

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2013.06.006

浙江省大气降水水质对地表水水质的影响

伍远康, 卢国富

(浙江省水文局, 浙江 杭州 310009)

摘要:对浙江省 92 个降水水质监测点采集的 118 个降水水样进行实验室检测, 结合江河地表水水质同步监测资料, 研究大气降水的主要污染物以及降水水质对地表水水质的影响。结果表明: 降水中的 pH 值为 5.86, TN、NH₃-N、TP 平均质量浓度分别达到 1.54 mg/L、0.83 mg/L 和 0.035 mg/L, 降水水质与监测点附近地表水水质未见明显相关关系, 但降水中的 NH₃-N、TN 和 TP 与地表水相同指标质量浓度的比率分别达到了 60%、55% 和 22%, 可见大气降水对地表水水质的影响不容忽视。
关键词:大气降水; 水质; 地表水; 影响分析; 浙江省
中图分类号:X832 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2013)06-0031-05

Atmospheric precipitation quality and its impact on surface water quality: A case study in Zhejiang Province

WU Yuankang, LU Guofu

(Hydrological Bureau of Zhejiang Province, Hangzhou 310009, China)

Abstract: Based on laboratory testing data from 118 precipitation samples collected at 92 atmospheric precipitation quality monitoring points in Zhejiang Province and synchronous monitoring data of surface water quality, the main pollutants of atmospheric precipitation and the influence of the precipitation on surface water quality were studied. The results show that the average pH value reached 5.86, and the average concentrations of total nitrogen, ammonia nitrogen, and total phosphorus in the precipitation reached 1.54 mg/L, 0.83 mg/L, and 0.035 mg/L, respectively. No significant correlation was found between the precipitation quality and the quality of the surface water near the monitoring points. However, the ratios of the concentrations of ammonia nitrogen, total nitrogen, and total phosphorus in the precipitation to those in the surface water reached 60%, 55%, and 22%, respectively, indicating that the atmospheric precipitation quality has a significant impact on the surface water quality.
Key words: atmospheric precipitation; water quality; surface water; impact analysis; Zhejiang Province

随着近代经济社会和现代工业的发展, 汽车等交通工具迅速普及, 大量化石等燃料燃烧造成的 NO_x 等排放明显增加, 大气中的这些酸性物质的干、湿性沉降所形成的硝酸型污染日益突出^[1], 降水水质变化的主要表现形式则是“酸雨”。与此相应, 浙江省地表水体中氮等有机污染物长期居高不下。对全省所有 1 133 个水功能区水质的监测评价结果分析发现, IV ~ 劣 V 类占了 48.9%, 主要超标指标依次为 TP、NH₃-N、DO、COD_{Mn}、石油类和 BOD, 若 TN 参与评价, 超标率则更高。降水中 N、P 等的化学成分和含量对地表水资源质量是否存在联系越来越受到人们的关注^[2-3]。为了解浙江省大气降水

水质, 查明降水中主要水质指标及其区域分布、降水过程中主要水质指标随时间的变化, 为水资源保护、管理提供第一手资料, 浙江省水文局于 2010 年 5 月布置开展了降水水质监测、分析工作。

1 大气降水水质监测

1.1 监测站点设置

以浙江省现有国家基本雨量站为基础, 以市、县级城市为重点, 兼顾面上分布, 满足全省主要降水水质指标等值线绘制要求, 全省共设降水水质普查监测点 92 处, 其中设置在 11 个地级市所在地的监测点开展降水水质过程监测。站点分布见图 1。

作者简介: 伍远康(1957—), 男, 教授级高级工程师, 主要从事水文、水资源及水环境研究工作。E-mail: wuyk130@263.net



图1 大气降水水质监测站点分布

1.2 监测技术要求

1.2.1 采样时间

各站统一从2010年5月1日后的第1场大范围降水起,根据各地降水情况择机采集降水水样。普查点从降水开始采集1个水样;过程降水监测点在第1次采样后每隔4h采集1个水样,直至降水结束。各普查点在采集水样当天将水样送到各分中心实验室检测,过程监测点待水样采集完成后,分别送上述实验室检测。

1.2.2 监测项目

监测项目为pH值、电导率、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 、 TP 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 等共9项。

1.2.3 实验室处理和质量控制

降水样品送到实验室后,先测电导率和pH值,其余项目按规定方法在当天完成检测。当天未能完成的,应分装并加保存剂,并在保存期限内完成检测。除pH值、电导率之外的7个项目分别完成20%的平行样测定,相对偏差应符合规范要求,否则

重新测定。

2 降水过程

降水水质监测于2010年5月1日开始,各地降水时间有先有后,全省92个普查监测站中有90个在6月1日前完成。当月全省平均降水日为17.4d,降水量为216.3mm,较多年平均降水量187.3mm,偏多15.5%。降水量月内分配较为均匀,其中丽水市降水量最大为365.9mm,嘉兴市降水量最小,不足100mm。两市5月逐日降水量过程见图2、图3。

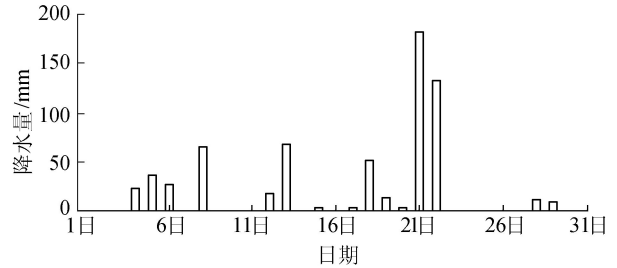


图2 丽水市5月逐日降水量过程

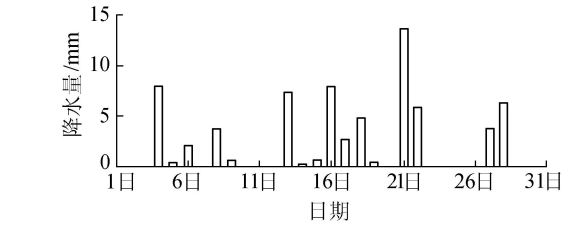


图3 嘉兴市5月逐日降水量过程

3 降水水质及空间分布

3.1 评价方法与标准

水质评价采用单因子评价方法。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP、TN、 SO_4^{2-} 、 $\text{NO}_3^{-}\text{-N}$ 、 Cl^{-} 采用 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》评价,pH 采用酸雨分类标准评价(表1),补充项目标准限值 $\rho(\text{SO}_4^{2-})$ 、 $\rho(\text{Cl}^{-})$ 、 $\rho(\text{NO}_3^{-}\text{-N})$ 分别为 250 mg/L、250 mg/L、10 mg/L。

表1 地表水环境质量标准限值

水质类别	pH 值	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TP})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TN})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
I	<5.6(酸雨)	≤ 0.15	≤ 0.02	≤ 0.2
II	<5(较重酸雨)	≤ 0.5	≤ 0.1	≤ 0.5
III	<4.5(重酸雨)	≤ 1.0	≤ 0.2	≤ 1.0
IV		≤ 1.5	≤ 0.3	≤ 1.5
V		≤ 2.0	≤ 0.4	≤ 2.0

3.2 降水水质

根据全省 92 个降水水质普查监测站的降水水样的化验结果,按监测项目分述如下。

3.2.1 TP

全省降水中 TP 质量浓度在 0.005 ~ 0.488 mg/L 之间,平均为 0.035 mg/L,I、II、III和劣V类的比例分别为 38.0%、52.2%、8.7%和 1.1%。各市降水中 TP 平均质量浓度低于 0.1 mg/L,为I类,其质量浓度分布如图4。从图4可见,全省有长兴、海盐乍浦、诸暨与富阳交界区 3 个相对高值区,TP 质量浓度总体较低。

3.2.2 TN

全省降水中 TN 质量浓度在 0.21 ~ 10.20 mg/L 之间,平均为 1.54 mg/L, I、II、III、IV、V 和劣V类的比例分别为 0.0%、20.7%、30.4%、15.2%、8.7%和 25.0%。其中宁波、嘉兴和绍兴市降水 TN 平均质量浓度分别为 3.14 mg/L、2.53 mg/L 和 2.31 mg/L,为劣V类;杭州、湖州市降水 TN 平均质量浓度分别为 1.78 mg/L、1.69 mg/L,为V类;温州和衢州市降水 TN 平均质量浓度分别 1.28 mg/L、1.11 mg/L,为IV类;金华、丽水、台州和舟山市降水 TN 平均质量浓度优于III类。降水中 TN 质量浓度分布见图5。

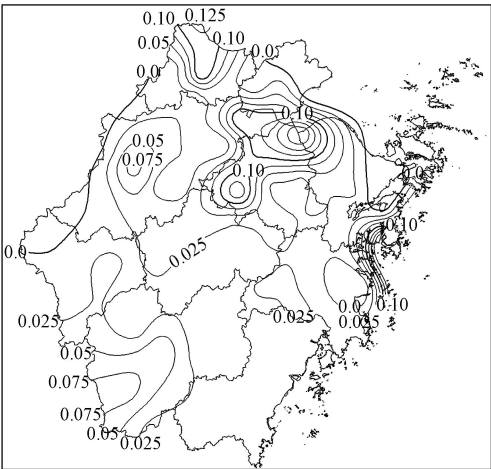


图4 降水中 TP 质量浓度分布(单位:mg/L)

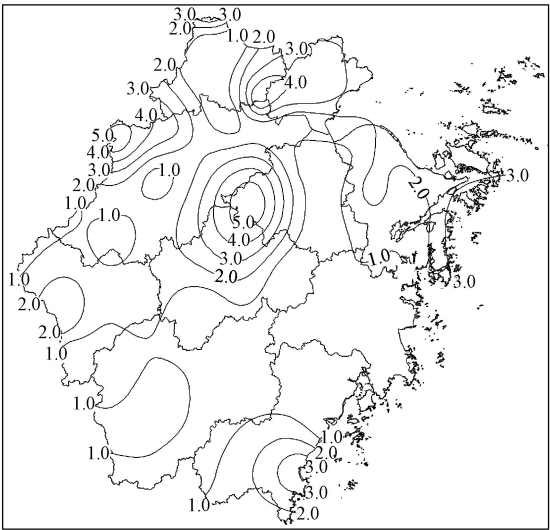


图5 降水中 TN 质量浓度分布(单位:mg/L)

3.2.3 $\text{NH}_3\text{-N}$

全省降水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度在 0.05 ~ 5.66 mg/L 之间,平均为 0.83 mg/L。全省降水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为 I、II、III、IV、V 和劣V类的比例分别为 8.7%、35.8%、26.1%、15.2%、3.3%和 10.9%。其中宁波、绍兴、嘉兴、杭州市降水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均质量浓度依次为 1.75 mg/L、1.36 mg/L、1.33 mg/L 和 1.02 mg/L,超 III 类。温州、湖州和金华市降水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均质量浓度依次为 0.95 mg/L、0.70 mg/L、和 0.50 mg/L,为 III 类;丽水、舟山和台州市降水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均质量浓度依次为 0.42 mg/L、0.39 mg/L 和 0.24 mg/L,为 II 类。其质量浓度分布见图6。从图6可见,全省主要有诸暨,杭州、嘉兴、湖州 3 市交界区,临安市化和平阳敖江等 4 个高值区。降水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 超 III 类的范围占全省国土面积 1/3 以上。从图5、图6比较可见,全省降水中 TN 分布与 $\text{NH}_3\text{-N}$ 分布基本一致,存在诸暨,杭州、嘉兴、湖州 3 市交界区,临安市化和平阳敖江等 4 个高值区。

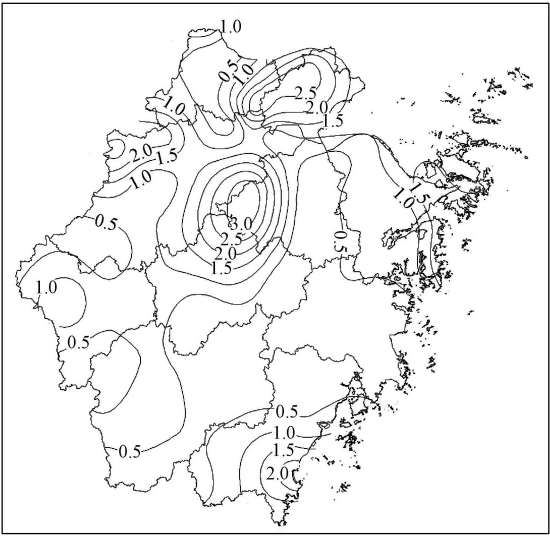


图6 降水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度分布(单位:mg/L)

3.2.4 pH 值

全省降水中 pH 值在 3.86 ~ 8.69 之间,平均为 5.86。pH 值分布如图 7。从分布可见,全省有两个低值区,分别位于金华、永康、义乌和宁波、奉化、象山一带。降水 pH 值小于 5.6 的酸雨区范围包括金华、宁波大部,杭州、丽水、台州、温州的部分区域,总面积约 4.5 万 km^2 , 占全省面积的 43.0%, 其中重酸雨区占 19.5%, 较重酸雨区占 11.0%; 57.0% 的为非酸雨区。

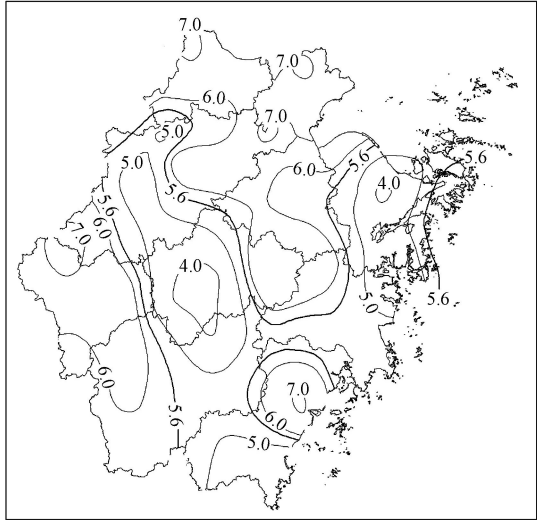


图7 降水中 pH 值分布

3.2.5 $\text{NO}_3^- \text{-N}$

全省降水中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 质量浓度在 0.01 ~ 4.21 mg/L 之间,平均为 0.56 mg/L,远低于生活饮用水源补充项目标准限值 10 mg/L。从质量浓度分布可见,全省有两个高值区,分别位于临安昌化和诸暨市境内。

3.2.6 SO_4^{2-}

全省降水中 SO_4^{2-} 质量浓度在 0.01 ~ 28.5 mg/L 之间,平均为 4.94 mg/L,远低于生活饮用水源补充项目标准限值 250 mg/L。全省有数个高值区,位置

基本与长兴、乍浦、镇海、宁海、乐清、温州、兰溪等燃煤电厂分布一致,表明浙江省空气中的 SO_4^{2-} 主要由燃煤所致。

3.2.7 Cl^-

全省降水中 Cl^- 含量普遍较低,质量浓度在 0 ~ 12.40 mg/L 之间,平均为 1.49 mg/L,远低于生活饮用水源补充项目标准限值 250 mg/L。全省降水中 Cl^- 质量浓度总的分布趋势由东南向西北递减,与浙江省东部面海有直接关系。

4 降水水质的时间变化

按照质量守恒原理,悬浮于大气中的 N、P 等污染物遇降水溶解或混合后降落地表,使降水加入污染物后水质浓度升高,大气中悬浮物被降水带走而减少。随着降水时间延长,大气中悬浮物越来越少,降水水质浓度逐渐降低。但在降水水质监测过程中发现,降水水质并不完全随降水时间延长而降低。如图 8、图 9 所示,金华站 pH 值和 SO_4^{2-} 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 随降水时间延长呈减小趋势,而 TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 指标则先降后升;宁波姚江大闸站的 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 、 SO_4^{2-} 呈上升趋势, pH 值、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 略有下降,TP 基本不变。其原因可能是高空气流运动所致。在一次降水过程中,如果高空气流稳定少动,降水逐渐溶解大气中的悬浮物降落地表,使得大气中的污染物越来越稀薄,降水水质浓度会逐渐降低;反之,如果高空气流湍急,受周边污染空气的补充,可能使得降水水质浓度不降反升。

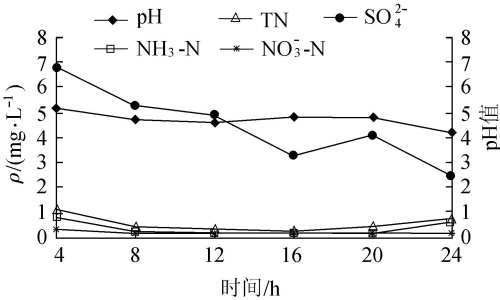


图8 金华站降水水质随时间变化曲线

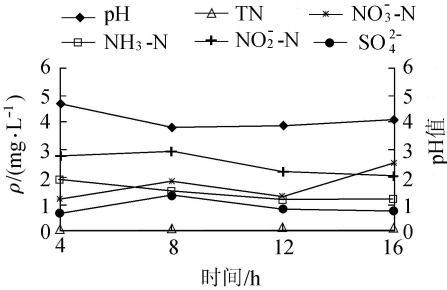


图9 姚江大闸站降水水质随时间变化曲线

5 降水水质与地表水水质的关系

为了解大气降水对地表水水质的影响,根据降水监测站所在位置,就近选取地表水质监测站准同步水质监测资料,点绘降水水质与地表水水质关系图(图 10)。由图 10 可见,TN、TP、NH₃-N 和 pH 值 4 种水质指标点据分散。分市级行政区进行相关性分析,结果表明,除金华市 pH 值相关性达到 0.723,为显著相关外,其他市的均不存在明显的相关性。杭州市与湖州市的 NH₃-N 与 TP 指标存在显著相关性,其他市均不存在明显的相关性。TN 指标全省均不存在显著相关。

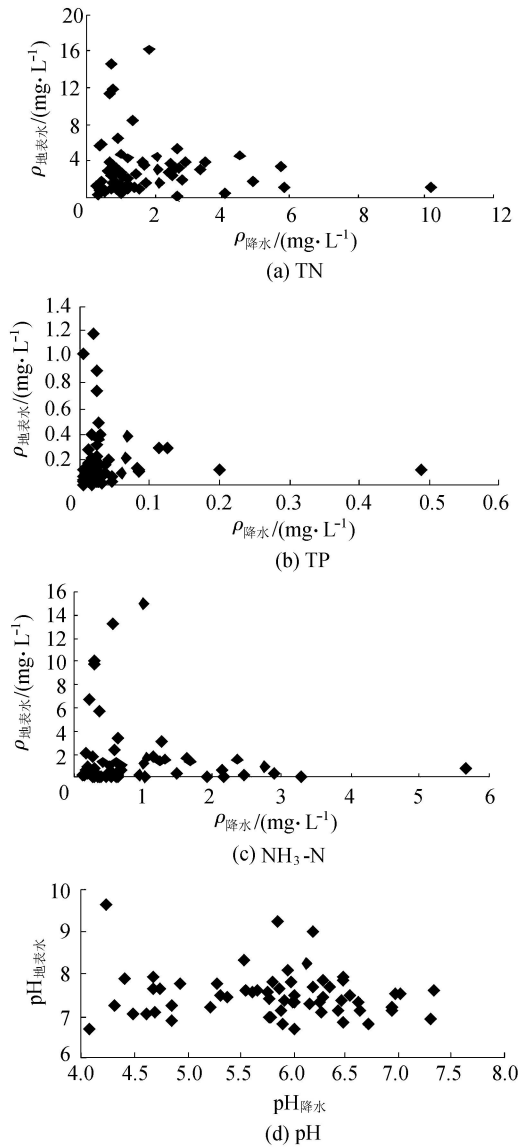


图 10 地表水水质与降水水质关系

地表水水质除受入河点、面源污染物影响外,水体在重力作用下自上游向下游运动,地表水体并不全是当地降水产生的径流。

相同地点降水和地表水水质指标质量浓度对比如表 2。由表可见,除降水的酸度较地表水高以外,

其余指标均低于地表水水质;降水中的 NH₃-N、TP 和 TN 与地表水相同指标质量浓度的比率分别达到 60%、22% 和 55%,表明降水对地表水水质的影响不容忽视。

表 2 降水与地表水主要污染指标对比

项目	pH	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TP})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TN})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
降水水质	5.73	0.93	0.04	1.78
地表水质	7.51	1.55	0.18	3.25
质量浓度比率(%)		60	22	55

6 结 语

a. 随着近代经济社会和现代工业的发展,空气中的大量化石燃料燃烧的排放物溶解、混合在降水中,影响降水水质。对浙江省 92 个雨量站 2010 年 5 月的降水水质监测结果表明,降水水质受到一定程度污染。主要表现在:①降水的 pH 值在 3.86 ~ 8.69 之间,平均为 5.86。pH 值小于 5.6 的酸雨区范围包括金华、宁波大部,杭州、丽水、台州、温州的部分区域,总面积约 4.5 万 km²。②降水中 TN 质量浓度在 0.21 ~ 10.20 mg/L 之间,平均为 1.54 mg/L,劣于Ⅲ类的占 48.9%。③降水中的 NH₃-N 质量浓度变幅在 0.05 ~ 5.66 mg/L,平均为 0.83 mg/L,劣于Ⅲ类的占 29.4%。④降水中 TP 质量浓度在 0.005 ~ 0.488 mg/L 之间,平均为 0.035 mg/L,劣于Ⅲ类的占 1.1%。除此之外,降水中的 SO₄²⁻、NO₃⁻-N、Cl⁻ 检出的平均质量浓度值分别为 4.94 mg/L、0.56 mg/L、1.49 mg/L,远低于生活饮用水地表水源补充项目标准限值^[4-5]。

b. 受高空气流运动影响,降水水质浓度并不完全随降水时间增长而降低,个别水质指标甚至有所升高。

c. 降水水质与雨量站点附近地表水质未见明显相关关系,但降水中的 NH₃-N、TN 和 TP 与地表水相同指标质量浓度的比值分别达到了 60%、55% 和 22%,可见大气降水对地表水水质的影响不容忽视。

参考文献:

[1] 潘理中. 国外降水水质监测与研究情况简介[J]. 水文, 1988(1): 60-61. (PAN Lizhong. Monitoring and study of water quality of precipitation in foreign[J]. Journal of China Hydrology, 1988(1): 60-61. (in Chinese))

[2] 张修峰. 上海地区大气氮湿沉降及其对湿地水环境的影响[J]. 应用生态学报, 2006(6): 1099-1102. (ZHANG Xiufeng. Atmospheric nitrogen wet deposition and its effects on wetland water environment of Shanghai area[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006(6): 1099-1102. (in Chinese))

(下转第 40 页)

植物生长,而不利于浮游动物生长,但长期来看对浮游植物和浮游动物的生长均有利,说明河道整治有利于水生生态的恢复,大约1~2年即可恢复到工程前的状态。

d. 走马塘拓浚工程的实施有利于底泥质量的改善,减少底泥污染物的含量,从而减少河道内源释放,对水质的改善有一定正效应。工程实施短期内对底栖生物生境影响较大,底栖动物生物量基本为零。但是随着时间的推移,底栖生境将会重建,2年后恢复到原有状态的50%。

参考文献:

[1] 林泽新. 太湖流域防洪工程建设及减灾对策[J]. 湖泊科学,2002,14(1):12-18. (LIN Zexin. Construction of flood control engineering and countermeasures for flood disaster mitigation in Taihu Basin [J]. Journal of Lake Sciences,2002,14(1):12-18. (in Chinese))

[2] 朱党生,张建永,廖文根,等. 水工程规划设计关键生态指标体系[J]. 水科学进展,2010,21(4):560-566. (ZHU Dangsheng, ZHANG Jianyong, LIAO Wengen, et al. A key ecological indicator system for water project planning and design [J]. Advances in Water Science, 2010,21(4):560-566. (in Chinese))

[3] 阮万伟,胡其龙,王其跃. 平原地区河道疏浚整治的建设研究[J]. 中国科技信息,2005(6):111-113. (RUAN Wanwei, HU Qilong, WANG Qiyue. Construction of river dredging engineering in plain area [J]. China Science and Technology Information, 2005 (6): 111-113. (in Chinese))

[4] 包静晖. 应重视对河道整治工程的环境影响评价[J]. 上海建设科技,2002(2):36-38. (BAO Jinghui. Give prominence to the environmental impact assessment on the project of watercourse administration [J]. Shanghai Construction Science and Technology, 2002 (2): 36-38. (in Chinese))

[5] 景金星,徐红玲. 河道清淤工程水质改善预测分析[J].

海河水利,2005(6):33-34. (JING Jinxing, XU Hongling. Prediction analysis of water quality improvement of dredging project [J]. Haihe Water Resources, 2005 (6):33-34. (in Chinese))

[6] 韩龙喜,朱奔,杨积德. 水系局部改变对河网水情及水质影响的分析[J]. 水资源保护,2004(4):31-33,41. (HAN Longxi, ZHU Yi, YANG Jide. Analysis of influence of local variation of water system on water regime and water quality of river networks [J]. Water Resources Protection,2004(4):31-33,41. (in Chinese))

[7] 邢雅囡,阮晓红,赵振华. 城市河道底泥疏浚深度对氮磷释放的影响[J]. 河海大学学报:自然科学版,2006,34(4):378-38. (XING Yanan, RUAN Xiaohong, ZHAO Zhenhua. Effects of depth of sediment dredging in urban rivers on release of nitrogen and phosphorus [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2006, 34 (4): 378-382. (in Chinese))

[8] 李文红,陈英旭,孙建平. 疏浚对影响上覆水体自净能力的影响[J]. 农业环境科学学报,2003,22(3):318-320. (LI Wenhong, CHEN Yingxu, SUN Jianping. Influence of dredging on self-purification ability of overlying water [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2003,22(3):318-320. (in Chinese))

[9] 李文红,陈英旭,孙建平. 疏浚对影响底泥向上覆水体释放污染物的研究[J]. 农业环境科学学报,2003,22(4):446-448. (LI Wenhong, CHEN Yingxu, SUN Jianping. Influence of dredging on releasing pollutants from sediment to overlying water [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2003, 22 (4): 446-448. (in Chinese))

[10] 钟继承,范成新. 底泥疏浚效果及环境效应研究进展[J]. 湖泊科学,2007,19(1):1-10. (ZHONG Jicheng, FAN Chengxin. Advance in the study on the effectiveness and environmental impact of sediment dredging [J]. Journal of Lake Sciences, 2007, 19 (1): 1-10. (in Chinese))

(收稿日期:2013-03-28 编辑:彭桃英)

(上接第 35 页)

[3] 杨龙元,秦伯强,吴瑞金. 酸雨对太湖水环境潜在影响的初步研究[J]. 湖泊科学,2001(2):135-142. (YANG Longyuan, QIN boqiang, WU Ruijin, et al. Preliminary study for protential impacts on the aquatic environment of Lake Taihu by acid rain [J]. Lake Sciences, 2001 (2): 135-142. (in Chinese))

[4] 宋玉芝,秦伯强,杨龙元,等. 大气湿沉降向太湖水生态系统输送氮的初步估算[J]. 湖泊科学,2005(3):226-230. (SONG Yuzhi, QIN Bogiang, YANG Longyuan, et

al. Primary estimation of atmospheric wet eeposition of nitrogen to aquation ecosystem of Lake Taihu [J]. Lake Sciences, 2005 (3): 226-230. (in Chinese))

[5] 梅雪英,张修峰. 上海地区氮素湿沉降及其对农业生态系统的影响[J]. 中国生态农业学报,2007(1):16-18. (MEI Xueying, ZHANG Xiufeng. Nitrogen in wet deposition in Shanghai area and its effect on agrieulture ecosystem [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007 (1): 16-18. (in Chinese))

(收稿日期:2013-04-16 编辑:徐 娟)