

邹烨燊,李 勇,赵志忠,等. 东寨港红树林沉积物重金属的垂向分异及污染评价[J]. 江苏农业科学,2014,42(8):327-330.

东寨港红树林沉积物重金属的垂向分异及污染评价

邹烨燊,李 勇,赵志忠,季一诺,吴 丹

(海南师范大学地理与旅游学院,海南海口 571100)

摘要:采用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)测定东寨港红树林 15 个表层沉积物样点中 8 种重金属元素(Cr、Co、Ni、Cu、Zn、As、Cd、Pb)的浓度,分析重金属元素的垂向分异规律及近几年东寨港红树林沉积物的重金属含量变化情况,并应用地质累积指数法对该区重金属的污染程度进行评价。结果表明:东寨港表层沉积物中 8 种重金属浓度由高到低依次是 $Cr > Zn > Ni > Cu > Pb > Co > As > Cd$;随着沉积物深度增加,Cu、Zn、As、Pb 的浓度逐渐减小,Cr 的表层浓度略低于中层和下层,Ni、Cd 的中层浓度略高于上层和下层。地质累积指数评价结果表明,QT-1-01、QT-1-02、QT-2、GN-1、GN-2、GN-3 这 6 个采样点污染程度较严重,产生污染的重金属是 Cd 和 As,污染程度分别为偏重度和轻度-偏中度污染。

关键词:重金属;红树林;沉积物;垂向分异;地质累积指数

中图分类号: X825 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)08-0327-04

红树林是生长发育于热带及亚热带海岸潮间带、受周期性潮水淹没、由常绿乔木灌木组成的、具有抗盐性潮滩湿地木本植物群落^[1-2]。它蕴含丰富的生物资源,具有重要的生态服务功能,可为林区微生物、动物提供食物、营养、保育栖息环境,支撑河口的重要食物链^[1]。除此之外,红树林还具有防风防浪、保护和塑造海岸地貌沉积环境、净化水质等功能^[3-4],是地球上生产力最高、生物多样性最丰富、最具价值的湿地生态系统之一^[5]。红树林沉积物主要由黏土矿物、活性金属氧化物、有机质组成,这种沉积物颗粒因其巨大的比表面积,使之比一般潮滩更易吸附具有生物毒性的重金属元素,成为水体各种污染的源和汇^[6]。由于这种赋存并不是单向不变的,当水体环境改变或在生物作用下,沉积物中的重金属元素极有可能被再次释放到水体中,造成二次污染^[7]。因此,对红树林沉积物重金属地球化学特征的研究,可为红树林

重金属污染的综合治理提供理论依据和方法指导,为红树林生态系统的管理、保护和恢复提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 研究区域

海南岛东寨港红树林位于琼州海岸南岸、海口市琼山区东北部,东经 $110^{\circ}32' \sim 110^{\circ}37'$ 、北纬 $19^{\circ}51' \sim 20^{\circ}01'$ ^[8],处于由近代地震沉降而形成的近南北向溺谷湾^[8]。本区北端北港岛两侧有潮汐与琼州海峡相连,研究区内大量沉积物来源于此^[9]。海岸线曲折多湾,泻湖滩面平缓。红树林分布于整个海岸浅滩,共有红树 16 科 32 种。红树林外边缘种类为白骨壤,往里以红海榄为主^[10],覆盖率达 80%。东寨港红树林沉积物中重金属的来源主要包括生活污水排放、自然径流、来往船只漏油、农药及养殖业饲料几个方面,这些重金属污染物极易积淀于红树林沉积物中,对整个生态系统都具有影响^[11]。

近年来,东寨港红树林沉积物的研究已成为热点,一些研究者对沉积物元素的水平分布、迁移规律,赋存形态、相关性等进行研究和探讨,但这些研究成果缺乏对东寨港红树林重金属元素的垂向分异规律、近年来东寨港红树林重金属含量

收稿日期:2013-10-31

基金项目:国家自然科学基金(编号:41261062);教育部留学回国人员科研基金。

作者简介:邹烨燊(1988—),女,四川宜宾人,硕士研究生,从事热带地表海岛过程与环境评价的研究。E-mail:86060698@qq.com。

通信作者:赵志忠,教授,硕士生导师。E-mail:170829021@qq.com。

参考文献:

- [1]戴 旭. 农业土地评价的理论与方法[M]. 北京:科学出版社,1995:20-21.
- [2]张立亭,祝国瑞,周世健. 农用地质量的综合评价[J]. 华东地质学院学报,2002,25(1):47-49.
- [3]路 婕,李 玲,吴克宁,等. 基于农用地分等和土壤环境质量评价的耕地综合质量评价[J]. 农业工程学报,2011,27(2):323-329.
- [4]Pieri C, Dumanski J. Land quality indicators[R]. World Bank Discussion Papers,1996.
- [5]Dumanski J, Pieri C. Land quality indicators: research plan[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment,2000,81:93-102.
- [6]王建国,陈凌静. 土地质量评价研究综述[J]. 河北农业科学,

2008,12(4):81-85.

- [7]王国强,郑文聚. 土地质量评价研究的简要回顾与展望[J]. 中国土地科学,2011,25(7):92-97.
- [8]任 奎,周生路,张红富,等. 江苏农用地资源质量空间格局及影响机制研究[J]. 农业工程学报,2008,24(4):127-134,封3.
- [9]贾树海,邱志伟,潘锦华,等. 辽宁省农用地质量空间分布及影响因素[J]. 土壤通报,2011,42(2):273-279.
- [10]蒋贵国. 四川省农用地类型区划分及综合生产能力评价研究[D]. 成都:成都理工大学,2012:2-8.
- [11]吴克宁,程先军,黄 勤,等. 基于分等成果的农用地综合生产能力[J]. 农业工程学报,2008,24(11):51-56.
- [12]郭 刚. 基于 GIS 的桦南县土地生产潜力研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2012:1-3.

变化的对比研究。本研究通过探讨东寨港红树林 15 个采样点中不同深度(0~60 cm)的 Cr、Co、Ni、Cu、Zn、As、Cd、Pb 等 8 种重金属元素含量的分布特征,揭示了东寨港红树林重金属元素的垂向变化规律和近年来东寨港红树林重金属含量变化的对比情况,并采用地质累积指数法评价其污染程度,分析人类活动对该区生态环境的影响。

1.2 样品采集

样品采集时间为 2013 年 8 月,共 15 个采样点,每个采样点分表层(0~5 cm)、中层(30 cm)、深层(60 cm)3 层共计 45 个样品。样品采集后,放入洁净自封袋封存。所有样品均经自然风干、动物残体及砾石剔除、碾磨、过筛(200 目)等步骤的处理后,装入洁净自封袋以备分析使用。本次分析使用电

感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)进行重金属测定,全部分析由海南师范大学地理与旅游学院实验室完成。

2 结果与分析

2.1 东寨港表层沉积物中重金属元素的分布规律
沉积物中的表层重金属含量可判断研究区受污染状况及程度,而重金属存在的水平差异可追溯其污染源^[12],在某种程度上可真实反映一个地区的环境质量优劣。表 1 显示的是东寨港表层沉积物中 8 种重金属 Cr、Co、Ni、Cu、Zn、As、Cd、Pb 的含量范围。为了真实反映东寨港沉积物中重金属元素的分布特征,特选定海南水系沉积物背景值和琼东北土壤背景值^[13]进行计算比较。

表 1 东寨港表层沉积物重金属质量浓度的统计情况

站位编号	样品编号	东寨港表层重金属元素质量浓度(mg/kg)							
		Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
QT-1	QT-1-01	120.60	24.62	63.34	48.44	126.89	8.72	0	30.16
	QT-1-02	100.56	19.96	54.57	33.88	135.81	6.92	2.62	25.98
QT-2	QT-2	109.80	24.29	60.04	35.17	128.28	7.35	2.15	30.03
GN-1	GN-1	96.70	21.08	44.61	18.49	49.23	10.54	2.22	18.69
GN-2	GN-2	111.31	20.61	56.92	34.33	119.21	8.87	0	29.95
GN-3	GN-3	83.23	20.56	44.15	27.83	93.91	9.58	4.39	28.41
MTE	MTE	76.90	14.59	40.33	21.42	66.04	10.73	3.49	26.81
MTW	MTW	69.54	14.99	37.16	18.04	63.76	8.51	3.58	19.72
TGE	TGE	73.56	16.62	37.99	22.92	59.82	14.38	0	24.24
TGW-A	TGW-A	90.96	15.31	41.19	17.08	76.09	8.78	0	18.50
NWS-1	NWS-1	81.82	14.07	36.23	17.96	52.33	8.62	0.88	21.16
NWS-2	NWS-2	52.44	10.80	27.90	14.69	54.97	7.51	3.49	16.14
DKG-1	DKG-1	57.77	12.70	33.15	15.50	55.92	7.79	2.04	20.23
DKG-2	DKG-2	70.93	16.43	38.57	20.73	64.86	10.14	0	26.26
BL	BL	69.88	15.50	38.16	22.30	50.20	8.16	0.70	19.20
平均值		84.40	17.47	43.62	24.59	79.82	9.11	1.70	23.70
变异系数		0.24	0.24	0.24	0.39	0.40	0.20	0.92	0.20
海南水系沉积物背景值 ^[13]		38.70	7.62	—	13.70	57.22	2.60	0.07	24.11
琼东北土壤背景值 ^[13]		222.00	25.20	37.50	42.50	79.30	3.70	0.05	26.17

注:“—”表示未查到。表 2 同。

由表 1 可知,东寨港表层沉积物中 8 种重金属含量由高到低依次是 Cr>Zn>Ni>Cu>Pb>Co>As>Cd。其中,Cr、Co、Cu 的含量高于海南水系沉积物^[13],低于琼东北土壤背景值^[13];Ni、Zn、As、Cd 的含量均高于海南水系沉积物和琼东北土壤背景值;Pb 的含量均低于海南水系沉积物和琼东北土壤背景值。

由表 1 还可以发现,全区表层沉积物的变异系数在 0.20~0.92 之间。除 Cd 的变异系数为 0.92,离散程度较高外,其余元素的变异系数均小于 0.4,离散程度较低。总体来讲,东寨港区域人口密度较大,生活污水排放量大,海运繁忙,漏油、溢油现象时有发生。加上旅游业兴旺,来往船只众多,且养殖业(如虾、咸水鸭)发达,这可能是东寨港红树林表层沉积物重金属含量偏大的主要原因。

在不同采样点中,元素 Cr、Co、Ni、Cu、Pb 具有相似的空间变化趋势,即最高值位于 QT-1-01,次高值位于 QT-2、GN-2,最低值位于 NWS-2。此外,站位 QT-1 的其余重金属元素如 Cr、Zn 含量最高。据调查,站位 QT-1 植物大片区域死亡,沉积物臭味明显,淤泥质沉积物颗粒细、黏土含量高,

吸附力强,且站位 QT-1 地势较低,处于相对较封闭的区域,交换条件差,影响重金属污染物与外界海洋的交换;站位 GN-2 污染次之,据调查,站位 GN-2 植物稀疏,趋于死亡,该站位处于排污沟附近,排污沟对 Pb、Zn 输送作用较强。

2.2 东寨港沉积物垂向分异规律

由图 1 可知,8 种重金属元素 Cr、Co、Ni、Cu、Zn、As、Cd、Pb 的平均含量范围分别是 84.40~86.87、17.45~17.63、43.22~44.78、20.62~24.59、61.04~79.82、8.38~9.11、1.70~2.51、21.25~23.70 mg/kg,其平均含量从高到低依次为 Cr>Zn>Ni>Cu>Pb>Co>As>Cd。

从整体上看,重金属元素 Cu、Zn、As、Pb 的平均浓度在 15 个采样点随深度的增加而减少,体现了沉积物表层富集的规律。其中,Zn 的富集程度最高;Co 的平均浓度在采样点中的垂向分布比较平均,差别极细微;Cr 在沉积物表层的平均浓度整体略低于中层和下层,说明表层沉积物受淋溶作用影响较大,重金属元素在相对下层富集;Ni、Cd 平均浓度在采样点中层略高于上层和下层。红树林沉积物中重金属元素的浓度和分布主要受来源、自身颗粒大小的吸附能力、人类活动的影

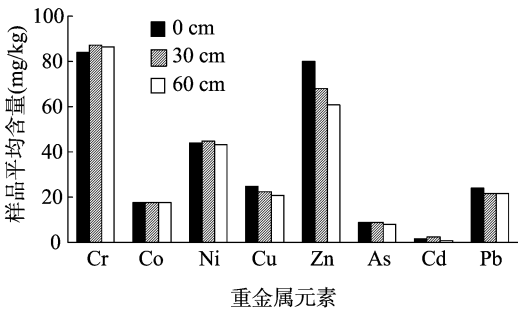


图1 东寨港沉积物 8 种重金属元素垂向分布特征

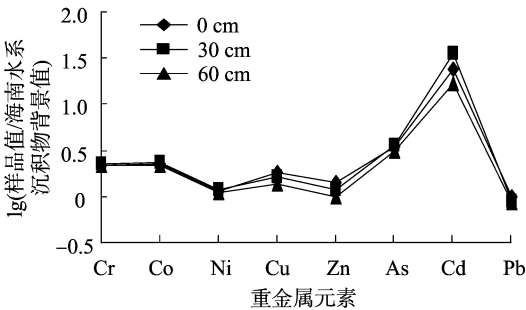


图2 东寨港不同深度沉积物重金属与海南水体沉积物背景值比较情况

响。如重金属元素 Cu、Zn、As、Pb 富集在淤泥质沉积物表层，颗粒细小的沉积物吸附剂絮凝作用较强，使之不易流失。

将东寨港红树林 15 个采样点沉积物不同深度重金属平均浓度与海南水体沉积物背景值^[13]作比较可更好地反映研究区沉积物重金属含量水平(图 2)，由于海南水体沉积物背景值未涉及 Ni 元素，因此 Ni 元素的背景值由琼东北土壤背景值^[13]代替。

由图 2 可知，研究区内沉积物中 8 种重金属在不同深度的平均浓度与海南水体沉积物背景值比值的对数值除 Pb 和 Zn 在 60 cm 层略小于 0 之外，其余均大于 0，说明研究区内沉积物中 8 种重金属在不同深度的平均浓度(除 Pb 和 Zn 在

60 cm 层外)均大于海南水体沉积物背景值，其中 Cd 含量与海南水体沉积物背景值的比值的对数值最大，含量是海南水体沉积物背景值的 25 倍。事实上，研究区内虾塘密布，咸水鸭养殖盛行，农药、化肥的大量投入，船漏油和排污都可能使 Cd 和 As 元素的浓度高于其他重金属。

2.3 东寨港沉积物近年重金属含量变化

沉积物中重金属含量随时间的变化趋势对红树林植物，乃至整个红树林湿地生态系统有着至关重要的作用。本研究对比了 2013 年 5 月与 2009 年 5—9 月和 2011 年 5—8 月采集的东寨港红树林沉积物，结果如表 2 所示。

表 2 近年东寨港红树林沉积物中重金属元素质量浓度的变化情况

采样时间	重金属元素质量浓度 (mg/kg)							
	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
2013 年 5 月	88.89	17.52	43.87	22.56	69.57	10.68	1.80	22.23
2011 年 5—8 月 ^[14]	79.86	—	—	28.50	73.43	8.49	0.10	22.54
2009 年 5—9 月 ^[15]	45.40	15.00	26.80	19.60	47.00	6.00	0.08	17.70

由表 2 可见，除 Cu、Zn、Pb 的浓度低于 2011 年 5—8 月的浓度外，2013 年 5 月东寨港红树林沉积物其他元素平均浓度均高于 2009 年、2011 年东寨港红树林沉积物的平均浓度，且沉积物重金属浓度随时间的推移而升高。据调查，东寨港红树林面积因受环境污染及生态破坏，以致近年来大幅减少，研究区面临愈来愈严重的生态威胁。当地政府虽在 2013 年 5 月已提出严格控制东寨港红树林自然保护区的虾塘养殖数量，但离真正停止该产业运作仍需加强相关管理。

2.2 地质累积指数法

地质累积指数法^[16]是发展于 20 世纪 60 年代晚期，由德国科学家 Muller 提出的用于研究沉积物中重金属环境污染程度的一种定量指标，其计算公式是

$$I_{geo} = \log_2 [C_m / (k \times B_m)]。$$
 (1)

式中： I_{geo} 表示地质累积指数； C_m 表示元素 m 在沉积物中的实测含量，mg/kg； B_m 表示沉积岩中当地地球化学背景值，mg/kg； k 表示修正数据，通常取 1.5^[17]。地质累积指数与污染分级^[18]的关系见表 3。

应用地质累积指数法分别计算研究区内 15 个采样点，距地面 0、30、60 cm 的垂向平均浓度中的 8 种重金属的地质累积指数值见图 3。

图 3 显示，在所研究的 8 种沉积物重金属中，地质累积指数大体从高到低依次为 Cd > As > Co > Cr > Cu > Zn > Ni > Pb，15 个采样点的 8 种重金属地质累积指数走势较为平稳。除

表 3 地质累积指数与污染程度分级

I_{geo} 指数	级别	污染程度
<0	0	清洁
0 ~ 1.00	1	轻度污染
1.01 ~ 2.00	2	偏中度污染
2.01 ~ 3.00	3	中度污染
3.01 ~ 4.00	4	偏重度污染
4.01 ~ 5.00	5	重污染
>5	6	严重污染

Cd 的地质指数较高外，其余 7 种重金属元素在 15 个采样点的地质累积指数比较接近，均在 -1.00 ~ 2.00 之间。8 种重金属元素中，Cd 的地质累积指数除在采样点 DKG-2 为 1.25，污染分级为偏中度污染，在其余 14 个采样点的地质累积指数为 3.00 ~ 4.95，其污染分级为偏重度污染；As 除在采样点 GN-2 的地质累积指数为 3.21，污染分级为偏重度污染外，在其余 14 个采样点的地质累积指数含量范围为 0.48 ~ 1.56，污染分级为轻度-偏中度污染；Co、Cd 地质累积指数含量范围为 0 ~ 1.00，污染分级为轻度污染；Cu、Zn 在采样点 QT-1-01 至 GN-2 这 5 个采样点的地质累积指数含量范围为 0 ~ 1.00，污染分级为轻度污染，其余 10 个采样点地质累积指数小于 0，污染分级为无污染；Ni 在采样点 QT-1-01 地质累积指数含量范围为 0 ~ 1.00，污染分级为轻度污染，在

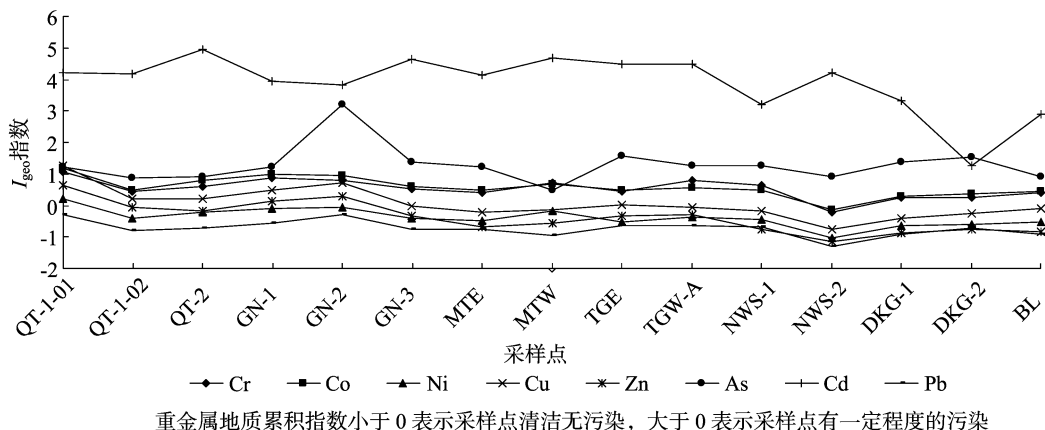


图3 15个采样点8种重金属元素的地质累积指数

其余 14 个采样点地质累积指数小于 0, 污染分级为无污染; Pb 在 15 个采样点地质累积指数均小于 0, 该重金属元素未达到污染程度。总体来说, QT-1-01、QT-1-02、QT-2、GN-1、GN-2、GN-3 等 6 个采样点中的 8 种重金属元素的地质累积指数普遍高于其余 9 个采样点。产生污染的主要重金属元素是 Cd、As。Cd、As 分别被认为是毒性最强和潜在毒性较强的重金属元素, 其浓度高低与人类活动密切相关^[19]。这 6 个采样点地势低, 不易与外界交换, 且颗粒为淤泥质, 吸附力强, 多处于排污沟附近或人口密集区接受重金属量大, 更易受农业、养殖业生产和开发活动的影响。

3 结论

东寨港表层沉积物中 8 种重金属浓度由高到低依次是 $Cr > Zn > Ni > Cu > Pb > Co > As > Cd$, 且研究区内沉积物中 8 种重金属在不同深度的平均浓度均大于海南水体沉积物背景值。Cu、Zn、As、Pb 的浓度随深度的增加而减小, 体现了沉积物表层富集的规律。Cr 在沉积物表层的平均浓度整体略低于中层和下层, 说明表层沉积物受淋溶作用影响较大, 重金属元素相对在下层富集; Ni、Cd 在中层的浓度略高于上层和下层。

近几年研究区沉积物重金属浓度从低到高依次是 2009 年 < 2011 年 < 2013 年。用地质累积指数法评价东寨港红树林沉积物产生污染的重金属是 Cd 和 As, 其中 Cd 的污染程度大于 As。QT-1-01、QT-1-02、QT-2、GN-1、GN-2、GN-3 等 6 个采样点的 8 种重金属元素的地质累积指数普遍高于其余 9 个采样点, 这是因为这 6 个采样点相对于其他采样点更易受到人为原因污染的影响。

参考文献:

- [1] 林 鹏. 中国东南部海岸红树林的类群及其分布[J]. 生态学报, 1981, 1(3): 283-290.
- [2] 张乔民, 张叶春. 海南红树林海岸生物地貌过程研究[J]. 第四纪研究, 1997, 17(4): 344-353.
- [3] 王树功, 黎 夏, 周永章, 等. 珠江口淇澳岛红树林湿地变化及调

- 控对策研究[J]. 湿地科学, 2005, 3(1): 13-20.
- [4] 赵大勇, 黄 睿, 马 婷, 等. 玄武湖沉积物中重金属垂向分布及污染评价[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(9): 150-154.
- [5] 王计平, 邹欣庆, 左 平. 基于社区居民调查的海岸带湿地环境质量评价——以海南东寨港红树林自然保护区为例[J]. 地理科学, 2007, 27(2): 249-255.
- [6] 杨丽原, 沈 吉, 张祖陆, 等. 南四湖表层底泥重金属和营养元素的多元分析[J]. 中国环境科学, 2003, 23(2): 206-209.
- [7] 向 勇, 缪启龙, 丰江帆. 太湖底泥中重金属污染及潜在生态危害评价[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(5): 700-705.
- [8] 王 胤, 左 平, 黄仲琪, 等. 海南东寨港红树林湿地面积变化及其驱动力分析[J]. 四川环境, 2006, 25(3): 44-49.
- [9] 倪海洋, 张乔民, 赵焕庭. 海南东寨港红树林港湾潮汐动力研究[J]. 热带海洋, 1996, 15(4): 17-25.
- [10] 林 鹏. 中国红树林生态系[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [11] 张 立, 袁旭音, 邓 旭. 南京玄武湖底泥重金属形态与环境意义[J]. 湖泊科学, 2007, 19(1): 63-69.
- [12] 张 雷, 秦延文, 郑丙辉, 等. 环渤海典型海域潮间带沉积物中重金属分布特征及污染评价[J]. 环境科学学报, 2011, 31(8): 1676-1684.
- [13] 廖香俊, 丁式江, 吴 丹, 等. 琼东北地区土壤微量元素地球化学特征[C]//2004 年全国学术年会农业分会场. 北京: 中国农学会, 2004: 64-67.
- [14] 王 鹏. 海南岛北部红树林湿地重金属富集及生态效应研究[D]. 海口: 海南师范大学, 2012.
- [15] 王军广. 海南岛北部红树林地区沉积物元素地球化学特征研究[D]. 海口: 海南师范大学, 2011.
- [16] Müller G. Index of geoaccumulation in sediments of Rhine River[J]. Geo Journal, 1969, 2(3): 108-118.
- [17] 程 杰. 巢湖水体重金属污染评价及水中重金属污染的植物修复研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2008.
- [18] 王佳燕. 海南东寨港几种红树植物主要生长特征因子间的关系研究[D]. 海口: 海南热带农业大学, 2007.
- [19] 韩卓汝, 赵志忠, 袁建平, 等. 海南岛北部红树林湿地表层沉积物重金属元素分布相关特征及其污染源分析[J]. 海南师范大学学报: 自然科学版, 2013, 26(1): 66-70.