

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第4期

Vol.38 No.4

2017

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目 次

西宁近郊大气氮干湿沉降研究	许稳, 金鑫, 罗少辉, 冯兆忠, 张霖, 潘月鹏, 刘学军 (1279)
兰州春夏季 PM ₁₀ 碳组分昼夜变化特征与来源分析	马丽, 余晔, 王博, 赵素平, 李刚 (1289)
海南三亚大气颗粒物中水溶性无机离子浓度及其粒径分布特征	王璐, 刘子锐, 温天雪, 苗红妍, 王跃思 (1298)
2015 年北京城区大气 PM _{2.5} 中 NH ₄ ⁺ 、NO ₃ ⁻ 、SO ₄ ²⁻ 及前体气体的污染特征	丁萌萌, 周健楠, 刘保献, 王焱, 张博韬, 石爱军, 杨懂艳, 常森 (1307)
北京市某垃圾焚烧厂周边大气二噁英污染特征及暴露风险	齐丽, 任玥, 刘爱民, 黄业茹, 赵震, 王江, 李泓 (1317)
北京和保定地区大气细颗粒物中可培养细菌的种群特征	胡亚东, 马安周, 吕鹏翼, 张杨, 庄国强 (1327)
基于实时交通数据的南京市主次干道机动车排放特征分析	李笑语, 吴琳, 邹超, 张意, 毛洪钧, 荆博宇 (1340)
过渡金属掺杂对铜锡烧绿石催化碳烟燃烧性能的影响	李曦峰, 孙宇琦, 王仲鹏, 牟宗刚, 崔兆杰 (1348)
南水北调中线北京段水质状况分析	徐华山, 赵磊, 孙昊苏, 任玉芬, 丁涛, 常帅, 王海东, 李森, 果钊 (1357)
三峡前置库汉丰湖试运行年水文水质变化特征	杨兵, 何丙辉, 王德宝 (1366)
基于偏最小二乘模型的河流水质对土地利用的响应	李琳琳, 张依章, 唐常源, 郑磊, 孟伟, 卢少勇, 敦宇 (1376)
抚仙湖夏季热分层时期水温及水质分布特征	王琳杰, 余辉, 牛勇, 牛远, 张有林, 刘倩, 吉正元 (1384)
千岛湖溶解氧与浮游植物垂向分层特征及其影响因素	俞焰, 刘德富, 杨正健, 张佳磊, 徐雅倩, 刘晋高, 严广寒 (1393)
高通量测序技术研究辽河真核浮游藻类的群落结构特征	王靖淇, 王书平, 张远, 林佳宁, 高欣, 臧小苗, 赵茜 (1403)
三门湾近海有机污染对浮游细菌群落的影响	戴文芳, 郭永豪, 郁维娜, 熊金波 (1414)
沉积物-水界面氮的源解析和硝化反硝化	金赞芳, 龚嘉临, 施伊丽, 金漫彤, 李非里 (1423)
广州南沙红树林湿地水体和沉积物中有机氯农药的残留特征	丁洋, 黄焕芳, 李绘, 罗杰, 郑煌, 孙焰, 杨丹, 张原, 祁士华 (1431)
太湖西岸河网沉积物中重金属污染特征及风险评价	边博, 周燕, 张琴 (1442)
锁磷剂对杭州西湖底泥磷释放的控制效果	朱广伟, 李静, 朱梦圆, 龚志军, 许海, 杨桂军, 张运林, 秦伯强 (1451)
超滤处理东江水不可逆膜污染物的识别和活性炭对其吸附去除	杨海燕, 王灿, 鄢忠森, 李冬平, 赵焱, 瞿芳术, 梁恒, 徐叶琴, 李圭白 (1460)
UV/SPS 降解水中三氯生的效能及动力学	李青松, 李学艳, 姚宁波, 骆靖宇, 李国新, 陈国元, 高乃云 (1467)
真空紫外-亚硫酸盐法降解 PFOS 影响因素	韩慧丽, 王宏杰, 董文艺 (1477)
g-C ₃ N ₄ 协同光催化还原 Cr(VI) 及氧化磺基水杨酸	李莉莉, 陈翠柏, 兰华春, 刘菲, 安晓强 (1483)
锆改性硅藻土吸附水中磷的研究	范艺, 王哲, 赵连勤, 吴德意 (1490)
3 种常规消毒方法对磺胺类抗性基因削减效果的比较	郑吉, 周振超, 陈芳, 陈涛, 魏媛媛, 韩玥, 陈红 (1497)
典型生活污水处理工艺对雌激素效应的去除	张秋亚, 马晓妍, 王晓昌, 游猛 (1506)
SRT 对酵母-SBR 处理油脂废水稳定性的影响	吕文洲, 张树林, 乔宇祥, 刘英 (1513)
分散染料 neocron black (NB) 的生物降解特性	杨波, 丁凤友, 徐辉, 李方, 田晴, 马春燕 (1520)
多聚磷酸盐激酶基因在污水生物除磷中的功能	南亚萍, 周国标, 袁林江 (1529)
生物膜短程硝化系统的恢复及其转化为 CANON 工艺的过程	付昆明, 周厚田, 苏雪莹, 王会芳 (1536)
厌氧氨氧化反应器脱氮性能及细菌群落多样性分析	曹雁, 王桐屿, 秦玉洁, 韩彬, 任君怡 (1544)
内环境调节层对厌氧生物反应器填埋场中氮转化的影响	何正坤, 宋博宇, 朱南文, 董军 (1551)
矿化垃圾中 Fe(III) 还原耦合 CH ₄ 厌氧去除特性	王立立, 何婷, 龙焰, 刘常宝 (1558)
应用铅同位素示踪研究泉州某林地垂直剖面土壤中重金属污染及来源解析	孙境蔚, 于瑞莲, 胡恭任, 苏光明, 王晓明 (1566)
畜禽粪便有机肥中重金属在土壤剖面中积累迁移特征及生物有效性差异	何梦媛, 董同喜, 茹淑华, 苏德纯 (1576)
山东省农田土壤多环芳烃的污染特征及源解析	葛蔚, 程琪琪, 柴超, 曾路生, 吴娟, 陈清华, 朱祥伟, 马东 (1587)
江汉平原典型土壤环境中有机磷农药的分布特征及影响因素	王建伟, 张彩香, 潘真真, 廖小平, 刘媛, 吕曲, 汤蜜 (1597)
基于生物有效性的农田土壤磷素组分特征及其影响因素分析	蔡观, 胡亚军, 王婷婷, 袁红朝, 王久荣, 李巧云, 葛体达, 吴金水 (1606)
秸秆还田对外源氮在土壤中转化及其微生物响应的影响	陈珊, 丁咸庆, 祝贞科, 王娟, 彭佩钦, 葛体达, 吴金水 (1613)
生物炭输入对城郊农业区农田地表反照率及土壤呼吸的影响	张阳阳, 胡学玉, 邹娟, 张迪, 陈威, 王向前, 陈窈君, 刘扬 (1622)
淹水水稻土消耗 N ₂ O 能力及机制	王玲, 邢肖毅, 秦红灵, 刘毅, 魏文学 (1633)
不同污水处理工艺非二氧化碳温室气体的释放	李惠娟, 彭党聪, 刘文博, 姚倩, 卓杨 (1640)
施用不同污泥堆肥品对土壤温室气体排放的影响	杨雨滢, 易建婷, 张成, 陈宏, 木志坚 (1647)
不同镉水平下纳米沸石对土壤 pH、CEC 及 Cd 形态的影响	迟苏琳, 徐卫红, 熊仕娟, 王卫中, 秦余丽, 赵婉伊, 张春来, 李彦华, 李桃, 张进忠, 熊治庭, 王正银, 谢德体 (1654)
不同作物对外源硒动态吸收、转运的差异及其机制	彭琴, 李哲, 梁东丽, 王梦柯, 郭璐 (1667)
褪黑素对水稻幼芽镍胁迫的缓解作用	刘仕翔, 黄益宗, 罗泽娇, 黄永春, 蒋航 (1675)
不同形态磺胺类药物在根-土界面的空间分布及毒性评价	金彩霞, 司晓薇, 王万峰, 王春峰, 王子英, 张琴文, 王婉 (1683)
三峡库区消落带沉积物对鱼体富集率的影响	孙松, 李楚娴, 张成, 王永敏, 王定勇 (1689)
重庆市居民头发重金属富集特征及相关性分析	何明靖, 李琦, 王登祥, 赵佳渊, 杨婷 (1697)
16S rRNA 高通量测序研究集雨窖水中微生物群落结构及多样性	杨浩, 张国珍, 杨晓妮, 武福平, 赵炜, 张洪伟, 张翔 (1704)
石墨烯掺杂聚苯胺阳极提高微生物燃料电池性能	黄力华, 李秀芬, 任月萍, 王新华 (1717)
美国污染场地清理的风险评估简介及政策制定	容跃 (1726)
《环境科学》征稿简则 (1505) 《环境科学》征订启事 (1682) 信息 (1339, 1459, 1612)	

南水北调中线北京段水质状况分析

徐华山¹, 赵磊¹, 孙昊苏¹, 任玉芬^{2*}, 丁涛¹, 常帅¹, 王海东¹, 李森¹, 果钊¹

(1. 北京市南水北调大宁管理处, 北京 102442; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

摘要: 水质是水资源管理部门关心的核心问题, 北京市南水北调水质更是关系到北京市生活用水安全和社会稳定。收集了南水北调中线北京段通水以来大宁调压池和大宁调蓄水库两个监测点位的总氮、硝氮等 10 项月水质监测数据。采用方差分析法从不同角度分析了北京南水北调来水水质差异, 采用因子分析法识别了大宁调压池和大宁调蓄水库的水质风险因子。结果表明, 南水北调中线北京段冀水全年硝氮、总氮、氟离子、氯离子、硫酸盐含量高于江水, 江水水质优于冀水。LSD 差异性检验结果显示: 冀水溶解氧、硝氮和总氮汛期和非汛期差异性显著 ($P < 0.05$), 江水 pH 汛期和非汛期差异性显著, 水质较冀水更为稳定。无论在汛期还是在非汛期, 江水和冀水在 pH、溶解氧、高锰酸盐指数、总磷、氨氮这 5 个指标上差异性不明显 ($P < 0.05$), 而硝氮、总氮、氟离子、硫酸盐及氯离子则存在显著性差异 ($P < 0.05$)。大宁调蓄水库硝氮、总氮、硫酸盐及氯离子含量 2015 年(冀水 + 江水) 全年低于 2012 ~ 2014 年(冀水), 江水进京后在水库对冀水起到了很好的稀释调节作用。2012 ~ 2014 年及 2015 年水库汛期和非汛期水质差异性检验结果均显示, 硝氮、总氮、氟离子、硫酸盐和氯离子存在显著性差异 ($P < 0.05$), 非汛期水质 2015 年优于 2012 ~ 2014 年, 其他 pH、溶解氧、高锰酸盐指数、总磷、氨氮这 5 个指标差异性不明显 ($P < 0.05$)。调压池、大宁水库冀水汛期和非汛期差异性比较结果显示, 高锰酸盐指数、总氮、氟离子、硫酸盐及氯离子差异性显著, 其中高锰酸盐、氟离子、硫酸盐和氯离子水库高于调节池。因子分析的结果表明, 大宁调压池和大宁调蓄水库潜在水质风险因子主要是氮元素, 包括氨氮、硝氮和总氮, 大宁调蓄水库水质潜在风险因子还包括总磷。

关键词: 南水北调中线; 水质; 大宁调压池; 大宁调蓄水库; 因子分析

中图分类号: X824; X832 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)04-1357-09 DOI: 10.13227/j.hj.kx.201607068

Water Quality Analysis of Beijing Segment of South-to-North Water Diversion Middle Route Project

XU Hua-shan¹, ZHAO Lei¹, SUN Hao-su¹, REN Yu-fen^{2*}, DING Tao¹, CHANG Shuai¹, WANG Hai-dong¹, LI Miao¹, GUO Zhao¹

(1. Daning Management Office of the Beijing South-to-North Water Diversion, Beijing 102442, China; 2. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: Water quality is the key problem that water management departments concern. Water quality of Beijing segment of South-to-North Water Diversion Middle Route Project is closely related to water security and social stability in Beijing. Since the connection of Beijing part in Middle Route of South-to-North Diversion Project, water quality data of Daning regulation and storage reservoir and Daning surge tank was collected, and water quality indexes including water temperature, total nitrogen, nitrate nitrogen, chloride ion, sulfate, dissolved oxygen, permanganate index, pH, ammonia nitrogen, fluorine ion and total phosphorus, were monitored monthly. With variance analysis, water quality difference among different water sources of the South-to-North Water Diversion of Middle Route was analyzed. With factor analysis method, the water quality risk factors of Daning regulation and storage reservoir and Daning surge tank were identified. The results were as following, water from Hebei province had higher contents of nitrate nitrogen, total nitrogen, fluorine ion, chloride ion and sulfate than those of water from Danjiangkou reservoir, but the water quality was not as good as that from Danjiangkou reservoir. LSD difference test results showed that the dissolved oxygen, nitrate nitrogen and total nitrogen of the water from Hebei province had significant differences ($P < 0.05$) between flood season and non-flood season, there was significant difference ($P < 0.05$) in pH of water from Danjiangkou reservoir between flood season and non-flood season, and the water quality of Danjiangkou reservoir was more stable than water from Hebei province. No matter in flood season or non-flood season, there were no significant differences ($P < 0.05$) in pH, dissolved oxygen, permanganate index, total phosphorus and ammonia nitrogen between the water from Danjiangkou reservoir and Hebei province, but there were significant differences ($P < 0.05$) in nitrate nitrogen, total nitrogen, fluorine ion and sulfate ion and chloride ion. Contents of Nitrate nitrogen, total nitrogen, sulfate and chloride ion in 2015 (the mixture of water from Hebei province and Danjiangkou reservoir) in Daning regulation and storage reservoir were lower than those in 2012-2014 (water from Hebei province), and the water from Danjiangkou reservoir played a key role in dilution and adjustment of the water from

收稿日期: 2016-07-10; 修订日期: 2016-11-20

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-EW-310)

作者简介: 徐华山(1977 ~), 男, 博士后, 副教授, 主要研究方向为流域污染物控制, E-mail: xuhuashan@mail.bnu.edu.cn

* 通信作者, E-mail: yfren@cees.ac.cn

Hebei province in Daning regulation and storage reservoir. The water quality differences test results between 2012-2014 and 2015 showed that there were significant differences ($P < 0.05$) in the nitrate nitrogen, total nitrogen, fluorine ion, sulfate and chloride ion both in flood season and non-flood season, and the water quality of 2015 was better than that of 2012 ~ 2014 in non-flood season, but the differences of pH, dissolved oxygen, permanganate index, total phosphorus, ammonia nitrogen were not obvious ($P < 0.05$). The difference test results between Daning regulation and storage reservoir and Daning surge tank showed that Permanganate index, total nitrogen, fluorine ion, sulfate and chloride ion had significant differences ($P < 0.05$) both in flood season and non-flood season, and the contents of permanganate index, fluorine ion, sulfate and chloride ions in Daning regulation and storage reservoir were higher than those in Daning surge tank. The factor analysis results indicated that water quality potential risk factors both in Daning regulation and storage reservoir and Daning surge tank were mainly nitrogen, including ammonia nitrogen, nitrate nitrogen and total nitrogen, and potential risk factors also included total phosphorus in Daning regulation and storage reservoir.

Key words: middle route of South-to-North Water Diversion; water quality; Daning regulation and storage reservoir; Daning surge tank; factor analysis

南水北调工程是实施我国水资源优化配置,改变南涝北旱和北方地区水资源严重短缺局面的跨世纪重大战略工程,可有效缓解京、津及华北地区的水资源危机^[1],对于提高城市供水保证率、改善城市水环境、保证经济社会可持续发展具有重要意义^[2]. 中线北京段水质更是关系到北京市生活用水安全和社会稳定. 目前大多数水质分析均集中于单个变量或者水质参数的定性讨论^[3],随着饮用水水质对公众健康影响和原水水质对水生生物作用被人们深刻理解,如何挖掘地表水质监测数据带来的潜在信息,科学地进行水质评估显得尤为重要^[4]. 多元统计技术如聚类分析、主成分分析、因子分析和判别分析,可以解释复杂的数据矩阵,获取更有用的水质信息^[5],更好地了解水体水质和水生态状况,识别影响流域水质的可能因素,是一种可信赖的水资源管理及快速解决水污染问题的工具^[6]. 十多年来,在国外多元统计技术被广泛地应用于分析和解释水质数据集,评估水质,了解水质时空变化,识别潜在污染源^[7~12],在国内也受到研究人员的青睐^[13~18],因子分析还常被用来识别重要的水质参数^[4,19],确定水体主要污染物.

北京市南水北调水质中心自南水北调中线京石段通水以来,一直跟踪监测北京市南水北调大宁管理处大宁调压池和大宁调蓄水库水质. 为全面掌握南水北调北京段水质变化,及时掌握受水区水环境状况,选取南水北调中线干线大宁调压池和北京市配套工程大宁调蓄水库为研究对象,对比分析不同水源来水水质综合质量状况,识别主要水质风险因子,以期在南水北调中线工程供水区和受水区水环境保护和水生态修复提供决策支持.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

北京是我国的政治、文化中心,人均水资源量

不足 300 m^3 ,仅为全国人均的 $1/8$,世界人均的 $1/32$,水资源严重短缺. 2008 年南水北调京石段建成通水,同年,位于海河流域的子牙河流域岗南水库、黄壁庄水库,大清河王快、西大洋和安各庄水库开始向北京市实施应急供水. 2014 年 12 月,丹江口水库开始向北京市供水,同时,河北省停止向北京市供水. 外水进京改变了北京市的水资源格局,成为北京水资源的重要组成部分. 大宁调蓄水库是南水北调中线干渠进入北京的首个调蓄水库,对提高北京市南水北调来水调蓄能力,保障城市供水安全,促进北京市西南地区发展有着重要意义. 大宁调蓄水库总库容 4611 万 m^3 ,非汛期最大可调蓄库容为 3753 万 m^3 ,汛期最大可调蓄库容为 1006 万 m^3 ,水域面积 220 万 m^2 (图 1).

1.2 数据来源及预处理

水质数据来源于北京市南水北调水质监测中心,监测点包括中线干线大宁调压池和北京市配套工程大宁调蓄水库,监测时间大宁调压池为 2008 ~ 2015 年,大宁调蓄水库为 2012 ~ 2015 年,监测频次 2014 年前不相对固定,每月不少 1 次,2014 ~ 2015 年每月 1 次. 其中 2008 ~ 2014 年以冀水为水源,来自河北省的岗南水库、黄壁庄水库、王快水库、西大洋和安各庄水库,2015 年水源为丹江口水库. 监测指标包括常规物理指标水温、pH,无机物指标氟离子、氰化物、氯离子、硫化物、硫酸盐、汞,有机物指标挥发酚、石油类、阴离子表面活性剂,耗氧指标溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量,营养盐指标氨氮、硝氮、总氮、总磷,金属离子指标铁、锰、铜、锌、硒、砷、镉、六价铬、铅和生物学指标粪大肠菌群共计 28 项. 氰化物、硫化物、挥发酚、石油类、阴离子表面活性剂、铁、锰、铜、锌、硒、砷、汞、镉、六价铬、铅和粪大肠菌群这 15 个水质指标,无论海河流域的子牙河、大清河还是长江流域的丹江口水库,均低于检测限,不再做统计分析.

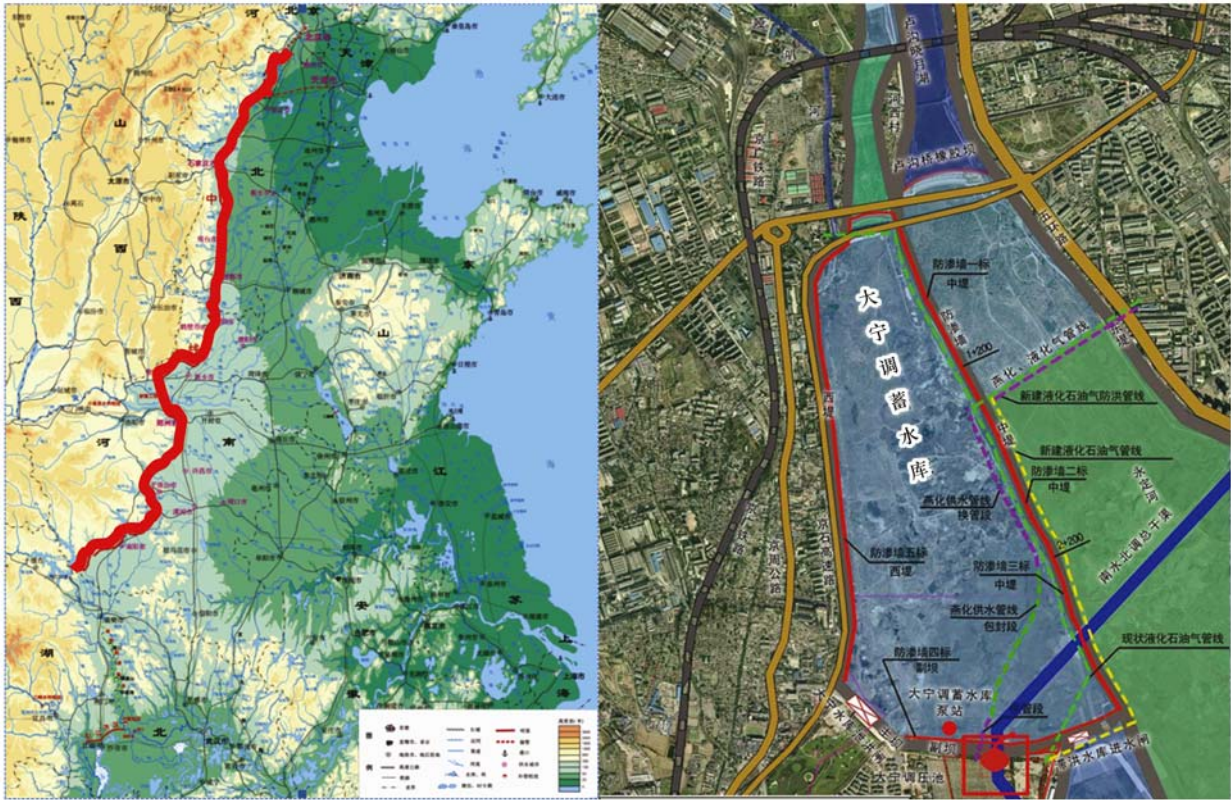


图1 研究区概况示意

Fig. 1 Schematic map of the study area

本文选取 pH 值、氟离子、氯离子、硫酸盐、溶解氧、高锰酸盐指数、氨氮、硝氮、总氮和总磷这 10 个指标分析。

1.3 基于多元统计分析技术的水质状况分析

采用方差分析法从不同角度分析北京南水北调来水水质差异,采用因子分析法识别大宁调压池和大宁调蓄水库的水质风险因子。方差分析是一种假设检验,把观测总变异的平方和自由度分解为对应不同变异来源的平方和和自由度,将某种控制因素所导致的系统误差和其他随机误差进行对比,检验多个样本均数间差异是否具有统计意义。本文采用 *t* 检验完成各组均值间的配对比较,对多重比较误差率不进行调整,即 Least-significant difference (LSD) 方法进行分析。

因子分析是一种数据简化技术,通过研究众多变量之间的内部依赖关系,探求观测数据之间的基本结构,并用少数几个独立的不可观测变量(因子)来表示其基本的数据结构,这几个假想变量(因子)能够反映原来众多变量的主要信息,原来的变量可以用这些提取出来的因子的线性组合表示。水质分析中常用因子分析提取污染因子对污染源定性识别^[7]。

本研究数据统一采用 Excel 2010 软件包、DPS 数据处理软件(14.50)包^[20]和 SPSS 20.0 软件包处理完成。

2 结果与讨论

2.1 调压池冀水和江水水质年内变化

2008 ~ 2014 年和 2015 年调压池全年 pH 值、溶解氧、高锰酸盐指数、氨氮、硝氮、总氮、总磷、氟离子、氯离子、硫酸盐含量变化如图 2 所示。从中可知,冀水和江水的 pH 在 8 ~ 9 之间,偏碱性。溶解氧大小作为衡量水质优劣的一项重要指标^[21],无论是江水还是冀水,全年均高于 7.5 mg·L⁻¹,2015 年 3 月江水的溶解氧高达 15.9 mg·L⁻¹,全年溶解氧都优于地表水 II 类水质标准,也远远高于大多数鱼类生存的限值 3 mg·L⁻¹^[22]。溶解氧浓度较高的主要原因包括两个方面,一是上游来水水质优良,水体中耗氧有机物含量较低,二是大距离长时间明渠输水,与空气充分接触,水体复氧速度快。全年 12 个月中,6 ~ 9 月低于其他月份,主要原因是 6 ~ 9 月水温较高,在氧气分压和含氧量一定时,溶解氧的饱和含量随水温的升高而降低,低温下溶解氧的饱和含量随温度的变化更加显著。高锰酸盐指数是地表

水体受有机物污染程度的综合指标,无论是冀水还是江水,高锰酸盐指数均低于地表水Ⅱ类标准限值($4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$). 氮磷是造成水体富营养化的主要因素,冀水中硝氮、总氮全年高于江水,4~8月氨氮含量冀水高于江水,全年江水总磷普遍低于冀水.

硫酸盐、氟离子、氯离子等指标反映了水体接

纳污染物的情况^[21],离子浓度越高,水体接纳的污染物越高. 全年中,冀水氟离子、硫酸盐及氯离子高于江水(图2).

2.2 调压池汛期和非汛期冀水、江水、江水和冀水水质差异性分析

为掌握冀水和江水的水质差异,分别比较冀水

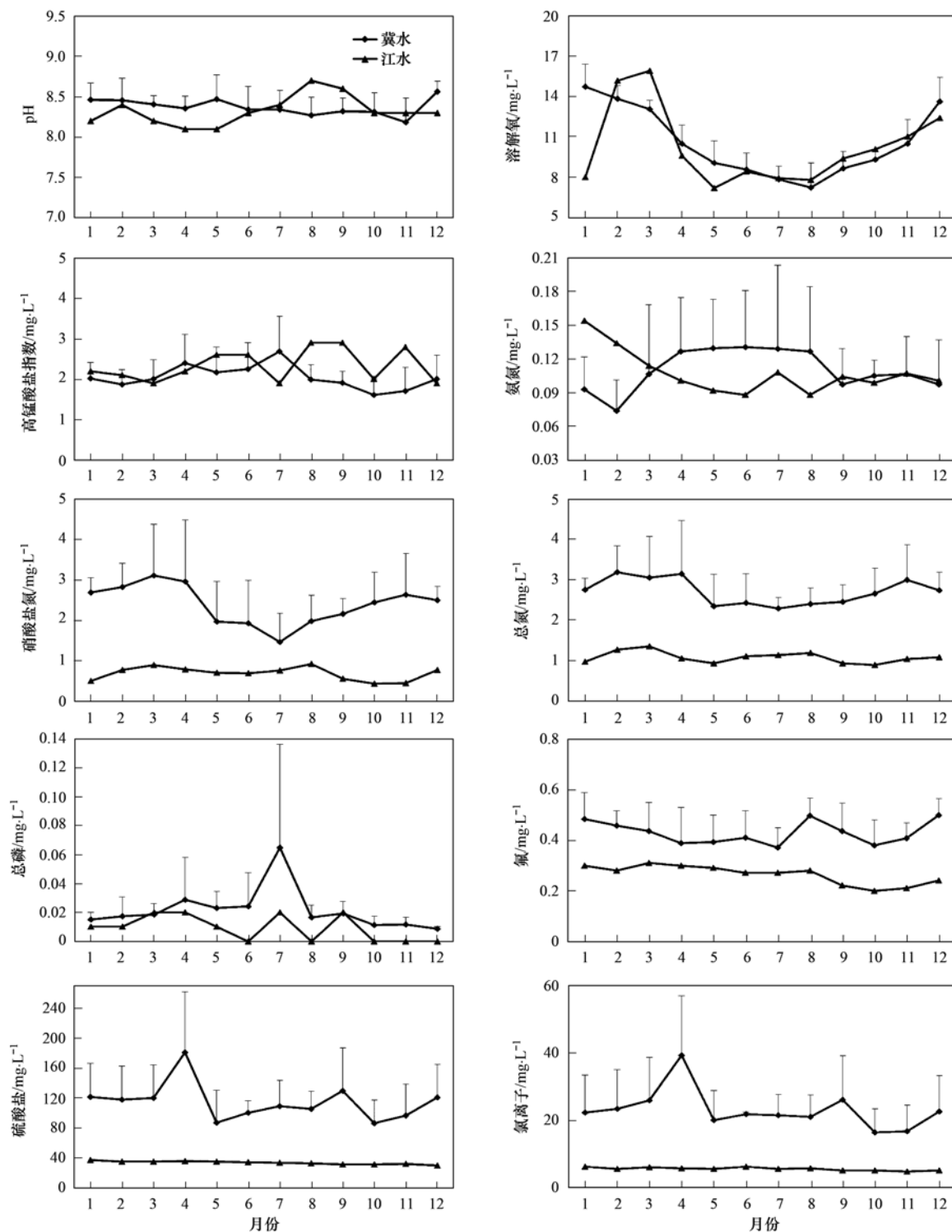


图2 调压池冀水和江水年内变化

Fig. 2 Water quality change of water from Hebei province and Danjiangkou reservoir in Daning surge tank

汛期和非汛期、江水汛期非汛期、冀水和江水汛期和非汛期之间的差异. 2008 ~ 2014 年冀水汛期和非汛期水质比较结果显示(表 1), 溶解氧、硝氮和总氮这 3 个指标汛期和非汛期差异性明显, 其他指标差异性不明显. 2015 年江水汛期和非汛期差异性检验结果显示, pH 差异性显著, 其他指标均不显著,

水质非常稳定.
冀水和江水汛期和非汛期 LSD 差异性检验结果均显示, pH、溶解氧、高锰酸盐指数、总磷、氨氮这 5 个指标上差异性不明显($P < 0.05$), 而硝氮、总氮、氟离子、硫酸盐及氯离子则存在显著性差异($P < 0.05$), 江水水质优于冀水水质.

表 1 调压池汛期非汛期水质差异性比较¹⁾
Table 1 Water quality difference comparison of Daning surge tank in flood season and non-flood season

对象	时期	pH	DO /mg·L ⁻¹	高锰酸盐指数 /mg·L ⁻¹	NO ₃ ⁻ -N /mg·L ⁻¹	NH ₄ ⁺ -N /mg·L ⁻¹
冀水(2008 ~ 2014 年)	汛期	8.318 ± 0.053 a	8.069 ± 0.339 b	2.211 ± 0.152 a	1.880 ± 0.202 b	0.121 ± 0.013 a
	非汛期	8.400 ± 0.041 a	11.726 ± 0.392 a	1.978 ± 0.097 a	2.639 ± 0.186 a	0.104 ± 0.007 a
江水(2015 年)	汛期	8.500 ± 0.091 a	8.375 ± 0.366 a	2.575 ± 0.236 a	0.726 ± 0.075 a	0.097 ± 0.005 a
	非汛期	8.238 ± 0.038 b	11.175 ± 1.115 a	2.213 ± 0.116 a	0.661 ± 0.063 a	0.113 ± 0.007 a
汛期冀水江水(2008 ~ 2014 年, 2015 年)	汛期冀水	8.319 ± 0.053 a	8.069 ± 0.339 a	2.211 ± 0.152 a	1.880 ± 0.202 a	0.121 ± 0.013 a
	汛期江水	8.500 ± 0.091 a	8.375 ± 0.366 a	2.575 ± 0.236 a	0.726 ± 0.075 b	0.097 ± 0.005 a
非汛期冀水江水(2008 ~ 2014 年, 2015 年)	非汛期冀水	8.400 ± 0.041 a	11.726 ± 0.392 a	1.978 ± 0.097 a	2.639 ± 0.186 a	0.104 ± 0.007 a
	非汛期江水	8.238 ± 0.038 a	11.175 ± 1.115 a	2.213 ± 0.116 a	0.661 ± 0.063 b	0.113 ± 0.007 a

对象	时期	TN /mg·L ⁻¹	TP /mg·L ⁻¹	F ⁻ /mg·L ⁻¹	SO ₄ ²⁻ /mg·L ⁻¹	Cl ⁻ /mg·L ⁻¹
冀水(2008 ~ 2014 年)	汛期	2.396 ± 0.112 a	0.033 ± 0.011 a	0.435 ± 0.024 a	111.080 ± 9.871 a	22.684 ± 2.110 a
	非汛期	2.806 ± 0.129 a	0.018 ± 0.003 a	0.421 ± 0.017 a	116.437 ± 10.413 a	23.375 ± 2.446 a
江水(2015 年)	汛期	1.094 ± 0.055 a	0.017 ± 0.003 a	0.260 ± 0.014 a	33.025 ± 0.681 a	5.650 ± 0.212 a
	非汛期	1.074 ± 0.057 a	0.014 ± 0.002 a	0.266 ± 0.015 a	33.838 ± 0.884 a	5.565 ± 0.178 a
汛期冀水江水(2008 ~ 2014 年, 2015 年)	汛期冀水	2.394 ± 0.112 a	0.033 ± 0.011 a	0.435 ± 0.024 a	111.080 ± 9.872 a	22.684 ± 2.110 a
	汛期江水	1.094 ± 0.055 b	0.017 ± 0.003 a	0.260 ± 0.014 b	33.025 ± 0.681 b	5.650 ± 0.212 b
非汛期冀水江水(2008 ~ 2014 年, 2015 年)	非汛期冀水	2.806 ± 0.129 a	0.018 ± 0.003 a	0.421 ± 0.017 a	116.437 ± 10.413 a	23.375 ± 2.446 a
	非汛期江水	1.074 ± 0.057 b	0.014 ± 0.002 a	0.266 ± 0.015 b	33.878 ± 0.884 b	8.565 ± 0.178 b

1) 同一对象同一列中, 具有相同字母平均数表示差异不显著, 不同字母平均数表示差异显著

2.3 大宁调蓄水库 2012 ~ 2014 年及 2015 年水质变化分析

2012 ~ 2014 和 2015 年水库水质年内变化如图 3 所示, 从中可知, 硝氮、总氮、硫酸盐及氯离子 2015 年(冀水 + 江水)全年均低于 2012 ~ 2014 年(冀水), 江水在水库对冀水起到了很好的稀释调节作用, 其他指标变化规律不明显(图 3).

2.4 大宁调蓄水库 2012 ~ 2014 年及 2015 年、汛期和非汛期水质差异性分析

为了解江水对冀水的调节改善作用, 对大宁调蓄水库 2012 ~ 2014 年及 2015 年 pH、硝氮等 10 项指标分汛期和非汛期进行 LSD 差异性检验, 结果如表 2 所示. 从中可知, 汛期和非汛期硝氮、总氮、氟离子、硫酸盐和氯离子均存在显著性差异($P < 0.05$), 2015 年水质优于 2012 ~ 2014 年水质, 其他 pH、溶解氧、高锰酸盐指数、总磷、氨氮这 5 个指

标差异性不明显($P < 0.05$)(表 2). 2008 ~ 2014 年的调压池水质和 2012 ~ 2014 年的水库水质汛期和非汛期比较结果显示高锰酸盐指数、总氮、氟离子、硫酸盐及氯离子差异性显著, 其中高锰酸盐、氟离子、硫酸盐和氯离子水库高于调压池, 可能与水库初次蓄水, 土壤中可溶性物质(无机盐)溶于水有关^[23], 总氮水库低于调压池, 水库对总氮起到一定的调节作用. 2008 ~ 2014 年调压池和 2012 ~ 2014 年水库汛期水质差异性检验结果显示, 高锰酸盐指数、总氮、氟离子、硫酸盐及氯离子差异性显著(表 2), 与非汛期结果一致. 大宁调蓄水库虽对总氮起到了一定的调节作用, 但需要引起重视的是, 汛期水库低水位运行, 同时上游来水减少, 水库补水量减小或者不补水时, 水体交换减缓, 需要密切关注水体水质变化, 防止水华发生, 影响供水水质.

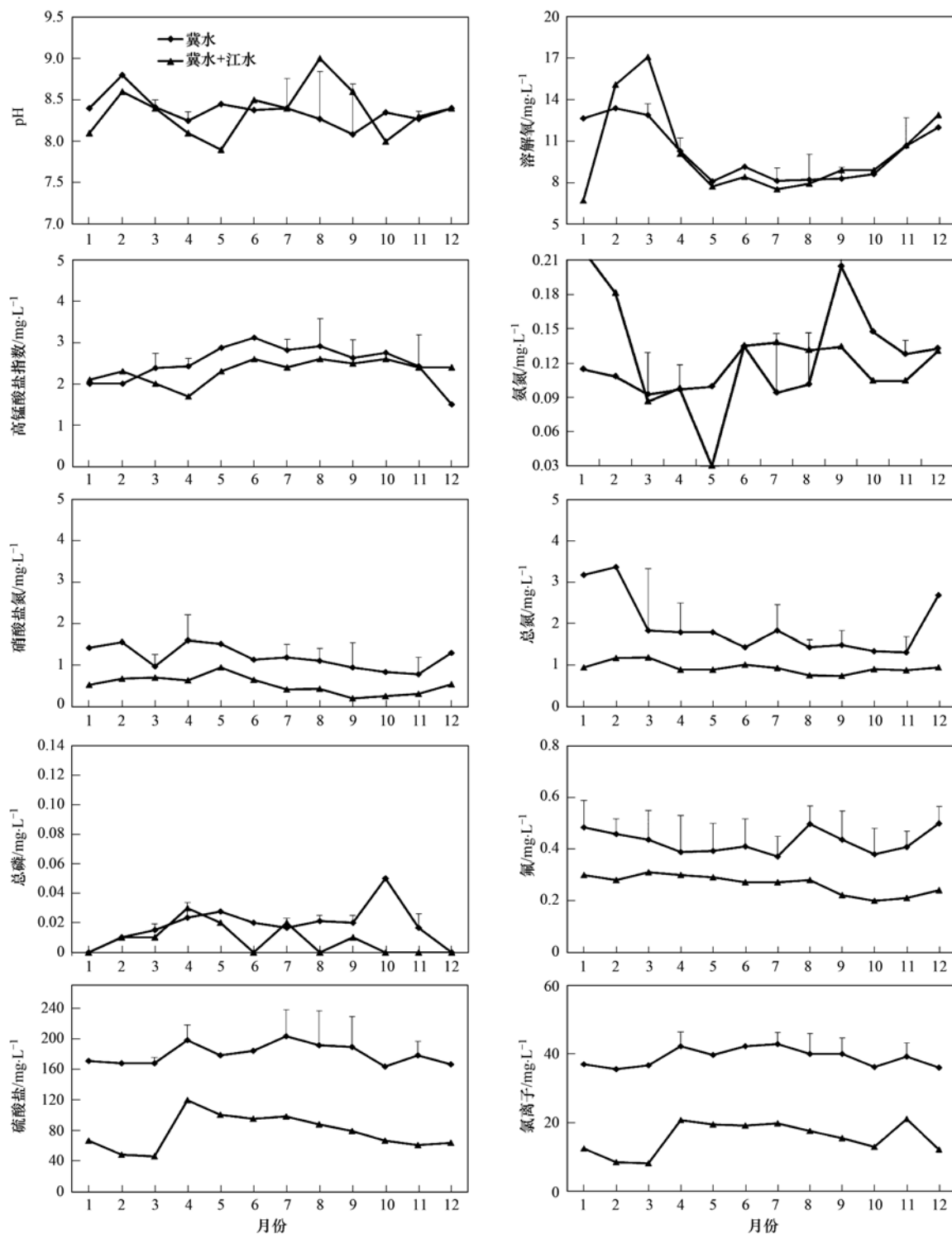


图3 水库冀水和冀水+江水年内变化

Fig. 3 Water quality change of water from Hebei province and mixture water of Danjiangkou reservoir and Hebei province in Daning regulation and storage reservoir

2.5 南水北调水质因子分析

为进一步了解南水北调来水及大宁调蓄水库蓄水水质主要污染物,采用因子分析法识别潜在风险因子。在进行因子分析前先进行 KMO 和巴特利球体检验, KMO 检验系数 >0.5 , $P < 0.05$ 时,表

示数据取自正态分布,变量之间的相关性得到认可,原始数据适合进行主成分分析^[24]。根据主成分分析法的具体步骤,对原始数据进行标准化消除量纲的影响,得到标准化数据,利用 SPSS 20.0 软件包分别计算特征值、主成分贡献率及累计贡

表 2 大宁水库汛期非汛期水质差异性比较

Table 2 Water quality difference comparison of Daning regulation and storage reservoir in flood season and non-flood season						
时期	对象	pH	DO /mg·L ⁻¹	高锰酸盐指数 /mg·L ⁻¹	NO ₃ ⁻ -N /mg·L ⁻¹	NH ₄ ⁺ -N /mg·L ⁻¹
汛期	2012~2014 年水库(冀水)	8.273±0.158 a	8.373±0.383 a	2.850±0.153 a	1.094±0.142 a	0.133±0.024 a
	2015 年水库(冀水+江水)	8.625±0.132 a	8.175±0.304 a	2.525±0.048 a	0.423±0.091 b	0.135±0.001 a
非汛期	2012~2014 年水库(冀水)	8.375±0.041 a	10.809±0.540 a	2.406±0.131 a	1.192±0.138 a	0.113±0.010 a
	2015 年水库(冀水+江水)	8.225±0.084 a	11.150±1.283 a	2.225±0.099 a	0.569±0.079 b	0.119±0.021 a
汛期	2008~2014 调压池(冀水)	8.319±0.053 a	8.069±0.339 a	2.144±0.205 b	1.604±0.205 a	0.121±0.013 a
	2012~2014 水库(冀水)	8.273±0.158 a	8.373±0.383 a	2.850±0.153 a	1.093±0.142 a	0.133±0.024 a
非汛期	2008~2014 调压池(冀水)	8.400±0.041 a	11.726±0.392 a	1.099±0.190 b	1.463±0.230 a	0.104±0.007 a
	2012~2014 水库(冀水)	8.375±0.041 a	10.809±0.540 a	2.406±0.313 a	1.192±0.138 a	0.113±0.009 a

时期	对象	TN /mg·L ⁻¹	TP /mg·L ⁻¹	F ⁻ /mg·L ⁻¹	SO ₄ ²⁻ /mg·L ⁻¹	Cl ⁻ /mg·L ⁻¹
汛期	2012~2014 年水库(冀水)	1.557±0.141 a	0.019±0.002 a	0.605±0.025 a	192.591±11.667 a	41.227±1.426 a
	2015 年水库(冀水+江水)	0.860±0.068 b	0.013±0.003 a	0.470±0.049 b	90.025±4.373 b	17.975±0.968 b
非汛期	2012~2014 年水库(冀水)	1.893±0.258 a	0.024±0.005 a	0.540±0.032 a	176.375±4.327 a	38.394±0.909 a
	2015 年水库(冀水+江水)	0.978±0.046 b	0.018±0.005 a	0.391±0.027 b	71.263±8.987 b	14.450±1.876 b
汛期	2008~2014 调压池(冀水)	2.359±0.126 a	0.034±0.011 a	0.420±0.024 b	111.080±9.872 b	22.684±2.110 b
	2012~2014 水库(冀水)	1.557±0.141 b	0.019±0.002 a	0.605±0.025 a	192.591±11.667 a	41.227±1.426 a
非汛期	2008~2014 调压池(冀水)	2.806±0.129 a	0.018±0.003 a	0.449±0.024 b	135.034±16.785 b	19.265±2.402 b
	2012~2014 水库(冀水)	1.893±0.258 b	0.024±0.005 a	0.540±0.032 a	176.375±4.327 a	38.394±0.909 a

献率、旋转因子载荷矩阵. KMO 和 Bartlett 检验结果如表 3 所示.

大宁调压池 2015 年水质 KMO 检验系数为 0.565,大宁调蓄水库水质监测数据 KMO 检验系数为 0.516, $P<0.05$,可以采用因子分析识别水体主要污染物.

根据主成分的累计贡献率达到 85% 即可保留原有水质参数的有效信息的原理,大宁调压池提取公因子 4 个(特征值 >1),累计贡献率为 85.45%,能反映原始数据的基本信息. 大宁调蓄水库提取公因子 4 个,累计贡献率为 84.22%(表 4),也能反映原始数据的基本信息.

采用最大方差法旋转后的因子载荷矩阵表明,影响大宁调压池水质(即丹江口水库来水水质)有 4 个主要因素,大宁调蓄水库有 5 个主要因素(表 4). Liu 等^[25]认为当因子载荷值分别为 >0.75 、 $0.75\sim0.5$ 和 $0.5\sim0.3$ 时,代表强相关、中度相关和弱相

关. 表 4 中仅列出强相关的水质指标,从中可知大宁调压池提取的 4 个公因子中,F1 的贡献率为 27.89%,其中因子载荷大于 0.75 的 3 个指标分别为硫酸盐(0.94)、氯离子(0.91)和氟离子(0.88),与 F1 呈强正相关关系. F2 的贡献率为 22.87%,与水温呈强正相关(0.95),与氨氮呈强负相关(-0.83). F3 的贡献率为 20.99,与总氮(0.93)和硝氮(0.85)呈强正相关. F4 与高锰酸盐指数(0.75)呈正相关,贡献率为 13.7%.

影响大宁调蓄水库水质的主要因素有 5 类,总氮(0.92)和硝氮(0.88)组成第一公共因子,占总贡献率的 22.18%,呈强正相关. F2 的贡献率为 21.97%,与氯离子(0.78)和硫酸盐(0.75)呈强正相关. F3 的贡献率为 17.03%,与 pH(0.90)和氨氮(0.75)呈强正相关. F4 的贡献率为 12.49%,与氟离子呈强正相关. F5 的贡献率为 10.56%,与总磷呈强正相关.

大宁调压池潜在污染因子有 4 类,大宁调蓄水库潜在污染因子有 5 类. 影响调压池水质的 4 类因子中,第二类和第三类为代表水体富营养化的氮元素指标,包括氨氮、硝氮和总氮;影响大宁调蓄水库水质的 5 类因子中,第一、第三和第五均为代表水体富营养化的水质指标,第一和第三为氮元素,包括总氮、硝氮和氨氮,第五为磷元素. 若水体中氮磷

表 3 KMO 和 Bartlett 的检验结果

Table 3 Results of KMO and Bartlett tests			
项目		大宁调压池	大宁调蓄水库
KMO		0.565	0.516
	近似卡方	103.552	160.785
Bartlett 检验	df	55	45
	Sig.	0.000	0.000

表 4 旋转因子载荷矩阵

Table 4 Matrix of rotated factor loadings

大宁调压池					大宁调蓄水库					
指标	成分				指标	成分				
	F1	F2	F3	F4		F1	F2	F3	F4	F5
硫酸盐	0.94				总氮	0.92				
氯离子	0.91				硝氮	0.88				
氟	0.88				氯离子		0.78			
水温		0.95			硫酸盐		0.75			
氨氮		-0.83			溶解氧					
溶解氧					高锰酸盐指数					
总氮			0.93		pH			0.90		
硝氮			0.85		氨氮			0.75		
高锰酸盐指数				0.75	氟				0.95	
pH					总磷					0.96
总磷										
特征值	4.06	2.25	1.96	1.13	特征值	3.22	2.17	1.29	0.96	0.77
贡献率/%	27.89	22.87	20.99	13.7	贡献率/%	22.18	21.97	17.03	12.49	10.56
累积贡献率/%	27.89	50.77	71.75	85.45	累积贡献率/%	22.18	44.15	61.18	73.66	84.22

元素较高,同时水温较高、水体流动慢等适宜条件下易引起水华,影响供水水质,威胁供水安全,需要密切关注.

3 结论

(1)南水北调中线北京段冀水全年硝氮、总氮、氟离子、氯离子、硫酸盐含量高于江水,江水水质优于冀水. 不论是冀水还是江水,通水以来水质均保持在地表水Ⅱ类水质以上(TN 不参评),是优良的饮用水水源.

(2)冀水溶解氧、硝氮和总氮,江水 pH 汛期和非汛期差异性显著($P < 0.05$),江水水质较冀水更为稳定. 无论在汛期还是在非汛期,江水和冀水在 pH、溶解氧、高锰酸盐指数、总磷、氨氮这 5 个指标上差异性不明显($P < 0.05$),而硝氮、总氮、氟离子、硫酸盐及氯离子则存在显著性差异($P < 0.05$).

(3)大宁调蓄水库硝氮、总氮、硫酸盐及氯离子含量 2015 年(冀水 + 江水)全年低于 2012 ~ 2014 年(冀水). 2012 ~ 2014 年及 2015 年水库汛期和非汛期水质差异性检验结果均显示,硝氮、总氮、氟离子、硫酸盐和氯离子存在显著性差异($P < 0.05$),非汛期水质 2015 年优于 2012 ~ 2014 年,其他 pH、溶解氧、高锰酸盐指数、总磷、氨氮这 5 个指标差异性不明显($P < 0.05$). 冀水在经水库调蓄后,汛期和非汛期高锰酸盐指数、总氮、氟离子、硫酸盐及氯离子差异性显著,高锰酸盐指数、氟离子、硫酸盐和氯离子水库高于调节池,总氮在经水库调

蓄后显著下降. 大宁调蓄水库发挥了调蓄水量和水质的双重作用.

(4)大宁调压池和大宁调蓄水库潜在水质风险因子主要是氮元素,包括氨氮、硝氮和总氮,大宁调蓄水库水质潜在风险因子还包括总磷.

参考文献:

[1] 李雨,王雪,周波,等. 中线调水前汉江中下游水量和水质本底特性及变化趋势分析[J]. 水文, 2015, **35**(5): 82-90.
Li Y, Wang X, Zhou B, *et al.* Characteristics and change trend of water quantity and quality in Middle and lower reaches of Hanjiang river before South-to-North water diversion running[J]. Journal of China Hydrology, 2015, **35**(5): 82-90.

[2] 孙福强,顾军农,赵顺萍,等. 丹江口水库与密云水库水质对比及对现行工艺的影响分析[J]. 给水排水, 2013, **39**(4): 39-43.
Sun F Q, Gu J N, Zhao S P, *et al.* The water quality comparison between Danjiangkou reservoir and Miyun reservoir and analysis of their impact on the current water quality treatment process [J]. Water & Wastewater Engineering, 2013, **39**(4): 39-43.

[3] Petersen W, Bertino L, Callies U, *et al.* Process identification by principal component analysis of river water-quality data[J]. Ecological Modelling, 2001, **138**(1-3): 193-213.

[4] Ouyang Y. Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis[J]. Water Research, 2005, **39**(12): 2621-2635.

[5] Zhao J, Fu G, Lei K, *et al.* Multivariate analysis of surface water quality in the Three Gorges area of China and implications for water management[J]. Journal of Environmental Sciences, 2011, **23**(9): 1460-1471.

[6] 徐华山,徐宗学,唐芳芳,等. 漳卫南运河流域水质时空变化特征及其污染源识别[J]. 环境科学, 2012, **33**(2): 359-369.
Xu H S, Xu Z X, Tang F F, *et al.* Spatiotemporal variation analysis and identification of water pollution sources in the Zhangweinan river basin[J]. Environmental Science, 2012, **33**

- (2): 359-369.
- [7] Shrestha S, Kazama F. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of the Fuji river basin, Japan[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2007, **22**(4): 464-475.
- [8] Varol M, Şen B. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of Behrimaz Stream, Turkey[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, **159**(1-4): 543-553.
- [9] Kannel P R, Lee S, Kanel S R, *et al.* Chemometric application in classification and assessment of monitoring locations of an urban river system[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2007, **582**(2): 390-399.
- [10] Sundaray S K, Panda U C, Nayak B B, *et al.* Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of the Mahanadi river-estuarine system (India)-a case study[J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2006, **28**(4): 317-330.
- [11] Sundaray S K. Application of multivariate statistical techniques in hydrogeochemical studies-a case study: Brahmani-Koel River (India)[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2010, **164**(1-4): 297-310.
- [12] Han S, Kim E, Kim S. The water quality management in the nakdong river watershed using multivariate statistical techniques[J]. *Ksce Journal of Civil Engineering*, 2009, **13**(2): 97-105.
- [13] 周丰, 郭怀成, 黄凯, 等. 基于多元统计方法的河流水质空间分析[J]. *水科学进展*, 2007, **18**(4): 544-551.
Zhou F, Guo H C, Huang K, *et al.* Multivariate statistical technique for spatial variation in river water quality[J]. *Advances in Water Science*, 2007, **18**(4): 544-551.
- [14] 卜红梅, 刘文治, 张全发. 多元统计方法在金水河水质时空变化分析中的应用[J]. *资源科学*, 2009, **31**(3): 429-434.
Bu H M, Liu W Z, Zhang Q F. Application of multiple statistical analysis to spatial-temporal variations of water quality of the Jinshui river[J]. *Resources Science*, 2009, **31**(3): 429-434.
- [15] Bu H M, Tan X, Li S Y, *et al.* Water quality assessment of the Jinshui River (China) using multivariate statistical techniques[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2010, **60**(8): 1631-1639.
- [16] 顾胜, 李思悦, 张全发. 汉江堵河流域地表水质时空变化特征[J]. *长江流域资源与环境*, 2009, **18**(1): 41-46.
Gu S, Li S Y, Zhang Q F. Spatial-temporal distribution of surface water quality in the Du river basin[J]. *Resources and Environment in the Yang tze Basin*, 2009, **18**(1): 41-46.
- [17] Li S Y, Zhang Q F. Spatial characterization of dissolved trace elements and heavy metals in the upper Han River (China) using multivariate statistical techniques[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, **176**(1-3): 579-588.
- [18] Zhang Q, Li Z W, Zeng G M, *et al.* Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques in red soil hilly region: a case study of Xiangjiang watershed, China[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, **152**(1-4): 123-131.
- [19] Noori R, Sabahi M S, Karbassi A R, *et al.* Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and variations in the data set[J]. *Desalination*, 2010, **260**(1-3): 129-136.
- [20] 唐启义. DPS 数据处理系统[M]. (第三版). 北京: 科学出版社, 2013.
Tang Q Y. DPS data processing system (3rd ed.)[M]. Beijing: Science Press, 2013.
- [21] 金树权, 吕军, 陈丁江, 等. 曹娥江三典型支流的水质对比研究[J]. *水土保持学报*, 2006, **20**(5): 121-125.
Jin S Q, Lv J, Chen D J, *et al.* Comparative study of water quality of three typical tributaries with in Cao-e river system[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, **20**(5): 121-125.
- [22] Chang H. Spatial and temporal variations of water quality in the han river and its tributaries, Seoul, Korea, 1993-2002[J]. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2005, **161**(1-4): 267-284.
- [23] 胡丽丽, 王玉智, 田振君. 引黄济淀输水水质变化规律分析[J]. *中国水利*, 2013, (S): 74-76.
Hu L L, Wang Y Z, Tian Z J. Analysis on variational rule of water quality of water diversion from Yellow River to Baiyang Lake[J]. *China Water Resources*, 2013, (S): 74-76.
- [24] 王晓丽, 刘畅, 关文玲. 基于主成分分析法的城市大气主要污染物关系研究[J]. *天津理工大学学报*, 2015, **31**(2): 20-23.
Wang X L, Liu C, Guan W L. Study on the relationship of city primary air pollutants based on principal component analysis method[J]. *Journal of Tianjin University of Technology*, 2015, **31**(2): 20-23.
- [25] Liu C W, Lin K H, Kuo Y M. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan[J]. *Science of the Total Environment*, 2003, **313**(1-3): 77-89.

CONTENTS

Dry and Bulk Nitrogen Deposition in Suburbs of Xining City	XU Wen, JIN Xin, LUO Shao-hui, <i>et al.</i> (1279)
Day-Night Variation and Source Apportionment of Carbonaceous Aerosols in PM ₁₀ During Spring and Summer of Lanzhou	MA Li, YU Ye, WANG Bo, <i>et al.</i> (1289)
Characteristics of the Size Distribution of Water Soluble Inorganic Ions in Sanya, Hainan	WANG Lu, LIU Zi-rui, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> (1298)
Pollution Characteristics of NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ in PM _{2.5} and Their Precursor Gases During 2015 in an Urban Area of Beijing	DING Meng-meng, ZHOU Jian-nan, LIU Bao-xian, <i>et al.</i> (1307)
Pollution Characteristics of PCDD/Fs in Ambient Air and Exposure Risk Assessment Around a Municipal Solid Waste Incinerator in Beijing	QI Li, REN Yue, LIU Ai-min, <i>et al.</i> (1317)
Community Characteristics of Cultivable Bacteria in Fine Particles (PM _{2.5}) of Beijing and Baoding	HU Ya-dong, MA An-zhou, LÜ Peng-yi, <i>et al.</i> (1327)
Emission Characteristics of Vehicle Exhaust in Artery and Collector Roads in Nanjing Based on Real-time Traffic Data	LI Xiao-yu, WU Lin, ZOU Chao, <i>et al.</i> (1340)
Catalytic Combustion of Soot Particulates over Rare Earth Pyrochlore Oxides Doped with Transition Metals	LI Xi-feng, SUN Yu-qi, WANG Zhong-peng, <i>et al.</i> (1348)
Water Quality Analysis of Beijing Segment of South-to-North Water Diversion Middle Route Project	XU Hua-shan, ZHAO Lei, SUN Hao-su, <i>et al.</i> (1357)
Hanfeng Pre-reservoir Commissioning Time Variation Feature of the Hydrology and Water Quality in Three Gorges Reservoir	YANG Bing, HE Bing-hui, WANG De-bao (1366)
Modeling of Water Quality Response to Land-use Patterns in Taizi River Basin Based on Partial Least Squares	LI Lin-lin, ZHANG Yi-zhang, TANG Chang-yuan, <i>et al.</i> (1376)
Distribution Characteristics of Water Temperature and Water Quality of Fuxian Lake During Thermal Stratification Period in Summer	WANG Lin-jie, YU Hui, NIU Yong, <i>et al.</i> (1384)
Vertical Stratification Characteristics of Dissolved Oxygen and Phytoplankton in Thousand-Island Lake and Their Influencing Factors	YU Yan, LIU De-fu, YANG Zheng-jian, <i>et al.</i> (1393)
Community Structure Characteristics of Eukaryotic Planktonic Algae in Liaoh River Through High-throughput Sequencing	WANG Jing-qi, WANG Shu-ping, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (1403)
Effects of Coastal Organic Pollution on Bacterioplankton Community in Sanmen Bay	DAI Wen-fang, GUO Yong-hao, YU Wei-na, <i>et al.</i> (1414)
Nitrate Source Identification and Nitrification-denitrification at the Sediment-water Interface	JIN Zan-fang, GONG Jia-lin, SHI Yi-li, <i>et al.</i> (1423)
Residues of Organochlorine Pesticides (OCPs) in Water and Sediments from Nansha Mangrove Wetland	DING Yang, HUANG Huan-fang, LI Hui, <i>et al.</i> (1431)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals from River Network Sediment in Western Area of Taihu Lake	BIAN Bo, ZHOU Yan, ZHANG Qin (1442)
Efficacy of Phoslock® on the Reduction of Sediment Phosphorus Release in West Lake, Hangzhou, China	ZHU Guang-wei, LI Jing, ZHU Meng-yuan, <i>et al.</i> (1451)
Identification and PAC Adsorption of Foulants Responsible for Irreversible Fouling During Ultrafiltration of Dongjiang River Water	YANG Hai-yan, WANG Can, YAN Zhong-sen, <i>et al.</i> (1460)
Efficiency and Kinetics of Triclosan Degradation in Aqueous Solution by UV/Sodium Persulfate	LI Qing-song, LI Xue-yan, YAO Ning-bo, <i>et al.</i> (1467)
Influencing Factors on the Degradation of PFOS Through VUV-SO ₃ ²⁻	HAN Hui-li, WANG Hong-jie, DONG Wen-yi (1477)
Simultaneous Photocatalytic Reduction of Cr(VI) and Oxidation of SSA by Carbon Nitride	LI Li-li, CHEN Cui-hai, LAN Hua-chun, <i>et al.</i> (1483)
Modification of Diatomite by Zirconium and Its Performance in Phosphate Removal from Water	FAN Yi, WANG Zhe, ZHAO Lian-qin, <i>et al.</i> (1490)
Reducing Effect of Three Disinfection Technologies for Sulfonamides Resistance Genes	ZHENG Ji, ZHOU Zhen-chao, CHEN Fang, <i>et al.</i> (1497)
Removal of Estrogenic Effect by Typical Domestic Wastewater Treatment Processes	ZHANG Qiu-ya, MA Xiao-yan, WANG Xiao-chang, <i>et al.</i> (1506)
Effect of SRT on Stability of Yeast-SBR in Treating Oil-containing Wastewater	LÜ Wen-zhou, ZHANG Shu-lin, QIAO Yu-xiang, <i>et al.</i> (1513)
Degradation of the Disperse Dye Neocron Black(NB) by Biological Treatment	YANG Bo, DING Feng-you, XU Hui, <i>et al.</i> (1520)
Function of Polyphosphate Kinase Gene in Biological Phosphate Removal During the Wastewater Treatment Process	NAN Ya-ping, ZHOU Guo-biao, YUAN Lin-jiang (1529)
Short-cut Nitrification Recovery and Its Transformation into CANON Process in a Biofilm Reactor	FU Kun-ming, ZHOU Hou-tian, SU Xue-ying, <i>et al.</i> (1536)
Nitrogen Removal Characteristics and Diversity of Microbial Community in ANAMMOX Reactor	CAO Yan, WANG Tong-yu, QIN Yu-jie, <i>et al.</i> (1544)
Effect of Environment Adjustment Layers on Nitrogen Transformation in Anaerobic Bioreactor Landfills	HE Zheng-kun, SONG Bo-yu, ZHU Nan-wen, <i>et al.</i> (1551)
Characteristics of Anaerobic Methane Removal Coupled to Fe(III) Reduction in Aged Refuse	WANG Li-li, HE Ting, LONG Yan, <i>et al.</i> (1558)
Assessment of Heavy Metal Pollution and Tracing Sources by Pb & Sr Isotope in the Soil Profile of Woodland in Quanzhou	SUN Jing-wei, YU Rui-lian, HU Gong-ren, <i>et al.</i> (1566)
Accumulation and Migration Characteristics in Soil Profiles and Bioavailability of Heavy Metals from Livestock Manure	HE Meng-yuan, DONG Tong-xi, RU Shu-hua, <i>et al.</i> (1576)
Pollution Characteristics and Source Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Agricultural Soils from Shandong	GE Wei, CHENG Qi-qi, CHAI Chao, <i>et al.</i> (1587)
Distribution Characteristics and Influencing Factors of Organophosphorus Pesticides in Typical Soil Environment of Jiangnan Plain	WANG Jian-wei, ZHANG Cai-xiang, PAN Zhen-zhen, <i>et al.</i> (1597)
Characteristics and Influencing Factors of Biologically-based Phosphorus Fractions in the Farmland Soil	CAI Guan, HU Ya-jun, WANG Ting-ting, <i>et al.</i> (1606)
Effect of Straw Application on the Dynamics of Exogenous Nitrogen and Microbial Activity in Paddy Soil	CHEN Shan, DING Xian-qing, ZHU Zhen-ke, <i>et al.</i> (1613)
Effects of Biochar on Surface Albedo and Soil Respiration in Suburban Agricultural Soil	ZHANG Yang-yang, HU Xue-yu, ZOU Juan, <i>et al.</i> (1622)
N ₂ O Consumption Ability of Submerged Paddy Soil and the Regulatory Mechanism	WANG Ling, XING Xiao-yi, QIN Hong-ling, <i>et al.</i> (1633)
Non-CO ₂ Greenhouse Gas Release from Different Biological Wastewater Treatment Processes	LI Hui-juan, PENG Dang-cong, LIU Wen-bo, <i>et al.</i> (1640)
Effect of Application of Sewage Sludge Composts on Greenhouse Gas Emissions in Soil	YANG Yu-han, YI Jian-ting, ZHANG Cheng, <i>et al.</i> (1647)
Effect of Nano Zeolites on pH, CEC in Soil and Cd Fractions in Plant and Soil at Different Cadmium Levels	CHI Sun-lin, XU Wei-hong, XIONG Shi-juan, <i>et al.</i> (1654)
Dynamic Differences of Uptake and Translocation of Exogenous Selenium by Different Crops and Its Mechanism	PENG Qin, LI Zhe, LIANG Dong-li, <i>et al.</i> (1667)
Alleviation Effects of Exogenous Melatonin on Ni Toxicity in Rice Seedlings	LIU Shi-xiang, HUANG Yi-zong, LUO Ze-jiao, <i>et al.</i> (1675)
Forms Distribution and Ecotoxicity of Three Forms of Sulfonamides in Root-Soil Interface of Maize	JIN Cai-xia, SI Xiao-wei, WANG Wan-feng, <i>et al.</i> (1683)
Effect of Sediments on Bioaccumulation of Mercury in Fish Body in the Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir Area	SUN Song, LI Chu-xian, ZHANG Cheng, <i>et al.</i> (1689)
Bioaccumulation and Correlation of Heavy Metals in Human Hairs From Urban and Rural Areas of Chongqing	HE Ming-jing, LI Qi, WANG Deng-xiang, <i>et al.</i> (1697)
Microbial Community Structure and Diversity in Cellar Water by 16S rRNA High-throughput Sequencing	YANG Hao, ZHANG Guo-zhen, YANG Xiao-ni, <i>et al.</i> (1704)
Performance Improvement of Microbial Fuel Cell with Polyaniline Doped Graphene Anode	HUANG Li-hua, LI Xiu-fen, REN Yue-ping, <i>et al.</i> (1717)
Brief Introduction of Pollution Sites Remediation and Risk Assessment and Its Policy Making in United States	RONG Yue (1726)