

# 从《文物保护与考古科学》期刊的文献计量学研究看生物技术在文物保护中的应用

谢 燕 潘小伦

(上海博物馆, 文物保护与考古科学实验室, 上海, 200050)

**摘要** 随着科技交流的加快, 国内外生物学在文物保护领域的应用越来越多。笔者统计了从《文物保护与考古科学》期刊在1989年至2012年间发表的生物学论文。从文献计量学的角度展示生物学在文物保护中的应用情况。这些发表的生物学论文研究主题主要集中在以下几个方面: ①文物上的微生物检测、鉴定、防治, 主要应用于纸质文物、壁画、文物环境等; ②生物清洗、修复和加固; ③生物矿化用于石质文物的修复; ④分子生物技术应用于考古学。此外, 还研究了国家文物局《文化遗产保护科学和技术研究课题汇编(1990—2008)》。其中, 生物技术类的课题为8个。2011年在国家文物局的《文化遗产保护领域科学和技术研究课题指南(2011—2015)》中将“生物技术等高新技术在馆藏文物保护中的应用研究”列入可移动文物保护领域中。相信未来, 生物技术将更大、更广泛地运用于文物保护行业。本研究回顾了国内生物技术在文物保护中的应用, 供文物保护界相关人士参考。

**关键词** 生物技术 文物保护 微生物

## 引 言

随着科技交流的加快, 国内外生物学在文物保护领域的应用越来越多。《文物保护与考古科学》作为国内刊登文物保护与考古学论文重要的学术阵地, 对刊物上刊登的生物学技术文章进行文献计量学研究, 以期总结我国生物技术在文物保护中应用的概况及趋势, 为促进我国文物保护事业的发展贡献一点力量。

近年来文物保护专家逐渐认识到生物技术在清洗和修复脆弱文物中的优势。如生物酶和生物有机酸可以高效地去除顽固结晶盐, 且具有处理条件温和, 一般为室温、机械强度低, 对人体和环境无害、无残留等优点, 并已在多个文物修复领域得到应用, 如石质文物修复、壁画表面污物清除、丝织品文物加固和书画的生物酶揭裱等方面<sup>[1-2]</sup>。

国内发表的生物学在文物保护主要集中在几个方面: ①文物上的微生物检测、鉴定、防治, 主要应用于纸质文物、壁画、文物环境等; ②生物清洗、修复和加固; ③生物矿化用于石质文物的修

复；④分子生物技术应用于考古学。构建“生物技术-文物保护”技术体系，可以促进文物保护科技工作者在新问题、新视野、新措施、新技术搭建的平台上，更好吸纳生物新技术，完成文物保护任务<sup>[1]</sup>。

## 1 《文物保护与考古科学》期刊上发表的生物学文章

笔者调查了《文物保护与考古科学》期刊1989~2012年的相关文章，1989~2008年有关生物学的文章数量为6篇，2009~2012年的数量为18篇（表1）。2002年《生物技术在文物保护领域的应用研究——出土丝织品加固处理》项目在国家文物局立项，标志着生物技术在国内文物保护中应用的正式确立<sup>[1]</sup>。

表1 1989~2012年发表在《文物保护与考古科学》期刊上的生物学文章

	基金项目	题名	作者	卷(期): 页码
1989~2008年	无	陕西长安南礼王村出土壁画的微生物类群鉴定	郭爱莲,单暉,杨文宗	9(1): 39
	国家自然科学基金(29977018)、浙江省自然科学基金(298013)	石质文物微生物腐蚀机理研究	张秉坚,周环,贺筱蓉	13(2): 15
	国家文物局“古代文物丝织品霉斑清除的研究”(200239)	古代丝织品霉斑清除的研究	田金英,王春蕾,白志平	17(4): 1
	国家文物局(20040309)	纳他霉素在丝织品上的抑菌实验研究	吴昊,陈辉,胡剑斌	20(1): 7
	国家文物2004年重大专项(20040304)	细菌纤维素对木质文物修复的初步探索	周松雷,卫杨波,李焱葳等	20(3): 55
	国家文物局(2050110)	微生物技术在文物保护中的应用研究述略	孙延忠,陈青	20(3): 68
2009~2012年	国家文物局(20050110)	石质文物加固中细菌诱导碳酸钙生成的研究	孙延忠,陈青	21(3): 29
	无	宁波东钱湖石刻群微生物病害研究	傅亦民,金涛,周双林等	21(4): 31
	陕西省科技攻关项目(2009K01-43)	生物病害对唐皇城含光门土遗址的危害及防治措施研究	黄四平,李玉虎,肖娅萍等	22(2): 6
	无	馆藏唐代壁画画面霉斑清洗剂的筛选研究	严淑梅,周铁,黄建华等	22(2): 53
	2008年度浙江省政府文化保护工程项目资助	古代丝织品的丝素蛋白加固保护	周昉,郑海玲,胡智文等	22(3): 44
	无	$\alpha$ -淀粉酶改性淀粉的制备及在书画装裱中的应用	季慧,徐文娟,戴红旗	22(2): 65
	无	抗菌剂壳寡糖、儿茶素和纳米氧化锌对冻干前处理古木微生物作用的研究	李东风,卢衡,周昉	22(1): 60

续表

	基金项目	题名	作者	卷(期): 页码
2009 ~ 2012年	北京市科学技术委员会 (Z08090603470000、 Z09050600550903)	红茶菌发酵液清洗丝织文物 表面结晶盐的应用研究	闫丽, 傅萌, 赵瑞廷等	23(1): 7
	中国科学院-德国马普学会伙伴 小组项目资助, 中国科学院规 划局项目(KACX1-YW-0830) 资助, 中国科学院知识创新工 程方向性项目(KJXC3.SYW. N12)资助, 国家自然科学基金 (40702003、40802002)资助	酶联免疫吸附测定法在古代 牛奶残留物检测中的应用	洪川, 蒋洪恩, 杨益民, 等	23(1): 25
	国家科技支撑计划 (2010BAK67B12)资助, 陕西省教育厅(2010JK878、 09J2030)、西北大学研究生创 新基金项目(10YJC17)资助, 陕西省重点学科建设专项资金项 目资助	壁画、建筑彩绘文物中几种 测定蛋白质方法的比较和评 价	王丽琴, 杨璐, 周文晖	23(2): 59
	北京市科学技术委员会项目 (Z08090603470000)资助	新型防霉剂CM-1在丝织品保 护中的应用研究	武望婷	23(2): 64
	北京市科学技术委员会 (Z08090603470000、 Z09050600550903)资助	蛋白酶与表面活性剂对丝织 文物上血渍协同清洗条件的 优化	闫丽	23(4): 34
	北京市科学技术委员会项目 (Z08090603470000)	首都博物馆空气中细菌的分 离鉴定及在文物保护中的意 义	武望婷, 何海平, 闫丽, 等	24(1): 76
	国家文物局(200701)、国家 文物局重点科研基地开放课题 (200801)、中国博士后科学基 金(20080430109)、国家自然 科学基金(40940005)	敦煌莫高窟洞窟内外空气中 微生物的对比研究	马燕天, 汪万福, 马旭, 等	23(1): 13
	财政部中央级公益性科研院所基 本科研业务专项资金资助, 中国 文化遗产研究院基本科研业务费 课题(2009-JBKY-16)资助	壁画菌害主要种群之分子生 物学技术检测	葛琴雅, 李哲敏, 孙延忠, 等	24(2): 14- 21

续表

	基金项目	题名	作者	卷(期): 页码
2009~2012年	无	南唐二陵墓室彩画上滋生蓝藻与霉菌的分离与初步鉴定	汪娟丽, 李玉虎, 肖亚萍	24(3): 72
	国家科技支撑计划(2010BAK67B09)、敦煌研究院课题(201008)、国家自然科学基金(31070344)	山西翼城考古发掘现场遗址表面腐蚀真菌的检测技术研究	武发思, 苏伯民, 贺东鹏, 等	24(3): 77
	无	微生物分子生态学技术在文物保护中的应用进展	王亚丽	24(3): 108

## 2 国家文物局批准的生物学课题

《文化遗产保护科学和技术研究课题汇编(1990—2008)》中生物技术类的课题为8个<sup>[3]</sup>(表2)。2011年在国家文物局的《文化遗产保护领域科学和技术研究课题指南(2011—2015)》<sup>[4]</sup>中将“生物技术等高新技术在馆藏文物保护中的应用研究”列入可移动文物保护领域中。相信未来, 生物技术将更大、更广泛地运用于文物保护行业。

表2 1990年~2008年国家文物局文化遗产保护科学和技术研究课题生物技术类汇总

课题名称	承担单位	起止时间
有机质地文物常见菌种对文物的危害(200012Z)	中国文物研究所科技中心	2000年12月至2003年12月
长效防霉防虫装裱粘合剂的研究(921101)	浙江省博物馆	1992~1995年
秦俑土遗址及相关文物防霉保护研究(9805)	秦俑博物馆	1999~2000年
微生物对永陵(王建墓)地宫石刻文物腐蚀原因及治理的研究(9910)	成都市考古所	2000~2001年
古代文物丝织品的霉斑清除研究(200239)	故宫博物院	2003年10月至2005年12月
利用细菌纤维素修复保护木质文物的应用与研究	湖北省博物馆	2005年1月至2006年12月
微生物在石质文物加固保护中的应用研究(20050110)	中国文物研究所	2005年12月至2007年12月
古建筑保护与修复中的微生物灌浆高新技术研究	清华大学	2008年1月至2010年12月

## 3 生物技术在文物保护上的应用

### 3.1 微生物检测、鉴定与防治

鉴定霉菌的种属及其菌种的特性是清除霉菌的前提。传统微生物检测、鉴定是指利用传统方法对微生物进行采样、分离、培养, 在显微镜下观察微生物形态及培养基上菌落形态, 以及结合微生物利用碳源、氮源和无机盐等物质的能力、对氧的需求、重要的生理生化指标特征等对微生物进行分析和鉴定<sup>[5]</sup>。

微生物在壁画的褪变色、壁画酥解、粉化过程中具有负面作用。这种作用在相对湿度超过

75%时更为明显,因而在壁画的保护中,对微生物分离鉴定、研究防霉杀菌药品是一项不可缺少的工作<sup>[6]</sup>。随着生物技术的发展,目前已经有分子生物学技术应用在微生物的检测、鉴定上。如葛琴雅等利用分子生物学技术对壁画菌中进行检测,避开传统微生物鉴定所需要的培养阶段,可快速、客观、全面地确定主要致病菌。建议在壁画微生物病害研究中首先使用免培养分子生物学技术,根据检测结果和后续实验需要再考虑使用传统技术<sup>[7]</sup>。武望婷等对首都博物馆空气中的细菌利用传统微生物鉴定确定细菌的基本形貌、特征、理化特性及形态学鉴定,此外应用了分子生物学技术确定种属<sup>[8]</sup>。闫丽等对分离与古代书画文物表面霉斑处的22株真菌进行纯化培养,采用真菌ITS区rDNA序列进行进化分析,并通过形态分析和菌丝的显微观察进一步验证了实验的结果。根据菌的生长和繁殖特性来指定相关的控制措施和调节相关环境因素,以达到抑制霉菌微生物的生长,使文物得到妥善保护<sup>[9]</sup>。分子生物学技术检测微生物在我国文物保护中具有广泛的应用和推广前景<sup>[7]</sup>。

## 3.2 微生物在石质文物保护中的应用研究

### 3.2.1 石质文物微生物检测:

文物具有极其重要的历史价值,因此建立无损或未损的微生物检测技术对于保护文物就显得尤为重要。从微观上的石面裂化矿物、腐生矿物和晶体沉积到宏观上的一些石面的片状剥落、裂开和粉化等,微生物污染和腐蚀不仅破坏了文物的外观和结构,也对古建筑、石刻和纪念碑表面的雕刻、文字和画作等对人类文明具有重要意义的文化特征造成了损害。基于微生物核酸水平的鉴定方法有变形梯度凝胶电泳和温度梯度凝胶电泳、扩增rDNA限制性酶切片分析(ARDRA)、末端限制性片段分析技术(T-RFLP)、荧光原位杂交技术(FISH)。基于微生物细胞膜水平的鉴定方法有脂肪酸甲酯分析法(FAME)。此外还有基于微生物次级代谢产物水平的鉴定和传统的微生物鉴定方法<sup>[10]</sup>。

### 3.2.2 生物修复加固石质文物:

1) 生物清洗:硫酸盐还原菌(SRB)在缺氧环境下可以将大理石表面风化生成的硫酸钙转化为方解石( $\text{CaCO}_3$ )。硫酸盐还原菌使硫酸钙污垢中的硫酸根例子还原为S,在细菌细胞内部酶催化作用下进一步形成 $\text{H}_2\text{S}$ ,而方解石中离解的钙离子与细菌代谢过程中产生的二氧化碳作用生成碳酸钙,这种方法不仅清除硫酸盐污垢,而且还增强石质结构表层的稳定性<sup>[11]</sup>。

2) 生物矿化:根据生物体对生物矿物调控程度的不同,生物矿化可分为生物诱导和生物控制两类。生物诱导矿化是由生物的生理活动(如新陈代谢、呼吸作用和细胞壁的建立等)引起周围环境物理化学条件改变而发生的生物矿化作用。生物控制矿化是由生物的生理活动引起,并在空间、构造和化学三方面受生物控制的矿化过程<sup>[11]</sup>。

细菌生物矿化法保护石质文物在国外进行了一些研究,并取得了一些成果。生物矿化作用是在一定条件下,在生物体的不同部位,以各种作用方式,在有机物质的影响下,经历形核、生长和相变等过程,将溶液中的无机物转变为结构高度有序的生物矿物体的过程<sup>[12]</sup>。生物矿化往往能形成有序排列、结果非常优异的天然有机-无机复合材料,其力学性能优越,同时具有硬度大及韧性高的特点,断裂韧度比相应无机材料大2~3个数量级,因此生物矿化为制造高级复合材料提供了新的

思路和途径<sup>[13]</sup>。

生物体内的矿化过程一般分为4个阶段：①有机大分子预组装构造有序的反应环境；②有机-无机界面的分子识别，控制晶体的成核、生长；③生长调制，使晶体初步组装形成亚单元；④细胞加工，亚单元矿物组装形成多级结构的生物矿物<sup>[14]</sup>。

生物矿化用于石质文物的修复加固，为文物修复开辟了一条新途径。运用微生物的生物矿化法保护石质文物，不会对文物本身和环境产生副作用，应用前景颇好。相对于石质文物的传统修复加固方法，该方法环境友好、反应条件温和、负面效应弱且相容性好，应用中限制条件较少。目前生物修复加固方法理论及应用技术还很不完善，方法有效性、耐候耐久性值得进一步研究，生物残留物检测及危害风险评估也值得研究<sup>[11]</sup>。

### 3.3 生物清洗纺织品文物

利用活的微生物体内细胞在其代谢过程中释放出来的微生物清洗剂将清洗对象表面上的污物分解，转化为无毒、无害的水溶性物质的方法。微生物清洗的作用机理主要有以下3种：①生物物理作用：由于生物细胞增长而使聚合物组分解、电离或质子化而发生机械性破坏，分裂成低聚物碎片；②生物化学作用：微生物对聚合物作用而产生新物质，如 $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 。③酶的直接作用：酶对蛋白质、脂肪等有机污垢的分解有催化作用，一般黏附在有机污垢上的尘土等无机污垢也会随着有机污垢一同被除去<sup>[15]</sup>。微生物的清洁作用是复杂的生物物理、生物化学的协同作用，并同时伴有相互促进的物理和化学过程。

丝织品文物的霉斑清洗一般为化学清洗，通过电解水，手机电解槽正极附近产生的弱酸性水，以人工清洗为主同时借助超声波对文物进行清洗<sup>[16]</sup>。田金英<sup>[17]</sup>等对故宫馆藏的丝织品尝试进行了霉菌检测，结合文物纤维质地、染料的鉴定结果，利用弱酸化水和改良型超声清洗法清除霉斑。这个方法克服了服装失色问题，同时又没有引入任何化学物质，为丝织品霉斑清除工作提供了新思路。

闫丽利用拉曼光谱检测和X射线衍射仪检测技术对唐代丝织文物残片表面结块的成份进行分析。分析结果显示结晶盐的主要成份为 $\text{CaSO}_4$ 结晶盐。她首次提出，利用红茶菌发酵液中的有机酸和生物酶作为生物清洗剂清洗黏接在丝织文物表面的有害结晶盐。红茶菌代谢产生的生物有机酸可将难溶的结晶盐转化为可溶性盐，证明红茶菌发酵液清洗丝织品是一种较为温和的生物清洗方法<sup>[18]</sup>。

### 3.4 生物修复、加固纺织品文物

基本思路是在需要加固的丝织品表面“布点”上蔗糖等有机物质，将选好的微生物菌种分布其上，将丝织品置于微生物生长适宜环境中。一段时间后微生物会将蔗糖分子连接成纤维丝而搭接、覆盖于丝织品上，对丝织品起到支撑加固作用。此方法采用天然有机物质对丝织品进行加固，不会引入有害化学物质且对丝织物外观、强度影响较小<sup>[19]</sup>。

2001年湖北省荆州文物保护中心在丝织品文物保护方面取得可喜的成果。通过有针对性地筛选和诱变分离获得符合条件的菌株。在出土丝织品中加入多种目的微生物和生物活性物质。通过清除、转换、脱矿和唐华等处理手段，得到与蚕丝类似的丝胶、丝蛋白等物质，以补充丝织品中被破坏的物质，修复填充织物内损失的物质。这一方法能有效解决出土丝织品文物腐朽、脆化等根本性难题<sup>[20]</sup>。

### 3.5 生物技术在文物上的其他应用

微生物的存在、微生物所需的营养物质、适宜的环境（温度、适度、pH值等），是文物受腐蚀所必须具备的三个条件。只要破坏其中一个必要条件，即可防止文物受微生物破坏。

在纸质文物上防止微生物滋生通常采取的措施有：将微生物与纸质文物隔离；控制环境温度在20℃以下，相对湿度65%以下；采用杀灭细菌的技术及药剂处理（包括物理、化学两类方法）；采用漂剂漂洗方法（氧化、还原漂剂）移除纸质表面菌斑污痕<sup>[21]</sup>等。

古代壁画中的胶粘材料通常为动物胶或植物胶，这些有机胶是霉菌生长的营养源，在适宜的温度湿度条件下，霉菌孢子即在壁画表面附着生长、蔓延。一些霉菌会分解壁画颜料层中的胶结材料，霉菌生长代谢的有机酸能与颜料成分发生化学反应，代谢的色素与菌落本身可破坏壁画本身的艺术观赏效果。目前使用的杀菌剂有1%邻苯基苯酚钠溶液、0.2%~0.3%“霉敌”水溶液<sup>[22]</sup>，0.05%~0.2%苯并噻苯咪唑乙醇溶液、0.3%~0.5%比利时产Lag002或Lag003水溶液<sup>[23]</sup>。这些对各类壁画霉菌有较好的杀菌效果。

吴昊在白色丝织品上对纳他霉素的防霉效果做了实验。500ug/g（以有效成分计）纳他霉素在丝织品上的防霉效果显著。在文物丝织品防霉上有一定的应用前景。纳他霉素在丝织品上防黑曲霉、青霉、毛霉效果明显。其在丝织品文物防霉上有一定应用前景<sup>[24]</sup>。

自然界中某些微生物可高效地合成纤维素，而且以纯纤维素形式存在。因此，可以利用微生物合成的纤维素加固出土的腐朽木构件。细菌纤维素是一种由微生物合成的超微纯纤维素，与自然界中存在的植物纤维素相比，具有纯度高、洁净度高、聚合度高、吸水性强、抗张强度高、生物适应性强、自然界可直接降解等特性。利用微生物代谢产生的细菌纤维素修复已断裂的纤维素，补充损失的纤维素，能有效达到修复目的，同时不会产生常规方法对文物的改变甚至破坏<sup>[25]</sup>。

### 3.6 分子生物技术应用于考古学

生物学与考古学的关系十分密切。就方法论而言考古的器物类型学曾借鉴生物分类学。近二十年来，生物科学对考古学研究的作用日益显著。生物考古正方兴未艾，成为国际科技考古研究的前沿领域和热点<sup>[26]</sup>，研究古DNA的分子生物学技术被应用到考古学中，形成了一个新的研究领域——分子考古学，即指利用分子生物学研究技术，对出土的古代可研究对象进行分子水平的分析和研究<sup>[27]</sup>。1986年，美国科学家发现并创立了划时代的PCR（Polymerase chain reaction,聚合酶链式反应）技术不仅为现代分子生物学开辟了一条捷径，也为古DNA研究提供了必不可少的技术手段<sup>[27]</sup>。植物硅酸体的分析对稻作农业和玉米起源的研究起到重要作用<sup>[28]</sup>；运用骨骼鉴定对出土的人骨进行观察、测量、鉴定，可以认识其所属的人种类型、性别、人骨的病理和食性特征，进而探讨古代人种类型的分布与流动、古代的丧葬习俗、社会组织形态与生态环境的关系<sup>[29]</sup>；通过石器、陶器中残留的蛋白质和脂肪酸分析，可以研究容器可能曾经盛过什么食物等信息；通过生物化学如古人遗骨的碳、氮同位素比值、钙锶比值分析古人食谱以及在食物链上的位置<sup>[28]</sup>。

## 4 展 望

生物技术在农业、医药、食品等诸多领域应用甚广，并为这些产业的发展提供了巨大的动力。而生物技术在文物保护领域的应用还有广阔的空间。国内文物保护行业的同行近年来不断地将生物技术应用在文物保护行业，并在实践中取得了不错的成绩。相信在不久的将来生物技术将更广泛地运用于文物保护行业，助力文物保护事业的发展。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 孙延忠, 陈青. 微生物技术在文物保护中的应用研究述略. 2008, 20 ( 3 ) : 68-72.
- [ 2 ] 闫丽. 生物技术对丝织品文物清洗保护研究初探. 首都博物馆馆刊, 2008, 22: 445-455.
- [ 3 ] 国家文物局. 文化遗产保护科学和技术研究课题汇编 ( 1990—2008 ). <http://www.sach.gov.cn>. 2008-1-1.
- [ 4 ] 国家文物局. 文化遗产保护领域科学和技术研究课题指南 ( 2011—2015 ). <http://www.sach.gov.cn>. 2015-1-1.
- [ 5 ] 于森, 朱旭东, 潘皎. 石质文物微生物检测技术的研究进展. 微生物学报, 2011, 51 ( 11 ) : 1447-1453.
- [ 6 ] 马清林. 微生物对壁画颜料的腐蚀与危害. 敦煌研究, 1996, ( 3 ) : 136-144.
- [ 7 ] 葛琴雅, 李哲敏, 孙延忠, 等. 壁画菌害主要种群之分子生物学技术检测. 文物保护与考古科学, 24 ( 2 ) : 14-21.
- [ 8 ] 武望婷, 何海平, 闫丽, 等. 首都博物馆空气中细菌的分离鉴定及在文物保护中的意义. 文物保护与考古科学, 24 ( 1 ) : 76-82.
- [ 9 ] 闫丽, 高雅, 贾江. 古代书画文物上污染霉菌的分离与鉴定研究. 中国文物科学研究, 2011, ( 1 ) : 78-82.
- [ 10 ] 于森, 朱旭东, 潘皎. 石质文物微生物检测技术的研究进展. 微生物学报, 2011, 51 ( 11 ) : 1447-1453.
- [ 11 ] 李沛豪, 屈文俊. 生物修复加固石质文物研究进展. 材料导报, 2008, 22 ( 2 ) : 73-77.
- [ 12 ] 杜竹玮, 李浩然. 生物矿化材料的形成机制及模拟应用. 有色金属, 2003, 55 ( 4 ) , 35-47.
- [ 13 ] 张刚生, 谢先德.  $\text{CaCO}_3$  生物矿化的研究进展——有机质的控制作用. 地球科学进展, 2000, 02: 204-209.
- [ 14 ] 欧阳健明. 生物矿物及其矿化过程. 化学进展, 2005, 4: 749-756.
- [ 15 ] 田婷婷. 继承传统技艺, 融合现代技术. 中央美术学院硕士学位论文: 33-34.
- [ 16 ] 郭敏, 熊涛, 邱祖明, 等. 古代丝织品文物霉斑清洗的生物学方法探析. 安徽农业科学, 2010, 34: 19857-19860.
- [ 17 ] 田金英, 王春蕾, 白志平. 古代文物丝织品霉斑清除的研究. 文物保护与考古科学, 2005, 17 ( 4 ) : 1-6.
- [ 18 ] 闫丽. 红茶菌发酵液清洗丝织文物表面结晶盐的应用研究. 文物保护与考古科学, 23 ( 1 ) : 7-12.
- [ 19 ] 严静, 王丽琴. 考古出土丝织品加固方法之探讨. 江汉考古, 2008, 02: 109-114.
- [ 20 ] 荆州文物保护中心. 开拓文物保护技术的新领域——生物技术保护丝织品文物简述 // 中国文物保护技术协会. 中国文物保护技术协会第四次学术年会讨论集. 北京: 科学出版社: 353-355.
- [ 21 ] 夏沧琪. 纸质文物霉害之防治. <http://140.130.94.202/fps/change/%E5%85%A8.pdf>.
- [ 22 ] 王蕙贞. 文物保护学. 北京: 文物出版社.
- [ 23 ] 赵凤燕, 严淑梅, 李华. 西安曲江翠竹园西汉壁画墓霉菌分析研究. 文博, 5: 82-84.
- [ 24 ] 吴昊. 纳他霉素在丝织品上抑菌实验研究. 文物保护与考古科学, 2008, 20 ( 1 ) : 7-11.
- [ 25 ] 周松峦, 卫扬波, 李焱葳, 等. 细菌纤维素对木质文物修复的初步探索. 文物保护与考古科学, 2008, 20 ( 3 ) : 55-57.
- [ 26 ] 胡耀武, 王昌燧. 生物考古的研究进展及展望. 山西大同大学学报 ( 自然科学版 ), 2009, 25 ( 5 ) : 84-90.
- [ 27 ] 常娥. 古DNA分析技术在考古学研究中的应用. 文物春秋, 2004, ( 1 ) : 22-35.
- [ 28 ] 吴小红. 生物学和分子生物学在考古学研究中的应用. 文物保护与考古科学, 1999, 11 ( 2 ) : 45-52.
- [ 29 ] 赵丛苍. 科技考古学概论. 北京: 高等教育出版社, 2006.