu tố quan trọng quyết định sự phân bố của CNM ở các khu vực, Jiménez và A. Sauter (1991) [4], Clarke và Myerscough (1991) [5] khi quan sát khả năng tái sinh của Mắm biển (*Avicennia marina*) và cho rằng quả rụng nhanh hơn và chìm sớm hơn ở vị trí nước lợ. Sau 24 giờ, hơn 80% quả đã chìm ở tất cả các vị trí, sau 48 giờ các mầm cây ở vùng nước lợ bắt đầu quần tụ lại. Nghiên cứu còn chỉ ra rằng khả năng phát tán của Mắm biển tương đối hẹp, có xu hướng phân bố gần cây mẹ. Cũng với nghiên cứu về sự phát tán của Mắm biển (*A.marina*), Clarke (1993) [6] cho rằng: các quả phát triển bộ phận trụ dưới, lá mầm, gốc, rễ trong vòng vài tuần do đó việc phát tán bắt buộc phải thực hiện trong vòng 1 tuần để cây con cố định trên bãi triều có được sự sinh trưởng phát triển tốt nhất, tránh được những tổn hại cơ học trước khi hình

thành đủ các bộ phận cơ bản. Kết quả quan sát sự phát tán của Mắm biển (*A.marina*) cho thấy hầu hết quả chỉ phát tán trong bán kính 1 km, rất ít quả phát tán quá 10 km.

Các mô hình phát tán trụ mầm CNM là một quá trình quan trọng trong động lực học không gian thực vật, các nghiên cứu về mô hình phát tán đã đóng một vai trò cơ bản trong việc nghiên cứu quá trình thiết lập tái sinh chỉ ra các kiểu phát tán, điều tra các quá trình phát tán, làm sáng tỏ kết quả của sự phát tán đối với quần thể và quần xã, Levin và cộng sự (2003) [7]. Steinke và cộng sự (2003) [8] đã mô phỏng khả năng phát tán của quả Mắm biển (*A.marina*) bằng cách thả trôi các quân bài bằng nhựa từ máy bay xuống biển tại cửa sông Mhlathuze ngoài vịnh Richards, sông Mgeni ngoài khơi Durban và sông Nxaxo-Ngqusi ngoài khơi Wavecrest trên bờ biển phía đông Nam Phi. Kết quả cho thấy các cửa sông phía Bắc có thể cung cấp nguồn giống đáng kể cho bờ biển Nam Phi, điều này có thể dẫn đến sự phân bố rộng hơn RNM ở Đông Cape.

Alleman và Hester (2011) [9] khi nghiên cứu về khả năng sinh sản trên loài Mắm đen (*Avicennia germinans*) cho rằng độ mặn ảnh hưởng đến khả năng nổi của quả trong môi trường nhà kính. Ở các vĩ độ cao hơn vùng xích đạo, sự phát tán quả cũng tương quan có ý nghĩa với nhiệt độ. Phát tán của hạt và trụ mầm có thể ảnh hưởng mạnh mẽ đến biến động mật độ và tổ thành loài trong các hệ thực vật bị chi phối bởi sự phát tán dưới nước [10]. Van der Stocken và cộng sự (2017) [11] cho rằng: Lượng mưa có ảnh hưởng đáng kể đến sự phát tán trụ mầm và thiết lập tái sinh của cây con ngoại trừ những nơi có vĩ độ ở cực Nam. Ở vùng xích đạo (100N-100S), trụ mầm rơi khỏi cây mẹ hầu như suốt năm mà không có đỉnh sản lượng rõ rệt. Kết quả nghiên cứu của Van der Stocken và cộng sự (2019) [12] cho thấy: RNM có tỷ lệ phát tán cao ven biển và sự phát tán xuyên đại dương qua Đại Tây Dương, Thái Bình Dương và Ấn Độ Dương. Không có sự kết nối nào được quan sát thấy giữa các quần thể ở hai bên lục địa châu Mỹ và châu Phi.

Sự thiết lập tái sinh của CNM phụ thuộc vào nhiều yếu tố của môi trường. Trong nghiên cứu

của Delgado và cộng sự (2001) [13] khi so sánh sự thiết lập tái sinh giữa 2 chi *Laguncularia* và *Avicennia* trên bãi triều tại các đảo ở cửa sông nhiệt đới Costa Rica cho thấy cả 2 chi đều được thiết lập tái sinh thành công ở vùng hạ triều, tuy nhiên trong môi trường ngập nước thường xuyên, khả năng nổi của quả, tính sẵn có, sự phân tán và chuyển động nước ảnh hưởng đến khả năng bám của quả *Avicennia*. Ở vùng thượng triều, do quả của *Laguncularia* bị khai thác làm thức ăn nên đã tạo cơ hội cho *Avicennia* được thiết lập và chiếm ưu thế.

Sousa và cộng sự (2007) [14] đã trích dẫn từ “Giả thuyết phân loại thủy triều” của D. Rabinowitz, và cho rằng sự phân chia thủy triều của các loài CNM là do các tác động tương tác của độ sâu nước và kích thước trụ mầm đối với sự hình thành và phát tán. Theo giả thuyết phân loại thủy triều, các trụ mầm nhỏ được thủy triều đưa vào đất liền sâu hơn, mắc cạn và hình thành với số lượng nhiều hơn so với các trụ mầm lớn hơn ở cao trình thủy triều trên. Ngược lại, các trụ mầm lớn hơn có khả năng thiết lập tái sinh tốt ở các khu vực sâu và hướng ra biển nhiều vì kích thước của chúng cho phép tiếp xúc nhiều hơn với bề mặt đất và chống lại sự va chạm bởi những chuyển động của nước”. Tuy nhiên, khi tác giả thí nghiệm định lượng các kiểu phát tán và thiết lập trụ mầm/quả của ba loài ưu thế: Mắm đen (*Avicennia officinalis*), Cóc vàng (*Lumnitzera racemosa*) và Đước đỏ (*Rhizophora mangle*) tại Punta Galeta trên bờ biển Caribe của Panama lại cho kết quả trái ngược với giả thuyết phân loại thủy triều, cả ba loài đều phát triển tốt nhất ở vùng hạ triều, nơi chúng tiếp xúc lâu dài với bề mặt đất khi thủy triều xuống và phát triển kém hơn ở lưu vực thượng triều, nơi nước đọng gây khó khăn cho việc ra rễ. Cheeseman (2012) [15] đã mô tả trong quá trình thiết lập tái sinh nếu trụ mầm tiếp xúc với thể nền, sự cố định ban đầu không ảnh hưởng đến việc ra lá. Tuy nhiên, các trụ mầm không có sự tiếp xúc thể nền đó sẽ bị chậm trễ trong suốt chu kỳ. Thời gian thiết lập trụ mầm ở những giai đoạn đầu xảy ra lâu hơn ở những môi trường độ mặn cao.

Sự cố định của cây con ở giai đoạn đầu của quá trình tái sinh thường thấp nhất trong môi

trường có sóng, rạn san hô phía sau, nhưng phù hợp với giả thuyết phân loại thủy triều, các trụ mầm lớn của Đước đôi (*R. apiculata*) ra rễ và tồn tại tốt hơn trong môi trường sống biến động này so với các trụ mầm nhỏ hơn của các loài khác. Wang và cộng sự (2019) [16] cũng cho rằng: rằng sự phát tán trụ mầm CNM không phải là một quá trình nổi thụ động được điều khiển bởi các dòng nước. Trong quá trình phát tán, trụ mầm CNM có thể chủ động điều chỉnh khối lượng riêng và sự bắt đầu của quá trình ra rễ. Khối lượng riêng của trụ mầm tỷ lệ nghịch với khả năng nổi của nó và vị trí so với độ cao bề mặt. Sự khác biệt về khối lượng riêng của trụ mầm đã chứng minh các kiểu phân bố của các loài trên khắp vùng triều và cửa sông. Sự phân vùng RNM trên cả quy mô vùng bãi triều và cửa sông có thể được giải thích bằng giả thuyết phân loại thủy triều, vì sự phân vùng được kiểm soát bởi sự phân loại thủy triều, và khả năng nổi trong vùng triều của trụ mầm ở loài CNM là không như nhau.

Nghiên cứu trên 2 loài Đà vôi (*Cedriops tagal*) và Đưng (*Rhizophora mucrotana*) cho thấy: Đà vôi có xu hướng phát tán một số lượng lớn trụ mầm, phát tán nhanh, trên diện tích rộng tuy nhiên cơ hội sống sót lại thấp hơn do tốc độ phát triển của rễ chậm hơn, nhạy cảm với sự hút ẩm và kích thước nhỏ hơn. Đưng lại lựa chọn cách phát tán với số lượng ít nhưng chúng có khả năng chống lại sinh vật thiên địch do kích thước lớn hơn và chúng có thể tự thiết lập tái sinh thành công sớm do sự phát triển nhanh hơn của rễ [17]. Di Nitto và cộng sự (2013) [10] cũng đã nghiên cứu khả năng phát tán lan truyền của 4 loài thực vật ngập mặn: Đưng (*R. mucrotana*), Đước đôi (*R. apiculata*), Đà vôi (*Cedriops tagal*) và Mắm biển (*A. marina*) tại khu phức hợp đầm phá Pambala-Chilaw (Sri Lanka). Kết quả cho thấy các trụ mầm nhỏ hơn, giống như các quả hình bầu dục của Mắm biển (*A. marina*), phát tán trong khoảng cách lớn hơn và nhạy cảm nhất với sự thay đổi các giá trị lưu giữ của thảm thực vật RNM so với các trụ mầm lớn hơn (trụ mầm của Đưng và Đà vôi). Olagoke và cộng sự (2013) [18] khi nghiên cứu khả năng tái sinh của quần thể Đưng trong một khu RNM bị xáo trộn cho thấy mật độ cây khác nhau theo

độ dốc thủy triều với mật độ cao, tập trung nhiều ở khu vực trung tâm và ít dần về phía bờ biển.

Sự phát tán lan truyền theo hướng trong đầm phá nửa kín với biên độ thủy triều nhỏ này tập trung mạnh về phía rìa đầm phá và các kênh. Phát tán trong khoảng cách ngắn dường như là xu hướng phát tán chính của cả bốn loài được nghiên cứu với hầu hết các trụ mầm được giữ lại trong thảm thực vật. Robert và cộng sự 2015 [19] khi nghiên cứu về sự thiết lập tái sinh trên 2 loài: Đưng (*R.mucronata*) và Đà vôi (*Cedriops tagal*) nhận thấy rằng: tuy 2 loài cùng chung một vùng sinh thái, cùng chung họ nhưng lại có cách phát tán và thiết lập tái sinh khác nhau. Sự mất nước sẽ kích thích sự hình thành rễ và hình thành mầm, mặt khác vùng nước có độ mặn thấp thì CNM sẽ hình thành mầm nhanh hơn. Các trụ mầm Đưng lớn hơn và ít bị mất nước hơn so với Đà vôi. Khi bắt đầu phát tán, rễ của Đưng sẽ phát triển chậm hơn Đà vôi nhưng khi đã cố định trên bãi triều thì Đà vôi lại phát triển rễ nhanh hơn. Như vậy các trụ mầm Đưng thích hợp cho việc phát tán xa hơn so với các trụ mầm của Đà vôi, Đưng có lợi thế khi thiết lập tái sinh ở các bãi triều thấp, nơi ngập thủy triều thường xuyên do vậy các trụ mầm cần phải có hệ rễ phát triển nhanh thì mới có thể tồn tại được. Sự thay đổi hình thái rõ rệt trong trụ mầm CNM là kết quả của sự tương tác với điều kiện môi trường, góp phần tạo ra sự khác biệt mạnh mẽ về khả năng phát tán và hình thái giữa các loài [20].

Nghiên cứu về khả năng thích nghi của CNM trong môi trường nước mặn ở Bắc Sumatra, Basyuni (2014) [21] cho thấy Mắm biển (*A.marina*) chịu mặn tốt hơn Đưng vôi (*Rhizophora stylosa*). Sinh khối của cây tái sinh (CTS) 2 loài này thay đổi giống như sự phát triển của cây khi xử lý nước mặn và nước ngọt. Để đánh giá mối quan hệ giữa khả năng chống chịu và sự phân bố của 3 loài CNM gồm: Mắm đen (*A. officinaris*), Cóc vàng (*L.racemosa*) và Đưng đỏ (*R.mangle*), Dangremond (2015) [22] đã so sánh các phản ứng của cây con của ba loài này trong một loạt công thức về mức độ ánh sáng và độ mặn của đất và đã đi đến kết luận: Các loài phân bố hẹp hơn được cho là có khả năng chịu đựng các điều kiện căng thẳng môi trường

tiềm ẩn thấp hơn. Hai trong số các loài phổ biến, Mắm đen và Cóc vàng, sống sót và phát triển tốt ở độ mặn trung bình thấp, bất kể mức độ ánh sáng, nhưng hoạt động kém ở độ mặn cao, đặc biệt là dưới ánh sáng cao. Loài phổ biến thứ ba, Đưng đỏ, ít phản ứng với sự thay đổi của ánh sáng và độ mặn. Tuy nhiên, ở độ mặn cao, tốc độ phát triển tương đối của nó thấp ở các mức độ ánh sáng và không có cây nào trong số những cây này rụng lá. Shiau (2017) [23] khi nghiên cứu về khả năng chịu mặn của CNM tái sinh cho kết quả: khi tăng độ mặn, sinh khối chồi và rễ CNM giảm, nhưng sinh khối thân lại tăng lên. Do đó, tổng sản lượng sinh khối của RNM không thay đổi ở các công thức độ mặn khác nhau. Sự ảnh hưởng lẫn nhau giữa các đặc điểm của trụ mầm và điều kiện môi trường nước quyết định đến khả năng phát tán của trụ mầm và thiết lập tái sinh của CNM đến những vùng xa hơn. Sự tồn tại và phát triển của một thảm thực vật ngập mặn phụ thuộc nhiều vào tiềm năng phát tán của các hạt giống (trụ mầm) của CNM [1]. Điều này có vai trò quan trọng, thiết yếu trong công tác phục hồi các hệ sinh thái RNM, do đó, trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu khác nhau về sự thiết lập tái sinh của CNM trên các bãi triều. Beckman và cộng sự (2018) [24] đã phân loại thực vật ngập mặn dựa theo chiến lược sinh tồn, tác giả kết luận rằng: “Những loài có xu hướng lịch sử sinh trưởng nhanh sẽ phát tán hạt giống của chúng xa hơn những loài thực vật sinh trưởng chậm, khoảng cách phát tán xa hơn có thể cho phép những loài này mở rộng phạm vi phân bố như một cách để hạn chế rủi ro”. Quá trình thiết lập tái sinh nếu rễ phát triển nhanh chóng sẽ là điều cần thiết và có tầm quan trọng rất lớn cho sự ổn định và tiếp tục phát triển của cây con, nơi xói mòn phù sa có thể là một yếu tố gây ra tác động tiêu cực [25]. Có sự khác biệt về không gian rõ rệt giữa CTS và cây trưởng thành trong một nghiên cứu về khả năng tái sinh của bốn loài CNM Mắm biển (*A.marina*) > Đà vôi (*C.tagal*)> Sú (*A.corniculatum*) > Đưng (*R.mucronata*) tại Vịnh Kachchh đã kết luận rằng: độ mặn, kết cấu và carbon hữu cơ ảnh hưởng đến sự tái sinh tự nhiên của các loài CNM trong khu vực nghiên

cứu [26].

Nghiên cứu về định lượng khoảng an toàn của cây con trên bãi triều là điều rất quan trọng, có ảnh hưởng đến sự thành công của việc phục hồi và quản lý RNM, với đặc thù là trụ mầm. Ở một số loài CNM, khoảng thời gian ngập triều cũng ảnh hưởng sống còn đến khả năng phát tán và thiết lập tái sinh của trụ mầm, như đối với loài *Salicornia* sp cần tối thiểu 2 đến 3 ngày ngập triều và ngập triều thường xuyên đối với các loài Đước đôi (*R.apiculata*) [3]. Cũng theo nghiên cứu này, ở RNM, đầm lầy ngập mặn và đồng bằng, hình thức phát trụ mầm tự nhiên của CNM thường xảy ra khi mực nước được rút xuống tối đa, khi nước dâng trụ mầm sẽ được đưa (vận chuyển) đến nơi cao để tránh sự ảnh hưởng do thời gian ngập lâu. Để thiết lập tái sinh CNM cần xác định chế độ phơi bãi (WoO) và độ cao thể nền phù hợp. CNM non rất dễ bị ảnh hưởng bởi sự xáo trộn vật lý trong giai đoạn đầu phát triển và đòi hỏi phải có khoảng thời gian an toàn (miễn tác động) đủ lớn để chống lại lũ lụt và xói mòn trong thời gian ngắn [27]. CNM khi còn non và cây mầm có tính nhạy cảm đối với ngập lụt và xáo trộn. Những tác động này có thể giảm theo tuổi đời của cây khi chúng ở giai đoạn ổn định hơn với sự phát triển của rễ trong trầm tích mềm [28]. Theo nghiên cứu của Balke và cộng sự (2014) [29] về cơ hội phục hồi của thảm thực vật RNM trong hệ sinh thái bị xáo trộn, tác giả cho rằng: quá trình xói mòn và bồi tụ ảnh hưởng đến khoảng an toàn ổn định của RNM. CNM bị ảnh hưởng đến chất lượng, và đặc biệt là khả năng tái sinh của trụ mầm khi nằm dưới ngưỡng xói mòn và bồi tụ cho phép.

Xác định các nhân tố ảnh hưởng tới sự thiết lập tái sinh CNM là một việc quan trọng trong quá trình phục hồi tự nhiên RNM, Balke và cộng sự (2011) [30] đã sử dụng phương pháp tiếp cận cơ học để xác định sự thiết lập tái sinh thành công của quả Mắm trắng (*Avicennia alba*) trên bãi triều cần đủ 3 giai đoạn: (i) quả cần neo đậu/thiết lập/cố định vào thể nền trong quãng thời gian ngập triều vừa đủ cho sự hình thành rễ, (ii) rễ cây đủ dài để chống lại những tác động của động lực học từ sóng và dòng chảy, dòng chảy càng mạnh bộ rễ càng

cần phải phát triển mạnh hơn, (iii) rễ cây thậm chí còn cần phải dài hơn cần thiết để tồn tại dưới nhiều tác động mạnh gây xói mòn thể nền do các ảnh hưởng này có thể làm CTS bị đánh bật. Cũng theo tác giả trích dẫn: Nơi nào việc tái trồng rừng tích cực nơi đó có khả năng xáo trộn bị hạn chế, ví dụ trong RNM thì việc xem xét các ngưỡng động lực học có thể giúp tăng khả năng phục hồi rừng thành công. Một nơi trồng rừng chỉ phù hợp nếu (i) tần suất ngập trong giới hạn sinh lý (số ngày ngập/tháng) đối với từng loài, (ii) pha của chu kỳ thủy triều thường xuyên (thời gian ngập/ngày) cho phép quả thiết lập lại tái sinh, và (iii) trầm tích đủ vững chắc để giảm thiểu sự xáo trộn và xói mòn [31].

Việc lựa chọn các loài tiên phong, có tốc độ thiết lập tái sinh nhanh chính là các biện pháp để tăng cường sự phát triển và chất lượng của cây con, giảm tạm thời động lực trầm tích là chìa khóa để phục hồi các hệ sinh thái RNM. Sự xáo trộn trầm tích tích lũy sẽ làm giảm tỷ lệ sống của cây con, cũng theo một nghiên cứu khác của Balke và cộng sự (2013) [28], khi nghiên cứu ảnh hưởng của xáo trộn trầm tích của 2 loài tiên phong là Mắm trắng (*A.alba*) và Bần trắng (*Sonneratia alba*) giai đoạn cây con. Tác giả đã sử dụng mô phỏng sự xáo trộn trầm tích như bồi tụ, xói mòn của các loại thực vật với cường độ khác nhau và sự phân bố theo thời gian kết hợp với thời gian ngập triều. Thí nghiệm chỉ ra rằng, ở giai đoạn cây con ban đầu Mắm trắng (*A.alba*) sinh trưởng mạnh hơn trong môi trường xáo trộn trầm tích và cũng là loài có tỷ lệ sống sót cao hơn so với Bần trắng (*S.alba*) khi ở trong điều kiện các yếu tố ngập triều, sóng, đây cũng là những yếu tố giới hạn ở giai đoạn cây con của Bần trắng (*S.alba*). Các phương pháp xử lý bồi tụ (trong giới hạn không gây chết) làm tăng sinh khối chồi của cây con, trong khi các phương pháp xử lý xói mòn (trong giới hạn không gây chết) nhưng làm tăng sinh khối rễ. Sự kết hợp giữa thay đổi hình thái này với lịch sử xáo trộn các nhân tố tự nhiên đã xác định mức độ xói mòn tối đa mà những cây này có thể chịu được. Sự tồn tại của cây con trong môi trường trầm tích động được xác định bởi tần suất và cường độ của các đợt bồi tụ hoặc

xói mòn trầm tích.

Cũng nghiên cứu về mối quan hệ giữa tái sinh tự nhiên của rừng ngập mặn và các thông số trầm tích ở phía Tây Đồng bằng sông Niger ở Nigeria – nơi có các diện tích RNM đã bị suy thoái nhiều hơn do nhiều năm thăm dò/ô nhiễm dầu mỏ, đô thị hóa và bùng nổ dân số, Ufuoma Efe Akpovwovwo và cộng sự (2025) chỉ ra rằng, canxi, magiê, cát, cacbon hữu cơ, độ dẫn điện, tổng độ axit, sét, khả năng trao đổi cation hiệu quả, độ mặn và khối lượng riêng là những yếu tố dự báo quan trọng về sự phong phú của các loài cây non ngập mặn, tiềm năng tái sinh cao, đặc biệt là đối với cây non *Rhizophora* spp [32]

Ngoài ra, có những nghiên cứu về các biện pháp kỹ thuật lâm sinh cho để tạo điều kiện cho quá trình tái sinh tự nhiên diễn ra thuận lợi, Pranchai (2017) [33] đã mô phỏng tác động của quá trình tự tủa thừa và tái sinh đối với sự phân bố không gian của cây tại một khu vực rừng Đước 16 tuổi được thành lập trên một đầm nuôi tôm bỏ hoang ở tỉnh Nakhon Si Thammarat, miền Nam Thái Lan. Mật độ cây giảm từ 4.444 cây/ha xuống còn 3.566 cây/ha, trong khi hình thái các thân cây trở nên đều đặn hơn. Việc tủa thừa có thể được áp dụng như một biện pháp thúc đẩy tăng trưởng của cây mẹ đồng thời tăng khả năng tái sinh tự nhiên của cây con. Tái sinh tự nhiên là một giải pháp giúp giảm thiểu chi phí phục hồi rừng và cây con tái sinh tự nhiên có khả năng chống chịu tốt hơn so với các RNM trồng bằng cây con trong vườn ươm.

Wodehouse và cộng sự (2019) [34] đã nghiên cứu nhằm mục đích tìm hiểu đặc điểm cấu trúc về thành phần loài CNM và nhân tố độ mặn. Độ mặn cao hơn đáng kể ở Laputta ($14,4 \pm 3,0$ ‰ vào tháng 11 - $28,8 \pm 0,5$ ‰ vào tháng 5) so với ở Bogalay ($0,5 \pm 0,2$ ‰ vào tháng 11 - $14,4 \pm 3,0$ ‰ vào tháng 5). Theo sự khác biệt về độ mặn nước lợ giữa Laputta và Bogalay, ba nhóm loài CNM chính được phân loại: (1) những loài bị hạn chế ở khu vực có độ mặn cao - Laputta, (2) những loài bị hạn chế ở khu vực có độ mặn thấp - Bogalay và những loài có thể phát triển ở các khu vực có độ mặn từ cao đến thấp (3). Sáu loài được xác nhận là chỉ trồng ở

khu vực có độ mặn cao tại Laputta và có khả năng bị hạn chế sinh trưởng ở khu vực độ mặn thấp (Đưng, Vẹt dù...). Chín loài phân bố ở khu vực có độ mặn thấp ở Bogalay: Vẹt đen (*Bruguiera sexangula*), Bần chua (*Sonneratia caseolaris*) nhưng có khả năng bị tổn thương bởi cả độ mặn cao và mực nước biển dâng trung bình. Trong số ba mươi loài, có mười lăm loài (Sú, Mắm trắng...) được ghi nhận là loài chịu mặn cao nhất, sinh trưởng ở cả khu có độ mặn thấp, cao, có khả năng chống chịu và thích nghi với phạm vi rộng về độ mặn. Azman và cộng sự (2020) [35] đã theo dõi quá trình tái sinh RNM tại eo biển Malacca, Malaysia trong thời gian 35 năm và cung cấp mô hình tái sinh để kiểm tra cấu trúc tầng thứ của rừng thay đổi theo thời gian. Với tuổi của rừng được biết một cách chính xác, việc đánh giá cấu trúc rừng, đa dạng sinh học và sinh khối theo giai đoạn phát triển tự nhiên của RNM cung cấp thông tin có giá trị để xác định khoảng thời gian khu rừng đó có thể phục hồi trở lại trạng thái tự nhiên ban đầu. Tác giả thấy rằng các lâm phần RNM còn nguyên sinh có cấu trúc phức tạp hơn và đa dạng hơn các lâm phần non. Thành phần loài của RNM phục hồi bằng tái sinh tự nhiên đa dạng hơn so với RNM phục hồi nhân tạo.

Đánh giá chung: Như vậy, trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu về đặc điểm tái sinh của CNM: hình thức phát tán, thiết lập tái sinh của CNM, có thể thấy rằng để CTS có thể sống sót và sinh trưởng ổn định trên các bãi triều là điều rất khó khăn.

Kết quả của các nghiên cứu đã chỉ ra được cây con ngập mặn có tính nhạy cảm rất cao, nhất là trong môi trường ngập triều phải chịu nhiều các tác động xáo trộn cơ học, điều này có thể làm cho CNM giảm khả năng sinh trưởng và tỷ lệ sống. Để việc phục hồi RNM bằng con đường tự nhiên thành công tại khu vực cụ thể, chính là xác định được khoảng thời gian cần thiết để trụ mầm/quả/hạt già của những loài CNM của khu vực có thể neo đậu và cố định được trên bãi triều (sự thiết lập tái sinh). Có những loài cần khoảng thời gian phơi bãi là 5 ngày để có thể neo đậu trên bãi triều/ thiết lập tái sinh thành công, có những loài phải mất thời gian lâu hơn, sự thiết lập tái sinh sớm trên bãi

triều sẽ giúp cây con có được sự sinh trưởng phát triển tốt nhất, việc lựa chọn các loài tiên phong phát triển nhanh và các biện pháp để tăng cường sự phát triển của cây con, chính điều này đã giúp tránh được những tác hại về mặt cơ học đối với cây non. Sự thiết lập tái sinh quyết định bởi nhiều yếu tố, trong đó mỗi loài cây có sự thiết lập tái sinh khác nhau và chịu ảnh hưởng các nhân tố môi trường như: biên độ triều và thời gian ngập triều thể hiện qua chế độ phơi bãi; độ mặn và sóng biển. Do vậy, nghiên cứu về sự thiết lập tái sinh của CNM có vai trò quan trọng trong hiểu biết và xác định được các điều kiện môi trường thuận lợi cho thiết lập tái sinh của CNM. Đây sẽ là một công cụ hữu ích trong công tác bảo tồn, giúp bảo vệ, phục hồi và phát triển HST RNM trước những tác động tiềm ẩn của phát triển kinh tế - xã hội và tác động của biến đổi khí hậu toàn cầu. Tuy nhiên, cũng có thể thấy rằng, vẫn còn một số khoảng trống trong nghiên cứu chưa được làm rõ như chưa có những nghiên cứu tại các vùng RNM có điều kiện khắc nghiệt (RNM có điều kiện thủy văn bị biến đổi mạnh, RNM bị ô nhiễm nặng...) hay vẫn đang còn thiếu nghiên cứu sâu về tương tác giữa các loài trong giai đoạn tái sinh. Vì vậy, trong thời gian tới cần có những nghiên cứu chuyên sâu và đa dạng hơn về các khoảng trống này nhằm hỗ trợ công tác phục hồi RNM bền vững trong bối cảnh biến đổi khí hậu, đáp ứng nhu cầu cấp bách ở các khu vực bị suy thoái cũng như cung cấp các cơ sở khoa học cho các chính sách quản lý và quy hoạch các vùng ven biển.

3.2. Tái sinh rừng ngập mặn ở Việt Nam

Phan Nguyên Hồng (1991) [36] cho rằng: Lượng mưa là nhân tố ảnh hưởng rất rõ rệt đến sự sinh trưởng, phân bố và tái sinh của CNM. Tác giả cho biết thêm ở vùng nhiệt đới lượng mưa phân bố không đồng đều trong năm, nơi nào có mùa mưa trùng với mùa sinh sản của CNM thì nơi đó có rừng phát triển, còn nơi nào tuy có lượng mưa lớn nhưng không trùng với mùa sinh sản thì không có rừng vì cây con không tái sinh được khi thiếu nước ngọt. Ở những vùng mưa ít, hạn nhiều thì hệ thực vật nghèo nàn, thưa thớt, cây thấp bé và rừng không liên tục. Do ảnh hưởng đến cả quá trình

quang hợp và hô hấp của thực vật, thì nhiệt độ như là 1 nhân tố vô sinh tác động mạnh mẽ đến quá trình tái sinh của CNM. Tác giả cũng phân chia CNM thành 2 nhóm có biên độ mặn rộng và nhóm có biên độ mặn hẹp, cũng cần phải khẳng định thêm độ mặn có ảnh hưởng lớn đến sự phân bố, sinh trưởng và khả năng tái sinh của CNM. Kết quả nghiên cứu của Đinh Thanh Giang (2016) [37] cho thấy: Việc nuôi tôm trong đầm gần các khu RNM đã làm hạn chế khả năng tái sinh của CNM. Nguyên nhân chính là do môi trường đất, nước bị ô nhiễm do cây RNM bị chết và lượng thức ăn tồn dư trong quá trình nuôi tôm. Đất có xu hướng bị chua, phèn và xáo trộn do quá trình đào, đắp, lấy đất làm bờ bao. Nền đáy đầm nuôi bị chặt cứng, bào mòn do quá trình nạo vét đầm sau mỗi vụ nuôi. Hệ thống bờ bao, cống được xây dựng đã làm cản trở, hạn chế sự lưu thông của dòng thủy triều tự nhiên, làm giảm quá trình bồi lắng phù sa trong đầm.

Theo Thiều Quang Tuấn (2016), sự mất cân bằng về động lực bùn cát không chỉ gây ra xói lở bờ biển mà còn là yếu tố ngăn cản quá trình tự tái sinh và tái thiết chức năng bảo vệ bờ biển của rừng. Sự suy thoái của rừng ngập mặn sẽ chuyển một bãi biển đang bồi thành một bãi biển xói. Ở một bãi triều rừng ngập mặn khỏe mạnh (cây có khả năng tự tái sinh) sẽ tồn tại một trạng thái ổn định động về vận chuyển và trao đổi bùn cát hạt mịn: bùn cát lơ lửng đem vào theo con triều được giữ lại bởi CNM và quá trình cố kết bùn cát mới được lắng đọng - cân bằng với bùn cát bị đem đi bởi sóng [38].

Phạm Hồng Tính (2017) cho rằng bồi tụ trầm tích làm cho thể nền của thảm thực vật ngày càng cao lên, đặc biệt tại những vị trí có tốc độ bồi tụ trầm tích nhanh hơn nhiều so với tốc độ nước biển dâng như ở VQG Xuân Thủy, điều này đã làm cho CTS kém phát triển, thậm chí có thể chết. Tác giả cũng chỉ ra: ngoài những điều kiện tự nhiên cần thiết cho quá trình tái sinh của thực vật ngập mặn thì cần phải có những tác động tích cực của con người như những giải pháp tác động về chính sách quản lý, nghiên cứu khoa học, kỹ thuật, công nghệ, kinh tế - xã hội và giáo dục - đào tạo vào quá trình biến đổi của thực vật ngập mặn [39]; Hoàng Văn Thới và

cộng sự (2021) [40] cho rằng mật độ là yếu tố tác động rõ rệt đến số lượng cây tái sinh của loài Đước đôi và cây tái sinh có triển vọng theo hướng tỷ lệ nghịch với mức độ tăng mật độ và độ tàn che của tầng cây cao. Tuổi rừng có ảnh hưởng rõ rệt tới khả năng tái sinh của Đước đôi, tỷ lệ cây triển vọng nhiều nhất ở các cấp tuổi rừng V, VIa và VIb.

Nguyễn Hoàng Hanh (2019) khi nghiên cứu đặc điểm tái sinh tự nhiên của RNM quanh đảo Đồng Rui, các chỉ tiêu như tổ thành loài CTS, CTS có triển vọng và xu thế diễn biến tái sinh là cơ sở đánh giá sự phục hồi thảm thực vật ngập mặn. Thảm thực vật ngập mặn tại Đồng Rui có thể tận dụng khả năng phục hồi tự nhiên thông qua khả năng tái sinh tự nhiên của các QXTVNM, trong đó đặc điểm tái sinh dưới tán và tái sinh trong lỗ trống trên 13 QXTVNM tự nhiên với tổ thành CTS dưới tán 1 - 4 loài, mật độ 15.208 - 19.853 cây/ha, mật độ CTS trong lỗ trống 1000 - 20.500 cây/ha, tổ thành loài CTS trong lỗ trống 2 - 5 loài [41].

Nghiên cứu về đặc điểm cấu trúc của 5 quần xã thực vật ngập mặn tại Vườn quốc gia Xuân Thủy, kết quả cho thấy quần xã ưu thế Sú (*Aegiceras corniculatum*) có sự phổ biến nhất, Trang (*Kandelia obovata*). Các quần xã hầu hết chỉ có 1 - 2 loài cây ưu thế, cá biệt các quần xã ưu thế Trang, Bần chua (*Sonneratia caseolaris*), Mắm biển (*Avicennia marina*) chỉ có 1 loài ưu thế. Loài cây rừng chủ đạo trong các QXTVNM tại Vườn Quốc gia Xuân Thủy là cây Sú, Trang. Những cây khác như Bần chua, Mắm biển, Đước vôi (*Rhizophora stylosa*) có xuất hiện nhưng với số lượng không đáng kể. Mật độ của tầng cây cao có sự khác nhau rõ rệt giữa các QXTVNM và các loài trong quần xã. Hai QXTVNM Mắm biển ưu thế và Trang ưu thế có mật độ thấp hơn hẳn so với các QXTVNM khác. Theo đặc điểm sinh học, Bần chua và Đước vôi là hai loài cây có đường kính, chiều cao bình quân lớn nhất trong khu vực, tiếp theo là loài Trang. Trong khi đó, Sú và Mắm biển là những loài có đường kính và chiều cao trung bình thấp nhất [42].

Trần Thị Mai Sen và cộng sự (2023) khi tiến hành đánh giá ảnh hưởng của một số nhân tố sinh thái tới tái sinh của 3 loài CNM (Trang,

Mắm biển và Đước vôi) tại Vườn quốc gia Xuân Thủy cho rằng, độ mặn, chế độ phơi bãi là 2 nhân tố ảnh hưởng rõ nhất tới sự tái sinh của 3 loài nghiên cứu. Trong đó, Mắm biển là loài cây chịu mặn cao, có biên độ về độ mặn và phạm vi phân bố rộng đối với nhân tố sóng và các chế độ phơi bãi. So với loài Mắm biển, loài Trang có biên độ về độ mặn hẹp hơn, phạm vi phân bố với nhân tố chế độ phơi bãi từ 0 - 5 ngày (chế độ phơi bãi/WoO: WoO.0, 1, 2, 3, 5), hạn chế ở chế độ phơi bãi 10 ngày (WoO.10), Trang vẫn có khả năng tái sinh tự nhiên, do đó có thể trồng Trang ở độ cao thể nền từ 0,8 - 1,4 m, phù hợp nhất ở độ cao thể nền 0,8 - 1,2 m. Trong khi đó, Đước vôi tái sinh chịu ảnh hưởng rõ rệt bởi nhân tố độ mặn, chế độ phơi bãi, Đước vôi tái sinh tốt trong môi trường độ mặn cao, sự thiết lập này kém hơn ở môi trường có độ mặn thấp, tái sinh tốt hơn ở khu vực có chế độ phơi bãi 3 - 5 ngày, kém hơn ở các chế độ phơi bãi 0 - 2 ngày và 10 ngày, tức độ cao thể nền thích hợp từ 1 - 1,4 m [43].

Ngoài các yếu tố về sinh thái, khả năng tích lũy carbon ở giai đoạn cây con của cũng là một tiêu chí để đánh giá sự tái sinh thành công của các CNM, Trần Thị Mai Sen và cộng sự (2024) đã đánh giá khả năng tích lũy carbon của loài Mắm biển ở giai đoạn cây mạ 1 tháng tuổi tại Vườn quốc gia Xuân Thủy, các tác giả cho rằng, sự xuất hiện tích lũy các-bon đồng nghĩa với việc có sự dịch chuyển trạng thái của cây mạ trong giai đoạn phát triển, chuyển từ cây mạ sang cây con, điều này có ý nghĩa quan trọng trong việc đánh giá khả năng tái sinh thành công của nguồn giống [44].

Nhìn chung, tại Việt Nam, các nghiên cứu về cấu trúc và quá trình tái sinh tự nhiên của CNM còn chưa nhiều. Các nghiên cứu thường tập trung vào đánh giá tổng quát các yếu tố ảnh hưởng đến sinh trưởng của CNM và có ít những nghiên cứu về sự thiết lập tái sinh tự nhiên của CNM trên bãi triều. Do đó, cần có nhiều hơn những nghiên cứu về khả năng thiết lập tái sinh, định lượng khoảng thời gian ban đầu trong vài ngày để cây non phát triển rễ, thích nghi với độ mặn và tác động của thủy triều là hết sức cần thiết và cần phải được tiến hành nghiên cứu và mở rộng trên nhiều vùng sinh

thái tại Việt Nam và các quốc gia khác nhau.

3.3. Thảo luận chung

Kết quả tổng hợp từ các nghiên cứu trên thế giới và ở Việt Nam cho thấy, các yếu tố chính ảnh hưởng đến quá trình tái sinh CNM bao gồm: (i) Môi trường vật lý (biên độ triều, dòng chảy, xói mòn, trầm tích); (ii) Đặc điểm sinh học (kích thước trụ mầm, tốc độ phát triển rễ và khả năng chống chịu với điều kiện môi trường); (iii) Các kỹ thuật can thiệp (tỉa thưa, dẫn dòng nguồn nước,...); (iv) Khí hậu – địa hình (mùa mưa, vị trí bãi triều, độ cao địa hình) và (v) các yếu tố xã hội (sự tham gia của cộng đồng).

Các nghiên cứu trên thế giới cũng như ở Việt Nam vẫn còn có những khoảng trống nhất định. Chưa có các nghiên cứu về sự tái sinh ở các vùng RNM có điều kiện khắc nghiệt (RNM có điều kiện thủy văn bị biến đổi mạnh, RNM bị ô nhiễm nặng...) cũng như là sự tương tác (tác động) giữa các loài với nhau trong giai đoạn tái sinh. Vì vậy, trong thời gian tới cần có những nghiên cứu chuyên sâu và đa dạng hơn để lấp đầy các khoảng trống nghiên cứu này.

Tái sinh tự nhiên có nhiều ưu điểm vượt trội hơn so với phục hồi nhân tạo nhờ vào khả năng phục hồi đa dạng sinh học cao hơn và sự thích nghi tốt hơn với môi trường. Tuy nhiên, tái sinh tự nhiên lại phụ thuộc nhiều vào các yếu tố môi trường và đòi hỏi thời gian dài. Các yếu tố như độ mặn, chế độ thủy triều, lượng mưa, động lực học bờ biển (sóng, dòng chảy...) đóng vai trò quan trọng, then chốt trong việc quyết định đến khả năng phát tán của nguồn giống, thiết lập tái sinh và sinh trưởng của cây con. Bên cạnh đó, việc xác định được khoảng thời gian cần thiết để trụ mầm neo đậu cũng là một điều rất quan trọng. Nếu không có khoảng thời gian đủ an toàn (không chịu những tác động của sóng, xói mòn và các yếu tố môi trường cực đoan...) cây con sẽ khó có thể tồn tại và phát triển ổn định. Vì vậy, sự hiểu biết sâu sắc về các điều kiện thủy văn tại các khu vực là cơ sở quan trọng để xây dựng các kế hoạch, thiết kế những chiến lược phục hồi phù hợp bằng con đường tự nhiên của các hệ sinh thái, đặc biệt là ở những khu vực thường xuyên có những biến động, xáo trộn mạnh về các điều kiện môi trường.

Để thích nghi với các điều kiện tự nhiên và nâng cao khả năng tái sinh, mỗi loài CNM lại có những “chiến lược” sinh học để tái sinh khác nhau. Có loài phát tán nguồn giống của mình ra rất xa, nhưng cũng có loài lại phát tán rất gần. Tỷ lệ sống và khả năng sinh tồn của các loài ngập mặn ngoài sự phụ thuộc vào đặc điểm nguồn giống còn phụ thuộc rất nhiều vào môi trường, do đó việc lựa chọn loài tiên phong thích hợp với điều kiện khu vực phục hồi cũng là một yếu tố quyết định, giúp tối ưu hóa tỷ lệ tái sinh tự nhiên thành công của các CNM.

4. KẾT LUẬN

Quá trình tái sinh tự nhiên đóng vai trò then chốt trong công tác phục hồi, duy trì sự ổn định và các chức năng của hệ sinh thái rừng ngập mặn. Các nghiên cứu trên thế giới và ở Việt Nam đều chỉ ra rằng, sự tái sinh và phát triển của CNM chịu tác động và sự chi phối mạnh mẽ bởi các yếu tố môi trường như độ mặn, thủy triều, sóng, bồi tụ, xói mòn và đặc điểm sinh học riêng của từng loài. Mỗi một loài CNM lại có những “chiến lược” phát tán và cách thiết lập tái sinh khác nhau, do đó đối với mỗi vùng khác nhau cần có sự lựa chọn loài phù hợp với các điều kiện sinh thái của vùng đó. Việc hiểu rõ quá trình phát tán, sự thiết lập tái sinh, các yêu cầu về môi trường sống của CNM là cơ sở quan trọng cho việc xây dựng các mô hình phục hồi RNM bằng con đường tự nhiên đạt hiệu quả. Trong đó, cần đặc biệt ưu tiên các loài cây có khả năng thiết lập tái sinh nhanh và thích nghi tốt với điều kiện thủy văn nhằm đảm bảo quá trình tái sinh được thành công.

Các nghiên cứu cũng cho thấy, hoạt động của con người như nuôi trồng thủy sản, khai thác đất rừng, xây dựng cơ sở hạ tầng ven biển cũng là một trong những nguyên nhân chính làm suy giảm khả năng tái sinh tự nhiên của các CNM. Điều này cho thấy, việc phục hồi RNM cần có sự kết hợp giữa nghiên cứu khoa học, các biện pháp kỹ thuật lâm sinh, quản lý chính sách bền vững và nâng cao nhận thức cộng đồng địa phương.

Kết quả của các nghiên cứu này là cơ sở khoa học quan trọng trong công tác bảo tồn và phục hồi HST RNM, góp phần ứng phó với biến đổi

khí hậu, bảo vệ đa dạng sinh học, đảm bảo sinh kế cho cộng đồng địa phương và phát triển bền vững kinh tế của các khu vực ven biển.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. H. Beeckman N. Tonné, E. M. R. Robert & N. Koedam (2017). Towards an unknown fate: The floating behaviour of recently abscised propagules from wide ranging Rhizophoraceae mangrove species. *Aquat. Bot.* 140: 23–33.
- [2]. Marco Fusi Rignolda Djamaluddin, Brama Djabar, Darren Evans, Rachael Holmes, Mark Huxham, Darren P. O'Connell, Ulrich Salzmann, Ian Singleton, Aiyen Tjoa, Agus Trianto & Karen Diele (2023). Point of (no) return? Vegetation structure and diversity of restored mangroves in Sulawesi, Indonesia, 14–16 years on. *Restoration Ecology*. 31(7): 13
DOI: 10.1111/rec.13963
- [3]. D. Rabinowitz (1978). Dispersal Properties of Mangrove Propagules. *Biotropica*. 10(1): 47.
- [4]. J. A. Jiménez & K. Sauter (1991). Structure and dynamics of mangrove forests along a flooding gradient. *Estuaries*. 14(1): 49–56.
- [5]. P. J. Clarke & P. J. Myerscough (1991). Buoyancy of *Avicennia marina* propagules in South-eastern Australia. *Aust. J. Bot.* 39(1): 77–83.
- [6]. P. J. Clarke (1993). Dispersal of grey mangrove (*Avicennia marina*) propagules in southeastern Australia.
- [7]. H. C. Muller-Landau S. A. Levin, R. Nathan & J. Chave (2003). The Ecology and Evolution of Seed Dispersal: A Theoretical Perspective. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 34: 575–604.
- [8]. T. D. Steinke & C. J. Ward (2003). Use of plastic drift cards as indicators of possible dispersal of propagules of the mangrove *Avicennia marina* by ocean currents. *African J. Mar. Sci.* 25(1): 169–176.
- [9]. L. K. Alleman & M. W. Hester (2011). Reproductive Ecology of Black Mangrove (*Avicennia germinans*) Along the Louisiana Coast: Propagule Production Cycles, Dispersal Limitations, and Establishment Elevations. *Estuaries and Coasts*. 34(5): 1068–1077.
- [10]. P.L.A. Erftemeijer D. Di Nitto, J.K..L. van Beek, F. Dahdouh-Guebas, L. Higazi, K. Quisthoudt, L.P. Jayatissa & N. Koedam (2013). Modelling drivers of mangrove propagule dispersal and restoration of abandoned shrimp farms. *Biogeosciences Discuss.* 10(1): 1267–1312.
- [11]. J. López-Portillo T. Van der Stocken & N. Koedam (2017). Seasonal release of propagules in mangroves – Assessment of current data. *Aquat. Bot.* 138: 92–99.
- [12]. D. Carroll T. Van der Stocken, D. Menemenlis, M. Simard & N. Koedam (2019). Global-scale dispersal and connectivity in mangroves. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 116(3): 915–922.
- [13]. P. F. Hensel P. Delgado, J. A. Jiménez & J. W. Day (2001). The importance of propagule establishment and physical factors in mangrove distributional patterns in a Costa Rican estuary. *Aquat. Bot.* 71(3):157-178.
- [14]. Wayne P Sousa, Peter G Kennedy, Betsy J Mitchell & Benjamín M Ordóñez L (2007). Supply-side ecology in mangroves: do propagule dispersal and seedling establishment explain forest structure? *Ecological monographs*. 77(1): 53-76.
- [15]. J. M. Cheeseman (2012). How red mangrove seedlings stand up. *Plant Soil*.
- [16]. X. Li W. Wang & M. Wang (2019). Propagule dispersal determines mangrove zonation at intertidal and Estuarine scales. *Forests*. 10(3): 19-245.
DOI: 10.3390/f10030245
- [17]. E.M.R. Robert D. J. R. De Ryck, N. Schmitz, T. van Stocken, D. Di Nitto, F. Dahdouh-Guebas & N. Koedam (2012). Size does matter, but not only size: Two alternative dispersal strategies for viviparous mangrove propagules. *Aquat. Bot.* 103: 66–73.
- [18]. J. O. Bosire A. O. Olagoke & U. Berger (2013). Regeneration of *Rhizophora mucronata* (Lamk.) in degraded mangrove forest: Lessons from point pattern analyses of local tree interactions. *Acta Oecologica*. 50: 1–9.
- [19]. J. Oste E. M. R. Robert, T. Van der Stocken, D.J.R. De Ryck, K. Quisthoudt, J.G. Kairo, F. Dahdouh-Guebas, N. Koedam & N. Schmitz (2015). Viviparous mangrove propagules of *Ceriops tagal* and *Rhizophora mucronata*, where both Rhizophoraceae show different dispersal and establishment strategies. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 468: 45–54.
- [20]. D.Ryck T. Van Der Stocken, B. Vanschoenwinkel, E. Deboelpaep, T. Bouma, F. Dahdouh-Guebas & N. Koedam (2015). Impact of landscape structure on propagule dispersal in mangrove forests. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 524: 95–106.
- [21]. L. A. P. Putri M. Basyuni, B. Nainggolan & P. E. Sihalo (2014). M. Basyuni, L. A. P. Putri, B. Nainggolan, and P. E. Sihalo, "Growth and Biomass in Response to Salinity and Subsequent Fresh Water in Mangrove Seedlings *Avicennia marina* and *Rhizophora stylosa*. *J. Manaj. Hutan Trop.* 20(1): 17-25.
- [22]. I. C. Feller E. M. Dangremond & W. P. Sousa (2015). Environmental tolerances of rare and common mangroves along light and salinity gradients. *Oecologia*. 179(4): 1187–1198.
- [23]. S. C. Lee Y. J. Shiao, T. H. Chen, G. Tian & C. Y. Chiu (2017). Water salinity effects on growth and nitrogen assimilation rate of mangrove (*Kandelia candel*) seedlings. *Aquat. Bot.* 137: 50–55.
- [24]. J. M. Bullock N. G. Beckman & R. Salguero-Gómez (2018). High dispersal ability is related to fast life-history strategies. *J. Ecol.* 106(4): 1349–1362.
- [25]. G. Zotz R. Redelstein & T. Balke (2018). Seedling stability in waterlogged sediments: An experiment with saltmarsh plants. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 590: 95–108.
- [26]. R. Patel L. Das, H. Salvi & R. D. Kamboj (2019). Assessment of natural regeneration of mangrove with reference to edaphic factors and water in Southern Gulf

of Kachchh, Gujarat, India. *Heliyon*. 5(8): e02250.

[27]. H.T. Chan S. Baba & S. Aksornkoae (2013). International Society for Mangrove Ecosystems. International Tropical Timber Organization useful products from mangrove and other coastal plants.

[28]. E. L. Webb T. Balke, E. van den Elzen, D. Galli, P. M. J. Herman & T. J. Bouma (2013). Seedling establishment in a dynamic sedimentary environment: A conceptual framework using mangroves. *J. Appl. Ecol.* 50(3): 740-747.

[29]. P. M. J. Herman T. Balke & T. J. Bouma (2014). Critical transitions in disturbance-driven ecosystems: Identifying windows of opportunity for recovery. *J. Ecol.* 102(3): 700-708.

[30]. T. J. Bouma T. Balke, E. M. Horstman, E. L. Webb, P. L. A. Erftemeijer & P. M. J. Herman (2011). Windows of opportunity: Thresholds to mangrove seedling establishment on tidal flats. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 440: 1-9.

[31]. R. Lewis (2005). Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests. *Ecol. Eng.* 24: 403-418.

[32]. Christiana Tinuola Ekanade Ufuoma Efe Akpovwovwo (2025). Status of Natural Regeneration of Mangroves in Southern Nigeria. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 15(3): 425
DOI: 10.29244/jpsl.15.3.425

[33]. A. Pranchai (2017). Regeneration and self-thinning processes in a restored *Rhizophora apiculata* plantation in Southern Thailand. *Agric. Nat. Resour.* 51(5): 390-394.

[34]. D. C. J. Wodehouse & M. B. Rayment (2019). Mangrove area and propagule number planting targets produce sub-optimal rehabilitation and afforestation outcomes. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 222: 91-102.

[35]. S. Sharma M. S. Azman, M.A.M. Shaharudin, M.L. Hamzah, S.N. Adibah, R.M. Zakaria & R. MacKenzie (2020). Stand structure, biomass and dynamics of naturally regenerated and restored mangroves in Malaysia. *For. Ecol. Manage.* 482.
DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118852

[36]. Phan Nguyên Hồng (1991). Sinh thái thảm thực vật rừng ngập mặn Việt Nam. Luận án tiến sĩ khoa học sinh học, Đại học Sư phạm, 1991.

[37]. Đinh Thanh Giang (2016). Nghiên cứu đặc điểm đất ngập mặn vùng ven biển Quảng Ninh và Hải Phòng làm cơ sở để đề xuất các giải pháp khôi phục hệ sinh thái rừng ngập mặn. Luận án tiến sĩ lâm nghiệp, 2016.

[38]. Thiều Quang Tuấn (2016). Vai trò của cân bằng động lực bùn cát hạt mịn trong thiết kế các giải pháp công trình hỗ trợ trồng tái sinh rừng ngập mặn ở Đồng bằng sông Cửu Long. Hội nghị khoa học thường niên Đại học Thủy Lợi, tháng 11 năm 2016.

[39]. Phạm Hồng Tính (2017). Nghiên cứu thảm thực vật ngập mặn ven biển miền Bắc Việt Nam trong điều kiện biến đổi khí hậu và nước biển dâng. Luận án tiến sĩ sinh học, 2017.

[40]. Hoàng Văn Thơi, Lê Thanh Quang, Nguyễn Khắc Thiệu (2021). Nghiên cứu tái sinh tự nhiên của Đước đôi (*Rhizophora apiculata* Blum) ở các cấp tuổi rừng tại tỉnh Bến Tre. *Tạp chí Khoa học Lâm nghiệp*. 5: 71-80.

[41]. Nguyễn Hoàng Hanh (2019). Nghiên cứu đặc điểm tái sinh tự nhiên và phục hồi thảm thực vật ngập mặn khu vực quanh đảo Đồng Rui, huyện Tiên Yên, tỉnh Quảng Ninh. Luận án tiến sĩ sinh học, 2019.

[42]. Trần Thị Mai Sen, Nguyễn Thị Kim Cúc, Phạm Minh Toại, Phạm Thị Quỳnh, Phạm Thị Hạnh, Trần Thị Yến & Nguyễn Thị Thu Hằng (2021). Đặc điểm cấu trúc tầng cây cao của các quần xã thực vật ngập mặn tại vườn Quốc gia Xuân Thủy, tỉnh Nam Định. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ lâm nghiệp*. 3: 041-049.

[43]. Trần Thị Mai Sen, Nguyễn Thị Kim Cúc, Trương Tất Đơ, Phạm Minh Toại & Hoàng Thị Lan (2023). Nghiên cứu xây dựng mô hình đánh giá ảnh hưởng của một số nhân tố sinh thái tới tái sinh của 3 loài cây ngập mặn. *Tạp chí Nông Nghiệp và Phát triển nông thôn*. Tháng 10/2023: 133-142.

[44]. Trần Thị Mai Sen, Hoàng Thị Lan & Thái Khắc Tú (2024). Nghiên cứu khả năng tích lũy các-bon trong cây Mắm biển (*Avicennia marina*) ở giai đoạn cây mạ tại Vườn Quốc gia Xuân Thủy, tỉnh Nam Định. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp*. 13(6): 060-066.
DOI: 10.55250/Jo.vnuf.13.6.2024.060-066