

贵州喀斯特矿区废弃地土壤环境问题的现状及治理对策

张一修,王济,张浩

(贵州师范大学地理与环境科学学院,贵州 贵阳 55001)

摘 要:分析贵州喀斯特矿区及矿山废弃地的分布、开发与利用现状,得出矿区废弃地生态环境主要存在以下问题:(1)重金属污染严重。研究发现赫章等地土壤中锌含量达到162.23~877.88 mg/kg,铅为37.24~305.56 mg/kg,镉为0.50~16.43 mg/kg,大大超过当地土壤的背景值;(2)生境干旱;(3)水土流失加剧。据调查,贵州矿山土壤的平均侵蚀模数一般都高达5 000~15 000 t/(km²·a);(4)生物多样性差。进而介绍矿区污染土壤的修复和复垦现状,并提出贵州喀斯特矿区废弃地土壤环境治理的关键问题及相关研究技术:喀斯特矿山土壤改良机制研究;植物—微生物综合治理手段研究;循环利用技术研究。

关键词:喀斯特矿区;废弃土地;土壤环境问题;土壤修复;贵州

中图分类号:X53

文献标识码:A

0 引言

土壤不仅是人类赖以生存和发展的物质基础,而且还是人类最早开发利用的农业生产资源,它与当今人类面临的粮食、资源和环境等许多问题密切相关。随着中国经济社会的快速发展,对矿产资源的大量消耗和不合理利用,既造成资源的紧缺又污染了环境,特别是矿区土壤污染问题日趋严重^[1],矿区废弃地已成为区域性和全球性问题^[2,3]。采矿活动及其废弃物的排放不仅破坏和占用大量的土地资源,加剧我国人多地少的矛盾,而且矿山废弃物的排放和堆存也带来一系列影响深远的环境问题,如工业三废、土地石化、诱发山体滑坡、引起水体污染等,严重制约了当地社会经济发展并危害到人体健康^[4]。

贵州省是全国唯一没有平原支撑的喀斯特山区省份,立地条件差,耕地少而后备资源缺乏。土地的合理利用在“西部大开发”中有着特别重要的意义^[5]。贵州矿产蕴藏丰富,矿产资源的开发利用成为贵州工业经济的重要组成部分。但由于资金、技术等原因,导致

矿山环境保护特别是矿区土壤保护、复垦工作滞后于矿产资源的开发速度,造成矿山环境的破坏越来越严重。因此有必要对贵州喀斯特矿区土壤环境存在的问题进行研究,为贵州矿区土壤的恢复和复垦工作提供必要的科学依据。

1 贵州主要矿区和矿山废弃地的分布、开发与利用现状

作为西南资源大省,贵州省矿产资源分布广泛,矿种众多,特别是汞矿储量、产量均居全国第一,磷矿、铝土矿、锰矿、煤炭储量分别居全国第二、三、四、五位。其主要矿产资源具体分布如下:盘县、普安、水城、六枝、黔北、六盘水等地的煤矿区;遵义、清镇、修文、务川、正安、道真等地的铝土矿区;松桃、铜仁、遵义县等地的锰矿区;天柱、黎平、兴仁、晴隆等地的金矿区;威宁、赫章、纳雍等地的铅锌银铜矿区;凯里、荔波、都匀等地的铅锌矿区;瓮安、开阳等地的磷矿区;铜仁、开阳等地的汞矿区^[6](图1)。

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划项目(2007BAD89803)、贵州省教育厅自然科学研究项目(黔教科[2008013])

第一作者简介:张一修(1983—),男,硕士,主要研究方向为土壤重金属。E-mail:zyx198312@163.com。

通讯作者:王济(1975—),男,博士,教授。E-mail:wangji@gznu.edu.cn。

收稿日期:2009-12-27

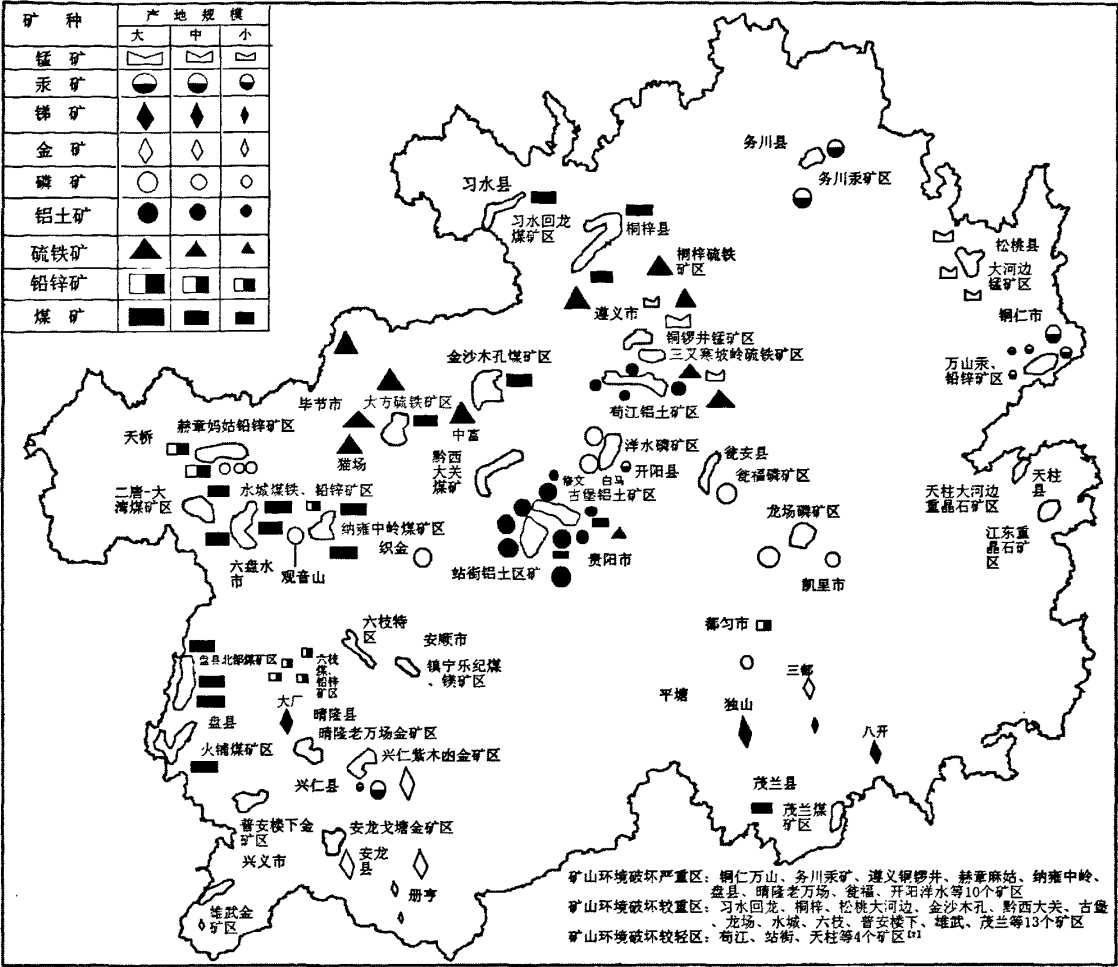


图1 贵州主要矿产资源和矿山废弃地分布图^[7]

Fig.1 Distribution of major mineral resources and derelict mining land in Guizhou

至1999年,在贵州省探明储量的矿产资源中被开发利用的达50余种,其中建有矿山并形成一定生产规模的有30多座,主要有煤、铁、锰、锑、汞、金、磷、铅锌矿等,全省开采各种矿产资源量达7 855.24万t^[5]。截止2005年底,已开发利用矿产资源72种,以煤矿、磷矿、金矿、锰矿、锑矿等为主;全省小型矿山占矿山总数的97.64%,大中型矿山仅占矿山总数2.54%^[6]。由于资金、技术、管理等因素的限制,造成矿产资源开发利用程度低,矿物加工程度和综合回收率低,矿产资源浪费严重,造成矿区土壤污染严重,特别是重金属污染。

随着矿产资源的开采,矿山废弃地不断增多。贵州金属矿区废弃地主要分布如下:采煤造成的废弃地主要分布在贵州西部,如六盘水的盘江、水城、六枝、盘县等,毕节的织金、纳雍、大方等,六盘水、毕节数量

较大;硫铁矿废弃地主要分布在贵州西部、西北部、北部,如遵义的三义寒坡岭矿区、毕节的大方硫铁矿矿区等;铝土矿废弃地主要分布在川黔铁路西侧的清镇、修文两县市和川黔铁路东侧的遵义县境内;金矿废弃地集中在黔西南丰濛泥沟、安龙戈塘、兴仁紫木函、晴隆老万场等矿区;磷矿矿废弃地主要分布在瓮福、息烽、开阳、织金等地;铅锌矿废弃地主要分布在毕节地区的赫章、纳雍等县区;锰矿区废弃地主要分布在遵义市的花岗区铜锣井矿区等矿区;汞矿废弃地主要分布在铜仁万山、黔南丹寨、务川等矿区^[5,7](见图1)。

2 贵州喀斯特矿区废弃地的土壤环境问题

2.1 土壤重金属污染严重

土壤重金属污染物主要指铬、铅、汞、锌、锡、镉及类金属砷等,其中一部分重金属直接污染环境,如镉、铅、汞及类金属砷;另一些重金属则是生物所必须的微量元素,在含量达到一定值后也成为有害的环境污染元素,如锌、铜等。目前,研究较多的是镉、铅、砷、铜、锌、汞等^[8]。

由于矿藏资源开采不合理,矿物利用程度低,造成矿区土壤重金属的严重污染。例如,在赫章等地土法炼锌排出的铅锌渣中,除尚未取尽的铅锌外,还含有大量的银、铬、锗等多种元素,再加上含尘废液、废气的大量排放,使土壤中重金属有不同程度的积累,锌达到162.23~877.88 mg/kg,铅为37.24~305.56 mg/kg,镉为0.50~16.43 mg/kg,大大超过当地土壤的背景值。铜仁地区在对汞矿开采的过程中,造成土壤遭受汞污染,当地土壤中汞含量比正常值高出2~3倍;黔西南一些小型锑冶炼厂排放的砷、汞、氟、锑和硒对附近土壤环境造成了严重的污染^[8]。锑冶炼

厂周围土壤中砷、汞、氟、锑、硒的含量比全国、全省平均值明显偏高(表1),其中,砷为全国的1.73~4.96倍,全省的1.25~3.58倍,汞为全国的4.75~237.5倍,全省的1.86~93.14倍,氟为全国的2.26~3.42倍、全省的1.38~2.08倍,锑为全国的35.6~36.2倍,硒为全国的54.29~57.14倍、全省的33.04~34.78倍^[8]。黔西南锑矿区玉米叶片中砷、汞、氟、锑、硒含量均高于大陆植物中相应元素平均含量,砷为大陆植物平均含量的67倍,汞为26.7倍,氟为1 046.4倍,锑为2 220倍,硒为38.8倍^[9]。

贵州省矿区土壤重金属污染已导致了农作物受到不同程度的污染,有许多地方粮食、蔬菜、水果等食物中镉、铬、砷、铅等重金属含量超标和接近临界值^[8]。据抽样调查,清镇市站街铝土矿区附近种植的白菜、甘蓝菜中铅含量达1.640 mg/kg,超过国家食品卫生标准1.0 mg/kg的限量值,超出检出率占70%^[10]。

表1 重金属元素平均含量对比表
Tab.1 Average content of heavy metals

类 型	重金属元素含量/mg/kg						
	As	Hg	Cd	Cr	Se	Pb	Sb
大陆植物平均含量 ^[11]	0.12	0.012	0.005	1.8	0.05	2.5	0.005
中国土壤平均含量 ^[12]	9.6	0.040	0.079	57.3	0.21	23.5	1.0
贵州土壤平均含量 ^[12]	13.3	0.102	0.119	81.8	0.345	24.7	1.89
黔西南锑矿区土壤含量 ^[9]	47.6	0.19	—	—	12	—	36.2
黔西南锑矿区玉米叶片含量 ^[9]	8.04	0.32	—	—	1.94	—	0.05

2.2 生境干旱

贵州喀斯特矿区土壤多分布于石旮旯之间,土壤瘠薄,本来保水能力就较差,在阳光照射下,由于日间岩石吸热,造成对土壤的“烘烤”,更加剧了土壤中水分的蒸发^[13],使矿区土壤越发显得干旱。与此同时,矿山露天开采将直接破坏植被和土壤,造成岩石凸露,降水直接形成地表径流或入渗地下;井工开采则造成地层塌陷、裂隙、裂缝等的形成,地表水直接通过塌陷或者裂隙裂缝灌入地下;矿山开采活动还会造成

地下水水位下降,矿山废弃地土壤干旱严重加剧。此外,矿区开采过程中,由于废渣、废液、废气的大量无处理排放,破坏了矿区植被的立地条件,导致矿区岩石大面积裸露,形成矿山石漠化^[14],致使土壤生境严重干旱。如黔东南金矿区,在金矿开采过程中产生的三废中含有大量的氰化钠、金、锑、砷、铅、汞、镉等有毒有害物质,造成植被的大面积破坏,缺水少土,使当地矿山出现严重的石漠化(表2)。

表2 贵州东南部汞金矿带植物苔藓植物生境概况^[14]
Tab.2 Habitat of bryophytes in mercury—gold ore belt in southeast Guizhou

地点	废石区	废渣区	废水区
丹寨四相厂矿田	废石堆上,仅有少量草本生长	废渣堆上,偶见稀疏的三叶鬼针草	废水周期淹没,沙生或土生,水pH:6.0~6.5
三都交梨矿田	岩石裸露,废石上仅有草本覆盖	废渣裸露,废渣上有草本覆盖	—
王家寨矿点	废石堆沙土生	废渣裸露,废渣上有草本覆盖	—
拉峨矿点	废石上无任何植物生长	—	—

2.3 水土流失加剧

贵州喀斯特矿山开采前一般多为森林、草地等自然植被覆盖的山体。开采后由于植被和土壤遭受破坏,导致大面积人工裸地的形成,土壤极易被雨水冲刷;由于排土场和尾矿占地,人为形成土丘及沟槽,增加了地表水的流速,使水土更易移动,冲刷加剧^[15]。目前贵州矿山开发占用及破坏土地面积达31 754 hm²,其中采场、矿山工业用地及矿山修路占用和破坏土地面积20 061 hm²,占全省矿业开发和破坏土地总面积的63.18%。各类矿山弃渣、尾矿排放占用和破坏土地为3 764.18 hm²,占全省矿业开发和破坏面积的11.85%。矿山的不合理开采造成了严重的水土流失。据调查,贵州矿山土壤的平均侵蚀模数一般都高达5 000~15 000 t/(km²·a)^[16],尤其是一些煤矿区其施工期的土壤侵蚀强度明显增大^[18],是原地表土壤平均侵蚀强度的几倍,甚至几十倍(表3);至2001年底,贵铝二矿的水土流失面积已达89.93万m²,水土流失点26处^[17]。

2.4 生物多样性差

采矿活动破坏了一些地区的原生生境^[19],如作为物种源的大型植被被分割为一些小型的残遗斑块,严重地影响了林地斑块的功能发挥,生物迁徙受到阻隔,野生物种如鸟类栖息数量和种类减少,甚至导致

表3 贵州省部分地区煤矿土壤侵蚀强度调查值^[18]

Tab. 3 Investigation data of soil erosion intensity in some coal mine area in Guizhou

煤矿名称	土壤平均侵蚀模数/t/a·km ²	
	原地表	施工期间
六盘水市老鹰山石板镇煤矿	2 750	8 750
黔南州兴义市马岭镇纳省煤矿	1 000	3 750
毕节地区织金县林贵煤矿	2 204	5 274
遵义市桐梓黎家塘煤矿	3 500	8 720
黔南州龙里县落掌煤矿	892	8 463
贵阳市修文县丁家寨煤矿	432	7 792

地上生物多样性丧失^[20,21],而且由于采矿活动造成的土壤重金属含量的显著增加,也使土壤动物^[22]和微生物生物量^[23]和细菌数量^[24,25]明显降低,甚至成倍下降^[26]。如黔西北赫章新关寨土法炼锌区土壤重金属的积累使微生物大量减少^[27](图2)。另一方面,土壤重金属的积累会导致微生物群落结构显著改变而使其趋于均一化。如贵州东南部汞金矿带不同生境区仅有苔藓植物生长,草本植物非常稀少^[13]。有些矿山废弃地即使后来得到修复,但由于经济利益的驱动种植的都是桉树林、马尾松林等,品种少,群落结构单一,生物多样性差。

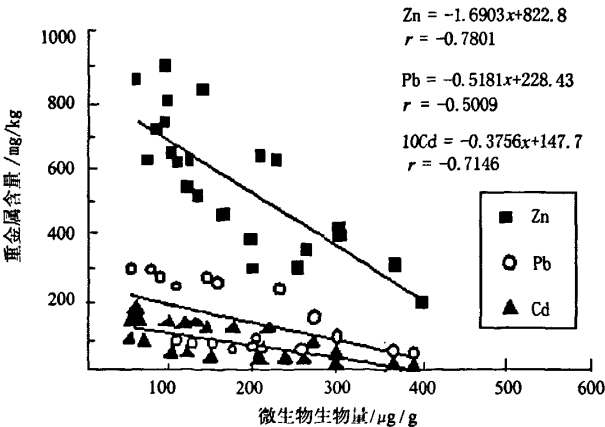


图2 贵州新关寨土壤微生物生物量与土壤重金属的相关关系^[27]

Fig. 2 Correlativity of soil microbial biomass and heavy metal contents in Xinguanzhai Village, Guizhou

3 贵州矿区污染土壤的修复及复垦状况

随着贵州政府和企业对矿山环境管理的重视,矿区污染土壤的修复及复垦在最近几年有所改善。经过2004年和2006年中央财政的支持,地方财政相应进

行力所能及的配套资助,以及各类矿山企业的投入,先后对开阳洋水磷矿区等6个矿山以及对遵义锰矿、万山汞矿、务川汞矿、水城观音山等9矿山地质环境进行治理,累计恢复治理土地面积已达4 549 hm²^[29]。贵州境内的一些企业积极开展土壤修复和复垦工作,

并取得一定的成效。中国铝业贵州分公司第一铝矿探索出了一套“物理—化学—生物”的多元化复垦方法。先用物理措施对排土场的土壤进行平整后,再用熟土进行覆盖,再用化学措施给土壤施加肥料或化学药剂,然后用生物措施,在覆土上面种植错枝杉等抗旱性强、能在重金属污染和营养缺乏的环境中速生的树种或草本植物,在贵阳清镇地区的铝厂排土场和采空区共复垦或恢复植被 35.11 hm²;贵阳清镇火力发电厂将约 33.3 hm² 储灰场复垦为耕地;瓮福磷矿等也采取生物复垦方法对其尾矿库进行了不同程度的复垦,复垦面积约 14 hm²[30];水城煤业大河边煤矿利用香根草治理矸石山,有效防止了泥石流和滑坡的发生[31]。

虽然贵州省土地修复和复垦工作取得一定的成效,但只有遵义锰矿、万山汞矿、三丹汞矿等 14 个主要国有矿山企业采取一定措施进行土地修复和复垦,而绝大部分的私营企业矿厂对生态环境治理投入不足,导致贵州土地破坏程度和范围还在不断扩大,成为制约贵州经济发展的瓶颈之一。据贵州省国土资源厅的调查,矿山企业中自主进行生态治理的仅占调查企业的 1.2%,重建面积不大。

4 讨论与结论

随着社会经济的不断发展和贵州矿产资源的进一步开发,矿山废弃地越来越多,伴随而来的矿山土壤环境问题也会日趋突出。所以矿山废弃地的修复、复垦和合理利用就具有重要的现实意义,特别是喀斯特矿区的土地修复、复垦尤其重要。贵州主要金属矿山废弃地的修复和复垦虽然取得一定成果,但只限于局部,治理任务仍然十分艰巨,特别是贵州主要金属矿山都分布于喀斯特地貌区内,更加剧了矿山废弃地修复和复垦的难度。贵州喀斯特金属矿废弃地土壤环境问题兼有喀斯特石漠化和矿山开采引发的矿山石漠化[31]问题,修复和复垦有别于其他金属矿山废弃地修复和复垦,要兼顾喀斯特地貌和矿山废弃地治理手段,需采用综合性的措施进行治理。

(1)开展喀斯特矿山土壤改良研究。矿区土壤的重金属污染是矿区所面临的重大生态环境问题,而喀斯特矿区污染土壤更有别于非喀斯特矿区污染土壤的理化性质。所以加强喀斯特矿山土壤性状的研究,因地制宜地采取矿山废弃地污染土壤的治理方式,如生物手段、物理—化学手段、物理—生物手段或物理

—化学—生物多元化手段,才有利于喀斯特矿山废弃地的修复和复垦。

(2)开展植物—微生物综合治理手段研究。贵州金属矿山废弃地的修复和复垦是一个综合性矿区土壤治理问题,既要解决矿区重金属污染,又要治理喀斯特石漠化。首先要解决土壤重金属污染问题,即使土壤中的重金属含量恢复到当地背景值或以下,矿山废弃地主要的修复技术是植物修复和微生物修复技术。因而重金属超累积植物的研究和选择是贵州喀斯特矿区废弃地植被恢复的关键。这种植被既要适生于重金属污染的土壤,又要适应喀斯特土壤环境,从而达到既降低和转移重金属又固土持水的目的。除了植物种类的选择以外,运用基因工程培育具有积累重金属、降毒能力及加速植被吸收重金属的微生物研究也是土壤环境治理的关键手段之一。

(3)开展循环利用技术研究:资源的综合利用是我国一项重大的技术经济政策,也是我国国民经济和社会发展的一项长远战略方针。贵州的喀斯特金属矿床多是多金属矿床,共生和伴生的矿物多,由于技术的限制致使很多有用的重金属浪费,甚至由于利用程度低造成土壤污染。污染土壤治理过程中的重金属回收利用是资源循环有效利用的方式之一。所以循环利用技术研究也是喀斯特矿山废弃地土壤修复的重要配套措施。

参考文献

- [1] 张东为,崔建国.金属矿山尾矿废弃地植物修复措施探讨[J].中国水土保持,2006,(3):40—41.
- [2] Konstantinidis K T, Isaacs N, Fet J, et al. Microbial diversity and resistance to Copper in metal-contaminated lake sediment[J]. Microbial Ecology, 2003, 45 (2): 191—202.
- [3] Kim J Y, Kim K W, Lee J U, et al. Assessment of as and heavy metal contamination in the vicinity of Duckum Au—Ag mine, Korea[J]. Environmental Geochemistry and Health, 2002, 24: 215—227.
- [4] 束文圣,张志权,蓝崇钰.中国矿业废弃地的复垦对策研究(I)[J].生态科学,2000,19(2):24—29.
- [5] 赵晓欧,周丕基.贵州省矿山废弃地研究[J].贵州地质,2002,19(2):112—117.
- [6] 贵州省国土资源厅.贵州省“十一五”国土资源利用与保护专项规划[R].2008.
- [7] 孙亚莉.贵州省矿产资源总体规划(第二轮)的环境影响评价[J].贵州地质,2008,25(3):212—217.
- [8] 张莉,周康.贵州省土壤重金属污染现状与对策[J].贵州农业科学,2005,33(5):114—115.
- [9] 张军营,钟秦,任德黔.黔西南一小型梯矿厂环境污染调查分析

- [J]. 环境与健康杂志, 2001, 18(2): 95—99.
- [10] 陆引罡, 王珏. 贵州贵阳市郊区菜园土壤重金属污染的初步调查[J]. 土壤学通报, 2001, 32(5): 235—237.
- [11] 国家环境检测总站. 中国土壤环境背景值[M]. 北京: 中国环境出版社, 1990: 135—170.
- [12] 多布罗沃利斯基 BB. 微量元素地理学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992: 58—105.
- [13] 李娟, 龙建, 李阳兵. 贵州高原喀斯特山区土壤环境问题与对策[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2007, 25(4): 12—16.
- [14] 刘荣相, 张朝晖. 贵州东南部喀斯特汞金矿带苔藓植物及其重金属富集特征[J]. 中国岩溶, 2010, 29(1): 41—47.
- [15] 朱娜娜, 赫立伟. 浅谈矿山开采的生态环境效应及其生态恢复[J]. 科学研究与实践, 2007, (22): 72.
- [16] 陈家彪, 沈冰, 刘飞燕. 西南地区矿山环境地质问题研究[J]. 矿产综合利用, 2007, 4: 43—46.
- [17] 贵州铝土矿废弃地复垦技术初步研究[R/OL]. 2009—12. <http://wyp1942120.blog.163.com/blog/static/221561602008218934113/>.
- [18] 周国富. 贵州岩溶山区井采煤矿水土流失问题及防治对策探讨[J]. 中国岩溶, 2010, 29(1): 27—31.
- [19] 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, 2(24): 323—328.
- [20] 谭文雄. 广东矿区生态环境问题及生态恢复的探讨[J]. 黑龙江生态工程职业学院学报, 2008, 21(4): 1—2.
- [21] Tabak H H, Scharp R, Burckle J, et al. Advances in biotreatment of acid mine drainage and biorecovery of metals; 1. metal precipitation for recovery and recycle [J]. Biodegradation, 2003, 14: 423—436.
- [22] 牛世全, 宁应之, 马正学, 等. 重金属复合污染土壤中原生动物的群落特征[J]. 甘肃科学学报, 2002, 14(3): 44—48.
- [23] 滕应, 黄昌勇, 骆永明, 等. 铅锌银尾矿区土壤微生物活性及其群落功能多样性研究[J]. 土壤学报, 2004, 41(1): 113—119.
- [24] 王秀丽, 徐建民, 姚槐应, 等. 重金属铜、锌、镉、铅复合污染对土壤环境微生物群落结构的影响[J]. 环境科学学报, 2003, 23(1): 22—27.
- [25] 陆引罡, 黄建国, 滕应, 等. 重金属污染黄壤生态修复中的微生物生态效应[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 19—22.
- [26] 蔡运龙. 自然资源原理[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 132—142.
- [27] 杨元跟, 刘丛强, 吴攀, 等. 贵州赫章土法炼锌导致的土壤重金属污染特征及微生物生态效应[J]. 地球化学, 2003, 32(2): 131—138.
- [28] 李海华, 刘建武, 李树人, 等. 土壤—植物系统中重金属污染及作物富集研究进展[J]. 河南农业大学学报, 2000, 34(1): 30—34.
- [29] 国家特邀国土资源监察专员赴贵州调研组. 贵州省矿产资源开发与矿山环境保持调研报道[J]. 中国国土资源经济, 2008, 21(1): 4—7.
- [30] 黄优, 桂祥友. 贵州土地复垦发展现状及其对策研究[J]. 环境工程学报, 2008, 2(2): 285—288.
- [31] 陈伟华, 宋建波, 苏孝良. 矿山石漠化——与喀斯特石漠化并存的一种石漠化类型[J]. 矿业研究与开发, 2007, 27(5): 39—41, 81.

Actuality and countermeasures of the edatope problem in karst mining derelict land in Guizhou Province

ZHANG Yi-xiu, WANG Ji, ZHANG Hao

(School of Geographical and Environment Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China)

Abstract: According to the analysis on the distribution and development as well as using status of the karst mining derelict land in Guizhou Province, it is found that there are four edatope problems: (1) serious heavy metal pollution, such as the Zn content gets up to 162. 23~877. 88 mg/kg, Pb 37. 24~305. 56 mg/kg and Cd 0. 50~16. 43 mg/kg in Hezhang and some other regions, which have significantly surpass the local background level; (2) drought habitat; (3) intensifying soil loss, with average erosion modulus up to 5 000~15 000 t/km².a in most case according to the investigation; (4) low bio-diversity. The actuality of the rehabilitation and reclamation to the derelict land are also introduced in the paper. Furthermore, the key problems and related technique needed to be studied for the harness of edatope problem in karst mining derelict land in Guizhou, such as amelioration for soil, synthetic botanic and microbial harnessing methods, recycling techniques etc. are put forth.

Key words: karst mining area; derelict land; edatope problem; soil rehabilitation; Guizhou