

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

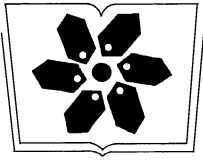
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第7期 Vol.32 No.7 **2012**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 7 期 2012 年 4 月 (半月刊)

目 次

城市生态景观研究的基础理论框架与技术构架.....	孙然好,许忠良,陈利顶,等 (1979)
拟南芥芥子酸酯对 UV-B 辐射的响应.....	李 敏,王 垠,牟晓飞,等 (1987)
蛋白核小球藻对 Pb(II)和 Cd(II)的生物吸附及其影响因素.....	姜 晶,李 亮,李海鹏,等 (1995)
梨枣在果实生长期对土壤水势的响应.....	韩立新,汪有科,张琳琳 (2004)
产业生态系统资源代谢分析方法.....	施晓清,杨建新,王如松,等 (2012)
基于物质流和生态足迹的可持续发展指标体系构建——以安徽省铜陵市为例..... 赵卉卉,王 远,谷学明,等 (2025)
河北省县域农田生态系统供给功能的健康评价.....	白琳红,王 卫,张 玉 (2033)
温郁金内生真菌 <i>Chaetomium globosum</i> L18 对植物病原菌的抑菌谱及拮抗机理..... 王艳红,吴晓民,朱艳萍,等 (2040)
基于稳定碳同位素技术的华北低丘山区核桃-小麦复合系统种间水分利用研究..... 何春霞,孟 平,张劲松,等 (2047)
云贵高原喀斯特坡耕地土壤微生物量 C、N、P 空间分布.....	张利青,彭晚霞,宋同清,等 (2056)
水稻根系通气组织与根系泌氧及根际硝化作用的关系.....	李奕林 (2066)
苹果绵蚜对不同苹果品种春梢生长期生理指标的影响.....	王西存,于 毅,周洪旭,等 (2075)
磷高效转基因大豆对根际微生物群落的影响.....	金陵波,周 峰,姚 涓,等 (2082)
基于 MODIS-EVI 数据和 Symlet11 小波识别东北地区水稻主要物候期..... 徐岩岩,张佳华,YANG Limin (2091)
基于降水利用比较分析的四川省种植制度优化.....	王明田,曲辉辉,杨晓光,等 (2099)
气候变暖对东北玉米低温冷害分布规律的影响.....	高晓容,王春乙,张继权 (2110)
施肥对巢湖流域稻季氨挥发损失的影响.....	朱小红,马中文,马友华,等 (2119)
丛枝菌根真菌对积根净离子流及锌污染下积苗矿质营养的影响.....	肖家欣,杨 慧,张绍铃 (2127)
不同 R:FR 值对菊花叶片气孔特征和气孔导度的影响.....	杨再强,张 静,江晓东,等 (2135)
神农架海拔梯度上 4 种典型森林凋落物现存量及其养分循环动态.....	刘 蕾,申国珍,陈芳清,等 (2142)
黄土高原刺槐人工林地表凋落物对土壤呼吸的贡献.....	周小刚,郭胜利,车升国,等 (2150)
贵州雷公山秃杉种群生活史特征与空间分布格局.....	陈志阳,杨 宁,姚先铭,等 (2158)
LAS 测算森林冠层上方温度结构参数的可行性.....	郑 宁,张劲松,孟 平,等 (2166)
基于 RS/GIS 的重庆缙云山自然保护区植被及碳储量密度空间分布研究..... 徐少君,曾 波,苏晓磊,等 (2174)

模拟氮沉降增加对寒温带针叶林土壤 CO₂ 排放的初期影响 温都如娜,方华军,于贵瑞,等 (2185)

桂江流域附生硅藻群落特征及影响因素..... 邓培雁,雷远达,刘 威,等 (2196)

小浪底水库排沙对黄河鲤鱼的急性胁迫..... 孙麓垠,白音包力皋,牛翠娟,等 (2204)

上海池塘养殖环境成本——基于双边界二分式 CVM 法的实证研究 唐克勇,杨正勇,杨怀宇,等 (2212)

稻纵卷叶螟绒茧蜂对寄主的搜索行为 周 慧,张 扬,吴伟坚 (2223)

农林复合系统中灌木篱墙对异色瓢虫种群分布的影响..... 严 飞,周在豹,王 朔,等 (2230)

苹果脱乙酰几丁质发酵液诱导苹果叶片对斑点落叶病的早期抗性反应.....
..... 王荣娟,姚允聪,戚亚平,等 (2239)

专论与综述

气候变化影响下海岸带脆弱性评估研究进展..... 王 宁,张利权,袁 琳,等 (2248)

外来红树植物无瓣海桑引种及其生态影响 彭友贵,徐正春,刘敏超 (2259)

问题讨论

城市污泥生物好氧发酵对有机污染物的降解及其影响因素..... 余 杰,郑国砥,高 定,等 (2271)

4 种绿化树种盆栽土壤微生物对柴油污染响应及对 PAHs 的修复 闫文德,梁小翠,郑 威,等 (2279)

研究简报

云南会泽铅锌矿废弃矿渣堆常见植物内生真菌多样性..... 李东伟,徐红梅,梅 涛,等 (2288)

南方根结线虫对不同砧木嫁接番茄苗活性氧清除系统的影响 梁 朋,陈振德,罗庆熙 (2294)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 322 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 37 * 2012-04



封面图说: 站立的仓鼠——仓鼠为小型啮齿类动物,栖息于荒漠、荒漠草原等地带的洞穴之中。白天他们往往会躲在洞穴中睡觉和休息,以避开天敌的攻击,偶尔也会出来走动,站立起来警惕地四处张望。喜欢把食物藏在腮的两边,然后再走到安全的地方吐出来,由此得仓鼠之名。它们的门齿会不停的生长,所以它们的上下门齿必须不断啃食硬东西来磨牙,一方面避免门齿长得太长,妨碍咀嚼,一方面保持门牙的锐利。仓鼠以杂草种子、昆虫等为食。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201105260705

李东伟,徐红梅,梅涛,李海燕. 云南会泽铅锌矿废弃矿渣堆常见植物内生真菌多样性. 生态学报, 2012, 32(7): 2288-2293

Li D W, Xu H M, Mei T, Li H Y. Diversity of endophytic fungi from six dominant plant species in a Pb-Zn mine wasteland in China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(7): 2288-2293.

云南会泽铅锌矿废弃矿渣堆常见植物内生真菌多样性

李东伟, 徐红梅, 梅涛, 李海燕*

(昆明理工大学生命科学与技术学院, 昆明 650500)

摘要:从云南会泽铅锌矿废弃矿渣堆上的常见植物硬毛南芥 (*Arabis hirsuta*)、毛萼香茶菜 (*Rabbosia eriocalyx*) 和倒挂刺 (*Rosa longicuspis*) 等 6 种植物的 690 个组织块中共分离得到内生真菌 495 株, 内生真菌的分离频率在 0.42—0.93 之间, 平均为 0.72, 所有植物茎内生真菌的分离频率都明显高于叶 ($P < 0.05$)。经形态学鉴定, 内生真菌分属于茎点霉属 (*Phoma*)、交链孢属 (*Alternaria*) 和派伦霉属 (*Peyronellaea*) 等 20 个分类单元, 其中茎点霉属和派伦霉属为该废弃矿渣堆上常见植物的优势内生真菌属。6 种植物内生真菌的多样性指数在 1.05—2.29 之间, 与其它非重金属污染环境植物内生真菌的多样性指数相似, 说明在重金属污染地区仍然存在多种重金属耐受的 内生真菌种类。6 种植物内生真菌的相似性系数 (0.455—0.833) 表明, 会泽铅锌矿区植物内生真菌的宿主专一性较小。

关键词: 铅锌矿废弃矿渣堆; 植物内生真菌; 多样性; 派伦霉属; 茎点霉属

Diversity of endophytic fungi from six dominant plant species in a Pb-Zn mine wasteland in China

LI Dongwei, XU Hongmei, MEI Tao, LI Haiyan*

Faculty of Life Science and Technology, Kunming University of Science and Technology, Yunnan 650500, China

Abstract: The fungi which cause asymptomatic infections in living plant tissues are called endophytic fungi. They comprise diverse groups of fungi and may protect their host plants against the insect pests and phytopathogens, as well as increase hosts fitness in extreme environments. In order to document the ecological relationship between endophytic fungi and their host plants which grown in heavy metal contaminated soils, the endophytic fungal diversity, the dominant fungi and their host specificity of six dominant plant species (*Arabis hirsuta*, *Acacia decurrens*, *Symplocos paniculata*, *Rabbosia eriocalyx*, *Arenaria serpyllifolia* and *Rosa longicuspis*) collected from the Huize Pb-Zn mine wasteland of Yunnan Province, southwest China, were investigated. A total of 495 culturable endophytic fungi were isolated from 690 stems and leaf segments of the six plant species. The isolation rate of the endophytic fungi in the six plant species ranged from 0.42 to 0.93, and the mean isolation rate was 0.72. The highest isolation rate appeared in *R. eriocalyx*, and the lowest isolation rate appeared in *Ro. longicuspis*. It was found that the isolation rate of the endophytic fungi in the stems was significantly higher than that in the leaves ($P < 0.05$, *t* test) in the six plant species. Based on their morphological characteristics, the way of spore production and spore characteristics, the sporulating isolates were identified to genus level. Non-sporulating isolates were identified as mycelia sterile and sorted into different groups based on the colony surface texture, hyphal pigmentation and growth rates after two months sporulation. The fungi were identified to 20 taxa, of which *Phoma* and *Peyronellaea* were the dominant endophytic fungi. The endophytic fungal richness of the six plant species was different. The highest endophytic fungal

基金项目: 云南省教育厅科学研究基金资助项目 (2011Y381)

收稿日期: 2011-05-26; 修订日期: 2012-02-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lhym@163.com

richness appeared in *Ara. hirsuta*, *R. eriocalyx* and *Ro. longicuspis*, from which 13 endophytic fungal taxa were obtained. While, the lowest richness appeared in *Aca. decurrens* and only nine taxa were found in it. Each plant species harboured one to two dominant fungi. The dominant fungi of *Ara. hirsuta*, *Aca. decurrens* and *R. eriocalyx* were *Phoma* and *Peyronellaea*, the relative frequency of them were 47.22% and 27.78%, 73.33% and 16%, 48.21% and 27.68%, respectively. *Alternaria* was the dominant fungi of *S. paniculata*, the relative frequency was 46.67%. The dominant fungi of *Are. serpyllifolia* were *Alternaria* and *Peyronellaea*, the relative frequency was 26.74% and 25.58%, respectively. The dominant fungi of *Ro. longicuspis* were *Phoma* and *Alternaria*, the relative frequency was 33.34% and 15.56%, respectively. The diversity index of endophytic fungi in the six plant species ranged from 1.05 to 2.29, which was similar to the diversity index of other non-polluted environments, suggesting that there are various heavy metal-resistant endophytic fungi in heavy metal contaminated areas. Besides, the diversity index of endophytic fungi from stems was 0.98—2.13, it was higher than that from leaves (0.69—1.79). Furthermore, we also found that the similarity index of the endophytic fungi in the six plant species ranged from 0.455 to 0.833, and the highest similarity index appeared in *S. paniculata* and *Ro. longicuspis* (0.833), and the lowest similarity index appeared in *Aca. decurrens* and *Ro. longicuspis*, it was only 0.455. These results indicated that the host specificity of these endophytic fungi in the Pb-Zn mine wasteland was lower.

Key Words: Pb-Zn mine wasteland; endophytic fungi; diversity; *Peyronellaea*; *Phoma*

植物内生真菌(Plant Endophytic Fungi)是指那些在其生活史的一定或全部阶段生活于健康植物组织和器官内部,而不使宿主植物表现出明显感染症状的真菌^[1]。它普遍存在于各种陆生和水生植物中,具有分布广、种类多等特点,是真菌中急待研究开发的宝贵资源。国内外学者自 20 世纪 80 年代开始,对热带、亚热带和温带植物^[2-4]、盐碱地和海洋红树林植物^[5-7]、萨王纳(Savanna)植被等不同生境植物内生真菌多样性进行了调查研究^[8],取得了丰硕的研究成果。然而,目前有关重金属污染地植物内生真菌多样性及其生态学功能研究的报道却相对较少。

会泽铅锌矿位于云南省东北部,是我国重要的铅锌矿产资源,300 多年连续不断地开采,造成了大面积严重的重金属污染,导致了周围地区植被的破坏。本研究对采自云南省会泽县者海镇废弃矿渣堆上 6 种常见植物进行了内生真菌的分离、纯化和形态学鉴定,目的在于探索云南矿区植物内生真菌的群落组成、物种多样性及生态分布规律,同时收集一批来自重金属污染地的植物内生真菌资源,为该区域耐铅锌内生真菌菌株的筛选、重金属污染的植物-微生物联合修复奠定基础。

1 材料和方法

1.1 样地

云南会泽铅锌矿土法冶炼遗址。位于云南省曲靖市,会泽县者海镇(东经 103°03'—103°55',北纬 25°48'—27°04'之间)。该遗址以土法冶炼后遗留的铅锌矿渣和煤炭炉渣为基质,占地面积 8000 多平方米,距今已有 250 多年历史,属县级文物保护单位。裸露的矿渣堆的铅锌镉含量较高,虽然经过两百多年的自然恢复过程,但是只有很少的草本植物,极少有灌木和大型木本植物生长。

1.2 样品处理

硬毛南芥(*Arabis hirsuta*)、鱼骨松(*Acacia decurrens*)、白檀(*Symplocos paniculata*)、毛萼香茶菜(*Rabdosia eriocalyx*)、蚤缀(*Arenaria serpyllifolia*)和倒挂刺(*Rosa longicuspis*)6 种植物样本于 2009 年 4 月 11 日采于云南省会泽县者海镇窝岩厂村。采样方法:在 50 m² 样地里,每种植物随机选取健康植株 10 株,剪下 3 段 2—3 年生、带有叶片的茎段,取样后立即放入塑料袋中,贴上标签带回实验室,4 °C 冰箱保藏并在 2 d 内处理完毕。

1.3 内生真菌的分离纯化

从每种植物样品中随机选取 15 段带有叶片的小茎段在自来水下冲洗干净,按下列程序进行表面消毒:体积分数 75% 乙醇漂洗 2 min、无菌水冲洗 3 次;25% 的 NaClO 溶液漂洗 2 min、无菌水冲洗 3 次,置于无菌滤纸

上吸干水分。将表面消毒后的样品剪成 0.5 cm×0.5 cm 的片段,从每种植物样品中随机选取 66 个茎片和 66 个叶片贴到 PDA 平板上,置于 27 °C 恒温培养箱中黑暗培养 3—30 d,隔天观察,发现组织块周围有菌落长出,则将菌转接入斜面,经纯化后得到内生真菌菌株^[2]。

1.4 内生真菌的鉴定

依据菌落形态、产孢方式、孢子形态特征和产孢结构进行鉴定^[9]。不产孢的菌株则接种到促孢培养基上进行促孢培养,并定期检查其产孢情况,产孢后按上述方法进行鉴定。经促孢培养后仍不产孢的菌株则根据菌落表面特征、菌丝颜色、菌丝生长速率等分为无孢类群的不同组。

1.5 统计分析方法

内生真菌的分离频率可以衡量植物组织中内生真菌的丰富程度和组织块受多重侵染的频率,而相对分离频率可以衡量植物组织中某种内生真菌的优势度,分别按以下方法计算^[10]:

$$\text{分离频率} = \frac{\text{样本组织块中得到的菌株数}}{\text{全部供试样本组织块数}}$$

$$\text{相对分离频率}(\%) = \frac{\text{样本中分到的某种内生真菌的菌株数}}{\text{分离到的总菌株数}}$$

6 种植物叶内生真菌的分离频率与茎内生真菌的分离频率之间的比较采用 SPSS 软件,进行 t 检验,当 $P < 0.05$ 时认为差异显著。

多样性指数 (H') 可以反映每种植物内生真菌的物种多样性程度,按 Shannon-Weiner 指数公式计算^[11]: $H' = -\sum P_i \times \ln P_i$,其中 P_i 是指某种内生真菌的菌株数占全部内生真菌菌株数的百分数。

相似性系数 (CS) 可以比较两种植物之间内生真菌种类组成的相似程度,按 Sorenson 系数公式计算^[11]: $CS = 2j / (a + b)$,其中 j 是两种植物共同具有的内生真菌种类数, a 是一种植物内生真菌的种类数, b 是另一种植物内生真菌的种类数。

2 结果

2.1 内生真菌分离结果

从硬毛南芥、毛萼香茶菜和倒挂刺等 6 种植物的 690 个组织块中共分离得到内生真菌 495 株,分离频率在 0.42—0.93 之间,平均分离频率为 0.72。其中毛萼香茶菜内生真菌的分离频率最高,为 0.93,倒挂刺内生真菌的分离频率最低,为 0.42,6 种植物茎内生真菌的分离频率都明显高于叶内生真菌的分离频率 ($P < 0.05$) (表 1)。

表 1 6 种云南铅锌矿废弃矿渣堆植物内生真菌的分离频率

Table 1 Isolation rate of fungal endophytes from 6 plant species in a wasteland of Huize Pb-Zn mine of Yunnan

宿主植物 Host Plant	科 Family	组织块数 Tissue Number			菌株数 Strain Number			分离频率 Isolation Rate		
		叶 Leaf	茎 Stem	合计 Total	叶 Leaf	茎 Stem	合计 Total	叶 Leaf	茎 Stem	合计 Total
		硬毛南芥 <i>Ara. hirsuta</i>	十字花科 Brassicaceae	60	54	114	35	37	72	0.58
鱼骨松 <i>Aca. decurrens</i>	茜草科 Rubiaceae	36	54	90	5	70	75	0.14	1.30	0.83
白檀 <i>S. paniculata</i>	灰木科 Symplocaceae	60	66	126	19	86	105	0.32	1.30	0.83
毛萼香茶菜 <i>R. eriocalyx</i>	唇形科 Labiatae	54	66	120	23	89	112	0.43	1.35	0.93
蚤缀 <i>Are. serpyllifolia</i>	石竹科 Caryophyllaceae	66	66	132	24	62	86	0.36	0.94	0.65
倒挂刺 <i>Ro. longicuspis</i>	蔷薇科 Rosaceae	54	54	108	21	24	45	0.39	0.44	0.42

2.2 内生真菌的组成

经鉴定,495 株内生真菌分属于茎点霉属 (*Phoma*)、交链孢属 (*Alternaria*) 和派伦霉属 (*Peyronellaea*) 等 20 个分类单元 (表 2)。其中硬毛南芥、毛萼香茶菜和倒挂刺中内生真菌种类最多,有 13 种;白檀和蚤缀中有 11 种;而鱼骨松中最少,仅有 9 种。

茎点霉和派伦霉是硬毛南芥、鱼骨松和毛萼香茶菜的优势内生真菌,其相对分离频率分别为 47.22%、73.33%、48.21% 和 27.78%、16%、27.68%;白檀的优势内生真菌为交链孢,相对分离频率为 46.67%;蚤辇的优势内生真菌为交链孢和派伦霉,相对分离频率分别为 26.74% 和 25.58%;倒挂刺的优势菌为茎点霉属和交链孢属,相对分离频率分别为 33.34% 和 15.56% (表 2)。

硬毛南芥、鱼骨松、白檀、毛萼香茶菜、蚤辇和倒挂刺 6 种植物内生真菌多样性指数分别为 1.90、1.05、1.77、1.72、1.97 和 2.29。6 种植物茎内生真菌的多样性指数在 0.98—2.13 之间,都明显高于相应植物叶内生真菌的多样性指数(0.69—1.79) (表 2)。

表 2 6 种植物内生真菌的相对分离频率和多样性(H')

Table 2 Relative frequency and diversity (H') of fungal endophytes from 6 dominant plant species in Huize Pb-Zn mine wasteland

分类单元 Taxa	内生真菌的相对分离频率 Relative frequency/%																		
	硬毛南芥 <i>Ara. hirsuta</i>			鱼骨松 <i>Aca. decurrens</i>			白檀 <i>S. paniculata</i>			毛萼香茶菜 <i>Ra. eriocalyx</i>			蚤辇 <i>Are. serpyllifolia</i>			倒挂刺 <i>Ro. longicuspis</i>			
	茎 Stem	叶 Leaf	合计 Total	茎	叶	合计	茎	叶	合计	茎	叶	合计	茎	叶	合计	茎	叶	合计	
Ascomycete	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15.00	6.67	
Mitosporic fungi	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
<i>Phoma</i> sp. 1	36.84	35.29	36.11	72.60	—	70.67	12.09	14.29	12.38	48.31	13.04	41.07	18.97	10.71	16.28	16.00	15.00	15.56	
<i>Phoma</i> sp. 2	2.63	—	1.39	1.37	—	1.33	2.20	7.14	2.86	1.12	—	0.89	3.45	3.57	3.49	12.00	25.00	17.78	
<i>Phoma</i> sp. 3	—	2.94	1.39	1.37	—	1.33	—	—	—	2.25	—	1.79	—	—	—	—	—	—	
<i>Phoma</i> sp. 4	7.89	8.82	8.33	—	—	—	1.10	—	0.95	5.62	—	4.46	6.90	—	4.65	—	—	—	
<i>Alternaria</i> sp.	2.63	2.94	2.78	4.11	—	4.00	47.25	42.86	46.67	5.62	21.74	8.93	13.79	53.57	26.74	28.00	—	15.56	
<i>Steganosporium</i> sp.	7.89	—	4.17	—	—	—	7.69	—	6.67	—	—	—	—	—	—	12.00	—	6.67	
<i>Rhizopus</i> sp.	—	—	—	—	50.00	1.33	—	—	—	2.25	4.35	2.68	—	—	—	—	—	—	
<i>Aspergillus</i> sp.	10.53	—	5.56	1.37	—	1.33	—	—	—	—	—	—	—	3.57	1.16	—	—	—	
<i>Cladosporium</i> sp.	—	—	—	—	—	—	2.20	—	1.90	—	—	—	1.72	7.14	3.49	4.00	—	2.22	
<i>Penicillium</i> sp.	—	5.88	2.78	1.37	—	1.33	—	—	—	1.12	4.35	1.79	5.17	—	3.49	—	—	—	
<i>Peyronellaea</i> sp.	15.79	41.18	27.78	15.07	50.00	16.00	12.09	7.14	11.43	21.35	52.17	27.68	29.31	17.85	25.58	8.00	10.00	8.89	
<i>Fusarium</i> sp. 1	5.26	—	2.78	—	—	—	—	—	—	1.12	—	0.89	—	—	—	—	—	—	
<i>Fusarium</i> sp. 2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.12	—	0.89	—	—	—	4.00	—	2.22	
<i>Phomopsis</i> sp.	—	—	—	—	—	—	6.59	—	5.71	—	—	—	—	—	—	4.00	—	2.22	
<i>Trichoderma</i> sp.	5.26	—	2.78	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.00	2.22
<i>Gloeosporium</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8.99	—	7.14	3.45	—	2.33	—	—	—	
<i>Monocillium</i>	2.63	2.94	2.78	—	—	—	—	14.29	1.90	—	4.35	0.89	—	—	—	4.00	25.00	13.33	
Yeast	2.63	—	1.39	2.74	—	2.67	7.69	7.14	7.62	—	—	—	13.79	—	9.30	4.00	—	2.22	
Mycelia sterilia	—	—	—	—	—	—	1.10	7.14	1.90	1.12	—	0.89	3.45	3.57	3.49	4.00	5.00	4.44	
Diversity (H')	1.99	1.42	1.90	0.98	0.69	1.05	1.71	1.67	1.77	1.64	1.35	1.72	1.98	1.43	1.97	2.13	1.79	2.29	

2.3 植物内生真菌的相似性系数

从表 3 可以看出,6 种矿区植物内生真菌的相似性系数在 0.455—0.833 之间,其中白檀与倒挂刺的相似性系数最高,为 0.833,而鱼骨松与倒挂刺的相似性系数最低,为 0.455。

表 3 6 种植物内生真菌的相似性系数

Table 3 CS of fungal endophytes from 6 dominant plant species in Huize Pb-Zn mine wasteland

	硬毛南芥 <i>Ara. hirsuta</i>	鱼骨松 <i>Aca. decurrens</i>	白檀 <i>S. paniculata</i>	毛萼香茶菜 <i>Ra. eriocalyx</i>	蚤辇 <i>Are. serpyllifolia</i>	倒挂刺 <i>Ro. longicuspis</i>
硬毛南芥 <i>Ara. hirsuta</i>						
鱼骨松 <i>Aca. decurrens</i>	0.727					
白檀 <i>S. paniculata</i>	0.667	0.500				
毛萼香茶菜 <i>Ra. eriocalyx</i>	0.692	0.636	0.583			
蚤辇 <i>Are. serpyllifolia</i>	0.667	0.700	0.727	0.667		
倒挂刺 <i>Ro. longicuspis</i>	0.615	0.455	0.833	0.538	0.583	

3 讨论

从云南会泽铅锌矿废弃矿渣堆上 6 种常见植物中共分离到内生真菌 495 株,内生真菌的分离频率在 0.42—0.93 之间,平均为 0.72,与已报道的一些非矿区植物内生真菌的分离频率相比却并不低。如干热河谷植物内生真菌的分离频率在 0.61—0.92 之间^[12],我国北方常见药用植物内生真菌分离频率在 0.70—0.93 之间^[13],高寒植物内生真菌的分离频率在 0.23—0.47 之间^[14],这说明在重金属污染植物中也广泛定殖有植物内生真菌,这些内生真菌是否具有较重的重金属耐受性,是否能增强宿主植物重金属的耐受性还有待进一步研究。此外,我们发现所有植物茎内生真菌的分离频率均明显高于叶(表 1),与之前关于叶内生真菌分离频率高于茎的报道是不同的^[12],推测这可能是由于植物叶中积累了更多的重金属从而影响了内生真菌在叶内的定殖、生长和蔓延所致^[15-17]。

内生真菌分属于 20 个分类单元(表 2)。其中,茎点霉是会泽铅锌矿废弃矿渣堆植物中分布最广的内生真菌,在所有被调查植物的茎、叶中都有分布,且相对分离频率都超过了 16.19%,在毛萼香茶菜和鱼骨松中甚至高达 48.21% 和 73.33%,通过形态特征初步确定有 4 个种,显示了一定的物种多样性。

派伦霉是会泽铅锌矿废弃矿渣堆常见植物中另一个优势内生真菌类群,从每种植物的茎、叶中都分离得到,相对分离频率高达 27.78%,但在之前的研究中,却很少从其它非矿区植物中分离得到^[18]。因此,它在重金属污染矿区的生态学功能值得进一步研究,已经开展了派伦霉属真菌菌株对铅、锌、镉重金属的耐受性、积累特征和回接植物后对植物重金属耐受性的相关研究,以期为该区域的植物-微生物联合修复打下基础。

云南会泽铅锌矿区植物内生真菌多样性指数在 1.05—2.29 之间(表 2),与已报道的非矿区植物内生真菌多样性指数相似。如柴新义等^[19]报道同样地野生青檀内生真菌多样性指数在 2.05—2.32 之间,Suryanarayanan 等^[20]报道中美洲热带落叶林植物红鸡蛋花在不同月份内生真菌多样性指数在 1.67—2.6 之间,Paulus 等^[21]报道澳大利亚热带雨林 4 种常见植物内生真菌的多样性指数在 2.96—3.76 之间。考虑到植物物种的不同,应该说矿区植物的内生真菌多样性是相当高的。由此可以推测在重金属污染地区仍然存在多种重金属耐受的共生真菌种类,而这些共生真菌的存在对矿区的生物修复具有重要意义。当然,由于本研究采用传统组织块培养法分离内生真菌,在培养基中生长缓慢或不长的菌株就可能被忽略,无孢类群菌株也没有通过分子生物学方法进一步鉴定到属,内生真菌多样性可能会比实际稍微偏低。在今后的研究中,可直接利用 DNA 序列分析法分析样品,并利用 DNA 测序鉴定无孢类群菌株,以便更确切地反映会泽铅锌矿区植物内生真菌的多样性^[22-25]。

从内生真菌相似性分析结果来看,除了鱼骨松与倒挂刺内生真菌的相似性系数小于 0.5 外,其它植物之间内生真菌的相似性都较高,表明铅锌矿区植物内生真菌的宿主专一性较小。

References:

- [1] Tejesvi M V, Kajula M, Mattila S, Pirttilä A M. Bioactivity and genetic diversity of endophytic fungi in *Rhododendron tomentosum* Harmaja. *Fungal Diversity*, 2011, 47(1): 97-107.
- [2] Arnold A E, Maynard Z, Gilbert G S, Coley P D, Kursar T A. Are tropical fungal endophytes hyperdiverse? *Ecology Letters*, 2000, 3(4): 267-274.
- [3] Hyde K D, Soyong K. The fungal endophyte dilemma. *Fungal Diversity*, 2008, 33: 163-173.
- [4] Rungjindamai N, Pinruan U, Choeyklin R, Hattori T, Jones E B G. Molecular characterization of basidiomycetous endophytes isolated from leaves, rachis and petioles of the oil palm, *Elaeis guineensis*, in Thailand. *Fungal Diversity*, 2008, 33(1): 139-161.
- [5] Ananda K, Sridhar K R. Diversity of endophytic fungi in the roots of mangrove species on the west coast of India. *Canada Journal of Microbiology*, 2002, 48(10): 871-878.
- [6] Lin Z J, Zhu T J, Fang Y C, Gu Q Q, Zhu W M. Polyketides from *Penicillium* sp. JP-1, an endophytic fungus associated with the mangrove plant *Aegiceras corniculatum*. *Phytochemistry*, 2008, 69(5): 1273-1278.
- [7] Maciá-Vicente J G, Jansson H B, Abdullah S K, Descals E, Salinas J, Lopez-Llorca L V. Fungal root endophytes from natural vegetation in Mediterranean environments with special reference to *Fusarium* spp. *FEMS Microbiology Ecology*, 2008, 64(1): 90-105.

- [8] Suryanarayanan T S, Venkatesan G, Murali T S. Endophytic fungal communities in leaves of tropical forest trees: diversity and distribution patterns. *Current Science*, 2003, 85(4): 489-493.
- [9] Barnett H L, Hunter B B. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. New York: Macmillan Publishing Company, 1987, ISBN0-02-306395-5.
- [10] Huang W Y, Cai Y Z, Hyde K D, Corke H, Sun M. Biodiversity of endophytic fungi associated with 29 traditional Chinese medicinal plants. *Fungal Diversity*, 2008, 33: 61-75.
- [11] Pielou E C. *Ecological Diversity*. New York: John Wiley and Sons, 1975: 1-165.
- [12] He C M, Wei D Q, Li H Y, Xie H W, He X L. Endophytic fungal diversity of five dominant plant species in the dry-hot valley of Yuanjiang, Yunnan Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(12): 3315-3321.
- [13] Sun J Q, Guo L D, Zang W, Ping W X, Chi D F. Endophytic fungal diversity and ecological distribution of medicinal plants. *Science China life sciences*, 2008, 38(5): 475-484.
- [14] Zhang M M, Zhang R, Wang S R. Study on the isolation of endophytic fungi from the plants grown in alpine grassland and its antifungal activity. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(7): 3072-3075.
- [15] Monnet F, Vaillant N, Hitmi A, Coudret A, Sallanon H. Endophytic *Neotyphodium lolii* induced tolerance to Zn stress in *Lolium perenne*. *Physiologia Plantarum*, 2001, 113(4): 557-563.
- [16] Gazis R, Chaverri P. Diversity of fungal endophytes in leaves and stems of wild rubber trees (*Hevea brasiliensis*) in Peru. *Fungal Ecology*, 2010, 3(3): 240-254.
- [17] Arnold A E, Lutzoni F. Diversity and host range of foliar fungal endophytes: are tropical leaves biodiversity hotspots?. *Ecology*, 2007, 88(3): 541-549.
- [18] Li H Y, Wang L, Zhao Z W. Endophytic fungi of *Jatropha curcas* and their antifungal activity. *Natural Product Research and Development*, 2006, 18(1): 78-80.
- [19] Chai X Y, Chen S L. Diversity of endophytic fungi from *Pteroceltis tatarinowii*. *Mycosystema*, 2011, 30(1): 18-26.
- [20] Suryanarayanan T S, Thennarasan S. Temporal variation in endophyte assemblages of *Plumeria rubra* leaves. *Fungal Diversity*, 2004, 15: 197-204.
- [21] Paulus B C, Kanowski J, Gadek P A, Hyde K D. Diversity and distribution of saprobic microfungi in leaf litter of an Australian tropical rainforest. *Mycological Research*, 2006, 110(12): 1441-1454.
- [22] Bridge P D, Newsham K K. Soil fungal community composition at Mars Oasis, a southern maritime Antarctic site, assessed by PCR amplification and cloning. *Fungal Ecology*, 2009, 2(2): 66-74.
- [23] Fernandes I, Duarte S, Cássio F, Pascoal C. Mixtures of zinc and phosphate affect leaf litter decomposition by aquatic fungi in streams. *Science of the Total Environment*, 2009, 407(14): 4283-4288.
- [24] Robinson C H, Szaro T M, Izzo A D, Anderson I C, Parkin P I, Bruns T D. Spatial distribution of fungal communities in a coastal grassland soil. *Soil biology and Biochemistry*, 2009, 41(2): 414-416.
- [25] U'Ren J M, Dalling J W, Gallery R E, Maddison D R, Davis E C, Gibson C M, Arnold A E. Diversity and evolutionary origins of fungi associated with seeds of a neotropical pioneer tree: a case study for analysing fungal environmental samples. *Mycological Research*, 2009, 113(4): 432-449.

参考文献:

- [12] 何彩梅, 魏大巧, 李海燕, 谢洪旺, 何秀兰. 云南元江干热河谷五种优势植物的内生真菌多样性. *生态学报*, 2011, 31(12): 3315-3321.
- [13] 孙剑秋, 郭良栋, 臧威, 平文祥, 迟德富. 药用植物内生真菌多样性及生态分布. *中国科学 (C 辑): 生命科学*, 2008, 38(5): 475-484.
- [14] 张苗苗, 张蓉, 王生荣. 高寒草地植物内生真菌的分离及其抑菌活性初探. *安徽农业科学*, 2009, 37(7): 3072-3075.
- [19] 柴新义, 陈双林. 青檀内生真菌菌群多样性的研究. *菌物学报*, 2011, 30(1): 18-26.

CONTENTS

Theoretical framework and key techniques of urban ecological landscape research SUN Ranhao, XU Zhongliang, CHEN Liding, et al (1979)

Response of sinapate esters in *Arabidopsis thaliana* to UV-B radiation LI Min, WANG Yin, MU Xiaofei, et al (1987)

Biosorption of lead (II) and cadmium (II) from aqueous solution by *Chlorella pyrenoidosa* and its influential factors JIANG Jing, LI Liang, LI Haipeng, et al (1995)

Response of pear jujube trees on fruit development period to different soil water potential levels HAN Lixin, WANG Youke, ZHANG Linlin (2004)

An approach for analyzing resources metabolism of industrial ecosystems SHI Xiaoqing, YANG Jianxin, WANG Rusong, et al (2012)

Establishment of environmental sustainability assessment indicators based on material flow and ecological footprint model in Tongling City of Anhui Province ZHAO Huihui, WANG Yuan, GU Xueming, et al (2025)

Health status evaluation of the farmland supply function at county level in Hebei Province BAI Linhong, WANG Wei, ZHANG Yu (2033)

Inhibition effects and mechanisms of the endophytic fungus *Chaetomium globosum* L18 from *Curcuma wenyujin* WANG Yanhong, WU Xiaomin, ZHU Yanping, et al (2040)

Water use of walnut-wheat intercropping system based on stable carbon isotope technique in the low hilly area of North China HE Chunxia, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (2047)

Spatial heterogeneity of soil microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus in sloping farmland in a karst region on the Yunnan-Guizhou Plateau ZHANG Liqing, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2056)

Relationship among rice root aerenchyma, root radial oxygen loss and rhizosphere nitrification LI Yilin (2066)

Effects of *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) on physiological indices of different apple cultivars WANG Xicun, YU Yi, ZHOU Hongxu, et al (2075)

Effects of P-efficient transgenic soybean on rhizosphere microbial community JIN Lingbo, ZHOU Feng, YAO Juan, et al (2082)

Detecting major phenological stages of rice using MODIS-EVI data and Symlet11 wavelet in Northeast China XU Yanyan, ZHANG Jiahua, YANG Limin (2091)

Cropping system optimization based on the comparative analysis of precipitation utilization in Sichuan Province WANG Mingtian, QU Huihui, YANG Xiaoguang, et al (2099)

The impacts of global climatic change on chilling damage distributions of maize in Northeast China GAO Xiaorong, WANG Chunyi, ZHANG Jiquan (2110)

Effect of fertilization on ammonia volatilization from paddy fields in Chao Lake Basin ZHU Xiaohong, MA Zhongwen, MA Youhua, et al (2119)

Effects of arbuscular mycorrhizal fungus on net ion fluxes in the roots of trifoliolate orange (*Poncirus trifoliata*) and mineral nutrition in seedlings under zinc contamination XIAO Jiaxin, YANG Hui, ZHANG Shaoling (2127)

The effect of red:far red ratio on the stomata characters and stomata conductance of *Chrysanthemum* leaves YANG Zaiqiang, ZHANG Jing, JIANG Xiaodong, et al (2135)

Dynamic characteristics of litterfall and nutrient return of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia, China LIU Lei, SHEN Guozhen, CHEN Fangqing, et al (2142)

Aboveground litter contribution to soil respiration in a black locust plantation in the Loess Plateau ZHOU Xiaogang, GUO Shenli, CHE Shengguo, et al (2150)

Life history and spatial distribution of a *Taiwania flousiana* population in Leigong Mountain, Guizhou Province, China CHEN Zhiyang, YANG Ning, YAO Xianming, et al (2158)

The feasibility of using LAS measurements of the turbulence structure parameters of temperature above a forest canopy ZHENG Ning, ZHANG Jinsong, MENG Ping, et al (2166)

Spatial distribution of vegetation and carbon density in Jinyun Mountain Nature Reserve based on RS/GIS XU Shaojun, ZENG Bo, SU Xiaolei, et al (2174)

Early nitrogen deposition effects on CO₂ efflux from a cold-temperate coniferous forest soil WENDU Runa, FANG Huajun, YU Guirui, et al (2185)

Epilithic diatom assemblages distribution in Gui River basin, in relation to chemical and physiographical factors DENG Peiyan, LEI Yuanda, LIU Wei, et al (2196)

Acute stress caused by sand discharging on Yellow River Carp (*Cyprinus carpio*) in Xiaolangdi Reservoir SUN Luyin, Baiyinbaoligao, NIU Cuijuan, et al (2204)

Environmental cost of pond aquaculture in Shanghai: an empirical analysis based on double-bounded dichotomous CVM method TANG Keyong, YANG Zhengyong, YANG Huaiyu, et al (2212)

Host searching behaviour of *Apanteles cypris* Nixon (Hymenoptera: Braconidae) ZHOU Hui, ZHANG Yang, WU Weijian (2223)

The effect of hedgerows on the distribution of *Harmonia axyridis* Pallas in agroforestry systems YAN Fei, ZHOU Zaibao, WANG Shuo, et al (2230)

Induction of early resistance response to *Alternaria alternate* f. sp. *mali* in apple leaves with apple and chitosan fermentation broth WANG Rongjuan, YAO Yuncong, QI Yaping et al (2239)

Review and Monograph

Research into vulnerability assessment for coastal zones in the context of climate change WANG Ning, ZHANG Liquan, YUAN Lin, et al (2248)

Introduction and ecological effects of an exotic mangrove species *Sonneratia apetala* PENG Yougui, XU Zhengchun, LIU Minchao (2259)

Discussion

Degradation of organic contaminants with biological aerobic fermentation in sewage sludge dewatering and its influencing factors YU Jie, ZHENG Guodi, GAO Ding et al (2271)

Remediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) using four greening tree species YAN Wende, LIANG Xiaocui, ZHENG Wei, et al (2279)

Scientific Note

Diversity of endophytic fungi from six dominant plant species in a Pb-Zn mine wasteland in China LI Dongwei, XU Hongmei, MEI Tao, et al (2288)

Effects of *Meloidogyne incognita* on scavenging system of reactive oxygen species in tomato seedlings grafted with different rootstocks LIANG Peng, CHEN Zhende, LUO Qingxi (2294)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

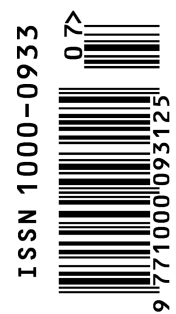
第 32 卷 第 7 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 7 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 1000717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@espg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 1000717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元