



移动扫码阅读

赵超,赵杰,苏胜男,等.济南市城市绿地土壤重金属污染及生态风险评价[J].能源环境保护,2021,35(1):60-66.
ZHAO Chao, ZHAO Jie, SU Shengnan, et al. Heavy metal pollution and ecological risk assessment of urban green space soil in Jinan City[J]. Energy Environmental Protection, 2021, 35(1):60-66.

济南市城市绿地土壤重金属污染及生态风险评价

赵超¹,赵杰²,苏胜男³,王聪¹,王琦¹

(1.山东省生态环境监测中心,山东济南250101;2.山东省环境保护科学研究设计院有限公司,山东济南250013;3.山东省中鲁环境工程评估中心有限公司,山东济南250013)

摘要:针对济南市公园绿地、居民小区绿地和道路绿化带等3类城市绿地,评价了土壤重金属的潜在生态风险程度。结果表明:济南市城市绿地土壤污染程度处于尚清洁与重度污染之间,轻度污染、中度污染、重度污染点位分别占44.4%、37.8%和15.6%;重金属潜在生态风险程度依次为Hg>Cd>As>Pb>Cu>Ni,Hg和Cd存在较大潜在生态风险,不同类型城市绿地Hg和Cd的潜在生态风险存在差异;土壤状况总体处于轻微和中等生态风险,个别绿地土壤处于重度生态风险,不同类型绿地综合潜在生态风险程度依次为居民小区绿地>道路绿化带>公园绿地。

关键词:城市绿地;不同类型;重金属污染;生态风险评价

中图分类号:X53

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2021)01-0060-07

Heavy metal pollution and ecological risk assessment of urban green space soil in Jinan City

ZHAO Chao¹, ZHAO Jie², SU Shengnan³, WANG Cong¹, WANG Qi¹

(1. Shandong Provincial Eco-environment Monitoring Center, Jinan 250101, China;

2. Shandong Academy of Environmental Sciences Co., Ltd., Jinan 250013, China;

3. Shandong Zhonglu Environmental Engineering Evaluation Center Co., Ltd., Jinan 250013, China)

Abstract: The potential ecological risks of heavy metals in the soil of three types of urban green space in Jinan City including park green space, residential green space and road green belt were evaluated. The results showed that the soil pollution degree of urban green space in Jinan City was between "clean" and "heavy pollution". Monitoring points of slight pollution, moderate pollution, heavy pollution accounted for 44.4%, 37.8% and 15.6%, respectively. The potential ecological risks of heavy metals followed the sequence as Hg>Cd>As>Pb>Cu>Ni. The potential ecological risks of Hg and Cd were high, but different in different types of urban green space. Generally, the level of soil ecological risks was slight or moderate. However, the soil ecological risk level of several green space was severe. The comprehensive potential ecological risk degrees of different types green space followed the sequence as residential green space > road green space > park green space.

Key Words: Urban green space; Different types; Heavy metal; Ecological risk assessment

0 引言

绿地作为城市生态系统的重要组成部分,不仅为人们提供了休闲游玩的场所,而且有助于改

善城市生态环境质量、美化城市环境^[1]。随着城市化、工业化的快速发展,大量人类活动产生的污染物进入城市绿地,城市绿地土壤的各种性质发生变化。重金属是城市绿地土壤中重要的污染

物,不仅影响绿地生态系统,而且可以通过扬尘或直接接触等途径进入人体,危害人体健康^[2]。因此,研究城市绿地土壤重金属污染状况,评价其潜在风险程度,是城市生态环境保护和治理的重要内容^[3-8]。本研究以济南市典型城市绿地为研究对象,通过对公园绿地、居民小区绿地和道路绿化带等3种不同类型15个绿地土壤重金属含量和污染程度分析,采用潜在生态风险指数法对土壤重金属潜在生态风险程度进行了评价,旨在摸清城市绿地土壤重金属污染现状和生态风险程度,以期对济南市城区土壤重金属污染防治和修复提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

济南市位于山东省中部,地理位置为36°01'N~37°32'N,116°11'E~117°44'E,是著名的“泉城”和国家历史文化名城,环渤海地区南翼和黄河中下游地区的中心城市,山东省政治、经济、文化、科技、教育、区域性金融中心,常住人口695万人。地处中纬度地带,属于暖温带半湿润季风型气候,四季分明,春季干旱少雨,夏季温热多雨,秋季凉爽干燥,冬季寒冷少雪,年平均气温13.8℃,年均降水量685mm。

1.2 样品布点与采集

在济南市城区东南西北中5个区域,分别选择建成5年以上的公园绿地、居民小区绿地和道路绿化带等3种类型城市绿地,每类选择5个绿地,共15个绿地。每个绿地布设3个监测点位,共计45个监测点位。采集0~20cm表层土壤,混匀后用四分法取2kg左右,土壤样品在室内自然风干,去除杂物后分别过2mm和0.15mm尼龙筛,装瓶备用。

1.3 样品处理

将样品置于无尘、通风、避光的地方自然风

干,风干过程中除去土壤中混杂的砖瓦石块、石灰结核、根茎动植物残体等。用瓷制研钵研磨后,过10目、60目、100目尼龙筛,装瓶备用。

1.4 分析方法

Cd、Cu、As和Ni前处理用HCl-HNO₃-HF-HClO₄消解,Hg、Pb前处理用1+1王水消解。Cd用石墨炉原子吸收分光光度法测定,Hg、As用原子荧光光谱法测定,Pb、Cu、Ni用火焰原子吸收分光光度法测定,具体操作按照《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166—2004)^[9]和《土壤环境监测分析方法》^[10]有关技术规定的要求进行。

2 污染与风险评价

2.1 污染程度评价

采用单项污染指数法和综合污染指数法^[11]对济南市不同城市绿地土壤重金属污染状况进行评价。

2.2 潜在生态风险指数法

潜在生态风险指数法是评价重金属污染及生态风险的方法,由瑞典科学家Hakanson提出^[12],该指数不仅反映某一特定环境中各种污染物对环境的影响及多种污染物的综合效应,而且用定量的方法划分出潜在生态风险的程度^[13]。计算公式如下:

$$RI = \sum E_r^i$$

$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i$$

$$C_f^i = C_{\text{表层}}^i / C_n^i$$

式中:RI为潜在生态风险指数; E_r^i 为潜在生态危害单项系数; T_r^i 为某一重金属的毒性相应系数,Cd、Hg、Pb、Cu、As和Ni的毒性相应系数分别为30、40、5、5、10和5^[14]; C_f^i 为单项污染系数; $C_{\text{表层}}^i$ 为表层土壤重金属含量实测值; C_n^i 为土壤背景参考值。重金属污染潜在生态风险系数和潜在生态风险指数分级标准见表1。

表1 潜在生态风险系数和潜在生态风险指数分级标准

Table 1 Classification standard of potential ecological risk coefficient and potential ecological risk index

单因子潜在生态风险系数(E_r^i)	单因子潜在生态风险程度	综合潜在生态风险指数(RI)	综合潜在生态风险程度
$E_r^i < 40$	低	$RI < 150$	轻微生态风险
$40 \leq E_r^i < 80$	中等	$150 \leq RI < 300$	中等生态风险
$80 \leq E_r^i < 160$	较重	$300 \leq RI < 600$	重度生态风险
$160 \leq E_r^i < 320$	重	$RI > 600$	严重生态风险
$E_r^i \geq 320$	严重		

2.3 评价标准

为更准确反映济南市不同城市绿地土壤重金属实际污染程度,本次研究以山东省土壤背景值^[15]中的重金属含量作为评价标准。

3 监测与评价结果

3.1 土壤重金属含量分析

对济南市不同类型城市绿地土壤重金属含量进行了统计分析,以探讨济南市城市绿地土壤重金属的可能来源,监测结果详见表 2。结果显示,公园绿地、居民小区绿地和道路绿化带土壤 Cd、Hg、Pb、Cu、As 和 Ni 的平均含量均超过山东省土壤背景值,这表明工业生产、交通运输和生活污染排放等人为活动已导致济南市城市绿地土壤重金属含量的升高。与山东省土壤背景值比较,公园

绿地土壤中有 14 个点位的 Cd 含量超背景值,13 个点位的 Hg 含量超背景值,9 个点位的 Pb 含量超背景值,12 个点位的 Cu 含量超背景值,6 个点位的 As 含量超背景值,13 个点位的 Ni 含量超背景值。居民小区土壤中有 14 个点位的 Cd 含量超背景值,13 个点位的 Hg 含量超背景值,9 个点位的 Pb 含量超背景值,14 个点位的 Cu 含量超背景值,13 个点位的 As 含量超背景值,15 个点位的 Ni 含量超背景值。道路绿化带土壤有 14 个点位的 Cd 含量超背景值,12 个点位的 Hg 含量超背景值,11 个点位的 Pb 含量超背景值,14 个点位的 Cu 含量超背景值,7 个点位的 As 含量超背景值,15 个点位的 Ni 含量超背景值。这表明济南市城市绿地土壤受到强烈的人为因素干扰,相比山东省土壤背景值,济南市城市绿地土壤已经受到污染。

表 2 不同类型城市绿地土壤重金属监测结果

Table 2 Monitoring results of heavy metals in different types of urban green space

绿地类型	项目	与山东省土壤背景值比较	
		超背景值点位数/个	超背景值倍数
公园绿地	Cd	14	0.05~2.20
	Hg	13	0.14~13.80
	Pb	9	0.13~1.20
	Cu	12	0.05~0.96
	As	6	0~0.20
	Ni	13	0.03~0.60
居民小区绿地	Cd	14	0.09~2.75
	Hg	13	0.20~14.30
	Pb	9	0.01~3.70
	Cu	14	0.02~1.50
	As	13	0.01~0.30
	Ni	15	0.01~0.70
道路绿化带	Cd	14	0.20~3.80
	Hg	12	0.06~12.40
	Pb	11	0.07~2.50
	Cu	14	0.07~0.80
	As	7	0.05~0.10
	Ni	15	0.03~0.30

3.2 污染程度评价

采用单项污染指数法和综合污染指数法对济南市不同类型城市绿地土壤重金属污染状况进行评价,分析结果见表 3。由表 3 可知,济南市 3 种类型城市绿地土壤 Cd、Hg、Pb、Cu、As 和 Ni 均存在不同程度污染情况。Cd、Hg、Pb、Cu、As 和 Ni 的超标率分别为 93.3%、84.4%、64.4%、88.8%、

57.8%和 95.5%。从单项污染指数来看,Hg 和 Cd 污染程度最为严重,Pb、Cu、As 和 Ni 的污染程度较轻。Hg 有 10 个点位轻度污染,12 个点位中度污染,5 个点位重度污染;Cd 有 6 个点位轻度污染,10 个点位中度污染。Pb 处在清洁至轻微污染之间,Cu、As 和 Ni 处在清洁至轻微污染之间。

从综合污染指数来看,济南市城市绿地土壤

综合污染指数为 0.92~7.83,土壤污染程度处在尚清洁至重度污染之间。45 个监测点位中,尚清洁点位占 2.2%,轻度污染占 44.4%,中度污染占 37.8%,重度污染占 15.6%。

不同类型城市绿地土壤污染程度存在差异。公园绿地土壤中,1 个点位为尚清洁,9 个点位为

轻度污染,3 个点位中度污染,2 个点位重度污染;居民小区绿地土壤中,5 个点位为轻度污染,8 个点位中度污染,2 个点位重度污染;道路绿化带土壤中,6 个点位为轻度污染,6 个点位中度污染,3 个点位重度污染。

表 3 不同类型城市绿地土壤重金属污染程度

Table 3 The degree of heavy metals pollution in different types of urban green space

绿地类型	单项污染指数						综合污染指数
	Cd	Hg	Pb	Cu	As	Ni	
公园绿地	0.59~3.22	0.30~8.80	0.45~2.21	0.68~1.96	0.63~1.20	0.72~1.63	0.92~5.86
居民小区绿地	0.81~3.75	0.72~10.91	0.78~4.77	0.97~2.51	0.88~1.35	1.01~1.75	1.55~6.79
道路绿化带	0.74~4.81	0.69~10.43	0.76~3.56	0.89~1.84	0.88~1.12	1.03~1.32	1.81~7.83

3.3 潜在生态风险评价

3.3.1 单因子潜在生态风险评价

济南市城市绿地土壤重金属潜在生态风险系数统计结果见表 4,潜在生态风险风险程度分布情况见表 5。由表 4 可见,济南市城市绿地土壤中

Hg 潜在生态风险系数最高,潜在生态风险系数范围为 12.31~611.69,均值为 135.62。Cd 的潜在生态风险系数次之,范围为 17.75~144.29,均值为 57.75。Pb、Cu、As、Ni 潜在生态风险系数较小,均值均小于 40。

表 4 土壤重金属潜在生态风险系数统计结果

Table 4 Statistical results of potential ecological risk coefficient of heavy metals

项目		Cd	Hg	Pb	Cu	As	Ni
潜在生态	范围	17.75~144.29	12.31~611.69	2.29~23.84	3.42~12.58	6.31~13.55	3.64~8.78
风险系数	均值	57.75	135.62	7.18	6.98	10.35	5.82

由表 5 可见,45 个监测点位土壤 Pb、Cu、As、Ni 潜在生态风险程度较小,均为低风险,Hg 和 Cd 的潜在生态风险较强。Hg 在各级别潜在生态风险都有分布,其中,9 个点位为低风险,12 个点位为中等风险,13 个点位为较重风险,6 个点位为重

风险,5 个点位为严重风险。Cd 的潜在生态风险级别在低风险~较重风险之间,其中,14 个点位为低风险,24 个点位为中等风险,7 个点位为较重风险。济南市城市绿地土壤中各重金属污染程度由强到弱依次为:Hg>Cd>As>Pb>Cu>Ni。

表 5 土壤重金属潜在生态风险程度

Table 5 The degree of potential ecological risk of heavy metals

阈值区间	潜在生态风险 程度分级	监测点位/个					
		Cd	Hg	Pb	Cu	As	Ni
$E_r^i < 40$	低	14	9	100	100	100	100
$40 \leq E_r^i < 80$	中等	24	12	0	0	0	0
$80 \leq E_r^i < 160$	较重	7	13	0	0	0	0
$160 \leq E_r^i < 320$	重	0	6	0	0	0	0
$E_r^i \geq 320$	严重	0	5	0	0	0	0

济南市不同类型城市绿地土壤重金属潜在生态风险系数见表 6。结果表明,3 种类型城市绿地各重金属潜在生态风险系数差异明显。Cd 的潜

在生态风险系数均值在道路绿化带最高,Hg 的潜在生态风险系数均值在公园绿地最高,Pb、Cu、As、Ni 的潜在生态风险系数均值在居民小区绿地最高。

表 6 不同类型城市绿地土壤重金属潜在生态风险系数统计结果

Table 6 Statistical results of potential ecological risk coefficient of heavy metals in different types of urban green space

绿地类型	项目	Cd	Hg	Pb	Cu	As	Ni
公园绿地	范围	17.75~96.79	12.31~593.85	2.29~11.05	4.19~9.81	6.31~12.04	3.64~8.16
	均值	47.98	145.81	5.98	6.30	9.91	5.52
居民小区绿地	范围	24.32~112.50	28.92~611.69	3.93~23.84	4.88~12.58	8.83~13.55	5.08~8.22
	均值	54.70	137.97	8.96	7.66	11.16	6.29
道路绿化带	范围	22.14~144.29	27.69~537.23	3.82~17.83	4.46~9.19	8.80~11.18	5.16~6.59
	均值	70.58	123.08	6.60	6.99	9.99	5.65

济南市不同类型城市绿地土壤重金属潜在生态风险程度情况见图 1, 结果表明, 济南市城市绿地土壤各重金属潜在生态风险程度由强到弱依次为: $Hg > Cd > As > Pb > Cu > Ni$, Hg 和 Cd 存在较大潜

在生态风险, Hg 对济南市城市绿地土壤生态环境潜在风险最大。Cd 处在低风险~较重风险之间, Hg 在各级别潜在生态风险都有分布, 重风险和严重风险点位占 24.4%。

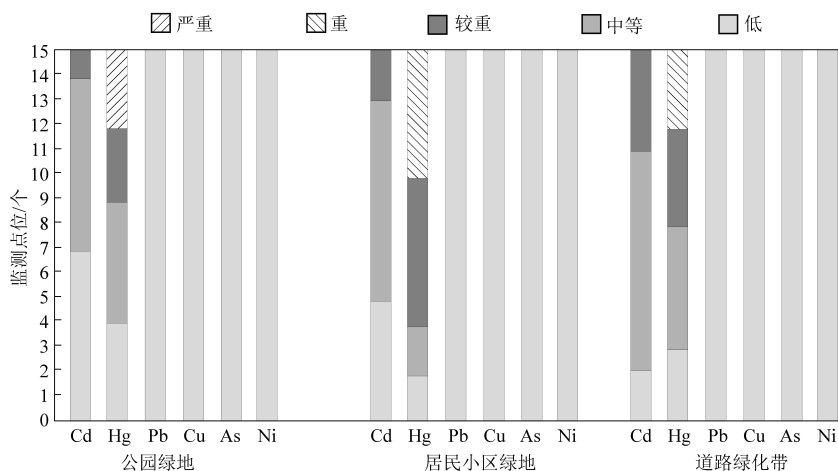


图 1 不同类型城市绿地土壤重金属潜在生态风险程度

Fig.1 The degree of potential ecological risk of heavy metals in different types of urban green space

不同类型城市绿地 Cd 和 Hg 潜在生态风险存在差异。Cd 在公园绿地土壤中有 7 个点位为低风险, 7 个点位为中等风险, 1 个点位为较重风险; 在居民小区土壤中有 5 个点位为低风险, 8 个点位为中等风险, 2 个点位为较重风险; 在道路绿化带中有 2 个点位为低风险, 9 个点位为中等风险, 4 个点位为较重风险。Hg 在公园绿地土壤中有 4 个点位为低风险, 5 个点位为中等风险, 3 个点位为较重风险, 3 个点位为严重风险; 在居民小区土壤中有 2 个点位为低风险, 2 个点位为中等风险, 6 个点位为较重风险, 4 个点位为重风险, 1 个点位为严重风险; 在道路绿化带土壤中有 3 个点位为低风险, 5 个点位为中等风险, 4 个点位为较重风险, 2 个点位为重风险, 1 个点位为严重风险。相关研究表明, Cd 主要来自冶炼、电池、电镀、颜料等工业排放, Hg 的主要来自于汽车尾气、燃煤降尘、建筑扬尘等^[16], 经干湿沉降进入到城市绿地

土壤中, 是城市绿地土壤重金属污染的主要污染源。城市化进程、工业生产和交通运输等人为活动加快了城市绿地土壤重金属的外源性输入速率, 是造成济南市城市绿地土壤重金属污染的重要原因。

3.3.2 综合潜在生态风险评价

为进一步摸清济南市不同类型城市绿地土壤潜在生态风险程度, 计算并统计了不同类型城市绿地各监测点位综合潜在生态风险级别和各类型城市绿地综合潜在生态风险级别, 其结果分别见图 2 和表 7。由图 2 可见, 济南市不同类型城市绿地多数监测点位综合潜在生态风险程度处在轻微和中等风险, 轻微和中等风险点占 80%。但个别监测点位综合生态风险指数较高, 处在重度和严重生态风险, 其中, 6 个点位为重度生态风险, 3 个点位为严重生态风险。

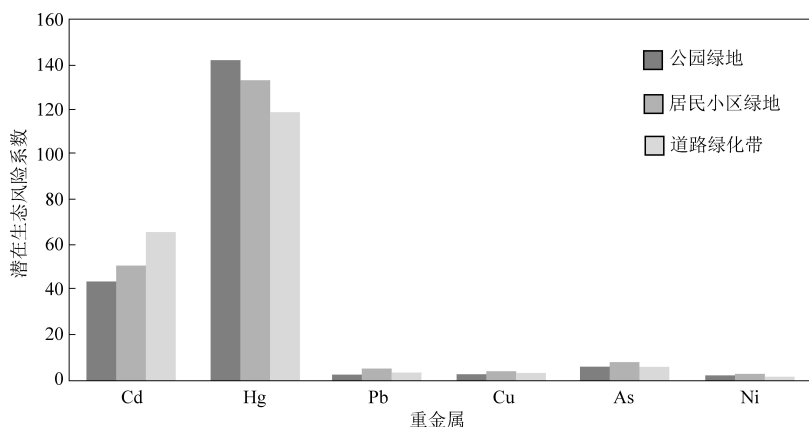


图2 不同类型城市绿地各监测点位综合潜在生态风险程度

Fig.2 The degree of comprehensive potential ecological risk in different types of urban green space monitoring points

由表7可见,济南市城市绿地土壤状况总体处在轻微和中等生态风险,但个别绿地土壤处在重度生态风险。公园绿地中4个为轻微生态风险,1个位重度生态风险;居民小区绿地中1个为轻微生态风险,2个为中等生态风险,1个为重度生态风险;道路绿化带中1个为轻微生态风险,2个为中等生态风险,1个为重度生态风险。不同

类型绿地受重金属综合潜在生态风险程度依次是居民小区绿地>道路绿化带>公园绿地。为确保城市绿地土壤环境健康,营造良好人居环境,应对该污染问题加以重视,采取相应措施综合治理和修复土壤重金属污染,尤其应该加强对土壤Cd和Hg的治理。

表7 不同类型城市绿地综合潜在生态风险程度

Table 7 The degree of comprehensive potential ecological risk in different types of urban green space

绿地类型	轻微生态风险	中等生态风险	重度生态风险	严重生态风险
公园绿地	4	0	1	0
居民小区绿地	1	2	2	0
道路绿化带	1	2	1	0

4 结果与讨论

(1)济南市城市绿地土壤Cd、Hg、Pb、Cu、As和Ni的平均含量均超过山东省土壤背景值,Hg和Cd污染程度最为严重,Pb、Cu、As、Ni的污染程度较轻,工业生产、交通运输和生活污染排放等人为活动已导致济南市城市绿地土壤重金属污染。

(2)济南市城市绿地土壤污染程度处在尚清洁至重度污染之间,轻度污染、中度污染、重度污染点位分别占44.4%、37.8%、15.6%。

(3)济南市城市绿地土壤各重金属潜在生态风险程度由强到弱依次为:Hg>Cd>As>Pb>Cu>Ni,Hg和Cd存在较大潜在生态风险,Hg对济南市城市绿地土壤生态环境潜在风险最大,不同类型城市绿地Hg和Cd潜在生态风险存在差异。

(4)济南市城市绿地土壤状况总体处在轻微和中等生态风险,个别绿地土壤处在重度生态风险,不同类型绿地受重金属综合潜在生态风险程度依次为:居民小区绿地>道路绿化带>公园绿地。

(5)城市化进程、工业生产和交通运输等人为活动加快了城市绿地土壤重金属的外源性输入速率,是造成济南市城市绿地土壤重金属污染的重要原因。为确保城市绿地土壤环境健康,营造良好人居环境,应采取相应措施综合治理和修复土壤重金属污染,尤其应该加强对土壤Cd和Hg的治理。

参考文献

- [1] 贾丽敏,陈秀玲,吕敏. 漳州市不同绿地功能区土壤重金属污染特征及评价[J]. 城市环境与城市生态, 2013, 26(3): 7-15.
- [2] 李敏,林玉锁. 城市环境Pb污染及其对人体健康的影响[J]. 环境监测管理与技术, 2006, 18(5): 6-10.
- [3] 史贵涛,陈振楼,许世远,等. 上海市区公园土壤重金属含量及其污染评价[J]. 土壤通报, 2006, 37(3): 490-494.
- [4] 卢瑛,甘海华,张波,等. 深圳市城市绿地土壤中重金属的含量及化学形态分布[J]. 环境科学, 2009, 28(2): 284-288.
- [5] 于法展,齐芳燕,李保杰,等. 徐州市城区公园绿地土壤

- 重金属污染及其评价 [J]. 城市环境与城市生态, 2009, 22 (3): 20-23.
- [6] 赵卓亚, 王志刚, 毕拥国, 等. 保定市城市绿地土壤重金属分布及其风险评价 [J]. 河北农业大学学报, 2009, 32 (2): 16-20.
- [7] 卓文珊, 唐建锋, 管东生. 城市绿地土壤特性及人类活动的影响 [J]. 中山大学学报, 2007, 46 (2): 32-35.
- [8] 崔邢涛, 栾文楼, 郭海全, 等. 石家庄城市土壤重金属污染及潜在生态危害评价 [J]. 现代地质, 2011, 25 (1): 169-175.
- [9] HJ/T166—2004. 土壤环境监测技术规范 [S].
- [10] 中国环境监测分析方法 [M]. 北京: 中国环境出版集团, 2019: 101-120.
- [11] 彭烨键, 王鹏程, 刘瑛, 等. 三峡库区消落带土壤重金属的分布特征与评价 [J]. 环境科学与技术, 2020, 43 (5): 181-186.
- [12] Lars Hakanson. An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach [J]. Water Research, 1980, 14: 975-1001.
- [13] 张学礼, 徐乐昌, 张辉. 某铀尾矿库周围农田土壤重金属污染潜在生态风险评价 [J]. 中国环境监测, 2016, 32 (6): 76-83.
- [14] 徐争启, 倪师军, 张成江, 等. 潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数计算 [J]. 环境科学与技术, 2008, 31 (2): 112-115.
- [15] 中国土壤元素背景值 [M]. 北京: 中国科学出版社, 1990: 94-144.
- [16] 邓秋静, 宋春然, 谢锋, 等. 贵阳市耕地土壤重金属分布特征及评价 [J]. 土壤, 2006, 38 (1): 53-60.