

三峡水库蓄水前后香溪河氮磷污染状况研究

方涛¹, 付长营^{1,2}, 敖鸿毅¹, 邓南圣²

(1. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072 2. 武汉大学资源环境学院, 武汉 430079)

摘要: 分别于三峡水库蓄水前的上世纪 1996—1997 年及蓄水后的 2004 年采集了香溪河水样及沉积物样, 研究了蓄水前后香溪河氮磷的污染状况。结果表明, 蓄水前上游总磷浓度低于 0.05 mg/L, 下游在 0.22—0.34 mg/L 之间, 其浓度与生活污水及工业废水排放有关; 总氮浓度变化不大, 在 0.7—1.1 mg/L 之间。蓄水后磷、氮浓度明显升高, 但总磷在回水区由于沉降作用反而低于蓄水前。蓄水后下游氮磷比普遍高于 10, 加之水流变缓, 使香溪河库湾发生“水华”的可能性增加。香溪河沉积物磷污染严重, 总磷含量高达 1221 mg/kg, 主要以无机磷污染为主。三峡水库蓄水后, 对上游库湾水环境的不利影响已开始显现出来, 必须采取有效措施, 防止水环境的恶化。

关键词: 氮; 磷; 香溪河; 沉积物

中图分类号: X142 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2006)01-0026-05

香溪河流域矿产资源丰富, 其中磷矿储量 3.57 亿 t, 储量大, 品质好, 是中国三大富磷矿区之一。磷化工是当地的支柱产业, 同时也使香溪河受到较严重的磷污染, 平邑口至峡口河段分布着两个黄磷厂, 由于磷化工和生活污水的排放, 三峡大坝蓄水前的香溪河已接近富营养化污染严重的武汉东湖湖水的总磷含量。蓄水前, 香溪河干流年平均流量 65.5 m³/s, 对排入的污染物尚有较强的稀释能力。蓄水后, 香溪河下游形成了库湾, 随着河床水位的抬高, 河水流速滞缓, 更易在回水区形成污染带, 造成水质恶化^[1-3]。虽然水流的变缓可使以颗粒态形式存在的污染物发生沉降而降低水中的浓度, 但在环境条件变化下沉积物中的污染物有可能释放出来造成二次污染。磷作为水生生物的主要营养物质, 通常被认为是控制水体富营养化的关键营养元素。通过减少外源磷负荷的措施可在一定程度上改善水质, 但往往被沉积物中磷向水体的释放延缓或抵消^[4-6]。沉积物中能参与界面交换及生物可利用性磷的量取决于沉积物中磷的赋存形态^[7,8]。

本文比较了香溪河在蓄水前后水中磷、氮浓度的变化特征, 并对沉积物中不同形态的磷含量进行了研究。本研究的主要目的是初步揭示三峡大坝蓄水后香溪河库湾水环境的变化特征, 为预防水库水

质恶化提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集和处理 在香溪河从上游到下游布置了 10 个采样点(古夫镇、白沙河、高阳镇、平邑口、高岚河口、峡口镇、盐关、贾家店、官庄坪、香溪河口)(图 1)。为便于讨论, 本文将高阳镇作为上下游的



图1 香溪河样点位置图

Fig. 1 Sampling stations on the Xiangxi River

收稿日期: 2005-08-20 修订日期: 2005-09-20

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCX2-SW-111)资助

作者简介: 方涛(1971—), 男, 汉族, 云南曲靖人; 副研究员, 博士。主要从事化学生态学研究。E-mail: fangt@ihb.ac.cn

分界点。分别于蓄水前的 1996 年 10 月至 1997 年 7 月, 分季度采集了 4 次水样; 于 2004 年夏季及冬季采集了 2 次水样, 同时利用彼得森采泥器采集表层 10cm 的沉积物样品。水样采集后放入便携式冰箱保存并于 24h 内进行分析。沉积物样品采集后装入封口塑料袋中, 放入便携式冰箱中暂存。样品运回实验室后, 放入 ALPHA 1-2LD 冷冻干燥机中真空干燥, 用木棒分散、过筛(100 目), 保存在磨口玻璃瓶中备用。

1.2 样品分析 参照国家环保总局编制的方法^[9], 测定了水样中的总氮、总磷、可溶性总磷、可溶性磷酸盐; 参照文献^[10], 测定了沉积物中的总磷、无机磷(可溶性磷、Al-P、Fe-P、Ca-P、闭蓄态磷)、有机磷。

2 结果与讨论

2.1 蓄水前后香溪河水中氮、磷浓度变化

图 2 比较了三峡水库蓄水前的 1996—1997 年和蓄水后 2004 年香溪河水中总磷、总氮的浓度变化。其中, 蓄水前的数据为 1996—1997 年 4 次测定数据的算术平均值, 蓄水后的数据为 2004 年夏、冬季 2 次测定数据的算术平均值。

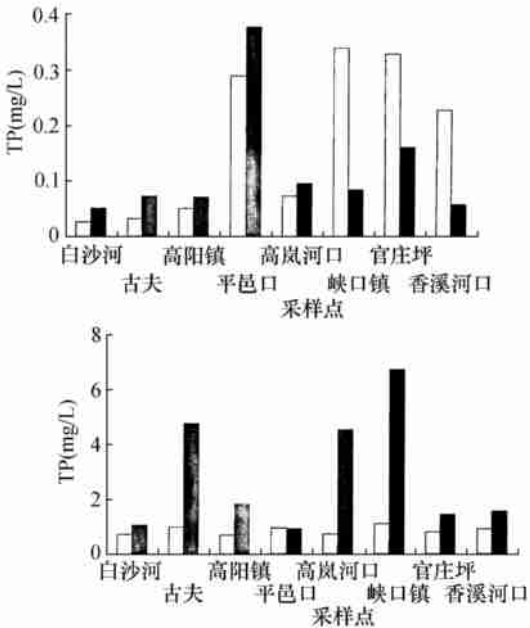


图 2 蓄水前后香溪河水中磷、氮浓度变化(□蓄水前, ■蓄水后)

Fig. 2 The variation of TP and TN of the Xiangxi River before and after the impoundment of the Three Gorge dam

由图可见, 在蓄水前, 香溪河水中总磷浓度变化很大, 高阳镇以上的浓度均低于 0.05mg/L, 但以下

河段则急剧上升, 最高处的峡口镇接近 0.34mg/L。蓄水前, 高阳镇为兴山县的县城所在地, 由于城镇污水及工业废水的排放, 致使其下游污染加剧。特别在平邑口至峡口河段分布着两个黄磷厂, 因此平邑口以下河水中的总磷浓度升高。蓄水后, 平邑口以上及高岚河口的总磷浓度均有所上升, 表明了磷污染状况的加剧。

值得注意的是, 峡口镇以下河段总磷浓度明显降低。在 2004 年采样时, 平邑口以下均被淹没而成为库湾, 河水流速明显减缓, 回水区到达峡口镇及平邑口之间。河水中的总磷由颗粒态磷及溶解态磷(TDP)组成, 当水流变缓时, 以颗粒态形式存在的磷将发生沉降, 从而引起总磷浓度的降低。图 3 表示蓄水后香溪河水中总磷、溶解态总磷及溶解态磷酸盐(DP)的分布。从图中可以看出, 虽然在所有采样点总磷均以 TDP 为主, 但在平邑口及高岚河口, 以颗粒态形式存在的磷仍占有较大比例。在库湾尾部, 即峡口镇以下, 由于沉降作用, 这一比例开始降低, 从而使河水中总磷浓度降低。

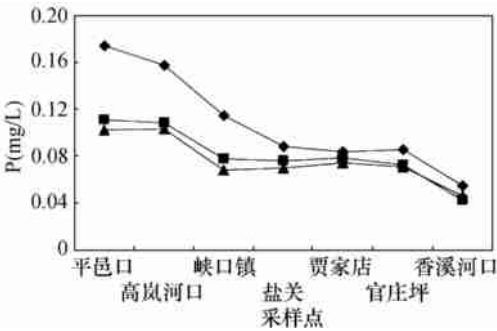


图 3 蓄水后香溪河水中总磷、溶解态总磷及溶解态磷酸盐变化(—◆— TP, —■— TDP, —▲— DP)

Fig. 3 The distribution of TP, TDP and DP along the Xiangxi River

与总磷相比, 蓄水前香溪河沿线的总氮变化不大(图 2), 在 0.7—1.1mg/L 之间, 这可能与该区域氮污染以农业面源污染为主有关。香溪河流域土地总面积为 389 万 hm^2 左右, 其中耕地面积占 6.5%, 林地面积为 70.9%, 黄棕壤和石灰土占土地总面积的 78.6%左右, 土壤肥力中等, 除钾肥基本够用, 普遍缺磷, 大部分缺氮, 因此施用了大量的化肥。而该流域土地资源贫乏, 多年来因盲目垦荒, 毁林造田, 森林植被遭到严重破坏, 土壤、岩石裸露加剧, 造成水土流失, 大量泥沙入河, 施用的化肥也随地表径流进入香溪河, 致使河水中总氮含量普遍较高。蓄水后, 随着新县城搬迁到古夫镇, 古夫、高阳段的总氮含量急剧升高。而高岚河口及峡口镇出现很高的氮

污染,是否与蓄水有关,尚待进一步研究。

从理论上讲,如果氮磷比小于 7,氮将限制藻类的生长,如果氮磷比大于该比值,可以认为磷是藻类增长的限制因素^[11]。但由于实际应用中,藻类生长所需要的氮磷均为可溶性的,因此,一般认为当氮磷比大于 10 时,磷将成为藻类生长的限制因素^[12]。图 4 比较了香溪河在三峡水库蓄水前后氮磷比的变化。由图可见,在蓄水前,高阳镇以上河段氮磷比虽然高于 10,但由于水中的总磷浓度较低(图 2),在 0.026—0.051mg/L 之间,富营养化程度较轻;高阳镇以下河段虽然总磷较高,在 0.07—0.34mg/L 之间,但氮磷比均低于 10,并且由于河流的自净作用,不利于藻类的生长。蓄水后,由于水体中总氮浓度上升,除平邑口及官庄坪两点外,其他各点均远大于 10,在峡口镇达到了 80;并且,香溪河下游变成了库湾,水流变缓,从而使富营养化程度加剧,为“水华”的产生提供了可能。实际上,在 2004 年夏季采样时,在官庄坪、贾家店附近观察到藻类大量繁殖的现象,在高岚河口附近也能明显的看到“藻带”。表明了蓄水后香溪河库湾的污染较为严重,应引起足够的重视。

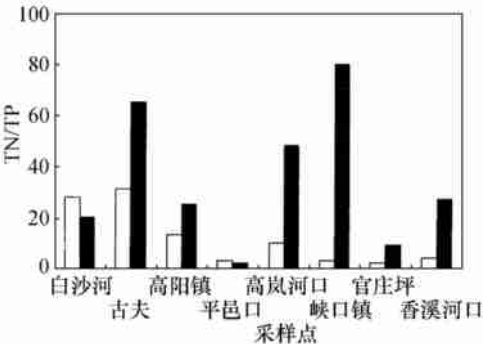


图 4 蓄水前后氮磷比变化(□蓄水前, ■蓄水后)
Fig. 4 The variation of TN/TP before and after the impoundment of the Three Gorge dam

2.2 香溪河沉积物中磷的分布特征

水中的磷可以通过沉降作用蓄积在沉积物中,特别在蓄水后,由于水流变缓,沉降作用更加明显。而蓄积在沉积物中的磷在环境条件变化时,有可能释放出来,影响上覆水的水质。对沉积物中磷的研究有助于了解香溪河的水质变化特征。图 5 显示了香溪河库湾沉积物中总磷、有机磷及无机磷的含量分布。由图可见,平邑口的总磷含量最低,随后由于磷的沉降作用,下游沉积物中磷的含量显著升高,而香溪河口可能由于部分沉积物来自污染较轻的长江干流,总磷含量有所降低。

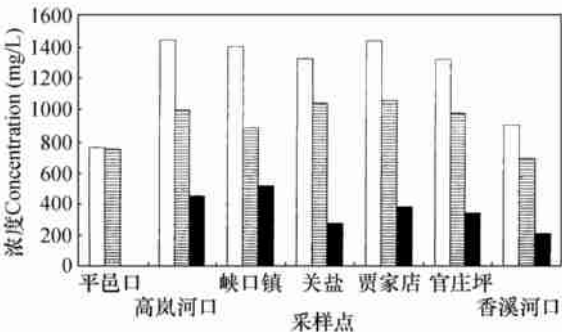


图 5 香溪河沉积物总磷、无机磷及有机磷的含量
(□TP, ▨In-P, ■Org-P)

Fig.5 Distribution of TP, In-P and Org-P in sediments of the Xiangxi River

表 1 列出了国内主要河流沉积物中磷的含量。由表可见,各河流沉积物中总磷含量在 300—1220mg/kg 之间,随河流污染程度变化较大。黄浦江是众所周知的污染河流,其总磷含量达到 971.2mg/kg,海河是我国北方污染较严重的河流,其总磷含量也高达 772.7mg/kg,其他河流附近由于工业发展相对较慢,总磷含量在 300—500mg/kg 之间,而香溪河总磷含量竟达到 1221mg/kg,表明其污染状况已非常严重。

由表 1 可以看出,钱塘江有机磷含量在总磷含量中的比例最低,黄浦江和海河则高达 50% 以上,香溪河及其他几条河流在 22%—35% 之间。由于黄浦江和海河靠近大城市,受到大量生活污水排放的影响,致使有机磷含量较高。无机磷含量与工业污水有一定的相关性,香溪河沿岸乡镇企业较多,共有厂矿企业 18 个,规模较大的厂矿企业有兴山化工总厂和郑家河煤矿等,有大量的工业废水排放,而生活污水主要来自县城及沿岸的乡镇,因此香溪河磷污染以无机磷为主。

图 6 表示香溪河沉积物中不同形态无机磷的含量分布状况。由图可以看出,Ca-P 在底泥无机磷中所占的比例最大,其次是闭蓄态磷和 Fe-P,而可溶性磷及 Al-P 含量最低。

闭蓄态磷主要是紧密包裹在铁、铝等矿物颗粒中的磷,一般比较难释放。钙磷包括碎屑钙磷、自生钙磷等,碎屑钙磷主要是包含在沉积物中的原生矿物颗粒中的一部分磷,一般很难为生物所利用;自生钙磷主要是沉积物中由于生物作用沉积、固结的颗粒磷,如羟基磷灰石等,这一部分也较难被生物利用^[13]。但是在缺氧的条件下产生的酸性物质在沉积物中的积累会导致 Ca-P 的溶解释放;此外,随着水位的上涨,水底溶解氧水平将降低,也可能成为水

表1 香溪河沉积物中磷含量与国内主要河流的比较^[8](mg/kg)
Tab. 1 The concentrations of different forms of phosphorus in sediments of some rivers in China

河流	TP	Org-P	Org-P/TP(%)	In-P	In-P/TP(%)
香溪河	1221.2	311.4	25.5	909.8	74.5
钱塘江	413.7	32.8	7.9	380.9	92.1
黄浦江	971.2	486.5	50.1	484.6	49.9
海河	772.7	397.8	51.5	374.9	48.5
滦河	358.9	102.3	28.5	256.6	71.5
鸭绿江	328.2	74.8	22.8	253.4	77.2
三岔河	481.8	168.5	35.0	313.3	65.0

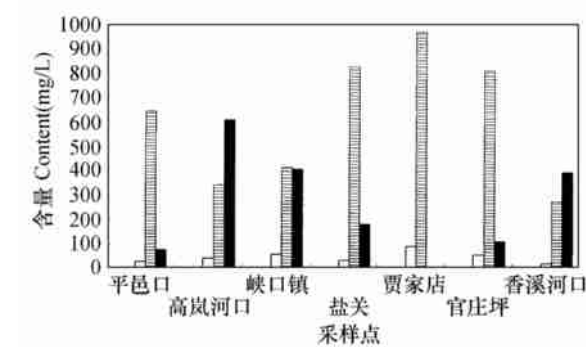


图6 香溪河沉积物中不同形态无机磷的分布

(□ Fe-P, ▨ Ca-P, ■ 闭蓄态磷)

Fig. 6 Distribution of different forms of Phosphorus in sediments of the Xiangxi River

体中磷浓度增加的贡献因子。沉积物中的 Al-P 和 Fe-P 是沉积物中磷的活性较高的一种形态。由于表层沉积物的氧化还原电位的改变,铁磷可能释放出来。铁磷在高岚河口、峡口镇、贾家店、官庄坪一带含量明显比其他的地方高。这也可能是造成这些地方藻类大量繁殖的原因之一。

2.3 结论

三峡水库蓄水前,香溪河下游河段磷污染严重,上游河段较清洁。蓄水后,上游河段的磷污染加剧;下游河段在峡口镇以下由于水流变缓,磷在回水区发生沉降,使水中总磷含量低于蓄水前,但同时由于氮污染加剧及水流变缓,为香溪河库湾的藻类的大量生长提供了条件,并出现了“藻华”爆发现象。

与国内其他河流相比,香溪河沉积物磷污染已十分严重,主要以无机磷为主,有机磷所占比例较小,表明工业污染是造成磷污染的主要因素。

三峡水库蓄水后,对上游库湾水环境的不利影响已经开始显现出来,必须采取有效措施,防止水环境的恶化。

参考文献:

[1] Wang H Y. Effects of the three gorges reservoir on the water environment of the xiangxi river with the proposal of countemeasures [J] . *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2005, 14(2): 233—237[王海云. 三峡水库蓄水对香溪河水环境的影响及对策研究. 长江流域资源与环境, 2005, 14(2): 233—237]

[2] Luo W S, Tan G. Three Gorges reservoir the bay water quality prognosis [J] . *Intemational Journal Hydroelectric Energy*, 2000, 18(4): 16—18[雒文生, 谈戈. 三峡水库香溪河库湾水质预测. 水电能源科学, 2000, 18(4): 46—48]

[3] Kuang Q J, Bi Y H, Zhou G J, et al. Study on the phytoplankton in the Three Gorges Reservoir before and after sluice and the protection of water quality [J] . *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2005, 29(4): 353—358 [况琪军, 毕永红, 周广杰, 等. 三峡水库蓄水前后浮游植物调查及水环境初步分析. 水生生物学报, 2005, 29(4): 353—358]

[4] Lee-Hyung Kim, Euiso Choi, Michael K. Stenstrom. Sediment characteristics, phosphorus types and phosphorus release rates between river and lake sediments [J] . *Chemosphere*, 2003, 50: 53—61

[5] H. K. Pant, K. R. Reddy. Phosphorus sorption characteristics of estuarine sediments under different redox conditions [J] . *Journal of Environmental Quality*, 2001, 30: 1474—1480

[6] Lee-Hyung Kim, Euiso Choi, Kyung-Ik Gil, et al. Phosphorus release rates from sediments and pollutant characteristics in Han River, Seoul, Korea [J] . *Science of the Total Environment*, 2004, 321: 115—125

[7] Rolf Camman, Gunnar Edlund, Charlotta Damberg. Distribution of organic and inorganic phosphorus compounds in marine and lacustrine sediments; a 31P NMR study [J] . *Chemical Geology*, 2000, 163: 101—114

[8] Chen S Z, Zhang J Z, Zhang J, et al. Existing forms of phosphorus and it's content in sediment from river estuaries and the Laizhou Bay [J] . *Engineering of coast*, 1997, 16(4): 41—46[陈淑珠, 张金喆, 张经, 等. 河口及莱州湾沉积物中磷的化学形态及其含量. 海岸工程, 1997, 16(4): 41—46]

[9] State Environmental Protection Administration of China. Monitor and analysis methods of water and wastewater(Forth Edition)[M] . Beijing: China Environmental Science Press, 2002[国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第四版). 北京: 中国环境科学出版社]

