

闸坝控制下沙颍河沉积物重金属污染特征与生态风险评价

马威¹,樊孔明²,王萍^{1*}

(1. 淮河流域生态环境监测与科学研究中心,安徽蚌埠 233001;2. 淮河水利委员会水文局(信息中心),安徽蚌埠 233001)

摘要 为了解在闸坝控制下沙颍河河段沉积物中重金属污染特征,分别于2015年10月和2016年4月采集沙颍河干流表层沉积物,测定了6种重金属元素的含量;并采用单因子指数和潜在生态危害指数(RI)对污染进行评价。结果表明,2015年10月,沙颍河干流表层沉积物中Cu、Cr、Pb、Zn、Cd、Ni平均含量分别为17.5、78.4、19.8、72.2、0.5、25.8 mg/kg;2016年4月,沙颍河干流表层沉积物中各重金属平均含量分别为16.8、83.2、4.1、56.1、0.8、21.3 mg/kg;Cr平均浓度明显高于河南省土壤环境背景值浓度。单因子风险评价表明,仅Cd为极强污染风险程度,重金属潜在生态风险指数RI值在134~993,平均值为318,属强污染水平。在闸坝的控制下,沙颍河干流中重金属在不同区域表层沉积物中的含量变化较大,污染风险指数差异大。

关键词 闸坝控制;沙颍河;沉积物;重金属污染;生态风险

中图分类号 X 826 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)19-0077-03

doi: 10. 3969/j. issn. 0517-6611. 2020. 19. 021



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Sediments of Shaying River Controlled by Sluice Station

MA Wei¹, FAN Kong-ming², WANG Ping¹ (1. Huaihe River Basin Ecological Environment Monitoring and Scientific Research Center, Bengbu, Anhui 233001; 2. Hydrology Bureau (Information Center) of Huaihe Water Resources Commission, Bengbu, Anhui 233001)

Abstract In order to understand the pollution characteristics of heavy metals in the sediments of Shaying River (SYR) controlled by sluice stations, we acquired the surface sediments and determined the concentrations of 6 heavy metals (Cu, Cr, Pb, Zn, Cd and Ni) through field work and laboratory analysis in Oct. 2015 and Apr. 2016, respectively. Pollution assessment was conducted using a single factor index and the potential ecological risk index (RI). The results showed that the average contents of Cu, Cr, Pb, Zn, Cd and Ni were 17.5, 78.4, 19.8, 72.2, 0.5 and 25.8 mg/kg in Oct. 2015, and 16.8, 83.2, 4.1, 56.1, 0.8 and 21.3 mg/kg in Apr. 2016. The average concentration of Cr was significantly higher than the concentration of soil environmental background value in Henan Province. The single-factor risk assessment showed that only Cd was a very strong pollution risk degree, and the heavy metal potential ecological risk index RI value was between 134 and 993, with an average value of 318, which was a strong pollution level. Controlled by the sluice stations, the pollution level and ecological risk of heavy metals were different, and the pollution risk index also different.

Key words Sluice stations; Shaying River; Sediment; Heavy metal pollution; Ecological risk

沙颍河作为淮河的最大支流,跨越豫、皖两省,总河长624 km,在安徽颍上县进入淮河。周口市以上河段称为沙颍河上游;周口市到阜阳市河段为沙颍河中游;阜阳市以下河段为沙颍河下游^[1]。自20世纪90年代以来,淮河发生的大规模污染事件多与沙颍河有关^[2-3]。因重金属污染具有潜在性、持久性和不可逆性,且河流生态系统的开源性易受重金属污染,所以重金属的污染问题在河流生态保护中受到重视,沙颍河污染的控制与治理是淮河治理中的关键^[4-5]。河流中的沉积物是重金属的天然储库,沉积物中重金属含量能达到上覆水体含量的百倍以上,其空间分布也更容易解释重金属污染特征^[6]。所以,沉积物中重金属含量在河流水环境质量评价中是重要的指标^[7-9]。

当前对沙颍河重金属污染的研究多集中于某一河段,在流域尺度上的研究较匮乏^[10]。笔者研究了在多闸坝控制下沙颍河表层沉积物中重金属含量及其污染特征,旨在为沙颍河重金属污染控制及流域居民用水安全提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 研究区域 沙颍河作为淮河的最大支流,跨越、皖两省,在安徽省颍上县入淮河。沙颍河全长624 km,流域面积

近4万 km²。在上、中、下游河段选取采样点位(图1),并根据沙颍河水系特征,分别于2015年10月和2016年4月进行了取样调查。



图1 沙颍河采样点分布

Fig. 1 Distribution of sampling points in Shaying River

1.2 样品处理与分析 用抓斗式采泥器采集表层0~20 cm的样品。在同一点周围采样3次后将样品混匀,取适量装入密封袋中带回实验室处理。样品经烘干等前处理后,用四分法缩分得到待分析样品,用混酸(HNO₃-HF)完成消解,以电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)测定Cu、Cd、Pb、Zn、Ni、Cr含量。样品分析检测中同步测定标准土壤样进行质量控制。

1.3 评价方法

1.3.1 地积累指数法。又称Müller指数,是德国科学家

作者简介 马威(1986—),男,湖北孝感人,工程师,硕士,从事水生态与环境监测、质量控制与管理工作。*通信作者,工程师,硕士,从事流域水环境监测工作。

收稿日期 2020-03-23

Müller 在 1969 年提出的用于研究水环境沉积物中重金属污染程度的定量指标,近年来被国内外科学家广泛应用于河流沉积物重金属污染特征评价^[3,11]。其表达式为:

$$I_{geo} = \log_2 (C_n / k \times B_n)$$

(1)

式中, I_{geo} 为地积累指数; C_n 为样品中重金属 n 的实测值 (mg/kg); B_n 为沉积物中重金属元素的地球化学背景值 (mg/kg); k 为考虑到自然成岩作用可能引起的背景值变动而引入的修正系数,一般取值 1.5。地积累指数可以分为几个等级来表示污染程度的差别,具体见表 1。

表 1 地积累指数分级标准与污染程度的关系

Table 1 Relationship between the classification standard of land accumulation index and pollution level

I_{geo}	地积累指数等级 Level of I_{geo}	污染程度 Pollution level
<0	0	无
0~1	1	轻
>1~2	2	偏中
>2~3	3	中
>3~4	4	偏强
>4~5	5	强
>5	6	极强

1.3.2 潜在生态危害指数法。潜在生态危害指数法是瑞典科学家 Hakanson(1980) 从沉积学角度提出的,用于土壤或沉积物中重金属污染生态风险评价的一种方法。该方法以沉积物中重金属的含量和背景值为基础,并结合重金属的生物毒性系数和生态环境效应,计算出重金属的潜在生态危害指数^[12]。其具体计算方式如下:

$$E_r^i = T_r^i \times C_s^i / C_n^i$$

(2)

$$RI = \sum E_r^i$$

(3)

式中, C_s^i 指沉积物中重金属 i 的实际测量值 (mg/kg); C_n^i 指其背景值; T_r^i 指其毒性响应系数,这里采用 Hakanson 制定的标准,Cu、Cr、Pb、Zn 和 Cd 的响应系数分别为 5、2、5、1 和 30; E_r^i 指重金属 i 的潜在生态危害指数;RI 则为多种重金属综合潜在生态危害指数。

该方法综合考虑了重金属的毒性和重金属污染对评价区域的敏感性,消除了区域差异的影响,在国内外重金属风险评价中有着广泛的应用^[13-14]。表 2 给出了潜在生态危害指数和风险程度的分级关系。

2 结果与分析

2.1 沙颍河表层沉积物重金属含量特征 从表 3 可以看出,总体上沙颍河各调查点重金属含量呈现中游>上游>下游的趋势。值得注意的是,Cr、Zn、Cd 的含量在 2 次调查中分别超出了河南省土壤环境背景值 0.29 倍、0.05 倍、9 倍。沙颍河表层沉积物中 Cu 与 Cd 的平均浓度分别为 17.51、0.65 mg/kg。在沙颍河河段中,Cu 与 Cd 浓度表现出的变化趋势为上游 > 中游 > 下游;Cr 的平均浓度为 81.7 mg/kg,其浓度表现出的变化趋势为上游<中游<下游;Pb、Zn 与 Ni 的平均浓度分别为 18.4、65.7、23.9 mg/kg,这 3 种重金属元素浓度变化表现出的趋势则为中游 > 上游 > 下游。通过与淮河干流重金属元素平均浓度值及中国水系沉积物中元素平

均浓度值的比较^[15-16],发现 Cd 与 Cr 在沙颍河表层沉积物中的浓度更高,沙颍河表层沉积物中 Ni 的浓度则与其相近,沙颍河表层沉积物中 Cu、Pb、Zn 的浓度则更低。由此可见,Cd 与 Cr 在沙颍河重金属污染中相当严重。

表 2 潜在生态危害指数与风险程度的分级关系

Table 2 The relationship between potential ecological risk index and risk level

潜在生态危害指数 Potential ecological risk index (E_r^i)	单因子风险程度 Risk level of single factor	综合潜在生态危害指数 Comprehensive potential ecological risk index (RI)	总危害程度 Total risk level
<40	轻	<150	轻
40~80	中	150~300	中
>80~160	强	>300~600	强
>160~320	很强	>600~1 200	很强
>320	极强	>1 200	极强

2.2 重金属生态风险评估 根据河南省土壤背景值计算了沙颍河表层沉积物中 6 种重金属的平均单一污染因子,重金属的平均单项生态风险因子分别为 Cu 4.38、Cr 2.58、Pb 25.30、Zn 1.05 和 Ni 4.36,均小于 40,表明存在轻微的潜在风险;Cd (300) 的生态风险因子在 160~320,说明其潜在的生态风险很大,接近极大风险跨度的上限。镉污染程度反映了上游>中游>下游的变化。依据生态风险指数分类标准,除 Cd 外,沙颍河沉积物表层所测 5 种重金属的污染水平为轻度。在所调查的取样点位中,Cd 表现出强污染的监测点位占 58.8%,表现出极强污染的监测点位占 29.4%。其中,在 2015 年 10 月的检测点位中,Cd 超出河南省土壤环境背景值 0.88~32.28 倍,平均超标 7.08 倍;超出中国土壤环境背景值 0.52~25.96 倍,平均超标 6.55 倍;相较于淮河干流水系均值与中国水系平均值,分别平均超标 0.78、2.69 倍。在 2016 年 4 月的检测点位中,Cd 超出河南省土壤环境背景值 4.94~31.5 倍,平均超标 11.2 倍;超出中国土壤环境背景值 3.81~25.3 倍,平均超标 8.90 倍;相较于淮河干流水系均值与中国水系平均值,分别平均超标 1.70、4.58 倍。

沙颍河沉积物表层中重金属潜在生态风险指数 RI 值在 134~993,平均值为 318,表明总重金属潜在生态风险指数极强,主要是由 Cd 污染造成。

3 讨论

由于河流沉积物作为水环境中重金属的主要储存库,能够反映水生态环境受重金属污染的程度。沙颍河在多闸坝的控制与调度下,对地区农业生产与防洪安全上起着极其重要的作用。同时,沙颍河也遭受着重金属污染的极大风险,尤其是来自 Cd 污染的生态污染威胁。沙颍河中重金属含量由上游向下游变化的原因主要由重金属元素在水体的滞留时间及闸坝控制造成的。Cd 浓度在沉积物表层中沿沙颍河的变化尤其明显。

沙颍河流域是开发程度相对较低的区域,受城市化水平和工业生产方式的制约,城市生活污水的大量涌入也增加了城市重金属污染的风险。Cd 作为沙颍河高风险的污染因子,与冶炼、染料、农业废水等工业废水的排放密切相关。农

业和工业重金属污染的流入是造成河流中游地区生态风险高的主要原因。

表 3 沙颍河流域表层沉积物中重金属含量
Table 3 The contents of heavy metals in surface sediments of Shaying River

采样点 Sampling point	位置 Location	mg/kg											
		Cu		Cr		Pb		Zn		Cd		Ni	
		10 月 October	4 月 April	10 月 October	4 月 April	10 月 October	4 月 April	10 月 October	4 月 April	10 月 October	4 月 April	10 月 October	4 月 April
St1	漯河闸下游	21.6	26.1	81.7	89.3	23.5	1.4	87.0	73.4	2.1	2.1	38.2	27.6
St2	颍河	17.9	12.6	57.5	71.9	19.8	2.5	75.5	47.3	0.8	0.8	20.8	13.3
St3	周口闸上	17.3	18.5	64.4	76.1	9.9	1.2	61.3	59.0	0.5	0.9	24.1	20.6
St4	周口闸下	18.0	19.8	83.6	89.5	43.9	2.3	77.6	67.9	0.3	1.0	31.6	25.9
St5	周口闸下	24.2	14.5	72.4	64.2	14.9	1.4	71.1	45.8	0.7	1.0	35.1	17.9
St6	郑埠口闸上	16.2	14.3	99.6	78.4	13.8	1.4	64.7	39.6	0.2	0.6	42.6	20.8
St7	郑埠口闸下	12.1	19.6	53.1	120.2	15.3	3.1	59.7	66.6	0.2	0.6	15.4	40.3
St8	郑埠口闸下	30.0	—	85.8	—	15.0	—	108.0	—	0.7	—	27.7	—
St9	槐店闸上	17.7	22.6	71.6	106.5	19.0	11.3	68.0	64.9	0.2	0.8	23.0	28.1
St11	槐店闸下	24.5	22.2	75.5	86.9	43.9	9.5	85.0	84.8	1.1	1.0	27.3	22.6
St12	耿楼闸上	16.5	14.6	63.4	68.9	28.6	4.5	71.4	45.8	0.3	0.5	20.3	15.6
St14	耿楼闸下	7.25	10.6	51.6	55.1	8.37	3.5	44.5	40.4	0.2	0.4	12.9	13.6
St15	阜阳闸上	28.1	18.1	100.1	90.8	20.4	7.2	100.1	64.2	0.4	0.7	30.7	22.7
St16	阜阳闸下	3.55	9.4	64.1	62.5	9.1	1.3	42.2	40.4	0.2	0.4	11.9	12.0
St17	阜阳闸下	21.2	15.7	99.7	91.9	18.2	2.6	68.6	52.8	0.4	0.5	36.0	23.8
St18	颍上闸上	10.1	14.4	126.4	100.7	22.8	11.3	87.1	58.7	0.5	0.6	21.8	17.8
St20	颍上闸下	11.4	16.5	82.7	78.9	10.3	0.9	55.1	45.5	0.1	0.6	18.7	18.5
均值 Mean		17.5	16.8	78.4	83.2	19.8	4.1	72.2	56.1	0.5	0.8	25.8	21.3
河南土壤环境背景值 Henan soil environmental background value		20.0		63.3		21.8		62.5		0.064		27.4	
中国土壤环境背景值 Chinese soil environmental background value		20.7		57.3		23.5		68.0		0.079		26.9	
淮河干流均值 Mean value of the main stream of the Huaihe River		29.9		63.7		29.5		79.2		0.290		*	
中国水系均值 Mean of Chinese water system		21.0		38.0		25.0		68.0		0.140		24.0	

注：“—”表示未取样检测；“*”表示查阅资料未见到相关研究报道
Note: “—” means no sampling test; “*” means no relevant research report has been seen in the data review

总之,沙颍河流域的重金属污染成因复杂,多闸坝的调控加剧了部分河段的重金属污染生态风险。调查表明沙颍河沉积物表层中非常严重,尤其是镉污染。该地区生态风险较高,亟待治理。

4 结论

通过 2 次对沙颍河干流表层沉积物取样分析发现,2015 年 10 月,沙颍河干流表层沉积物中 Cu、Cr、Pb、Zn、Cd、Ni 平均含量分别为 17.5、78.4、19.8、72.2、0.5、25.8 mg/kg;2016 年 4 月,沙颍河干流表层沉积物中各重金属平均含量分别为 16.8、83.2、4.1、56.1、0.8、21.3 mg/kg;Cr 平均浓度明显高于河南省土壤环境背景值浓度,沙颍河各调查点重金属含量呈现中游>上游>下游的趋势,中游河段重金属含量水平最高。单因子风险评价表明,仅 Cd 为极强污染风险程度,重金属潜在生态风险指数 RI 值在 134~993,平均值为 318,属强污染水平。在闸坝的控制下,沙颍河干流中重金属在不同区域表层沉积物中的含量变化较大,污染风险指数差异大。

参考文献

[1] 郝宁宇,彭文启,吴文强,等.沙颍河流域面源污染负荷空间分布特征研究[J].人民长江,2014,45(17):6-9.
[2] 褚金庭.沙颍河流量和水质对淮河污染的影响[J].水资源保护,2001

(3):4-7.
[3] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sediment ecological approach[J]. Water Res,1980,14(8):975-1001.
[4] FU J,ZHAO C P,LUO Y P,et al. Heavy metals in surface sediments of the Jialu River,China; Their relations to environmental factors[J]. Journal of hazardous materials,2014,270: 102-109.
[5] YANG Y,JIN Q,FANG J M,et al. Spatial distribution,ecological risk assessment,and potential sources of heavy metals(loid) in surface sediments from the Huai River with the Bengbu section,China[J]. Environmental science and pollution research,2017,24(12):11360-11370.
[6] 方明,吴友军,刘红,等.长江口沉积物重金属的分布、来源及潜在生态风险评价[J].环境科学学报,2013,33(2):563-569.
[7] 徐争启,倪师军,虞先国,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.
[8] 王岚,王亚平,许春雪,等.长江水系表层沉积物重金属污染特征及生态风险性评价[J].环境科学,2012,33(8):2599-2606.
[9] RASOOL A,XIAO T F. Distribution and potential ecological risk assessment of trace elements in the stream water and sediments from Lanmuchang area,southwest Guizhou,China[J]. Environmental science and pollution research,2019,26(4):3706-3722.
[10] 钟明,万云,万安,等.沙颍河流域沉积物重金属污染特征及生态风险评价[J].生态学杂志,2016,35(7):1857-1864.
[11] SINGH K P,MALIK A,SINHA S. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques—A case study[J]. Analytica chimica acta,2005,538(1/2):355-374.
[12] 朱光旭,郭庆军,陈同斌,等.北京市南沙河沉积物重金属污染特征及风险评价[J].生态学杂志,2013,32(8):2148-2153.

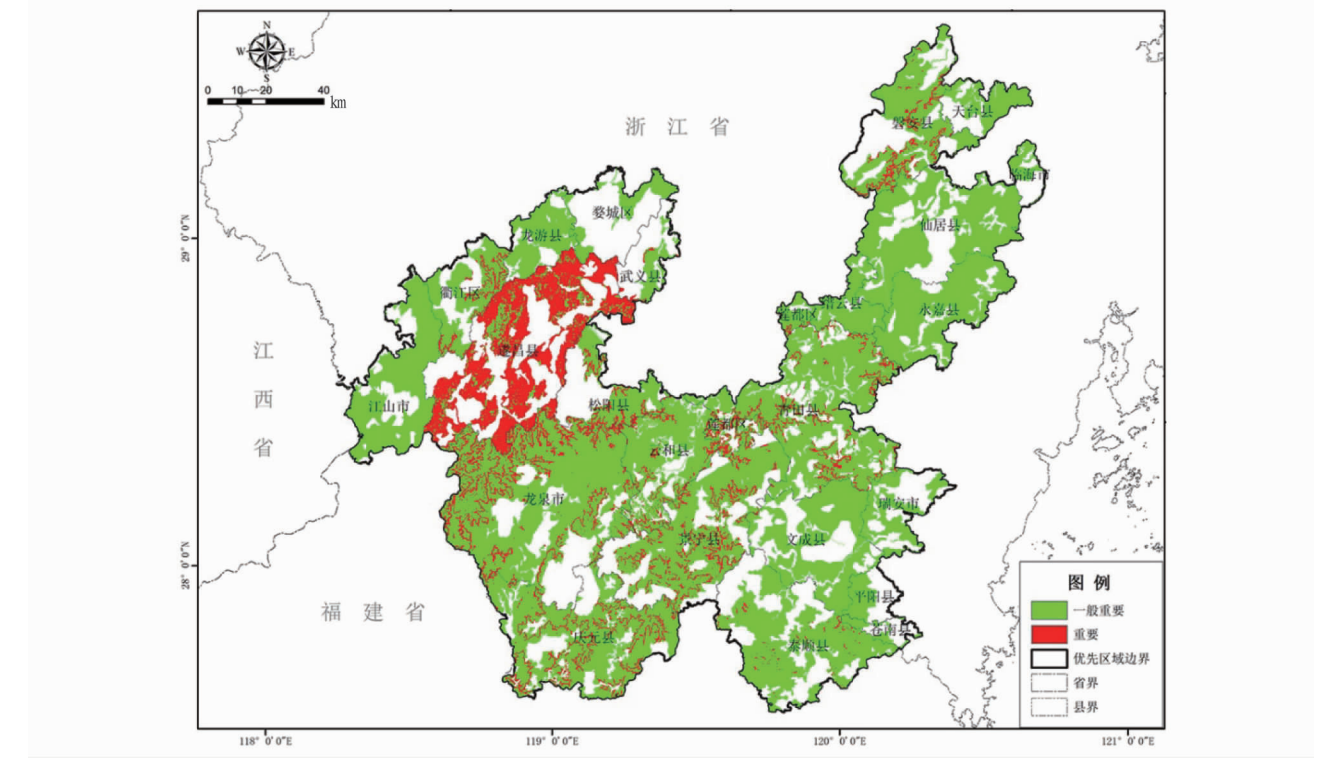


图 4 优先区域 II 类区保护重要性空间分布

Fig.4 Spatial distribution of important protection space of class II region of biodiversity conservation priority zone

3 结论与讨论

当前在自然保护地出现范围重叠的情况下仍然存在保护空缺现象,主要是由于我国长期以来对自然保护地实行分类型和分部门管理,存在很多利益导向等因素,各部门在自然资源相对丰富的优势区域集中建立了很多自然保护区、森林公园、湿地公园和风景名胜保护区,但忽略了整体的平衡性^[11]。目前在《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系指导意见》中,针对当前各类保护地管理存在交叉重叠的问题提出了一系列解决措施,但在保护空缺方面还有待于进一步加强研究和出台对应的政策意见^[9]。

该研究识别出了武夷山生物多样性保护优先区浙江片区的保护空缺区域,一共 4 861 km²。建议下一步将识别出的保护空缺区域纳入该区域的国家公园规划,或者在整合各类保护地、调整范围或区划时,通过开展生物廊道和保护小区建设等方法将其纳入就近的自然保护地内。

参考文献

[1] 薛达元,张渊媛.中国生物多样性保护成效与展望[J].环境保护,2019,47(17):38-42.

[2] 杨宇明.国家公园与生物多样性保护[J].林业建设,2018(5):113-122.

[3] YE P C,ZHANG G F,WU J Y. Hotspots and conservation gaps:A case study of key higher plant species from Northwest Yunnan,China[J/OL]. Global ecology and conservation,2020,23[2020-01-05]. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e1005.

[4] VAN ZONNEVELD M,RAKHA M,TAN S Y,et al. Mapping patterns of

abiotic and biotic stress resilience uncovers conservation gaps and breeding potential of *Vigna* wild relatives[J].Scientific reports,2020,10(1):1-11.

[5] 刘慧明,高吉喜,宋创业,等. 紫花含笑适宜生境的保护空缺与人类干扰分析[J]. 中国环境科学,2019,39(9):3976-3981.

[6] 高忠斯. 基于丹顶鹤秋迁期生境保护的松嫩平原保护空缺分析[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2018.

[7] BAX V,FRANCESCONI W. Conservation gaps and priorities in the Tropical Andes biodiversity hotspot:Implications for the expansion of protected areas[J]. Journal of environmental management,2019,232:387-396.

[8] CHRISTODOULOU C S,GRIFFITHS G H, VOGIATZAKIS I N. Using threatened plant species to identify conservation gaps and opportunities on the island of Cyprus [J]. Biodiversity and conservation,2018,27(11):2837-2858.

[9] 付励强,程鲲,宗诚,等. 基于多种类型保护地的红松林生态系统综合保护空缺分析[J]. 生态学杂志,2019,38(11):3480-3486.

[10] 刘阳,梁淑娟,邹天娇,等. 基于生态系统服务功能的自然保护区优先保护与保护空缺分析:以北京市密云区为例[J]. 生态城市与绿色建筑,2018(4):68-71.

[11] 何思源,苏杨. 国家公园管理制度设计:基于细化保护需求的保护地空间管制技术路线[J]. 环境经济,2016(24):96-101.

[12] XU Y,HUANG J H,LU X H,et al. Priorities and conservation gaps across three biodiversity dimensions of rare and endangered plant species in China[J]. Biological conservation,2019:229:30-37.

[13] TAS N, WEST G, KIRCALIOGLU G, et al. Conservation gap analysis of crop wild relatives in Turkey [J]. Plant genetic resources,2019,17(2):164-173.

[14] OLIVEIRA U,SOARES-FILHO B S,SANTOS A J. Reply to biodiversity conservation gaps in Brazil:A role for systematic conservation planning [J]. Perspectives in ecology and conservation,2018,16(3):166-167.

[15] 卢元平. 中国五省红树林景观格局的十年动态及保护空缺研究[D]. 昆明:云南大学,2018.

(上接第 79 页)

[13] 戴纪翠,高晓薇,倪晋仁,等. 深圳近海海域沉积物重金属污染状况评价[J]. 热带海洋学报,2010,29(1):85-90.

[14] GHOLIZADEH M,PATIMAR R. Ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from the Gorgan Bay, Caspian Sea[J]. Marine

pollution bulletin,2018,137: 662-667.

[15] 罗斌,刘玲,张金良,等. 淮干河流沉积物中重金属含量及分布特征[J]. 环境与健康杂志,2010,27(12):1122-1127.

[16] 鄢明才,迟清华,顾铁新,等. 中国各类沉积物化学元素平均含量[J]. 物探与化探,1995,19(6):468-472.