

汤浦水库及入库支流水质时空变化特征与影响因素分析

施练东¹, 竺维佳¹, 胡菊香², 余博识¹, 方 勇¹, 李嗣新²

(1. 汤浦水库有限公司, 浙江上虞 312364;

2. 水利部中国科学院水工程生态研究所, 水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室, 武汉 430079)

摘要: 运用聚类分析和主成分分析对汤浦水库及入库支流水质时空特性进行了分析。聚类分析显示, 按照水质相似性将汤浦水库水质可分为支流、支流入库库湾、水库库中3个典型空间区域和持续强降雨、雨季、非雨季3个季节时段。主成分分析显示: (1) 北溪和南溪2条主要入库支流下游水质主要受到上游城镇的污染排放影响; 支流入库库湾水质由于流速减缓, 上游排放中的某些污染物成为关键因子, 如富营养化状态、藻类的繁殖和有机污染成为该区域水质变化的主因; 水库库中水质则主要受到随季节波动的库区初级生产力状况和无机盐的影响。 (2) 6月份, 因持续强降雨, 水库水质主要受到高强度的雨水和径流冲刷带来的陆源性污染负荷影响; 5、7和8月降雨季节, 水库水质主要特征表现为温度上升带来的藻类繁殖、细菌等微生物硝化作用增强; 1-4月和9-12月非雨季, 水库水质主要受到气象因子和水位的双重影响。

关键词: 水质; 汤浦水库; 聚类分析; 主成分分析

中图分类号: X132 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2013)05-0009-07

供水型水库原水水质的好坏, 直接关系到供水地区人民的身体健康, 水库水质状况为地方政府和相关主管部门所重点关注。水库原水质量既受到降雨、汇流等自然过程的影响, 又受到渐为频繁的人类活动如城镇化、工业和农业活动影响。因此, 需要长期、连续的水质监测以实时预防预测水质性缺水问题发生。由于水质监测的指标多, 数据量大, 数据的整理与收集往往变得相对容易, 而归纳分析却相对困难, 如何分析和评价高频率、多站点、多指标的水质数据是水库管理者的首要任务。

多元统计方法如聚类分析、主成分分析、因子分析、判别分析等有助于解释水质中大量的、复杂的数据, 这在国外已有大量的研究报道 (Simeonov 等, 2003; Boyacioglu, 2006; Shrestha 等, 2007; Altm 等, 2009; Yerel, 2010)。多元统计方法的介入能更好的理解研究区域的水质和生态状况, 并识别可能的潜在污染源, 为相关主管部门的水资源管理提供技术支持 (Ouyang 等, 2006; Zhang 等, 2009)。

近年来, 国内也陆续报道了不少运用多元统计分析评价水质的研究 (丁春和盛周君, 2007; 蔡金傍

等, 2007; 伊元荣等, 2008; 方红卫等, 2009; 欧阳勇等, 2012), 主要的统计方法如主成分分析在我国水域水质评价上得到了运用。水质变量在主成分中载荷高低反映了它对主成分的贡献, 高载荷水质变量有助于简化和提取影响该区域水质变化的主导因素。但大多数研究依据主成分得分评价水质好坏程度 (丁春和盛周君, 2007; 欧阳勇等, 2012), 对统计分析中主成分中高载荷水质指标的主导因素进行深入分析的研究并不多 (叶麟等, 2003), 对水质时空特性的同步分析也较少, 在我国仍需深入研究。

汤浦水库位于我国经济发达地区的浙江省, 是一座以供水为主要功能的大型饮用水源水库 (池仕运等, 2012)。本文使用聚类分析和主成分分析法2种主要的多元统计方法探讨汤浦水库水质时空变化特征和主导水库不同水质状态的因素, 以期为逐月监测的大量数据进行科学分析与合理评价, 供相关水资源管理部门参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

汤浦水库处在曹娥江支流的小舜江流域绍兴县与上虞市的交界处, 坝址位于上虞市汤浦镇, 北溪、南溪、王化溪3条主要的溪流汇入水库。水库于2001年建成, 是以供水为主, 兼顾防洪的大型饮用水源地水库。库区水面面积近15 km², 控制流域集雨面积460 km², 总库容量2.35亿 m³, 多年平均年

收稿日期: 2013-03-11

基金项目: 绍兴市重点社会发展科研项目 (2011A23005), 国家自然科学基金项目 (51209148), 武汉市青年科技晨光计划项目 (201150431108)。

通讯作者: 李嗣新。E-mail: lisixin@mail.ihe.ac.cn

作者简介: 施练东, 1978年生, 男, 高级工程师, 主要从事水资源管理与生态保护工作。E-mail: liandongs@sina.com

径流量 3.66 亿 m^3 , 多年平均供水量 27 820 万 m^3 。库区属亚热带季风性气候区, 是中亚热带与北亚热带的过渡区, 温暖湿润, 四季分明, 光照充足, 雨量丰沛。流域多年平均降雨量 1 564 mm, 降水量年际变化大, 且年内分配极不均匀, 3-9 月雨量约占全年降水量的 80%。

1.2 样品采集与分析

在汤浦水库库区设置了 8 个采样点 (图 1)。1 号点 (北溪) 位于北溪下游, 2 号点 (南溪) 位于南溪下游, 3 号点 (双江溪) 位于双江溪入库库湾, 4 号点 (王化溪) 位于王化溪入库库湾, 5 号点 (托潭) 位于库尾, 6 号点 (库中) 和 7 号点 (宅阳) 位于库区中部, 8 号点 (取水口) 位于库首。

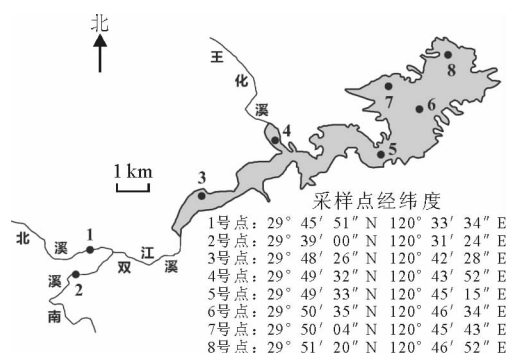


图 1 汤浦水库采样点分布

Fig. 1 Geographical distribution of sampling sites in Tangpu Reservoir

采样时间为 2011 年 1 月至 12 月, 采样及检测方法参照水环境监测规范 (SL219-98) (长江流域水环境监测中心等, 1998)。使用有机玻璃采水器采集水面下 2、8 和 20 m 的混合水样, 一部分水质指标使用便携式仪器进行现场测定。混合水样采集后带回实验室尽快分析, 记录数据。分析检测指标包括水温、pH、溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量 (COD_{Cr})、五日生化需氧量 (BOD_5)、氨氮 (以 N 计)、总磷 (以 P 计)、总氮 (以 N 计)、铜、锌、氟化物 (以 F^- 计)、硒、砷、汞、镉、铬 (6 价)、铅、氰化物、挥发酚、石油类、阴离子合成洗涤剂、硫化物、粪大肠菌群、硫酸盐 (以 SO_4^{2-} 计)、氯化物 (以 Cl^- 计)、硝酸盐 (以 N 计)、铁、锰、色度 (铂钴标准)、叶绿素 a、藻体总数、总有机碳、菌落总数、亚硝酸盐氮 (以 N 计)、电导率 (25℃)、磷酸盐共计 37 项。

1.3 数据统计分析

所有数据的分析处理使用统计软件 IBM SPSS Statistics (Version 21)。参考水环境监测规范 (SL219-98), 低于检测限的水质指标在统计分析处

理时取该项指标检测限的半值。为了消除各类水质指标量纲的影响, 首先在 SPSS 软件中对原始数据进行 Z-Score 标准化处理, 然后对汤浦水库 12 个监测时段和 8 个监测地点的大量水质指标分别进行聚类分析和主成分分析。

在不能确定类别的情况下, 聚类分析采用系统聚类法。计算类间距离采用离差平方和法, 即 Ward 法, 该方法在各种类间距离计算方法中是使各类别中的离差平方和较小而不同类别之间的离差平方和较大的一种方法, 广泛使用于符合正态分布规律的野外调查数据分析。与计算类间距离的 Ward 法相对应, 区间距离采用平方欧氏 (Euclidean) 距离。在实测的 37 项水质指标中, 有 9 项指标 (硒、砷、汞、镉、氰化物、挥发酚、石油类、阴离子合成洗涤剂、硫化物) 在所有监测时段和点位均处于检测限以下水平, 因此在聚类分析中代入具有统计分析意义的其他 28 项水质指标。

对聚类分析后产生的各个组进行主成分分析, 提取每组数据中引起水质变化的主成分 (各个主成分累计贡献率达到 80%, 特征值大于 1)。主成分分析中因子载荷分为强、中、弱 3 种, 分别对应的数值为 >0.75 、 $0.75 \sim 0.50$ 和 $0.50 \sim 0.30$ (Liu 等, 2003)。本文选取因子载荷大于 0.75 的水质变量进行解释和讨论。

2 结果与分析

2.1 汤浦水库水质空间分布

2.1.1 采样点水质聚类分析 基于水质指标的汤浦水库采样点聚类分析见图 2。如果分为 2 组, 1 组包括 1 号和 2 号采样点, 2 组包括 3~8 号采样点; 如果分为 3 组, 1 组只有 1 号采样点, 2 组只有 2 号采样点, 3 组包括 3~8 号采样点; 如果分为 4 组, 1 组只有 1 号采样点, 2 组只有 2 号采样点, 3 组包括

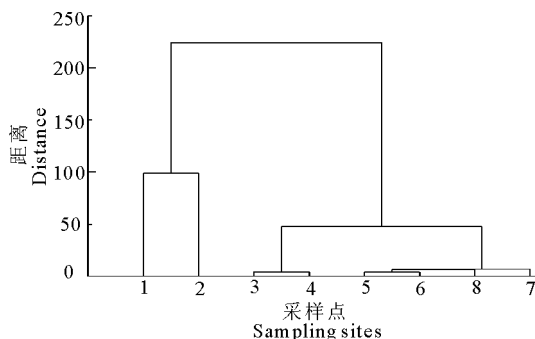


图 2 基于水质指标的汤浦水库采样点聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of sample sites based on water quality parameters of Tangpu Reservoir

3、4 号采样点,4 组包括 5~8 号采样点。

根据汤浦水库及周边入库支流的实际情况,将全库水质在空间区域上划分为 3 个组,较好地反映全库水质空间分布的 3 种不同状态。1 号和 2 号采样点相比其余 6 个采样点,锌、铬、铅 3 个指标监测值在检测限以上,使得在聚类分析中区别于其余 6

个采样点,按照实际监测情况应归同一组。1 组包括 1 号和 2 号采样点,反映水库入库支流的水质状况;2 组包括 3 号和 4 号采样点,反映入库支流附近库湾的水质状况;3 组包括 5~8 号采样点,代表汤浦水库库中的水质状况。

表 1 汤浦水库采样点水质的主成分分析

Tab. 1 Principle component analysis of each sample site group in Tangpu Reservoir

监测指标	第 1 组			第 2 组			第 3 组			
	北溪、南溪			双江溪、王化溪			托谭、库中、宅阳、取水塔			
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC4
水温	0.149	0.880	-0.379	0.641	-0.391	-0.441	0.753	-0.465	0.199	-0.329
pH	-0.234	0.775	0.379	0.833	-0.359	0.136	0.991	0.042	0.035	0.091
溶解氧	-0.393	-0.371	0.624	0.617	-0.058	0.736	0.379	0.667	-0.495	0.088
高锰酸盐	0.990	0.101	0.026	0.861	-0.327	-0.240	0.846	-0.393	-0.089	-0.224
化学需氧量	0.985	0.040	0.053	0.774	-0.253	0.060	0.685	-0.362	-0.142	-0.523
五日生化需氧量	0.991	-0.013	0.010	0.759	0.225	0.061	0.618	0.427	0.460	0.206
氨氮	0.851	0.266	0.306	0.845	0.364	-0.102	0.375	0.183	-0.453	-0.128
总磷	0.991	0.062	0.032	0.618	0.491	-0.454	0.647	-0.263	0.179	0.232
总氮	0.817	-0.543	0.071	-0.227	0.919	0.173	0.019	0.805	-0.326	0.211
铜	0.980	0.017	-0.016	0.027	-0.228	0.786	0.617	0.118	-0.590	0.293
锌	0.991	-0.013	0.010							
氟化物	-0.470	0.524	-0.375	0.015	-0.125	0.422	-0.193	0.165	-0.555	-0.567
铬	0.991	-0.013	0.010							
铅	0.991	-0.013	0.010							
粪大肠菌群	0.508	0.099	-0.705	0.148	0.816	-0.533	-0.016	0.285	0.782	-0.429
硫酸盐	0.541	-0.203	0.309	-0.005	0.749	0.494	0.213	0.775	-0.272	-0.232
氯化物	-0.317	0.326	0.768	0.084	0.442	0.866	0.010	0.948	0.054	-0.207
硝酸盐	0.658	-0.706	-0.023	-0.269	0.919	0.146	-0.405	0.747	-0.199	0.095
铁	0.992	-0.006	0.021	0.683	0.705	-0.103	0.435	0.350	0.601	0.153
锰	0.991	0.011	0.038	0.208	0.841	-0.038	-0.446	0.008	0.061	0.444
色度	0.983	0.092	0.122	0.516	0.743	-0.354	0.656	0.430	0.237	0.397
叶绿素 a	0.825	0.286	-0.029	0.819	-0.376	0.014	0.932	-0.112	-0.094	0.271
藻体总数	0.909	0.304	-0.145	0.903	-0.200	0.150	0.949	0.115	0.052	0.155
总有机碳	0.569	0.731	0.194	0.822	-0.279	0.088	0.872	-0.070	-0.164	-0.310
菌落总数	0.962	0.045	-0.180	0.171	0.837	-0.460	0.005	0.385	0.811	-0.367
亚硝酸盐	0.478	-0.071	0.665	-0.082	-0.547	-0.546	-0.272	-0.489	0.125	0.671
电导率	-0.421	0.608	0.218	0.381	0.279	0.852	-0.053	0.880	0.207	0.035
磷酸盐	0.113	0.450	0.235	0.783	-0.033	0.006	0.821	0.109	0.035	0.194
贡献率/%	60.17	14.72	9.84	33.55	28.60	18.26	34.18	22.28	13.72	9.99
累计贡献率/%	60.17	74.89	84.74	33.55	62.16	80.41	34.18	56.46	70.19	80.17

2.1.2 采样点水质主成分分析 汤浦水库采样点各组的主成分分析见表 1。在第 1 组北溪和南溪采样点中,第 1 主成解释了总方差的 60.17%,所占比例很大,反映了该区域水质主要受到水库上游城镇污染排放的影响。如营养盐污染负荷(氨氮、总磷、总氮)、重金属污染(铜、锌、铬、铅、铁、锰)、生物污染(色度、叶绿素 a、藻体总数、菌落总数)和有机污染(高锰酸盐、化学需氧量、五日生化需氧量)。北溪和南溪是汤浦水库的 2 大主要入库支流,水库上游城镇污染排放不易管理,工业点源、生活污水等面源污染是该区域水质变化的主要因素。第 2 和第

3 主成分分别解释总方差的 14.72% 和 9.84%,所占比例较小。第 2 主成分中高载荷因子为水温和 pH,反映了气象、季节变化等自然因子变化对水质的影响,并引起了河流的有机物含量的变化(总有机碳因子载荷为中等),这与第 1 主成分中反映有机污染的信息不同,它反映的是有机物含量随气象、季节等自然节律(水温)调节。第 3 主成分高载荷因子为氯化物,体现了河流中氯化物无机盐类信息,这与第 2 组采样点(河流入库库湾区)中第 3 主成分所反映的氯化物盐类信息相对应,反映该水域水质存在一定程度的盐度变化。

在第2组双江溪和王化溪采样点中,第1主成分解释了总方差 33.55%,体现了河流入库经过稀释后呈现库湾区污染降低的状态,由于流速减缓,相比第1组采样点,一些关键因子成为该区域水质变化的主因,如富营养化状态(氨氮、磷酸盐)、藻类的大量繁殖(叶绿素 a、藻体总数)和有机污染(高锰酸盐、化学需氧量、五日生化需氧量、总有机碳)及这些关键因子的公共条件(pH)。第2主成分解释了总方差的 28.60%,反映了入库库湾区水位涨落带土壤中细菌等微生物的硝化作用(王艾荣等,2008),锰、铁较高的因子载荷可以解释为硝化细菌需要锰、铁等营养元素的参与(杨维等,2008)。第3主成分占有主成分的 18.26%,主要反映盐类信息(氯化物、电导率)和部分残留的铜污染。

在第3组托谭、库中、宅阳和取水塔采样点中,第1主成分解释了总方差的 34.18%,体现了随季节波动的库区初级生产力状况(水温、pH、叶绿素 a、藻体总数、总有机碳)及限制因子(磷酸盐)。第2主成分解释了总方差的 22.28%,反映了水库库区的无机盐状况(硫酸盐、氯化物、电导率)。第3主成分解释了总方差的 13.72%,高因子载荷为粪大肠菌群和菌落总数,主要反映库区微生物的季节变化情况。汤浦水库 3 个空间区域的主成分分析显示,第1、2主成分较好地反映了不同区域影响水质状态的主要因素。以北溪和南溪 2 条主要入库支流下游为代表的水域水质主要受到上游城镇的污染排放影响。以支流入库库湾为代表的水域水质呈现污染降低的状态,由于流速减缓,使上游排放中的某些污染物成为关键因子,如富营养化状态、藻类的繁殖和有机污染成为该区域水质变化的主因。以水库库中为代表的水域水质明显不同于以上 2 类区域,规律也不同,主要受到随季节波动的库区初级生产力状况和无机盐的影响。

2.2 汤浦水库水质全年季节变化

2.2.1 月份水质聚类分析 聚类分析表明,汤浦水库全年水质在不同季节及月份分为不同的状态(图3)。如果分为 2 组,1 组只有 6 月,2 组包括 1-5 月和 7-12 月;如果分为 3 组,1 组只有 6 月,2 组包括 5、7 和 8 月,3 组包括 1-4 月和 9-12 月;如果分为 4 组,1 组只有 6 月,2 组包括 5、7 和 8 月,3 组包括 9-12 月,4 组包括 1-4 月。根据 2011 年的实际情况,汤浦水库在 6 月份有连续 3 次强降雨,水位数次超过水库警戒线,使 6 月有别于全年其他月份而成为单独一组;全年的降雨高峰在 3-9 月。因此,全

年的水质变化划分为 3 个组。1 组有 6 月,2 组包括 5、7 和 8 月,3 组包括 1-4 月和 9-12 月。

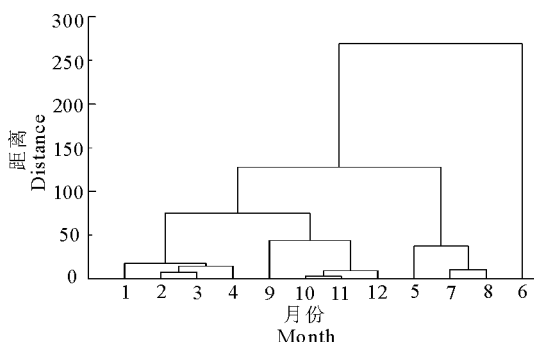


图3 基于水质指标的汤浦水库全年月份聚类分析

Fig.3 Cluster analysis of months based on water quality parameters of Tangpu Reservoir

2.2.2 月份水质主成分分析 汤浦水库全年月份各组的主成分分析见表2。第1组为 1-4 月和 9-12 月。第1主成分解释了总方差的 53.51%,水质状态受到 3 个主要因素影响:(1)夏入秋、冬季和冬入春的季节气温变化(水温);(2)非夏季低温季节下水体中细菌等微生物的反硝化作用(粪大肠菌群、硝酸盐、菌落总数、亚硝酸盐氮);(3)非雨季时水位反复涨落带来的水质营养状态变化(总磷、总氮、磷酸盐)、消落区轻微程度的有机污染(高锰酸盐指数)和重金属污染(铜)、以及水色的变化(色度、电导率)。第2主成分解释了总方差的 20.70%,高因子载荷为 pH、锰、叶绿素 a,反映该时间段藻类叶绿素 a 的合成除受到 pH 的主要影响外,锰是限制性辅因子。第3主成分解释了总方差的 12.30%,高因子载荷为氟化物、硫酸盐,反映了无机盐的变化情况。

第2组为 5、7 和 8 月。第1主成分解释了总方差的 52.31%,。随着夏季的到来,水温升高,藻类迅速生长繁殖(叶绿素 a、藻体总数),需要消耗硝酸盐,同时引起水体电导率的减小、有机污染增高(总有机碳、高锰酸盐指数)。与此同时,随着夏季温度的上升,细菌等微生物的硝化作用增强(pH、粪大肠菌群、硝酸盐、菌落总数、亚硝酸盐氮)(王艾荣等,2008),氯化物等咸度指标随着雨水稀释呈下降趋势。第2主成分解释了总方差的 26.75%,高因子载荷为氟化物、铁、锰、色度,反映了雨季水位上涨后水体中颗粒物再悬浮的过程。第3主成分占有主成分的 11.49%,高因子载荷为硫酸盐,反映了夏季硫酸盐细菌还原的相关生物地球化学过程。第3组为 6 月。第1主成分解释了总方差的 65.39%,反映了 6 月份连续 3 次强降雨后,水库水位不断抬升,

由此带来来自地表径流的陆源性污染负荷。如有机污染(高锰酸盐、化学需氧量、五日生化需氧量)、重金属污染(铜、锌、铬、铅、铁、锰)、陆源性营养负荷(氨氮、总磷、总氮、硝酸盐)及随之带来的藻类繁殖(色度、叶绿素 a、藻体总数、总有机碳)、无机盐类

(氟化物、氯化物)在雨季雨水稀释下暂时下降。第 2 主成分解释了总方差的 21.10%,高载荷变量为水温 and 硫酸盐,反映了夏季水温分层后硫酸盐的明显变化,水库底层硫酸盐细菌还原等相关生物地球化学过程(宋柳霆等,2008)。

表 2 汤浦水库全年月份各组的主成分分析

Tab. 2 Principle component analysis of each month groups in Tangpu Reservoir

监测指标	第 1 组			第 2 组			第 3 组	
	1-4 月、9-12 月			5 月、7 月、8 月			6 月	
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2
水温	-0.973	-0.100	0.151	0.718	-0.334	-0.410	-0.176	0.936
pH	0.408	0.750	-0.336	0.955	-0.093	0.269	-0.658	0.556
溶解氧	0.676	0.457	-0.476	0.720	0.639	0.096	0.383	-0.683
高锰酸盐指数	-0.872	0.457	-0.118	0.935	0.285	0.199	0.973	0.186
化学需氧量	-0.561	0.153	0.368	0.456	0.029	0.448	0.956	0.195
五日生化需氧量	-0.283	0.722	0.287	0.672	0.471	0.256	0.976	0.189
氨氮	0.204	0.627	0.111	0.313	0.743	-0.325	0.952	-0.148
总磷	0.818	0.460	-0.005	-0.732	0.580	-0.334	0.975	0.198
总氮	0.965	0.192	-0.012	-0.616	-0.227	0.727	0.952	-0.296
铜	0.886	0.082	-0.319	0.154	-0.746	-0.270	0.966	0.190
锌							0.930	0.357
氟化物	0.338	0.030	0.825	-0.331	0.844	0.045	-0.820	0.396
铬							0.930	0.357
铅							0.964	0.211
粪大肠菌群	0.936	0.229	-0.245	-0.967	0.098	0.232	0.507	-0.478
硫酸盐	0.580	-0.061	0.798	-0.501	-0.144	0.833	0.142	-0.953
氯化物	0.703	-0.044	0.685	-0.878	0.264	0.375	-0.842	-0.007
硝酸盐	0.963	-0.126	0.047	-0.910	-0.224	0.325	0.869	-0.447
铁	0.559	0.531	0.366	-0.215	0.951	0.035	0.954	0.279
锰	-0.446	0.824	0.086	-0.177	0.917	-0.191	0.965	0.246
色度	-0.830	0.432	-0.204	0.204	0.938	0.166	0.835	-0.535
叶绿素 a	-0.511	0.853	0.010	0.864	0.430	0.249	0.977	0.154
藻体总数	-0.670	0.725	-0.040	0.873	0.418	0.241	0.813	0.494
总有机碳	-0.641	0.498	0.483	0.912	-0.037	0.292	0.928	0.116
菌落总数	0.957	0.202	-0.043	-0.945	0.304	-0.081	0.553	-0.516
亚硝酸盐氮	-0.855	-0.194	0.104	0.989	-0.022	0.135	0.638	0.700
电导率	0.855	0.142	0.264	-0.905	0.296	0.290	-0.118	-0.469
磷酸盐	0.882	0.412	-0.132	-0.719	0.574	-0.349	0.616	-0.698
贡献率/%	53.51	20.70	12.30	52.31	26.75	11.49	65.39	21.10
累计贡献率/%	53.51	74.21	86.51	52.31	79.06	90.55	65.39	86.49

汤浦水库 3 个典型季节的主成分分析显示,第 1 主成分较好地反映了不同季节影响水质状态的主要因素。以 6 月份持续强降雨季节为代表的水库水质主要受到雨水和径流冲刷带来的陆源性污染负荷影响,有机污染、重金属污染、营养水平、藻类繁殖均明显增高,盐类因稀释呈现下降。5、7 和 8 月降雨季节的水库水质以温度上升带来的藻类繁殖、细菌等微生物硝化作用增强为主要特征;1-4 月和 9-12 月非雨季的水库水质变化与雨季完全不同,主要受到气象因子和水位的双重影响,表现为营养水平波动、细菌等微生物的反硝化作用和消落带的轻微有机污染及重金属污染。

3 结论

大量数据的适当分析处理、时空的划分和水质主导因素的简化,对汤浦水库水质的长期常规监测和科学合理的水资源管理具有借鉴意义。本文综合运用聚类和主成分 2 种多元统计方法,分析大量水质数据(28 项指标、12 个月、8 个采样点,共计 2 688 个原始数据),揭示了汤浦水库水质时空分布特性。聚类分析显示,按照水质相似性将汤浦水库水质可分为支流、支流入库库湾、水库库中 3 个典型空间区域和持续强降雨、雨季、非雨季 3 个季节时段。主成分分析显示:(1)北溪和南溪 2 条主要入库支流下

游水质主要受到上游城镇的污染排放影响;支流入库库湾水质由于流速减缓,上游排放中的某些污染物成为关键因子,如富营养化状态、藻类的繁殖和有机污染成为该区域水质变化的主因;水库库中水质则主要受到随季节波动的库区初级生产力状况和无机盐的影响。(2)6月份,因持续强降雨,水库水质主要受到高强度的雨水和径流冲刷带来的陆源性污染负荷影响;5、7和8月降雨季节,水库水质主要特征表现为温度上升带来的藻类繁殖、细菌等微生物硝化作用增强;1-4月和9-12月非雨季,水库水质主要受到气象因子和水位的双重影响。

参考文献

- 蔡金榜,李文奇,逢勇,等. 2007. 洋河水库水质主成分分析[J]. 中国环境监测, 23(2): 62-66.
- 长江流域水环境监测中心, 等. 1998. 水环境监测规范(SL219-98)[S]. 北京:中国水利水电出版社.
- 池仕运,竺维佳,施练东,等. 2012. 应用底栖动物完整性指数评价水源水库溪流健康状态[J]. 水生态学杂志, 33(2): 16-25.
- 丁春,盛周君. 2007. 基于主成分分析法的南淝河水质综合评价[J]. 安徽农业科学, 35(35): 11583-11584, 11586.
- 方红卫,孙世群,朱雨龙,等. 2009. 主成分分析法在水质评价中的应用及分析[J]. 环境科学与管理, 34(12): 152-154.
- 欧阳勇,林昌虎,何腾兵,等. 2012. 运用主成分分析法评价贵州草海水质污染[J]. 贵州科学, 30(1): 21-26.
- 乔庆东. 1995. 锰叶绿素的形成和伏安行为[J]. 电化学, (2): 223-226.
- 宋柳霆,刘丛强,王中良,等. 2008. 贵州红枫湖硫酸盐来源及循环过程的硫同位素地球化学研究[J]. 地球化学, (6): 556-564.
- 王艾荣,罗汉金,梁博,等. 2008. 硝化细菌在3种沉积土壤中的变化规律研究: II. 硝化细菌与pH等因子之间的关系[J]. 农业环境科学学报, 27(3): 970-977.
- 杨维,王泳,郭毓,等. 2008. 地下水中铁锰对氮转化影响的实验研究[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 24(2): 286-290.
- 叶麟,黎道丰,唐涛,等. 2003. 香溪河水质空间分布特性研究[J]. 应用生态学报, 14(11): 1959-1962.
- 伊元荣,海米提,依米提,等. 2008. 主成分分析法在城市河流水质评价中的应用[J]. 干旱区研究, 25(4): 497-501.
- Altın A, Filiz Z, Iscen CF. 2009. Assessment of seasonal variations of surface water quality[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 158: 51-65.
- Boyacioglu H. 2006. Surface water quality assessment using factor analysis[J]. Water SA, 32(3): 389-393.
- Liu CW, Lin KH, Kuo YM. 2003. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a Blackfoot disease area in Taiwan[J]. Science in the Total Environment, 313: 77-89.
- Ouyang Y, Nkedi-Kizza P, Wu QT, et al. 2006. Assessment of seasonal variations in surface water quality[J]. Water Research, 40(20): 3800-3810.
- Shrestha S, Kazama F. 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan[J]. Environmental Modelling & Software, 22(4): 464-475.
- Simeonov V, Stratis JA, Samara C, et al. 2003. Assessment of the surface water quality in Northern Greece[J]. Water Research, 37(17): 4119-4124.
- Yerel S. 2010. Water Quality Assessment of Porsuk River, Turkey[J]. Journal of Chemistry, 7(2): 593-599.
- Zhang Q, Li Z, Zeng G, et al. 2009. 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, 152(1-4): 123-131.

(责任编辑 张俊友)

Characteristics and Influencing Factors Analysis of Spatio-Temporal Variations
of Water Quality in Tangpu Reservoir and Its Tributaries

SHI Lian-dong¹, ZHU Wei-jia¹, HU Ju-xiang², YU Bo-shi¹, FANG Yong¹, LI Si-xin²

- (1. Tangpu Reservoir Company Limited, Shangyu 312364, P. R. China;
2. Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-Projects and Restoration of Aquatic Ecosystem of
Ministry of Water Resources, Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources
and Chinese Academy of Sciences. Wuhan 430079, P. R. China)

Abstract: Cluster analysis and principle component analysis were used to analyze the spatial and temporal characteristics of water quality near and in Tangpu Reservoir. Cluster analysis showed that according to the similarity, water quality of Tangpu Reservoir can be divided into 3 typical spatial areas including tributary, reservoir bay and reservoir, and 3 seasons including heavy rain, rain, and non-rain. Principle component analysis indicated that: (1) Water quality in downstream of two tributaries Nanxi and Beixi was mainly affected by the pollutant discharge upstream cities and towns. Because of slower velocity, some pollutant became the key factors affecting the water quality in reservoir bay, such as trophic level, algae growth and organic pollution. Water quality in reservoir was mainly affected by primary productivity fluctuating with season and inorganic salt. (2) In June, for continuous heavy rain, water quality is mainly affected by terrestrial pollutant loading by heavy rain and runoff erosion. In rain season (May, July and August), the characteristics of water quality in reservoir resulted in algae growth with increasing temperature and intense nitrification by bacteria and microorganisms. In non-rain season (from January to April and from September to December), water quality in reservoir is mainly affected by interact of and meteorological factors and water level.

Key words: water quality; Tangpu Reservoir; cluster analysis; principle component analysis