

# 草海湖湿地重金属分布特征及污染负荷

张珍明<sup>1</sup>, 林绍霞<sup>2</sup>, 张清海<sup>2</sup>, 郭媛<sup>4</sup>, 林昌虎<sup>3,4</sup>

(1. 贵州省生物研究所, 贵阳 550009; 2. 贵州省理化测试分析研究中心,  
贵阳 550002; 3. 贵州科学院, 贵阳 550001; 4. 贵州大学 贵阳 550025)

**摘 要:**该文测定了草海湿地土壤和草海表层沉积物中 7 种毒性重金属的含量,对比研究了重金属元素含量的时空变异特征,同时应用单因子污染指数法和污染负荷指数法对底泥、沼泽草地、农用地和林地土壤中重金属污染进行了评价。结果表明:本研究中 7 种重金属中,Cd,Zn,Hg 含量明显高于贵州省土壤背景值,重金属 Cd 和 Zn 分布特征为:底泥>农用地>沼泽草地>林地;Cr 的分布特征为:沼泽草地>林地>农用地>底泥;Pb 和 Cu 含量的分布特征为:农用地>底泥>沼泽草地>林地;Hg 的分布特征为:底泥>沼泽草地>农用地>林地;As 的分布特征为:林地>农用地>沼泽草地>底泥;草海湖周边的农用地和沼泽湿地中 Cd,Hg 达到重污染程度,Zn 为中度污染,Pb 和 As 为轻度污染。草海底泥中 Cd,Hg 和 Zn 达到重污染水平,其余 4 种重金属尚未构成污染;草海底泥重金属污染水平为中等污染,枯水期污染略重,且靠近湖心的采样点污染较重,3 个采样区都呈现距岸边越远污染越重的趋势。草海湿地底泥重金属污染较重,农用地次之,沼泽草地再次,林地无重金属污染。研究可为草海湿地重金属污染放置与治理提供基础数据。

**关键词:**草海;湿地土壤;沉积物;重金属;污染负荷

**中图分类号:**X131.3

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2014)02-0279-06

## Distribution Pattern of the Heavy Metals and Its Pollution Load in Caohai Wetland

ZHANG Zhen-ming<sup>1</sup>, LIN Shao-xia<sup>2</sup>, ZHANG Qing-hai<sup>2</sup>, GUO Yuan<sup>4</sup>, LIN Chang-hu<sup>3,4</sup>

(1. *Institute of Biology, Guizhou Academy of Sciences, Guiyang 550009, China;*

2. *Guizhou Research Center of Physical Test and Chemical Analysis, Guiyang 550002, China;*

3. *Guizhou Academy of Sciences, Guiyang 550001, China; 4. Guizhou University, Guiyang 550025, China)*

**Abstract:** This paper examined the content of 7 toxic heavy metals in the wetland soil and the surface sediment of Caohai Lake, then compared spatial and temporal variability of the contents of heavy metals, and also assessed the heavy-metal pollution of the sediment, swamp, farmland and woodland in this region through the single factor pollution index and the pollution load index at the same time. The results showed that the contents of Cd, Zn and Hg were significantly higher than the soil background values of Guizhou Province, the contents of Cd and Zn in the sediment were far greater than those in the farmland, followed by swamp, and the woodland fourth. The content of Cr was the first in swamp, the second in woodland, the third in farmland and the fourth sediment. The contents of Pb and Cu were the first in farmland, the second in sediment, the third in swamp and the fourth in woodland. The content of Hg was the first in sediment, the second in swamp, the third in farmland and the fourth in woodland. The content of As was the first woodland, the second in farmland, the third in swamp and the fourth in sediment. The contents of Cd and Hg in the farmland and swamp surrounding Caohai Lake have reached level of heavy pollution, but content of Zn was at the level of moderate pollution, contents of Pb and As were at the level of light pollution. The levels of Cd, Hg and Zn in sediment of Caohai Lake have reached heavy pollution while contents of the other 4 have not

收稿日期:2013-06-29

修回日期:2013-08-27

资助项目:贵州省社会发展攻关项目(黔科合 SY 字[2010]3094 号);贵州省科学技术基金项目(黔科合 J 字[2010]2127);贵州省教育人才省长资金项目(黔省专合字[2011]16 号)

作者简介:张珍明(1986—),男,福建三明人,硕士,研究实习员,主要从事土壤化学与环境方面研究。E-mail:zhang6653579@163.com

通信作者:林昌虎(1961—),男,贵州盘县人,研究员,从事土壤学与环境科学方面研究。E-mail:linchanghu79@sina.com

caused pollution. The heavy-metal pollution of the sediment in Caohai Lake can be classified into the medium level, and it became more severe during the dry season. Especially, the sampling point near the center of the lake was more seriously polluted. For the three sampling region, the further the sampling point from the lakeshore was, the more serious the contamination was. With respect to the four kinds of soils, it was found that the sediment was contaminated most severely followed by the farmland, then swamp, while the woodland was pollution-free. It is supposed that this study could provide some fundamental data for the prevention and control of the heavy-metal contamination of Caohai Lake.

**Key words:** Caohai Lake; wetland soil; sediments; heavy metals; pollution load

湿地是地球上水陆交互作用形成的独特生态系统,它不仅为多种动植物提供了赖以生存的场所,也在抵御洪水、调节径流、蓄洪防旱、控制污染等方面起着举足轻重的作用<sup>[1]</sup>。随着人类活动领域的扩大和物质需求的不断增加,人类对各类湿地资源的干预和利用强度也在不断加大<sup>[2]</sup>。由于盲目的开垦和过度占用湿地,工农业生产导致湿地土壤污染严重,土地资源利用不合理,湿地泥沙日益严重淤积等众多原因,目前我国湿地退化严重<sup>[3]</sup>。草海湖湿地位于贵州省西部,是一个完整的、典型的喀斯特高原湿地生态系统,是国家一级高原湿地,在我国为数不多的亚热带高原喀斯特湿地生态系统中,草海生态系统的脆弱性、典型性、重要性、生物多样性等都具有代表意义。但随着草海湖区域旅游业和农业生产的快速发展,草海湖湿地土壤环境急剧恶化,正威胁着草海湖湿地生态系统的自然性和稳定性。

随着人类活动强度的增大,在湿地生态系统中土壤重金属含量超标较为普遍,它不仅毒害土壤—植物系统,降低农作物的品质,而且通过径流和淋洗作用污染地表水和地下水,最终进入食物链直接、间接危害人类生命健康<sup>[4-7]</sup>。目前对草海生态环境的研究工作集中在草海生物多样性<sup>[8-9]</sup>及地球化学过程<sup>[10-11]</sup>方面,针对草海湿地中多种重金属综合污染方面的研究甚少报道。为此,笔者以草海湖湿地土壤为研究对象,探讨草海典型湿地土壤中的7种重金属元素含量和空间分布特征进行分析,以期为贵州湖湿地的保护提供基础资料和决策依据。

## 1 研究区概况

草海高原湿地位于贵州省威宁彝族回族苗族自治县县城西南侧,位于东经 $104^{\circ}10'16''$ — $104^{\circ}20'40''$ ,北纬 $26^{\circ}47'32''$ — $26^{\circ}52'52''$ ,平均海拔为2 171.7 m,属亚热带季风气候,年平均气温 $10.5^{\circ}\text{C}$ ,年均日照时数1 805.4 h,年均降雨量950.9 mm,降雨主要集中于夏季,是贵州省境内降水量最少的地区。草海属于长江水系,是金沙江支流横江洛泽河的上源湖泊,其

水源补给主要靠大气降水。草海保护区面积 $96\text{ km}^2$ ,湖面面积大约仅有 $25\text{ km}^2$ 。草海高原湿地盆地内的土壤大部分为黄棕壤,具有相对湿度大,淋溶作用强,呈酸性,有机质含量高的特征,在常年被湖水淹没的盆地淤泥地带则是泥炭化的沼泽土。

## 2 材料与方法

### 2.1 样品的采集与制备

于2010年8月(丰水期)及2011年3月(枯水期)两个时期对草海周边土壤和表层沉积物进行布点采样,根据研究目标,结合草海湖泊地貌实际情况并参考威宁县环境监测中心水质监测断面底泥调查所布设的点位,制成采样分布图(图1)。表层沉积物采样路线设计以草海湖泊中心为起点,向3个方向辐射,在草海湖的东区、西南区和西北区三个区域布点采样;东区紧靠威宁县城,是城市生活污水的排污口,也是草海旅游的主线路;西南区水生植被丰富;西北区则是草海湖的出水口。采用S形方式进行采集5~8个采样点为一个混合样,每个点采集0—20 cm土层土壤样品。合计采集92个土壤样品,其中采集底泥样品54个,草海湖周边区域采集农用地土壤样品22个、林地土壤样品5个、沼泽草地土壤样品11个。



图1 草海底泥样品采样点示意图

将采集的样品分别装入不含重金属的布袋带回实验室,将土样按编号倒入干净的塑料膜上,在半干状态下把土块压碎,并剔除植物残体及大砾石等非土

壤物质,均匀铺开,置于阴凉通风处自然晾干。晾干后充分混匀,按对角线四分取土法分取一半样品研磨,另一半作为备用样品保存。样品全部过 2 mm 尼龙网筛,备用;取过 2 mm 筛的土样 20 g 左右经玛瑙研钵研细全部过 0.15 mm 尼龙网筛,充分混合均匀供分析测试用。为防止样品制备产生二次污染,样品采集、混合、装袋、粉碎、研磨等处理过程均采用木头、塑料、玛瑙等用具。

2.2 测试方法

本实验所用试剂均为优级纯、二次去离子水,每 10 个样品加 1 个空白样,以控制整个流程和试剂及容器的清洁程度,每批样随机设定 40% 的平行样本数,平行样品间的相对偏差控制在限定范围内。重金属均采用六点标准曲线外标法定量,各指标标准曲线  $r$  值大于 0.99,测定过程中采用平行样和标准参考物质(GSS2-GSS5)来控制准确度。重金属具体检查方法如表 1 所示<sup>[12-13]</sup>。

2.3 评价标准与方法

草海是国家级自然保护区,其土壤环境质量应符合《土壤环境质量评价标准》(GB15618-1995)中一级

标准限值,但是由于贵州省土壤重金属元素的背景值较高,Cd,As,Pb,Cr 含量均高于一级标准,尤其 Cd 含量更是一级标准限值的 3 倍有余,为了更好地反映草海地区土壤重金属的外源污染情况,本文以贵州省土壤元素背景值<sup>[14]</sup>作为评价基准(表 2),运用单因子污染指数法和污染负荷指数法对草海湿地土壤重金属污染情况进行评价,首先根据某一点的实测重金属含量进行最高污染系数(CF)计算:

$$CF_i = C_i / B_i$$

式中:CF<sub>*i*</sub>——元素  $i$  的最高污染系数; $C_i$ ——元素  $i$  的实测含量; $B_i$ ——元素  $i$  的评价标准,基线值或背景值。

某一点的污染负荷指数(PLI)为

$$PLI_{site} = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times \cdots \times CF_n}$$

式中:PLI<sub>site</sub>——某一点的污染负荷指数; $n$ ——参加评价的元素个数。

某一区域的污染负荷指数为

$$PLI_{zone} = \sqrt[n]{PLI_1 \times PLI_2 \times \cdots \times PLI_n}$$

式中:PLI<sub>zone</sub>——某一区域的污染负荷指数; $n$ ——该区域内所包含的样点数。

表 1 土壤重金属检测方法

测试项目	前处理方法	分析测试方法	仪器型号
铜(Cu)	(HNO <sub>3</sub> -HClO <sub>4</sub> -HF)消解法	电感耦合等离子体质谱法	Agilent7500a
锌(Zn)	(HNO <sub>3</sub> -HClO <sub>4</sub> -HF)消解法	电感耦合等离子体质谱法	Agilent7500a
铅(Pb)	(王水-HF)消解法	石墨炉原子吸收光谱法	PE510 原子吸收光谱仪
镉(Cd)	(HF-HClO <sub>4</sub> -HNO <sub>3</sub> )消解法	石墨炉原子吸收光谱法	PE510 原子吸收光谱仪
铬(Cr)	(HF-HNO <sub>3</sub> -HClO <sub>4</sub> )消解法	火焰原子吸收光谱法	PE510 原子吸收光谱仪
砷(As)	王水消解法	原子荧光分光光度法	AFS-230E 原子荧光光谱仪
汞(Hg)	王水消解法	原子荧光分光光度法	AFS-230E 原子荧光光谱仪

表 2 土壤重金属污染评价基准

重金属元素	Cd	Cr	Pb	Hg	As	Cu	Zn
贵州土壤元素背景值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	0.659	95.9	35.2	0.110	20.0	32.0	99.5
土壤环境质量评价一级标准/(mg·kg <sup>-1</sup> )	0.20	90	35	0.15	15	35	100

污染负荷指数法是由评价区域所包含的多种重金属成分共同构成,它能直观地反映各个重金属对污染的贡献程度以及重金属在时间、空间上的变化趋势,应用比较方便。该方法的独特之处在于它的高度概括性,由点指数求出区域指数,由区域指数求出整个地区的指数。因此这种方法非常适合于多个区域污染状况的对比评价。土壤重金属污染指数分级标准见表 3。

表 3 污染分级标准

单项污染指数	$P_i$ 污染等级	污染负荷指数法	PLI 污染等级
$P_i \leq 1.0$	非污染	PLI<1.0	无污染
$1.0 < P_i \leq 2.0$	轻度污染	$1.0 \leq PLI < 2.0$	中等污染
$2.0 < P_i \leq 3.0$	中度污染	$2.0 \leq PLI < 3.0$	强污染
$P_i > 3.0$	重污染	PLI $\geq 3.0$	极强污染

3 结果与分析

3.1 不同土壤利用方式下土壤重金属含量分布特征

草海不同土壤利用方式下重金属含量水平如表 4 所示,草海各类土壤 7 种重金属含量的中值和平均值都比较接近,说明基本未受到特异值影响。土壤中重金属含量的最大值与最小值差别较大,是最小值的几倍、几十倍甚至上百倍,可见各采样点重金属含量的分布并不均匀。本研究中 7 种重金属中,Cd,Zn,Hg 含量均明显高于贵州土壤背景值,3 种重金属在草海土壤中出现了明显的富集,其中以 Cd 积累负荷最大。草海位于贵州西部的 Cd、Hg 高背景值区域,土壤中 Cd、Hg 含量比全省的其他地区都高<sup>[15]</sup>。另一方面主要是由于草海周边及邻县曾存在的土法炼

锌工艺所致,Cd,Hg 均不同程度地与 Zn 伴生,在草海周边曾出现大规模土法炼锌产生的大量废渣,重金属在长期的自然环境影响下,富集于草海土壤中<sup>[16]</sup>。从空间分布规律来看,草海湿地土壤 Cd 和 Zn 分布特征为:底泥>农用地>沼泽草地>林地;Cr 的分布特征为:沼泽草地>林地>农用地>底泥;Pb 和 Cu 含量的分布特征为:农用地>底泥>沼泽草地>林地;Hg 的分布特征为:底泥>沼泽草地>农用地>林地;As 的分布特征为:林地>农用地>沼泽草地>底泥。

以变异系数的大小定量反映调查区域内各项指标含量的波动程度,可知,除农用地土壤中 Cu 的变异系数大于 100%,达到强变异程度外,草海不同土壤重金属的变异系数都在 10%~100%之间,表现出中等程度的变异性。草海底泥和草海湖周边的沼泽草地、农用地都以 As 的变异系数最小,分布最为均匀;而林地则以 Cr 的空间分布最为均匀。草海不同土壤 7 种重金属中变异系数最大、分布最不均匀的元素各不相同,底泥和林地是 Hg、沼泽草地是 Zn、农用地则是 Cu。

表 4 不同土壤利用方式下重金属含量

采样点	项目	Cd	Cr	Pb	Hg	As	Cu	Zn
底泥	最小值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	1.48	22.30	19.90	0.07	14.11	9.13	231.48
	最大值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	37.29	55.89	67.40	1.98	27.93	33.55	702.50
	平均值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	18.09	37.88	34.46	0.54	17.20	18.56	431.31
	中值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	16.12	38.69	29.55	0.37	16.98	17.85	398.60
	标准偏差/(mg·kg <sup>-1</sup> )	10.17	8.23	12.93	0.43	2.71	5.18	136.37
	变异系数/%	56.19	21.73	37.52	79.63	15.76	27.91	31.62
沼泽草地	最小值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	1.25	33.22	13.10	0.07	11.75	8.02	114.51
	最大值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	6.92	93.34	49.30	0.73	25.38	32.11	576.65
	平均值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	3.28	59.26	26.24	0.40	19.43	18.30	218.32
	中值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	2.97	64.03	23.00	0.38	20.01	18.72	168.11
	标准偏差/(mg·kg <sup>-1</sup> )	1.76	19.44	11.77	0.23	4.14	7.08	137.79
	变异系数/%	53.74	32.81	44.85	58.47	21.32	38.71	63.11
农用地	最小值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	0.39	25.69	12.70	0.05	9.60	6.64	124.60
	最大值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	8.45	80.40	141.00	1.26	29.66	116.54	650.93
	平均值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	3.88	50.83	36.59	0.38	20.85	25.36	221.40
	中值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	3.70	50.25	26.55	0.26	21.07	16.75	184.99
	标准偏差/(mg·kg <sup>-1</sup> )	2.25	14.76	31.47	0.33	6.33	28.51	129.11
	变异系数/%	57.91	29.03	86.03	85.90	30.35	112.42	58.32
林地	最小值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	0.58	46.26	2.55	0.10	16.28	5.50	134.47
	最大值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	2.49	63.26	14.00	0.40	27.92	27.03	195.30
	平均值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	1.24	55.80	9.05	0.17	21.78	13.46	156.20
	中值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	1.08	55.49	8.53	0.11	22.76	9.96	150.69
	标准偏差/(mg·kg <sup>-1</sup> )	0.77	6.72	4.74	0.13	4.86	8.71	25.09
	变异系数/%	62.44	12.05	52.39	76.91	22.31	64.76	16.06

3.2 草海湿地土壤重金属污染指数

3.2.1 单因子污染指数 草海底泥 7 种重金属中,对环境构成污染的有 Cd;Hg 和 Zn,且均已达到重污染程度,其污染程度为 Cd( $P_{Cd}=27.45$ )>Hg( $P_{Hg}=4.91$ )>Zn( $P_{Zn}=4.33$ );除此之外,其它元素  $P_i$  平均值均小于 1,尚未构成污染。时间上,Cd,Hg 和 Zn 的污染程度都是枯水期较为严重,主要原因是人类活动向湖泊底泥中输入了 Cd,Hg 和 Zn 含量,加之水文因素、径流淹没频率等因素影响;空间上,三种重金属的污染程度都是 S 区>N 区>E 区,且基本都呈现出距岸边越远污染越严重的趋势。可见,草海底泥各种重金属元素的富集程度差异极大。其主要与旅游开发

过程中人类活动对水环境的流动性影响,其间接影响重金属迁移沉积的速率,E 线为草海湖的上游,旅游过程中大部分船只均能到达,而 S 线主要是草海湖的静水区,人为活动较小(图 2)。

不同土地利用类型在植被类型、植被盖度、人类活动等指标上存在差异显著,其中人为活动对农用地表现尤其明显,故草海湖周边的农用地 7 种重金属含量超标的有 Cd,Pb,Hg,As 和 Zn,其中 Cd,Hg 达到重污染程度,Zn 为中度污染,Pb 和 As 为轻度污染。沼泽草地 7 种重金属含量超标的有 Cd,Hg 和 Zn,其中 Cd,Hg 达到重污染程度,Zn 为中度污染。林地在植被类型和植被覆盖度明显高于其他两种土地利用

方式,故 7 种重金属超标的有 Cd,Hg,As 和 Zn,且都达到轻度污染程度,对于草海土壤重金属潜在生态风险来说,Cd 表现为首要的风险因子,其次为 Hg 和

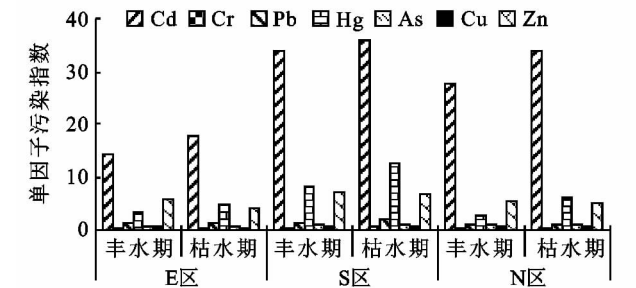


图 2 草海湖底泥单污染指数

3.2.2 污染负荷指数 由表 5 可知,丰水期 16 个采样点中,有 9 个点重金属含量达到中等污染水平,另外 7 个点重金属含量均达到强污染水平,3 个采样区底泥的重金属污染程度为 S 区>N 区>E 区,丰水期草海底泥重金属总体污染指数为 1.68,达到中等污染水平;枯水期 16 个采样点中,有 10 个点重金属含量达到中等污染水平,6 个达到强污染水平,比较 3

Zn,所以在草海环境管理与重金属防治工作中,需将 Cd,Hg,Zn 作为重点治理目标,采取必要措施以防止其向草海水体的迁移(图 3)。

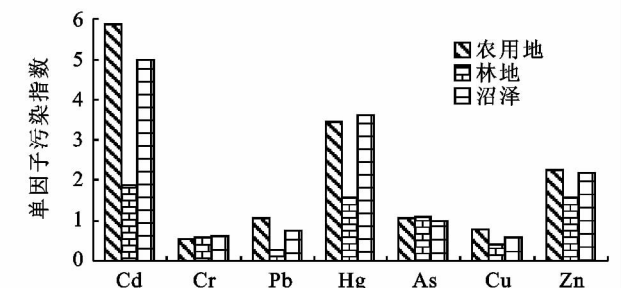


图 3 草海周边不同利用方式土壤单污染指数

条采样线上重金属含量特征发现,7 种重金属在 3 条线上分布特征表现为 S 区>N 区>E 区,枯水期草海底泥重金属总体污染指数为 1.89,达到中等污染水平。E 线为草海湖旅游的主航线,旅游过程中大量船只由此进入湖泊,加速水体的流动性,间接影响重金属迁移沉积的速率及空间分布。而靠近湖畔的 E 区接近航渡码头,人为活动对水质环境的影响严重。

表 5 草海底泥重金属污染指数及污染状况

采样区	采样点	丰水期				枯水期			
		PLI <sub>site</sub>	污染程度	PLI <sub>zone</sub>	污染程度	PLI <sub>site</sub>	污染程度	PLI <sub>zone</sub>	污染程度
E 区	E1	2.14	强污染	1.43	中等污染	2.43	强污染	1.69	中等污染
	E2	1.63	中等污染			1.71	中等污染		
	E3	1.55	中等污染			1.63	中等污染		
	E4	1.35	中等污染			1.64	中等污染		
	E5	1.12	中等污染			1.19	中等污染		
	E6	1.04	中等污染			1.77	中等污染		
S 区	S1	2.93	强污染	2.06	强污染	2.98	强污染	2.26	强污染
	S2	2.18	强污染			2.41	强污染		
	S3	1.80	中等污染			2.02	强污染		
	S4	2.27	强污染			2.25	强污染		
	S5	1.41	中等污染			1.79	中等污染		
N 区	N1	1.91	中等污染	1.67	中等污染	1.91	中等污染	1.82	中等污染
	N2	2.29	强污染			2.36	强污染		
	N3	1.66	中等污染			1.84	中等污染		
	N4	1.35	中等污染			1.41	中等污染		
	N5	1.31	中等污染			1.69	中等污染		

3.3 草海湿地土壤重金属污染特征

草海湖周边农用地土壤重金属总体污染指数为 1.29,达到中等污染程度,22 个采样点中有 4 个点无污染,1 个点强污染,1 个点极强污染,其余均为中等污染。沼泽湿地土壤总体污染指数为 1.26,也是轻度污染,11 个采样点中有 10 个轻度污染,1 个无污染。林地土壤基本没有重金属污染问题,总体污染指数为 0.77,5 个采样点中仅有一个污染指数达到 1.00,其它点均无污染。

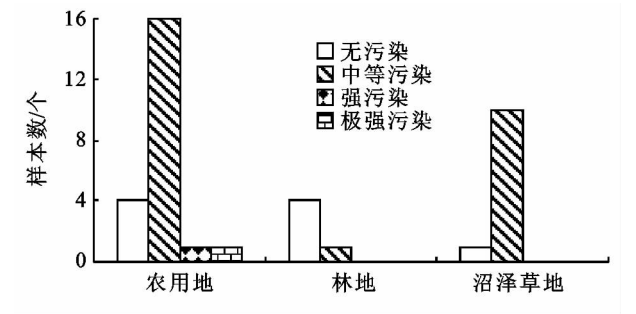


图 4 草海湖周边土壤各污染等级样本数

## 4 结论

(1) 草海不同土壤重金属的变异系数都表现出中等程度的变异性。草海底泥和草海湖周边的沼泽草地、农用地都以 As 的变异系数最小,分布最为均匀;而林地则以 Cr 的空间分布最为均匀。草海不同土壤 7 种重金属中变异系数最大、分布最不均匀的元素各不相同,底泥和林地是 Hg、沼泽草地是 Zn、农用地则是 Cu。

(2) 草海底泥中 Cd、Hg 和 Zn 含量极高,分别为 18.09 mg/kg,0.54 mg/kg,431.31 mg/kg,均已达到重污染水平,Cu,As,Cr,Pb 四种重金属尚未构成污染。草海底泥重金属污染水平为中等污染,且枯水期污染略重;空间分布上,S 区的大部分采样点及其他两区靠近湖心的采样点污染较重,三个采样区都呈现距岸边越远污染越重的趋势。

(3) 草海各类土壤重金属污染程度为:底泥(中等污染)>农用地(中等污染)>沼泽草地(中等污染)>林地(无污染)。在草海旅游管理中,需将湖泊底泥作为重点防治对象,采取必要措施以防止其重金属向草海水体的迁移。

### 参考文献:

- [1] 赵如金,高晶,王晓静,等.北固山湿地土壤氮磷及重金属空间分布[J].环境科学与技术,2008,31(2):10-12.
- [2] 朱建国,李应中.中国湿地研究现状综述[J].中国农业资源与区划,1996(2):21-24.
- [3] 殷康前,倪晋仁.湿地研究综述[J].生态学报,1998,18(5):539-546.
- [4] Kumar R P. Heavy metal pollution in lentic ecosystem of sub-tropical industrial region and its phytoremediation [J]. International Journal of Phytoremediation,2010,12(3):226-242.
- [5] 时亚坤,李凯荣,闫宝环.铜川三里洞煤矿煤矸石风化土壤重金属分布及污染状况分析[J].水土保持研究,2012,19(1):187-192.
- [6] 宋伟,陈百明,刘琳.中国耕地土壤重金属污染概况[J].水土保持研究,2013,20(2):293-299.
- [7] 真真.中国农田土壤重金属污染与其植物修复研究[J].水土保持研究,2007,14(3):19-21.
- [8] 潘少兵,任晓东.草海国家级自然保护区水生植物群落的数量分类与排序分析[J].生物学杂志,2010,27(5):60-64.
- [9] 潘鸿,王洋,晏妮,等.贵州草海水禽繁殖区水生植物群落及物种多样性初步研究[J].贵州师范大学学报:自然科学版,2005,23(2):15-19.
- [10] 孔凡翠,杨瑞东,魏怀瑞,等.贵州威宁草海第四系窑上组沉积物微量元素地球化学特征及其古环境意义[J].海洋地质与第四纪地质,2011,31(5):117-126.
- [11] 朱正杰,陈敬安,李航,等.贵州草海沉积物碳酸盐碳同位素异常正值的发现及其环境指示意义[J].湖泊科学,2011,23(5):681-685.
- [12] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
- [13] 刘凤枝.农业环境监测实用手册[M].北京:中国标准出版社,2001.
- [14] 中国环境监测总站.中国土壤元素背景值[M].北京:中国环境科学出版社,1990.
- [15] 宋春然,何锦林,谭红,等.贵州农业土壤重金属污染的初步评价[J].贵州农业科学,2005,33(2):13-16.
- [16] 彭德海,吴攀,曹振兴,等.赫章土法炼锌区水—沉积物重金属污染的时空变化特征[J].农业环境科学学报,2011,30(5):979-985.