

福建闽江河口湿地土壤重金属污染特征及评价研究

侯晓龙¹, 黄建国², 刘爱琴¹

(1.福建农林大学林学院, 福建 福州 350002; 2.内蒙古电力勘测设计院, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘要:为掌握福建闽江河口湿地重金属污染特征,对闽江河口湿地不同监测点重金属污染状况进行全面调查采样,利用综合污染指数法和地累积指数法对重金属污染状况进行评价。结果表明,福建闽江河口湿地重金属污染比较严重,除 Ni 和 Cr 外,Cu、Pb、Zn、Cd、Mn 均超过土壤环境质量标准(I 级)。除 Ni 和 Cr 单项污染指数无污染外,其他监测点均有不同程度的重金属污染,污染程度表现为 Pb>Cu>Zn>Cd;综合污染指数除潭头港和鳗鱼滩为轻度污染,其他 6 个监测点均达到中度污染以上,表明闽江河口湿地存在严重的重金属复合污染。地累积指数除 Pb、Zn、Cd 污染达到中或轻度污染水平,其他重金属均无污染。

关键词:福建;闽江河口湿地;重金属;污染特征;评价

中图分类号:X53 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)11-2302-05

Heavy Metals Pollution and It's Assessment in the Wetlands of Min River Estuary in Fujian Province

HOU Xiao-long¹, HUANG Jian-guo², LIU Ai-qin¹

(1.College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2.Inner-Mongolia Power Exploration & Design Institute, Huhhot 010020, China)

Abstract: The pollution characteristics of heavy metal in the estuary wetland of Min River in Fujian Province was thoroughly investigated and the contents of Cu, Pb, Zn, Cd, Mn, Ni and Cr from 8 monitoring sites were analyzed. And then the heavy metal pollution in the estuary wetland of Min River was evaluated by the method of N. L. Nemerow Comprehensive Pollution Index and Geoaccumulation Index. The results showed that the heavy metal pollution was serious in the estuary wetland of Min River. The contents of Cu, Pb, Zn, Cd and Mn exceeded the Standard of China National Soil Environment Quality Standard (level I) except Ni and Cr. The Single Pollution Index Assessment showed that the estuary wetland of Min River exist Cu, Pb, Zn, Cd and Mn pollution in different extents and no Ni and Cr pollution. The pollution degree of different heavy metals was in sequence of Pb>Cu>Zn>Cd. The Comprehensive Pollution Index Assessment showed that Tan-tou-gang and Shan-yu-tan existed slight pollution and the other monitoring sites were belonged to moderate pollution, which indicated there was serious comprehensive pollution in the estuary wetland of Min River. The Geoaccumulation Index Assessment showed that the Pb, Zn and Cd were belong to moderate or slight pollution level, and there were no Cu, Mn, Ni and Cr pollution.

Keywords: Fujian; estuary wetland of Min River; heavy metal; pollution characteristics; assessment

闽江河口湿地为福建省闽江的出海口,是闽江注入河流中污染物的归宿地之一。近年来,由于城市规模扩大和人类活动干扰,一方面使得闽江河口湿地面积逐年急剧缩小,另一方面一些破坏湿地的商业性开发、工业废水和城市生活污水、海洋交通污染和地下

矿产开采等造成闽江河口湿地污染严重^[1-2]。国内外有关学者在湿地重金属污染方面进行了一些研究,李取生等^[3]对珠江口滩涂湿地土壤重金属含量测定发现,Cd、Zn、Ni 污染十分严重,对围垦带来了严重的生态风险。于文金等^[4]用地累积指数和潜在生态危害指数对鄱阳湖重金属污染的评价结果表明,鄱阳湖区重金属污染主要为 Cu 污染,污染主要来源是德兴铜矿,Pb 表现为面源污染。B.H.Shima 等^[5]对加沙地带湿地水和沉积物化学成分的季节变化研究发现,Cd 和 Co 含量都比城市污水高 50 倍。因此,进行闽江河口湿地生态系统重金属污染的监测研究,掌握滨海湿地生态

收稿日期:2009-04-24

基金项目:福建省科技厅重点项目(2008Y0004);福建省科技厅资助省属高校项目(2008F5012);福建省自然科学基金(2009J01051)

作者简介:侯晓龙(1981—),男,山西永济人,硕士,讲师,主要从事重金属污染方面的研究。E-mail:lxhxl@126.com

通讯作者:刘爱琴 E-mail:fjlaq@126.com

系统污染的定量数据,对于闽江河口湿地的保护具有重要意义。

本文选择闽江河口湿地琅岐大桥、潭头港、鳝渔滩、红树林地、浪头鼻、水禽保护区、梅花镇、宣教区等 8 个具有代表性的监测点为调查对象,对闽江河口湿地生态系统土壤中 7 种重金属(Cu、Pb、Ni、Zn、Cr、Cd、Mn)进行监测,在此基础上,分别运用 N.L.Nemerow 综合污染指数和地累积指数法对闽江河口湿地土壤重金属污染状况进行评价,为建立南方湿地污染预警体系和湿地资源的保护提供科学依据。

1 研究地概况

闽江河口湿地西起福建省闽侯县竹岐,东至福建省连江县川石岛,为福建闽江的出海口,为亚热带海洋性季风区,年平均气温 19.6℃,年均降水 153 d,年均降水量为 1 346 mm。由于人为因素和湿地开发利用过程中大量废水废渣直接排入湿地,造成该湿地生态系统严重破坏。

2 研究方法

2.1 闽江河口湿地重金属污染调查采样点分布

选择福州闽江河口湿地 8 个具有代表性的监测点进行湿地生态系统污染的调查,为保证取样的代表性,采样点基本覆盖不同湿地生态系统的各个区域,采样点分布如图 1 所示。

2.2 土壤调查方法

2.2.1 监测布点方法

在对闽江河口湿地(北纬 25°45′~26°35′,东经

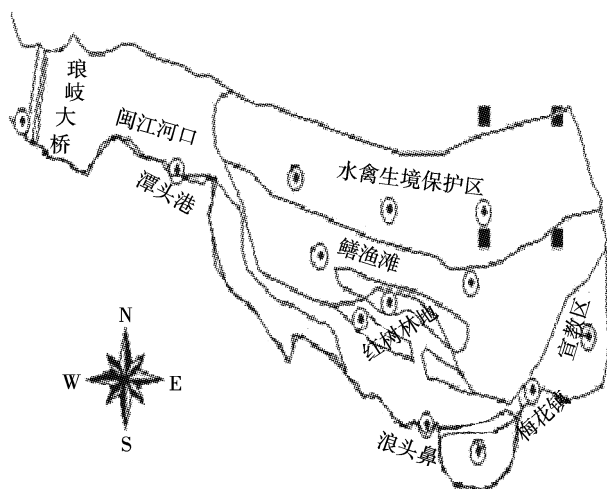


图 1 采样点分布示意图

Figure 1 The sampling sites diagrammatic sketch

119°10′~120°30′)全面踏查基础上,选择琅岐大桥、潭头港、鳝渔滩、红树林地、浪头鼻、水禽保护区、梅花镇、宣教区为闽江河口湿地生态系统的代表,进行闽江河口湿地重金属污染特征的调查。

2.2.2 土样采集及测定方法

分别在福建闽江河口湿地 8 个监测点采集土样,为消除取样中的误差,在闽江河口湿地中划分不同的采样区域,在每个取样区内再划分 10 m×10 m 的采样小区,每个小区内采取菱形点分布的方式采集样品,用塑料小铲采集 0~20 cm 表层土壤样品,各小区采集土壤混合均匀后用四分法取舍,保留 1 kg 左右土样用自封样品袋包装标记后带回实验室,自然风干后,进行处理测定。土壤重金属的测定采用 HNO₃-HF-HClO₄ 法进行消煮,用原子吸收分光光度计(WFX-136)分别测定 Mn、Zn、Pb、Cd、Ni、Cu、Cr 含量。

2.3 闽江河口湿地重金属污染评价方法

2.3.1 土壤环境质量分类标准和分级评价方法

根据国家土壤环境质量标准 GB15618—1995 标准(表 1)中重金属的一级标准对闽江河口湿地重金属污染状况进行评价。

表 1 土壤环境质量标准(mg·kg⁻¹)

Table 1 Environmental quality standard for soils for heavy metal(mg·kg⁻¹)

项目		一级	二级			三级
		自然背景值	pH<6.5	pH6.5~7.5	pH>7.5	pH>6.5
镉		≤0.20	0.3	0.6	1.0	1.0
铜	农田	≤35	50	100	100	400
	果园	—	150	200	200	400
铅		≤35	250	300	350	500
铬	水田	≤90	250	300	350	400
	旱地	≤90	150	200	250	300
锌		≤100	200	250	300	500
镍		≤40	40	50	60	200

2.3.2 N.L.Nemerow 综合污染指数法

采用 N.L.Nemerow 综合指数法中的单因子指数和综合污染指数法对湿地土壤重金属污染状况进行评价^[6]。

(1)单因子指数法

$$P_i = C_i / S_i$$

式中: P_i 为污染指数; C_i 为污染物实测值; S_i 为污染物评价标准; i 代表某种污染物。

(2)N.L.Nemerow 综合污染指数法

$$P_{\text{综}}=\{[(C_i/S_i)_{\text{max}}^2+(C_i/S_i)_{\text{ave}}^2]/2\}^{1/2}$$

式中: $P_{\text{综}}$ 为综合污染指数; $(C_i/S_i)_{\text{max}}$ 为土壤重金属元素中污染指数最大值; $(C_i/S_i)_{\text{ave}}$ 为土壤各污染指数的平均值。

(3)土壤重金属污染程度的分级标准

用评价公式计算出的污染指数,按照土壤环境质量分级标准(表 2)进行评价。

表 2 土壤质量分级标准

Table 2 The standard for grading heavy metal pollution				
等级划分	单因子污染指数	综合污染指数	污染程度	污染水平
1	$P_i<0.7$	$P_{\text{综}}<0.7$	安全	清洁
2	$0.7<P_i\leq 1$	$0.7<P_{\text{综}}\leq 1$	警戒级	尚清洁
3	$1<P_i<2$	$1<P_{\text{综}}<2$	轻度污染	土壤污染物超过背景值
4	$2<P_i\leq 3$	$2<P_{\text{综}}\leq 3$	中度污染	土壤受到重度污染
5	$P_i>3$	$P_{\text{综}}>3$	重度污染	土壤受污染已相当严重

2.3.3 地累积指数法(Igeo index of geoaccumulation)

地累积指数法是从环境地球化学的角度出发评价沉积物中重金属的污染,除考虑到的人为污染因素、环境地球化学背景值外,还考虑到由于自然造岩运动可能引起的背景值变动的因素,弥补了同类其他评价法的不足,因此在欧洲被广泛采用,目前也应用于土壤中元素的污染评价^[7]。其计算公式如下:

$$I_{\text{geo}}=\log[C_n/(k\times B_n)]$$

式中: C_n 为元素 n 在沉积物中的含量(实测值); B_n 为粘质沉积岩中该元素的地球化学背景值,本文选取世界页岩平均值(表 3)作为地球化学背景值,取 k 值为 1.5 进行计算。

沉积物重金属地累积指数分级与污染程度之间的相互关系见表 4。

表 3 世界页岩平均值($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)^[8]

Table 3 The average of shale deposit in the world($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)							
元素	Cu	Pb	Ni	Zn	Cr	Cd	Mn
页岩平均值	45	20	68	95	90	0.3	850

表 4 沉积物重金属地累积指数与污染程度分级

Table 4 Geoaccumulation index of heavy metals in sediment and grading of pollution levels

地累积指数 I_{geo}	级别	污染程度
$I_{\text{geo}}<0$	0	无
$0\leq I_{\text{geo}}<1$	1	轻
$1\leq I_{\text{geo}}<2$	2	中
$2\leq I_{\text{geo}}<3$	3	中-强
$3\leq I_{\text{geo}}<4$	4	强
$4\leq I_{\text{geo}}<5$	5	强-极强
$I_{\text{geo}}\geq 5$	6	极强

3 结果与分析

3.1 闽江河口湿地土壤重金属污染状况

从表 5 中可看出,与土壤环境质量标准(I 级)相比,闽江河口湿地除 Ni 和 Cr 没有超标外,其他重金属均不同程度超标,说明闽江河口湿地普遍受到重金属污染。Cu 污染程度表现为:红树林地>浪头鼻>水禽保护区>潭头港>琅岐大桥>鳗渔滩>宣教区>梅花镇;Pb 全部超过标准,分别为标准的 1.97~3.36 倍,污染最严重;Zn 污染除潭头港和梅花镇略低于标准外,其他监测点都超过土壤质量标准,其中红树林地和宣教区污染最严重,分别为标准的 1.55 和 1.48 倍;Cd 污染除琅岐大桥、红树林地和宣教区超过标准,其他监测点未超标;Mn 污染程度相差不大,基本都在 $700\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

表 5 闽江河口湿地生态系统土壤重金属含量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 5 The contents of heavy metals in soils of the estuary wetland in Fujian Min River($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

采样区	Cu	Pb	Ni	Zn	Cr	Cd	Mn
琅岐大桥	47.96±6.94 b	68.85±2.75a	18.74±3.24ab	142.07±14.31ab	21.98±2.35c	0.61±0.03a	889.60±97.68de
潭头港	48.12±7.34 b	87.62±6.47a	36.57±6.57a	99.77±6.83bc	58.47±18.72ab	0.03±0.01c	748.44±163.43e
鳗渔滩	45.17±4.38 a	78.96±11.35a	22.78±3.62ab	117.27±27.85abc	37.84±14.85ab	0.08±0.03c	918.20±142.48a
红树林地	55.22±4.76 a	105.21±4.59a	27.21±5.27ab	155.13±18.73a	56.99±14.39ab	0.54±0.10c	763.22±97.27ab
浪头鼻	55.01±11.23b	113.03±9.72a	12.80±8.61b	116.17±9.45abc	85.41±24.38a	0.05±0.01c	682.90±273.69bc
水禽保护区	48.44±3.73b	105.10±2.58a	4.40±1.75ab	116.77±14.15abc	59.71±9.28ab	0.16±0.04c	643.71±103.26c
梅花镇	27.21±14.22d	116.40±21.53a	25.78±2.69b	93.30±21.63c	63.13±27.72ab	0.06±0.04c	752.50±482.35f
宣教区	34.64±8.26c	117.77±17.83a	18.23±9.36ab	148.87±14.58a	80.78±15.67a	0.35±0.02b	837.33±94.24e
均值	45.22±9.70	99.12±18.39	20.81±9.73	123.67±22.68	58.04±20.72	0.24±0.23	779.49±395.90

注:不同的小写字母表示在 $P<0.05$ 水平有显著差异。

左右。从表 5 中可看出,红树林 Cu、Ni、Zn、Cd 等超标均比较严重,原因是红树林土壤能够吸附土壤中的重金属,进一步证实了红树林在湿地保护中的重要性。

经 LSD 法统计分析得出,Pb 各监测点都未达到显著差异水平,污染比较均匀,其他重金属各监测点之间均存在一定差异。根据不同监测点 7 种重金属的污染情况,用最短距离法进行聚类分析(图 2)可看出,闽江河口湿地不同监测点污染情况分为 4 类:琅岐大桥和鳝鱼滩为第一类,主要位于上游和中游中间地带;潭头港、梅花镇和红树林为第二类,主要位于湿地的南岸边缘位置;浪头鼻和水禽保护区为第三类,位于湿地的下游两侧边缘位置;宣教区为第四类位于湿地的最下游。说明重金属污染存在向两侧和下游迁移和不断沉积作用,因此需注意湿地下游及边缘区域的治理。

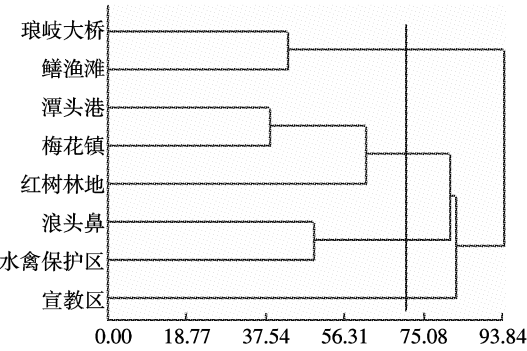


图 2 闽江河口湿地污染特征聚类

Figure 2 The cluster of pollution characters of the estuary wetland of Minjiang River (Fuzhou)

3.2 闽江河口湿地重金属污染评价

3.2.1 N.L.Nemerow 综合污染指数评价

闽江河口湿地 N.L.Nemerow 综合污染指数评价结果见表 6。单项污染指数显示,Ni 和 Cr 各监测点

表 6 福建闽江河口湿地土壤重金属综合污染指数

Table 6 The synthetic pollution index of heavy metals in soils of estuary wetland in Fujian Min River

采样区	单因子污染指数						综合污染指数
	Cu	Pb	Ni	Zn	Cr	Cd	
琅岐大桥	1.37	1.97	0.47	1.42	0.24	3.05	2.83
潭头港	1.37	2.50	0.91	1.00	0.65	0.15	1.86
鳝渔滩	1.29	2.26	0.57	1.17	0.42	0.40	1.54
红树林地	1.58	3.01	0.68	1.55	0.63	2.70	2.98
浪头鼻	1.57	3.23	0.32	1.16	0.95	0.25	3.00
水禽保护区	1.38	3.00	0.11	1.17	0.66	0.80	2.60
梅花镇	0.78	3.33	0.64	0.93	0.70	0.30	3.08
宣教区	0.99	3.36	0.46	1.49	0.90	1.75	3.38

$P_c < 1$ 都无污染,只有潭头港 Ni 和浪头鼻、梅花镇和宣教区达到警戒值,需要引起注意;Cu 污染除梅花镇和宣教区也达到警戒值,其他监测点表现为中度污染水平,污染比较严重;浪岐大桥 Pb 污染为轻度污染,潭头港和鳝鱼滩为中度污染,其他监测点都达到重度污染;Zn 污染除梅花镇达到警戒值,其他监测点都为轻度污染;水禽保护区 Cd 污染达到警戒值,宣教区为轻度污染,红树林地为中度污染,浪岐大桥达到重度污染,其他监测点为无污染。

综合污染指数除潭头港和鳝鱼滩为轻度污染,其他 6 个监测点都达到中度污染水平以上,说明闽江河口湿地存在严重的重金属复合污染,需要采取措施进行治理。污染程度表现为宣教区>梅花镇>浪头鼻>红树林地>浪岐大桥>水禽保护区>潭头港>鳝鱼滩。

3.3.2 地累积指数评价

闽江河口湿地地累积指数评价结果见表 7,可看出各种重金属均污染较轻。Pb 污染浪岐大桥、潭头港、鳝渔滩、红树林地、浪头鼻、水禽保护区、梅花镇、宣教

表 7 福建闽江河口湿地土壤重金属元素地累积指数(I_{geo})及分级

Table 7 Geoaccumulation index and grading of heavy metals in soils of estuary wetland in Fujian Min River

样区	Cu		Pb		Ni		Zn		Cr		Cd		Mn	
	I_{geo}	分级	I_{geo}	分级	I_{geo}	分级	I_{geo}	分级	I_{geo}	分级	I_{geo}	分级	I_{geo}	分级
琅岐大桥	-0.49	无	1.20	中	-2.44	无	0.00	无	-2.62	无	0.44	轻	-0.52	无
潭头港	-0.49	无	1.55	中	-1.48	无	-0.51	无	-1.21	无	-3.91	无	-0.77	无
鳝渔滩	-0.58	无	1.40	中	-2.16	无	-0.28	无	-1.83	无	-2.49	无	-0.47	无
红树林地	-0.29	无	1.81	中	-1.91	无	0.12	轻	-1.24	无	0.26	轻	-0.74	无
浪头鼻	-0.30	无	1.91	中	-2.99	无	-0.29	无	-0.66	无	-3.17	无	-0.90	无
水禽保护区	-0.48	无	1.81	中	-4.53	无	-0.29	无	-1.18	无	-1.49	无	-0.99	无
梅花镇	-1.31	无	1.96	中	-1.98	无	-0.61	无	-1.10	无	-2.91	无	-0.76	无
宣教区	-0.96	无	1.97	中	-2.48	无	0.06	轻	-0.74	无	-0.36	无	-0.61	无
均值	-0.58	无	1.72	中	-2.29	无	-0.20	无	-1.22	无	-0.91	无	-0.71	无

区都达到中度污染;Zn污染红树林地、宣教区达到轻度污染;Cd污染,琅岐大桥、红树林地达到轻度污染,其他监测点的其他重金属为无污染。说明闽江河口湿地重金属污染受粘质沉积岩中该元素的地球化学背景值影响较小,主要是人为干扰因素造成。

4 结论

闽江河口湿地各监测点除Ni和Cr没有超过土壤环境质量标准(I级)外,其他重金属均不同程度超标,说明闽江河口湿地普遍存在重金属污染。其中Pb污染最严重,各监测点分别达到标准的1.97~3.36倍。

除Ni和Cr单项污染指数为非污染,其他监测点重金属均有一定程度污染。其中Pb有5个监测点都达到重度污染,污染最严重,其次为Cu污染基本都达到中度污染水平。重金属污染程度表现为 $Pb > Cu > Zn > Cd$ 。除潭头港和鱗鱼滩综合污染指数为轻度污染,其他6个监测点都达到中度污染以上,说明闽江河口湿地存在严重的重金属复合污染,需要采取适当措施进行治理。

各种重金属地累积指数均污染较轻,Pb污染较为严重,各监测点都达到中度污染;Zn和Cd也有个别监测点为轻度污染,其他监测点的其他重金属均无污染,说明闽江河口湿地重金属污染主要与人为干扰有关。

参考文献:

- [1] 柳铮铮,钟春棋.福建滨海湿地研究现状与展望[J].亚热带农业研究,2007,3(3):216-220.
- LIU Zheng-zheng, ZHONG Chun-qi. Present status and prospects of study on wetland in Fujian[J]. *Subtropical Agriculture Research*, 2007, 3(3):216-220.
- [2] 刘景春,严重玲.福建漳江口红树林湿地沉积物中四种重金属的空间分布特征[J].亚热带植物科学,2006,35(4):1-5.
- LIU Jing-chun, YAN Chong-ling. Spatial distribution of Pb, Cd, Ni, Fe in mangrove sediments of the Zhangjiang estuary, Fujian Province[J]. *Subtropical Plant Science*, 2006, 35(4):1-5.
- [3] 李取生,楚蓓,石雷,等.珠江口滩涂湿地土壤重金属分布及其对围垦的影响[J].农业环境科学学报,2007,26(4):1422-1426.
- LI Qu-sheng, CHU Bei, SHI Lei, et al. Heavy metal distribution in tidal wetland soil and its effect on reclamation in the Pearl River estuary[J]. *Journal of Agro-environment Science*, 2007, 26(4):1422-1426.
- [4] 于文金,邹欣庆.江苏盐泽港潮滩湿地重金属元素Pb、Cu、Zn、Cr分布特征及污染评价[J].环境科学学报,2007,27(12):2088-2094.
- YU W J, ZOU X Q. Distribution and pollution assessment of the heavy metals Pb, Cu, Zn and Cr in the Xinyanggang tidal flat[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(12):2088-2094.
- [5] Shimar B H, Muller G, Yahya A. Seasonal variations of chemical composition of water and bottom sediments in the wetland of wadi Gaza, Gaza Strip[J]. *Wetlands Ecology and Management*, 2005, 13(4):419-431.
- [6] 陆书玉.环境影响评价[M].北京:高等教育出版社,2002:163-164.
- LU Shu-yu. Environment impact assessment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2002:163-164.
- [7] 唐小平,黄桂林.中国湿地分类系统的研究[J].林业科学研究,2003,16(3):531-539.
- TANG Xiao-ping, HUANG Gui-lin. Study on classification system for wetland types in China [J]. *Forest Research*, 2003, 16(3):531-539.
- [8] 郭跃东,何艳芬.松嫩平原湿地动态变化及其驱动力研究[J].湿地科学,2005,3(1):54-59.
- GUO Yue-dong, HE Yan-fen. The dynamics of wetland landscape and its driving forces in Songnen Plain[J]. *Wetland Science*, 2005, 3(1):54-59.