



DOI:10.22144/ctujos.2026.210

THÀNH PHẦN HÓA HỌC VÀ TIỀM NĂNG ỨNG DỤNG CỦA HAI LOÀI TẢO NÂU *Padina boryana* VÀ *Padina australis* TRONG HỖ TRỢ ĐIỀU TRỊ ĐÁI THÁO ĐƯỜNG VÀ UNG THƯ*

Nguyễn Duy Tuấn^{1,2}, Nguyễn Cường Quốc², Lê Đăng Quang³, Trần Duy Khang¹,
Trần Thanh Mến² và Trần Quang Đức^{2,*}

¹Trường Khoa học Sức khỏe, Trường Đại học Nam Cần Thơ, Việt Nam

²Trường Khoa Khoa học Tự nhiên, Đại học Cần Thơ, Việt Nam

³Viện Khoa học Vật liệu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Việt Nam

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): tqde@ctu.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 02/07/2026

Sửa bài (Revised): 19/07/2026

Duyệt đăng (Accepted): 25/08/2026

Title: The chemical composition and potential applications of two brown algae species, *Padina boryana* and *Padina australis*, in supporting the treatment of diabetes and cancer

Author(s): Nguyen Duy Tuan^{1,2}, Nguyen Cuong Quoc², Le Dang Quang³, Tran Duy Khang¹, Tran Thanh Men² and Tran Quang De^{2,*}

Affiliation(s): ¹College of Health Sciences, Nam Can Tho University, Viet Nam; ²College of Natural Sciences, Can Tho University, Viet Nam; ³Institute of Materials Science, Vietnam Academy of Science and Technology, Viet Nam

TÓM TẮT

Nghiên cứu nhằm xác định thành phần hóa học và đánh giá một số hoạt tính sinh học của hai loài tảo nâu *Padina boryana* (*P. boryana*) và *Padina australis* (*P. australis*). Phân tích GC-MS (gas chromatography-mass spectrometry) ghi nhận 24 hợp chất ở *P. boryana* và 20 hợp chất ở *P. australis*. Trong đó, pentadecane là thành phần chính của *P. boryana* với hàm lượng 14,52%, còn ethyl oleate chiếm ưu thế ở *P. australis*, đạt 67,09%. Kết quả thử nghiệm ức chế enzyme α -glucosidase cho thấy phân đoạn petroleum ether (PE) của *P. australis* có hoạt tính mạnh nhất, với IC_{50} đạt $0,175 \pm 0,008 \mu\text{g/mL}$. Hoạt tính gây độc tế bào cũng được khảo sát trên hai dòng ung thư gan HepG2 và ung thư vú MCF-7. Đối với *P. boryana*, phân đoạn PE có IC_{50} lần lượt là $156,20 \pm 7,94 \mu\text{g/mL}$ trên HepG2 và $163,56 \pm 5,03 \mu\text{g/mL}$ trên MCF-7. Phân đoạn PE của *P. australis* thể hiện tác dụng mạnh hơn, với IC_{50} tương ứng là $111,02 \pm 5,54$ và $60,73 \pm 1,54 \mu\text{g/mL}$. Kết quả cung cấp dữ liệu ban đầu, làm cơ sở cho việc phân lập và nghiên cứu sâu hơn các hợp chất có hoạt tính sinh học từ hai loài tảo này.

Từ khóa: Cytotoxicity, GC-MS, α -glucosidase, HepG2, MCF-7, tảo biển

ABSTRACT

The study aims to identify the chemical composition and evaluate some biological activities of two brown algae species, *Padina boryana* and *Padina australis*. GC-MS (gas chromatography-mass spectrometry) analysis detected 24 compounds in *P. boryana* and 20 compounds in *P. australis*. Among them, pentadecane is the main component of *P. boryana* with a content of 14.52%, while ethyl oleate is predominant in *P. australis*, accounting for 67.09%. The results of α -glucosidase enzyme inhibition tests showed that the petroleum ether (PE) fraction of *P. australis* exhibited the strongest activity, with an IC_{50} of $0.175 \pm 0.008 \mu\text{g/mL}$. Cytotoxic activity was also examined on two cancer cell lines, HepG2 (liver cancer) and MCF-7 (breast cancer). For *P. boryana*, the PE fraction had IC_{50} values of $156.20 \pm 7.94 \mu\text{g/mL}$ on HepG2 and $163.56 \pm 5.03 \mu\text{g/mL}$ on MCF-7. The PE fraction of *P. australis* demonstrated a stronger effect, with IC_{50} values of 111.02 ± 5.54 and $60.73 \pm 1.54 \mu\text{g/mL}$, respectively. The initial data provided serve as a basis for isolating and further studying bioactive compounds from these two species of algae.

Keywords: Cytotoxicity, GC-MS, α -glucosidase, HepG2, MCF-7, Seaweed

1. GIỚI THIỆU

Trong những năm gần đây, nguồn hợp chất tự nhiên từ sinh vật biển đang trở thành hướng nghiên cứu tiềm năng trong lĩnh vực dược học và công nghệ sinh học do sở hữu nhiều hoạt tính sinh học có giá trị (Karthikeyan et al., 2022). Trong đó, tảo nâu thuộc chi *Padina*, đặc biệt là *Padina boryana* (*P. boryana*) và *Padina australis* (*P. australis*) được quan tâm rộng rãi nhờ chứa nhiều hợp chất thứ cấp như polyphenol, flavonoid, fucoxanthin, diterpenoid, sterol và các acid béo không no. Các hợp chất này đã được chứng minh có nhiều hoạt tính sinh học quan trọng như kháng oxy hóa, kháng viêm, kháng khuẩn và kháng ung thư (Holdt et al., 2011; Frazzini et al., 2025). Các hợp chất này đóng vai trò quan trọng trong cơ chế bảo vệ của tảo trước điều kiện môi trường biển khắc nghiệt, đồng thời cũng mang lại nhiều tiềm năng ứng dụng trong y dược và thực phẩm chức năng.

Một trong những hướng nghiên cứu nổi bật hiện nay là đánh giá khả năng ức chế α -glucosidase của các loài tảo nâu. α -Glucosidase là enzyme tham gia xúc tác quá trình chuyển hóa carbohydrate thành glucose ở ruột non. Sự ức chế enzyme này giúp làm chậm quá trình hấp thu glucose sau ăn, qua đó hỗ trợ kiểm soát đường huyết ở người mắc đái tháo đường type 2. Mặc dù các thuốc tổng hợp như acarbose đã được ứng dụng rộng rãi nhưng tác dụng phụ trên đường tiêu hóa vẫn là một hạn chế đáng kể (Kashtoh et al., 2022; Dirir et al. 2022). Vì vậy, các hợp chất tự nhiên có khả năng ức chế α -glucosidase đang được quan tâm như những nguồn nguyên liệu tiềm năng cho phát triển thuốc điều trị đái tháo đường. Theo nghiên cứu của Tuan et al. (2024), dịch chiết từ *P. boryana* thu tại đảo Phú Quốc, Việt Nam thể hiện hoạt tính ức chế α -glucosidase mạnh (EtOAc: IC₅₀ = 3,10±0,01 µg/mL) cùng với khả năng kháng oxy hóa đáng kể. Những phát hiện thu được gợi ý rằng loài tảo cho thấy tiềm năng là nguồn hợp chất hoạt tính sinh học phục vụ cho các nghiên cứu tiếp theo. Tương tự, Puspawati et al. (2026) cũng báo cáo *P. australis* thể hiện hoạt tính ức chế α -glucosidase cao (>90%), với tỷ lệ ức chế đạt 94,55% đối với cao chiết EtOAc ở nồng độ 500 µg/mL; trong đó, các hợp chất như phytol, loliolide và một số acid béo được xác định có khả năng tương tác tốt với trung tâm hoạt động của enzyme thông qua phân tích docking phân tử.

Bên cạnh hoạt tính kháng đái tháo đường, kết quả nghiên cứu của Frazzini et al. (2025) còn cho thấy các loài tảo nâu thuộc chi *Padina* có tiềm năng kháng ung thư. Ung thư gan và ung thư vú hiện là

hai trong số những loại ung thư phổ biến và có tỷ lệ tử vong cao trên thế giới (Bray et al., 2022); do đó, việc tìm kiếm các hoạt chất tự nhiên có khả năng gây độc chọn lọc trên tế bào ung thư đang là mục tiêu quan trọng trong nghiên cứu dược phẩm. Ooi et al. (2015) đã chứng minh rằng dịch chiết từ tảo biển có khả năng ức chế sự tăng sinh của dòng tế bào ung thư gan HepG2 thông qua cơ chế cảm ứng apoptosis và làm gia tăng stress oxy hóa nội bào. Ngoài ra, Samarakoon et al. (2016) cũng cho thấy nhiều hợp chất có nguồn gốc từ sinh vật biển và thực vật ven biển có khả năng gây độc mạnh trên dòng tế bào ung thư vú MCF-7. Các hợp chất phenolic và terpenoid trong tảo nâu được cho là đóng vai trò quan trọng trong hoạt tính gây độc tế bào này thông qua việc phá hủy chức năng ty thể, hoạt hóa caspase và ức chế chu trình tế bào.

Dựa trên các nghiên cứu đã được thực hiện, có thể nhận thấy rằng *P. boryana* và *P. australis* không chỉ là nguồn nguyên liệu giàu hợp chất kháng oxy hóa tự nhiên mà còn sở hữu nhiều hoạt tính sinh học quan trọng như ức chế α -glucosidase và gây độc tế bào ung thư. Những đặc tính này cho thấy tiềm năng là nguồn hợp chất hoạt tính sinh học phục vụ cho các nghiên cứu tiếp theo.

Hiện nay, các nghiên cứu trước chủ yếu tập trung vào việc phân tích thành phần hóa học hoặc đánh giá từng hoạt tính sinh học riêng lẻ của các loài *Padina*. Trong khi đó, các nghiên cứu thực hiện đồng thời việc so sánh hai loài *P. boryana* và *P. australis* của Việt Nam, kết hợp phân tích GC-MS với đánh giá hoạt tính ức chế α -glucosidase và hoạt tính gây độc tế bào vẫn còn hạn chế.

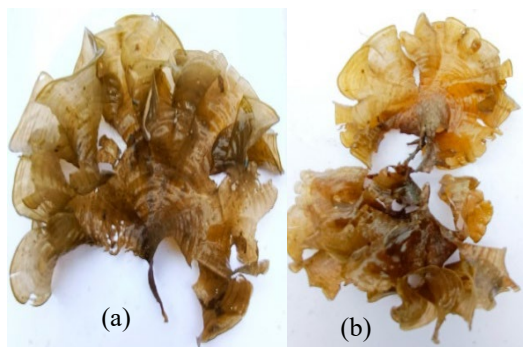
2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên liệu và hóa chất

Mẫu tảo *P. boryana* được thu tại đảo Phú Quốc (10°24' 04.9"N 104°03' 22.5"E), Việt Nam. Mẫu tảo *P. australis* được thu tại Ba Hòn Đầm (10°08' 17.5"N 104°29' 49.7"E), Việt Nam (Hình 1).

Hai mẫu tảo sau khi thu được rửa bằng nước biển để loại bỏ cát và các sinh vật bám ngoài, bảo quản lạnh trong thùng nhựa vô trùng và vận chuyển về phòng thí nghiệm. Mẫu được tiếp tục rửa sạch bằng nước cất nhằm loại bỏ hoàn toàn muối và tạp chất. Sau đó, mẫu được phơi khô tự nhiên tránh ánh nắng trực tiếp để đạt độ ẩm dưới 13%, mẫu khô được nghiền thành bột và bảo quản ở 5°C cho các thí nghiệm tiếp theo.

Các dung môi và hóa chất sử dụng trong nghiên cứu bao gồm ethanol, petroleum ether (PE), chloroform (CHCl₃), ethyl acetate (EtOAc), *n*-butanol (BuOH), acetone và các hóa chất phân tích khác. Tất cả hóa chất đều đạt cấp độ tinh khiết dùng cho nghiên cứu và được cung cấp bởi Công ty Chemsol (Việt Nam).



Hình 1. Tảo nâu *P. boryana* (a) và tảo *P. australis* (b)

2.2. Điều chế cao chiết

Mẫu *P. boryana* (450 g bột khô), *P. australis* (400 g bột khô) được chiết xuất bằng 10 lít ethanol 96% (EtOH), chiết theo phương pháp ngâm (3 lần x 10 lít mỗi lần) ở nhiệt độ phòng trong 72 giờ nhằm tối ưu quá trình chiết xuất. Sau đó, dịch chiết được lọc qua giấy lọc Whatman và cô quay chân không ở nhiệt độ 50 - 60°C để loại bỏ dung môi.

Hiệu suất chiết cao ethanol tổng được tính trên khối lượng cao tổng chia cho khối lượng bột khô. Hiệu suất các cao phân đoạn được đánh giá bằng khối lượng cao phân đoạn chia cho khối lượng cao ethanol tổng.

Hiệu suất cao chiết ethanol tổng (EtOH) của hai loài: *P. boryana* (12,15 g, 1,81%), *P. australis* (11,84 g, 1,91%). Sử dụng cao EtOH *P. boryana* (10,00 g), *P. australis* (10,00 g) hòa tan trong nước cất ấm và phân đoạn bằng phương pháp chiết lỏng-lỏng sử dụng các dung môi có độ phân cực tăng dần, bao gồm petroleum ether (PE), chloroform (C), ethyl acetate (EtOAc) và *n*-butanol (BU). Sau khi cô thu hồi dung môi, các phân đoạn tương ứng được thu nhận: *P. boryana* (PE 3,72 g, 37,2%; C 2,02 g, 20,2%; EtOAc 1,34 g, 13,4%; BU 1,67 g, 16,7%; H₂O 0,96 g, 9,6%). *P. australis* (PE 3,31 g, 33,1%; C 2,38 g, 23,8%; EtOAc 1,80 g, 18,0%; BU 1,43 g, 14,3%; H₂O 0,87 g, 8,7%).

Các mẫu cao chiết được bảo quản ở nhiệt độ 0 – 5°C cho các thí nghiệm tiếp theo.

2.3. Phân tích GC-MS

Phương pháp sắc ký khí ghép khối phổ (GC-MS) được thực hiện trên hệ thống GC Agilent 6890N kết nối đầu dò khối phổ MS 5973 Inert, sử dụng cột mao quản HP-5MS. Khí mang helium được sử dụng với áp suất đầu cột duy trì ở mức 9,3 psi.

Mẫu phân tích được chuẩn bị bằng cách hòa tan 25 µL dịch chiết trong 1 mL acetone. Thể tích tiêm mẫu là 1 µL với chế độ chia dòng (split) 1:50. Chương trình nhiệt độ của lò cột được thiết lập như sau: nhiệt độ ban đầu 50°C được giữ trong 2 phút, sau đó tăng với tốc độ 2°C/phút đến 80°C, tiếp tục tăng 5°C/phút đến 150°C, nâng lên 200°C với tốc độ 10°C/phút và cuối cùng tăng 20°C/phút đến 300°C, duy trì ở nhiệt độ này trong 5 phút. Dữ liệu thu được được sử dụng để nhận diện và đánh giá thành phần hóa học có trong các mẫu tảo nghiên cứu (Sparkman et al., 2011).

2.4. Khảo sát hoạt tính ức chế enzyme α-glucosidase

Hoạt tính ức chế enzyme α-glucosidase có nguồn gốc từ nấm men có độ tinh khiết là 95% và được đánh giá bằng phương pháp vi thể tích trên đĩa vi chuẩn 96 giếng, được lặp lại 3 lần. Mẫu thử được hòa tan trong DMSO và nước ion, sau đó pha loãng thành dãy nồng độ thích hợp. Nồng độ cuối cùng của mẫu trong hỗn hợp phản ứng lần lượt là 256, 64, 16 và 4 µg/mL; đối với các mẫu có hoạt tính yếu, tiếp tục pha loãng để xác định khoảng nồng độ phù hợp. Acarbose được sử dụng làm chất đối chứng dương (Cam et al., 2024).

Hỗn hợp phản ứng bao gồm dung dịch đệm phosphate 100 mM (pH 6,8), α-glucosidase với nồng độ 0,2 U/mL, mẫu thử và cơ chất p-nitrophenyl α-D-glucopyranoside (pNPG) 2,5 mM. Đối với mẫu đối chứng, mẫu thử được thay thế bằng dung dịch đệm phản ứng với thể tích tương ứng. Các phản ứng được tiến hành ở 37°C trong thời gian 30 phút. Sau khi kết thúc thời gian ủ, phản ứng được dừng lại bằng dung dịch Na₂CO₃. Độ hấp thụ quang của hỗn hợp phản ứng được đo trên máy đọc vi phiên BIOTEK tại bước sóng 410 nm. Giá trị hấp thụ được sử dụng để tính khả năng ức chế enzyme α-glucosidase của các mẫu nghiên cứu.

Hoạt tính ức chế enzyme α-glucosidase của mẫu nghiên cứu được tính theo công thức sau:

$$\% \text{ Độ ức chế} = \frac{A_{\text{đối chứng}} - A_{\text{mẫu thử}}}{A_{\text{đối chứng}}} \times 100\%$$

IC₅₀ (half maximal inhibitory concentration) là nồng độ chất thử ức chế 50% hoạt động của α -glucosidase, được tính bằng phần mềm Tablecurve (Chen et al., 2004; Kim et al., 2004).

2.5. Khảo sát hoạt tính gây độc tế bào ung thư

Hoạt tính gây độc tế bào của các mẫu nghiên cứu được đánh giá bằng phương pháp MTT dựa trên khả năng chuyển hóa muối tetrazolium thành tinh thể formazan của các tế bào còn sống. Hai dòng tế bào ung thư được sử dụng trong nghiên cứu là MCF-7 (HTB-22™) và HepG2 (HB-8065™) có nguồn gốc từ ATCC. Tế bào được nuôi cấy trong môi trường bổ sung 10% FCS, 2 mM L-glutamine, 100 IU/mL penicillin và 100 µg/mL streptomycin, ở 37°C và 5% CO₂.

Khi mật độ tế bào đạt khoảng 70 – 80% diện tích bề mặt nuôi cấy, tế bào được thu hoạch, xác định số lượng tế bào sống và gieo vào đĩa 96 giếng với mật độ phù hợp. Sau đó, các đĩa được ủ trong khoảng 18 – 24 giờ để tế bào bám dính và ổn định trước khi tiến hành xử lý mẫu thử.

Các mẫu nghiên cứu được hòa tan trong DMSO và pha thành dãy nồng độ cuối cùng gồm 1, 4, 16, 64 và 256 µg/mL. Tế bào được tiếp xúc với các mẫu ở các nồng độ khác nhau trong thời gian 72 giờ, trong đó hàm lượng DMSO cuối cùng trong môi trường nuôi cấy được duy trì ở mức không quá 1% (v/v). Sau thời gian xử lý, khả năng sống sót của tế bào được xác định bằng phép thử MTT. Các tế bào còn sống sẽ khử thuốc thử MTT màu vàng tạo thành các tinh thể formazan màu tím, lượng formazan hình thành được định lượng thông qua phép đo mật độ quang ở bước sóng 540 nm (Mosmann, 1983).

Mỗi thí nghiệm được thực hiện độc lập và lặp lại ba lần nhằm đảm bảo độ tin cậy của kết quả. Chất đối chứng dương được sử dụng trong thí nghiệm là Ellipticine. Hiệu lực gây độc tế bào của các mẫu được biểu thị thông qua giá trị IC₅₀, được tính toán dựa trên tỷ lệ phần trăm ức chế sự phát triển của tế bào so với mẫu đối chứng

$$\% \text{ Tế bào sống} = \frac{\text{OD}_{\text{mẫu}} - \text{OD}_{\text{blank}}}{\text{OD}_{\text{mẫu đối chứng}} - \text{OD}_{\text{blank}}} \times 100$$

Trong đó, OD_{mẫu} là giá trị mật độ quang của các tế bào được xử lý bằng cao chiết, OD_{blank} là giá trị mật độ quang của môi trường nuôi cấy không chứa tế bào và OD_{mẫu đối chứng} là giá trị mật độ quang của các tế bào được xử lý với dung dịch đệm.

2.6. Xử lý số liệu

Mỗi thí nghiệm được thực hiện lặp lại ba lần. Kết quả được biểu diễn dưới dạng trung bình ± độ lệch chuẩn và xử lý thống kê bằng ANOVA trên phần mềm IBM SPSS Statistics phiên bản 26.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA). Sự khác biệt được xem là có ý nghĩa thống kê khi $p < 0,05$.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Phân tích GC-MS thành phần hóa học

Dịch chiết ethanol được pha trong acetone, sau đó được đưa vào hệ thống GC-MS để phân tách các hợp chất dựa trên thời gian lưu và nhận diện sơ bộ (tentatively identify) các hợp chất thông qua so sánh phổ khối với thư viện NIST (Kumar et al., 2021).

Phương pháp phân tích GC-MS đã nhận diện sơ bộ một số hợp chất có trong *P. boryana* và *P. australis* như pentadecane, 3-ethoxy-2-cyclohexen-1-one, ethyl tridecanoate, oleic acid, ethyl oleate, phytol,... Các hợp chất được nhận diện sơ bộ góp phần cung cấp thêm dữ liệu về thành phần hóa học của hai loài tảo *P. boryana* và *P. australis*.

Kết quả phân tích GC-MS cho thấy thành phần hóa học của hai loài tảo *P. boryana* và *P. australis* có nhiều khác biệt rõ rệt. Trong khi *P. boryana* chứa chủ yếu các hydrocarbon mạch dài, ketone và các hợp chất dễ bay hơi thì *P. australis* lại giàu acid béo không no và các ester acid béo.

Ở *P. boryana*, hợp chất chiếm hàm lượng cao nhất là pentadecane (14,53%), tiếp theo là 3-ethoxy-2-cyclohexen-1-one (9,36%), 6-methyl-5-heptene-2-one (7,46%), ethyl tridecanoate (6,99%) và diethyltoluamide (6,62%). Pentadecane là hydrocarbon thường gặp trong nhiều loài tảo biển và đã được ghi nhận trong thành phần dễ bay hơi của *Padina pavonia* cũng như một số loài thuộc họ Dictyotaceae. Hợp chất này được cho là tham gia cơ chế bảo vệ hóa học của tảo đối với vi sinh vật và sinh vật bám biển (Kamenarska et al., 2002).

Sự hiện diện của 6-methyl-5-heptene-2-one trong *P. boryana* có thể liên quan đến quá trình phân hủy oxy hóa của carotenoid, đặc biệt là fucoxanthin – sắc tố đặc trưng của tảo nâu. Hợp chất này đã được phát hiện trong nhiều nghiên cứu GC-MS trên các loài tảo nâu nhiệt đới và được xem là chỉ thị cho sự chuyển hóa các hợp chất terpenoid và carotenoid (Sivasankar et al., 2016).

Bảng 1. Thành phần hóa học của tảo *P. boryana* qua phân tích GC-MS

STT	Thời gian lưu (phút)	Tên hợp chất	Hàm lượng (%)
1	5,639	(R)-(-)-2,2-dimethyl-1,3-dioxolane-4-methanol	0,83
2	6,040	<i>m</i> -ethylmethylbenzene	1,11
3	6,625	1,2,3-trimethylbenzene	5,65
4	7,099	1,3,5-trimethylbenzene	1,33
5	9,803	Butoxyethoxyethanol	0,73
6	9,891	6-methylheptane-1,6-diol	1,45
7	10,542	6-methyl-1,6-heptanediol	3,90
8	10,990	Ethyl 3-hydroxy-4-methylpentanoate	1,80
9	11,908	1-nitro-2-octanone	3,46
10	12,011	Allyl heptanoate	3,12
11	12,726	Cyclohexyl isopropylphosphonofluoridate	3,43
12	13,030	Tetradecane	2,04
13	13,258	6-methyl-5-heptene-2-one	7,46
14	14,436	Pentadecane	14,53
15	15,048	(2,6,6-trimethyl-2-hydroxycyclohexylidene)acetic acid lactone	5,81
16	15,160	Dodecanoic acid	1,60
17	15,370	4,6,10,10-tetramethyl-5-oxatricyclo[4.4.0.0(1,4)]dec-2-en-7-ol	4,81
18	15,434	Diethyltoluamide	6,62
19	15,541	Ethyl tridecanoate	6,99
20	15,621	Pentadecane	8,27
21	15,752	3-Ethoxy-2-cyclohexen-1-one	9,36
22	16,080	Azelaic acid	1,95
23	16,150	Tridecanoic acid	1,61
24	16,209	Octadecyl hexanoate	2,15
Tổng			100

Bảng 2. Thành phần hóa học của tảo *P. australis* qua phân tích GC-MS

STT	Thời gian lưu (phút)	Tên hợp chất	Hàm lượng (%)
1	6,049	<i>m</i> -ethylmethylbenzene	0,02
2	6,625	1,2,3-Trimethylbenzene	0,12
3	7,102	1,3,5-Trimethylbenzene	0,03
4	8,465	Nonanal	0,03
5	9,454	Octanoic acid	0,02
6	9,895	2,4-Dimethyl-2-pentanol	0,04
7	10,546	Phenol, 2-amino-4-methoxy-	0,02
8	10,990	Nonanoic acid	0,07
9	12,014	2,7-Dimethyl-1-octanol	0,02
10	13,032	Tetradecane	0,03
11	13,258	6-Methyl-5-heptene-2-one	0,02
12	14,436	Pentadecane	0,21
13	14,886	Octadecanoic acid, ethyl ester	0,58
14	15,113	Oleic acid, methyl ester	1,18
15	15,384	Phytol	1,26
16	15,671	Linolenic acid, methyl ester	1,35
17	15,803	Linoleic acid	0,45
18	15,941	Oleic acid	9,59
19	16,239	9,12-Octadecadienoic acid, ethyl ester	17,86
20	16,327	Ethyl oleate	67,10
Tổng			100

Ngược lại, thành phần hóa học của *P. australis* lại được chi phối bởi nhóm lipid. Hợp chất nổi bật nhất là ethyl oleate (67,62%), tiếp theo là 9,12-octadecadienoic acid, ethyl ester (17,86%) và oleic acid (9,59%). Tổng diện tích pic của các acid béo và ester acid béo chiếm khoảng 95% tổng diện tích pic của các hợp chất được nhận diện. Kết quả GC-MS cho thấy dịch chiết ethanol của *P. australis* có tỷ lệ tương đối cao các acid béo và ester acid béo được nhận diện, tuy nhiên điều này chưa phản ánh hàm lượng tuyệt đối trong nguyên liệu.

Các acid béo không no như oleic acid, linoleic acid và linolenic acid đã được chứng minh có hoạt tính kháng oxy hóa, kháng viêm và bảo vệ tim mạch (Holdt et al., 2011). Đây cũng là nhóm chất thường gặp trong nhiều loài tảo nâu thuộc các chi *Padina*, *Sargassum* và *Turbinaria* (Kumar et al., 2008).

Một hợp chất đáng chú ý khác trong *P. australis* là phytol (1,26%). Đây là diterpene alcohol có nguồn gốc từ sự phân hủy chlorophyll và được ghi nhận có hoạt tính kháng oxy hóa, kháng khuẩn, kháng viêm và hỗ trợ điều hòa miễn dịch (de Moraes et al., 2014). Sự hiện diện của phytol trong nghiên cứu này tương tự kết quả công bố trên *Padina sp.* của Khadijah et al. (2021).

Kết quả nghiên cứu cho thấy thành phần hóa học của *P. australis* có nhiều điểm tương đồng với các loài *Padina* đã được công bố trước đây, như nghiên cứu của Kamenarska et al. (2002) trên *Padina pavonia* tại biển Adriatic cho thấy các acid béo chủ yếu gồm palmitic acid, oleic acid và myristic acid. Trong đó, oleic acid là một trong những acid béo chiếm tỷ lệ cao nhất. Điều này tương đồng với kết quả thu được ở *P. australis* khi oleic acid và các dẫn xuất ester của nó là nhóm hợp chất ưu thế. Tương tự, nghiên cứu của Akinin et al. (1992) trên *Padina vickersiae* cũng ghi nhận sự hiện diện của oleic acid, palmitic acid và các acid béo không no khác như thành phần hóa học chủ yếu. Điều này cho thấy sự tích lũy lipid có thể là đặc điểm phổ biến của nhiều loài thuộc chi *Padina*.

Trong khi đó, thành phần của *P. boryana* lại có xu hướng khác biệt hơn khi giàu hydrocarbon và ketone dễ bay hơi. Đặc điểm này gắn với kết quả nghiên cứu của Sivasankar et al. (2016) trên *Padina tetrastrum*; trong đó, ngoài acid béo còn phát hiện nhiều hydrocarbon, ketone và các hợp chất terpenoid oxy hóa.

Theo Holdt and Kraan (2011), thành phần hóa học của tảo biển có thể biến động đáng kể theo mùa và điều kiện sinh thái, đặc biệt đối với nhóm lipid và các hợp chất chuyển hóa thứ cấp.

Kết quả phân tích thành phần hóa học của hai loài tảo *P. boryana* và *P. australis* có những đặc điểm mới nổi bật khác so với những nghiên cứu trước đây như: Đối với tảo *P. boryana* lần đầu ghi nhận phương pháp GC-MS với sự ưu thế của một số chất pentadecane, 3-Ethoxy-2-cyclohexen-1-one, 6-Methyl-5-heptene-2-one, ethyl tridecanoate, thành phần khác biệt đáng kể so với các báo cáo trước vốn tập trung vào acid béo và polyphenol. Mặc dù các hợp chất trên đã được báo cáo có nhiều hoạt tính sinh học trong các nghiên cứu trước nhưng kết quả GC-MS của nghiên cứu này chỉ phản ánh sự hiện diện hoặc tỷ lệ tương đối của các hợp chất trong dịch chiết. Do đó, chưa thể khẳng định các hợp chất riêng lẻ này là thành phần chịu trách nhiệm chính cho hoạt tính ức chế α -glucosidase hoặc gây độc tế bào quan sát được. Để làm rõ mối liên hệ này, cần có các nghiên cứu phân lập hợp chất và đánh giá hoạt tính riêng lẻ trong tương lai. Đối với tảo *P. australis*, kết quả nghiên cứu cho thấy mẫu *P. australis* trong nghiên cứu này có tỷ lệ tương đối cao của ethyl oleate (67,62%) cùng một số ester acid béo không no. Thành phần hóa học này có sự khác biệt so với một số nghiên cứu trước đây và có thể phản ánh sự khác biệt về điều kiện sinh thái, mùa thu mẫu hoặc nguồn gốc địa lý. Tuy nhiên, cần có thêm các nghiên cứu trên nhiều quần thể và thời điểm thu mẫu khác nhau để khẳng định đặc điểm hóa học đặc trưng của loài.

3.2. Hoạt tính ức chế α -glucosidase

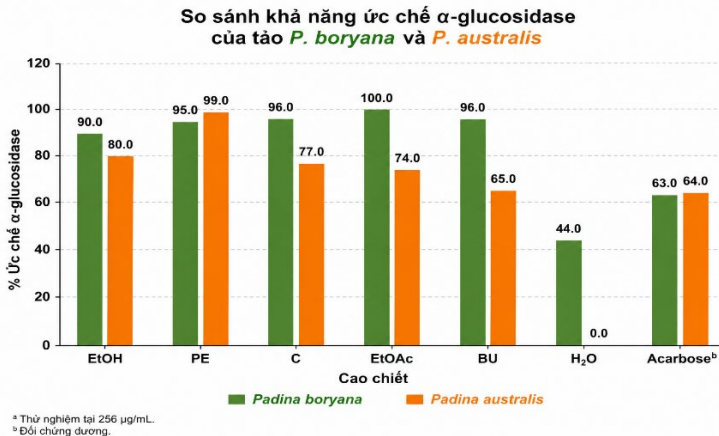
Kết quả thí nghiệm *in vitro* cho thấy hoạt tính ức chế α -glucosidase của hai loài tảo tăng theo nồng độ dịch chiết được sử dụng.

Kết quả của nhiều nghiên cứu cho thấy tảo nâu là nguồn giàu các hợp chất có khả năng ức chế α -glucosidase như phlorotannin, terpenoid và acid béo không no (Heo et al., 2009; Apostolidis & Lee, 2010). Trong nghiên cứu này, hoạt tính ức chế α -glucosidase của các cao chiết và phân đoạn từ hai loài tảo nâu *P. boryana* và *P. australis* được đánh giá nhằm xác định tiềm năng ức chế enzyme α -glucosidase và định hướng khai thác các hợp chất hoạt tính sinh học có nguồn gốc tự nhiên. Hoạt tính ức chế α -glucosidase của tảo *P. boryana* đã được nhóm công bố trong một bài báo (Tuan et al., 2024) và được dùng để so sánh với *P. australis*.

Bảng 3. Kết quả thử nghiệm hoạt tính ức chế α -glucosidase của tảo *P. boryana* và *P. australis*

Cao chiết	<i>P. Boryana</i>		<i>P. australis</i>	
	% Ức chế ^a	IC ₅₀ (μ g/mL)	% Ức chế ^a	IC ₅₀ (μ g/mL)
EtOH	90,0	40,0 $\pm$ 0,09	80,0	3,93 $\pm$ 0,139
PE	95,0	12,71 $\pm$ 0,06	99,0	0,175 $\pm$ 0,008
C	96,0	10,62 $\pm$ 0,19	77,0	14,54 $\pm$ 0,356
EtOAc	100,0	3,10 $\pm$ 0,01	74,0	15,45 $\pm$ 0,612
BU	96,0	11,84 $\pm$ 0,03	65,0	193,4 $\pm$ 7,28
H ₂ O	44,0	>256	0,0	>256
Acarbose ^b	63,0	156,16 $\pm$ 5,43	64,0	197,6 $\pm$ 6,25

Ghi chú: ^a - thử nghiệm tại 256 μ g/mL, ^b - đối chứng.



Hình 2. Biểu đồ so sánh hoạt tính ức chế α -glucosidase của tảo *P. boryana* và *P. australis*

Dữ liệu trong Bảng 3 và Hình 2 cho thấy các phân đoạn cao chiết từ *P. boryana* và *P. australis* đều biểu hiện hoạt tính ức chế α -glucosidase mạnh. Tuy nhiên, hiệu quả ức chế có sự biến động đáng kể giữa các phân đoạn và giữa hai loài được khảo sát.

Đối với *P. boryana*, phân đoạn EtOAc thể hiện hoạt tính mạnh nhất với giá trị IC₅₀ đạt 3,10 $\pm$ 0,01 μ g/mL, tiếp theo là các phân đoạn C (IC₅₀ = 10,62 $\pm$ 0,19 μ g/mL), BU (IC₅₀ = 11,84 $\pm$ 0,03 μ g/mL) và PE (IC₅₀ = 12,71 $\pm$ 0,06 μ g/mL). Tất cả các phân đoạn đều cho hoạt tính ức chế mạnh hơn đáng kể so với chất đối chứng acarbose (IC₅₀ = 156,16 $\pm$ 5,43 μ g/mL). Ngược lại, phân đoạn nước thể hiện hoạt tính yếu (IC₅₀ > 256 μ g/mL), cho thấy các hợp chất có hoạt tính chủ yếu tập trung trong các phân đoạn hữu cơ.

Ở *P. australis*, phân đoạn PE thể hiện hoạt tính nổi bật nhất với IC₅₀ chỉ đạt 0,175 $\pm$ 0,008 μ g/mL, tiếp theo là phân đoạn ethanol (3,93 $\pm$ 0,139 μ g/mL). Các phân đoạn C và EtOAc có hoạt tính ở mức trung bình với IC₅₀ lần lượt là 14,54 $\pm$ 0,356 μ g/mL và 15,45 $\pm$ 0,612 μ g/mL; trong khi đó, phân đoạn BU và phân đoạn nước thể hiện hoạt tính thấp hơn đáng kể. Hoạt tính rất mạnh của phân đoạn PE cho thấy các

chất ức chế α -glucosidase chủ yếu thuộc nhóm hợp chất không phân cực.

Việc so sánh giữa hai loài cho thấy sự phân bố các hợp chất có hoạt tính sinh học là khác nhau. Trong khi đó, *P. boryana* thể hiện hoạt tính mạnh ở nhiều phân đoạn hữu cơ khác nhau thì *P. australis* lại tập trung hoạt tính chủ yếu ở phân đoạn PE. Sự hiện diện với tỷ lệ tương đối cao của các acid béo và ester acid béo trong phân đoạn PE có thể góp phần vào hoạt tính ức chế α -glucosidase quan sát được. Tuy nhiên, nghiên cứu hiện tại chưa đủ cơ sở để khẳng định các hợp chất này là thành phần chính chịu trách nhiệm cho hoạt tính sinh học. Thành phần của *P. australis* chủ yếu gồm các acid béo và ester acid béo, đặc biệt là ethyl oleate (67,62%), ethyl linoleate (17,86%) và oleic acid (9,59%). Các acid béo không no đã được chứng minh có khả năng ức chế các enzyme thủy phân carbohydrate thông qua tương tác với vùng xúc tác của enzyme hoặc làm thay đổi cấu hình không gian của enzyme (Kim et al., 2010; Lordan et al., 2013). Kết quả GC-MS cho thấy phân đoạn PE chứa tỷ lệ tương đối cao các acid béo và ester acid béo. Các hợp chất này đã được báo cáo có khả năng ức chế α -glucosidase trong các nghiên cứu trước và có thể góp phần vào hoạt tính

quan sát được. Tuy nhiên, cần có các nghiên cứu phân lập hợp chất và đánh giá hoạt tính riêng lẻ để xác định chính xác thành phần chịu trách nhiệm.

Ngược lại, *P. boryana* chứa hàm lượng cao các hydrocarbon mạch dài, ketone, lactone và các terpenoid. Nhiều nghiên cứu cho thấy terpenoid và các hợp chất phenolic từ tảo nâu đóng vai trò quan trọng trong hoạt tính ức chế α -glucosidase (Heo et al., 2009; Lee & Jeon, 2013). Hoạt tính mạnh của phân đoạn EtOAc gợi ý rằng các hợp chất có độ phân cực trung bình có thể là những thành phần chính tạo nên tác dụng sinh học của loài này.

Hoạt tính ức chế α -glucosidase ghi nhận trong nghiên cứu hiện tại cao hơn nhiều so với nhiều loài tảo nâu đã được công bố trước đây. Các cao chiết từ *Ecklonia cava*, *Ascophyllum nodosum* và *Laminaria digitata* thường có giá trị IC_{50} dao động từ khoảng 10–200 $\mu\text{g/mL}$ (Apostolidis & Lee, 2010; Kang et al., 2012). Tương tự, cao chiết methanol từ *P. australis* thu tại vùng biển Sri Lanka được báo cáo có IC_{50} trong khoảng 35 – 50 $\mu\text{g/mL}$ đối với enzyme α -glucosidase (Samarakoon et al., 2021). So với các kết quả này, phân đoạn EtOAc của *P. boryana* ($IC_{50} = 3,10 \mu\text{g/mL}$) và đặc biệt là phân đoạn PE của *P. australis* ($IC_{50} = 0,175 \mu\text{g/mL}$) cho hoạt tính vượt trội hơn hẳn.

Nhìn chung, cả hai loài *Padina* đều thể hiện tiềm năng cao trong việc phát triển các chất ức chế α -glucosidase có nguồn gốc tự nhiên. Tuy nhiên, bản chất hóa học của các hợp chất hoạt tính dường như

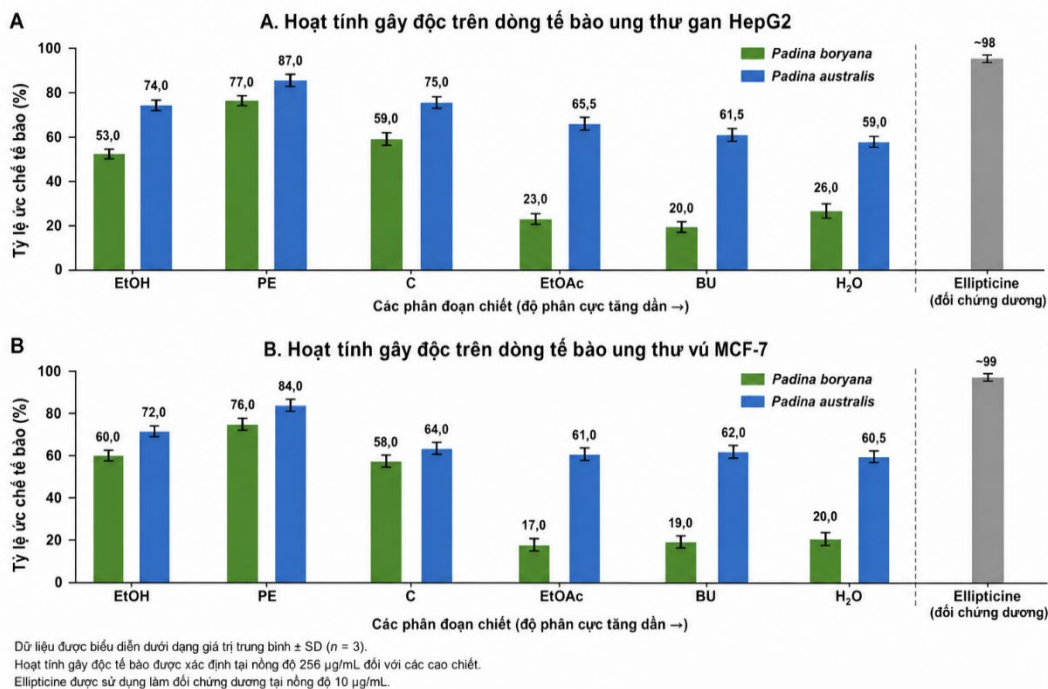
khác nhau giữa hai loài. *P. australis* có thể phát huy hoạt tính chủ yếu nhờ các acid béo không no và ester acid béo; trong khi đó, hoạt tính của *P. boryana* nhiều khả năng liên quan đến các terpenoid oxy hóa và các hợp chất chuyển hóa thứ cấp có độ phân cực trung bình. Do đó, việc nghiên cứu phân lập theo định hướng hoạt tính sinh học cần tiếp tục được thực hiện để xác định chính xác các hợp chất chịu trách nhiệm cho tác dụng ức chế α -glucosidase ở hai loài tảo này.

3.3. Hoạt tính gây độc tế bào ung thư

Hoạt tính gây độc tế bào của các phân đoạn chiết từ hai loài tảo *P. boryana* và *P. australis* được đánh giá trên hai dòng tế bào ung thư người là HepG2 (ung thư gan) và MCF-7 (ung thư vú). Hiệu quả ức chế tế bào được thể hiện thông qua giá trị IC_{50} , trong đó IC_{50} càng nhỏ chứng tỏ hoạt tính gây độc tế bào càng cao. Kết quả cho thấy hoạt tính của các cao chiết thay đổi đáng kể giữa hai loài tảo cũng như giữa các phân đoạn dung môi, phản ánh sự khác biệt về thành phần hóa học của từng mẫu. Một số phân đoạn thể hiện khả năng ức chế sự phát triển của hai dòng tế bào ung thư khảo sát, cho thấy sự hiện diện của các hợp chất có hoạt tính gây độc tế bào in vitro. Kết quả này gợi ý tiềm năng khai thác các hợp chất hoạt tính sinh học từ tảo nâu và là cơ sở cho các nghiên cứu chuyên sâu tiếp theo. Những kết quả này góp phần khẳng định tảo nâu là nguồn nguyên liệu tự nhiên giàu các chất chuyển hóa thứ cấp có giá trị sinh học và triển vọng trong nghiên cứu phát triển các tác nhân hỗ trợ điều trị ung thư.

Bảng 4. Kết quả thử nghiệm hoạt tính gây độc tế bào ung thư của tảo *P. boryana* và *P. australis*

Mẫu thử		Ung thư gan (HepG2)		Ung thư vú (MCF7)	
		Phần trăm ức (%)	IC ₅₀ (µg/mL)	Phần trăm ức (%)	IC ₅₀ (µg/mL)
<i>Padina boryana</i>	EtOH	53,0	234,67±10,06	60,0	215,93±2,36
	PE	77,0	156,20±7,94	76,0	163,56±5,03
	C	59,0	214,72±7,85	58,0	220,28±6,31
	EtOAc	23,0	>256	17,0	>256
	BU	20,0	>256	19,0	>256
	H ₂ O	26,0	>256	20,0	>256
<i>Padina australis</i>	EtOH	74,0	154,67±7,54	72,0	174,88±8,24
	PE	87,0	111,02±5,54	84,0	60,73±1,54
	C	75,0	161,88±5,32	64,0	198,81±5,78
	EtOAc	65,5	187,65±8,25	61,0	209,07±6,03
	BU	61,5	210,53±7,73	62,0	195,37±7,15
	H ₂ O	59,0	212,65±8,32	60,5	206,07±5,97
Ellipticine		0,59±0,01		0,57±0,03	



Hình 3. Biểu đồ thể hiện hoạt tính gây độc tế bào ung thư của tảo *P. boryana* và *P. australis*

Kết quả thử nghiệm cho thấy các cao chiết từ *P. boryana* và *P. australis* đều có khả năng ức chế sự tăng trưởng của hai dòng tế bào ung thư HepG2 và MCF-7, tuy nhiên mức độ tác động khác nhau giữa các mẫu. Nhìn chung, *P. australis* thể hiện hoạt tính mạnh hơn so với *P. boryana* trên cả hai dòng tế bào khảo sát. Đối với HepG2, phân đoạn PE của *P. australis* cho hiệu quả cao nhất với tỷ lệ ức chế 87,0% và giá trị IC_{50} đạt $111,02 \pm 5,54 \mu\text{g/mL}$, trong khi phân đoạn tương ứng của *P. boryana* chỉ đạt 77,0% với giá trị IC_{50} là $156,20 \pm 7,94 \mu\text{g/mL}$. Trên dòng tế bào MCF-7, phân đoạn PE của *P. australis* tiếp tục cho hoạt tính nổi bật nhất với tỷ lệ ức chế 84,0% và giá trị IC_{50} là $60,73 \pm 1,54 \mu\text{g/mL}$, thấp hơn đáng kể so với các phân đoạn còn lại. Những kết quả này cho thấy hoạt tính gây độc tế bào chủ yếu được ghi nhận ở các phân đoạn có độ phân cực thấp, gợi ý rằng các hợp chất góp phần vào hoạt tính có thể tập trung nhiều hơn trong các phân đoạn này.

Ngược lại, các phân đoạn EtOAc, BU và H₂O của *P. boryana* chỉ thể hiện hoạt tính yếu với tỷ lệ ức chế dưới 30% và giá trị IC_{50} lớn hơn 256 $\mu\text{g/mL}$. Kết quả này cho thấy các phân đoạn có độ phân cực cao biểu hiện hoạt tính gây độc tế bào thấp hơn. Tuy nhiên, cần có các nghiên cứu phân lập và định lượng hợp chất để làm rõ nguyên nhân của sự khác biệt này. Sự khác biệt về hoạt tính giữa các phân đoạn

phản ánh sự phân bố không đồng đều của các chất chuyển hóa thứ cấp trong từng hệ dung môi chiết tách.

So với chất đối chứng dương Ellipticine ($\text{IC}_{50} = 0,59 \pm 0,01 \mu\text{g/mL}$ đối với HepG2 và $0,57 \pm 0,03 \mu\text{g/mL}$ đối với MCF-7), tất cả các cao chiết đều có hoạt tính thấp hơn rất nhiều. Tuy nhiên, kết quả thu được vẫn cho thấy tiềm năng sinh học đáng chú ý của các cao chiết tảo nâu, đặc biệt là phân đoạn PE của *P. australis*. Do các cao chiết là hỗn hợp gồm nhiều hợp chất khác nhau nên chưa thể xác định hợp chất nào chịu trách nhiệm chính cho hoạt tính gây độc tế bào quan sát được.

Những kết quả này có sự tương đồng với các nghiên cứu đã công bố về tiềm năng chống ung thư của tảo nâu. Khanavi et al. (2010) ghi nhận các phân đoạn hexane và chloroform của một số loài tảo nâu cho hoạt tính gây độc tế bào mạnh hơn các phân đoạn phân cực cao, điều này phù hợp với xu hướng quan sát được trong nghiên cứu hiện tại, khi các phân đoạn có độ phân cực thấp biểu hiện hoạt tính cao hơn. Ngoài ra, kết quả của một nghiên cứu tổng quan đã chỉ ra rằng các loài thuộc chi *Padina* chứa nhiều hợp chất hoạt tính sinh học, bao gồm fucoidan, terpenoid, polyphenol, carotenoid và sterol có khả năng kích hoạt quá trình apoptosis, gây ngừng chu trình tế bào và ức chế sự tăng sinh của nhiều dòng tế bào ung thư (Lee et al., 2021).

Đối với riêng loài *P. boryana*, Usoltseva et al. (2018) đã chứng minh fucoidan phân lập từ loài này có khả năng thể hiện hoạt tính kháng ung thư *in vitro* đáng kể. Ngoài ra, một nghiên cứu gần đây về các cao chiết *P. boryana* cũng ghi nhận tiềm năng kháng ung thư và nhiều hoạt tính sinh học khác của loài tảo này (Tuan et al., 2024). *P. boryana* và *P. australis* là nguồn nguyên liệu tiềm năng để tiếp tục phân lập và đánh giá các hợp chất hoạt tính gây độc tế bào. Do đó, cần thực hiện thêm các nghiên cứu trên tế bào bình thường, xác định chỉ số chọn lọc (Selectivity Index) và làm rõ cơ chế tác động trước khi đánh giá tiềm năng ứng dụng.

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu đã đánh giá được thành phần hóa học, hoạt tính ức chế α -glucosidase và hoạt tính gây độc tế bào ung thư của *P. boryana* và *P. australis*. Kết quả phân tích GC-MS cho thấy thành phần hóa học được nhận diện sơ bộ của hai loài có sự khác biệt đáng kể. Trong đó, *P. australis* giàu các acid béo và ester acid béo, còn *P. boryana* chứa hàm lượng cao các hydrocarbon mạch thẳng và một số hợp chất terpenoid.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Aknin, M., Gaydou, E. M., & Miralles, J. (1992). Fatty acid composition of *Padina vickersiae* Hoyt. *Botanica Marina*, 35, 511–514.
- Apostolidis, E., & Lee, C. M. (2010). *In vitro* potential of *Ascophyllum nodosum* phenolic antioxidant-mediated α -glucosidase and α -amylase inhibition. *Journal of Food Science*, 75(3), H97–H102.
<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01544.x>
- Bray, F., Laversanne, M., Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R. L., Soerjomataram, I., & Jemal, A. (2024). Global Cancer Statistics 2022: Globocan Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA Cancer Journal for Clinicians*, 74(3), 229–263.
<https://doi.org/10.3322/caac.21834>
- Cam, T. T., Quoc, N. C., Vi, P. V., Quang, L. D., Tuan, N. D., Phien, H. H., Men, T. T., & De, T. Q. (2024). Morphology of *Vernonia amygdalina* L. and study of its antioxidant property, α -amylase and α -glucosidase inhibitory activity, hepatoprotective potency and toxicity. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 8(5), 7128–7133.
<https://doi.org/10.26538/tjnpr/v8i5.12>
- Chen, H., Yan, X., Lin, W., Zheng, L., & Zhang, W. (2004). A new method for screening α -glucosidase inhibitors and application to marine microorganisms. *Pharmaceutical Biology*, 42(6), 416–421.
<https://doi.org/10.1080/13880200490885987>
- de Moraes, S. M., Vila-Nova, N. S., & Bevilacqua, C. M. L. (2014). Thymol and phytol derivatives as bioactive compounds. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 66(11), 154–163.
<https://doi.org/10.1111/jphp.12173>
- Dirir, A. M., Daou, M., Yousef, A. F., & Yousef, L. F. (2022). A Review of Alpha-Glucosidase Inhibitors from Plants as Potential Candidates for the Treatment of Type-2 Diabetes. *Phytochemistry Reviews*, 21, 1049–1079.
<https://doi.org/10.1007/s11101-021-09773-1>
- Frazzini, S., & Rossi, L. (2025). Anticancer Properties of Macroalgae: A Comprehensive Review. *Marine Drugs*, 23(2), 70.
<https://doi.org/10.3390/md23020070>
- Heo, S. J., Hwang, J. Y., Choi, J. I., Han, J. S., Kim, H. J., & Jeon, Y. J. (2009). Diphlorethohydroxycarmalol isolated from *Ishige okamurae*, a potent α -glucosidase and α -amylase inhibitor. *Food Chemistry*, 115(4), 1499–1505.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.078>
- Holdt, S. L., & Kraan, S. (2011). Bioactive compounds in seaweed: Functional food applications and legislation. *Journal of Applied*

- Phycology*, 23, 543–597.
<https://doi.org/10.1007/s10811-010-9632-5>
- Kamenarska, Z., Gasic, M. J., Zlatovic, M., Rasovic, A., Sladic, D., Kljajic, Z., Stefanov, K., Seizova, K., Najdenski, H., Kujumgiev, A., Tsvetkova, I., & Popov, S. (2002). Chemical composition of the brown alga *Padina pavonia* (L.) Gaill. from the Adriatic Sea. *Botanica Marina*, 44(5), 417–423. <https://doi.org/10.1515/BOT.2002.034>
- Kang, M. C., Lee, J. Y., Ko, R. K., Kim, H. B., Hong, S. H., & Jeon, Y. J. (2012). Dieckol isolated from *Ecklonia cava* attenuates type II diabetes. *Food and Chemical Toxicology*, 50(3–4), 575–581.
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.10.031>
- Karthikeyan, A., Joseph, A., & Nair, B. G. (2022). Promising bioactive compounds from the marine environment and their potential effects on various diseases. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 20(1), 14.
<https://doi.org/10.1186/s43141-021-00290-4>
- Kashtoh, H., & Baek, K. H. (2022). Recent updates on phytoconstituent alpha-glucosidase inhibitors: An approach towards the treatment of type two diabetes. *Plants*, 11(20), 2722.
<https://doi.org/10.3390/plants11202722>
- Khadijah, K., Nurjanah, N., & Jacoeb, A.M. (2021). Chemical composition, phytochemical constituent and toxicity of *Padina* sp. *Journal of Food Quality and Hazards Control*, 8(4), 146–154.
- Khanavi, M., Nabavi, M., Sadati, N., Shams Ardekani, M., Sohrabipour, J., Nabavi, S. M. B., Ghaeli, P., & Ostad, S. N. (2010). Cytotoxic activity of some marine brown algae against cancer cell lines. *Biological Research*, 43(1), 31–37.
<https://doi.org/10.4067/S0716-97602010000100005>
- Kim, K. Y., Nguyen, T. H., Kurihara, H., & Kim, S. M. (2010). α -Glucosidase inhibitory activity of bromophenol purified from the red alga *Polyopes lancifolia*. *Journal of Food Science*, 75(5), H145–H150.
<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01614.x>
- Kim, Y. M., Wang, M. H., & Rhee, H. I. (2004). A novel α -glucosidase inhibitor from pine bark. *Carbohydrate Research*, 339(3), 715–717.
<https://doi.org/10.1016/j.carres.2003.11.005>
- Kumar, C. S., Ganesan, P., Suresh, P. V., & Bhaskar, N. (2008). Seaweeds as a source of nutritionally beneficial compounds. *Food Chemistry*, 107(1), 289–295.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.041>
- Kumar, Y., Tarafdar, A., Kumar, D., & Badgujar, P. C. (2021). Seaweed as a source of bioactive compounds: Biological applications and extraction techniques. *Foods*, 10(4), 817.
<https://doi.org/10.3390/foods10040817>
- Lee, H., Selvaraj, B., & Lee, J. W. (2021). Anticancer Effects of Seaweed-Derived Bioactive Compounds. *Applied Sciences*, 11(23), 11261.
<https://doi.org/10.3390/app112311261>
- Lee, S. H., & Jeon, Y. J. (2013). Anti-diabetic effects of brown algae-derived phlorotannins through diverse mechanisms. *Fitoterapia*, 86, 129–136.
<https://doi.org/10.1016/j.fitote.2013.02.013>
- Lordan, S., Smyth, T. J., Soler-Vila, A., Stanton, C., & Ross, R. P. (2013). The α -amylase and α -glucosidase inhibitory effects of Irish seaweed extracts. *Food Chemistry*, 141(3), 2170–2176.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.123>
- Mosmann, T. (1983). Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: Application to proliferation and cytotoxicity assays. *Journal of Immunological Methods*, 65(1–2), 55–63.
[https://doi.org/10.1016/0022-1759\(83\)90303-4](https://doi.org/10.1016/0022-1759(83)90303-4)
- Ooi, K. L., Loh, S. I., Tan, M. L., Muhammad T. S. T., & Sulaiman, S. F. (2015). Growth inhibition of human liver carcinoma HepG2 cells and α -glucosidase inhibitory activity of selected seaweed extracts. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 9(2), 379–386.
<https://doi.org/10.3892/etm.2014.2083>
- Puspawati, N. M., Maharani, P. F., Parwata, I. M. O. A., Budiari, S., & Patel, R. K. (2026). Dual inhibition and safety profiling of *Padina australis* extract as a marine-derived α -glucosidase modulator: An integrated *in vitro* and *in silico* study. *Trends in Sciences*, 23(7), 12559.
<https://doi.org/10.48048/tis.2026.12559>
- Samarakoon, K. W., Jansz, M. E., Ranasinghe, P., & Peiris, L. C. D. (2021). Bioactive properties of Sri Lankan marine macroalgae and their antidiabetic potential. *Journal of Applied Phycology*, 33(3), 1947–1958.
- Samarakoon, S. R., Shanmuganathan, C., Ediriweera, M. K., Tennekoon, K. H., Piyathilaka, A. M., Karunanayake, P. B., Udukala, C. D., & Thabrew, N. (2016). Screening of fifteen mangrove plants found in Sri Lanka for in-vitro cytotoxic properties on breast (MCF-7) and hepatocellular carcinoma (HepG2) cells. *European Journal of Medicinal Plants*, 14(4), 1–11.
<https://doi.org/10.9734/EJMP/2016/26107>
- Sivasankar, P., Seedeve, P., Poongodi, S., Sivakumar, T., Sivakumar, A., & Balasubramanian, V. (2016). GC-MS analysis and biological activity of *Padina tetrastromatica*. *International Journal*

- of *Pharmaceutical Sciences and Research*, 7(8), 3445–3452.
- Sparkman, O. D., Penton, Z. E., & Kitson, F. G. (2011). *Gas Chromatography and Mass Spectrometry: A Practical Guide* (2nd ed). Amsterdam: Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373628-4.00002-2>
- Tuan, N. D., Quoc, N. C., Ly, D. N., Tuyen, B. T., Quang, L. D., Phien, H. H., De, T. Q., & Men, T. T. (2024). Bioactive Extracts from *Padina boryana* Thivy from Phu Quoc Island, Vietnam: *In vitro* Antioxidant, Anticancer, Alpha-glucosidase inhibitory, Anti-inflammatory, Antimicrobial, and Hepatoprotective Activities. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 8(12), 9555-9559.
<https://doi.org/10.26538/tjnpr/v8i12.29>
- Usoltseva, R. V., Anastyuk, N. M., Shevchenko, N. M., Zvyagintseva, T. N., Ermakova, S. P., Kuznetsova, T. A., & Besednova, N. N. (2018). Structural characteristics and anticancer activity *in vitro* of fucoidan from brown alga *Padina boryana*. *Carbohydrate Polymers*, 184, 260–268.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.12.070>