

# 南洞庭湖洲垸土壤中四种重金属的分布特征及污染状况评价<sup>①</sup>

董 萌<sup>1,2</sup>, 赵运林<sup>2\*</sup>, 雷存喜<sup>2</sup>, 彭晓赞<sup>2</sup>

(1 湖南农业大学生物科学技术学院, 长沙 410128; 2 湖南城市学院化学与环境工程系, 湖南益阳 413000)

**摘要:** 对南洞庭湖 10 个洲垸地点的土壤进行了 4 种重金属 Cd、Pb、Cu、Sb 含量的测定与分析, 并运用地积累指数法对每种重金属的污染状况进行初步评价, 结果表明, 重金属 Cd 的污染普遍较为严重; 重金属 Pb 未达到明显的污染水平; 重金属 Cu 的污染程度虽较轻, 但需控制其发展; 重金属 Sb 在某些地点污染较严重, 其分布规律呈现较强的不均衡性。

**关键词:** 南洞庭湖; 洲垸土壤; 重金属; 污染

**中图分类号:** X53

湖泊湿地是一类重要的生态系统, 特别是在人口稠密的城市周围的湿地, 与人类的生活更加密切。然而人们在开发利用湿地资源的同时, 对其环境造成的污染破坏不容小视。洞庭湖作为我国第二大淡水湖泊, 其环境生态状况必然受到众多国内外研究者的普遍关注。近年来许多研究资料<sup>[1-2]</sup>表明洞庭湖湿地遭受了较为严重的有毒类重金属、有机物质的污染, 来源即在于环湖地区的造船、造纸、化工等工矿企业废弃物和人们的日常生活垃圾等。对洞庭湖环境污染方面的研究较多地集中在对其水体和底泥沉积物中的物质元素测定上, 对环湖周围滨岸带及洲垸中土壤的污染元素分析研究结果目前尚未见报道, 而土壤是构成环境要素的重要组成因子, 土壤中的重金属由于具有难降解、易生物富集和放大等作用而对生存于其中的动植物体产生较大的生态危害性。洞庭湖内的许多洲垸是人类活动频繁的旅游区及居住地点, 因而更能反映自然与人类活动对湿地的综合影响。本研究依据有关资料<sup>[3]</sup>所报道的洞庭湖水体底泥中重金属 Cd、Pb、Cu、Sb 含量超标为前提, 以南洞庭湖多个湿地斑块为主要调查区, 选定其中具有代表意义的 10 个湖洲和堤垸(沈家湾、车便湖、卤马湖、撈刀口、西目平湖、兰家山、管竹山、四季红、保民垸、安民垸)为取样地点, 对其周边土壤中该 4 种重金属的沉积状况与分布特点进行了测定和分析, 并运用目前通用的地积累指数法<sup>[4]</sup>对各类重金属的污染程度进行了初步评价。本研究结果在对南洞庭湖湿地环境的保护和资源可持续利用方

面具有一定的理论参考价值。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

南洞庭湖湿地位于湘北益阳地区的沅江市境内, 地理位置为 112°18'45" ~ 112°51'15" E, 28°38'15" ~ 29°01'45" N, 面积 16.8 万 hm<sup>2</sup>, 位于长江中游最大的过水性淡水湖泊——洞庭湖的南部, 1997 年在该湿地建立省级自然保护区, 2001 年加入《湿地公约》, 列入国际重要湿地名录, 2002 年南洞庭湖被确定为国际湿地生态保护区, 属内陆湿地与水域生态系统类型的自然保护区。

随着洞庭湖流域工农业的发展和人口的增多, 水体富营养化和重金属、有机物污染已成为洞庭湖的两个突出环境问题。据环保部门统计, 洞庭湖区现有工业排污口共 82 个, 其中南洞庭湖有 33 个, 且相对集中在湘、资水系的入湖处, 生产生活污水直接排入湖区水体。近年来对南洞庭湖水质污染的研究较多<sup>[5-7]</sup>, 但水相中重金属含量因水量年季变化大、水位不稳定等原因, 其分布往往没有规律, 在土壤中重金属却容易积累并表现出明显的区域差异分布特征。从土壤分析的角度进行南洞庭湖环境污染状况的研究, 对整个洞庭湖流域乃至长江中下游地区的重金属污染防治工作具有重要的指导意义。

### 1.2 样品采集与前处理

于 2008 年 10 月对南洞庭湖进行了实地考察并采

①基金项目: 国家自然科学基金项目(30970551)、湖南省科技计划项目(2008SK4013)和湖南省教育厅科研项目(08C180)资助。

\* 通讯作者(zyl8291290@163.com)

作者简介: 董萌(1982—), 男, 山东济宁人, 讲师, 博士研究生, 主要从事环境污染与植物修复方向的研究。E-mail: dongmeng1001@163.com

集土样,采集地点共 10 个:沈家湾、车便湖、卤马湖、撈刀口、西目平湖、兰家山、管竹山、四季红、保民垵、安民垵,均为南洞庭湖湖区内的洲滩及环湖区的堤垵。

取样与前处理方法:清除枯草层杂物后用竹筒打孔器取距地面约 5~30 cm 深土壤,每个采样地点沿曲状路线随机采集 12 个子样作为重复,每子样取土约

1.5 kg,采集时进行现场土壤的温湿度、电导率、pH 值等数据的测定和 GPS 定位。采集后封入聚乙烯袋,带回室内于阴凉处自然风干,将同一采集地点的重复样品混合,木槌敲碎后滤去杂物,土壤粉碎机细孔粉碎,过 100 目尼龙筛后装袋备用。

共采集土样 120 个,各采集地点的土壤基本信息见表 1。

表 1 土壤样品采集地点基本信息

Table 1 Basic information of soil sampling sites

采样地点	经纬度	含水量 (g/kg)	电导率 (mS/m)	pH 值
沈家湾	112°24'77" E, 28°48'28" N	296 ± 17.1	121 ± 4.32	7.55 ± 0.37
车便湖	112°25'712" E, 28°47'133" N	183 ± 9.7	89 ± 2.69	6.93 ± 0.54
卤马湖	112°26'106" E, 28°51'77" N	196 ± 12.2	113 ± 2.78	7.75 ± 0.29
撈刀口	112°28'96" E, 28°52'67" N	252 ± 10.6	90 ± 3.14	7.55 ± 0.36
西目平湖	112°19'35.5" E, 29°1'39.8" N	231 ± 11.4	110 ± 3.97	7.84 ± 0.44
兰家山	112°31'166" E, 28°67'113" N	224 ± 8.8	109 ± 2.86	7.71 ± 0.72
管竹山	112°19'34.3"E, 28°55'15.7" N	243 ± 14.3	96 ± 2.42	7.66 ± 0.55
四季红	112°31'522" E, 28°57'55" N	213 ± 11.6	99 ± 1.99	7.02 ± 0.63
保民垵	112°50'179" E, 28°82'99.7" N	256 ± 13.9	117 ± 4.04	7.67 ± 0.49
安民垵	112°47'411" E, 28°42'263" N	248 ± 8.7	107 ± 3.27	7.61 ± 0.61

### 1.3 样品测定

**1.3.1 土壤消解** 采用 HNO<sub>3</sub>-HCl-HF 微波密闭消解技术进行土壤样品的消解。具体过程:准确称取土样 0.2 g 装入 WX-4000 微波快速消解仪的密闭罐内,依次加入 HNO<sub>3</sub>、HCl、HF (体积比为 5:2:1),开启消解仪,设定消解条件 (200℃、25 atm、5 min) 进行自动消解。

**1.3.2 测定方法** 重金属元素 Cd、Pb、Cu 的测定采用石墨炉原子吸收分光光度法,重金属元素 Sb 的测定采用火焰原子吸收分光光度法,所用仪器为原子吸收分光光度仪岛津 AA-6300 型。

**1.3.3 测定过程中的分析质量控制条件** 分析所用重金属标准贮备液为国家环境保护总局标准样品研究所生产 (C = 1000 mg/L); 原子吸收仪自带 GFA-EX7i 石墨炉电流发生器和 ASC-6100 自动进样器,测定次数为 3,最大测定次数为 5,测定结果相对标准偏差 (RSD) 设定为 3%; 所配制标准溶液浓度为: 1、2、4、8、16 (ng/ml),标准曲线线性关系系数保证在 99.5% 以上; 样品加标回收试验回收率范围为 96.1%~103.9%。

### 1.4 数据统计

所测得数据用 Excel 和 DPS 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 各取样点土壤中重金属 Cd、Pb、Cu、Sb 的含量分布特征

表 1 记录了南洞庭湖各采集地点土壤的湿度、电导率、pH 值、经纬度等基本信息,可以看出,各地点尽管分属于不同的湿地斑块,但其环境总体状况较为稳定,pH 值显示土壤酸碱度均为中性或弱碱性。表 2 显示了各地点土壤中 4 种重金属的含量测定值及相应重金属的湖南省表土含量背景值、中国表土含量背景值。需要说明的是,对于重金属 Sb 的中国表土背景值来讲,目前国内尚未有明确的 Sb 土壤环境背景值报道<sup>[8]</sup>。世界土壤中 Sb 的含量范围是 0.2~10 mg/kg,中位值是 1.0 mg/kg,我国土壤中 Sb 呈对数正态分布,其 95% 置信度的含量范围是 0.38~2.98 mg/kg,中位值是 1.07 mg/kg,故计算分析过程一般采用其中位值来表示<sup>[8-9]</sup>。

表2 各取样地点土壤中4种重金属含量值  
Table 2 Contents of four kinds of heavy metals of sampling soils

采样地点	重金属含量 (mg/kg)			
	Cd	Pb	Cu	Sb
沈家湾	4.108 ± 0.125	6.169 ± 0.108	114.998 ± 8.959	10.305 ± 0.828
车便湖	3.120 ± 0.192	6.871 ± 0.133	101.082 ± 3.549	4.138 ± 0.321
卤马湖	2.960 ± 0.198	8.243 ± 0.111	132.304 ± 2.734	41.402 ± 1.898
撈刀口	3.228 ± 0.098	7.622 ± 0.094	112.667 ± 8.185	-
西目平湖	1.375 ± 0.068	7.834 ± 0.179	139.721 ± 6.721	28.504 ± 0.776
兰家山	3.415 ± 0.308	7.533 ± 0.216	119.518 ± 4.353	-
管竹山	3.168 ± 0.206	8.033 ± 0.229	126.582 ± 4.926	30.168 ± 1.295
四季红	2.420 ± 0.082	7.698 ± 0.139	102.848 ± 4.673	22.704 ± 2.366
保民垸	4.580 ± 0.229	7.329 ± 0.183	100.588 ± 4.400	3.739 ± 0.169
安民垸	2.100 ± 0.116	6.644 ± 0.224	92.606 ± 2.617	22.493 ± 1.351
各地点平均值	3.047	7.404	114.291	16.345
湖南省表土背景值 <sup>[10]</sup>	0.20	35.00	26.00	2.98
中国表土背景值 <sup>[11]</sup>	0.097	26.00	22.600	1.07

注：“-”表示含量过低而未检出。

从表2可以看出,各地点4种重金属Cd、Pb、Cu、Sb的含量有较大差异,这与土壤本身的重金属含量背景值有很大关系。就单种重金属来看,重金属Cd的平均含量最小,各地点平均值为3.047 mg/kg,但与湖南省表土和中国表土背景值相比较,其相对污染含量相当高,是湖南省表土背景值的15倍,是中国表土背景值的30倍。其中沈家湾和保民垸两地的Cd含量最高,均在4 mg/kg以上,可能与该两地人们居住历史及生活时间较长有关。重金属Pb在各地点的分布状况较为稳定,相互之间含量差别不大,且远低于两类表土背景值,即南洞庭湖区重金属Pb污染状况不明显。重金属Cu在各个地点土壤中的含量均较高,平均含量达到114 mg/kg,分别是两类表土背景值的4.4倍、5.1倍,可以看出在整个南洞庭湖区重金属Cu污染的状况不容乐观,祝云龙等<sup>[12]</sup>通过对洞庭湖底泥沉积物的调查研究也得出相似的结论。重金属Sb在各地点含量分布极不平均,其中撈刀口和兰家山两地Sb含量极低,在仪器检出限以下,而车边湖、保民垸两地的Sb含量有所增加,接近两类表土背景值,西目平湖、管

竹山、四季红等地的Sb含量则达到较高水平,远高于两类土壤背景值,卤马湖地点的含量则上升到最高水平,达到41 mg/kg,分别是两类土壤背景值的14倍、41倍,就总体看来各地点Sb的平均含量值仍较高。值得注意的是,在所有采样地点中,卤马湖周边土壤的重金属Cu和Sb的含量均为最高,这可能是由于卤马湖工业区处于中心湖区地带,其周边有较多的造纸厂、化工厂等工业排污口,加上在该地带人口较多、活动较频繁等原因,周围土壤受其污染较严重所致。

## 2.2 各样地土壤中4种重金属污染状况评价

运用德国科学家Muller提出的用于评价环境重金属污染程度的地积累指数法(Index of Geoaccumulation,  $I_{geo}$ )<sup>[4]</sup>对各样地表土中4种重金属污染状况进行评价,其计算公式为:

$$I_{geo} = \log_2 [C_n / (1.5B_n)]$$

式中,  $C_n$ 为实测重金属元素的含量(mg/kg);  $B_n$ 为该种重金属元素在标准中的背景值(mg/kg);  $I_{geo}$ 数值为地积累指数计算结果。 $I_{geo}$ 值与重金属污染程度分级的关系如表3。

表3 地积累指数分级

Table 3 Grading of geo-accumulation index

$I_{geo}$ 值	$I_{geo} \leq 0$	$0 < I_{geo} \leq 1$	$1 < I_{geo} \leq 2$	$2 < I_{geo} \leq 3$	$3 < I_{geo} \leq 4$	$4 < I_{geo} \leq 5$	$I_{geo} > 5$
污染分级	0	I	II	III	IV	V	VI
污染程度	无污染	轻度污染	偏中污染	中度污染	偏重污染	重度污染	严重污染

运用地积累指数法来评价土壤环境中重金属污染状况及程度较为科学和直观。结合表 3 和表 4 可以看出, 由于所参照的土壤背景值不同, 其分别对应的污染级别和污染程度也有差异。在土壤重金属Cd污染状况描述中, 相对于湖南省表土背景值而言, 多半 $I_{geo}$ 数值计算结果介于 3~4, 处于第IV污染级, 其相应的污染程度为偏重污染, 而相对中国表土背景值来讲, 其 $I_{geo}$ 数值则增大到 4 以上, 处于第V污染级, 污染程度显示为重度污染, 此Cd污染严重的现象应引起相关部门的高度重视。重金属Pb由于在各个地点的含量均较低, 无论通过湖南省表土背景值还是中国表土背景值来计算, 其 $I_{geo}$ 数值计算结果均为负值, 因此可认定Pb在该区所有调查地点均未达到污染水平, 此研究结果与姚志刚等<sup>[13]</sup>对洞庭湖水体底泥沉积物的研究所得结论不符, 可见洞庭湖洲垸土壤与湖内底泥中重金属含量存在较大差别。重金属Cu在各地点的含量虽较高,

但运用地积累指数法对其污染状况进行深入分析, 结果显示其所达到的污染级别较为统一, 除西目平湖略有超出外, 其他地点依据 $I_{geo}$ 数值大小均处于第II级别, 从污染程度上看为偏中度污染, 对此现状应及时采取适当的控制措施, 防止Cu污染程度进一步加深。重金属Sb由于在各地点中的含量分布差异较大, 其污染级别跨度也较大, 相对于湖南省表土背景值, 车边湖、撈刀口、兰家山等 3 个地点处于无污染级别, 卤马湖则处于偏重污染层次, 其他地点属于中度污染范围。相对于中国表土背景值来说除撈刀口地带显示无污染外, 其余地点均有不同程度污染。由此可见重金属Sb在南洞庭湖的污染特征具有明显的地域不平衡性。综合本次湿地调查结果发现, 重金属Sb的不均衡分布与各地点工业发展及人类旅游活动等因素密切相关, 建议应对Sb污染严重的某些地点进行专项治理。

表 4 各地点 4 种重金属的污染程度评价与分级

Table 4 Evaluation and grading of heavy metal pollutions

重金属	污染评价	参照标准	沈家湾	车便湖	卤马湖	撈刀口	西目平湖	兰家山	管竹山	四季红	保民垸	安民垸	
Cd	$I_{geo}$ 值	湖南省	3.775	3.379	3.303	3.427	2.196	3.509	3.400	3.012	3.932	2.807	
		中国	4.819	4.422	4.347	4.471	3.240	4.553	4.444	4.056	4.976	3.851	
	污染分级	湖南省	IV	IV	IV	IV	III	IV	IV	IV	IV	III	
		中国	V	V	V	V	IV	V	V	V	V	V	
	污染程度	湖南省	偏重	偏重	偏重	偏重	中度	偏重	偏重	偏重	偏重	偏重	中度
		中国	重度	重度	重度	重度	偏重	重度	重度	重度	重度	重度	偏重
Pb	$I_{geo}$ 值	湖南省	-3.089	-2.934	-2.671	-2.784	-2.745	-2.801	-2.699	-2.770	-2.841	-2.982	
		中国	-2.075	-1.920	-1.657	-1.770	-1.731	-1.787	-1.686	-1.756	-1.827	-1.968	
	污染分级	湖南省	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		中国	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	污染程度	湖南省	无污染	无污染	无污染	无污染	无污染	无污染	无污染	无污染	无无污无污	无污染	无污染
		中国	无污染	无污染	无污染	无污染	无污染	无污染	无污染	无污染	染	无污染	无污染
Cu	$I_{geo}$ 值	湖南省	1.560	1.374	1.762	1.531	1.841	1.616	1.699	1.399	1.367	1.248	
		中国	1.762	1.576	1.965	1.733	2.043	1.818	1.901	1.601	1.569	1.450	
	污染分级	湖南省	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	
		中国	II	II	II	II	III	II	II	II	II	II	
	污染程度	湖南省	偏中	偏中	偏中	偏中	偏中	偏中	偏中	偏中	偏中	偏中	偏中
		中国	偏中	偏中	偏中	偏中	中度	偏中	偏中	偏中	偏中	偏中	偏中
Sb	$I_{geo}$ 值	湖南省	1.205	-0.111	3.211	-	2.673	-	2.755	2.345	-0.258	2.331	
		中国	2.683	1.366	4.689	-	4.151	-	4.232	3.822	1.220	3.809	
	污染分级	湖南省	II	0	IV	0	III	0	III	III	0	III	
		中国	III	II	V	0	V	0	V	IV	II	IV	
	污染程度	湖南省	偏中	无污染	偏重	无污染	中度	无污染	中度	中度	无污染	中度	
		中国	中度	偏中	重度	无污染	重度	无污染	重度	偏重	偏中	偏重	

注: “-”表示 $I_{geo}$ 值因所对应的重金属含量过低而不存在, 其相应污染分级为 0。

## 2.3 南洞庭湖土壤中重金属污染物来源及污染途径分析

洞庭湖环境中重金属含量在近 20 年来有增加的趋势, 主要为上游矿产资源的开发及废物排放所致。湖南省被称为“有色金属之乡”, 如位于冷水江市的锡矿是世界最大的锑矿之一, 湘潭锰矿也曾是全国最大的锰矿企业, 此外铅锌矿、铜矿、钨矿等矿藏资源储量也非常丰富。湘江、资江、沅水和澧水流域沿途有大量的有色金属矿场及其伴生矿地, 沿岸大型化工厂较多, 产生了大量富含重金属和有机污染物的废水<sup>[4]</sup>, 进一步加剧了洞庭湖区域环境污染。在本项研究中发现, 南洞庭湖受重金属Cd污染的问题十分突出, 这与湘、资、沅、澧上游Cd污染及当地的工矿企业有关, 例如在 2005 年湘江流域就有突发性Cd和As严重污染事件发生<sup>①</sup>。究其外来原因认为, 上游进入洞庭湖的重金属主要是洪水季节随湘江泛起的底泥带入的重金属元素, 重金属在迁移过程中除受到泥沙粘滞的影响外, 又受到其自身沉降系数的影响, 且原沉积于湘江底部的重金属与泥沙粘合在一起, 沉降系数增加, 加之洞庭湖湖水呈微碱性, 溶解于水的重金属就相对少些, 大部分渗透沉积在土壤中。

从对数据分析的结果中可以看出, 南洞庭湖洲垸土壤中的重金属Cd污染相当严重, 这与朱奇宏等<sup>[15]</sup>通过对环洞庭湖区蔬菜基地土壤重金属含量测定所得出的结论相一致, 需引起相关部门的高度重视。其污染来源是多方面的, 除与工业的生产、排污密切相关外, 由于农业增产措施造成的面源污染是一个主要方面。洞庭湖区素有“鱼米之乡”之称, 近年来周边区域农业发展很快, 稻米、蔬菜种植业遍布湖洲各地, 为了发展经济, 达到农业上的高产、稳产, 农民大量施用化肥、农药等调控物质, 如 2000 年整个洞庭湖区化肥施用量达 239 万t, 农药施用量为 2.4 万t, 以大通湖为例, 2000 年化肥投放量为 8000 t, 2002 年增加至 10000 t, 其中磷肥施用比例占 40%。磷肥中的重金属Cd含量较高一直以来是备受关注的问題, 在人类活动对土壤Cd污染的贡献中, 磷肥施用因素占 54%~58%<sup>[16-18]</sup>。据马耀华等<sup>[19]</sup>对上海地区菜园土研究发现, 施肥前后土壤中重金属Cd的含量从 0.13 mg/kg 上升到 0.32 mg/kg, 刘树堂等<sup>[20]</sup>通过研究也得出类似结果, 由此可见磷肥是南洞庭湖洲垸土壤中重金属Cd的一大来源。另外在南洞庭湖的卤马湖、保民垸两地本身就存在 3 家复合肥的中型生产企业, 这很可能会进一步

加重周边地带的Cd污染。除此之外, 利用污染的湖水进行农田渗透灌溉、附近几家大型化工厂和冶炼厂烟囱排出的粉尘颗粒等也是造成洲垸土壤Cd污染的直接途径。Cd是对人体危害性较大的一类重金属, 因此对该现状应及时采取应对措施。目前针对土壤中重金属污染修复治理的方法有很多<sup>[21-23]</sup>, 但均因投资大、风险高、易对生态系统造成破坏等原因而不能广泛应用。洞庭湖地域辽阔, 生态系统复杂, 常规的土壤重金属污染治理方法更是难以直接发挥作用。植物修复技术在当前备受推崇, 其具有安全、低耗、彻底等优点, 用于治理大面积的土壤重金属污染尤为理想。已有研究<sup>[24-26]</sup>证实茼蒿 (*Artemisia selengensis* Turcz.) 是一种吸附富集重金属Cd能力极强的植物, 且植物体对Cd具有较高的根茎转移能力, 该种植物在洞庭湖区大面积生长, 生物量较大, 对重金属Cd污染有着较大的修复潜能, 将来有望作为一种理想的修复植物用于洞庭湖区重金属Cd污染的修复治理。

南洞庭湖洲垸土壤中的重金属 Cu 污染与当地农业生产中农药的大量喷施有很大关系。益阳市农业局提供数据资料显示, 南洞庭湖区每年 4—10 月份各类农药施用量为 6000 t 以上, 主要用于芦苇、水稻及蔬菜的防病杀菌。多数农药的化学成分中含有 As、Cu、Hg、Cd 等重金属, 特别是某些杀真菌农药, 含有较高的 As 和 Cu, 常常会造成此两种重金属在土壤中累积达到有毒的浓度。重金属 Sb 的不均匀分布与当地的冶炼、船舶企业弃废排污密切相关, 卤马湖、管竹山等地是沅江几个大型船舶企业的生产基地, 附近有多家金属冶炼厂, 这同时也是造成 Cu 等其他重金属污染相对更加严重的主要原因。

## 3 结论

(1) 通过对南洞庭湖 10 个洲垸样地土壤中的 Cd、Pb、Cu、Sb 进行测定、分析与评价发现, 各种重金属的污染状况呈现出不同特征: 重金属 Cd 在各个地点普遍存在较高的含量水平, 除个别地点外, 所有样地的含量相对湖南省表土背景值已达到偏重程度的污染, 相对中国表土背景值达到重度污染级别; 重金属 Pb 的含量相对较低, 各地点之间差别不大, 均远低于各类土壤背景值, 因此南洞庭湖土壤受 Pb 污染的威胁较小; 重金属 Cu 在各地点中含量的绝对值较高, 且分布较为平均, 但污染程度不深, 基本为偏中级别; 重金属 Sb 在各地点的分布特征呈现明显的不均衡性, 所造

①湘水政[2006]3号. 关于进一步加强湘江流域水资源管理的紧急通知, 2006

成的污染程度差别较大,但 Sb 含量的整体平均值较高。

(2) 对南洞庭湖土壤中 Cd、Pb、Cu、Sb 的污染源进行分析认为,其来源渠道有多种,其中工业污染源污染与农业面源污染是主要原因。上游矿产资源开发、湖区化工企业排污及农田中化肥和农药的大量施用共同造成了重金属 Cd 和 Cu 的污染;金属冶炼、船舶制造导致了重金属 Sb 的污染。另外,个别地点的污染状况较重也与当地较多的旅游活动等因素有关。

#### 参考文献:

- [1] 涂继武. 洞庭湖区的区域环境水文地质现状. 湖南地质, 2001, 20(3): 203-206
- [2] 窦鸿身, 姜加虎主编. 洞庭湖, 合肥: 中国科学技术出版社, 2000
- [3] 杨国兵, 段一平. 洞庭湖水污染现状及防治对策. 水资源管理, 2007(2): 51-51, 55
- [4] 柴世伟, 温琰茂, 张亚雷, 赵建夫. 地积累指数法在土壤重金属污染评价中的应用. 同济大学学报(自然科学版), 2006, 34(12): 1657-1661
- [5] 毛德华, 夏军. 洞庭湖湿地生态环境问题及形成机制分析. 冰川冻土, 2002, 24(4): 444-451
- [6] 卜跃先, 柴铭. 洞庭湖水污染环境经济损害初步评价. 人民长江, 2001, 32(4): 27-28, 36
- [7] 戴友芝, 唐受印, 张建波. 洞庭湖底栖动物种类分布及水质生物学评价. 生态学报, 2000, 20(2): 277-282
- [8] 齐文启, 曹杰山. 锑(Sb)的土壤环境背景值研究. 土壤通报, 1991, 22(5): 209-210
- [9] 何孟常, 万红艳. 环境中锑的分布、存在形态及毒性和生物有效性. 化学进展, 2004, 16(1): 131-135
- [10] 潘佑民, 杨国治主编. 湖南土壤背景值及研究方法, 北京: 中国环境科学出版社, 1988
- [11] 中国环境监测总站主编. 中国土壤环境背景值, 北京: 中国环境科学出版社, 1990
- [12] 祝云龙, 姜加虎, 孙占东, 黄群, 王红娟, 周云凯. 洞庭湖沉积物中重金属污染特征与评价. 湖泊科学, 2008, 20(4): 477-485
- [13] 姚志刚, 鲍征宇, 高璞. 洞庭湖沉积物重金属环境地球化学. 地球化学, 2006, 35(6): 629-638
- [14] Wang HY, Arne OS. Heavy metal pollution in air-water-soil-plant system of Zhuzhou City, Hunan Province, China. Water, Air and Soil Pollution, 2003, 147(1/4): 79-107
- [15] 朱奇宏, 黄道友, 樊睿, 何长顺, 刘守龙. 环洞庭湖区典型蔬菜基地土壤重金属污染状况研究. 农业环境科学学报, 2007, (26): 22-26.
- [16] 鲁如坤, 时正元, 熊礼明. 我国磷矿磷肥中镉的含量及其对生态环境影响的评价. 土壤学报, 1992, 29(2): 150-157
- [17] 王江平. 入世后高浓度磷肥中镉的问题. 磷肥与复肥, 2002, 17(5): 11-15
- [18] 何振立主编. 污染及有益元素的土壤化学平衡. 北京: 中国环境科学出版社, 1988
- [19] 马耀华, 刘树应主编. 环境土壤学. 西安: 陕西科学技术出版社, 1998
- [20] 刘树堂, 赵永厚, 孙玉林, 韩晓日, 姚源喜. 25年长期定位施肥对非石灰性潮土重金属状况的影响. 水土保持学报, 2005, 19(1): 164-167
- [21] 郑喜坤, 鲁安怀, 高翔, 赵谨, 郑德圣. 土壤中重金属污染现状与防治方法. 土壤与环境, 2002, 11(1): 79-84
- [22] 郭观林, 周启星, 李秀颖. 重金属污染土壤原位化学固定修复研究进展. 应用生态学报, 2005, 16(10): 1990-1996
- [23] 王宏镛, 束文圣, 蓝崇钰. 重金属污染生态学研究现状与展望. 生态学报, 2005, 25(3): 596-605
- [24] 董萌, 赵运林, 雷存喜, 戴枚斌, 易合成. 南洞庭湖优势植物萎蒿的重金属富集特征及其食用安全性. 湖南城市学院学报(自然科学版), 2008, 17(4): 44-48
- [25] 潘静娴, 戴锡玲, 陆劭俊. 萎蒿重金属富集特征与食用安全性研究. 中国蔬菜, 2006(1): 6-8
- [26] 潘静娴, 李新国, 沈健, 姚海燕. Cd 污染下萎蒿生长和 Cd 蓄积特性的研究. 土壤, 2006, 38(2): 181-185

## Distribution and Pollution Evaluation of Four Kinds of Heavy Metals in Chau Embankment Soil of South Dongting Lake

DONG Meng<sup>1,2</sup>, ZHAO Yun-lin<sup>2</sup>, LEI Cun-xi<sup>2</sup>, PENG Xiao-yun<sup>2</sup>

(1 College of Biology and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2 Department of Chemistry and Environment Engineering, Hunan City University, Yiyang, Hunan 413000, China)

**Abstract:** Contents of cadmium, lead, copper and antimony in Chau embankment soil of south Dongting Lake were quantitatively analyzed, and the state of pollution was evaluated by the geo-accumulation index, the results showed that cadmium pollution was generally serious, lead was below the pollution level, copper should be controlled although with less pollution, and antimony showed an obviously uneven distribution.

**Key words:** South Dongting Lake, Chau embankment soil, Heavy metal, Pollution