

巢湖湖区底泥重金属污染状况评估

钱贞兵¹, 唐晓先^{2*}, 徐升¹, 陈超¹, 高芮²

(1. 安徽省环境监测中心站, 合肥 230071; 2. 巢湖管理局环境保护监测站, 合肥 238000)

摘要: 底泥是河湖的沉积物, 是自然水域的重要组成部分, 水体底泥污染是世界范围内的一个环境问题, 当前对底泥的污染缺乏深入研究。以巢湖湖区底泥为研究对象, 连续2年对湖区底泥中pH、Cd、Hg、As、Pb和Cr 6项进行监测, 选用标准值采用内梅罗综合污染指数法来评价监测点位的污染状况, 通过方差分析法来评价两年数据的差异性; 采用插值法绘出湖区底泥各重金属元素空间分布; 采用地积累指数法来评价底泥中各重金属污染程度。评价结果显示, 巢湖湖区底泥污染程度等级为清洁, 2年的监测数据无显著性差异, 湖区中部重金属含量相对较低, 湖区底泥重金属污染程度总体不高, 其中Hg的污染程度相对较大, Cd、Pb次之。

关键词: 巢湖; 底泥; 重金属污染; 空间分布; 地积累指数

中图分类号: X524

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2018)04-0690-06

Assessment of heavy metal pollution in sediment in Chaohu Lake

QIAN Zhenbing¹, TANG Xiaoxian², XU Sheng¹, CHEN Chao¹, GAO Rui²

(1. Anhui Environmental Monitoring Center, Hefei 230071;

2. Environmental Protection Monitoring Station of Chaohu Administration Bureau, Hefei 238000)

Abstract: The sediment of the river and lake is an important part of the natural waters. Sediment pollution of water is worldwide environmental issue and now lack of intensive study. In this paper, we focused on the sediments of the Chaohu Lake and monitored the indexes of pH, Cd, Hg, As, Pb and Cr for two consecutive years. We used the Nemerow index to evaluate the pollution conditions, meanwhile, we adopted variance analysis to evaluate the difference between the two consecutive years, plotted the spatial distribution of heavy metals in the sediments of the lake area by interpolation, and used the geo-accumulation index to ascertain the pollution degree of heavy metals. The results showed that the pollution degree of sediments was clean, and there was non-dominant difference during the two years. The contents of heavy metals in the middle of the lake area were relatively low. The degree of heavy metal pollution in the sediments of the lake area is generally not high, of which the pollution level of Hg is relatively large, and that of Cd and Pb came next.

Key words: Chaohu Lake; sediment; heavy metal; spatial distribution; geo-accumulation index

水体底泥污染是世界范围内的一个环境问题^[1]。底泥是水环境的重要组成部分, 进入水体的重金属污染物大部分由水相进入固相, 最终进入水体沉积物并逐步累积。当底泥环境条件发生改变, 沉积在底泥中的重金属会成为二次污染源, 因此, 底泥不仅是污染物, 也是再污染的潜在污染源^[2-3]。底泥作为水环境中重金属的主要蓄积库, 是水环境重金属污染的敏感指示剂, 底泥中重金属污染物的浓度可以反映水体的污染程度^[4]。因此, 底泥中污染物的浓

度在一定程度上可以间接反映河湖湿地的污染程度^[2,5]。掌握底泥中重金属的含量能更加准确地分析研究水体重金属污染状况^[1]。

近些年来, 随着现代工业的迅速发展, 流域水质和底泥重金属污染也呈现出恶化的趋势, 全面掌握和妥善处理底泥重金属污染带来的生态问题已经迫在眉睫。目前有关底泥中重金属污染还缺乏深入研究, 尤其是在底泥中的重金属的分布特征、底泥中重金属的生物有效性, 以及污染情况的综合评价

收稿日期: 2018-03-29

基金项目: 巢湖市水源优化与水质保障技术研究与示范 (2014ZX07405-003-05) 资助。

作者简介: 钱贞兵, 高级工程师。E-mail: qianzhenbing@163.com

* 通信作者: 唐晓先, 正高级工程师。E-mail: 937129297@qq.com

和潜在生态风险评价等方面。在对底泥重金属的评价方面,多侧重于对点位的重金属污染评价研究,在对底泥重金属的变化状况的分析和对区域底泥分布状况的研究等方面较少^[6-8]。

本研究以巢湖湖区底泥为研究对象,选用内梅罗综合污染指数法和地累积指数法对重金属污染状况进行综合评价,并通过年度监测点位的评价结果进行对比来了解变化情况,采用反距离权重插值法来绘出湖区底泥中各重金属元素的空间分布,以期为管理部门掌握巢湖底泥污染状况和实施有效治理提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区域概述

巢湖地处安徽省中部,地理坐标范围是 117°16'54"E~117°51'46"E, 31°25'28"N~31°43'28"N,是我国著名的五大淡水湖之一。多年平均水位 8.37 m,湖盆长 61.7 km,宽 12.47 km,水面 769.55 km²,平均水深 2.89 m。巢湖湖区以忠庙-姥山-齐头为界,分为东、西两大半湖,是一座巨型的天然调节水库,自然调蓄容量在 40 亿 m³左右。它在水库防洪、灌溉、航运、城市供水等各个方面都发挥巨大作用^[6,9]。

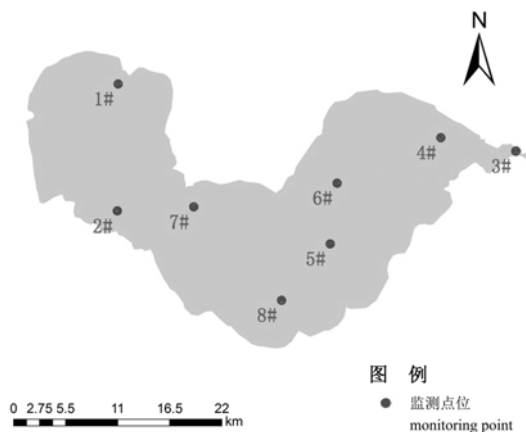


图 1 底泥监测点位布设

Figure 1 Distribution of sediment monitoring point

1.2 监测方法

巢湖湖区底泥监测共布设 8 个监测点位(点位位置见图 1)。湖区底泥监测项目有 pH、Cd、Hg、As、Pb 和 Cr 6 项。本研究监测时间为 2015 年和 2016 年上半年,每个湖泊监测点位采集 3 个 0~5 cm 的底泥样品,混合均匀后带回实验室分析。具体采集和监测方法参照《全国土壤污染状况调查土壤样品采集(保存)技术规定》^[10]、《土壤物理性质测定法》(中国科学院南京土壤研究所)^[11]及其他相关资料。

1.3 评价方法

底泥中重金属污染评价方法很多。常见的主要有单因子指数评价法、内梅罗污染指数法、富集系数法、污染负荷指数法、地累积指数法、潜在生态危害指数法、健康风险评价法、次生项与原生项分布比值法、沉积物质量基准法等^[2,4,5,12]。各种方法各有侧重,本研究选用内梅罗污染指数法,采用标准值作参考来评价点位污染程度;选用地质累积指数法,采用区域背景值作参考来评价底泥中各点位的单个重金属污染程度;采用方差分析方法来研究年度变化情况。

1.3.1 内梅罗污染指数法 单因子评价难以表达污染物的整体污染水平,因此常采用能够综合评价多种污染因子的内梅罗污染指数法进行评价。其计算公式如下:

$$P = \sqrt{\frac{1}{2} \left[\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \right)^2 + (P_{i,\max})^2 \right]} \quad (1)$$

式(1)中: $P_i = \frac{C_i}{S_{ip}}$

P_i 为土壤中污染物 i 的单项污染指数; C_i 为调查土壤中污染物 i 的实测浓度; S_{ip} 为污染物 i 的评价标准值或参考值; $P_{i,\max}$ 是最大单项污染指数。

内梅罗污染指数 (P) 反映了各污染物对土壤的作用,同时突出了高浓度污染物对土壤环境质量的影响,其评价等级划分见表 1^[2,11]。

表 1 内梅罗污染指数分级标准

Table 1 The grading criteria of the Nemerow index

| 污染等级 | Pollution grade | P 范围 | P range | 程度 | Degree | 污染水平 | Pollution level |
|------|-----------------|--------------------|-----------|------|--------|------|-----------------|
| I | | $P \leq 0.7$ | | 安全 | | 清洁 | |
| II | | $0.7 < P \leq 1.0$ | | 警戒限 | | 尚清洁 | |
| III | | $1 < P \leq 2.0$ | | 轻度污染 | | 轻微 | |
| IV | | $2 < P \leq 3.0$ | | 中度污染 | | 明显 | |
| V | | $P > 3$ | | 重污染 | | 严重 | |

1.3.2 方差分析方法 将两年的监测数据评价结果进行归类,采用方差方法进行统计分析,通过计算

数列的差异性,来评价湖区底泥污染变化状况。

方差分析方法采用 SPSS 22.0 中配对样本 t 检

验, 确定 2015 年和 2016 年的两组底泥监测数据的差异性, 统计检验的显著水平设为 $P < 0.05$ ^[7,13]。

1.3.3 元素含量空间分析方法 反距离权重插值法 (IDW) 是最常用的加权平均插值法之一, 它考虑了空间数据值与距离反相关的空间特性^[14], 是基于相近相似的原理, 即 2 个物体离得越近, 它们的性质就越相似, 反之, 离得越远, 则相似性越小。它以插值点与样本点之间的距离为权重进行加权平均, 离插值点越近的样本点赋予的权重越大^[15]。其公式为:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \tag{2}$$

式 (2) 中: $Z^*(x_0)$ 为 x_0 点处的估计值; N 为用于插值的临近样点的个数; $Z^*(x_i)$ 为样点 x_i 处的实测值; λ_i 为第 i 个样点对估计点的贡献权重。

1.3.4 地累积指数法 地质累积指数 (I_{geo}) 是德国海德堡大学沉积物研究所的科学家 M tiller 提出的一种研究水环境沉积物中重金属污染的定量指标, 计算公式为 (3):

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_n}{(k \times B_n)} \right] \tag{3}$$

式 (3) 中: C_n 是指元素在沉积物中的含量; B_n 是为沉积岩 (一般为普通页岩) 中的地球化学背

景值; k 为常数, 一般取 1.5, 用来表示沉积特征、岩石地质特征及其他因素的影响。地质累积指数可分为 7 级, 其评价等级划分见表 2^[8,16]。

表 2 地累积指数 (I_{geo}) 分级标准

| 等级 | I_{geo} 范围 | 污染程度 |
|-----------------|----------------------|------------------|
| Pollution grade | I_{geo} range | Pollution degree |
| 0 | $I_{geo} \leq 0$ | 无污染 |
| 1 | $0 < I_{geo} \leq 1$ | 轻度污染 |
| 2 | $1 < I_{geo} \leq 2$ | 偏中度污染 |
| 3 | $2 < I_{geo} \leq 3$ | 中度污染 |
| 4 | $3 < I_{geo} \leq 4$ | 偏重度污染 |
| 5 | $4 < I_{geo} \leq 5$ | 重度污染 |
| 6 | $4 < I_{geo} \leq 5$ | 严重污染 |

2 结果与分析

2.1 监测结果统计

在 2015 和 2016 年中, 对巢湖湖区 8 个点位的底泥进行监测, pH、Cd、Hg、As、Pb 和 Cr 6 个监测项目的监测结果统计见表 3。

从表 3 中 2015 和 2016 两年的监测结果对比, 可以看出, As 的监测结果基本不变, Cd 的监测值降低, Hg、Pb 和 Cr 有不同幅度的升高。

表 3 各监测点位底泥监测结果统计

Table 3 Statistics of monitoring results of sediment in each monitoring point

| 监测项目 | 点位数 (个) | 2015 年/mg·kg ⁻¹ | | 2016 年/mg·kg ⁻¹ | |
|--------------------|------------------|----------------------------|---------------|----------------------------|---------------|
| | | 分布区间 | 均值 | 分布区间 | 均值 |
| Monitoring project | Number of points | Distribution interval | Average value | Distribution interval | Average value |
| pH | 8 | 7.14~7.84 | | 6.29~7.46 | |
| Cd | 8 | 0.11~0.79 | 0.48 | 0.06~0.50 | 0.29 |
| Hg | 8 | 0.03~0.28 | 0.11 | 0.15~0.46 | 0.26 |
| As | 8 | 0.01~0.04 | 0.02 | 0.01~0.03 | 0.02 |
| Pb | 8 | 0.05~0.11 | 0.09 | 0.10~0.18 | 0.13 |
| Cr | 8 | 0.15~0.22 | 0.19 | 0.18~0.30 | 0.24 |

表 4 2015 和 2016 年各监测点位内梅罗污染指数值

Table 4 The Nemerow index value of each monitoring point in 2015 and 2016

| 年份 | 内梅罗污染指数值 The Nemerow index value | | | | | | | |
|------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1# | 2# | 3# | 4# | 5# | 6# | 7# | 8# |
| 2015 | 0.51 | 0.49 | 0.13 | 0.24 | 0.59 | 0.37 | 0.17 | 0.40 |
| 2016 | 0.37 | 0.28 | 0.31 | 0.38 | 0.21 | 0.27 | 0.16 | 0.23 |

2.2 内梅罗污染指数评价

为进一步分析各监测点位的污染状况, 选用《土壤环境质量标准》(GB15618-1995) 二级标准作为参考值进行评价^[17], 评价结果统计见表 4。

从表 3 的可以看出 2015 年的内梅罗污染指数在

0.13~0.59, 2016 年的在 0.16~0.37, 均低于 0.7, 属于清洁类型。

为了进一步了解湖区底泥污染变化情况, 对 2015 年和 2016 年的两组监测评价数据采用 SPSS 22.0 中配对样本 t 检验, 来评价数列的差异性, 检

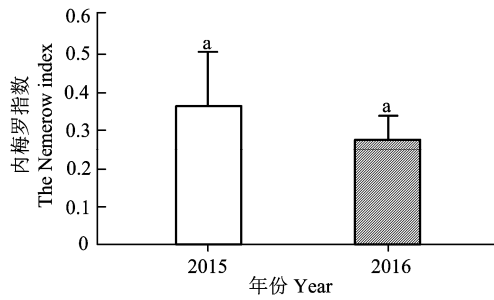


图 2 2015 年和 2016 年评价结果差异性分析

Figure 2 Analysis of the difference of evaluation results between 2015 and 2016

验结果见图 2 (注: 图中相同字母分别表示处理间

无显著差异 ($P>0.05$), 不同字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。

结果表明巢湖湖区各点位底泥内梅罗污染指数评价结果在 2015 年和 2016 年间没有显著差异 (t 值 0.667, $P=0.526$)。

2.3 重金属含量空间分布

统计两年的巢湖湖区底泥监测数据, 将同一点位的监测数据进行平均。本研究将采样点信息导入到 Arcgis 软件中, 应用地统计分析模块的反距离权重插值法对数据进行分析, 绘出湖区底泥重金属元素的空间分布, 进行元素含量空间分析, 计算结果见图 3。

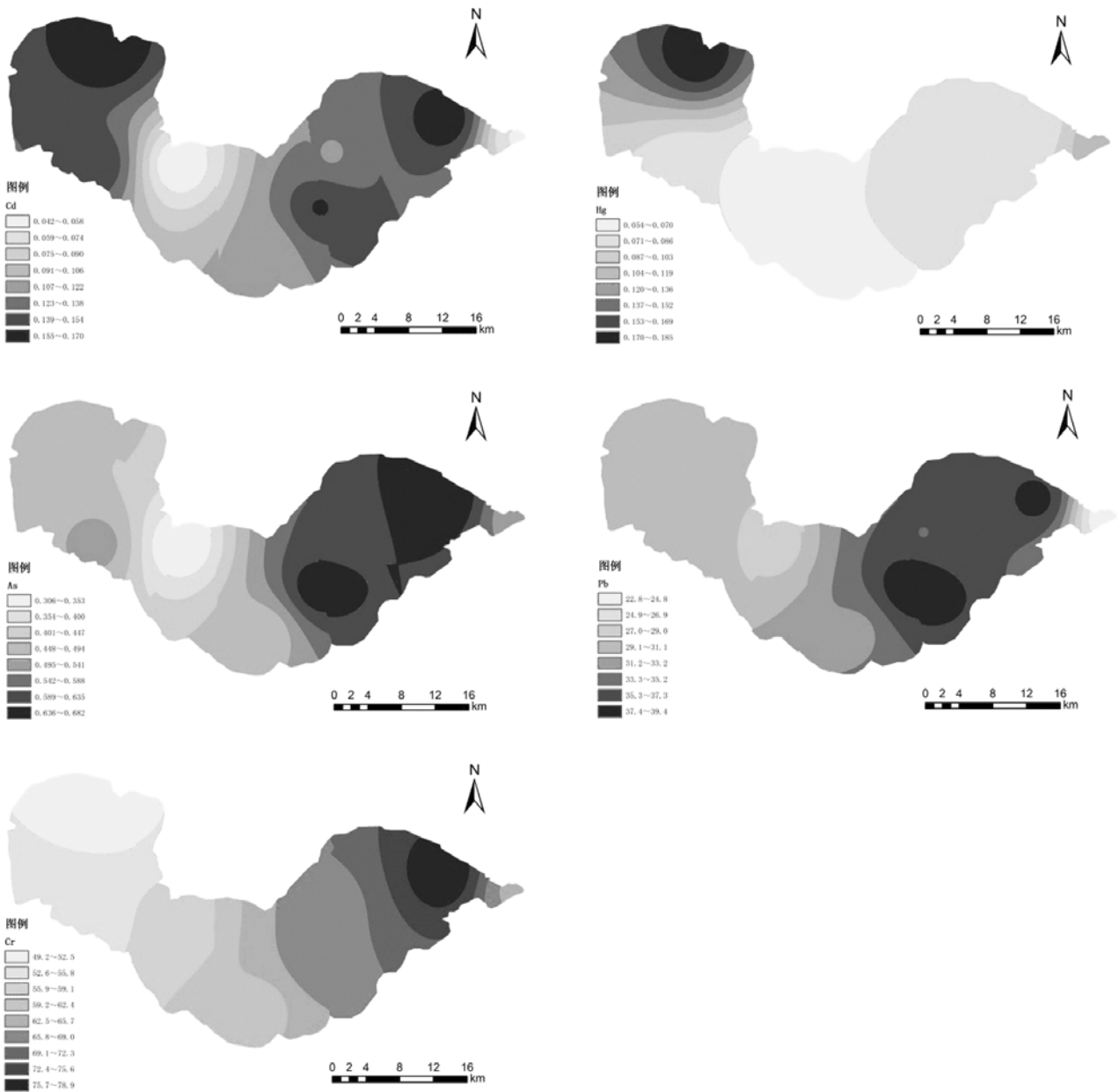


图 3 巢湖底泥重金属元素分布

Figure 3 Distribution of heavy metal elements in the sediment of Lake Chaohu

表 5 各监测点位底泥中重金属元素的 I_{geo} 与污染级别
Table 5 I_{geo} and pollution level of heavy metals in the sediment of each monitoring point

| 采样点 Sampling point | 年份 Year | I_{geo} | | | | |
|-----------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | Cd | Hg | As | Pb | Cr |
| 1# | 2015 | 0.38 (1) | 1.21 (2) | -4.71 (0) | -0.48 (0) | -1.21 (0) |
| | 2016 | -0.18 (0) | 1.89 (2) | -5.29 (0) | -0.26 (0) | -0.97 (0) |
| 2# | 2015 | 0.34 (1) | 0.11 (1) | -4.50 (0) | -0.41 (0) | -0.92 (0) |
| | 2016 | -0.54 (0) | 0.27 (1) | -5.13 (0) | -0.25 (0) | -0.90 (0) |
| 3# | 2015 | -1.28 (0) | -0.92 (0) | -4.81 (0) | -1.28 (0) | -0.78 (0) |
| | 2016 | -1.72 (0) | 1.71 (2) | -4.80 (0) | -0.40 (0) | -0.60 (0) |
| 4# | 2015 | 0.25 (1) | 0.00 (1) | -4.28 (0) | -0.23 (0) | -0.45 (0) |
| | 2016 | -0.07 (0) | 0.41 (1) | -4.46 (0) | 0.15 (1) | -0.35 (0) |
| 5# | 2015 | 0.60 (1) | -0.07 (0) | -4.40 (0) | -0.18 (0) | -0.71 (0) |
| | 2016 | -0.07 (0) | 0.41 (1) | -4.46 (0) | 0.15 (1) | -0.35 (0) |
| 6# | 2015 | -0.08 (0) | -0.15 (0) | -4.62 (0) | -0.55 (0) | -0.80 (0) |
| | 2016 | -0.74 (0) | 0.54 (1) | -4.47 (0) | 0.18 (1) | -0.45 (0) |
| 7# | 2015 | -1.26 (0) | -0.85 (0) | -5.81 (0) | -0.78 (0) | -0.99 (0) |
| | 2016 | -3.06 (0) | 0.24 (1) | -5.29 (0) | -0.24 (0) | -0.77 (0) |
| 8# | 2015 | 0.04 (1) | -0.39 (0) | -4.96 (0) | -0.55 (0) | -0.87 (0) |
| | 2016 | -1.41 (0) | 0.40 (1) | -4.94 (0) | -0.01 (0) | -0.67 (0) |

从图 3 可以初步判断出巢湖湖区底泥 5 种重金属元素含量的分布情况, Cd 的含量分布在湖区东部和西部的近岸边较高, 湖区中部较低; Hg 的含量分布于湖区东部近岸边较高, 其他区域都很低; As 的含量分布于湖区东部较高, 西部次之, 中部最低; Pb 的含量分布于湖区东部较高, 其他区域相对较低; Cr 的含量分布于湖区东部近岸边较高, 向湖区西部逐步递减。总的来看, 湖区中部重金属含量较低, 人为活动密集湖区近岸边和河流入湖口处重金属含量相对较高, 这与重金属随着水体迁移有关。

2.4 地累积指数评价

本研究采用区域背景值作参考来评价底泥中各点位的单个重金属污染程度。研究背景值选用安徽省江淮流域土壤地球化学背景值^[18], 计算结果根据表 2 进行等级分类, 评价结果见表 5 (注: 表中数值为计算结果, 括号中的数值表示重金属 I_{geo} 对应的污染级别)。

从表 5 可以看出 Hg 的污染程度相对较大, 在 2 年 16 个评价数据中, 出现 3 个 2 级偏中度污染和 8 个 1 级轻度污染, 分别占比 18.75% 和 50%; Cd 的污染程度次之, 出现 5 个 1 级轻度污染, 占比 31.25%; Pb 出现 3 个 1 级轻度污染, 占比 18.75%; As 和 Cr 均为 0 级, 无污染。

从年度结果统计可以看出 2015 年和 2016 年的 2 级偏中度污染分别为 1 个和 2 个; 1 级轻度污染分别为 7 个和 9 个; 0 级无污染分别为 32 个和 29 个。

总的来看, 湖区底泥重金属污染程度不高, 大多数为 0 级 (无污染), 总占比 76.25%; 1 级 (轻度污染) 次之, 总占比 20%; 2 级 (偏中度污染) 较少, 总占比 3.75%; 未出现 2 级以上的污染点位。

3 结论

本研究在巢湖湖区布设 8 个监测点位, 通过对底泥中 pH、Cd、Hg、As、Pb 和 Cr 6 项进行监测, 获取连续 2 年的监测数据, 采用内梅罗污染指数法、方差分析法、反距离权重插值法和地累积指数法来对湖区重金属的污染状况和空间分布进行评价分析。

通过评价对比, 得出以下几点结论: (1) 内梅罗污染指数评价结果显示, 巢湖底泥污染程度属于清洁类型; (2) 通过对 2015 和 2016 年的数据进行方差统计分析, 无显著性差异; (3) 从湖区底泥重金属空间分布情况来看, 湖区中部含量较低, 人为活动密集湖区近岸边和河流入湖口处含量相对较高; (4) 地累积指数评价结果显示, 湖区底泥重金属污染程度总体不高, 大多数为 0 级 (无污染), 总占比 76.25%; 1 级 (轻度污染) 次之, 总占比 20%; 2 级 (偏中度污染) 较少, 总占比 3.75%; 未出现 2 级以上的污染点位。

本研究通过对巢湖湖区底泥的监测, 初步掌握了湖区底泥的污染情况, 为科研部门深入研究湖区水体污染, 为管理部门充分掌握巢湖污染状况和实

施有效治理提供科学依据。但由于本研究的点位数量和监测项目有限, 仅初步反应湖区底泥的污染状况, 如需深入掌握巢湖湖区底泥污染状况, 还需在湖区不同功能区和各入湖口处增加点位, 进行长期监测评价。

参考文献:

- [1] 许炼烽, 邓绍龙, 陈继鑫, 等. 河流底泥污染及其控制与修复[J]. 生态环境学报, 2014, 23(10): 1708-1715.
- [2] 余姝洁, 李名, 张保见, 等. 中山市主要灌溉水源底泥重金属污染及潜在生态风险评估[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(16): 61-63.
- [3] 赵爽, 薛阳, 姜虎生, 等. 浑河底泥重金属污染评价及植物筛选[J]. 环境工程, 2015, 33(10): 104-107.
- [4] 朱余银, 戴塔根, 吴玺虹. 湘江长株潭段底泥重金属污染现状评价[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2012, 43(9): 3710-3717.
- [5] 王卫星, 曹淑萍, 李攻科, 等. 天津市州河水质及其底泥重金属污染评价[J]. 物探与化探, 2017, 41(2): 322-327.
- [6] 殷福才. 巢湖富营养化的评价与控制对策研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
- [7] 王雪平, 王淑红. 河南省淮河流域底泥重金属形态分布特征及其潜在风险评价[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(15): 264-270.
- [8] 郭晶, 李利强, 黄代中, 等. 洞庭湖表层水和底泥中重金属污染状况及其变化趋势[J]. 环境科学研究, 2016, 29(1): 44-51.
- [9] 唐晓先, 沈明, 段洪涛. 巢湖蓝藻水华时空分布(2000-2015年)[J]. 湖泊科学, 2017, 29(2): 276-284.
- [10] 中国环境监测总站. 土壤环境监测技术[M]. 北京: 中国环境出版社, 2013.
- [11] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. 土壤物理性质测定法[M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- [12] 邱锦泉, 付善明, 王道芳, 等. 粤北某矿下游河流底泥重金属形态分析[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(34): 12209-12212.
- [13] 陈超, 朱志红, 李英年, 等. 高寒草甸种间性状差异和物种均匀度对物种多样性与功能多样性关系的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(3): 661-674.
- [14] 李湘凌, 张颖慧, 杨善谋, 等. 合肥义城地区土壤重金属污染评价中典型插值方法的对比[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(1): 222-227.
- [15] 王颖华, 张鑫. 西宁市降水量时空分布规律分析[J]. 人民黄河, 2012, 34(10): 80-82.
- [16] 石先罗, 章卫. 赣江南昌段沉积物重金属空间分布特征及风险评价[J]. 水利科技与经济, 2017, 23(9): 1-5.
- [17] 国家环境保护局科技标准司. 土壤环境质量标准:GB 15618-1995[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [18] 陈兴仁, 陈富荣, 贾十军, 等. 安徽省江淮流域土壤地球化学基准值与背景值研究[J]. 中国地质, 2012, 39(2): 302-310.