

纸质文物生物病害研究进展

甄丛爱, 赵丹萃

(中国园林博物馆, 北京 100072)

摘要:作为有机质文物的重要组成部分,纸质文物易发生各种生物病害,其中微生物包括真菌及细菌、动物包括昆虫、鼠类等。为了防止纸质文物生物病害的发生,本文分别从生物病害的种类及病原鉴定、环境因子分析、防治措施三方面的研究进展进行了归纳总结,效仿植物病害,据此提出“纸质文物生物病害四面体假说”。对纸质文物生物病害进行有效防治需要重视以下几个要点:病原物识别是基础;环境因子分析是辅助;综合防治是手段。

关键词:纸质文物;生物病害;四面体假说;环境;综合防治

中图分类号: G264

文献标志码: A

文章编号: 1004-8626(2019)05-0032-06

DOI:10.19461/j.cnki.1004-8626.2019.05.010

一、引言

文物生物病害主要指小型生物(昆虫)或微生物在生长过程中以文物,尤其是有机质文物为营养源(寄主)进行繁殖与传播,使文物常年遭受腐蚀,从而给文物造成损害^[1]。作为常见的有机质文物类型之一,纸质文物是人类重要的文化遗产,为研究历史文化等提供极为重要的参考资料。纸质文物的主要构成部分为纸张,纸张主要化学成分有纤维素、半纤维素和木质素,其材质决定了该类文物易发生水解、氧化老化、虫害、霉菌等病害^[2]。虫害、霉菌等生物病害严重威胁纸质文物的完整性与长期保存。

在植物病害中,Link 于 1933 年提出“病害三角学说”:感病的寄主植物、具有致病性的病原物和有利于发病的环境构成病害三角形的三个边;Robinson 于 1976 年提出“植病四面体学说”,即指农业生态系统内除了寄主、病原物和环境外,应加上人类干预这个重要因素^[3]。同理,纸质文物生物病害也可以巧妙借用,提出“纸质文物生物病害四面体学说”,无外乎以下四个要素:寄主(纸张)、病原物(真菌、害虫等)、适宜的环境(温湿度、光照、大气因子)和人类活动。因此,研究分析纸质文物生物病害的四因子是纸质文物保护的重要内容。

二、纸质文物生物病害的种类及病原鉴定

防治纸质文物生物病害的基础是明确病原物

的类型及其具体生理特性。微生物损害是指因微生物的滋生对纸张造成的损害。动物损害是指因昆虫、鼠类等动物活动对纸张造成的污染或损害。金慧通过对郑州博物馆馆藏书画文物病害比重抽样统计发现 88% 古代字画出现微生物损害,84% 存在动物损害^[4]。王珊等调查发现几乎所有清代吴煦档案文物都有生物病害,其中微生物病害占 90% 以上;约 3 万余件重度虫蛀(虫蛀、虫卵、蝇屎等)和霉变^[5]。

(一) 真菌、细菌病害

真菌是一类营养体通常为丝状体;具细胞壁,异养型,以吸收的方式从外界获取营养,通过产生孢子进行繁殖的真核生物;细菌属于原核生物界的单细胞生物,有细胞壁,没有细胞核^[6]。真菌可以形成菌丝体网络,促使其渗入纸质文物内部,生长代谢过程中产生酸性物质、纤维素酶及机械作用均导致纸张成分纤维素的降解。Czerwinska 曾指出虽然世界各地环境气候不同,但导致书籍与档案文物降解的霉菌种类基本相同,主要包括青霉(Penicillium)、曲霉(Aspergillus)、毛壳霉(Chaetomium)、毛霉属(Mucor)、根霉属(Rhizopus)、镰刀霉(Fusarium)、匍柄霉(Stemphylium)、支孢霉(Cladosporium)、葡萄穗霉(Stachybotrys)、交链孢霉(Alternaria)与木霉(Trichoderma)^[7]。

王珊等利用形态学观察法鉴定了清代吴煦档案文物上的真菌包括黄曲霉、黑曲霉、杂色曲霉、青

收稿日期: 2019-04-05

霉、球毛壳霉、木霉、交链孢霉、黑根霉及宛氏拟青霉等8属10种霉菌,细菌也是吴煦档案中普遍存在的有害微生物但未进行鉴定^[3]。姚娜等采用形态分类学和分子生物学技术鉴定了引起民国早期纸币发生霉变的霉菌主要包括黑曲霉、交链格孢、枝状枝孢、撕裂蜡孔菌、聚多曲霉和瘤孢棒囊孢壳^[4]。李其久等对晚清书画裱件菌斑分离鉴定一株菌株为篮状菌属^[5]。唐欢等对三峡库区某博物馆纸质书画文物上霉菌的分离与鉴定发现8株霉菌,分别是曲霉属中的黑曲霉2株、黄曲霉2株、米曲霉、根霉属中的米根霉2株、木霉属中的长梗木霉^[6]。闫丽等从中国文化遗产研究院提供的书画文物霉斑处共分离出22株真菌,经分子鉴定与形态分析发现烟曲霉、棒曲霉、意大利青霉及黑曲霉^[4]。陈元生与解玉林通过黄褐斑纸片的培养与扫描电子显微镜SEM观察证实书画上“狐斑”形成与曲霉属、青霉属及未知属真菌有关^[1]。仲雨微从晚清书法作品上鉴定出5种菌株:2株同为篮状菌属,1株为交链孢霉属,另2株同为青霉属^[4]。谢燕研究发现日本地震引发的海啸导致纸质文物微生物病害,病原物分别为纸葡萄穗霉、毛壳菌、枝孢菌和放线菌,其中黑霉菌属、链霉菌属分别引起黑色和红色斑点^[3]。张慧等对古旧纸本字画孳生霉斑进行鉴定,发现主要以青霉属和曲霉属为主,还有赤散囊菌和辐毛小鬼伞^[4]。杨娟利用SEM分析一幅霉变清代书画样品上的霉菌为毛壳菌^[3]。郑晓霞利用分子生物学方法鉴定南京博物院馆藏书画覆背纸上的微生物种类,其中细菌9种:芽孢杆菌属3种、短杆菌属2种、微球菌属、伯克氏菌属、类芽孢杆菌属和泛菌属各1种;真菌2种:链格孢属和木霉属^[4]。王丹对智化寺馆藏纸质佛经文物中微生物调查发现7种霉菌(曲霉、红曲霉、木霉、毛霉、根霉、青霉、地霉),1种放线菌与3种细菌(拟杆菌、微球菌、埃希氏菌)^[1]。

Mary-Lou E. Florian 发现侵蚀纸质书画并形成色素沉积的真菌以曲霉属、青霉属为主^[3]。Santos等运用多种分子生物学手段(聚合酶链式反应-变性梯度凝胶电PCR-DGGE,测序)结合SEM,发现古代油画上的微生物主要有青霉属、星状诺卡氏菌、链球菌、短梗霉属等;分布规律如下:含铅、铜、汞重金属元素的颜料图层处的微生物种群多样性较不含这三种元素的图层处丰富;根据后续培养实验明确有多种微生物不能人工培养;荧光原位杂交FISH结果显示细菌种群通常生长在油画表面,而

真菌位于细菌生物膜上方^[4]。

(二) 害虫

害虫是纸质文物保存过程中的一大宿敌,以蛀蚀纸质文物来满足自己的生长发育与繁殖的需求,对纸质文物造成不可逆转的损失。田敬伊依据害虫的为害方式,将馆藏文物害虫分为钻蛀型、侵蚀型及污损型3种^[2]。古籍,作为一类重要的纸质文物,根据2008年51家第一批全国古籍重点保护单位的申报书统计,其藏品主要损毁原因为虫蛀的占35.3%^[2]。

据统计分析我国古籍害虫种类已达87种,其中危害较大的有六种,它们分别是毛衣鱼、烟草甲、书窃蠹、书虱、花斑蠹、家白蚁等^[2]。毛衣鱼(*Lepisma saccharina*)是一类较原始的无翅小型昆虫^[23,24],隶属于节肢动物门(Arthropoda)、昆虫纲(Insecta)、无翅亚纲(Apterygota)、缨尾目(Thysanura)、衣鱼科(Lepismatidae)。李生吉通过观察毛衣鱼生态习性,发现其孳生的适宜湿度为75%~95%,因此在长江以南高温潮湿地区虫口密度较高,且虫口密度从南至北逐渐减少^[23]。烟草甲(*Lasioderma serricorne* (Faericus))、书窃蠹与花斑蠹均属于鞘翅目窃蠹科。书虱隶属于昆虫纲啮虫目Psocoptera,书虱科Liposcelididae,书虱属Liposcelis。家白蚁中文学名为台湾乳白蚁(*Coptotermes formosanus* Shiraki)属蜚蠊目等翅亚目鼻白蚁科。

王珊等鉴定吴煦档案上的害虫分别是档案窃蠹、黑皮蠹、烟草甲、毛衣鱼^[3]。云南省图书馆于1985年进行的调查发现许多珍贵古籍书画、字帖遭到烟草甲和档案窃蠹的严重蛀蚀^[2]。梁宇通过调查发现桂林图书馆馆藏古籍害虫主要是毛衣鱼、书窃蠹、书虱与烟草甲,并且虫害非常严重^[2]。周玉世调查发现危害纸质文物的害虫主要为两种蠹虫,分别是书虱(书蠹)与书鱼(银鱼或衣鱼)^[23]。王璐发现故宫博物院部分院藏古书画出现明显虫蛀痕迹^[23]。毛志平总结纸质文物害虫主要有衣鱼、书虱、窃蠹、蜚蠊(蟑螂)等^[3]。姚娜等调查发现一本清代古文释义书虫蛀情况非常严重^[3]。

欧洲博物馆纸质文物发生的动物损害包括害虫如衣蛾、袋衣蛾、药材甲、家具窃蠹、其他甲虫(皮蠹属)、衣鱼及其他动物如老鼠、鸽子^[3]。

三、纸质文物所处环境分析

纸质文物一般都置于库房或放在展柜中进行

展览陈列,这使得其长期暴露在空气中。因此除温湿度条件外,空气中的组成成分对纸质文物也会产生一定影响。对纸质文物库房环境进行监测有两种方法:无线实时监测与间接(反应)监测^[33]。

陈潇俐与张金萍从库房的温湿度、光线、有害气体等环境要素方面对纸质文物的影响进行综述,总结出温湿度过高或过低、光辐射、具有酸性或氧化性的有害气体如二氧化硫(SO_2)、二氧化氮(NO_2)、臭氧(O_3)、氯气(Cl_2)、盐酸(HCl)、乙酸(CH_3COOH)和甲醛(HCHO)等均不利于纸质文物的保存^[33]。张兴伟指出温湿度变化、光线过强、有害气体对纸质文物造成损害^[34]。程燕等总结出纸质文物易受 SO_2 、 NO_2 等酸性气体和大气微生物的破坏,其中 SO_2 会破坏它的抗拉强度和抗弯强度, NO_2 会使文物的颜料褪色,微生物如霉菌会使文物表面发生霉变,降低机械强度,破坏表面光泽度^[35]。武望婷等对首都博物馆内空气中微生物进行分离鉴定得到28株条件致病菌,这些细菌的代谢产物会对书画文物造成难以弥补的损害^[36]。徐方圆等采用气体悬浮物粒子监测仪对某封闭式博物馆不同展厅空气中不同粒径颗粒物进行监测发现颗粒物以细颗粒为主^[37]。赵勇通过调查发现新疆博物馆纸质壁画摹本保存条件较好,没有微生物、虫害等情况,但存在保存的温湿度不稳定^[38]。赵阳等调查发现吐鲁番博物馆馆藏纸质文物展柜内的有害气体含量已明显偏高^[39]。

四、纸质文物生物病害防治措施

文物保护工作的基本方针是以防为主、防治结合。生物病害的发生轻则影响纸质文物的外在形象,重则破坏其结构使文物面目全非,两者均严重影响纸质文物价值。依据“纸质文物生物病害四面体学说”,纸质文物生物病害的防治应该采用多种措施,包括传统保护方法与现代防治手段,以生物病害四因子的调控为关键点,最终达到保护纸质文物的目的。

对病原物的防治前提是不能对纸质文物造成新的损害。纸质文物上霉斑的去除,本质是破坏霉菌的细胞结构和正常生理活动,使其不再生长或繁殖产生新的孢子,更不能代谢产生对文物有害的物质如色素、纤维素酶、有机酸和毒素等;害虫的杀灭,实际上是杀灭害虫的任一虫态,包括卵、幼虫、蛹与成虫。

(一) 纸质文物的脱酸加固或复制

徐文娟与王春红采用丙酸钙($\text{C}_2\text{H}_5\text{CO}_2$) Ca 溶

液作为脱酸剂,叔丁胺硼烷(CH_3) $_3\text{CNH}_2\text{BH}_3$ 溶剂作为还原剂,将作品进行脱酸还原,提高纸张的韧性^[40]。奚三彩总结了对纸质文物进行脱酸的方法如液相脱酸包括水溶液法(石灰水脱酸法、氢氧化钙和重碳酸钙法即双液两步法、碳酸氢镁、水溶液脱酸法)和有机溶液脱酸法(“韦托”法、甲氧基甲基碳酸镁、丙酸钙等)与气相脱酸包括氨法、碳酸环己胺、吗啉、二乙基锌法、吗啡啉脱酸;加固的方法常采用托裱法、树脂溶液法、加膜法、丝网加固与多功能保护液法^[41]。严培珍发现珂罗版印刷与人工设色有机结合可以完美复制中国书画文物,为其保护提供一种手段^[42]。熊金宇等证实电纺聚偏氟乙烯(PVDF)纳米纤维膜对纸张进行封护处理能大幅提高纸张的耐酸碱性能和抗污染物能力^[43]。梁国洲等制备的纳米氧化镁悬浮液可用于纸质文物脱酸保护^[44]。贾西沙指出加固文物的传统方法为托裱法^[45]。饶德文介绍了修补虫损纸质文物的新技术漉嵌修补法^[46]。

(二) 病原物的防治

王珊等提出在现有的纸质文物虫霉防治技术中,环氧乙烷被普遍认为可迅速、彻底杀虫灭菌,包括孢子、虫蛹、虫卵、成虫与幼虫,且渗透力强,残留量小,对纸质文物相对安全^[3]。

1. 真菌、细菌病原物的防治

目前我国对纸质文物的灭菌方法分为化学法和物理法两大类,其中常用的化学法有酒精擦除法、二氧化碳和环氧乙烷、磷化氢熏蒸法;物理法有低温冷冻法、缺氧法、微波辐射法、 γ 射线辐照法^[51,47]。赵艳发现纳米 TiO_2 改性壳聚糖防霉剂可有效防治纸质文物上的黑曲霉菌^[48]。

Szczepanowska 和 Moomaw 利用脉冲激光器发射不同能量的脉冲激光,选择恰当的清洗时间可充分清除纸张表面不同菌体及其排泄物,且不对纸张纤维造成毁损^[49]。Michaelsen 等比较了三种防治纸质文物真菌病害的方法(冷冻法、Gamma射线及环氧乙烷熏蒸)的优劣^[50]。Sterflinger 与 Pinzari 提出防治纸质文物的真菌病害需要环境控制、特殊物质定期清洗与选择性杀菌剂,其中可供选择的杀菌剂种类由欧洲杀菌剂委员会决定,详见网址 <http://ec.europa.eu/environment/biocides/index.htm>,如甲醛溶液、碳链长度C14-C16的季胺、异唑酮与70%乙醇^[51]。

2. 害虫的防治

田敬伊指出防止害虫损害文物的防治方法有

物理法如阻隔分离、气味避蠹、低温灭杀、远红外线照杀、真空充氮及微波辐照杀等;化学法包括熏蒸及消杀^[2]。谢宇斌指出灭杀古籍害虫的方法有低温冷冻杀虫法、超高频杀虫法、拟除虫菊酯(Pyrethroid)杀虫法、环氧乙烷熏蒸杀虫法、溴甲烷熏蒸杀虫法和真菌除虫法^[2]。李会敏认为物理杀虫法包括高温杀虫、低温杀虫和真空除氧等方法,化学杀虫法有环氧乙烷熏蒸、溴甲烷熏蒸法等^[2]。梁宇将防治虫害的技术归纳为三类:保管技术防治、化学防治和物理防治,桂林图书馆长期采用保管技术防治古籍虫害,具体措施有书库建筑防虫、书库内外清洁卫生、控制适宜的温湿度、图书入库消毒及书库消毒、放置驱虫剂,值得一提的是驱虫剂灵香,尤其是金秀灵香草效果更好^[2]。毛志平总结了杀灭藏品害虫的方法包括物理法和化学法,其中物理防治有高温、低温、微波和干燥失水法;化学防治有敌敌畏、苧氯菊酯、溴甲烷和环氧乙烷法^[3]。周宝中总结了古代保护纸质文物的药物防蠹技术,可归纳三类,分别为书卷用纸的药物处理(黄檗汁染纸法、椒汁染纸法、雌黄涂布法)、书卷装帧裱糊过程的防蠹措施(在粘合剂中加防蠹剂、装订铅丹防蠹纸)和使用药物创造辟蠹环境(藏书箱柜木材用料选择杉、桐、柏、樟、楸、梓、银杏等多年生乔木和施放防蛀杀虫药物如芸香)^[5]。周玉世也介绍了古人防治纸质文物害虫的经验如染纸避蠹法(黄檗汁)、气味避蠹法(麝香、木瓜、芸草、樟脑、雄黄、灵香草)、防蠹纸(含铅丹)、改良造纸材料(麻纸、桑皮纸)、保持干燥(六月晾书),同时简单介绍了现代防虫方法如物理法(冷冻法、低氧法、低温法)与化学法(环氧乙烷熏蒸法)^[2]。王春等采用密闭熏蒸方法得出植物精油香叶油、甘松油、甜瓜油、广藿香油对4种害虫(烟草甲、玉米象、杂拟谷盗、档案盗蠹)具有很高的熏杀毒力^[5]。刘恩迪建议对于部分一级品书画采取除氧封存等措施避免虫害,其他纸质文物可采用环氧乙烷、溴甲烷熏蒸杀虫或低温冷冻杀虫^[5]。贾西沙提到了古法避蠹有黄檗汁染纸、装裱及用护封、护套保护古籍;现代可用的高效无毒的环保型杀虫剂,如南京博物院研制的中草药杀虫剂、上海图书馆研制的除虫菊脂类杀虫防霉剂、上海博物馆利用现代科技对黄柏进行提取而研发的天然防霉剂、国家第一历史档案馆研制的以香叶醇为主的防霉剂等;物理防治如高温、冷冻、辐射、充氮除氧^[4]。

Pinniger 首次将有害生物综合治理 IPM 这一

概念用于博物馆行业,具体措施包括密封建筑、调节气候、定期打扫卫生、引入检疫及利用诱饵监测文物^[5]。Querner 等总结了维也纳艺术史博物馆10年来运用 IPM 策略防治文物害虫药材甲与衣蛾,并且发现物理杀虫的方法包括热处理和紫外线等射线的照射,能够很好地保护馆藏文物不受病害的侵袭^[5]。Mark 等研究发现在-20℃下冷冻1个小时,各个发育阶段的药材窃蠹全部死亡^[5]。Querner 和 Biebl 通过释放寄生蜂来防治美术馆储藏室书画上发生的药材甲^[5]。Schöller 与 Prozell 发现天敌寄生蜂可以较好控制文物害虫如鞘翅目与鳞翅目^[5]。Schöller 通过释放天敌赤眼蜂 *Trichogramma evanescens* 成功防治艺术博物馆中的衣蛾 *T. bisselliella*^[5]。

(三) 环境的控制

张霆等提出改善保存环境不仅是纸质文物保护最为普遍使用的有效方法,而且还具有投入低、应用面广、可操作性强的特点^[6]。孟晓红与周崇润以国家图书馆古籍书库为例,分析了我国古籍保存环境及设施的现状和存在的问题,提出了建立虫霉灾害预警机制和分区域建立古籍脱酸服务中心的发展策略^[6]。

纸质文物保护的环境温湿度依据 GB/T 30227—2013《图书馆古籍书库基本要求》中关于温湿度的规定,善本书库温度应控制在16℃~20℃之间,相对湿度应控制在50%~60%之间;且温度日较差不宜大于2℃,相对湿度日较差不宜大于5%^[6]。上述条件可通过安装恒温恒湿设备来进行调控。谢宇斌指出当环境湿度为36%,档案窃蠹的卵不孵化;白蚁7天无水即死亡^[2]。

纸质文物库房可通过采用密集柜、安装含氧化饰和氧化钴玻璃的窗户、采用无紫外线的冷光源作照明等措施有效地对光线进行控制^[5]。

控制有害气体的办法一是在纸质文物库房内安装走道式的风淋;二是采用气相过滤,即利用一种或多种干式化学介质来除去污染气体,可按污染气体种类和浓度选择专用介质设计系统完成工作^[3]。赵勇通过改善光照条件,控制展柜内光线的强度,减少了有害光对纸质壁画摹本的污染;同时通过采用空气洁净屏,有效控制了有害气体对摹本的损害^[5]。赵阳等建议在吐鲁番博物馆馆藏纸质文物展厅及库房加装空气净化器、喷淋器、活性炭过滤器去除展柜内气体污染物^[9]。

贾西沙认为书画作品的保存环境必须确保温

湿度适宜,减少空气中的有害气体、尘埃等书画的破坏,如安装现代化的温湿度调控、除尘与空气净化、防火、防盗、防震等设施^[4]。

(四) 人类活动的规范化

田敬伊提出应当经常对博物馆内文物进行巡查整理的对策^[2]。李会敏指出应制定古籍书库巡查及保护制度及古籍书库清洁卫生制度^[2]。做好纸质文物库房内外清洁卫生工作^[3]。刘恩迪建议严格执行检查与消毒制度,包括工作人员与文物入库。定期清扫;除尘;工作人员进入库房应更换工作服^[4]。

参考文献:

- [1] 中国科学院微生物研究所,陕西秦始皇帝陵博物院,陕西省文物保护研究院,上海博物馆,敦煌研究院. 我国文物生物病害有多重? [J]. 中国文物报,2013-12-13 (8).
- [2] 裔传臻. 拉曼光谱在纸质文物研究中的应用 [J]. 文物保护与考古科学,2018,30(3): 135-141.
- [3] 许志刚. 普通植物病理学第三版 [M]. 北京: 中国农业出版社出版的图书,2006.
- [4] 金慧. 郑州博物馆纸质文物保存保护调查研究 [D]. 郑州大学,2015.
- [5] 王珊,李玮,王珏. 清代吴煦档案的流转保存与生物病害防治 [J]. 中国文物科学研究,2017(2): 74-81.
- [6] Czerwińska E, Kowalik R. Microbiodegradation of Audiovisual Collections [J]. Restaurator, 1979,3(1-2): 63-80.
- [7] 姚娜,闫丽,吴若菲,等. 早期霉变纸币霉菌分离与鉴定研究 [J]. 中国钱币,2015(6): 44-48,9.
- [8] 李其久,段大程,刘宸澍,等. 晚清书画裱件一株霉菌的鉴定及培养条件优化 [J]. 辽宁大学学报(自然科学版),2018,45(1): 59-63.
- [9] 唐欢,王春,范文奇. 馆藏纸质书画文物上霉菌的分离及鉴定 [J]. 文物保护与考古科学,2015,27(2): 40-46.
- [10] 闫丽,高雅,贾汀. 古代书画文物上污染霉菌的分离与鉴定研究 [J]. 中国文物科学研究,2011(1): 78-82.
- [11] 陈元生,解玉林. 书画上“狐斑”成因研究 [J]. 文物保护与考古科学,2002(S1): 63-76.
- [12] 仲雨微. 生物学方法去除纸质文物霉斑的研究 [D]. 沈阳: 辽宁大学,2016.
- [13] 谢燕. 海啸引发的纸质文物微生物病害案例研究 [J]. 文物保护与考古科学,2014,26(4): 69.
- [14] 张慧,张金萍,朱庆贵. 古旧纸本字画孳生霉斑的鉴定 [J]. 文物保护与考古科学,2016,28(1): 108-111.
- [15] 杨娟. 一幅霉变书画的扫描电镜分析 [J]. 电子显微学报,2015,34(5): 438-442.
- [16] 郑晓霞,张诺,胡南. 纸质文物上的“寄居者” [J]. 南京工业大学学报(自然科学版),2018,40(1): 101-105.
- [17] 王丹. 智化寺馆藏文物中微生物调查及防护研究 [A]. 博物馆藏品保管学术论文集——北京博物馆学会保管专业第四——八届学术研讨会论文选编 [C]. 北京博物馆学会,2009: 8.
- [18] Mary L E, Florian L M. The ecology of the fungal fox spots in a book published in 1854 [J]. Restaurator, 1999,20: 137-150.
- [19] Santos A, Cerrada A, García S, et al. Application of molecular techniques to the elucidation of the microbial community structure of antique paintings [J]. Microbial Ecology, 2009, 58(4): 692-702.
- [20] 田敬伊. 馆藏文物常见害虫及综合防治 [J]. 河北北方学院学报(自然科学版),2017(5): 55-58.
- [21] 谢宇斌. 古籍保护中的虫害防治及建议 [J]. 大学图书馆学报,2009,27(4): 66-69.
- [22] 李会敏. 浅析古籍文献虫害的防治 [J]. 经济研究导刊,2015(13): 299-300.
- [23] Masumoto M, Machida R. Development of embryonic membranes in the silverfish *Lepisma saccharina* Linnaeus (Insecta: Zygentoma, Lepismatidae) [J]. Tissue Cell, 2006,38(3): 159-169.
- [24] Woodbury N, Gries G. Pheromone-based arrestment behavior in the common silverfish, *Lepisma saccharina*, and giant silverfish, *Ctenolepisma longicauda* [J]. Journal of Chemical Ecology, 2007,33(7): 1351-1358.
- [25] 李生吉,魏勇,孙恩涛. 毛衣鱼生态习性观察 [J]. 医学动物防制,2010,26(12): 1083-1084.
- [26] 蒋书楠主编. 城市昆虫学术会论文集 [C]. 重庆: 重庆出版社,1985.
- [27] 梁宇. 图书馆藏古籍虫害的防治 [J]. 桂林市教育学院学报(综合版),1996(3): 41-44.
- [28] 周玉世. 浅谈纸质文物的虫害治理 [J]. 中国文物保护技术协会学术年会,2005.
- [29] 王璐. 故宫《院藏古书画、古籍病害分类及图示》的制作与使用 [A]. 中国文物保护技术协会. 中国文物保护技术协会第八次学术年会论文集 [C]. 中国文物保护技术协会: 中国文物保护技术协会,2014: 7.
- [30] 毛志平. 谈文物藏品害虫及其防治 [J]. 中国文物科学研究,2009(2): 56-58.
- [31] 姚娜,习永惠,吴若菲,等. 纸质文物防霉、除霉保护技术探讨 [J]. 北京印刷学院学报,2016,24(4): 14-17.
- [32] Querner P, Morelli M, Oberthaler E, et al. Ten years of Integrated Pest Management (IPM) at the Kunsthistorisches Museum in Wien [J]. Journal of Entomological & Acarological Research, 2011,43(2): 185-190.
- [33] 陈潇俐,张金萍. 博物馆纸质文物库房环境监测与控制 [A]. 中国文物保护技术协会. 中国文物保护技术协会第七次学术年会论文集 [C]. 中国文物保护技术协会: 中国文物保护技术协会,2012: 5.
- [34] 张兴伟. 书画等纸质文物的病害分析与环境研究 [A]. 湖南省博物馆学会. 博物馆学文集 8 [C]. 湖南省博物馆学会: 湖南省博物馆学会,2012: 11.
- [35] 程燕,郭伟,樊巍巍,等. 大气环境对博物馆内文物的影响 [J]. 中国粉体技术,2013(5).
- [36] 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 [J]. 文物保护与考古科学,2012,24(1): 76-82.

- [57] 徐方圆,修光利,于颖,等.封闭式博物馆室内展厅秋季颗粒物数浓度变化特征[J].文物保护与考古科学,2013,25(4):1-7.
- [58] 赵勇.新疆维吾尔自治区博物馆馆藏纸质壁画摹本的保存环境探析[J].文物保护与考古科学,2017,29(4):83-87.
- [59] 赵阳,徐东良,陈玉珍.吐鲁番博物馆馆藏纸质文物的储存与展示环境评估[J].吐鲁番学研究,2015(1):104-117.
- [60] 徐文娟,王春红.西方现代保护修复方法在中国纸质文物中的应用[J].文物保护与考古科学,2008,20(3):40-43,75-76.
- [61] 奚三彩.纸质文物脱酸与加固方法的综述[J].文物保护与考古科学,2008,20(S1):85-94.
- [62] 严培珍.珂罗版复制在书画文物保护中的作用[J].文物保护与考古科学,2016,28(3):127-131.
- [63] 熊金宇,郑靖重,王姝玉,等.基于电纺技术的纸质文物保护初探[J].化工新材料,2017,45(3):241-243.
- [64] 梁国洲,鲁钢,张金萍,等.纳米氧化镁应用于纸质文物脱酸研究[J].化工新材料,2017,45(3):244-246.
- [65] 贾西沙.谈馆藏书画文物的保护与修复[J].中国民族博览,2018(1):208-210.
- [66] 饶德文.虫损纸质文物修补的新技术探究[J].中国民族博览,2016(3):206-207.
- [67] 李蔓.对纸质文物霉菌危害的防治[J].中国文物科学研究,2011(4):34-37.
- [68] 赵艳,苏海佳,谭天伟.纳米TiO₂改性壳聚糖抗菌防霉剂用于纸张防霉[J].北京化工大学学报(自然科学版),2008(6):67-70.
- [69] Szczepanowska H M, Moomaw W R. Laser Stain Removal of Fungus-Induced Stains from Paper[J]. Journal of the American Institute for Conservation, 1994,33(1):25-32.
- [70] Michaelsen A, Pinzari F, Barbabietola N, et al. Monitoring the effects of different conservation treatments on paper-infecting fungi[J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 2013,84(100):333-341.
- [71] Sterflinger K, Pinzari F. The revenge of time: fungal deterioration of cultural heritage with particular reference to books, paper and parchment[J]. Environment microbiology, 2012,14(3):559-566.
- [52] 周宝中.古代保护纸质文物的药物防蠹技术[J].中原文物,1984(4):87-92.
- [53] 王春,杨德军,胡仕林,等.植物精油对馆藏文物害虫的毒力测定[J].西南农业大学学报,2000(6):494-495.
- [54] 刘恩迪.文物害虫防治工作中的几个问题[J].中国博物馆,2003(2):59-63.
- [55] Pinniger D B. Pest Management in Museums, Archives and Historic Houses, Archetype Publications, London: 2004. 115.
- [56] Mark Gilberg, Agnes W Brokerhof,白崇斌,等.馆藏文物中害虫的防治——低温对药材窃蠹(药材谷盗)的防治效果[J].文物保护与考古科学,1994(1):60-62.
- [57] Querner P, Biell S. Using parasitoids wasps in Integrated Pest Management in museums against biscuit beetles (Stegobium paniceum) and webbing clothes moths (Tineola bisselliella)[J]. Journal of Entomological & Acarological Research, 2011, 43(2):169-175.
- [58] Schöller M, Prozell S. Biological control of cultural heritage pest Coleoptera and Lepidoptera with the help of parasitoid Hymenoptera[J]. Journal of Entomological & Acarological Research, 2011,43(2):157-168.
- [59] Schöller M. Recent advances in the commercial application of beneficials against stored-product and cultural heritage pests[J]. IOBC/WPRS Bulletin, 2015,111:345-348.
- [60] 张鑫,张永俊,汪培梓.河南馆藏纸质文物保护调研[N].中国文物报,2012-08-08(003).
- [61] 孟晓红,周崇润.我国古籍保存环境的现状与发展策略——以国家图书馆古籍书库为例[J].机电兵船档案,2017(5):86-88.
- [62] 陈红彦,周崇润.图书馆古籍书库基本要求.GB/T 30227—2013[S].北京:中国标准出版社,2014.

(责任编辑:周宇)

Research Progress of Bio-diseases on Paper Relics

ZHEN Congai, ZHAO Danping

(The Museum of Chinese Gardens and Landscape Architecture, Beijing 100072, China)

Abstract: As an important component of organic cultural relics, paper relics are susceptible to various bio-diseases, including fungi, bacteria, insects, mouse and so on. In order to protect paper relics from bio-diseases, the latest progresses in the field of were reviewed from three aspects including bio-diseases identification, environmental factor analysis, and control methods. The hypothesis "Paper Relics Bio-disease Tetrahedron" could be proposed as plant diseases. For the effective control of paper relics bio-diseases, some factors should be paid attention: pathogen identification was the basis; environmental factor analysis was supplement; integrated control was method.

Key words: paper relics; bio-disease; tetrahedron hypothesis; environment; integrated control