

太湖宜溧河水系 沉积物的重金属污染特征*

范成新¹ 朱育新¹ 吉志军² 张 路¹ 杨龙元¹

(1: 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008; 2: 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

提 要 用 ICP 方法分析了太湖宜溧河水系沉积物中主要重金属含量,以太湖宜溧河口下层沉积物作背景样品,用均方根法对沉积物中重金属进行了污染综合指数计算,并根据划分的污染等级对宜溧河水系沉积物污染状况进行了分析和评价. 结果表明:宜溧河及其入湖口沉积物平均呈轻污染状态,北部支流未受污染,南部支流和太湖沿岸呈轻污染,干流河段污染最为严重,呈偏中度污染水平,在个别测点综合评价已达到重度污染状态. 全水系 Cu、Zn、Cd 和 Pb 的污染指数略高,其中仅有 Cd 含量高出我国土壤一级自然背景值,表现为 Cd 污染型,其原因可能与该地区水泥制造业和有色金属冶炼的污染排放有关.

关键词 沉积物 重金属评价 镉污染 宜溧河 太湖

分类号 X524 P343.3

重金属是具有潜在危害的重要污染物,与其他污染物类不同,其威胁在于它不能被微生物所分解,相反它可在生物体内富集,成为持久性污染物. 通过各种途径进入水体的重金属绝大部分被悬浮颗粒物吸附,并在水动力作用的搬运过程中,当其负荷量超过搬运营力能量时,便逐步沉积下来^[1]. 许多学者认为,沉积物被认为是水体污染的指示剂^[2],沉积物的环境质量可以反映水体污染状况,此外,沉积物中的重金属蓄积量也可反映沉积物对上覆水体影响的持久能力^[3],因此,研究沉积物中的重金属含量及分布对于了解重金属对水质的影响具有重要的现实意义.

太湖是我国第三大淡水湖,在区域和社会经济发展中具有举足轻重的地位,但随着经济的发展,太湖流域污染日益严重,环境不断恶化,污染性沉积物积聚量大,对生态平衡产生潜在威胁,影响了经济的发展和人民生活水平的提高. 近年来,人们对太湖入湖水系的污染物量及污染状态^[4,5],以及太湖沉积物中重金属污染的研究较多^[6,7],但对入湖水系河底沉积物的污染,尤其是重金属方面的研究则未见开展. 宜溧河是太湖的主要入湖河道之一,西起南京市高淳县东坝,向东贯穿溧阳和宜兴两市,经大浦口处流入太湖,全长约 90km(图 1). 改革开放以来,两市工农业发展较快,城市人口急剧增加,污水大量直接排放进入河流,而环境治理措施滞后,使得河道污染逐年加重. 为了初步弄清宜溧河水系重金属污染状况,本实验通过对该河干流、主要支流及入湖口沉积物重金属含量进行了定量分析,并对该河沉积物污染程度进行评价,旨在为太湖水系的污染治理提供科学依据.

* 中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-31)、湖沼特别支持项目和知识创新领域前沿项目(CXNIGLAS-A02-02)共同资助. 收稿日期:2001-10-15;收到修改稿日期:2002-05-10. 范成新,男,1954年生,研究员.

1 材料与方 法

1.1 样点设置

根据宜溧河水系大小、河道走向、城镇和污染源分布位置等,沿宜溧河干流和主要支流进行样点布设,另外作为湖内对照,于入湖口(大浦口)外 200m 和太湖西南大雷山岛东分别采集柱状样,采样点编号、位置及地点见图 1 和表 1.

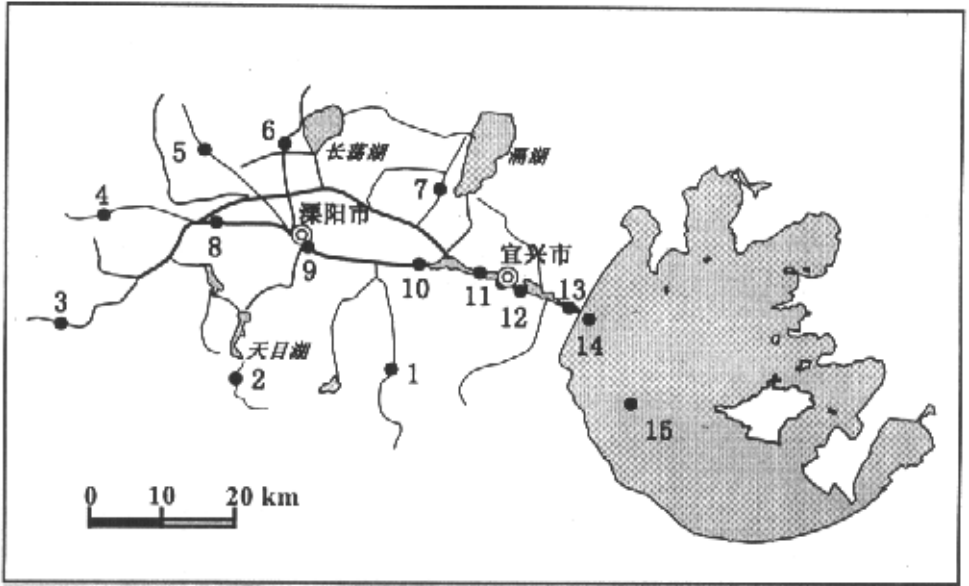


图 1 采样点分布

(1:南河;2:年鱼河;3:淳溧河;4:上沛河;5:竹簁河;6:丹金溧漕河;7:孟津河;8:南渡;
9:夏桥;10:徐舍;11:西ú大桥;12:东ú大桥;13:大浦;14:大浦口;15:大雷山)

Fig. 1 Sampling locations in Yilihe River, Taihu Basin

1.2 样品采集及分析

1.2.1 样品采集 采样分别于 2000 年 7 月 7~11 日(1~7 号样点)、12 月 14 日(8~14 号样点)和 2000 年 3 月 8 日(15 号点)进行,所有样点均使用手持式全球定位仪(Magellan 2000)导航定位,定位精度为 33m. 采集表层底泥用 Peterson 采泥器完成,取 0~5cm 表层软泥装入布袋带回. 柱状样品用日产柱状采样器(内径 $\Phi 62\text{mm}$)采集,灌满上覆水,两端用橡皮塞塞紧,垂直放置,带回实验室处理. 室内将样品按 2cm 间距分层,装入布质袋内.

1.2.2 样品的预处理及分析 将采集好的泥样放于室温阴凉处自然风干,去除植物根系、底栖生物及石块等杂质,用四分法取出 5g,研磨,过 100 目筛,保存备用. 称取样品 0.100~0.150g 于三角瓶中,加 HNO_3 (G. A.) 2mL,平板加热至近干后加 0.5mL KClO_4 (A. R.) 加热至浓白烟冒尽,冷却. 用 1:1 HNO_3 5mL 和少量去离子水溶解残渣,转移至 25mL 容量瓶中,定容,过滤待测,并做空白对照样. 用 ICP(Leeman Labs Profile)测定过滤液样中重金属(Cd、Co、Cu、Pb、Ni、Zn、Cr 和 Mn)含量,每 10 个样品做一次平行. 平行分析的相对误差控制在 10% 范围内.

1.3 沉积物评价标准

1.3.1 评价标准确定 关于沉积物环境质量评价还没有统一标准和分级方法,本文选用均方根综合污染指数评价法,公式如下:

$$P = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{S_i} \right)^2} \quad (1)$$

式中, P 为污染综合指数; n 为参加评价的污染物种类数; C_i 为沉积物中第 i 污染物的实测含量(mg/kg); S_i 为评价标准,即所选背景值样本中第 i 污染物含量(mg/kg).

1.3.2 污染程度及级别的划分 根据太湖宜溧河实际污染情况及出现的评价数值域,本文将重金属评价结果污染综合指数 P 划分成 7 个级别及对应污染状态(表 1).

表 1 重金属污染综合指数与污染级别划分

Tab. 1 Pollution levels of the heavy metals according to comprehensive pollution indexes

类别	未污染	轻微污染	偏中度污染	中度污染	偏重度污染	重度污染	极度污染
P	≤ 1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	> 6
级别	0	1	2	3	4	5	6

2 结果与讨论

2.1 宜溧河重金属含量及背景值拟定

对于沉积物和土壤评价,可借用邻近区域的数值,或与评价区的环境条件相近似区域的数值^[8]. 由于地区性社会经济活动激烈,目前在太湖水系已难以采集到未受人类活动影响的表层沉积物或土壤. 而且背景值在太湖地区上的差异较大,这主要是因为它不能代表当地的主要土壤类型及成土母质^[9]. 根据宜溧河入湖口外 200m 处采集的 35cm 深柱状沉积物样分析结果(图 2),由于太湖地区二十世纪七、八十年代电镀业的发展和近 10 年来有色金属生产总值的迅猛增长^[10],近表层(0~5cm)沉积物中 Pb、Cu 和 Zn 含量比 5~10cm 层中的含量要高,此后 30cm 深度间一些金属含量仍有一定波动,直至 30~35cm 时,变化趋小. 据研究^[11],太湖大浦口水域的沉积速率约为 1.66mm/a,即 30~35cm 厚度沉积物约为 180 年以前沉积下来的物质,近似可认为未受到近代工业生产的影响. 故本研究将大浦口 30~35cm 沉积物作为宜溧河沉积物重金属背景值样本,其主要重金属含量与太湖地区自然土壤^[12]和我国土壤自然背景值(一级)和质量标准(二级)一并列表 2.

由表 2 可见,大浦口下层 30~35cm 沉积物中重金属含量除 Co 和 Cr 外,均高于太湖地区自然土壤;与我国土壤一级自然背景值相比,仅 Cd 含量偏高.

表 2 沉积物中部分重金属含量

单位:mg/kg

Tab. 2 Contents of heavy metals in the sediment

沉积物或土壤	Cd	Co	Cu	Pb	Ni	Zn	Cr	Mn
大浦口沉积物(30—35cm)	4.76	12.15	30.1	23.5	88.8	95.5	26.03	1193.0
太湖地区自然土壤 ^[12]	1.99	18.6	15.4	15.7	19.8	65.1	71.8	396.0
土壤质量标准*								
一级(自然背景)	0.2	—	35	35	40	100	90	—
二级(pH6.5~7.5)	0.60	—	100	300	50	250	300	—

* 中国《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995).

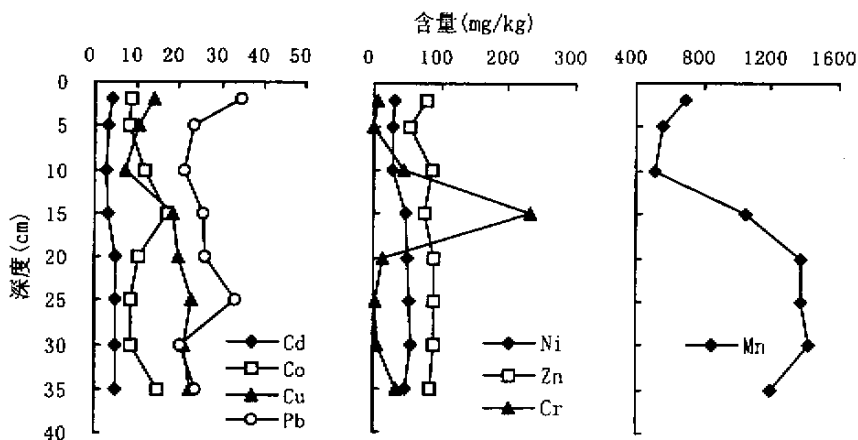


图 2 大浦口柱状沉积物主要重金属含量垂直分布

Fig. 2 The vertical distributions of heavy metals in Dapukou's sediments of Lake Taihu

2.2 河段和区域评价结果分析

根据污染指数评价公式(1)及太湖大浦口 12~14cm 沉积物背景值数据,对表 1 重金属含量结果进行评价,即将沉积物样品重金属实测结果转换为各金属污染分指数 P_i 及污染综合指数 P ,结果见表 3.

表 3 沉积物污染综合指数及污染状况

Tab. 3 Comprehensive pollution indexes and status of the sediments

点位	重金属污染指数 P_i								污染综合指数 P	污染等级	沉积物质量状况
	Cd	Co	Cu	Pb	Ni	Zn	Cr	Mn			
1	0.35	1.14	1.93	0.56	0.54	0.81	1.98	0.33	1.14	1	轻度污染
2	0.97	0.81	1.34	0.99	1.87	1.14	1.15	0.99	1.20	1	轻度污染
3	0.87	0.74	1.33	0.80	1.18	1.16	1.51	0.71	1.07	1	轻度污染
4	0.57	0.83	0.99	0.69	0.66	0.71	0.73	0.47	0.72	0	未污染
5	0.53	0.80	0.42	0.95	0.91	0.44	1.15	0.47	0.76	0	未污染
6	0.86	0.89	2.45	1.44	1.05	2.77	1.04	1.05	1.60	1	轻度污染
7	0.80	0.75	0.63	1.47	0.93	0.94	0.40	0.96	0.91	0	未污染
8	0.87	0.85	1.11	2.63	0.74	1.49	3.93	0.42	1.87	1	轻度污染
9	2.84	0.75	4.90	5.59	0.72	4.17	1.38	0.56	3.24	3	中度污染
10	10.3	1.00	5.82	3.76	1.04	7.13	1.72	0.70	5.14	5	重度污染
11	1.84	0.70	3.46	1.39	0.57	3.54	1.86	0.76	2.08	2	偏中度污染
12	2.41	0.70	4.16	2.15	0.61	4.14	1.76	0.80	2.49	2	偏中度污染
13	0.79	0.84	1.55	1.13	0.87	1.60	1.45	0.52	1.16	1	轻度污染
14	0.86	1.14	1.79	1.03	0.54	1.61	0.82	0.33	1.12	1	轻度污染
15	0.43	0.56	1.86	0.93	0.66	2.10	1.79	0.58	1.29	1	轻度污染

由表 3 可见,不论宜溧河水系及太湖(及其近岸)表层沉积物重金属平均污染等级均为 1 级,呈轻度污染状态,但不同金属污染等级差异较大.与背景值比较,沉积物污染分指数

Pi 较高的重金属主要为 Cd、Cu、Pb、Zn 和 Cr, 其中 Cu、Zn、Cr 全水系与背景值比较几乎均偏高, Cd 和 Pb 污染则集中在主干河道, 综合污染指数 P 值域为 0.72~5.14, 污染等级为 0~5, 沉积物质量状况为介于未污染至重污染之间. 其中在全部 15 个测点中, 未污染区域仅有 3 个, 轻度污染 8 个, 偏中度污染 2 个, 中度污染和重度污染各 1 个. 结合表 3 分析, 宜溧河流域大部分河段沉积物属于轻度污染, 反映人为活动, 特别是工业生产在该地区已有一定影响. 样点 4(上沛河)、5(竹箐河)、6(丹金溧漕河)、7(孟津河)等为重金属未污染或轻污染水域, 该区域河流或是宜溧河发源支流, 或是接纳洮湖和 φ 湖来水, 大多数重金属已被两湖泊拦截, 而且该区域与重金属相关的工业较少, 因此沉积物几乎未受到重金属污染; 属南部区域的 1(南河)、2(年鱼河)和 3(淳溧河)虽然位于或接近于宜溧河源头, 但该区域采矿业和制陶业发达, 难免将矿物中重金属暴露于水体和河底沉积物, 总体表现为轻污染; 8~12 号样点是位于溧阳市和宜兴市间的宜溧河主干河段, 该河段虽不足 30km, 却通过支流或临河分布着 10 多家与重金属排放有关的稀土、镀锌、冶金、金属加工和精细化工等工厂, 其中列于太湖流域 COD_{Cr} 排放大户的某稀土厂、某化工集团就位于该河段, 前者 1999 年 5 月被监控调查为太湖流域氮和磷排放量最大的工业企业, COD_{Cr} 排放量达 73.9t/月, 因此使得该河段污染状况最为严重, 4 个样点的重金属污染状况均达到或超过中度污染, 尤其是 10 号样点(徐舍)综合污染指数甚至达到 5.14, 为重污染状态. 13~15 号样点属湖岸区, 均为轻污染状态, 13 号样点位于宜溧河主干段最东端, 但其接纳水体中的悬浮物已分别通过西部三个小型自然湖泊(西 ú、团 ú 和东 ú)的沉降, 以及水体中重金属经过湖底沉积物的吸附等, 其沉积物中重金属含量已大大减少. 另外, 由于地处平原水网地区, 太湖水体也经常逆流进入宜溧河^[4], 13 号点位与太湖岸边仅 300m 距离, 因此沉积物状况受太湖影响较大, 其结果反而表现为与入湖口处沉积物相似的质量状态. 本研究的背景含量是取自 14 号(大浦口)样点 30~35cm 处底泥, 因此大浦口和 15 号(大雷山)两处表层沉积物中重金属污染指数略高于历史状况, 表明近一百多年来宜溧河沿岸和太湖其他沿岸的人类活动已对太湖湖底沉积物的重金属含量产生了影响.

2.3 重点污染原因分析

2.3.1 主干河段污染原因分析 以上结果已反映, 宜溧河水系的重金属污染主要位于自溧阳市—宜兴市两城区这段宜溧河干流, 那么污染如何形成? 作者以宜溧河上游 3 号样点起, 自西向东经干流直至太湖这样一个以水体相连的连续空间, 分析其沉积物中主要重金属污染物(Cd、Cu、Pb、Zn)含量与自然背景值比值及污染综合指数 P 变化(图 3), 均在 9~10 号点位(溧阳夏桥—宜兴徐舍)处数值出现最大值. 根据表 3 分析已经表明, 在行政隶属宜兴市的徐舍河段, 沉积物污染指数达到 5.14, 呈重污染状态. 据资料统计, 仅宜兴市徐舍镇 2000 年企业个数有 215 个, 年工业总产值达 10.3 亿元. 虽然统计公布的宜兴市化工原料及化学制品制造业的废水排放达标率为 60.7%, 但主要对废水的 COD_{Cr} 为控制指标, 重金属含量并不作监控项目, 因此, 达标排放的废水中重金属, 特别是 Cd 的含量可能处于较高水平, 从而对水体沉积物构成严重污染.

2.3.2 Cd 污染可能来源分析 Cd 被认为是一种危险的环境污染物. 联合国粮农组织(FAO)和世界卫生组织(WHO)规定每人每周所摄入的 Cd 量不得超过 0.4~0.5mg. 著名的公害事件日本的“骨痛病”就是因为消费者长期食用了被矿山和冶炼厂污染了的稻米和大豆所引起的. 太湖地区土壤 Cd 背景值较之一般地区偏高. 如中国环境监测总站公布的我

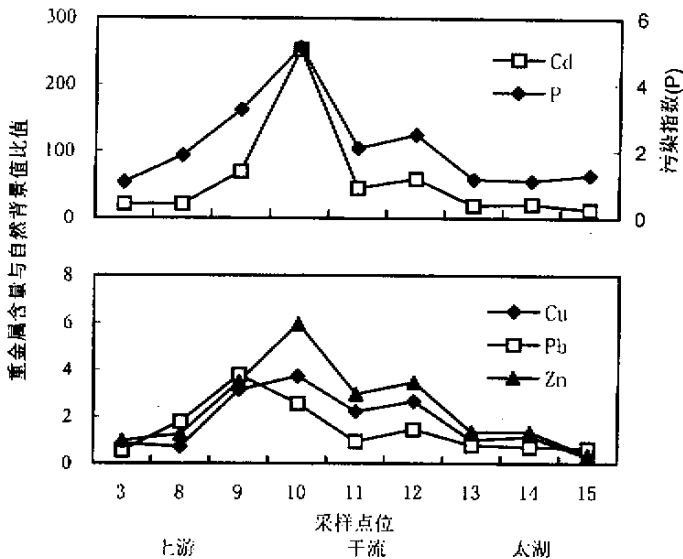


图3 宜溧河沉积物重金属含量与自然背景值的比值空间变化

Fig. 3 Spatial distributions of the ratios of main heavy metal contents to the background values along the Yilihe River from the upper reaches to Taihu Lake

国土壤 Cd 背景值(中位值):流水冲积沉岩为 $0.088\text{mg}/\text{kg}$;湖相沉积母质为 $0.098\text{mg}/\text{kg}$ ^[12],而太湖地区自然土壤中 Cd 含量为 $1.99\text{mg}/\text{kg}$. 虽然宜兴市和溧阳市的矿山采掘业不发达(3家),但水泥制造业多达20多家,有色金属冶炼及压延业,宜兴市有4家,溧阳市有2家. 仅宜兴市4家有色金属冶炼及压延业2000年工业固体废弃物排放量达3062t,工业粉尘排放量 1.3t ^[13]. 虽然本研究没有就污染来源进行详细分析,但可以认为,在该地区较高的重金属环境背景下,再叠加有一定规模的、与重金属产生有关的工业企业点污染源的排放,其结果必然会产生对宜溧河沿岸人们的健康构成威胁的沉积物乃至水体的重金属污染.

3 结论

用污染指数法评价太湖宜溧河沉积物重金属状况表明,该河道沉积物污染位于溧阳市至宜兴市间的主干河段,最高可达重污染程度,北部支流河道沉积物几乎未受污染,南部支流和太湖水体沉积物处于轻污染状态. 评价中发现的宜溧河沉积物以 Zn、Cu、Cd 和 Pb 为主的污染问题,特别是 Cd 污染的问题应引起有关部门的高度重视,考虑到太湖达标排放项目中重金属未被列入控制指标的现状,建议应对与重金属排放有关的工矿企业,增加重金属排放监控,并尽快制定宜溧河主干河段重金属污染防治和污染沉积物修复措施,以保证沿岸人民的身体健康.

致谢 季江高级工程师、张文华高级工程师和黄文钰副研究员在宜溧河沉积物样点的确定和样品采集方面给予了帮助,在此一并深表谢意.

参 考 文 献

- 1 陈静生. 沉积物金属污染研究中的若干问题. 环境科学丛刊, 1983, 4(8), 1-2
- 2 文湘华等. 水体沉积物重金属质量基准研究. 环境化学, 1993, 12(5): 334-341
- 3 余中盛. 松花湖及入湖河流沉积物的重金属分布与污染研究. 中国环境科学, 1984, 4(3), 76-79
- 4 袁静秀、范成新等. 平原水网地区入湖污染物负荷量的初探. 见: 太湖水系水质保护. 北京: 科学出版社, 1993: 1030-1037
- 5 许朋柱、秦伯强、黄文钰等. 太湖流域宜溧河地区水体水质状况及营养状态评价. 湖泊科学, 2001, 13(4): 315-321
- 6 余源盛. 太湖底质与湖泊富营养化关系. 中国科学院南京地理与湖泊研究所集刊, 第 9 号. 北京: 科学出版社, 1993: 48-62
- 7 戴秀丽, 孙成. 太湖沉积物中重金属污染状况及分布特征探讨. 上海环境科学, 2001, 20(2): 71-74
- 8 酃桂芬编著. 环境质量评价. 北京, 中国环境科学出版社, 1989. 411-414
- 9 环境科学编辑部编. 环境中若干元素的自然背景值及其研究方法. 北京: 科学出版社, 1982: 27-39, 106-109
- 10 谢红彬, 陈雯. 太湖流域制造业结构变化对水环境演变的影响分析——以苏锡常地区为例. 湖泊科学, 2002, 14(1): 53-39
- 11 太湖环境质量调查研究组. 太湖水环境质量调查研究. 上海师范学院学报(环境保护专集), 1993: 98-115
- 12 孙顺才, 黄漪平. 太湖. 北京: 海洋出版社, 1993: 129-130
- 13 陈怀满等著. 土壤-植物系统中的重金属污染. 北京: 科学出版社, 1996: 71-119

Characteristics of the Pollution of Heavy Metals in the Sediments of Yilihe River, Taihu Basin

FAN Chengxin¹ ZHU Yuxin¹ JI Zhijun² ZHANG Lu¹ YANG Longyuan¹

(1: *Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P. R. China;*

2: The Resource and Environment Department, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, P. R. China)

Abstract

The main heavy metals in the sediments of Yilihe River, Yaihu Basin were analyzed with ICP analytical method. The comprehensive pollution indexes of heavy metals were calculated by root mean square on the background of the lower layer sediment sample in the inlet of Yilihe River, and the polluted situations were evaluated according to the classified pollution levels. The results showed that the sediments of Yilihe river and its inlet were average in light polluted situation. The north branch streams were not polluted, the south branch streams were in light polluted, and the trunk river, the most polluted, was in average partial middle pollution, but the individual site in the trunk was in heavy polluted situation. Of all the metals Cu, Zn, Cd and Pb were evaluated to be higher pollution indexes, of which only Cd contents exceeded the one-class natural background level of China, being Cd-type pollution. The pollution reason was inferred to be relative to the pollution discharge of manufacturing industries of cement, nonferrous metal smelt plants.

Keywords : Sediment; heavy metals evaluation; cadmium pollution; Yilihe River; Taihu Basin