



# XÂY DỰNG MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH CÁC-BON CHO CÁC LOÀI CÂY NGẬP MẶN TẠI VÙNG VEN BIỂN TỈNH HƯNG YÊN, ĐỒNG BẰNG SÔNG HỒNG, VIỆT NAM

NGUYỄN VIỆT LƯƠNG<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trung tâm Vũ trụ Việt Nam, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

## Tóm tắt

Nghiên cứu đã xây dựng được các mô hình ước tính các-bon cho hai loài cây ngập mặn chủ yếu là Bần chua (*Sonneratia caseolaris*) và Trang (*Kandelia obovata*) cho khu vực ven biển tỉnh Hưng Yên, đồng bằng sông Hồng (ĐBSH). Kết quả nghiên cứu cho thấy lượng các-bon tích lũy của hai loài có mối quan hệ chặt chẽ với đường kính thân cây tại vị trí 1,3 m ( $D_{1.3m}$ ). Các mô hình ước tính đều đạt độ tin cậy cao ( $R^2 = 0,88 - 0,97$ ), do vậy  $D_{1.3m}$  là biến giải thích hiệu quả cho dự báo các-bon trong rừng ngập mặn. Đối với loài Bần chua (*Sonneratia caseolaris*), mô hình đa thức và lũy thừa cho kết quả tốt nhất ( $R^2 = 0,97$ ; RMSE = 0,20 kg), trong khi loài Trang (*Kandelia obovata*) đạt tối ưu ở mô hình đa thức và đa biến ( $R^2 = 0,95$ ; RMSE = 0,47 kg). Kết quả cũng cho thấy mối tương quan cao giữa các-bon trên mặt đất (AGC) và dưới mặt đất (BGC) là ( $R^2 = 0,90 - 0,91$ ). Các kết quả của nghiên cứu là cơ sở khoa học quan trọng phục vụ kiểm kê và đánh giá khả năng lưu trữ các-bon và hấp thụ  $CO_2$  của rừng ngập mặn ven biển tỉnh Hưng Yên, ĐBSH Việt Nam.

Từ khóa: Rừng ngập mặn, các-bon xanh, mô hình, ven biển, ĐBSH, Việt Nam.

Ngày nhận bài: 2/4/2026; Ngày sửa chữa: 15/5/2026; Ngày duyệt đăng: 27/5/2026.

## Development of carbon estimation models for mangrove species in the coastal area of Hung Yen, Red River Delta, Vietnam

### Abstract

This study developed carbon estimation models for two dominant mangrove species are *Sonneratia caseolaris* and *Kandelia obovata*, in the coastal area of Hung Yen, Red River Delta, Viet Nam. The results demonstrated a strong relationship between carbon accumulation and diameter at breast height ( $D_{1.3m}$ ) for both species. All developed models showed high reliability, with coefficients of determination ( $R^2$ ) ranging from 0.88 to 0.97 and indicating that  $D_{1.3m}$  is an effective predictor for carbon estimation in mangrove forests. For *Sonneratia caseolaris*, the polynomial and power models produced the best performance ( $R^2 = 0.97$ ; RMSE = 0.20 kg), whereas for *Kandelia obovata*, the polynomial and multiple regression models were optimal ( $R^2 = 0.95$ ; RMSE = 0.47 kg). The findings also revealed a strong correlation between above-ground carbon (AGC) and below-ground carbon (BGC), with  $R^2$  values ranging from 0.90 to 0.91. These results provide an important scientific basis for carbon stock assessment, and  $CO_2$  sequestration of coastal mangrove forests in the coastal area of Hung Yen, Red River Delta, Viet Nam.

Keywords: Mangrove forest, blue carbon, modeling, coastal area, Red River Delta, Vietnam.

JEL Classifications: O13, P18, Q15.

### 1. GIỚI THIỆU

Rừng ngập mặn (mangrove forests) là hệ sinh thái ven biển đặc thù của vùng nhiệt đới và cận nhiệt đới, giữ vai trò quan trọng trong bảo vệ bờ biển, giảm xói lở, điều hòa thủy văn và duy trì đa dạng sinh học. Đặc biệt, trong những năm gần đây, rừng ngập mặn được xem là một thành phần cốt lõi của “blue carbon” nhờ khả năng hấp thụ và lưu trữ các-bon hiệu quả không chỉ trong sinh khối trên mặt đất mà còn trong trầm tích đất với thời gian lưu trữ dài hạn (Hồng và cs., 1999; Donato et al., 2012; FAO, 2020; Alongi, 2020; Hanque, 2026).

Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng hàm lượng các-bon trong sinh khối khô của rừng ngập mặn thường chiếm tỷ lệ lớn và có sự khác biệt theo loài, tuổi rừng và điều kiện địa sinh thái. Wanthongchai và Piriyaoyota (2006) ghi nhận hàm lượng các-bon trung bình đạt 47,77% sinh khối khô và tăng theo tuổi rừng. Ở tuổi 11, trữ lượng các-bon của Đước đôi (*Rhizophora apiculata*) đạt 74,75 tấn/ha, cao hơn Đước vôi (*Rhizophora mucronata*) đạt 65,50 tấn/ha và vẹt trụ (*Bruguiera cylindrica*) đạt 1,47 tấn/ha (Wanthongchai và Piriyaoyota, 2006). Bên cạnh đó, trữ lượng các-bon

trong đất rừng ngập mặn có thể đạt giá trị rất cao, theo Fujimoto et al. (2000), dẫn bởi Nguyễn Thị Hồng Hạnh (2007), ghi nhận lượng các-bon tích lũy trong tầng đất 0 - 100 cm tại rừng ngập mặn Cần Giờ dao động từ 24,52 - 30,99 kg/m<sup>2</sup> (tương đương 245,2 - 309,9 tấn/ha), cho thấy vai trò quan trọng của đất rừng ngập mặn trong lưu trữ các-bon dài hạn (Hạnh và cs., 2017).

Tại Việt Nam, rừng ngập mặn phân bố dọc bờ biển và được chia thành 4 vùng chính gồm: Đông Bắc, ĐBSH, Trung bộ và Nam bộ (Hồng và cs., 1999). Tuy nhiên, hiện nay diện tích, chất lượng rừng vẫn suy giảm một số nơi do chuyển đổi mục đích sử dụng đất và nuôi trồng thủy sản; mặc dù có xu hướng phục hồi trong những năm gần đây, chất lượng rừng và khả năng tích lũy các-bon vẫn còn biến động đáng kể. Một thách thức hiện nay là việc thiếu các phương trình ước tính các-bon cho rừng ngập mặn Việt Nam. Mặc dù Chương trình của Liên hợp quốc về giảm phát thải từ phá rừng và suy thoái rừng (UN-REDD, 2012) đã xây dựng mô hình sinh khối cây rừng cho 8 vùng sinh thái lâm nghiệp, tuy nhiên loài cây rừng ngập mặn vẫn chưa được thực hiện (Inoguchi et al., 2012). Do đó, nhiều nghiên cứu phải sử dụng các phương trình được phát triển ở nước ngoài (Luong et al., 2019; Pham et al., 2020), dẫn đến sai số và làm giảm độ tin cậy khi áp dụng trong điều kiện sinh thái đặc thù của rừng ngập mặn Việt Nam. Bên cạnh đó, phần lớn các nghiên cứu quốc tế mới chỉ xây dựng mô hình ước tính sinh khối, chưa xây dựng mô hình tính toán trữ lượng các-bon trực tiếp cho cây rừng ngập mặn cá thể. Vì vậy, khi áp dụng thường phải sử dụng hệ số chuyển đổi từ sinh khối sang các-bon, làm gia tăng sai số tích lũy trong quá trình tính toán (Clough et al., 1989;

Ong et al., 2004; Komiyama et al., 2005). Các nghiên cứu định lượng sinh khối và trữ lượng các-bon rừng ngập mặn tại Việt Nam chủ yếu tập trung ở khu vực phía Nam (Bình, 2009; Nam và cs., 2011; Trâm và cs., 2017), trong khi các nghiên cứu tại vùng ven biển phía Bắc còn tương đối hạn chế.

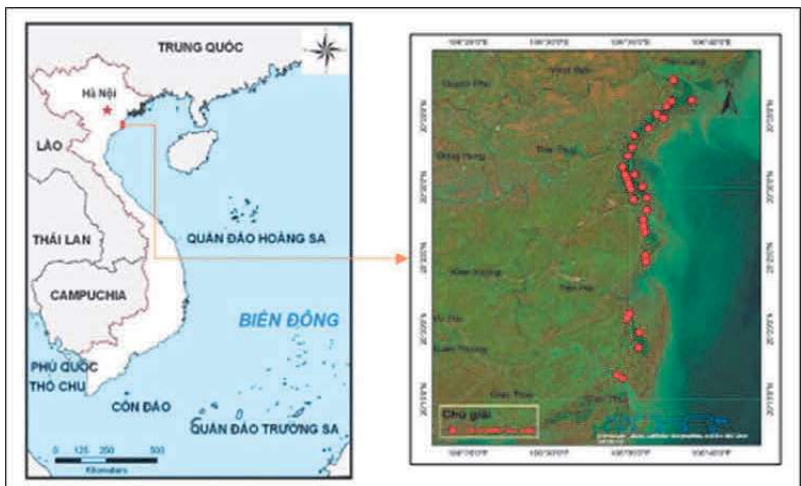
Từ những khoảng trống trên, việc xây dựng các mô hình ước tính trữ lượng các-bon cho rừng ngập mặn khu vực ven biển tỉnh Hưng Yên, ĐBSH là cần thiết. Nghiên cứu này không chỉ góp phần hoàn thiện cơ sở khoa học cho đánh giá “blue carbon” mà còn hỗ trợ hoạch định chính sách quản lý, phục hồi và phát triển rừng ngập mặn trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

## 2. KHU VỰC NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu được thực hiện tại rừng ngập mặn ven biển thuộc hai huyện Tiền Hải và Thái Thụy, tỉnh Thái Bình (nay thuộc tỉnh Hưng Yên), khu vực ĐBSH, thuộc khu vực 2 “từ mũi Đồ Sơn đến mũi Lạch Trường”, tổng diện tích rừng ngập mặn tại khu vực này là 29.176,8 ha, chiếm tỷ lệ 18,8 % tổng diện tích rừng ngập mặn của Việt Nam (Hồng và cs., 1999; Sâm và cs., 2024). Khu vực nghiên cứu có khí hậu nhiệt đới gió mùa, chịu ảnh hưởng mạnh của thủy triều và quá trình bồi tụ phù sa, tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển của hệ sinh thái rừng ngập mặn (Vân và cs., 2017; Sâm và cs., 2024).

Rừng ngập mặn khu vực nghiên cứu với thành phần loài chủ yếu gồm Bần chua (*Sonneratia caseolaris*), Trang (*Kandelia obovata*), Sú (*Aegiceras corniculatum*), Mắm biển (*Avicennia marina*) và một số loài khác (Vân và cs., 2017). Trong đó, khu rừng ngập mặn tự nhiên tại các xã Thụy Trường và Thụy Xuân có diện tích khoảng 400 ha, được xem là quần thể rừng ngập mặn tự nhiên lớn nhất vùng ĐBSH. Loài ưu thế sinh thái tại khu vực này là Bần chua (*Sonneratia caseolaris*) và loài trồng ưu thế là Trang (*Kandelia obovata*) (Vân và cs., 2017). Vì vậy, nghiên cứu tập trung xây dựng mô hình ước tính trữ lượng các-bon cho hai loài cây ngập mặn ưu thế đó là: Bần chua (*Sonneratia caseolaris*), Trang (*Kandelia obovata*) tại khu vực nghiên cứu.

Vị trí khu vực nghiên cứu và vị trí điểm lấy mẫu được thể hiện tại Hình 1.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu và vị trí điểm lấy mẫu



Hình 2. Một số hình ảnh khảo sát ngoài thực địa

### 3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

**Điều tra thực địa:** Điều tra thực địa được thực hiện dựa trên hiện trạng rừng và đặc điểm phân bố thảm thực vật, từ đó thiết lập các ô tiêu chuẩn đại diện có diện tích 500 m<sup>2</sup> và 100 m<sup>2</sup> (Lương, 2017). Trong mỗi ô tiêu chuẩn, toàn bộ cây sống được xác định tên loài, đo đường kính ngang ngực tại vị trí 1,3 m ( $D_{1.3m}$ ) và chiều cao cây ( $H_m$ ). Từ mỗi ô tiêu chuẩn, lựa chọn 2 cây tiêu chuẩn đại diện để tiến hành lấy mẫu bằng phương pháp chặt hạ. Tổng số cây chặt hạ là 31, trong đó: Bản chua (*Sonneratia caseolaris*) là 16 cây và Trang (*Kandelia obovata*) là 15 cây.

**Thu thập mẫu:** Các cây tiêu chuẩn đại diện sau khi chặt hạ, cây được tách thành thân, cành, lá và rễ; khối lượng tươi của từng bộ phận được xác định bằng cân ngoài thực địa. Mẫu phân tích các-bon được lấy riêng cho từng bộ phận tại nhiều vị trí đại diện trên cây. Các mẫu sau khi thu được bảo quản trong túi nylon có ghi đầy đủ mã ô tiêu chuẩn, loài cây và bộ phận mẫu.

**Phân tích mẫu trong phòng thí nghiệm:** Các mẫu được vận chuyển về phòng thí nghiệm và sấy khô đến khối lượng không đổi để xác định sinh khối khô. Sau đó, mẫu được nghiền nhỏ và phân tích. Hàm lượng các-bon tổng số được xác định theo phương pháp Walkley-Black kết hợp đo màu, dựa trên phản ứng oxy hóa chất hữu cơ bằng  $K_2Cr_2O_7$  và đo màu  $Cr_3^+$  ở bước sóng 625 nm. Sai số phân tích khoảng  $\pm 5 - 10 \%$ . Kết quả phân tích được sử dụng để tính toán lượng các-bon tích lũy của từng bộ phận và toàn bộ cây.

**Xây dựng mô hình:** Các mô hình hồi quy tuyến tính, lôgarit, hàm lũy thừa, hàm mũ và đa thức được sử dụng để xây dựng mối quan hệ giữa lượng các-bon tích lũy

với các chỉ tiêu sinh trưởng của cây rừng ngập mặn, bao gồm: Đường kính  $D_{1.3m}$  và chiều cao cây ( $H_m$ ). Độ chính xác của mô hình được đánh giá thông qua hệ số xác định ( $R^2$ ) và sai số quân phương trung bình (RMSE).

Một số hình ảnh khảo sát thực địa tại khu vực nghiên cứu (Hình 2).

### 4. KẾT QUẢ, THẢO LUẬN

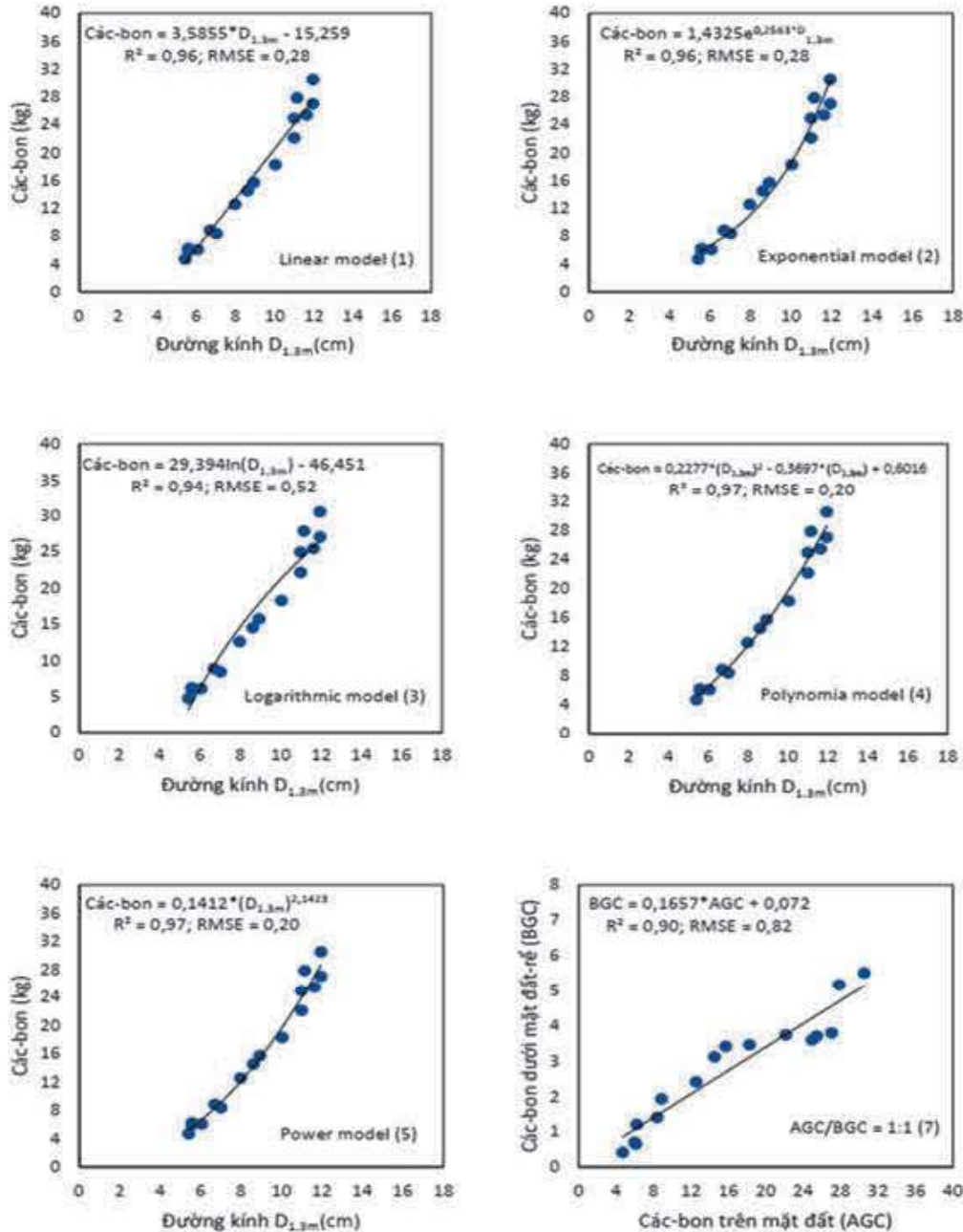
#### 4.1. Kết quả phân tích loài cây ngập mặn

Kết quả điều tra, phân tích cho thấy cây rừng ngập mặn có đường kính ngang ngực ( $D_{1.3m}$ ) dao động từ 5,41 - 11,94 cm và chiều cao từ 1,10 - 4,50 m đối với loài Bản chua; trong khi loài Trang có  $D_{1.3m}$  dao động từ 6,37 - 14,01 cm và chiều cao từ 1,70 - 5,50 m. Tổng lượng các-bon tích lũy của Bản chua đạt 4,71 - 30,51 kg/cây, thấp hơn so với loài Trang (7,82 - 35,42 kg/cây). Ở cả hai loài, lượng các-bon tích lũy chủ yếu tập trung ở thân cây, tiếp đến là cành, rễ và lá. Tổng lượng các-bon có xu hướng tăng theo  $D_{1.3m}$  và chiều cao cây, cho thấy có mối quan hệ tiềm năng giữa biến  $D_{1.3m}$  với trữ lượng các-bon tích lũy của cây rừng ngập mặn.

#### 4.2. Xây dựng các mô hình tính toán các-bon

##### 4.2.1. Bản chua (*Sonneratia caseolaris*)

Kết quả nghiên cứu cho thấy lượng các-bon tích lũy của loài Bản chua (*Sonneratia caseolaris*) có mối quan hệ chặt chẽ với đường kính thân cây ( $D_{1.3m}$ ). Các mô hình đã xây dựng đều đạt độ tin cậy cao với hệ số xác định  $R^2$  từ 0,94 - 0,97 và RMSE dao động từ 0,20 - 0,52 kg. Trong đó, mô hình đa thức và mô hình lũy thừa cho kết quả tốt nhất với  $R^2 = 0,97$  và RMSE = 0,20 kg, phản ánh khả năng dự báo các-bon có sai số thấp và độ ổn định cao. Ngược lại, mô hình lôgarit có RMSE lớn nhất (0,52 kg), cho thấy mức độ sai lệch dự báo cao hơn so với các mô hình còn lại.



Hình 3. Mối quan hệ giữa đường kính thân cây ( $D_{1.3m}$ ) và lượng cac-bon tích lũy của loài Bần chua (*Sonneratia caseolaris*) tại khu vực nghiên cứu

Mô hình đa biến kết hợp  $D_{1.3m}$  và chiều cao cây ( $H_m$ ) đạt  $R^2 = 0,96$  và  $RMSE = 0,28$  kg, cho thấy việc bổ sung biến chiều cao cải thiện không đáng kể độ chính xác mô hình. Điều này khẳng định  $D_{1.3m}$  là biến giải thích hiệu quả và thuận lợi cho ước tính cac-bon trong điều kiện rừng ngập mặn.

Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng đã xây dựng mô hình đa biến, tức là sử dụng biến đường kính thân cây ( $D_{1.3m}$ ) và chiều cao cây ( $H_m$ ) để xây dựng mô hình ước tính cac-bon trên mặt đất của Bần chua (*Sonneratia caseolaris*). Kết quả mô hình được thể hiện dưới đây;

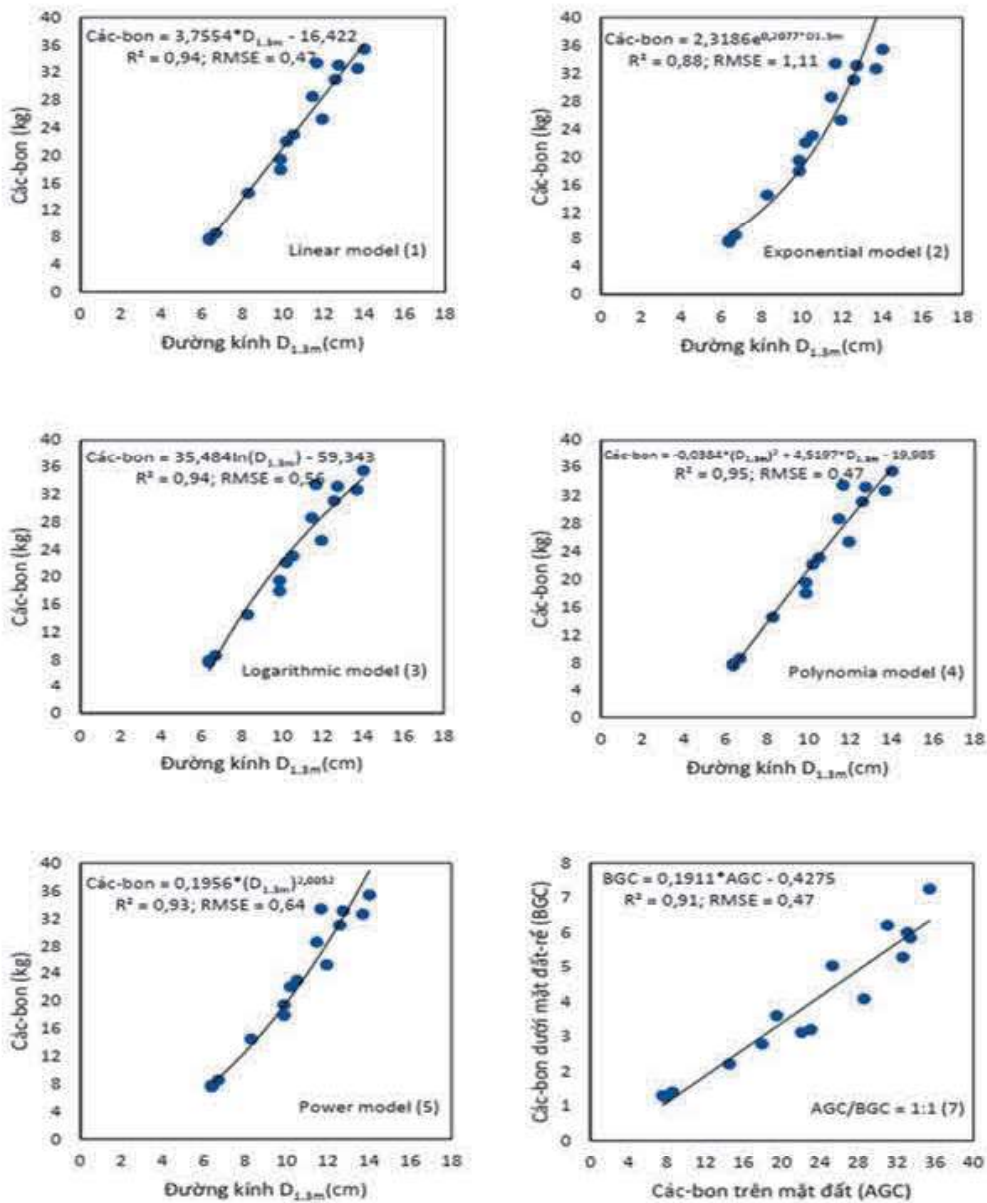
$$\text{Cac-bon (kg)} = -14,67 + 3,34D_{1.3m} + 0,53H_m \quad (R^2 = 0,96; RMSE = 0,28) \quad (6)$$

Ngoài ra, mối quan hệ giữa cac-bon trên mặt đất (AGC) và dưới mặt đất (BGC) đạt  $R^2 = 0,90$  với  $RMSE = 0,82$  kg, thể hiện sự tương quan tương đối chặt chẽ giữa hai thành phần cac-bon của loài Bần chua tại khu vực nghiên cứu. Các kết quả được thể hiện tại Hình 3.



**Bảng 1. Kết quả mô hình ước tính các-bon trên mặt đất (AGC) và các-bon dưới mặt đất (BGC) loài Bần chua (*Sonneratia caseolaris*) tại khu vực nghiên cứu**

TT	Mô hình dạng	Mô hình	Hệ số xác định (R <sup>2</sup> )	RMSE
1	Tuyến tính	Các-bon (AGC) = 3,5855*D <sub>1.3m</sub> - 15,259	0,96	0,28
2	Hàm mũ	Các-bon (AGC) = 1,4325e <sup>0,2563*D<sub>1.3m</sub></sup>	0,96	0,28
3	Lôgarit	Các-bon (AGC) = 29,394ln(D <sub>1.3m</sub> ) - 46,451	0,94	0,52
4	Đa thức	Các-bon (AGC) = 0,2277*(D <sub>1.3m</sub> ) <sup>2</sup> - 0,3697*(D <sub>1.3m</sub> ) + 0,6016	0,97	0,20
5	Lũy thừa	Các-bon (AGC) = 0,1412*(D <sub>1.3m</sub> ) <sup>2,1423</sup>	0,97	0,20
6	Đa biến	Các-bon (kg) = - 14,67+3,34D <sub>1.3m</sub> + 0,53H <sub>m</sub>	0,96	0,28
7	Tuyến tính	Các-bon (BGC) = 0,1657*AGC + 0,072	0,90	0,82



Hình 4. Mối quan hệ giữa đường kính thân cây (D<sub>1.3m</sub>) và lượng các-bon tích lũy của loài Trang (*Kandelia obovata*) tại khu vực nghiên cứu

**Bảng 2. Kết quả mô hình ước tính các-bon trên mặt đất (AGC) và các-bon dưới mặt đất (BGC) loài Trang (*Kandelia obovata*) tại khu vực nghiên cứu**

TT	Mô hình dạng	Mô hình	Hệ số xác định (R <sup>2</sup> )	RMSE
1	Tuyến tính	Các-bon = 3,7554*D <sub>1.3m</sub> - 16,422	0.94	0,47
2	Hàm mũ	Các-bon = 2,3186e <sup>0,2077*D<sub>1.3m</sub></sup>	0.88	1,11
3	Lôgarit	Các-bon = 35,484ln(D <sub>1.3m</sub> ) - 59,343	0.94	0,56
4	Đa thức	Các-bon = - 0,0384*(D <sub>1.3m</sub> ) <sup>2</sup> + 4,5197*D <sub>1.3m</sub> - 19,985	0.95	0,47
5	Lũy thừa	Các-bon = 0,1956*(D <sub>1.3m</sub> ) <sup>2,0052</sup>	0.93	0,64
6	Đa biến	Các-bon (kg) = -16,41 + 3,75D <sub>1.3m</sub> + 0,02H <sub>m</sub>	0.95	0,47
7	Tuyến tính	BGC = 0,1911*AGC - 0,4275	0.91	0,47

Tóm tắt kết quả mô hình ước tính các-bon trên mặt đất (AGC) và dưới mặt đất (AGB) loài Bần chua (*Sonneratia caseolaris*) tại khu vực nghiên cứu được trình bày tại Bảng 1.

#### 4.2.2. Trang (*Kandelia obovata*)

Kết quả nghiên cứu cho thấy lượng các-bon tích lũy của loài Trang (*Kandelia obovata*) có mối quan hệ chặt chẽ với đường kính thân cây tại vị trí 1,3 m (D<sub>1.3m</sub>). Các mô hình xây dựng đều đạt mức ý nghĩa cao với hệ số xác định R<sup>2</sup> dao động từ 0,88 - 0,95 và RMSE từ 0,47 - 1,11 kg. Trong đó, mô hình đa thức và mô hình đa biến cho kết quả tốt nhất với R<sup>2</sup> = 0,95 và RMSE = 0,47 kg, cho thấy khả năng dự báo các-bon ổn định và sai số thấp.

Mô hình tuyến tính cũng cho độ phù hợp cao (R<sup>2</sup> = 0,94; RMSE = 0,47 kg), chứng tỏ D<sub>1.3m</sub> là biến giải thích hiệu quả trong ước tính các-bon trên mặt đất (AGC) của loài Trang (*Kandelia obovata*). Ngược lại, mô hình hàm mũ có độ chính xác thấp hơn (R<sup>2</sup> = 0,88; RMSE = 1,11 kg). Ngoài ra, mối quan hệ giữa các-bon trên mặt đất (AGC) và các-bon dưới mặt đất (BGC) đạt R<sup>2</sup> = 0,91 và RMSE = 0,47 kg, cho thấy sự tương quan tương đối chặt giữa các-bon trên và dưới mặt đất của loài Trang (*Kandelia obovata*) tại khu vực nghiên cứu.

Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng đã xây dựng mô hình đa biến, tức là sử dụng biến đường kính thân cây (D<sub>1.3m</sub>) và chiều cao cây (H<sub>m</sub>) để xây dựng mô hình ước tính các-bon trên mặt đất của Trang (*Kandelia obovata*). Kết quả mô hình được trình bày dưới đây.

$$\text{Các-bon (kg)} = - 16,41 + 3,75D_{1.3m} + 0,02H_m \quad (R^2 = 0,95; \text{RMSE} = 0,47) \quad (6)$$

Kết quả cũng cho thấy mô hình đa thức và lũy thừa cho kết quả tối ưu đối với Bần chua (*Sonneratia caseolaris*), trong khi mô hình đa biến phù hợp hơn với loài Trang (*Kandelia obovata*). Sự khác biệt này có thể liên quan đến đặc điểm hình thái, cấu trúc tán và quy luật phân bố sinh khối đặc trưng của từng loài trong điều kiện sinh thái rừng ngập mặn ven biển tỉnh Hưng Yên, ĐBSH.

Tóm tắt kết quả mô hình ước tính các-bon trên mặt đất (AGC) và các-bon dưới mặt đất (BGC) loài Trang (*Kandelia obovata*) tại khu vực nghiên cứu được trình bày tại Hình 4 và Bảng 2.

Kết quả nghiên cứu đã xây dựng mô hình ước tính các-bon trực tiếp cho cây rừng ngập mặn cá thể, trong khi phần lớn các nghiên cứu trước đây chủ yếu xây dựng mô hình sinh khối và sau đó sẽ sử dụng hệ số chuyển đổi sang các-bon (Clough et al., 1989; Ong et al., 2004; Komiyama et al., 2005). Cách tiếp cận này giúp giảm sai số tích lũy và nâng cao độ tin cậy trong tính toán trữ lượng các-bon của cây rừng ngập mặn.

## 5. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu xây dựng mô hình ước tính lượng các-bon tích lũy của hai loài cây rừng ngập mặn chủ yếu Bần chua (*Sonneratia caseolaris*) và Trang (*Kandelia obovata*) tại khu vực ven biển tỉnh Hưng Yên, ĐBSH có mối quan hệ chặt chẽ với đường kính thân cây tại vị trí 1,3 m (D<sub>1.3m</sub>). Các mô hình ước tính các-bon đều đạt độ tin cậy cao với hệ số xác định R<sup>2</sup> dao động từ 0,882 - 0,977, chứng tỏ m là biến giải thích hiệu quả và chính xác cho dự báo các-bon.

Đối với loài Bần chua (*Sonneratia caseolaris*), mô hình đa thức và mô hình lũy thừa cho kết quả tối ưu (R<sup>2</sup> = 0,97; RMSE = 0,20 kg), phản ánh khả năng dự báo chính xác và ổn định cao. Trong khi đó, đối với loài Trang (*Kandelia obovata*), mô hình đa thức và mô hình đa biến đạt hiệu quả tốt nhất (R<sup>2</sup> = 0,95; RMSE = 0,47 kg). Việc bổ sung biến chiều cao cây (H<sub>m</sub>) không cải thiện đáng kể độ chính xác mô hình ở cả hai loài, cho thấy mô hình đơn biến sử dụng D<sub>1.3m</sub> có thể được ưu tiên áp dụng trong thực tiễn nhờ tính đơn giản và hiệu quả. Ngoài ra, mối quan hệ



tương quan chặt giữa các-bon trên mặt đất (AGC) và dưới mặt đất (BGC) của cả hai loài ( $R^2 = 0,90 - 0,91$ ) cho thấy khả năng dự báo đồng thời các-bon trên và dưới mặt đất của cây rừng ngập mặn.

Các kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học quan trọng cho việc kiểm kê trữ lượng các-bon, đánh giá tiềm năng hấp thụ CO<sub>2</sub> và hỗ trợ quản lý, phục hồi, phát triển bền vững rừng ngập mặn tại tỉnh Hưng Yên, ĐBSH, Việt Nam. Nghiên cứu đề xuất mở rộng xây dựng và áp dụng mô hình ước tính các-bon cho các loài cây ngập mặn khác tại các vùng ven biển Việt Nam nhằm nâng cao khả năng ứng dụng trong quản lý tài nguyên rừng và giảm phát thải khí nhà kính.

**Lời cảm ơn:** Các tác giả trân trọng cảm ơn Viện Các khoa học trái đất đã chia sẻ dữ liệu và Quỹ Đổi mới Sáng tạo Vingroup (VINIF) đã hỗ trợ kinh phí cho nghiên cứu này thông qua Dự án mã số VINIF. 2025. DA107

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Alongi, D. M. (2020). *Global significance of mangrove blue carbon in climate change mitigation*. *Sci*, 2(3), 67.
2. Cao Huy Bình (2009): Nghiên cứu khả năng hấp thụ CO<sub>2</sub> của quần thể dà quánh (*Ceriops decandra* Dong Hill) tự nhiên tại Khu Dự trữ sinh quyển rừng ngập mặn Cần Giờ, Thành phố Hồ Chí Minh (Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh).
3. Clough, B. F., & Scott, K. (1989). *Allometric relationships for estimating above-ground biomass in six mangrove species*. *Forest ecology and management*, 27(2), 117-127.
4. Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2012). *Rừng ngập mặn trong những kiểu rừng giàu trữ lượng các-bon nhất ở vùng nhiệt đới*. CIFOR Brief, 13.
5. FAO (2020): *Mangrove management*. – <http://www.fao.org/forestry/mangrove/en/>.
6. Haque, A. (2026). *Blue Carbon and Mangrove Economics: Knowledge Hubs for the Pacific*. Available at SSRN 6637098.
7. Hoàng Văn Sâm, Nguyễn Hải Hòa, Trần Thị Mai Sen, Lê Sỹ Doanh, Dương Bích Ngọc, Phạm Văn Duẩn, Nguyễn Thị Bích Hào, Lê Hồng Liên (2024). *Rừng ngập mặn ĐBSH*. Nhà xuất bản Nông nghiệp.
8. Inoguchi, A., Henry, M., Birigazzi, L., & Sola, G. (2012). *Tree allometric equation development for estimation of forest above-ground biomass in Vietnam*. UN-REDD Programme, Hanoi.
9. Komiyama, Akira, Jin Eong Ong, and Sasitorn Pongparn (2008). *Allometry, biomass, and productivity*

- of mangrove forests: A review*. " *Aquatic botany* 89, no. 2 (2008): 128-137.
10. Lư Ngọc Trâm, Anh, Tuấn Võ Hoàng Anh, and Nam Viên Ngọc (2017). *Tích tụ các bon của rừng ngập mặn ở Côn Trong, vườn Quốc gia Mũi Cà Mau theo từng giai đoạn*. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn*, Kỳ 2-tháng 9/2017.
11. Luong, V. N., Tu, T. T., Khoi, A. L., Hong, X. T., Hoan, T. N., & Thuy, T. L. H. (2019). *Biomass estimation and mapping of Can Gio Mangrove Biosphere Reserve in South of Viet Nam using ALOS-2 PALSAR-2 data*. *Applied Ecology & Environmental Research*, 17(1).
12. Nguyễn Việt Lương (2017). *Báo cáo chuyên đề điều tra ô tiêu chuẩn rừng ngập mặn Tiên Hải và Thái Thụy*. Nghiên cứu hợp tác nghiên cứu giữa Viện Địa lý (nay là Viện Các khoa học Trái đất) và Viện Công nghệ vũ trụ (nay là Trung tâm Vũ trụ Việt Nam), Viện hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Hà Nội.
13. Nguyễn Thị Hồng Hạnh, Mai Sĩ Tuấn (2007). *Vai trò của hệ sinh thái rừng ngập mặn trong việc tích lũy carbon giảm hiệu ứng nhà kính*. Hội thảo Quốc gia "Phục hồi rừng ngập mặn ứng phó với biến đổi khí hậu hướng tới phát triển bền vững", Cần Giờ - TP Hồ Chí Minh 26 - 27/11/2007, 9 trang.
14. Ong, J. E., Gong, W. K., & Wong, C. H. (2004). *Allometry and partitioning of the mangrove, Rhizophora apiculata*. *Forest Ecology and Management*, 188(1-3), 395-408.
15. Pham, T. D., Le, N. N., Ha, N. T., Nguyen, L. V., Xia, J., Yokoya, N., ... & Takeuchi, W. (2020). *Estimating mangrove above-ground biomass using extreme gradient boosting decision trees algorithm with fused sentinel-2 and ALOS-2 PALSAR-2 data in can Gio biosphere reserve, Vietnam*. *Remote Sensing*, 12(5), 777.
16. Phan Nguyễn Hồng (chủ biên), Trần Văn Ba, Viên Ngọc Nam, Hoàng Thị Sản, Vũ Trung Tạng, Lê Thị Trễ, Nguyễn Hoàng Trí, Mai Sỹ Tuấn, Lê Xuân Tuấn (1999). *Rừng ngập mặn Việt Nam*. Nhà xuất bản Nông nghiệp, 205 trang.
17. Viên Ngọc Nam (2011). *Nghiên cứu khả năng hấp thụ CO<sub>2</sub> của rừng Cóc trắng (Lumnitzera racemosa Willd) trồng ở Khu Dự trữ sinh quyển rừng ngập mặn Cần Giờ, Thành phố Hồ Chí Minh*. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn*TNT, số 2+3/2011, tr 162-166.
18. Wanthongchai P. and Piriyaota S., (2006). *Role of mangrove plantation on carbon sink case study: Trat Province, Thailand*. Office of Mangrove Conservation, Department of Marine and Coastal Resource (DMCR), Thailand.