

PHÁT TRIỂN PHƯƠNG PHÁP MỚI ĐỊNH DANH NHANH CHỦNG NẤM *ASPERGILLUS FLAVUS* BẰNG QUANG PHỔ RAMAN

Hoàng Anh Thắng¹, Tường Phi Vương¹, Trần Danh Nhân¹

TÓM TẮT

Đặt vấn đề: Vi nấm được xác định là một tác nhân trực tiếp, nguy hiểm có thể gây hại cho thi thể ướp bảo quản lâu năm phục vụ chiêm ngưỡng. Khi ô nhiễm từ ngoài vào mô thi thể ướp bảo quản, vi nấm có thể thông qua cơ chế xâm nhiễm và sinh enzyme để phát triển gây phá hủy các cấu trúc mô da, mô tóc... của thi thể ướp. Việc phát triển các phương pháp định danh vi nấm mới, nhanh, đáng tin cậy là rất cần thiết và có ý nghĩa.

Mục tiêu nghiên cứu: Ứng dụng quang phổ Raman để định danh nhanh chủng nấm *A. flavus*.

Phương pháp nghiên cứu: Chủng vi nấm *A. flavus* (QG17-007) được phục hồi và định danh hình thái (soi kính hiển vi quang học và điện tử truyền qua SEM). Sau đó sử dụng phương pháp quang phổ Raman ở điều kiện tối ưu (nguồn lazer, để soi mẫu, nồng độ bào tử trần) tiến hành thu phổ Raman đặc trưng cho bào tử trần vi nấm và đối chiếu với thư viện dữ liệu chuẩn để xác định loài vi nấm.

Kết quả: Trong nghiên cứu này quang phổ Raman được thu nhận từ chủng nấm *A. flavus* với các đỉnh đặc trưng tại các vị trí 414, 421, 1001, 1193, 1350, 1445, 1463, 1648, 1673, 1745 cm^{-1} . Đây là những đỉnh đặc trưng cho các liên kết tương ứng với các cấu trúc sinh học chính trong bào tử trần vi nấm bao gồm liên kết β (1,3) D-glucan/chitin của thành tế bào, phenylalanine (protein), amide I, amide III, lipid đặc trưng cho loài *A. flavus*.

Kết luận: Nghiên cứu mở ra tiềm năng ứng dụng quang phổ Raman như một phương pháp chẩn đoán nhanh các loài vi nấm, các thành phần của các loài vi nấm hiện đang được bảo quản tại Viện 69.

Từ khóa: Quang phổ Raman; *Aspergillus flavus*, bào tử trần.

SUMMARY

DEVELOPMENT OF A NEW METHOD FOR RAPID IDENTIFICATION OF *ASPERGILLUS FLAVUS* STRAINS USING RAMAN SPECTROSCOPY

¹Viện 69, Bộ Tư lệnh Lăng Chủ tịch Hồ Chí Minh
Tác giả chịu trách nhiệm chính: Hoàng Anh Thắng
Email: Hoangthangvn556644@gmail.com

Mã bài: N825

Ngày nhận bài: 15/5/2026

Ngày phản biện khoa học: 10/5/2026

Ngày duyệt bài: 25/6/2026

Background: Fungi have been identified as direct and hazardous agents that can damage long-term preserved remains intended for public display. Upon contaminating the tissues of preserved bodies from external environments, microfungi proliferate through invasive mechanisms and enzymatic secretion, leading to the structural degradation of skin and hair tissues. Therefore, the development of novel, rapid, and reliable fungal identification methods is essential and highly significant.

Objective: To apply Raman spectroscopy for the rapid identification of *A. flavus* strains.

Methods: The *A. flavus* strain (QG17-007) was revived and morphologically identified using optical microscopy and Scanning Electron Microscopy (SEM). Raman spectroscopy was subsequently performed under optimized conditions (laser source, substrate, and conidia concentration) to acquire characteristic spectra. These spectra were compared with standard data libraries for species identification.

Results: Raman spectra obtained from *A. flavus* exhibited characteristic peaks at 414, 421, 1001, 1193, 1350, 1445, 1463, 1648, 1673, and 1745 cm^{-1} . These peaks correspond to specific bonds within the primary biological structures of the conidia, including β (1,3)-D-glucan/chitin of the cell wall, phenylalanine (protein), amide I, amide III, and lipids characteristic of *A. flavus*.

Conclusion: This study demonstrates the potential of Raman spectroscopy as a rapid diagnostic method for identifying fungal strains and their components currently preserved at Institute 69.

Keywords: Raman spectroscopy; *Aspergillus flavus*, conidia.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vi nấm, đặc biệt là chi *Aspergillus* là tác nhân gây hại nghiêm trọng cho thi thể ướp bảo quản (ƯBQ). Việt Nam có khí hậu nhiệt đới rất phù hợp cho sự phát triển của vi nấm trong đó tần xuất phân lập được chi *Aspergillus* nói chung và loài *A. flavus* nói riêng rất cao. Chủng *A. flavus* là một loài nấm hoại sinh, gây ô nhiễm các loại nông sản như ngô, lạc, bông hạt... gây ra những rủi ro cho sức khỏe con người và động vật. Bên cạnh việc sản sinh độc tố aflatoxin, *A. flavus* cũng là nguyên nhân

phổ biến thứ hai gây ra bệnh *Aspergillosis* ở người [1]. Đặc biệt với lĩnh vực U'BQ thi thể, vi nấm được xác định là tác nhân cực kỳ nguy hiểm trực tiếp gây hại đối với thi thể U'BQ. Khi thi thể ướp bị nhiễm vi nấm sẽ thay đổi màu sắc da, và gây phá hủy cấu trúc mô da, tóc ... của thi thể U'BQ. Các sợi nấm không chỉ bám trên bề mặt lớp sừng của da, tóc mà còn có thể phát triển sâu xuống các lớp dưới gây hư hại cấu trúc mô da, mô tóc. Với những ảnh hưởng đó việc nghiên cứu về loài vi nấm *A. flavus* là một yêu cầu cấp thiết trong nhiều lĩnh vực, từ y tế, an toàn thực phẩm, nông nghiệp đến bảo quản thi thể ướp. Hiện nay, có nhiều phương pháp được áp dụng để định danh vi nấm như phương pháp hình thái học, sinh hóa học và các kỹ thuật sinh học phân tử như PCR, giải trình tự. Tuy nhiên, những phương pháp này thường tốn thời gian, cần kỹ thuật viên chuyên môn cao và có thể bị ảnh hưởng bởi các yếu tố môi trường nuôi cấy. Do đó, việc phát triển các phương pháp phân tích mới, nhanh, đáng tin cậy đang là một hướng đi được quan tâm. Trong những năm gần đây kính hiển vi quang phổ Raman đã được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như công nghiệp thực phẩm, pháp y, lĩnh vực sinh học,... đặc biệt trên đối tượng vi nấm [2, 3]. Strycker và cộng sự (2020) đã ứng dụng quang phổ Raman để định danh 10 loài vi nấm thuộc chi *Aspergillus* bằng xác định quang phổ Raman của bào tử trần ở bước sóng 785 nm đã xây dựng phổ Raman cho các loài khác nhau [2]. Zehua và cộng sự (2020) đã sử dụng kỹ thuật SERDS thu phổ Raman của 100 bào tử loài *A. nidulans* ở nguồn laser kích thích 785 nm. Tác giả cho biết phổ Raman bào tử bắt nguồn từ các phân tử sắc tố bên trong thành tế bào. Các đỉnh phổ đặc trưng cho chitin (thành tế bào nấm), ergosterol (màng tế bào) và protein. Sự khác biệt phổ về vị trí và cường độ các đỉnh pic cho phép phân biệt các bào tử giống nhau về mặt hình thái nhưng khác nhau về thành phần hóa học từ đó khác nhau về phân loại [4].

II. ĐỐI TƯỢNG, PHƯƠNG PHÁP

2.1. Đối tượng

Chủng vi nấm *A. flavus* (n=30) từ bộ sưu tập giống tại Viện 69.

2.2. Hóa chất

Môi trường dùng hồi phục chủng vi nấm: Malt

extract agar (MEA) hãng Merck.

Môi trường để xác định đặc điểm định danh: Czapek dox agar (CZA) hãng Merck.

2.3. Định danh vi nấm bằng phương pháp hình thái [1]

Chủng vi nấm được phục hồi trên môi trường MEA, nuôi cấy cho xác định đặc điểm hình thái trên môi trường CZA (25°C, 5-7 ngày). Sử dụng kính hiển vi quang học và điện tử quét (SEM) để xác định đặc điểm đại thể, siêu vi thể theo khóa phân loại Ando (2002).

2.4. Phương pháp chuẩn bị mẫu vi nấm trên để soi [2]

Bào tử được thu trong nước cất vô trùng, rửa sạch, ly tâm (13.000 vòng/phút). Khảo sát ở 3 nồng độ 10^4 , 10^5 , 10^6 /mL, 3 loại để soi mẫu, 3 nguồn laser.

2.5. Phương pháp soi mẫu vi nấm trên kính quang phổ Raman

Hiệu chuẩn hệ thống; Cài đặt các thông số nguồn laser (785 nm, 638 nm, 532 nm), cường độ tia 5-15 mW, thời gian thu phổ 10s, số lần lặp 3, grating 600, hole 100µm.

Đặt để mẫu vào buồng đo, soi mẫu tìm bào tử trần ở vật kính 50X.

Kích thích nguồn laser lên bào tử trần và thu nhận phổ.

2.6. Xử lý và phân tích phổ Raman [3, 5]

Tiền xử lý số liệu: Phổ thu được làm mượt bằng thuật toán Savitzky-Golay.

Làm mượt tín hiệu: Để giảm nhiễu ngẫu nhiên trên phổ.

Hiệu chỉnh đường nền: Bằng hồi quy đa thức bậc hai.

Tiến hành xác định pic và đối chiếu với dữ liệu pic Raman đã công bố. Liên hệ dấu ấn pic với cấu trúc của vi nấm.

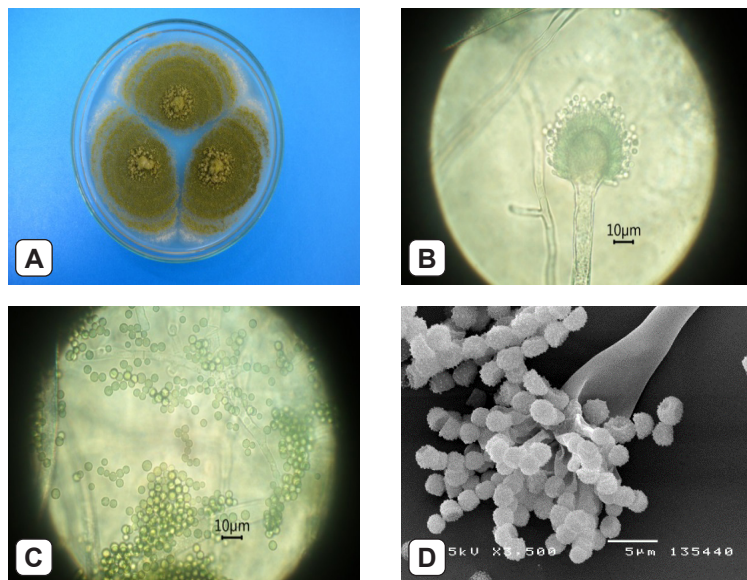
Phân tích phổ Raman được thực hiện trên phần mềm LabSpec6 trên kính hiển vi quang phổ Raman LabRAM soleil v1.0 (Horiba, Nhật Bản).

III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Xác định lại danh pháp loài vi nấm nghiên cứu

Chủng vi nấm mã số QG17-007 trong tổng số

30 chủng *A. flavus* được nuôi cấy trên môi trường CZA, làm tiêu bản soi trên kính hiển vi quang học, kính hiển vi điện tử truyền qua (SEM) các đặc điểm đại thể, vi thể, siêu vi thể được xác định và so sánh với các loài trong khóa phân loại kết luận lại tên loài (Hình 1).

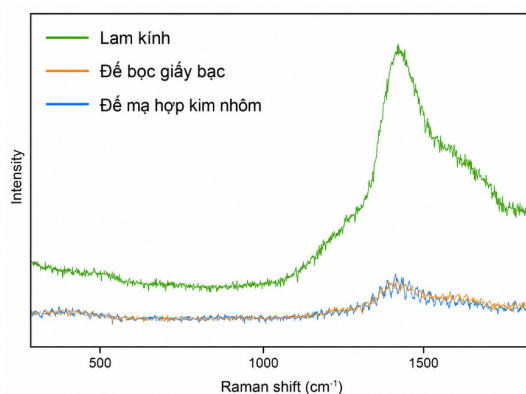


Hình 1. Hình ảnh loài *A. flavus*: (A) Mặt phải khuẩn lạc; (B) Cơ quan sinh bào tử và bào tử trần; (C) Bào tử trần (X 1000); (D) Hình ảnh conidiophore và bào tử trần trên (SEM) ở X 3500.

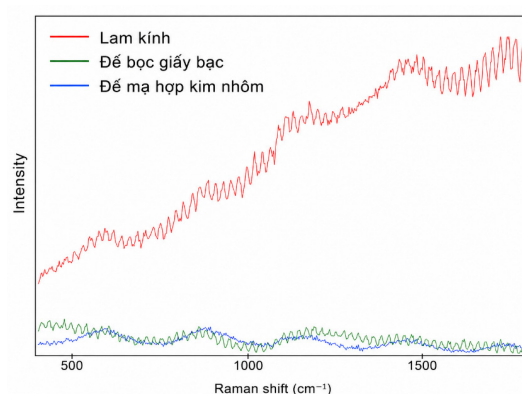
Khuẩn lạc trên môi trường CZA mọc nhanh, đường kính 5,0 - 6,0 cm/7 ngày ở 25°C, mặt bằng phẳng, màu vàng sau chuyển thành màu lục khi già. Giá bào tử trần không màu, giáp; bong hình gần cầu, kích thước 10-65mm; thể bình một tầng hoặc hai tầng, cuống thể bình từ 6-10 mm x 4-5 mm, thể bình 6-10mm x 3-5mm; bào tử trần hình gần cầu đến cầu 3-6mm, gai ráp. Từ các đặc điểm về hình thái và SEM khẳng định lại chủng vi nấm QG17-007 là chủng *A. flavus* (QG17-007) [1].

3.2. Nghiên cứu lựa chọn các điều kiện tối ưu

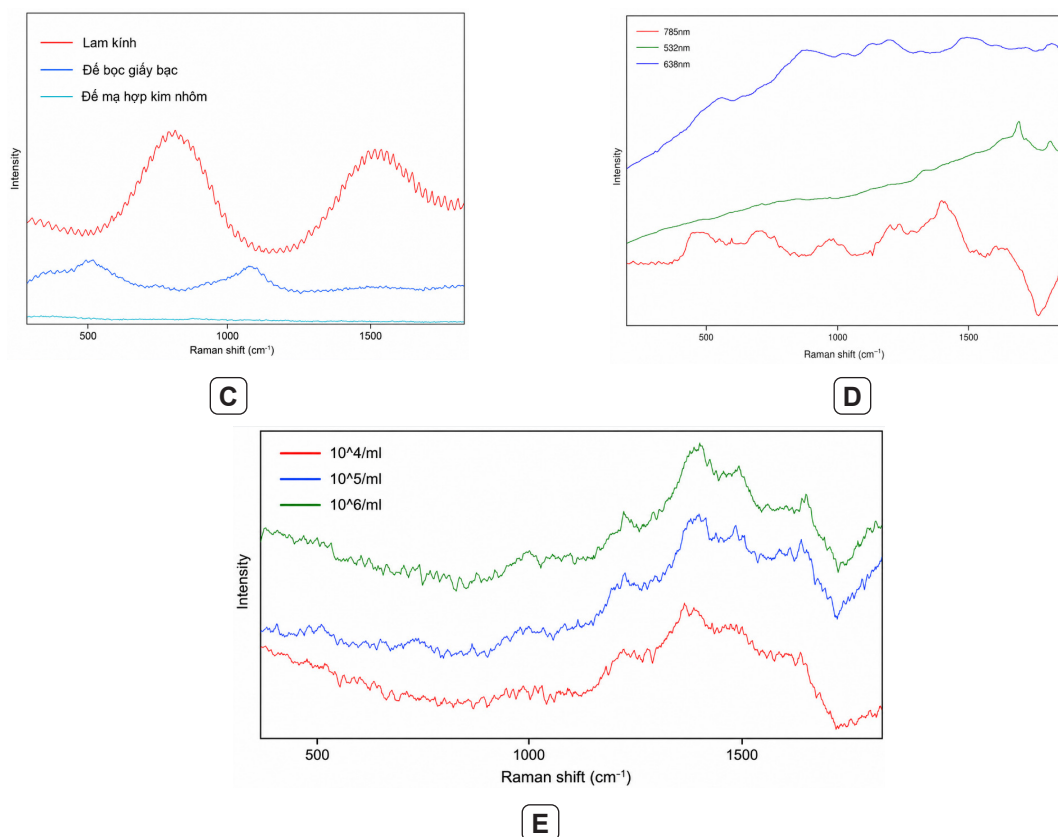
Nghiên cứu xác định điều kiện tối ưu để thu tín hiệu phổ Raman tốt nhất của bào tử trần vi nấm từ 3 loại đế (thủy tinh, giấy bạc, mạ hợp kim nhôm), 3 nguồn laser (532, 638, 785 nm) và 3 nồng độ bào tử 10^4 , 10^5 , 10^6 /mL, tiến hành soi trên kính hiển vi quang phổ Raman (Hình 2)



A



B

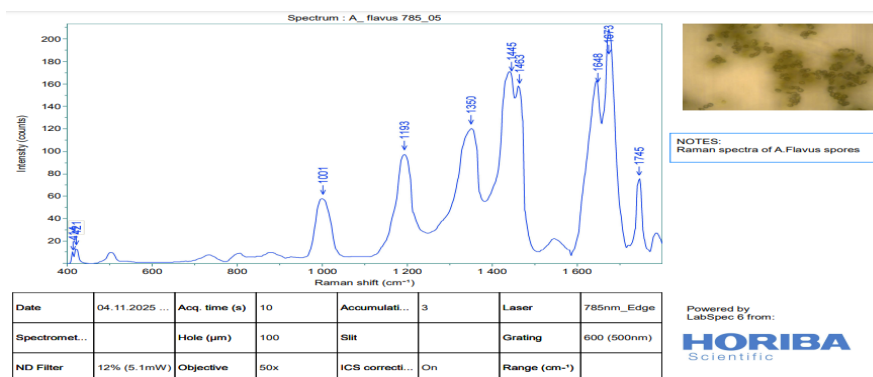


Hình 2. Phổ Raman thu được ở các điều kiện: 3 loại đế (lam kính, giấy bạc, mạ hợp kim nhôm) ở 3 nguồn laser (A): 532nm, (B): 638nm, (C): 785nm; (D) đế mạ hợp kim nhôm trên 3 nguồn laser; (E) bào tử ở 3 nồng độ 10^4 , 10^5 , 10^6 /mL.

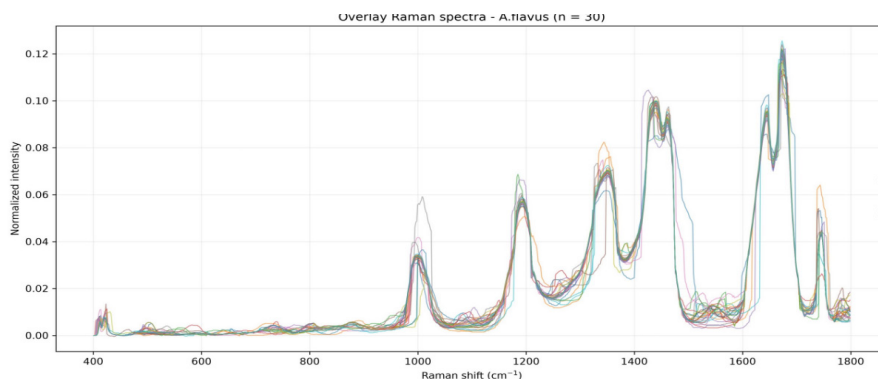
Kết quả khảo sát xác định điều kiện tối ưu cho thấy, chất liệu đế bằng vật liệu mạ hợp kim nhôm, nguồn laser kích thích 785 nm, nồng độ bào tử 10^6 /mL, phạm vi thu phổ 400-1700 cm^{-1} là điều kiện phù hợp để nghiên cứu phổ Raman của loài *A. flavus*.

3.3. Nghiên cứu các phổ Raman đặc trưng của chủng vi nấm *A. flavus*

Chủng vi nấm *A. flavus* được soi trên kính hiển vi quang phổ Raman ở điều kiện tối ưu (nguồn laser 785nm, bào tử 10^6 /mL, đế soi mẫu mạ hợp kim nhôm) kết quả ở Hình 3, Hình 4 và tổng hợp Bảng 1.



Hình 3. Quang phổ Raman của chủng *A. flavus*



Hình 4. Hình ảnh phổ Raman của chủng *A. flavus* (n=30)

Bảng 1. Các pic Raman đặc trưng của chủng *A. flavus*

TT	Pic thu được (cm ⁻¹)	Pic tham khảo (cm ⁻¹) [2, 3, 6-8]	Tần suất xuất hiện	Cấu trúc tương ứng
1	414	413	30/30	Đỉnh β (1,3) -D-glucan/chitin (polysaccharide).
2	421	424	28/30	
3	1001	1004	27/30	Phenylalanine (protein).
4	1193	1200	28/30	Liên kết (N-H, C-N và liên kết -CH ₂) của amide III.
5	1350	1350	30/30	
6	1445	1445	30/30	Liên kết (C=O) của lipid
7	1463	1460	27/30	Liên kết (-CH ₂ /CH ₃) của lipid
8	1648	1650	26/30	Liên kết (C=C) trong mạch peptide của amide I
9	1673	1670	28/30	
10	1745	1745	30/30	Liên kết (C=O) của lipid

Phổ Raman của chủng *A. flavus* thu được 10 đỉnh pic chính với cường độ đỉnh trong phạm vi từ 413 - 1745 cm⁻¹ đặc trưng cho các liên kết (N-H, C-N, C=O, C=C) tương ứng với các cấu trúc của thành bào tử trần: polysaccharide, protein (phenylalanine), lipid, amide I, amide III.

IV. BÀN LUẬN

4.1. Xác định điều kiện tối ưu

Kết quả khảo sát cho thấy chất liệu đế mạ hợp kim nhôm vượt trội hơn lam kính và giấy bạc nhờ khả năng duy trì tín hiệu nền thấp và ổn định trên cả 3 nguồn laser. Laser 785 nm được lựa chọn làm nguồn kích thích tối ưu do có năng lượng thấp, giúp giảm thiểu đáng kể nhiễu huỳnh quang từ mẫu sinh học so với nguồn 532 nm và 638 nm, mật độ bào tử 10⁶ bào tử/mL tín hiệu Raman thu được vùng 400-1700cm⁻¹ cao hơn so với 2 nồng độ bào tử nghiên cứu.

Kết quả nghiên cứu phù hợp với nghiên cứu Ghosal và cộng sự (2012) tiến hành lựa chọn vật

liệu tối ưu để xác định các loại nấm gây ô nhiễm không khí trong nhà bằng kính hiển vi Raman trên các chất liệu mica, thạch anh, phim tedlar, giấy bạc cho thấy giấy bạc cho tín hiệu đường nền tốt nhất so với các vật liệu khác [6].

Zehua và cộng sự (2020) sử dụng kỹ thuật SERDS thu thập thành công phổ Raman của 100 bào tử *A. nidulans* ở nguồn laser 785nm. Ở bước sóng 785 nm phản ứng huỳnh quang giảm với các mẫu sinh học là nấm mốc, các đỉnh phổ đặc trưng của chitin (thành tế bào nấm), ergosterol (màng tế bào) và protein thể hiện rõ [4].

Trong quá trình xử lý và phân tích dữ liệu phổ Raman thu được từ các mẫu bào tử vi nấm, một

vấn đề quan trọng là sự dao động nhẹ về vị trí số sóng của các pic Raman giữa các mẫu. Các pic đặc trưng trong phổ Raman có thể thay đổi nhẹ vị trí trong khoảng 1-5 cm^{-1} , do ảnh hưởng từ điều kiện đo, sự không đồng nhất mẫu sinh học, hoặc giới hạn độ phân giải của hệ thống [3, 5].

4.2. Đặc điểm đặc trưng phổ Raman của chủng *A. flavus*

Kết quả với chủng vi nấm *A. flavus* thu được 10 đỉnh pic chính, tần suất xuất hiện cao (từ 26/30 - 30/30) khẳng định tính ổn định của “dấu vân tay hóa học” này. Các pic thu được 414 và 421 cm^{-1} đại diện cho β (1,3) -D-glucan/chitin (polysaccharide). Đây là thành phần polymer chính cấu tạo nên thành tế bào nấm bền vững [6]. Sự xuất hiện với tần suất (30/30 và 28/30) cho thấy thành tế bào được bảo tồn tốt trong các mẫu đo. Pic 1001 cm^{-1} đặc trưng phenylalanine. Đây là một trong những pic sắc nét và dễ nhận diện nhất trong quang phổ Raman của vi sinh vật. Tần suất 27/30 cho thấy hàm lượng protein ổn định.

Các pic đặc trưng cho amide (1193, 1350, 1648, 1673 cm^{-1}) gồm amide I (1648, 1673 cm^{-1}) liên quan đến dao động kéo giãn của liên kết C=C trong mạch peptide. Sự hiện diện của hai đỉnh gần nhau cho thấy protein có cấu trúc bậc hai đa dạng. Amide III (1193, 1350 cm^{-1}) liên quan tới liên kết N-H; C-N và -CH₂ [2]. Các pic 1445, 1463 cm^{-1} là các pic đặc trưng cho thành phần lipid đây là vùng dao động của liên kết C=O và -CH₂/CH₃ [4, 6]. Đáng chú ý là pic 1445 cm^{-1} có cường độ cao và xuất hiện 30/30 lần. Điều này phản ánh nồng độ lipid trong bào tử loài *A. flavus* cao.

Pic 1745 cm^{-1} đặc trưng cho liên kết C=O của ester trong triglyceride hoặc phospholipid, tần suất 28/30 cùng với cường độ cao khẳng định *A. flavus* tích lũy nhiều lipid (đặc điểm thường thấy ở các loài nấm mốc sinh độc tố) [2]. Phổ raman của loài *A. flavus* cho thấy lipid đóng vai trò chủ đạo (nhiều pic mạnh ở vùng 1000- 1745 cm^{-1}). Lipid không chỉ là thành phần màng tế bào mà còn là nguồn năng lượng dự trữ [6].

Kết quả nghiên cứu của chúng tôi tương đồng với các công bố của Strycker [2], Saif [8] và Witkowska [7] về vị trí các đỉnh phổ đặc trưng cho các phân tử sinh học chính (protein, lipid, polysaccharide). Tuy nhiên, chất lượng phổ có sự khác biệt rõ rệt giữa các loài trong chi *Aspergillus*.

Ví dụ, *A. niger* thường cho nền huỳnh quang cao do chứa melanin hấp thụ mạnh laser, trong khi *A. fumigatus* và *A. oryzae* cho phổ ổn định hơn [2, 5]. Điều này cho thấy mỗi loài nấm có cấu trúc thành bào tử và sắc tố riêng biệt, đòi hỏi dữ liệu phổ phải được chuẩn hóa cao để phục vụ mục tiêu định danh chính xác.

Trong quá trình chúng tôi tiến hành các nghiên cứu trên 5 loài vi nấm thuộc chi *Aspergillus* (*A. niger*, *A. flavus*, *A. nidulans*, *A. oryzae* và *A. fumigatus*), đã ghi nhận thấy có sự khác biệt rõ rệt về chất lượng phổ Raman giữa 5 loài này. Với loài *A. niger*, phổ Raman thu được thường có nền huỳnh quang cao và cường độ tín hiệu thấp. Quan sát này liên quan đến melanin là một sắc tố có khả năng hấp thụ mạnh trong vùng khả kiến và cận hồng ngoại, đồng thời có thể phát sinh huỳnh quang nền, làm che lấp tín hiệu Raman [2].

Ngược lại, *A. fumigatus* cho khả năng thu nhận phổ Raman rõ rệt và ổn định hơn so với các loài khác. Điều này gợi ý rằng cấu trúc thành bào tử của loài này có thể ít gây nhiễu huỳnh quang hơn hoặc có khả năng phân tán năng lượng laser tốt hơn, giúp duy trì tính toàn vẹn của mẫu trong quá trình đo [5]. Sau *A. fumigatus*, loài *A. oryzae* cũng cho kết quả tương đối tốt, với phổ Raman tương đối rõ và ổn định.

Trong khi đó, phổ của *A. flavus* và *A. nidulans* được thể hiện ở mức trung bình, với phổ Raman thu được có chất lượng không quá đồng nhất giữa các lần đo. Một số phổ thể hiện được các đỉnh đặc trưng, trong khi các phổ khác bị ảnh hưởng bởi nhiễu nền hoặc cường độ tín hiệu thấp. Điều này có thể phản ánh sự biến thiên về thành phần sinh hóa của bào tử giữa các mẫu khác nhau.

Từ những quan sát trên, có thể thấy rằng mỗi loài nấm, thậm chí mỗi trạng thái phát triển của bào tử, đều có thể có một bộ thông số đo tối ưu riêng. Tuy nhiên, mục tiêu của nghiên cứu không chỉ dừng lại ở việc thu nhận phổ Raman của từng mẫu riêng lẻ, mà hướng tới xây dựng một phương pháp có khả năng ứng dụng trong định danh vi nấm. Điều này đòi hỏi dữ liệu phổ phải có tính chuẩn hóa cao, đảm bảo khả năng so sánh giữa các mẫu khác nhau.

IV. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xác định được các bước định

danh bào tử trần của chủng vi nấm *A. flavus* bằng phương pháp quang phổ Raman với các điều kiện tối ưu bao gồm: sử dụng nguồn laser 785 nm, để soi mẫu mạ hợp kim nhôm, nguồn laser kích thích 785 nm, nồng độ 10^6 bào tử/mL, phạm vi thu phổ 400-1700 cm^{-1} . Kết quả ghi nhận 10 pic đặc trưng, tạo nên “dấu vân tay” hóa học chính xác cho loài vi nấm *A. flavus*. Kết quả đã nhận diện rõ các thành phần sinh học: liên kết β (1,3) -D-glucan/chitin (polysaccharide) (414, 421 cm^{-1}); phenylalanine của protein (1001 cm^{-1}); các liên kết amide III (1193, 1350 cm^{-1}); và amide I (1648, 1673 cm^{-1}); cùng các nhóm chức C=O, CH_2/CH_3 đặc trưng của lipid (1445, 1463, 1745 cm^{-1}). Nghiên cứu này không chỉ khẳng định tính hiệu quả của kỹ thuật Raman trong định danh các chủng vi nấm *A. flavus* mà còn là tiền đề quan trọng để Viện 69 tiếp tục mở rộng ứng dụng trên nhiều chủng vi nấm khác, góp phần hiện đại hóa công tác nghiên cứu dựa trên những thành tựu khoa học tiên tiến thế giới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. **Ando, K.**, Identification of Fungi imperfecti. 2002, NITE.
2. **Strycker, B.D., et al.**, Identification of toxic mold species through Raman spectroscopy of fungal conidia. PloS one, 2020. 15(11): p. e0242361.
3. **Rostron, P., S.** Gaber, and D. Gaber, Raman spectroscopy, review. laser, 2016. 21: p. 24.
4. **Han, Z., et al.**, Molecular origin of the Raman signal from *Aspergillus nidulans* conidia and observation of fluorescence vibrational structure at room temperature. Scientific reports, 2020. 10(1): p. 5428.
5. **Schlückner, S., et al.**, Raman microspectroscopy: a comparison of point, line, and wide-field imaging methodologies. Analytical Chemistry, 2003. 75(16): p. 4312-4318.
6. **Ghosal, S., J.M. Macher, and K.** Ahmed, Raman microspectroscopy-based identification of individual fungal spores as potential indicators of indoor contamination and moisture-related building damage. Environmental science & technology, 2012. 46(11): p. 6088-6095.
7. **Wasim, M., et al.**, Surface-enhanced Raman spectroscopy for monitoring the biochemical changes due to DNA mutations induced by CRISPR-Cas9 genome editing in the *Aspergillus niger* fungus. ACS omega, 2024. 9(13): p. 15202-15209.
8. **Saif, F., et al.**, Identification and characterization of *Aspergillus* species of fruit rot fungi using microscopy, FT-IR, Raman and UV-Vis spectroscopy. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2021. 246: p. 119010.