

露天采矿区地表水环境空间特征及其影响因素

——以安徽省马鞍山南山矿区为例

王会宇¹, 王杰^{1,2*}, 崔玉环³, 赵功洋¹

(1. 安徽大学资源与环境工程学院, 安徽合肥 230039; 2. 安徽省地理信息工程中心, 安徽合肥 230601; 3. 安徽农业大学理学院, 安徽合肥 230036)

摘要 [目的]探究露天采矿区地表水环境空间特征及其影响因素。[方法]选取安徽省马鞍山矿区的南山矿为研究区,以矿区高分辨率遥感影像与地表水样实测数据为数据源,在分析采矿活动对矿区土地利用类型改变的基础上,从矿区土地利用方式、采矿场地理位置2个方面综合分析了露天采矿区地表水环境空间特征及影响因素。[结果]矿区内部地表水受 Fe^{3+} 不断氧化作用的影响,造成水体酸化严重(pH为2.38~5.54),电导率随水体酸化程度的加大而增大。矿区周围农田水体富营养化程度较高,水质下降,总氮含量为32.35~83.12 mg/L。矿区内部及周围农田水体中 SO_4^{2-} 含量要高于矿区外部坑塘水体,为411.55~20 645.04 mg/L,而水体的COD均小于8.00 mg/L。[结论]该研究可为矿区生态系统恢复与地表水污染治理提供科学依据。

关键词 矿产开采;地表水环境;高分辨率影像;土地利用;富营养化

中图分类号 S181.3 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)04-0051-04

Spatial Characteristics and Influencing Factors of Surface Water Environment in Open Pit Mining Area—A Case Study of Nanshan Mining Area in Maanshan City, Anhui ProvinceWANG Hui-yu¹, WANG Jie^{1,2*}, CUI Yu-huan³ et al (1. School of Resources and Environmental Engineering, Anhui University, Hefei, Anhui 230039; 2. Anhui Provincial GIS Engineering Center, Hefei, Anhui 230601; 3. School of Science, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036)

Abstract [Objective] To explore spatial characteristics and influencing factors of surface water environment in open pit mining area. [Method] Selecting Nanshan mining area in Maanshan City in Anhui Province as the study area, with high-resolution remote sensing image and field measurement data as information sources, based on analyzing the change of mining activities to the land use types, spatial characteristics and influencing factors of surface water environment in open pit mining area were analyzed from two aspects of land use way and mining location. [Result] Surface water of mining was affected by Fe^{3+} continuous oxidation, resulting in severe acidification of water bodies, with pH values of 2.38-5.54, the conductivity degree increased with the increase of water acidification. Water body of farmland near mining regions had the high degree of eutrophication, water quality declined, total nitrogen content ranging from 32.35-83.12 mg/L. Water content of SO_4^{2-} in and around mining area farmland was higher than that in mine peripheral water body, values ranging from 411.55-20 645.04 mg/L, and the content of dissolved oxygen in water sample was less than 8.00 mg/L. [Conclusion] These conclusions above can provide the scientific basis for restoration of mining ecosystem and the prevention of surface water pollution.

Key words Mineral exploitation; Surface water environment; High-resolution image; Land use; Eutrophication

矿业作为我国的基础产业,在国民经济和社会发展中具有重要的地位和作用。我国95%以上的一次能源、80%以上的工业原料和70%以上的农业生产资料来自矿业。然而,矿产资源的开发不仅占用大量的土地资源,还导致严重的植被破坏,通过地表水-地下水循环过程造成矿区地表水环境、土壤环境的污染,对区域生态系统和人们身体健康造成不利影响。目前,研究矿产开采活动对地表水环境的影响已经成为环境领域的热点。近年来,俄罗斯废弃的数百座非盈利性亏损煤矿,造成了大面积地下水和地表水污染^[1];美国马兰州近150个煤矿外排酸性矿井水污染河流水系,造成当地大量动植物死亡^[2];我国两淮、唐山、铁法、双鸭山地、阜新采矿破坏了地表、地下水系,形成了大面积低洼区,成为污垢汇集之地^[3-4]。从目前的研究进展看,研究区域多集中在大型煤矿区,如大同、阜新、两淮矿区以地下开采方式为主,分析煤炭开采活动对矿区水环境的影响,并进行水资源环境安全评价^[5-8],而从流域尺度上开展金属矿区的露天开采活动

对地表水环境影响的研究较少,仅有部分学者对个别金属矿区地表水体中的重金属离子含量(Cd、Cu、Pb、Sb)与污染进行了评价^[9-12]。

安徽省马鞍山矿区作为全国七大铁矿产区之一,开采活动以露天开采为主。该矿区地处长江主干下游水网地区,河流、湖泊交错分布,水域总面积达360 km²,其社会、经济地位极为重要。因而,有必要从流域尺度上开展金属矿产开采活动对地表水环境的影响过程研究。现代遥感技术尤其是高分辨率遥感技术,地面分辨率最高可达0.3 m,该技术为从宏观尺度上获取矿区开发规模与土地利用模式变化信息提供了便捷的技术手段。笔者选取马鞍山矿区南山矿(凹山矿场、和尚桥矿场)为调查区,以Worldview-II高分辨率遥感数据和地表水实测数据为数据源,结合遥感解译、实地勘察与地表水质测定的方法,探讨了矿区开发活动影响下的土地利用类型变化特征,并从矿区土地利用方式、采矿场地理位置2个方面,探讨了露天采矿区地表水环境空间特征及影响因素,以期对矿区地表水环境的治理与保护措施的制订提供理论参考与决策依据。

1 资料与方法

1.1 研究区概况 马鞍山铁矿资源丰富,地处长江下游宁芜—罗河成矿带。矿区内铁矿山有马钢集团所属南山、姑山、桃冲铁矿及待开发的罗河铁矿,已探明的铁矿产地有31

基金项目 安徽大学2014年大学生科研训练计划项目(KYX12014041);安徽省高校优秀青年人才基金重点项目(2013KJ1010022);安徽大学博士启动基金(32030068)。**作者简介** 王会宇(1995-),男,安徽阜阳人,本科生,专业:地理信息系统。*通讯作者,讲师,博士,从事遥感地学分析研究。**收稿日期** 2016-12-14

处,伴生矿产地 10 处,铁矿总储量 16.35 亿 t,占安徽全省铁矿总储量的 57.32%,其中能满足工业开采的 10 亿 t 以上。

南山矿位于马鞍山市郊区的向山镇附近,矿产类型以硫铁矿为主,伴生矿产类型为磷矿、明矾矿,共包括凹山矿场、和尚桥矿场 2 个采矿场(图 1)。其中,凹山采矿场为年代较

老的采矿场,自 20 世纪初开采至今,矿产资源濒临枯竭,现已停止开采;而和尚桥矿场为马鞍山矿区的后备采矿场,矿产资源丰富,于 21 世纪初投入开采,近年来矿产开采规模不断扩大。

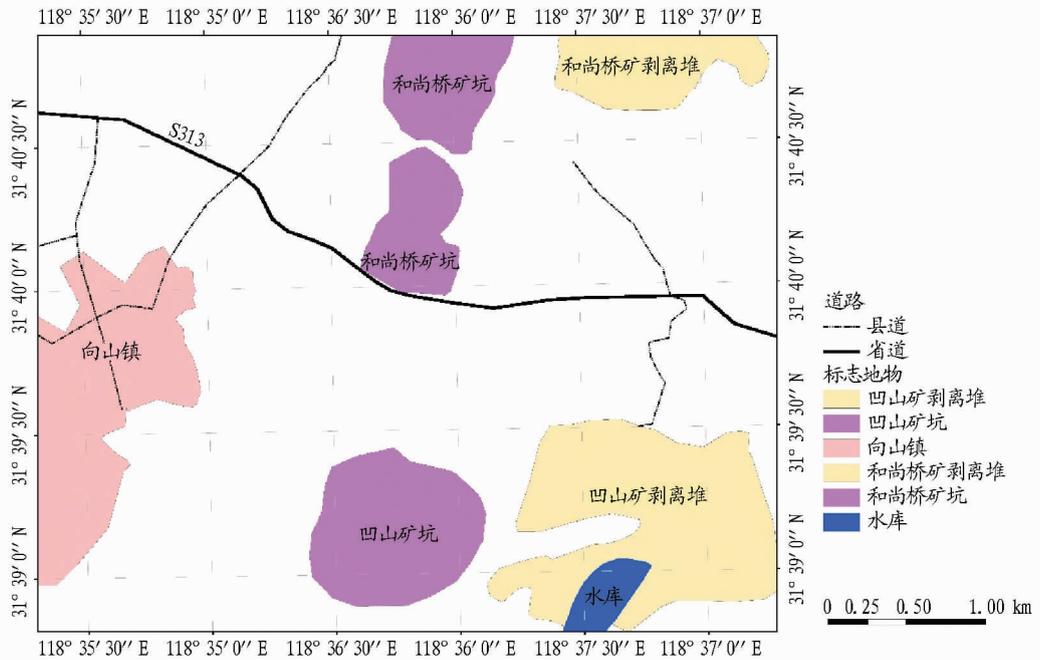


图 1 马鞍山矿区南山矿概况

Fig. 1 The general situation of Nanshan mining area in Maanshan City

1.2 数据资料处理 采用的数据资料有 2012 年夏季马鞍山矿区南山矿的高分辨率遥感影像, 1:5 万地形图, 1:1 万土地利用现状图及行政区划图。根据矿产开发过程及其对周边环境造成的影响, 将矿区土地利用方式进行细化, 完成 3 级分类解译得到的土地利用类型体系(图 2)。

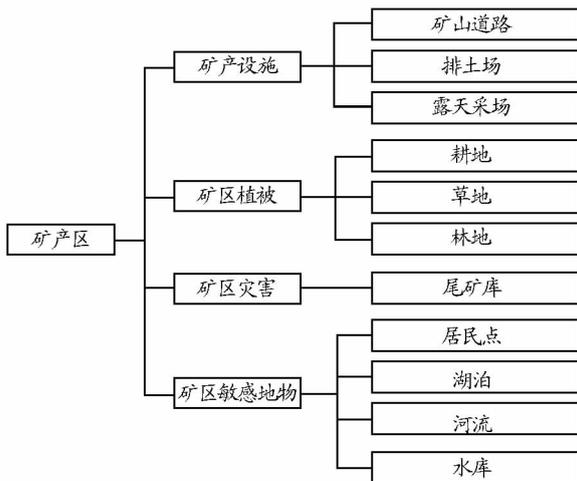


图 2 矿产资源开发区土地利用类型体系

Fig. 2 Land use classification system used for mining area

结合 2013 年 7 月对南山矿区开展的野外调查记录和 2006 年马鞍山市土地利用现状图,采用面向对象分类方式对该矿区高分辨率遥感影像进行土地利用类型解译,并根据实

地勘察记录对遥感解译结果进行人工修正和检验,以提高解译结果的精度。

根据马鞍山地区的 1:5 万地形图,数字化获得等高线,通过构建 TIN 格式地形转换生成南山矿区的数字高程模型数据(DEM)。而后借助 ArcGIS 软件中的水文分析工具提取出矿场附近的地表水系和流域边界(图 3)。

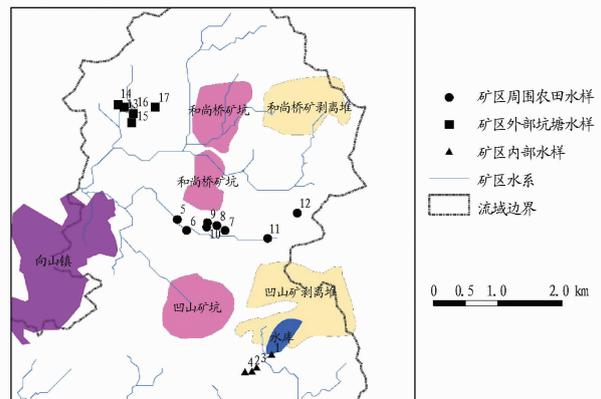


图 3 马鞍山市南山矿水体样点分布

Fig. 3 The distribution of water samples in Nanshan mining area in Maanshan City

1.3 水体采样与水质参数测定 通过现场采样获取矿区地表水环境数据,以在矿区积水区采集的地表水样数据为主。在采集水样过程中,按照调查样点的前后顺序进行统一编

号,与各类型观测仪器所测定参数进行关联,同步记录该样点所属土地利用类型、GPS定位数据等,生成.shp格式的矢量数据加入数据库。共取17个水样点,其中位于矿区内部水样为4个,编号为1~4;位于矿区周围农田水样为8个,编号为5~12;位于矿区外部坑塘水样为5个,编号为13~17。样地空间分布见图3。

对于野外采集的矿区地表水样品,经冷冻保护后带回实验室进行水质成分测定,测定参数包括pH、电导率、总氮、硝氮、氨氮、总磷、溶磷、化学需氧量(COD)、 SO_4^{2-} 9个参数。最后将测定的各项成分含量参数加入.shp格式的采样点数据的属性表中。

2 结果与分析

2.1 土地利用现状

为获取马鞍山南山矿区的开采规模与土地利用方式状况,笔者根据2012年夏季获取的矿区高分

辨率遥感影像,采用面向对象分类的计算机解译结果与实地调查相结合的方式,获得矿区土地利用现状图(图4),并分析矿区露天采矿活动对区域土地利用模式的影响。

根据2012年夏季矿区遥感影像解译结果,截至2012年马鞍山南山矿区开采面积为 6.12 km^2 。其中,位于南山矿区北部的和尚桥矿区开采规模急剧扩大,表现在采矿坑开采深度的增加(截至2013年7月开采深度为27 m),排土场占地面积和高度的不断增加。而2003—2007年凹山矿区的采矿规模增大,2007年以后开采规模基本保持不变。

为了深入分析矿产开发对土地利用模式的影响,笔者对遥感解译后的矿区土地利用现状图中各类型的面积、面积比例进行数值统计,结果见表1。由表1可知,随着露天采矿规模的加大,南山矿区土地利用类型仍以灌丛、耕地、居民地为主(占59.86%),露天采场、排土场与草地土也占相当大的面

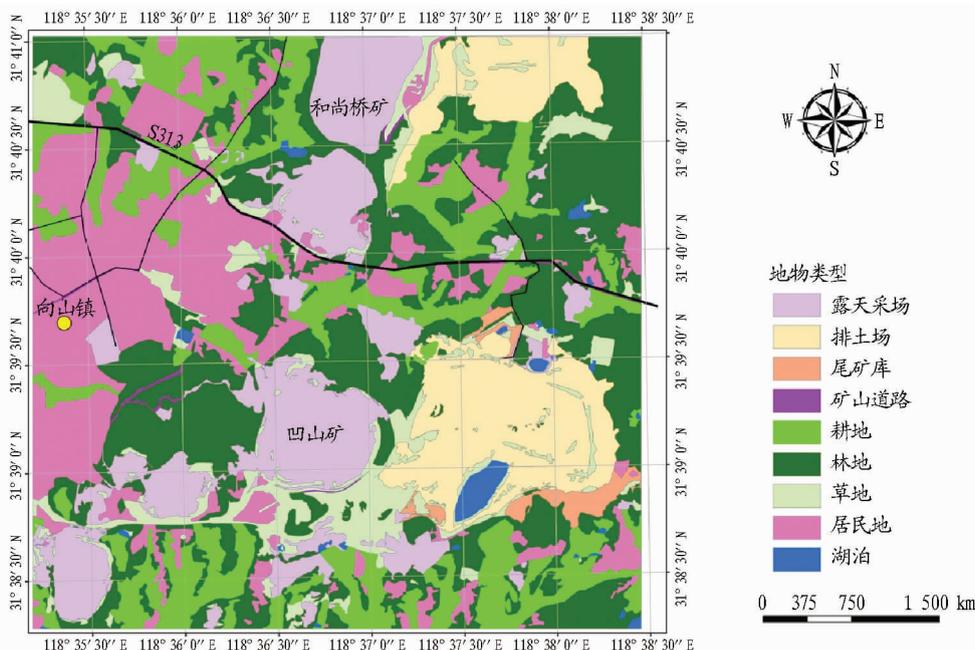


图4 2012年马鞍山南山矿区土地利用状况

Fig. 4 The status of land use in Nanshan mining area in Maanshan in 2012

积比例(占33.90%),造成了矿区原有土地利用模式的改变。在矿区露天采矿、生产加工、堆放、运输等过程中,矿物离子通过地表水系扩散及地表水—地下水循环的方式改变了区域地表水环境。

表1 马鞍山南山矿区土地利用面积统计

Table 1 The statistics of land use area in Nanshan mining area

土地类型 Land types	面积 Area// km^2	面积比例 Proportion//%
露天采场 Open pit	3.976 0	15.28
排土场 Waste disposal site	2.770 0	10.65
尾矿库 Tailing pond	0.280 0	1.08
草地 Lawn	2.075 0	7.97
林地 Forest land	1.320 0	5.07
灌丛 Bushwood	6.070 0	23.33
湖泊 Lake	0.024 5	0.09
耕地 Cultivated land	4.438 0	17.05
居民地 Settlement place	5.070 0	19.48

2.2 地表水环境空间特征及影响因素

为了从矿物离子扩散角度分析矿区地表水环境空间特征及影响因素,笔者根据地表水采样点在采矿场所在流域的不同地理位置,分析矿物离子通过地表水—地下水循环对区域地表水环境的影响。根据实验室内对马鞍山南山矿区17个水体样品的成分测定结果,分析其内部物质成分的空间变化特征,包括pH、电导率、总氮、硝氮、氨氮、总磷、溶磷、COD、 SO_4^{2-} 。

2.2.1 pH、电导率。

从图5可以看出,矿区地表水体的pH、电导率数值空间差异较大。其中,矿区内部水样(1~4号)的pH在2.0~3.0,呈强酸性;矿区周围农田水样(5~12号)的pH在2.5~6.0,呈弱酸性;矿区外部坑塘水样(13~17号)的pH在7.0左右,呈中性。水样的电导率随酸化程度的加大而增大。这说明地表水体的酸化程度与距采矿点的距离有关,距离越近,酸化程度越大。此外,矿区所在流域外部水体的酸碱度呈中性,也间接反映了矿物离子按照地表

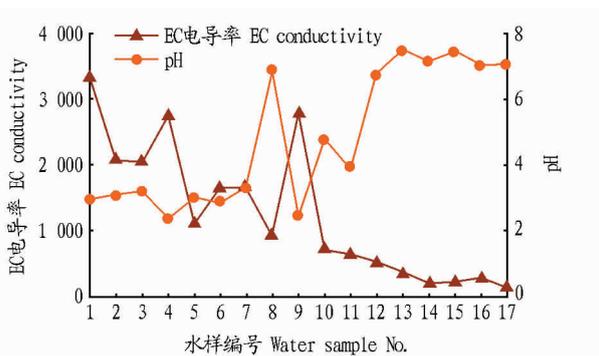


图5 矿区水体样本 pH 与电导率空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of pH and conductivity for water samples in mining area

水系的流向不断向外围扩散。

2.2.2 总氮、硝氮、氨氮含量。从图6可以看出,位于矿区周围农田水样(5~12号)的总氮、硝氮、氨氮含量均高于矿区内部、矿区外部坑塘水体含量,为32.35~83.12 mg/L,远高于《地表水环境质量标准 GB 3838—2002》中II类水体的氮含量标准。这主要与农田农作物种植中施用的氮素化学肥料有关,氮素离子随着地表水体流动而扩散;同时也间接说明采矿活动对矿区地表水体的氮素含量影响不显著。其中,水样中氨氮含量较低,不同水样的氨氮含量差异不大。

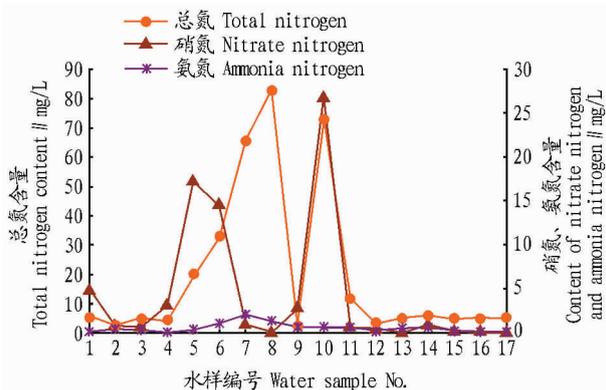


图6 矿区水体样本总氮、硝氮、氨氮含量空间分布

Fig. 6 Spatial distributions of total nitrogen, nitrate nitrogen and ammonia nitrogen for water samples in mining area

2.2.3 总磷、溶磷含量。从图7可以看出,矿区的总磷含量为0.04~9.41 mg/L,矿区周围农田水体的总磷含量高于矿区内部、矿区外部坑塘;溶磷仅占总磷含量的小部分,矿区内部水体的溶磷含量略高于矿区周围、矿区外部坑塘。这说明矿区地表水体的有机物污染并不严重,主要与农田的种植施肥有关,与采矿活动的影响相关性不大。

2.2.4 COD、 SO_4^{2-} 含量。从图8可以看出,矿区内部及周围农田水体中 SO_4^{2-} 含量较高,其含量为411.55~20 645.04 mg/L,其中矿区内部水体 SO_4^{2-} 含量明显高于矿区周围农田水体,这说明该矿区采矿过程中有大量的可溶性 SO_4^{2-} 随着地表、地下径流进入周围水体、土壤;而矿区外部坑塘水体中 SO_4^{2-} 含量不高,为15.96~126.05 mg/L,符合《地表水环境质量标准 GB 3838—2002》中的要求。此外,矿区水体的

COD为1.76~22.93 mg/L,且绝大部分水样的COD不超过8.00 mg/L,这说明该矿区地表水体受采矿活动导致的有机物污染程度并不明显。

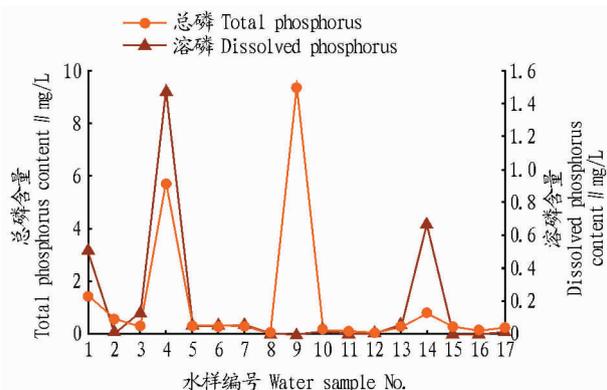
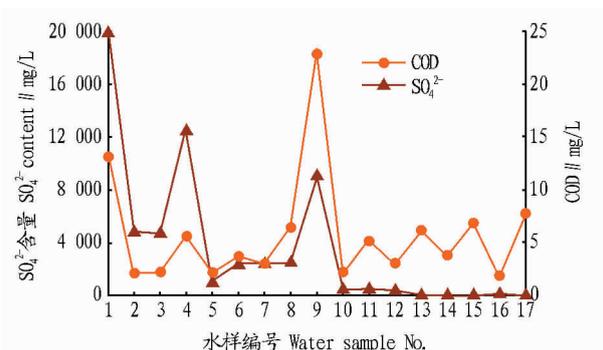


图7 矿区水体样本总磷、溶磷含量空间分布

Fig. 7 Spatial distribution of total phosphorus, dissolved phosphorus content for water samples in mining area

图8 矿区水体样本COD、 SO_4^{2-} 含量空间分布Fig. 8 Spatial variation of COD, SO_4^{2-} for water samples in mining area

3 结论与讨论

矿产开采活动导致矿区土地利用类型的改变,进而影响地表水环境的污染程度。该研究以安徽省马鞍山南山矿区为研究区,以矿区高分辨率遥感数据和地表水实测数据为数据源,结合实地调查与室内分析结果,探讨矿区地表水环境的空间分布特征及影响因素,得到以下结论:

(1)在矿区所在流域内,距采矿中心越近,水体酸化程度越大,pH可达2.3;在矿区所在流域以外,水体酸碱度呈中性。水体的电导率随着酸化程度的加大而增大。

(2)矿区周围农田水体的总氮、硝氮含量比矿区内部、矿区外部坑塘水体高,这说明矿区周围的水体富营养化程度较高,主要与农田种植施用的氮素肥料有关。矿区水体中总磷、溶磷含量的空间差异不明显,矿区内部水体的磷含量略高于矿区周围、矿区外部坑塘,说明矿区地表水体的有机物污染不严重,受采矿活动的影响不显著。

(3)矿区内部及周围农田水体中 SO_4^{2-} 含量较高,为411.55~20 645.04 mg/L,其中矿区内部水体 SO_4^{2-} 含量明显高于矿区周围农田水体。这说明采矿过程中有大量可溶

(下转第63页)

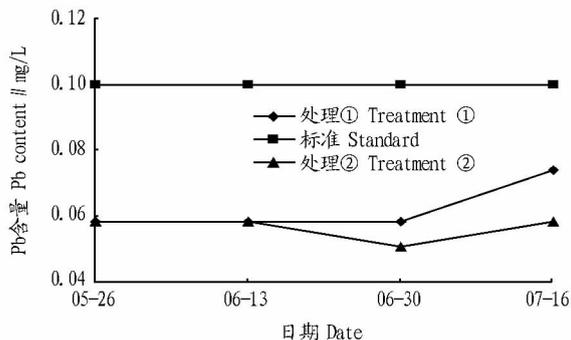


图 5 不同处理渗滤液中 Pb 含量

Fig. 5 Pb content in leachate in different treatments

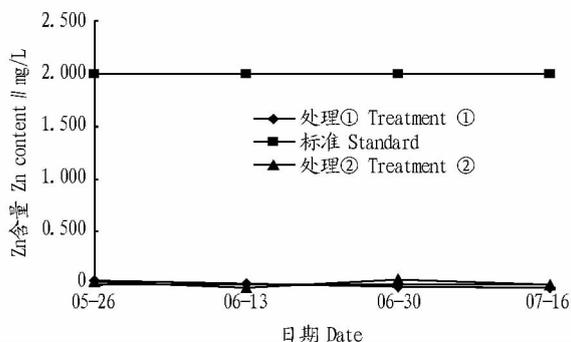


图 6 不同处理渗滤液中 Zn 含量

Fig. 6 Zn content in leachate in different treatments

3 结论

该研究表明,相对于园林种植常用的菜园土,堆肥土更适用于种植盆栽长春花,存活率、株高、冠幅的生长指标均优于菜园土。除了重金属 Zn 以外,渗滤液中重金属 Pb、Cd、Cu 含量与种植基质的重金属含量呈正相关,即基质中重金属 (Pb、Cd、Cu) 含量高,则渗滤液中重金属 (Pb、Cd、Cu) 的含量高。参照《地表水环境指标标准 (GB 3838—2002)》的评价标准,渗滤液的重金属 Zn、Cd 含量符合 I 类标准,重金属 Cu 含量符合 II 类标准,而重金属 Pb 含量稍高,符合 V 类标准,因此,综合评价,渗滤液符合 V 类标准,可排放于“适用于农业用水区及一般景观要求水域”。研究发现,堆肥过程不但可使污泥中挥发性物质含量降低,臭味减小,而且可以固化和钝化重金属^[6]。因此,可利用生物好氧堆肥方法将城市生活污水污泥制成堆肥土,并将其应用于种植盆栽花卉,对受纳水体不会造成环境污染。

参考文献

- [1] 杨玉荣,魏静,李倩茹.城市污泥堆肥对草坪草生长的影响[J].安徽农业科学,2010,38(11):5586-5587.
- [2] 吕彦.城市污水厂污泥土地利用重金属迁移规律研究[D].上海:同济大学,2004.
- [3] 郝汉舟,靳孟贵,李瑞敏,等.耕地土壤铜、镉、锌形态及生物有效性研究[J].生态环境学报,2010,19(1):92-96.
- [4] 韩春梅,王林山,巩宗强,等.土壤中重金属形态分析及其环境学意义[J].生态学杂志,2005,24(12):1499-1502.
- [5] 高和平,李洋,张涛,等.畜禽粪便有机肥中 Cu、Zn 在不同农田土壤中的形态归趋和有效性动态变化[J].环境科学,2015(1):314-324.
- [6] 谢小兰,曹雪莹,种云霄,等.铜锌超标的城镇污泥在大规模条垛式堆肥过程中重金属变化[J].环境工程,2014,32(S1):319-324.

(上接第 54 页)

性 SO_4^{2-} 随着地表、地下径流进入矿区周围水体;而矿区外部坑塘水体中 SO_4^{2-} 含量不高,为 15.96 ~ 126.05 mg/L。矿区水体的 COD 为 1.76 ~ 22.93 mg/L,且绝大部分水样的 COD 不超过 8.00 mg/L。

参考文献

- [1] 虎维岳,李忠明,王成绪.废弃矿山引起的环境地质灾害[J].煤田地质与勘探,2002,30(4):33-35.
- [2] BULUSU S, AYDILEK A H, ASCE M, et al. Remediation of abandoned mines using coal combustion byproducts[J]. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 2005, 131(8): 958-969.
- [3] 王来贵,潘一山,赵娜.废弃矿山的安全与环境灾害问题及其系统科学研究方法[J].渤海大学学报(自然科学版),2007,28(2):97-101.
- [4] 李喜林,王来贵,苑辉,等.大面积采动矿区水环境灾害特征及防治措施[J].中国地质灾害与防治学报,2012,23(1):88-93.

- [5] 魏引尚,韩国锋,袁珍.陕北矿区水环境安全评价[J].煤矿安全,2011,42(3):125-127,131.
- [6] 张春燕.山西省大同矿区水环境分析及水资源保护[J].山西焦煤科技,2010(9):53-56.
- [7] 徐良骥,严家平,高永梅.煤矿塌陷水域水环境现状分析及综合利用:以淮南矿区潘一煤矿塌陷水域为例[J].煤炭学报,2009,34(7):933-937.
- [8] 宋晓猛,杨森,刘勇,等.矿区水环境质量评价研究[J].洁净煤技术,2010,16(2):97-100.
- [9] 魏焕鹏,党志,易筱筠,等.大宝山矿区水体和沉积物中重金属的污染评价[J].环境工程学报,2011,5(9):1943-1949.
- [10] 宁增平,肖唐付,杨菲,等.锦矿区水体水环境镉污染及硫同位素示踪研究[J].矿物岩石地球化学通报,2011,30(2):135-141.
- [11] 李永华,姬艳芳,杨林生,等.采选矿活动对铅锌矿区水体中重金属污染研究[J].农业环境科学学报,2007,26(1):103-107.
- [12] 李锦文,陈南,吴惠明,等.硫铁矿酸化过程中铀向水环境的释放迁移行为[J].中国环境科学,2012,32(6):1026-1031.