

微生物学报 *Acta Microbiologica Sinica*
55(7):813-818; 4 July 2015
ISSN 0001-6209; CN 11-1995/Q
<http://journals.im.ac.cn/actamicrocn>
doi: 10.13343/j.cnki.wsxb.20140478

假诺卡氏菌属 (*Pseudonocardia*) 微生物对壁画和岩画类文物的危害

潘晓轩¹, 葛琴雅², 潘皎^{1*}

¹南开大学生命科学学院微生物系, 天津 300071

²中国文化遗产研究院, 北京 100029

摘要:长期暴露于自然环境中的文物容易遭受到微生物的侵袭,而近年来报道的假诺卡氏菌属微生物在原址壁画和岩画表面的存在和富集现象具有一定的共性,并且会对这类文物造成危害。本文结合国内外研究进展对此进行综述,并对原址保护壁画和岩画所处环境与假诺卡氏菌属微生物的生长条件、营养需求之间的关联进行分析,为文物特别是壁画和岩画类文物的保护工作提供新的依据和思路。

关键词:文物,假诺卡氏菌属,壁画和岩画

中图分类号:Q938 **文章编号:**0001-6209(2015)07-0813-06

假诺卡氏菌属 (*Pseudonocardia*) 隶属于放线菌门 (Actinobacteria), 假诺卡氏菌科 (Pseudonocardiaceae)。在现有的研究当中,该属微生物主要与纤维素降解、抗生素合成^[1-3]有关。亦有报道^[4]称作为一类稀有放线菌,可以产生一些重要的酶类和维生素。然而,近几年越来越多的研究^[5-8]发现,假诺卡氏菌属微生物很可能与壁画和岩画类文物的污染与劣化密切相关。

对大型历史文物进行保护和修复,特别是原址保护,长期以来都是文物保护工作当中的重点和难点。而造成这种情况的重要原因之一,是长期暴露于自然环境中的文物易受到微生物的侵袭。就壁画和岩画类文物而言,微生物会导致画面污染、颜料脱落、整体劣化^[9-10]等诸多类型的

损害。考虑到自然环境的复杂性以及不同环境之间存在的巨大差异,研究者难以针对全部的生物腐蚀和生物降解案例归纳出主要的病害微生物类群。处在不同地区、不同环境下的各类文物,其表面的微生物群落结构往往表现出较大的差别^[11]。但是我们发现,在一些相似或相关的环境中,假诺卡氏菌属微生物在原址壁画和岩画表面的存在和富集现象具有一定的共性,应当予以重视,而目前尚无报道对这一现象进行解释和说明。本文结合国内外已有的研究对此进行综述,内容主要包括假诺卡氏菌对国内外一些著名壁画和岩画类文物的危害情况、假诺卡氏菌属微生物的生理生化特征以及上述二者之间的关联分析这3个方面。

基金项目:财政部中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金;中国文化遗产研究院基本科研业务费(2013-JBKY-001)

* 通信作者。Tel: + 86-22-23505961; Fax: + 86-22-23506510; E-mail: panjiaonk@nankai.edu.cn

作者简介:潘晓轩(1989-),男,天津市人,硕士,主要从事微生物生态方面的研究。E-mail: biopan@163.com

收稿日期:2014-10-09; **修回日期:**2014-12-08

1 假诺卡氏菌属微生物对国内外一些著名壁画和岩画类文物的危害情况

1.1 西班牙 Doña Trinidad 洞穴和 Santimamiñe 洞穴岩画

Doña Trinidad 洞穴位于西班牙南部马拉加省的阿达莱斯,洞穴内仍保有旧石器时代遗留下来的珍贵岩画。20 世纪 80 年代开始,该洞穴受到政府保护,考古和研究工作从此展开。Stomeo 等^[5]采用基于细菌 16S rRNA 的 PCR-DGGE (denaturing gradient gel electrophoresis, 变性梯度凝胶电泳) 技术对壁面上的白色菌斑进行微生物群落结构分析。结果显示,假诺卡氏菌属微生物在活菌和总菌中分别占到 86% 和 36%,在被测样品中的微生物群落中具有相当明显的优势。除此之外,在位于西班牙北部 Santimamiñe 洞穴中的岩画上,研究者也发现了类似的情况^[5-6],外观相似白色菌斑中假诺卡氏菌占到了活菌总数的 66%。

1.2 西班牙阿尔塔米拉洞穴 (Altamira Cave) 岩画

同样位于西班牙的阿尔塔米拉洞穴,是世界上关注度最高的史前洞穴之一。该洞穴内相对完整地保存着约 15000 年前旧石器时代晚期的古老岩画,而这些画作被公认为是史前绘画的代表作品,也是全世界最早的艺术品之一。阿尔塔米拉洞穴中的岩画是在 1879 年由考古学家所发现的,绘画内容包括简单的风景图案以及色彩饱满的野马、野牛、山羊和猛犸等动物画像。岩画所处的洞穴于 1917 年正式对外开放,直到 1977 年,文物保护专家发现岩画遭受到严重的微生物侵害而将洞穴关闭。研究者对阿尔塔米拉洞穴中的微生物群落结构进行过多次分析^[12-14]。总体而言,洞穴壁面上的可见菌斑主要由变形菌门 (Proteobacteria)、酸杆菌门 (Acidobacteria) 以及放线菌门 (Actinobacteria) 的微生物组成。而在放线菌门中,假诺卡氏菌所占的比例最大^[12]。

1.3 意大利伊特拉斯坎人 (Etruscan) 墓葬壁画

伊特拉斯坎人是古代意大利西北部的古老民族,约在公元前 200 年被罗马人所征服,其居住地处台伯河和亚努河之间。伊特拉斯坎人拥有独特的文化和艺术传统,为后人留下了许多艺术珍宝。其中,位于意大利托斯卡纳区的伊特拉斯坎人墓葬始建于公元前 480 年,墓室内的壁画保存相对完好,色

泽鲜艳,画面整洁。然而,自 20 世纪 70 年代以来,壁画表面局部出现成片的白色斑点,而这些白斑也在随后被归类为微生物所导致的文物病害。最近, Marta 等^[15]通过 DGGE 和 16S rRNA 克隆文库调查发现,该墓葬壁画“白斑”中的优势微生物类群为放线菌,且主要集中在假诺卡氏菌属和诺卡氏菌属 (*Nocardia*) 这 2 个属。

1.4 甘肃省嘉峪关魏晋墓葬石砖壁画

嘉峪关魏晋壁画墓位于甘肃省嘉峪关市东北方向的戈壁滩上,于 1972 年首次被发现。该墓葬群分布绵延几十公里,其中六号墓和七号墓相距约 500 m。六号墓已经对外开放参观,而七号墓一直保持关闭状态。目前,这两座墓室内的壁画均已出现不同程度的颜料脱落现象,且部分壁画表面存在白色菌斑。武发思等^[8]采用克隆文库法对六号墓和七号墓中壁画表面的微生物群落结构进行了分析。结果显示,假诺卡氏菌为上述 2 个墓室共有的优势类群,该属微生物在六号墓和七号墓的细菌群落中分别占到了 74% 和 29%。

1.5 高句丽五盔坟 5 号墓

我国世界文化遗产“吉林集安高句丽王城、王陵及贵族墓葬”含壁画墓近 40 座^[16]。其中,唯一对游客开放的五盔坟 5 号墓建于公元 6 世纪末 7 世纪初,共有壁画 36 幅,总面积约 66.4 m²。近年,五盔坟 5 号墓壁画表面出现了大面积白色菌斑(如图 1 所示)。本课题组以不同区域的现场样品为实验材料,基于原核生物 16S rDNA 序列及真



图 1. 五盔坟 5 号墓壁面的白色菌斑

Figure 1. White biofilms covering on murals of Wukui Tomb. The bar indicates 1 cm.

核生物 ITS 序列 (Internal Transcribed Spacer, 内转录间隔区) 构建克隆文库。由文库分析结果^[7]可知,形成壁画表面菌斑的主要微生物类群为细菌,而不是真菌。并且,假诺卡氏菌在壁面微生物群落中占据绝对优势,其数量达到了文库所涵盖细菌总量的 68%。

由于假诺卡氏菌属于难以人工培养的稀有放线菌,分离、纯化过程中易收到其他细菌和丝状真菌的干扰。目前,关于假诺卡氏菌作为文物病害微生物被分离培养的实例罕有报道。本课题组将高句丽五盔坟 5 号墓细菌克隆文库的中占比最大的一株诺卡

氏菌株命名为 DGB5-1-9,将其 16S rDNA 序列 (GenBank 登录号 JX416705) 与国内外壁画和岩画类文物上检测到的同属微生物进行 BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) 比对,并使用 MEGA5.0 软件以邻接法 (Neighbor-Joining method) 构建系统发育树,绘制结果如图 2 所示。由系统发育树所提供的信息可知,DGB5-1-9 与赵飞^[17]在南京龙山风化岩石中鉴定出的假诺卡氏菌 Uncultured *Pseudonocardia* sp. clone LWM1-48 (HQ674854) 具有很近的亲缘关系,二者的 16S rDNA 序列相似性高达 99%。

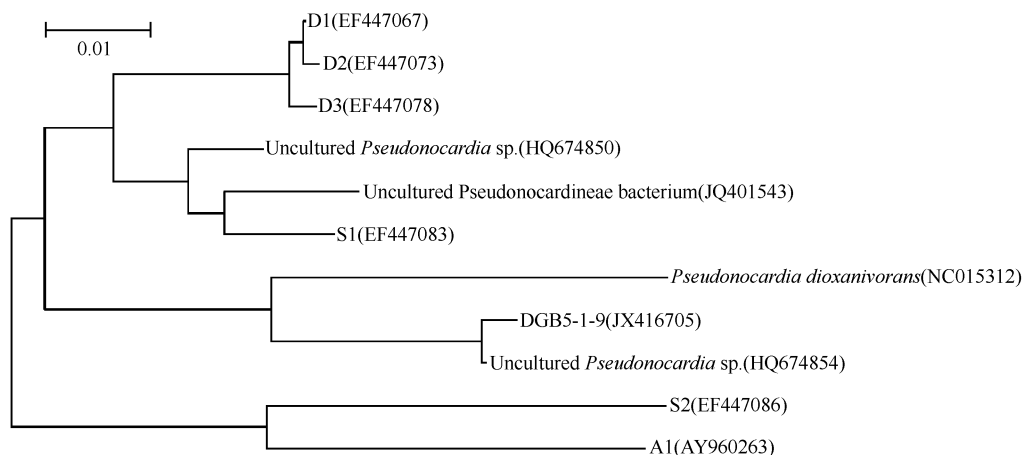


图 2. DGB5-1-9 在假诺卡氏菌属内的 16S rDNA 系统发育树

Figure 2. The neighbor-joining phylogenetic tree based on partial 16S rDNA sequences of DGB5-1-9 and some other bacteria in the genus *Pseudonocardia*. Numbers in parentheses represent the sequences accession number in GenBank. The scale bar: 1% sequence divergence. D1, D2 and D3 were detected from Doña Trinidad Cave; S1, S2 were detected from Santimamiñe Cave; A1 was detected from Altamira Cave.

2 假诺卡氏菌属微生物的生理生化特征

假诺卡氏菌属微生物,基内菌丝直径 0.3 - 2.6 μm ,分枝或不分枝。可能会有气生菌丝,直径 0.4 - 1.8 μm ,白色,聚集呈粉状或形成厚层。菌落多为无色或黄橙色。通常不会分泌可溶性色素。孢子链顶生芽殖或由基内菌丝、气生菌丝分化而来。细胞壁为 IV 型,含有树胶醛糖、半乳糖和 Meso-DAP (内消旋二氨基庚二酸),不含枝菌酸;其主要甲基萘醌是含带 8 个异戊二烯单位的四水合物维生素 K2,这是该属的一个重要生理特性^[18]。细胞壁脂肪酸的组成以 iso-分枝脂肪酸为主,比重最大的组分一般为 iso-C16 分枝脂肪酸。磷酸类脂含有磷脂酰甲基乙醇胺,磷脂酰乙醇胺和磷脂酰胆碱,不同种之

间可能存在差异。

假诺卡氏菌属内的多数种为异养需氧型,少数种可营自养。其生长最适 pH 一般为弱碱性 (pH 7.5 - 8.5)。某些种可将甲基硫化物氧化为硫酸盐,或将硝酸盐还原为亚硝酸盐^[19]。一些假诺卡氏菌能以不同类别的单糖及多糖^[20-21]作为碳源,可以在一些人工合成的琼脂固体培养基上生长,但通常生长缓慢。最低生长要求尚不明确。

3 假诺卡氏菌与壁画和岩画类文物污染之间的关联分析

在上述假诺卡氏菌属微生物的理化性质当中,与其造成壁画和岩画类文物污染的原因相关的主要是该属的营养需求以及最适 pH 值。此外,任何微生物的生长繁殖都受环境因素的制约^[22-23]。因此,

下文将对假诺卡氏菌、壁画和岩画类文物本身及其所处环境这三者之间的关联来展开论述,进而分析假诺卡氏菌在壁画或岩画上生长和富集的可能原因。

3.1 壁画和岩画所处环境

壁画作为墙壁上的艺术品,必须依靠天然洞穴或人工建筑作为创作载体。而多数古代壁画所处的洞穴或墓室,密闭性较强,其内部环境相对独立。以拉斯科洞穴、嘉峪关魏晋壁画墓、五盔坟 5 号墓为例,均属于半地下结构,走廊或墓道很长,入口与壁画区之间有一个较大的缓冲空间,洞穴或墓室内环境很少受外界影响,长期保持较为稳定的低温(10℃左右)、高湿状态,并不会随季节的更替而产生较大变化。

人们通常认为自然环境中多数生物会被动地适应其所处环境的 pH 值。然而,Portillo 等^[24]发现在阿尔亚米拉洞穴的岩画表面,假诺卡氏菌可以通过自身的代谢过程主动地改变环境 pH 值,在局部区域形成弱碱性微环境,继而快速生长形成白色菌斑(白色菌斑处 pH 值达到 8.7),对壁画造成污染。

3.2 壁画和岩画组成材料

壁画是依附于建筑物墙壁的绘画^[25],大多由 3 个主要部分组成,由内而外分别为支撑体(墙壁)、地仗层和颜料层;岩画是直接绘制在岩穴、石崖等壁面的画作,通常只有支撑体(岩石)和颜料层。上文所述假诺卡氏菌导致病害的 6 处文物古迹当中,3 处为岩画。另有 2 处壁画(嘉峪关魏晋墓、五盔坟 5 号墓)都没有地仗层,绘制工艺也更接近于岩画。即前者直接在石砖上刷灰浆作为底色,并利用一砖之框作为边界,形成一个独立的画面,即“一砖一画”^[26];后者则是将颜料直接涂刷在花岗石壁上。这可能意味着岩画和无地仗壁画容易感染假诺卡氏菌,即寡营养环境更适合该菌生长。如 Orio 等^[27]认为放线菌往往作为天然洞穴先锋菌群的原因,是它们对有机营养物很少的寡养条件的适应能力较强,率先生长,再为其他微生物提供物质基础。

上述壁画/岩画本体所含的有机物几乎只有调和矿物颜料的胶结材料(动物胶或植物胶)。胶结材料在潮湿环境下,容易遭受微生物侵染,但是经历漫长岁月的壁画/岩画,残余的胶结材料难以支持大量微生物的生长。故而,菌害成因更可能来自对壁画的人为干预,而首当其冲的是就壁画保护材料。

为了保护壁画/岩画,文物保护人员会对其进行局部加固或整体封护处理,常用的材料主要包括桃胶、明胶、熟桐油、聚醋酸乙烯酯、丙烯酸、Paraloid B72 等天然或合成高分子有机材料^[25]。然而,这些材料可能成为菌害的诱因。Cappitelli 等^[28]对 65 种常用于文物保护的有机材料产品进行调查研究后发现,其中 51 种(约 78.5%)都会被微生物降解利用。

另外一种有机物来源是其他生物,洞穴或墓室环境往往存在小型节肢动物^[29],而假诺卡氏菌属内的某些种可以利用昆虫几丁质作为主要或唯一碳源^[20,30]进行生长和繁殖。

4 总结和展望

环境中的某些微生物类群对文物所造成的影响有目共睹,而理清环境、文物本身以及病害微生物三者之间的关系,正是生物技术应用于文物保护工作的一个重要前提。以本文所述假诺卡氏菌为例,该属微生物会以多种形式对壁画类文物造成危害,但由于壁画所处自然环境和微生物群落结构的复杂性,目前还没有直接的证据来解释假诺卡氏菌与部分壁画和岩画类文物的相关性。而这一问题的解决很可能需要研究者结合分子生态学的最新发展,采用高通量测序及宏基因组分析等手段,从微生物功能生态学的角度逐渐深入地分析文物本体、文物保护材料、文物所处特定区域的生态与环境因素及相应菌群的生物学关系,进而得到一些更加明确和深入的结论。而在未来针对这一问题的研究和探索,很可能会为历史文物特别是壁画和岩画类文物的保护工作提供新的依据和思路。

致谢:感谢南开大学朱旭东教授,中国科学院微生物研究所文华安研究员、黄英研究员,南京农业大学盛下放教授在微生物学方面的指导和帮助。感谢中国文化遗产研究院马清林研究员和郭宏研究员在文物研究方面的指导和帮助。

参考文献

- [1] Carr G, Derbyshire ER, Caldera E, Currie CR, Clardy J. Antibiotic and antimalarial quinones from fungus-growing ant-associated *Pseudonocardia* sp. *Journal of Natural Products*, 2012, 75(10): 1806-1809.

- [2] Cuesta G, Soler A, Alonso JL, Ruvira MA, Lucena T, Arahal DR, Goodfellow M. *Pseudonocardia hispaniensis* sp. nov., a novel actinomycete isolated from industrial wastewater activated sludge. *Antonie van Leeuwenhoek*, 2013, 103(1): 135-142.
- [3] Kaewkla O, Franco CM. *Pseudonocardia adelaidensis* sp. nov., an endophytic actinobacterium isolated from the surface-sterilized stem of a grey box tree (*Eucalyptus microcarpa*). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2010, 60 (Pt 12): 2818-2822.
- [4] Lv ZT, Liu ZH. A review on taxonomy research of Pseudonocardia. *Microbiology China*, 1999, 26 (3): 210-215. (in Chinese)
吕志堂, 刘志恒. 假诺卡氏菌科的分类学研究进展. *微生物学通报*, 1999, 26(3): 210-215.
- [5] Stomeo F, Portillo MC, Gonzalez JM, Laiz L, Saiz-Jimenez C. *Pseudonocardia* in white colonizations in two caves with Paleolithic paintings. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2008, 62(4): 483-486.
- [6] Stomeo F, Portillo MC, Gonzalez JM. Assessment of bacterial and fungal growth on natural substrates; consequences for preserving caves with prehistoric paintings. *Current Microbiology*, 2009, 59(3): 321-325.
- [7] Ge QY, Li ZM, Sun YZ, Pan J, Wen HA. Application of molecular biological techniques in identifying pathogenic microbes on mural paintings. *Sciences of Conservation and Archaeology*, 2012, 24(2): 14-21. (in Chinese)
葛琴雅, 李哲敏, 孙延忠, 潘皎, 文华安, 郭宏. 壁画菌害主要种群之分子生物学技术检测. *文物保护与考古科学*, 2012, 24(2): 14-21.
- [8] Wu FS, Wang WF, He DP, Chen GQ, Ma YT, Zhang XD, Feng HY. Molecular techniques used to analyze the bacterial groups on mural paintings in Wei and Jin Dynasty tombs, Jiayuguan. *Dunhuang Research*, 2011, 130(6): 51-58. (in Chinese)
武发思, 汪万福, 贺东鹏, 陈港泉, 马燕天, 张晓东, 冯虎元. 嘉峪关魏晋墓腐蚀壁画细菌类群的分子生物学检测. *敦煌研究*, 2011, 130(6): 51-58.
- [9] Ma X, Mao L, Ma YT, Wu FS, Wang WF, Ma XJ, An LZ, Feng HY. A review on microbial community ecology in prehistoric Lascaux Cave paintings. *Dunhuang Research*, 2010, 124(6): 115-120. (in Chinese)
马旭, 毛琳, 马燕天, 武发思, 汪万福, 马晓军, 安黎哲, 冯虎元. 拉斯科洞穴史前壁画微生物生态学研究进展. *敦煌研究*, 2010, 124(6): 115-120.
- [10] Ma YT, W FS, Ma X, Wang WF, Ma XJ, An LZ, Feng HY. A review on a microbial community in prehistoric Altamira Cave paintings. *Dunhuang Research*, 2011, 130(6): 115-120. (in Chinese)
马燕天, 武发思, 马旭, 汪万福, 马晓军, 安黎哲, 冯虎元. 史前洞窟阿尔塔米拉(Altamira Cave)壁画微生物群落研究进展. *敦煌研究*, 2011, 130(6): 115-120.
- [11] Yu M, Zhu XD, Pan J. Advance in detection methods of microbes on historic stones. *Acta Microbiologica Sinica*, 2011, 51(11): 1447-1453. (in Chinese)
于淼, 朱旭东, 潘皎. 石质文物微生物检测技术的研究进展. *微生物学报*, 2011, 51(11): 1447-1453.
- [12] Portillo MC, Gonzalez JM, Saiz-Jimenez C. Metabolically active microbial communities of yellow and grey colonizations on the walls of Altamira Cave, Spain. *Journal of Applied Microbiology*, 2008, 104(3): 681-691.
- [13] Portillo MC, Saiz-Jimenez C, Gonzalez JM. Molecular characterization of total and metabolically active bacterial communities of "white colonizations" in the Altamira Cave, Spain. *Research in Microbiology*, 2009, 160(1): 41-47.
- [14] Soledad C, Sergio SM, Cesareo SJ, Juan CC. Microbial communities and associated mineral fabrics in Altamira Cave, Spain. *International Journal of Speleology*, 2009, 38(1): 83-92.
- [15] Diaz-Herraiz M, Jurado V, Cuezva S, Laiz L, Pallecchi P, Tiano P, Sanchez-Moral S, Saiz-Jimenez C. The actinobacterial colonization of Etruscan paintings. *Scientific Reports*, 2013, 3: 1440.
- [16] 中国文化遗产研究院, 吉林省文物局编. 高句丽墓葬壁画原址保护——前期调查与研究. 北京: 文物出版社, 2013.
- [17] 赵飞. 南京龙山钾矿物表生细菌的生物多样性及其与含钾矿物相互作用的研究. 南京农业大学博士学位论文, 2010.
- [18] Huang Y. Proposal to combine the genera *Actinobispora* and *Pseudonocardia* in an emended genus *Pseudonocardia*, and description of *Pseudonocardia zijingensis* sp. nov.. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2002, 52(3): 977-982.

- [19] Buchanan RE. 伯杰细菌鉴定手册. 第8版. 中国科学院微生物研究所《伯杰细菌鉴定手册》翻译组译. 北京: 科学出版社, 1984.
- [20] Sen R, Ishak HD, Estrada D, Dowd SE, Hong E, Mueller UG. Generalized antifungal activity and 454-screening of *Pseudonocardia* and *Amycolatopsis* bacteria in nests of fungus-growing ants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106(42): 17805-17810.
- [21] Mueller UG, Ishak H, Lee JC, Sen R, Gutell RR. Placement of attine ant-associated *Pseudonocardia* in a global *Pseudonocardia* phylogeny (*Pseudonocardiaceae*, *Actinomycetales*): a test of two symbiont-association models. *Antonie van Leeuwenhoek*, 2010, 98(2): 195-212.
- [22] Portillo MC, Gonzalez JM. Differential effects of distinct bacterial biofilms in a cave environment. *Current Microbiology*, 2010, 60(6): 435-438.
- [23] Filomena DL, Agnese I, Gabrielle Z. Chemoorganotrophic bacteria isolated from biodeteriorated surfaces in cave and catacombs. *International Journal of Speleology*, 2012, 41(2): 125-136.
- [24] Portillo MC, Gonzalez JM. Moonmilk deposits originate from specific bacterial communities in Altamira Cave (Spain). *Microbial Ecology*, 2011, 61(1): 182-189.
- [25] 郭宏, 马清林. 馆藏壁画保护技术. 北京: 科学出版社, 2011.
- [26] Hou XB. Change and development of ancient Chinese murals about production and use of materials. *Relics and Museology*, 2011, 4: 58-64. (in Chinese)
侯晓斌. 从材料的使用和制作工艺看中国古代壁画的变化与发展. 文博, 2011, 4: 58-64.
- [27] Orio C. Microbial degradation of paintings. *Applied and Environmental Microbiology*, 1999, 65(3): 879-885.
- [28] Cappitelli F, Zanardini E, Sorlini C. The biodeterioration of synthetic resins used in conservation. *Macromolecular Bioscience*, 2004, 4(4): 399-406.
- [29] Bastian F, Jurado V, Novakova A, Alabouvette C, Saiz-Jimenez C. The microbiology of Lascaux Cave. *Microbiology*, 2010, 156(Pt 3): 644-652.
- [30] Cameron RC, Michael P, John M, Jacobus JB, Johan B. Coevolved crypts and exocrine glands support mutualistic bacteria in fungus-growing ants. *Science*, 2006, (311): 81-83.

Damage to ancient mural paintings and petroglyphs caused by *Pseudonocardia* sp. – A review

Xiaoxuan Pan¹, Qinya Ge², Jiao Pan^{1*}

¹National Key Subject of Microbiology, Department of Microbiology, College of Life Sciences, Nankai University, Tianjin 300071, China

²Chinese Academy of Cultural Heritage, Beijing 100029, China

Abstract: The historical relics exposed to the natural environment during the long-term were vulnerable to microbial invasion. According to some new studies, microorganism of *Pseudonocardia* may be one of the main groups on the surface of mural paintings and petroglyphs, causing damage to the paints. Based on recent research progress, we reviewed the phenomenon according to the relationship between the ancient paintings and the growth conditions of *Pseudonocardia*, which could provide a new theory basis for the protection of cultural relics especially mural paintings and petroglyphs.

Keywords: historical relics, *Pseudonocardia*, mural paintings and petroglyphs

(本文责编: 张晓丽)

Supported by the Special Fund for Basic Scientific Research Business of Central Public Research Institutes and by the Fundamental Research Fund of Chinese Academy of Cultural Heritage(2013-JBKY-001)

* Corresponding author. Tel: + 86-22-23505961; Fax: + 86-22-23506510; E-mail: panjiaonk@nankai.edu.cn

Received: 9 October 2014/Revised: 8 December 2014