

热带雨林环境霉菌试验菌种筛选研究

刘剑, 王冲文, 赵宏坤, 杨玉萍, 赵远荣, 刘艳芳,
王乔方, 肖建军, 戈帆, 杨品杰

(国营第二九八厂, 昆明 650114)

摘要: **目的** 研究西双版纳热带雨林环境空气中的优势菌种和装备上的敏感菌种, 为热带雨林环境霉菌试验的菌种筛选提供参考。**方法** 采用撞击法采集西双版纳试验站空气中的菌种, 同时挑取试验站内正在进行环境试验的装备上生长的霉菌, 通过纯化、鉴定、分析得到西双版纳热带雨林环境优势菌种和装备上的敏感菌种。**结果** 获得热带雨林环境优势菌种 12 株, 装备材料上的敏感菌种 10 株。**结论** 根据霉菌对纤维、塑料、皮革、橡胶和纺织品的影响, 筛选出 6 株优势菌种结合 10 株敏感菌种作为装备霉菌试验添加菌种。

关键词: 热带雨林; 霉菌试验; 菌种筛选

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2018.11.022

中图分类号: TJ07 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2018)11-0118-05

Filtration for Strain of Fungus Test in Tropical Rainforest

LIU Jian, WANG Chong-wen, ZHAO Hong-kun, YANG Yu-ping, ZHAO Yuan-rong,
LIU Yan-fang, WANG Qiao-fang, XIAO Jian-jun, GE Fan, YANG Pin-jie
(State-Owned No. 298 Factory, Kunming 650114, China)

ABSTRACT: Objective To research predominance strain of tropical rainforest in Xishuangbanna and sensitive strain of equipment to provide a reference for filtration for strain of fungus test in tropical rainforest. **Methods** The impact method was used to collect the strain from the air of Xishuangbanna. The strain on the surface of equipment in tropical rainforest in the station was picked for purification, identification and analysis. The dominant bacteria in tropical rainforest in Xishuangbanna and the sensitive strain on equipment were obtained. **Results** Twelve dominant strains of tropical rainforest and ten sensitive strains on equipment material were obtained. **Conclusion** Based on influences of mould on fiber, plastics, leather, rubber and textile, six dominant strains and the ten sensitive strains are selected to join the fungus test of equipment.

KEY WORDS: tropical rainforest; fungus test; filtration of strain

自然界的霉菌种类繁多, 在已知霉菌中对工业材料具有腐蚀作用的就多达四万余种。武器装备在服役期内会出现由于霉菌腐蚀而造成性能降低甚至无法使用的现象。据统计, 美国空军每年花费的总维修费用中有 1/4 是用于解决由霉菌腐蚀引起的装备故障问题^[1]。霉菌试验是在实验室内提供合适的温度、湿度等条件促使霉菌生长, 以检验装备的耐霉能力。

其试验结果能为装备改进防霉设计、工艺制造、装备使用及修理维护等提供可靠依据^[2-3]。目前我国军用装备进行霉菌试验主要依据的标准是 GJB 150.10A 《军用装备实验室环境试验方法 第 10 部分: 霉菌试验》, 由于霉菌种类较多, 且分布存在地域和环境差异, 除 GJB 150.10A 中给出的 10 种试验霉菌外, 自然界中还有很多霉菌会对装备造成腐蚀影响^[4]。

收稿日期: 2018-06-03; 修订日期: 2018-07-03

基金项目: 国防科技工业技术基础科研项目 (JSHS2015208B006)

作者简介: 刘剑 (1977—) 男, 湖南祁东人, 高级工程师, 主要从事环境试验研究。

热带雨林气候的高温高湿环境为霉菌提供了良好的生长条件，因此，军用装备在热带雨林环境中的霉菌腐蚀问题非常明显。文中介绍了 GJB 150.10A 中的霉菌试验菌种种类及来源，并通过采集、鉴定和分析西双版纳热带雨林环境空气中和装备上生长的霉菌，根据其对应装备材料的腐蚀情况，筛选出在热带雨林环境中使用装备进行霉菌试验的添加菌种，以便更加准确地评定装备长霉程度，为提高装备的环境适应性研究提供一定的数据支持。

1 GJB 150A.10A 霉菌试验菌种来源

美军在 1962 年发布了 MIL-STD-810《空间及陆用设备环境试验方法》作为其军事和工业部门的环境试验准则，随着材料和装备应用的不断发展，美军对此标准进行了多次修订，到 2008 年最新的标准修订到了 MIL-STD-810G 版本^[5-6]。目前 MIL-STD-810 试验标准被世界许多国家都认可，我国武器装备环境可靠性试验使用的 GJB 150《军用设备环境试验方法》于 1986 年发布，其内容主要是参考 MIL-STD-810D 而制订的^[7]。到 2009 年我国又等效采用了美军标 MIL-STD-810F《环境工程考虑和实验室试验》，并将原来的试验条件一节改为裁剪指南^[8]，修订后形成标准 GJB 150A《军用装备实验室环境试验方法》。其剪裁标准更加重视信息的收集和应用，不再规定试验项目、试验顺序、试验条件和试验程序，只提供有关数据、资料、基本试验程序和剪裁技术指南^[9]。相比 GJB 150 而言^[10]，修订后的标准可以避免简单套用菜单式标准所带来的过设计、过试验或欠设计、欠试验问题，具有很大的灵活性，科学性也更强。自此我国军用装备环境试验标准由原来的引用型转变为剪裁型^[11]。

在 GJB 150.10A《军用装备实验室环境试验方法》第 10 部分：霉菌试验》中，选定了两组菌种作为霉菌试验的选择菌种。第一组菌种包含：黑曲霉、土曲霉、宛氏拟青霉、绳状青霉、赭绿青霉、短柄帚霉和绿色木霉；第二组菌种包含：黄曲霉、杂色曲霉、绳状青霉、球毛壳霉和黑曲霉^[12]。军用装备进行霉菌试验常选择第二组菌种，见表 1。经调查分析发现，虽

表 1 GJB 150A 霉菌试验菌种

霉菌名称	菌种编号	腐蚀材料
黄曲霉 <i>Aspergillus flavus</i>	AS3.3950	皮革、织物
杂色曲霉 <i>Aspergillus versicolor</i>	AS3.3885	皮革
绳状青霉 <i>Penicillium funiculosum</i>	AS3.3875	织物、塑料、棉织品
球毛壳霉 <i>Chaetomium globosum</i>	AS3.4254	纤维素
黑曲霉 <i>Aspergillus niger</i>	AS3.3928	织物、乙烯树脂、敷形涂覆、绝缘材料等

然美军标也经过多次修订，但到目前的 MIL-STD-810G 中霉菌试验部分仍然采用这五种霉菌，主要是由于这五种霉菌具有在世界范围分布广、生态稳定性好和对材料腐蚀影响大等特点^[13]。

我国曾有一些部门在不同材料上进行过霉菌分离试验，其试验结果见表 2^[14]，基本都含有表 1 中的五种霉菌，再次说明其稳定性好、在世界范围分布广、在装备材料上生长频率高，是材料霉菌腐蚀问题的重要来源。此外，GJB 150.10A《军用装备实验室环境试验方法》第 10 部分：霉菌试验》菌种剪裁指南中指出：如果有需要可在选定其中一组菌种的基础上额外增加其他霉菌菌种，增加的菌种应按其对材料的降解情况来选择^[15]。西双版纳自然环境试验站是我国唯一一个热带雨林环境试验站，年平均温度为 21.6℃，平均相对湿度为 83%，平均降雨量为 1713 mm，属于典型的热带雨林气候^[16]。这种高温高湿的环境非常适合霉菌的生长，是开展装备材料霉菌试验研究的极佳选择地。

表 2 菌种收集分离

采集部门	结果
广州电科所	黑曲霉、黄曲霉、土曲霉、宛氏拟青霉菌、绳状青霉、短帚霉、绿色木霉、杂色曲霉、球毛壳霉（按活性排序）
电子	黑曲霉 8 种、杂色曲霉 8 种、黄曲霉 3 种、球毛壳霉 3 种（用分离收集）
航空	黑曲霉、黄曲霉、土曲霉、宛氏拟青霉菌、绳状青霉、短帚霉、绿色木霉、杂色曲霉、球毛壳霉（按活性排序）
船舶	黑曲霉 7 种、杂色曲霉 13 种、黄曲霉 5 种、球毛壳霉 5 种、绳状青霉 1 种（分离收集）

2 西双版纳热带雨林环境优势菌种

2.1 仪器与材料

试验所用主要仪器有：QT30 六级筛孔微生物撞击器（美国 SKC 公司）； $\phi 90$ mm 玻璃平板；沙氏培养基；PDA 培养基；高温高压灭菌锅；恒温霉菌培养箱；超净工作台等。

2.2 菌种采集与鉴定

不同种类霉菌的最适合生长温度和湿度各不相同，分别于 2016 年 11 月—2017 年 9 月的四个不同季度用撞击法采集西双版纳试验站空气中的菌种。采集器通过抽气动力作用，使进口处空气形成高速气流，从而将悬浮在空气中的孢子由小孔吸入并撞击到放于采集器内部的沙氏培养基上，将培养基的平板倒置放在恒温霉菌培养箱中培养。把培养后的霉菌接种到 PDA 培养基上进行分离纯化，再根据霉菌的生

长特性和形貌特征结合分子生物学进行霉菌种类分析鉴定^[17-18]，各季度采集的霉菌鉴定结果见表3。

表3 霉菌鉴定结果

时间	鉴定结果	数量 占比/%	时间	鉴定结果	数量 占比/%
第 一 季 度	歧皱青霉 <i>Penicillium steckii</i>	23.0	第 二 季 度	污泥展齿革菌 <i>Phanerochaete sordid</i>	17.4
	尖孢枝孢 <i>Cladosporium oxysporum</i>	15.2		<i>Leptosphaerulina chartarum</i>	12.8
	<i>Stagonosporopsis cucurbitacearum</i>	15.2		<i>Aspergillus minisclerotigenes</i>	9.4
	<i>Stagonosporopsis cucurbitacearum</i>	10.9		丝枝蜡蚧霉 <i>Lecanicillium aphanocladii</i>	7.4
	<i>Phanerochaete flavidoalba</i>	10.3		<i>Paraconiothyrium estuarinum</i>	6.7
	肉色笋壳菌 <i>Peniophora incarnate</i>	7.9		哈茨木霉 <i>Trichoderma harzianum</i>	4.7
	极细枝孢 <i>Cladosporium tenuissimum</i>	3.0		<i>Clonostachys epichloe</i>	4.7
	<i>Didyella cucurbitacearum</i>	2.4		普通裂褶菌 <i>Schizophyllum commune</i>	4.7
	<i>Glonium pusillum</i>	1.8		哈茨木霉 <i>Trichoderma harzianum</i>	4.7
	两型轮枝菌 <i>Lecanicillium dimorphum</i>	1.8		<i>Porostereum spadiceum</i>	4.0
	尖孢枝孢 <i>Cladosporium oxysporum</i>	1.8		普通裂褶菌 <i>Schizophyllum commune</i>	4.0
	烟曲霉 <i>Aspergillus fumigatus</i>	1.2		<i>Myrothecium cinctum</i>	3.4
	多彩青霉 <i>Penicillium multicolor</i>	1.2		普通裂褶菌 <i>Schizophyllum commune</i>	2.7
	<i>Colletotrichum dematium</i>	0.6		<i>Clonostachys epichloe</i>	2.0
	菌核青霉 <i>Penicillium sclerotiorum</i>	0.6		普通裂褶菌 <i>Schizophyllum commune</i>	2.0
	梅花状青霉 <i>Penicillium herquei</i>	0.6		污泥展齿革菌 <i>Phanerochaete sordid</i>	2.0
	变红镰孢 <i>Fusarium incarnatum</i>	0.6		污泥展齿革菌 <i>Phanerochaete sordid</i>	2.0
	<i>Glonium pusillum</i>	0.6		<i>Phanerochaete crassa</i>	2.0
短柄帚霉 <i>Scopulariopsis brevicaulis</i>	0.6	普通裂褶菌 <i>Schizophyllum commune</i>	2.0		
梅花状青霉 <i>Penicillium herquei</i>	0.6	<i>Tinctoporellus epimiltinus</i>	1.3		
第 三 季 度	黄曲霉 <i>Aspergillus flavus</i>	15.2	第 四 季 度	变红镰孢 <i>Fusarium incarnatum</i>	20.5
	<i>Aspergillus minisclerotigenes</i>	13.0		尖孢枝孢 <i>Cladosporium oxysporum</i>	23.0
	<i>Talaromyces amestolkiae</i>	9.2		厚垣镰孢霉 <i>Fusarium chlamydosporum</i>	13.3
	<i>Leptosphaerulina chartarum</i>	6.0		变红镰孢 <i>Fusarium incarnatum</i>	9.7
	<i>Phaeosphaeriopsis musae</i>	5.4		甘蔗镰孢 <i>Fusarium sacchari</i>	5.4
	<i>Acrocalymma medicaginis</i>	4.9		木贼镰孢 <i>Fusarium equiseti</i>	4.7
	<i>Penicillium steckii</i>	4.9		<i>Curvularia akaii</i>	4.7
	<i>Clonostachys epichloe</i>	4.9		枝状枝孢 <i>Cladosporium cladosporioides</i>	4.7
	<i>Melanotus subcuneiformis</i>	4.3		球黑孢 <i>Nigrospora sphaerica</i>	3.6
	<i>Penicillium verruculosum</i>	3.8		玉米链格孢菌 <i>Altrnaria longissima</i>	2.2
	<i>Aspergillus fumigates</i>	3.8		<i>Microdiplodia miyakei</i>	1.8
	<i>Paraconiothyrium estuarinum</i>	3.8		黑粉菌科 <i>Ustilaginaceae sp</i>	1.4
	<i>Clonostachys epichloe</i>	3.8		多主棒孢霉 <i>Corynespora cassiicola</i>	1.1
	<i>Coprinellus disseminates</i>	3.3		四川弯孢 <i>Curvularia sichuanensis</i>	0.7
	<i>Paraconiothyrium estuarinum</i>	2.7		纸皮思霉 <i>Pithomyces chartarum</i>	0.7
	<i>Penicillium spinulosum</i>	2.7		多主棒孢霉 <i>Corynespora cassiicola</i>	0.7
	<i>Rigidoporus vinctus</i>	2.2		<i>Leptosphaerulina chartarum</i>	0.7
	<i>Phaeosphaeriopsis musae</i>	2.2		<i>Letendraea helminthicola</i>	0.4
<i>Clonostachys epichloe</i>	2.2	<i>Alternaria euphorbiicola</i>	0.4		
<i>Epicoccum nigrum</i>	1.6	<i>Leptosphaerulina chartarum</i>	0.4		

2.3 结果分析

对四个季度中采集到的菌种进行统计分析，选出各季度中菌种累计数量占比大于10%的菌种，视为各

季度的优势菌种。西双版纳试验站空气中四个季度的优势菌种及对材料的影响见表4，共有12株。结果表明，不同季度由于环境因素差异，四个季度空气中的优势菌种也存在差异。将空气中采集的优势菌种与

GJB 150.10A 中给的试验菌种相比较发现：两者间共同含有的菌种只有黄曲霉，这反映出菌种分布的地域性和环境差异性。由于西双版纳属于典型的热带雨林

气候，植被生长茂盛，因此，空气中的优势菌种多以木材腐蚀为主，其中有 6 株优势菌种对皮革、纺织品、纤维、塑料等工业材料具有腐蚀作用。

表 4 空气中优势菌种

采集时间	数量占比/%	优势菌种	影响
第一季度	26.1	<i>Stagonosporopsis cucurbitacearum</i>	花草致病菌
	23	歧皱青霉 <i>Penicillium steckii</i>	皮革、木材
	17.0	尖孢枝孢 <i>Cladosporium oxysporum</i>	纺织品、植物
	10.3	<i>Phanerochaete flavidoalba</i>	木材
第二季度	21.4	污泥展齿革菌 <i>Phanerochaete sordid</i>	木材
	15.4	普通裂褶菌 <i>Schizophyllum commune</i>	木材
	12.8	<i>Leptosphaerulina chartarum</i>	纤维
第三季度	15.2	黄曲霉 <i>Aspergillus flavus</i>	皮革、织物
	13.0	<i>Aspergillus minisclerotigenes</i>	皮革、酚醛塑料
	10.9	<i>Clonostachys epichloe</i>	木材
第四季度	30.2	变红镰孢 <i>Fusarium incarnatum</i>	食用菌、橡胶
	23.0	尖孢枝孢 <i>Cladosporium oxysporum</i>	纺织品、植物
	13.3	厚垣镰孢霉 <i>Fusarium chlamydosporum</i>	甘蔗、水稻

3 西双版纳环境装备上敏感菌种

3.1 菌种采集与鉴定

霉菌试验的最终目的是检测装备材料的长霉程度，为装备研制、生产、使用和维护提供数据参考^[19]。因此，将相应装备材料直接放在自然环境中进行环境试验非常有必要，可以更直观地反映出装备的问题和不足，其试验结果具有较强的针对性和可信度。使用经高温灭菌锅灭菌处理的竹签，挑取西双版纳试验站内正在进行自然环境试验的各种装备上生长的霉菌于 PDA 培养基试管斜面上，并进行培养、分离、纯化、鉴定，以研究热带雨林环境中装备上的敏感菌种。

3.2 结果分析

表 5 为在不同装备材料上采集的菌种，发现西双版纳热带雨林环境中的霉菌对橡胶材料腐蚀较为严

重。与表 4 空气中采集到的优势菌种相比，材料上生长的霉菌与空气中的优势菌种只有变红镰孢和 *Letendreaa helminthicola* 重合，而装备上生长的大多数菌种并未在空气中采集到，说明空气中只要存在少量霉菌孢子落在装备上便会生长，并最终对装备造成腐蚀影响，属于装备材料的敏感菌种。

4 结语

文中介绍了 GJB 150.10A 《军用装备实验室环境试验方法 第 10 部分：霉菌试验》中霉菌试验菌种的来源，结合标准中的剪裁指南，通过撞击法采集西双版纳热带雨林环境中的霉菌。根据霉菌的生长特性和形貌特征结合分子生物学进行霉菌种类分析鉴定，最终得到各季度的优势菌种共 12 株，其中 6 株对工业材料有腐蚀作用。挑取版纳试验站内装备材料上生长的菌种，并进行鉴定分析，得到 10 株对装备材料会造成腐蚀影响的敏感菌种，这些菌种可考虑作为热带雨林环境使用装备进行霉菌试验时的添加菌种。相应材料进行霉菌试验时可考虑添加的菌种种类为：皮革——歧皱青霉 *Penicillium steckii*、*Aspergillus minisclerotigenes*、黄曲霉 *Aspergillus flavus*、*Letendreaa helminthicola*；纺织品——尖孢枝孢 *Cladosporium oxysporum*、黄曲霉 *Aspergillus flavus*；纤维——*Leptosphaerulina chartarum*；塑料——*Aspergillus minisclerotigenes*；橡胶——*Acremonium gamsii*、*Ochroconis mirabilis*、暗色环纹炭团菌 *Annulohyphoxylon stygium*、焦曲霉 *Aspergillus ustus*、*Gyrothrix circinata*、禾谷镰刀菌 *Fusarium graminearum*、变红镰孢 *Fusarium incarnatum*、*Cladosporium flabelliforme*、长枝木霉 *Trichoderma longibrachiatum*

表 5 不同装备上采集菌种

器件	长霉部位	霉菌名称
防尘罩	橡胶	<i>Acremonium gamsii</i>
		<i>Ochroconis mirabilis</i>
望远镜	皮革	<i>Letendreaa helminthicola</i>
橡胶垫	橡胶	暗色环纹炭团菌
		<i>Annulohyphoxylon stygium</i>
像增强器保护盖	橡胶	焦曲霉 <i>Aspergillus ustus</i>
		<i>Gyrothrix circinata</i>
航空橡胶	橡胶	<i>Gyrothrix circinata</i>
航空电缆	橡胶	禾谷镰刀菌
		<i>Fusarium graminearum</i>
		变红镰孢 <i>Fusarium incarnatum</i>
		<i>Cladosporium flabelliforme</i>
		长枝木霉
		<i>Trichoderma longibrachiatum</i>

tum,其中变红镰孢 *Fusarium incarnatum* 在第一季度、第四季度和橡胶材料上都出现,可作为装备霉菌腐蚀研究的重点菌种。

参考文献:

- [1] 王丽. 霉菌试验及其标准介绍[J]. 航空标准化与质量, 2001(3): 38-42.
- [2] 杨玉萍, 字正华, 刘剑, 等. 霉菌对 Ge、ZnS 和 ZnSe 膜层的影响[J]. 红外技术, 2016, 38(12): 1078-1082.
- [3] 陈丹明, 李金国, 苏兴荣, 等. 军用电子装备的防霉[J]. 装备环境工程, 2006, 3(4): 78-81.
- [4] 刘福江, 宁薇薇. 霉菌试验标准的方法探讨[J]. 环境技术, 2018, 36(1): 79-81.
- [5] 祝耀昌, 王建刚, 张建军. GJB 150A 与 GJB 150 内容对比和分析(二)[J]. 航天器环境工程, 2011, 28(2): 110-115.
- [6] 章涵. MIL-STD-810G 主要特点分析[J]. 航空标准化与质量, 2012(5): 47-51.
- [7] JING Y. MIL-STD-810C/D/E/F& GJB 150[J]. Equipment Environmental Engineering, 2004(2): 86-89.
- [8] MIL-STD-810F, 环境工程考虑和实验室试验[S].
- [9] 祝耀昌, 张建军. GJB 150A 的应用和剪裁[J]. 航天器环境工程, 2012, 29(6): 608-616.
- [10] GJB 150—1986, 军用设备环境试验方法[S].
- [11] 王斌, 岳涛, 赵晓林. 标准剪裁在工程环境适应性设计中的应用[J]. 环境适应性和可靠性, 2008(4): 15-18.
- [12] 刘福江, 宁薇薇. 霉菌试验标准的方法探讨[J]. 装备环境工程, 2018, 15(1): 79-81.
- [13] ZHU Y C, WANG J G, ZHANG J J. A comparative Study of GJB150A and GJB150(Part I)[J]. Spacecraft Environment Engineering, 2011, 28(1): 5-10.
- [14] 李果. 两种霉菌试验标准的剖析和试验结果的比较[J]. 环境技术, 2008, 26(4): 6-11.
- [15] GJB 150A—2009, 军用装备实验室环境试验方法[S].
- [16] 肖建军, 赵远荣, 刘剑, 等. 西双版纳自然环境试验站环境真菌的鉴定[J]. 环境技术, 2014, 32(5): 10-12.
- [17] WU Q, LI Y Q, LI Y Y, et al. Identification of a Novel Fungus, *Leptosphaerulina chartarum* SJTU59 and Characterization of Its Xylanolytic Enzymes[J]. Plos One, 2013, 8(9): 1-14.
- [18] 赵晓阳, 王允丽. 霉菌试验用菌种生长形态和特征[J]. 航空标准与质量, 2005(3): 35-36.
- [19] 卓成林. 环境试验在电子设备“三防”中的应用[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2018, 36(S1): 262-265.