CẤU TRÚC, HOẠT TÍNH ĐIỀU HÒA MIỄN DỊCH VÀ ĐIỀU CHỈNH RỐI LOẠN LIPID MÁU CỦA FUCOIDAN CHIẾT TÁCH TỪ RONG NÂU *TUBINARIA DECURRENS*

STRUCTURE, IMMUNOMODULATING AND ANTIHYPERLIPIDEMIC ACTIVITY OF FUCOIDAN EXTRACTED FROM BROWN SEAWEED *TUBINARIA DECURRENS*

Nguyễn Ngọc Anh[1], Ngô Văn Quang[2], Đỗ Thị Thanh Xuân[2], Quách Thị Minh Thu[2], Hồ Đức Cường[3], Thành Thị Thu Thủy[2,*]

DOI: https://doi.org/10.57001/huih5804.2026.065

TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này, cấu trúc hóa học của fucoidan chiết tách từ loài rong nâu *Turbinaria decurrens* thu hái tại vùng biển Kiên Giang được xác định bằng phổ cộng hưởng từ hạt nhân. Kết quả cho thấy fucoidan thu được là một galactofucan, có cấu trúc mạch chính gồm (1⟶3)– và (1⟶4)–*α*–L–Fucp, phân nhánh tại vị trí C–4 và nhóm sulfate gắn tại C–2, C–3 và C–4 của fucose; mạch nhánh là (1⟶4)–*β*–D–Galp và sulfate hóa tại C–2. Đánh giá hoạt tính sinh học cho thấy fucoidan có khả năng kích hoạt thực bào RAW264 (FI = 1,51 tại 100µg/mL), có tác dụng làm giảm nồng độ cholesterol, triglycerid, LDL-cholesterol và làm tăng HDL-cholesterol là loại cholesterol tốt trong máu của chuột bị tăng lipid máu. Các kết quả góp phần làm sáng tỏ cấu trúc và chỉ ra tiềm năng ứng dụng của fucoidan trong điều hòa miễn dịch và điều chỉnh rối loạn lipid máu.

Từ khóa: *Tubinarria decurrens; fucoidan; cấu trúc; hoạt tính.*

ABSTRACT

In this study, fucoidan extracted from brown seaweed *Turbinaria decurrens*, collected from the coastal area of Kien Giang, was structurally characterized using NMR spectroscopy. The results revealed that the fucoidan has a backbone of (1 ⟶ 3)– and (1 ⟶ 4)–*α*–L–Fucp residues, branched at C–4, sulfate groups are attached at C–2, C–3 and C–4; branches are (1 ⟶4)–*β*–D–Galp residues and sulfated at C–2. Biological activity assays demonstrated that the fucoidan significantly enhanced phagocytic activity in RAW264 macrophages (FI = 1.51 at 100µg/mL), reduced cholesterol, triglycerides, LDL-cholesterol, and increased HDL-cholesterol which is a good cholesterol in the blood of hyperlipidemic mice. These findings contribute to the understanding of fucoidan structure and support its potential application in immunomodulating and hyperlipidemic therapy.

Keywords: *Tubinarria decurrens; fucoidan; structure; biological activity.*

[1]Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
[2]Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
[3]Trường Hóa và Khoa học sự sống, Đại học Bách khoa Hà Nội
[*]Email: thuyttt@ich.vast.vn
Ngày nhận bài: 24/11/2025
Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 28/01/2026
Ngày chấp nhận đăng: 30/3/2026

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Fucoidan là một sulfate polysaccharide có cấu trúc phức tạp, thường được tìm thấy trong rong nâu. Thành phần hóa học của fucoidan bao gồm nhiều loại đường, chủ yếu là fucose và một số loại đường khác như galactose, mannose, glucose, xylose, nhóm sulfate và acid uronic cũng được tìm thấy trong fucoidan. Một số fucoidan chiết tách từ các loài rong nâu *S. longicruris*, *S.*

latissima, *S. polycystum*, *L. japonica* được gọi là galactofucan do thành phần chủ yếu là fucose và galactose, trong khi một số khác chứa lượng đáng kể các monosaccharide như glucose, mannose, xylose… được gọi là glucouronofucan. Cấu trúc mạch chính của của fucoidan chủ yếu bao gồm các liên kết glycoside (1→3) và/hoặc (1→4) giữa các đơn vị *α*-L-fucopyranose, cùng với sự xuất hiện của nhóm sulfate tại các vị trí C–2, C–3 và/hoặc C–4 [1-3].

Fucoidan có cấu trúc phức tạp, tùy thuộc vào loài rong, phương pháp chiết tách và vị trí địa lý nơi rong sinh trưởng mà fucoidan thu được sẽ có thành phần monosaccharide và mức độ sulfate hóa khác nhau [3]. Các nghiên cứu về cấu trúc đóng vai trò then chốt trong việc hiểu rõ các cơ chế sinh học của fucoidan [4]. Hiện nay, phương pháp phổ khối lượng (MS) và phổ cộng hưởng từ hạt nhân (NMR) là các công cụ hiện đại và hiệu quả cho phép xác định cấu trúc hóa học của fucoidan. Tuy nhiên, do tính không lặp lại và dị thể cao trong cấu trúc, việc xác định cấu trúc chi tiết của fucoidan vẫn là một thách thức lớn.

Fucoidan được biết đến là một hoạt chất có nguồn gốc tự nhiên với nhiều hoạt tính sinh học quý báu như chống đông máu, kháng khuẩn, chống oxy hóa, nổi bật nhất là kháng ung thư, điều hòa miễn dịch và hạ cholesterol máu [5]. Hiện nay fucoidan đã được sử dụng ở Việt Nam và nhiều nước khác trên thế giới như là sản phẩm bảo vệ sức khỏe hỗ trợ điều trị ung thư và hạ cholesterol máu.

Rong nâu *Turbinaria decurrens*, tên địa phương là rong Cùi bắp cạnh, loài rong có sản lượng lớn ở quần đảo Nam Du, Kiên Giang, là nguồn nguyên liệu tiềm năng cho ngành công nghiệp dược phẩm và thực phẩm [6], nó có hàm lượng fucoidan khá cao so với các loài rong nâu khác [1]. Trong nghiên cứu [1], các tác giả sử dụng phổ khối lượng ESI-MS để xác định cấu trúc hóa học của fucoidan chiết tách từ loài rong này và đánh giá hoạt tính gây độc tế bào ung thư đại tràng HT29 (*human colon carcinoma*). Kết quả cho thấy fucoidan nghiên cứu có đặc điểm cấu trúc mới và hoạt tính gây độc tế bào HT29 cao. Nhằm mục đích cung cấp đầy đủ số liệu phổ trong nghiên cứu cấu trúc cũng như đánh giá hơn nữa về tác dụng sinh học của fucoidan từ loài rong *Turbinaria decurrens*. Trong nghiên cứu này, phổ NMR 1D và 2D (^{1}H, ^{13}C, COSY, HSQC, HMBC) được sử dụng để xác định cấu trúc hóa học, đồng thời, hoạt tính sinh học với khả năng điều hòa miễn dịch và điều chỉnh rối loạn lipid máu sẽ được khảo sát.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Mẫu rong biển

Rong nâu *Tubinaria decurrens* được thu hái ở biển Kiên Giang và được định danh bởi TS. Võ Thành Trung (Viện Hải dương học). Tiêu bản rong ký hiệu TD-20 được lưu giữ ở Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Sau khi thu hái, mẫu rong được rửa sạch bằng nước, sấy khô ở nhiệt độ 50°C, sau đó cắt nhỏ và nghiền thành bột.

2.2. Chiết tách fucoidan từ rong nâu

Fucoidan được chiết tách từ rong nâu *Tubinaria decurrens* (ký hiệu là Ftd) dựa theo phương pháp của Bilan và cộng sự cùng với một số điều chỉnh nhỏ để phù hợp với điều kiện và mẫu nghiên cứu. Hàm lượng fucoidan thu được là 2,9% tính trên khối lượng rong khô [1, 7].

2.3. Phương pháp phổ NMR

Phổ NMR 1D và 2D được đo trên thiết bị phổ cộng hưởng từ hạt nhân Bruker Avance NEO (600MHz) tại 70°C, sử dụng D_2O làm dung môi và DSS là chất chuẩn nội với chế độ đo khử tín hiệu của nước.

2.4. Đánh giá hoạt tính sinh học

Hoạt tính điều hòa miễn dịch

Mẫu fucoidan được đánh giá hoạt tính điều hòa miễn dịch thông qua thử nghiệm xác định khả năng kích thích đại thực bào *(Nitroblue tetrazolium (NBT) dye reduction assay)* theo phương pháp của Manosroi và cộng sự [8], sử dụng dòng tế bào đại thực bào RAW264.7.

Cụ thể, 20μL hỗn dịch tế bào RAW264.7 được phối hợp với 40μL môi trường RPMI-1640 trong các giếng của đĩa vi chuẩn 96 giếng. Mẫu fucoidan được thêm vào với thể tích 20μL ở các nồng độ khác nhau. Nhóm đối chứng âm chỉ chứa dung môi hòa tan mẫu. Sau khi ủ ở 37°C, 5% CO_2 trong 24 giờ, 20μL tế bào nấm men bất hoạt (*Saccharomyces cerevisiae)* và 20μL dung dịch NBT (*Sigma*) được thêm vào và tiếp tục ủ trong 60 phút. Các giếng sau đó được rửa bằng môi trường RPMI và methanol (200μL, lặp lại 4 lần), để khô ở nhiệt độ phòng, tiếp theo bổ sung 120μL KOH 2M và 140μL DMSO nhằm hòa tan formazan tạo thành. Độ hấp thụ được đo tại bước sóng 570nm bằng máy đo quang phổ và phần trăm NBT bị khử được tính theo công thức:

$$\%\,NBT\ reduction = \frac{OD(\text{mẫu}) - OD(\text{đối chứng})}{OD(\text{đối chứng})} \times 100$$

Hoạt tính điều chỉnh rối loạn lipid máu

Sử dụng Poloxamer 407 (P-407) để tạo mô hình động vật bị tăng lipid máu ngoại sinh [9].

Mẫu fucoidan được đánh giá tác dụng điều chỉnh rối loạn lipid máu theo phương pháp của Zobaer và cộng sự [10]. Chuột được chia thành 4 lô (6 con/lô) như sau: Lô 1 (chứng sinh học): uống nước cất và tiêm nước muối sinh lý màng bụng; Lô 2 (chứng bệnh lý): uống nước cất và tiêm màng bụng dung dịch P-407; Lô 3 (chứng tham khảo): uống Atorvastatin (50mg/kg) và tiêm màng bụng dung dịch P-407; Lô 4 (mẫu): uống Ftd liều 1000 mg/kg/ngày và tiêm màng bụng dung dịch P-407; P-407 được tiêm liều đơn 600 mg/kg ở nồng độ 30% (w/v) trong nước lạnh, để qua đêm trong tủ lạnh. Sau 2 giờ tiêm dung dịch P-407 thì cho uống mẫu thử hoặc atorvastatin hoặc nước cất.

Sau 24 giờ kể từ khi được tiêm P-407, tất cả các chuột bị nhịn đói qua đêm, lấy máu định lượng Cholesterol toàn phần, Triglyceride, LDL-Cholesterol và HDL-Cholesterol.

Phân tích thống kê

Các số liệu được xử lí trên Excel, kết quả được trình bày dạng trung bình ± độ lệch chuẩn (mean ± SD) từ ba lần lặp lại thí nghiệm. Phân tích thống kê được thực hiện bằng kiểm định Student's t-test, F-test và phương pháp phân tích phương sai một nhân tố ngẫu nhiên (one way ANOVA), với $p < 0,05$ được coi là có ý nghĩa thống kê sinh học.

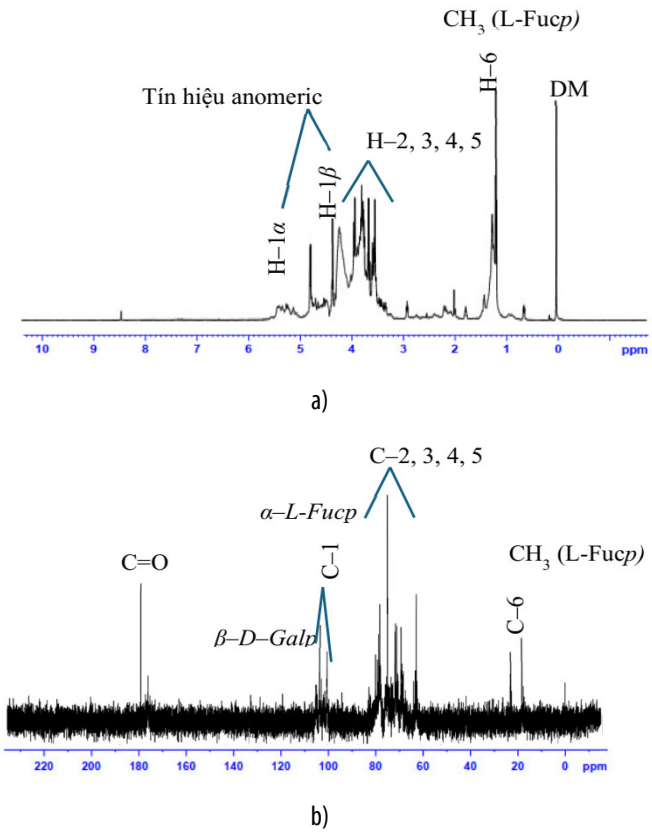
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả nghiên cứu cấu trúc hóa học của fucoidan Ftd

Mẫu fucoidan Ftd là một glactofucan với thành phần chủ yếu là hai loại đường fucose và galactose và một số đường khác như xylose, mannose và glucose với hàm lượng thấp, tỷ lệ mol Fuc: Gal: Xyl: Man: Glc = 1,00: 0,50: 0,03: 0,04: 0,02. Hàm lượng sulfate và acid uronic lần lượt là 15,78% và 7,5% theo khối lượng. Trọng lượng phân tử trung bình (M_w) của F_{td} được xác định bằng phương pháp SEC-MALLS cho kết quả Mw = 122,6KDa. Hệ số phân bố trọng lượng phân tử cao với giá trị Mw/Mn = 4,10 chứng tỏ mẫu có độ không đồng đều về kích thước phân tử - đặc trưng thường gặp ở các polymer có nguồn gốc tự nhiên [1].

Cấu trúc fucoidan Ftd được xác định bằng phổ cộng hưởng từ hạt nhân một chiều (1D) và hai chiều (2D) bao gồm: Phổ ^{1}H, ^{13}C–NMR, COSY, HSQC và HMBC, kết hợp so sánh với các dữ liệu đã công bố trước đó [11, 12].

Phổ ^{1}H - NMR (hình 1a) ghi nhận các vùng tín hiệu đặc trưng của proton anomoric trong khoảng 4,6 - 5,5ppm và các proton vòng pyranose (H–2, 3, 4, 5) tại 3,4 – 4,2ppm. Trên phổ ^{13}C - NMR (hình 1b), tín hiệu của carbon anomeric (C–1) được phát hiện tại 100 – 106 ppm, trong khi các carbon còn lại của vòng pyranose (C–2, 3, 4, 5) xuất hiện tại 68,64 – 87,27 ppm. Đặc biệt, tín hiệu tại 18ppm đặc trưng cho nhóm –CH_3 gắn với vị trí C–6 của đơn vị *α–L–*Fuc*p và* peak tín hiệu 64,25ppm chỉ ra nhóm –CH_2OH trong phân tử *β–D–*Gal*p*. Sự có mặt acid uronic cũng được xác định ở vùng dịch chuyển hóa học khoảng180ppm.



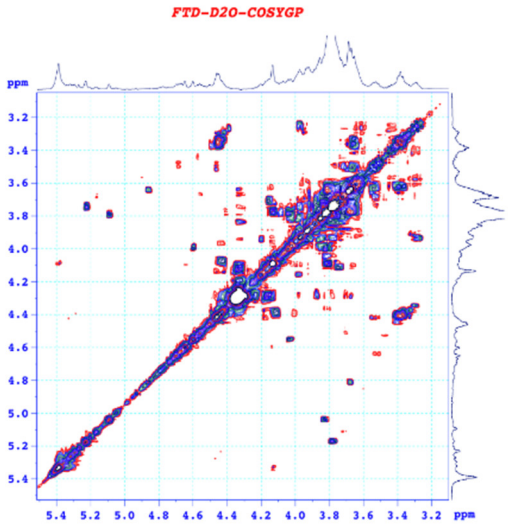
Hình 1. Phổ ^{1}H (a) và ^{13}C-MNR (b) của fucoidan Ftđ

Kết quả phổ NMR hai chiều (2D–NMR) cũng chỉ ra sự hiện diện của 2 đơn vị đường *α*–L–Fuc*p (ký hiệu A)* và *β*–D–Gal*p (ký hiệu B)*. Các tín hiệu proton H–2 đến H–6 được xác định từ phổ COSY(hình 2a), các tín hiệu nguyên tử carbon từ C–2 đến C-6 cũng lần lượt được gán dựa vào phổ HSQC (hình 2b). Trên phổ HMBC (hình 2c) cho thấy các tương tác giữa proton H–1 với C–3 và C-4 của fucose chỉ ra kiểu liên kết glycoside (1→3) và (1→4) của fucose và H-1 với C-4 của galactose chỉ ra kiểu liên kết glycoside (1→4) galactose.

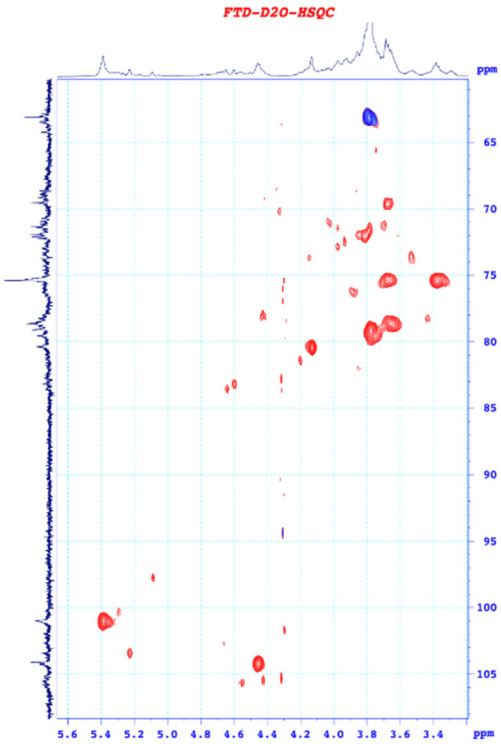
Tín hiệu bị dịch chuyển về phía trường thấp của C–2, C–3 và C–4 chỉ ra kiểu liên kết glycoside ở các đơn vị *α–L–*Fuc*p* có thể là *(1→*3,4) và/hoặc nhóm sulfate có mặt ở vị trí C–2, C–3 và C–4. Kết quả này khẳng định một lần nữa mối tương quan giữa H–1(A) và C–3(A), C–4(A) trên phổ HMBC. Trên phổ HMBC cũng ghi nhận cross-peak giữa

H–1(B) và C–4(A), chỉ ra phân tử fucose phân nhánh tại vị trí C–4.

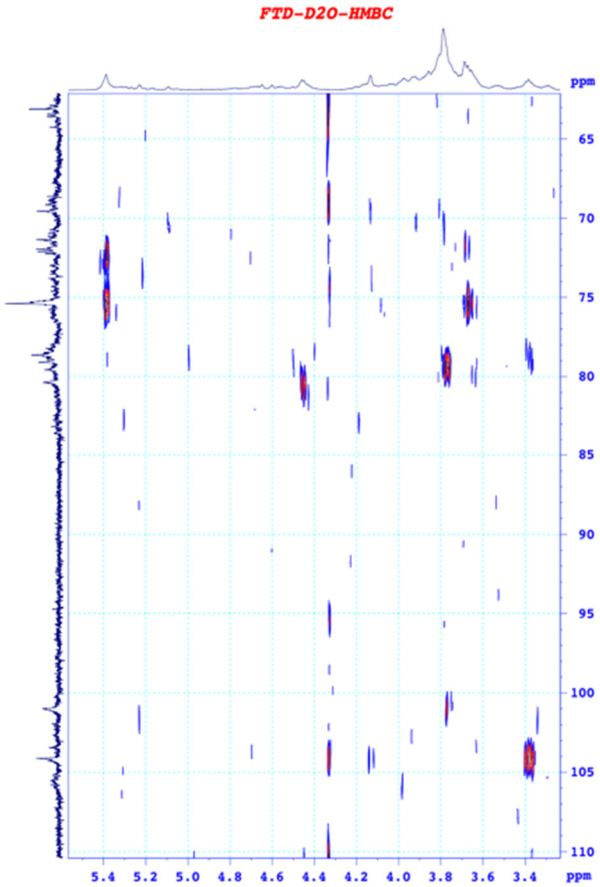
Đối với đơn vị *β*–D–Gal*p* (B), proton anomer H–1 trên phổ ^{1}H–NMR tại 4,45ppm, đặc trưng cho proton anomer H*β*. Tín hiệu này tương ứng với C–1(B) tại 104,12ppm trên phổ HSQC. Ngoài ra, tín hiệu tại 73,78ppm được gán cho C–3(B) tương ứng. Sự dịch chuyển về trường thấp của các tín hiệu C–1 và C–2 cho thấy đơn vị *β–D*–Gal*p* có tham gia liên kết glycoside tại vị trí C–1 và nhóm sulfate có mặt ở vị trí C–2 của đơn vị đường này.



a)



b)



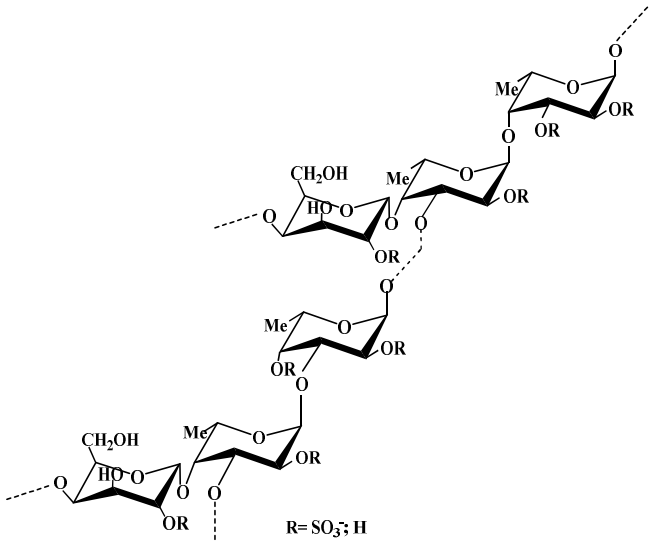
c)

Hình 2. Phổ COSY (a), HSQC (b) và HMBC(c) của fucoidan Ftđ

Kết quả phân tích phổ NMR được đưa ra trên bảng 1. Từ đó có thể kết luận rằng fucoidan chiết tách từ rong nâu *Tubinaria decurrens* có cấu trúc mạch chính gồm (1→3)– và (1→4)–*α*–L–Fuc*p*, phân nhánh tại vị trí C–4 và nhóm sulfate gắn tại C–2, C–3 và C–4 của fucose; mạch nhánh là (1→4)–*β*–D–Gal*p* và sulfate hóa tại C–2 (hình 3). Kết quả này hoàn toàn trùng khớp với kết quả thu được từ phổ ESI-MS [1].

Bảng 1. Kết quả phân tích phổ NMR của fucoidan Ftd

Monosaccharide	C1/H1	C2/H2	C3/H3	C4/H4	C5/H5	C6/H6
A →4)–*α*–L–Fuc*p*–(1→ →3,4)–*α*–L–Fuc*p*–(1→	100,99-103,45 / 5,23-5,09	72,24 / 4,13	75,39 /3,93	71,97 / 3,93 79,56 / 4,04	68,64 / 3,78	18,26 / 1,23
B →4)–*β*–D–Gal*p*–(1→	104,12 / ~ 4,45	80,36 / 3,80	73,78 / 4,11	69,56 / 3,73	75,39 / 3,86	63,44 / 1,23



Hình 3. Cấu trúc hóa học của fucoidan Ftd

3.2. Kết quả đánh giá hoạt tính sinh học của fucoidan Ftđ

3.2.1. Hoạt tính điều hòa miễn dịch

Hoạt tính điều hòa miễn dịch của mẫu fucoidan Ftd được đánh giá thông qua khả năng kích hoạt đại thực bào dòng RAW264.7 ở các nồng độ 100, 20, 4 và 0,8 (µg/mL). Thử nghiệm dựa trên phép thử khử thuốc nhuộm NBT (*Nitroblue tetrazolium*), phản ánh khả năng tạo các loại gốc oxy phản ứng (ROS) bởi enzyme NADPH oxidase. ROS khử NBT thành formazan màu xanh không tan, và mức độ khử được biểu thị qua phần trăm NBT bị khử hoặc chỉ số cảm ứng FI (Fold Induction), từ đó định lượng mức độ kích hoạt thực bào của fucoidan [13].

Lipopolysaccharide *(LPS, Sigma)* ở nồng độ 20µg/mL được sử dụng làm chất đối chứng dương trong thư nghiệm như một chất kích hoạt hệ miễn dịch mạnh.

Bảng 2. Kết quả hoạt tính điều hòa miễn dịch bằng phép thử NBT của mẫu Ftd

Nồng độ (µg/mL)	Mẫu Ftd		FI - Đối chứng	
	FI	NBT(%)	Đối chứng dương LPS	Đối chứng âm
100	1,51 ± 0,06	151,0 ± 6,0	-	-
20	**1,49 ± 0,13**	**149,0 ± 13,0**	**1,79 ± 0,02**	-
4	1,22 ± 0,16	122,0 ± 16,0	-	-
0,8	1,15 ± 0,03	115,0 ± 3,0	-	-
				1,00 ± 0,01

Kết quả bảng 2 cho thấy, mẫu Ftd có khả năng làm tăng đáng kể mức khử NBT so với nhóm đối chứng âm, tại nồng độ 100µg/mL, chỉ số FI đạt 1,51 ± 0,06, cho thấy sự kích hoạt rõ rệt của đại thực bào. Sự tăng hoạt tính bắt đầu có ý nghĩa thống kê ở nồng độ ≥ 20µg/mL.

Hoạt tính điều hòa miễn dịch của Ftd có thể liên quan đến yếu tố cấu trúc đặc trưng của sulfate polysaccharide này. Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng fucoidan với mức độ sulfate hóa cao, đặc biệt tại các vị trí C2/C4 của đơn vị *α*-L-fucopyranose có xu hướng thể hiện hoạt tính sinh học mạnh hơn nhờ tăng cường ái lực tương tác với PRRs [14]. Ngoài ra, sự có mặt của galactose sulfate hóa ở mạnh nhánh và mạch chính gồm các liên kết *α*-(1→3) và *α*-(1→4) góp phần định hình cấu trúc ba chiều thuận lợi cho các tương tác đa điểm với tế bào miễn dịch [15]. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đây về fucoidan từ nhiều loài rong nâu khác, vốn được chứng minh có khả năng hoạt hóa đại thực bào thông qua tương tác với các thụ thể nhận diện mẫu phân tử (PRRs) như scavenger receptors (SR-A) và Toll-like receptor 4 **(**TLR4) trên bề mặt đại thực bào [16, 17].

3.2.2. Hoạt tính điều chỉnh rối loạn lipid máu

Bảng 3. Sự thay đổi các chỉ tiêu sinh hoá máu của chuột trong thí nghiệm

Mẫu	Cholesterol (mmol/L)	Triglyceride (mmol/L)	HDL-Cholesterol (mmol/L)	LDL-Cholesterol (mmol/L)
Đối chứng sinh lý	2,74 ± 0,21	1,65 ± 0,06	1,32 ± 0,07	0,97 ± 0,03
Đối chứng bệnh lý	15,41 ± 0,54	25,30 ± 1,39	2,06 ± 0,03	8,28 ± 0,85
Atorvastatin	11,05* ± 1,77	14,03* ± 2,07	2,42* ± 0,20	5,82* ± 1,26
Ftd	14,54* ± 0,97	21,82* ± 1,44	2,22* ± 0,15	8,11* ± 0,37

*Ghi chú: *P < 0,05*

Hoạt tính điều chỉnh rối loạn lipid máu của mẫu fucoidan Ftd được đánh giá thông qua khả năng làm giảm các chỉ số sinh hóa xấu và tăng chỉ số sinh hóa tốt của chuột bị tăng lipid máu khi cho uống mẫu fucoidan Ftd ở liều 1000 mg/kg/ngày.

Kết quả trình bày trong bảng 3 cho thấy, Fucoidan (Ftd) ở liều 1000mg/kg/ngày có khả năng điều chỉnh đáng kể các chỉ số lipid huyết thanh ở mô hình chuột tăng lipid máu. Cụ thể, sau thời gian điều trị, mức cholesterol toàn phần và triglyceride lần lượt giảm 5,62% và 13,81% so với nhóm đối chứng bệnh lý, trong khi nồng độ LDL-cholesterol (cholesterol xấu) giảm nhẹ 2,03%. Đáng chú ý, chỉ số HDL-cholesterol (cholesterol tốt) tăng 8,03%, phản ánh xu hướng cải thiện rõ rệt trong chuyển hóa lipid. Các thay đổi này đều có ý nghĩa thống kê (P < 0,05) so với nhóm bệnh lý không điều trị, cho thấy hiệu lực sinh học thực sự của Ftd trong việc điều hòa rối loạn lipid máu.

Nhiều nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng fucoidan, nhờ vào đặc tính cấu trúc giàu nhóm sulfate và khả năng

gắn kết với acid mật, có thể làm giảm chu trình tái hấp thu cholesterol nội sinh, đồng thời cải thiện biểu hiện gen liên quan đến chuyển hóa lipid trong gan và mô mỡ trắng [18]. Bên cạnh đó, cấu trúc polysaccharide sulfate hóa với sự có mặt của các liên kết *α*-(1→3), *α*-(1→4) và các phân nhánh fucose–galactose có thể góp phần tăng khả năng tương tác sinh học tại thành ruột và gan, từ đó điều hòa các con đường tín hiệu liên quan đến lipid như PPAR-α và SREBP-1c. Mặc dù tác dụng của Ftd không mạnh bằng thuốc đối chứng Atorvastatin, mức cải thiện lipid huyết thanh được ghi nhận là đáng kể và mang tính sinh lý học bền vững, gợi mở tiềm năng ứng dụng của Ftd như một tác nhân hỗ trợ kiểm soát rối loạn lipid máu có nguồn gốc tự nhiên.

4. KẾT LUẬN

Fucoidan chiết tách từ rong nâu *Turbinaria decurrens* thu hái tại vùng biển Kiên Giang là một galactofucan, có trọng lượng phân tử trung bình Mw = 122,6KDa. Phân tích phổ cộng hưởng từ hạt nhân 1D và 2D cho thấy fucoidan có cấu trúc mạch chính gồm (1→3)– và (1→4)–*α*–L–Fuc*p*, phân nhánh tại vị trí C–4 và nhóm sulfate gắn tại C–2, C–3 và C–4 của fucose; mạch nhánh là (1→4)–*β*–D–Gal*p* và sulfate hóa tại C–2. Kết quả phổ cộng hưởng từ hạt nhân đã hỗ trợ định danh chính xác các đơn vị đường cấu thành cũng như xác lập sơ đồ liên kết và vị trí sulfate hóa.

Đánh giá hoạt tính sinh học cho thấy mẫu fucoidan Ftd có khả năng điều hòa miễn dịch thông qua việc kích thích đại thực bào dòng RAW264.7, với chỉ số cảm ứng FI đạt 1,51 tại 100µg/mL. Đồng thời, mẫu Ftd cũng cho thấy khả năng điều chỉnh rối loạn lipid máu, ở liều 1000mg/kg/ngày nó có tác dụng làm giảm nồng độ cholesterol, triglycerid, LDL-cholesterol, làm tăng HDL-cholesterol là loại cholesterol tốt trong máu của chuột bị tăng lipid máu. Kết quả này cho thấy tiềm năng ứng dụng của fucoidan từ *T. decurrens* trong lĩnh vực dược phẩm và thực phẩm chức năng, đặc biệt là trong hỗ trợ điều trị ung thư và điều chỉnh rối loạn lipid máu.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ kinh phí bởi Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam [đề tài mã số QTJP01.01/23-25].

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Anh N. Nguyen, Quang V. Ngo, Thu TM. Quach, Suzuno Ueda, Yoshiaki Yuguchi, Yuki Matsumoto, Shinichi Kitamura, Cuong D. Ho, Thuy T. T. Thanh, "Fucoidan from brown seaweed Tubinaria decurrens: Structure and structure - anticancer activity relationship," *Int J Biol Macromol*, 259, 2, 129326, 2024.

[2]. Cumashi Albana, Ushakova Natalia A., et al., "A comparative study of the anti-inflammatory, anticoagulant, antiangiogenic, and antiadhesive activities of nine different fucoidans from brown seaweeds," *Glycobiology*, 17, 5, 2007.

[3]. Dipak Roy, Mohammad Khairul Alam Sobuj, et al., "Compositional, structural, and functional characterization of fucoidan extracted from Sargassum polycystum collected from Saint Martin's Island, Bangladesh," *Algal Research*, 80, 103542, 2024.

[4]. Elizabeth F. Hounsell, "^{1}H-NMR in the structural and conformational analysis of oligosaccharides and glycoconjugates," in *Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy,* Elsevier, 445-474, 1995.

[5]. Zayed A., Ulber R., Rupp S, "Structural Characterization of Fucoidan from Laminaria hyperborea: Assessment of Coagulation and Inflammatory Properties and Their Structure–Function Relationship," *ACS Applied Bio Materials*, 1, 5, 1530-1542, 2018.

[6]. Anh D. D., Đạt Đ. T., Tiến Đ. Đ., "Đa dạng loài và phân bố rong biển quần đảo Nam Du, Kiên Giang," *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*, 55, 4, 71-81, 2019.

[7]. Bilan M. I., Grachev A. A., Ustuzhanina N. E., Shashkov A. S., Nifantiev N. E., Usov A. I. , "Structure of a fucoidan from the brown seaweed Chorda filum.," *Carbohydrate Research*, 337, 8, 719-739, 2002.

[8]. Aranya Manosroi, A. Saraphanchotiwitthaya, J. Manosroi, "In vitro immunomodulatory effect of *Pouteria cambodiana* (Pierre ex Dubard) Baehni extract," *Journal of Ethnopharmacology*, 101, 1-3, 90-94, 2005.

[9]. Hor S.Y., Farsi E., Yam M.F., et al., "Lipid-lowering effects of Coriolus versicolor extract in poloxamer 407-induced hypercholesterolaemic rats and high cholesterol-fed rats," *Journal of Medicinal Plants Research*, 5, 11, 2261-2266, 2011.

[10]. Zobaer A., Sitesh C., Nazmul Q., "Antihyperlipidemic effect of fucoidan in experimental hyperlipidemia in rats," *Oriental Pharmacy and Experimental Medicine*, 11, 4, 263-270, 2011.

[11]. Roza V. Usoltseva, Anastasiya O. Zueva , Olesya S. Malyarenko, et al. "Structure and Metabolically Oriented Efficacy of Fucoidan from Brown Alga Sargassum muticum in the Model of Colony Formation of Melanoma and Breast Cancer Cells," *Marine Drugs*, 21, 486, 2023.

[12]. Mohamed Ben Mansour, Rafik Balti, Lamia Yacoubi, Véronique Ollivier, Frédéric Chaubet, Raoui Mounir Maaroufi, "Primary structure and anticoagulant activity of fucoidan from the sea cucumber Holothuria polii," *International Journal of Biological Macromolecules*, 121, 1145-1153, 2019.

[13]. Mosser D. M., Edwards J. P, "Exploring the full spectrum of macrophage activation," *Nature Reviews Immunology*, 8, 12, 958-969, 2008.

[14]. Seungjin Jeong, Seokmin Lee, Geumbin Lee, Jimin Hyun, and Bomi Ryu, "Systematic Characteristics of Fucoidan: Intriguing Features for New Pharmacological Interventions," *Int. J. Mol. Sci.,* 25, 21, 11771, 2024.

[15]. Shao-Hua Wang, Chih-Yu Huang, Chun-Yen Chen, Chia-Che Chang, Chun-Yung Huang, Cheng-Di Dong, Jo-Shu Chang, "Structure and Biological Activity Analysis of Fucoidan Isolated from Sargassum siliquosum," *ACS Omega*, 5, 50, 2020.

[16]. Kim, K. J., Yoon, K. Y., Lee, B. Y., Park, S. Y., "Fucoidan from Undaria pinnatifida induces nitric oxide production and inhibits lipopolysaccharide-induced inflammation in RAW 264.7 macrophages," *Phytotherapy Research*, 23, 7, 900-905, 2009.

[17]. Li B., Lu F., Wei X., Zhao R., "Fucoidan: Structure and bioactivity," *Molecules,* 13, 8, 1671-1695, 2008.

[18]. Jayawardena T. U., Nagahawatta D. P., Lee H. G., Kim S. K., "Fucoidan as an immunomodulatory and anti-inflammatory marine natural product: A review," *International Journal of Molecular Sciences,* 25, 21, 11771, 2024.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Ngoc Anh[1], Ngo Van Quang[2], Dang Vu Luong[2], Ho Duc Cuong[3], Thanh Thi Thu Thuy[2]

[1]Graduate University of Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology, Vietnam

[2]Institute of Chemistry, Vietnam Academy of Science and Technology, Vietnam

[3]School of Chemical and Biological Engineering, Hanoi University of Science and Technology, Vietnam