

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第5期

Vol.33 No.5

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

区域空气质量模拟中查表法的应用研究	谢旻,王体健,江飞,李树,蔡彦枫,庄炳亮 (1409)
长江三角洲地区秸秆露天焚烧大气污染物排放清单及其在空气质量模式中的应用	苏继峰,朱彬,康汉青,王红磊,王体健 (1418)
北京及周边城市一元脂肪酸大气颗粒物干沉降通量及来源分析研究	徐小娟,李杏茹,王跃思,刘晨书,潘月鹏,王英锋 (1425)
上海大气超细颗粒物和工业纳米颗粒的表征及细胞毒性的比较研究	张睿,吕森林,尚羽,易飞,任晶晶,郝晓洁,安静,吴明红 (1431)
青岛市大气 PM _{2.5} 元素组成及来源研究	李秀镇,盛立芳,徐华,屈文军 (1438)
冬季天津家庭室内空气颗粒物中邻苯二甲酸酯污染研究	王夫美,陈丽,焦姣,张雷波,姬亚芹,白志鹏,张利文,孙增荣,张星梅 (1446)
再悬浮装置在大气 PM _{2.5} 源谱分析中的应用	段恒轶,钱冉冉,吴水平,印红玲 (1452)
黔西南煤燃烧产物微量元素分布特征及富集规律研究	魏晓飞,张国平,李玲,项萌,蔡永兵 (1457)
三峡水库不同运行状态下支流澎溪河水-气界面温室气体通量特征初探	蒋滔,郭劲松,李哲,方芳,白镭,刘静 (1463)
香溪河库湾夏季温室气体通量及影响因素分析	王亮,肖尚斌,刘德富,陈文重,王雨春,陈小燕,段玉杰 (1471)
臭氧浓度升高与土壤湿度对农田土壤微生物呼吸温度敏感性的影响	陈书涛,张勇,胡正华,史艳妹,沈小帅 (1476)
托木尔峰青冰滩 72 号冰川径流水化学特征初步研究	赵爱芳,张明军,李忠勤,王飞腾,王圣杰 (1484)
五大连池水溶性有机磷矿化特性的研究	张斌,席北斗,赵越,魏自民,白雪,王曼林 (1491)
7 条环太湖河流沉积物氮含量沿程分布规律	卢少勇,远野,金相灿,焦伟,吴瑶洁,任德有,周羽化,陈雷 (1497)
巢湖十五里河沉积物氮磷形态分布及生物有效性	李如忠,李峰,周爱佳,童芳,钱家忠 (1503)
北运河系地表水近 10 年来水质变化及影响因素分析	郭婧,荆红卫,李金香,李令军 (1511)
东莞运河排涝对东江河网水质影响分析	孙磊,毛献忠,黄旻旻 (1519)
北京平原区地下水污染源识别与危害性分级	陆燕,何江涛,王俊杰,刘丽雅,张小亮 (1526)
地下水曝气修复过程的三维数值模拟	李恒震,胡黎明,王建,武晓峰,刘培斌 (1532)
垂向水动力扰动机的蓝藻控制效应数值实验研究	邹锐,周璟,孙永健,嵇晓燕,岳佳,刘永 (1540)
新型生物岛栅中污染物去除的微生物机制研究	高明瑜,谢慧君,王文兴 (1550)
营养盐水平对念珠藻胞外有机物产生的影响	齐飞,刘晓媛,徐冰冰,黄岳,封莉,张立秋 (1556)
水网藻种植水对铜绿微囊藻生长的抑制作用研究	傅海燕,柴天,赵坤,刘智峰,张明真,侯明,许鹏成 (1564)
酞酸酯在模拟海河菹草微宇宙中的消减和分布特征	迟杰,杨青 (1570)
电子束辐射对铜绿微囊藻毒素产生和释放的抑制作用研究	刘书宇,吴明红,姜钦鹏 (1575)
青铜峡灌区典型排水沟水污特征解析	李强坤,胡亚伟,罗良国 (1579)
四溴双酚 A 的辐射降解研究	李杰,徐殿斗,徐刚,马玲玲,吴明红 (1587)
污泥基活性炭催化臭氧氧化降解水中微量布洛芬的效能研究	王红娟,齐飞,封莉,张立秋 (1591)
高水力负荷对人工湿地处理精养虾塘排水效果的影响	李怀正,章星异,陈卫兵,叶剑峰 (1597)
城市污水生物脱氮系统出水经氯胺消毒形成 NDMA 的影响因素研究	尚晓玲,李咏梅 (1604)
利用淀粉基共混物作为反硝化固体碳源的研究	沈志强,吴为中,杨春平,陈佳利,王建龙 (1609)
好氧污泥颗粒化过程中 Zeta 电位与 EPS 的变化特性	王浩宇,苏本生,黄丹,崔晓姣,竺建荣 (1614)
活性污泥对病毒的生物吸附特性	周玉芬,郑祥,雷洋,陈迪 (1621)
阴离子型聚丙烯酰胺在离子交换膜上的吸附规律	邓梦洁,于水利,时文歆,衣雪松 (1625)
两性修饰膨润土对苯酚的吸附及热力学特征	李婷,孟昭福,张斌 (1632)
表面活性剂对苯并[a]芘在黑炭表面吸附解吸的影响	张景环,陈春溶,张玮航,栗桂州 (1639)
南京市 4 个污水处理厂的活性污泥中细菌的分离鉴定和抗生素耐药性分析	葛峰,郭坤,周广灿,张会娟,刘济宁,戴亦军 (1646)
焦化废水中苯酚降解菌筛选及其降解性能	陈春,李文英,吴静文,李静 (1652)
<i>Xanthobacter flavus</i> DT8 降解二噁烷的特性研究	金小君,陈东之,朱润晔,陈静,陈建孟 (1657)
未开发油气田地表烃氧化菌空间定量分布	满鹏,齐鸿雁,呼庆,马安周,白志辉,庄国强 (1663)
矿化垃圾中氧化甲烷兼性营养菌的筛选与生物特性研究	赵天涛,项锦欣,张丽杰,全学军,赵由才 (1670)
长江中游干流及 22 条支流表层水中多氯联苯的分布特征及其潜在风险	李昆,赵高峰,周怀东,曾敏,廖柏寒,吴正勇,张盼伟,郝红 (1676)
典型血吸虫病区表层水中酚类化合物的污染特征及潜在风险	吴正勇,赵高峰,周怀东,李科林,曾敏,李昆,张盼伟,郝红 (1682)
闽江福州段沉积物中多环芳烃的空间分布异质性研究	陈卫锋,倪进治,杨红玉,魏然,杨玉盛 (1687)
三峡库区蓄水运用期表层沉积物重金属污染及其潜在生态风险评价	王健康,高博,周怀东,陆瑾,王雨春,殷淑华,郝红,袁浩 (1693)
典型电器工业区河涌沉积物中重金属的分布和潜在生态风险	邓代永,孙国萍,郭俊,张宏涛,张琴,许政英 (1700)
密云水库上游金属矿区土壤中重金属形态分布及风险评价	高彦鑫,冯金国,唐磊,朱先芳,刘文清,李宏兵 (1707)
湘西花垣矿区土壤重金属污染及其生物有效性	杨胜香,袁志忠,李朝阳,龙华,唐文杰 (1718)
基于 GIS 的某训练场土壤重金属污染评价	刘玉通,方振东,杨琴,谢朝新,王大勇,毛华军 (1725)
土壤质地和湿度对 SVE 技术修复苯污染土壤的影响	刘少卿,姜林,姚玉君,李艳霞,刘希涛,林春野 (1731)
蒙脱土、高岭土和针铁矿对 DNA 吸附与解吸特征	王慎阳,饶伟,王代长,张亚楠,李腾,唐冰培,杨世杰 (1736)
LNAPL 在砂质含水层中动态迁移的电阻率法监测试验研究	潘玉英,贾永刚,郭磊,李进军,单红仙 (1744)
亚临界水解预处理稻草秸秆制备活性炭及表征	董宇,申哲民,雷阳明,王茜,刘婷婷 (1753)
蓝藻好氧堆肥及其氮素损失控制的研究	任云,崔春红,刘奋武,占新华,周立祥 (1760)
固定化微生物技术修复 PAHs 污染土壤的研究进展	钱林波,元妙新,陈宝梁 (1767)
《环境科学》征订启事 (1483) 《环境科学》征稿简则 (1620) 信息 (1490,1496,1586,1743)	

北运河系地表水近 10 年来水质变化及影响因素分析

郭婧, 荆红卫, 李金香, 李令军

(北京市环境保护监测中心, 北京 100048)

摘要: 北运河系为北京市区最重要的排水系统, 其水质优劣对城市环境及下游地区有着重要影响, 通过 2001 ~ 2010 年间地表水的监测数据、水资源量的统计数据、社会经济的统计数据以及污水处理厂的监测数据来分析影响北运河系水质的原因。结果表明, 北运河各排水支流水质均较差, 主要污染指标为耗氧型有机污染物及 NH_4^+ -N 等, 丰水期水质好于枯水期, 凉水河、温榆河、通惠河等支流的水质严重影响着北运河的水质; 北运河系各河段水质在 2006 年后出现好转, 但 2006 ~ 2010 年之间污染指标浓度稳定在 V 类标准以上, 水质的进一步改善变得困难; 经济的发展、人口的增加对北京市水环境造成了巨大的压力, 是造成水质难以彻底改善的主要原因之一; 缺少生态补水是河系水质较差的主要原因, 降水可以缓解污染, 却与地表水径流造成的非点源污染形成矛盾, 但对北运河来说, 降水仍起到了稀释作用; 污水处理率的提高改善了水质, 但进一步的水质改善还需要提高污水处理效率, 尤其是郊区污水处理率。

关键词: 北运河系; 地表水; 河段; 水质; 影响因素

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)05-1511-08

Surface Water Quality of Beiyun Rivers Basin and the Analysis of Acting Factors for the Recent Ten Years

GUO Jing, JING Hong-wei, LI Jin-xiang, LI Ling-jun

(Beijing Municipal Environmental Monitoring Center, Beijing 100048, China)

Abstract: As the most important drainage system, the quality of the Beiyun rivers basin play a great role on the city's environment and the areas of down streams, the acting factors were analyzed by the monitoring data of surface water, statistical data of water resources and socioeconomy, monitoring data of municipal treated sewerage, during the year from 2001 to 2010. The results show that the water quality of every branch is very poor. It was found that organics of oxygen consumption and ammonia nitrogen are the most important pollutants. The water quality is better during high flow period than rainless period, and highly depends on the branch water quality of Liangshui river, Wenyu river and Tonghui river. The branch water quality once got better after 2006, however, the concentration of pollutant parameters stands static above standard V during the year from 2006 to 2010, and it is very difficult to make the surface water quality improved. Economic development and population explosion put a great pressure on the water environment, and result that water quality is hard to thoroughly improved. Lack of clean water is another factor in contribution to poor water quality, precipitation can reduce the water pollution but the pollution of non-pointed source of surface water runoff will arise, and to Beiyun river, the pollution is diluted by the precipitation. Water quality is improved by the ratio of sewage disposed, but further results depends on the ratio improving especially in suburb areas.

Key words: Beiyun rivers basin; surface water; rivers; water quality; acting factors

北京地处海河流域, 辖区内从东到西分布着蓟运河系、潮白河系、北运河系、永定河系和大清河系。北运河系是唯一一支发源于北京境内的水系, 也是市区内最重要的水系, 分布在北京城区及城市下游的平原区, 服务着全市 70% 的人口, 流域拥有全市 80% 的 GDP。它的主干河流是京杭大运河的北京段——北运河, 流域内有大小支流、沟渠 40 多条段, 长度达到 800 多 km, 其中凉水河、通惠河、温榆河是北运河最主要的支流。河系作为北京最重要的排水河道, 承担着中心城区 90% 的排水任务。其中, 凉水河、通惠河、温榆河的支流清河及坝河为市区主要排水河道, 而温榆河、北运河是位于郊区的城市下游排水河道。

北京是个缺水的城市, 近年来地表产流量逐年减少, 2010 年地表水资源量仅为 7.4 亿 m^3 ^[1], 水资源减少, 河流自净能力降低, 环境容量极为有限^[2]。据监测, 2010 年河系达标率仅为 16.7%, 劣 V 类以上水体占了 81.5%, 虽然城市中心区的长河、昆玉河以及作为饮用水源的京密引水渠等河段的水质状况达到 II 类水体的标准, 但市区排水河道及位于城市下游的河道水体污染仍然十分严重。多年来北京市政府大力加强污染治理, 加大全市污水处理率, 水质状况得到大幅改善, 但排水河

收稿日期: 2011-07-14; 修订日期: 2011-10-07

作者简介: 郭婧(1976 ~), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为地表水环境监测, E-mail: lucy96@tom.com

道及下游河道仍是劣 V 类水体,本研究重点关注这部分水体,将根据多年污染物变化特征来分析其水质污染状况。

国内外对于地表水的关注多集中于大江大河^[3~9]、饮用水源水质及污染物来源^[10~14],而对于城市区域内的景观河道或者排水河道的地表水水质分析尚不多见,目前仅有杨丽蓉等^[15]对温榆河水质进行过报道。城市是人类活动最集中的区域,尤其对于北京这样一个超大型城市来说,经济的发展、人类的生产生活与地表水的水质的变化密切相关,本研究根据 2001~2010 年地表水的监测数据分析了北

运河系主要河道的水质状况,并试图从自然环境及社会经济条件等方面分析对北运河系主要排水河道的影响因素,以期为改善水质的最佳管理措施提供科学依据。

1 监测数据与研究方法

1.1 监测布点与监测项目

本研究所用数据来源于河段监测点位数据,各监测点位数据平均值代表河段数据。现有监测网络体系设置的地表水监测点位涵盖北运河系的主要干、支流,排水河道站点分布如图 1 所示。

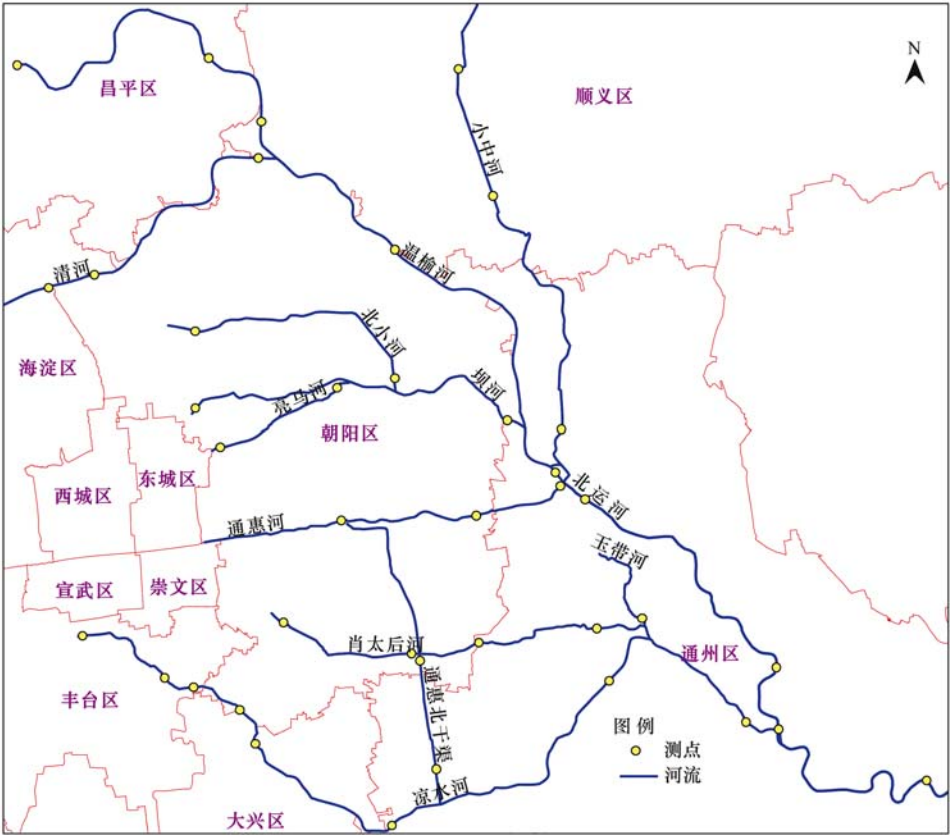


图 1 北运河系主要排水河道及其支流监测点位分布示意

Fig. 1 Monitoring sites of the main drainage rivers and its branches in Beiyun rivers basin

溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)、高锰酸盐指数、五日生化需氧量(BOD₅)、氨氮(NH₄⁺-N)等主要

污染指标每月监测一次,采样及检测方法遵循相关技术规范^[16],具体分析方法详见表 1。

表 1 地表水样品分析方法一览表

Table 1 Analysis methods of samples

监测项目	DO	COD	高锰酸盐指数	BOD ₅	氨氮
分析方法	碘量法	重铬酸钾法	酸性法	稀释接种法	纳氏剂分光光度法

1.2 评价方法

1.2.1 类别与达标评价

根据各污染物类别浓度限值^[17]来确定河流现状类别,比较现状类别与规划类别确定达标状况。

1.2.2 有机综合指数法^[18]

本方法将几种污染指标融合在一起,减小了单一方法测定带来的误差,各污染指标在公式中均得到体现,使污染表征更加准确。

$$A = \frac{c_{\text{COD}}}{L_{\text{COD}}} + \frac{c_{\text{高锰酸盐指数}}}{L_{\text{高锰酸盐指数}}} + \frac{c_{\text{BOD}_5}}{L_{\text{BOD}_5}} + \frac{c_{\text{NH}_4^+-\text{N}}}{L_{\text{NH}_4^+-\text{N}}} + \frac{8.0 - c_{\text{DO}}}{8.0 - L_{\text{DO}}}$$

式中, A 为有机污染综合指数; c 为监测指标的实测质量浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); L 为监测指标的评价标准 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

A 值法评价分级标准: 0 ~ 2 为良好, 2 ~ 3 为一般, 3 ~ 4 为开始污染, 4 ~ 5 为中等污染, > 5 为严重污染。

2 结果分析

2.1 主要污染指标年际变化趋势

由于化学需氧量、高锰酸盐指数、五日生化需氧量均为间接反映有机物耗氧量的指标, 故选择氧化性最强的铬法测定的化学需氧量, 另外选择有机物碳化阶段的产物氨氮作为另一项指标, 分析各河段的水质年际变化趋势。

图 2 给出北运河系 6 条河段的水质变化趋势, 清河 COD 浓度呈波折性下降, 2001 年为 $231 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 到 2003 年降至 $148 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 然而在 2004 年又升至 $181 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 2005 年下降至 $51 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,

2005 ~ 2010 年间一直在 $50 \sim 80 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间波动, NH_4^+-N 浓度 2001 年为 $36 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 2002 年降至 $29 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 至 2004 年又升至 $43 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 自 2005 年之后, 浓度值在 $11 \sim 17 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间波动。由此可以看出, 2004 年成为清河水质至关重要的转折点。而坝河的拐点出现在 2003 年; 由于上游的高碑店污水处理厂于 1993 年底投入运行, 通惠河污染指标浓度相比其他河段较低, 2001 ~ 2010 年间 COD 在 $50 \sim 75 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间波动, NH_4^+-N 2001 年为 $18 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 2004 年升至 $21 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 之后开始下降, 至 2010 年降至 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 由于小红门污水处理厂于 2005 年正式运行, 2005 年成为凉水河水质改善的拐点, COD 由 2004 年的 $141 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 降至 2010 年的 $56 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, NH_4^+-N 由 2005 年的 $46 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下降至 2010 年的 $16 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 温榆河在 2004 年后水质出现好转, 而北运河则以 2006 年为拐点, 2006 年以后水质逐步改善。

根据化学需氧量和氨氮历年浓度变化特征分析, 北运河系地表水污染变化趋势可以分为 2 个阶段, 水质恶化阶段和水质改善阶段, 由于各河段上游

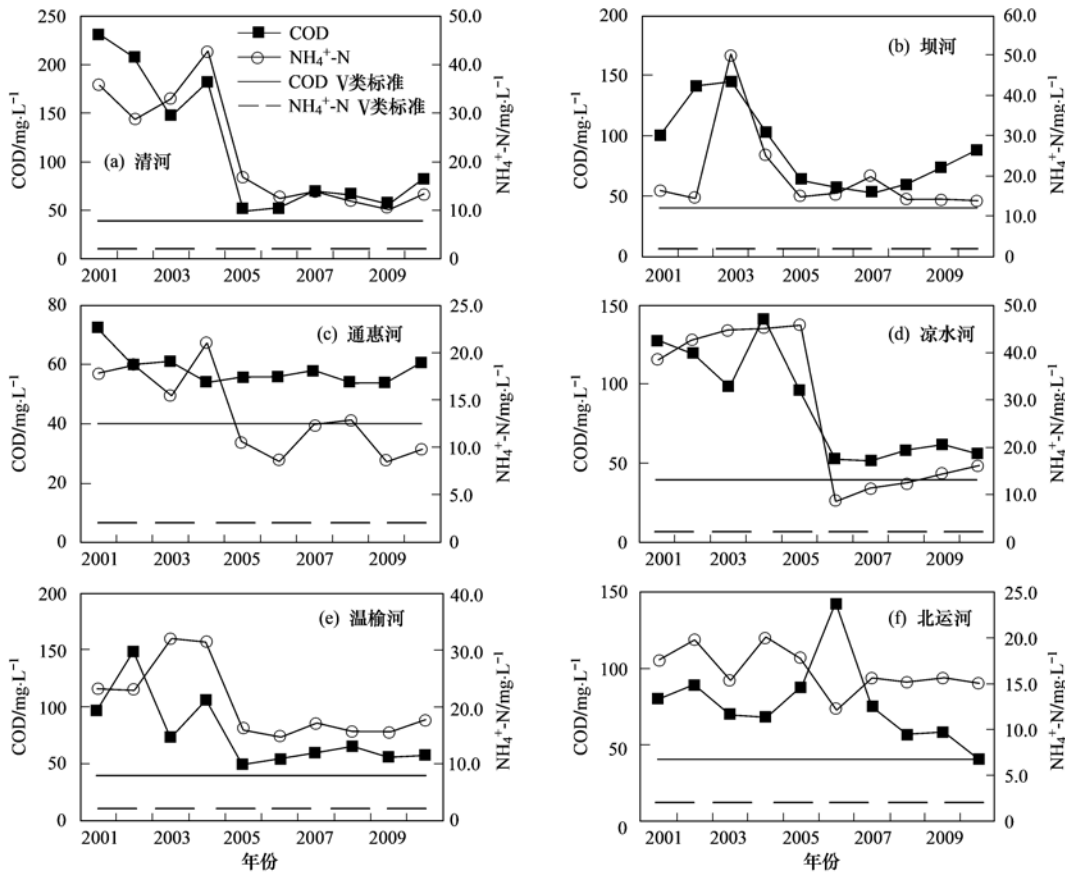


图 2 北运河系主要河段 2001 ~ 2010 年间 COD 和 NH_4^+-N 质量浓度变化趋势

Fig. 2 Yearly change of COD and NH_4^+-N concentration in the main rivers from 2001 to 2010

污水处理厂建成运行时间的不同,水质改善时间稍有差别,总体上以 2006 年为拐点,但在改善阶段各河段的污染物仍稳定在较高浓度,均超过了 V 类标准,水质进一步好转变得困难。

2.2 枯丰水期水质变化

根据北京降水频度分布特点,将全年划分为枯、丰、平 3 个水期,3~5 月为枯水期,6~9 月为丰水期。

图 3、图 4 给出了 2006~2010 年化学需氧量和

氨氮的浓度值监测结果,从中可以看出,北运河、凉水河、通惠河的化学需氧量的枯水期浓度值均高于丰水期,变化幅度多处于 15%~50% 之间,清河、坝河及温榆河除个别年份外,枯水期浓度也略高于丰水期;除通惠河 2008 年和 2009 年的监测结果外,其他河段的氨氮浓度值均为枯水期高于丰水期,说明排水河道和下游河道的水质整体上丰水期要略好于枯水期。

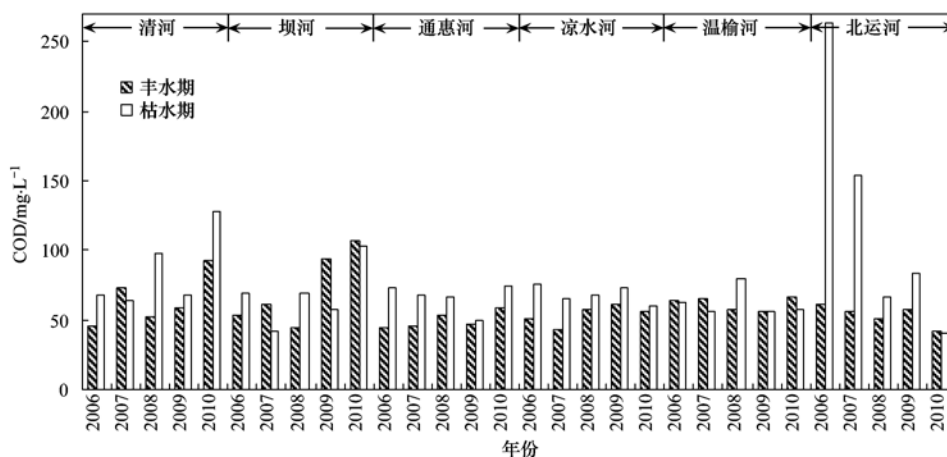


图 3 北运河系主要河段枯丰水期 COD 质量浓度均值对比

Fig. 3 Contrast of COD concentrations during the high flow period and the rainless period for the main rivers

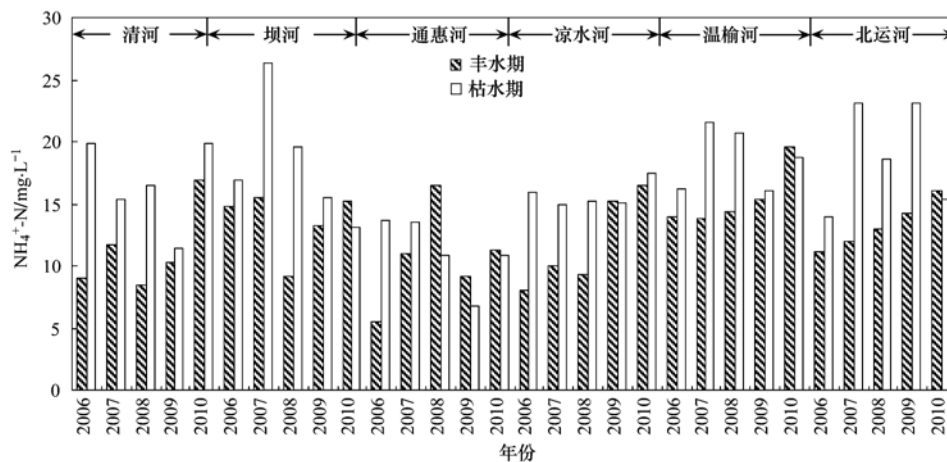


图 4 北运河系主要河段枯丰水期 NH_4^+-N 质量浓度均值对比

Fig. 4 Contrast of NH_4^+-N concentrations during the high flow period and the rainless period for the main rivers

2.3 河流水质关系

凉水河、通惠河和温榆河是北运河最主要的支流,而坝河、清河又是温榆河的主要支流,肖太后河和玉带河是凉水河的支流,这些河流的水质严重影响着北运河的水质。

图 5 为河段交汇示意图,根据 2010 年监测结果进行有机综合指数计算,温榆河上段指数为 12.5,下段接受清河下段(指数为 13.8)和坝河下段(指数

为 14.0)汇水后,指数变为 13.9,由此推断,清河和坝河对温榆河水水质为负影响;凉水河上段指数为 8.1,下段接受肖太后河(指数为 21.4)和玉带河(指数为 22.3)的汇水后,污染指数升高至 13.1,可以推测,凉水河水水质下降很大程度上受到了肖太后河和玉带河的影响;温榆河、通惠河(污染指数为 9.7)、凉水河分别汇入北运河后,北运河污染指数为 11.2,可见,北运河水质受温榆河、凉水河及通惠河

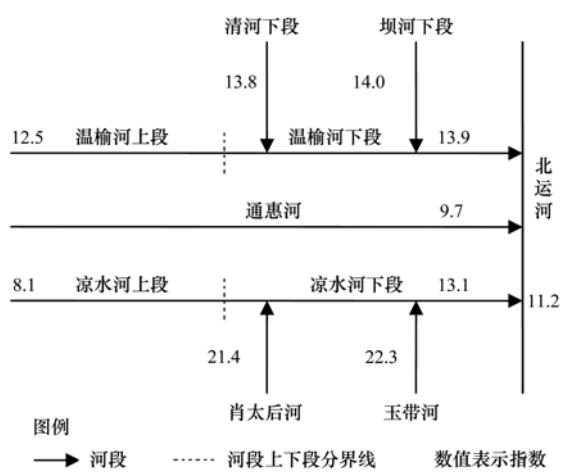


图 5 北运河系主要河段关系示意
Fig. 5 Relationship of the main rivers

这 3 条河段水质综合影响。

3 水质影响因素分析

3.1 自然因素

3.1.1 生态补水对水质的影响

生态补水（清洁水源）是影响河系水质的主要因素，北京市缺水严重，水资源供需矛盾一直十分突出。20 世纪 90 年代后，人均水资源拥有量降到 300 m³ 以下，尤其自 1999 年以来持续干旱，地表水资源量处于减少状态。2001 ~ 2010 年维系在 5.25 ~ 8.16 亿 m³ 之间（除 2008 年外，2008 年为 12.79 亿 m³）^[1]，远低于 17.72 亿 m³ 的多年平均值。北运河系的生态补水主要通过两大渠道，一是密云水库→京密引水渠→昆玉河→长河→护城河→通惠河，二是官厅水库→永定河引水渠→护城河→通惠河，从而进入河系循环系统。由于地表水资源量持续减少，密云水库和官厅水库可利用来水量也呈逐渐减少趋势，如图 6 所示（个别年份除外，如 2008 年密云水库可利用来水量为近 10 年来最大值）。况且，密云水

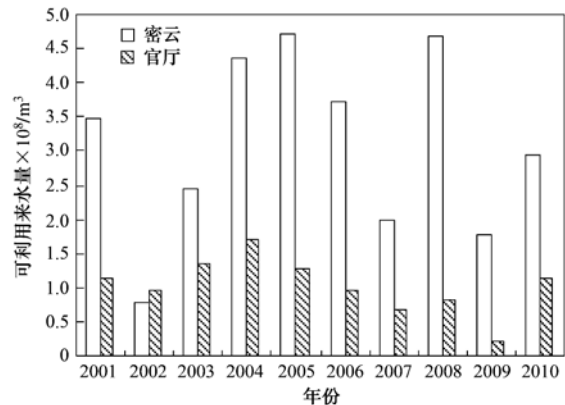


图 6 密云水库和官厅水库可利用来水量
Fig. 6 Available water for the reservoir Miyun and Guanting

库主要保障饮用水，目前仅有城市中心区的昆明湖和“六海”通过京密引水渠每年得到少量补给，但是由于水量较小进入不了河系的循环系统，其他河湖都是污水处理厂排水，而北运河系的下游支流则成了名副其实的排水沟，除了接收污水处理厂的排水外，还有少量未经处理的污水直排入河。

3.1.2 降水对水质的影响

天然降水是城市河湖的另一清洁水源，但只有较大的降水量才能对河段水质起到改善作用。2001 ~ 2010 年北京市平均降水量虽呈上升趋势，但除 2008 年达到 638 mm 超过了多年平均降水量外，其他年份仍属偏枯年份，见图 7。但暴雨又会引起城市地表径流，会将各下垫面的污染物冲刷至河道，一定程度上又污染了水质。根据华蕾等人 2008 ~ 2009 年对北京市非点源的调查^[19]，屋面、路面、绿地、停车场等几个典型下垫面 COD 的平均浓度在 62.9 ~ 222.2 mg·L⁻¹ 之间，均超过了地表水的 V 类标准，根据 2.2 节，河系的主要河段在 2006 ~ 2010 年枯水期 COD 浓度均高于丰水期，说明降水对各河段仍然起到了改善作用。主要原因为：①北京暴雨频率不高，形成冲刷效应几率小；②径流污染物浓度未超过河段的污染物浓度，对水质仍然起到了稀释作用。但由于河段的污染物浓度较高，故水质只能小幅度改善。

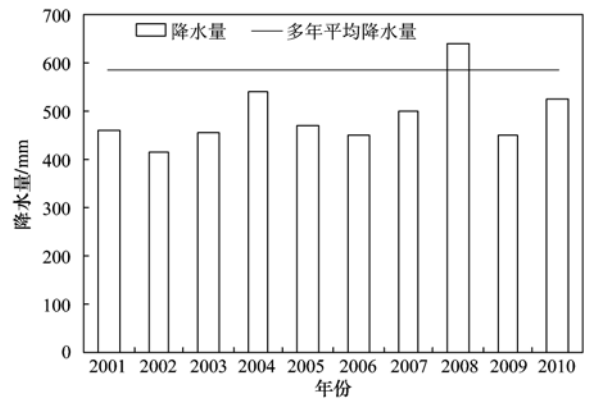


图 7 2001 ~ 2010 年北京市平均降水量
Fig. 7 Average precipitation in Beijing from 2001 to 2010

3.2 社会经济因素

3.2.1 GDP 和人口对水污染物排放的影响

随着社会经济的不断发展，北京市 GDP 由 2001 年的 2 846.29 亿元快速增至 2009 年的 12 153 亿元^[20]，而 GDP 与废水排放量相关系数高达 0.95 (α = 0.01, P < 0.01)。同时，北京资源优势及城市发展引起人口迅猛增加，2001 ~ 2009 年常驻人口激增了近 400 万（见图 8）。根据环境统计调查可知，工业废

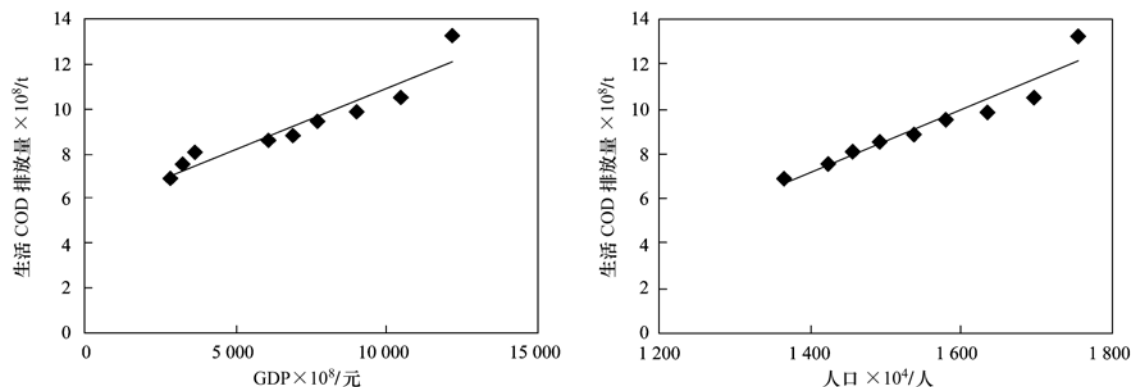


图 8 经济总量、人口与生活废水排放量的关系

Fig. 8 Relationship among GDP, population and domestic sewage

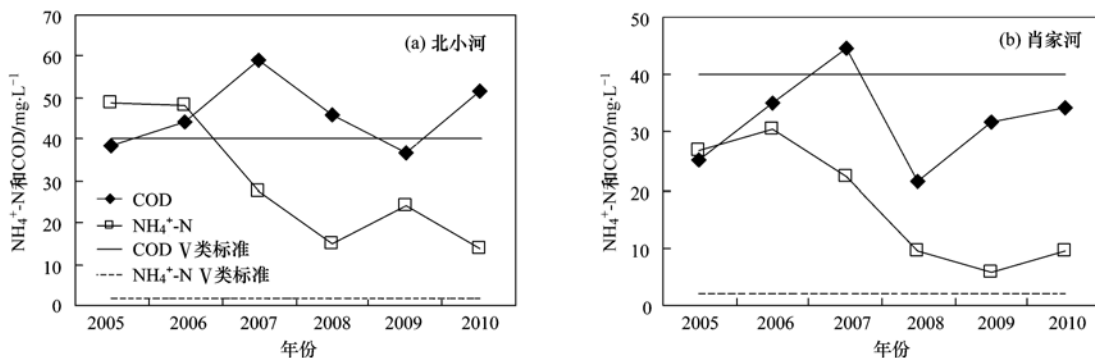
水所占比重逐渐缩小,生活废水比重逐渐升高.按照每人每天产生 COD 70 g 计算,以 2009 年人口数计算,全年要产生 COD 44.84 万 t,按照本流域占全市 70% 的人口,那么将产生 COD 31.39 万 t,如按照城区 95% 的污水处理率,将有 1.57 万 t 得不到处理,最终排放至河流,使得北运河流域负担相当重.

3.2.2 污水处理率对水质影响

(1) 污水处理厂出水水质

清河及肖家河污水处理厂排水进入清河,酒仙桥及北小河污水处理厂排水进入坝河,高碑店污水处理厂经处理后的尾水排至通惠河,卢沟桥、方庄、吴家村、小红门这 4 座污水处理厂的排水进入凉水河,以上排水最终都进入北运河.

污水处理厂的出水水质无论从要求上还是处理效果上都跟地表水水质要求有差距,根据 2005 ~ 2010 年的监测结果,按照最严格的一级 A 标准^[21],上述各污水处理厂的化学需氧量年均值总体达标率可以达到 93.1%,氨氮达到 60.3%,但是如果按照地表水的 V 类标准进行评价,各污水处理厂的化学需氧量达标率为 69.0%,氨氮仅为 27.6%.以北小河和肖家河污水处理厂为例,连续几年出水氨氮浓度都在 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上,见图 9,这一水源的水质是导致北运河水质难以出现大幅改善的重要原因.国外的市政污水处理后入河也曾困扰地表水水质多年,目前,部分国家已改为通过湿地和河底过滤后变为地下水再排入地表水的间接排放方式^[22],这也许是我国市政排水未来的一个方向.

图 9 北小河和肖家河污水处理厂 COD 及 NH_4^+-N 出水质量浓度Fig. 9 Concentrations of COD and NH_4^+-N in sewage plant of Beixiaohe and Xiaojiahe

另一方面,由污水处理厂的出水和各排入河道的水质监测数据对比,可以发现,各河道的 COD 浓度连续几年高于污水处理厂的 COD 出水浓度,这一方面表明该河道的水体自净能力较差^[23,24],缺乏将复杂组分的有机物分解成简单组分无机化合物的环境功能,另一方面也表明这几个河道接收了未经处理的污水,对水质有较大影响.由图 10 可以看出,两

者历年差距逐渐减小,说明污水直排量在逐渐减少,但水体自净功能仍没有修复.

(2) 污水处理率与水质关系

通过对各河段进行有机综合指数计算,由图 11 可见,随着污水处理能力的提高,各河段污染指数呈下降趋势,2006 年污水处理率出现了飞跃,从 2005 年的 70% 达到了 90%,提高了 20 个百分点,市区各

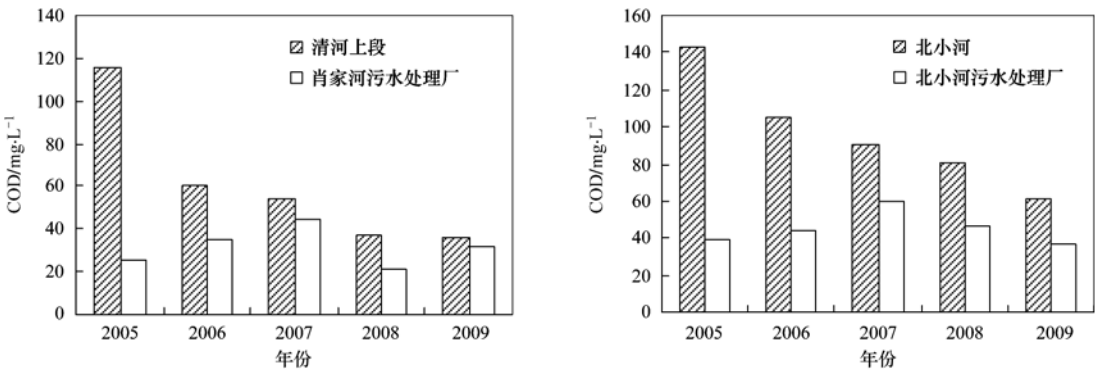


图 10 污水处理厂与河段 COD 质量浓度对比
Fig. 10 Contrast concentrations of COD in sewage plant and rivers

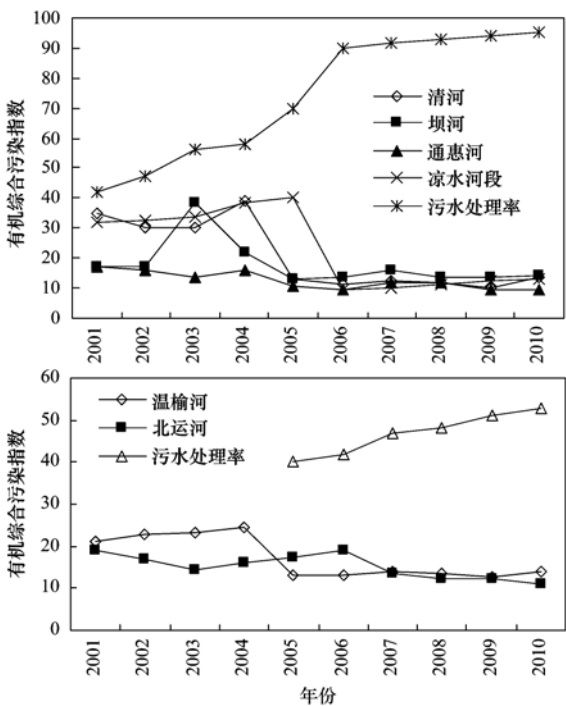


图 11 河道同污水处理率年份关系
Fig. 11 Yearly relationship between rivers and processing rates

河段指数也在 2006 年呈显著下降趋势,2006 年以后污水处理率稳定在 90% 以上,河段的污染指数稳定在 10 ~ 20 之间,根据相关性计算,除坝河外,清河、通惠河、凉水河等城市排水河道的综合污染指数同污水处理率均呈负相关关系,相关系数分别为 -0.894 、 -0.91 和 -0.859 ($\alpha = 0.01, P < 0.01$),说明提高污水处理率有效地降低了河段的污染程度,同时也说明即使污水处理率达到如此高的程度下,污染指标仍处在一个较高的浓度水平,仍属于严重污染. 根据对 2010 年污水处理厂污染物浓度去除效率的计算(见表 2),化学需氧量的去除效率未达到 90% 的污水处理厂占 20%,氨氮去除效率未达到 90% 的占 50%,其中北小河和清河氨氮的去除效率

表 2 各污水处理厂 2010 年处理效率¹⁾

Table 2 Processing rates of some sewage plants in 2010

污水处理厂	去除效率/%	
	COD	NH ₄ ⁺ -N
高碑店污水处理厂一期	87.5	98.0
高碑店污水处理厂二期	88.8	97.5
酒仙桥污水处理厂	89.3	88.3
小红门污水处理厂	86.6	94.6
清河污水处理厂	80.9	75.5
肖家河污水处理厂	81.7	78.9
北小河污水处理厂	90.1	75.2
卢沟桥污水处理厂	86.0	83.6
方庄污水处理厂	92.8	98.1
吴家村污水处理厂	86.1	94.7

1) 污水处理厂处理效率计算数据来源于《北京市污染源月报》

均为 75%,说明进一步的水质改善不仅要继续加大污水处理量,还需要改进现有的污水处理设施,提高污水的处理效率,使出水达到要求.

对于郊区的城市下游河道污染指数分别在 2004 年和 2006 年开始出现下降趋势,温榆河从 24.4 降至 13.9,北运河从 19.0 降至 11.2,但是降幅没有城市排水河道明显,而 2005 ~ 2010 年郊区的污水处理率由 40.0% 升至 53.0%,但仍有近一半污水未经处理排放,肖太后河通州段断面 2010 年年均 COD 浓度达到 $119 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,属于严重超标,其河道水全是直排污水,虽然是一条三级支流,但是据 2.3 节可知,它的水质对凉水河下段有很大影响,进而影响北运河水质. 根据北运河流域污染源调查^[25],北运河和温榆河是流域内的两大主要纳污河流. 由此可见,加大郊区的污水处理力度将会对郊区河道有很大改善.

4 结论

(1) 近 10 年来,北运河系各支流河段水质均较差,主要污染指标为耗氧型有机污染物和氨氮,其类

别均超过《地表水环境质量标准》的 V 类标准限值;水质分为恶化阶段和改善阶段,2006 年以后水质开始改善.各主要河段枯丰水期水质有所差别,一般情况下丰水期好于枯水期,但好转幅度不大.

(2)缺少生态补水是北运河系水质较差的主要原因,降水可以作为清洁水源,但与地表径流造成的非点源污染矛盾,总体上对北运河系,降水对其水质起到了改善作用;经济发展、人口增加对北京市水环境造成巨大的压力;污水处理厂出水与地表水标准存在较大差别以及仍存在污水直排是水质难以根本改善的重要原因;随着污水处理率提高,水质出现较大改善,但进一步的水质改善还需要提高郊区污水处理率及各污水处理厂的污水处理效率.

参考文献:

- [1] 北京市水务局.北京市水资源公报[Z].北京:北京市水务局,2001-2009.
- [2] 北京市环境保护局水容量核定研究课题组.北京市地表水环境容量核定报告[R].北京:北京市环境保护局,2004.52-53.
- [3] 陈静生.陆地水质变化研究国内外进展[J].环境科学学报,2000,20(1):10-15.
- [4] 周念清,王燕,江思珉.长江口水质现状与水环境特征研究[J].上海环境科学,2009,28(2):52-55,86.
- [5] 陈静生,李荷碧,夏星辉,等.近30年来黄河水质变化趋势及原因分析[J].环境化学,2000,19(2):97-101.
- [6] 陈静生,夏星辉,洪松.长江水质酸化与黄河水质浓化趋势及成因探讨[J].中国工程科学,2000,2(3):54-58.
- [7] Wu J Y. Assessing surface water quality of the Yangtze Estuary with genotoxicity data[J]. Marine Pollution Bulletin, 2005, 50(12):1661-1667.
- [8] 陈海容,朱利中,杨坤,等.钱塘江水系中酚类化合物的浓度水平及污染特征[J].中国环境科学,2005,25(6):729-732.
- [9] 陈咏淑,吴甫成,吕焕哲,等.近20年来湘江水质变化分析[J].长江流域资源与环境,2004,13(5):508-512.
- [10] Baykal B B, Tanik A, Gonenc I E. Water quality in drinking water reservoirs of a megacity, Istanbul [J]. Environmental Management, 2000, 26(6):607-614.
- [11] Kazi T G, Arain M B, Jamali M K, et al. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2009, 72(2):301-309.
- [12] Tobiszewski M, Tsakovski S, Simeonov V, et al. Surface water quality assessment by the use of combination of multivariate statistical classification and expert information [J]. Chemosphere, 2010, 80(7):740-746.
- [13] Medema G J, Schijven J F. Modelling the sewage discharge and dispersion of *Cryptosporidium* and *Giardia* in surface water[J]. Water Research, 2001, 35(18):4307-4316.
- [14] 张薇薇,孙丹峰,李红,等.北京密云水库流域1980~2003年地表水质评价[J].环境科学,2010,31(7):1483-1491.
- [15] 杨丽蓉,孙然好,陈利顶.流域地表水体污染过程的时空差异及其影响机制分析:以温榆河中上游地区为例[J].环境科学,2011,32(1):73-79.
- [16] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法[M].第四版.北京:中国环境科学出版社,2002.201,211,224,227,279.
- [17] GB 3838-2002,地表水环境质量标准[S].
- [18] 张勇,王云,叶文虎.上海市地表水水质近20年的变化[J].环境科学学报,2002,22(2):247-251.
- [19] 华蕾,荆红卫,金蕾,等.北京市水环境非点源污染研究报告[R].北京:北京市环境保护局,2009.48.
- [20] 北京市统计局.北京统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2002-2010.
- [21] GB 18918-2002,城镇污水处理厂污染物排放标准[S].
- [22] State of Oregon Department of Environmental Quality. Disposal of Municipal Wastewater Treatment Plant Effluent by Indirect Discharge to Surface Water via Groundwater or Hyporheic Water [EB/OL]. <http://www.deq.state.or.us/wq/pubs/imds/indirectdischarge.pdf>, 2007-9.
- [23] 谭夔,陈求稳,毛劲乔,等.大清河河口水体自净能力实验[J].生态学报,2007,27(11):4736-4742.
- [24] 何本茂,韦蔓新.钦州湾的生态环境特征及其与水体自净条件的关系分析[J].海洋通报,2004,23(4):50-54.
- [25] 北京市环保局北运河流域污染状况调研组.北京市北运河流域污染状况调研报告[R].北京:北京市环境保护局,2008.65,71.

CONTENTS

Using Look-up Table Method in the Simulation of Regional Atmospheric Environment	XIE Min, WANG Ti-jian, JIANG Fei, <i>et al.</i> (1409)
Applications of Pollutants Released from Crop Residues at Open Burning in Yangtze River Delta Region in Air Quality Model	SU Ji-feng, ZHU Bin, KANG Han-qing, <i>et al.</i> (1418)
Atmospheric Dry Deposition Flux and Sources of Monocarboxylic Acids in Beijing and Surrounding Cities	XU Xiao-juan, LI Xing-ru, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (1425)
Comparison of Physicochemical Characterization of Shanghai Ambient Ultrafine Particles and Engineered Nano Particles and Their Cytotoxicity	ZHANG Rui, LÜ Sen-lin, SHANG Yu, <i>et al.</i> (1431)
Element Compositions and Source of PM _{2.5} Aerosols in Qingdao	LI Xiu-zhen, SHENG Li-fang, XU Hua, <i>et al.</i> (1438)
Phthalate Esters Pollution in Household Indoor Air Particles of Tianjin in Winter	WANG Fu-mei, CHEN Li, JIAO Jiao, <i>et al.</i> (1446)
Application of a Resuspension Test Chamber in PM _{2.5} Source Profile Analysis	DUAN Heng-yi, QIAN Ran-ran, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (1452)
Distribution and Enrichment of Trace Elements in Coal Combustion Products from Southwestern Guizhou	WEI Xiao-fei, ZHANG Guo-ping, LI Ling, <i>et al.</i> (1457)
Air-Water Surface Greenhouse Gas Flux in Pengxi River at Different Operational Stages of the Three Gorges Reservoir	JIANG Tao, GUO Jing-song, LI Zhe, <i>et al.</i> (1463)
Fluxes of Greenhouse Gases from Xiangxi River in Summer and Their Influencing Factors	WANG Liang, XIAO Shang-bin, LIU De-fu, <i>et al.</i> (1471)
Effects of Elevated Ozone Concentration and Soil Moisture on Temperature Sensitivity of Soil Microbial Respiration in a Cropland	CHEN Shu-tao, ZHANG Yong, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (1476)
Hydrochemical Characteristics in the Glacier No. 72 of Qingbingtan, Tomur Peak	ZHAO Ai-fang, ZHANG Ming-jun, LI Zhong-qin, <i>et al.</i> (1484)
Mineralization Characteristics of Dissolved Organic Phosphorus in Wudalianchi Lake, China	ZHANG Bin, XI Bei-dou, ZHAO Yue, <i>et al.</i> (1491)
Speciation Distribution of Nitrogen in Sediments of 7 Rivers around Taihu Lake	LU Shao-yong, YUAN Ye, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> (1497)
Distribution and Bioavailability of Nitrogen and Phosphorus Species in the Sediments from Shiwuli Stream in Lake Chaohu	LI Ru-zhong, LI Feng, ZHOU Ai-jia, <i>et al.</i> (1503)
Surface Water Quality of Beiyun Rivers Basin and the Analysis of Acting Factors for the Recent Ten Years	GUO Jing, JING Hong-wei, LI Jin-xiang, <i>et al.</i> (1511)
Water Quality Impact of Dongjiang River Network Caused by Dongguan Canal Drainage	SUN Lei, MAO Xian-zhong, HUANG Min-min (1519)
Groundwater Pollution Sources Identification and Grading in Beijing Plain	LU Yan, HE Jiang-tao, WANG Jun-jie, <i>et al.</i> (1526)
3D Numerical Simulation of Air Sparging Remediation Process	LI Heng-zhen, HU Li-ming, WANG Jian, <i>et al.</i> (1532)
Numerical Experiment Study on the Algae Suppression Effect of Vertical Hydrodynamic Mixers	ZOU Rui, ZHOU Jing, SUN Yong-jian, <i>et al.</i> (1540)
Microbial Mechanism of Pollutants Removal in New Biological Island Grid	GAO Ming-yu, XIE Hui-jun, WANG Wen-xing (1550)
Effect of Nutrition Level of Phosphorus and Nitrogen on the Metabolism of the Extracellular Organic Matter of <i>Nostoc flagelliforme</i>	QI Fei, LIU Xiao-yuan, XU Bing-bing, <i>et al.</i> (1556)
Inhibitory Effects of Liquor Cultured with <i>Hydrodictyon reticulatum</i> on the Growth of <i>Microcystis aeruginosa</i>	FU Hai-yan, CHAI Tian, ZHAO Kun, <i>et al.</i> (1564)
Removal and Distribution of Phthalate Acid Esters in <i>Potamogeton crispus</i> L. Microcosm of Haihe River	CHI Jie, YANG Qing (1570)
Control and Removal of Microcystin Production of <i>Microcystis aeruginosa</i> by Irradiation of Electron Beam	LIU Shu-yu, WU Ming-hong, JIANG Qin-peng (1575)
Source Characteristics Analysis of Discharge and Pollutants in Typical Drainage Ditch of Qingtongxia Irrigation District	LI Qiang-kun, HU Ya-wei, LUO Liang-guo (1579)
Degradation of TBBPA by Electron Beam Radiolysis	LI Jie, XU Dian-dou, XU Gang, <i>et al.</i> (1587)
Catalytic Ozonation of Ibuprofen in Aqueous Solution by Activated Carbon Made from Sludge and Corn Cob	WANG Hong-juan, QI Fei, FENG Li, <i>et al.</i> (1591)
Effect of High Hydraulic Loading on Intensive Shrimp Aquaculture Wastewater Treatment Performance in Constructed Wetland	LI Huai-zheng, ZHANG Xing-yi, CHEN Wei-bing, <i>et al.</i> (1597)
Factors Influencing the Formation of NDMA During Chloramination Disinfection of Effluent from Biological Nitrogen Removal System for the Treatment of Municipal Sewage	SHANG Xiao-ling, LI Yong-mei (1604)
Denitrification Using Starch/PCL Blends as Solid Carbon Source	SHEN Zhi-qiang, WU Wei-zhong, YANG Chun-ping, <i>et al.</i> (1609)
Profiles of Zeta Potential and EPS in Granulation Process of Aerobic Sludge	WANG Hao-yu, SU Ben-sheng, HUANG Dan, <i>et al.</i> (1614)
Biosorption Characteristics of f2 Bacteriophage onto Activated Sludge	ZHOU Yu-fen, ZHENG Xiang, LEI Yang, <i>et al.</i> (1621)
Adsorption of Anionic Polyacrylamide on the Surface of Ion Exchange Membranes	DENG Meng-jie, YU Shui-li, SHI Wen-xin, <i>et al.</i> (1625)
Adsorption of Amphoteric Modified Bentonites to Phenol and Its Thermodynamics	LI Ting, MENG Zhao-fu, ZHANG Bin (1632)
Effect of Surfactants on Sorption and Desorption of Benzo[a]pyrene onto Black Carbon	ZHANG Jing-huan, CHEN Chun-rong, ZHANG Wei-hang, <i>et al.</i> (1639)
Isolation and Identification of Bacteria in the Activated Sludge from Four Sewage Treatment Plants in Nanjing City and Its Antibiotic Resistance Analysis	GE Feng, GUO Kun, ZHOU Guang-can, <i>et al.</i> (1646)
Screening and Characterization of Phenol Degrading Bacteria for the Coking Wastewater Treatment	CHEN Chun, LI Wen-ying, WU Jing-wen, <i>et al.</i> (1652)
Characteristics of 1,4-Dioxane Degradation by <i>Xanthobacter flavus</i> DT8	JIN Xiao-jun, CHEN Dong-zhi, ZHU Run-ye, <i>et al.</i> (1657)
Spatial Quantitative Distribution of Hydrocarbon-Oxidizing Bacteria of Unexploited Oil and Gas Fields	MAN Peng, QI Hong-yan, HU Qing, <i>et al.</i> (1663)
Screening and Biological Characteristics of Amphitrophic Methane-Oxidizing Bacteria from Aged-Refuse	ZHAO Tian-tao, XIANG Jin-xin, ZHANG Li-jie, <i>et al.</i> (1670)
Distribution Characteristics and Potential Risk of PCBs in Surface Water from 22 Tributaries and Mainstream in Middle Reaches of Yangtze River	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1676)
Pollution Characteristics and Potential Risks of Phenolic Compounds in Schistosomiasis Epidemic Areas	WU Zheng-yong, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1682)
Spatial Heterogeneity and Autocorrelation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Sediment of Minjiang River in Fuzhou City	CHEN Wei-feng, NI Jin-zhi, YANG Hong-yu, <i>et al.</i> (1687)
Heavy Metals Pollution and Its Potential Ecological Risk of the Sediments in Three Gorges Reservoir During Its Impounding Period	WANG Jian-kang, GAO Bo, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1693)
Investigation on the Distribution and Potential Ecological Risk of Heavy Metal in the Sediments from Typical Electrical Industrial Zone	DENG Dai-yong, SUN Guo-ping, GUO Ju, <i>et al.</i> (1700)
Fraction Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Iron and Gold Mine Soil of Miyun Reservoir Upstream	GAO Yan-xin, FENG Jin-guo, TANG Lei, <i>et al.</i> (1707)
Heavy Metal Contamination and Bioavailability in Huayuan Manganese and Lead/Zinc Mineland, Xiangxi	YANG Sheng-xiang, YUAN Zhi-zhong, LI Zhao-yang, <i>et al.</i> (1718)
Evaluation of Heavy Metal Pollution in Soils from a Training Ground Based on GIS	LIU Yu-tong, FANG Zhen-dong, YANG Qin, <i>et al.</i> (1725)
Effects of Soil Texture and Water Content on Remediation of SVE on Soils Contaminated by Benzene	LIU Shao-qing, JIANG Lin, YAO Yu-jun, <i>et al.</i> (1731)
Characteristics of DNA Adsorption and Desorption in Montmorillonite, Kaoline and Goethite	WANG Shen-yang, RAO Wei, WANG Dai-zhang, <i>et al.</i> (1736)
LNAPL Migration Monitoring in Simulated Sand Aquifer Using Resistivity Method	PAN Yu-ying, JIA Yong-gang, GUO Lei, <i>et al.</i> (1744)
Preparation and Characterization of Activated Carbon from Rice Straw Pre-treated by the Subcritical Hydrolysis	DONG Yu, SHEN Zhe-min, LEI Yang-ming, <i>et al.</i> (1753)
Study on Composting of Cyanobacteria Amended with Different N Loss Inhibitor	REN Yun, CUI Chun-hong, LIU Fen-wu, <i>et al.</i> (1760)
Research Progress About Bioremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Contaminated Soil with Immobilized Microorganism Technique	QIAN Lin-bo, YUAN Miao-xin, CHEN Bao-liang (1767)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年5月15日 33卷 第5期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 5 May 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科学出版社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印刷装订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科学出版社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人