

Ảnh hưởng của thành phần dinh dưỡng đến sự gia tăng sinh khối và hàm lượng polysaccharides của nấm linh chi *Ganoderma australe* trong môi trường nuôi cấy lỏng**Tường Thị Mai Lương****Trường Đại học Lâm nghiệp Phân hiệu tại tỉnh Đồng Nai,**phường Trảng Bom, TP. Đồng Nai, Việt Nam*

Ngày nhận bài 30/3/2026; ngày chuyển phản biện 1/4/2026;

ngày nhận phản biện 20/4/2026; ngày chấp nhận đăng 5/5/2026

Tóm tắt:

Linh chi là một loại nấm dược liệu chứa các hoạt chất có lợi cho sức khỏe con người. Các polysaccharides chiết xuất từ nấm linh chi đang nhận được sự chú ý ngày càng cao do có hoạt tính sinh học đa dạng và tiềm năng ứng dụng trong dược phẩm, mỹ phẩm, thực phẩm chức năng và công nghệ sinh học. Nghiên cứu này nhằm khảo sát ảnh hưởng của các nguồn dinh dưỡng khác nhau đến sự tăng sinh khối nấm, sự tích lũy polysaccharides ngoại bào (EPS) và polysaccharides nội bào (IPS) của nấm linh chi *Ganoderma australe* (*G. australe*) trong quá trình lên men ngập nước. Kết quả nghiên cứu cho thấy, trong các nguồn carbon khảo sát, glucose là nguồn cho sinh khối nấm cao và hàm lượng IPS cao nhất, với giá trị tương ứng lần lượt là 7,65 g/l và 125,07 mg/l. Peptone được chọn là nguồn nitrogen phù hợp nhất với các giá trị sinh khối nấm, hàm lượng EPS và IPS tương ứng là 7,05 g/l, 74,90 mg/l và 697,04 mg/l. Trong các nguồn phosphorus khảo sát, KH_2PO_4 được xác định là nguồn phù hợp nhất, với các giá trị sinh khối nấm, hàm lượng EPS và IPS lần lượt là 7,60 g/l, 186,00 mg/l và 601,14 mg/l. Những phát hiện này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc lựa chọn nguồn dinh dưỡng để cải thiện sinh khối nấm cũng như hàm lượng polysaccharides của nấm linh chi *G. australe* trong môi trường nuôi cấy ngập nước.

Từ khóa: *Ganoderma australe*, lên men ngập nước, polysaccharides ngoại bào, polysaccharides nội bào, sinh khối nấm.

Chỉ số phân loại: 4.1, 4.6

Effects of nutritional components on mycelial biomass and polysaccharides production of *Ganoderma australe* in submerged culture

Thi Mai Luong Tuong**Vietnam National University of Forestry in Dong Nai,**Trang Bom Ward, Dong Nai City, Vietnam*

Received 30 March 2026; revised 20 April 2026; accepted 5 May 2026

*Email: luongttm2307@gmail.com

Abstract:

Ganoderma is a medicinal mushroom containing bioactive compounds that are beneficial to human health. Polysaccharides extracted from *Ganoderma* have attracted increasing attention due to their diverse biological activities and potential applications in pharmaceuticals, cosmetics, functional foods, and biotechnology. This study aimed to investigate the effects of different nutrient sources on mycelial biomass production and the accumulation of extracellular polysaccharide (EPS) and intracellular polysaccharide (IPS) of *Ganoderma australe* (*G. australe*) in submerged culture conditions. The results showed that, among the carbon sources evaluated, glucose resulted in high mycelial biomass and the highest IPS production with values of 7.65 g/l and 125.07 mg/l, respectively. Among the nitrogen sources evaluated, peptone was identified as the most suitable source, yielding mycelial biomass, EPS, and IPS with values of 7.05 g/l, 74.90 mg/l, and 697.04 mg/l, respectively. For phosphorus sources, KH_2PO_4 was found to be the optimal source, with mycelial biomass, EPS, and IPS with values of 7.60 g/l, 186.00 mg/l, and 601.14 mg/l, respectively. These findings highlight the importance of nutrient source selection in enhancing mycelial biomass production and polysaccharides accumulation in *G. australe* in submerged culture.

Keywords: extracellular polysaccharide, *Ganoderma australe*, intracellular polysaccharide, mycelial biomass, submerged culture.

Classification numbers: 4.1, 4.6

1. Đặt vấn đề

Linh chi là một loại nấm dược liệu nổi tiếng đã được sử dụng trong y học cổ truyền của Việt Nam, Trung Quốc và nhiều nước châu Á từ hơn hai ngàn năm trước [1]. Các polysaccharides có nguồn gốc từ nấm linh chi đang thu hút sự chú ý ngày càng tăng do các hoạt tính sinh học đa dạng và tiềm năng ứng dụng trong dược phẩm, mỹ phẩm, thực phẩm chức năng và công nghệ sinh học [2-6]. *Ganoderma australe* được phân lập từ linh chi mọc trên thân cây dừa hoặc trên gốc dừa đã mục [7]. Triterpenoid, polysaccharides, steroid, cyclic dipeptide... có trong nấm linh chi *G. australe* đã được chứng minh có các tác dụng như kháng viêm, chống xơ vữa động mạch, tăng cường hệ miễn dịch, chống ung thư, kháng khuẩn, chống vi rút, bảo vệ gan và chống lão hóa [8-10]. Các nghiên cứu về nguồn dinh dưỡng tăng hàm lượng polysaccharides của nấm linh chi chủ yếu nghiên cứu về chủng *G. lucidum*, trong khi nghiên cứu về sản xuất polysaccharides của *G. australe* vẫn còn hạn chế.

Phương pháp lên men ngập nước được sử dụng rộng rãi để sản xuất polysaccharides từ nấm linh chi vì nó cho phép kiểm soát tốt hơn các thông số môi trường, thời gian nuôi cấy ngắn hơn và dễ dàng mở rộng quy mô hơn so với phương pháp nuôi cấy thể quả [11, 12]. Trong hệ thống lên men ngập nước, polysaccharides được sản xuất dưới hai dạng chính: EPS,

được tiết vào môi trường nuôi cấy, và IPS, tích lũy bên trong sợi nấm. Tỷ lệ phân bố giữa EPS và IPS có thể thay đổi tùy thuộc vào điều kiện nuôi cấy, ảnh hưởng trực tiếp đến năng suất tổng thể.

Thành phần dinh dưỡng là yếu tố then chốt điều chỉnh sự phát triển của nấm và quá trình sinh tổng hợp chất chuyển hóa. Carbon cung cấp khung cấu trúc cho sự hình thành polysaccharides, trong khi nitrogen ảnh hưởng đến sự phát triển sinh khối và sự phân bố carbon cho quá trình chuyển hóa sơ cấp hoặc thứ cấp [13, 14]. Phosphorus đóng vai trò thiết yếu trong quá trình chuyển hóa năng lượng tế bào và tổng hợp axit nucleic [15], do đó ảnh hưởng đến cả sự tăng trưởng và khả năng sinh tổng hợp. Vì vậy, sự cân bằng giữa carbon, nitrogen và phosphorus (C/N/P) rất quan trọng trong việc xác định sự tích lũy sinh khối và hiệu quả sản xuất polysaccharides. Các nghiên cứu về ảnh hưởng của thành phần chất dinh dưỡng được nghiên cứu ở các chủng *Ganoderma* khác nhau [16-20], nhưng việc đánh giá có hệ thống các nguồn carbon, nitrogen và phosphorus đối với cả quá trình sản xuất EPS và IPS ở nấm linh chi *G. australe* vẫn chưa đầy đủ. Do đó, nghiên cứu này nhằm mục đích đánh giá ảnh hưởng của các nguồn dinh dưỡng đến sự tăng trưởng sinh khối nấm cũng như hàm lượng EPS và IPS trong quá trình lên men ngập nước của nấm linh chi *G. australe*.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

Chủng nấm sử dụng trong nghiên cứu này được định danh bằng phương pháp sinh học phân tử có tên khoa học là *G. australe* và được lưu trữ tại Trung tâm Thực nghiệm và Phát triển công nghệ thuộc Trường Đại học Lâm nghiệp phân hiệu tại tỉnh Đồng Nai. Chủng nấm được nuôi cấy ở 25°C trong 7 ngày trên môi trường thạch khoai tây dextrose (PDA), bảo quản ở 4°C và cấy chuyển mỗi bốn tuần.

2.2. Khảo sát nguồn carbon

Các môi trường nuôi cấy với các nguồn carbon khác nhau có thành phần như sau:

- + MT 1.1: Glucose: 20 g/l, cao nấm men: 2 g/l, KH_2PO_4 : 1 g/l, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 0,5 g/l.
- + MT 1.2: Mật rỉ đường: 20 g/l, cao nấm men: 2 g/l, KH_2PO_4 : 1 g/l, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 0,5 g/l.
- + MT 1.3: Khoai tây tươi: 200 g, cao nấm men: 2 g/l, KH_2PO_4 : 1 g/l, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 0,5 g/l.
- + MT 1.4: Sucrose: 20 g/l, cao nấm men: 2 g/l, KH_2PO_4 : 1 g/l, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 0,5 g/l.

Các môi trường được hấp khử trùng ở 121°C trong 20 phút. Sau khi để nguội, 250 ml của mỗi môi trường khác nhau được cấy 4 khoanh giống (0,5*0,5 cm) từ đĩa peptri thạch giống [21]. Các nghiệm thức được thực hiện 3 lần, nấm được nuôi bằng phương pháp khuấy,

tốc độ khuấy 150 vòng/phút, 20 phút/ngày. Sau 21 ngày các nghiệm thức được xử lý và xác định sinh khối nấm và hàm lượng polysaccharides.

2.3. Khảo sát nguồn nitrogen

Từ nguồn carbon được lựa chọn ở thí nghiệm 2.2, chuẩn bị các môi trường nuôi cấy với các nguồn nitrogen khác nhau theo các nghiệm thức dưới đây:

+ MT 2.1: Nguồn carbon 20 g/l, cao nấm men: 2 g/l, KH_2PO_4 : 1 g/l, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 0,5 g/l.

+ MT 2.2: Nguồn carbon 20 g/l, cám gạo: 10 g/100 ml, KH_2PO_4 : 1 g/l, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 0,5 g/l.

+ MT 2.3: Nguồn carbon 20 g/l, peptone: 2 g/l, KH_2PO_4 : 1 g/l, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 0,5 g/l.

+ MT 2.4: Nguồn carbon 20 g/l, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$: 2 g/l, KH_2PO_4 : 1 g/l, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 0,5 g/l.

Các môi trường sau khi hấp khử trùng được nuôi cấy và xử lý trong các điều kiện như thí nghiệm 2.2.

2.4. Khảo sát ảnh hưởng nguồn phosphorus

Từ nguồn carbon và nguồn nitrogen được lựa chọn ở thí nghiệm 2.2 và 2.3, chuẩn bị các môi trường nuôi cấy với các nguồn P khác nhau theo các nghiệm thức dưới đây:

+ MT 3.1: Nguồn carbon: 20 g/l, nguồn nitrogen: 2 g/l, KH_2PO_4 : 1 g/l, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 0,5 g/l.

+ MT 3.2: Nguồn carbon: 20 g/l, nguồn nitrogen: 2 g/l, Na_2HPO_4 : 1 g/l, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 0,5 g/l.

+ MT 3.3: Nguồn carbon: 20 g/l, nguồn nitrogen: 2 g/l, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$: 1 g/l, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 0,5 g/l.

Các môi trường sau khi hấp khử trùng được nuôi cấy và xử lý trong các điều kiện như thí nghiệm mục 2.2.

2.5. Xác định khối lượng sinh khối nấm

Sinh khối nấm sau 21 ngày nuôi cấy được lọc bằng giấy lọc, sợi nấm được rửa bằng nước lọc 3 lần, sau đó được sấy ở 60°C đến khối lượng không đổi. Sau 2 giờ đặt trong bình hút ẩm, sinh khối nấm được cân bằng cân phân tích để xác định khối lượng.

2.6. Xác định hàm lượng polysaccharides

2.6.1. Xác định hàm lượng polysaccharides ngoại bào (EPS)

Dịch môi trường sau khi nuôi cấy được cô đặc đến 100 ml và được kết tủa bằng ethanol 96% (EtOH) (tỷ lệ 1:4) ở 4°C trong 12 giờ. Hỗn hợp sau đó đem ly tâm 5000 vòng/phút

trong 20 phút, loại bỏ phần dịch lỏng. Phần rắn được rửa bằng EtOH 96% và làm khô, thu được polysaccharides (PS) thô [22]. Hàm lượng PS được xác định bằng phương pháp phenol-sulfuric [23, 24].

- Xây dựng đường chuẩn định lượng polysaccharide: Từ dung dịch chuẩn D-glucose 100 µg/ml, hút lần lượt 0; 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1 ml cho vào các ống nghiệm khác nhau và thêm nước cất vào cho đủ 1 ml, sau đó thêm vào mỗi ống nghiệm 0,5 ml phenol 5%, 2,5 ml H₂SO₄ (98%), lắc đều để phản ứng xảy ra nhanh và đồng nhất. Đo mật độ quang ở bước sóng 490 nm và xây dựng đường chuẩn D-glucose.

- Định lượng polysaccharide từ dịch chiết: Hòa tan 0,1 g PS thô vào 100 ml nước cất, hút chính xác 0,1 ml dung dịch hòa tan cho vào ống nghiệm thêm nước cất cho đủ 1 ml. Thêm tiếp vào ống nghiệm 0,5 ml dung dịch phenol 5% và 2,5 ml axit H₂SO₄ đậm đặc sau đó lắc đều. Để yên hỗn hợp cho nguội đến nhiệt độ phòng. Đo mật độ quang ở bước sóng 490 nm. Dựa vào phương trình đường chuẩn để định lượng hàm lượng polysaccharide có trong mẫu.

Mẫu trắng: Thực hiện tương tự như mẫu thử nhưng thay dịch chiết linh chi bằng nước cất. Hàm lượng PS trong các mẫu nấm linh chi được xác định dựa trên đường chuẩn D-glucose và theo công thức:

$$H_{ps} = \frac{C_{ps} \cdot V \cdot n}{m}$$

trong đó, C_{ps}: nồng độ PS trong cao trích ly (mg/ml); V: thể tích dịch chiết đem phân tích (ml); n: hệ số pha loãng; m: khối lượng nguyên liệu thô ban đầu (g).

2.6.2. Xác định hàm lượng polysaccharides nội bào (IPS)

Chiết sinh khối nấm linh chi bằng nước cất (tỷ lệ sinh khối linh chi: nước 1:20) ở 100°C trong 2 giờ [25]. Gạn dịch chiết ra bình tam giác, chiết lần thứ 2 thứ 3 tương tự lần 1. Gộp dịch chiết 3 lần lại, cô đặc dịch chiết đến 100 ml, bổ sung ethanol 96% (EtOH) (4 lần dịch chiết cô đặc) để yên ở 4°C trong 12 giờ, hỗn hợp sau đó được ly tâm (5000 vòng/phút trong 20 phút), loại bỏ phần dịch lỏng. Phần rắn được rửa bằng EtOH 96% và làm khô, thu được polysaccharide thô. Hàm lượng IPS được xác định bằng phương pháp phenol-sulfuric tương tự trường hợp EPS.

2.7. Xử lý số liệu

Các thí nghiệm được lặp lại 3 lần. Kết quả nghiên cứu được xử lý thống kê bằng phần mềm thống kê minitab 16. Sự khác biệt giữa các giá trị trung bình được đánh giá bằng phương pháp phân tích phương sai hai chiều (two-way ANOVA) và so sánh nhiều nhóm (Tukey's multiple comparisons test) tại mức ý nghĩa P<0,05.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Ảnh hưởng của nguồn carbon

Đường là nguồn cung cấp carbon quan trọng để tế bào sinh tổng hợp carbohydrate, lipid, acid amin và là nguồn cung cấp năng lượng chính cho sự sinh trưởng của tế bào [26, 27]. Ảnh hưởng của nguồn carbon tới tăng sinh khối nấm và hàm lượng EPS và IPS được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Ảnh hưởng của nguồn carbon tới sinh khối nấm và hàm lượng EPS và IPS.

Nguồn carbon	Glucose	Mật rỉ đường	Khoai tây	Sucrose
Sinh khối nấm khô (g/l)	7,65±0,25 ^b	7,81±0,14 ^a	5,61±0,28 ^c	7,57±0,36 ^b
EPS (mg/l)	94,80±0,53 ^d	155,57±0,83 ^b	184,80±1,00 ^a	124,20±0,34 ^c
IPS (mg/l)	125,07±0,79 ^a	90,69±0,38 ^b	116,79±0,88 ^c	102,10±0,95 ^b

Các chữ số trong cùng một hàng mà khác nhau thì thể hiện các trường hợp có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức ý nghĩa 0,05%.

Theo kết quả bảng 1, nguồn carbon khác có ảnh hưởng đáng kể đến sinh khối nấm hàm lượng polysaccharides thu được. Mật rỉ đường cho sinh khối sợi nấm cao nhất với khối lượng 7,81 g/l, nhưng lại có giá trị IPS thấp nhất 90,69 mg/l, điều này chứng tỏ thành phần dinh dưỡng phong phú có trong mật rỉ đường được ưu tiên hướng tới sự phát triển sinh khối nấm hơn là dự trữ IPS.

Môi trường chứa dịch chiết khoai tây mặc dù cho sinh khối sợi thấp nhất (5,61 g/l) nhưng lại cho hàm lượng EPS cao nhất với giá trị 184,80 mg/l.

Glucose và sucrose cho sinh khối nấm tương đương nhau với giá trị lần lượt là 7,65 g/l và 7,57 g/l. Trong đó, môi trường có sucrose cho hàm lượng EPS cao hơn môi trường có glucose. Tuy nhiên, môi trường có glucose lại cho hàm lượng IPS cao nhất với giá trị 125,07 mg/l. Kết quả nghiên cứu cũng phù hợp với báo cáo của N.V. Giang và cs (2021b) [27], S. Supramani và cs (2019) [28], glucose là nguồn carbon hiệu quả nhất cho sự sinh trưởng và quá trình tổng hợp IPS của sợi nấm. IPS là polysaccharides nội bào thường được chiết tách từ sợi nấm. Trong đó, β -glucan là một trong những thành phần polysaccharide chính có hoạt tính sinh học chủ yếu với khả năng tăng cường miễn dịch, kháng viêm, chống ung thư, hỗ trợ điều trị tiểu đường [29]. Do đó, nghiên cứu chọn glucose là môi trường nuôi cấy có hàm lượng IPS cao nhất làm nguồn carbon cho nghiên cứu tiếp theo.

3.2. Ảnh hưởng của nguồn nitrogen

Trong quá trình sinh trưởng và phát triển, hệ sợi nấm sử dụng nitrogen để tổng hợp các chất hữu cơ như purin, pyrimidin, protein và tổng hợp chitin cho vách tế bào [30]. Trong thí nghiệm này, sợi nấm *G. australe* được nuôi cấy trong môi trường chứa các nguồn nitrogen hữu cơ (cao nấm men, cám gạo, peptone) và nguồn nitrogen vô cơ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Ảnh hưởng

của nguồn nitrogen tới sự tăng trưởng sinh khối nấm, hàm lượng EPS và IPS được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Ảnh hưởng của nguồn nitrogen tới sinh khối nấm, hàm lượng EPS và IPS.

Nguồn nitrogen	Cao nấm men	Cám gạo	Peptone	(NH ₄) ₂ SO ₄
Sinh khối nấm khô (g/l)	6,05±0,12 ^b	3,10±0,16 ^c	7,05±0,23 ^a	1,95±0,09 ^d
EPS (mg/l)	113,94±0,96 ^c	449,25±0,84 ^a	74,90±0,99 ^d	202,77±1,02 ^b
IPS (mg/l)	147,43±1,23 ^c	219,87±1,85 ^b	697,04±1,19 ^a	35,66±0,87 ^d

Các chữ số trong cùng một hàng mà khác nhau thì thể hiện các trường hợp có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức ý nghĩa 0,05%.

Kết quả bảng 2 cho thấy, nguồn nitrogen khác nhau có ảnh hưởng đến sự gia tăng sinh khối nấm, hàm lượng EPS và IPS. Nguồn nitrogen vô cơ (NH₄)₂SO₄ không phải là nguồn thích hợp cho sự sinh trưởng, phát triển của sợi nấm cũng như quá trình sinh tổng hợp PS. Cụ thể, nghiệm thức sử dụng (NH₄)₂SO₄ cho sinh khối sợi nấm 1,95 g/l, hàm lượng IPS cũng thấp hơn khi sử dụng nguồn nitrogen hữu cơ. Điều này có thể do tính phù hợp hạn chế của nguồn nitrogen vô cơ đối với quá trình tổng hợp protein hiệu quả ở nấm *G. australe* [31]. Nitrogen vô cơ cần chuyển hóa thêm trước khi được đồng hóa, điều này có thể làm giảm hiệu quả sử dụng nitrogen và do đó hạn chế sự tích lũy sinh khối và tổng hợp PS.

Trong các nguồn nitrogen hữu cơ, peptone là nguồn phù hợp nhất với sự tăng trưởng sinh khối nấm cũng như quá trình tổng hợp IPS. Ở nghiệm thức sử dụng peptone sinh khối nấm đạt 7,05 g/l, trong khi sử dụng cám gạo chỉ đạt 3,10 g/l và cao nấm men 6,05 g/l. Hàm lượng EPS trong môi trường nuôi cấy có peptone (74,90 mg/l) dù có thấp hơn trong các môi trường còn lại, tuy nhiên hàm lượng IPS trong môi trường có peptone đạt giá trị cao nhất 697,04 mg/l cao hơn 3-6 lần so với môi trường cám gạo và cao nấm men. Điều này có thể do nguồn nitrogen hữu cơ trong peptone cung cấp các axit amin và peptit nhỏ dễ dàng có sẵn, có thể được kết hợp trực tiếp vào protein tế bào, do đó tăng cường sự phát triển của sợi nấm [32]. Sinh khối được cải thiện có thể thúc đẩy sự tích lũy IPS [33]. Nghiên cứu của P.K.H. Nguyen và cs (2023) [34] và Q.H. Fang và cs (2002) [31] cũng báo cáo peptone là nguồn nitrogen thích hợp nhất trong quá trình sinh tổng hợp PS của nấm *G. lucidum* trong môi trường nuôi cấy lên men dịch thể. Do đó, peptone được lựa chọn là nguồn cung cấp nitrogen ở các thí nghiệm tiếp theo của nghiên cứu này.

3.3. Ảnh hưởng của nguồn phosphorus

Phosphorus là nguồn dinh dưỡng thiết yếu ảnh hưởng đến tốc độ sinh tổng hợp và quá trình chuyển hóa các chất trong nấm linh chi. Trong nghiên cứu này, KH₂PO₄, Na₂HPO₄, Ca₃(PO₄)₂ được sử dụng để khảo sát ảnh hưởng của các nguồn P khác nhau tới sự tăng sinh khối nấm cũng như quá trình tổng hợp EPS và IPS của *G. australe*. Kết quả khảo sát thể hiện trong bảng 3.

Bảng 3. Ảnh hưởng của nguồn phosphorus tới sinh khối nấm, hàm lượng EPS và IPS.

Nguồn phosphorus	KH_2PO_4	Na_2HPO_4	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
Sinh khối nấm khô (g/l)	7,60±0,30 ^a	7,35±0,46 ^b	6,90±0,62 ^c
EPS (mg/l)	186,00±1,22 ^a	182,51±0,76 ^b	123,43±1,42 ^c
IPS (mg/l)	601,14±0,92 ^a	543,24±1,10 ^b	389,33±1,54 ^c

Các chữ số trong cùng một hàng khác nhau có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức ý nghĩa 0,05%.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, môi trường có nguồn phosphate dễ hòa tan như KH_2PO_4 , Na_2HPO_4 cho sinh khối nấm lần lượt là 7,60 g/l; 7,35 g/l và hàm lượng EPS (186,00 mg/l; 182,51 mg/l), IPS (601,14 mg/l; 543,24 mg/l) cao hơn môi trường chứa nguồn phosphate khó hòa tan như $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Điều này có thể thấy rằng, phosphate dễ hòa tan (có trong KH_2PO_4 và Na_2HPO_4) hỗ trợ các quá trình sinh trưởng và tổng hợp trao đổi chất [35], còn phosphate trong $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ít khả dụng hơn, quá trình trao đổi năng lượng bị hạn chế, dẫn đến sinh khối ít và giảm tổng hợp EPS/IPS.

Bảng kết quả cũng cho thấy, môi trường chứa KH_2PO_4 cho hàm lượng EPS và IPS cao hơn trong môi trường có Na_2HPO_4 . Điều này cho thấy rằng, phosphate được cung cấp cùng với K^+ có thể hỗ trợ phân bố carbon nội bào hướng tới polysaccharides dự trữ hiệu quả hơn Na^+ trong các điều kiện thử nghiệm. Dựa trên năng suất EPS và IPS thu được cho thấy, KH_2PO_4 là nguồn phosphate thích hợp cho việc nuôi trồng nấm *G. australe* dạng dịch thể.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy, nguồn dinh dưỡng có ảnh hưởng rõ rệt đến sinh trưởng và tích lũy polysaccharides trong quá trình lên men ngập nước của *G. australe*. Cụ thể, sự thay đổi nguồn carbon, nitrogen và phosphorus đã dẫn đến khác biệt đáng kể về sinh khối nấm cũng như hàm lượng EPS và IPS. Trong các điều kiện khảo sát, glucose, peptone và KH_2PO_4 được xác định là những nguồn dinh dưỡng phù hợp nhất, cho hiệu quả cao trong cả tăng sinh khối và tích lũy polysaccharides. Tuy nhiên, để tối ưu hóa hơn nữa quá trình sản xuất, cần tiếp tục nghiên cứu ảnh hưởng của nồng độ các thành phần này nhằm xác định điều kiện tối ưu cho hiệu suất EPS và IPS cao nhất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J. Lu, R. He, P. Sun, et al. (2020), “Molecular mechanisms of bioactive polysaccharides from *Ganoderma lucidum* (Lingzhi), a review”, *International Journal of Biological Macromolecules*, **150**, pp.765-774, DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.02.035.
- [2] R. Ahmad, M. Riaz, A. Khan, et al. (2021), “*Ganoderma lucidum* (Reishi) an edible mushroom; a comprehensive and critical review of its nutritional, cosmeceutical, mycochemical, pharmacological, clinical, and toxicological properties”, *Phytotherapy Research*, **35(11)**, pp.6030-6062, DOI: 10.1002/ptr.7215.

[3] Z.A. Bhat, A.H. Wani, J.M. War, et al. (2021), “Major bioactive properties of *Ganoderma* polysaccharides: A review”, *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, pp.11-24, DOI: 10.22159/ajpcr.2021.v14i3.40390.

[4] W. Wang, M. Zhong, R. Liu, et al. (2025), “Potential cosmetic applications of the combined extract of *Panax ginseng*, *Ganoderma lucidum*, *Cordyceps militaris*, and several Asian plants”, *Journal of Cosmetic Dermatology*, **24(8)**, DOI: 10.1111/jocd.70343.

[5] Z.W. Wu, X.F. Zhao, C.X. Quan, et al. (2025), “Structure-function insights of natural *Ganoderma* polysaccharides: Advances in biosynthesis and functional food applications”, *Natural Products and Bioprospecting*, **15(1)**, pp.1-33.

[6] M. Zheng, X. Pi, H. Li, et al. (2024), “*Ganoderma* spp. polysaccharides are potential prebiotics: A review”, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **64(4)**, pp.909-927, DOI: 10.1080/10408398.2022.2110035.

[7] T.T.M. Luong, D.T. Tham, N.T. Uyen, et al. (2025), “Research on the production of tea bags from *Ganoderma australe*”, *Journal of Forestry Science and Technology*, **14(2)**, pp. 42-51, DOI:10.55250/Jo.vnuf.14.2.2025.042-051.

[8] Q. Luo, Z.L. Yang, Y.M. Yan, et al. (2017), “Ganotheaecolin A, a neurotrophic conjugated ergosterol with a naphtho[1,8-ef]azulene scaffold from *Ganoderma theaecolum*”, *Organic Letters*, **19(3)**, pp.718-721, DOI: 10.1021/acs.orglett.7b00012.

[9] F.J. Zhou, Y. Nian, Y. Yan, et al. (2015), “Two new classes of T-type calcium channel inhibitors with new chemical scaffolds from *Ganoderma cochlear*”, *Organic Letters*, **17(12)**, pp.3082-3085, DOI: 10.1021/acs.orglett.5b01353.

[10] J.J. Zhang, Y. Dong, F.Y. Qin, et al. (2019), “Austroleols A-F, neuroprotective meroterpenoids from *Ganoderma australe*”, *Fitoterapia*, **134**, pp.250-255, DOI: 10.1016/j.fitote.2019.02.021.

[11] J. Guo, C. Tang, Y. Liu, et al. (2025), “Innovative submerged directed fermentation: Producing high molecular weight polysaccharides from *Ganoderma lucidum*”, *Food Chemistry*, **471**, DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.142759.

[12] J. Vunduk, D. Tura, A.Y. Biketova (2022), “Medicinal mushroom nutraceutical commercialization: Two sides of a coin”, *Wild Mushrooms*, CRC Press, pp.89-131, DOI: 10.1201/9781003152583-5.

[13] Y. Wang, F. Lin, T. Hsu (2021), “Effects of nitrogen from different sources on mycelial biomass and polysaccharide production and pellet morphology in submerged cultures of *Grifola frondosa*”, *BioResources*, **16(2)**, pp.2937-2952, DOI: 10.15376/biores.16.2.2937-2952.

[14] C.Y. Wu, Z.C. Liang, C.P. Lu, et al. (2008), “Effect of carbon and nitrogen sources on the production and carbohydrate composition of exopolysaccharide by submerged culture of *Pleurotus citrinopileatus*”, *Journal of Food and Drug Analysis*, **16(2)**, pp.61-67, DOI: 10.38212/2224-6614.2364.

- [15] K. Bhalla, X. Qu, M. Kretschmer, et al. (2022), “The phosphate language of fungi”, *Trends in Microbiology*, **30(4)**, pp.338-349, DOI: 10.1016/j.tim.2021.08.002.
- [16] L. Liu, J. Feng, K. Gao, et al. (2022), “Influence of carbon and nitrogen sources on structural features and immunomodulatory activity of exopolysaccharides from *Ganoderma lucidum*”, *Process Biochemistry*, **119**, pp.96-105, DOI: 10.1016/j.procbio.2022.05.016.
- [17] W. Zhao, J.W. Xu, J.J. Zhong (2011), “Enhanced production of ganoderic acids in static liquid culture of *Ganoderma lucidum* under nitrogen-limiting conditions”, *Bioresource Technology*, **102(17)**, pp.8185-8190, DOI: 10.1016/j.biortech.2011.06.043.
- [18] L.Z. Hua, H.X. Ge, Z.J. Hui, et al. (2015), “Liquid fermentation of *Ganoderma applanatum* and antioxidant activity of exopolysaccharides”, *The Open Biomedical Engineering Journal*, **9**, pp.224-227.
- [19] J. Feng, N. Feng, Q.J. Tang, et al. (2019), “Optimization of *Ganoderma lucidum* polysaccharides fermentation process for large-scale production”, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, **189(3)**, pp.972-986, DOI: 10.1007/s12010-019-02968-5.
- [20] Q. Zhou, W. Yang, J.F. Lin, et al. (2015), “Optimization of medium pH, growth media compositions and analysis of nutritional components of *Ganoderma lucidum* in submerged culture fermentation”, *European Journal of Medicinal Plants*, **6(1)**, pp.17-25, DOI: 10.9734/EJMP/2015/14828.
- [21] N.V. Giang, N.T.P. Thao, T.T. Ha, et al. (2021a), “Effects of carbon and nitrogen sources and mineral salts on the mycelium growth of snow mushroom *Tremella fuciformis* Strain Tre-1”, *Vietnam Journal of Agricultural Sciences*, **19(11)**, pp.1522-1530.
- [22] Y. Chen, M. Xie, W. Li, et al. (2012), “An effective method for deproteinization of bioactive polysaccharides extracted from lingzhi (*Ganoderma atrum*)”, *Food Science and Biotechnology*, **21(1)**, pp.191-198, DOI: 10.1007/s10068-012-0024-2.
- [23] N.T.K. Ngan, N.T.T. Linh, T.D. Dat, et al. (2022), “Effects of extraction technology on bioactivities from polysaccharide-rich *Ganoderma lucidum*”, *Vietnam Journal of Science and Technology*, **64(11)**, pp.32-37, DOI: 10.31276/VJST.64(11).32-37.
- [24] S.S. Nielsen (2024), “Total carbohydrate by phenol-sulfuric acid method”, *Nielsen's Food Analysis Laboratory Manual*, Springer, pp.147-151, DOI: 10.1007/978-3-031-44970-3_17.
- [25] Z. Ding, W. Wang, F. Wang, et al. (2012), “Polysaccharides production by submerged fermentation of *Coprinus comatus* and their inhibitory effects on non-enzymatic glycosylation”, *Journal of Medicinal Plants Research*, **6(7)**, pp.1375-1381, DOI: 10.5897/JMPR11.1648.
- [26] N.D. Luong (2002), *Microbial Technology, Volume 2: Industrial Microbiology*, Vietnam National University Ho Chi Minh City Press, 372pp (in Vietnamese).

[27] N.V. Giang, N.T.B. Thuy, V.T.K. Linh, et al. (2021b), “The effect of culture conditions for the mycelium growth of *Phyllinus linteus*”, *Vietnam Journal of Science and Technology-MOST*, **63(2)**, pp.39-43, DOI: 10.31276/VJST.63(2).39-43.

[28] S. Supramani, R. Ahmad, Z. Ilham, et al. (2019), “Optimisation of biomass, exopolysaccharide and intracellular polysaccharide production from the mycelium of an identified *Ganoderma lucidum* strain QRS 5120 using response surface methodology”, *AIMS Microbiology*, **5(1)**, pp.19-38, DOI: 10.3934/microbiol.2019.1.19.

[29] M. Friedman (2016), “Mushroom polysaccharides: Chemistry and antiobesity, antidiabetes, anticancer, and antibiotic properties in cells, rodents, and humans”, *Foods*, **5(4)**, pp.1-40, DOI: 10.3390/foods5040080.

[30] P.G. Miles, S.T. Chang (1997), *Mushroom Biology: Concise Basics and Current Developments*, World Scientific, 194pp.

[31] Q.H. Fang, J.J. Zhong (2002), “Submerged fermentation of higher fungus *Ganoderma lucidum* for production of valuable bioactive metabolites-ganoderic acid and polysaccharide”, *Biochemical Engineering Journal*, **10(1)**, pp.61-65, DOI: 10.1016/S1369-703X(01)00158-9.

[32] F.C. Yang, C.B. Liao (1998), “The influence of environmental conditions on polysaccharide formation by *Ganoderma lucidum* in submerged cultures”, *Process Biochemistry*, **33(5)**, pp.547-553, DOI: 10.1016/S0032-9592(98)00023-5.

[33] X. Guo, Y. Yang, Y. Li, et al. (2025), “Nitrogen-dependent regulation of extracellular and intracellular polysaccharide content in *Ganoderma lucidum* via the transcription factor AreA”, *Microbiological Research*, **297**, DOI: 10.1016/j.micres.2025.128197.

[34] P.K.H. Nguyen, T.C.H. Pham, T.T.T. Le (2023), “The influence of the kinds of nitrogen and the light in *Ganoderma lucidum* submerged culture”, *Engineering and Technology for Sustainable Development*, **33(2)**, pp.16-21, DOI: 10.51316/jst.165.etsd.2023.33.2.3.

[35] S. Mahapatra, D. Banerjee (2013), “Fungal exopolysaccharide: Production, composition and applications”, *Microbiology Insights*, **6**, pp.1-16, DOI: 10.4137/MBI.S10957.