

## KHẢ NĂNG LƯU TRỮ CACBON CỦA THẨM CỎ BIỂN TẠI ĐÀM LĂNG CÔ, TỈNH THỪA THIÊN HUẾ

Nguyễn Tú Uyên<sup>1</sup>, Trần Ngọc Khánh Ni<sup>1</sup>, Ngô Hữu Bình<sup>1</sup>, Nguyễn Hữu Chí Tư<sup>1</sup>, Hoàng Thị Bình Minh<sup>2</sup>, Mai Anh Thu<sup>1</sup>, Michael Zschiesche<sup>4</sup>, Hoàng Công Tín<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Trung tâm Nghiên cứu và Chuyển giao công nghệ môi trường miền Trung, Trường Đại học khoa học, Đại học Huế, 77 Nguyễn Huệ, Huế, Việt Nam

<sup>2</sup> Viện Nghiên cứu Khoa học Miền Trung, Bảo tàng Thiên nhiên Việt Nam, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Thừa Thiên Huế, Việt Nam

<sup>3</sup> Khoa Môi trường, Trường Đại học khoa học, Đại học Huế, 77 Nguyễn Huệ, Huế, Việt Nam

<sup>4</sup> Viện Độc lập về các vấn đề Môi trường (UfU, Berlin), CHLB Đức

\* Tác giả liên hệ Hoàng Công Tín <hoangcong tin@hueuni.edu.vn>

(Ngày nhận bài: 15-07-2022; Ngày chấp nhận đăng: 09-11-2022)

**Tóm tắt.** Thẩm cỏ biển đóng vai trò quan trọng trong việc giảm thiểu biến đổi khí hậu thông qua việc hấp thụ CO<sub>2</sub> từ khí quyển và chuyển cacbon thành sinh khối nhờ quá trình quang hợp. Chúng tôi đã sử dụng công nghệ viễn thám và GIS, kết hợp với dữ liệu khảo sát thực địa, để thành lập bản đồ phân bố và sinh khối khô trên mặt đất của hệ sinh thái thẩm cỏ biển tại Đầm Lăng Cô vào năm 2021. Một ảnh vệ tinh Landsat 8 OLI đã được sử dụng trong quá trình giải đoán. Một bản đồ sinh khối khô trên mặt đất được thành lập thông qua việc xây dựng hàm hồi quy giữa sinh khối khô trên mặt đất và phổ phản xạ của các kênh ảnh Landsat. Độ chính xác tổng thể và hệ số Kappa là 95,5% và 0,94. Tại Đầm Lăng Cô, diện tích thẩm cỏ biển năm 2021 chiếm khoảng 36,18 ha, phân bố chủ yếu ở các khu vực giao giữa Thị trấn Lăng Cô và phía Bắc của đầm; rải rác tại phía Bắc của đầm, Hói Cạn, Hói Dừa và Hói Mít. Ngoài ra, tổng trữ lượng cacbon của cỏ biển ở Đầm Lăng Cô là 5,54 tấn cacbon, tương đương với 20,32 tấn CO<sub>2</sub>; trong đó, sự đóng góp của loài *Halodule uninervis* chiếm 61% tổng trữ lượng cacbon.

**Từ khóa:** cỏ biển, công nghệ viễn thám, Đầm Lăng Cô, GIS, trữ lượng cacbon

## Carbon-storage capacity of seagrasses at Lang Co Lagoon, Thua Thien Hue province

Nguyễn Tú Uyên<sup>1</sup>, Trần Ngọc Khánh Ni<sup>1</sup>, Ngô Hữu Bình<sup>1</sup>, Nguyễn Hữu Chí Tư<sup>1</sup>, Hoàng Thị Bình Minh<sup>2</sup>, Mai Anh Thu<sup>1</sup>, Michael Zschiesche<sup>4</sup>, Hoàng Công Tín<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Centre for Environmental Research and Technology Transfer (CRET), University of Sciences, Hue University, 77 Nguyen Hue St., Hue, Vietnam

<sup>2</sup> Mien Trung Institute for Scientific Research, Vietnam National Museum of Nature, Vietnam Academy of Science and Technology, Thua Thien Hue, Vietnam

<sup>3</sup> Faculty of Environmental Science, Hue University of Sciences, Hue University, 77 Nguyen Hue St., Hue, Vietnam

<sup>4</sup> Independent Institute for Environmental Issues (UfU, Berlin), Germany

\* Correspondence to Hoang Cong Tin <hoangcong tin@hueuni.edu.vn>

(Received: 15 July 2022; Accepted: 09 November 2022)

**Abstract.** Seagrass beds play an essential role in mitigating climate change by absorbing CO<sub>2</sub> from the atmosphere and converting carbon into biomass through photosynthesis. We used remote sensing and GIS technology with field survey data to establish the distribution and above-ground dry biomass maps of seagrass beds in 2021. A Landsat 8 OLI satellite image was used in the interpretation process. An above-ground dry biomass map was established by building the regression function between the above-ground dry biomass and the reflectance spectrum of the image bands. The overall accuracy and the Kappa coefficient of the classification process were 95.5% and 0.94. At Lang Co Lagoon, the seagrass bed area in 2021 was about 36.18 ha, distributed primarily in the area between Lang Co Town and the north of the lagoon; and scattered in the north of the lagoon, Hoi Can, Hoi Dua, and Hoi Mit. In addition, the total carbon stock of seagrasses in Lang Co Lagoon was estimated at 5.54 tons, equivalent to 20.32 tons of CO<sub>2</sub>, in which the contribution of *Halodule uninervis* accounted for 61% of the total carbon stock.

**Keywords:** carbon stock, GIS, Lang Co Lagoon, seagrass, remote sensing

## 1 Mở đầu

Trong những năm gần đây, biến đổi khí hậu được xem là một trong những vấn đề cấp bách được các nhà khoa học đặc biệt quan tâm. Nguyên nhân chủ yếu khiến cho Trái Đất nóng lên hiện nay là do tác động của các hoạt động sản xuất và sinh hoạt của con người lên môi trường tự nhiên. Điều đó có nghĩa rằng một lượng lớn các khí thải phát sinh vào khí quyển thông qua các hoạt động đốt nhiên liệu hóa thạch (dầu, khí đốt, than đá...) cùng các loại khí thải khác dẫn đến lượng nhiệt bị giữ lại ở bầu khí quyển, làm tăng lên nhiệt độ toàn cầu [1]. Trong đó, theo Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi Khí hậu (IPCC), khí CO<sub>2</sub> được đánh giá là một trong những khí thải chiếm tỷ lệ lớn với khoảng 60% tổng lượng khí thải phát sinh dẫn đến sự ấm lên toàn cầu. Do đó, hàng loạt các vấn đề môi trường được hình thành là do hệ lụy của sự gia tăng nhiệt độ, ví dụ như sự suy giảm đa dạng sinh học và sự mất cân bằng trong các hệ sinh thái [2]. Vì vậy, việc tìm ra các giải pháp cụ thể để có thể giảm thiểu tối đa lượng CO<sub>2</sub> trong khí quyển được xem là mục tiêu quan trọng hàng đầu để ứng phó với các vấn đề biến đổi khí hậu.

Cỏ biển là những loài thực vật có hoa, thường mọc thành từng bãi lớn dọc theo vùng biển ven bờ, đầm phá và cửa sông. Chúng không chỉ được biết đến với các vai trò như nơi lưu trú, bãi đẻ của các loài động vật biển mà còn là bể chứa cacbon tự nhiên quan trọng [3, 4]. Các nghiên cứu

trước cũng đã chỉ ra tầm quan trọng của cỏ biển trong việc giảm thiểu các nguyên nhân gây biến đổi khí hậu, ví dụ như khả năng hấp thụ và lưu trữ cacbon của cỏ biển [5, 6]. Bên cạnh đó, thực tế cho thấy rằng đại dương bao phủ khoảng 70% bề mặt trái đất và đóng vai trò vô cùng quan trọng trong việc điều tiết khí hậu, vì vậy việc tăng cường sự sinh trưởng và phát triển của các thảm cỏ biển sẽ thúc đẩy quá trình cắt giảm nhanh chóng lượng chất ô nhiễm trong khí quyển. Theo nghiên cứu mới nhất của Banolas và cs., 2020 lượng cacbon được lưu trữ bởi cỏ biển ước tính đạt 10% tổng lượng khí CO<sub>2</sub> thải ra hàng năm mặc dù chúng chỉ chiếm 0,2% diện tích bề mặt [6]. Tuy nhiên rất ít nghiên cứu tiến hành đánh giá khả năng lưu trữ cacbon bởi các thảm cỏ biển tại một khu vực nghiên cứu cụ thể.

Trong những năm gần đây, diện tích thảm cỏ biển tại Việt Nam đã suy giảm nghiêm trọng, ước tính có khoảng 50% diện tích thảm cỏ biển đã mất đi trong vòng 10-15 năm [7]. Hầu hết sự suy giảm xuất phát từ các quá trình phát triển kinh tế xã hội và nhận thức của người dân địa phương còn khá hạn chế [7]. Chính vì vậy, dù có vai trò đặc biệt quan trọng nhưng nếu không kiểm soát được các nguyên nhân dẫn đến sự phá huỷ các hệ sinh thái cỏ biển thì lượng cacbon hữu cơ được lưu trữ trong nhiều thế kỷ sẽ tái phát thải vào bầu khí quyển và đại dương dưới dạng CO<sub>2</sub> và được xem là một trong những nguyên nhân góp phần gây ra hiện tượng hiệu ứng nhà kính [8]. Tại đầm Lăng Cô,

tỉnh Thừa Thiên Huế, diện tích thảm cỏ biển đã suy giảm ước tính đạt 90,7 ha tương ứng với 5,91% trong giai đoạn 2001-2020 [9]. Hoạt động phát triển kinh tế xã hội như đánh bắt, nuôi trồng thủy sản và phát triển cơ sở hạ tầng có thể xem là một trong những nguyên nhân chính dẫn đến sự suy giảm diện tích thảm cỏ biển tại đầm Lăng Cô [9, 10]. Bên cạnh các loại rác thải hữu cơ như đồ ăn, thức uống... được thải xuống từ các nhà hàng nổi mọc lên phục vụ cho hoạt động du lịch thì việc người dân sử dụng lớp cao su phế thải trong quá trình nuôi hàu được xem là một trong những nguyên nhân dẫn đến việc ô nhiễm nguồn nước, ảnh hưởng nghiêm trọng đến môi trường sinh sống của hệ sinh thái thảm cỏ biển [9].

Một số nghiên cứu đã được thực hiện để tính toán khả năng lưu trữ cacbon của cỏ biển như nghiên cứu của Fourqurean và cs. [11] ở một số thảm cỏ biển trên thế giới, trong đó các thảm cỏ ở Địa Trung Hải đóng góp lên đến 7,29 tấn C/ha và Nam Úc 2,32 tấn C/ha. Nghiên cứu của Cao Văn Lương [12] cũng tính toán tổng trữ lượng cacbon hữu cơ trong cỏ biển ở ba đầm phá tiêu biểu (đầm Tam Giang, Nại và Thị Nại) là 10.416 tấn, tương đương với 38.228 tấn CO<sub>2</sub>. Tuy nhiên, chưa có bất kỳ nghiên cứu nào đánh giá khả năng lưu trữ cacbon của cỏ biển ở đầm Lăng Cô.

Do đó, nghiên cứu “*Đánh giá khả năng lưu trữ cacbon của thảm cỏ biển tại đầm Lăng Cô, tỉnh Thừa Thiên Huế*” đã được tiến hành, nhằm vừa

đánh giá hiện trạng các thảm cỏ biển vừa tính toán khả năng lưu trữ cacbon của thảm cỏ biển thông qua việc lập bản đồ sinh khối khô trên mặt đất (SKKTMĐ), từ đó cung cấp thêm những thông tin cơ bản về vai trò sinh thái và môi trường của thảm cỏ biển tại đầm Lăng Cô. Ngoài ra, nghiên cứu còn tạo tiền đề cho Việt Nam chuẩn bị tham gia vào thị trường mua bán cacbon, thúc đẩy việc bảo vệ và phục hồi các hệ sinh thái ven biển, phát triển kinh tế bền vững và ứng phó với biến đổi khí hậu hiện nay.

## 2 Vật liệu và phương pháp

### 2.1 Tư liệu nghiên cứu

Một ảnh viễn thám đa phổ Landsat 8 OLI từ EarthExplorer đã được sử dụng nhằm thành lập bản đồ phân bố cỏ biển tại đầm Lăng Cô (Bảng 1). Vệ tinh này sử dụng 2 bộ cảm biến là bộ cảm quang học OLI và bộ cảm hồng ngoại nhiệt TIRS với chu kỳ lặp lại 16 ngày. Hiện nay, ảnh Landsat 8 được sử dụng phổ biến hơn các loại Landsat còn lại, bao gồm 11 kênh phổ. Bước sóng và độ phân giải của từng kênh ảnh được thể hiện ở Bảng 2. Điểm mới của ảnh này là bổ sung hai kênh phổ mới với ưu điểm có thể chỉnh sửa các hiệu ứng khí quyển (kênh 9) hoặc cho phép vệ tinh thu thập được thông tin ở các tầng nước sâu hơn trong đại dương (kênh 1) [13].

**Bảng 1.** Thông tin dữ liệu ảnh Landsat 8 OLI

Mã ảnh	Ngày chụp	Path/Row	Độ che phủ mây (%)
LC08_L1TP_124049_20210306_20210312_01_T1	6/3/2021	124/ 49	6,35

**Bảng 2.** Bước sóng và độ phân giải dữ liệu ảnh Landsat 8 OLI

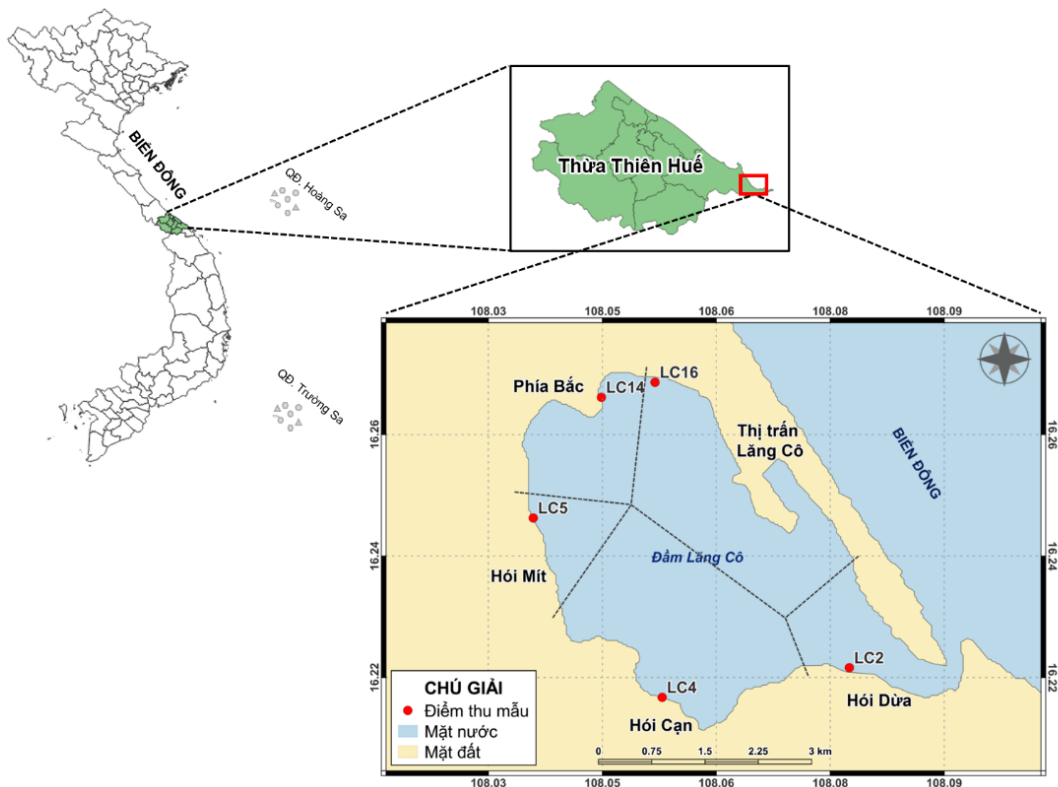
Tên kênh	Bước sóng (μm)	Độ phân giải (m)	Ghi chú
Kênh 1 (Không khí biển)	0,433-0,453	30	OLI
Kênh 2 (Xanh lam)	0,450-0,515	30	OLI

Tên kênh	Bước sóng (µm)	Độ phân giải (m)	Ghi chú
Kênh 3 (Xanh lục)	0,515-0,600	30	OLI
Kênh 4 (Đỏ)	0,630 – 0,680	30	OLI
Kênh 5 (Cận hồng ngoại)	0,845 – 0,885	30	OLI
Kênh 6 (Hồng ngoại sóng ngắn 1)	1,560 – 1,660	30	OLI
Kênh 7 (Hồng ngoại sóng ngắn 2)	2,100 – 2,300	30	OLI
Kênh 8 (Toàn sắc)	0,500 – 0,680	15	OLI
Kênh 9 (Mây quyển)	1,360 – 1,390	30	OLI
Kênh 10 (Hồng ngoại nhiệt 1)	10,3 – 11,3	100	TIRS
Kênh 11 (Hồng ngoại nhiệt 2)	11,5 – 12,5	100	TIRS

### Khu vực nghiên cứu

Đầm Lãng Cô (hay còn được gọi đầm Lập An), là đầm nước lợ thuộc thị trấn Lãng Cô, huyện Phú Lộc, tỉnh Thừa Thiên Huế (Hình 1). Đầm có

dạng một túi nước ăn sâu vào đất liền với diện tích mặt nước khoảng 1.655 ha và biệt lập với các đầm phá khác trong hệ đầm phá Tam Giang - Cầu Hai (TG-CH).



**Hình 1.** Sơ đồ vị trí khu vực nghiên cứu và các điểm thu mẫu cỏ tại đầm Lãng

Đầm chứa đựng một phân hệ tài nguyên gồm nhiều dạng cụ thể, trong đó thực vật ngập mặn phát triển khá tốt, phân bố chủ yếu ở phía Tây và phía Đông của Đầm, nhưng nay đã bị suy thoái nghiêm trọng do biến đổi khí hậu [14]. Bên cạnh đó, mặt nước xung quanh đầm Lập An đang bị xâm hại, lấn chiếm mạnh bởi các công trình bê tông mọc lên, hoạt động kinh doanh nhà hàng, nuôi trồng thủy sản tự phát không theo quy hoạch. Trên 70 hộ dân ở các thôn Lập An, Loan Lý, Hói Mít, Hói Dừa (thị trấn Lăng Cô) phụ thuộc vào nghề nuôi hàu, mỗi hộ thả hàng trăm khoang lợp xe xuống đầm để cho hàu bám vào (mỗi khoang được kết từ 5 - 10 lợp). Do đó, các tác động của con người xen kẽ với quá trình bồi lắng tự nhiên đã khiến đầm ngày càng bị bồi lắng, làm cho việc trao đổi nước giữa đầm và biển giảm sút, gây ảnh hưởng đến các hoạt động kinh tế, xã hội, ô nhiễm môi trường và hủy hoại môi trường sinh sống của các thảm thực vật thủy sinh sống chìm, trong đó có thảm cỏ biển.

## 2.2 Phương pháp nghiên cứu

### Điều tra thực địa và xử lý mẫu cỏ biển

#### *Bước 1: Tiên khảo sát khu vực nghiên cứu*

Một số dụng cụ đã được chuẩn bị như thiết bị định vị toàn cầu (GPS), sổ tay ghi chú thông tin và máy ảnh. Sau đó, tiến hành khảo sát thực địa để xác định vị trí phân bố của cỏ biển và đặc điểm của khu vực nghiên cứu. Khu vực nghiên cứu được chia thành 5 khu vực nhỏ, bao gồm Hói Dừa, Hói Cạn, Hói Mít, phía Bắc đầm Lăng Cô và Thị trấn Lăng Cô (Hình 1). Khu vực Hói Cạn và Hói Dừa tập trung nuôi hàu và tôm, khu vực Thị trấn Lăng Cô phát triển du lịch và các nhà hàng nổi trên đầm, trong khi khu vực phía Bắc và Hói Mít chủ yếu nuôi hàu và tác động của khu dân cư [15-17]. Bên cạnh đó, các thông tin thực tế của vị trí khảo sát như đặc điểm địa hình, hoạt động phát triển kinh tế xã hội đã được lưu lại vào sổ tay ghi chú.

#### *Bước 2: Tiến hành thu thập mẫu cỏ biển*

Các dụng cụ được sử dụng trong quá trình thu mẫu được chuẩn bị. Sau đó, nhóm di chuyển đến các vị trí nghiên cứu đã xác định (trong quá trình tiên khảo sát) để tiến hành thu mẫu cỏ. Tại mỗi khu vực nhỏ đã được chia, tiến hành lấy ba mặt cắt ngang, mỗi mặt cách nhau một khoảng cách phù hợp (50 đến 100 m), song song với bờ và cắt ngang mặt cắt thẳng góc tại các điểm lặp lại I, II, III, tương ứng với ba ô tiêu chuẩn (ÔTC): ÔTC I (nước nông), ÔTC II (điểm giữa) và ÔTC III (nước sâu). Máy định vị cầm tay GPS Garmin eTrex 10 với sai số từ 1-5 m được sử dụng để xác định tọa độ của ba ÔTC. Độ phủ của các thảm cỏ biển ở mỗi ÔTC được xác định bằng cách sử dụng phương pháp ước lượng độ phủ thông qua đối chiếu độ phủ chuẩn của McKenzie [18]. Bay sắt được sử dụng để thu hết mẫu cỏ (thân, lá và rễ) trong ÔTC. Mẫu cỏ được để vào trong rổ, rửa sạch sơ bộ rồi cho vào túi nilon đã được ghi nhãn các thông tin bằng bút không thấm nước. Mẫu cỏ sau đó được bảo quản ở nhiệt độ khoảng 15°C trong thùng xốp lạnh, vận chuyển về phòng thí nghiệm để phân tích.

#### *Bước 3: Xử lý mẫu cỏ biển*

Tại phòng thí nghiệm, sau khi mẫu cỏ đã được rửa sạch và để ráo thì tiến hành tách riêng từng loài và đếm mật độ chồi. Sau đó mẫu được tách riêng thành hai phần, bao gồm phần trên mặt đất (thân đứng và lá) và phần dưới mặt đất (thân rễ và rễ). Các phần trên mặt đất được sấy khô ở nhiệt độ 60°C trong vòng 48 giờ đến khối lượng không đổi. Xác định khối lượng bằng cân điện tử (sai số 0,1 g), thu được SKKTMĐ ở mỗi ÔTC (g khô/m<sup>2</sup>). Tại mỗi vị trí lấy mẫu, SKKTMĐ chính bằng tổng SKKTMĐ của cả ba ÔTC và được sử dụng để thành lập bản đồ SKKTMĐ.

### Giải đoán ảnh viễn thám

Dữ liệu ảnh viễn thám (ảnh vệ tinh Landsat 8 OLI) được tải xuống từ cơ sở dữ liệu của Tổng cục Địa chất Hoa Kỳ (<https://earthexplorer.usgs.gov>) với độ phân giải không gian là 30×30m. Tiếp theo, ảnh Landsat-8 được phân tích và xử lý bằng phần mềm ENVI 5.1 và QGIS 3.6. Quy trình xây dựng bản đồ hiện trạng và bản đồ sinh khối trên mặt đất (SKKTMĐ) của cỏ biển tại đầm Lăng Cô bao gồm các bước như sau: *i) Hiệu chỉnh bức xạ; ii) Hiệu chỉnh khí quyển; iii) Phân loại ảnh; iv) Đánh giá độ chính xác phương pháp phân loại; v) Xác định mô hình hồi quy giữa sinh khối trên mặt đất và các kênh ảnh và vi) thành lập bản đồ hiện trạng phân bố và SKKTMĐ cỏ biển.* Các nghiên cứu trước đây của Tín và cs. vào năm 2019 và 2020 cũng đã thành lập bản đồ hiện trạng của thảm cỏ biển theo các bước trên [9, 19].

### Phân tích hàm lượng cacbon

Lựa chọn loài chiếm ưu thế tại mỗi điểm thu mẫu để phân tích cacbon đại diện.

Phương pháp Wallkley – Black (theo TCVN 9294:2012) đã được sử dụng để xác định lượng cacbon hữu cơ có trong sinh khối khô cỏ biển bằng cách oxi hóa hữu cơ trong mẫu thử bằng dung dịch kali dicromat ( $K_2Cr_2O_7$  1N) trong môi trường axit sunfuric ( $H_2SO_4$ ) tại nhiệt độ hòa tan axit sunfuric đậm đặc vào dung dịch kali dicromat dư. Chuẩn độ lượng dư kali diromat bằng dung dịch muối sắt II amoni sunfat (muối morh) tiêu chuẩn. Từ các số liệu của thí nghiệm này, hàm lượng cacbon hữu cơ tính theo phần trăm (%OC) có trong mẫu được xác định theo công thức (1):

$$\%OC = \frac{V \times (a-b) \times 3 \times 100 \times 100}{a \times 75 \times 100 \times m} \quad (1)$$

trong đó: V: thể tích dung dịch  $K_2Cr_2O_7$  sử dụng (mL); A: thể tích dung dịch muối Mohr chuẩn độ mẫu trắng (mL); B: Thể tích dung dịch muối Mohr

chuẩn độ mẫu thử (mL); M: Khối lượng mẫu cân để xác định tính bằng gam (g); 3: đương lượng gam của cacbon tính bằng gam (g); 100/75: hệ số quy đổi (do phương pháp này có khả năng oxy hóa 75% tổng lượng cacbon hữu cơ).

Tính trữ lượng cacbon hữu cơ tính theo công thức (2):

$$C = m \times \%OC \quad (2)$$

trong đó: C là trữ lượng cacbon; m là tổng sinh khối khô tại mỗi mặt cắt (g); %OC là hàm lượng cacbon của loài ưu thế.

Để xác định SKKTMĐ tại mỗi khu vực, nghiên cứu tiến hành xây dựng mô hình hồi quy giữa SKKTMĐ và các kênh ảnh: sau khi hiệu chỉnh khí quyển, tiến hành xác định phổ phản xạ của các kênh ảnh tại các vị trí lấy mẫu và lưu trữ dữ liệu trong phần mềm MS. Excel. Nghiên cứu đã xây dựng biểu đồ mối tương quan giữa các kênh ảnh và SKKTMĐ qua các hàm Hàm số mũ, Hồi quy tuyến tính, Hàm logarit, Hàm đa thức và Hàm Power.

Các mô hình hồi quy đã thể hiện mối tương quan giữa SKKTMĐ và các kênh ảnh, nói cách khác đây là mô hình hồi quy một biến. Để cải thiện mối tương quan giữa sinh khối và chỉ số BRI, nghiên cứu tiến hành kết hợp dữ liệu các kênh ảnh nhằm xây dựng mô hình hồi quy đa biến.

Sau đó chọn ra giá trị  $R^2$  cao nhất và nghiên cứu tiến hành phân tích lỗi trung bình bình phương (RMSE) giữa các giá trị để nâng cao độ chính xác. RMSE là một hàm chi phí trên cơ sở xác định hiệu suất của mô hình trong việc đưa ra dự đoán hoặc tìm ước tính. Giá trị này càng gần với 0, mô hình sẽ càng tốt. RMSE được tính toán trên dữ liệu ước tính/ dự đoán bằng cách so sánh nó với các giá trị thực. RMSE được tính theo công thức (3):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (3)$$

trong đó,  $\hat{y}_i$  là giá trị ước lượng;  $y_i$  là biến độc lập;  $n = (N - k - 1) N$  là số tổng lượng quan sát;  $k$  là tổng lượng biến.

Từ lượng  $C$  ta tính được lượng  $CO_2$  từ đó xác định giá trị hấp thụ cacbon, lượng  $CO_2$  được tính theo công thức (4):

$$MC_{CO_2} = C \times 3,67 \quad (\text{tấn } CO_2) \quad (4)$$

trong đó:  $C$  là lượng cacbon; 3,67 là hệ số chuyển đổi từ cacbon nguyên tử ( $C$ ) sang cacbon điôxít ( $CO_2$ ).

### 3 Kết quả và thảo luận

#### 3.1 Đặc điểm sinh thái của cỏ biển

Các thông số về đặc điểm sinh thái của cỏ biển được tiến hành với 15 mẫu. Các loài *Thalassia hemprichii*, *Halodule uninervis* và *Halophila ovalis* được tìm thấy ở đầm Lăng Cô thường phân bố ở vùng nước nông ven bờ với độ sâu từ 0,3 - 1,1 m và độ phủ từ 20 - 35%, 70 - 100% và 10 - 65% tương ứng với từng loài. Loài *Halodule uninervis* chiếm ưu thế về mật độ chồi, từ 2876 - 25008 chồi/m<sup>2</sup> (trung bình đạt 11965,78 ± 8540,50 chồi/m<sup>2</sup>). Tiếp theo là loài *Halophila ovalis* có từ 1316 - 3644 chồi/m<sup>2</sup> (trung bình đạt 2100 ± 1337,20 chồi/m<sup>2</sup> và thấp nhất là loài

*Thalassia hemprichii* với 80 - 156 chồi/m<sup>2</sup> (trung bình đạt 116 ± 38,16 chồi/m<sup>2</sup>). Trong phần này, sinh khối không được thảo luận vì SKKTMĐ của từng khu vực nhỏ được tính toán dựa vào phương pháp sử dụng ảnh vệ tinh (sẽ được thảo luận kĩ hơn ở phần thành lập bản đồ SKKTMĐ).

#### 3.2 Đánh giá độ chính xác phương pháp phân loại

Kết quả phân loại quá trình giải đoán ảnh viễn thám năm 2021 cho thấy độ chính xác tổng thể và hệ số Kappa tương ứng với **95,5% và 0,94**. So sánh với các kết quả nghiên cứu trước của chúng tôi được thực hiện vào các năm 2001, 2010 và 2021, các độ chính xác tổng thể và hệ số Kappa đều cho kết quả tương ứng từ 90% và 0,9 trở lên [9]. Tuy nhiên, độ chính xác của kết quả phân loại vào năm 2021 tương đối cao hơn so với các năm được nghiên cứu trước bởi Hoàng Công Tín và cs. [9]. Điều này có thể được giải thích do ảnh được sử dụng để giải đoán vào năm 2021 là ảnh Landsat 8 có chất lượng ảnh cao hơn so với Landsat 7 (2001 và 2010), bên cạnh đó độ chính xác của từng lớp sau quá trình giải đoán được thể hiện ở Bảng 3 cao hơn so với các năm nghiên cứu trước được thực hiện bởi Hoàng Công Tín và cs. [9]. Chính vì vậy độ chính xác của nhà sản xuất và độ chính xác người dùng là rất cần thiết vì độ chính xác tổng thể không thể hiện được độ chính xác của từng lớp sau quá trình giải đoán.

**Bảng 3.** So sánh độ chính xác của các lớp phân loại với các nghiên cứu trước

Năm	Độ chính xác nhà sản xuất (%)						Độ chính xác người dùng (%)					
	1	2	3	4	5	TB	1	2	3	4	5	TB
2001*	88,0	98,0	86,3	98,4	94,2	92,9	88	98,0	88,0	90,2	96,1	92,1
2010*	95,7	95,2	97,8	95,5	89,8	94,8	95,7	88,9	100	91,3	96,4	94,5
2020*	85,7	94,8	98,0	95,6	98,0	94,4	93,3	98,2	96,2	89,6	94,2	94,4
<b>2021</b>	<b>93,8</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>88,2</b>			<b>100</b>	<b>100</b>	<b>88,9</b>	<b>93,8</b>		

*Chú thích:* \*= Hoàng Công Tín và cs. [9]; TB-Trung bình, 1- lớp cỏ, 2-lớp nước, 3-lớp bùn cát, 4-lớp cát, 5-lớp đất liền.

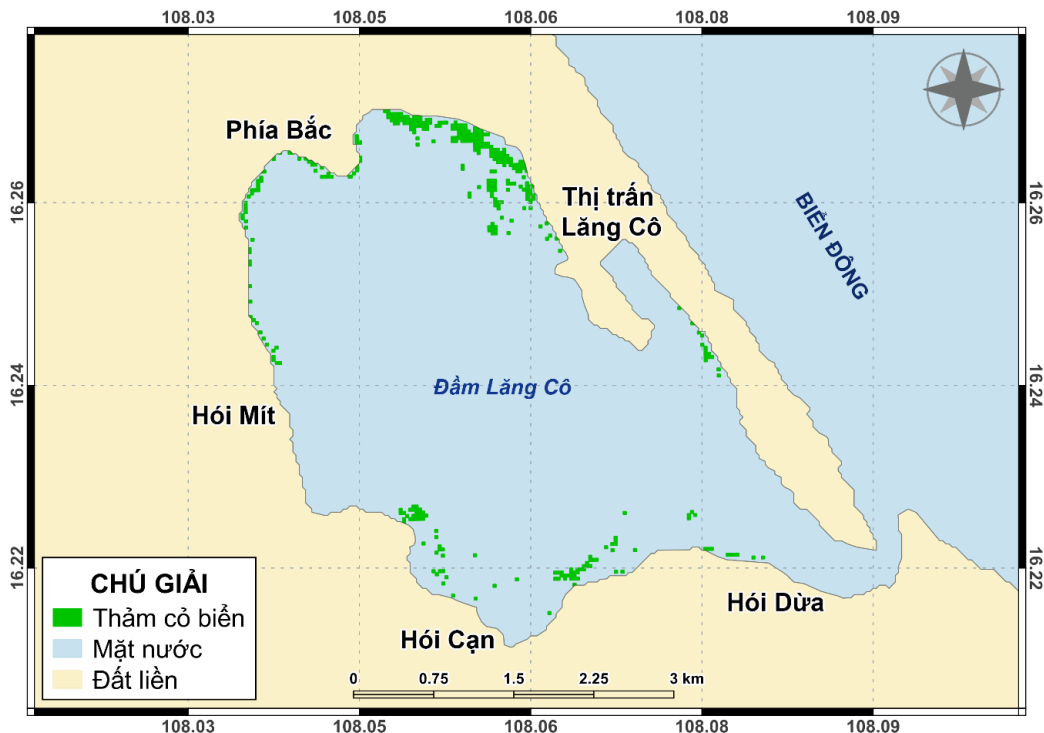
### 3.3 Hiện trạng phân bố của các thảm cỏ biển tại đầm Lăng Cô

Kết quả thu được từ quá trình giải đoán ảnh vệ tinh năm 2021 cho thấy rằng diện tích thảm cỏ biển tại đầm Lăng Cô đạt khoảng 36,18 ha (Hình 2). Các thảm cỏ biển tại đầm có khuynh hướng mọc thành từng cụm nhỏ và phân bố rải rác quanh đầm. Trong đó, cỏ biển phân bố nhiều nhất ở các khu vực giao giữa phía Bắc và Thị trấn Lăng Cô, nơi mà 2 loài cỏ biển *Halophila ovalis* và *Halodule uninervis* được tìm thấy. Các mảng nhỏ của cỏ biển cũng phân bố tại các khu vực Hói Cạn, Hói Dừa và Hói Mít. Riêng các khu vực giao giữa Hói Dừa và Thị trấn Lăng Cô, Hói Mít và Hói Cạn có rất ít sự xuất hiện của cỏ biển, thậm chí không có.

Theo nghiên cứu của Hoàng Công Tín và cs. [9], diện tích thảm cỏ biển được ghi nhận trong các năm 2001, 2010 và 2020 lần lượt là 94,32, 67,59 và 42,57 ha. Với 36,18 ha còn lại được ghi nhận vào

năm 2021 cho thấy rằng diện tích các thảm cỏ biển ở đầm Lăng Cô đã và đang bị suy giảm một cách nghiêm trọng. Điều này có thể được giải thích bởi sự tác động mạnh mẽ từ các hoạt động phát triển kinh tế lên các thảm cỏ biển trong quá khứ, với quy hoạch ước tính đạt 410 ha cho các mục đích sử dụng như xây dựng công trình, khu dân cư và các tuyến đường bờ biển [9, 10].

Bên cạnh đó, các hoạt động san lấp mặt bằng để phân lô cho các dịch vụ phát triển nhà hàng, địa điểm du lịch được xây dựng ngay trên đầm đã đóng góp đáng kể vào sự suy giảm diện tích thảm cỏ biển và gây suy thoái môi trường nước [10]. Ngoài ra, hoạt động nuôi hàu sử dụng hàng loạt các cọc tre đóng xuống gây tổn thương nền đáy nơi mà các thảm cỏ biển đang sinh sống cũng như việc sử dụng lớp xe nuôi hàu có thể ảnh hưởng đến chất lượng môi trường nước của đầm [9].



Hình 2. Sơ đồ hiện trạng phân bố thảm cỏ biển năm 2021



### 3.4 Thành lập bản đồ sinh khối khô trên mặt đất

Kết quả sau khi xác định mô hình hồi quy giữa SKKTMĐ thảm cỏ biển và các kênh 1 được thể hiện qua Bảng 4. Hệ số xác định giữa SKKTMĐ và kênh 1 đạt giá trị thấp ( $R^2 < 0,2$ ) tại các hàm logarit, hàm Power, hàm số mũ; đạt trị trung bình tại hàm đa thức bậc 2 và bậc 3 ( $0,5 < R^2 < 0,7$ ). Nhằm nâng cao kết quả hệ số xác định, nghiên cứu đã kết hợp bốn kênh phổ khả kiến (kênh 1, kênh 2, kênh 3, kênh 4), từ đó tiến hành xây dựng mô hình hồi quy đa biến các hàm đa thức bậc 2 và bậc 3. Hệ số xác định giữa SKKTMĐ và các kênh ảnh khả kiến đạt kết quả khá cao. Tại các hàm hồi quy một biến, giá trị  $R^2$  giữa kênh 1 và SKKTMĐ đạt giá trị cao nhất. Tuy nhiên, giá trị  $R^2$  các hàm hồi quy một biến đều thấp hơn hàm hồi quy đã kết hợp các kênh ảnh. Sau đó, nghiên cứu đã chọn các hàm hồi quy có giá trị  $R^2$  lớn hơn 0,7 để phân tích lỗi trung bình bình phương RMSE (Phụ lục 1). Kết quả phân tích lỗi trung bình bình phương thấp nhất là 7,6 khi kết hợp 3 kênh tại hàm hồi quy (1) tại phần Phụ lục 2. Vì vậy, nghiên cứu sử dụng công thức (1) tại phần Phụ lục 1 để xây dựng bản đồ SKKTMĐ sau khi hiệu chỉnh khí quyển.

$$SKKTMĐ = 2,17E-07*(k_4)^3 - 3,62E-05*(k_1)^2 - 0,44*k_3 + 337,82; R^2 = 0,88; RMSE = 7,6 \text{ g khô/m}^2$$

So với một số nghiên cứu thành lập bản đồ sinh khối, nghiên cứu này đạt kết quả tốt hơn của

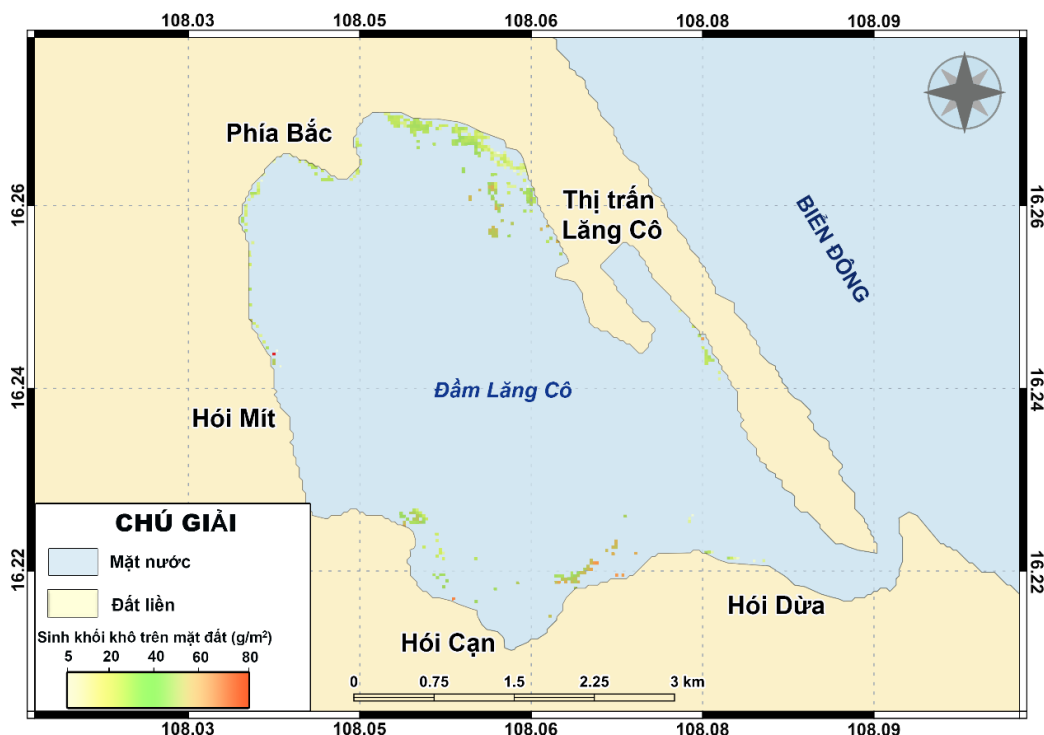
Koedsin và cs. [20] tại phía Nam Thái Lan ( $R^2 = 0,68$ ); Misbari và cs. [21] tại đảo Parang, Indonesia ( $R^2 = 0,83$ ); và Hằng và cs. [22] tại vùng ven biển An Chấn, tỉnh Phú Yên, mặc dù các nghiên cứu này sử dụng nguồn ảnh có độ phân giải không gian cao hơn ảnh Landsat-8. Điều này có thể do thảm cỏ biển của các khu vực nghiên cứu này phân bố đa loài, khoảng 3 - 6 loài rong/ cỏ biển kết hợp với nhau, mọc xen kẽ lẫn nhau nên hệ số xác định giữa sinh khối và phổ phản xạ thấp hơn khu vực Lăng Cô được bao phủ chủ yếu bởi các thảm cỏ biển đơn loài.

Thảm cỏ biển chủ yếu phân bố tại Hói Cạn và khu vực giao giữa thị trấn Lăng Cô và phía Bắc của đầm, với SKKTMĐ dao động từ 16,1 - 79,2 g khô/m<sup>2</sup>. Ngược lại, thảm cỏ biển nằm rải rác tại Hói Dừa, Hói Mít, và phía Bắc của đầm với SKKTMĐ trung bình dao động từ 9,1 - 56,8 g khô/m<sup>2</sup>, thấp hơn so với 2 khu vực Hói Cạn và khu vực phía bắc Thị trấn Lăng Cô (Hình 3). Nhìn chung, SKKTMĐ và diện tích các thảm cỏ biển tại Hói Dừa thấp nhất, có thể do chất lượng nước tại khu vực này bị ô nhiễm. Nguyên nhân chủ yếu là tình trạng bồi lắng khu vực cửa đầm dẫn đến sự suy giảm của quá trình trao đổi nước giữa biển và đầm Lăng Cô [23]. Ngoài ra, người dân tại khu vực Hói Dừa và Hói Mít có xu hướng nuôi hàu bằng lớp cao su, điều này có thể ảnh hưởng đến môi trường nước và hệ sinh thái thảm cỏ biển.

**Bảng 4.** Mô hình hồi quy giữa SKKTMĐ và các kênh 1

Mô hình hồi quy	SKKTMĐ và các kênh ảnh	
	Công thức	R <sup>2</sup>
Hồi quy tuyến tính	$SKKTMĐ = -1,52*k_1 + 989,78$	0,15
Hàm logarit	$SKKTMĐ = -25,02\ln(k_1) + 1023,5$	0,11
Hàm đa thức bậc hai	$SKKTMĐ = -0,1331*(k_1)^2 + 9,16*k_1 + 850,98$	0,56
Hàm đa thức bậc ba	$SKKTMĐ = -0,0039*(k_1)^3 + 0,3439*(k_1)^2 - 6,78*k_1 + 982,45$	0,66

Mô hình hồi quy	SKKTMĐ và các kênh ảnh	
	Công thức	R <sup>2</sup>
Hồi quy Power	$SKKTMĐ = 1043,6*(k_1)^{-0,033}$	0,12
Hàm số mũ	$SKKTMĐ = 994,34e^{-0,002*k_1}$	0,15



Hình 3. Sơ đồ sinh khối khô trên mặt đất của thảm cỏ biển tại đầm Lãng Cô

### 3.5 Khả năng lưu trữ và hấp thụ cacbon của thảm cỏ biển tại đầm Lãng Cô dựa vào bản đồ sinh khối khô trên mặt đất

Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng trữ lượng cacbon trung bình ở đầm Lãng Cô là 1,11 tấn tương đương 4,06 tấn CO<sub>2</sub>. Tổng trữ lượng cacbon của cỏ biển ở đầm Lãng Cô đạt được 5,54 tấn cacbon tương đương với lượng CO<sub>2</sub> là 20,32 tấn, trong đó sự đóng góp của loài *Halodule uninervis* chiếm đến 61% vào tổng trữ lượng cacbon (Bảng 5). Do không có sự khác biệt đáng kể về loài chiếm ưu thế tại đầm Lãng Cô nên nghiên cứu không có sự so sánh về khả năng lưu trữ cacbon giữa các loài với nhau.

Ngoài ra, các kết quả nghiên cứu về trữ lượng cacbon trong sinh khối cỏ biển tại các khu vực đầm phá khác cho thấy rằng đầm phá TG-CH ghi nhận 10.068,8 tấn cacbon tương đương với lượng CO<sub>2</sub> là 36.952,5 tấn, đầm Nại với 210,7 tấn cacbon tương đương với 773,3 tấn CO<sub>2</sub> và đầm Thị Nại với 136,7 tấn cacbon tương đương với lượng CO<sub>2</sub> là 501 tấn [12]. Từ đó cho thấy rằng trữ lượng cacbon tại đầm Lãng Cô được ghi nhận là thấp nhất. Điều này có thể được giải thích dựa vào diện tích phân bố cỏ biển và loài chiếm ưu thế tại mỗi khu vực nghiên cứu. Đầm Lãng Cô ghi nhận diện tích phân bố cỏ biển nhỏ nhất (36,18 ha) và loài *Halodule uninervis* với kích thước nhỏ chiếm ưu thế

ở toàn bộ đầm phá, trong khi đó các loài có kích thước lớn như loài lươn Nhật (*Zostera japonica*) chiếm ưu thế tại TG-CH và đầm Thị Nại, cỏ lá dứa (*Enhalus acoroides*) tại đầm Nại.

Trong nghiên cứu này, vì phương pháp sử dụng ảnh vệ tinh chỉ có thể xác định được SKKTMD nên nghiên cứu chỉ tập trung vào tính toán SKKTMD mà không tính toán đến sinh khối tổng.

**Bảng 5.** Giá trị cacbon có trong cỏ biển đầm Lăng Cô.

Vị trí	TP loài	Độ phủ (%)	Mật độ chồi (chồi/m <sup>2</sup> )	%OC (tại mỗi điểm)	Diện tích từng khu vực (ha)	SKKTMD (tấn khô)	Trữ lượng cacbon (tấn)	Lượng CO <sub>2</sub> hấp thụ (tấn)
LC2 (Hói Dừa)	<i>Thalassia hemprichii</i>	20-35	116 ± 38,15	46,62 ± 3,11	0,99	0,24	0,11	0,41
LC4 (Hói Cạn)	<i>Halodule uninervis</i>	100	21874,67 ± 2802,38	49,37 ± 4,88	7,56	3,86	1,91	6,99
LC5 (Hói Mít)	<i>Halodule uninervis</i>	95-100	9342,67 ± 6666,24	45,25 ± 4,41	1,26	0,47	0,21	0,78
LC14 (phía Bắc của đầm)	<i>Halodule uninervis</i>	70-95	4680 ± 1498,13	43,99 ± 3,55	9,45	2,84	1,25	4,58
LC16 (Thị trấn Lăng Cô)	<i>Halophila ovalis</i>	10-65	2100 ± 1337,20	33,31 ± 1,60	16,92	6,18	2,06	7,55
<b>Tổng cộng</b>						<b>13,59</b>	<b>5,54</b>	<b>20,32</b>

#### 4 Kết luận

Loài *Halodule uninervis* chiếm ưu thế về mật độ chồi, từ 2876 - 25008 chồi/m<sup>2</sup> (trung bình đạt 11965,78 ± 8540,50 chồi/m<sup>2</sup>). Tiếp theo là loài *Halophila ovalis* và *Thalassia hemprichii*.

Một ảnh viễn thám Landsat 8 OLI được sử dụng có chất lượng tốt với kết quả độ chính xác tổng thể và hệ số Kappa tương đối cao 95,5% và 0,94 tương ứng.

Diện tích của các thảm cỏ biển được ghi nhận vào năm 2021 chỉ còn lại khoảng 36,18 ha, phân bố nhiều nhất ở các khu vực giao giữa Thị trấn Lăng Cô và phía Bắc của đầm. Các mảng nhỏ của cỏ biển cũng phân bố tại các khu vực Hói Cạn, Hói Dừa và Hói Mít. Riêng các khu vực giao giữa Hói Dừa và Thị trấn Lăng Cô, Hói Mít và Hói Cạn

có rất ít sự xuất hiện của cỏ biển, thậm chí thảm cỏ biển không phân bố tại một số khu vực.

Nghiên cứu cũng đã thành lập bản đồ sinh khối thông qua việc xây dựng hàm hồi quy giữa phổ phản xạ của các kênh ảnh Landsat và sinh khối khô trên mặt đất. Từ đó tính toán được tổng trữ lượng cacbon của thảm cỏ biển ở đầm Lăng Cô, với 5,54 tấn cacbon tương đương với lượng CO<sub>2</sub> là 20,32 tấn, trong đó loài *Halodule uninervis* đóng góp 61% vào tổng trữ lượng cacbon. Do đó, nghiên cứu đã chứng minh được tầm quan trọng của thảm cỏ biển tại đầm Lăng Cô trong việc hấp thụ khí thải CO<sub>2</sub> từ khí quyển, góp phần ứng phó với biến đổi khí hậu hiện nay.

## Lời cảm ơn

Tập thể tác giả xin chân thành cảm ơn Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế đã hỗ trợ và tạo môi trường thuận lợi để thực hiện đề tài. Nghiên cứu này được tài trợ bởi Viện Độc lập các Vấn đề Môi trường (UfU, Berlin), đơn vị tài trợ Văn phòng Đối ngoại, CHLB Đức và Nhóm nghiên cứu mạnh Tài nguyên, Môi trường và Sinh thái vùng ven biển của Đại học Huế (DHH-NCM-2020.03).

## Tài liệu tham khảo

1. Worrell E, Bernstein L, Roy J, Price L, Harnisch J. Industrial energy efficiency and climate change mitigation. *Energy Efficiency*. 2009;2:109-123.
2. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change: Impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press; 2001.
3. Su L, Huang Y. Seagrass Resource Assessment Using WorldView- 2 Imagery in the Redfish Bay, Texas. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2019;7(4):98.
4. Ricart AM, York PH, Bryant C. High variability of Blue Carbon storage in seagrass meadows at the estuary scale. *Scientific Reports*. 2020;10:5865.
5. Samantha LG, Nicola JB. The effect of ocean acidification on carbon storage and sequestration in seagrass beds; a global and UK context. *Marine Pollution Bulletin*. 2014;86:138-146.
6. Banolas G, Fernandez S, Espino F, Haroun R, Tuya F. Evaluation of carbon sinks by the seagrass *Cymodocea nodosa* at an oceanic island: Spatial variation and economic valuation. *Ocean and Coastal Management*. 2020;187.
7. Luong CV, Tien NV, Komatsu T, Ve ND, Tien DD. Status and threats on seagrass beds using GIS in Vietnam. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 2012;8525.
8. Cristian S, Carlos MD, Paul SL, Pere M, Ariane AO, Javier XL, David C, et al. Seagrass losses since mid-20th century fuelled CO<sub>2</sub> emissions from soil carbon stocks. *Global change biology*. 2020;26(9):4772-4784.
9. Tín HC, Tư NHC, Uyên NT. Đánh giá hiện trạng và biến động thảm cỏ biển ở đầm Lăng Cô, tỉnh Thừa Thiên Huế giai đoạn 2001-2020. *Tạp chí Khoa học Đại học Huế: Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn*. 2020;129(3D).
10. Dũng PN. Nghiên cứu tác động của các yếu tố kinh tế-xã hội đến thực vật ngập mặn ở đầm Lập An, huyện Phú Lộc, tỉnh Thừa Thiên Huế. *Tạp chí Nghiên cứu và Phát triển*. 2013;2(91),71-82.
11. Fourqurean JW, Duarte CM, Kennedy H, Marbà N, Holmer M, Mateo MA, et al. Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience*. 2012;5(7):505-509.
12. Luong CV. Nghiên cứu đặc điểm quần xã cỏ biển và khả năng lưu trữ cacbon của chúng ở một số đầm phá tiêu biểu Khu vực miền trung Việt Nam [master's thesis]. Hà Nội: Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam; 2019.
13. Vinh PQ, Ha NTT, Pahlevan N, Oanh LT, Binh NT, Thang NN. Using Landsat-8 Images for Quantifying Suspended Sediment Concentration in Red River (Northern Vietnam). *Remote Sensing*. 2018; 10(11):1841.
14. Dũng PN, Tín HC, Pháp TT. Thành phần loài và phân bố của thực vật ngập mặn ở đầm Lập An, huyện Phú Lộc, tỉnh Thừa Thiên Huế. *Tạp chí khoa học Đại học Huế*. 2012;75(6A):37-48.
15. Khoa A. Nuôi tôm trái phép gây ô nhiễm vịnh Lăng Cô. *Báo Công an nhân dân* [Internet]. 2015. [2022 January 15]. Available from: <https://cand.com.vn/dieu-tra-theo-don-ban-doc/Nuoi-tom-trai-phep-gay-o-nhiem-vinh-Lang-Co-i375126/>
16. Hà BTT, Hà TTT. Động thái phát triển khu nghỉ dưỡng biển Lăng Cô – Thừa Thiên Huế. *Tạp chí Khoa học Đại học Huế: Kinh tế và Phát triển*. 2017;126(5D):189-203.
17. Chất TT, Tý N, Ny HH, Trâm NDQ, Thủy NTTTT, Nghĩa VĐ, et al. Hiện trạng nuôi hàu tại đầm Lập An, thị trấn Lăng Cô huyện Phú Lộc, tỉnh Thừa Thiên Huế. *Tạp chí Khoa học Đại học Huế: Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn*. 2021;130(3A):25-36.
18. McKenzie LJ. Guidelines for the rapid assessment of seagrass habitat in the western Pacific. *Seagrass – Watch, Northern Fisheries Center, Cairns, Australia*; 2003.

19. Tin HC, Uyen NT, Hieu DV, Ni TNK, Tu NHC, Saizen I. Decadal dynamics and challenges for seagrass beds management in Cu Lao Cham Marine Protected Area, Central Vietnam, Environment, Development and Sustainability. 2019;22:7639-7660.
20. Koedsin W, Intararuang W, Ritchie RJ, Huete A. An Integrated Field and Remote Sensing Method for Mapping Seagrass Species, Cover, and Biomass in Southern Thailand. Remote Sensing. 2016;8:292.
21. Misbari S, Hashim M. Change Detection of Submerged Seagrass Biomass in Shallow Coastal Water. Remote Sensing. 2016;8(3):200.
22. Hằng NTT, Hoà NT, Tư NV, Lâm NN. Spatial distribution of submerged aquatic vegetation in An Chan coastal waters, Phu Yen province using the PlanetScope satellite image. Vietnam Journal of Earth Sciences. 2019;41:358-373.
23. Tài nguyên và Môi trường (TN & MT). Thừa Thiên Huế: Đầm Lập An bị bồi lắng nghiêm trọng, nguy cơ ô nhiễm cao [Internet]. 2018. [2022 January 22]. Available from: <https://baotainguyenmoitruong.vn/thua-thien-hue-dam-lap-an-bi-boi-lang-nghiem-trong-nguy-co-o-nhiem-cao-239233.html>.

## Phụ lục

**Phụ lục 1. Mô hình hồi quy giữa sinh khối trên mặt đất và các kênh ảnh**

Mô hình hồi quy	Một biến		Đa biến	
	Công thức	R <sup>2</sup>	Công thức	R <sup>2</sup>
Hàm đa thức bậc hai	$SKKTMĐ = -0,1331*(k_1)^2 + 9,16*k_1 + 850,98$	0,56	$SKKTMĐ = -1,65E-05*(k_1)^2 - 0,05*k_2 + 86,22$	0,12
	$SKKTMĐ = -0,1259*(k_2)^2 + 8,6219*k_2 + 708,81$	0,43	$SKKTMĐ = -1,2E-05*(k_1)^2 - 0,06*k_3 + 87,10$	0,13
	$SKKTMĐ = -0,0986*(k_3)^2 + 6,0929*k_3 + 773,08$	0,28	$SKKTMĐ = -0,00011*(k_1)^2 + 0,08*k_4 + 70,31$	0,19
	$SKKTMĐ = -0,1527*(k_4)^2 + 11,212*k_4 + 585,72$	0,03	$SKKTMĐ = 0,000186164*(k_2)^2 - 0,40*k_1 + 283,41$	0,25
			$SKKTMĐ = 4E-05*(k_2)^2 - 0,12*k_3 + 102,62$	0,14
			$SKKTMĐ = -0,0001*(k_2)^2 + 0,07*k_4 + 46,96$	0,12
			$SKKTMĐ = 1,20E-05*(k_3)^2 - 0,12*k_1 + 132,58$	0,15
			$SKKTMĐ = -3,6E-06*(k_3)^2 - 0,07*k_2 + 90,58$	0,12
			$SKKTMĐ = -0,00035*(k_3)^2 + 0,39*k_4 - 9,77$	0,48
			$SKKTMĐ = 8,73E-05*(k_4)^2 - 0,27*k_1 - 238,52$	0,35
		$SKKTMĐ = 8,92E-05*(k_4)^2 - 0,25*k_2 - 179,73$	0,30	
		<b><math>SKKTMĐ = 0,000273*(k_4)^2 - 0,56*k_3 - 343,90</math></b>	<b>0,82</b>	
Hàm đa thức bậc ba	$SKKTMĐ = -0,0039*(k_1)^3 + 0,3439*(k_1)^2 - 6,78*k_1 + 982,45$	0,66	$SKKTMĐ = -2,70E-08*(k_1)^3 + 7,88E-05*(k_2)^2 - 0,12*k_3 + 99,46$	0,15
	$SKKTMĐ = -0,006*(k_2)^3 + 0,6125*(k_2)^2 - 16,05*k_2 + 912,29$	0,63	$SKKTMĐ = -3,78E-08*(k_1)^3 - 4,95E-05*(k_2)^2 + 0,07*k_4 + 43,18$	0,13
	$SKKTMĐ = -0,0075*(k_3)^3 + 0,8247*(k_3)^2 - 24,759*k_3 + 1027,5$	0,50	$SKKTMĐ = 4,24E-08*(k_1)^3 - 9,95E-06*(k_3)^2 - 0,16*k_2 + 126,56$	0,13
	$SKKTMĐ = -0,0113*(k_4)^3 + 1,2409*(k_4)^2 - 35,355*k_4 + 969,79$	0,52	$SKKTMĐ = -1,42E-08*(k_1)^3 - 0,0003375*(k_3)^2 + 0,40*k_4 - 8,78$	0,48
			$SKKTMĐ = -7,98E-09*(k_1)^3 + 8,81E-05*(k_4)^2 - 0,26*k_2 + 186,27$	0,30

Mô hình hồi quy	Một biến		Đa biến	
	Công thức	R <sup>2</sup>	Công thức	R <sup>2</sup>
			SKKTMĐ = -1,44E-08*(k <sub>1</sub> ) <sup>3</sup> + 0,0002764*(k <sub>4</sub> ) <sup>2</sup> - 0,54*k <sub>3</sub> + 338,15	0,59
			SKKTMĐ = 2,34E-07*(k <sub>2</sub> ) <sup>3</sup> - 0,000198162*(k <sub>1</sub> ) <sup>2</sup> - 0,15*k <sub>3</sub> + 204,44	0,34
			SKKTMĐ = 1,41E-07*(k <sub>2</sub> ) <sup>3</sup> - 0,0002237*(k <sub>1</sub> ) <sup>2</sup> + 0,04*k <sub>4</sub> + 127,02	0,26
			SKKTMĐ = 2,41E-07*(k <sub>2</sub> ) <sup>3</sup> - 5,67E-05*(k <sub>3</sub> ) <sup>2</sup> - 0,45*k <sub>1</sub> + 363,50	0,40
			SKKTMĐ = 1,84E-08*(k <sub>2</sub> ) <sup>3</sup> - 0,0003644*(k <sub>3</sub> ) <sup>2</sup> + 0,39*k <sub>4</sub> - 7,54	0,48
			SKKTMĐ = 1,35E-07*(k <sub>2</sub> ) <sup>3</sup> + 5,62E-05*(k <sub>4</sub> ) <sup>2</sup> - 0,46*k <sub>1</sub> + 364	0,42
			SKKTMĐ = 2,25E-08*(k <sub>2</sub> ) <sup>3</sup> + 0,00026829*(k <sub>4</sub> ) <sup>2</sup> - 0,58*k <sub>3</sub> + 353,46	0,82
			SKKTMĐ = 2,04E-08*(k <sub>3</sub> ) <sup>3</sup> - 2,56E-05*(k <sub>1</sub> ) <sup>2</sup> - 0,08*k <sub>2</sub> + 103,71	0,13
			SKKTMĐ = -1,62E-07*(k <sub>3</sub> ) <sup>3</sup> - 7,24E-05*(k <sub>1</sub> ) <sup>2</sup> + 0,28*k <sub>4</sub> - 11,43	0,31
			SKKTMĐ = -3,46E-09*(k <sub>3</sub> ) <sup>3</sup> + 0,000190534*(k <sub>2</sub> ) <sup>2</sup> - 0,40*k <sub>1</sub> + 282,20	0,25
			SKKTMĐ = -1,78E-07*(k <sub>3</sub> ) <sup>3</sup> - 5,68E-05*(k <sub>2</sub> ) <sup>2</sup> + 0,29*k <sub>4</sub> - 34,17	0,28
			SKKTMĐ = -2,13E-07*(k <sub>3</sub> ) <sup>3</sup> + 0,000260898*(k <sub>4</sub> ) <sup>2</sup> - 0,16*k <sub>1</sub> + 162,64	0,61
			SKKTMĐ = -2,21E-07*(k <sub>3</sub> ) <sup>3</sup> + 0,00026418*(k <sub>4</sub> ) <sup>2</sup> - 0,13*k <sub>2</sub> + 119,97	0,58
			SKKTMĐ = 9,48E-08*(k <sub>4</sub> ) <sup>3</sup> - 6,50E-05*(k <sub>1</sub> ) <sup>2</sup> - 0,17*k <sub>2</sub> + 181,77	0,40
			SKKTMĐ = 2,17E-07*(k <sub>4</sub> ) <sup>3</sup> - 3,62E-05*(k <sub>1</sub> ) <sup>2</sup> - 0,44*k <sub>3</sub> + 337,82 (1)	0,88
			SKKTMĐ = 8,17E-08*(k <sub>4</sub> ) <sup>3</sup> + 5,99E-05*(k <sub>2</sub> ) <sup>2</sup> - 0,37*k <sub>1</sub> + 305,86	0,44
			SKKTMĐ = 2,13E-07*(k <sub>4</sub> ) <sup>3</sup> + 4,05E-06*(k <sub>2</sub> ) <sup>2</sup> - 0,49*k <sub>3</sub> + 341,09	0,87
			SKKTMĐ = 2,31E-07*(k <sub>4</sub> ) <sup>3</sup> - 0,000276577*(k <sub>3</sub> ) <sup>2</sup> - 0,10*k <sub>1</sub> + 222,15	0,84
			SKKTMĐ = 2,32E-07*(k <sub>4</sub> ) <sup>3</sup> - 0,00029604*(k <sub>3</sub> ) <sup>2</sup> - 0,05*k <sub>2</sub> + 181,24	0,81

**Phụ lục 2**

---

Hàm hồi quy	R <sup>2</sup>	RMSE
$SKKTMD = -1,44E-08*(k_1)^3 + 0,0002764*(k_4)^2 - 0,54*k_3 + 338,15$	0,82	8,9
$SKKTMD = 2,25E-08*(k_2)^3 + 0,00026829*(k_4)^2 - 0,58*k_3 + 353,46$	0,82	8,9
<b><math>SKKTMD = 2,17E-07*(k_4)^3 - 3,62E-05*(k_1)^2 - 0,44*k_3 + 337,82</math> (1)</b>	<b>0,88</b>	<b>7,6</b>
$SKKTMD = 2,13E-07*(k_4)^3 + 4,05E-06*(k_2)^2 - 0,49*k_3 + 341,09$	0,87	7,9
$SKKTMD = 2,31E-07*(k_4)^3 - 0,000276577*(k_3)^2 - 0,10*k_1 + 222,15$	0,84	8,7
$SKKTMD = 2,32E-07*(k_4)^3 - 0,00029604*(k_3)^2 - 0,05*k_2 + 181,24$	0,81	9,5