

## 航天器 AIT 中心典型霉菌形态及其消杀效果研究

张文德<sup>1,2,3</sup> 赵一夔<sup>1,2,3</sup> 赵彪<sup>1,2,3</sup> 徐侃彦<sup>1,2,3</sup> 王静思<sup>1,2,3</sup> 印红<sup>1,2,3</sup>

(1. 航天神舟生物科技集团有限公司,北京,100190;2. 北京市空间生物工程技术研究中心,北京,100190;  
3. 中国航天科技集团公司空间生物工程研究中心,北京,100190)

**摘要:**航天器总装厂房是航天器携带微生物的重要环境来源之一,厂房内的微生物检测与鉴定及其杀菌方法研究对于航天器的微生物安全与防控技术研究具有重要意义。本文报道了航天器 AIT 中心分离的青霉属、曲霉属和枝孢霉属等 8 个种属的典型霉菌菌落和孢子形态,为航天器霉菌鉴定和菌种库的构建提供了参考;同时研究了消毒剂、UVC 辐照和热处理对这些霉菌的消杀效果,以期为航天器的霉菌防控技术研究提供科学依据。研究表明不同种属霉菌对 3 种消杀方法的敏感性具有较大的差异性。结合我国不同地区 AIT 中心霉菌种属的多样性,在进行我国 AIT 中心霉菌的消杀工作时应有针对性地科学选择不同消杀方法或综合应用多种消杀方法。

**关键词:**AIT 中心;霉菌;UVC 辐照;消毒剂;热激

**中图分类号:**V524.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2615(2018)S2-0117-07

### Morphological Characterization and Disinfection Effect on Typical Mould Isolated From Spaceflight AIT Center

ZHANG Wende<sup>1,2,3</sup>, ZHAO Yikui<sup>1,2,3</sup>, ZHAO Biao<sup>1,2,3</sup>, XU Kanyan<sup>1,2,3</sup>, WANG Jingsi<sup>1,2,3</sup>, YIN Hong<sup>1,2,3</sup>

(1. Shenzhou Space Biology Science & Technology Co. Ltd, Beijing, 100190, China;

2. Space Biology Research and Technology Center, Beijing, 100190, China;

3. Space Biology R & D Center of China Aerospace Science & Technology Corporation Ltd., Beijing, 100190, China)

**Abstract:**Spaceflight AIT center is one of the important environmental sources of spacecrafts carrying microorganisms. Therefore, the research of microorganism identification and its disinfection methods are of great importance for developing techniques to prevent and control of mould contamination of spacecrafts. This study reports the typical fungal colonies and spores morphology of eight species isolated from the spacecraft AIT center, including *Penicillium* sp, *Aspergillus* sp, *Cladosporium* sp etc, which provides reference for mold identification and the construction of strain bank. The disinfection effects of disinfectants, UVC irradiation and heat treatment on those moulds are then studied, so as to provide scientific evidence for prevention and control of mold technology for spacecrafts. The results show that the sensitivity of fungi with different species to the three disinfection methods has great differences. Combined with the diversity of AIT central fungi species in different regions of China, we should select different disinfection methods scientifically or apply multiple methods when carrying out the disinfection work at AIT central.

**Key words:**AIT center; mould; UVC irradiation; disinfectant; heat shock

**基金项目:**载人航天领域第四批预先研究(010101)资助项目。

**收稿日期:**2018-03-23;**修订日期:**2018-05-30

**通信作者:**印红,女,高级工程师,E-mail:yinhong1@cast.cn.

**引用格式:**张文德,赵一夔,赵彪,等.航天器 AIT 中心典型霉菌形态及其消杀效果研究[J].南京航空航天大学学报,2018,50(S2):117-123. ZHANG Wende, ZHAO Yikui, ZHAO Biao, et al. Morphological characterization and disinfection effect on typical mould isolated from spaceflight AIT center[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2018, 50(S2): 117-123.

航天器作为空间研究的载体和平台,其特殊的封闭环境也带来了许多独特的挑战。其中微生物污染问题直接影响在轨人员的健康以及飞船硬件的安全性<sup>[1]</sup>。和平号空间站在运行期间曾发生多次由微生物导致的设备故障。舷窗曾因霉菌的生长造成能见度降低,光学性能下降,氧气电解装置因真菌的繁殖而出现堵塞,温控系统管道被真菌繁殖形成的胶状物质堵塞引发故障<sup>[1-2]</sup>。在国际空间站的运行期间,也曾多次报道发生微生物污染事件。俄罗斯舱的一个烟感器曾因真菌对电子部件的降解引发故障,在美国发生渗漏的搭载储水设备(Payload water reservoir, PWR)上发生真菌污染<sup>[3-4]</sup>。因此,为保障长期载人飞行人员健康和系统的运行安全,微生物防护与控制是航天器系统工程中的一项重要工作。

航天器的微生物防护与控制必须从控制微生物的来源、杜绝适宜微生物生长的环境、清除滋生的微生物、监测微生物生长情况和研究微生物的演变与应对措施等几个方面形成闭环控制<sup>[5]</sup>。在微生物来源方面,现有的研究结果显示航天器总装厂房是航天器携带微生物的重要环境来源之一<sup>[6]</sup>。欧美等国制定了一系列的标准方法和程序,用于航天器装配环境和硬件设备的微生物监测、控制和防护<sup>[2]</sup>。对于航天器洁净间内的微生物,NASA和ESA等主要利用培养法、ATP法和分子法等进行总量和多样性等方面的研究,建立微生物数据库<sup>[7-8]</sup>。同时对分离到的微生物进行生理特性方面的研究,主要包括微生物对干燥、氧化剂、紫外辐射、温度、盐浓度和pH值等方面的耐受性研究,为航天器装配环境和硬件设备的微生物防护控制提供科学参考<sup>[9]</sup>。目前我国也已开始在相关厂房进行微生物检测方面的工作。张兰涛等基于培养法对我国AIT厂房空气微生物进行了分析<sup>[10]</sup>,袁俊霞等利用高通量测序技术分析对我国某航天器AIT厂房空气微生物组成与多样性进行了研究<sup>[11]</sup>。目前这些研究主要集中在AIT厂房微生物群落特征方面的研究,但对这些微生物的生理生化特征研究还未开展。本文报道了我国航天器AIT厂房分离的青霉属、曲霉属和枝孢霉属等8个种属的典型霉菌菌落和孢子形态,为航天器霉菌鉴定和菌种库的构建提供了参考;同时研究了常用消杀方法对这些霉菌的消杀效果,以期为航天器的微生物防护控制提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 菌株信息

使用SAS空气微生物采样器(VWR-PBI)采集航天器AIT中心空气样品,经培养法分离纯化得到单菌落,ITS和 $\beta$ -tubulin基因片段测序法相

结合鉴定各霉菌到属或种水平,选择8个种属霉菌各一株作为研究对象,菌株信息如表1所示。

表1 菌株信息

Tab. 1 Strains information

属	青霉属	曲霉属	枝孢霉属	踝节菌属	轮枝霉属	链格孢属	派仑霉属	共头霉属
种	产黄青霉	土曲霉	枝孢样枝孢霉	三七内生菌	刀孢轮枝霉	-	-	-
菌株编号	39	29	54	49	69	17	18	70

### 1.2 菌落和孢子形态观察

各霉菌样品接种到马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA,马铃薯浸粉3.0 g/L,葡萄糖20 g/L,琼脂14 g/L)平板上,30℃培养4 d后观察菌落形态,主要记录菌落颜色、边缘形态、底部颜色和孢子数量等。刮取霉菌孢子到载玻片上用显微镜观察,记录孢子形态。

### 1.3 孢子悬液制备

向培养7~14 d的菌体茄形瓶中加入25 mL孢子洗脱液(含质量分数为0.05%的Tween80),使用接种环轻轻刮下培养基表面的孢子。将孢子悬液转移到装有玻璃珠的三角瓶中,充分震荡以使孢子分散。将所得溶液经纱布过滤后转移到2个10 mL离心管中,10 000 r/min离心10 min;弃上清液,用5 mL无菌水将沉淀转移至同一离心管中,并重悬沉淀,再次离心洗涤孢子。用无菌水重悬沉淀,将悬浮液浓度调整至 $10^8$  cfu/mL备用。

### 1.4 消毒剂杀菌

使用聚六亚甲基双胍(Polyhexamethylene biguanide, PHMB, 胍类消毒剂)和4250Z(复合季铵盐类消毒剂,包含25%烷基二甲基氯化铵C14 60%,C16 30%,C12 5%,C18 5%,25%烷基二甲基苄基氯化铵C12 68%,C14 32%)两种消毒剂单方和两种消毒剂混合剂的复方对8株霉菌样品进行杀菌实验。杀菌方法参考2008版《消毒技术规范》的悬液定量杀菌方法。PHMB工作液质量分数为 $2\ 000 \times 10^{-6}$ ,4250Z工作液质量分数为 $2\ 000 \times 10^{-6}$ ,混合消毒剂工作液质量分数为 $\text{PHMB } 1\ 000 \times 10^{-6} + 4250\text{Z } 1\ 000 \times 10^{-6}$ 。各霉菌样品孢子液浓度约为 $10^7$  cfu/mL,取0.5 mL孢子悬液加入到4.5 mL消毒剂中,迅速混匀,作用20 min后取0.5 mL菌药混合液加于4.5 mL中和剂中混匀,中和作用10 min,对照组使用4.5 mL水代替消毒剂,对样液及对照进行活菌计数,并换算为对数值(N),按下式计算杀灭对数值:杀灭对数值(LOG) = 对照组平均活菌数的对数值(No) - 消毒剂处理组活菌数对数值(Nx),计算杀

灭对数值时,取小数点后两位值。试验重复 3 次。

### 1.5 UVC 辐照

UVC 辐照敏感性实验,取约  $10^3$  cfu/mL 的各霉菌孢子悬液 100  $\mu$ L 涂布 PDA 平板,放于紫外灯下进行辐照处理,紫外辐射计(UVM,北京师范大学仪器厂)测定 UVC 强度为 75  $\mu$ W/cm<sup>2</sup>,UVC 处理时间分别为 0 min,1 min,2 min,5 min,10 min 和 20 min,再经暗处理后放于 30  $^{\circ}$ C 培养箱中培养 2 d 计菌落数,每个处理组 3 个平行。以 0 min 处理组菌落数为对照组,计算不同辐照处理时间下的霉菌存活率。存活率=处理组平板菌落数/对照组平板菌落数 \* 100%。

UVC 杀菌实验,各霉菌样品制备  $10^7$  cfu/平板和  $10^6$  cfu/平板两个梯度的 PDA 平板,放于紫外灯下进行辐照处理,紫外辐射计测定 UVC 强度为 108  $\mu$ W/cm<sup>2</sup>,UVC 处理时间为 30 min,再经暗处理后放于 30  $^{\circ}$ C 培养箱中培养 2 d 计菌落数,每个处理组 3 个平行。以未经 UVC 处理样品为对

照组,计算各组的活菌数(cfu/平板),并换算为对数值(N),并按下式计算杀灭对数值:杀灭对数值(LOG)=对照组平均活菌数的对数值(N<sub>0</sub>)-辐照处理组活菌数对数值(N<sub>x</sub>),计算杀灭对数值时,取小数点后两位值。试验重复 3 次。

### 1.6 80 $^{\circ}$ C 热激

取 0.5 mL 孢子液,80  $^{\circ}$ C 水浴处理 20 min 后,适当稀释涂 PDA 平板,计算活菌数,并换算为对数值(N),以未经热激处理样品为对照组。杀灭对数值(LOG)=对照组平均活菌数的对数值(N<sub>0</sub>)-热激处理组活菌数对数值(N<sub>x</sub>),计算杀灭对数值时,取小数点后两位值。试验重复 3 次。

## 2 实验结果

### 2.1 菌落和孢子形态

航天器 AIT 中心 8 个种属典型霉菌的菌落形态和孢子形态分别如图(1,2)所示,关于其特征描述如表 2 所示。

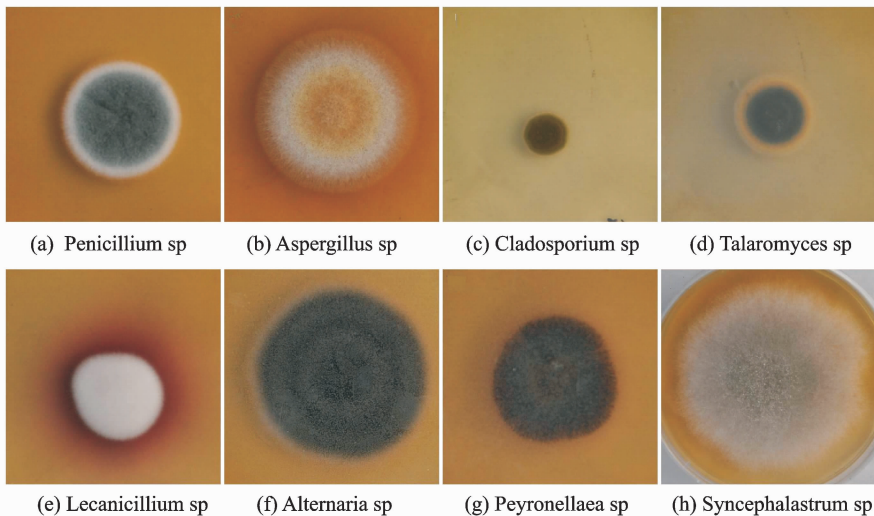


图 1 8 个种属霉菌菌落形态

Fig. 1 The colonies morphology of eight species

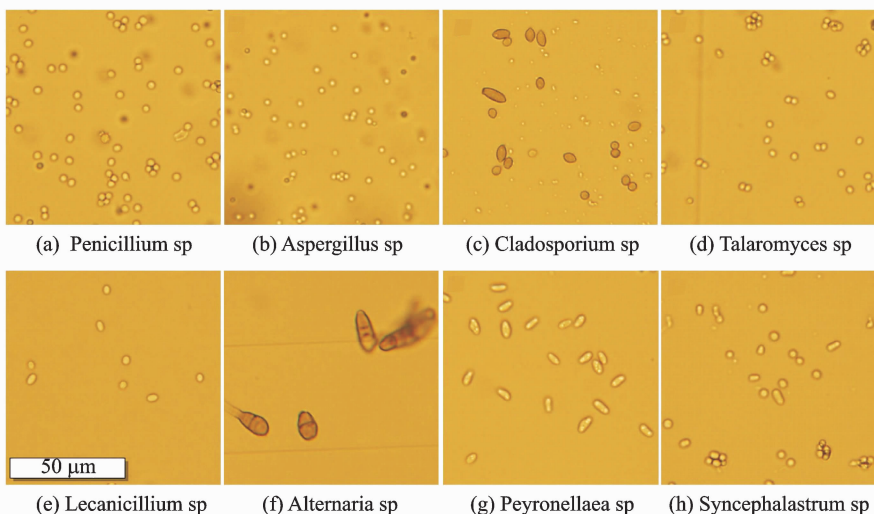


图 2 8 个种属霉菌孢子形态

Fig. 2 The spores morphology of eight species

表2 8个种属典型霉菌菌落和孢子形态特征

Tab. 2 Characteristics of typical fungal colonies and spores morphology of eight species

属	种	菌株编号	菌落形态	孢子形态	对人/材料潜在危险	参考文献
青霉属	产黄青霉	39	蓝绿色;辐射状褶皱;底部黄褐色	无色、球形	感染中枢神经系统/腐蚀光学材料	[12/13]
曲霉属	土曲霉	29	棕黄色;边缘白色,毛状,大量(环状)孢子	无色、球形	侵袭性曲霉病/腐蚀塑料、光学材料	[14/13]
枝孢霉属	枝孢样枝孢霉	54	黄绿色;褶皱;凸起;底部黑色	褐色、椭圆形	暗色丝孢霉病/-	[15/-]
踝节菌属	三七内生菌	49	墨绿色;边缘白色,毛状	无色、球形	未知	
轮枝霉属	刀孢轮枝霉	69	白色;大量绒毛状菌丝;凸起;底部深红色	无色、椭圆形	未知	
链格孢菌	N	17	墨绿色;多层环状,底部黑色	褐色、卵形、有横隔	未知	
派伦霉属	N	18	黑灰色;边缘白色;少量孢子;底部黑色	无色、棒状	未知	
共头霉属	N	70	灰绿色;大量绒毛状菌丝	无色、椭圆形	脚趾甲病;接合菌病/-	[16/-]

## 2.2 消毒剂消杀效果

实验测试了 PHMB 和 4250Z 两种消毒剂单方和两种消毒剂混合的复方对 AIT 中心分离到的 8 个种属霉菌的消杀效果,结果如图 3 所示。单方消毒剂 PHMB 消杀结果显示 PHMB 对不同种属霉菌消杀效果差异非常大,对链格孢属菌和派伦霉属菌消杀效果好,杀灭对数值可以到近 5 个 LOG 值,对枝孢霉属菌杀菌效果一般,杀灭对数值可以到近 4 个 LOG 值,而对踝节菌属和轮枝属菌杀菌效果较差,仅可以杀灭 2-3 个 LOG 值,对共头霉属菌、曲霉属菌和青霉属菌杀菌效果最差,仅可以杀灭 1 个 LOG 值。单方消毒剂 4250Z 消杀结果显示 4250Z 对绝大部分种属霉菌消杀效果均比较好,可以杀灭 5 个 LOG 值以上,但是对共头霉属菌杀菌效果较差,仅可以杀灭 2 个 LOG 值。复方消毒剂杀菌结果显示复方对绝大部分种属霉菌消杀效果均比较好,可以杀灭 5 个 LOG 值以上,但对共头霉属菌杀菌效果也较差,仅可以杀灭 1 个 LOG 值。

## 2.3 UVC 辐照结果

UVC 辐照敏感性结果显示不同种属霉菌对 UVC 辐照敏感性差异较大,如图 4 所示。在 UVC 辐照剂量为  $225 \text{ J/m}^2$  时,青霉属菌、曲霉属菌、踝节菌属、轮枝霉属菌、派伦霉属菌和共头霉属菌的存活率均小于 10%,而枝孢霉属菌和链格孢菌属菌存活率仍大于 50%;当 UVC 辐照剂量为  $900 \text{ J/m}^2$  时,链格孢属菌存活率可以达到 36%,枝孢霉

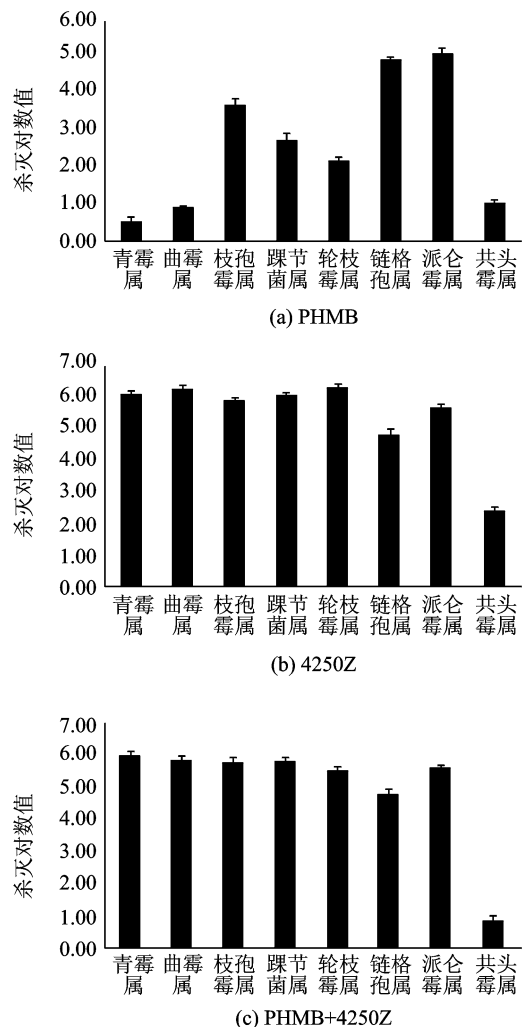


图3 消毒剂杀菌效果

Fig. 3 Germicidal efficacy of disinfectants

属菌存活率为 14.3%,其他种属霉菌存活率为 0。

UVC 辐照杀菌实验结果显示 UVC 辐照杀菌对大部分菌属杀菌效果较好,但对链格孢菌属菌和枝孢霉属菌杀菌效果较差,如图 5 所示。当 UVC 辐照剂量为  $1\ 944\ \text{J}/\text{m}^2$  时,链格孢属菌杀灭对数值仅达到 3 个 LOG 值,枝孢霉属菌杀灭对数值可达到 4 个 LOG 值,而其他种属霉菌杀灭对数值可达到 6 个 LOG 值左右。

#### 2.4 80 °C 热激效果

实验测试了 80 °C 热激对 AIT 中心分离到的 8 个种属霉菌孢子的杀灭效果,结果如图 6 所示。实验结果显示热激对所有种属霉菌的杀灭效果都很好,杀灭对数值可达到近 6 个 LOG 值以上。

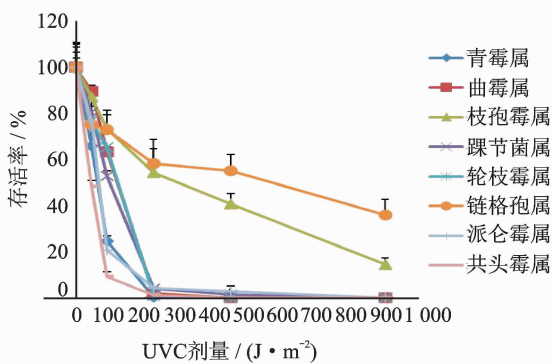


图 4 UVC 敏感性结果

Fig. 4 Results of UVC sensitivity

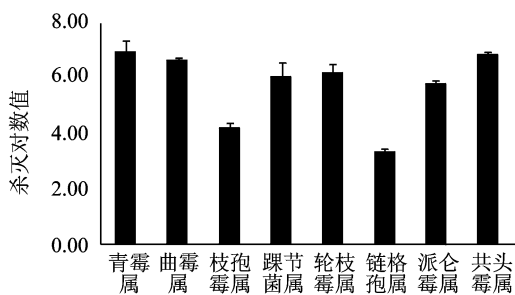


图 5 UVC 杀菌实验结果

Fig. 5 Germicidal efficacy of UVC irradiation

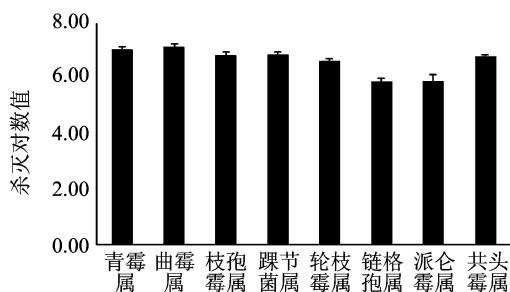


图 6 热激实验结果

Fig. 6 Germicidal efficacy of heat shock

### 3 讨 论

航天器的微生物防护与控制是一项复杂的系统工程,国外对微生物的安全防护已经贯穿于航天工程规划、设计、建造和运营的全过程<sup>[2,5]</sup>。航天器的微生物清除主要是通过物理或化学方法将航天器表面微生物负载量降到最低。热处理包括干热处理和蒸汽处理两种方式,其中干热灭菌是 NASA 的微生物清除标准方法,例如维京人火星着陆舱就用 117 °C 处理 23 到 30 h 的方法杀菌<sup>[17]</sup>。干热杀菌法简单有效,缺点是对一些设备的表面和功能可能会有影响,因此特定的材料及元件需要通过其他方法,例如紫外辐照、电离辐射、环氧乙烷蒸汽灭菌和消毒剂擦拭等,来进行清洁处理<sup>[18]</sup>。选择适宜的航天器微生物清除方法,不但要考虑到航天器的安全性,也需要考虑到不同种类的微生物对各消杀方法的敏感度也不相同。根据张兰涛等的报道及我实验室的研究显示<sup>[10]</sup>,我国不同 AIT 厂房的微生物菌落数量和种属类别差异很大,对这些不同种属的微生物生理特性研究,特别是对不同杀菌方法敏感性的研究对于科学地选择航天器微生物清除方法具有指导意义。

消毒剂作为一种有效的微生物控制措施,在国外已经应用于航天器微生物防控的多个阶段<sup>[5]</sup>。由于消毒剂具有相应的抗菌谱,对不同微生物的消杀效果差异较大,因此消毒剂对航天器厂房内微生物的消杀效果研究对于航天器消毒剂的选择具有重要意义。本文选用 4250Z 和 PHMB 两种消毒剂单方及两种消毒剂的复方对航天器 AIT 中心 8 个种属的典型霉菌消杀效果进行了研究。研究结果显示单方消毒剂 4250Z 是对霉菌的消杀效果明显优于单方消毒剂 PHMB,4250Z 对除共头霉属菌外的其他 7 个种属菌都具有较好的消杀效果,可以杀灭 5 个 LOG 值以上,而 PHMB 仅对链格孢属菌、派仑霉属菌和枝孢霉属菌消杀效果较好,而对蹠节属菌、轮枝属菌、青霉属菌、曲霉属菌和共头霉属菌消杀效果都很差。这可能是由于 4250Z 是由 4 种烷基二甲基苄基氯化铵和 2 种烷基二甲基乙基苄基氯化铵混合制成的复合季铵盐类消毒剂,为高效消毒剂,而消毒剂 PHMB 是双胍类消毒剂,为低效消毒剂。有研究显示 PHMB 可以很好地杀灭一些细菌繁殖体,但对真菌、分支杆菌和亲水性病毒等杀菌效果不佳,对细菌芽孢基本没有杀灭作用,只能抑制其繁殖<sup>[19]</sup>。本研究结果亦显示 PHMB 对大部分种属真菌的消杀效果不佳。消毒

剂复配使用可以拓宽杀菌谱、降低单一消毒剂浓度或提升杀菌效果,为此本研究检测了 4250Z 和 PHMB 复配的杀菌效果,结果显示对共同霉菌外的其他 7 个属霉菌,4250Z 和 PHMB 的复方消杀效果与 4250Z 单方效果相似,而对共同属霉菌,复方效果反而比 4250Z 单方效果差,这可能是由于复方中 4250Z 浓度较低的原因。

本研究对我国航天器 AIT 厂房分离的青霉菌、曲霉属和枝孢霉属等 8 个种属的典型霉菌对 3 种微生物清除方法的敏感性进行了研究,结果显示不同种属霉菌对不同消杀方法的敏感性差异非常大。链格孢属菌和枝孢霉属菌对 UVC 辐照杀菌不敏感,2 kJ/m<sup>2</sup>UVC 辐照剂量仅杀灭 3~4 个 LOG 值,但是对消毒剂 4250Z 比较敏感,2 000 × 10<sup>-6</sup> 的 4250Z 可以杀灭 5 个 LOG 值以上。共头霉属菌对消毒剂 4250Z 不敏感,2 000 × 10<sup>-6</sup> 的 4250Z 仅可以杀灭 2.4 个 LOG 值,但是对 UVC 辐照杀菌敏感,2 kJ/m<sup>2</sup>UVC 辐照剂量可以杀灭 6 个 LOG 值以上。青霉属菌、曲霉属菌、蹻节属菌、轮枝属菌和派仑属菌对 UVC 辐照和消毒剂 4250Z 都比较敏感,均可以杀灭 6 个 LOG 值左右。热激实验结果显示 8 个种属的霉菌对热处理都比较敏感,杀灭对数值可以到近 6 个 LOG 值以上。鉴于不同种属霉菌对不同消杀方法的差异性,同时结合我国不同地区 AIT 中心霉菌种属的多样性,在进行我国 AIT 中心霉菌的消杀工作时,应有针对性地科学选择不同的消杀方法或综合应用多种消杀方法。

## 4 结束语

研究表明不同种属霉菌对不同消杀方法的敏感性具有较大的差异性。结合我国不同地区 AIT 中心霉菌种属具有多样性,在进行我国 AIT 中心霉菌的消杀工作时应有针对性地科学选择不同的消杀方法或综合应用多种消杀方法。

## 参考文献:

- [1] Novikova N D. Review of the knowledge of microbial contamination of the Russian manned spacecraft[J]. *Microbial Ecology*, 2004, 47(2): 127-132.
- [2] 李飞,袁辉,赵辉. 空间微生物控制技术综述[J]. *载人航天*, 2014, 5(5): 465-473.  
LI Fei, YUAN Hui, ZHAO Hui. Review of microbiological control technologies in space and development proposals [J]. *Manned Spaceflight*, 2014, 5(5): 465-473.
- [3] DUANE L P. Microbial contamination of spacecraft [J]. *Gravitational and Space Biology Bulletin*, 2001, 14(2): 1-6.
- [4] NATALIAN N, PATRICK D B, SVETLANA P, et al. Survey of environmental biocontamination on board the International Space Station[J]. *Research in Microbiology*, 2006, 157(1): 5-12.
- [5] 杨宏,侯永青,张兰涛. 微生物控制-我国空间站面临的新挑战[J]. *载人航天*, 2013, 19(2): 38-46.  
YANG Hong, HOU Yongqing, ZHANG Lantao. Microbe control-A new challenge to faced by Chinese space station[J]. *Manned Spaceflight*, 2013, 19(2): 38-46.
- [6] SCHWENDNER P, MOISSL-Eichger C, et al. Insights into the microbial diversity and bioburden in a south american spacecraft assembly clean room[J]. *Astrobiology*, 2013, 13(12): 1140-1154.
- [7] LA duc M T, VAISHAMPAYAN P, NILSSON H R, et al. Pyrosequencing-derived bacterial, archaeal, and fungal diversity of spacecraft hardware destined for Mars [J]. *Appl Environ Microbiol*, 2012, 78(16): 5912-5922.
- [8] STIEGLMEIER M, RETTBERG P, BARCZYK S, et al. Abundance and diversity of microbial inhabitants in European spacecraft-associated clean rooms [J]. *Astrobiology*, 2012, 12(6): 572-585.
- [9] LA duc M T, DEKAS A, OSMAN S, et al. Isolation and characterization of bacteria capable of tolerating the extreme conditions of clean room environments [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2007, 73(8): 2600-2611.
- [10] 张兰涛,魏传峰,白梵露,等. 载人航天器 AIT 中心微生物分布特征分析[J]. *航天器环境工程*, 2014, 4(4): 415-419.  
ZHANG Lantao, WEI Chuanfeng, BAI Fanlu, et al. The microbial distribution of spaceflight AIT center [J]. *Spacecraft Environment Engineering*, 2014, 4(4): 415-419.
- [11] 袁俊霞,印红,赵彪,等. 航天器 AIT 中心微生物多样性分析[J]. *空间科学学报*, 2017, 37(2): 185-191.  
YUAN Junxia, YIN Hong, ZHAO Biao, et al. Microbial diversity analysis in spaceflight AIT center [J]. *Chinese Journal of Space Science*, 2017, 37(2): 185-191.
- [12] KANTARCIOGLU A S, APAYDIN H, YUCEL A, et al. Central nervous system infection due to *Penicillium chrysogenum* [J]. *Mycoses*, 2004, 47: 242-248.
- [13] 贵阳光电技术研究所,上海光学仪器研究所. JB/T 9348.1—1999. 光学仪器防霉、防雾、防锈-试验方法[S]. 北京:国家机械工业局,1999.

- Guiyang institute of photoelectric technology, Shanghai photoelectric institute research institute. JB/T 9348.1—1999. The test methods for the prevention of mould, fog, corrosion of optical instruments[S]. Beijing: state Bureau of Machine Building Industry, 1999.
- [14] PERFECT J R, COX G M, LEE J Y, et al. The impact of culture isolation of *Aspergillus* species: A hospital-based survey of aspergillosis[J]. *Clinical Infectious Diseases*, 2001, 33(11): 1824-1833.
- [15] VIEIRA M R, MILHEIRO A, PACHECO F A. Phaeohyphomycosis due to *Cladosporium cladosporioides*[J]. *Med Mycol*, 2001, 39: 135-137.
- [16] PAVLOVIC M D, BULAJIC N. Great toenail onychomycosis caused by *Syncephalastrum racemosum* [J]. *Dermatol online J*, 2006, 12(1): 7-7.
- [17] SHIREY T B, SCHUBERT W, BENARDINI J N. An overview of surface heat microbial reduction as a viable microbial reduction modality for spacecraft surfaces[C]//47th International Conference on Environmental Systems. Charleston, South Carolina: [s. n.], 2017: 201.
- [18] ANDREAS F, RAKESH M, PERICLES S, et al. Overview of current capabilities and research and technology developments for planetary protection[J]. *Advances in Space Research*, 2014, 54(2): 221-240.
- [19] 李妮妮, 于文. 聚六甲基胍类消毒剂性能及应用研究进展[J]. *日用化学品科学*, 2015, 38(9): 36-39.
- LI Nini, YU Wen. Research progress of properties and application of polyhexamethylene guanidine disinfectant[J]. *Detergent & Cosmetics*, 2015, 38(9): 36-39.

(编辑:王静)