在霉菌与墨香之间：一份古籍保护实验室的微观日志

□ 张楠 国家图书馆古籍馆

早晨 8：30，推开实验室大门的瞬间，鼻子里嗅到了混合着纸张老化和地下室隐隐霉菌生长的独特气息，那是我们实验室特有的气味，也是我们最熟悉的气味。穿过长廊，坐在办公桌前，翻开实验记录本，我在厚厚的本子上展开新的一页，记录如下：日期：2026 年 7 月 13 日，星期一；今日主题：古籍库房空气霉菌 PDA 培养检测与种属鉴定——第 7 天观察记录。

一、早晨：晨检准备与超净台紫外灭菌

（一）更衣准备

今天是我们去馆内年中库房采样培养检测的第 7 天。一周前，我们在总馆重点书库的各个不同微环境区域，采用沉降法在离地 1m 高度采集了空气浮游霉菌样本于 PDA 培养基上，计划后续进行分离培养和种属鉴定。

选择离地 1 米并非随意。这个高度恰好是古籍书架中层的位置，也是库房工作人员日常巡检时呼吸带的高度——既代表了书籍最直接的暴露环境，也反映了人员活动区域的空气质量。过高，可能采集到顶棚通风口的干扰样本；过低，则可能混入地面扬尘中的土壤真菌。1 米，是一个经过文献验证的“黄金采样高度”。

换上白大褂，穿戴好灭菌的乳胶手套和口罩。实验室的着装规范很严格：白大褂必须扣齐所有纽扣，口罩要覆盖口鼻并压紧鼻梁条，手套要检查有无破损。这些看似繁琐的步骤，既是为了保护人，更是防止人体携带的微生物污染样本，造成不必要的假阳性。

（二）超净工作台紫外灭菌

超净台的紫外灭菌是今天所有实验的开始，是看似简单但最为重要且必不可少的环节。因为后续所有的接种、挑菌、制片操作，都依赖于这个“无菌结界”的可靠性。开启紫外灭菌前，我首先清点并准备上午需要的耗材：乳酸酚棉蓝染液、载玻片、盖玻片、接种针、酒精灯、标签纸、记号笔。所有物品都要在紫外灭菌结束前放入超净台，经灭菌后才可使用。

我走到超净台前，按照流程，仔细用酒精棉擦拭过工作区域后，按下电源开关，开启紫外灯，然后启动风机，超净台在一片紫色光中发出低沉的嗡鸣。

紫外灭菌的标准流程是：先用 75%酒精棉球擦拭工作台面、侧壁和玻璃挡板，去除可见的灰尘和有机物残留；然后开启紫外灯，照射 30min。紫外灯的波长是 253.7nm，这个波段对微生物的 DNA 有最强的破坏作用，能使相邻的胸腺嘧啶形成二聚体，阻断 DNA 复制，从而达到杀菌效果。

30min 后，计时器响起。我没有立即打开玻璃挡板——紫外灯关闭后，需要等待 5-10min，让空气中可能产生的臭氧自然分解。臭氧虽然也有杀菌作用，但对呼吸道有刺激性，长期吸入不利于健康。

晨检准备至此完成。低鸣的超净台，28℃恒温的培养箱，都已准备就绪，等待它的使命。

二、上午：样品观察记录与染色制备

（一）培养箱取样与初观察

上午 9：35，我打开霉菌培养箱，一股熟悉而略微刺鼻的气味扑面而来。与细菌繁殖的氨臭味不同，真菌的代谢略带泥土和发酵的气息，这是因为真菌代谢分解产生了乙醇、乙酸等挥发性有机化合物的混合体。“嗯，长得不错。”我心里默默在想。闻到这让人安心的气味，不用细看便知道霉菌正在蓬勃生长中。

我从培养箱中挑选出待观察的培养皿放置在工作台，首先要做的是初筛。由于不同霉菌的生长速率不同，7 天的时间有的已经长出孢子，有的却仅仅只有小片白白的菌丝，无法从外观第一时间辨认，因此需要将未达到观察标准的培养皿挑出继续培养，达到观察标准的样品则拿出进行接下来的步骤。

“哎，采集了那么多，还以为今儿能多观察几个呢。”看着长势萎靡的样品，刚才的喜悦瞬间消失了大半，今天能够观察记录的培养皿仅有两个。

我拿出记录本，对照这两个样品开始记录它们在培养基上的生长形态。

第一个样品：整个培养基表面已被一层丝绒般的绿色覆盖，边缘呈现出放射状的白色菌丝，像一朵被压扁的蒲公英。用放大镜观察，菌落表面有细小的粉末状结构——那是成熟的孢子囊。菌落背面呈现出淡黄色。“这大概率是某种青霉？”我默默在想，看着它的形态，我在记录本上写上“青霉属”，并在后面打了一个问号。

第二个样品：平皿中央是一团黑色的、像煤渣一样的菌落，直径约 1.5cm，周围环绕着一圈白色“晕环”，整体呈不规则圆形。黑色核心区域表面粗糙，有颗粒感；白色晕环则光滑湿润，像一层薄薄的奶油。“这好像是曲霉的特征，一会看看染色一下。”我在记录后方记下“曲霉属”。

（二）乳酸酚棉蓝染色玻片制备

初观察完毕后，我开始制备乳酸酚棉蓝染色玻片。乳酸酚棉蓝是常用的霉菌染色的试剂，使菌丝和孢子呈现蓝色，便于在显微镜下观察细微结构。它由苯酚、乳酸、甘油、棉蓝及水配置而成。苯酚是杀菌防腐剂，防止制片过程中杂菌生长；乳酸保持酸性环境，使菌丝不皱缩变形；甘油增加黏稠度，减缓水分蒸发，使玻片可以长期保存；棉蓝是显色剂，与真菌细胞壁结合后呈蓝色。

我首先用 75%酒精喷雾瓶均匀喷洒培养皿，对待观察培养皿表面消毒，接着打开玻璃挡板，用酒精棉球擦拭戴好手套的双手，将消毒后的培养皿和双手放入超净台内部。超净台内的气流是从顶部垂直向下吹送的，形成一个“空气幕”，阻挡外界微生物的侵入。操作时，所有动作都要在气流幕内进行，手臂不能频繁进出，否则会破坏气流的稳定性。

接着，我点燃酒精灯，在灯焰周围形成一个相对无菌的操作区域。火焰的热空气上升，带动周围空气形成对流，在灯焰附近形成一个直径约 10cm 的无菌区。这是传统微生物操作的“经典配置”——虽然现代超净台的气流保护已经足够，但酒精灯的“火焰屏障”仍然是

操作者心理上的“定心丸”。所有涉及观察的核心步骤都需要在酒精灯火焰“保护”下的无菌区操作才可万无一失。

在超净工作台内，我点燃酒精灯，开始制片。

第一步：取洁净载玻片，在酒精灯火焰上方快速过两下，去除表面静电和微量有机物。同时用酒精灯火焰的外焰灼烧接种环和解剖针对其进行灭菌处理。

第二步：用冷却的已灭菌的接种环挑取少量菌落组织。

第三步：在载玻片中央滴加一滴乳酸酚棉蓝染液，将挑取的菌落组织放入染液中。用冷却后灭菌的解剖针轻轻拨散，让菌丝充分展开，避免重叠成团。这个步骤需要极大的耐心——菌丝像一团缠乱的毛线，粗暴拨散会扯断结构，过于轻柔又无法展开。我调整了解剖针的角度，用针尖从侧面轻轻“推”开菌丝，而不是“戳”或“挑”，这才慢慢使其分开。

第四步：盖上盖玻片。盖玻片要倾斜 45°，先让一侧接触染液，然后缓慢放下，避免产生气泡。如果有气泡，可以用解剖针轻轻按压盖玻片边缘，让气泡从缝隙中逸出。

第五步：观察盖玻片的外沿是否有多余溢出的染色剂，如果有用吸水纸在盖玻片一侧轻轻放置，吸去多余的染色液，避免盖玻片和下方菌丝/孢子滑动，影响后续观察。

第六步：在每张玻片在载玻片左侧用记号笔标注编号，右侧标注日期。

做完这一切后用酒精灯灯帽盖灭酒精灯火焰，将准备好的玻片放置在玻片夹中，结束上午的工作，等待下午的镜检。

超净工作台的风机继续低鸣，酒精灯的火焰已熄灭，但台面上的玻片，承载着今天所有的期待。

三、下午：显微镜检与当日总结

（一）镜检准备与鉴定

下午 13：00，我来到显微镜室，打开生物显微镜的电源。显微镜的光源是 LED 冷光源，色温稳定，不会像老式卤素灯那样发热影响观察。

我先从样品 1 开始。将染色玻片放在载物台上，用压片夹固定，先用 4 倍物镜找到菌丝的大致位置，然后切换到 10 倍物镜调整焦距，最后转到 40 倍物镜进行详细观察。

400 倍视野下，青霉的“标志性建筑”清晰可见。直立的分生孢子梗从基质菌丝上长出，顶端分枝成帚状结构（penicillus，这也是青霉属名字的由来）。每一级分枝的末端都挂着一串分生孢子，像一串串微观的绿色葡萄——虽然在染色后呈现蓝色，但那种密集的串状排列依然让人联想到果实累累的藤蔓。

样本 2 的的玻片，与样本 1 视野中的景象完全不同：不需要 400 倍观察，仅仅在 100 倍的视野下我就发现了它粗壮的菌丝及顶端膨大的的顶囊。顶囊呈规则的球形，表面密布小梗，顶端略尖。我调整显微镜，放大到 400 倍仔细观察顶囊，发现表面像海胆一样布满了小梗（sterigmata），小梗上再挂着黑色的分生孢子链。分生孢子呈球形，在棉蓝染液中呈现出深邃的蓝黑色——这是黑色素与棉蓝叠加的效果。孢子链的排列方式也很有特点：从顶囊中心向四周放射状排列，像一束微观的黑色烟花。成熟的孢子链容易断裂，在视野中可以看

到大量游离的单个孢子，像夜空中的繁星。“果然是黑曲霉”，我看着视野中的霉菌默默下了定论。

（二）当日总结

下午 14：30，我结束了显微镜观察，在记录本上记下，样品 1：青霉；样品 2：黑曲霉；其余样品待观察。接着制定后续实验计划：

1.待剩余霉菌生长到可观察形态时对其进行观察记录。

2.孢子/菌丝三点法纯化接种：待菌落进一步成熟后，对其进行纯化，获得单菌落培养物。

3.孢子悬液制备与后续实验：待纯化培养物成熟后，制备标准浓度孢子悬液，为后续在纸张上接种，模拟实际纸张生霉实验做准备。

在结束实验后，关闭超净台，远离充满泥土和淡淡霉味的培养箱，我开始思索霉菌存在的益弊。霉菌已经在这个星球上存在了上亿年，是最古老的分解者之一。它们分解枯木、落叶、动物尸体，让物质回归循环。我们的生活离不开霉菌和发酵，例如我们饮食中的酱油和腐乳便是它们的功劳。古籍对它们来说，不过是一堆“死去的植物纤维”——和森林里待腐烂的枯枝落叶没有区别。

它们没有错。错的是时间、是环境、是人类保存方式与材料寿命之间的错位。

我们的工作，不是“消灭”霉菌，而是理解它们——理解它们的生长规律、代谢机制、生态位需求，然后找到一种方式，让古籍和霉菌“和平共处”，或者说，让古籍在有限的生命周期内，尽可能地延缓被自然回收的进程。