

# 湘锰国家矿山公园植被恢复重建研究

林 杨<sup>1</sup>, 文仕知<sup>2</sup>, 王德明<sup>3</sup>

(1. 中南林业科技大学 风景园林学院, 湖南 长沙 410004; 2. 中南林业科技大学 教务处, 湖南 长沙 410004;

3. 中南林业科技大学 商学院, 湖南 长沙 410004)

**摘 要:**原生植被在矿产开采过程中遭受严重破坏并形成残存斑块, 最终消失, 导致区域生态系统功能发生退化, 对湘锰国家矿山公园分别种植筛选栎树(*Koelreuteria paniculata*)、香樟(*Cinnamomum camphora*)、泡桐(*Paulownia fortunei* (Seem.) Hemsl.)、藜蒺栲(*Castanopsis fissa*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*) 5 种乔木作为优势种构建长效植物群落及 13 种植物进行陆地矿渣山体及湿地的植被保育和恢复重建研究, 以期为其它矿区受损生境的植被恢复与重建工作提供参考。结果表明: 陆地植被恢复中栎树的效果最好; 湿地植物的恢复重建中, 成功筛选了 9 种植物可进行湿地植被恢复, 其中对 Mn 富集能力最强的为紫叶美人蕉(*Canna warscewiczii*)、再力花(*Thalia dealbata*)、苧麻(*Boehmeria nivea*)。

**关键词:**植被恢复; 重金属污染; 湿地植物; 陆地植物; 湘潭锰矿

**中图分类号:**Q 948.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)08-0074-07

目前矿区环境问题主要表现在土、水与生态环境质量的严重下降、水土流失、地质结构变化、植被破坏、生物多样性下降等多方面的危害, 进而导致整个生态系统的功能退化<sup>[1-3]</sup>。要想恢复矿区生态系统功能, 修复遭到破坏的生态环境, 为当地居民营造一个良好的生存环境, 并且对公园及其周边的景观环境进行美化, 植被恢复和重建是首要任务<sup>[4-6]</sup>, 而位于矿区的植被恢复重建非常复杂, 不仅陆地区域需要进行恢复, 还要考虑受到重金属污染的湿地恢复<sup>[7]</sup>, 并且矿区植被恢复不仅要从技术层面考虑, 还要从政策层面考虑, 同时要兼顾多方利益<sup>[8]</sup>。结合重金属矿区进行植被恢复重建的研究不多, 而如何科学合理的保护当地现有的植物资源, 引进新的耐重金属污染的植物, 进而修复矿区受损的生态环境则是一个全新的课题。

目前, 重金属矿区的植被恢复存在很多问题, 以往研究仅仅考虑植物的重金富集程度然后再种植相关植物, 这类型植物多以灌木和草本居多<sup>[9-10]</sup>, 而很少考虑生

态系统中植物群落演替和稳定性、景观效益和经济增值等问题, 导致恢复设计的思想落后, 植物选择中重草本、灌木, 少用乔木; 很少有考虑恢复植物的不同季节的景观效益以及污染治理、污染物资源化与经济增值等其它综合效益<sup>[11-14]</sup>。该试验对湘锰国家矿山公园分别种植筛选栎树(*Koelreuteria paniculata*)、香樟(*Cinnamomum camphora*)、泡桐(*Paulownia fortunei* (Seem.) Hemsl.)、藜蒺栲(*Castanopsis fissa*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*) 5 种乔木作为优势种构建长效植物群落及 13 种植物进行陆地矿渣山体及湿地的植被保育和恢复重建研究, 以期为其它矿区受损生境的植被恢复与重建工作提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

湘锰国家矿山公园位于原湘潭锰矿尾矿矿渣堆积区, 地处湖南省湘潭市西北郊, 距湘潭市 14 km, 地理坐标为东经 112°45'~112°55', 北纬 27°53'~28°03'。湘潭锰矿经过 1913~2001 年 88 年的开采, 锰矿资源开采殆尽, 剩下的就只有受到严重污染的环境和裸露的矿渣山体。2011 政府计划对当地地质灾害和生态环境进行全面整治; 同时规划了建设国家矿山公园的项目-湘锰国家矿山公园, 以期全面解决湘锰地区生态环境问题。

植被恢复重建示范工程于 2011 年展开, 位于原湘潭锰矿青山露采区内, 区内大部分山体是由不同年代矿渣堆积而成, 原生土壤在矿渣山体以下数十米。区域内有 2 块湿地, 水域面积为 26 680 m<sup>2</sup>, 污染非常严重, 主要来自原有矿区的采矿废水、废渣(图 1), 同时这

**第一作者简介:**林杨(1979-), 男, 湖南长沙人, 博士研究生, 讲师, 研究方向为景观与生态修复。E-mail: 842573083@qq.com.

**责任作者:**文仕知(1958-), 男, 湖南衡阳人, 博士, 教授, 博士生导师, 现主要从事水土保持与荒漠化防治等教学与科研工作。E-mail: wenshizhi@163.com.

**基金项目:**湖南省“十二五”重点学科(风景园林学)资助项目(湘教发[2011]76 号); 国家环保公益性行业科研专项资助项目(200909066)。

**收稿日期:**2013-12-10

2 块湿地也成为周边区域的污染源。2010 年监测陆地矿渣山体土壤中重金属含量极高,其中平均锰含量达到 18 056.9 mg/kg、铅含量达到 3 194.6 mg/kg、锌含量达到 3 222.4 mg/kg、铬含量达到 32.9 mg/kg,湿地水质呈酸性,pH 值平均为 5.2,水体中重金属含量非常高,其中锰平均含量达到 28.05 mg/L。

植被修复面临的主要问题是:湿地中水质常年呈酸性;矿渣堆积区水土流失严重(图 2);陆地与湿地重金属污染严重(图 3、4);地质结构不稳定;陆地主要是以矿渣为主,无原生土壤;矿渣山体颜色为黑色,夏季最高温度可达 68℃。

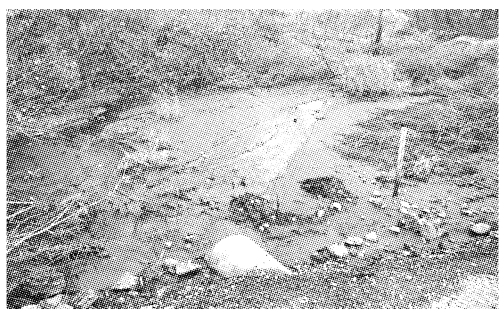


图 1 非法排污

Fig. 1 Illegal discharges

注:文中照片均为林杨拍摄。



图 2 矿渣山体水土流失

Fig. 2 Soil erosion of slag mountain



图 3 污染湿地冬季景观

Fig. 3 Winter landscape of polluted wetland



图 4 污染湿地夏季景观

Fig. 4 Summer landscape of polluted wetland

## 1.2 试验方法

1.2.1 现有植物群落调查 通过当地植物群落调查分析,了解公园内现存植物群落多样性现状、群落特征及各植物的重要值排列等基础信息。采用网格法,对公园区域内的植物群落进行系统布点。全面调查研究区植物群落及其生境。每个样地设置 3~5 个重复样方。群落的样方面积为 20 m×30 m,样方调查内容包括植物群落调查、环境因子和重要物种生态属性的测定,包括植物群落剖面图的绘制。重点精查湘潭锰矿地区具有地带性、特有、稀有、濒危以及耐重金属能力或者重要经济价值的群落。在样地内选取独立样方,每个样方边长为 20 m×30 m,调查其中所有乔木的高度、胸径和数量;每个乔木样方内选择面积为 10 m×10 m 的 2 个对角小样方进行灌木种数及株数统计;选择样方四角和中心点上 5 个 1 m×1 m 的草本小样方记录测量每种草本植物的物种数和株数。共调查乔木样方 90 个,灌木样方 180 个,草本样方 442 个。

1.2.2 植物筛选原则 筛选出的植物要求具备较强的耐重金属污染的适应能力;具有较强的重金属富集能力,并且要求生物量比较大;具有一定的美学价值和经济价值;湿地恢复植物要求能够适应湿地的特殊生境。

1.2.3 植物种植模式 根据群落调查的结果和筛选的原则确定植被恢复试验植物。2010 年 3 月开始对公园植被进行恢复重建试验,其中陆地植被试验种植面积为 10 000 m<sup>2</sup>,2011 年 3 月根据试验种植情况,将死亡或者濒临死亡的植株清除,补植成活率较高、长势最好的树种,并增加植被恢复重建面积到 40 000 m<sup>2</sup>;湿地植被恢复试验中将试验植物种植在湿地边缘,选择人工干扰较少、地形平坦的区域,每种种植 3 株,行间距为 1 m,种植 5 个月,收获所有植物,进行生物学研究,2011 年 3 月,在湿地中种植成活率高、长势较好的 9 种植物,将湿地植被恢复重建示范面积扩大到 13 000 m<sup>2</sup>。陆地植物恢复试验模式:首先对场地进行平整(图 5),挖掘种植穴(图 6),然后栽种筛选的 5 种乔木,包括栾树(*Koelreuteria paniculata*)(图 7、8)、香樟(*Cinnamomum camphora*)、泡桐(*Paulownia fortunei* (Seem.) Hemsl.)(图 9、10)、藜蒺(*Castanopsis fissa*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*),行



间距、株间距均为 2 m,以期建立以乔木观赏植物为优势种的长效植物群落以及越冬植物群落,建立适合不同季节的 4 类植物组合模式;利用自然生态系统功能吸引昆虫与鸟类,形成较为完整的复合生态系统。这样还可以有效的减少水土流失和地表径流,同时通过植物的富集作用,可以减弱环境重金属污染。湿地植物恢复试验模式:筛选 13 种植物进行前期适应性试验种植,包括香菇草(*Hydrocotyle vulgaris*)、紫叶美人蕉(*Canna war-*

*scewiczii*)、小叶女贞(*Ligustrum quihoui*)、夹竹桃(*Nerium oleander*)、花叶芦竹(*Arundo donax*)、再力花(*Thalia dealbata*)、梭鱼草(*Pontederia cordata*)、苕麻(*Boehmeria nivea*)、水葱(*Softstem bulrush*)、德国鸢尾(*Iris germanica*)、菖蒲(*Acorus calamus*)、香蒲(*Typha orientalis*)、芦苇(*Phragmites australis*),以期在湿地中繁殖培育多种观赏和经济植物,实现污染治理、污染物资源化与经济增值等多重效益。



图 5 矿渣平整现场  
Fig. 5 Site of clearing slag



图 6 矿渣种植穴  
Fig. 6 Plant pits in slag planting hole



图 7 栾树苗  
Fig. 7 Seedlings of *Koelreuteria paniculata*



图 8 栾树苗种植 1 个月后  
Fig. 8 Seedlings of *Koelreuteria paniculata* planted one month later



图 9 泡桐苗  
Fig. 9 Seedlings of *Paulownia fortunei* (Seem.) Hemsl.



图 10 泡桐苗种植 1 个月后  
Fig. 10 Seedlings of *Paulownia fortunei* (Seem.) Hemsl. planted one month later

1.2.4 植物检测 对植被恢复试验中的植物进行检测,分析不同植物生长情况与环境的关系<sup>[15]</sup>。鲜重增量测量:湿地恢复试验植物在种植 5 个月后,将测试区植物全部收获称重,称重同种植物前后 2 次重量之差为植物生长增量,取其平均值,求出生长率。重金属含量测量:陆地和湿地植物不同部位样品送至实验室并清理干净,于烘箱 120℃ 杀青 30 min,调至 80℃ 到恒重。将上述植物烘干到恒重的样品粉碎,取 2 g 样品置于瓷坩埚中,用马沸炉调至 300℃,加热 30 min 至无烟,再将温度调制 500℃,120 min,最后冷却。加 1:1 盐酸 2 mL,溶解灰分,过滤于 100 mL 容量瓶中,最后再用原子吸收仪测出各样品重金属浓度(mg/L)。

### 1.3 数据分析

野外植物群落调查的优势种按重要值大小确定,通过单因素方差法检验环境对植物群落多样性指数的影响。植物群落的生物多样性指数通过 R 语言实现。植物群落的单因素方差分析通过 SPSS 19.0 进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 植被状况

2.1.1 生长状况 在陆地植被恢复进行一年后,只有泡

桐和栾树成活,长势良好,栾树的成活率达到 97.43%,而泡桐成活率只有 65.83%;香樟仅存 1 株,而藜蒴、刺槐全部死亡;栾树的高度为 2.0 m,平均增长 66.7%,地径平均为 1.8 cm,增长 80%;泡桐平均高度达到 2.0 m,胸径平均达到 6.1 cm。湿地植被恢复试验中,香菇草、小叶女贞全部死亡;花叶芦竹、菖蒲长势很差,大部分死亡,存活的只剩下枯萎的枝干。剩余的 9 种植物目测植株体表征,苕麻、芦苇、紫叶美人蕉长势最好;再力花、夹竹桃、水葱长势较好;然后是香蒲、梭鱼草和德国鸢尾。从生物鲜重增量分析,再力花、苕麻、紫叶美人蕉和芦苇增长最大,百分比增量分别达到 221%、180%、140%和 139%;而香蒲、夹竹桃、梭鱼草、水葱和德国鸢尾的百分比增量为 94%、75%、68%和 29%;花叶芦竹、菖蒲鲜重则分别下降了 92%和 86%。由当地管理部门捐赠的景观树种池杉、垂柳全部死亡。

2.1.2 植物体内重金属含量 植物重金属含量是植物筛选的重要依据,其反映各种植物对重金属的耐受性,是评价植物在当地重金属污染地区适应能力的关键指标。在陆地植被恢复中选择栾树进行重金属含量分析,栾树体内重金属以锰(Mn)为主,同时还伴随有其它重金

属,主要是铜(Cu)、锌(Zn)、镉(Cd)。分别对试验种植栾树和当地非矿区的栾树的树干、树枝、树叶、树皮和树根中的Mn、Cu、Zn、Cd 4种重金属元素含量进行对照,分析栾树耐重金属污染的机理。结果表明,试验种植栾树Mn在植物体内含量顺序为叶>皮>根>枝>干;非矿区的栾树Mn在植物体内含量顺序为叶>枝>皮>根>干。其中试验种植栾树的叶、枝、皮、根、干中Mn含量分别是非矿区栾树的4.07、1.26、1.92、2.35、1.14倍,说明栾树能有效的将根中的Mn转移到叶部分,避免了

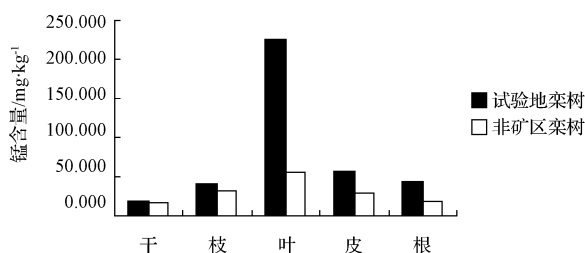


图 11 试验种植栾树与非矿区栾树锰含量

Fig. 11 Mn content of *Koelreuteria paniculata* in mining area and non-mining area

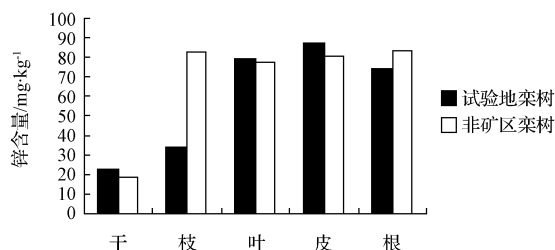


图 13 试验种植栾树与非矿区栾树锌含量

Fig. 13 Zn content of *Koelreuteria paniculata* in mining area and non-mining area

主要重金属测试类型和栾树重金属类型测试一致。对植物地上部分和地下部分分别进行重金属含量检测(图 15),地上部分植物体内Mn含量顺序为紫叶美人蕉>苕麻>再力花>香蒲>梭鱼草>水葱>德国鸢尾>夹竹桃>芦苇;地下部分植物体内Mn含量顺序为紫叶美人蕉>再力花>梭鱼草>夹竹桃>德国鸢尾>水葱>苕麻>香蒲>芦苇。所有植物体内锰含量远高于其它3种重金属。综合地上、地下部分植物体内Mn含量最高的为紫叶美人蕉、再力花、苕麻;Cu含量最高的为再力花、水葱、紫叶美人蕉(图 16);Zn含量最高的为紫叶美人蕉、再力花、水葱、香蒲(图 17);Cd含量最高的为芦苇、水葱、再力花(图 18)。所有重金属吸收总量顺序为紫叶美人蕉>再力花>苕麻>梭鱼草>香蒲>水葱>德国鸢尾>夹竹桃>芦苇。在9种植物中,对4种重金属都具有较强吸附能力的是再力花,而对3种重金属都具有

根部Mn的积累,减少重金属的积累对植株的影响(图 11)。Cu在试验种植栾树体内含量顺序为根>干>皮>枝>叶;非矿区Cu在栾树体内含量顺序为枝>皮>叶>根>干(图 12)。Zn在试验种植栾树体内含量顺序为皮>叶>根>枝>干;非矿区Zn在栾树体内含量顺序为根>枝>皮>叶>干(图 13)。Cd在试验种植栾树体内含量顺序为皮>叶>枝>根>干;非矿区Cd在栾树体内含量顺序为枝>皮>干>叶>根(图 14)。湿地植被恢复中对长势较好的9种植物进行重金属含量分析,

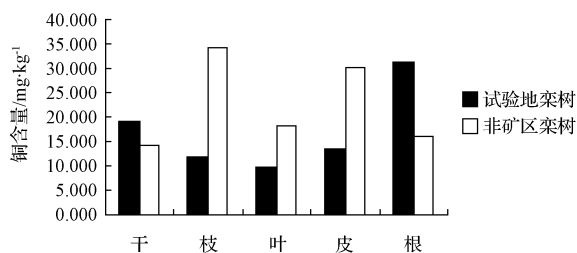


图 12 试验种植栾树与非矿区栾树铜含量

Fig. 12 Cu content of *Koelreuteria paniculata* in mining area and non-mining area

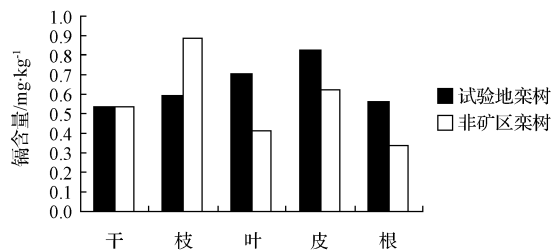


图 14 试验种植栾树与非矿区栾树镉含量

Fig. 14 Cd content of *Koelreuteria paniculata* in mining area and non-mining area

较强吸附能力的是紫叶美人蕉。这些不同植物体内重金属含量的差异,为科学进行湿地植被恢复提供了依据。

## 2.2 环境因子变化

2.2.1 陆地植被恢复区现状 对陆地矿渣区域进行植被恢复与重建研究,经过2年有效整治,取得了明显的生态效益,环境得到改善(表 1)。其中小气候改善明显,最高温度和最低温度的差异减少,相对湿度有一定程度的提高,极端恶劣生境已经向良性转化,为生物多样性的改善奠定了环境基础,达到通过植被恢复重建矿渣山体的生态系统的初步目标。土壤因子中的容重有所减小说明土壤肥力状况有所改善,土壤变得疏松,更有利于透水、通气以及植物扎根;毛管持水量和孔隙度的增加对植物的生长非常重要,改善了土壤的通气状况,并且使土壤中微生物更加有效对土壤腐殖质进行腐熟,另一

方面土壤孔隙度增加可以促进土壤中水分的运动,可以保证恢复植物根系的水分和营养的吸收;对照区域的矿渣处于板结状态,不利于土壤微生物的活动、繁殖和对土壤的有益改造。再加上植被的林冠层和枯枝落叶层

的作用,植被恢复区有效防止雨水直接溅击地表,有利于雨水的下渗,并减弱了地表径流和水土流失,同时改善了其它植物和土壤动物的生境。

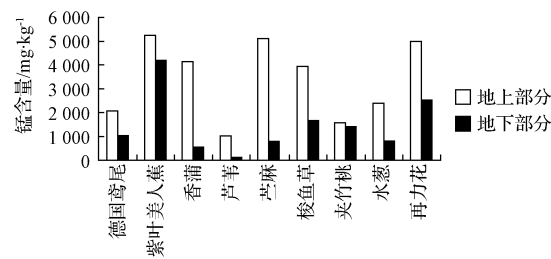


图 15 湿地植物地上部分与地下部分锰含量  
Fig. 15 Mn content in underground portion and aboveground portion of wetland plants

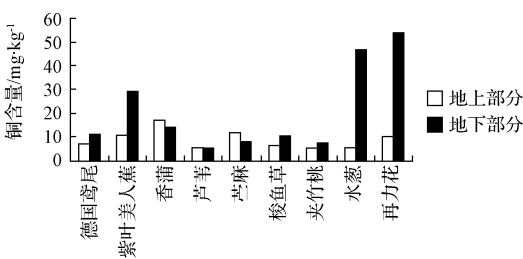


图 16 湿地植物地上部分与地下部分铜含量  
Fig. 16 Cu content in underground portion and aboveground portion of wetland plants

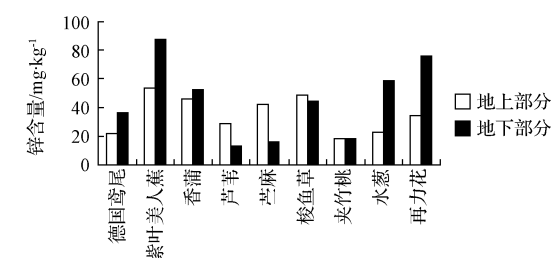


图 17 湿地植物地上部分与地下部分锌含量比较  
Fig. 17 Zn content in underground portion and aboveground portion of wetland plants

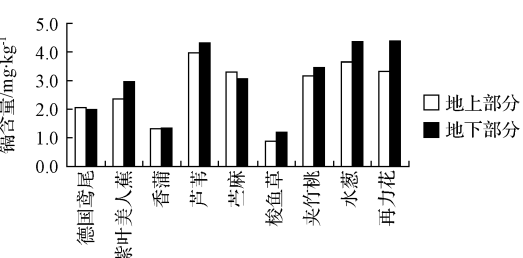


图 18 湿地植物地上部分与地下部分镉含量比较  
Fig. 18 Cd content in underground portion and aboveground portion of wetland plants

表 1 陆地植被重建后环境因子比较(2013 年 7 月)

Table 1 Comparison of environmental factors after terrestrial vegetation restoration(July 2013)

类型 Type	测点 Site	小气候 Microclimate			土壤 Soil		
		最高温度 Max temperature/℃	最低温度 Min temperature/℃	相对湿度 Relative humidity/%	土壤容重 Soil bulk density/g·cm <sup>-3</sup>	毛管持水量 Capillary water holding capacity/mm	总孔隙度 Total soil porosity/%
陆地矿渣恢复	林内	42.7	20.8	72.4	1.31	59.11	52.26
	林外	67.9	21.5	51.0	1.42	42.21	44.28

2.2.2 湿地水体重金属污染现状 公园湿地多年来一直受到严重的重金属污染,恢复湿地植被与生境的关键就是改变湿地水体的重金属污染现状。检测中显示水体中重金属污染并非单一污染,各种重金属的浓度很高,致使原有的动植物中毒,甚至死亡。监测水样的重金属有的已形成有机化合物(如有机铅等),比相应的金属无机化合物毒性要强得多。试验湿地的水环境状况,虽经过人为植被恢复,但湿地中检测的水样中重金属含量变化不大,原因是由于湿地面积过大,植被恢复时间过短,所以效果不明显,最主要的是湿地水体底部本身淤积多年的重金属矿渣,在一定情况下,淤泥中的重金属会再次释放到水体中(表 2)。通过对湿地植物体内重金属含量的检测后得出,紫叶美人蕉、芡实、再力花等 9 种植物吸收了大量的 Mn 和其它重金属污染。说明水

生植物在改善湿地生境中起到了一定的作用,减少了重金属的总量。

表 2 湿地植被重建后水环境比较(2013 年 7 月)

Table 2 Comparison of water environmental factors after the wetland vegetation restoration(July 2013)

类型 Type	测点 Site	pH 值	Mn 含量 /mg·L <sup>-1</sup>	Cu 含量 /mg·L <sup>-1</sup>	Zn 含量 /mg·L <sup>-1</sup>	Cd 含量 /mg·L <sup>-1</sup>
湿地植被恢复	植被恢复湿地	5.3	26.86	0.02	2.65	0.06
被恢复	对照湿地	5.2	27.03	0.02	2.66	0.08

2.3 植物多样性变化

对公园内陆地、湿地植被进行恢复与重建研究,经过 2 年有效整治,植物多样性有了明显变化,从多样性角度来看,未进行植被恢复重建前,20 m×30 m 的调查样方内的所有植物丰富度指数为 3.00±0.47;所有植物辛普森多样性指数为 0.32±0.08,经过植被恢复后,丰



富度指数提高到  $6.40 \pm 0.31$ ; 辛普森多样性指数提高到  $0.71 \pm 0.01$ , 经过单因素方差分析  $P < 0.05$ , 植被恢复前后多样性差异显著, 乔木和草本的多样性变化趋势也和所有植物的多样性变化趋势类似, 乔木、草本植物在恢复前后的多样性差异显著; 恢复前灌木的丰富度指数为  $1.40 \pm 0.31$ ; 辛普森多样性指数为  $0.14 \pm 0.61$ , 经过植被恢复后, 丰富度指数变为  $0.64 \pm 0.15$ ; 辛普森多样性指数变为  $0.06 \pm 0.11$ , 经过单因素方差分析  $P > 0.05$ , 植被恢复前后多样性差异不显著。

从植物群落组成而言, 未进行植被恢复前, 调查共有植物 53 种, 为典型亚热带之植物类群, 其中草本 36



图 19 矿渣山体植被恢复景观

Fig. 19 Landscape of slag mountain vegetation restoration

种, 灌木与乔木为 17 种, 恢复前整个区域零星分布有乌桕、泡桐等乔木, 而大量分布盐肤木、八棱麻和白背叶等灌木, 其中盐肤木的重要值达到 47.40%, 草本植物中主要分布五节芒、白茅、狗牙根等, 五节芒重要值达到 62.89%; 其中湿地植物主要是芦苇。2013 年再调查, 共有植物 61 种, 其中草本 41 种, 主要的优势植物为狗尾草, 其重要值为 17.38%。灌木和乔木共有 20 种, 乔木的种类明显增加, 达到 8 种, 其中以栎树和泡桐为主要建群优势树种, 灌木的种类有所减少, 变为 12 种, 而主要的优势植物变为黄荆, 其重要值为 28.65%。



图 20 湿地植被恢复景观

Fig. 20 Landscape of wetland vegetation restoration

### 3 结论与讨论

该试验结果表明, 如何有效控制重金属污染是公园恢复植被的关键因子, 只有选择耐重金属的植物作为先锋物种和建群种, 才能恢复受损的生境, 使生态系统向良性循环的方向发展。陆地植被恢复中, 栎树作为最有效的树种, 其叶、根、皮对 Mn 有极强的吸收能力, 对于整个公园的生态环境恢复而言, 可以作为锰污染区域的植物修复首先乔木物种。并且试验证明, 对于多种重金属污染, 栎树依然可以成活, 并且长势良好, 说明栎树对重金属的适应能力极强。紫叶美人蕉、再力花、芒麻最适合在锰污染湿地进行植被恢复。湘锰国家矿山公园的锰污染, 还伴随着其它重金属(铜、锌、镉), 这些重金属对整个生态环境也造成了一定的影响, 所以综合考虑其它重金属的污染控制是非常有必要的问题。分析植被恢复试验中死亡和长势较差的植物, 得到植物地下部分的重金属含量与地上部分的重金属含量差异过大, 重金属在地下部分积累而不能有效转移到地上部分去, 可能是导致植物长势不好甚至死亡的一个原因。

公园植被恢复的主要目的是恢复受损的自然环境, 保证生态功能的发挥, 并尽可能的提高经济效益和社会效益, 以实现公园社会、经济、生态三方面协调发展, 植被恢复工程不仅可以有效的恢复自然环境, 还能在保护植物资源的同时, 带来可观的经济效益, 将过去的破坏性的开发方式变为合理的利用, 真正做到可持续发展。

### 参考文献

- [1] 牛丽君, 梁宇, 王绍先, 等. 长白山自然保护区风灾区植被恢复评价[J]. 生态学报, 2013, 32(9): 2375-2381.
- [2] 王耀平, 白军红, 肖蓉, 等. 黄河口盐碱滩湿地土壤-植物系统重金属污染评价[J]. 生态学报, 2013, 33(10): 3083-3091.
- [3] Bai J H, Huang L B, Yan D H, et al. Contamination characteristics of heavy metals in wetland soils along a tidal ditch of the Yellow River Estuary, China[J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2011, 25(5): 671-676.
- [4] 潘树林, 辜彬, 邵凤超. 浙江舟山市岙山油库人工坡面植被恢复[J]. 北方园艺, 2012(7): 96-101.
- [5] 邵凤超, 彭国涛, 许小娟, 等. 边坡植被恢复技术体系及应用模式[J]. 北方园艺, 2010(19): 127-130.
- [6] 程曼, 朱秋莲, 刘雷, 等. 宁南山区植被恢复对土壤团聚体水稳定及有机碳粒径分布的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(9): 2835-2844.
- [7] Laing G D, Vandecasteele B, Grauwé P D, et al. Factors affecting metal concentrations in the upper sediments layer of intertidal reedbeds along the river Scheldt[J]. Journal of Environmental Monitoring, 2007, 9(5): 449-455.
- [8] 胡森, 李绍才, 孙海龙, 等. 都汶高速公路岩石边坡植被恢复物种选择及评价[J]. 北方园艺, 2011(5): 132-136.
- [9] 于燕华, 艾应伟, 辜彬, 等. 铁路路堑边坡植被恢复调查研究[J]. 北方园艺, 2008(5): 94-98.
- [10] 朱凯华, 潘树林, 尹金珠, 等. 舟山本岛岩质边坡植被恢复植物多样性及群落演替[J]. 北方园艺, 2012(5): 108-112.
- [11] 漆良华, 张旭东. 湘西北小流域植被恢复综合效应评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2013, 37(2): 71-77.
- [12] 郑华, 欧阳志云, 王效科, 等. 不同森林恢复类型对南方红壤侵蚀区土壤质量的影响[J]. 生态学报, 2004, 24(9): 1994-2002.

# 影响花籽山药脱毒试管苗快繁的因素

张丽霞<sup>1</sup>, 郭利平<sup>2</sup>

(1. 安阳工学院 生物与食品工程学院, 河南 安阳 455000; 2. 河南省护理职业学院, 河南 安阳 455000)

**摘要:**以花籽山药为试材,研究了植物生长物质、光(或光质)、培养方式等因素对花籽山药试管苗快繁的影响。结果表明:最适宜的培养基为 MS+激动素(KT) 2.0 mg/L+萘乙酸(NAA) 0.02 mg/L+多效唑(PP<sub>333</sub>) 0.1 mg/L;最适宜的光质和培养方式为在蓝光和白光下的液体培养,且液体摇床振荡培养后静止培养的效果较好;此外,带叶茎段较不带叶茎段繁殖系数高。

**关键词:**花籽山药;试管苗;快繁;植物生长物质;光;培养方式

**中图分类号:**S 632.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)08-0080-03

花籽山药(*Huazi Dioscorea opposita* Thunb.)也称水山药或菜山药,是豫北地区的主要山药品种,它含有皂甙、粘液质、胆碱、尿囊素、淀粉、糖蛋白、氨基酸、淀粉酶、多酚氧化酶、维生素 C、钙、磷、铁、锰、甘露聚糖、植酸等几十种营养成分,药用价值高,具有良好的降血压、降血脂、养心肝、补胃脾之功效,有抑癌作用,自古药菜并用。经常食用能健身强体,延缓衰老,具有独特的药用

和食用价值。

脱毒及离体快繁技术,是目前植物组织培养中应用最多、最广泛和最有成效的一个方法。实践证明,通过茎尖培养可以去除多种植物病毒获得脱毒试管苗,尤其是通过营养繁殖的根茎类作物,脱毒植株的产量明显高于感病植株。通过试管苗的快繁技术,可以保持优良品种或脱毒种苗的优良种性并使其在短期内大量繁殖,其繁殖速度比常规方法快数万倍到数百万倍。该试验主要研究了植物生长物质、不同光质及培养方式等影响花籽山药脱毒试管苗快繁的因素,旨在找到最佳培养条件,为生产实践提供理论依据。

**第一作者简介:**张丽霞(1972-),女,河南内黄人,硕士,副教授,现主要从事生物化学和遗传育种等教学与科研工作。E-mail: aygxyzlx@163.com.

**收稿日期:**2013-11-19

[13] 王月容,周志翔,徐永荣,等. 武陵山区侵蚀小流域植被恢复群落组成与地理成分[J]. 中南林业科技大学学报,2007,27(5):19-25.

[14] 王韵,王克林,邹冬生,等. 广西喀斯特地区植被演替对土壤质量的

影响[J]. 水土保持学报,2007,21(6):130-134.

[15] 章家恩. 生态学常用实验研究方法与技术[M]. 北京:化学工业出版社,1996:111-113.

## Study of Vegetation Restoration and Rebuilding of Xiangmeng State Mine Park

LIN Yang<sup>1</sup>, WEN Shi-zhi<sup>2</sup>, WANG De-ming<sup>3</sup>

(1. College of Landscape Architecture, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004; 2. Office of Teaching Affairs, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004; 3. College of Business, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004)

**Abstract:** The original vegetation in the mining process suffered seriously damage, which fragmented into remnant pitches and disappeared. Function of regional ecosystem was degraded, which needed to restore. Vegetation restoration and rebuilding of Xiangmeng State Mine Park were proceeded from two aspects: it had planted *Koelreuteria paniculata*, *Cinnamomum camphora*, *Paulownia fortunei* (Seem.) Hemsl, *Castanopsis fissa*, *Robinia pseudoacacia* to build long-lasting as the dominant species Communities for terrestrial vegetation restoration and rebuilding; screened and planted 13 kinds of plants for wetland conservation and restoration. The results showed that *Koelreuteria paniculata* grew the best in terrestrial vegetation restoration. Nine species were screened successfully for wetland vegetation restoration. *Canna warscewiczii*, *Thalia dealbata* and *Boehmeria nivea* were the strongest of Mn enrichment plants.

**Key words:** vegetation restoration; heavy metal pollution; wetland plants; terrestrial plants; Xiangtan manganese mining