

Vegetation Investigation on Tongkeng Mining Wasteland in Dachang, Guangxi Province, China

Zhenming ZHOU^{1,2}, Chaoshu CHEN^{1,2}, Kehui LIU³, Fangming YU^{1,2*}, Mingshun LI^{1,2}, Jiangming MA⁴

¹School of Environment and Resources, Guangxi Normal University, Guilin, China, 541004

²The Guangxi Key Laboratory of Environmental Engineering, Protection and Assessment, Guilin, China, 541004

³College of Life and Environmental Sciences, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China, 541004

⁴College of Life Science, Guangxi Normal University, Guilin, China, 541004

Email: fmyu1215@163.com

Abstract: Heavy metal pollution is a very serious problem in Nandan, Guangxi, the largest Pb-Zn ore mining region in China, where a vast area of mining wastelands is urgently needed to be restored. Field investigation and laboratory analysis were used in this study in order to investigate the vegetation in Tongkeng mining wastelands, one of the wastelands in Nandan. Eleven sample plots (1 m×1 m) were established randomly around the sunk copper pit, with an interval of 30 meters between each sample plot. Investigation was conducted in each plot including the kinds of the species, the number of each plant species as well as the plant height and the coverage. At the same time, heavy metal concentrations (Cd, Pb, Cu, and Zn) in these plants were also analyzed. Total 21 plant species belonging to 21 genera and 13 families, were found. Among these species, the herbaceous occupied absolute superiority status with a 90.5% ownership rate. *Agrostidoideae* and *Compositae* plants were dominant species in the investigation area, which the important value of *Miscanthus floridulus* (Labill.) Warb. was 190.72. The correspond values of *Cyperus rotundus* Linn., *Ixeris sonchifolia* and *Erigeron Canadensis* L. were 52.5, 35.2, 31.0 respectively. The analysis of the heavy metal concentrations in tissues of these wild plants explicated that they had big potential to transfer Cd, Pb and Zn into overground parts. And *Erigeron Canadensis* L. had high transfer ability for Cd, Pb and Cu. *Miscanthus floridulus*, which had comparative large biomass and was also resistant to drought and inadequacy nutrients, which was easier to enrich Pb and Zn into aboveground tissues. Thus all or some of these plants could be used as pioneer plants for renegotiation in mining wastelands.

Keywords: Tongkeng; Mining wasteland; Heavy metal; Plant investigation; Pioneer plant

广西大厂铜坑矿业废弃地植被调查研究

周振明^{1,2}, 陈朝述^{1,2}, 刘可慧³, 于方明^{1,2*}, 李明顺^{1,2}, 马姜明⁴

¹广西师范大学环境与资源学院, 桂林 541004; ²广西环境工程与保护评价重点实验室, 桂林 541004

³桂林电子科技大学生命与环境科学学院, 桂林 541004; ⁴广西师范大学生命科学学院, 桂林 541004

Email: fmyu1215@163.com

摘要: 采用野外调查和室内测试分析相结合的方法, 对广西南丹县大厂镇铜坑矿业废弃地自然生长的植物以及物体内的重金属含量进行研究。结果表明: 在铜坑矿业废弃地中共发现 13 科 21 属 21 种植物, 其中草本植物种类占总数的 90.5%, 处于绝对优势地位, 草本植物中的禾本科和菊科植物为该地区的优势种, 禾本科的五节芒重要值达 190.72, 其次为莎草科的香附子、菊科的飞蓬以及苦苣菜。对植物体重金属含量分析表明, 伞形科的雷公根、玄参科的密蒙花、菊科的苦苣菜以及茄科的龙葵对 Cd、Pb 和 Zn 都有很强的向地上部分转移的能力。菊科的飞蓬对 Cd、Pb 和 Cu 均有很强的转移能力, 禾本科五节芒生物量大, 耐干旱和贫瘠的能力强, 且对 Pb、Zn 有很强的富集能力, 是该地区植被重建的先锋植物和恢复植物。

关键词: 铜坑; 矿业废弃地; 重金属; 植被调查; 优势植物

采矿地是人类为获得矿产资源而有组织地对土地

进行剧烈人为干扰改造的区域^[1~3]。采矿废弃地是指在采矿过程中采矿废石和尾矿堆积, 塌陷区和采空区而被破坏的以及被重金属污染未经有效处理而无法使用的土地^[4]。据统计, 我国目前大小矿山众多, 由此而

基金项目: 国家自然科学基金项目(30560032); 广西教育厅项目(200707MS048; 200807LX043); 广西环境科学重点学科项目; 桂林电子科技大学博士启动基金项目(No. Z20718); 广西师范大学博士启动基金项目; 广西环境工程与保护评价重点实验室项目

形成的矿业废弃地面积已达 40 000 km², 而且每年新增废弃地就有 330km² [5]。这些废弃地一般条件都十分恶劣, 土地贫瘠, 风蚀严重, 而且重金属含量极高, 对外来植物的定居形成很大的障碍。因此, 选择能够在矿业废弃地上良好生长的植物成为采矿废弃地生态重建的主要任务 [6]。而选择能够在采矿废弃地上生长的植物最简单有效的方法就是研究废弃地上现在已经定居的植物。广西南丹县锡储量 144 万多吨, 居全国首位, 铅、锌的保有储量在全国名列前茅, 被誉为“有色金属之乡” [7], 由于大量的矿山开采和洗矿, 当地生态破坏和环境污染严重, 全县有数量巨大的尾矿坝和废弃地等待修复。因此, 本文采用野外调查和室内测试分析相结合的方法, 研究了南丹县大厂镇铜坑矿业废弃地自然生长的植物种类及其重金属含量以及它们作为该区生态恢复备选植物的可行性, 以期找出能够适应该区环境的先锋种, 为该地区的矿业废弃地的生态恢复和植被重建提供科学依据。

1 研究区概况

南丹县位于广西西北面, 地处云贵高原边缘, 属亚热带山地气候区, 平均气温 17.1℃, 降雨量 1499mm [8]。境内地质构造复杂, 矿山资源丰富, 被誉为“有色金属之乡”, 是目前全国最大的锡锌生产基地。本调查区位于广西南丹县大厂镇东北直线距离约 5km 处的铜坑村, 地处 24°51.287'N, 107°34.574'E。广西大厂铜坑矿细脉带矿体于 1980 年开采, 由于矿体含硫量非常高, 与炭质页岩接触引发自燃, 于 1987 年被迫停止开采并进行治理 [9]。经过近二十多年反复的治理和复燃, 现在矿坑自燃现象依旧存在, 塌陷区不时有含硫烟气释放到大气中, 塌陷中心地大片裸露, 生态环境十分恶劣。在中心区的外缘部分地区虽然也存在部分裸地, 风蚀比较严重, 但在自然作用下已经有植被定居并有开始恢复的迹象。本文初步就该区的植物群落和植物体内重金属含量进行调查。

2 材料与方法

2.1 样方设置

样方调查以铜坑塌陷自燃火区为中心, 沿中心附近每隔 30m, 随机设置样方 11 个。每样方规格为 1m×1m, 分别调查样方内植物种类、植株数, 高度和盖度等, 并采集样方内所有植物样本进行重金属含量的分析。

2.2 金属含量测定

将采集到的植物样品按地下部分(根)和地上部分(包括茎和叶)分开, 用自来水清洗干净后再用去离子水冲洗, 105℃下杀青 30min, 70℃烘至恒重, 粉碎, 过 80 目尼龙筛。用浓 HNO₃-HClO₄ 加热消解, 火焰原子吸收分光光谱法测定 Pb、Zn、Cu 和 Cd 的含量。每个样品均重复 3 次。

2.3 评价方法

将调查统计到的植物进行物种优势度评价, 采用重要值(IV)指标找出优势植物种。重要值是评价某种植物种群在群落中作用的综合性数量指标 [10], 一般是相对密度、相对盖度和相对频度三者之和。由于考虑到该区的植株大部分为草本植物, 体形不大但高度不一, 故本研究中加入相对高度指标, 从而能更加全面地反映不同的物种在群落中的分布格局和功能地位。各指标计算公式如下:

相对密度(RDE)=样方内某种植物的密度/样方内每种植物密度之和×100%;

相对盖度(RCO)=样方内某种植物的盖度/样方内每种植物盖度之和×100%;

相对频度(RFE)=样方内某种植物的频度/样方内每种植物频度之和×100%;

相对高度(RHE)=样方内某种植物的高度/样方内每种植物高度之和×100%;

重要值(IV)= RBI+RCO+RFE+RHE。

3 结果与分析

3.1 植物种类组成

大厂镇铜坑矿业废弃地自然生长的植被种类单一, 仅有 21 种植物, 隶属于 13 科 21 属(见表 1)。其中以菊科植物最多, 共有 6 种, 占总种数的 28.6%, 禾本科植物有 4 种, 占总数的 19.1%, 其余科均单种科。

从表 1 看, 调查区植物的生活类型也比较单一, 该矿区废弃地的植被组成以一年生草本植物和多年生草本植物为主, 其植物种数各为 14 种和 5 种, 分别占总植物种数的 66.7%和 23.8%, 二者占到植物总数的 90.5%, 另外 2 种为很小型的灌木, 占总植物种数的 9.5%。其他植物如乔木等大型木本植物和藤本植物均

Table1. Vegetation composition on Tongkeng mining wasteland
in Dachang,Guangxi

表 1. 广西大厂铜坑矿业废弃地植被的物种构成

种名 Species	生活类型 life form
1.禾本科 <i>Agrostidoideae</i>	
茼草 <i>Arthraxon hispidus</i>	一年生草本
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	一年生草本
狗芽根 <i>Cynodon dactylon</i> (L.)Pers.	一年生草本
五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i> (Labill.) Warb.	多年生草本
2.菊科 <i>Compositae</i>	
飞蓬 <i>Erigeron Canadensis</i> L.	一年生草本
三叶鬼针草 <i>Bidenspilosa</i> L.	一年生草本
野菊 <i>Chrysanthemum indicum</i> L.	一年生草本
苦蕒菜 <i>Ixeris sonchifolia</i>	一年生草本
鳢肠 <i>Eclipta prostrata</i> L.	一年生草本
胜红蓟 <i>Ageratum conyzoides</i> L.	一年生草本
3.车前草科 <i>Plantaginaceae</i>	
车前草 <i>Plantago major</i> L.	一年生草本
4.灯心草科 <i>Juncaceae</i>	
灯心草 <i>Juncus effusus</i> L.var: <i>decipiens</i> Buch.	多年生草本
5.桔梗科 <i>Campanulaceae</i>	
铜锤玉带草 <i>Pratia begoniifolia</i>	多年生草本
6.藜科 <i>Chenopodiaceae</i>	
土荆芥 <i>Chenopadium serotinum</i> L.	一年生草本
7.茄科 <i>Solanaceae</i>	
龙葵 <i>Salanum nigrum</i> L.	一年生草本
8.伞形科 <i>Umbelliferae</i>	
雷公根 <i>Centella asiatica</i> (L.) Urban	一年生草本
9.桑科 <i>Moraceae</i>	
琴叶榕 <i>Ficus lyrata</i>	灌木
10.莎草科 <i>Cyperaceae</i>	
香附子 <i>Cyperus rotundus</i> Linn.	一年生草本
11.商陆科 <i>Phytolaccaceae</i>	
商陆 <i>Phytolacca acinosa</i> L.	多年生草本
12.凤尾蕨科 <i>Pteridaceae</i>	
蜈蚣草 <i>Pteris vittata</i> L	多年生草本
13. 马钱科 <i>Loganiaceae</i>	
密蒙花 <i>Buddleja officinalis</i> Maxim.	灌木

未被发现在此废弃地上定居，表明该区域植被恢复演替处于早期阶段，优势种都是种子比较轻，容易靠风

传播的草本植物，它们能够快速在裸露的废弃采矿地上定居。

3.2 废弃地主要优势种植物的重要值

据调查统计，该调查区植被各样方盖度最低为3%，最高为50.2%，平均值23.3%。在植物数量上，最少的样方只有2种，最多的也只有12种，均值5.4种。显示该区域一方面裸露比较严重，定居的植物稀少，另一方面定居的植物都属于草本植物，植物本身盖度很小，综合说明该地区生态环境恶劣，进入定居的都还是些适应能力强的先锋种。

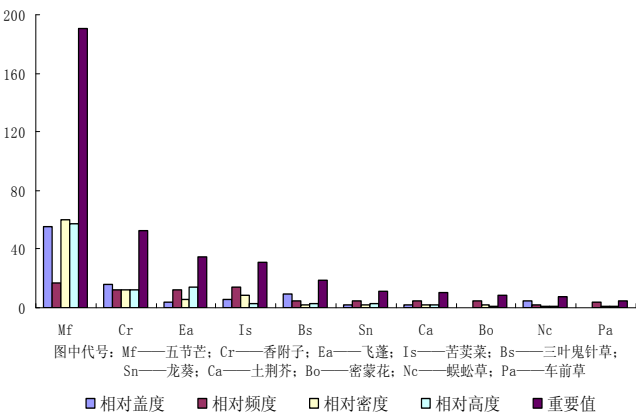


Figure 1. The important value of dominant species on Tongkeng mining wasteland in Dachang,Guangxi

图 1. 广西大厂铜坑矿业废弃地优势物种的重要值

调查区内重要值排列前十的植物如图1所示，从图中可以看出，五节芒的相对盖度55.8、相对频度17.0、相对密度60.6和相对高度57.4在所有植物中都是最大的，其重要值也自然最大，达到190.7，占据绝对优势种的地位。其次为香附子（重要值为52.5，下同），飞蓬（35.2），苦蕒菜（31.0），三夜鬼针草（18.6），龙葵（11.2），土荆芥（10.8），密蒙花（8.2），蜈蚣草（7.2）和车前草（4.9）等。重要值较大的5种植物均属于禾本科、莎草科、菊科三科，表明这些植物在植被构成中占据比较重要的地位，是废弃地植被的建群种和优势种。虽然铜坑矿业废弃地生态环境十分恶劣，没有形成完整的植被，但这些先锋植物在该区域植被的形成过程中起着十分重要的作用。

3.3 铜坑矿业废弃地植物体重金属含量

选取植被调查前13种植物作为考察对象，其植物

体内重金属含量范围及其平均值见表 2。总体来看,植物体内 Zn 的累积最高,其次为 Pb、Cd、Cu,除 Cu 外,其他重金属的含量均超过植物体正常水平。Zn 积累较多的植物有五节芒根、龙葵茎叶、土荆芥根和蜈蚣草根;Pb 积累较多的植物有蜈蚣草根、琴叶榕茎

叶和密蒙花茎叶。与植物重金属含量正常水平相比较,植物中 Cd 的积累现象比较严重,含量最高的雷公根茎叶是正常水平范围上限的 124.4 倍,最低的密蒙花根也有 2.6 倍,显示所调查的植物对 Cd 具有很大的耐性。

Table 2. The contents of heavy metals from plants on Tongkeng mining wasteland in Dachang,Guangxi
表 2. 广西大厂铜坑矿业废弃地植物体重金属含量

植物 种类	器官	重金属含量/(mg·Kg ⁻¹)							
		Cd		Pb		Cu		Zn	
		范 围	均 值	范 围	均 值	范 围	均 值	范 围	均 值
五节芒	茎叶	4.2~12.5	8.8	73.4~166.0	112.5	7.7~13.5	11.1	182.1~696.0	398.5
	根	8.2~31.8	19.2	57.6~172.6	106.0	17.8~45.3	27.2	860.5~1451.6	1112.0
香附子	茎叶	6.0~13.3	8.2	44.9~143.0	101.2	1.8~13.5	7.7	181.0~550.4	335.6
	根	5.1~13.7	8.3	62.6~213.6	116.4	12.7~79.3	45.0	322.2~1271.5	624.5
飞蓬	茎叶	5.5~52.5	29.8	55.3~295.4	177.5	9.5~42.9	27.8	496.8~1448.1	833.7
	根	6.1~42.4	22.1	31.6~120.8	76.8	6.0~36.9	26.1	172.3~2626.41	984.9
苦苣菜	茎叶	18.9~44.8	27.8	51.0~94.3	68.2	-	-	463.8~754.6	554.8
	根	2.9~12.8	9.3	15.6~43.7	30.7	-	-	193.9~377.0	266.2
三叶鬼针 草	茎叶	10.1~24.5	18.6	68.6~148.3	96.6	13.6~17.3	15.1	434.2~467.51	450.9
	根	9.4~12.8	11.1	72.7~83.1	77.9	21.6~27.8	24.7	591.8~612.7	602.2
龙葵	茎叶	22.2~58.9	38.9	106.6~206.8	140.6	-	26.5	1016.4~1252.3	1134.4
	根	9.9~19.9	14.1	9.3~43.7	25.0	-	23.0	611.6~835.4	723.5
土荆芥	茎叶	11.0~20.1	15.5	43.0~153.8	98.4	-	2.8	527.0~909.5	718.2
	根	9.8~40.5	25.1	20.7~50.0	35.4	-	16.3	508.2~1745.3	1126.8
密蒙花	茎叶	6.1~29.1	16.2	135.3~265.5	217.3	13.9~15.6	14.7	246.7~837.4	497.5
	根	0.9~3.3	2.1	4.4~5.5	5.0	25.7~46.7	35.2	348.6~348.6	348.6
蜈蚣草	茎叶	-	3.7	-	125.0	-	7.8	-	523.5
	根	-	25.1	-	426.1	-	50.0	-	2013.8
车前草	茎叶	8.8~26.0	17.4	127.1~143.1	135.1	13.0~20.2	16.6	-	742.8
	根	13.2~23.4	18.3	38.7~87.8	63.3	15.2~108.2	61.7	-	480.4
雷公根	茎叶	-	99.5	-	98.4	-	10.9	-	915.6
	根	-	51.5	-	30.6	-	13.3	-	436.7
商陆	茎叶	-	14.9	-	84.6	-	19.0	-	-
	根	-	6.6	-	14.8	-	8.80	-	-
琴叶榕	茎叶	-	28.6	-	165.3	-	9.9	-	461.0
	根	-	23.0	-	74.2	-	19.2	-	668.6
植物正常含量 ^[11]		0.2~0.8		0.1~41.7		0.4~45.8		1~160	

注: 重金属只有均值而无范围的表示此种只在一个样方中出现;“-”表示未检出,下同。

3.4 主要植物重金属的转移

生物转移系数(Biological Transfer Factor, BTF)是指植物地上部分重金属含量除以根部该重金属含量的比值^[12]。它表示重金属从植物根部向地上部分转移的能力,植物对某种重金属的转移系数越大表示对该重金属有根部向地上部分迁移转化的能力就越强。

Table 3. Biological transfer factor (BTF) of the main dominant plants(above-ground parts) on Tongkeng mining wasteland in Dachang,Guangxi

表 3. 铜坑矿业废弃地主要优势植物地上部位转移系数

植物种类	Cd	Pb	Cu	Zn
五节芒	0.46	1.06	0.41	0.36
香附子	0.98	0.87	0.17	0.54
飞蓬	1.35	2.31	1.06	0.85
苦苣菜	3.00	2.22	-	2.08
三叶鬼针草	1.67	1.24	0.61	0.75
龙葵	2.75	5.62	1.15	1.57
土荆芥	0.62	2.78	0.17	0.64
密蒙花	7.88	43.72	0.42	1.43
蜈蚣草	0.15	0.29	0.16	0.26
车前草	0.95	2.14	0.27	1.55
雷公根	1.93	3.22	0.82	2.10
商陆	2.39	5.74	2.15	-
琴叶榕	1.24	2.23	0.51	0.69

由表 3 可以看出,苦苣菜和雷公根对 Zn 表现出很好的迁移能力,其转移系数分别为 2.08 和 2.10,龙葵和车前草的转运系数也大于 1;商陆、龙葵和飞蓬对 Cu 有一定的迁移转化能力;密蒙花对 Pb 表现出极强的迁移转化能力(转移系数达到 43.72),商陆和龙葵次之,转运系数分别为 5.74 和 5.62,除香附子和蜈蚣草外,其他植物的转运系数均大于 1、五节芒和香附子的转移系数虽然只有 1.06 和 0.87,但作为重要值最高的两种植物,对废弃地的植被重建也起着不可忽视的作用;密蒙花、苦苣菜、龙葵、商陆和雷公根对 Cd 的转移系数为 7.88、3.00、2.75、2.39 和 1.93,特别是雷公根,除转移系数大于 1 之外,其地上部分的含量($99.5 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$)也几乎符合了超富集植物的特征^[13,14](地上部分 Cd 的含量大于 $100 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$)。因此,五节芒、苦苣菜、雷公根、密蒙花和飞蓬均可作为铜坑矿业废弃地理想的生态修复备选植物。

4 结论

通过对广西大厂铜坑矿业废弃地优势植物的调查和分析,可得出以下结论:

第一,铜坑矿业废弃地土地裸露,含硫气体从塌陷区不断冒出,恶劣的自然环境导致该区植被稀少。但在调查到的植被中,禾本科的五节芒、莎草科的香附子、茄科的龙葵以及菊科的飞蓬、三叶鬼针草和苦苣菜,有着比较高的重要值,在废弃地上生长旺盛,分布比较广,已经形成了比较小的群落,能够适应废弃地上贫瘠干旱的恶劣环境,成为该区的优势种。

第二,在成为优势种的同时,伞形科的雷公根、玄参科的密蒙花、菊科的苦苣菜以及茄科的龙葵对 Cd、Pb 和 Zn 都有较强的吸收以及很强的向地上部分转移的能力。菊科的飞蓬对 Cd、Pb 和 Cu 均有很强的转移能力。禾本科五节芒对 Pb 具有较强的吸收转运能力,其根对 Zn 有很强的富集能力,而且生物量也比较大,耐涝耐旱。这些植物对该矿区废弃地这种恶劣极端环境具有较强忍耐能力,可作为该区植被重建的先锋植物和恢复植物。

References (参考文献)

- [1] FU Baijie, MA Keming, CHEN Liding. Principle and Application of Landscape Ecology (M).Beijing: Science Press ,2001:76~77(Ch).
傅伯杰,马克明,陈利顶.景观生态学原理及应用(M).北京:科学出版社,2001:76~77.
- [2] LI Mingshun, TANG Shaoqing, ZHANG Xinghui, et al. Practice and strategy of ecological restoration for metal-mined wasteland[J]. Mining Safety and Environmental Protection,2005,32(4):16-18(Ch).
李明顺,唐绍清,张杏辉,等.金属矿山废弃地的生态恢复实践与对策[J].矿业安全与环保,2005,32(4):6-18.
- [3] LIU Hhailong. Ecological Restoration and Sustainable Landscape Design of Mining Wastelands [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(2):323~329(Ch).
刘海龙.采矿废弃地的生态恢复与可持续景观设计[J].生态学报,2004,24(2):323-329.
- [4] NIU Hailiang, WANG Qiang, JIANG Yanfeng, et al. Study on Ecological Restoration of Abandoned Areas of Mining at Home and Abroad[J].Inner Mongolian Environmental Sciences, 2007, 19(3): 62 – 64 (Ch).
牛海亮,王强,姜艳丰,等.国内外采矿废弃地生态恢复研究进展[J].内蒙古环境科学,2007,19(3):62-64.
- [5] LI Yonggeng JIANG Gaoming. Ecological restoration of mining wasteland in both China and abroad: an over re-view [J].Acta Ecologica Sinica, 2004,24(1):95-100.
李永庚,蒋高明.矿山废弃地生态重建研究进展[J].生态学报,2004,24(1):95-100(Ch).
- [6] BAO Tong, LIAN Meihua, SUN Lina, et al. Research progress on the phytoremediation of soils contaminated by heavy metals [J]. Ecology and Environment, 2008,17(2):858-865.
鲍桐,廉梅花,孙丽娜,等.重金属污染土壤植物修复研究进展[J].生态环境,2008,17(2):858-865(Ch).
- [7] DENG Kun, HU ZHenguang, GUO CHunqing. Investigate on

- Sustainable development of mineral resources utilization in Nandan[J].Nanfang Guotu Ziyuan, 2010,4:40-42(Ch).
邓坤,胡振光,郭纯青.南丹县矿产资源利用可持续发展探讨[J].南方国土资源,2010,4:40-42.
- [8] YIN Yongqiang,WEI ZHengyu,HE Mingxiong, et al. Analysis of soil nutrient status in tobacco planting areas of Nandan County, Guangxi[J].Guangxi Agricultural Sciences, 2010,41(2): 147-152(Ch).
尹永强,韦峥宇,何明雄,等.广西南丹烟区植烟土壤主要养分特征分析[J].广西农业科学,2010,41(2):147-152.
- [9] WEI Xianyun. Flue-gas Treatment and Control of Tongkeng Mining Fire District in Dachang, Guangxi[J].Mining Technology, 2009,9(2):62-63(Ch).
韦显云.广西大厂铜坑矿火区烟气治理与控制[J].采矿技术,2009,9(2):62-63.
- [10] JIAN ZHengquan, HONG Jianming,HU Dong. Plant Diversity and Seasonal Variation of Key Value of Dominant Species in Yangzhen Wetland[J].Wetland Science, 2004, 2(3):213-219(Ch).
蒋政权,洪剑明,胡东.北京市杨镇湿地植物群落多样性及优势种重要值的研究[J].湿地科学,2004,2(3): 213-219.
- [11] CAO Jianliao, CHI Bailiang. City ecological corridor [M].Beijing: China Meteorological Press, 2001(Ch).
曹鉴燎,池柏良.都市生态走廊[M].北京:气象出版社,2001.
- [12] ZHOU Qixing, SONG Yufang. Principles and technologies of remediation for contaminated soils [M].Beijing: Science Press, 2004(Ch).
周启星,宋玉芳.污染土壤修复原理与方法[M].北京:科学出版社,2004.
- [13] Baker AJ M, Reeves R D, Hajar AS M. Heavy metal accumulation and tolerance in British populations of the metallophyte *Thlaspi caerulescens* [J].New Phytol,1994,127:61-68.
- [14] WEI Chaoyang, CHEN Tongbin. Hyperaccumulators and phytoremediation of heavy metal contaminated soil: a review of studies in China and abroad [J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(7): 1196-1203.
韦朝阳,陈同斌.重金属超富集植物及植物修复技术研究进展[J].生态学报,2001,21(7): 1196-1203(Ch).