

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

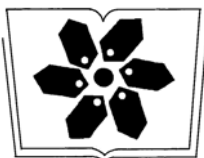
Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 21 期 Vol.33 No.21 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 21 期 2013 年 11 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 生态系统生产总值核算:概念、核算方法与案例研究..... 欧阳志云,朱春全,杨广斌,等 (6747)
- 气候变化对传染病爆发流行的影响研究进展..... 李国栋,张俊华,焦耿军,等 (6762)
- 好氧甲烷氧化菌生态学研究进展 负娟莉,王艳芬,张洪勋 (6774)
- 氮沉降强度和频率对羊草叶绿素含量的影响..... 张云海,何念鹏,张光明,等 (6786)
- 世界蜘蛛的分布格局及其多元相似性聚类分析..... 申效诚,张保石,张 锋,等 (6795)
- 风向因素对转基因抗虫棉花基因漂移效率的影响..... 朱家林,贺 娟,牛建群,等 (6803)

个体与基础生态

- 长江口及东海春季底栖硅藻、原生动物和小型底栖生物的生态特点 孟昭翠,徐奎栋 (6813)
- 长江口横沙东滩围垦潮滩内外大型底栖动物功能群研究..... 吕巍巍,马长安,余 骥,等 (6825)
- 沔阳沿岸土壤和优势植物重金属富集特征和潜在生态风险..... 杨 阳,周正朝,王欢欢,等 (6834)
- 盐分和底物对黄河三角洲区土壤有机碳分解与转化的影响..... 李 玲,仇少君,檀菲菲,等 (6844)
- 短期夜间低温胁迫对秋茄幼苗碳氮代谢及其相关酶活性的影响..... 郑春芳,刘伟成,陈少波,等 (6853)
- 32 个切花菊品种的耐低磷特性 刘 鹏,陈素梅,房伟民,等 (6863)
- 年龄和环境条件对泥蚶富集重金属镉和铜的影响..... 王召根,吴洪喜,陈肖肖,等 (6869)
- 角倍蚜虫瘿对盐肤木光合特性和总氮含量的影响..... 李 杨,杨子祥,陈晓鸣,等 (6876)
- 多噬伯克霍尔德氏菌 WS-FJ9 对草甘膦的降解特性 李冠喜,吴小芹,叶建仁 (6885)
- 金龟甲对蓖麻叶挥发物的触角电位和行为反应..... 李为争,杨 雷,申小卫,等 (6895)

种群、群落和生态系统

- 白洋淀生态系统健康评价..... 徐 菲,赵彦伟,杨志峰,等 (6904)
- 珠海鹤洲水道沿岸红树林湿地大型底栖动物群落特征 王 卉,钟 山,方展强 (6913)
- 典型森林和草地生态系统呼吸各组分间的相互关系..... 朱先进,于贵瑞,王秋凤,等 (6925)
- 抚育间伐对油松人工林下大型真菌的影响..... 陈 晓,白淑兰,刘 勇,等 (6935)
- 百山祖自然保护区植物群落 beta 多样性 谭珊珊,叶珍林,袁留斌,等 (6944)
- 土霉素对堆肥过程中酶活性和微生物群落代谢的影响..... 陈智学,谷 洁,高 华,等 (6957)

景观、区域和全球生态

- 兴安落叶松针叶解剖结构变化及其光合能力对气候变化的适应性 季子敬,全先奎,王传宽 (6967)
- 盐城海滨湿地景观演变关键土壤生态因子与阈值研究..... 张华兵,刘红玉,李玉凤,等 (6975)

半干旱区沙地芦苇对浅水位变化的生理生态响应 马赞花,张铜会,刘新平 (6984)

SWAT 模型融雪模块的改进 余文君,南卓铜,赵彦博,等 (6992)

科尔沁沙地湖泊消涨对气候变化的响应..... 常学礼,赵学勇,王 玮,等 (7002)

贝壳堤岛 3 种植被类型的土壤颗粒分形及水分生态特征..... 夏江宝,张淑勇,王荣荣,等 (7013)

三峡库区古夫河着生藻类叶绿素 a 的时空分布特征及其影响因素..... 吴述园,葛继稳,苗文杰,等 (7023)

资源与产业生态

煤炭开发对矿区植被扰动时空效应的图谱分析——以大同矿区为例..... 黄 翌,汪云甲,李效顺,等 (7035)

学术信息与动态

《中国当代生态学研究》新书推介 刘某承 (7044)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 300 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 30 * 2013-11



封面图说: 百山祖保护区森林植物群落——百山祖国家级自然保护区位于浙西南闽浙交界处,由福建武夷山向东北伸展而成,主峰海拔 1856.7m,为浙江省第二高峰。其独特的地形和水文地理环境形成了中亚热带气候区中一个特殊的区域,保存着十分丰富的植物种质资源以及国家重点保护野生动植物种,尤其是 1987 年由国际物种保护委员会列为世界最濒危的 12 种植物之一的百山祖冷杉,是第四纪冰川的孑遗植物,素有“活化石”之称。随着海拔的升高,其植被为常绿阔叶林、常绿-落叶阔叶混交林、针阔混交林、针叶林、山地矮林和山地灌草丛。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@ 163.com

DOI: 10.5846/stxb201206150859

杨阳,周正朝,王欢欢,张越,曹睿,王若丹.沱河沿岸土壤和优势植物重金属富集特征和潜在生态风险.生态学报,2013,33(21):6834-6843.

Yang Y, Zhou Z C, Wang H H, Zhang Y, Cao R, Wang R D. Enrichment and ecological risk of heavy metal in soils and dominant plants in the riparian of the Fenghe River. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(21): 6834-6843.

沱河沿岸土壤和优势植物重金属富集特征 和潜在生态风险

杨 阳^{1,2}, 周正朝^{1,*}, 王欢欢¹, 张 越³, 曹 睿⁴, 王若丹¹

(1. 陕西师范大学旅游与环境学院, 西安 710062;

2. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;

3. 陕西师范大学物理学与信息技术学院, 西安 710062; 4. 陕西师范大学数学与信息科学学院, 西安 710062)

摘要:测定陕西省沱河沿岸 32 个土壤样品和 16 个优势植物样品中 Cr、Cu、Mn、Pb、Zn 和 Ni 6 种重金属元素的含量,并结合数据统计与 GIS 制图,对土壤和植物中重金属的空间分布、富集特征及潜在风险进行分析。结果表明沱河中下游沿岸土壤和植物中 Cr、Mn、Pb、Zn 和 Ni 含量空间分布呈明显富集。土壤中 Cr、Mn 和 Pb 的几何均值分别为 92.1、611.1 和 32.9 mg/kg,均高于陕西省土壤元素背景值;植物中 Mn、Zn 含量在正常范围内,Cr、Cu、Ni 含量部分超标,Pb 含量整体较高,地上部分对 Pb 的积累量达到 15.5 mg/kg,约为正常情况下的 7.8 倍。马齿苋、艾蒿、芦苇和水蓼 4 种植物生物量大,对这六种重金属富集能力均较强,可作为该地区耐重金属植物。沱河沿岸土壤和植物中重金属污染值得关注。

关键词:沱河;重金属;土壤;植物;生态风险

Enrichment and ecological risk of heavy metal in soils and dominant plants in the riparian of the Fenghe River

YANG Yang^{1,2}, ZHOU Zhengchao^{1,*}, WANG Huanhuan¹, ZHANG Yue³, CAO Rui⁴, WANG Ruodan¹

1 College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an Shaanxi 710062, China

2 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

3 College of Physics and Information Technology, Shaanxi Normal University, Xi'an Shaanxi 710062, China

4 College of Mathematics and Information Science, Shaanxi Normal University, Xi'an Shaanxi 710062, China

Abstract: Heavy metal contamination in rivers has become a major issues in recent decades due to their biogeochemical cycling, environmental persistence, and ecological risks. Intensive attention has been given to river sediment contamination but heavy metals in soils and plants along the river ecosystem have been inadequately studied. The results of this research will contribute to a better understanding of heavy metal characteristics, pollution status assessment, affect in river ecosystems, and environmental protection of rivers. A total of 32 soils and 16 dominant plants samples were collected in the riparian of the Fenghe river of Shaanxi Province from the headwater to the river mouth. The spatial distribution, accumulation characteristics, and potential risk of heavy metals in the soils and plants were investigated by measuring total concentrations of Cr, Cu, Mn, Pb, Zn, and Ni in soils and plants via X-Ray fluorescence spectrometry and atomic absorption spectroscopy, GIS mapping, and by analyzing the relationship between heavy metal concentrations in soils and plants. Significant spatial accumulation of Cr, Mn, Pb, Zn, and Ni in soils and plants were found midstream and

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项渭河典型重污染支流综合整治技术集成与示范课题(2008ZX07012-002-004);国家级大学生创新项目(1110718025)

收稿日期:2012-06-15; 修订日期:2012-10-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhouzhengchao@126.com

downstream. The geometrical mean concentrations of Cr, Mn, and Pb in soils were 92.1, 611.1, and 32.9 mg/kg, respectively. The average concentrations of Cr, Mn, and Pb exceeded the corresponding background values of Shaanxi topsoil while the average concentrations of Zn, Cu, and Ni were lower. Taking the China Environmental Quality Standard (GB15618—1995, Grade I) for soils as a reference, the ratio of all the samples in soils above the limit were 75% for Cr, 19% for Cu, 63% for Mn, 25% for Pb, and 6% for Ni, which indicates the pollution characteristics of multi-metals in soils are mainly due to Cr. The Nemero Index showed that the soils in the riparian of the Fenghe River were moderately polluted. The Geo-accumulation Index showed that soils were not polluted with Mn and Zn but there was mild Pb, Ni, Cr, and Cu contamination in some samples. The heavy metal concentrations in plants in the riparian of the Fenghe River had normal distribution. The Cr, Cu, and Ni concentrations of Pb in some samples were above critical values, while the Pb concentrations were high in all samples. The geometrical mean concentrations of Pb in the above-ground biomass, which accumulated to 15.5 mg/kg, was 7—8 times the normal concentrations in plants. This paper did not screen out new plants which satisfied with the standard of hyperaccumulators, but *Portulaca oleracea*, *Artemisia argyi*, *Phragmites communis*, and *Polygonum hydropiper* grew well and were potentially tolerant species. There were significant positive correlations among the concentrations of Cr, Cu, Zn, Mn, Ni, and Pb in the soils and plants, and the Cr concentrations in soils promoted the accumulation of Ni in the underground biomass. Along with Pb increase in the soil was a corresponding increase in Zn, Mn, and Pb in plant roots. It is necessary to focus on the potential risk of heavy metals for water safety and human health in soils and plants in the riparian of the Fenghe River.

Key Words: Fenghe River ; heavy metal ; soils ; plants ; ecological risk

河流健康是近年来各国学者关注的热点问题^[1-3]。由于我国河流健康研究起步较晚,河流监管理念还不完善,很长时间内只关注河流的化学污染^[4-6]。近年来,通过对国内外河流健康评估方法的了解和对比^[7-10],国内产生了大量研究成果,以河流为中心的生态系统健康问题引起广泛重视^[11-15]。在河流生态系统健康问题研究中,由于重金属污染物具有难以降解、潜伏期长、复合污染等特性,其毒性和危害性最大^[16-17]。重金属不但会降低土壤中微生物的数量和酶的活性,而且会抑制土壤吸收代谢、硝化及氨化作用,并通过土壤—植物系统,经由食物链直接危及人类健康^[18,23,28,30]。

沱河位于渭河南岸,是西安市黑河引水工程的补给水通道与受体,是西安市长安区人民的生活饮用水水源地。随着该地区近年来人口增长、经济发展、旅游开发及中下游地区乡镇工业的发展,沱河水体功能下降,水资源短缺,水质严重恶化^[19-20,22]。本文通过对沱河沿岸土壤和优势植物中 Cr、Cu、Mn、Pb、Zn 和 Ni 6 种重金属含量进行测定与分析,反映沱河沿岸土壤—植物系统中重金属含量特征,以期为当地居民的健康防护和当地政府部门开展区域环境质量评估提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

沱河是黄河第一大支流渭河南岸的一级支流,发源于西安市长安区喂子坪乡鸡窝子以南的秦岭北侧,全长 78 km,流域面积 1460 km²,流经西安市长安区、户县秦渡镇和咸阳市的秦都区,由 56 个峪口逐次汇集而成。沱河主要支流有太平峪、高冠峪和漓河,根据其河道特征,沱峪口以上为上游,沱峪口至秦渡镇为中游,秦渡镇以下至河口为下游^[19,21]。近年来,随着该地区经济发展、人口增长以及黑河引水工程的实施,沱河水的需求量迅速增加。特别是沱河上游生态旅游业的开发,中游的城镇、大学园区的建设以及中下游地区乡镇工业的发展,导致沱河水质恶化,流域内水土流失严重,资源承载力不足,生态环境遭到严重破坏,沱河目前正面临着水资源短缺和水污染等严重问题。

根据沱河流域遥感数据,水质变化,人口及工厂密集度,于 2011 年 5—8 月(平水期)进行野外实地考察和采样,用手持 GPS 精确定位,沿沱河自南向北依次在沱河源头、观坪寺、太平乡、沱峪口、北大村、郭北村、东大

桥、五楼村、蛟河大桥、秦渡镇、梁家桥、马王村、严家渠、三里桥、入渭口上游和入渭河口下游共布设 16 个采样点(图 1)。

1.2 样品采集与分析

1.2.1 土壤样品采集与分析

每个样点采集混合土壤样品两份(采样深度 0—20 cm),每份约 500 g,所有样品密封后带回实验室于阴凉处室温风干,剔除杂物后用四分法取部分样品过 2 mm 的尼龙筛,用长春光学精密机械与物理研究所研制的 ZM-1 型振动磨样机研磨后密封备用;称取 4 g(精确到 0.0001 g)土壤样品放入模具片(硼酸衬底镶边),用长春光学仪器厂生产的 YYJ-60 型压样机制成圆形片状待测样品,再用荷兰帕纳科仪器公司生产的 PW2403 型 X-Ray 荧光光谱仪测定重金属含量^[23]。测定过程中采用国家标准物质 GSS-1 和 GSD-12 进行质量控制,测得标准物质中重金属元素实测值与参考值的标准偏差均小于 10%。此外,随机选取 5 个样品做重复样,其标准偏差均不超过 5%。

1.2.2 植物样品采集与分析

每个样点随机布设 2—3 个 2 m×2 m 的样方,调查样方内植物的株数、植株高度和盖度,确定优势植物,采集一定数量的完整植株,按不同采样区域进行分类记录,密封后带回实验室;将植物分成地上和地下两部分,再用自来水将植物表面的污物和泥土冲洗干净,接着用去离子水冲洗 3 次并沥去水分,于 105℃ 下杀青 30 min,后在 65℃ 下烘焙至恒重,粉碎待用;称取 0.5 g(精确到 0.0001 g)植物样品用 $\text{HNO}_3\text{-HcLO}_4$ ^[24] 法消解(实验所用试剂均为优级纯,实验过程中以混合酸为试剂空白,共同消解);用北方普析通用仪器有限责任公司生产的 TAS-990 型原子吸收分光光度计测定植物中重金属含量。实验过程中采用国家标准(GBW07604)进行质量控制,同时每份样品取等量待测溶液做准确度实验,测得加标回收率在 82.4%—103.8%之间,适用于植物中重金属的测定。

1.3 数据处理

土壤重金属的综合污染程度采用内梅罗指数^[25]法,计算公式为:

$$NI = \{[(C_i/S_i)_{\max}^2 + (C_i/S_i)_{\text{ave}}^2] / 2\}^{1/2}$$

式中, NI 为土壤污染指数, C_i 为 i 种污染物的实测含量, S_i 为土壤中 i 种污染物的背景值,本文采用土壤环境质量标准(GB15618—1995)中 I 类标准的临界值(饮用水水源地的土壤限值)^[26],其中 Mn 评价标准采用中国土壤元素背景值^[27](GB15618—1995 标准中没有关于 Mn 的规定), $(C_i/S_i)_{\max}$ 为土壤重金属元素中污染指数最大值; $(C_i/S_i)_{\text{ave}}$ 为土壤各污染指数的平均值。内梅罗指数的分级标准见文献^[28]。

地积累指数^[29]能够定量反映土壤中重金属的富集程度,计算公式为:

$$I_{\text{geo}} = \log_2 C_n / KB_n$$

式中, C_n 为土壤中重金属含量的实测值, B_n 为所测元素在全球页岩中的平均含量,本文采用陕西省土壤元素背景值^[27], K 为常数,是对成岩作用可能引起背景值变动的修正(一般取 $K=1.5$)。地积累指数的分级标准参见文献^[30]。

重金属含量测定结果经对数转换后进行正态分布检验(Shapiro-Wilk 检验, $P<0.05$),对符合正态分布的数据进行方差分析。数据统计与分析采用 SPSS 17.0 和 ArcGIS 10.0 软件。

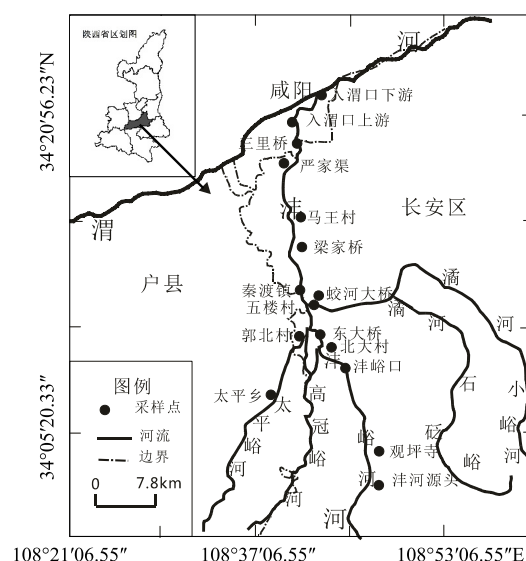


图 1 沔河沿岸土壤和植物采样图

Fig.1 Sample Sites about soils and plants in the riparian of the Fenghe River

2 结果分析

2.1 土壤重金属含量特征与空间分布

沱河沿岸土壤中 Cu、Zn 和 Ni 含量变幅较大, 变异系数较高, 分别为 4.3—102.7、7.6—74.7、3.2—57.6 mg/kg 和 86%、53%、49% (表 1), 说明这 3 种元素水平差异较大, 波动较强。这种差异可能与重金属来源及人类活动的强度、方式不同等因素有关^[23,28]。与陕西省土壤元素背景值^[27]相比, 除 Zn、Cu 和 Ni 外, Cr (92.1 mg/kg)、Mn (611.1 mg/kg)、Pb (32.9 mg/kg) 的几何平均含量均高于背景值, 其中以 Cr 和 Pb 最为显著, 均超标 1.5 倍 (几何均值)。

表 1 沱河沿岸土壤中重金属含量水平

Table 1 The concentrations of heavy metals in soils in the riparian of the Fenghe River

重金属 Heavy metal	重金属含量 concentrations of heavy metals / (mg/kg) (n=32)					陕西省土壤 元素背景值 Background value ^①	《土壤环境质量 标准》I 级标准 Background value ^②	超标率/% Over-limit Ratio ^{②③}
	含量范围 Range	中值 Median	算术均值 (标准差) Arithmetical mean (SD)	几何均值 (标准差) Geometric mean (SD)	变异系数 /% CV			
Cr	65.9—114.3	95.4	93.0 (12.5)	92.1 (12.5)	13	62.5	90	75
Cu	4.3—102.7	20.0	26.7 (23.0)	19.9 (24.0)	86	21.4	35	19
Mn	467.8—730.7	628.5	615.7 (76.2)	611.1 (73.9)	12	557	583	63 ^c
Pb	27.7—42.7	32.7	33.1 (3.8)	32.9 (3.8)	11	21.4	35	25
Zn	7.6—74.7	39.2	40.4 (22.0)	33.3 (22.4)	53	69.4	100	0
Ni	3.2—57.6	23.7	24.3 (12.2)	20.8 (12.3)	49	28.8	40	6

① Corresponding background values of Shaanxi topsoil; ② 超标率以土壤环境标准 I 类标准为参比值 (GB15618—1995, Grade I) China Environmental Quality Standard (GB15618—1995, Grade I); ③ Mn 元素超标率以中国土壤元素背景值为参比值

研究区内土壤中 Cr、Cu、Mn、Pb、Zn 和 Ni 的分布扩散特征表明 (图 2), 这 6 种重金属在空间上呈波折多峰型分布特征, 除 Cu 外, Cr、Mn、Pb、Zn 和 Ni 高值区均位于沱河中下游河段。与陕西省土壤元素背景值^[27]对比 (图 2), 各样点 Cr、Pb 含量均高于背景值, Cr 含量最高值在梁家桥点, 最低值在观坪寺点; Pb 含量最高值在郭北村点, 最低值在东大桥点。各样点 Mn、Zn、Ni 含量与背景值相比高低不一, Mn 含量最大值在入渭口上游点, 最低值在秦渡镇点; Zn 含量最高值在五楼村点, 最低值在马王村点; Ni 含量最高值在梁家桥点, 最低值在入渭口上游点。Cu 含量高值区位于沱河上游河段, 最高值在沱峪口点, 中下游河段含量较少, 最低值在郭北村点。

沱河沿岸土壤中重金属地积累指数空间分布图 (图 3) 显示沱河沿岸土壤中 Mn、Zn 没有污染, Pb、Cr、Cu 和 Ni 存在局部污染。其中, Pb 在秦渡镇到严家渠河段均为轻度污染, 另外在观坪寺、郭北村附近及入渭口下游处也属于轻度污染。Cr 从太平乡到沱河入渭口下游河段, 均属轻度污染。Cu 在沱河上游河段属于轻度污染, 沱峪口处属于偏中度污染。Ni 只在梁家桥点为轻度污染。

2.2 植物重金属含量特征

本研究涉及沱河沿岸 16 种优势植物, 禾本科 5 种: 狗尾草 (*Setaria viridis*)、早熟禾 (*Poa annua*)、雀稗 (*Paspalum thunbergii*)、行仪芝 (*Cynodon dactylon*) 和芦苇 (*Phragmites communis*); 菊科 3 种: 鬼针草 (*Bidens pilosa*)、野菊花 (*Chrysanthemum indicum*) 和艾蒿 (*Artemisia argyi*); 苋科 2 种: 水蒿 (*Artemisia selengensis*) 和牛膝 (*Achyranthes bidentata*)。马齿苋科、蓼科、伞形科、豆科、车前科和藜科各 1 种, 分别为马齿苋 (*Portulaca oleracea*)、水蓼 (*Polygonum hydropiper*)、水芹 (*Oenanthe javanica*)、白三叶 (*Trifolium repens*)、平车前 (*Plantago depressa*) 和灰灰菜 (*Chenopodium album*)。调查显示沱河沿岸禾本科和菊科植物优势度^[31]均在 12% 以上, 在研究区植物群落中占有明显优势, 这可能与禾本科、菊科等草本植物具有耐贫瘠、干旱, 相对比较容易形成重金属耐性以及其种子具有较强的传播能力和较强的环境适应能力有关^[32]。

沱河沿岸植物中重金属含量各异, 整体表现为 Mn > Zn > Pb > Cu > Cr > Ni, 其中 Mn、Pb 和 Zn 含量变幅

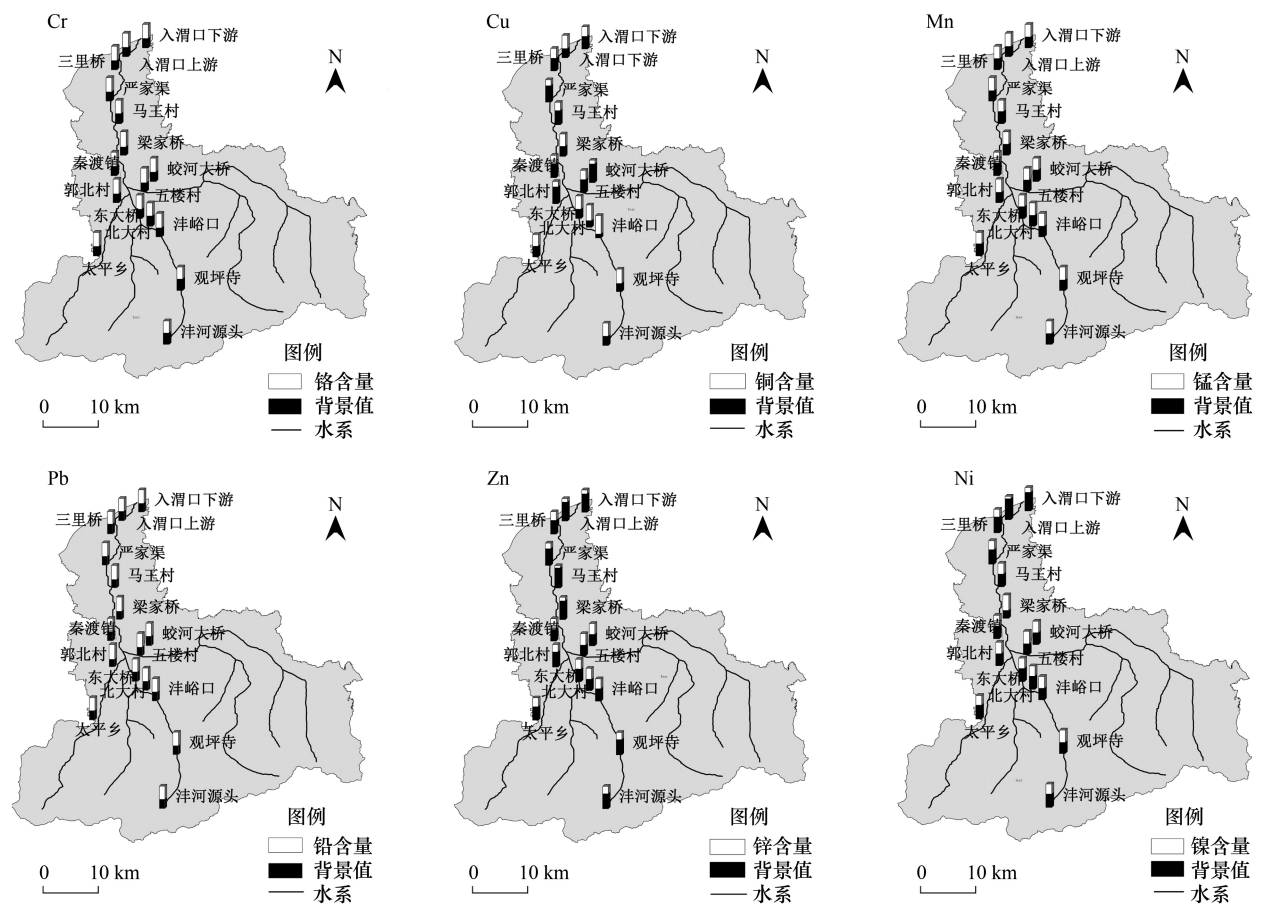


图 2 沔河沿岸土壤重金属空间分布

Fig.2 Spatial variation map of heavy metals distributions in soils in the riparian of the Fenghe River

较大,分别为 17.3—222.0、2.0—52.9 和 15.4—111.4 mg/kg (表 2)。对重金属含量散点图矩阵进行旋转(图 4),并运用 SPSS17.0 软件分析确定由数据点组成的几何体的重心(各数据点与重心点的距离用虚线表示),由此清晰地反映出土壤和植物地上部分及地下部分中重金属含量之间的相关关系(图 4)。从图 4 中可以看出植物地上部分对 Cr、Cu、Mn、Pb、Zn 和 Ni 的积累量重心大约为 5.0、15.0、80.0、20.0、40.0 和 3.9 mg/kg,地下部分对 Cr、Cu、Mn、Pb、Zn 和 Ni 的积累量重心大约为 5.5、17.0、85.0、34.0、45.0 和 3.7 mg/kg(图 4),可见不同植物对不同重金属的吸收程度和转移能力各不相同^[33-34]。

表 2 沔河沿岸植物中重金属含量水平

Table 2 The concentrations of heavy metals in plants in the riparian of the Fenghe River							
重金属 Heavy Metal	重金属含量 concentrations of heavy metals / (mg/kg) (n=16)						富集系数 (转移系数) Accumulation Coefficient (Transfer Coefficient)
	地上部分 Above-ground biomass			地下部分 Under-ground biomass			
	含量范围	几何均值 (标准差)	算术均值 (标准差)	含量范围	几何均值 (标准差)	算术均值 (标准差)	
	Range	Geometric mean(SD)	Arithmetical mean(SD)	Range	Geometric mean(SD)	Arithmetical mean(SD)	
Cr	1.6—8.7	4.0(2.1)	4.5(2.1)	1.9—10.4	4.9(2.8)	5.6(2.7)	0.06(0.91)
Cu	4.5—35.4	13.4(7.3)	14.9(7.2)	3.9—43.2	14.2(9.6)	16.5(9.3)	0.74(0.98)
Mn	17.3—222.0	64.9(52.3)	80.1(50.0)	10.9—199.0	67.8(45.1)	80.5(43.3)	0.13(1.02)
Pb	2.0—52.9	15.5(13.0)	19.3(12.3)	20.1—42.5	32.1(6.2)	32.7(6.2)	0.99(0.60)
Zn	15.4—111.4	34.1(22.6)	38.7(22.1)	9.4—104.3	34.7(21.6)	39.7(21.0)	1.53(1.02)
Ni	0.2—10.4	2.4(3.2)	3.6(3.0)	0.4—7.6	2.7(2.0)	3.3(1.9)	0.15(1.30)

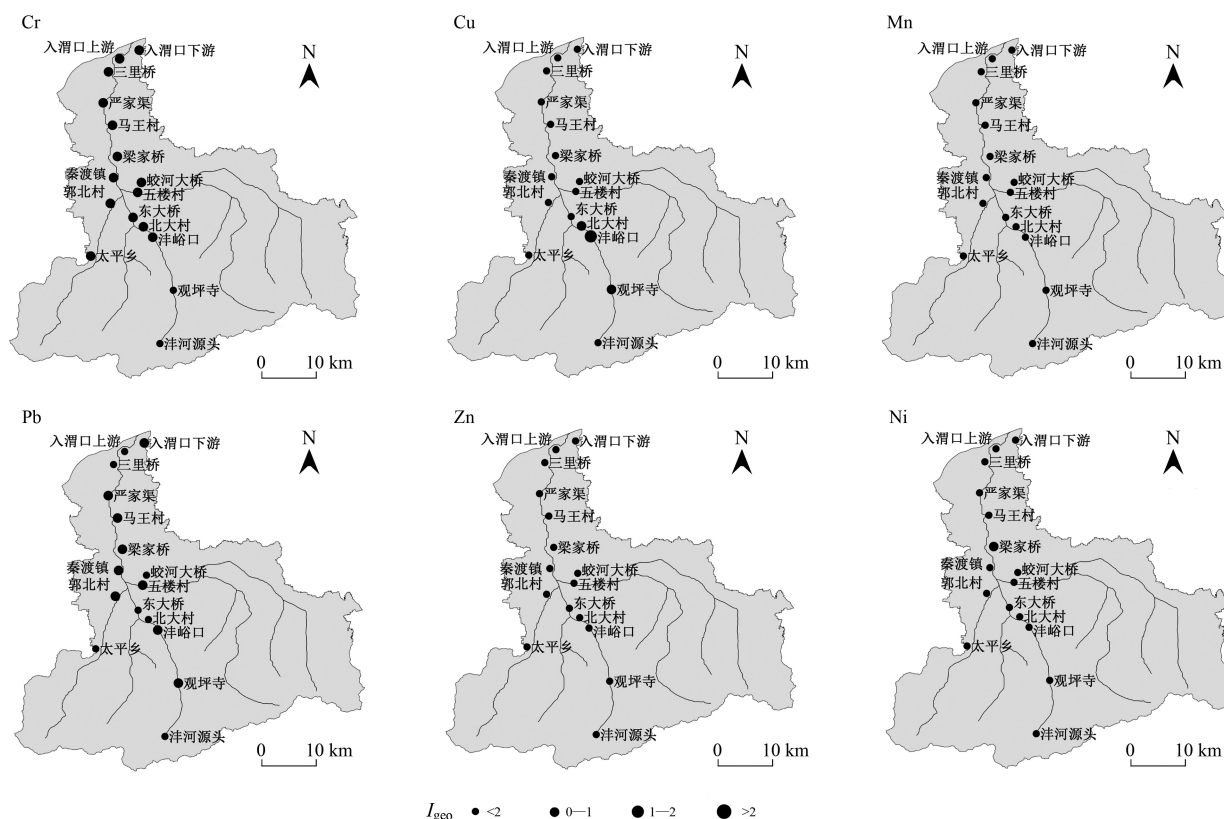


图3 沱河沿岸土壤中重金属地积累指数空间分布

Fig.3 The distribution of the geo-accumulation index of heavy metals in soils in the riparian of the Fenghe River

整体来看,植物地下部分与土壤中重金属含量相关关系较强(表3),土壤中某种重金属含量高,植物地下部分对该种重金属富集量就比较高,而植物地上部分与土壤中重金属含量相关关系较差(图4),说明植物体内重金属含量与土壤重金属含量有密切联系,与一般研究结果一致^[33]。

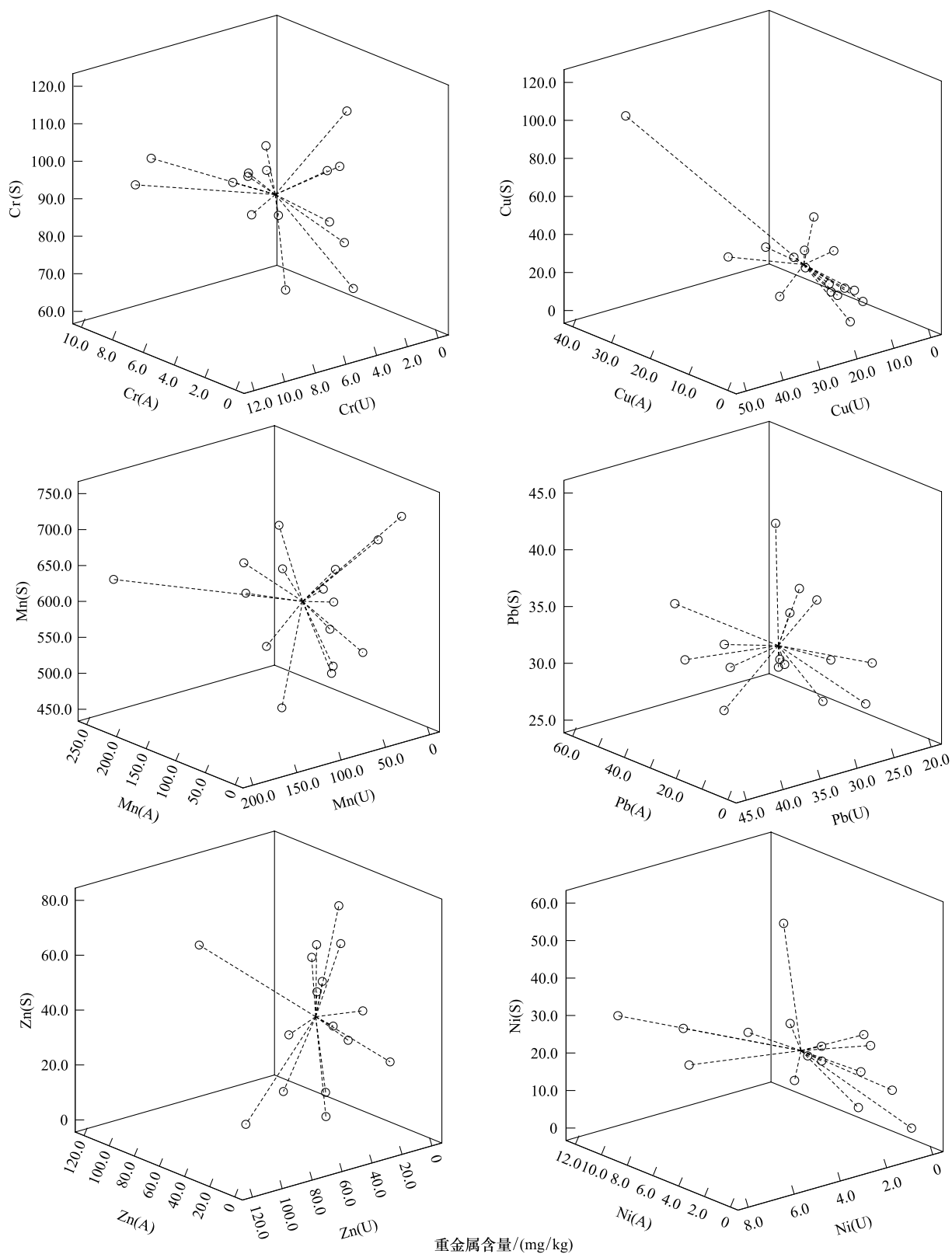
表3 土壤和植物地下部分重金属含量之间的相关性

Table 3 Relationship among the concentrations of heavy metal in the soils and plants

	Cr(U)	Cu(U)	Mn(U)	Pb(U)	Zn(U)	Ni(U)
Cr(S)	0.336	-0.195	0.244	0.178	0.248	0.556 **
Cu(S)	-0.434	0.961 **	0.081	0.005	-0.163	0.196
Mn(S)	-0.279	0.27	0.145	0.496	0.057	-0.265
Pb(S)	0.008	-0.217	0.715 **	0.683 **	0.676 **	-0.014
Zn(S)	0.425	0.158	-0.017	-0.391	0.028	0.174
Ni(S)	-0.138	0.07	0.411	0.328	0.428	0.409

* * 在 0.01 水平(双侧)上显著相关

与一般植物体内正常含量相比(Mn 20—400 mg/kg, Zn 20—150 mg/kg, Cu 5—30 mg/kg, Cr 0.2—8.4 mg/kg)^[32,35],各样点植物中 Mn、Zn 含量均在正常范围内;艾蒿、马齿苋和牛膝中 Cu 含量较高,其中艾蒿地下部分中 Cu 含量为 43.2 mg/kg,约为正常植物的 1.4—8.6 倍;芦苇、水蓼和鬼针草中 Cr 含量较高,其中芦苇地下部分中 Cr 含量为 10.4 mg/kg,约为正常植物的 1.2—52 倍;一般植物体内 Pb 含量在 0.1—41.7 mg/kg,但地上部分中 Pb 含量范围相对较窄,在 0.1—10 mg/kg 之间,平均含量为 2 mg/kg^[35-36],而各样点植物地上部分中 Pb 含量均超出此范围,几何均值达到 15.5 mg/kg,约为正常情况的 7.8 倍(表2),其中马齿苋、水蓼和狗尾草对 Pb 的积累量均较高;植物体内 Ni 含量比较少,一般在 0.05—5 mg/kg^[36],各样点中平车前、野菊花、艾蒿和



A、U和S分别代表植物地上部分、植物地下部分和土壤

图4 沔河沿岸植物与土壤中重金属含量关系矩阵图

Fig.4 Matrix of heavy metals relationship in soils and plants in the riparian of the Fenghe River

A、U和S分别代表植物地上部分(Above-ground biomass)、植物地下部分(Under-ground biomass)和土壤(Soil)

鬼针草对 Ni 的富集能力较强, 含量均在 5 mg/kg 以上, 而狗尾草、早熟禾、行仪芝和芦苇中 Ni 含量较少, 说明禾本科对 Ni 积累量小于菊科类植物, 与 Maria 等^[37]学者的研究相类似。

3 讨论

3.1 土壤重金属潜在生态风险

本研究显示沔河沿岸土壤中重金属含量顺序为 Mn > Cr > Zn > Pb > Ni > Cu, 其中 Cr、Cu、Mn、Pb 和 Ni 总量在绝大多数点位均高于陕西省土壤元素背景值^[27]。研究区内土壤重金属综合污染指数 *NI* 为 2.16, 表现为中度污染 ($2 < NI < 3$)。与土壤环境质量标准 (GB15618—1995) 中 I 类标准^[26]相比 (因为 GB15618—1995 中没有关于 Mn 的规定, 因此采用中国土壤元素背景值^[27]作为 Mn 的评价标准), 土壤中 Cr、Cu、Mn、Pb 和 Ni 的超标率分别为 75%、19%、63%、25% 和 6% (表 1), 可见研究区内土壤表现为以 Cr 为主的多种重金属复合污染。地累积指数评价结果表明研究区内土壤中 Cr、Cu、Pb 和 Ni 均存在局部污染, 其中 Cr、Pb 和 Ni 污染主要集中在沔河中下游河段, 这可能与沔河中游的城镇、大学园区的建设以及中下游地区乡镇工业 (主要是造纸业) 的发展有关; Cu 污染主要集中在沔河上游河段, 并在沔峪口处属于偏中度污染, 这可能与沔河上游的生态旅游开发有关。

3.2 植物重金属富集特征

研究表明大多数植物地下部分对重金属的积累量明显高于地上部分, 说明植物会通过根部一定结构或生理特性限制金属离子由根部向地上部分转移, 使得地上部分保持较低的重金属含量, 从而将重金属排出体外, 以减轻重金属对光合作用组织的毒害^[34,38]。重金属富集系数是指植物中重金属含量与相应土壤的重金属含量之比, 它可以用来大致反映植物对土壤重金属的富集能力^[33]。研究区内植物重金属富集系数 (算术均值) 的顺序呈现为 Zn > Pb > Cu > Ni ≈ Mn > Cr (表 2), 与湘江中下游沿岸农田蔬菜及芜湖市四褐山工业区附近水域中水生植物的富集系数顺序结果趋势基本一致^[28,34]。

Brooks 等^[39]和 Reeves 等^[40]学者提出超富集植物中 Cr、Ni、Cu、Pb 含量在 1000 mg/kg 以上, Mn、Zn 含量在 10000 mg/kg 以上, 且富集系数^[33]大于 1。本研究所涉及的植物均没有达到超富集植物的要求, 但发现了几种耐重金属植物。其中, 马齿苋对这六种重金属元素富集系数均较高, 野菊花、鬼针草、平车前对 Ni 的富集系数较高, 水蓼、狗尾草、三叶草和艾蒿对 Mn 和 Zn 的富集系数均较高, 芦苇、艾蒿、牛膝对 Cu 和 Cr 的富集系数均较高。所有植物的地下部分对 Pb 的富集率均较高, 富集系数最小的鬼针草也为 0.69, 狗尾草、艾蒿、三叶草对 Pb 的富集系数均为最大值。从转移系数^[33]看, 研究区内植物的转移能力较强, 表现为 Ni > Mn = Zn > Cu > Cr > Pb (表 2), 除三叶草、水芹、行仪芝、雀稗和灰灰菜外, 其余植物均表现出较强的转移能力, 以马齿苋、艾蒿、芦苇和水蓼 4 种优势植物最为突出。

统计分析显示 Cr(S) 与 Ni(U), Cu(S) 与 Cu(U), Pb(S) 与 Zn(U)、Mn(U)、Pb(U) 呈极显著性正相关 (表 3), 说明研究区内土壤中的 Cr 会促进植物地下部分对 Ni 的富集, 土壤中的 Pb 会促进植物地下部分对 Zn、Mn 和 Pb 的富集。

4 结论

沔河中下游沿岸土壤和植物中 Cr、Mn、Pb、Zn 和 Ni 含量空间分布呈明显富集, 土壤中 Cr、Mn 和 Pb 含量较高, 分别为陕西省土壤元素背景值的 1.5、1.1 和 1.5 倍 (几何均值)。植物体内 Cr、Cu、Ni 含量部分超标, Pb 含量整体较高。本研究未发现超积累植物, 但马齿苋、艾蒿、芦苇和水蓼 4 种植物生物量旺盛, 对 Cr、Mn、Cu、Pb、Zn 和 Ni 富集能力均较强, 可作为该地区耐重金属植物。沔河沿岸土壤和植物中 Pb、Cr 污染比较突出, Cu 污染值得关注。

致谢: 陕西师范大学旅游与环境学院卢新卫教授和中国科学院南京土壤研究所 Jeremy Landon Darilek 博士对采样、实验及英文润色给予帮助, 特此致谢。

Reference:

- [1] Huang K M, Saulwood L. Consequences and implication of heavy metal spatial variations in sediments of the Keelung River drainage basin, Taiwan.

- Chemosphere, 2003, 53(9): 1113-1121.
- [2] Malmqvist B, Rundle S. Threats to the running water ecosystem of the world. *Environmental Conservation*, 2002, 29(2): 134-153.
- [3] Feng Y, Kang B, Yang L P. Feasibility analysis of widely accepted indicators as key ones in river health assessment. *Journal of Geographical Sciences*, 2012, 22(1): 46-56.
- [4] Cai Q H, Tang T, Liu J K. Several research hotspots in river ecology. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(9): 1573-1577.
- [5] Zheng M H, Chu S G, Sheng G Y, Min S Y, Bao Z C, Xu X B. Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins and Dibenzofurans in Surface Sediments from Pearl River Delta in China. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 2001, 66: 504-507.
- [6] Zhao Y W, Yang Z F. River Health: Concept, Assessment Method and Direction. *Scientia Geographica Sinica*, 2005, 25(1): 119-124.
- [7] Reynolds C S. Planktic community assembly in flowing water and the ecosystem health of rivers. *Ecological Modelling*, 2003, 160: 191-203.
- [8] Liu C M, Liu X Y. Healthy River: Essence and Indicators. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(7): 683-692.
- [9] Serimgeour G J, Wicklum D. Aquatic ecosystem health and integrity: problem and potential solution. *Journal of the North American Benthological Society*, 1996, 15(2): 254-261.
- [10] Kamp U, Binder W, Holzl K. River habitat monitoring and assessment in Germany. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2007, 127(1/3): 209-226.
- [11] Pang B, Xu Z X, Wu W. Estimation of the ecological base flow of Wei River in Shaanxi province. *Procedia Environmental Sciences*, 2012, 13: 1559 - 1568.
- [12] Meng W, Zhang N, Zhang Y, Zheng B H. Integrated assessment of river health based on water quality, aquatic life and physical habitat. *Journal of Environmental Sciences*, 2009, 21(8): 1017-1027.
- [13] Zhang S K, Peng P A, Huang W L, Li X M, Zhang G. PCDD/PCDF pollution in soils and sediments from the Pearl River Delta of China. *Chemosphere*, 2009, 75(9): 1186-1195.
- [14] Fu A H, Chen Y N, Li W H. Assessment on ecosystem health in the Tarim River Basin. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(5): 2418-2426.
- [15] Lu X W, Loretta Y L, Lei K, Wang L J, Zhai Y X, Zhai M. Water quality assessment of Wei River, China using fuzzy synthetic evaluation. *Environmental Earth Sciences*, 2010, 60: 1693-1699.
- [16] Ma J H, Chu C J, Li J, Song B. Heavy Metal Pollution in Soils on Railroad Side of Zhengzhou-Putian Section of Longxi-Haizhou Railroad, China. *Pedosphere*, 2009, 19(1): 121-128.
- [17] Pandey N, Sharma C P. Effect of heavy metals Co^{2+} , Ni^{2+} and Cd^{2+} on growth and metabolism of cabbage. *Plant Science*, 2002, 163: 753-758.
- [18] Manta D S, Angelone M, Bellanca A, Neri R, Sprovieri M. Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy. *Science of the Total Environment*, 2002, 300(1/3): 229-243.
- [19] Jia H J, Ma J J, Wang B D, L J Q, Zhou L B. Study on the Comprehensive Control and Engineering Benefits of Rubber Dam on the Fenghe River. *Research of Soil and Water Conservation*, 2005, 12(4): 215-216, 237.
- [20] Li J K, Li H E, Dong W, Qin Y M, H C H, Du G F. Monitoring and load estimation of non-point source pollution on typical tributaries in the Guanzhong reach of the Weihe River. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2011, 31(7): 1470-1478.
- [21] Liu Y H. Qinling Mountains hydrologic geography. 1st ed. Xi'an: Shaanxi People's Publishing House, 1983: 66-69.
- [22] Wang D Q, He Y L, Gao R, Guo S. Status and source analysis of aluminum pollution in Xi'an section of the Weihe River. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 29(10): 2203-2208.
- [23] Chen X D, Lu X W, Yang G. Sources identification of heavy metals in urban topsoil from inside the Xi'an Second Ringroad, NW China using multivariate statistical methods. *Catena*, 2012, 98: 73-78.
- [24] Lu R K. Agriculture Chemical Analysis of Soil. Beijing: Chinese Agriculture Technology Press, 2000: 79-84.
- [25] Pendias A K, Pendias H. Trace elements in soils and plants. 2nd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 1992: 150-156.
- [26] China Environment Protection Agency. Environmental Quality Standard for Soils (GB15618—1995). Beijing: Standards Press of China, 1995.
- [27] China Environment Protection Agency, Total Station of China Environment Monitoring. Chinese soil element background values. Beijing: China Environment Science Press, 1990: 87-88, 342-381.
- [28] Wang L X, Guo Z H, Xiao X Y, Chen T B, Liao X Y, Song J, Wu B. Heavy metal pollution of soils and vegetables in the midstream and downstream of the Xiangjiang River, Hunan Province. *Journal of Geographical Sciences*, 2008, 18(3): 353-362.
- [29] Muller G. Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River. *Geological Journal*, 1969, 2: 109-118.
- [30] Zeng H A, Wu J L. Sedimentary Records of Heavy Metal Pollution in Fuxian Lake, Yunnan Province, China: Intensity, History, and Sources. *Pedosphere*, 2009, 19(5): 562-569.
- [31] Xing D, Liu H Y, Yu P P, Wu L H. The plant community distribution and migration characteristics of heavy metals in tolerance dominant species in lead / zinc mine areas in Northwestern Guizhou Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(3): 796-804.

- [32] Wang X L, Chang Q S, Hou X L, Lei M, Ma X Q. Heavy metal enrichment of plants at lead-zinc mines in south China. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(1): 108-112.
- [33] Wei M, Liu X, Chen C Q, Yu X P, Peng X L. The concentration of heavy metals in soil and dominant plants growing on spoiled heap from steel refinery. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(6): 2931-2936.
- [34] Huang Y J, Liu D Y, Wang Y B, Wang X M, Li J. Heavy metals accumulation by hydrophytes. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(5): 541-545.
- [35] Tang S R. The theory and method to restore the polluted environment by plants. 1st ed. Beijing: Science publisher, 2006: 40-53.
- [36] Shen Z G, Li X D, Wang C C, Chen H M. Lead phytoextraction from contaminated soils with high-biomass plant species. *Journal of Environmental Quality*, 2002, 31(6): 1893-1900.
- [37] Maria N K, Natalya V. Alexeeva-Popova, Drozdova I V, Beljaeva A I. Chemical composition of soils and plant species in the Polar Urals as influenced by rock type. *Geoderma*, 2004, 122: 257-268.
- [38] Dahmani-Muller H, Oort F V, Gélie B, Balabane M. Strategies of heavy metal uptake by three plant species growing near a metal smelter. *Environmental Pollution*, 2000, 109: 231-238.
- [39] Brooks R R, Lee J, Reeves R D, Jaffre T. Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants. *Journal of Geochemical Exploration*, 1977, (7): 49-57.
- [40] Reeves R D, Brooks R R. Hyperaccumulation of lead and zinc by two metallophytes from mining areas of central Europe. *Environment Pollution*, 1983, 31: 277-285.

参考文献:

- [4] 蔡庆华, 唐涛, 刘建康. 河流生态学研究中的几个热点问题. *应用生态学报*, 2003, 14(9): 1573-1577.
- [6] 赵彦伟, 杨志峰. 河流健康: 概念、评价方法与方向. *地理科学*, 2005, 25(1): 119-124.
- [8] 刘昌明, 刘晓燕. 河流健康理论初探. *地理学报*, 2008, 63(7): 683-692.
- [14] 付爱红, 陈亚宁, 李卫红. 塔里木河流域生态系统健康评价. *生态学报*, 2009, 29(5): 2418-2426.
- [19] 贾海娟, 马俊杰, 王伯铎, 林积泉, 周立波. 泔河综合治理与橡胶坝工程效益研究. *水土保持研究*, 2005, 12(4): 215-216, 237.
- [20] 李家科, 李怀恩, 董雯, 秦耀民, 黄池钧, 杜光斐. 渭河关中段典型支流非点源污染监测与负荷估算. *环境科学学报*, 2011, 31(7): 1470-1478.
- [21] 刘胤汉. 秦岭水文地理(第一版). 西安: 陕西人民出版社, 1983: 66-69.
- [22] 王东琦, 贺延龄, 高榕, 郭爽. 渭河西安市段铅污染状况及其来源分析. *环境科学学报*, 2009, 29(10): 2203-2208.
- [24] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 79-84.
- [26] 国家环境保护局. 土壤环境质量标准(GB15618—1995). 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [27] 国家环境保护局, 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 87-98, 342-381.
- [31] 邢丹, 刘鸿雁, 于萍萍, 吴龙华. 黔西北铅锌矿区植物群落分布及其对重金属的迁移特征. *生态学报*, 2012, 32(3): 796-804.
- [32] 王学礼, 常青山, 侯晓龙, 雷梅, 马祥庆. 三明铅锌矿区植物对重金属的富集特征. *生态环境学报*, 2010, 19(1): 108-112.
- [33] 魏敏, 刘新, 陈朝琼, 余小平, 彭晓莉. 攀钢冶炼渣堆土壤与优势植物的重金属含量. *生态学报*, 2008, 28(6): 2931-2936.
- [34] 黄永杰, 刘登义, 王友保, 王兴明, 李晶. 八种水生植物对重金属富集能力的比较研究. *生态学杂志*, 2006, 25(5): 541-545.
- [35] 唐世荣. 污染环境植物修复的原理与方法(第一版). 北京: 科学出版社, 2006: 40-53.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.21 Nov., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Gross ecosystem product: theory framework and case study OUYANG Zhiyun, ZHU Chunquan, YANG Guangbin, et al (6747)
- Advances in impacts of climate change on infectious diseases outbreak LI Guodong, ZHANG Junhua, JIAO Gengjun, et al (6762)
- Ecology of aerobic methane oxidizing bacteria (methanotrophs) YUN Juanli, WANG Yanfen, ZHANG Hongxun (6774)
- Nitrogen deposition and *Leymus chinensis* leaf chlorophyll content in Inner Mongolian grassland
..... ZHANG Yunhai, HE Nianpeng, ZHANG Guangming, et al (6786)
- Worldwide distribution and multivariate similarity clustering analysis of spiders
..... SHEN Xiaocheng, ZHANG Baoshi, ZHANG Feng, et al (6795)
- The influence of wind direction on pollen-mediated gene flow in transgenic insect-resistant cotton
..... ZHU Jialin, HE Juan, NIU Jianqun, et al (6803)

Autecology & Fundamentals

- Ecological characteristics of benthic diatoms, protozoa and meiobenthos in the sediments of the Changjiang Estuary and East China
Sea in spring MENG Zhaoxue, XU Kuidong (6813)
- Macrobenthic functional groups at the reclamation and natural tidal flats of Hengsha East Shoal, the Estuary of Changjiang River
..... LV Weiwei, MA Chang'an, YU Ji, et al (6825)
- Enrichment and ecological risk of heavy metal in soils and dominant plants in the riparian of the Fenghe River
..... YANG Yang, ZHOU Zhengchao, WANG Huanhuan, et al (6834)
- Effects of salinity and exogenous substrates on the decomposition and transformation of soil organic carbon in the Yellow River
Delta LI Ling, QIU Shaojun, TAN Feifei, et al (6844)
- Effects of short-term dark chilling on leaves carbon and nitrogen metabolism and involved activities of enzymes in mangrove *Kandelia
obovata* seedling ZHENG Chunfang, LIU Weicheng, CHEN Shaobo, et al (6853)
- Preliminary evaluation on tolerance to phosphorous deficiency of 32 cultivars of cut chrysanthemum
..... LIU Peng, CHEN Sumei, FANG Weimin, et al (6863)
- Effects of age and environmental conditions on accumulation of heavy-metals Cd and Cu in *Tegillarca granosa*
..... WANG Zhaogen, WU Hongxi, CHEN Xiaoxiao, et al (6869)
- Effects of Chinese gallnut on photosynthetic characteristics and total nitrogen content of *Rhus chinensis*
..... LI Yang, YANG Zixiang, CHEN Xiaoming, et al (6876)
- The characterization of glyphosate degradation by *Burkholderia multivorans* WS-FJ9 LI Guanxi, WU Xiaoqin, YE Jianren (6885)
- Electroantennographic and behavioural responses of scarab beetles to *Ricinus communis* leaf volatiles
..... LI Weizheng, YANG Lei, SHEN Xiaowei, et al (6895)

Population, Community and Ecosystem

- Ecosystem health assessment in Baiyangdian Lake XU Fei, ZHAO Yanwei, YANG Zhifeng, et al (6904)
- Characteristics of macrobenthic communities in mangrove wetlands along the waterways of North Hezhou, Zhuhai, South China
..... WANG Hui, ZHONG Shan, FANG Zhanqiang (6913)
- The interaction between components of ecosystem respiration in typical forest and grassland ecosystems
..... ZHU Xianjin, YU Guirui, WANG Qiufeng, et al (6925)
- Effects of thinning on macro fungi and their relationship with litter decomposition in *Pinus tabulaeformis* plantations
..... CHEN Xiao, BAI Shulan, LIU Yong, et al (6935)

- Beta diversity of plant communities in Baishanzu Nature Reserve TAN Shanshan, YE Zhenlin, YUAN Liubin, et al (6944)
- Effect of Oxytetracycline (OTC) on the activities of enzyme and microbial community metabolic profiles in composting
 CHEN Zhixue, GU Jie, GAO Hua, et al (6957)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Variations in leaf anatomy of *Larix gmelinii* reflect adaptation of its photosynthetic capacity to climate changes
 JI Zijing, QUAN Xiankui, WANG Chuankuan (6967)
- The studying of key ecological factors and threshold of landscape evolution in Yancheng Coastal wetland
 ZHANG Huabing, LIU Hongyu, LI Yufeng, et al (6975)
- Eco-physiological response of *Phragmites communis* to water table changes in the Horqin Sand Land
 MA Yunhua, ZHANG Tonghui, LIU Xinping (6984)
- Improvement of snowmelt implementation in the SWAT hydrologic model ... YU Wenjun, NAN Zhuotong, ZHAO Yanbo, et al (6992)
- Responses of lake fluctuation to climate change in Horqin Sandy Land
 CHANG Xueli, ZHAO Xueyong, WANG Wei, et al (7002)
- Water ecology and fractal characteristics of soil particle size distribution of three typical vegetations in Shell Island
 XIA Jiangbao, ZHANG Shuyong, WANG Rongrong, et al (7013)
- Spatio-temporal distribution of epilithic algal chlorophyll a in relation to the physico-chemical factors of Gufu River in Three Gorges Reservoir WU Shuyuan, GE Jiwen, MIAO Wenjie, et al (7023)

Resource and Industrial Ecology

- Graphic analysis of spatio-temporal effect for vegetation disturbance caused by coal mining: a case of Datong Coal Mine Area
 HUANG Yi, WANG Yunjia, LI Xiaoshun, et al (7035)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 余新晓

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 21 期 (2013 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 21 (November, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元