

乌伦古湖水质污染的空间分布特征

邹 兰^{1,2}, 高 凡^{1,2}, 马英杰^{1,2}

(1. 新疆农业大学水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052;

2. 新疆水利工程安全与水灾害防治重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要:评价湖泊水质并探究其空间分布规律对于湖泊管理具有重要意义。通过对乌伦古湖2017年7-8月采样点(S1~S8)的8个水质指标(矿化度、pH值、透明度、总氮、总磷、高锰酸盐指数、溶解氧、五日生化需氧量)监测,运用主成分分析法(PCA)评价乌伦古湖水质现状,采用空间插值法分析其空间分布特征,并基于聚类分析法(CA)识别水质污染驱动因素。结果表明,乌伦古湖水体呈弱碱性,水质污染以氮、磷有机污染为主;8个采样点主成分综合得分排序结果为:骆驼脖子>小海子>码头>中海子>农十师渔政点>湖中心>吉力湖中心>吉力湖入水口,呈现出小湖区水质优于大湖区、湖中心区水质优于湖岸区、距离进水口越远水质越差的显著空间差异特征。骆驼脖子采样点(S1)水质污染最严重,吉力湖采样点(S7、S8)水质相对最好;基于湖区水质空间分布特征将乌伦古湖湖区分3类,I类湖区水质最差,II类湖区水体呈咸化趋势,III类湖区水质相对最好;水体矿化度、营养盐与有机污染物是乌伦古湖污染的主要来源,主要原因可归结为自2000年来乌伦古河常态化断流以及湖区渔业养殖、周边农业面源污染导致的盐分与营养成分及有机污染物由河道不断向湖泊的迁移富集。

关键词:乌伦古湖;水质评价;空间分布;主成分分析

中图分类号:X524 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2021)01-0035-07

湖泊是陆地水圈的重要组成部分,是水资源、生物与环境资源的重要载体,在参与自然界水分循环过程中可记录气候变化和人类活动对区域水文过程的影响(邱东,1991;马荣华等,2011;Zhang et al, 2011;王红等,2017;王莺等,2018)。湖泊水质状况是识别湖泊变化、评价湖泊健康的重要指标,关乎流域安全。针对湖泊水质评价的方法较多,常见的如单因子评价法(尹海龙和徐祖信,2008)、综合污染指数法(孙涛等,2014)、综合水质标识指数法(王琳等,2018)、模糊综合评判法(杨浩等,2016)等,实际应用中各具优点与适用性,但考虑到湖泊水质评价涉及的指标较多,相应指标间存在信息重叠的几率高,且各采样点水质评价结果具有空间异质性特征,上述方法尚不能有效提取关键评价因子并进行空间分析,致使评价存在一定的局限性和不可操作性问题。

乌伦古湖是中国十大淡水湖泊之一,属典型内

陆干旱湖泊,是我国西北阿勒泰山绿洲与古尔班通古特沙漠之间的天然屏障,具有重要的生态安全功能(程艳等,2016)。基于此,本文以2017年为现状评价年,综合运用主成分分析(PCA)与聚类分析(CA)方法,对影响乌伦古湖水质的理化指标进行评价,采用空间插值法分析湖区水质空间分布特征,并进行驱动因素分析,以期对乌伦古湖及典型干旱内陆湖泊水域环境保护和治理提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

乌伦古湖是乌伦古河流域的尾间湖,位于新疆阿勒泰地区福海县(86°59'~87°34'E, 46°51'~47°25'N)。分为大湖区和小湖区,大湖区即布伦托海,小湖区即吉力湖,由库依尔尕河衔接(图1)。乌伦古湖是新疆第二大内陆湖泊,水面总面积约930 km²,水位高程479.1 m,平均水深约8 m。湖区属中温带大陆性季风气候,降雨稀少,多年平均降水量109.4 mm,蒸发量大,多年平均水面蒸发量1152.5 mm,多年平均入湖水量2.4亿 m³,主要补给水源为乌伦古河和额尔齐斯河,近年来湖区水量基本能维持平衡(王振升等,2000; Zhang et al, 2011)。

收稿日期:2019-03-13

基金项目:国家自然科学基金(51769036);新疆维吾尔自治区自然科学基金(2017D01A43);新疆水资源项目“干旱区尾间湖泊水质研究”。

作者简介:邹兰,1994年生,女,硕士研究生,研究方向为水文学及水资源。E-mail:1191490234@qq.com

通信作者:高凡,1980年生,女,博士,副教授,主要从事水资源系统工程与河流生态保护研究。E-mail:gutongfan0202@163.com

1.2 样点设置

乌伦古湖水质数据来源于2017年7-8月现场实地采样数据的平均值,考虑到湖区水域面积、湖盆形状、进出水口、采样的实际可操作性与可行性等因素,在大、小湖区内共设置8个采样点,采样点S1~S8对应的区域分别为骆驼脖子、码头、中海子、湖中心、农十师渔政点、小海子、吉力湖入水口、吉力湖中心,可基本均匀覆盖整个湖区,采样点分布见图1。

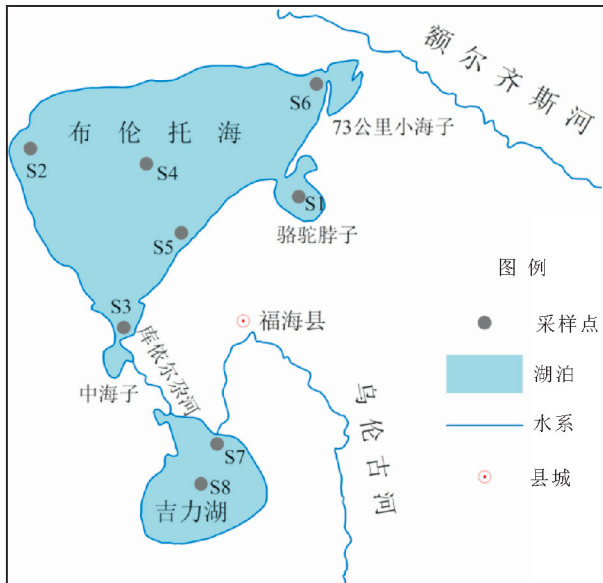


图1 乌伦古湖位置及采样点分布

Fig.1 Location of the sampling sites in Ulungur Lake

1.3 指标测定

测定指标共8项,分别为矿化度(TDS)、pH值(pH)、透明度(SD)、总氮(TN)、总磷(TP)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、溶解氧(DO)、五日生化需氧量(BOD₅)。水样采集保存与成分测定均按照《水和废水监测分析方法》(国家环境保护总局,2002)中的标准进行,水质评价标准按照《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)执行;其中,pH值和溶解氧采用多参数水质监测仪(YSI-6600)现场测定,透明度选用塞氏圆盘法现场测定,COD_{Mn}采用酸性高锰酸盐滴定法测定,其余各指标均采用上述标准进行测定。

1.4 数据分析

1.4.1 主成分分析 主成分分析法(PCA)的基本思路即降维,是一种将多维因子纳入同一系统进行定量研究的多元统计分析方法,理论较成熟完善,可对高维变量系统进行最佳简化,在力保数据丢失最少的原则下筛选关键因子(邱东,1991;王丽婧等,2013)。主要步骤如下:先进行原始数据标准化;再进行适用性统计检验,提取主成分因子;最后,计算

主成分综合得分 F_z (Ying,2005;傅德印,2007;凌旌瑾等,2008;于洋等,2010;Wang et al,2014)。本文采用SPSS 22.0软件进行数据处理和统计分析。

1.4.2 聚类分析 聚类分析是根据数据间亲疏程度,以逐次聚合的方法,将相似程度最大的数据或属性聚合为一类的统计方法(Danielsson et al,1999),在水质时空分析中应用较为广泛。本文采用该法将采样点水质评价指标进行聚类,基本思路是在原始数据标准化处理基础上,采用欧式距离法,将采样点归入收敛后,凝聚点所代表的类(Fovell & Fovell,1993),并用Ward法进行采样点的空间相似性分析,使具有相似性的水质指标所在采样点聚类在一起。

1.4.3 空间插值法 空间插值法是用已知的采样点数据来估计其他与之存在隐函数关系点的数值过程(李纯厚等,2013),广泛应用于水质、空气等污染指标空间分布差异性特征研究。本文将基于主成分分析法得到的各采样断面水质评价综合得分(F_z),应用ArcGIS 10.5中的反距离加权法(IDW)绘制湖泊水质分异图,直观反映乌伦古湖的水质状况及空间差异化特征。

1.4.4 水质污染源分析 采用Spearman相关性检验(Meglen,1992)分析各水质指标与主成分得分的相关系数,诊断乌伦古湖水质的主要污染源。

2 结果

2.1 乌伦古湖水质指标

乌伦古湖各采样点水质指标监测结果平均值见图2。各采样点pH值为8.00~8.80,总体呈弱碱性,大湖区明显高于小湖区(图2-a);各采样点TDS均值为920~2374 mg/L,布伦托海(均值高于2200 mg/L)明显高于吉力湖(均值低于1100 mg/L),水盐空间分布极不均匀(图2-b);各采样点SD均值均高于130 cm,总体标准偏差大于30,采样点S1(215 cm)、S4(238 cm)和S8(205 cm)水体清澈透明,可见度较高(图2-c);全湖DO均值为8.90~9.95 mg/L,标准偏差小于0.5,均符合地表水功能(GB3838-2002)I类标准,采样点S1(9.95 mg/L)DO最高,S4溶解氧含量最低,为8.90 mg/L(图2-d);各采样点COD_{Mn}为3.15~5.56 mg/L,大湖区采样点(S1~S6)COD_{Mn}均值为4.15~5.65 mg/L,符合地表水III类水质标准,小湖区(S7、S8)COD_{Mn}含量均值分别为3.15 mg/L和3.75 mg/L,符合地表水II类水质标准,大湖区有机

污染状况略高于小湖区(图 2 - e);各采样点 BOD₅ 含量均值约 3.00 mg/L,其中大湖区各采样点 BOD₅ 含量分布不均,在 2.95~3.35 mg/L,小湖区内分布则较均匀,约为 3.00 mg/L(图 2 - f);各采样点 TN 含量均值约 0.70 mg/L,大湖区各采样点 TN 均值为 0.60~0.81 mg/L,小湖区均值为 0.51 mg/L,符

合地表水Ⅲ类水质标准,大湖区采样点明显高于小湖区(图 2 - g);各采样点 TP 含量均值约 0.035 mg/L,标准偏差均小于 0.004 且分布均匀,符合地表水Ⅲ类水质标准(图 2 - h)。总体看,乌伦古湖水体呈弱碱性,属微咸水,水质以氮、磷有机污染为主。

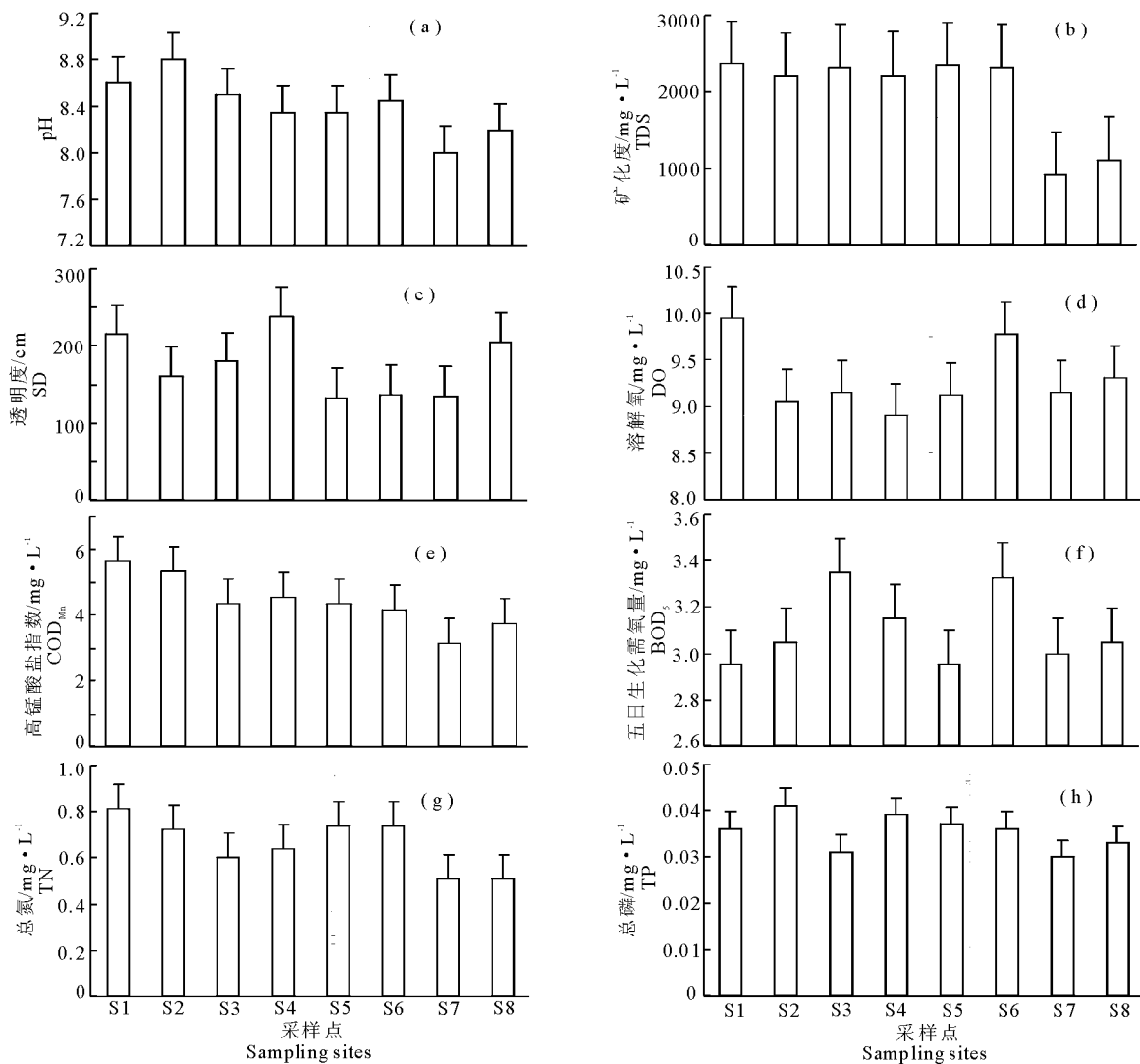


图 2 乌伦古湖各采样点水质指标监测结果均值

Fig.2 Mean values of water quality indicators at each sampling site in Ulungur Lake

2.2 基于主成分分析的各样点水质评价

对各采样点水质指标分别进行 KMO 检验和 Bartlett 球形检验, KMO 值为 0.707 (>0.50), Bartlett 球形检验显著性概率 $P < 0.01$, 表明各评价指标相关性较好, 适宜进行主成分分析。

按照特征值大于 1 的原则, 提取出 3 个主成分因子, 其中 F_1 携带信息最多, 达 50% 以上, 且 F_1 、 F_2 、 F_3 累积贡献率达 81.12%, 可充分反映整体因子变化。各主成分的特征根、方差及累积方差贡献率见表 1。旋转后提取的 3 个主成分因子荷载矩阵

值列于表 2。

表 1 各主成分的特征根、方差贡献率及累积方差贡献率

Tab.1 Characteristic feature, contribution to variance and cumulative variance of each principal component

主成分	特征值	方差贡献率/ %	累积方差 贡献率/%
1	4.08	51.02	51.02
2	1.27	15.91	66.92
3	1.14	14.19	81.12

表2 主成分因子荷载矩阵

Tab.2 Load matrix of principal components

参数	主成分因子		
	F_1	F_2	F_3
TDS	0.876	0.070	0.333
SD	0.247	-0.593	-0.079
pH	0.912	-0.024	0.153
DO	0.290	0.791	-0.062
COD _{Mn}	0.950	-0.062	-0.158
BOD ₅	0.011	0.018	0.986
TN	0.896	0.371	-0.107
TP	0.790	-0.313	-0.200

由表1和表2可知, F_1 方差累积贡献率为51.02%, 所有成分呈正相关, 与 F_1 相关联的水质指标为 TDS(0.876)、pH(0.912)、COD_{Mn}(0.950)、TN(0.896)和 TP(0.790), 说明 F_1 主要反映水体营养状态及理化性质; F_2 方差累积贡献率为15.91%, 与 F_2 相关联的水质指标为 SD(-0.593)和 DO(0.791), 其中, SD 与第二主成分呈显著负相关, 主要表征水体能见程度, DO 分布受水体中水生

植物光合作用影响, 可反映湖泊水生植物分布状况; F_3 方差累积贡献率是14.19%, 与 F_3 相关联的水质指标为 BOD₅(0.986), 主要反映水体有机污染程度。

由上述步骤计算各采样点主成分综合得分并对其进行排序, 结果见表3。可见第一主成分得分(F_1)最高的采样点为 S1, 表明骆驼脖子断面处水质主要污染指标为 TDS、pH 和营养盐; 第二主成分得分(F_2)排序第一的采样点是 S6, 表明小海子出水口处断面水质主要污染指标为 SD 和 DO; 第三主成分得分(F_3)排序最前的采样点为 S3, 表明中海子出水口处断面水质主要污染指标为 BOD₅。依据8个采样点各主成分的综合得分(F_z), 并对其进行综合排序, 排序结果为: 骆驼脖子 > 小海子 > 码头 > 中海子 > 农十师渔政点 > 湖中心 > 吉力湖中心 > 吉力湖入水口。基于空间插值法的乌伦古湖水质综合得分空间分布见图3。其中, 综合得分越高, 说明水质污染程度越严重。

表3 乌伦古湖各采样点主成分分析综合得分与排序

Tab.3 Comprehensive scores and ranking of principal components at each sampling site in Ulungur Lake

采样点	样点名称	F_1	排序	F_2	排序	F_3	排序	F_z	综合排序
S1	骆驼脖子	1.157	1	0.882	2	-1.072	8	0.578	1
S2	码头	1.072	2	-0.654	7	-0.321	4	0.397	3
S3	中海子	-0.155	7	-0.211	5	1.763	1	0.138	4
S4	湖中心	0.297	3	-1.769	8	0.210	3	-0.100	6
S5	农十师渔政点	0.194	5	0.348	4	-0.704	7	0.054	5
S6	小海子	0.268	4	1.445	1	1.221	2	0.540	2
S7	吉力湖入水口	-1.789	8	0.433	3	-0.617	6	-0.931	8
S8	吉力湖中心	-1.044	6	-0.473	6	-0.480	5	-0.676	7

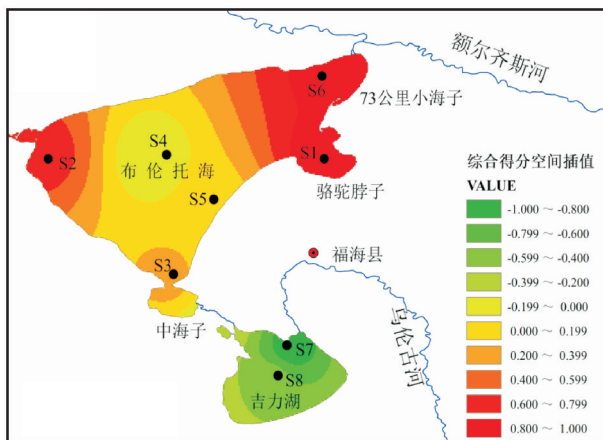


图3 乌伦古湖水质综合得分空间插值

Fig.3 Spatial interpolation of water quality in Ulungur Lake

2.3 各样点空间相似性聚类分析

乌伦古湖各采样点空间相似性聚类结果见图4。共分为3种类型, 第I类湖区包括样点 S1、S2、S4、S5, 第II类湖区包括 S3 和 S6, 第III类湖区包括 S7 号和 S8 号。III类湖区水质最好, I类湖区水质最差。

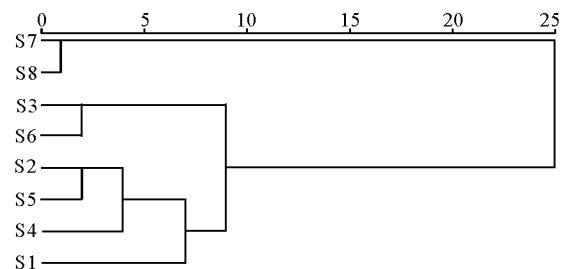


图4 乌伦古湖各采样点空间相似性聚类结果

Fig.4 Spatial similarity clustering results of the sampling sites in Ulungur Lake

3 讨论

3.1 乌伦古湖水质特征及空间分布差异规律

基于主成分分析与空间插值法的乌伦古湖水质综合评价结果与空间分布表明, 2017 现状水平年乌伦古湖各采样点水质空间分布存在显著性差异, 吉力湖采样点(S7、S8)水质相对较好, 这与该湖区相对水量充足、换水周期短、湖区咸化速率低、可在一定程度上起到水质污染自净稀释作用有关; 湖中心区采样点(S4)水质比湖岸区采样点(S2、S3、S5、S6)略好, 这与湖岸区分布大量水产养殖等人类活动导致的富营养化程度加重有关; 骆驼脖子采样点(S1)水质污染程度相对最严重, 这与该采样点地理位置远离进水口、换水周期长、同时受湖区渔业养殖活动影响以及有机污染和水体富营养化状况较为突出有关。

基于乌伦古湖各采样点的空间聚类分析结果表明, I类湖区水质最差, 主要由于各采样点(S1、S2、S4、S5)分布在乌伦古湖大海子东部、西部和中部, 远离进水口, 换水周期长, 湖区水体中营养盐及有机污染物从上游富集至此, 湖泊水体透明度显著下降; 此外, 受湖区周边农田化肥和农药等面源污染与人为活动、渔业养殖等点源污染, 湖区水质污染较为严重, 突出表现为以 N、P 为主的有机污染。II类湖区水质相对 I类湖区水质较好, 采样点 S6 分布在布伦托海北部, 是引额济湖渠道工程的出水口, 大海子的进水口, 水体纳污能力和环境承载能力稍好; 中海子采样点(S3)与 7 km 长的库依尔尕河相连, 水流交换能力强, 自净能力较强, 但受库依尔尕河流修建水利工程的影响, 大量引走入湖水量, 导致中海子水量显著减少, 造成湖区矿化度升高, 水体呈咸化趋势。III类湖区水质相对最好, 采样点(S7、S8)均分布在小湖区, 即吉力湖水质明显优于前两类湖区。

综上, 乌伦古湖水质污染特征为以 N、P 为主的有机污染, 小湖区水质优于大湖区, 湖中心区水质优于湖岸区, 距离进水口越近、水质越良好; 其中, 骆驼脖子水质污染程度最严重, 吉力湖水质相对最好。本次研究结果与吉芬芬等(2018)提出氮、磷是影响乌伦古湖营养水平主要因素, 与韩雪梅和马超(2015)指出乌伦古湖全湖平均综合污染指数整体呈上升趋势的研究结论基本吻合。

3.2 乌伦古湖水质污染来源及形成原因

各水质指标与主成分之间的 Spearman 相关检验系数见表 4。可以看出, COD_{Mn} 和 BOD₅ 分别与

第一主成分(PC₁)和第三主成分(PC₃)相关性最为显著($P < 0.01$); TDS、pH、TN、TP 与(PC₁)呈显著正相关关系($P < 0.05$); DO 与第二主成分(PC₂)呈显著相关性($P < 0.05$); TDS、营养盐及有机污染物是乌伦古湖水质的主要污染来源。

表 4 各指标与主成分得分之间的 Spearman 相关检验系数

Tab.4 Spearman correlation coefficients between each index and principal component score

指标	PC ₁	PC ₂	PC ₃
TDS	0.595 *	0.452	-0.190
SD	0.429	-0.429	0.143
pH	0.790 *	0.000	0.168
DO	-0.024	0.790 *	-0.228
COD _{Mn}	0.922 **	-0.228	-0.144
BOD ₅	-0.133	-0.229	0.988 **
TN	0.795 *	0.434	-0.289
TP	0.755 *	-0.443	-0.024

注: * 和 ** 分别表示显著性 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 。

Note: * and ** indicate significance $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.

TDS 含量高低受降水量、入湖径流、蒸发量及温度等气候因素和人类活动因素的多重影响。已有研究表明, 乌伦古湖水盐系统变化紊乱导致水体矿化度呈逐渐增加趋势(谢立新, 2009; 程艳等, 2016), 造成此现象的原因主要可归结为自 2000 年以来乌伦古湖常态化断流造成的入湖水量显著减少; 同时, 大量农田排水及水盐运移造成河道盐分不断向湖泊迁移。COD_{Mn}、TN 和 TP 主要表征水体富营养化程度, 会导致藻类及其他水生生物异常繁殖, 造成湖泊生态系统和水体功能遭受破坏; 与吉芬芬等(2018)发现骆驼脖子湖区矿化度和营养盐含量升高的规律基本一致。近年来, 乌伦古湖全湖水质向中度富营养转变(程艳等, 2016), 由于乌伦古湖是新疆重要的渔业养殖基地, 且湖区是封闭的内流湖。因此, 水产养殖及农业面源污染可能是导致水体中营养物质不断积累的主要原因。DO 可表征水生植物生长状况, 持续的风浪扰动可能是维持湖泊水体溶解氧处于较高水平的主要原因(张清等, 2014); BOD₅ 主要表征有机污染, 驱动因素主要归结为上游城镇生活污水及工业废水排放。

4 结论

(1) 2017 年乌伦古湖水体呈弱碱性, 与历年水质监测数据对比, 矿化度呈逐年升高态势并趋于盐沼化, 富营养化程度持续加重, 水质污染以氮磷有机物为主。

(2) 乌伦古湖 8 个评价指标综合为 3 个主成分, 可解释 81.12% 的结果。吉力湖水质优于布伦托海, 湖中心区优于湖岸区, 距离进水口越远, 水质越差。

(3) 乌伦古湖水质分为 3 类: I 类分布在布伦托海东、西部和中部, 主要为营养盐与有机物污染, 水质相对最差; II 类湖区水质相对 I 类较好, 位于布伦托海南、北部, 受水利工程、引水调水等人为因素影响, 湖区水体呈咸化趋势; III 类湖区吉力湖水质相对最好, 受乌伦古河来水稀释净化作用, 水质明显优于前两类湖区。

(4) 水体矿化度、营养盐和有机物是乌伦古湖水质污染的主要来源。

参考文献

- 程艳, 李森, 孟古别克·俄布拉依汗, 等, 2016. 乌伦古湖水盐特征变化及其成因分析[J]. 新疆环境保护, 38(1): 1-7.
- 傅德印, 2007. 主成分分析中的统计检验问题[J]. 统计教育, (9): 4-7.
- 国家环境保护总局, 2002. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社.
- 韩雪梅, 马超, 2015. 乌伦古湖水质现状、变化趋势及预测[J]. 干旱环境监测, 29(1): 28-31.
- 吉芬芬, 沈建忠, 马徐发, 等, 2018. 乌伦古湖水质变化及成因分析[J]. 水生态学杂志, 39(3): 61-66.
- 李纯厚, 林琳, 徐珊楠, 等, 2013. 海湾生态系统健康评价方法构建及在大亚湾的应用[J]. 生态学报, 33(6): 1798-1810.
- 凌旌瑾, 顾咏洁, 许春梅, 等, 2008. 黄浦江和苏州河的着生藻类与水质因子关系的多元分析[J]. 环境科学研究, 21(5): 184-189.
- 马荣华, 杨桂山, 段洪涛, 等, 2011. 中国湖泊的数量、面积与空间分布[J]. 中国科学: 地球科学, 41(3): 394-401.
- 邱东, 1991. 多指标综合评价方法的系统分析[M]. 北京: 中国统计出版社.
- 孙涛, 张妙仙, 李苗苗, 等, 2014. 基于对应分析法和综合污染指数法的水质评价[J]. 环境科学与技术, 37(4): 185-190.
- 王红, 姚君兰, 李艳蕾, 等, 2017. 基于主成分分析法的梁子湖水质评价分析[J]. 湖北大学学报(自然科学版), 39(6): 601-608.

- 王丽婧, 汪星, 刘录三, 等, 2013. 洞庭湖水质因子的多元分析[J]. 环境科学研究, 26(1): 1-7.
- 王琳, 孙艺珂, 祁峰, 2018. 基于改进综合水质指数法的水库水质特征分析[J]. 水土保持通报, 38(4): 174-180.
- 王莺, 闫正龙, 高凡, 2018. 1957-2015 年红碱淖湖水域面积时空变化监测及驱动力分析[J]. 农业工程学报, 34(2): 265-271.
- 王振升, 程同福, 刘开华, 等, 2000. 乌伦古河流域水资源及其特征[J]. 干旱区地理, 23(2): 123-128.
- 谢立新, 2009. 乌伦古湖泊水位及水质变化原因分析[J]. 水资源与水工程学报, 20(2): 148-150.
- 杨浩, 张国珍, 杨晓妮, 等, 2016. 基于模糊综合评判法的洮河水环境质量评价[J]. 环境科学与技术, 39(S1): 380-386.
- 尹海龙, 徐祖信, 2008. 我国单因子水质评价方法改进探讨[J]. 净水技术, 27(2): 1-3.
- 于洋, 张民, 钱善勤, 等, 2010. 云贵高原湖泊水质现状及演变[J]. 湖泊科学, 22(6): 820-828.
- 张清, 孔明, 唐婉莹, 等, 2014. 太湖及主要入湖河流平水期水环境质量评价[J]. 长江流域资源与环境, 23(Z1): 73-80.
- Danielsson A, Cato I, Carman R, et al, 1999. Spatial clustering of metals in the sediments of the Shagerrak/Kattegat[J]. Appl Geochem, 14(6): 689-706.
- Fovell R, Fovell M Y, 1993. Climate zones of the conterminous United States defined using cluster analysis[J]. J Climate, 6(11): 2103-2135.
- Meglen R R, 1992. Examining large databases: a chemometric approach using principal component analysis[J]. Marine Chemistry, 39(1): 217-237.
- Wang Y B, Liu C W, Liao P Y, et al, 2014. Spatial pattern assessment of river water quality: implications of reducing the number of monitoring stations and chemical parameters[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 186(3): 1781-1792.
- Ying Q Y, 2005. Evaluation of river water quality monitoring stations by Principal Component Analysis[J]. Water Research, 39(12): 2621-2635.
- Zhang G Q, Xie H J, Kang S C, et al, 2011. Monitoring lake level changes on the Tibetan Plateau using ICES at altimetry data (2003-2009)[J]. Remote Sensing of Environment, 115: 1733-1742.

(责任编辑 万月华)

Spatial Distribution of Water Quality in Ulungur Lake

ZOU Lan^{1,2}, GAO Fan^{1,2}, MA Ying-jie^{1,2}

(1. College of Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, P.R. China ;

2. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, P.R. China)

Abstract: Ulungur Lake, consisting of Buluntuohai Lake and Jili Lake, is the second largest inland lake in Xinjiang and serves important ecological functions. Assessing lake water quality is important for tracking changes and evaluating lake health, and is closely related to the ecological security of the basin. In this study, the current situation and spatial distribution of water quality in Ulungur Lake were evaluated and analyzed using principal component analysis (PCA) and spatial interpolation. The driving factors of water pollution were explored using cluster analysis (CA). The objective was to provide a reference for conserving the water environment and managing Ulungur Lake, and for other typical arid inland lakes. In July and August 2017, a water quality investigation was carried out at eight sampling sites, covering all of Ulungur Lake: (S1) Luotuobozi, (S2) Matou, (S3) Zhonghaizi, (S4) the open area of Buluntuohai Lake, (S5) the Nongshishi fishery administration station, (S6) Xiaohaizi, (S7) the inlet of Jili Lake and (S8), the open area of Jili Lake. Eight water quality parameters were measured including salinity, pH, Secchi disk transparency (SD), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), permanganate index (COD_{Mn}), dissolved oxygen (DO) and the 5-day biochemical oxygen demand (BOD_5). The water in Ulungur Lake was weakly alkaline, and pollution was dominated by organics, nitrogen and phosphorus. The comprehensive water quality index for the eight sampling sites ranked as follows: Luotuobozi > Xiaohaizi > Matou > Zhonghaizi > Nongshishi fishery administration station > open area of the Buluntuohai Lake > open area of the Jili Lake > inlet of the Jili Lake and spatial differences in water quality were significant. Water quality in Jili Lake was better than in Buluntuohai Lake, water quality was better in open waters than near the shoreline and water quality declined with distance from the inlet. Water pollution at S1 was most serious, and water quality at S7 and S8 in Jili Lake was the best. Based on the spatial distribution of water quality, Ulungur Lake had three distinct areas: Class I included S1, S2, S4 and S5 with the worst water quality in eastern, western and central Buluntuohai Lake; Class II included S3 and S6 in south and north Buluntuohai Lake and the water is becoming more saline; Class III included S7 and S8 in Jili Lake, with much better water quality than in the other two areas. Salinization and inputs of nutrients and organics were the primary threats to water quality in Ulungur Lake. Salinization and declining water quality were attributed primarily to the normalized water cut-off in Ulungur River since 2000. This has resulted in the buildup of salt, exacerbated by organic pollutant inputs from aquaculture in the lake and agricultural non-point source pollution from peripheral areas.

Key words: Ulungur Lake; water quality evaluation; spatial distribution; principal component analysis