

三峡库区消落带完整淹水后土壤重金属 分布特征及其影响因素

王晓阳, 傅瓦利, 谢芳, 蒲鹏, 彭景涛

(西南大学 地理科学学院, 重庆 400715)

摘要: 通过野外采样和室内分析, 对三峡库区小江流域消落带土壤重金属 Cu、Zn、Cr、Ni 的含量特征进行了评价, 并同时对其在消落带上的影响因素和分布特征进行了研究。结果表明: Cu、Zn、Cr、Ni 在消落带上的含量分别为 28.69、126.03、57.20、27.91 mg/kg。相关分析表明, Ni、Cr、Cu 的含量明显受土壤理化性质影响。其中, 有机质、粗黏粒和黏粒均与 Ni、Cr、Cu 含量呈显著或极显著正相关, 粉粒与 Cr、Cu 呈显著正相关, 砂粒与 Ni、Cr、Cu 均呈显著负相关。逐步回归分析表明, Cr、Ni 主要受粗黏粒含量的影响; Cu 主要受砂粒含量的影响。单因素方差分析表明, Cu、Zn、Cr、Ni 在消落带不同区段的分布存在显著性差异, 总体呈从上游到中下游逐渐增大, 下游又有所下降的趋势, 其在消落带不同高程上分布的差异性不显著。

关键词: 三峡库区; 消落带; 土壤重金属; 分布特征

中图分类号: X53

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)06-0267-04

The Distribution Characteristic of Soil Heavy Metals and Their Influencing Factors in Water-level-fluctuating Zones of the Three Gorges Reservoir Area

WANG Xiao-yang, FU Wa-li, XIE Fang, PU Peng, PENG Jing-tao

(Southwest University, School of Geographic Science, Chongqing 400715, China)

Abstract: The concentrations of soil heavy metals in water-level-fluctuating zone are directly associated with water safety and human health. In this study, the concentrations of Cu, Cr, Ni and Zn in water-level-fluctuating zone soils of the Three Gorges Reservoir (TGR) area were determined, and their influencing factors and characteristics of distribution were studied. The results showed that the total concentrations of Cu, Zn, Cr and Ni in the water-level-fluctuating zone soil of Xiaojiang river in the TGR area were 28.69 mg/kg, 126.03mg/kg, 57.20 mg/kg and 27.91 mg/kg. Correlation analysis showed that Ni, Cr, Cu were significantly affected by soil properties. There were significantly positive or positive relations between organic matter, coarse cosmid, cosmid and total Ni, total Cr, total Cu. There were positive relations between silt and total Cr, total Cu. There were negative relations between sand and total Ni, total Cr, and total Cu. Stepwise regression analysis showed that Cr, Ni are mainly affected by coarse cosmid content. Cu is mainly affected by sand content. ANOVA showed that there were significant differences of total concentrations of soil heavy metals in each section of the water-level-fluctuating zone, where the concentrations of soil heavy metals increased gradually from the upper stream to the middle and decreased in the downstream. There was no significant difference in their distributions at different altitudes.

Key words: Three Gorges Reservoir area; water-level-fluctuating zone; soil heavy metal; distribution

2008 年 11 月中旬, 三峡水库蓄水水位首次达到 172.8 m, 意味着三峡库区完整的消落带区域将逐渐

形成。三峡库区消落带作为水陆间的过渡性连接地带, 由于受自然、经济和社会的共同作用和影响, 所以

收稿日期: 2010-06-03

资助项目: 重庆市三峡库区消落带生态系统健康评价研究项目(40701179)

作者简介: 王晓阳(1986-), 男, 河南人, 硕士研究生, 土地利用与土壤环境研究方向。E-mail: xiaoyang19861012@163.com

通信作者: 傅瓦利(1954-), 女, 重庆人, 教授, 主要从事土壤地理和土地利用研究。E-mail: fuwali@swu.edu.cn

既可能成为污染物的源,也可能成为污染物的汇^[1]。土壤重金属作为具有潜在生态危害的污染物,其含量不仅关系农作物、植被系统的安全^[2],而且可以通过扩散、溶解等方式进入水体,对水库水质产生影响^[3]。

有关三峡库区土壤重金属的研究,主要集中在库区土壤重金属背景值大小^[4]、重金属在不同土壤类型^[5]和不同土地利用方式^[6]中的含量和分布特征等方面。对于消落带土壤受水库水体完全淹没之后重金属的分布特征和影响因素的研究还比较少。其次,小江流域消落带是三峡库区面积最大的消落带,研究区域具有典型的代表性。在研究方法上,首次就消落带不同海拔高程上的土壤重金属的分布进行了研究。本文以生态风险较高的 Cu、Zn、Cr、Ni 等 4 种重金属作为对象,对其含量状况及分布特征进行了研究,以期库区支流消落带完全形成以后的科学利用和环境保护提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

小江属长江上游北岸的一级支流,发源于开县境内的大巴山麓,在云阳新县城注入长江,全长 182.4 km,河道平均坡降 3.7‰,流域面积 5 172.5 km²,是三峡库区万州以下水系中流域面积最大的一条支流。小江流域消落带面积为 38.68 km²,占库区消落带总面积 13.2%,是三峡库区面积最大的消落带。小江流域消落带土地主要利用类型有耕地(旱地为主)、疏林地、荒地、滩涂等,土壤类型主要以紫色土、潮土和黄壤为主。

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集 2009 年 7 月中旬,根据研究目的和地形特征,在消落带不同区段和不同高程设置采样点位置,此时小江下游水位为 145 m,上游约 155 m。不同区段采样是指从小江上游至下游采样点设于后坝镇、渠口镇、高阳镇、人和镇等地,在小江两岸 145 ~ 175 m 之间的消落带区域进行采样。不同高程取样是指从海拔 145 m 开始,使用 1:50 000 地形图和 GPS 对照定位,间隔 5 m 为一个采样区域,至海拔 175 m 共设 7 个采样区域(图 1 所示)。在采样区域内,采用蛇形布点法采集 3 个点混均,四分法取样。采集土样为表层土,采集深度 0~20 cm,共采集 26 个土样,其中消落带中游、中下游、下游段各采集 7 个样,上游采集 5 个样。同时记录样品所在的坡度、坡向等信息。采集的土样去除植物根、砂砾,自然风干,研磨过 100 目尼龙筛,混合均匀备用。

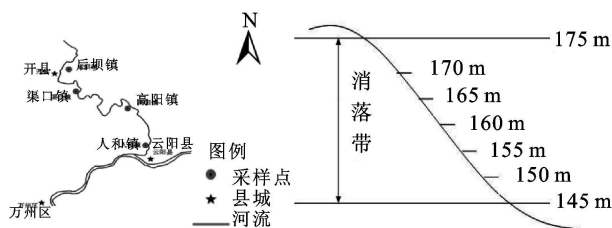


图 1 消落带采样点分布图

1.2.2 样品分析 (1) 土壤理化性质: pH 采用电位法,有机质采用重铬酸钾外加热法,土壤质地采用甲种比重计法。(2) 重金属全量:采用 HF-HNO₃-HClO₄ 消化,美国产 VARIAN Vista-MPX 型电感耦合等离子体发射光谱仪测定(ICP-AES 法) Cu、Zn、Cr、Ni 含量。分析过程中采用国家标准土壤样品(GBW07046)进行全程质量控制,测定的相对标准偏差均小于 10%。

1.2.3 数据处理 描述性统计分析、相关分析和单因素方差分析均采用 SPSS 13.0 计算。曲线制图采用 KaleidaGraph 绘制。

2 结果与分析

2.1 土壤基本理化性质

从表 1 可以看出小江消落带上游和中下游土壤质地主要以壤土组为主,中游和下游壤土组和砂土组兼而有之。消落带以碱性土壤为主,占全部样品的 61.54%,酸性土壤和中性土壤各占样品的 19.23%。消落带土壤有机质平均含量较低,仅为 17.4 g/kg,一方面由于消落带坡度较陡,水土流失严重,有机质不容易储存。另一方面,在坡度较为平缓的消落带大面积的表土曾被人为的移到海拔 175 m 以上,用作移土培肥(人和镇),留下的底土有机质含量较低,加之水库水位周期性的涨落,加剧了有机质的流失。单因素方差分析(表 2, $P < 0.05$)表明:研究区土壤的 pH、有机质、砂粒、粗黏粒(单粒直径 0.001~0.005 mm)和黏粒(单粒直径小于 0.001 mm)在消落带不同区段均呈现出显著性差异。有机质、粗黏粒和黏粒平均含量最高值均出现在中下游段, pH 和砂粒平均值在此段最小;有机质含量最低值出现在下游段, pH 的最高值也在此段。相关性分析表明(表 3),有机质与 pH 和砂粒呈极显著负相关,与粗黏粒和黏粒均呈极显著正相关。首先是由于土壤有机质含量越高,有机质所含的呈酸性的腐殖酸越多,造成 pH 降低。其次粗黏粒、黏粒含量较高的土壤通气性较差,透水性弱,造成有机质矿化速度较慢,从而有机质存在一定积累。

表 1 研究区基本特征及土壤理化性质

研究区域	所处位置	海拔/ m	坡度/(°)	类型	质地	pH	有机质/(g·kg ⁻¹)
后坝镇	上游	155~ 175	15	潮土	壤土组	6. 07~ 8. 09	15. 4
渠口镇	中游	145~ 155	12	潮土	砂土组	7. 45~ 8. 33	16. 5
		155~ 175	45	紫色土	壤土组		
高阳镇	中下游	145~ 175	18	黄壤	壤土组	6. 19~ 7. 20	24. 8
人和镇	下游	145~ 155	30	紫色土	壤土组	7. 52~ 8. 22	12. 2
		155~ 175	40		砂土组		

表 2 单因素方差法分析结果

项目	pH	有机质	砂粒	粉粒	粗黏粒	黏粒
<i>F</i>	12. 84	4. 34	5. 26	1. 82	5. 83	9. 85
<i>P</i>	0. 00	0. 02	0. 01	0. 17	0. 00	0. 00
<i>F_α</i>	3. 05	3. 05	3. 05	3. 05	3. 05	3. 05

注: *F*——统计检验量; *F_α*——检验临界值; *P*——相伴概率。

表 3 土壤理化性质之间的相关性

项目	pH	有机质	砂粒	粉粒	粗黏粒
有机质	- 0. 56* *				
砂粒	0. 62* *	- 0. 76* *			
粉粒	- 0. 42*	0. 67* *	- 0. 93* *		
粗黏粒	- 0. 72* *	0. 73* *	- 0. 91* *	0. 78* *	
黏粒	- 0. 58* *	0. 60* *	- 0. 72* *	0. 46*	0. 60* *

注: * 代表 0. 05 显著水平, * * 代表 0. 01 显著水平。

2.2 研究区土壤重金属含量分析

研究区表层土壤重金属含量结果如表 4 所示。对照我国土壤环境质量一级标准^[7],发现小江流域消落带土壤重金属 Cu、Cr、Ni 平均含量均未超标,土壤 Zn 含量是一级标准的 1. 26 倍。小江流域人口密集,人地矛盾突出,消落带完全形成以前曾被大面积开垦为农业用地,农业活动中施用锌肥和含锌农药(如代森锌、福美锌)可能是消落带 Zn 含量很高的原因。据报道,某些畜禽粪便含锌量可达 100~ 207 mg/kg,长期施用有机肥可使土壤锌提高 5%~ 30%^[8]。

表 4 消落带表层土壤重金属含量描述统计 mg/kg

项目	Cr	Cu	Ni	Zn
最大值	92. 28	39. 42	35. 02	179. 63
最小值	27. 30	17. 44	13. 28	67. 31
平均值	57. 20	28. 69	27. 91	126. 03
标准差	17. 59	5. 76	5. 41	22. 42
变异系数/ %	30. 75	20. 08	19. 39	17. 79

表 5 土壤重金属与土壤理化性质之间的相关性

项目	pH	有机质	砂粒	粉粒	粗黏粒	黏粒
Cr	- 0. 562* *	0. 648* *	- 0. 684* *	0. 549* *	0. 708* *	0. 565* *
Cu	- 0. 156	0. 565* *	- 0. 576* *	0. 484*	0. 540* *	0. 497* *
Ni	- 0. 129	0. 395*	- 0. 462*	0. 312	0. 496* *	0. 478*
Zn	0. 006	0. 184	- 0. 046	0. 034	0. 196	- 0. 118

注: * 代表显著水平在 0. 05 水平, * * 代表显著水平在 0. 01 水平。

为了反映重金属含量与土壤理化性质之间的数量关系,建立了逐步回归方程。本文选择 pH 值、有机质、砂粒、粉粒、粗黏粒、黏粒 6 个影响因子作为自

变异系数反映了所有样本中统计数的波动程度,一定程度上反映了该元素的分布特征。在整个消落带中,土壤重金属 Cr、Cu、Ni、Zn 的变异系数分别为 30. 75%、20. 08%、19. 39% 和 17. 79%。其中 Cu、Ni、Zn 变异程度较弱,反映了 3 种重金属空间分异较小或污染程度的相似性; Cr 属于中等变异程度,反映了 Cr 在消落带各区段中的含量有较大差异。

2.3 土壤重金属含量的影响因素

由于土壤中某一元素与土壤性质的相互关系是土壤固相物质与多种元素在一定环境条件下相互作用的结果,导致土壤的某些理化性质与重金属含量存在一定的相关性。为了了解土壤重金属含量的影响因素,对土壤理化性质和重金属含量进行相关性分析。结果表明(表 5): Zn 与 pH、有机质和机械组成的相关性不显著。Ni、Cr、Cu 均与有机质呈显著性正相关,有机质对重金属含量的影响是通过其主要成分腐殖质对重金属强烈的吸附和络合作用^[9],使得重金属含量随有机质含量增加而增大。Ni、Cr、Cu 与机械组成中的粉粒、粗黏粒、黏粒均呈显著性正相关,与砂粒成显著性负相关。由表 3 可知,有机质与砂粒呈极显著负相关,与粉粒、粗黏粒和黏粒均呈极显著正相关。说明机械组成对重金属含量的影响程度主要取决于其不同组分内有机质含量的多少,某一粒径中的有机质含量越多,这一粒径对重金属含量的影响越显著。pH 与 Cr 呈极显著负相关的原因也可能与有机质有关,因为随着有机质含量的增加, Cr 含量也相应的增加,但是造成 pH 降低。

变量,分别设为 $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ 。为了确保回归模型的可靠性,确定逐步回归方程的显著性水平需要达到 0. 05。结果显示, Zn 与自变量的回归方程未能

达到所设显著水平, 没能建模。Cr、Cu、Ni 的回归方程分别为: $y = 2.43x_5 + 25.232$; $y = 36.586 - 0.202x_3$; $y = 0.524x_5 + 21.018$; Cr、Cu、Ni 回归模型的复相关系数分别为 0.708, 0.576, 0.496, 其中以 Cr 的回归模型效果最好。由回归模型可知, Cr、Ni 主要受粗黏粒含量的影响; Cu 主要受砂粒含量的影响。

2.4 土壤重金属空间分布特征

土壤重金属含量的描述统计分析只能说明其含量在整个消落带区域中的大致变化特征, 而不能反映出各区段之间具体的差异性和结构性。因此需要进一步采用统计学方法分析重金属含量的空间分布特征。本文通过单因素方差法来检验土壤重金属在消落带沿程各区段和不同高程是否存在显著性差异。

2.4.1 土壤重金属在消落带不同区段的分布 单因素方差检验结果显示: Ni、Zn、Cr、Cu 等 4 种重金属元素在小江流域消落带不同区段存在显著性差异。中下游段的 Cr 含量显著高于上游、中游和下游段; Cu 和 Ni 在上游段的含量均显著低于中游、中下游和下游段, 此外 Cu 在中下游段的含量显著高于上游、中游和下游段; 中游段的 Zn 含量显著高于上游和下游段。

由图 2 可以看出, Cr、Cu、Ni、Zn 全量在消落带各区段的平均最小值都出现在上游段, 除了与上游段有机质含量较低有关外, 还可能与上游地区经济欠发达, 受人类活动影响较小有关; 其中 Cr、Cu、Ni 在各区段的平均最大值都出现在中下游段, 分别是最小值的 1.80, 1.55, 1.56 倍; 除 Zn 外, Cr、Cu、Ni 在消落带上的含量总体呈从上游到中下游逐渐增大, 下游又有所下降的趋势。重金属的这种分布特征与有机质在各区段的分布特征相一致, 同时验证了有机质是影响重金属含量的重要因素。下游土壤重金属含量的降低除了与有机质含量的降低以外, 可能与小江与长江交汇有关, 两江的交汇, 使得水体中的重金属浓度得到稀释, 土壤重金属通过扩散、溶解等方式进入水体^[10], 从而使土壤重金属含量有所下降。

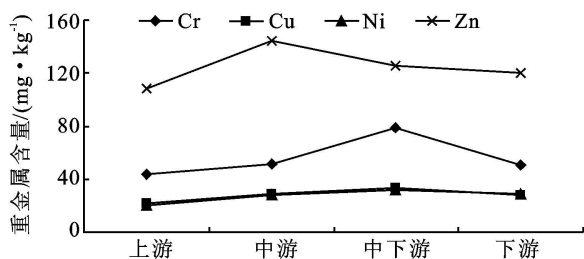


图 2 土壤重金属在不同区段的分布

2.4.2 土壤重金属在不同高程的分布 三峡水库消落带是指正常蓄水位 175 m 与防洪限制水位 145 m 之间每年季节性水位消涨区域。三峡库区蓄水水位在 2006 年首次从海拔高程 136 m 升高到 156 m, 2007

年蓄水水位在 144 m 和 156 m 之间, 2008 年蓄水水位在 145~172.8 m 之间。说明 3 年间消落带不同高程被江水淹没的时间长度是不同的。通过检验, 土壤重金属 Ni、Zn、Cr、Cu 在消落带的不同海拔高程上不存在显著性差异。这种没有差异的分布可能是由于消落带被淹没的时间有限, 江水没能对土壤重金属在不同高程的含量产生足够显著的影响。

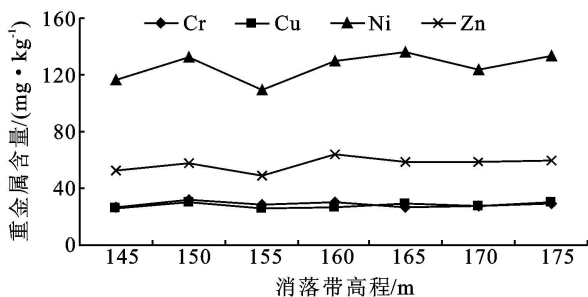


图 3 土壤重金属在不同高程的分布

3 结论

(1) 三峡库区小江流域消落带土壤重金属 Cu、Zn、Cr、Ni 全量的平均值分别为 28.69 mg/kg、126.03 mg/kg、57.20 mg/kg 和 27.91 mg/kg。对照我国土壤环境质量一级标准, Cu、Cr、Ni 平均含量均未超标, Zn 含量是一级标准的 1.26 倍。就变异程度而言, Cu、Zn 和 Ni 的变异程度均属弱变异, 空间分布比较均匀或是受污染程度相同, Cr 为中等变异, 空间分异较大。

(2) Ni、Zn、Cr、Cu 在消落带中的含量受土壤理化性质的影响。有机质对重金属含量有重要影响, pH 和机械组成也通过有机质多少来影响土壤重金属的含量。逐步回归分析表明: Zn 受 pH、有机质和机械组成的影响不显著, Cr 和 Ni 主要受粗黏粒含量的影响, Cu 主要受砂粒含量的影响。

(3) Cu、Zn、Cr、Ni 在小江消落带沿程不同区段的分布存在显著性差异, 总体呈从上游到中下游逐渐增大, 下游又有所下降的趋势; 其不同高程上分布的差异性不显著。

参考文献:

- [1] 吉芳英, 王图锦, 胡学斌, 等. 三峡库区消落区水体-沉积物重金属迁移转化特征[J]. 环境科学, 2009, 30(12): 3481-3487.
- [2] Nicholson F A, Smith S R, Alloway B J. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales[J]. Science of the Total Environment, 2003, 311(1/3): 205-219.

(下转第 274 页)

3 结 论

在本研究中,苹果叶片的净光合速率日变化过程中呈双峰曲线,光合作用存在明显的“午休”现象。高水高肥处理对提高光合作用效果不明显。中肥中水处理对显著增加气孔导度。高水中肥处理的气孔导度显著高于低水中肥处理。低水中肥的肥水组合的蒸腾速率最低,保水效果最好。

水氮耦合对苹果品质影响较大,对改善果实形状、硬度和大小也有一定的积极作用。高氮不利于果实内含物的积累,影响果实的内在品质。水分一定的条件下,氮肥供应越多,果实可滴定酸含量越高。施氮量相同时,水分供应越多,果实可滴定酸含量也有提高。生产中为降低果实酸度应控制氮肥的施用量和减少水分供应。在水分一定的条件下,减少氮肥供应可提高果实的果形指数。综合不同水氮处理对苹果果实品质的影响进行评价,肥水管理以灌溉量 $5\ 250\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ 、氮肥

施用量 $600\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 方案能获得较高的品质效益。

参考文献:

[1] 郑文君,范崇辉,韩明玉.不同天气对苹果叶片光合特性的影响[J].西北农业学报,2007,16(6):124-127.
[2] 王继和,张明,王春荣,等.金冠、毛里斯、新红星苹果光合特性的研究[J].西北植物学报,2000,20(5):802-811.
[3] 赵明德,王有年,谷继成.水分亏缺对苹果幼树日光合效率的影响[J].北京农学院学报,2004,19(3):35-37.
[4] 杨建民,王中英.水分胁迫对新红星苹果幼树光合作用的影响[J].河北林学院学报,1993,8(2):103-106.
[5] 曹慧,许雪峰,韩振海,等.水分胁迫下抗旱性不同的两种苹果属植物光合特性的变化[J].园艺学报,2004,31(3):285-290.
[6] 曹冬梅,康黎芳,王云山,等.根外施钾对苹果幼树气孔特性及光合速率的影响[J].山西农业大学学报,2002,30(1):57-60.
[7] 束怀瑞.苹果学[M].北京:中国农业出版社,1999:149.

(上接第 262 页)

[37] Piegay H, Landon N. Promoting ecological management of riparian forest on the Drome River, France [J]. Aquatic Conser Marine Freshwater Ecosyst, 1997,7(4):287-304.
[38] Dillaha T A, Reneau R B, Mostaghimi S, et al. Vegetative filter strips for agricultural non point source pollution control[J]. Trans. ASAE, 1989, 32(2):513-519.
[39] Duchemin M, Madjoub R. Les bandes filtrantes de la

parcelle ou bassin versant [J]. Vecteur Environ., 2004,37(2):36-52.
[40] 董凤丽,袁峻峰,马翠欣.滨岸缓冲带对农业面源污染 NH_4^+-N 、 TP 的吸收效果[J].上海师范大学学报:自然科学版,2004,33(2):93-97.
[41] Borin M, Vianello M, Morari F, et al. Effectiveness of buffer strips in removing pollutants in runoff from a cultivated field in North East Italy [J]. Agric. Ecosyst. Environ., 2005,105(1/2):101-114.

(上接第 270 页)

[3] 傅杨武,陈明君,祁俊生.重金属在消落带土壤水体系统中的迁移研究[J].水资源保护,2008,24(5):8-11.
[4] 唐将,钟远平,王力,等.三峡库区土壤重金属背景值研究[J].中国生态农业学报,2008,16(4):848-852.
[5] 李其林,黄昀,刘光德,等.三峡库区主要土壤类型重金属含量及特征[J].土壤学报,2004,41(2):301-304
[6] 黄昀,周优良,李道高,等.三峡库区柑橘园土壤重金属行为特征研究[J].中国生态农业学报,2005,13(3):45-47.
[7] 国家环境保护局.土壤环境质量标准 GB15618-1995[S].

[8] 钟晓兰,周生路,李江涛,等.长江三角洲地区土壤重金属生物有效性的研究:以江苏昆山市为例[J].土壤学报,2008,45(2):240-247.
[9] 钟晓兰,周生路,黄明丽,等.土壤重金属的形态分布特征及其影响因素[J].生态环境学报,2009,18(4):1266-1273.
[10] 傅杨武,祁俊生,陈书鸿,等.三峡库区苕溪河流域消落带土壤重金属污染调查及评价[J].土壤通报,2009,40(1):162-166.