

辽宁省大伙房水库及入库河流水质空间特征与河库水质关系*

王 琼^{1,2}, 李法云^{1**}, 范志平¹, 胡莹莹³, 刘 杰⁴, 鞠文鹏⁵

(1: 辽宁石油化工大学生态环境研究院, 抚顺 113001)

(2: 湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128)

(3: 辽宁大学环境学院, 沈阳 110036)

(4: 辽宁老秃顶子国家级自然保护区抚顺管理局, 抚顺 113208)

(5: 辽宁省抚顺市林业科学研究所, 抚顺 113008)

摘 要: 入库河流与水库存在空间上的连续性, 河流污染物输入是水库水质恶化的主要原因, 对大伙房水库及其入库支流 61 个采样点的水质状况进行调查, 并运用聚类分析和主成分分析对大伙房水库及入库支流的水质空间特性和主要污染物进行分析。聚类分析显示, 按照水质相似性将大伙房水库及入库支流水质可分为上游区、下游区和库区 3 个典型空间区域。分别对 3 个区域进行主成分分析, 结果显示: 入库支流上游区和下游区水质主要影响因素为氨氮、总氮和化学需氧量, 库区影响水质的主要因素为温度、pH 值、浊度、溶解氧、电导率、氨氮和总氮。对上游、下游和库区水质均有显著影响的因子为氨氮和总氮, 上游区、下游区和库区氨氮浓度均值分别为 0.06、0.10 和 0.19 mg/L, 总氮浓度均值分别为 0.13、0.16 和 0.26 mg/L。入库河流下游区对水库水质影响较大, 受社河和浑河污染物输入的影响, 大伙房水库水质在空间上呈现社河入库区水质优于浑河入库区水质。并且库区氨氮和总氮浓度均与距岸边距离呈负相关, 溶解氧和 pH 值均与距入库口距离呈负相关, 表明入库河流污染物输入和环库区面源污染均对大伙房水库水质产生一定影响。

关键词: 水质; 大伙房水库; 入库支流; 聚类分析; 主成分分析

Spatial variations of water quality in Dahuofang Reservoir and its joint rivers, and the relationship of water quality between river and reservoir (Liaoning Province)

WANG Qiong^{1,2}, LI Fayun^{1**}, FAN Zhiping¹, HU Yingying³, LIU Jie⁴ & JU Wenpeng⁵

(1: Institute of Eco-environmental Sciences, Liaoning Shihua University, Fushun 113001, P.R. China)

(2: College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, P.R. China)

(3: School of Environmental Science, Liaoning University, Shenyang 110036, P.R. China)

(4: Fushun Authority of Liaoning Laotudingzi National Nature Reserve, Fushun 113208, P.R. China)

(5: Fushun Institute of Forestry, Fushun 113008, P.R. China)

Abstract: Reservoir and its joint rivers have good space continuity, and the deterioration of the reservoir water was caused by the input polluted river. In this paper, water quality was examined in 61 sampling sites in Dahuofang Reservoir and its joint rivers. Cluster analysis and principle component analysis (PCA) were used to analyze the spatial characteristics and major pollutants of water quality both in the reservoir and its joint rivers. Cluster analysis showed that the reservoir can be divided into 3 typical areas including upstream, downstream and reservoir on the basis of the similarity water quality. PCA indicated that water quality in upstream and downstream were mainly both affected by ammonia, total nitrogen and COD_{Cr}. In reservoir area, it was mainly affected by temperature, pH, turbid, dissolve oxygen, conductivity ammonia and total nitrogen. Ammonia and total nitrogen both had significant impact on water quality in upstream, downstream and reservoir, with the concentration of ammonia was 0.06, 0.10 and

* 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07505-001-01)、辽宁省自然科学基金项目(2014020108)、辽宁石油化工大学环境科学与工程学科创新团队([2014]11号)项目和辽宁石油化工大学科研启动项目(2014XJJ-013, 2014XJJ-014)联合资助. 2015-09-01 收稿; 2015-10-30 收修改稿. 王琼(1983~), 女, 博士研究生, 助理研究员; E-mail: wangqiong0407@163.com.

** 通信作者; E-mail: lifayun15@hotmail.com.

0.19 mg/L respectively, total nitrogen was 0.13, 0.16 and 0.26 mg/L respectively. Affected by the tributary inflow, the reservoir water quality had resulted in space difference, where Shehe bay is better than Hunhe bay. In Dahuofang Reservoir, the concentration of ammonia nitrogen and total nitrogen were negatively related with the distance to river bank. The concentration of dissolve oxygen and pH were negatively related with the distance to estuary. This indicated that the input amount of pollutant from joint river-sand non-point source pollution around the reservoir had a certain effect on water quality of Dahuofang Reservoir.

Keywords: Water quality; Dahuofang Reservoir; joint river; cluster analysis; principle component analysis

河流水质是流域生态系统健康评价的重要指标,是自然因素及人为活动对流域生态环境影响的综合体现^[1-3]. 近年来由于自然环境的变化及人类活动强烈干扰等综合作用的影响,水体污染日益严重^[4-5]. 工业废水、城镇生活污水等点源污染、畜禽养殖污染和农药化肥的过度施用,随地表径流和水土流失造成的非点源污染,严重影响水环境健康及社会经济的可持续发展^[6-9]. 水库与入库河流存在空间上的连续性^[10-12],随着河流输入水库的污染物逐年增大,越来越多的湖泊和水库面临着富营养化的问题^[13-14]. 控制入湖、入库河流输入湖泊(水库)的污染物总量,是目前控制水体富营养化、防止藻类水华暴发的最根本手段^[15-17]. 目前学者们就入库污染负荷状况开展了一些研究,如郑丙辉等应用基流分割对三峡水库入库污染负荷进行了估算^[18],杨尚等对大沙河水库氮磷营养输入进行分析^[19],陈能汪等以福建山仔水库为例研究河流氮磷输送对库区富营养化的影响^[20],但有关水库上游河流及库区污染物特征组成、空间分布及相关关系的详细报道仍不多见^[21-22]. 库区及其上游流域范围大、监测资料有限在一定程度上影响了对入库河流及库区水质进行客观、有效的评价.

大伙房水库位于辽宁省东北部,是辽宁省沈阳、抚顺、鞍山、大连等7座城市的生活饮用水水源地,作为区域内关键水源地,其水质健康状况极为重要^[23]. 大伙房水库入库河流主要包括浑河(清原段)、苏子河和社河,流域内以农业生产为主要经济来源,工业污染小,面源污染较严重. 丰水期由于降水的影响大量面源污染物被冲刷进河道,是污染物浓度增高的关键时期. 本研究于2012年8—9月对大伙房水库及入库支流61个采样点的水质状况进行调查,并运用聚类分析、方差分析和主成分分析的方法研究水质的空间分布及污染物特征组成,分析不同入库河流对库区水质的影响,为流域水生态管理和河库生态保护提供科学依据.

1 研究区概况

大伙房水库(41°41′10″~42°38′32″N, 123°39′42″~125°28′58″E)位于辽宁省东北部,水库东西长约35 km,水面最宽处达4 km,是兼具防洪、灌溉、供水等多种功能的水利枢纽工程,整个库区为集中式生活饮用水水源地一级保护区. 水库为辽宁省沈阳、抚顺、鞍山和大连等7座城市约2200万人口的主要水源地. 大伙房水库汇水区主要河流有浑河(清原段)、苏子河和社河3条河流. 浑河发源于清原县,从东至西贯穿抚顺全区,浑河在抚顺境内干流长度为207.5 km,流域面积7311 km²,水流于浑河上游清原北杂木处汇入大伙房水库. 苏子河发源于新宾满族自治县红升乡五凤楼,中途流经红升、新宾县城等乡镇,最终汇入大伙房水库,河长147 km,流域面积2230 km². 社河发源于抚顺县后安镇新开岭西侧,中途流经佟庄子、后安等村镇,水流于台沟处汇入大伙房水库,河长43 km,流域面积468 km². 区内多年平均降水量为650~800 mm,主要集中在7—8月,约占全年降水量的50%左右. 多年平均年水面蒸发量约为1100~1600 mm,平均相对湿度在65%~70%之间. 研究区内土地利用类型以林地和耕地为主,林地占总面积的62%,耕地占9.7%. 研究区主要土壤类型有暗棕壤、棕壤、草甸土、白浆土、沼泽土、水稻土6种土类,其中以棕壤分布最为广泛.

2 材料与方法

2.1 样品采集

于2012年8月12日—9月30日期间,在大伙房水库上游浑河、社河、苏子河流域内选取39个点位,大伙房水库库区选取22个点位进行调查采样(图1). 调查时用GPS定位仪确定监测点的经度、纬度和海拔高度.

2.2 样品分析方法

YSI多参数水质分析仪现场测定水温、pH值、溶解氧(DO)、电导率,浊度采用哈希便携式浊度仪(2100Q)测定. 同时采集1000 ml水样固定后放置于密封采样容器中置于4℃保温箱带回实验室,测定总氮

(TN)、总磷(TP)、氨氮(NH₃-N)、生化需氧量(BOD₅)、化学需氧量(COD_{Cr})和硅酸盐等化学指标. 水样的保存和预处理严格按照《水和废水监测分析方法》中的方法进行^[24]. 同时,为减小系统误差,以上样品均重复测定3次,数据分析过程中取其平均值.

2.3 数据分析

所有数据采用 SPSS 14.0、Origin 7.5 和 Excel 数据统计软件进行分析统计.

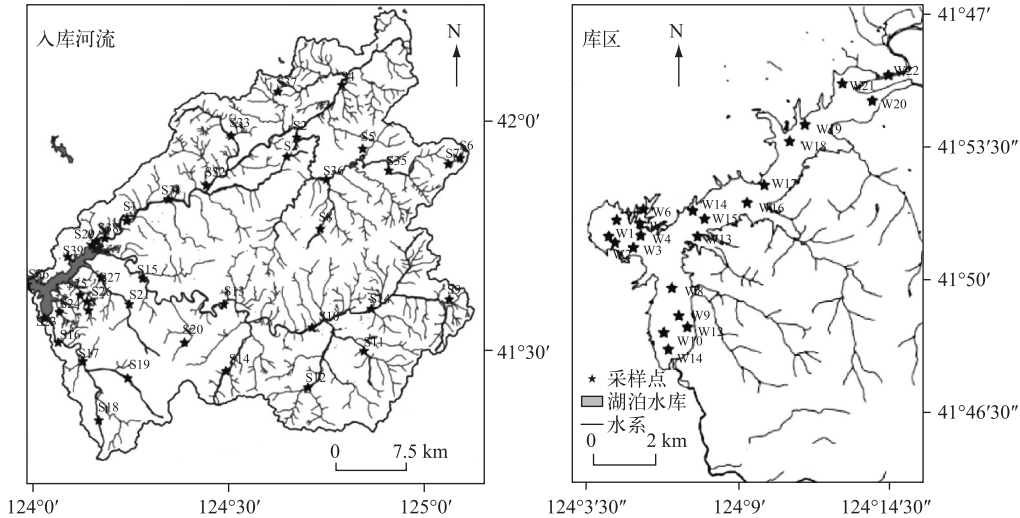


图1 大伙房水库及其入库河流采样点位
Fig.1 Location of observation stations in the Dahuofang Reservoir and its joint rivers

3 结果

3.1 大伙房水库入库河流及库区水质空间分布

基于水质指标的大伙房水库采样点聚类分析见图2. 欧姆距离大于20时可分为3组,组1包括:S1、S2、S3、S4、S8、S13、S15、S16、S17、S18、S20、S21、S22、S23、S24、S25、S26、S27、S28、S29、S30、S31、S32、S34、S37、S38和S39采样点,点位大多分布在入库河流下游地区. 组2采样点分布在库区,包括了库区所有点位. 组3包括:S5、S6、S7、S9、S10、S11、S12、S14、S19、S33、S35和S36采样点,点位大多分布在入库河流上游地区. 在欧姆距离大于25时,下游点位和库区点位聚为一类,可见二者水质相似性较大. 库区点位可分为2组,组1包括W2、W4、W5、W6、W7、W9、W10、W11、W12、W13、W14、W15、W18、W22采样点,点位大多分布在浑河入库区,组2包括W3、W8、W16、W19、W17、W21采样点,点位大多分布在社河入库区.

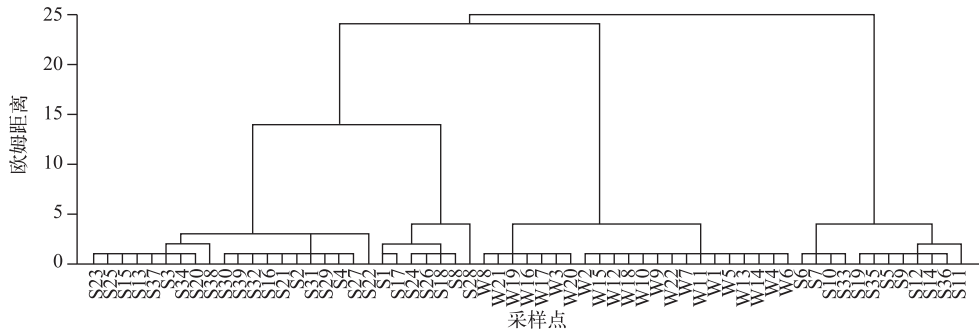


图2 基于水质指标的大伙房水库入库河流及库区采样点聚类分析
Fig.2 Cluster analysis of sampling sites in Dahuofang Reservoir and its joint rivers based on water quality indexes

表 1 大伙房水库入库河流上游、下游及库区水质方差分析¹⁾
Tab.1 One way ANOVA of water quality indexes of each sample site group in Dahuofang Reservoir and its joint rivers

水质指标	上游	下游	库区
	均值±标准差	均值±标准差	均值±标准差
温度/℃	17.12±0.74 ^a	20.17±0.46 ^b	16.06±0.10 ^a
pH 值	10.13±0.14 ^a	9.84±0.19 ^a	8.02±0.03 ^b
透明度/cm	8.35±0.11 ^a	8.45±0.11 ^a	122.73±5.10 ^b
浊度/NTU	23.75±0.44 ^a	20.56±0.62 ^b	5.18±0.15 ^c
溶解氧/(mg/L)	6.82±1.29 ^a	10.04±1.72 ^a	8.00±0.14 ^a
电导率/(μS/cm)	120.63±4.98 ^a	242.97±9.52 ^b	201.59±0.41 ^c
总磷/(mg/L)	0.01±0.00 ^a	0.02±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a
氨氮/(mg/L)	0.06±0.01 ^a	0.10±0.02 ^a	0.19±0.03 ^b
COD _{Cr} /(mg/L)	23.02±0.88 ^a	21.04±1.06 ^{ab}	19.53±0.26 ^b
总氮/(mg/L)	0.13±0.01 ^a	0.16±0.03 ^a	0.26±0.03 ^b
BOD ₅ /(mg/L)	3.11±0.41 ^a	2.53±0.27 ^a	2.10±0.12 ^b
硅酸盐/(mg/L)	9.90±0.25 ^a	11.61±0.49 ^b	9.45±0.30 ^a

1) 同行间上标不同字母表示处理间差异显著, $P<0.05$.

氨氮浓度均值分别为 0.06、0.10 和 0.19 mg/L,总氮浓度均值分别为 0.13、0.16 和 0.26 mg/L. 溶解氧和总磷浓度各组没有显著差异,上游、下游、库区溶解氧浓度均值分别为 6.82、10.04 和 8.00 mg/L,总磷浓度均值分别为 0.01、0.02 和 0.01 mg/L,均符合国家Ⅰ类地表水环境标准. 库区 COD_{Cr}和 BOD₅显著小于上游 ($P<0.05$),库区 COD_{Cr}符合国家Ⅱ类地表水环境标准, BOD₅符合国家Ⅰ类地表水环境标准,上游、下游 COD_{Cr}符合国家Ⅲ类地表水环境标准, BOD₅符合国家Ⅱ类地表水环境标准,上游、下游、库区 COD_{Cr}浓度均值分别为 23.02、21.04 和 19.53 mg/L, BOD₅浓度均值分别为 3.11、2.53 和 2.10 mg/L(表 1).

3.3 入库河流上游、下游及库区水质主成分分析

大伙房水库入库河流及库区采样点各组的主成分分析见表 2 和图 3. 在上游采样点中,前 4 个主成分的

表 2 大伙房水库及入库河流采样点水质指标的主成分分析*

Tab.2 Principle component analysis of each sample site group in Dahuofang Reservoir and its joint rivers

水质指标	上游				下游				库区			
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
温度	0.46	0.65	0.37	-0.31	-0.56	-0.15	-0.01	0.57	-0.74	-0.34	-0.05	0.11
pH 值	0.41	0.60	-0.32	0.52	-0.48	0.24	0.68	-0.09	0.75	-0.12	0.41	0.13
透明度	0.48	0.51	0.62	0.20	-0.67	0.42	0.42	0.20	0.55	-0.04	-0.51	0.30
浊度	-0.86	-0.22	0.42	-0.05	-0.58	0.04	-0.37	0.28	-0.82	-0.17	0.31	-0.10
溶解氧	0.41	0.09	-0.64	0.50	0.74	-0.37	0.10	-0.12	0.87	-0.11	0.32	-0.11
电导率	0.40	-0.28	0.55	0.48	0.01	-0.46	0.74	0.09	0.29	0.71	-0.02	-0.23
总磷	-0.44	0.72	0.14	-0.09	0.60	0.31	-0.01	0.54	-0.24	0.10	0.28	-0.60
氨氮	0.93	-0.16	-0.03	-0.28	0.85	-0.23	0.12	0.16	-0.22	0.88	0.17	0.30
COD _{Cr}	0.84	-0.38	0.22	-0.08	0.19	0.75	0.05	-0.41	0.15	-0.32	0.50	0.69
总氮	0.88	-0.08	0.13	0.17	0.83	-0.26	0.14	0.15	-0.24	0.89	0.17	0.32
BOD ₅	0.93	-0.14	-0.02	-0.22	0.65	0.60	0.08	0.03	0.21	0.00	0.64	-0.30
硅酸盐	0.37	0.22	-0.33	-0.70	0.45	0.68	0.06	0.30	-0.53	-0.18	0.27	0.28
贡献率/%	43.55	16.25	14.22	12.90	35.89	18.42	11.54	8.90	28.66	19.78	12.39	11.65
累积贡献率/%	43.55	59.81	74.03	86.93	35.89	54.31	65.86	74.76	28.66	48.44	60.83	72.48

* 字体加黑表示因子负荷大于 0.7.

累计方差贡献率达到 86.93%, 超过 80%。第 1 主成分解释了总方差的 43.55%, 具有较高因子负荷的变量为浊度、氨氮、总氮、 COD_{Cr} 、 BOD_5 , 第 2 主成分解释了总方差的 16.25%, 具有较高因子负荷的变量为总磷。下游采样点中, 前 4 个主成分的累计方差贡献率达到 74.76%, 第 1 主成分解释了总方差的 35.89%, 具有较高因子负荷的变量为溶解氧、氨氮、总氮, 第 2 主成分解释了总方差的 18.42%, 具有较高因子负荷的变量为 COD_{Cr} , 第 3 主成分解释了总方差的 11.54%, 具有较高因子负荷的变量为电导率。库区采样点中, 前 4 个主成分的累计方差贡献率达到 72.48%, 第 1 主成分解释了总方差的 28.66%, 具有较高因子负荷的变量为温度、pH 值、浊度、溶解氧, 第 2 主成分解释了总方差的 19.78%, 具有较高因子负荷的变量为电导率、氨氮和总氮。

3.4 入库河流下水质对库区的影响

聚类分析中欧姆距离大于 25 时, 下游点位和库区点位聚为一类, 可见入库河流下水质对水库影响较大, 而库区又可聚为浑河入库区、社河入库区两类, 说明浑河和社河下水质对库区有较大影响。社河水体中氨氮、总氮、 BOD_5 、总磷浓度低于浑河, 相应的社河入库区氨氮、总氮、 BOD_5 、总磷浓度也低于浑河入库区(图 4), 但从单因素方差分析来看差异不显著($P>0.05$)。库区氨氮、总氮浓度高于入库河流, 其中浑河入库区氨氮和总氮浓度显著高于河流($P<0.05$)。库区总磷、 BOD_5 和 COD_{Cr} 浓度低于入库河流, 其中浑河入库区 COD_{Cr} 显著低于河流($P<0.05$)。

3.5 库区水质与岸边和入库口距离的关系

大伙房水库氨氮和总氮受环库区面源污染的影响较大, 库区水体中氨氮和总氮浓度与采样点位距岸边距离呈线性相关, 且存在区域差异性(图 5)。社河口附近、浑河口附近和出库口附近点位与距岸边距离的线性方程斜率和截距均不同。距岸边距离分别能解释社河口、浑河口和出库口附近点位氨氮浓度变化的 82.5%、53.4% 和 75.4% ($R^2=0.825$ 、0.534、0.754), 解释总氮浓度变化的 76.9%、62.7% 和 90.4% ($R^2=0.769$ 、0.627 和 0.904)。浑河口附近点位氨氮、总氮与距岸边距离拟合的直线斜率较小, 说明随距岸边距离增加氨氮、总氮浓度变小的幅度较缓慢, 社河口附近点位次之, 出库口附近点位氨氮、总氮与距岸边距离拟合的直线斜率最大, 说明随距岸边距离增加氨氮、总氮浓度变化较快。库区水体中溶解氧和 pH 值与采样点位距入库口距离呈线性相关, 区域差异性不显著(图 6), 溶解氧和 pH 值都随距入库口距离增加而逐渐减小。距入库口距离分别能解释溶解氧浓度和 pH 值变化的 79.2% 和 55.4% ($R^2=0.792$ 、0.554)。

4 讨论

4.1 大伙房水库入库河流及库区水质空间特征分析

由聚类分析结果可见, 当欧姆距离大于 20 时, 可聚为上游、下游和库区 3 类, 这 3 类水质的差异表现为上游优于下游优于库区。上游水质优于下游主要与河流流经的区域环境相关。浑河、苏子河上游地区多为小村镇, 人口密度相对较小, 人为干扰较少, 土地利用类型以林地为主, 占总面积的 62%, 植被覆盖率高, 水土流失少, 水质较好。下游地区人口密度和耕地面积均有增加, 人类活动、化肥农药的使用致使下游水质变差。人类活动是导致河流水质恶化的主要因素之一^[25-27], 通过生活污水、生活垃圾直接造成河流水质污染^[28]。土地利用方式是影响水质的另一重要因素, 耕地对水质影响与林地不同主要是由于耕地中农药、化肥的过量使用, 不合理的农业灌溉, 造成的农业面源污染对河流水质污染的影响^[29-31]。下水水质优于库区, 主要表现为库区氨氮、总氮和总磷浓度较高。因为采样时间 8—9 月为水库丰水期, 降水较多, 受到雨水和径流冲刷带来的陆源污染负荷影响较大, 库区不仅接受来自主要入库河流的污染物, 还受到环库区小流域及

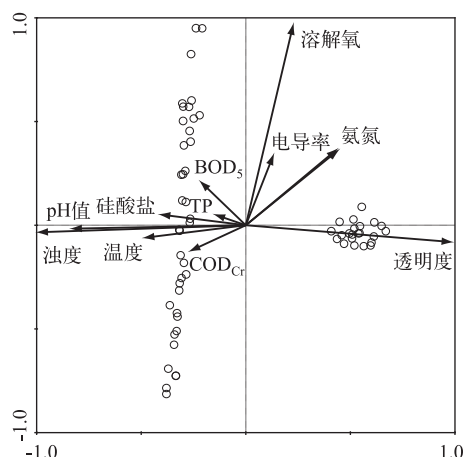


图 3 采样点水质的主成分分析

Fig.3 Principle component analysis of each sampling site

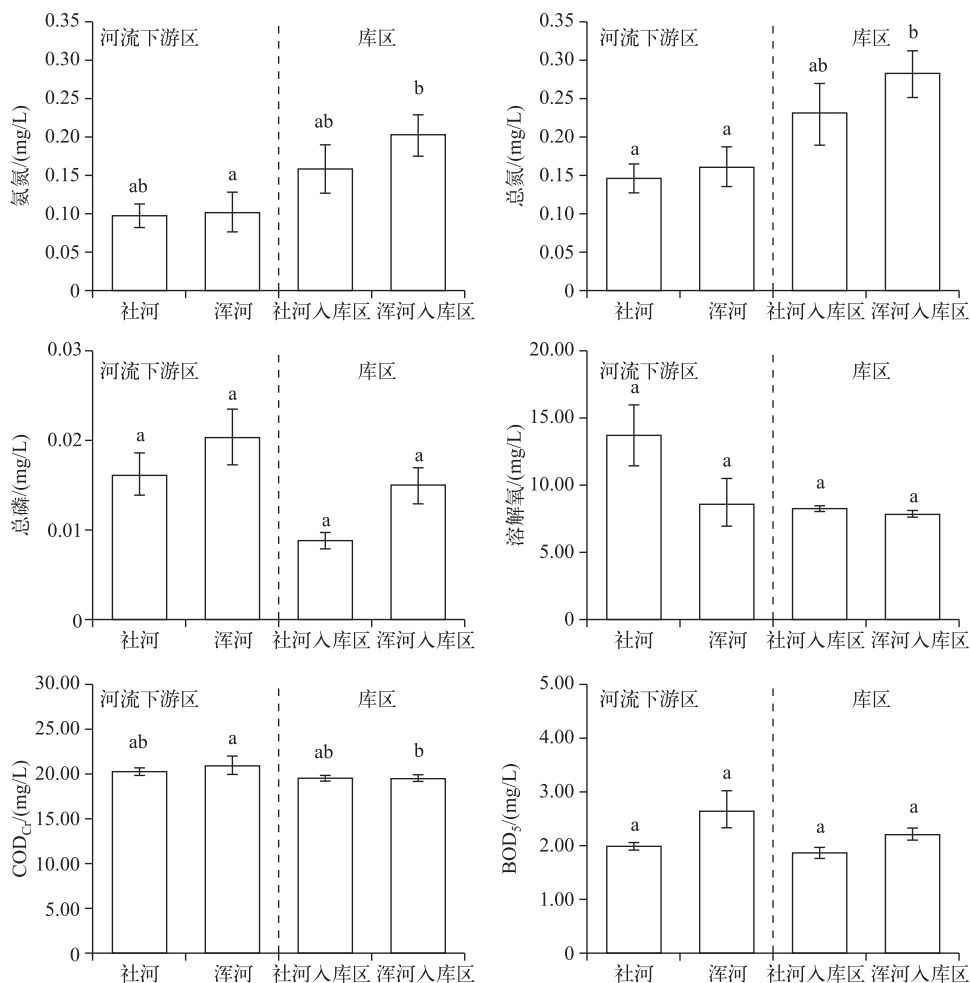


图4 入库河流下游区和库区水质状况

Fig.4 The water quality in river downstream and reservoir

地表径流携带的面源污染的影响,水库丰水期水质较差也是典型的面源污染特点.

4.2 大伙房水库入库河流及库区主要污染物分析

受到降雨、土地利用类型、植被多样性,以及污染物的迁移、转化、生物吸收等因素的影响,大伙房水库入库河流上、下游、库区水质的主要影响因子也存在一定的差异. 入库河流上游采样点中浊度、氨氮、总氮、COD_{Cr}、BOD₅、总磷具有较高因子负荷,为水体主要污染物,下游采样点中溶解氧、氨氮、总氮、COD_{Cr}为影响水质的主要因素. 入库河流上游和下游的主要影响因素较为相近,都包括了氨氮、总氮、COD_{Cr},反映该区域水质变化的主要影响因素为农业面源污染和生活污水. 库区采样点中温度、pH 值、浊度、溶解氧、电导率、氨氮和总氮是影响水质的主要因素,这些因素同时也是藻类、细菌和微生物繁殖的必要条件,是影响库区水体富营养化的主要因素,当总磷、总氮等营养盐相对充足,水流缓慢,水温适宜时即可发生藻类疯长、水体呈现富营养化现象^[32-34]. COD_{Cr}、BOD₅均不是大伙房水库的主要污染物,主要由于大伙房水库上游流域以农业生产为主要经济来源,工业污染较小.

4.3 库区水质影响因素分析

水库库区是受入库河流和环库区生境综合影响的复杂生态系统,河流进入库区后流速减缓,污染物沉积、转化,并且库区水体与环库区间也进行着复杂的物理、化学、生物过程^[33,35],使库区水体污染物的结构组

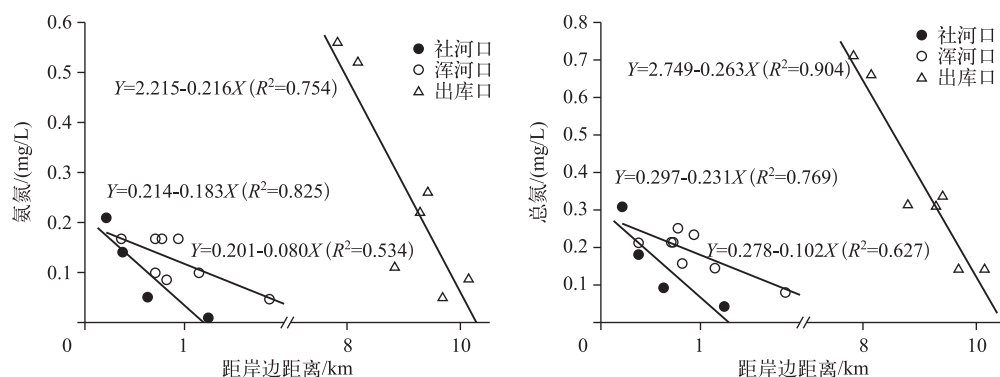


图 5 氨氮、总氮浓度与距岸边距离的关系

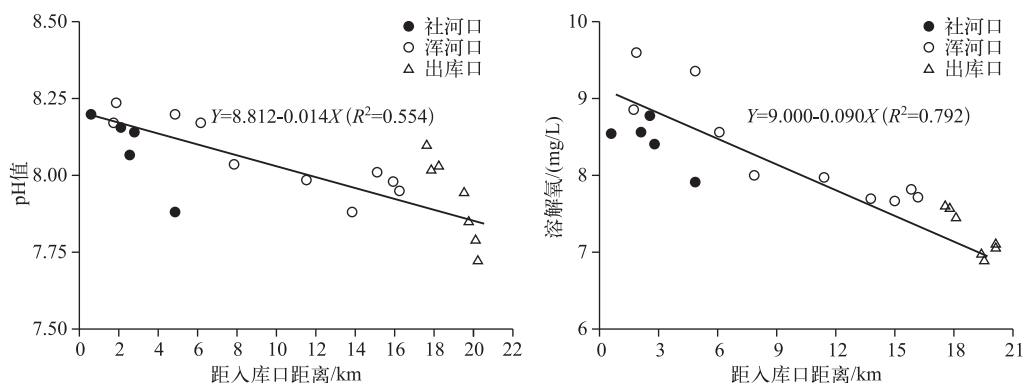
Fig.5 The relationship between $\text{NH}_3\text{-N}$, TN concentrations and the distance from reservoir bank

图 6 pH 值、溶解氧与距入库口距离的关系

Fig.6 The relationship between pH, DO and the distance from estuary

成和空间分布上具有独特特征。本研究中大伙房水库库区在空间上可分为 2 类,一类为社河入库区,另一类为浑河入库区,入库区水质也与相应的入库河流水质有相同的趋势,库区水质主要影响因子溶解氧、pH 值、 COD_{Cr} 、 BOD_5 等都小于入库河流,并且溶解氧和 pH 值都随距入库口距离增加而逐渐减小,距入库口距离分别能解释溶解氧浓度和 pH 值变化的 79.2%和 55.4%,可见入库河流对库区水质有较大影响。陈能汪等对福建山仔水库的研究也发现,入库河流携带的氮磷是库区水体氮磷的主要来源,河流氮、磷输送通量分别占总入库通量的 62%和 89%^[20]。郑丙辉等对三峡水库的研究也发现,长江干流对入库污染负荷的贡献占绝对优势,嘉陵江、乌江的污染总贡献率仅占 13.14%~39.14%^[18]。本研究大伙房水库库区氨氮、总氮平均值高于入库河流,这主要由于丰水期降雨增加使环库区面源污染进入库区。对库区水体中氨氮和总氮浓度与采样点位距岸边距离进行拟合,呈现线性相关关系,社河入库区、浑河入库区和出库区点位距岸边距离分别能解释氨氮浓度变化的 82.5%、53.4%和 75.4%,解释总氮浓度变化的 76.9%、62.7%和 90.4%,可见库区氨氮、总氮受到环库区面源污染影响较大。

4.4 大伙房水库及入库河流分区管理建议

近年来,我国水环境有关的研究机构、学者和管理部门均非常关注水质目标管理的理论与技术发展,开展了以“分区、分级、分类、分期”理念为指导的水生态功能分区管理目标研究。本文针对大伙房水库及入库河流水质的空间分布和污染物特征组成,结合“十二五”水专项中辽河流域水生态功能分区成果^[36],为大伙房水库及入库河流生态环境管理提出如下建议:(1)入库河流上游区,影响水质的主要因素为浊度、氨氮、

总氮、 COD_{Cr} 、 BOD_5 和总磷,其中氨氮、总氮和总磷浓度符合国家Ⅰ类地表水环境标准,说明上游区水质较好,在辽河流域水生态功能分区中,这部分区域属于苏子河和浑河源头水源涵养水生态功能区,其生态管理措施重点为保护水源涵养林,加强水土流失防治,保证生态流量,减少人为因素的干扰。(2)入库河流下游区,影响水质的主要因素为溶解氧、氨氮、总氮、 COD_{Cr} ,虽然氨氮和总氮浓度仍符合国家Ⅰ类地表水环境标准,但有明显增高的趋势,这部分区域属于大伙房水库水文调蓄水生态功能区,应结合该区域农业面源污染增大、人口增多的特点,合理布置农田面积,减少城镇及农村生活污水直排,发展生态农业,调整林业结构,提高森林生态系统功能。(3)库区影响水质的主要因素为温度、pH值、浊度、溶解氧、电导率、氨氮和总氮,其中氨氮和总氮浓度达到国家Ⅱ类地表水环境标准,其主要影响因素为河流的输入和环库区面源污染的影响,应在河口区恢复和新建湿地,净化入库水质,并保证库滨带植被完整性,发挥植被的污染物消减能力,改善库区水环境质量。

5 结论

1)大伙房水库及入库河流在空间上分为上游区、下游区和库区能较好地反映3种不同水质状态。上游区影响水质的主要因素为浊度、氨氮、总氮、 COD_{Cr} 、 BOD_5 和总磷,下游区影响水质的主要因素为溶解氧、氨氮、总氮、 COD_{Cr} ,库区影响水质的主要因素为温度、pH值、浊度、溶解氧、电导率、氨氮和总氮。对上游、下游和库区水质均有显著影响的因子是总氮和氨氮,氨氮浓度均值分别为0.06、0.10和0.19 mg/L,总氮浓度均值分别为0.13、0.16和0.26 mg/L。

2)入库河流下游区对水库水质影响较大,社河下游水质优于浑河下游水质,受入库河流污染物的输送,库区水质在空间上也分为两个区域,社河入库区和浑河入库区,同样水质也呈现社河入库区水质优于浑河入库区水质。

3)库区氨氮、总氮平均值高于入库河流,溶解氧、pH值、 COD_{Cr} 、 BOD_5 低于入库河流,并且库区氨氮和总氮浓度随距岸边距离增大而减小,溶解氧和pH值随距入库口距离增大而减小。分析其原因主要是受环库区面源污染的影响,也与库区流速减缓、污染物沉积、转化有一定的联系。

4)针对目前大伙房水库及入库河流水质差异性特点,水环境管理重点是对入库河流上游应保持现有自然环境,减少人为干扰;入库河流下游应控制农业面源污染、城镇及农村生活污水的排放;库区应建立河口湿地,恢复库滨带植被。这样不同区域污染特征,建立有针对性的管理方案,达到改善改善大伙房水库及入库河流水环境质量的目標。

6 参考文献

- [1] Chen H, Sun C, Wu Y. Analysis of trend of nutrient structure and influencing factors in Changjiang Estuary and its adjacent sea during 23 years. *Marine Environmental Science*, 2011, **30**(4): 551-553.
- [2] Xu Peng, Gao Wei, Zhou Feng *et al.* New approach to assess the aquatic effects of watershed socio-economic development and its application in Lake Nansihu. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2013, **33**(8): 2285-2295 (in Chinese with English abstract). [徐鹏, 高伟, 周丰等. 流域社会经济的水环境效应评估新方法及其在南四湖的应用. 环境科学学报, 2013, **33**(8): 2285-2295.]
- [3] Liao Jingqiu, Cao Xiaofeng. Basin-scale aquatic ecosystem health assessment with composite indices of chemistry and aquatic biota: A case study of Lake Dianchi. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2014, **34**(7): 1845-1852 (in Chinese with English abstract). [廖静秋, 曹晓峰. 基于化学与生物复合指标的流域水生态系统健康评价——以滇池为例. 环境科学学报, 2014, **34**(7): 1845-1852.]
- [4] Nixon SW. Eutrophication and the macroscope. *Hydrobiologia*, 2009, **629**(1): 5-19.
- [5] Du Xing, Xu Dong. An empirical research on the relationship between water environment and economic development in Liaohhe River watershed. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, **35**(6): 1955-1960 (in Chinese with English abstract). [杜鑫, 许东. 辽河流域辽宁段水环境演变与流域经济发展的关系. 生态学报, 2015, **35**(6): 1955-1960.]
- [6] Mvungi A, Hranova RK, Love D. Impact of home industries on water quality in a tributary of the Marimba River, Harare: implications for urban water management. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2003, **28**(20-27): 1131-1137.

- [7] Nikanorov AM. National monitoring of land surface water pollution and perspectives of its development. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2010, **35**(1): 20-26.
- [8] Shah K, Sharma PK, Nandi I *et al.* Water sustainability: reforming water management in new global era of climate change. *Environmental Science and Pollution Research*, 2014, **21**(19): 11603-11604.
- [9] Li Yan, Bi Jianlin, Wang Lishuo *et al.* Effect of storm runoff on the water quality of urban rivers with unconventional water sources. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2015, **35**(2): 443-448(in Chinese with English abstract). [李延, 毕见霖, 王立硕等. 暴雨径流对非常规水源补给城市河流水质冲击研究. 环境科学学报, 2015, **35**(2): 443-448.]
- [10] Vonnote RL, Minshall GW, Cummins KW *et al.* The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1980, **37**(1): 130-137.
- [11] Li Hengpeng, Chen Weimin. Reduction of nitrogen and phosphorus emission and zoning management targeting at water quality of lake or reservoir systems: A case study of Shahe Reservoir within Tianmuhu Reservoir area. *J Lake Sci*, 2013, **25**(6): 785-798(in Chinese with English abstract). DOI 10.18307/2013.0602. [李恒鹏, 陈伟民. 基于水库水质目标的流域氮、磷减排与分区管理——以天目湖沙河水库为例. 湖泊科学, 2013, **25**(6): 785-798.]
- [12] Xia Yu, Yan Bangyou, Fang Yu. Nutrient loading and its controlling factors in Le'an River watershed, Lake Poyang Basin. *J Lake Sci*, 2015, **27**(2): 282-288(in Chinese with English abstract). DOI 10.18307/2015.0212. [夏雨, 鄢帮有, 方豫. 鄱阳湖区乐安河流域营养盐负荷影响因素分析. 湖泊科学, 2015, **27**(2): 282-288.]
- [13] Shang GP, Shang JC. Spatial and temporal variations of eutrophication in western Chaohu Lake, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2007, **130**(1/2/3): 99-109.
- [14] Chuai X, Chen X, Yang L *et al.* Effects of climatic changes and anthropogenic activities on lake eutrophication in different ecoregions. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2011, **9**(3): 503-514.
- [15] Jiang C, Fan X, Cui G *et al.* Removal of agricultural non-point source pollutants by ditch wetlands: implications for lake eutrophication control. *Hydrobiologia*, 2007, **581**(1): 319-327.
- [16] Wang H, Wang H. Mitigation of lake eutrophication: Loosen nitrogen control and focus on phosphorus abatement. *Progress in Natural Science*, 2009, **19**(10): 1445-1451.
- [17] Waters MN, Golladay SW, Patrick CH *et al.* The potential effects of river regulation and watershed land use on sediment characteristics and lake primary producers in a large reservoir. *Hydrobiologia*, 2015, **749**(1): 15-30.
- [18] Zheng Binghui, Wang Lijing, Gong Bin. Load of non-point source pollutants from upstream rivers into Three Gorges Reservoir. *Research of Environmental Sciences*, 2009, **22**(2): 125-131(in Chinese with English abstract). [郑丙辉, 王丽婧, 龚斌. 三峡水库上游河流入库面源污染负荷研究. 环境科学研究, 2009, **22**(2): 125-131.]
- [19] Yang Shang, Luo Liancong, Zhai Haitao. Analysis on inputs of nitrogen and phosphorous from the main inflow rivers of Dashahe Reservoir. *Ecologic Science*, 2013, **32**(2): 158-164(in Chinese with English abstract). [杨尚, 罗激葱, 翟海涛. 大沙河水库主要入库河流氮磷营养输入分析. 生态科学, 2013, **32**(2): 158-164.]
- [20] Chen Nengwang, Wu Yinqi, Zhang Yuzhen *et al.* Linking watershed nutrient loads and riverine export to reservoir eutrophication: The case of Shanzai Reservoir, Fujian Province. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, **32**(9): 1862-1869(in Chinese with English abstract). [陈能汪, 吴殷琪, 张玉珍等. 流域氮磷输出、河流输送与库区富营养化关联分析——以福建山仔水库为例. 农业环境科学学报, 2013, **32**(9): 1862-1869.]
- [21] Li Kun, Li Zhaohua, Chen Hongbing *et al.* Spatial variations of the water quality in Jianhe River of Wudang Mountain in the upper reaches of Danjiangkou Reservoir. *J Lake Sci*, 2013, **25**(5): 649-654(in Chinese with English abstract). DOI 10.18307/2013.0505. [李昆, 李兆华, 陈红兵等. 丹江口水库上游武当山剑河水质空间差异性分析. 湖泊科学, 2013, **25**(5): 649-654.]
- [22] Wan Rongrong, Yang Guishan, Wang Xiaolong *et al.* Progress of research on the relationship between the Yangtze River and its connected lakes in the middle reaches. *J Lake Sci*, 2014, **26**(1): 1-8(in Chinese with English abstract). DOI 10.18307/2014.0101. [万荣荣, 杨桂山, 王晓龙等. 长江中游通江湖泊江湖关系研究进展. 湖泊科学, 2014, **26**(1): 1-8.]
- [23] Ship Yuqiang, Liu Jiandong, Jin Yongmin *et al.* Water quality assessment of health risks of Dahuofang Reservoir. *Environmental Monitoring in China*, 2013, **29**(3): 60-64(in Chinese with English abstract). [史玉强, 刘建东, 金永民等. 辽宁大伙房水库水质健康风险评估. 中国环境监测, 2013, **29**(3): 60-64.]
- [24] Wei Fusheng. Determination methods for examination of water and wastewater (Version 4). Beijing: China Environmental

- Science Press, 2002. [魏复盛. 水和废水监测分析方法; 第4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.]
- [25] 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. *Journal of Environmental Sciences*, 2011, **23**(9): 1460-1471.
- [26] Sun Jinhua, Cao Xiaofeng, Huang Yi. Relationships between spatial-temporal trends of water quality and the human activities in Lake Dianchi. *J Lake Sci*, 2012, **24**(3): 347-354 (in Chinese with English abstract). DOI 10.18307/2012.0304. [孙金华, 曹晓峰, 黄艺. 滇池水质时空特征及与流域人类活动的关系. 湖泊科学, 2012, **24**(3): 347-354.]
- [27] Bao Shanshan, Li Chongwei, Wang Zuwei *et al.* Relationship between spatial variation of nitrogen and phosphorus in water and landscape pattern in Yuqiao Reservoir Basin, Tianjin. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, **33**(8): 1609-1616 (in Chinese with English abstract). [包姗姗, 李崇巍, 王祖伟等. 天津于桥水库流域水体氮磷空间分异与景观格局的关系. 农业环境科学学报, 2014, **33**(8): 1609-1616.]
- [28] Ou Y, Wang X. GIS and ordination techniques for studying influence of watershed characteristics on river water quality. *Water Science and Technology*, 2011, **64**(4): 861-870.
- [29] Fedorko EJ, Pontius RG, Aldrich SP *et al.* Spatial distribution of land type in regression models of pollutant loading. *The Biological Bulletin*, 2004, **207**(2): 173.
- [30] Bahar MM, Ohmori H, Yamamuro M. Relationship between river water quality and land use in a small river basin running through the urbanizing area of Central Japan. *Limnology*, 2008, **9**(1): 19-26.
- [31] Arheimer B, Liden R. Nitrogen and phosphorus concentrations from agricultural catchments influence of spatial and temporal variables. *Journal of Hydrology*, 2000, **227**(1): 140-159.
- [32] Qin Boqiang, Zhu Guangwei. Occurrence, cycle and exchange characteristics of nutrients in lake water and sediments of the middle and lower reaches of Yangtze River. *Science in China: Series D*, 2005, **S2**: 1-10 (in Chinese with English abstract). [秦伯强, 朱广伟. 长江中下游地区湖泊水和沉积物中营养盐的赋存、循环及其交换特征. 中国科学: D辑: 地球科学, 2005, **S2**: 1-10.]
- [33] Zhang Sheng, Song Dan, Zhang Ke *et al.* Trophic status analysis of the upper stream and backwater area in typical tributaries, Three Gorges Reservoir. *J Lake Sci*, 2010, **22**(2): 201-207 (in Chinese with English abstract). DOI 10.18307/2010.0208. [张晟, 宋丹, 张可等. 三峡水库典型支流上游区和回水区营养状态分析. 湖泊科学, 2010, **22**(2): 201-207.]
- [34] Yang Zhengjian, Liu Defu, Ji Daobin *et al.* Influence of the impounding process of the Three Gorges Reservoir up to water level 172.5 m on water eutrophication in the Xiangxi Bay. *Science China: Series E: Technology Science*, 2010, **40**(4): 358-369. DOI 10.1007/s11431-009-0387-7. [杨正健, 刘德富, 纪道斌等. 三峡水库 172.5m 蓄水过程对香溪河库湾水体富营养化的影响. 中国科学: E辑: 技术科学, 2010, **40**(4): 358-369.]
- [35] Luo Zhuanxi, Zhu Bo, Zheng Binghui *et al.* Nitrogen and phosphorus loadings in branch backwater reaches and the reverse effects in the main stream in Three Gorges Reservoir. *China Environmental Science*, 2007, **27**(2): 208-212 (in Chinese with English abstract). [罗专溪, 朱波, 郑丙辉等. 三峡水库支流回水河段氮磷负荷与干流的逆向影响. 中国环境科学, 2007, **27**(2): 208-212.]
- [36] Li Fayun, Fan Zhiping, Zhang Bo *et al.* An index system and a technical method for the first level aquatic ecoregion in the Liaohe River basin. *Journal of Meteorology and Environment*, 2012, **28**(5): 83-89 (in Chinese with English abstract). [李法云, 范志平, 张博等. 辽河流域水生生态功能一级分区指标体系与技术方法. 气象与环境学报, 2012, **28**(5): 83-89.]