

纸质文献霉菌侵害防治方案

——以美国东北文献保护中心为例

张 铭

摘要：长久以来，霉菌侵害一直是图书馆、档案馆等纸质文献保存单位关注的重点。研究和制定针对霉菌侵害的预案十分必要，及时合理地实施紧急处理措施相当关键。他山之石，可以攻玉，本文介绍了美国东北文献保护中心针对纸质文献霉菌侵害的防治经验，以期能对业内人员开展相关工作有所裨益。

关键字：霉菌 纸质文献 防治 美国东北文献保护中心

一、前言

成立于1973年的东北文献保护中心（the Northeast Document Conservation Center，简称NEDCC）位于美国马萨诸塞州安多佛市，是美国第一个专门从事纸质和胶片类藏品保护的独立实验室。NEDCC可以为书籍、地图、手稿等多种纸质文献提供专业的保护处理措施，其工作目标是促进图书馆、档案馆等机构藏品保护能力的提高，为没有内部保护设施或寻求专门知识的机构提供帮助，并在保存和保护领域发挥领导作用。其主要工作内容包括以下几点：1.为纸张和书籍保存及其数字化工作提供专业科学的实验室服务；2.向收藏机构提供专业知识，以帮助其开展藏品保存保护相关的调查、研讨会、教育计划、咨询、出版等业务；3.提供藏品灾害处理和紧急援助服务，协助制定灾害规划和减灾措施；4.提供实习和继续教育的机会，在保护人才的培养中发挥作用；5.倡导公众提高对保护问题的认识，督促收藏机构更加重视保护工作；6.开发示范项目和保护策略，使其能在该国其他地区推广应用。

针对纸质文献霉菌侵害问题，东北文献保护中心有着较系统的预防处理措施，本文将就这一问题做相关介绍，希望能为国内开展相关工作提供参考。

二、霉菌简介

霉菌属于真菌，是一大类依靠其他有机体维持生命的微生物。目前已知的真菌种类超过10万种。由于种类繁多，霉菌在特定情况下的生长和活动模式很难准确预测，但是对霉菌进行一些广泛的概括仍然是可行。

霉菌通过传播大量的孢子来繁殖，这些孢子在合适的条件下会在空气中传播、并到新的

地方发芽。当孢子萌发时，它们会长出毛发状的菌丝（如图 1 所示），然后产生成熟和破裂的孢子囊，释放出更多的孢子，从而重新开始生命周期。

当霉菌在生长和繁殖时，它分泌的消化酶会改变、削弱和污染纸张、布料或皮革。值得注意的是，对患有过敏和免疫问题的人来说，霉菌在某些情况下，会对健康造成较大危害。



图 1 生长在覆盆子上的霉菌

三、预防原则

孢子需要处于合适的环境下才能发芽，包括合适的相对湿度、温度、停滞的空气和食物来源。如果没有有利的条件，孢子将保持休眠状态，在这种状态下，它们几乎不会造成损害。但是，如果环境条件变得有利，处于休眠或非活动状态的霉菌将重新激活。

霉菌生长最重要的因素是水分。这些水分最常见的来源是空气中的水分，除此以外也可以来自霉菌寄生物体所含有的水分。一般来说，空气中相对湿度越高，霉菌就越容易生长。例如在 21℃ 条件下，如果持续一个月或更长时间空气的相对湿度超过 75%，就有可能出现霉菌生长现象；若相对湿度为 80% 则需要 2 周时间，而在 90% 的条件仅下需要 4 天，（然而有些霉菌可以在相对湿度更低的条件下生长）。水灾后藏品容易出现霉菌侵害，就是因为不仅空气中相对湿度升高了，而且材料的含水量也上升了。

在适当的湿度条件下，如果出现温度升高以及空气不流通等问题会进一步促进霉菌生长：高温高湿的环境会加速霉菌孢子的萌发和生长速度；空气不流通会导致空气中的孢子沉积在藏品表面。而且如果空气流通不充分，还可能进一步增加藏品的湿度。上述环境条件会为孢子萌发提供一个完美的环境。如果藏品存放在地下室或其他环境条件不能调控的空间，会大大增加霉菌爆发的可能性。地下室往往潮湿，空气不流通，外墙容易出现渗漏以及受冷出现凝露现象。如果藏品直接放置在地面上，由地而上升的潮气也可能导致严重的问题。

霉菌孢子，无处不在，它们或者活跃或者休眠。我们不能也不应该试图消灭所有这些孢

子。即便如此，通过以下措施，我们能够有效避免藏品出现霉菌侵害的问题：

1.保持库房湿度和温度适中且平稳（相对湿度低于60%，温度低于21℃），使孢子保持休眠状态，并进行环境监测，确保温湿度波动处于安全范围内；

2.保证库房具有良好空气流通，并对书箱、函套、囊匣等微空间环境进行监测；

3.切勿将藏品存放于潮湿空间或易发生漏水的区域；

4.保持藏品存放和使用区域洁净。因为灰尘和污渍是孢子的重要来源，将藏品放置于柜子、箱子、盒子等保护装置内，可以使藏品远离灰尘；

5.新藏品入库前应经过隔离并进行霉菌检查；

6.及时更换暖通设备（包括供暖、通风和空调等）的过滤器，如果多次发生过霉菌问题应更换为更高效的空气过滤器。

四、抢救原则

如果霉菌预防措施没有成功，或者发生了水患等灾害，就必须主动采取抢救措施，以降低损失。抢救措施应遵守以下基本原则：

1.降低湿度：如上所述，湿度会引发霉菌生长。将相对湿度降低到55%以下，能够阻止大多数霉菌生长。

2.切勿加热：在相对湿度较高且短时间内无法控制，或者水灾尚未干涸的情况下，额外的热量会造成霉菌更快生长。

3.当藏品处于潮湿状态时，应及时干燥或冷冻：潮湿物体上，在48小时内（有时可能更短）霉菌生长速度较为平稳，之后就会爆发性迅速生长。如果无法在48小时内完成对藏品的清洁或干燥处理，那么最好的方法是对其进行低温冷冻。这样可以杀死活跃的霉菌，并抑制其进一步生长。

4.充分考虑健康风险：接触霉菌可能导致身体出现过敏反应，即使在不易过敏的人群中也是如此。而且有些霉菌是有毒性的，因此所有接触霉菌的人都必须得到适当的保护。手套、护目镜和口罩是最基本的防护装备，如图2所示。对于



图2 个人防护示例

暴露在霉菌环境中引起的过敏问题应充分重视，如果不注意防护或治疗，可能会导致严重的

霉菌相关的健康问题。

5.避免采取简单粗暴的除霉方法：如在藏品上喷洒洗洁精或者漂白剂，它们或者无效或者会藏品造成额外的、不可预见的损害。以前，对于霉菌滋生的藏品往往用环氧乙烷或者百里酚熏蒸处理，虽然可以杀死活跃的霉菌和孢子，但它们属于致癌物质。单纯使用任何一种化学物质都无法阻止再次生霉，而且可能对藏品和人类产生不良影响。

五、抢救措施

如果霉菌侵害爆发范围不大（通常少于 100 本书或 10 个文件盒），可以自主采取以下建议的措施。若出现大规模霉菌问题，往往需要寻求外部协助，动用更多的资源。

1.对已经受到霉菌侵害的藏品或者区域进行隔离

单独的藏品应该移到一个干净的地方（其相对湿度低于 55%），与其他藏品进行空间隔离。为避免在移动过程中散播孢子，这些藏品应密封在塑料袋中进行转移。一旦进入隔离区，应马上将藏品从塑料袋中取出，以防止袋子内形成利于霉菌生长的小环境。

在霉菌大量爆发的区域，可能无法转移数量众多的藏品，因此应该将这些受影响的区域进行隔离，包括此区域的空气循环系统，这样可以避免进一步扩大污染整个建筑物。

2.查找霉菌生长的原因，从而避免更大规模的爆发

首先寻找明显的水源痕迹，例如漏水。如果没有明显的湿气来源，可使用监测仪器测量受影响区域的相对湿度。如果湿度升高，则可能是暖通空调系统有问题，亦或者是因为外墙防水效果差、空气循环不良、或灰尘和污渍的积聚为霉菌提供食物来源等等。

找到霉菌生长的原因后应尽快修理或者予以排除。如果这个问题暂时无法马上解决，那么就应建立持续观察机制，对该区域的环境情况和生霉情况进行持续的跟踪检查。

3.采取措施改变库房环境，使其不再有利于霉菌生长

擦干或者使用干湿吸尘器清除所有积水。根据库房空间尺寸布置除湿器，除湿器的除湿功率既要有效降低所在区域的相对湿度，又不能过分影响整个建筑的相对湿度，与此同时要注意除湿器水箱容积，定期排水，以免水分外溢。

采用有效的通风措施，使室内相对湿度低于 55%，且温度低于 21℃。使用准确监测仪器，监测并记录每天的相对湿度和温度。

4.对所有接触霉菌物品的人员实施安全防护措施

所有霉菌都对人存在潜在危险，因此，如果在室内进行藏品清理工作，所有接触霉菌物品的人员都应该配戴一次性手套、防护服、护目镜和防护面罩。

5.对霉菌进行失活处理

失活处理的目的是使霉菌进入休眠状态。处于休眠状态的霉菌外观是干燥的、粉末状的，而不是柔软的和黏糊的。处于休眠状态的霉菌更容易去除。如果受霉菌影响的藏品数量较少，可以将其密封包裹好后放入冰箱或者冷库中进行冷冻。

6.清理受霉菌影响的藏品

清理受霉菌影响的藏品时不要直接清理活性的霉菌，以及易碎脆化材质的藏品，如粉彩、木炭画或剥落的油漆。

清理失活霉菌时尽量在室外而不是在封闭空间内操作。如果必须在室内操作，应该使用带过滤器的通风橱，以便收集霉菌并对尾气进行过滤。而且这个房间（包括暖通系统）应该与建筑物的其他区域分开。

最简单的去除非活性霉菌的方法是使用低速变速真空吸尘器和高效过滤器来收集霉菌孢子，如图3所示。普通的真空吸尘器吸力太强很容易对易碎藏品造成损伤，还会将孢子排到空气中。对于纸张和纺织品类藏品可以先在它们上面覆盖一层玻璃纤维窗纱，然后再吸除霉菌。进行吸除操作时，真空吸嘴应该在藏品表面垂直上下移动，而不是左右移动。书籍应使用毛刷附件，并在毛刷上完全覆盖厚棉布，以防止纸张碎屑脱落。使用过的厚棉布、真空袋或过滤器等材料，应将其密封在塑料垃圾袋中，并进行相应处理。若没有毛刷附件，也可以使用软刷清理霉菌，轻轻地将霉菌从藏品表面刷脱并吸入真空喷嘴，切勿用力过大将霉菌嵌入纸张纤维深处。



图3 具有高效过滤器的真空吸尘器示例

7.对爆发过霉菌的区域进行彻底清洁

如果该区域很潮湿，首先应该对其进行干燥处理。然后可以使用漂白剂等物质擦拭架子，并在藏品回归之前保持干燥。如果室内有霉味，需要排查霉味来源并进行处理。还要对暖通空调系统（如换热线圈、管道系统等）进行必要的清洁和消毒。

8.将藏品送回原区域

只有在该区域彻底清洁、干燥并确定和处理霉菌爆发的原因后，才能将藏品送回。

9.监控库房环境

对库房的温度和相对湿度进行监控，确保环境气候条件适中，尤其是保持相对湿度低于55%，温度低于21℃，从而避免霉菌再次出现。

对库房和藏品进行定期检查，以确保没有新的霉菌生长。书籍的装订线和书脊内部是霉菌易发位置，需要重点检查。

六、结论

由此可见，无论是活跃还是休眠的孢子，它们都是无处不在的。不可能将所有的孢子消灭，所以控制孢子生长或休眠的环境是防治霉菌的关键。采用积极的防治霉菌措施，可以有效地避免霉菌爆发。这些措施包括：保持相对湿度在60%以下（或者低于50%更佳）；接触人员使用防护物品；进行细致的内部管理；监测相对湿度和温度；以及重视霉菌侵害，时刻保持警惕等等。

如果采取上述预防措施后，仍然发生了霉菌爆发的情况，应及时采取科学的抢救措施，将损害降低到最小。这些抢救措施包括藏品隔离，对霉菌进行失活以及清除处理，库房清洁，排除隐患等。

参考文献

1. 美国东北文献保护中心简介

<https://www.nedcc.org/book-conservation/about>

2. 美国东北文献保护中心：发霉图书和纸张紧急处理措施（3.8 Emergency Salvage of Moldy Books and Paper）

<https://www.nedcc.org/free-resources/preservation-leaflets/3.-emergency-management/3.8-emergency-salvage-of-moldy-books-and-paper>