

ĐỊNH DANH VÀ BIẾN ĐỘNG HÀM LƯỢNG CHLOROPHYLL CỦA LOÀI RONG LỤC THUỘC CHI *Ulva* CHIẾM ƯU THẾ TẠI KHU VỰC HƯƠNG PHONG, ĐÀM PHÁ TAM GIANG, THÀNH PHỐ HUẾ

Nguyễn Anh Tuấn¹, Hoàng Tấn Quảng², Hoàng Nghĩa Mạnh¹, Nguyễn Xuân Dũng^{1,3}, Lê Minh Tuệ¹,
Hà Nam Thắng¹, Nguyễn Thị Thuý Hằng^{1,4*}

¹ Khoa Thủy sản, Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế, Huế, Việt Nam

² Viện công nghệ sinh học, Đại học Huế, Huế, Việt Nam

³ Công ty TNHH Dogs & Cats Việt Nam, Đà Nẵng, Việt Nam

* Tác giả liên hệ Nguyễn Thị Thuý Hằng <ntthang.dhnl@hueuni.edu.vn>

(Ngày nhận bài: 19-04-2026; Hoàn thành phản biện: 05-06-2026; Ngày chấp nhận đăng: 25-06-2026)

Tóm tắt. Các loài thuộc chi rong biển *Ulva* phân bố rộng trên thế giới, đóng vai trò quan trọng trong hệ sinh thái và có tiềm năng ứng dụng trong nhiều lĩnh vực, nhưng có thể gây hiện tượng “thủy triều xanh” khi môi trường giàu dinh dưỡng. Mục đích của nghiên cứu là định danh loài rong *Ulva* phát triển tại các ao nuôi thủy sản thuộc khu vực Hương Phong, Đầm phá Tam Giang, Thành phố Huế, và khảo sát sự biến động hàm lượng chlorophyll a, b theo thời gian. Mẫu rong (100–200g/mẫu) được thu thập từ tháng 3 đến tháng 9/2025 và được định danh bằng sự kết hợp của đặc điểm hình thái với hai chỉ thị phân tử *tufA* và *rbcL*. Kết quả phân tích trình tự DNA cho thấy mẫu rong có mức tương đồng 99–100% với *Ulva limnetica* và nằm trong cùng nhánh trên cây phát sinh loài. Đặc điểm hình thái cũng phù hợp với mô tả của loài này. Hàm lượng chlorophyll a và b biến động mạnh theo mùa sinh trưởng của rong, dao động từ 0,23–1,20 và 0,20–0,61 mg.gww⁻¹ (miligam trên mỗi gam khối lượng tươi) từ tháng 3 đến tháng 9, ngoại trừ tháng 6 giảm mạnh còn 0,01 mg.gww⁻¹ ($p < 0,05$). Kết quả nghiên cứu là cơ sở khoa học về loài *U. limnetica* phân bố tại Đầm phá Tam Giang, góp phần hỗ trợ dự báo, kiểm soát “thủy triều xanh” và định hướng khai thác tiềm năng ứng dụng của loài này theo hướng bền vững trong tương lai.

Từ khóa: *Ulva limnetica*, Đầm phá Tam Giang, chlorophyll a và b, định danh phân tử, thủy triều xanh

Taxonomic identification and chlorophyll content variation of dominant green macroalgae belonging to genus *Ulva* in Hương Phong area, Tam Giang Lagoon, Hue City

Nguyen Anh Tuan¹, Hoang Tan Quang², Hoang Nghia Manh¹, Nguyen Xuan Dung³, Le Minh Tue¹,
Ha Nam Thang¹, Nguyen Thi Thuy Hang^{1,4*}

¹ University of Agriculture and Forestry, Hue University, Hue, Vietnam

² Institute of Biotechnology, Hue University, Hue, Vietnam

³ Dogs & Cats Vietnam Company Limited, Danang, Vietnam

* Correspondence to Nguyen Thi Thuy Hang <ntthang.dhnl@hueuni.edu.vn>

(Received: 19 April 2026; Revised: 05 June 2026; Accepted: 25 June 2026)

Abstract. Species of the genus *Ulva* are widely distributed worldwide, play an important role in aquatic ecosystems, and have high potential for applications in various fields; however, they can also cause “green tide” events under nutrient-enriched conditions. This study aimed to identify the dominant *Ulva* species in aquaculture ponds in Huong Phong, Tam Giang Lagoon, and to investigate temporal variation in chlorophyll a and b contents. The samples were collected from March to September 2025 and identified by using a combination of morphological characteristics and two molecular markers, *tufA* and *rbcL*. The DNA sequence analysis revealed that the samples exhibited 99–100% similarity to *Ulva limnetica* and clustered within the same clade in the phylogenetic trees based on both markers. Morphological characteristics were also consistent with the descriptions of this species. The chlorophyll a and b contents showed significant seasonal variation ($p < 0.05$). The chlorophyll a and b content ranged from 0.23 to 1.20 and 0.20 to 0.61 mg·gww⁻¹, respectively, from March to September, except for a sharp decline in June to 0.01 mg·gww⁻¹ for both pigments ($p < 0.05$). These findings provide a scientific basis for the occurrence of *Ulva limnetica* in Tam Giang Lagoon, contributing to the prediction and control of green tide events and supporting the sustainable utilisation and potential applications of this species in the future.

Keywords: *Ulva limnetica*, Tam Giang – Cau Hai Lagoon, chlorophyll a and b, molecular identification, green tide

1 Mở đầu

Ulva L. (Ulvophyceae, Chlorophyta), một trong những chi rong biển có sự phân bố rộng và đa dạng về thành phần loài. Các đại diện của chi này sống ở nhiều khu vực khác nhau từ nhiệt đới đến vùng cực trong các môi trường nước mặn, nước lợ và nước ngọt [1]. Chúng chủ yếu tồn tại dưới hai dạng hình thái gồm dạng phiến tản và dạng ống hoặc dạng sợi [2]. Trong hệ sinh thái tự nhiên, *Ulva* đóng vai trò sinh vật sản xuất sơ cấp, đồng thời được xem như chỉ thị tin cậy cho hiện tượng phú dưỡng [3]. Hiện nay, nhiều loài *Ulva* đã được nghiên cứu và ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như nuôi trồng thủy sản đa dinh dưỡng tích hợp [4], làm phân bón hoặc chất kích thích sinh trưởng thực vật [5], nguồn khai thác các hợp chất có hoạt tính sinh học [6], đồng thời là nguồn thực phẩm tiềm năng và nguyên liệu sản xuất nhiên liệu sinh học [7]. Tuy nhiên, dưới điều kiện môi trường phú dưỡng, các loài *Ulva* có thể phát triển quá mức dẫn đến hiện tượng “thủy triều xanh” gây hại, dẫn đến hậu quả tiêu cực đối với cả hệ sinh thái và kinh tế [8, 9]. Xuất phát từ vai trò quan trọng của *Ulva* đối với hệ sinh thái tự nhiên và ứng dụng tiềm năng của chúng trong nhiều lĩnh vực đời sống, các loài rong biển thuộc chi này đang nhận được nhiều sự chú ý ở trong nước và thế giới.

Tam Giang – Cầu Hai là hệ đầm phá lớn nhất Đông Nam Á, có hệ sinh thái giàu thực vật thủy sinh và chịu áp lực phú dưỡng mạnh [10]. Tính đến thời điểm hiện tại, rất ít nghiên cứu khoa học công bố về hiện

tượng thủy triều xanh do *Ulva* gây ra ở khu vực Đầm phá Tam Giang – Cầu Hai. Tuy nhiên, hiện tượng phát triển quá mức của *Ulva* đã được quan sát và ghi nhận tại nhiều vùng trong khu hệ đầm phá này [11]. Nhằm chủ động ngăn chặn sớm hậu quả tiêu cực của sự phát triển quá mức do các loài thuộc chi *Ulva* gây ra, các nghiên cứu liên quan đến phân loại, định danh chính xác loài, các chỉ số liên quan đến sự sinh trưởng và phát triển của *Ulva* gắn với biến động môi trường như chlorophyll a và b sẽ đóng vai trò quan trọng. Đồng thời, những nghiên cứu này sẽ góp phần cung cấp cơ sở khoa học cho việc khai thác tiềm năng ứng dụng của *Ulva* trong nhiều lĩnh vực đời sống.

Một trong những điểm đáng lưu ý là việc phân loại chi *Ulva* dựa trên các đặc điểm hình thái gặp nhiều khó khăn và có thể dẫn đến sai sót do hệ thống phân loại chưa hoàn thiện và mức độ biến dị/biến đổi hình thái cao dưới các điều kiện môi trường khác nhau [12]. Trong những năm gần đây, việc kết hợp dữ liệu trình tự DNA và đặc điểm hình thái – giải phẫu đã trở thành một cách tiếp cận tiêu chuẩn trong các nghiên cứu về đa dạng loài của chi *Ulva* [13].

Trên cơ sở đó, nghiên cứu này tiến hành phân loại và định danh loài *Ulva* phát triển ưu thế nhất tại các ao nuôi thủy sản thuộc khu vực Hương Phong, Đầm phá Tam Giang, dựa trên sự kết hợp giữa đặc điểm hình thái và chỉ thị phân tử (*tufA* và *rbcL*) vốn được đánh giá có độ ổn định và tính nhất quán cao trong phân định loài *Ulva* [1]. Bên cạnh đó, nghiên cứu

cũng khảo sát sự biến động về hàm lượng và tỷ lệ chlorophyll a và b theo thời gian của mẫu rong *Ulva* chiếm ưu thế tại khu vực này. Các kết quả thu được sẽ là cơ sở khoa học cho việc dự báo và kiểm soát hiện tượng phát triển quá mức của *Ulva*, đồng thời hỗ trợ định hướng khai thác hiệu quả nguồn tài nguyên này trong các lĩnh vực ứng dụng.

2 Vật liệu và phương pháp

2.1 Vật liệu

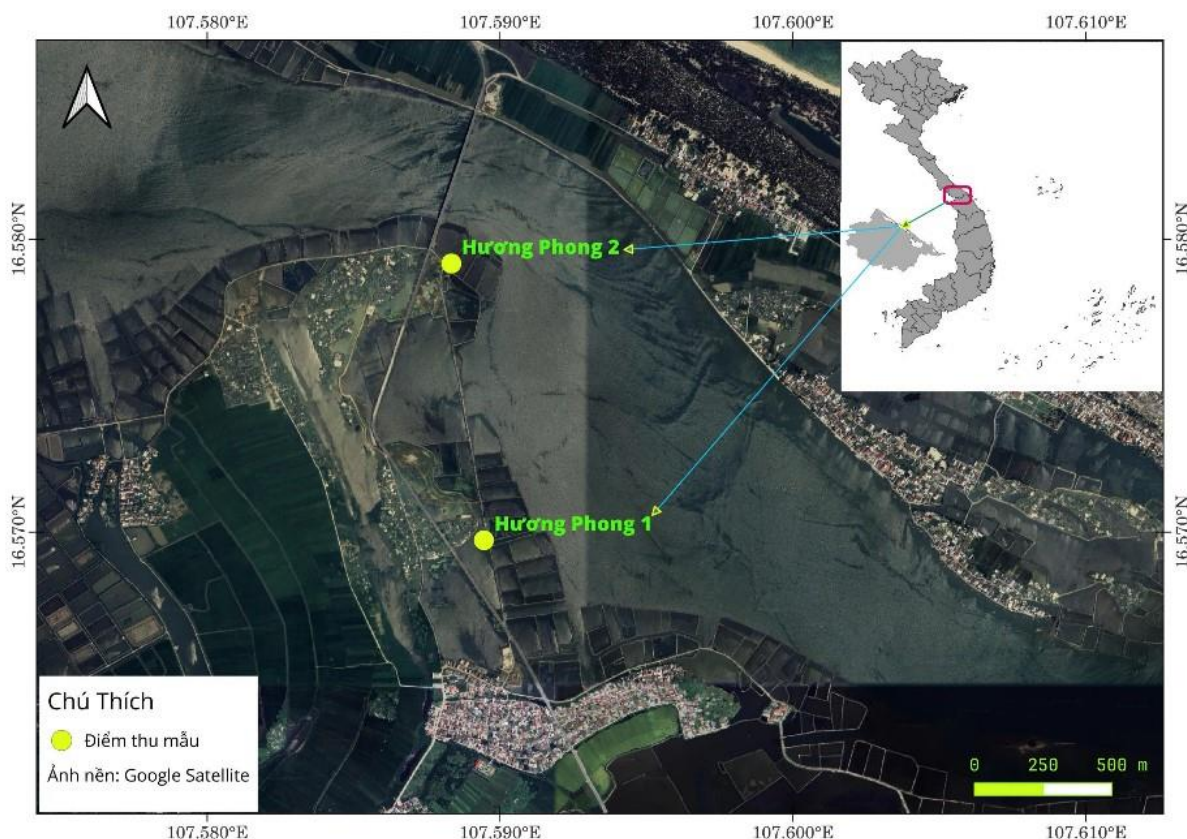
Mẫu rong *Ulva* được thu thập tại hai ao nuôi trồng thủy sản ven phá thuộc khu vực Hương Phong, Đầm phá Tam Giang (Phường Hóa Châu), Thành phố Huế, trong suốt mùa vụ sinh trưởng và phát triển từ tháng 3/2025 đến tháng 9/2025. Các yếu tố biến động môi trường đã được ghi nhận tại các thời điểm thu mẫu

(nhiệt độ: 22,5–31,3 °C; độ mặn: 7–10 ppt; pH: 7,9–8,2). Các mẫu rong sau khi thu thập được loại bỏ bụi bẩn, tạp chất trước khi phân tích, đánh giá.

2.2 Phương pháp

Thu mẫu vật

Trong suốt thời gian thu mẫu, rong *Ulva* được thu định kỳ 1 tháng/lần với xấp xỉ 100–200 g rong tươi/mẫu tại mỗi điểm thu mẫu (16°34'11", 107°35'22" và 16°34'45", 107°35'18"). Mẫu rong với nhánh rong khỏe, đầy đủ các bộ phận, màu sắc tươi sáng được lựa chọn. Mẫu được rửa sạch và giữ trong các túi có khóa kéo (Ziploc) dán nhãn ở nhiệt độ phòng và được vận chuyển (45 đến 60 phút) về phòng thí nghiệm Khoa Thủy sản, Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế, phục vụ cho công tác định danh loài và xác định nồng độ chlorophyll a và b.



Hình 1. Địa điểm thu mẫu tại khu vực Hương Phong, Đầm phá Tam Giang, Thành phố Huế

Định danh *Ulva* dựa vào phân tích hình thái

Mẫu tươi sau khi thu được rửa sạch bằng nước biển vô trùng nhằm loại bỏ tạp chất và sinh vật bám

trước khi tiến hành phân tích hình thái. Các đặc điểm hình thái ngoài bao gồm dạng tán, kích thước, hình dạng tổng thể, mức độ phân nhánh và kiểu cơ quan bám được ghi nhận thông qua quan sát trực tiếp. Đối

với cấu tạo bên trong, các lát cắt mỏng của tảo được chuẩn bị và quan sát dưới kính hiển vi quang học (Olympus BX51). Các đặc điểm hình dạng và sự sắp xếp tế bào, số lớp tế bào, đặc điểm lục lạp và sự có mặt cũng như số lượng pyrenoid được ghi nhận. Việc định danh loài được thực hiện bằng cách đối chiếu các đặc điểm hình thái thu được với khóa phân loại và mô tả loài theo Phạm Hoàng Hộ [14], Nguyễn Hữu Dinh và cs. [15], Tsutsui Isao và cs. [16] và Tran và cs. [1]. Do sự đa dạng hình thái cao trong chi *Ulva*, kết quả định danh hình thái được xem là bước sơ bộ và được kiểm chứng bằng các chỉ thị phân tử để đảm bảo độ chính xác trong phân loại loài.

Định danh *Ulva* dựa trên chỉ thị phân tử *tufA* và *rbcL*

Mẫu rong được rửa nhiều lần bằng nước biển tiệt trùng nhằm loại bỏ vi sinh vật bám và sinh vật phụ sinh. DNA tổng số được chiết tách và tinh sạch theo Healey và cs. [17]. Chất lượng DNA được kiểm tra bằng điện di gel agarose 1%, định lượng bằng Qubit và đánh giá độ tinh sạch qua tỷ lệ OD260/OD280 [18]. Thư viện DNA paired-end được xây dựng bằng NEBNext dsDNA Fragmentase và NEBNext Ultra II DNA Library Prep Kit for Illumina (New England Biolabs, Hoa Kỳ) theo hướng dẫn của nhà sản xuất và được giải trình tự paired-end 150 bp trên nền tảng PacBio Onso.

Dữ liệu Illumina được xử lý nhằm loại bỏ adaptor và các reads chất lượng thấp theo quy trình chuẩn (Bolger và cs.) [19], sau đó giữ lại bộ reads sạch cho các phân tích tiếp theo. Trình tự tham chiếu của các marker (*tufA* và *rbcL*) được thu thập từ NCBI Nucleotide bằng Entrez Direct [20], loại bỏ dư thừa và xây dựng chỉ mục bằng Bowtie2 v2.5.5 [21]. Các reads sạch được ánh xạ vào từng bộ tham chiếu, sau đó được xử lý bằng SAMtools v1.23.1 để sắp xếp, lập chỉ mục và đánh giá độ phủ [22]. Từ các file BAM, BCFtools v1.23.1 được sử dụng để gọi biến thể và xây dựng trình tự consensus [23]. Các trình tự consensus được kiểm định bằng BLAST+ nhằm xác nhận danh tính gene và xác định các loài gần nhất [24].

Đối với chỉ thị *tufA*, trình tự mẫu được so sánh với các trình tự tham chiếu của *Ulva limnetica* (MZ582295.1, MZ582302.1, MZ582307.1), còn *rbcL* được so sánh với AB425968. Việc phân tích căn chỉnh và đánh giá sai khác nucleotide được thực hiện với

MUMmer4 [25]. Mức độ tương đồng được ước tính bằng dnadiff, cung cấp các chỉ số gồm độ dài vùng căn chỉnh, AvgIdentity, SNP và indel. Để phân tích chi tiết hơn, nucmer được chạy độc lập và các alignment được lọc bằng delta-filter -1 nhằm giữ lại các kết quả 1-to-1 tối ưu.

Các trình tự *tufA* và *rbcL* cũng được căn chỉnh với các trình tự tham chiếu từ GenBank bằng MAFFT v7.526 [26]. Cây phát sinh loài được xây dựng bằng IQ-TREE v3.1.1 theo phương pháp Maximum Likelihood với mô hình tiến hóa được chọn tự động và 1.000 ultrafast bootstrap [27]. Mỗi bước phân tích được lặp lại 5 lần với các giá trị khởi tạo khác nhau và cây có giá trị log-likelihood cao nhất được chọn làm cây tối ưu.

Xác định nồng độ chlorophyll

Mẫu rong được thu định kỳ hàng tháng trong suốt thời gian nghiên cứu. Hàm lượng chlorophyll trong mẫu *Ulva* được xác định theo phương pháp của Pritchard và cs. [28] với một số điều chỉnh phù hợp với điều kiện phân tích. Cụ thể, rong *Ulva* sau khi thu về được rửa nhiều lần bằng nước biển đã lọc nhằm loại bỏ tạp chất và sinh vật bám, sau đó khoảng $0,03 \pm 0,01$ g mẫu rong tươi được nghiền nhuyễn trong 1,5 mL ethanol 96% trong điều kiện ánh sáng yếu nhằm hạn chế sự phân hủy sắc tố; mỗi mẫu rong được lặp lại 5 lần. Mẫu rong được tiến hành chiết sắc tố trong vòng 24 giờ ở điều kiện tối. Sau khi chiết, toàn bộ dung dịch được ly tâm bằng máy ly tâm (Hettich Mikro 200R, Hettich Asia Pacific Pte Ltd, Đức) ở 13.000 vòng/phút trong 20 phút tại 4 °C để tách phần dịch chiết và cặn rong. Dịch chiết (màu xanh) được sử dụng để đo mật độ quang bằng máy quang phổ UV-Vis (BioMate™ 160, Thermo Scientific, Mỹ) tại các bước sóng 649 nm và 665 nm. Ethanol 96% được sử dụng làm mẫu trắng để hiệu chỉnh. Hàm lượng chlorophyll a và b được tính dựa trên các công thức do Ritchie [29] đề xuất:

$$Chla = 13,70 \times A_{665} - 5,76 \times A_{649}$$

$$Chlb = -7,60 \times A_{665} + 25,8 \times A_{649}$$

2.3 Phân tích và xử lý số liệu

Các số liệu được xử lý bằng phương pháp thống kê sinh học trên phần mềm Excel 2017 và SPSS (phiên bản 20.0 cho Windows). Sự đồng nhất của dữ liệu được kiểm tra bằng cách sử dụng kiểm định Kolmogorov-

Smirnov. Sau đó, so sánh sự khác nhau về hàm lượng chlorophyll a và b và tỷ lệ chlorophyll a và b của rong giữa các tháng dựa vào phân tích ANOVA một chiều và kiểm định Tukey post-hoc với độ tin cậy 95% ($p < 0,05$). Số liệu được trình bày dưới dạng: Giá trị trung bình $\pm$ SE.

3 Kết quả và thảo luận

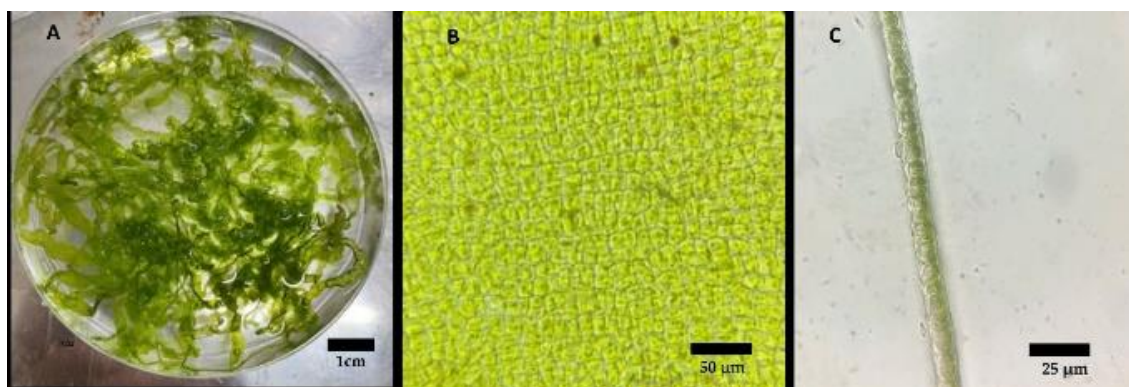
3.1 Kết quả định danh mẫu rong *Ulva* thu tại khu vực Hương Phong

Đặc điểm cấu trúc hình thái của mẫu rong *Ulva* thu tại khu vực Hương Phong

Kết quả quan sát đặc điểm hình thái cấu tạo ngoài của mẫu rong thu được tại các ao nuôi thủy sản thuộc khu vực Hương Phong, Thành phố Huế, cho thấy tản rong có màu xanh lục tươi sáng với cấu trúc dạng sợi mảnh và dài. Các sợi rong không mọc thẳng đứng, độc lập mà có xu hướng uốn lượn, đan xen vào nhau và tạo thành từng búi rong (Hình 2A). Về cấu tạo trong, thể tản có cấu trúc dạng ống, nhẵn và mỏng, màu xanh nhạt đến xanh vàng, các nhánh đơn rộng xấp xỉ 5–6 mm chạy dọc theo thể tản. Các tế bào có dạng hình vuông với các góc bo tròn trong lát cắt ngang của phần giữa

(Hình 2B). Lục lạp chiếm phần lớn tế bào và chứa 1–2 thể pyrenoid (Hình 2C).

Căn cứ vào đặc điểm hình thái cấu tạo của mẫu rong tại ao nuôi thủy sản khu vực Hương Phong, Thành phố Huế, và khóa phân loại mô tả loài trong các tài liệu Phạm Hoàng Hộ [14], Nguyễn Hữu Dinh và cs. [15], Tsutsui Isao và cs. [16], Tran và cs. [1], có thể thấy mẫu rong thu được có nhiều đặc điểm hình thái cấu tạo tương đồng với mẫu rong *U. limnetica* tại Việt Nam. Tuy nhiên, theo Ichihara và cs. [30], loài rong *U. limnetica* có hình thái cấu tạo rất giống với loài rong nước lợ *U. prolifera*. Sự khác biệt giữa hai loài rong này được phân biệt dựa vào số lượng pyrenoid. Cụ thể, *U. limnetica* thường có từ 1 đến 3 pyrenoid trong khi *U. prolifera* thường chỉ có một [31]. Mặc dù số lượng pyrenoid trên mỗi tế bào trước đây được xem như một đặc điểm quan trọng trong việc phân biệt các loài *Ulva* [32], nhưng các nghiên cứu cũng cho thấy rằng đặc điểm này có thể biến động lớn và không đủ độ tin cậy cho việc định danh loài chính xác [33]. Ví dụ, số lượng pyrenoid trên mỗi tế bào có thể dao động theo mùa ở *U. lactuca* và *U. scandinavica* [34]. Do đó, cần kết hợp kỹ thuật sinh học phân tử để xác định chính xác loài và tránh sai sót trong phân loại.

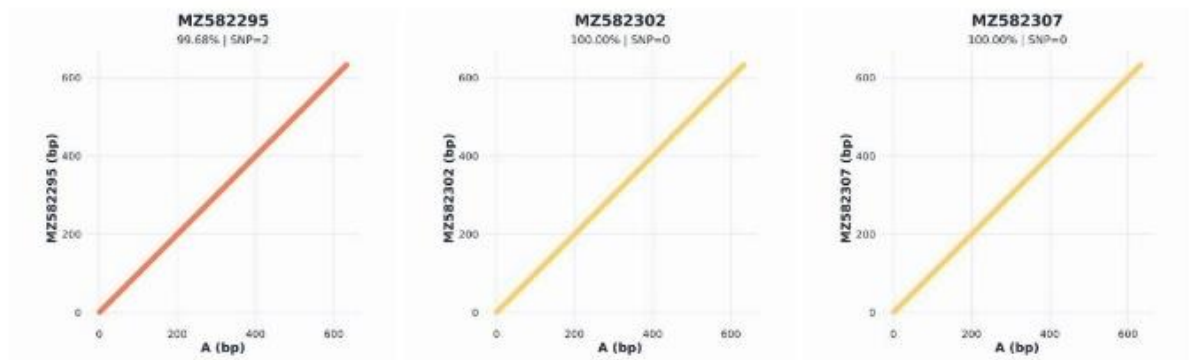


Hình 2. Đặc điểm hình thái cấu tạo ngoài mẫu rong *Ulva* thu được tại khu vực Hương Phong: A. Hình thái ngoài; B. Cấu tạo trong; C. Lát cắt ngang thể tản

Định danh loài dựa trên chỉ thị sinh học phân tử *tufA* và *rbcL*

Kết quả phân tích so sánh trình tự hai chỉ thị phân tử *tufA* và *rbcL* cho thấy mẫu rong tại ao nuôi thủy sản tại khu vực Hương Phong có mức độ tương đồng rất cao với loài *U. limnetica*. Cụ thể, với chỉ thị *tufA*, trình tự của mẫu A đạt mức tương đồng từ 99% đến 100% so với các trình tự tham chiếu của

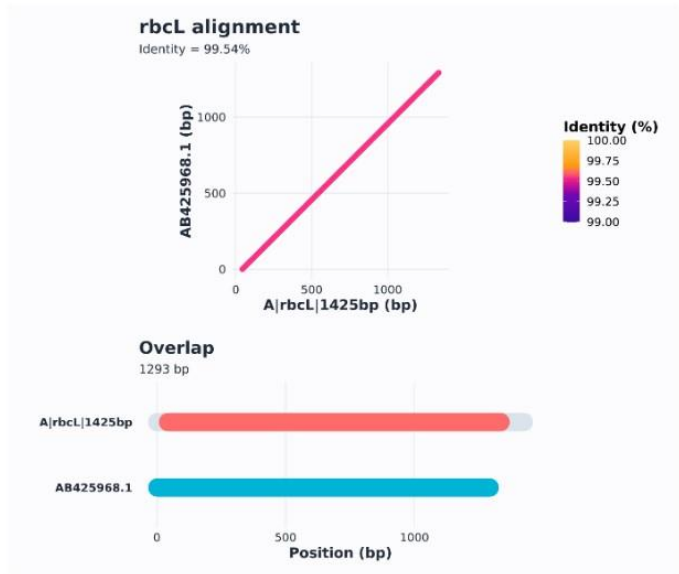
U. limnetica. Trong đó, mẫu có sự đồng nhất gần như tuyệt đối (100%) với hai mã truy cập MZ582302 và MZ582307, không phát hiện bất kỳ SNP hay indel nào. Khi so sánh với mã truy cập MZ582295, mức tương đồng đạt 99,68% với chỉ 2 SNP trong vùng căn chỉnh. Các biểu đồ căn chỉnh cho thấy trình tự *tufA* của mẫu rong tại khu vực Hương Phong đồng tuyến tính hoàn toàn với các trình tự tham chiếu, không ghi nhận tái sắp xếp cấu trúc hay biến đổi lớn (Hình 3)



Hình 3. Biểu đồ căn chỉnh trình tự chỉ thị *tufA* của mẫu rong tại khu vực Hương Phong so với các trình tự *Ulva limnetica* tham chiếu (MZ582295, MZ582302, MZ582307)

Đối với chỉ thị *rbcL*, trình tự mẫu rong cho thấy độ đồng nhất đạt 99,54% (5 SNP sai khác) so với trình tự tham chiếu AB425968.1 trên vùng chồng chéo dài 1293 bp. Biểu đồ “dot plot alignment” (phương pháp dot plot trong căn chỉnh trình tự) cho thấy một đường thẳng liên tục với độ đồng nhất cao xuyên suốt toàn bộ

vùng so sánh, không xuất hiện khoảng trống lớn hay sự đảo ngược trình tự. Biểu đồ “overlap” (vùng chồng lấp) cũng xác nhận rằng trình tự mẫu rong thu tại khu vực Hương Phong bao phủ gần như hoàn toàn chiều dài vùng chồng chéo với trình tự tham chiếu (Hình 4).



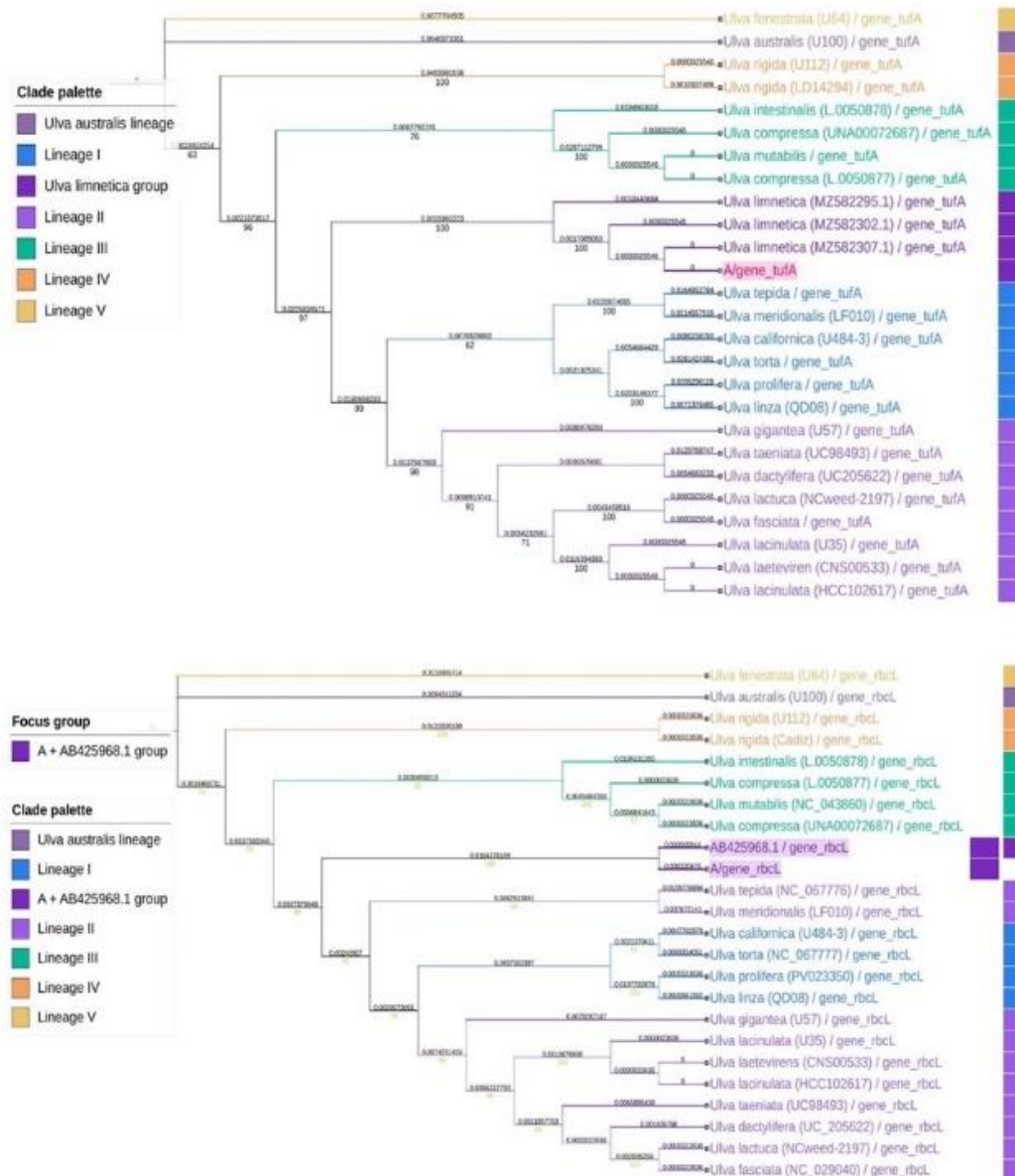
Hình 4. So sánh trình tự gen *rbcL* của mẫu rong tại khu vực Hương Phong với mã truy cập AB425968.1 của *Ulva limnetica*

Tương tự, trên cây phát sinh loài dựa trên chỉ thị *tufA*, mẫu thu được tại khu vực Hương Phong (A/gene_ *tufA*) nằm bên trong nhánh *U. limnetica*, cùng nhóm với ba trình tự tham chiếu *U. limnetica* (MZ582295.1, MZ582302.1 và MZ582307.1) và tách biệt khỏi các loài *Ulva* khác trong các nhánh lân cận. Đáng chú ý là mẫu nghiên cứu phân nhóm gần nhất với MZ582302.1 và MZ582307.1 cho thấy vị trí phát sinh loài của mẫu hoàn toàn phù hợp với *U. limnetica* trên

cây *tufA* (Hình 5A). Đối với cây phát sinh loài dựa trên chỉ thị *rbcL*, mẫu thu tại khu vực Hương Phong (A/gene_ *rbcL*) nằm hoàn toàn bên trong nhánh *U. limnetica*, cùng nhóm chặt chẽ với các trình tự tham chiếu của loài này và tách biệt rõ ràng khỏi các loài *Ulva* khác (Hình 5B). Vị trí này hoàn toàn nhất quán với kết quả phân tích dựa trên *tufA*.

Mặc dù việc sử dụng các chỉ thị phân tử đã cải thiện đáng kể mức độ chính xác trong việc định danh loài, việc sử dụng kết hợp nhiều DNA marker đã được khuyến cáo ứng dụng trong phân loại học *Ulva* [13]. Trong nghiên cứu này, hai chỉ thị (*tufA* và *rbcL*) đã được

kết hợp cùng với đặc điểm hình thái cấu tạo trong phân loại định danh mẫu rong thu được. Kết quả cho thấy rằng loài rong phát triển chiếm ưu thế tại khu vực Hương Phong, Thành phố Huế, là *U. limnetica*.



Hình 5. Phân tích phát sinh loài dựa trên chỉ thị *tufA* (A) và *rbcL* (B)

3.2 Sự biến động hàm lượng chlorophyll a và chlorophyll b theo thời gian

Chlorophyll a (Chl a) là sắc tố trung tâm, đóng vai trò quan trọng trong phản ứng của hệ quang hợp PSI và PSII và thường được sử dụng như chỉ thị cho sinh khối và năng suất quang hợp của sinh vật quang hợp có oxy như vi khuẩn lam, rong tảo và thực vật bậc

cao [35]. Trong khi đó, chlorophyll b (Chl b) là sắc tố phụ, phổ biến thứ 2 sau Chl a và tham gia vào hệ thống thu nhận ánh sáng giúp mở rộng phổ hấp thụ ánh sáng để tăng hiệu quả sử dụng năng lượng ánh sáng [36]. Sự biến động và tỷ lệ giữa Chl a và Chl b, vì vậy, phản ánh cấu trúc hệ thống quang hợp cũng như khả năng thích nghi của sinh vật với điều kiện chiếu sáng khác nhau,

đặc biệt liên quan đến sự điều chỉnh sinh lý trong các điều kiện ánh sáng mạnh hoặc yếu [37]. Kết quả theo dõi sự biến động ở các chỉ số này cho thấy hàm lượng Chl a và Chl b cũng như tỉ lệ Chl a/Chl b trong *U. limnetica* thu tại khu vực Hương Phong biến động rõ rệt theo thời gian ($p < 0,05$). Điều này phản ánh trực tiếp trạng thái sinh lý và khả năng thích nghi quang hợp của loài rong này. Cụ thể là trong giai đoạn tháng 3 đến tháng 5, hàm lượng Chl a dao động từ $0,23 \pm 0,00$ đến $0,43 \pm 0,05$ mg.gww⁻¹ và Chl b từ $0,20 \pm 0,01$ đến $0,26 \pm 0,04$ mg.gww⁻¹, cho thấy hệ sắc tố duy trì ở mức ổn định. Tỷ lệ chlorophyll a/b trong giai đoạn này dao động trong khoảng 1,13–1,67, phản ánh trạng thái cân bằng giữa hệ phản ứng quang hóa và hệ thu nhận ánh sáng. Tỷ lệ chlorophyll a/b thấp ghi nhận trong nghiên cứu này tương đồng với các công bố trên rong lục biển *Ulva pertusa* [38], phản ánh hàm lượng chlorophyll b tương đối cao và sự phát triển của hệ sắc tố thu nhận ánh sáng nhằm thích nghi với điều kiện ánh sáng môi trường ven biển. Đến tháng 6, hàm lượng chlorophyll a và b giảm mạnh xuống $0,01 \pm 0,00$ mg.gww⁻¹ ($p < 0,05$). Sự sụt giảm này phản ánh giai đoạn suy thoái sinh lý nghiêm trọng của quần thể, có thể liên quan đến biến động mạnh của các yếu tố môi trường gây ra ức chế

hoạt động quang hợp. Từ tháng 7 đến tháng 9, hàm lượng Chl a tăng từ $0,11 \pm 0,02$ lên $1,20 \pm 0,00$ mg.gww⁻¹ và Chl b tăng từ $0,08 \pm 0,01$ lên $0,61 \pm 0,12$ mg.gww⁻¹ ($p < 0,05$). Sự gia tăng này phản ánh quá trình tái thiết hệ quang hợp và phục hồi sinh khối khi điều kiện môi trường trở nên thuận lợi hơn. Một trong những điểm đáng lưu ý, nhiệt độ nước trong tháng 6 tại thời điểm thu mẫu đạt cao nhất ($> 31^{\circ}\text{C}$), cao hơn so với các tháng thu mẫu còn lại. Do đó, nhiệt độ có thể là nguyên nhân dẫn đến sự suy giảm hàm lượng chlorophyll của *U. limnetica* ở nghiên cứu này. Các nghiên cứu trước đây đã ghi nhận nhiệt độ ảnh hưởng đến hoạt động quang hợp và cân bằng chuyển hóa ở tảo lục, trong đó có các loài *Ulva*, từ đó có thể gián tiếp tác động đến hàm lượng chlorophyll thông qua các phản ứng stress sinh lý [39]. Tuy nhiên, trong phạm vi nghiên cứu này, chúng tôi không loại trừ các nguyên nhân khác như yếu tố dinh dưỡng, ánh sáng, pH hoặc ô nhiễm... có thể gây ra hiện tượng này. Do đó, các nghiên cứu tiếp theo cần tập trung làm rõ mối quan hệ giữa các yếu tố môi trường và sự sinh trưởng, phát triển của *U. limnetica* nhằm hiểu rõ hơn cơ chế điều hòa sinh lý của loài trong điều kiện tự nhiên.

Bảng 1. Hàm lượng chlorophyll a và chlorophyll b trong mẫu rong *Ulva limnetica* tại các tháng thu mẫu

	Tháng 3	Tháng 4	Tháng 5	Tháng 6	Tháng 7	Tháng 8	Tháng 9
Chlorophyll a (mg.gww⁻¹)	$0,23 \pm 0,00^a$	$0,43 \pm 0,05^b$	$0,42 \pm 0,05^b$	$0,01 \pm 0,00^c$	$0,11 \pm 0,02^{ac}$	$0,91 \pm 0,03^d$	$1,20 \pm 0,00^e$
Chlorophyll b (mg.gww⁻¹)	$0,20 \pm 0,01^{ad}$	$0,26 \pm 0,04^{ac}$	$0,26 \pm 0,03^{ac}$	$0,01 \pm 0,00^{bde}$	$0,08 \pm 0,01^{ace}$	$0,57 \pm 0,03^f$	$0,61 \pm 0,12^f$
Chlorophyll a/Chlorophyll b	$1,13 \pm 0,06^a$	$1,67 \pm 0,07^{ab}$	$1,57 \pm 0,03^{ab}$	$1,57 \pm 0,03^{ab}$	$1,24 \pm 0,03^a$	$1,62 \pm 0,05^{ab}$	$2,42 \pm 0,54^b$

Ghi chú: a, b, c, d, e, f cho biết sự khác biệt thống kê hàm lượng chlorophyll a, chlorophyll b và tỉ lệ chlorophyll a và chlorophyll b theo thời gian ($p < 0,05$). Số liệu được làm tròn 2 chữ số sau dấu thập phân.

4 Kết luận

Loài rong biển chiếm ưu thế tại các ao nuôi thủy sản tại khu vực Hương Phong, Đầm phá Tam Giang, là *Ulva limnetica*, được xác định thông qua sự kết hợp giữa đặc điểm hình thái và hai chỉ thị phân tử tufA và rbcL (độ tương đồng 99–100%). Hàm lượng chlorophyll a và b biến động rõ rệt theo mùa sinh trưởng ($p < 0,05$), với mức giảm đột ngột vào tháng 6 ($0,01$ mg.gww⁻¹) và phục hồi mạnh từ tháng 7 đến tháng 9 (lần lượt đạt $1,20$ và $0,61$ mg.gww⁻¹). Kết quả là nguồn dữ liệu nền quan trọng về đặc điểm phân loại và sinh lý sắc tố của *U. limnetica* trong hệ đầm phá nước lợ, góp phần hỗ trợ

công tác giám sát và dự báo hiện tượng "thủy triều xanh" tại khu vực. Các nghiên cứu tiếp theo cần được mở rộng về quy mô và thời gian, kết hợp với phân tích tương quan đa biến và thí nghiệm kiểm soát để làm rõ cơ chế điều hòa hàm lượng chlorophyll dưới tác động của biến đổi khí hậu và phú dưỡng, đồng thời đề xuất giải pháp quản lý và khai thác bền vững nguồn tài nguyên này.

Thông tin tài trợ

Công trình này là một phần kết quả trong đề tài cấp Đại học Huế năm 2025, mã số DHH2025-02-190.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn sự tài trợ của Đại học Huế, năm 2025 (mã số DHH2025-02-190) và sự hỗ trợ phân tích di truyền cho nghiên cứu này của Quỹ KT Grant của công ty K-Test, thành phố Hồ Chí Minh (số 05/HĐ/KT-GRANT 2024). Cảm ơn các em sinh viên Văn Thị Thanh Thanh, Phạm Minh Phương, Võ Văn An Thái lớp NTTS K55 và Trần Hà Đình Hưng lớp NTTS K56 đã hỗ trợ trong suốt quá trình nghiên cứu của đề tài này.

Tài liệu tham khảo

1. Tran LAT, Leliaert F, Vieira C, Tran TV, Nguyen TV, Dam TD, et al. Molecular assessment of *Ulva* (Ulvales, Chlorophyta) diversity in Vietnam including the new species *Ulva vietnamensis*. *Phycol Res.* 2022;70(1):13-24.
2. Duong TT, Nguyen HT, Nguyen HT, Nguyen QT, Nguyen BD, Chuong NN, et al. Advances in the genus *Ulva* research: from structural diversity to applied utility. *Plants.* 2025;14(19):3052.
3. Li H, Zhang Y, Chen J, Zheng X, Liu F, Jiao N. Nitrogen uptake and assimilation preferences of the main green tide alga *Ulva prolifera* in the Yellow Sea, China. *J Appl Phycol.* 2019;31(1):625-35.
4. Neori A, Shpigel M, Ben-Ezra D. A sustainable integrated system for culture of fish, seaweed and abalone. *Aquaculture.* 2000;186(3-4):279-291.
5. Paulert R, Ascrizzi R, Malatesta S, Berni P, Nosedà MD, Mazetto de Carvalho M, et al. *Ulva intestinalis* extract acts as biostimulant and modulates metabolites and hormone balance in basil (*Ocimum basilicum* L.) and parsley (*Petroselinum crispum* L.). *Plants.* 2021;10(7):1391
6. Alves A, Sousa RA, Reis RL. Marine polysaccharides in pharmaceutical applications: ulvan from *Ulva* spp. *Mar Drugs.* 2013;11(11):4083-4123.
7. Bolton JJ, Cyrus MD, Brand MJ, Joubert M, Macey BM. Why grow *Ulva*? Its potential role in the future of aquaculture. *Perspect Phycol.* 2016;3(3):113-120.
8. Gao S, Chen X, Yi Q, Wang G, Pan G, Lin A, et al. A strategy for the proliferation of *Ulva prolifera*, main causative species of green tides, with formation of sporangia by fragmentation. *PLoS One.* 2010; 5(1):e8571.
9. Hofmann LC, Strauss S, Shpigel M, Guttman L, Stengel DB, Rebours C, et al. The green seaweed *Ulva*: tomorrow's "wheat of the sea" in foods, feeds, nutrition, and biomaterials. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2025;65(19):3728-3763.
10. Trang CTT, Thanh T, Thanh TD, Vinh VD, Tu TA. Assessment of the environmental carrying capacity of pollutants in Tam Giang–Cau Hai Lagoon (Vietnam) and solutions for environmental protection. *Sci Total Environ.* 2021;762:143130.
11. Anh NH, Uyên ND, Hồng HV. Phân vùng chất lượng nước hệ Đầm phá Tam Giang–Cầu Hai, tỉnh Thừa Thiên Huế. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn.* 2022;94-102.
12. Xie WF, Wu CH, Zhao J, Lin XY, Jiang P. New records of *Ulva* spp. (Ulvaophyceae, Chlorophyta) in China, with special reference to an unusual morphology of *U. meridionalis* forming green tides. *Eur J Phycol.* 2020;55(4):412-425.
13. Tran LAT, Vieira C, Steinhagen S, Maggs CA, Hiraoka M, Shimada S, et al. An appraisal of *Ulva* (Ulvaophyceae, Chlorophyta) taxonomy. *J Appl Phycol.* 2022;34(5):2689-2703.
14. Phạm Hoàng Hộ. Rong biển Việt Nam. Trung Tâm Học Liệu của Bộ Giáo dục và Thanh niên xuất bản, 1969
15. Dinh NH, Năng HQ, Bút TN, Tiến NV. Rong biển Việt Nam: phần phía Bắc. Hà Nội: NXB Khoa học và Kỹ thuật; 1993.
16. Isao T, Năng HQ, Dinh NH, Shogo A, Tadao Y. Thực vật biển thường thấy ở phía Nam. NXB Hội Rong biển Nhật Bản; 2005.
17. Healey A, Furtado A, Cooper T, Henry RJ. Protocol: a simple method for extracting next-generation sequencing quality genomic DNA from recalcitrant plant species. *Plant Methods.* 2014;10:21.
18. Green MR, Sambrook J. Molecular cloning: a laboratory manual. 4th ed. Cold Spring Harbor Laboratory Press; 2012
19. Bolger AM, Lohse M, Usadel B. Trimmomatic: a flexible read trimming tool for Illumina sequence data. *Bioinformatics.* 2014;30(15):2114-2120.
20. Kans J. Entrez Direct: E-utilities on the UNIX command line. Bethesda: NCBI; 2022. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK179288/>

21. Langmead B, Salzberg SL. Fast gapped-read alignment with Bowtie 2. *Nat Methods*. 2012;9(4):357-359.
22. Li H, Handsaker B, Wysoker A, Fennell T, Ruan J, Homer N, et al. The Sequence Alignment/Map format and SAMtools. *Bioinformatics*. 2009;25(16):2078-2079.
23. Danecek P, Bonfield JK, Liddle J, Marshall J, Ohan V, Pollard MO, et al. Twelve years of SAMtools and BCFtools. *Gigascience*. 2021;10(2):giab008.
24. Camacho C, Coulouris G, Avagyan V, Ma N, Papadopoulos J, Bealer K, et al. BLAST+: architecture and applications. *BMC Bioinformatics*. 2009;10(4):21.
25. Marçais G, Delcher AL, Phillippy AM, Coston R, Salzberg SL, Zimin A. MUMmer4: a fast and versatile genome alignment system. *PLoS Comput Biol*. 2018;14(1):e1005944.
26. Katoh K, Standley DM. MAFFT multiple sequence alignment software version 7: improvements in performance and usability. *Mol Biol Evol*. 2013;30(4):772-780.
27. Minh BQ, Schmidt HA, Chernomor O, Schrempf D, Woodhams MD, von Haeseler A, et al. IQ-TREE 2: new models and efficient methods for phylogenetic inference in the genomic era. *Mol Biol Evol*. 2020;37(5):1530-1534.
28. Pritchard DW, Hurd CL, Beardall J, Hepburn CD. Survival in low light: photosynthesis and growth of a red alga in relation to measure in situ irradiance. *J Phycol*. 2013;49(5):867-879.
29. Ritchie RJ. Consistent sets of spectrophotometric chlorophyll equations for acetone, methanol and ethanol solvents. *Photosynth Res*. 2006;89(1):27-41.
30. Ichihara K, Arai S, Uchimura M, Fay EJ, Ebata H, Hiraoka M, et al. New species of freshwater *Ulva*, *Ulva limnetica* from the Ryukyu Islands, Japan. *Phycol Res*. 2009;57(2):94-103.
31. Bliding C. A critical survey of European taxa in Ulvales. Part II. *Ulva*, *Ulvaria*, *Monostroma*, *Kornmannia*. *Opera Bot*. 1968;8(3):1-160.
32. Coat G, Dion P, de Reviers B. *Ulva armoricana* sp. nov. from the coasts of Brittany (France). *Eur J Phycol*. 1998;33(1):73-80.
33. Phillips JA. Field, culture and ultrastructural studies on *Ulva* in eastern Australia [PhD thesis]. Queensland: University of Queensland; 1988.
34. Malta EJ, Draisma SGA, Kamermans P. Free-floating *Ulva* in the southwest Netherlands: species composition and growth. *J Appl Phycol*. 1999;11:435-442.
35. Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy A. Plant physiology and development. 6th ed. Sunderland: Sinauer Associates; 2015.
36. Grossman AR, Lohr M. Chlorophyll b regulation and light-harvesting complexes. *Annu Rev Plant Biol*. 2006;57:381-403.
37. Anderson JM, Chow WS, De Las Rivas J. Dynamic flexibility in the structure and function of photosystem II in higher plant thylakoid membranes. *Photosynth Res*. 2008;98:575-587.
38. Yamazaki JY, Suzuki T, Maruta E, Kamimura Y. The stoichiometry and antenna size of the two photosystems in marine green algae, *Bryopsis maxima* and *Ulva pertusa*, in relation to the light environment of their natural habitat. *J Exp Bot*. 2005;56(416):1517-1523.
39. Henley WJ. Measurement and interpretation of photosynthetic light-response curves in algae in the context of photoinhibition and diel changes. *J Phycol*. 1993 1;29(6).