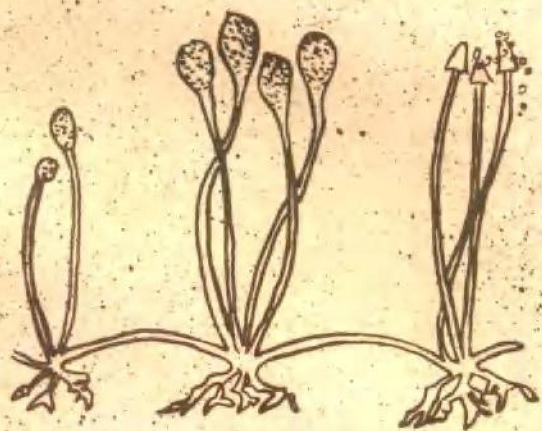


文物霉害的防治

马淑琴 著



科学出版社

文物霉害的防治

马淑琴 著

科学出版社

1997

内 容 简 介

文物保护是世界性问题。霉菌微生物对有机质文物的破坏,是十分严重和相当普遍的。本书通过揭示古墓尸体与文物不腐之谜,详细地探讨了霉菌机理、条件和环境对文物的影响与理论问题。作者结合我国对文物霉害防治的经验,系统地介绍了防治文物霉害的方法和措施。文后附有两面照片图版,图文并茂,对文物考古工作者具有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

文物霉害的防治/马淑琴著. —北京:科学出版社, 1997. 1

ISBN 7-03-005578-0

I. 文… II. 马… III. 文物保护-霉菌微生物-防治 IV. G264.2

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第17641号

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1997年1月第一版 开本 850×1168 1/32

1997年1月第一次印刷 印张: 47/8 插页: 1

印数: 1—1 400 字数: 126 000

定价: 18.00元



1. 长霉的仕女图
故宫博物院资料
2. 修复后的仕女图
故宫博物院资料
3. 山西曲村晋侯墓地63号
墓胸部随葬玉饰极多，
但人骨已腐朽成木
照片为山西省考古
研究所提供



1. 在两千一百年前的长沙马王堆一号汉墓中出土的食品外形保存完好
引自《长沙马王堆一号汉墓》，文物出版社，1973年
2. 在两千一百年前的长沙马王堆一号汉墓中出土的素纱单衣保存完好
引自《长沙马王堆一号汉墓》，文物出版社，1973年
3. 湖州飞英塔收藏长霉的经卷残片
引自《湖州飞英塔发现一批壁藏五代文物》，《文物》1994年第2期

序

保护好文物，使之尽最大可能地长远流传，意义重大。

导致文物损坏，除了天灾人祸，还有物理、化学及生物等多方面的原因。后者使文物质地渐变，人们一时不易觉察，危害性实不可低估。加强物理、化学和生物作用对文物影响的科研工作，或利用这些学科的有关成果，单学科或多学科地综合治理或防止文物遭受损害，在当前考古发掘文物的收藏量倍增的情况下，显得十分迫切。

本书作者马淑琴原在东北师范大学从事生物学的教学与科研工作，1987年调到故宫博物院研究文物保护。她是生物学的行家。但当时还不了解文物被生物因素损害的情况，以及防治现状与走向。

找准科研课题，是科学研究获得较好成果的关键。马淑琴除了阅读大量文献，还对实际情况进行了认真的调查，认识到虫害及霉害导致文物损害的严重性，于是以防治霉害作为科研的主攻课题。围绕这一课题，她分门别类，或单独，或与他人合作，逐次进行专题研究，写出了十几篇论著，取得了可喜的成果。

这本《文物霉害的防治》著作，是她在专题研究基础上写出来的。作者从文物保护角度出发，将文物分为有机的和无机的两类，分析了霉腐发生的条件与霉腐机理，指出霉腐损害文物的普遍性与严重性，说明霉害不仅常见于有机质文物，也偶见于无机质文物。她主张立足于防，防治兼重。该书以不少篇幅简述霉腐微生物的形态、结构与功能，提出创造抑制霉菌发育、生长的环境，是防霉最宜采用的有效办法。为探索有机质文物在未受霉害的情况下能保存多久的问题，作者对一些尸体及有机质随葬品得到完好或较好地保存的古墓进行了分析，揭示出其原因是墓内存

在不利于细菌和霉菌繁殖的环境。她以此为例，说明在良好的环境下，文物是可以长期地被保存下来的。作者也充分重视治霉问题，用大量篇幅在总结以往经验及新的探索的基础上，介绍了治、防霉害的方法与技术。这本书理论与实践结合、内容翔实、丰富，在文物霉害防治这一领域中，似乎是我国开篇之作，缺点与不足，在所难免。作为考古工作者，我自然期望大力开展文物保护的研究与实践，是为序。

宿白

目 录

序	(i)
第一章 霉腐现象与机理	(1)
第一节 文物霉腐的普遍性与严重性	(1)
第二节 古建木结构发生腐朽的原因和条件	(3)
第三节 霉腐微生物霉腐有机质文物的机理	(7)
第四节 腐蚀微生物腐蚀金属文物的机理	(8)
第二章 霉腐微生物	(11)
第一节 霉腐微生物的形态、结构与繁殖	(11)
第二节 霉腐微生物的细胞结构与功能	(24)
第三节 霉腐微生物与人类的关系	(46)
第三章 环境与文物	(56)
第一节 霉腐发生的条件	(56)
第二节 地下古尸与文物不腐之谜	(73)
第三节 环境条件对藏品的影响	(84)
第四章 霉害的防治	(93)
第一节 环境条件的控制	(93)
第二节 文物霉菌的监测与调查	(101)
第三节 文物霉害的防治措施	(122)
参考文献	(147)

第一章 霉腐现象与机理

第一节 文物霉腐的普遍性与严重性

霉腐微生物分布广泛，地上、地下，江、河、湖、海无处不有，无孔不入。因此，文物遭受霉腐的可能性，普遍存在。

据《文物保护技术》（1982年第3期）报道，“在山西应县佛宫寺释迦塔之佛像腹内陆续发现珍贵的辽代文物。其中包括蝶装的书籍，刻工精湛的契丹藏，书写在硬黄纸上字体刚劲的写经，木板刻印经着色的《炽盛光九曜图》，以及镂空印刷在绢帛上的彩色《南无释迦牟尼佛像》等，均具有重要科学价值与艺术价值”。以上文物“完整者几乎无一，被粪尿腐蚀者，已糜烂成团，间有潮湿严重者，犹如糟朽的木棒”^[1]。

1976年5月，山东临沂金雀山九号汉墓出土帛画一幅，深埋地下历时两千多年，由于饱受霉腐微生物的侵害，已严重腐朽。

《文物保护技术》（1982年第3期）载，浙江省东阳南寺塔出土的五代吴越时期《妙法莲花经》写本，虽密藏塔内，由于受潮发霉成了一个卷筒状的硬块，稍加触动，就成片状地剥落^[2]。

可见，无论是北方，还是南方，无论是密藏在地上还是深埋于地下，都难免遭受霉腐微生物的侵害。

至于暴露于地面上的古建筑、壁画，乃至石刻、石窟，由于霉腐微生物的参予而遭受灾害的情况，也是屡见不鲜。

馆藏文物遭受霉害的情况，至今仍是没有很好解决而具有世界性的问题。发达国家文物保护设施好些，文物霉害现象少些。发展中国家由于财力不够，缺乏完善的设施，因此，霉腐致损文物的现象，较为普遍。然而，即使日本这样发达的国家，文物遭受霉害的情况也是相当严重的。现将日本文化财虫害研究所发表的

文物受损情况（据不完全统计）列表 1-1。

表 1-1 日本 1960—1984 年遭受霉害、虫害文物统计

文 物 类 别	霉 害 件 数	虫 害 件 数
建筑物	18	27
绘 画	27	12
雕 刻	3	11
其它美术品与工艺品	17	13
古 书	28	88
书 籍	75	79

从表 1-1 可知，日本遭受霉害文物的类别，也是相当广泛的。同时，在表中所列遭受霉、虫害的 398 件文物，霉害文物达 168 件，占总数的 42%。霉害文物的情况，是不可忽视的问题^[3]。

1982 年我国全国人民代表大会公布了《中华人民共和国文物保护法》，1992 年国务院批准《中华人民共和国文物保护法细则》。可见，我国文物工作纳入法规管理刚刚开始。但博物馆馆藏文物的管理情况，基本上仍缺乏章程。有些即使已发展到相当严重而引起社会普遍关注的文物被盗案，仍有隐瞒不报的情况，至于馆藏文物遭受霉害的事实，不仅不公诸于世，甚至也不上报，详情难以知晓。只有在十分严重而又难以隐瞒的情况下，偶尔也有公诸于报刊者。例如河姆渡遗址的出土文物和自然博物馆的馆藏珍贵标本，因保护设施不完善或保管不利等原因，发生过的霉害情况。

馆藏文物保管设施较好和保管措施较为严密的故宫博物院，也存在文物遭受霉害的情况。文物霉害在 1988 年就发生过两起。

其一，一套清代雕花屏风因放在库房内的海绵上，被海绵中的积水浸泡，致使长满了霉菌，改变了颜色，花纹也模糊不清。

其二，在翻修库房时，正值雨季，屋顶漏水将一文物柜浇透，当保管人员发现时，整个文物柜已长满了白毛，有的已变成黑色，说明霉菌的孢子已成熟。柜中衣物经过洗晒看起来损伤不太严重，

实际上纤维的强度已大大降低，第二年天气刚转暖，这个文物柜连同衣物又长了霉。

文物的分类，相当复杂。既可按时代区分为史前文物和历史文物，细分之，又可冠之为旧石器时代文物、新石器时代文物、青铜时代文物及铁器时代文物。后二者还可以朝代区分为夏、商、西周、春秋、战国、秦汉……文物。又可按功能将文物区分为宗教建筑、生活民居、宫殿、官府衙门、生产工具、生活用具及礼乐兵器等等。还可按所处环境分为地上、地下及馆藏文物等等。又可按质地而区分为石、陶、瓷、金、银、铜、铁、锡、纸、竹、木、棉、麻、丝、皮等类。从文物保护角度来看，可将文物归为有机质地和无机质地两类。在一定条件下，最容易生霉的是那些有机质地文物，如纸、棉、麻、丝、竹、木、骨、皮、毛等。但在特殊环境下无机质地文物，如石窟、石刻等也出现过遭受霉害的情况。

我国历史悠久，民族众多，是古代文明大国。因而保留下来的文物数量之大，质量之精，规格之高，是世界少见的。同时，我国国土幅员辽阔，地跨热带、亚热带、温带及寒温带，文物所处自然条件相当复杂。加上改革开放以来形成的旅游热，又往往以文物为主要目标。诸如此类情况，一再说明文物保护工作不仅是繁重的和复杂的，又是十分紧迫的。因此必须大力推进保护文物的科技研究，加强用科技手段保护文物，使文物延年益寿。

第二节 古建木结构发生腐朽的原因和条件

一、腐朽的原因

古建中的木结构常常发生腐朽，腐朽的部位经常是通风不良、受潮湿，如与地面接触的木柱，砌入墙内的横梁，以及漏雨的屋顶等。

木结构腐朽主要是由于危害木材的微生物侵害所致。我们把

可以腐生在木材上的微生物统称为木材微生物。

在木材微生物中，细菌和放线菌虽然有的可以分解纤维素和木质素，但能使健全材腐坏的为数极少。而真菌对木材的破坏力、破坏速度要比细菌大得多，因此这里只谈真菌的破坏作用。

危害木材的真菌大约有 1 000 多种，其中主要有表面污染菌、变色菌、软腐菌和木腐菌。

表面污染菌、变色菌、软腐菌等对木材的危害情况各不相同，但它们都属于子囊菌纲和半知菌类的真菌，而且它们的破坏情况又不能完全区分开来，因此统称为微型真菌。

表面污染菌：主要有木霉、青霉、曲霉等，一般在遭受侵害的木材表面，可看到一片片黑色或淡绿色的霉斑。在温暖潮湿的环境里，表面污染菌在木材上发展很快。表面污染菌只生长在木材的表面，菌丝没有危害木材细胞壁，所以对木材的强度影响不大。

变色菌：如松材青变菌和山毛榉材褐变菌，以及表面污染菌产生的颜色污染木材。在温湿环境中，只需要几周时间便可发生变色。针叶树材发生变色从浅蓝到铁灰色，而阔叶树材常变成暗棕色。变色主要发生在边材周围，变色菌的菌丝进入木材细胞内，是通过细胞壁上的纹孔，一般不破坏细胞壁，对木材强度影响不大，但影响木材的外观。

软腐菌：软腐菌在许多场合都可发生，如在水中使用的木材上，与土壤接触的木材上，高湿度环境中使用的木材上，及其它不适合担子菌（蘑菇类）生长的环境中使用的木材上，常引起木材表层软化，称为软腐朽。

软腐菌分解木材中的纤维素，在木材细胞次生壁中形成空洞，对木材危害较大。但由于软腐朽主要发生在木材外表层，对深度方向进展较慢，因此对大断面材所受的损害相对小些。

以上微型真菌对环境的适应性强，能够生长的条件远比担子菌宽，而且有很高的侵染能力，如侵害木材 3—6 个月，也会造成木材百分之十几的重量减少。

木腐菌：木材腐朽主要是由木腐菌引起的。木腐菌多属于担子菌纲伞菌目和多孔目的真菌，如蘑菇、黑木耳、白木耳等。木腐菌主要有褐腐菌、白腐菌、干腐菌。

木腐菌是以木材细胞壁为养料，菌丝进入细胞时不是通过细胞壁上的纹孔，而是利用它所分泌的酶把细胞壁溶解成一个孔洞，然后菌丝再进入另一个细胞。很多菌丝溶解细胞壁就形成很多孔洞，最后木材细胞壁彻底破坏，使木材腐朽。

破坏性最大的腐朽为褐腐，是最危险的腐朽。由褐腐菌引起的褐腐，开始时木材颜色发暗，日久变暗褐色。

褐腐菌主要分解纤维素和戊聚糖，木质素变化不大，因木质素是褐色的，所以木材呈现褐色或红色。在褐腐材中纤维素可由原有约 60% 减少到约 5%，随着腐朽程度的增加，木材的重量和强度逐渐降低。褐腐发生后重量减少率若超过 20%，木材在弦向和径向都会明显收缩。褐腐后木材的细胞壁完全破坏，木材内部出现纵横断面，最后分离呈棱形小块或龟裂状，用手捻易变成粉末，不能承受压力，丧失使用价值。

引起木材白腐的真菌主要分解木质素，留下白色的纤维素，腐朽材呈白色。白腐发生后木材内部显出褐色或黑色细线，木材多少尚能维持原来的性质。

木结构房屋严重受害主要是干腐菌引起的，只要空气中的相对湿度适宜，干腐菌的孢子即可萌发，菌丝伸展侵入木材内部，菌丝像棉花一样覆盖在受害木的表面。干腐菌还能通过砖瓦、石造建筑和混凝土等设施去利用新的木质营养源。

干腐的木材其横向开裂明显，同时发生纵裂，出现块状腐朽特征。干腐菌喜欢不通风的环境，在该条件下它能自行控制湿度，这种菌适应性很强，在条件不适情况下，可长期潜伏。

木材腐朽的过程是木材有机物被菌类分解的过程。各种菌类对有机营养物有一定的要求，它们的酶也各具特性，在复杂有机物的分解过程中，具有不同特性的菌类是按次序进行作用的。日本布施等人对木材上菌类的生长和演替过程进行实验研究，在木

结构房屋的地面上埋进木桩，实验发现在桩的地上部与地面相接的地际部以及地下部的菌类演替过程是不同的，在桩的表面和内部情况也不一样。这是由于桩的部位不同，其含水率等菌类生长条件不同，不同部位生长的微生物种类不同造成的。木材腐朽的过程地际部和地下部较快，中心部和地上部较慢^[4-6]。

二、真菌类在木材上生长的条件

木材微生物是属于有机营养型（异养型）。木材的主要成分有20%—40%的木质素，40%—60%的纤维素，1%的矿物质及其它微量可溶于水的物质。木材中的纤维素、木质素可供木材微生物丰富的碳源营养。木材中的蛋白质等高分子含氮物，可作为微生物的氮源营养，但木材中氮素含量很少，约在0.03%—0.1%范围，对菌类生长氮素供给不足。尽管如此，木材腐朽仍能顺利进行，因为菌丝在生长过程中会发生自溶（担子菌），自溶所得的氮可被新的菌丝加以利用，木材中有限的氮素营养可以反复利用。木材中所含的矿物质、维生素等可以满足菌类生长的需要。

适当的水分是真菌孢子萌发的基本条件。菌类在木材上生长与木材本身的含水率有密切关系，一般木材腐朽菌的孢子萌发，大体需要纤维饱和点以上的含水率。木腐菌生长的最适含水率约在40%—50%范围，最低含水率在15%—20%，最高含水率约150%。各种菌类能够适应的含水率范围是不同的。软腐朽可发生在含水率很高的木材上，变色菌生长允许的含水率在80%左右，而多数担子菌则要求比较低的湿度。一般说来，菌类的生活细胞（菌丝）对干燥比较敏感，抵抗力较差，干燥常可引起死亡。

木材微生物的生长繁殖需要在一定的温度范围内进行。木材腐朽菌的生长温度范围在5—40℃，最适宜的温度为25—30℃，不同种类的微生物需要的最适温度不同，但在温暖潮湿的环境中都能迅速地生长繁殖。

木材微生物是需氧微生物，完全没有氧气时就停止生长，真

菌的生长繁殖一般都要求微酸性的环境($\text{pH}4.5-5.5$),通常木材是偏酸性的,很适合真菌的生长^[5]。

第三节 霉腐微生物霉腐有机质文物的机理

霉腐微生物能引起非金属文物霉腐变质、材质性能降低。霉腐破坏的形式多种多样,破坏的材质形形色色。霉腐微生物作用的结果,严重的情况是使文物面目全非,乃至破坏殆尽。稍轻者,不仅损害文物材质的化学成分与物理机械性能,并影响外观。

霉腐破坏文物的原因很复杂,现大致归纳如下:

1. 文物材质被微生物作为养分分解利用,直接引起破坏

微生物为了生存,需要从外界环境不断吸收营养物质,从中获得能量以合成细胞物质及调节自身的新陈代谢。有些小分子物质,如离子、单糖、氨基酸、甘油、有机酸、烃类等,微生物可以直接利用。对于文物材质中的高分子物质,如淀粉、蛋白质、纤维素、果胶、脂肪等,微生物会分泌出相应的胞外酶,如淀粉酶、蛋白酶、纤维素酶、果胶酶、脂肪酶等;把大分子物质水解成能溶于水的小分子物质后,再被微生物吸收利用。微生物对这些高分子物质分解吸收的过程,就是文物的材质被霉腐破坏的过程。有实验证明,由于霉菌活动的结果,纸张的牢固性在5天内就减低50%。图书散页、裱糊加固的字画部分脱落,是霉菌同化粘着物——淀粉、动物胶等造成的恶果。

2. 微生物在代谢过程中产生的有机酸使文物遭到酸腐蚀

微生物代谢过程中产生的有机酸有柠檬酸(主要是青霉属的许多种)、葡萄糖酸(主要是青霉属和曲霉属的某些种)、曲酸、乳酸、延胡索酸、丙酸、五倍子酸等。这些酸性代谢产物,使它周围环境的酸度增加,环境 pH 值的变化对文物造成腐蚀。酸可以降低纤维素配糖键破裂的活化能,加快水解速度,在湿度大的条件

下更为明显，使纤维素长链断裂，成为易碎的水解纤维素。因此，纸张、书画等文物变得陈旧，易于脆裂。

有些好氧性细菌或霉菌生长在石窟、石雕或壁画的微小裂缝中，它们在代谢过程中产生的多种有机酸直接对壁画及石质文物起风化破坏作用。同样，有机酸也会对金属文物产生腐蚀作用。

灰绿曲霉的孢子能够在显微镜、照相机、望远镜等光学仪器的透镜、棱镜和反射镜上萌发生长，分泌出的有机酸腐蚀镜头，影响光学仪器的性能。

3. 霉菌菌落产生的色素污染文物

有些霉菌在代谢过程中能产生色素。不同种类的霉菌产生色素的颜色各异，有红、黄、橙、绿、青、蓝、紫、褐、黑等颜色。色素把文物污染得五颜六色，形成难看的霉斑。又由于菌体本身的堆积或它所产生的粘性物质，形成蚀烂部位的高度吸湿性，文物的这些部位变软、发潮、发粘，并散发出难闻的霉烂气味，时间一久，还会使图书纸张粘连在一起，形成“书砖”。

4. 霉菌新陈代谢产生热量，加快文物破坏速度

霉菌是好氧微生物，能将一些有机物经三羧酸循环彻底氧化，生成二氧化碳和水，并释放出能量。其中一部分能量供霉菌生命活动的需要，另一部分能量则以热的形式散发出来，因而文物生霉的部分发热、发潮。由于这部分湿度增大和温度升高，进而促使霉菌生长繁殖加速，文物被霉腐破坏加速，形成恶性循环^[7-12]。

第四节 腐蚀微生物腐蚀金属文物的机理

地下埋藏的铁、铜等金属文物，由于长期与水和土壤接触，会受到微生物的作用而腐蚀。

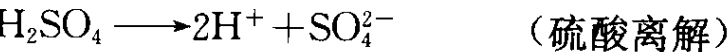
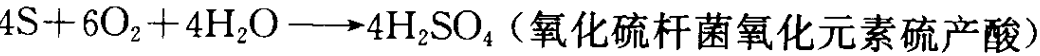
土壤中微生物种类多、数量大，有细菌、放线菌和真菌。每克表层土壤中约含细菌几百万至几千万个，是土壤中菌类数量最

多的一个类群。细菌参与土壤中新鲜有机质的分解，对蛋白质的分解能力很强（氨化细菌），并参与硫、铁、锰的转化。放线菌具有分解植物残体和转化碳、氮、磷化合物的能力，每克表层土壤约含放线菌几十万至几百万个。土壤中常见的真菌有青霉、曲霉、镰刀菌和毛霉等属，这些真菌参与土壤中淀粉、纤维素等有机大分子的分解以及腐殖质的形成和分解。每克表层土壤含真菌几千至几万个。

许多微生物都能分解蛋白质，蛋白质分解产生的氨，及微生物新陈代谢产生的多种有机酸，对金属文物都有腐蚀作用。

参与或促进金属腐蚀过程的微生物叫腐蚀微生物。

腐蚀微生物主要是在自然界中参与硫、铁元素循环的菌类，包括好氧菌和厌氧菌。好氧菌有硫杆菌属，如氧化硫杆菌、氧化亚铁硫杆菌和排硫硫杆菌等，它们分布于含硫的酸性矿水、土壤及海洋淤泥中，通过氧化元素硫和还原性硫化物，最终产生硫酸，导致金属强烈地酸腐蚀，腐蚀速度与产酸结果存在对应关系。



由于氧化硫杆菌的存在不断提供氢离子，氢离子放电的阴极过程能顺利进行，使腐蚀继续下去。

造成氧差电池引起金属腐蚀的细菌，主要是铁细菌，铁细菌氧化水中溶解的和金属微电池腐蚀出来的亚铁成高铁化合物。高铁化合物覆盖了部分金属表面造成氧浓度的梯度，形成氧差电池。高铁化合物沉积覆盖下的缺氧区为腐蚀电池的阳极区（金属溶解区），其表面周围氧浓度高的部分为阴极区（电子传递处），腐蚀的结果形成大锈瘤。

腐蚀金属的厌氧菌主要是硫酸盐还原菌，它广泛分布于pH6—9的土壤、淡水、海水、淤泥中，在金属腐蚀中出现最多的是脱硫弧菌，它将自然中存在的硫酸盐还原成硫化物。硫酸盐还