

BIODETERIORATION AND CHEMICAL CONSERVATION OF BHIMKICHAK TEMPLE, MALHAR, CHHATTISGARH, INDIA

Sanjay Prasad Gupta*

Archaeological Survey of India, Raipur Circle, Raipur (Chhattisgarh), India.

Kavita Sharma

Department of Botany, Arts and Commerce College, Raipur (Chhattisgarh), India.

B.S. Chhabra

Department of Chemistry, Govt. College Abhanpur- Raipur (Chhattisgarh), India.

Keywords: bio-deterioration, biofilms, microbial metabolites, pigments

1. Introduction

Microorganisms contribute to the deterioration of stone artifacts such as historical monuments and statues [1]. The oxalic and citric acids excreted by various fungi act as a chelating agent thereby leaching the metabolic cations from the stone surface. Oxalic acid causes extensive corrosion of primary minerals and the complete dissolution of ferruginous minerals through the formation of iron oxalates and silica gels [2-3]. Fungi are a group of heterotrophic organisms that have been detected systematically on degraded stone buildings in tropical and temperate regions [4-5]. They may have greater deteriogenic potential than bacteria as they produce and excrete higher concentrations of organic acids [6]. In addition, these microorganisms may cause physical biodegradation of stone by the growth of hyphal networks through the pore space system [7]. We studied the biodeterioration of ancient stone buildings and their chemical conservation at the archaeological site of Bhimkichak temple (Figures 1-3), which is located in a small village called Malhar 35 km away from Bilaspur city of Chhattisgarh state. The frequency and class of the fungal species producing the acid-linked degradation of the stone was investigated.

The Bhimkichak temple was built using sandstone which is porous in nature. The material used for building is primarily stone. Stones are mainly of three types: igneous, sedimentary and metamorphic. The sedimentary type of sandstone in the Bhimkichak temple is red coloured sand stone in which the cementing material is calcite and the masonry is ashlar. The temple was built in the 6th – 7th century A.D.

* Corresponding author: guptasanjayprasad@gmail.com; sanjay_asi@yahoo.in

1.1. Conservation Issues

The stone surface of the temples have become blackish in appearance due to deposits of dust, dirt, dried vegetation and micro vegetation. The deposit covered areas seem to be very old as a result of the formation of secondary dull green, pale, white lichens, present all over the stone surface. Due to these deposits the aesthetic beauty of the temple is seriously affected. Moreover, these depositions are extremely harmful for the health of the stone surface. It is therefore necessary to remove these accretions from the surface of the monument [8]. From a scientific point of view also, these depositions are harmful for the health of the stone surface due to the fact that these microorganisms secrete an acid that dissolves the sandstone [9].



a



b



c



d

Figure 1. Bhimkichak temple front view
a) before conservation; b) & c) during conservation; d) after conservation

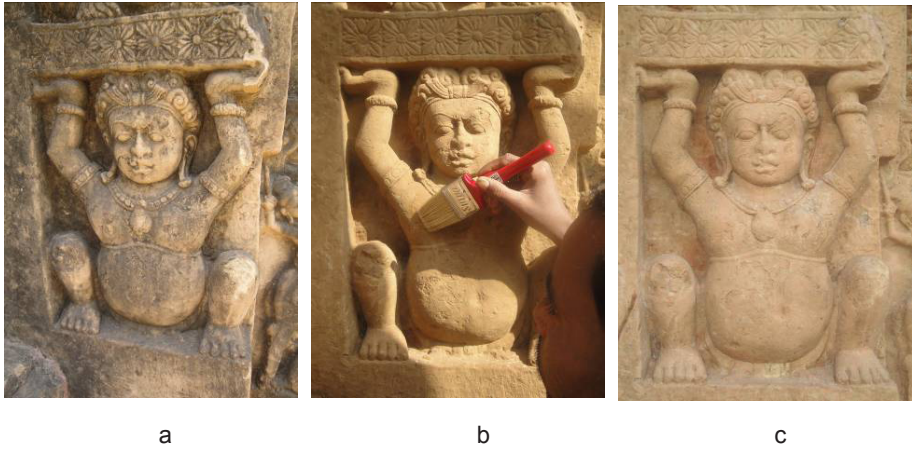


Figure 2. weight bearer at Bhimkichak temple
 a) before consolidation b) during consolidation c) after consolidation

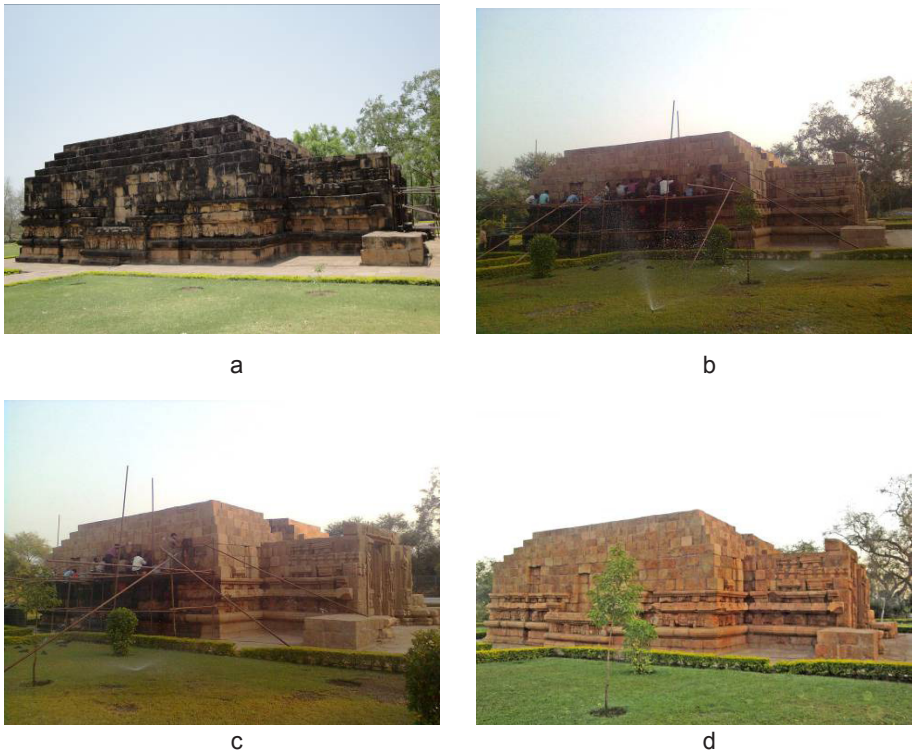


Figure 3. Bhimkichak temple lateral view
 a) before conservation, b) & c) during conservation, d) after conservation

2. Material and Methods

2.1. Sampling and Isolation of fungi

In total, 10 Samples were collected from various places of the Bhimkichak temple at Malhar of Chhattisgarh state and brought to the laboratory under aseptic conditions. The isolation of the micro-organisms was carried out by culturing the samples and by direct incubation of the samples in a moist chamber. Two different agar media were taken for the selection of basal media. The media employed were Czapeck-Dox and Potato dextrose agar. Of the two media, Czapeck-Dox was selected as the basal medium for subsequent studies, because this medium supported good mycelial growth and excellent sporulation for all the organisms; its composition is, moreover, simple, making it possible to modify and substitute various ingredients. The purified fungal cultures were identified by using mycological techniques and were compared with available authentic literature, reviews and mycological manuals [10-11].

2.2. Percentage of frequency

Frequency occurrence was calculated as follows:

$$\% \text{ Frequency} = \frac{\text{Number of samples in which specific organism occurred}}{\text{Total number of samples examined}} \cdot 100$$

Based on the frequency occurrence the fungi were grouped as Rare (0-25% frequency), Occasional (26-50% frequency), Frequent (51-75% frequency), and Common (76-100% frequency) species.

2.3. Removal of dust and dirt accretion

Measures were taken by the Archaeological Survey of India for the removal of dust and dirt accretion to keep the stone in neutral pH and to preserve and strengthen the stone by soft brushing (Figures 1-3). The moss, fungi and lichen were removed by applying 2-3% solution of ammonia in water and by scrubbing with a nylon brush [8]. Black patches of remains of microvegetational deposits appeared after removal of the thick layer of moss, fungi and lichens, which were washed out with the help of a dilute solution of oxalic acid in water; due to very deep penetration of microvegetational growth inside the stone, only superficial cleaning was performed, using an ammoniacal solution, with the aid of soft nylon brushes. A diluted solution of a non ionic detergent with liquid ammonia was applied to the treated surface to remove dirt, dust and any traces of acid and ammonia left on the surface during the chemical treatment (Figures 1b-c, 3b-c). To stop further growth of micro vegetation, a 2% aq. solution of sodium pentachlorophenate was applied on the clean, dried surface. The brittleness and powdering of the stone structures were consolidated by the application of an ethyl silicate based coating material (Figure 2b), which forms a glass like silica gel binder (SiO₂ aq.) with release of ethanol (by evaporation) as a byproduct [12]. It is worth noting that the intake of stone strengthener materials was comparatively higher in the case of damaged and pulverized stones (Figure 2c). This can be attributed to the

presence of more pores for penetration. The coating of stone strengthener was applied on the deteriorated and flaky stone surface by simple brushing and impregnation till saturation.

2.4. Preservation Solutions

It is essential that the preservation solution applied on the monuments be of good quality. It should be colorless and transparent and must not turn yellow or become colored with age, but remain stable for a long period of time. It should also offer reasonable protection to the monument against moisture and its film should be hard and strong enough to protect the stone surface from damaging accretions. Therefore, for the preservation of the Bhimkichak temple a silane-siloxane based compound (Wacker BS-290) was chosen, which was diluted with Mineral Turpentine Oil (MTO) in a ratio of 1:16 and applied on the monument with a soft painting brush. By using MTO as a solvent, slight temporary darkening appears but the preserved surface gradually regains its original appearance due to the slow evaporation of the solvent. This compound is waterproof and prevents water from settling on the stone surface [13].

3. Results and Discussions

During the present investigation 8 fungal floras were identified that caused deterioration of the monument (Table 1) (Figure 4). Fungal species were found in a biofilm where their effect on the stone substrate led to the deterioration of the monument. This community, forming thick biofilms which produced intense pigmentation varying from dark green to dark red, altered the aesthetic appearance of the stone. In the penetration phase the fungus extends its hyphae into the inner part of the stone establishing larger colonies. The results of the present investigation concur with various studies carried out by researchers. Earlier research [14] has reported that the design of buildings give some implications on the weathering of the stone surfaces and that attack by microbes follows the initial physical and chemical weathering and is more rapid when microbes are involved. Alka Jain et al., (2008) proved that excessive moisture in building materials supports microbial growth. Endolithic lichen and fungal growth can be used to describe the eco-physiological adaptation thereof to the environmental extremes of the rock as studied by Bungartz et al. [15]. The biodiversity of soil crust biota from different geographical regions is rather dissimilar and their determination is only rarely based on cultivated material in the case of cyanobacteria, algae and fungi [14], but usually a multidisciplinary investigation is needed [17-18].

4. Conclusions

To preserve these monuments, conservation treatment is essential. But it is more essential that the problem first be identified and diagnosed correctly and that subsequently good quality chemicals be appropriately selected for their suitability in dealing with the problem of deterioration of the stone surface [12]. These should be colorless and transparent and should not turn yellow or become colored with age but should remain stable for a long period of time. They should, moreover, offer reasonable protection to monuments and sculptures against moisture and their film should be hard and strong enough to protect the stone surface from damaging accretions.

Table 1. Occurrence, percentage frequency and frequency class of different Fungal species in Bhimkichak temple

(+) = presence of species; (-) = absence of species;
C = common; **F** = frequent; **O** = occasional

Isolated fungi	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Frequency (%)	Frequency Class
Aspergillus niger	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100	C
Aspergillus sydowi	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	90	C
Aspergillus nidulans	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	80	C
Aspergillus terreus	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	80	C
Helminthosporium												
Velutinum	+	-	+	+	-	-	+	+	-	+	60	F
Mucore sp.	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	40	O
Cladosporium	+	+	+	-	+	-	+	-	+	+	70	F
Penicillium	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	50	O
Chrysogenum												

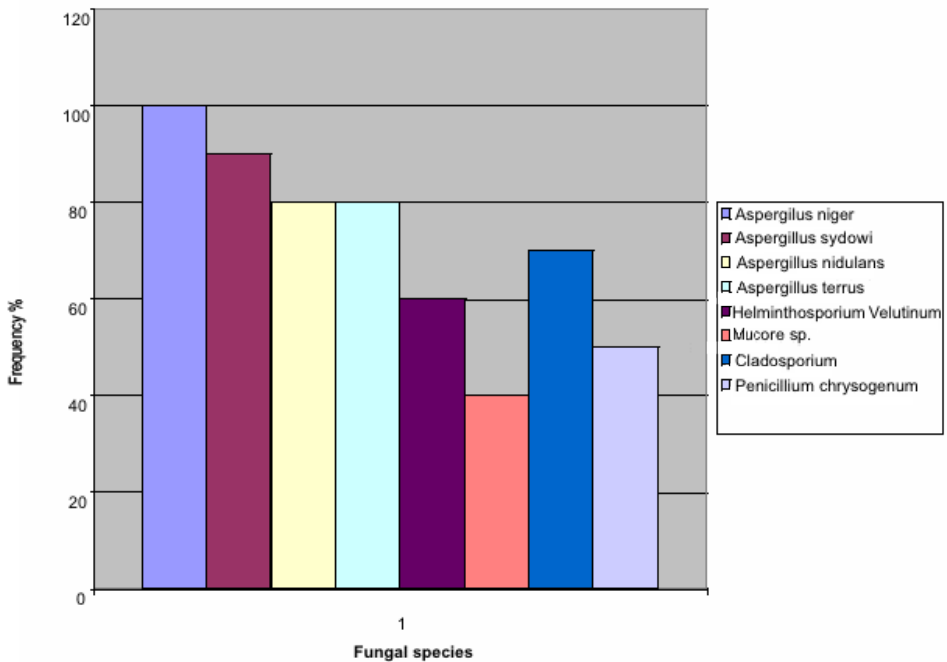


Figure 4. Graph showing fungal species and frequency (%)

Acknowledgements

The Authors would like to express their gratitude to Dr. Arun Raj T. Superintending Archaeologist, Archaeological Survey of India, Raipur Circle, Raipur, Dr. K. S. Rana, Director (Science), Archaeological Survey of India, Dehradun, Shri K.C. Shrivastava Dy. S.A. and A.K.Pandey ASAC, ASI, Raipur Circle, Raipur for their encouragement and guidance.

References

- [1] WARSCHEID, T., BRAAMS J., 2000. *Biodeterioration of stone: a review*. International Biodeterioration Biodegradation 46: 343–368
- [2] CANEVA, G. AND SALVADORI, O., 1998, In *Deterioration and Conservation of Stone* (eds Lazzarini, L. and Piper, R.), UNESCO, Paris, No. 16, pp. 182–234
- [3] ECKHARDT F. E. W., 1985, In *5th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone* (ed. Felix, G.), Lausanne, Switzerland, vol. II, pp. 643–652
- [4] RESENDE, M.A., G DE C. REZENDE, VIANA E.V., BECKER T.W., WARSCHEID T., 1996. *Acid production by fungi isolated from historic monuments in the Brazilian state of Minas Gerais*. In: Gaylarde, C.C., E.L.S.de Sá, P.M. Gaylarde (eds.), *Biodegradation & Biodeterioration in Latin America*, Porto Alegre, Brazil: Mircen/UNEP/UNESCO/ ICRO – FEPAGRO/UFRGS, pp. 65–67
- [5] GAYLARDE C.C., GAYLARDE P.M., 2005. *A comparative study of the major microbial biomass of biofilms on exteriors of buildings in Europe and Latin America*. International Biodeterioration & Biodegradation 55:131–139
- [6] AGRAWAL O.P., *Conservation of Cultural Heritage. The Challenges Before Us*, Journal of Indian Museum, New Delhi, 49, 1993, pp.94
- [7] URZI C., DE LEO F., DE HOW S., STERFLINGER K., 2000. *Recent advances in the molecular biology and ecophysiology of meristematic stoneinhabiting fungi*. In: Ciferri, O., P. Tiano, G. Mastromei (eds.), *Of Microbes and Art. The role of microbial communities in the degradation and protection of cultural heritage*. Kluwer Academic/Plenum Publisher, New York. pp. 3–21
- [8] DUKES W.H., *Conservation of Stone: Chemical Treatments*, The Architects' Journal Information Library, 156, 34, 1972, pp. 433-438
- [9] BURFORD E. P., FOMINA M., AND GADD G. M., *Fungal involvement in bio-weathering and biotransformation of rocks and minerals*, Mineralogical Magazine, 67, 2003, pp. 1127-1155
- [10] GILMAN C. JOSEPH (1995): *A Manual of Soil Fungi*. Print well publication, Jaipur (India)
- [11] SHARMA K.R. (1974): *Colonisation of saprophytic microfungi and bacteria on the aerial parts of Sesamum orientale and Gossypium hirsutum*. Ph.D. Thesis Univ. of Delhi (INDIA)
- [12] *Sillicone Division*, Product Manual, Wacker – Chemie GmbH, Munich, Germany 2002
- [13] TORRACA G., *Porous Building Materials Science for Architectural Conservation*, International Centre for the study of the Preservation and the Restoration of Cultural Property, Rome, 1981, pp. 64-66
- [14] SHARMA K. (2012), *Seasonal variation and ecological study of fungi in relation to biodeterioration*, Recent Research in Science and Technology 4(3): 06-08
- [15] BUNGARTZ F., GARVIE L. A. J. & NASH T.H., *Anatomy of the endolithic Sonoran*

- Desert lichen Verrucaria rubrocincta Breuss: Implications for Biodeterioration and Biomineralization. Lichenologist, 36, 2004, pp. 55–73*
- [16] PALLA F., BILLECI N., MANCUSO F.P., PELLEGRINO L., LORUSSO L.C., 2010, *Microscopy and Molecular biology techniques for the study biocenosis diversity in semi-confined environments. Conservation Science in Cultural Heritage, 10, pp. 185-194*
- [17] PALLA F., FEDERICO C., RUSSO R., ANELLO L., 2002, *Identification of No-cardia restricta in biodegraded sandstone monuments by PCR and nested-PCR amplification. FEMS Microbiology ecology. vol. 39/1, pp. 85-89*
- [18] PALLA F., TARTAMELLA E., 2007, *Chromatic alteration on marble surfaces analyzed by molecular biology tools. Conservation Science in Cultural Heritage, 7, pp. 111-127*

Biodeterioramento e conservazione chimica del tempio Bhimkichak, Malhar, Chhattisgarh, India

Parole chiave: biodeterioramento, biofilm, metaboliti microbici, pigmenti

1. Introduzione

I microrganismi contribuiscono al degrado dei manufatti lapidei, come monumenti storici e statue [1]. Gli acidi ossalico e citrico prodotti da vari tipi di funghi agiscono come agenti chelanti, estraendo quindi i cationi metabolici dalla superficie della pietra. L'acido ossalico produce una notevole corrosione dei minerali primari e la completa dissoluzione dei minerali ferruginosi attraverso la formazione di ossalati di ferro e gel di silice [2-3]. I funghi sono un gruppo di organismi eterotrofi che sono stati ritrovati sistematicamente su strutture lapidee degradate sia in regioni tropicali che temperate [4-5]. Essi possono avere un potenziale di deterioramento maggiore di quello dei batteri, poiché producono ed espellono una concentrazione più alta di acidi organici [6]. Inoltre, questi microrganismi possono provocare un deterioramento fisico della pietra a causa della crescita di una rete di ife all'interno della rete di pori [7]. Abbiamo studiato il biodeterioramento di antichi edifici in pietra e la loro conservazione della struttura chimica nel sito archeologico del tempio di Bhimkichak (Figure 1-3), che si trova in un piccolo villaggio chiamato Malhar, a 35 km di distanza dalla città di Bilaspur nello stato di Chhattisgarh. Sono stati investigati la frequenza e il tipo di specie fungine che producono il degrado della pietra legato alla formazione di acidi.

Il tempio di Bhimkichak, costruito nel VI-VII secolo d.C., è in arenaria sedimentaria di colore rosso e matrice calcitica; la muratura è formata da conci disposti a bugnato.

1.1. Problemi di conservazione

La superficie lapidea del tempio era diventata di aspetto nerastro a causa dei depositi di polvere, sporco e vegetazione e micro-vegetazione essiccata. Le aree ricoperte sembravano molto vecchie per la formazione di licheni di colore bianco leggero e verde spento, presenti su tutta la superficie della pietra. A causa dei depositi, il valore estetico del tempio era stato seriamente alterato. Inoltre, questi depositi erano molto dannosi per l'integrità del materiale lapideo, quindi è stato necessario rimuoverli [8] per evitare che i microrganismi potessero secernere acidi deleteri e disgregare l'arenaria [9].

2. Materiali e Metodi

2.1. Campionamento e isolamento dei funghi

In totale 10 campioni sono stati raccolti da diverse aree del tempio di Bhimkichak (a Malhar, stato di Chhattisgarh) e portati in laboratorio in condizioni asettiche. L'isolamento dei microrganismi è stato eseguito mediante colture in vitro, incubate in una camera umida. Due diversi tipi di agar sono stati utilizzati per la selezione del materiale di base: l'agar Czapeck-Dox e il Potato dextrose agar. Di questi due, il Czapeck-Dox è stato selezionato come materiale di base per le analisi seguenti, in quanto questo terreno permette una buona crescita del micelio e una eccellente sporulazione della maggior parte dei microrganismi; inoltre, la sua semplice

composizione permette di apportare modifiche sostituendo alcuni ingredienti. Le colture fungine purificate sono state identificate usando tecniche micologiche e sono state confrontate con quanto riportato in letteratura e manuali di micologia [10-11].

2.2. Percentuale di frequenza

La frequenza di casi è stata calcolata come segue:

$$\text{Frequenza (\%)} = \frac{\text{Numero di campioni dove occorrono specifici organismi}}{\text{Numero totale di campioni esaminati}} \cdot 100$$

Tenendo conto di questa, i funghi sono stati raggruppati come specie rare (0-25% di frequenza), occasionali (26-50%), frequenti (51-75%) e comuni (76-100%).

2.3. Rimozione dei depositi di polvere e sporco

Sono stati presi dei provvedimenti dall'Archeological Survey of India per la rimozione delle concrezioni di polvere e sporco, tramite l'uso di pennelli morbidi, in modo da mantenere la pietra a un pH neutro, preservarla e consolidarla (Figure 1-3). Il muschio, i funghi e i licheni sono stati rimossi applicando una soluzione al 2-3% di ammoniaca in acqua e rimossi meccanicamente con l'ausilio di pennelli di nylon [8]. Incrostazioni nere dovute ai residui di depositi di micro-vegetazione sono apparse dopo la rimozione dello spesso strato di muschio, funghi e licheni che era stato dilavato con l'aiuto di una soluzione diluita di acido ossalico in acqua; a causa della penetrazione profonda della crescita della micro-vegetazione all'interno della pietra, è stata effettuata solo una pulitura superficiale, usando una soluzione ammoniacale con l'aiuto di un pennello morbido di nylon. Una soluzione diluita di un detergente non ionico con ammoniaca liquida è stata applicata alla superficie trattata per rimuovere polvere, sporco e ogni traccia di acido e ammoniaca rimasti sulla superficie durante il trattamento chimico (Figure 1b-c, 3b-c). Per inibire la micro-vegetazione, una soluzione al 2% acquosa di sodio pentaclorofenato è stata applicata sulla superficie pulita e asciutta.

Le strutture in pietra fragile e con l'aspetto polverulento sono state consolidate mediante l'applicazione di uno strato di rivestimento a base di silicato di etile (Figura 2b), che forma un legante di gel di silice (SiO_2 , aq.) di aspetto vetroso, con rilascio di etanolo (tramite evaporazione) come prodotto secondario [12].

È importante notare che la quantità di materiale consolidante della pietra era relativamente più alta nel caso di pietre danneggiate o polverizzate (Figura 2c). Questo può dipendere dalla presenza di una maggiore porosità. Il materiale consolidante è stato applicato a pennello, impregnando fino a saturazione la superficie della pietra deteriorata e sfaldata.

2.4. Caratteristiche delle soluzioni protettive

È essenziale che la soluzione protettiva applicata sui monumenti sia di buona qualità. Dovrebbe essere incolore e trasparente e non diventare gialla o colorata con il tempo, ma rimanere stabile per un lungo periodo. Dovrebbe anche offrire al monumento una protezione accettabile contro l'umidità e il suo film dovrebbe essere resistente e forte abbastanza per proteggere la superficie della pietra da concrezioni dannose. Inoltre, per la protezione del tempio di Bhimkichak è stato scelto un composto (Wacker BS-290) di base silano-silossano, che è stato diluito con Mineral Turpentine Oil (MTO) in rapporto 1:16 e applicato sul monumento con un pennello a setola morbida. Con l'uso di MTO come solvente, è apparso un leggero imbrunimento temporaneo, ma la superficie protetta ha poi gradualmente riacquisito il suo aspetto originario grazie alla lenta evaporazione del solvente. Questo composto è idrorepellente e impedisce all'acqua di depositarsi sulla superficie lapidea [13].

3. Risultati e discussioni

Nel corso del presente studio, sono state identificate 8 diverse specie fungine che hanno causato il degrado del monumento (Tabella 1). Le specie fungine entravano in composizione nei biofilm che ricoprivano il substrato lapideo causando il degrado del monumento. I biofilm di diverse ed intense cromie, variabili dal verde al rosso scuro,

avevano alterato l'aspetto estetico della pietra. Nella fase di infiltrazione, il fungo estende le sue ife nella parte interna della pietra, costituendo colonie più estese. I risultati del presente lavoro convergono con diversi studi svolti da ricercatori. Una ricerca precedente [14] ha riportato che il design dell'edificio crea delle implicazioni relativamente al degrado provocato dall'infiltrazione delle acque meteoriche all'interno della superficie lapidea e che l'attacco da parte dei microrganismi accelera i processi di degrado. Alka Jain et al., (2008) ha dimostrato che un'umidità eccessiva nei materiali delle costruzioni aiuta la crescita microbica. La crescita di licheni endolitici e funghi può essere usata per descrivere l'adattamento eco-fisiologico di questi in ambienti estremi, come studiato da Bungartz et al. [15]. La biodiversità presente nelle differenti aree geografiche è piuttosto diversa e la loro determinazione, nel caso di batteri, cianobatteri, alghe e funghi, raramente può basarsi solo su colture in vitro [14], ma prevede un'indagine multidisciplinare [16-17].

4. Conclusioni

Per proteggere questi monumenti, risulta di fondamentale importanza pianificare un programma di conservazione preventiva, in cui riveste notevole importanza la rivelazione e identificazione di colonie microbiche e che, successivamente, siano selezionati i prodotti con caratteristiche funzionali adeguate a rallentare il degrado della superficie lapidea [12]. Questi dovrebbero essere scelti in maniera tale che siano chimicamente stabili per lunghi periodi e che non provochino alterazioni cromatiche sulla superficie lapidea. È inoltre necessario che tali prodotti forniscano protezione contro l'umidità a monumenti e sculture. Infine dovrebbero essere abbastanza resistenti da proteggere la superficie lapidea.

Ringraziamenti

Gli Autori esprimono la loro gratitudine al Dr. Arun Raj T. Archeologo Soprintendente, Archeological Survey of India, Raipur Circle, Raipur; al Dr. K. S. Rana, Direttore (Scienza), Archeological Survey of India, Dehraudun; a Shri K.C. Shrivastava Dy. S.A. e a A.K. Pandey ASAC, ASI, Raipur Circle, Raipur, per il loro incoraggiamento e i loro consigli.

Summary

Stone cultural heritage materials are at risk of bio-deterioration caused by diverse populations of microorganisms living in biofilms. The microbial metabolites of these biofilms are responsible for the deterioration of the underlying substratum and may lead to physical weakening and discoloration of stone [1,18]. Fungal ability in producing pigments and organic acids have a crucial role in the discoloration and degradation of different types of stone in cultural heritage objects. Additionally, stone objects may support the communities of microorganisms that are active in the biodeterioration process. This investigation focuses on the mycological analyses of microbial biofilm from the Bhimkichak temple, in Malhar of Bilaspur District of Chhattisgarh state which is made of sandstone, and is heavily colonized by fungi. Eight fungal species on the sandstone were isolated. *Aspergillus* sp. was observed, a common species in the stone structure of this monument. The identified micro fungi cause discoloration as well as mechanical exfoliation of the building stone material which was analyzed through mechanical hyphae penetration and production of dark pigments and organic acids.

Riassunto

I materiali lapidei appartenenti ai beni culturali sono a rischio di biodeterioramento a causa della proliferazione dei microrganismi che entrano nella composizione dei biofilm. I metaboliti microbici di questi biofilm sono responsabili del degrado del substrato sottostante e possono portare a un indebolimento fisico e alterazione cromatica della

superficie lapidea [1,18]. La capacità dei funghi di produrre pigmenti e acidi organici ha un ruolo fondamentale nel degrado di differenti tipi di pietra costituenti i beni culturali. Inoltre, i materiali lapidei possono sostenere le comunità microbiche che sono attive nei processi di biodeterioramento fornendo dei composti che possono essere metabolizzati. Questo lavoro si focalizza sull'analisi micologica del biofilm microbico proveniente dal tempio Bhimkichak a Malhar, nel distretto Bilaspur dello stato di Chhattisgarh, che è stato costruito in arenaria ed è estesamente colonizzato da funghi. In questo lavoro, sono state isolate otto specie fungine appartenenti ad *Aspergillus* sp. I micro-funghi identificati provocano decolorazione ed esfoliazione meccanica del materiale lapideo, a causa della penetrazione meccanica delle ife e della produzione di pigmenti scuri e acidi organici.

Résumé

Les matériaux pierreux appartenant aux biens culturels sont à risque de bio-détérioration à cause de la prolifération des micro-organismes qui entrent dans la composition des bio-films. Les métabolites microbiens de ces bio-films sont responsables de la dégradation du substrat sous-jacent et peuvent amener à un affaiblissement physique et à une altération chromatique de la surface pierreuse [1,18]. La capacité des champignons de produire des pigments et des acides organiques a un rôle fondamental dans la dégradation de différents types de pierre constituant les biens culturels. En outre, les matériaux pierreux peuvent sustenter les communautés microbiennes qui sont actives dans les processus de bio-détérioration fournissant des composés qui peuvent être métabolisés. Ce travail se focalise sur l'analyse mycologique du bio-film microbien provenant du temple Bhimkichak à Malhar, dans le district Bilaspur de l'état de Chhattisgarh, qui a été construit en grès et est amplement colonisé par des champignons. Dans ce travail, ont été isolées huit espèces fongiques appartenant à *Aspergillus* sp. Les micro-champignons identifiés provoquent la décoloration et l'exfoliation mécanique du matériau pierreux, à cause de la pénétration mécanique des hyphes et de la production de pigments sombres et d'acides organiques.

Zusammenfassung

Zu den Kulturgütern zählende Steinmaterialien unterliegen aufgrund der Proliferation der in die Zusammenstellung der Biofilme eintretenden Mikroorganismen einer Verwitterungsgefahr. Die mikrobischen Metabolite dieser Biofilme sind für den Verfall des darunter liegenden Substrats verantwortlich und können eine physische Schwächung sowie eine farbliche Änderung der Steinfläche bewirken. [1,18].

Die Fähigkeit von Pilzen, Pigmente und organische Säuren zu produzieren, spielt im Rahmen der Verwitterung der unterschiedlichen, das Denkmal bildenden Steinarten eine grundlegende Rolle. Darüber hinaus können Steinmaterialien in die Verwitterungsprozesse aktiv eingebundene Mikrobengemeinschaften erhalten, da sie umwandelbare Verbindungen liefern. Diese Arbeit konzentriert sich auf eine im Tempel Bhimkichak in Malhar, im Bezirk Bilaspur des Staats Chhattisgarh durchgeführte mykologische Analyse des mikrobischen Biofilms, im Rahmen derer die Sandsteinkonstruktion eine extreme Pilzbesiedelung aufwies. Im Verlauf dieser Tätigkeit wurden acht, dem *Aspergillus* sp. angehörige Pilzsorten isoliert.

Die identifizierten Mikropilze verursachen durch die mechanische Penetration der

Hyphen und die Produktion dunkler Pigmente sowie organischer Säuren einen Farbverlust und die mechanische Abblätterung des Steinmaterials.

Resumen

Los materiales lapídeos que constituyen los bienes culturales están a riesgo de biodeterioro a causa de la proliferación de los microorganismos que entran en la composición de las biopelículas. Los metabolitos microbianos de estas biopelículas son responsables de la degradación del substrato subyacente y pueden causar una debilitación y alteración cromática de la superficie lapídea [1,18]. La capacidad de los hongos de producir pigmentos y ácidos orgánicos desempeña un papel fundamental en la degradación de diferentes tipos de piedra que constituyen los bienes culturales. Además, los materiales lapídeos pueden sustentar las comunidades microbianas activas en los procesos de biodeterioro proporcionando compuestos que se pueden metabolizar. Este artículo se centra en el análisis micológica de una biopelícula microbica procedente del templo Bhimkichak en Malhar, en el distrito Bilaspur del Estado de Chhattisgarh, construido en arenisca y ampliamente colonizado por hongos. En este trabajo, se han aislado ocho especies fungíneas que pertenecen a *Aspergillus* sp. Los micro-hongos identificados provocan la decoloración y exfoliación mecánica del material lapídeo, debido a la penetración mecánica de las hifas y a la producción de pigmentos oscuros y ácidos orgánicos.

Резюме

Каменный материал, являющий культурным достоянием, находится в состоянии биораспада по причине роста микроорганизмов, которые входят в состав биопленки. Микробные метаболиты этих биопленок виновны в ухудшении основного субстрата и могут привести к физическому ослаблению и изменению цвета каменной поверхности [1,18]. Способность грибов производить пигменты и органические кислоты играет очень важную роль в распаде различных видов камней, принадлежащих культурному наследию. Кроме этого, каменные материалы могут поддерживать микробные сообщества, активизирующиеся в процессах биоразложения, предоставляя компосты, которые могут быть метаболизированы. Данная работа сосредоточена на микологическом анализе микробной биопленки, взятой из храма Бхимкичак в Малхаре (район Биласпур, штат Чхаттинсгарх), который выстроен из песчаника и значительно покрыт грибами. В данной работе выделяются восемь видов грибов, относящихся к *Aspergillus* sp. Идентифицированные микрогрибы вызывают обесцвечивание и механическое отшелушивание каменного материала по причине механического проникновения гиф и выработке темных пигментов и органических кислот.

Ամփոփում

Մշակութային ժառանգության պատկանող քարե նյութերը բիոքայքայման ռիսկի են ենթարկվում շնորհիվ միկրոօրգանիզմների տարածմանը բիոֆիլմի կազմի մեջ: Այս բիոֆիլմերի մանրէաբանական նյութափոխանակիչները պատասխանատու են քարի մաշվելուն և կարող են հանգեցնել քարի մակերեսի ֆիզիկական թուլացման և գունաթափման [1,18]: Մսկերի ունակությունը արտադրել պիգմենտներ և

օրգանական թթուներ մեծ ազդեցություն ունի տարբեր տիպի պատմական քարերի վրա: Ավելին, քարե նյութերը կարող են պահպանել մանրէաբանական խմբերը, որոնք ակտիվորեն նպաստում են քայքայմանը, տրամադրելով միացություններ, որ կարող են փոխակերպվել: Այս աշխատանքը նկարագրում է բիոֆիլմի միկոլոգիական մանրէաբանական վերլուծությանը Bhimkichak Malhar տաճարում, Chhattisgarh պետության Bilaspur շրջանի, որը կառուցվել է ավազաքարով և լայնորեն բնակված է սունկերով: Այս աշխատանքում մեկուսացած են ութ տեսակի սունկեր որ պատկանում են *Aspergillus* Sp. տեսակին: Այս միկրո-սունկերը գունաթափում և մեխանիկական քայքայման են ենթարկում քարե նյութերը, որովհետև մեխանիկորեն մտնում էն քարի մեջ և արտադրում են մուգ գույնի պիգմենտներ և օրգանական թթուներ: