

# 江苏典型地区河流沉积物重金属 元素分布特征及其污染来源

廖启林<sup>1</sup> 任静华<sup>1</sup> 姜丽<sup>1</sup> 张珣<sup>2</sup> 范健<sup>1</sup> 朱伯万<sup>1</sup> 李文博<sup>1</sup> 汪子意<sup>11</sup>

(1. 江苏省地质调查研究院, 江苏南京 210018;

2. 江苏省地质勘查技术院, 江苏南京 210049)

**【摘要】:** 通过对河流沉积物等地表沉积物中重金属元素分布等环境地球化学调查数据的统计分析,总结了江苏典型地区河流沉积物中重金属元素的分布特点与规律:江苏局部地区河流沉积物中,Cd、Pb、Zn、Cr、Cu、Ni、Hg等相对富集趋势明显,Cd最大富集倍数>100;不同河流沉积物的重金属元素分布存在差异,与其污染来源密切相关;工业排放是导致河流重金属污染的主要原因,使用含Cd的颜料作为调色剂导致部分河流出现严重Cd污染;与土壤等其他地表沉积物相比,河流沉积物中重金属元素的分布更不均衡。查明河流沉积物的重金属元素分布可为相关农产品安全性预测、确定重金属污染来源、追踪涉重产业的发展历程、防治局部耕地重金属污染等提供科学依据。

**【关键词】:** 重金属元素分布 河流沉积物 污染来源 江苏

**【中图分类号】:** P595;X501 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1674-3636(2018)04-0651-11

## 0 引言

包括土壤在内的各类地表沉积物中重金属元素的分布及其污染是近几十年生态环境等学科领域的研究热点,研究成果极为丰富(潘根兴等,2000;Abu-Rukahetal.,2001;王学松等,2006;廖启林等,2009;高文华等,2012;曾希柏等,2013;付传城等,2014;熊春晖等,2016)。河流、湖泊等作为储存地表水的主要场所,河流同时也是汇聚、迁移、输送重金属等元素的主要通道或路径,其沉积物(包括湖泊沉积物、河流沉积物等)中重金属元素分布与迁移等环境地球化学调查研究尤其受重视,研究成果更为丰富(李莲芳等,2007;林春野等,2008;严长安等,2009;魏荣菲等,2010;Yuanetal.,2011;李玉斌等,2012;方晓航等,2012;季斌等,2013;薄录吉等,2014;王漫漫等,2016;王雪平等,2017;朱陈名等,2017)。以往研究河湖等沉积物中的重金属污染多侧重于风险评估,探讨重金属形态分布及其环境指示意义,根据重金属分布情况解决生产实际问题(向勇等,2006;张立等,2007;吴光红等,2008;刘红磊等,2010;姜霞等,2012;毛志刚等,2014),为深入研究河湖等地表沉积物中重金属分布、危害及其迁移等提供了理论与方法基础。

治理重金属污染,首先必须查清其污染来源。关于地表土壤等沉积物中重金属污染的来源,从起初的主要针对污染产业,到人类活动对局地污染形成的总体影响,直至污染形成的复合性、区域性、多重性叠加因素的联动作用(王学松等,2006;华明等,2008;郑茂坤等,2010;陈永等,2013;廖启林等,2013;LietaI.,2015;Liaoetal.,2015;辛璐君等,2016),基本反映了人类对重金属等污

**基金项目:**江苏省基础研究计划暨自然科学基金项目(BK2017496),国土资源公益性行业科研专项(201111021)

**作者简介:**廖启林(1964—),男,研究员级高级工程师,博士,地球化学与矿床学专业,E-mail:liaoqilin64@jssmail.com.cn

染物来源与成因的认识。河流沉积物作为汇集、输送重金属等污染物的主要载体,研究其重金属元素分布对于识别污染源有独特效果,对切断污染源等有直接帮助作用。从区域地质环境差异性 & 微量元素表生地球化学循环角度探讨重金属污染问题(杨守业等,2000;Borregoetal.,2002;Bilalieta.,2002;鲁孟胜等,2003;Zhangetal.,2009;冯旭文等,2011;廖启林等,2011;吴斌等,2013),是目前地学研究服务于生态文明建设的一个重要发展方向。以环境地球化学调查数据为基础,总结有关河流沉积物中重金属元素的分布规律与污染成因等不仅科学意义重大,也是形势发展的必然要求。

江苏地处我国东部沿海经济较发达地区,土地资源开发利用程度高,单位国土环境负荷偏重,地表土壤环境受人类干扰大。作为最先完成全国土区域生态地球化学调查、并开始耕地污染修复治理的省区,积累了相对丰富的地表土壤等沉积物重金属元素分布基础资料(廖启林等,2005,2009,2011,2013;Liaoetal.,2007,2015;华明等,2008)。此外,江苏还是我国著名的水网发达地区,尤其是苏南、苏中一带,湖荡众多、河流遍布。在过去 10 多年的生态地球化学调查评价研究中,收集了江苏一些地区典型河流沉积物的重金属等元素地球化学调查数据,以此为基础,初步探讨有关江苏河流沉积物的重金属元素分布及其污染来源等问题,期望能为后期重金属污染防治研究、了解江苏境内的相关河流重金属污染等提供参考。

## 1 地表土壤等沉积物中重金属元素分布特征

### 1.1 自然环境

相对于受人为活动影响比较小、接近于自然环境的土壤等沉积物而言(以深层样品为代表),其 As、Cd、Hg、Cu、Pb、Zn、Cr、Ni、Co、Sb 等重金属元素分布具有下列基本特点。

(1) 在土壤、湖泊沉积物、沿海滩涂沉积物及浅海沉积物等 4 类环境介质中,湖泊沉积物的重金属元素平均含量最高。以 Cd 为例,平均含量依次为湖泊沉积物(0.12mg/kg) > 土壤(0.092mg/kg) > 浅海沉积物(0.084mg/kg) > 沿海滩涂沉积物(0.068mg/kg),其他重金属也基本如此。湖泊沉积物中除了重金属元素的平均含量相对最高外,Se、Mo、Mn、Ti 等平均含量也最高,但其平均 pH 值则最低。

(2) 相比土壤、沿海滩涂沉积物、浅海沉积物而言,湖泊沉积物中所有重金属元素的含量变异系数  $C_v < 0.5$ ,仅 TOC(总有机碳)和 Ca 的  $C_v > 0.5$ ,而土壤、沿海滩涂沉积物、浅海沉积物中均出现  $C_v > 0.5$  的重金属元素,反映了湖泊沉积物中各重金属元素的分布相对更均匀一些,这应与湖泊沉积物处于静水环境、未受外部扰动有关。

(3) 湖泊沉积物、沿海滩涂沉积物及浅海沉积物中,As、Cd、Hg、Cu、Pb、Zn、Cr、Ni 最高含量都比较接近自然土壤环境的背景值限定标准,即使略高于该限定标准也甚少超过 2 倍,但土壤中上述重金属元素最高含量却远高于该限定标准,如土壤中 Hg 最高含量(Max)达到 6.85mg/kg,超出其限定标准(0.15mg/kg)44 倍多,预示土壤中重金属元素的分布可能是最复杂、污染风险可能是最高的。

### 1.2 人为活动环境

与自然环境相比,人为活动环境下的土壤等沉积物中重金属元素的分布可能更为复杂。表 2 反映了江苏境内土壤、湖泊沉积物、沿海滩涂沉积物及浅海沉积物等 4 类环境介质在人为活动环境下(以表层样品代表)有关重金属元素分布等地球化学参数对比情况,显示出下列特点。

(1) 沿海滩涂沉积物及浅海沉积物中重金属元素平均含量和最高含量明显低于土壤与湖泊沉积物,例如土壤中 Pb 平均含量与最高含量分别为 26.8、1932mg/kg,湖泊沉积物中 Pb 平均含量与最高含量分别为 27.6、136mg/kg,沿海滩涂沉积物中 Pb 平均含量与最高含量分别为 16.8、60.8mg/kg,浅海沉积物中 Pb 平均含量与最高含量分别为 19.4、43.0mg/kg。土壤与湖泊沉积物中 Pb

含量明显偏高,其他重金属也大多如此,说明江苏地表沉积物中重金属主要来自陆地环境,人类活动应该是形成局地重金属相对富集或聚集的主要原因。

(2) 湖泊沉积物中所有重金属元素的含量变异系数 $C_v$ 相对最低,且全部 $<0.5$ ,只有TOC(总有机碳)和Ca的 $C_v>0.5$ ;而土壤中Hg、Sb、Cd、Pb、Sn的 $C_v>0.5$ ;沿海滩涂沉积物、浅海沉积物中Hg、Cu的 $C_v>0.5$ 。

(3) 浅海沉积物中Cu、Ni,沿海滩涂沉积物中Cu、Cr、Ni,湖泊沉积物中As、Cd、Cu、Ni,土壤中As、Hg、Cd、Cu、Pb、Zn、Cr、Ni,其最高含量均超过当前我国农田土壤环境正常含量限标,且土壤中的重金属超标幅度最大,相对而言,土壤中重金属污染风险最高。

(4) 相对于深层土壤、湖泊沉积物而言,表层土壤与湖泊沉积物中均呈现多个重金属的表层富集现象,如Hg、Cd、Sb、Sn等;沿海滩涂及浅海沉积物基本不存在类似的表层富集现象。这进一步证实了人类活动对江苏地表沉积物中重金属元素的分布已产生较大影响,治理重金属污染要优先考虑土壤及湖泊沉积物。

## 2 典型河流沉积物中重金属元素的分布特征

### 2.1 苏南地区典型河流沉积物

河流沉积物中重金属元素的分布特征与土壤、湖泊沉积物等地表沉积物有较大差异。表3为苏南部分地区典型河流沉积物中As、Cd、Hg、Pb、Zn、Cu、Cr、Ni等重金属元素的分布调查结果,显示河流沉积物中重金属元素的分布相对更不均衡,大致呈现下列基本特征。

(1) 苏南地区河流沉积物中Cd等重金属有极明显的局地富集,Cd最高含量达1921mg/kg,比苏南地区土壤中Cd最高含量22.8mg/kg高出83倍多;Cd平均含量为77.0mg/kg,比苏南地区土壤中Cd平均含量0.40mg/kg(包含城市土壤环境)高出191倍多。此外,多条河流沉积物中Cd含量 $>100$ mg/kg,大多数河流沉积物中Cd含量高于其附近的农田土壤,显示苏南地区河流沉积物富集或聚集Cd的现象十分普遍,多与当地存在特殊污染源有密切关系。

(2) 河流沉积物中除了Cd富集趋势相对明显外,也呈现出Pb、Zn、Cu、Cr、Ni等重金属局部聚集或富集的趋势,例如苏南地区有关河流沉积物中Pb、Zn、Cu、Cr、Ni的最高含量分别为6231、2530、3797、1679、679mg/kg,都明显高出当地土壤的最高含量;而河流沉积物中Pb、Zn、Cu、Cr、Ni的平均含量也明显高于当地土壤中重金属元素的平均含量,表明河流沉积物中不仅能“储藏”Cd,同时也可能“储藏”Pb、Zn、Cu、Cr、Ni等。

(3) 河流沉积物中Hg、Cd、Pb、Zn、Cu、Cr、Ni、Sn等重金属元素的含量变异系数 $C_v$ 分别为1.53、3.90、3.45、1.20、2.67、1.45、1.31、1.74,全部 $>1$ ,明显高于湖泊沉积物中重金属元素的 $C_v$ 值。除Hg外,其余重金属元素的 $C_v$ 值均大于土壤中重金属元素的 $C_v$ 值,表明河流沉积物中重金属元素的分布比土壤更不均匀,更容易受人为活动的干扰。

(4) 不同地段河流沉积物中重金属元素的分布也存在显著差别,除Cd、Zn相对偏高外,各个地区河流沉积物中聚集重金属的特点不尽相同。例如,苏州一些地区河流沉积物中总体相对富集Hg等,宜兴徐舍地区部分河流沉积物中Pb、Zn、Cu等相对明显偏高,镇江某地河流沉积物相对富集As、Cr,且Hg明显偏低,显示各地河流沉积物中重金属元素的分布与富集趋势差异较大,为不同河流重金属污染来源不同的体现。

(5) 多数河流沉积物中,除相对富集(或聚集)Cd、Pb、Zn、Cu、Cr、Ni等重金属外,还出现了N、P、Se等营养元素的相对富集。河流沉积物的酸碱度(pH)差异总体不及土壤明显,表明河流搬运沉积对一些地表环境地球化学指标的影响是多方面的。

## 2.2 苏南与苏中局部地区河流沉积物中重金属元素的分布特征对比

对比苏南与苏中局部地区的河流沉积物重金属元素分布特征,存在以下共性。

### 2.2.1 流域性

一般情况下,某个流域内部分河流沉积物中出现某个或某些重金属元素的相对富集,则该流域内的多条河流沉积物(特别是其下游河流)中会出现类似的重金属相对富集现象,但富集程度不一定相同。

### 2.2.2 偶然性

河流沉积物中的重金属分布或富集有一定的偶然性,并不完全按照预计或设想发展变化,相同流向的河流不一定都出现重金属富集,同一条河流也不一定都出现重金属富集或不富集。

### 2.2.3 非贯通性

河流沉积物中重金属分布并不是从上游到下游、从河流到湖泊等一成不变的,有些重金属的相对富集只局限在一条河流的某一段位,或者仅局限在河流而并未转移到所连通的湖泊,这取决于相应河流沉积物中所富集重金属的扩散范围。

### 2.2.4 快速衰减性

河流沉积物中多数重金属元素分布极不均匀,重金属元素的含量高低与具体位置有很大关联性。总体趋势是距离污染源越近,重金属含量越高;离开污染源一定距离后,重金属含量会快速下降。

综上,河流沉积物中的重金属分布相比土壤、沿海滩涂与浅海沉积物具有一定的特殊性,最显著的特点是河流沉积物中重金属分布更不均匀,其次是重金属分布与污染源的关系更趋紧密。对于江苏局部地区河流沉积物而言,Cd 富集程度之高远远超出当地土壤 Cd 污染所能代表的范畴,这些都是河流沉积物中重金属分布所独具的环境地球化学意义或价值。

## 3 河流重金属污染及其来源

河流沉积物中重金属的相对富集与污染源关系密切。

(1) 重金属制品加工与生产对其附近河流重金属污染有直接影响。存在河流重金属污染的地段,一般在附近能找到相关重金属制品加工或生产的工厂;反之,在有相关重金属制品加工生产的地段,一般会发现河流沉积物中重金属富集的迹象。表 4 是苏中部分重金属制品加工生产地附近河流沉积物的调查分析结果,从中可看出,在兴化某不锈钢制品生产示范基地旁的河流沉积物中,Cr、Ni 含量远高于其他地区的河流沉积物,Cr 最高含量达到 3502mg/kg,平均含量为 1361mg/kg,这在江苏正常地表沉积物中极为罕见,究其原因,与当地不锈钢制品生产加工过程中使用了含铬原料、且曾经向当地河流直接排放有关;另外,通州某有色金属制品加工基地附近的河流沉积物中 Cu 含量最高为 13514mg/kg,平均值为 5936mg/kg,同时 As、Cd、Pb、Zn 等相对富集,都证实了重金属制品加工与生产是导致部分河流污染的直接原因。

(2) 工业原料(如调色剂等)所含的 Cd 是导致局部河流 Cd 污染的重要来源。重金属 Cd 对人体健康危害极大,江苏境内也发现多地、多条河流中 Cd 的污染,并导致局部地区稻米等农作物 Cd 含量超标。常用的工业调色颜料包括镉黄(CdS)等,其 Cd 质量分数高达 50%以上,凡是使用了这些含有高含量 Cd 作为调色剂的产业,其附近河流中经常出现 Cd 污染。例如,苏南某陶瓷工艺品加

工生产基地使用大量的镉黄等作为工业颜料,因为早期的粗放式生产,已经导致当地多条河流出现严重的 Cd 污染,从而导致大片稻米 Cd 超标;又如,苏中某有色玻璃生产厂旁的河流沉积物中,Cd 含量最高可达 50mg/kg 以上,比农田土壤中的 Cd 高出几十倍,究其原因也与该工厂使用含 Cd 颜料、又未控制排污有关。

(3) 医用产品及其附加物造成局地河流 Hg 污染。江苏境内河流的 Hg 污染相对不及 Cd、Zn、Cu、Cr 等严重,但在苏南一些河流中(特别是苏州—无锡一带)还是发现了 Hg 污染,并有扩散到附近农田的趋势。通过实地调查及资料收集,认为河流中 Hg 污染多与当地医学产业使用 Hg 有关,例如医学上消毒杀菌、止血等常用的红汞就含有较高含量的 Hg,类似的医用含 Hg 废弃物通过地表环境地球化学迁移,很容易汇聚到河流沉积物中。

(4) “三废”排放是导致部分河流重金属污染的主要因素。“三废”(包括一些生活垃圾)中都可能含有重金属,如生产电池的废渣、废水中含有 Pb、Cd、Ni 等,火力发电厂的废气中可能含有 As、Hg、Zn 等,印染厂的废水中可能含有 Cu、Cr 等,造纸厂的废水、废渣中可能含有 Pb 等,化工厂、医药制品工厂的废水和废渣中可能含有 Hg 等,这些“三废”中携带的重金属都有可能汇聚到附近河流中,成为河流重金属污染的直接来源。苏南某镍镉电池厂附近的河流沉积物中出现了严重的 Cd、Ni 污染,与该电池厂生产过程中的“三废”排放有直接关系。

(5) 河流上游重金属污染对下游有一定的传承作用。最明显的实例是长江下游沉积物中聚集了大量的 Cd,这些 Cd 中有一部分是上游迁移来的;另外,在一些连通有色金属矿山的河流中,下游河流沉积物中出现了 As、Hg、Cd、Pb、Zn、Cu 等相对富集,也与上游重金属污染的进一步扩散有关,宁镇山区多金属成矿带部分河流中就有类似的实例。

河流等地表沉积物的重金属污染源一直是比较敏感的问题(Bai et al., 2011; Li et al., 2013),人为活动因素及自然因素都有可能相关河流出现重金属污染。就江苏境内已经发现的河流重金属污染来看,人为活动特别是工业生产应该是大多数河流重金属污染的主要来源,控制“三废”等排放、切断工业生产废弃物直接向河流排放是治理重金属污染的必需环节。

## 4 河流沉积物中重金属元素分布的特殊指示意义

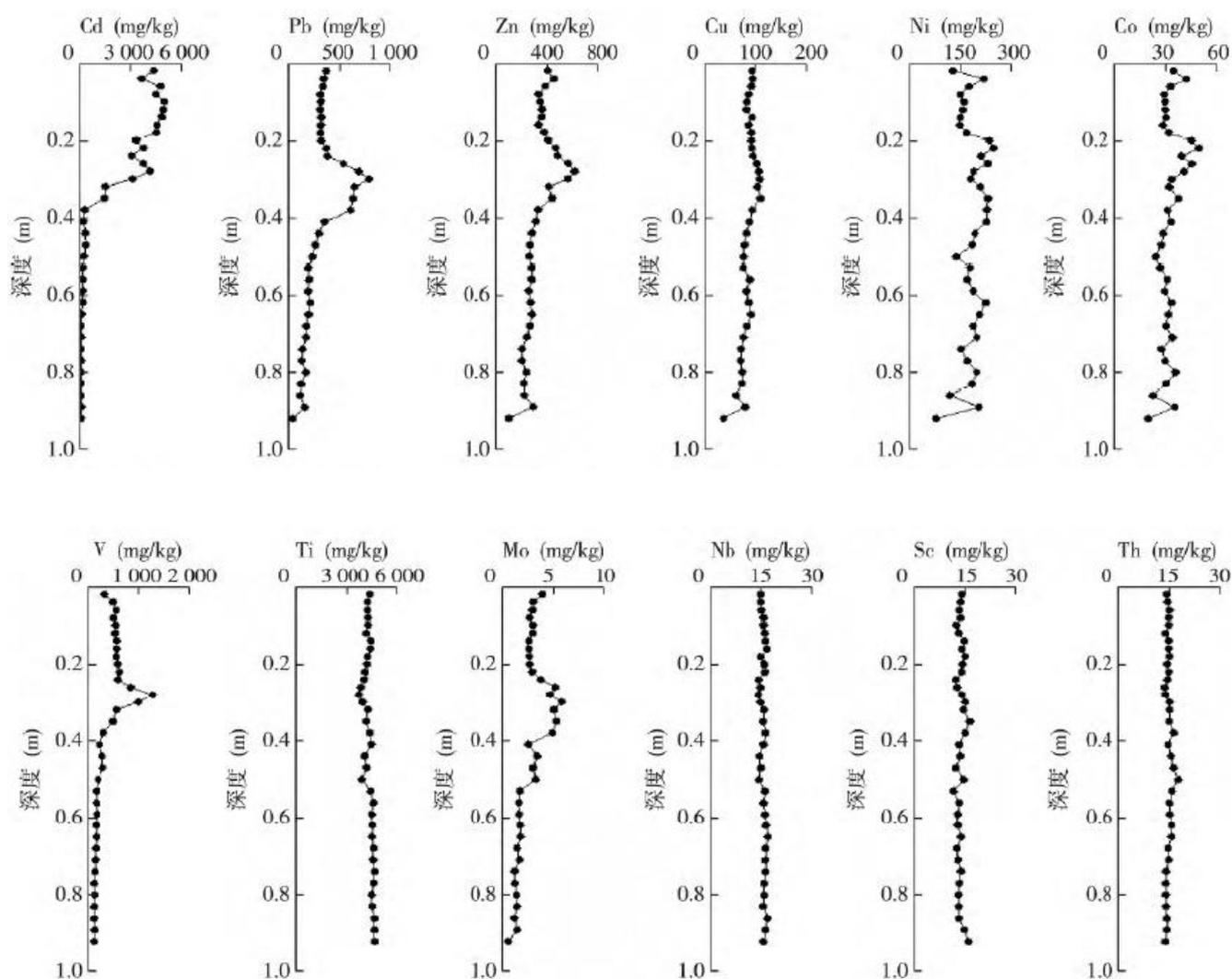
河流沉积物中的重金属分布现状通常是某个地区或流域工农业生产和自然积累所形成的地表重金属元素相对富集的综合反映或记录,不仅仅是治理重金属污染的主要线索,而且还蕴含了一些特殊的环境地球化学信息,具有特定的环境指示意义。从河流沉积物中的重金属元素分布特征对比来看,有望在以下领域发挥独特的指示作用。

(1) 帮助预测农产品安全。河流沉积物中存在严重的重金属聚集或污染时,也是当地农产品(特别是稻米)受到重金属危害风险最高的时期。若河流沉积物中存在显著的 Cd 重金属富集或超标,当地又用相关河水进行灌溉,相关地区就很可能存在稻米等 Cd 超标。

(2) 追溯污染源头。河流沉积物中重金属元素分布是示踪分散或隐蔽型重金属污染的有效手段,一些涉及重金属“涉重”污染的企业,例如苏南一些已经转移或停产的“涉重”乡镇企业,即使后来停产、转产或变迁,只要当地河道未完全淤积,其排放的重金属仍将存留在当地河流沉积物中。要想查明一些分散或隐蔽型重金属污染,可以依据当地河流沉积物中相关重金属元素分布特征与变化规律作出准确判定,河流沉积物中聚集的重金属种类就是当时涉重企业所制造产品中的相关元素;河流沉积物中相关重金属元素含量最高、污染强度最大的位置,就是距离当时相关企业排污口最近的地段。

(3) 反演特殊产业发展历程。河流沉积物保存较完整的地段,其不同深度沉积物的重金属元素分布特征是不一样的,从浅到深的重金属分布差异往往与当地涉重产业的发展历程有一定的对应关系。利用典型河流沉积柱的重金属等微量元素分布及其变化,寻找特殊标志性元素的含量变化拐点,能够确定重金属输入通量的变化轨迹,进而反演有关涉重产业的发展历程。图 1 展示了苏南某陶瓷工艺品加工生产基地附近一条河流中典型沉积柱的 Cd 等重金属元素分布变化情况,可以看出河流沉积柱在 30cm 深度附

近出现了 Cd 等重金属元素含量的突变点, 30cm 深度以上的沉积物中 Cd、Pb、Zn、V 等重金属元素含量远高于 30cm 深度以下的沉积物含量, 说明累计约 90cm 厚的河流沉积柱是在不同时间段形成的, 每个时期输送到河流中的 Cd 等重金属通量不一样, 后期输送到河流的 Cd 等重金属通量明显高于早期。前面曾提及过, 陶瓷工艺品加工与生产过程需要用镉黄 (CdS) 等颜料作为调色剂以保障工艺品的色泽与美观等, 而镉黄等用量与产业规模有关, 表现在环境地球化学上则与河流沉积物中的 Cd 等含量或输入通量有关, 根据不同时期河流沉积物中的 Cd 含量或输入通量的变化, 可以推测不同时期使用镉黄的总量及其与之对应的陶瓷工艺品生产规模, 即产业发展历史。



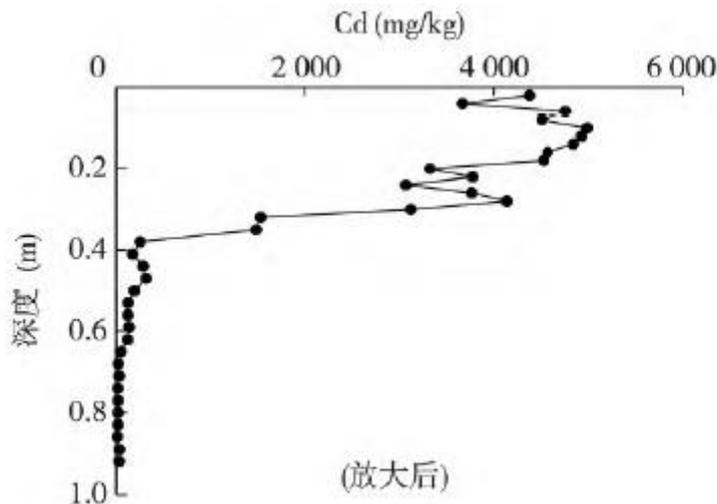


图 1 典型河流沉积柱中 Cd 等重金属元素含量随深度变化图

就上述河流沉积柱中 Cd 等重金属含量演变而言, 30cm 深度以上的沉积柱样品出现了 Cd 等超量富集, 河流沉积物中 Cd 含量从 80cm 以下的约 20mg/kg 剧增到 30cm 以上的 1500~5000mg/kg, 整个沉积柱(控制总厚度 92cm)从底部到浅部, Cd 含量变化经历了从缓慢增长到急剧增长的过程, 说明河流沉积物中 Cd 输入通量在不断增加的同时存在一次突变事件, 导致后来 Cd 的输入通量发生几何级数的增长。联系到该河流沉积物中富集的 Cd 主要为当地陶瓷工艺品生产使用镉黄等“三废”排放所致, 可以反推某一个时期当地的陶瓷工艺品产业一定有不同寻常的发展过程, 该标志就是镉黄用量空前增加、陶瓷工艺品产业规模空前加大。实地调研也证实了这点, 当地陶瓷工艺品生产规模自 20 世纪末到 21 世纪初经历了一次飞速发展, 以前使用不是很普及的镉黄等富含 Cd 的原料被大量使用, 并就近向河流排放陶瓷工艺品生产过程中的有关废弃物(废水、废渣等), 从而出现时间跨度为十几年的河流沉积物中 Cd 含量剧增的现象, 该沉积柱 30cm 深度以上所富集的超量 Cd 即为客观记录。按照当地河水流速及正常的河流沉积物淤积速度推算, 该河流平均每年可沉积 2~3cm 厚的底泥, 30cm 厚的河流沉积物约需要 10~15 年的累积时间, 30cm 深度以下的沉积物基本代表了前 15 年的沉积物, 而 30cm 深度以上的沉积物基本代表了后 15 年的沉积物, 沉积柱采样时间为 2012 年, 推算大约是 1997 年, 该时期正是当地陶瓷工艺品生产迅猛发展的成型期。可见, 河流沉积物的 Cd 等含量分布出现了非常明显的、能代表两个时期的变化。

(4) 判定污染治理主攻方向。河流重金属污染一般与特定的污染源有关, 河流沉积物的重金属富集种类与强度代表了当地农田土壤可能受到污染的最大程度或主要污染因子, 这些都是防治重金属污染, 特别是防治耕地污染的急需证据。充分发掘河流沉积物中重金属等分布所蕴藏的内在信息, 可为治理重金属污染提供目标与方向。

此外, 就农田土壤重金属污染防治而言, 不仅要关注土壤中重金属元素的总量, 更要关注土壤中重金属元素的赋存相态, 特别是其生物有效态含量(钟晓兰等, 2008; Wu et al., 2010; 王雪平等, 2017)。河流沉积物中所聚集的重金属通常经历过水化学反应、细菌还原等过程, 比正常土壤中的重金属多了一道沉积改变过程, 河流沉积物中的重金属有可能更容易为农作物等所吸收, 从这个角度分析, 河流沉积物中重金属元素的分布还有助于认识附近农田土壤中相关重金属的生物活性。随着对河流沉积物中重金属分布研究的深入, 其新的环境地球化学意义还会不断出现。

## 5 结论

(1) 江苏境内部分河流沉积物中富集了一定数量的 Cd、Pb、Zn、Cr、Cu、Ni、Hg 等重金属元素。与土壤、湖泊沉积物、沿海滩涂及浅海沉积物等相比, 河流沉积物中的重金属分布相对更加不均衡, 且受人为活动因素控制更明显。

(2)不同地段的河流沉积物中重金属元素的分布特征存在一定的差异,这种差异性反映了其污染来源的不同。苏南、苏中地区都出现了河流沉积物中相对富集 Cd 的趋势,Cd 最高含量及平均含量均高出当地土壤同类统计数据 100 倍以上,而且河流 Cd 严重污染的区域也是稻米 Cd 超标相对最集中的地段。

(3)“涉重”企业或相关工业生产的“三废”(废水、废气、废渣)排放是导致局部地区河流重金属污染的主要原因。河流沉积物中所聚集的重金属元素种类记录了其附近相关“涉重”企业具体排放的重金属,河流沉积物中相关重金属污染强度最高的部位指示了有关排污口的大致位置。已经查明的导致局地河流重金属污染的主要涉重产业包括陶瓷工艺品及不锈钢金属制品的生产与加工、电池厂、热电厂、电镀、印染、造纸、冶炼、化工、医药、金属制品酸洗等,使用含 Cd 颜料的调色剂是导致多个地区出现河流沉积物 Cd 富集的直接来源。

(4)河流沉积物的重金属分布具有特殊的环境地球化学指示意义。通过对河流沉积物中重金属分布规律的总结与对比,可望为相关农产品安全性预测、确定重金属污染源、追踪涉重产业的发展历程、防治局部耕地重金属污染等提供重要证据。

#### 参考文献:

- [1]薄录吉,王德建,张刚,等,2014. 苏南典型村镇河网区沉积物重金属与营养盐污染评价[J]. 农业环境科学学报,33(5):1033-1040.
- [2]陈永,黄标,胡文友,等,2013. 设施蔬菜生产系统重金属积累特征及生态效应[J]. 土壤学报,50(4):693-702.
- [3]冯旭文,石学法,黄永祥,等,2011. 长江口东南泥质区百年来稀土元素的组成及控制因素[J]. 地球化学,40(5):464-472.
- [4]方晓航,刘晓文,魏东洋,等,2012. 太湖流域漕桥河沉积物重金属污染特征分布[J]. 环境化学,31(6):771-776.
- [5]付传城,王文勇,潘剑君,等,2014. 城乡结合带土壤重金属时空变异特征与源解析:以南京市柘塘镇为例[J]. 土壤学报,51(5):1066-1077.
- [6]高文华,杜永芬,王丹丹,等,2012. 福建罗源湾潮间带沉积物重金属含量空间分布及其环境质量影响[J]. 环境科学,33(9):3097-3103.
- [7]华明,朱伯万,廖启林,等,2008. 江苏主要公路两侧农田土壤重金属污染现状初步研究[J]. 地质学刊,32(3):165-171.
- [8]姜霞,王雯雯,王书航,等,2012. 竺山湾重金属污染底泥环保疏浚深度的推算[J]. 环境科学,33(4):1189-1197.
- [9]季斌,杭小帅,梁斌,等,2013. 湖泊沉积物重金属污染研究进展[J]. 污染防治技术,26(5):33-40.
- [10]鲁孟胜,孔凡顺,庄学厚,2003. 山东西南部南四湖流域环境地质综合调查[J]. 中国地质,30(4):424-428.
- [11]廖启林,黄顺生,范迪富,等,2005. 微量元素在湖积物、土壤的垂向分布与稻谷中的分配[J]. 第四纪研究,25(3):331-339.
- [12]李莲芳,曾希柏,李国学,等,2007. 北京市温榆河沉积物的重金属污染风险评价[J]. 环境科学学报,27(2):289-297.

- 
- [13]林春野,何孟常,李艳霞,等,2008.松花江沉积物金属元素含量、污染及地球化学特征[J].环境科学,29(8):2123-2130.
- [14]廖启林,华明,金洋,等,2009.江苏省土壤重金属分布特征与污染源初步研究[J].中国地质,36(5):1163-1174.
- [15]刘红磊,尹澄清,唐运平,2010.太湖梅梁湾岸边带底泥中重金属的形态与分布[J].中国环境科学,30(3):389-394.
- [16]廖启林,刘聪,金洋,等,2011.江苏土壤地球化学分区[J].地质学刊,35(3):225-235.
- [17]李玉斌,冯流,刘征涛,等,2012.中国主要淡水湖泊沉积物中重金属生态风险研究[J].环境科学与技术,35(2):200-205.
- [18]廖启林,刘聪,金洋,等,2013.江苏省域土壤元素地表富集及其与人为活动的关系研究[J].第四纪研究,33(5):972-985.
- [19]毛志刚,谷孝鸿,陆小明,等,2014.太湖东部不同类型湖区疏浚后沉积物重金属污染及潜在生态风险评价[J].环境科学,35(1):186-193.
- [20]潘根兴,成杰民,高建琴,等,2000.江苏吴县土壤环境中某些重金属元素的变化[J].长江流域资源与环境,9(1):51-55.
- [21]王学松,秦勇,2006.徐州城市表层土壤中重金属环境风险测度与源解析[J].地球化学,35(1):88-94.
- [22]吴光红,朱兆洲,刘二保,等,2008.天津城市排污河道沉积物中重金属含量及分布特征[J].环境科学,29(2):413-420.
- [23]魏荣菲,庄舜尧,杨浩,等,2010.苏州河网区河道沉积物重金属的污染特征[J].湖泊科学,22(4):527-537.
- [24]吴斌,宋金明,李学刚,2013.黄河口表层沉积物中重金属的环境地球化学特征[J].环境科学,34(4):1324-1332
- [25]王漫漫,陆昊,李慧明,等,2016.太湖流域典型河流重金属污染和生态风险评估[J].环境化学,35(10):2025-2035.
- [26]王雪平,王淑红,2017.河南省淮河流域底泥重金属形态分布特征及其潜在风险评价[J].江苏农业科学,45(15):264-270.
- [27]向勇,缪启龙,丰江帆,2006.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,29(5):700-705.
- [28]辛璐君,齐学斌,郭建青,等,2016.单次污水灌溉后长期污灌土壤镉的垂向分布特征[J].中国生态农业学报,24(2):235-243.
- [29]熊春晖,张瑞雷,吴晓东,等,2016.太湖表层沉积物营养盐和重金属分布及污染评价[J].环境科学,37(3):925-934.
- [30]杨守业,李从先,张家强,2000.苏北滨海平原冰后期古地理演化与沉积物物源研究[J].古地理学报,2(2):65-72.
- [31]严长安,崔小丽,王建,等,2009.扬州市城区地表水底泥重金属污染现状与风险评价[J].环境污染与防治,31(8):50-54.
- [32]张立,袁旭音,邓旭,2007.南京玄武湖底泥重金属形态与环境意义[J].湖泊科学,19(1):63-69.

- 
- [33]钟晓兰,周生路,李江涛,等,2008.长江三角洲地区土壤重金属生物有效性的研究:以江苏昆山市为例[J].土壤学报,45(2):239-248.
- [34]郑茂坤,骆永明,赵其国,等,2010.废旧电子产品拆解区农田土壤 Cu、Zn、Pb、Cd 污染特征及空间分布规律[J].土壤学报,47(3):384-388.
- [35]曾希柏,徐建明,黄巧云,等,2013.中国农田重金属问题的若干思考[J].土壤学报,50(1):186-194.
- [36]朱陈名,朱咏莉,韩建,等,2017.洪泽湖重金属污染现状与防控技术[J].南京林业大学学报(自然科学版),41(3):175-181.
- [37]Abu-Rukah Y,Ghrefat H A,2001. Assessment of the anthropogenic influx of metallic pollutants in Yarmouk River, Jordan[J]. Environmental Geology,40(6):683 - 692.
- [38]Bilali L E,Rasmussen P E,Hall G E M, et al. ,2002. Role of sediment composition in trace metal distribution in lake sediments[J]. Applied Geochemistry,17(9):1171-1181.
- [39]Borrego J,Morales J A,De la Torre M L, et al. ,2002. Geochemical characteristics of heavy metal pollution in surface sediments of Tinto and Odiel river estuary (Southwestern Spain) [J]. Environmental Geology,41(7):785-796.
- [40]Bai Junhong,Cui Baoshan,Chen Bin, et al. ,2011. Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from a typical plateau lake wetland,China [J]. Ecological Modelling,222(2):301-306.
- [41]Liao Qilin,Evans L J,Gu Xueyuan, et al. ,2007. A regional geochemical survey of soils in Jiangsu Province,China:Preliminary assessment of soil fertility and soil contamination[J]. Geoderma,142(1/2):18-28.
- [42]Li Fei,Huang Jinhui,Zeng Guangming, et al. ,2013. Spatial risk assessment and sources identification of heavy metals in surface sediments from the Dongting Lake,Middle China[J]. Journal of Geochemical Exploration,132(3):75-83.
- [43]Li Jianguo,Pu Lijie,Liao Qilin, et al. ,2015. How anthropogenic activities affect soil heavy metal concentration on a broad scale: a geochemistry survey in Yangtze River Delta,Eastern China [J]. Environmental Earth Sciences,73(4):1823-1835.
- [44]Liao Qilin,Liu Cong,Haiyun, et al. ,2015. Association of soil cadmium contamination with ceramic industry: A case study in a Chinese town [J]. Science of the Total Environment,514:26-32.
- [45]Wu Shaohua,Zhou Shenglu,Li Xingong, et al. ,2010. Heavymetal accumulation trends in Yixing,China: An area of rapid economic development [J]. Environmental Earth Sciences,61(1):79-86.
- [46]Yuan Hezhong,Shen Ji,Liu Enfeng, et al. ,2011. Assessment of nutrients and heavy metals enrichment in surface sediments from Taihu Lake,a eutrophic shallow lake in China[J]. Environmental Geochemistry and Health,33(1):67-81.
- [47]Zhang Weiguo,Feng Huan,Chang Jinna, et al. ,2009. Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze

---

River intertidal zone: An assessment from different indexes [J]. *Environmental Pollution*, 157(5):1533-1543.