

广东梅州明山煤矿废弃地的自然定居植物

廖富林<sup>1,2</sup>, 杨期和<sup>1</sup>, 颜幼平<sup>2</sup>, 胡玉佳<sup>3</sup>, 罗颂伟<sup>4</sup>

(<sup>1</sup>嘉应学院生物系, 广东梅州 514015; <sup>2</sup>广东工业大学环境科学与工程学院, 广东广州 510090;  
<sup>3</sup>中山大学生命科学学院, 广东广州 510275; <sup>4</sup>梅州市环保局, 广东梅州 514022)

摘要: 通过野外实地考察, 采用样方法, 调查了广东梅州明山煤矿废弃地的植被和植物区系。结果表明: 该地自然定居植物共 64 种, 隶属于 30 科 59 属。主要包括禾本科 (10 种)、菊科 (7 种)、豆科 (5 种)。全部定居植物中, 1~2 年生草本植物 29 种, 多年生草本植物 13 种, 木本植物 18 种, 藤本植物 4 种。风播种子和果实是废弃地上植物繁殖体的主要来源。废弃地植物形成了一些相对稳定的单种斑块和小群落, 这些小群落组成、结构简单, 物种多样性总体水平偏低。五节芒 *Miscanthus floridulus*、猪屎豆 *Crotalaria mucronata*、艾蒿 *Artemisia argy* 等可在煤矿废弃地上成功定居, 并成为这些植被中的优势种, 可作为废弃地植被恢复治理的优先选用物种。群落存在着由草丛向灌草丛、灌木林演替的趋势; 随着废弃地植物群落的形成与演替, 群落中物种丰富度增大, 多样性指数呈增加趋势。废弃地的坡向和坡度也是影响植物定居的重要因子。

关键词: 植被; 植物群落; 物种多样性; 煤矿废弃地; 明山

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1001-411X(2006)02-0065-05

Naturally Colonized Plants of Coalmine Wasteland in Mingshan,  
Meizhou, Guangdong

LIAO Fu-lin<sup>1,2</sup>, YANG Qi-he<sup>1</sup>, YAN You-ping<sup>2</sup>, HU Yu-jia<sup>3</sup>, LUO Song-wei<sup>4</sup>

(<sup>1</sup> Biology Department, Jiaying University, Meizhou 514015, China; <sup>2</sup> School of Environment Science and Engineering, Guangdong Industrial University, Guangzhou 510090, China; <sup>3</sup> School of Life Science, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; <sup>4</sup> Environmental Protection Bureau of Meizhou, Meizhou 514022, China)

Abstract: Using field investigation and quadrat method, a study was conducted on the vegetation and flora of the coalmine wasteland in Mingshan Mountain, Meizhou, Guangdong. There are 64 species of naturally colonized plants on the wasteland, which belong to 30 families and 59 genera. The main families are Gramineae (10 species), Compositae (7 species), Leguminosae (5 species). Among all the colonized plants, there are 29 annual and biennial herbs, 13 perennial herbs, 4 lianas and 18 woody plants. The vegetation on the coalmine wasteland was distributed on spot piece and scattered with simple structure and low species diversity. Wind-dispersal seeds and fruits are the main resource of propagules in the wasteland. *Miscanthus floridulus*, *Crotalaria mucronata* and *Artemisia argyi* could colonize successfully and were dominant species in the vegetation that could be used for vegetation restoration in the coalmine wasteland. There was a community succession tendency from grass to mixed grass-shrub and then to shrub community, and species richness and diversity index coincided with this succession. The aspect and slope of wasteland are important factors affecting plant colonization.

Key words: vegetation; plant community; species diversity; wasteland; Mingshan Mountain

收稿日期: 2005-08-25

作者简介: 廖富林 (1965-), 男, 副教授, 广东工业大学在职硕士研究生, E-mail: LFL@jyu.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金 (39800012); 广东省科技计划项目 (2005B33302017)

工矿业废弃地的植被恢复和生态重建是当前植物生态学的一个重要研究领域,也是一种较为理想的治理废弃地的途径.尽可能减少对土地的破坏和尽快进行植被恢复是矿区生态重建的最佳策略<sup>[1-2]</sup>.明山位于广东省东北部,距梅州市区直线距离25 km,具有丰富的煤矿资源.近年来煤矿业发展十分迅速,矿区的数量及开采范围增加较快.该地区大多数矿区采用矿井方式开采,虽然没有造成大面积的植被破坏,但由于开采废渣(特别是矸石)的大量堆积,形成了废弃地,较多的矿区又没有采取相应措施治理废渣堆积地,从而造成了水土流失以及废水污染等不良影响.本文对该市明山煤矿废弃地自然状态下植物群落的形成、发展和演替规律进行了初步调查和分析,通过研究,筛选可用于煤矿废弃地植被重建的耐性植物,可为整个梅州地区煤矿废弃地植被恢复与重建以及生态环境保护提供参考.

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究地自然概况

明山煤矿位于广东省东北部梅县境内,地处粤东北山区丘陵地带,平均海拔550 m,属亚热带季风湿润气候.年均气温21.3℃,7月均温28.5℃,1月均温11.2℃;年均降水量1480 mm,75%以上的降雨量集中在4~9月份,无霜期309 d.明山煤矿地处梅县白宫镇嶂下村一条山冲中,三面环山,海拔500~600 m,面积20 hm<sup>2</sup>,共有4个煤矸石堆积场.明一矿堆积场西坡坡度约30°、东坡约为25°、南北两坡约为45°,煤矸石堆的高度约30 m,已废弃约20年,各坡面风化程度较重,石块直径较为一致;明二矿堆积场东坡坡度约为25°,西坡约为60°,南北两坡约为45°,煤矸石堆高度约20 m,已废弃约10年,东、南坡风化较为严重,石块直径较小,而西南-西-西北-北坡风化程度较轻,几乎全为大矸石;马蹄岗矿堆积场被堆积在一大的塌陷沟内,有许多小的煤矸石堆(相对高度约4 m)形成积水坑,大部分地表较为平缓,弃置时间5年,风化程度较深;能发矿堆积场南北两坡约为45°,东坡约为60°且靠近一条大水沟,废弃1年,西坡较平缓,风化程度极轻.煤矿废弃地周围为低山,山坡的土壤为红壤,植被类型主要为次生的马尾松 *Pinus massoniana*-桃金娘 *Rhodomyrtus tomentosa*-芒萁 *Dicranopteris linearis* 群落及木荷 *Schinus superba* + 马尾松-芒萁群落,群落内伴生有山鸡血藤 *Millettia dielsiana*、盐肤木 *Rhus chinensis*、鸭脚木 *Schefflera octophylla*、梅叶冬青 *Ilex asprella*、漆树 *Toxicodendron sylvestris*、五指毛桃 *Ficus hirta* 等植物.山

坡与废弃地交界处则多为白茅 *Imperata cylindrica* - 蕨 *Pteridium aquilinum var. latiusculum* 群落.

### 1.2 植被调查

2004年9月和2005年2月先后2次到明山煤矿废弃地进行调查,主要调查矸石堆上生长的植物种类、植株高度、密度和生长状况.分别在4个不同废弃时间(1、5、10、20年)的煤矸石场内随机设置5个样地共20个样方,样方面积为5 m×5 m,并对废弃10年的煤矸石场不同坡向坡度的植被做了进一步调查.

### 1.3 数据处理

物种多样性( $D$ )采用 Simpson 多样性指数测定:  $D = 1 - \sum P_i^2$ ;物种分布的均匀度( $E$ )采用 Shannon-Weiner 指数测定:  $E = H/H_{\max}$ ,其中  $H = -\sum P_i \log_2 P_i$ ;  $H_{\max} = \log_2 S$ ,式中  $P_i$  是第  $i$  个种的个体数  $N_i$  占总个体数  $N$  的比例,  $S$  是群落中的总种数,  $H$  是实际观察的种类多样性,  $H_{\max}$  是最大的种类多样性.

## 2 结果与分析

### 2.1 煤矿废弃地的植物组成及特征

明山煤矿废弃地植被由64种植物组成,隶属于30科59属.从生活型看,其植被组成以草本植物为主,共计42种,占总种数的65.63%,其中1~2年生草本植物29种,占45.31%;木本植物仅18种,占28.13%(多为亚灌木或灌木);藤本植物有五爪金龙 *Ipomoea cairica*、光叶菝葜 *Smilax glabra*、葛藤 *Prerari lobata* 和扛板归 *Polygonum perfoliatum* 4种,占6.25%.统计表明,该废弃地植被类型为草丛,但存在着向灌草丛和灌木林演替的趋势.从生态习性看,该植被中多为阳生植物,几无阴生植物,反应出煤矿废弃地生态环境较为干旱.

废弃地的植物组成以禾本科和菊科为多,禾本科有10种,占总种数的15.63%,菊科有8种,占10.94%,豆科也较多,占总数的7.81%.蓼科、藜科、苋科、莎草科、大戟科、漆树科、茄科、锦葵科、桑科的种类相对较少,其余的科则多为单种科,而有些物种,如壳斗科的红栲 *Castanopsis hystrix*、茶科的木荷、蔷薇科的桃树 *Prunus persica*、百合科的光叶菝葜、五加科的鸭脚木、楝科的苦楝 *Melia azedarach* 和芭蕉科的香蕉 *Musa sapientum* 则仅只在废弃地中偶有分布.植被中综合优势比较大的植物有五节芒 *Miscanthus floridulus*、小飞蓬 *Comniza canadensis* 和艾蒿 *Artemisiā argyi* 等.另外,在废弃地中,猪屎豆 *Crotalaris mucronata*、三叶鬼针草 *Bidens pilosa* 等在局部地段密集分布,香蕉和桃树幼苗也偶有分布,这可能与人和动物的干扰有关.优势度大的这些植物在植

被构成中占有比较重要的位置,成为废弃地植被形成的先锋种或建群种.在这些植物中又以禾本科、菊科和豆科植物居多,是煤矿废弃地上自然定居的先锋植物,它们又是华南地区广布性的、耐贫瘠的植物种类,适应性极强,在局部营养条件较好的区域生长较好,具有植株较高、植被盖度较大、叶色较深、根系发达等特点,说明这3科植物在煤矿废弃地植被形成过程中起着十分重要的作用.

## 2.2 煤矿废弃地的主要植被及其结构特征

明山煤矿废弃地植被盖度在不同生境差异明显(表1),盖度随弃置时间延长而加大.表明废弃时间长的弃地基质结构改善,生境相对稳定,使植被生长茂密,刚弃置不久的弃地,矸石机械移动稳定性差,极度干旱,温差大等恶劣生境导致植被生长稀疏.调查中发现弃地植物多为小面积集群的零散分布,局部植物聚集区盖度可达到80%~90%.根据其组成及各种类成分的优势比,废弃地植被可分为相对较

稳定的几种小群落(表1)和单种植物组成的斑块,其中以五节芒+艾蒿+三叶鬼针草、五节芒+毛马唐 *Digitaria chrysolephara*、五节芒+艾蒿+猪屎豆群落分布的面积相对较大,小飞蓬+莠狗尾草 *Setaria geniculata* 群落则以小面积的集群形式散布于废弃地内.与粤东北南亚热带湿润气候区的其他植被类型<sup>[3]</sup>相比,几种小群落物种多样性指数均偏低,反映出煤矸石对植被的形成影响严重,降低了植被的多样性.单种植物斑块主要有小飞蓬斑块、香附子 *Cyperus rotundus* 斑块、三叶鬼针草斑块、毛马唐斑块等,其面积较小,零星散布于废弃地各处.风播植物种数也随弃置时间延长而增加,如小飞蓬、艾蒿、白茅等物种的繁殖体体积较小,重量较轻,这就为繁殖体的风力传播提供了可能.调查表明不同弃置时间的废弃地上的优势种主要是风播植物,说明废弃地上的先锋植物主要依靠植物繁殖体中的风播繁殖体入侵.

表1 不同废弃时间的煤矿废弃地的自然定居植物

Tab. 1 Natural colonized plants of coalmine wasteland wasting for various time

项目 item	明一矿 Mingyi Coalmine	明二矿 Ming'er Coalmine	马蹄岗矿 Matigang Coalmine	能发 Nengfa Coalmine
t(弃置 desertification)/年	约20	约10	约5	1
植物种数 No. of species	25	24	12	5
1~2年生草本植物种数 No. of annual and biennial herbs	12	16	8	3
多年生草本植物种数 No. of perennial herb	7	5	2	2
木本植物种数 No. of woody plant	6	3	2	0
风播植物种数 No. of wind-spread species	8	10	6	3
多样性指数 diversity index	0.763 5	0.705 8	0.654 6	0.547 2
均匀度指数 evenness index	0.727 5	0.788 3	0.705 0	0.803 8
优势植物 dominant species	五节芒、猪屎豆、鬼针草	五节芒、荻芦竹、艾蒿	五节芒、艾蒿	五节芒、香附子
盖度 coverage	80%~90%	60%~70%	40%~50%	20%~30%

废弃地植物的类型和结构特征与废弃时间有显著的相关性.由表1可看出,分别废弃20、10、5和1年的明一矿、明二矿、马蹄岗矿和能发矿4个样地中,定居植物种类分别为25、24、12和5种,自然定居植物种类与弃置时间成正比.废弃时间较长的弃地不仅种类最多,且植物种类组成也几乎涵括了其他弃地的植物种类;废弃时间短的弃地,植物种类少,群落结构简单,物种个体数目少,盖度小,多样性低.因此随着废弃时间的延长,无论是物种数目、个体数量、盖度和多样性指数均随之增加.从生活型看(表1),在废弃时间分别为1、5、10和20年的能发矿、马蹄岗矿、明二矿、明一矿4种样地中,1~2年生

和多年生草本植物合计分别有5、10、21和19种,各占植物总种数的100%、83.33%、87.50%和76.00%,所占比例呈下降趋势,而木本植物的种数分别是0、2、3和6种,随废弃时间的延长而增多,在群落中所占比例呈上升趋势,表明废弃地最初植被类型为草丛,但经过5~20年后就演化成灌草丛群落,并且可能进一步演替为灌木林,造成这种现象的主要原因是:随着时间的延长,在风化作用下,石块逐渐变小,特别是表层逐渐变细,石块间的空隙逐渐被风化产物填塞,稳定性及含水量增加,有机质含量增多,其他理化性质得到改善,因此定居植物种类和个体数目甚至随之增多,甚至整个植被类型也发生改变.

在1~20年不同时间的4种废弃地植被中,优势种也有所不同.明一矿、明二矿和马蹄岗矿样地的优势种均为草本,而能发矿样地除2种草本之外,还有一种木本植物,这进一步表明废弃地植被群落的演替方向是草本转向木本.此外,在这4种样地中,五节芒均是优势种和建群种,因此在植被构成中占有极其重要的位置.蕨类植物蜈蚣草 *Pteris vittata* 在明二矿样地中分布亦较多.这些群落的均匀度指数均在0.7以上(表1),表明不是明显的单优势种的群落类型,群落的物种分布比较均匀.

### 2.3 尾矿弃置时间对植被重建的影响

调查结果表明,刚刚弃置的矸石表层,石块较大、结构不良、干旱缺水,保持水肥能力极差,植物不能生长,为无植物定居的裸露尾矿,但堆放置时间增加后,在风化作用下,尾矿理化性质得到改善,基质结构得到改良,持水持肥能力增强,此时,耐旱耐贫瘠的先锋植物首先入侵、定居、群聚、竞争而形成单种植物的小斑块,如艾蒿斑块、小飞蓬斑块、猪屎豆斑块等,由小斑块再演替为单优势种植物群落,形成草丛,如艾蒿群落、小飞蓬群落等,图1所示调查结果也证实了这一点,弃置早期弃地均长草本植物,未见有木本植物分布.随着弃置时间的增加,生境进一步改善,单优势种植物群落演替为共优势种植物群落如艾蒿+猪屎豆、小飞蓬+莠狗尾草群落等,以后再顺行演替为灌草丛、灌木林.随着弃置时间的推移,1~2年生草本植物所占比例下降,多年生草本植物、木本植物比例增加,与前所述相吻合(图1),从而在一定程度上证明了在自然状态下,废弃地植被的长期演替趋势符合由无植物定居的次生裸地→植物小斑块→单优势种植物群落(草丛)→共优势种植物群落(草丛)→灌草丛→灌木林的一般趋势,表现出矸石堆上自然定居植物的顺行演替过程.

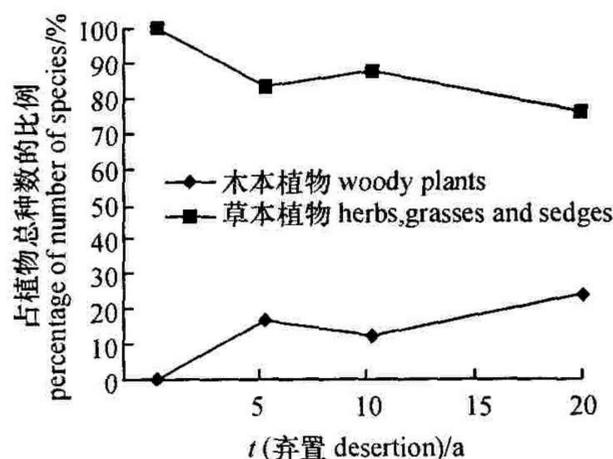


图1 植物种数与弃置时间的关系

Fig. 1 The relationship between plant number and time of desertion

### 2.4 不同坡度和坡向的煤矿废弃地植被物种构成

煤矿废弃地的坡度、坡向与植物定居、生长也有

一定关系(表2).坡度为5~10°时,自然定居植物种类较多、生长较好、植被盖度大、种类分布得也比较均匀.植被盖度甚至可达55%~65%,以五节芒、荻芦竹 *Arundo donax* 和绿穗莎草 *Cyperus distans* 为优势种,伴生毛马唐、三叶鬼针草、牛筋草 *Eleusin indica* 等植物种类;而在坡度为45~60°时,植物种类较少,生长也较差,种类分布亦不均匀,故多样性、均匀性指数和盖度都较低.坡度的升高一方面会降低表面的稳定性,另一方面还会引起废弃地的上部和下部的表层土壤含水量差异.由于土壤中矸石含量较多、持水力差、透水性强,往往坡的下部较上部潮湿,定居的种类较上部多,生长较上部好,植物成片生长、植被盖度大,多为一些中生甚至沼生植物,如喜旱莲子草 *Alternanthera philoxeroides*、火炭母 *Polygonum chinense* 以及莎草属 *Cyperus* 的一些种类;在坡下部一些积水坑中甚至生长着一些沼生植物或喜湿植物,如水莎草 *Juncellus serotinus*、喜旱莲子草和竹节草 *Commelina communis* 等;而在坡的上、中部,自然生长的植物种类少,一般为耐旱、耐贫瘠种类,且生长稀疏、长势较差.在煤矸石堆的中、上部的局部平坦的小平台处,常形成一些由单种植物形成的斑块,如毛马唐斑块、艾蒿斑块、小飞蓬斑块等;植被斑块面积取决于小平台面积,多为1~3 m<sup>2</sup>.

此外,阳坡与阴坡上植物种类和盖度也有差异(表2),坡度为5~10°时,阳坡植物种类、多样性指数和盖度均高于阴坡,而坡度分别为20~30°和45~60°时,阳坡的植物种类、多样性和盖度低于阴坡,这主要是因为坡度为5~10°时,废弃地土壤含水量较高,尽管阳坡阳光照射时间长,蒸发强度较大,会损失一部分水分,但梅州地区地处南亚热带,自然降雨量较大,因此水分影响并不大,阳坡光照较充足,反而有利于植物生长,故生长速度较快,盖度大,种类亦多;而当坡度较高时,矸石表层的移动性增

表2 煤矸石堆不同坡向、坡度植物群落结构的比较

Tab. 2 Comparison of plant community structure in different direction and slopes of gangue heap

坡向 aspect	坡度 slope/(°)	种数 No. of species	多样性指数 diversity index	均匀度指数 evenness index	盖度 coverage
阳坡 sunny slope	5~10	25	0.762 4	0.810 2	60%~65%
	20~30	21	0.697 3	0.756 3	50%~60%
	45~60	9	0.426 5	0.652 1	30%~35%
阴坡 shady slope	5~10	24	0.722 8	0.794 1	55%~60%
	20~30	19	0.696 8	0.742 3	50%~55%
	45~60	14	0.582 5	0.602 3	40%~45%

加,易发生水蚀、风蚀,在表面形成冲蚀沟,引起已生长植物的根系暴露,造成植物死亡,同时对于种子萌发和幼苗生长也极为不利,因此在强度风化、坡度较陡的煤矿石堆上自然生长的植物种类和个体数量都较少,而阳坡阳光照射时间长,暴露的根系由于日光的灼射更易受伤,又由于蒸发强度较大,表现得更为干旱、温度变化更大,因而种类少、植被盖度小。

### 3 讨论

明山煤矿废弃地由于生态环境比较恶劣,极端贫瘠是影响植物定居的一个重要因素<sup>[4]</sup>,因此在矸石地上自然定居的植物仅有64种。由于不同样地的坡向、坡度以及土壤条件有所差异,各样地的植物组成及分布有较大不同,形成了多种相对稳定的演替群落类型。组成群落的优势植物主要是禾本科、菊科和豆科的一些耐旱、耐贫瘠的多年生及一年生草本植物,但蕨类植物蜈蚣草在废弃地中也占据了重要位置。一般说来,自然定居植物多为耐性植物<sup>[5-6]</sup>,本调查结果也表明64种自然定居植物中绝大部分是耐性植物。深入研究这些植物的适应机制,将有利于煤矿废弃地的植被恢复。煤矿废弃地自然定居的植物,形成了一些相对稳定的单种斑块和小群落。这些小群落组成、结构简单,物种多样性水平较低,表明废弃地植物群落的抗干扰能力低,水土保持能力差。五节芒、荻芦竹、艾蒿、猪屎豆等可在煤矸石堆上成功定居,在尾矿植被组成中,占有较大优势比,它们对尾矿的植被重建、生态恢复有着重要作用,可作为良好的煤矿废弃地治理的优先选用物种。

调查中发现,在废弃地定居的64种植物中,多数种类结实量大,提供了大量的种子源,且多为中小粒种子,质量轻,体积小,易于传播;一些植物(如菊科、苋科和漆树科)的果实或种子具有冠毛、翅等风播器官;有些植物,如三叶鬼针草、地桃花 *Urena lobata* 等的种子表面有钩刺等附属物,易为动物或人类活动而携带传播。究其原因,可能是因为植物在煤矿废弃地这种裸地上的自然定居,首先取决于繁殖体的来源,矸石场本身由于没有任何植物繁殖体存在,只有那些具有较强迁移能力的植物种子才能到达这片裸地,如果这些植物对恶劣环境条件同时具备较强的适应能力,或具备较强的遗传分化能力,以至在极端条件下分化形成耐性种群或生态型,则可能在废弃地上成功定居。菊科和禾本科植物由于种

子传播能力强,具有较强的环境适应能力,豆科植物由于具备固氮能力而适应贫瘠环境,蓼科、莎草科植物也因具有种子传播能力强,较强的环境适应能力,而在废弃地中有一定数量的分布。值得注意的是,蕨类植物凤尾蕨科的蜈蚣草在废弃地中出现,且占有重要位置,有文献报道蜈蚣草对As有超富集能力<sup>[7]</sup>,对其在废弃地中的成功定居和大量繁殖的原因的研究,将会有重要意义,这方面的工作有待深入开展。本研究中的煤矿废弃地地势较低,而在煤矿四周为当地的亚热带次生林,其建群种木荷在废弃地上有零星分布,群落内的伴生种如鸭脚木、盐肤木、漆树、五指毛桃、白背叶 *Mallotus apelta* 等物种在废弃地上成功定居,说明一些大粒种子的植物也有生长,可能是种子被动物或雨水冲刷而传播。所有的42种草本植物皆为耐贫瘠的杂草,说明了杂草对于该类基质具有极强的适应性(尤其是对于干旱、贫瘠的适应能力),人工播种这些杂草将有利于废弃地的植被恢复。

致谢:中山大学生命科学学院叶创兴教授、廖文波教授帮助鉴定部分植物标本并予以指导,谨致谢意!

#### 参考文献:

- [1] 何书金,郭焕成,韦朝阳,等. 中国煤矿区的土地复垦[J]. 地理研究,1996,15(3): 23-32.
- [2] JAJER D A. Bioremediation of agricultural and forestry soil with symbiotic microorganisms[J]. Aust J Soil Res, 1994,32: 1 301-1 319.
- [3] 伍建军,廖文波,崔大方. 粤北南方红豆杉植物群落的物种多样性和种群格局[J]. 广西植物,2002, 22(1): 61-66.
- [4] 束文圣,蓝崇钰,张志权. 凡口铅锌尾矿影响植物定居的主要因素分析[J]. 应用生态学报,1997,8(3): 314~318.
- [5] BAKER A J M. Metal tolerance[J]. New Phytol,1987, 106(suppl.):93-111.
- [6] WILLIAMSON A, JOHNSON M S. Reclamation of metal-liferous minewaste[C]//LEPP N W. Effect of heavy metal pollution on plants: Vol. 2: Metals in the environment. London: Applied Science Publishers Ltd, 1981:185-212.
- [7] 陈同斌,韦朝阳,黄泽春,等. 砷超富集植物蜈蚣草及其对砷的富集特征[J]. 科学通报,2002,47(3):207-210.

【责任编辑 李晓卉】