

NGHIÊN CỨU THÀNH PHẦN LOÀI VÀ ĐÁNH GIÁ MỨC ĐỘ NGUY HẠI CỦA NẤM TRÊN MỘC BẢN TRIỀU NGUYỄN

Hoàng Trung Hiếu, Bùi Thị Thủy, Bùi Duy Ngọc, Nguyễn Đức Thành

Viện Nghiên cứu Công nghiệp rừng

TÓM TẮT

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm xác định thành phần loài và đánh giá nguy cơ gây hại của nấm trên mộc bản triều Nguyễn - Di sản tư liệu thế giới đang được lưu trữ tại Đà Lạt, Lâm Đồng. Bằng phương pháp phân lập và giải trình tự gen vùng ITS, kết quả đã xác định được 22 loài nấm thuộc 3 ngành, trong đó ngành nấm Túi (Ascomycota) chiếm ưu thế tuyệt đối (72,73%). Dựa trên đặc điểm sinh học, các loài nấm được phân loại thành 3 nhóm nguy cơ. Đáng chú ý, nghiên cứu đã phát hiện sự hiện diện của nhóm nguy cơ cao gây phá hủy cấu trúc gỗ gồm nấm mục trắng (*Flavodon flavus*, *Phanerochaete* sp.) và nấm mục mềm (*Chaetomium globosum*). Đặc biệt, sự vắng mặt của nấm mục nâu phù hợp với đặc tính cơ chất gỗ lá rộng, thay vào đó là hiện tượng “giả mục nâu” (pseudo - cubical rot) do *Chaetomium* sp. gây ra. Các nhóm nấm mốc (*Aspergillus*, *Penicillium* sp.) và nấm biến màu (*Cladosporium* sp.) chiếm đa số, gây hại chủ yếu về mặt thẩm mỹ. Kết quả nghiên cứu là cơ sở khoa học quan trọng để đề xuất quy trình kiểm soát vi khí hậu và xử lý nấm nhằm bảo tồn bền vững khối di sản tư liệu quý hiếm này.

Từ khóa: Đa dạng loài nấm, hủy hoại sinh học, mộc bản triều Nguyễn, nấm hại gỗ, nấm mục mềm.

SPECIES COMPOSITION AND RISK ASSESSMENT OF FUNGAL INFESTATION ON THE NGUYEN DYNASTY WOODBLOCKS

Hoang Trung Hieu, Bui Thi Thuy, Bui Duy Ngoc, Nguyen Duc Thanh

Research Institute of Forest Industry

SUMMARY

This study was conducted to identify the species composition and assess the potential risk of fungal infestation on the Nguyen Dynasty Woodblocks, a UNESCO Memory of the World heritage stored in Da Lat, Lam Dong. Using isolation techniques and ITS rDNA sequencing, 22 fungal taxa belonging to three phyla were identified, with the Ascomycota being the predominant phylum (72.73%). Based on their biological characteristics, the identified fungi were categorized into three risk groups. Significantly, the study detected high-risk species causing structural degradation, including white - rot fungi (*Flavodon flavus*, *Phanerochaete* sp.) and soft - rot fungi (*Chaetomium globosum*). Notably, the absence of brown - rot fungi aligns with the hardwood substrate of the woodblocks; instead, “pseudo - cubical rot” symptoms caused by *Chaetomium* sp. were observed. Furthermore, surface molds (*Aspergillus* sp., *Penicillium* sp.) and staining fungi (*Cladosporium* sp.) were prevalent, primarily causing aesthetic damage. These findings provide a crucial scientific basis for establishing microclimatic controls and targeted antifungal treatments to ensure the sustainable preservation of this valuable woodblock heritage.

Keywords: Biodeterioration, fungal diversity, Nguyen Dynasty woodblocks, soft rot, wood - decay fungi.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mộc bản triều Nguyễn là khối di sản tư liệu đặc biệt quý giá, không chỉ về mặt nội dung lịch sử mà còn là minh chứng cho kỹ thuật khắc in đỉnh cao của Việt Nam. Với số lượng hơn 30.000 tấm, bao gồm 152 đầu sách với 1.953 quyển thuộc đa dạng lĩnh vực như lịch sử, địa lý, chính trị - xã hội, quân sự, pháp chế, văn hóa - giáo dục, tư tưởng - triết học - tôn giáo, văn thơ và ngôn ngữ - văn tự (Bộ Nội Vụ, 2016). Khối tài liệu này đã được UNESCO công nhận là Di sản tư liệu thuộc Chương trình Ký ức thế giới vào ngày 31 tháng 7 năm 2009 (Trung tâm Lưu trữ Quốc gia IV, 2020; Unesco - Memory of the World, 2009). Hiện nay, toàn bộ kho mộc bản đang được lưu giữ tại Trung tâm Lưu trữ Quốc gia IV, Đà Lạt, tỉnh Lâm Đồng. Nằm ở độ cao khoảng 1.500 m so với mực nước biển, Đà Lạt sở hữu khí hậu ôn hòa quanh năm, được đánh giá là điều kiện môi trường lý tưởng cho công tác lưu trữ tài liệu tại Việt Nam (Trung tâm Lưu trữ Quốc gia IV, 2020; Sở KH&CN Lâm Đồng, 2008).

Tuy nhiên, do mộc bản thường được chế tác từ các loại gỗ có thớ mịn, tính chất vật lý, cơ học và độ bền tự nhiên ở mức trung bình nên dễ bị các tác nhân sinh học gây hại, đặc biệt là nấm gây hại trong điều kiện khí hậu nhiệt đới gió mùa của Việt Nam. Trải qua hàng trăm năm, trong bối cảnh biến động của lịch sử, chiến tranh và thiên tai, mộc bản triều Nguyễn có giai đoạn không được bảo quản tốt, do vậy tình trạng vật lý của nhiều tấm mộc bản đã bị xuống cấp. Mặc dù hiện nay, kho bảo quản mộc bản chuyên dụng mới được nâng cấp vào năm 2023, nhưng các yếu tố sinh vật gây hại từ quá trình bảo quản trong quá khứ vẫn là mối đe dọa tiềm tàng. Việc xác định chính xác tác nhân gây hại là yêu cầu cấp thiết để đưa ra giải pháp can thiệp phù hợp.

Trên thế giới và tại Việt Nam, các nghiên cứu về hệ nấm hại trên di sản gỗ đã chỉ ra mối liên hệ mật thiết giữa thành phần loài nấm và mức độ hủy hoại. Tại Hàn Quốc, nghiên cứu trên bộ Đại tạng kinh (Tripitaka Koreana) ở chùa Haeinsa đã phân lập

được 29 loài nấm, trong đó có 11 loài sinh enzyme phân hủy gỗ mạnh được xếp vào nhóm nguy hại (Lee *et al.*, 2018). Một nghiên cứu khác tại cùng địa điểm đã đi sâu phân tích đặc tính enzyme xylanase của nấm, tác nhân chính phá vỡ cấu trúc hemicellulose của gỗ (Hong *et al.*, 2011). Tại Việt Nam, trong nghiên cứu khảo sát đã xác định trong 2.764 tấm mộc bản triều Nguyễn có 70 tấm bị mục trắng, chiếm 2,5%; 157 tấm bị mục nâu, chiếm 5,7% (Nguyễn Thị Hà, 2009). Các nghiên cứu tại chùa Vĩnh Nghiêm và chùa Bồ Đà (Bắc Ninh) cũng đã định danh được lần lượt 17 và 24 loài nấm gây hại (Nguyễn Thị Bích Ngọc *et al.*, 2017).

Mặc dù vậy, hiện nay vẫn chưa có công bố dữ liệu cập nhật và đầy đủ về thành phần loài nấm gây hại đặc thù trên mộc bản triều Nguyễn tại Đà Lạt. Mỗi khu vực địa lý và điều kiện vi khí hậu kho tàng sẽ hình thành nên hệ vi sinh vật hại gỗ khác nhau. Xuất phát từ thực tiễn đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm mục tiêu phân lập và định danh các loài nấm gây hại hiện diện trên mộc bản triều Nguyễn. Kết quả nghiên cứu sẽ là cơ sở khoa học quan trọng để góp phần xây dựng quy trình bảo quản, tu bổ và kéo dài tuổi thọ cho di sản vô giá này.

II. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu

Đối tượng nghiên cứu là các chủng nấm được phân lập từ 100 tấm mộc bản triều Nguyễn có biểu hiện hư hại điển hình (mốc, mục, ố màu), lấy ngẫu nhiên thuộc các bộ sách khác nhau, đang được lưu trữ tại Trung tâm Lưu trữ Quốc gia IV, Đà Lạt, Lâm Đồng. Các thiết bị chính sử dụng trong nghiên cứu bao gồm: máy PCR PTC 225 Peltier Thermal Cycler (Thermo Scientific, Hoa Kỳ), máy giải trình tự gen 3500xL Genetic Analyzer (Thermo Scientific, Hoa Kỳ), kính hiển vi quang học Olympus BX41 (Olympus, Nhật Bản) và các hóa chất chuyên dụng cho sinh học phân tử.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Xác định thành phần loài nấm trên một bản triều Nguyễn

2.2.1.1. Thu thập, phân lập và làm thuần chủng nấm

Địa điểm lấy mẫu: 4 kho lưu trữ mộc bản thuộc Trung tâm Lưu trữ Quốc gia IV, tỉnh Lâm Đồng.

Phương pháp lấy mẫu: Mẫu nấm được thu thập bằng phương pháp gạt tấm bông vô trùng (đối với nấm mốc bề mặt) (hình 1) hoặc tách chiết mảnh gỗ nhỏ (đối với vết mực). Các mẫu được nuôi cấy trên môi trường PDA (Potato Dextrose Agar) và ủ ở nhiệt độ 25 - 28°C trong 3 - 5 ngày. Các khuẩn lạc mọc lên được cấy chuyển tiếp nhiều lần sang đĩa petri mới bằng phương pháp cấy rìa hoặc cấy chấm điểm cho đến khi thu được khuẩn lạc đơn (thuần khiết). Các khuẩn lạc đơn sau đó được quan sát hình thái trên kính hiển vi và lựa chọn các chủng nấm thuần khiết được bảo quản trong ống thạch nghiêng ở 4 - 6°C để phục vụ nghiên cứu tiếp theo.



Hình 1. Lấy mẫu nấm mốc

2.2.1.2. Định danh các chủng nấm bằng phương pháp sinh học phân tử:

DNA tổng số của nấm được tách chiết theo phương pháp Glassmilk (Raeder and Broda, 1985). Đoạn gen vùng trình tự ITS (Internal Transcribed Spacer) được nhân bản bằng phản ứng PCR sử dụng cặp mồi ITS1-F (5' - TCCGTAGGTGAACCTGCGG - 3') (Gardes, Bruns, 1993) và ITS4 (5' - TCCTC-CGCTTATTGATATGC - 3') (White *et al.*, 1990). Chu trình nhiệt phản ứng PCR được thực hiện

trên máy PTC 225 với điều kiện: biến tính ban đầu ở 95°C (3 phút); tiếp theo là 35 chu kỳ gồm 94°C (30 giây), 55°C (30 giây), và kết thúc bằng bước kéo dài ở 72°C trong 7 phút. Sản phẩm PCR được kiểm tra bằng điện di trên bản gel agarose 1%, thang DNA 100 bp (Fisher Biotec) được sử dụng để ước lượng kích cỡ DNA và tinh sạch bằng bộ kit Silica bead DNA gel extraction (Thermo Scientific, Hoa Kỳ). Trình tự nucleotide được xác định bằng hệ thống máy giải trình tự động (3500 Genetic Analyzer, Thermo Scientific, Hoa Kỳ) và so sánh độ tương đồng với cơ sở dữ liệu GenBank (www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/) thông qua công cụ BLAST search (Altschul *et al.*, 1990) để xác định tên loài.

- Tỷ lệ bất gặp loài nấm được tính bằng công thức:

$$T (\%) = \frac{s}{p} \times 100\%$$

Trong đó:

- s: tổng số chủng nấm phân lập được thuộc một loài nấm;
- p: tổng số chủng nấm đã phân lập được.

- Cơ cấu thành phần loài theo ngành phản ánh tính đa dạng về mặt phân loại học (ngành nấm nào có nhiều loại loài khác nhau nhất), được tính bằng công thức:

$$C (\%) = \frac{n}{d} \times 100\%$$

Trong đó:

- n: tổng số chủng nấm đã định danh được thuộc một ngành nấm;
- p: tổng số chủng nấm đã định danh được.

2.2.2. Đánh giá mức độ nguy hại của nấm trên một bản triều Nguyễn

Dựa trên kết quả định danh, đề xuất xây dựng phân loại thành 3 nhóm nguy cơ (cao, trung bình và thấp) dựa trên đặc điểm sinh học và khả năng phân hủy cơ chất gỗ (lignin/cellulose) của các loài nấm đã được công bố trong các tài liệu chuyên ngành uy tín. Tiêu chí phân nhóm như sau:

- Nhóm nguy cơ cao: Nhóm nấm gây mục, có khả năng phân hủy vách tế bào gỗ (lignin/cellulose),

làm gỗ bị gãy vụn, mất khối lượng, mất khả năng chịu lực, hư hỏng vĩnh viễn cấu trúc.

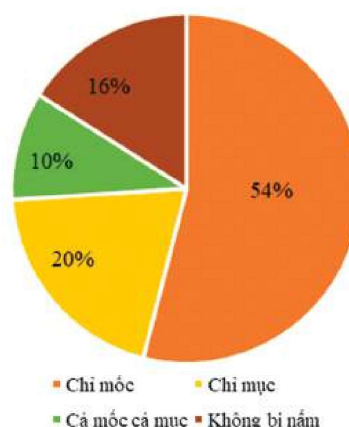
- Nhóm nguy cơ trung bình: Nhóm nấm gây biến màu hoặc nấm phân giải chậm, gây vết ố sâu hoặc làm mềm bề mặt gỗ, gỗ dần mất khả năng chịu lực.

- Nhóm nguy cơ thấp: Nhóm nấm mốc, nhóm này chủ yếu gây hại trên bề mặt gỗ, bào tử nấm hình thành các khoang màu gây mất thẩm mỹ song ít ảnh hưởng đến độ bền cơ học gỗ.

III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả xác định thành phần loài nấm trên mộc bản triều Nguyễn

Kết quả khảo sát và lấy mẫu trên 100 mộc bản cho thấy tình trạng nhiễm nấm diễn ra ở mức độ cao, với tổng số 84% mẫu bị ảnh hưởng. Cụ thể, tỷ lệ mộc bản chỉ xuất hiện nấm mốc là 54% và tỷ lệ mộc bản chỉ bị nấm mục là 20%. Đáng chú ý, có sự chồng lấn tác nhân khi ghi nhận 10% số mộc bản đồng thời bị cả nấm mốc và nấm mục. Ngược lại, chỉ có 16% số mộc bản ghi nhận là không bị nhiễm nấm (hình 2).



Hình 2. Tỷ lệ mộc bản bị nấm gây hại

Quy trình định danh nấm được thực hiện qua hai giai đoạn: (i) Sàng lọc sơ bộ 100 chủng nấm phân lập được từ 84 mộc bản dựa trên hình thái để chọn ra 27 chủng đại diện và (ii) Giải trình tự gen nhằm xác định chính xác tên loài. Sau khi so sánh trình tự của các chủng nấm trên ngân hàng GenBank thông qua công cụ tìm kiếm BLAST, các mẫu có độ tương đồng thấp hoặc trình tự quá ngắn (3 mẫu) đã được loại bỏ để đảm bảo tính chuẩn xác của dữ liệu. Kết quả phân tích thành phần loài từ 22 trình tự đại diện đạt chuẩn được trình bày chi tiết trong bảng 1.

Bảng 1. Kết quả định loại các chủng nấm bằng giải trình tự DNA

TT	Loài nấm (Scientific Name)	Độ dài	Độ tương đồng (%)	Mã GenBank (Accession No.)	Cơ cấu thành phần loài theo ngành (%)	Tỷ lệ bắt gặp loài nấm (%)
I	NGÀNH MUCOROMYCOTA (ZYGOMYCOTA)				4,54	
	Lớp Mucoromycetes					
1	<i>Syncephalastrum racemosum</i> Cohn ex J. Schröt.	457	99	KP721597.1		8,25
II	NGÀNH ASCOMYCOTA (NẤM TÚI)				72,73	
II.1	Lớp Eurotiomycetes					
2	<i>Aspergillus flavus</i> Link.	516	100	MH384818		7,22
3	<i>Aspergillus fumigatus</i> Fresen.	501	99,8	MF189909		7,22
4	<i>Aspergillus niger</i> Tiegh.	536	99,0	KU565727.1		8,25

TT	Loài nấm (Scientific Name)	Độ dài	Độ tương đồng (%)	Mã GenBank (Accession No.)	Cơ cấu thành phần loài theo ngành (%)	Tỷ lệ bắt gặp loài nấm (%)
5	<i>Aspergillus versicolor</i> (Vuill.) Tirab.	515	99,4	JX436463		12,37
6	<i>Penicillium commune</i> Thom.	503	98,2	JQ781712		10,31
7	<i>Penicillium glabrum</i> (Wehmer) Westling.	535	99,8	JX421718		3,09
8	<i>Penicillium pinophilum</i> Hedgc.	530	99,4	AB455516		3,09
9	<i>Talaromyces verruculosus</i> (Sigler & J.W. Carmich.) Samson, N. Yilmaz & Frisvad.	536	98,7	KP035009		3,09
II.2	Lớp Sordariomycetes					
10	<i>Acremonium fusidioides</i> (Nicot) W. Gams.	468	99,6	KJ608089		2,06
11	<i>Chaetomium globosum</i> Kunze.	503	99,6	MG551579		4,12
12	<i>Fusarium</i> sp.	509	99,6	KF576623		5,15
13	<i>Myrothecium</i> sp.	551	94,7	HQ631067		4,12
14	<i>Trichoderma</i> sp.	623	97,0	AF510497.1		2,06
II.3	Lớp Dothideomycetes					
15	<i>Cladosporium perangustum</i> Bensch, Crous & U. Braun.	509	99,8	MF473172		5,15
16	<i>Cladosporium tenuissimum</i> Cooke.	512	99,6	KX621982		4,12
17	<i>Leptosphaerulina chartarum</i> Cec. Roux.	516	99,8	AM231397		4,12
III	NGÀNH BASIDIOMYCOTA (NẤM ĐẼM)				22,73	
	Lớp Agaricomycetes					
18	<i>Coprinellus radians</i> (Desm.) Vilgalys, Hopple & Jacq. Johnson.	633	98,6	KM979799		1,03
19	<i>Flavodon flavus</i> (Klotzsch) P. Ryvarden.	511	99,6	KM277995		1,03
20	<i>Peniophora</i> sp.	548	95,1	KT692549		1,03
21	<i>Phanerochaete</i> sp.	549	94,8	AF475146		2,06
22	<i>Polyporales</i> sp.	515	93,0	JN116607		1,03

Kết quả định danh các chủng nấm thông qua giải trình tự vùng gen ITS tại bảng 1 cho thấy độ tin cậy khoa học cao. Trong tổng số 22 loài nấm phân lập được, có tới 19 loài (chiếm 86,36%) có độ tương đồng (identity) trên 98% khi đối soát với các trình tự của các loài nấm trên cơ sở dữ liệu của ngân

hàng GenBank. Kết quả này cung cấp một cơ sở dữ liệu chuẩn xác, cho phép phân loại hệ nấm hại gỗ một cách khách quan ở mức độ phân tử.

Các đại diện phổ biến thuộc các chi *Aspergillus*, *Penicillium* và *Chaetomium* có độ tương đồng dao động từ 99% đến 100%, cho phép xác định chính xác định danh ở mức loài cho các mẫu vật này. Điển hình như các loài *Aspergillus flavus* (100%), *Aspergillus versicolor* (99,4%) và *Chaetomium globosum* (99,6%) đã được khẳng định tên loài một cách rõ rệt. Ngược lại, đối với những chủng có độ tương đồng thấp hơn hoặc chưa có dữ liệu tham chiếu đầy đủ như *Phanerochaete* sp. (94,8%) và *Polyporales* sp. (93,0%), công tác định danh được duy trì thận trọng ở mức chi (Genus).

Một số chủng thuộc nhóm nấm Đám như *Phanerochaete* sp. (94,8%) và *Polyporales* sp. (93%) có độ tương đồng thấp hơn. Điều này phản ánh tính đa dạng và đặc thù của hệ nấm bản địa tại Việt Nam, có thể là những loài mới hoặc chưa có dữ liệu tham chiếu đầy đủ trên thế giới, do đó việc định danh dừng lại ở mức Chi (Genus).

Kết quả phân lập ghi nhận 22 loài thuộc 3 ngành nấm chính: Ascomycota (nấm Túi), Basidiomycota (nấm Đám) và Mucoromycota; với sự phân bố không đồng đều:

Ngành Ascomycota (nấm Túi) chiếm ưu thế tuyệt đối (72,73%). Đây là kết quả phù hợp với các nghiên cứu về vi sinh vật trong kho lưu trữ trên thế giới (Pinheiro *et al.*, 2019; Sequeira *et al.*, 2024; Guglielminetti *et al.*, 1994). Sự ưu thế này chủ yếu đến từ lớp *Eurotiomycetes* (nhóm nấm mốc). Hai loài *Aspergillus versicolor* (12,37%) và *Penicillium commune* (10,31%) chiếm tỷ lệ bắt gặp cao nhất. Đây là những loài nấm mốc sinh bào tử trần (conidia) phát tán mạnh trong không khí. Tần suất xuất hiện cao của chúng phản ánh điều kiện vi khí hậu (nhiệt độ/độ ẩm) trong kho lưu trữ trong quá khứ tạo điều kiện cho nấm mốc bề mặt phát triển, gây nguy cơ chính về mặt thẩm mỹ (do có vết ố) và sức khỏe người tiếp xúc (do bào tử phân tán trong không khí).

Lớp Sordariomycetes tuy chiếm tỷ lệ thấp hơn nhưng chứa các tác nhân gây nguy hại cho mộc bản như *Chaetomium globosum* (4,12%) và *Trichoderma* sp. (2,06%). Sự hiện diện của *Chaetomium* là chỉ báo cho thấy đã có sự xâm nhập vào cấu trúc gỗ (gây mục mềm), đe dọa trực tiếp đến độ bền cơ học của mộc bản. Ngành Basidiomycota (nấm Đám) chiếm 22,73%. Mặc dù tần suất bắt gặp của từng loài rất thấp (chỉ 1 – 2%), nhưng tổng thể nhóm này chiếm gần 1/4 số lượng loài phân lập được.

Sự hiện diện của các chủng nấm mục trắng như *Flavodon flavus*, *Phanerochaete* sp. và *Polyporales* sp. là chỉ dấu quan trọng về nguy cơ suy giảm cấu trúc gỗ của mộc bản. Khác với nhóm nấm mốc chủ yếu gây tổn hại về mặt thẩm mỹ bề mặt, các tác nhân này có khả năng phân hủy lignin - thành phần liên kết chính trong cấu trúc gỗ. Mặc dù được ghi nhận với tần suất thấp (1 - 2%), sự xuất hiện của chúng vẫn tiềm ẩn nguy cơ phá hoại nghiêm trọng, đe dọa trực tiếp đến sự toàn vẹn của hiện vật do đặc tính phân hủy cấu trúc sâu.

Loài *Coprinellus radians* (1,03%) đóng vai trò là chỉ thị sinh học cho các vị trí có độ ẩm cục bộ rất cao. Trong khi đó, ngành Mucoromycota chiếm tỷ lệ thấp 4,55%. Chỉ xuất hiện 1 loài *Syncephalastrum racemosum* (8,25%). Đây là loài nấm hoại sinh phát triển nhanh, thường là nhiễm tạp từ môi trường đất hoặc bụi bản, ít có khả năng gây hại cấu trúc gỗ nghiêm trọng.

Kết quả phân tích cho thấy sự vắng mặt hoàn toàn của nhóm nấm mục nâu (Brown rot fungi). Theo thống kê của Gilbertson (1980), Krah và đồng tác giả (2018), nấm mục nâu phân bố ưu thế trên gỗ lá kim (Gymnosperms), trong khi nấm mục trắng (như các loài đã tìm thấy: *Phanerochaete*, *Flavodon*) chiếm ưu thế tuyệt đối trên gỗ lá rộng (Angiosperms). Do mộc bản triều Nguyễn được chế tác từ các loại gỗ lá rộng (như gỗ Thị, gỗ Lồng mức), cấu trúc lignin dạng Syringyl - Guaiacyl của loại gỗ này đóng vai trò là rào cản tự nhiên hạn chế sự xâm nhiễm của nấm mục nâu (Schmidt, 2006). Các triệu chứng nứt vỡ hình khối (cubical

cracking) quan sát được trên mộc bản được xác định là hiện tượng “già mục nâu” (pseudo - cubical rot), là giai đoạn muộn của quá trình mục mềm do loài ưu thế *Chaetomium globosum* gây ra.

Kết quả định danh các chủng nấm tại kho mộc bản Trung tâm Lưu trữ Quốc gia IV (Lâm Đồng) khi so sánh với kho tại chùa Vĩnh Nghiêm và chùa Bồ Đà (tỉnh Bắc Ninh) cho thấy một sự thống nhất rõ rệt về cấu trúc hệ vi sinh vật, trong đó ngành nấm Túi (Ascomycota) và nhóm nấm bất toàn (Deuteromycota - phần lớn có giai đoạn hữu tính thuộc ngành nấm Túi) chiếm ưu thế tuyệt đối về cả số lượng loài và tần suất xuất hiện (Nguyễn Thị Bích Ngọc *et al.*, 2017).

Cụ thể, tại Trung tâm Lưu trữ Quốc gia IV, các loài nấm thuộc ngành Ascomycota chiếm tỷ lệ áp đảo với 72,73%, vượt xa ngành nấm Đám (22,73%) và Mucoromycota (4,55%). Xu thế này cũng được ghi nhận tương tự tại khu vực mộc bản tỉnh Bắc Ninh, nơi nhóm nấm bất toàn chiếm tỷ lệ 52,9% tại chùa Vĩnh Nghiêm và đạt tới 75,0% tại chùa Bồ Đà.

Ở cấp độ loài, *Aspergillus versicolor* là tác nhân gây hại phổ biến và đặc trưng nhất trên di sản mộc bản gỗ Thị tại Việt Nam. Tần suất bắt gặp loài này ghi nhận được sự tương đồng giữa các kho lưu trữ: đạt 12,37% tại Đà Lạt, 12,6% tại chùa Vĩnh Nghiêm và 14,95% tại chùa Bồ Đà. Bên cạnh đó, các chi nấm mốc thuộc lớp Eurotiomycetes như *Aspergillus* và *Penicillium* cũng chiếm đa số trong thành phần loài phân lập được (ví dụ loài *Penicillium commune* đạt tỷ lệ 10,31% tại Đà Lạt và *Aspergillus flavipes* đạt tới 14,95% tại chùa Bồ Đà).

3.2. Kết quả đánh giá mức độ nguy hại của nấm trên mộc bản triều Nguyễn

Từ các loài nấm đã phân lập được ở bảng 1, dựa trên đặc điểm sinh học và cơ chế gây hại đã được hệ thống hóa trong các tài liệu tham khảo, chúng tôi phân chia các loài nấm phân lập được thành 3 nhóm tác động chính đối với Mộc bản triều Nguyễn tại bảng 2.

Bảng 2. Phân nhóm nấm gây hại mộc bản

Nhóm nguy cơ	Tên loài/chi (đã phân lập)	Nhóm sinh thái & cơ chế tác động	Tài liệu tham chiếu
I. NGUY CƠ CAO			
	1. <i>Flavodon flavus</i> (Klotzsch) P. Ryvarden.	Nấm mục trắng (white rot): Các loài thuộc ngành Nấm đám (Basidiomycota). Tiết enzyme phân hủy Lignin mạnh nhất, khiến gỗ bị xốp trắng và gãy vụn.	(Schmidt, 2006; Morrell, 2020)
	2. <i>Phanerochaete</i> sp.		
	3. <i>Peniophora</i> sp.		
	4. <i>Polyporales</i> sp.		
	5. <i>Chaetomium globosum</i> Kunze.	Nấm mục mềm (soft rot): Loài nấm Túi nguy hại nhất. Tạo các lỗ rỗng trong vách tế bào, làm gỗ mềm nhũn khi ẩm. Gây hại đặc trưng trong điều kiện độ ẩm bão hòa hoặc gỗ ngập nước.	(Savory, 1954; Nilsson, 1973)
II. NGUY CƠ TRUNG BÌNH			
	6. <i>Coprinellus radians</i> (Desm.) Vilgalys, Hopple & Jacq. Johnson.	Nấm hoại sinh/ Phân hủy thứ cấp. Loài này không phân hủy lignin mạnh để gây sụp đổ cấu trúc gỗ như nấm mục trắng. Tuy nhiên, nó hình thành lớp sợi nấm thô màu nâu vàng bám chặt trên bề mặt, khó làm sạch bằng phương pháp cơ học.	(Domsch <i>et al.</i> , 2007)

Nhóm nguy cơ	Tên loài/chi (đã phân lập)	Nhóm sinh thái & cơ chế tác động	Tài liệu tham chiếu
	7. <i>Cladosporium tenuissimum</i> Cooke.	Nấm biến màu (Staining fungi): Sợi nấm chứa melanin đen ăn sâu vào gỗ, gây vết ố vĩnh viễn, không tẩy sạch được.	(Seifert, 1993; Sterflinger, 2010)
	8. <i>Cladosporium perangustum</i> Bensch, Crous & U. Braun.		
	9. <i>Trichoderma</i> sp.	Phân giải Cellulose mạnh: Có hệ enzyme cellulase rất mạnh. Tuy không phá hủy gỗ nhanh như nhóm I nhưng làm mủn bề mặt, mờ nét khắc theo thời gian.	(Kubicek, 2012; Inoue <i>et al.</i> , 2014)
	10. <i>Talaromyces verruculosus</i> (Sigler & J.W. Carmich.) Samson, N. Yilmaz & Frisvad.		
	11. <i>Fusarium</i> sp.	Hỗn hợp: Vừa gây biến màu (đỏ/hồng), vừa có khả năng gây mục mềm nhẹ.	(Morrell, 2020)
	12. <i>Penicillium pinophilum</i> Hedgc.	Phân giải chậm: Các loài này có hoạt tính cellulase cao hơn nấm mốc thường, gây hại tích lũy lâu dài (làm mòn bề mặt).	(Domsch <i>et al.</i> , 2007)
	13. <i>Acremonium fusidioides</i> (Nicot) W. Gams.		
	14. <i>Myrothecium</i> sp.		
III. NGUY CƠ THẤP			
	15. <i>Aspergillus niger</i> Tiegh.	Nấm mốc (Molds): Phổ biến nhất. Chủ yếu gây bẩn. Riêng <i>A. niger</i> có thể sinh axit gây bạc màu nhẹ nhưng không làm mục gỗ.	(Florian, 2002; Cameselle <i>et al.</i> , 2003)
	16. <i>Aspergillus fumigatus</i> Fresen.		
	17. <i>Aspergillus flavus</i> Link.		
	18. <i>Aspergillus versicolor</i> (Vuill.) Tirab.		
	19. <i>Penicillium glabrum</i> (Wehmer) Westling.	Nấm mốc xanh/U'ả khô: Chỉ thị môi trường ẩm, chủ yếu gây hại thẩm mỹ bề mặt (lớp phấn).	(Pitt, Hocking, 2009)
	20. <i>Penicillium commune</i> Thom.		
	21. <i>Syncephalastrum racemosum</i> Cohn ex J. Schröt.		
	22. <i>Leptosphaerulina chartarum</i> Cec. Roux.	Nấm hoại sinh/ngoại lai: Thường là bào tử từ môi trường bên ngoài rơi vào, ít có khả năng phát triển sâu trong gỗ mục bản khô.	(Domsch <i>et al.</i> , 2007)

Từ kết quả của bảng 2, có một số nhận xét sau:

Nhóm nguy cơ cao (mối đe dọa trực tiếp đến tính toàn vẹn cấu trúc): Kết quả nghiên cứu đã phát hiện sự hiện diện của các tác nhân phân hủy gỗ nguy hại nhất thuộc cả hai ngành nấm Đám và nấm Túi.

- Nấm mục trắng (hình 3a): Sự xuất hiện của các chi *Flavodon*, *Phanerochaete*, *Peniophora* (Basidiomycota) là đáng báo động. Các loài này sở hữu hệ enzyme Lignin Peroxidase và Laccase, cho phép chúng phân hủy lignin - thành phần tạo nên độ cứng của gỗ. Khi lignin bị phá vỡ, gỗ mục bản

sẽ trở nên xốp, mất trọng lượng và chuyển sang màu trắng ngà (bleaching). Đây là dạng hư hỏng không thể khắc phục được.

- Nấm mục mềm (hình 3b): Loài *Chaetomium globosum* được xác định là tác nhân chính gây ra hiện tượng mục mềm. Khác với nấm mục trắng, loài này tấn công vào lớp S2 của vách tế bào gỗ giàu cellulose, tạo ra các lỗ rỗng vi thể. Đặc biệt, trong điều kiện kho lưu trữ có biến động ẩm độ, gỗ bị nhiễm *Chaetomium* sẽ biểu hiện dạng gãy giòn và nứt vỡ hình khối khi khô, dễ gây nhầm lẫn với nấm mục nâu (hình 3c).

Trong rất nhiều tài liệu về y học, chất lượng không khí trong nhà hay vi sinh vật đại cương, *Chaetomium* được xếp là nấm mốc. Đó là do về hình thái, thể quả *Chaetomium globosum* mọc thành các đám lông xù, sinh ra hàng triệu bào tử phát tán trong không khí, điều này xảy ra y hệt như *Aspergillus* hay *Penicillium*. Tuy nhiên, khác với nấm mốc thường (chỉ ăn tinh bột, đường trên bề mặt), *Chaetomium* có khả năng tiết enzyme cellulase cực mạnh. Khi đó, sợi nấm không chỉ nằm trên bề mặt, do khả năng khoan thủng vách tế bào gỗ, chui vào và ăn rong cellulose bên trong, tạo ra các lỗ hổng hình thoi. Kết quả gỗ bị mất độ bền, mềm nhũn và gãy vụn. Do đó, *Chaetomium globosum* phải được nhìn nhận là nấm mục.

Đối với nhóm nguy cơ trung bình (tác động kép về thẩm mỹ và độ bền bề mặt): Nhóm này tuy không gây sụp đổ cấu trúc nhanh chóng như nhóm I, nhưng lại gây ra những tổn thất nghiêm trọng về giá trị di sản (thẩm mỹ) và độ sắc nét của văn tự:

- Biến màu vĩnh viễn: Các loài *Cladosporium* (nấm đen) tiết sắc tố melanin thâm nhập sâu vào thớ gỗ, tạo nên các vết ố đen không thể tẩy rửa bằng

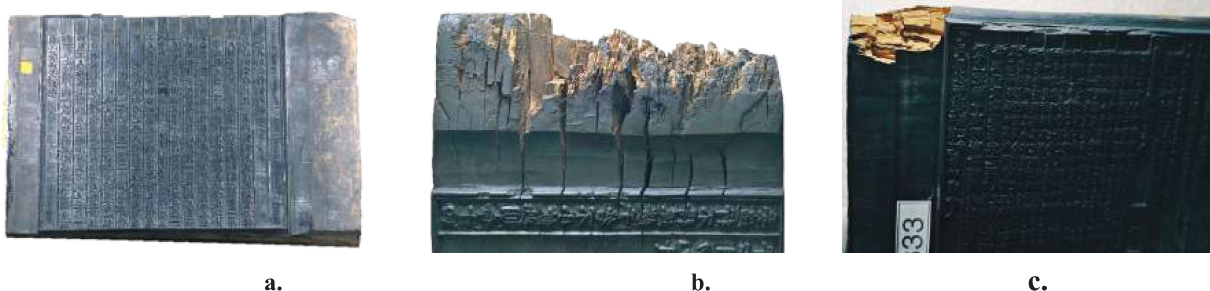
phương pháp cơ học thông thường mà không làm mòn gỗ. Lớp sợi nấm *Ozonium* của *Coprinellus radians* cũng gây mất thẩm mỹ tương tự và đóng vai trò là chỉ thị cho các vùng có độ ẩm cục bộ cao.

- Xói mòn sinh học: Các chi *Trichoderma*, *Talaromyces* và *Fusarium* sở hữu hoạt tính enzyme cellulase mạnh mẽ (Kubicek, 2012). Chúng phân giải chậm cellulose trên bề mặt bản khắc, làm cho lớp gỗ bề mặt bị mòn, dẫn đến việc các nét khắc mảnh bị mờ, gãy hoặc mất nét theo thời gian.

Đối với nhóm nguy cơ thấp (chỉ thị môi trường và rủi ro hóa sinh): Nhóm này chiếm số lượng loài đa dạng nhất (chủ yếu là *Aspergillus* và *Penicillium*), phản ánh điều kiện vi khí hậu nóng ẩm đặc trưng của khu vực bảo quản.

- Tác hại chính của nhóm này là tạo lớp thảm bào tử gây bẩn bề mặt và nguy cơ sức khỏe cho nhân viên bảo quản.

- Tuy nhiên, cần lưu ý khả năng sinh axit hữu cơ (như axit oxalic, citric) của *Aspergillus niger*. Mặc dù được xếp vào nhóm nguy cơ thấp về mặt cấu trúc, nhưng sự tích tụ axit lâu ngày có thể gây thủy phân nhẹ làm bạc màu gỗ và giòn hóa bề mặt cellulose.



Hình 3. Mộc bản bị nấm gây hại

a – Mộc bản bị nấm mốc gây hại; **b** – Mộc bản bị nấm mục mềm gây hại làm mòn cấu trúc;
c – Mộc bản bị nấm mục mềm gây hại nứt vỡ theo hình khối.

Việc nâng cấp hệ thống kho chuyên dụng tại Trung tâm Lưu trữ Quốc gia IV vào năm 2023 với các thông số vi khí hậu đạt chuẩn (nhiệt độ $23 \pm 2^\circ\text{C}$, độ ẩm $60 \pm 5\%$) là một bước tiến quan trọng trong công tác bảo tồn. Về mặt lý thuyết, bào tử nấm mốc không thể nảy mầm nếu độ ẩm tương đối được duy trì ổn định dưới 65%. Với điều kiện độ ẩm hiện tại, kho lưu trữ về cơ bản đã ức chế được sự phát sinh

mới của các chi nấm mốc phổ biến như *Aspergillus* và *Penicillium*. Tuy nhiên, kết quả phân lập cho thấy các loài này vẫn chiếm đa số (như *Aspergillus versicolor* đạt 12,37% và *Penicillium commune* đạt 10,31%). Điều này phản ánh rằng các vết ố màu và thảm bào tử hiện có, chủ yếu là hệ quả của quá trình bảo quản không tốt trong quá khứ hoặc các giai đoạn biến động lịch sử trước khi kho được nâng cấp.

Đáng chú ý là sự hiện diện của nhóm nguy cơ cao gây mục trắng (*Flavodon flavus*, *Phanerochaete* sp.) và mục mềm (*Chaetomium globosum*). Đặc điểm sinh học của nấm mục mềm là tấn công vào lớp vách tế bào giàu cellulose, đặc biệt nguy hại trong điều kiện độ ẩm bão hòa hoặc gỗ từng bị ngập nước. Việc phát hiện loài *Coprinellus radians* - một chỉ thị sinh học cho các vị trí có độ ẩm cục bộ rất cao - cảnh báo rằng dù môi trường tổng thể được kiểm soát, vẫn cần lưu ý các điểm đặc biệt về thông gió hoặc hiện tượng ngưng tụ ẩm tại các khe giá kệ. Các loài nấm mục này có tốc độ phát triển chậm và nằm sâu trong lõi gỗ, do đó chúng có khả năng tiềm sinh lâu dài và sẽ tái hoạt động ngay khi có sự cố về hệ thống kiểm soát ẩm.

Tuy nhiên, do gỗ Thị làm mộc bản có độ bền tự nhiên kém với nấm mốc, chiến lược bảo quản hai cấp độ được đề xuất là hoàn toàn có cơ sở khoa học:

- Cấp độ 1: Kiểm soát phòng ngừa. Duy trì nghiêm ngặt ngưỡng độ ẩm $60 \pm 5\%$ để ngăn chặn nấm mốc này mầm.

- Cấp độ 2: Can thiệp xử lý. Đối với các tấm mộc bản đã xác định nhiễm nấm mục trắng và mục mềm (như các trường hợp bị mục nát hoặc nứt vỡ hình khối), cần áp dụng biện pháp cách ly và xử lý hóa chất chuyên sâu để diệt tận gốc hệ sợi nấm trong lõi gỗ, vì điều tiết vi khí hậu đơn thuần chỉ có tác dụng ức chế chứ không tiêu diệt được hoàn toàn các tác nhân này.

IV. KẾT LUẬN

1. Kết quả lấy mẫu trên 100 tấm mộc bản cho thấy tỷ lệ nhiễm nấm ở mức cao, chiếm 84% tổng mẫu nghiên cứu. Trong đó, sự hiện diện của nấm mốc chiếm ưu thế với 64%, tiếp theo là các tác nhân gây mục với 30%; đáng chú ý có 10% mẫu ghi nhận sự đồng nhiễm của cả hai nhóm tác nhân này. Từ các mộc bản lấy mẫu, nghiên cứu đã phân lập được 100 chủng nấm. Thông qua sàng lọc dựa trên đặc điểm hình thái học (morphological screening),

27 chủng đại diện đã được lựa chọn để tiến hành định danh bằng kỹ thuật sinh học phân tử.

2. Kết quả nghiên cứu đã xác định được sự hiện diện của 22 loài nấm thuộc 3 ngành chính trên mộc bản triều Nguyễn, trong đó các loài nấm thuộc ngành nấm Túi (Ascomycota) chiếm ưu thế tuyệt đối (72,73%), tiếp đến là ngành nấm Đám (Basidiomycota) chiếm 22,73% và ngành Mucoromycota chiếm 4,55%. Kết quả định danh bằng phương pháp sinh học phân tử (vùng gen ITS) cho thấy độ tin cậy cao, phản ánh chân thực hệ vi sinh vật đặc thù trong môi trường lưu trữ tại Đà Lạt.

3. Nghiên cứu đã phân loại thành công các nhóm nấm dựa trên nguy cơ gây hại cấu trúc:

- Nhóm nguy cơ cao (Gây mục nát): Đã phát hiện các tác nhân gây hủy hoại cấu trúc nghiêm trọng nhất gồm nhóm nấm mục trắng (*Flavodon flavus*, *Phanerochaete* sp.) phân hủy lignin và nấm mục mềm (*Chaetomium globosum*) phân hủy cellulose. Đây là nguyên nhân trực tiếp dẫn đến các hiện tượng gỗ bị xóp dạng sợi và gãy giòn quan sát được trên mẫu vật.

- Nhóm nguy cơ trung bình và thấp (Gây hại bề mặt): Chiếm đa số là các loài nấm mốc (*Aspergillus*, *Penicillium*) và nấm biến màu (*Cladosporium*). Tác động chính của nhóm này là gây mất thẩm mỹ (vết ố vĩnh viễn), làm mủn bề mặt và che lấp các nét khắc Hán Nôm tinh xảo.

4. Một phát hiện quan trọng của nghiên cứu là sự vắng mặt hoàn toàn của nhóm nấm mục nâu trong kết quả phân lập. Điều này phù hợp với quy luật sinh thái học nấm, do mộc bản được chế tác từ gỗ lá rộng - cơ chất có cấu trúc lignin kháng lại nấm mục nâu.

5. Để phòng chống sự gây hại của nấm đối với mộc bản, chiến lược bảo quản hai cấp độ được đề xuất:

- Cấp độ 1: Kiểm soát phòng ngừa. Duy trì nghiêm ngặt chế độ vi khí hậu kho tàng ở mức nhiệt độ $23 \pm 2^\circ\text{C}$ và độ ẩm $60 \pm 5\%$ để ức chế sự phát triển của nhóm nấm mốc và nấm biến màu.

- Cấp độ 2: Can thiệp xử lý. Đối với các mộc bản nhiễm nấm mốc trắng và mốc mềm (đã được định danh), cần tiến hành cách ly ngay lập tức và áp dụng các biện pháp xử lý chuyên sâu (như phương pháp thiếu khí hoặc sử dụng hoạt chất diệt nấm có khả năng thấm sâu) để loại bỏ hệ sợi nấm trong lõi gỗ, ngăn chặn sự lây lan sang các tài liệu khác.

Lời cảm ơn: Công trình này là kết quả nghiên cứu của luận án tiến sỹ “Nghiên cứu xử lý cứng hóa mộc bản triều Nguyễn đã bị mủn mục bằng Acrylic polyme” theo Quyết định số 70/QĐ-KHLN-ĐT ngày 15/3/2024 của Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam. Tác giả xin chân thành cảm ơn Trung tâm Lưu trữ Quốc gia IV, Cục Văn thư và Lưu trữ Nhà nước, Bộ Nội vụ đã hỗ trợ và tạo điều kiện thuận lợi trong quá trình triển khai nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Altschul, S.F., Gish, W., Miller, W., Myers, E.W. and Lipman, D.J., 1990. Basic local alignment search tool. *J. Mol. Biol.*, Vol.215, pp 403 - 410. DOI: 10.1016/S0022-2836(05)80360-2.
2. Bộ Nội Vụ, 2016. Đề án bảo quản và phát huy giá trị tài liệu Mộc bản Triều Nguyễn - Di sản Tư liệu Thế giới.
3. Cameselle, C., Ricart, M., Núñez, M. and Lema, J., 2003. Iron removal from kaolin. Comparison between “in situ” and “two-stage” bioleaching processes. *Hydrometallurgy*, Vol.68, pp 97 - 105. DOI: 10.1016/S0304-386X(02)00196-2.
4. Domsch, K.H., Gams, W. and Anderson, T.-H., 2007. *Compendium of Soil Fungi*, 2nd ed. IHW-Verlag, Eching.
5. Florian, M.-L.E., 2002. *Fungal Facts: Solving Fungal Problems in Heritage Collections*, 1st ed. Archetype Publications, London.
6. Gardes, M. and Bruns, T.D., 1993. ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes – application to the identification of mycorrhizae and rusts. *Mol. Ecol.*, Vol.2, pp 113 - 118. DOI: 10.1111/j.1365-294X.1993.tb00005.x.
7. Gilbertson, R.L., 1980. Wood-Rotting Fungi of North America. *Mycologia*, Vol.72, pp 1. DOI: 10.2307/3759417.
8. Guglielminetti, M., De Giuli Morghen, C., Radaelli, A., Bistoni, F., Carruba, G., Spera, G. and Caretta, G., 1994. Mycological and ultrastructural studies to evaluate biodeterioration of mural paintings. Detection of fungi and mites in Frescos of the monastery of St Damian in Assisi. *Int. Biodeterior. Biodegradation*, Vol.33, pp 269 - 283. 9. DOI: 10.1016/0964-8305(94)90066-3.
9. Hong, J.-Y., Kim, Y.-H., Jung, M.-H., Jo, C.-W. and Choi, J.-E., 2011. Characterization of Xylanase of Fungi Isolated from Janggyeong Panjeon in Haeinsa Temple. *Korean J. Mycol.*, Vol.39, pp 198 - 204. DOI: 10.4489/KJM.2010.39.3.198.
10. Inoue, H., Decker, S.R., Taylor, L.E., Yano, S. and Sawayama, S., 2014. Identification and characterization of core cellulolytic enzymes from *Talaromyces cellulolyticus* (formerly *Acremonium cellulolyticus*) critical for hydrolysis of lignocellulosic biomass. *Biotechnol. Biofuels*, Vol.7, pp 151. DOI: 10.1186/s13068-014-0151-5.
11. Krah, F.-S., Bässler, C., Heibl, C., Soghigian, J., Schaefer, H. and Hibbett, D.S., 2018. Evolutionary dynamics of host specialization in wood - decay fungi. *BMC Evol. Biol.*, Vol.18, pp 119. DOI: 10.1186/s12862-018-1229-7.
12. Kubicek, C.P., 2012. *Fungi and Lignocellulosic Biomass*. Wiley-Blackwell.
13. Lee, H.J., Jeong, S. hye and Chung, Y. jae, 2018. Wood injury characteristics of fungi isolated from printing woodblocks of the Tripitaka Koreana in the Haeinsa Temple at Hapcheon, Republic of Korea. *Int. Biodeterior. Biodegradation*, Vol.131, pp 29 - 39. DOI: 10.1016/j.ibiod.2017.03.019.
14. Morrell, R.A.Z.J.J., 2020. *Wood Microbiology*, 2nd ed. Elsevier. DOI: 10.1016/C2018-0-05117-8.
15. Nguyễn Thị Bích Ngọc, Phạm Thị Thanh Miền, Hàn Tất Ngạn, Đỗ Văn Bản, Bùi Văn Ái, Nguyễn Từ Kim, Hoàng Trung Hiếu, Nguyễn Văn Đức, Bùi Thị Thủy và Nguyễn Thị Hằng, 2017. Ứng dụng tiến bộ khoa học và công nghệ để bảo quản di sản mộc bản chùa Vĩnh Nghiêm và chùa Bồ Đà tỉnh Bắc Giang. Báo cáo tổng kết đề tài – Bộ Khoa học và công nghệ, pp 164.
16. Nguyễn Thị Hà, 2009. Nghiên cứu cơ sở khoa học để bảo quản tài liệu mộc bản. Báo cáo tổng kết đề tài - Cục Văn thư lưu trữ Nhà nước, pp 87.

17. Nilsson, T., 1973. Studies on wood degradation and cellulolytic activity of microfungi.
18. Pinheiro, A.C., Sequeira, S.O. and Macedo, M.F., 2019. Fungi in archives, libraries, and museums: a review on paper conservation and human health. *Crit. Rev. Microbiol.*, Vol.45, pp 686 - 700. DOI: 10.1080/1040841X.2019.1690420.
19. Pitt, J.I. and Hocking, A.D., 2009. *Fungi and Food Spoilage*. Springer US, Boston, MA. DOI: 10.1007/978-0-387-92207-2.
20. Raeder, U. and Broda, P., 1985. Rapid preparation of DNA from filamentous fungi. *Lett. Appl. Microbiol.*, Vol.1, pp 17 - 20. DOI: 10.1111/j.1472-765X.1985.tb01479.x.
21. Savory, J.G., 1954. Breakdown of timber by Ascomycetes and fungi imperfecti. *Ann. Appl. Biol.*, Vol.41, pp 336 - 347. DOI: 10.1111/j.1744-7348.1954.tb01126.x.
22. Schmidt, O., 2006. *Wood and Tree Fungi*. Springer Berlin Heidelberg. DOI: 10.1007/3-540-32139-X.
23. Seifert and Keith A., 1993. Sapstain of commercial lumber by species of *Ophiostoma* and *Ceratocystis*, in: Wingfield, M.J., Seifert, K.A., Webber, J.F. (Eds.), *Ceratocystis and Ophiostoma: Taxonomy, Ecology, and Pathogenicity*chap. American Phytopathological Society (APS Press), St. Paul, MN, pp. 141 - 151.
24. Sequeira, S., Pasnak, E., Viegas, C., Gomes, B., Dias, M., Cervantes, R., Pena, P., Twarużek, M., Kosicki, R., Viegas, S., Caetano, L., Penetra, M., Silva, I., Caldeira, A. and Pinheiro, C., 2024. Microbial Assessment in A Rare Norwegian Book Collection: A One Health Approach to Cultural Heritage. *Microorganisms*, Vol.12, pp 1215. DOI: 10.3390/microorganisms12061215.
25. Sở KH&CN Lâm Đồng, 2008. Địa chỉ Đà Lạt. URL <https://lamdong.gov.vn/sites/book/diachidalat/Phan2/C1-6.htm>.
26. Sterflinger, K., 2010. Fungi: Their role in deterioration of cultural heritage. *Fungal Biol. Rev.*, Vol.24, pp 47 - 55. DOI: 10.1016/j.fbr.2010.03.003.
27. Trung tâm Lưu trữ Quốc gia IV, 2020. Mộc bản Triều Nguyễn – Di sản Tư liệu thế giới. URL <https://mocban.vn/>.
28. Unesco - Memory of the World, 2009. Woodblocks of Nguyen Dynasty. URL <https://www.unesco.org/en/memory-world/woodblocks-nguyen-dynasty>.
29. United States government, n.d. GenBank. Natl. Libr. Med., URL <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>.
30. White, T.J., Bruns, T., Lee, S. and Taylor, J., 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics, in: *PCR Protocols*chap. Elsevier, pp. 315 - 322. DOI: 10.1016/B978-0-12-372180-8.50042-1.

Email tác giả liên hệ: nguyenducthanh.fuv@gmail.com

Ngày nhận bài: 17/12/2025

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 26/12/2025; 27/12/2025

Ngày duyệt đăng: 30/12/2025