

双塔水库水质对人类活动的响应分析

高雅玉¹,张新民¹,田晋华¹,钱 鞠²

(1. 甘肃省水土保持科学研究所,甘肃 兰州 730020;2.兰州大学 资源环境学院,甘肃 兰州 730000)

摘要:选取 1993~2008 年瓜州县人类活动数据及双塔水库水质指标年平均值进行主成分分析,去除冗余信息后进行多元线性回归分析,得到四组反映人类活动对水库水环境影响情况的回归方程。说明对双塔水库水质起主要影响作用的是农业活动和因农业活动引起的土地利用变化,农业活动的非点源污染是水库水质的主要污染源,水库水质仍存在富营养化的风险;工业活动对水库水质的影响没有在回归方程中体现出来。在农业活动过程中,耕地面积每增加 10 000 亩促使 pH 值上升 0.062、溶解氧值下降 0.046、高锰酸钾指数上升 0.103、COD 值上升 0.617;而每增加 10 000t 的氮肥施用量会引起 pH 值升高 1.837;总人口每增加 1 万人,COD 值上升 0.798。

关键词:双塔水库;水质;主成分分析;回归分析;人类活动

中图分类号:X824 文献标识码:A 文章编号:1000-0852(2013)02-0070-05

1 引言

人类活动与土地利用变化是水文水资源情势发生变化的重要影响因素^[1],可以影响水体中物质的进出从而使水环境状况发生改变。人类活动与生态环境以及区域景观间的相互影响一直受到国内外研究者的广泛关注^[2-5]。而河流、水库的水质状况是流域内多种因素(如自然、人类活动因素)综合影响的结果,其中,人类活动与土地利用变化往往都是导致河流、水库水质发生变化的主要原因^[6],水环境状况与流域内的人类活动情况有着密切的关系。疏勒河下游的瓜州绿洲的土地利用变化是较为强烈且复杂的,同时对脆弱的河流、水库环境的影响也是较为显著的^[7]。在生态环境脆弱的干旱区,点源污染已经逐步地得到治理和控制,非点源污染对水环境的影响就越来越得到重视,人类活动及土地利用变化所产生的非点源污染便成为了近年来国内外研究的重点^[8-10]。因此,研究生态环境相对脆弱的干旱区人类活动对水环境的影响,以期使脆弱的水环境向着更好、更加稳定的方向发展无疑具有重要的理论意义和现实意义。

2 研究区概况

瓜州县位于甘肃省河西走廊最西端,是古丝绸之路

路上的一边塞重镇。该县深居内陆,远离海洋,降水稀少,气候干燥,日照强烈蒸发量大,风沙天气频繁,属于典型的极端干旱区,光热、矿产、水力资源都较为丰富。县内的戈壁绿洲区,年降水量 53.6mm,年蒸发量 3 140.6mm,干燥度为 6.86~18.98^[11]。

双塔水库位于疏勒河下游瓜州县以东 48km 处(见图 1)。水库于 1960 年 2 月建成蓄水,控制流域面积为 34 440km²。水库的水化学类型为 C Ca 型,矿化度在 0.6g/L 左右,属低矿化度水,水质 Ⅲ 级,水质符合生活饮用、工业应用、农业灌溉、渔业养殖、景观娱乐等用水标准。

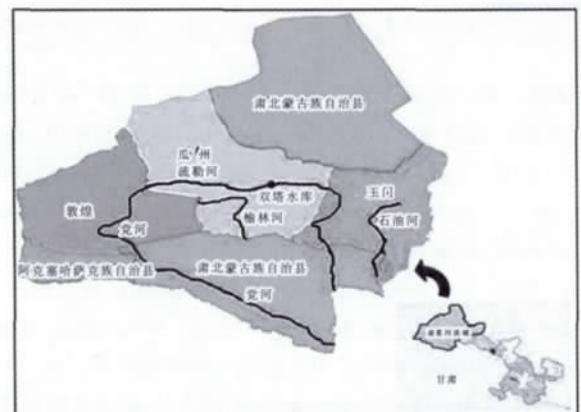


图1 研究区位置示意图
Fig.1 Location of the study area

收稿日期:2012-03-29

基金项目:甘肃省青年科技基金(1208RJYA090)

作者简介:高雅玉(1985-),女,天津人,硕士,主要从事水文与水资源及水环境方面的研究。E-mail: gaoyayu19851231@163.com.cn

3 研究方法及过程

经综合分析,选出水质和人类活动与土地利用变化的数据,利用主成分分析的方法分别对其进行降维以减少数据的冗余和分析中的困难,再将处理好的水质数据与土地利用变化数据进行多元线性回归分析,分析人类活动与土地利用变化对水库水质的影响情况(即水质变化的驱动力),研究方法详见图2。

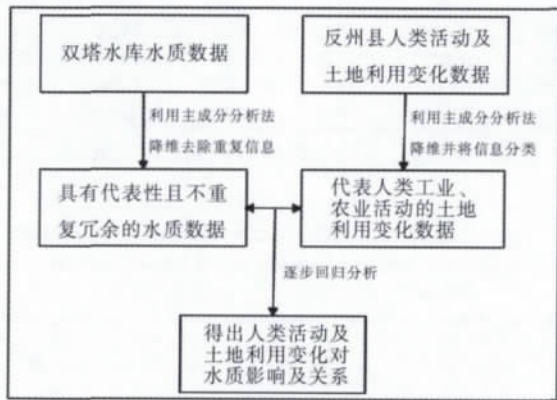


图2 研究方法简图
Fig.2 The research methods

3.1 瓜州县人类活动及土地利用变化分析

综合分析瓜州县土地利用及社会经济水平后,选出1993~2008年的耕地面积、造林面积、种草面积、有效灌溉面积、化肥施用量、氮肥施用量、磷肥施用量、总人口、现价工业总产值、现价农业总产值以及人均GDP等数据作为衡量人类活动及土地利用变化的数据,并对其进行分析处理,结果见图3。得出瓜州县的土地利用变化数据在总体上是逐年上升的,以2003年为分界点,2003年之前为缓慢上升阶段,2003年之后为快速上升阶段。

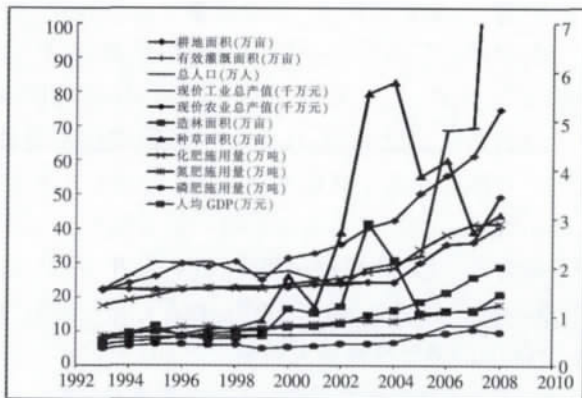


图3 瓜州县人类活动及土地利用变化数据折线图
Fig.3 The diagram of the basic data of the human activities and land use changes in Guazhou county

以上选取的人类活动及土地利用变化指标较为细致和全面,能够较为全面地表现出人类活动以及土地利用的变化情况,但是,指标选取的过多又会加大分析的难度以及复杂性,往往在各个指标之间都具有一定的关联性,且各指标在一定的程度上反映出来的信息会有一些的重迭。因此,采用主成分分析法,通过降维把相互关联的多个指标转化为少数的不相关的的几个指标或综合指标,以减少变量之间的相互干扰,从而为下一步的分析提供更好的数据基础。

对人类活动及土地利用变化数据进行主成分分析可得出表1、2、3,经过表1的相关系数矩阵可得到表2,在表2中,第1主成分和第2主成分的累积贡献率可达92.45%,已经基本可以代表全部的数据信息,因此在下一步的分析中选取第1和第2主成分中的数据进行分析即可。在表3主成分载荷矩阵中反应出,对第一主成分贡献比较大的数据信息为:耕地面积、化肥施用量、氮肥施用量、磷肥施用量、有效灌溉面积、总人口、农业总产值以及人均GDP,而对第2主成分贡献较大的为:工业总产值、造林面积和种草面积。根据对第1和第2主成分的贡献率得到,第1主成分是农业活动的代表,而第2主成分可以看作是工业活动的代表信息。因此,根据各个因子对主成分的贡献率在代表人类农业活动的第1主成分中选取 X_3 年末耕地面积、 X_4 氮肥施用量、 X_5 磷肥使用量、 X_6 有效灌溉面积、 X_7 总人口、 X_8 现价农业总产值作为代表人类农业活动的因子进行后续分析;选取 X_1 造林面积、 X_2 现价工业总产值作为第2主成分的代表人类工业活动的因子进行后续的多元线性回归分析。

3.2 双塔水库水质分析

与人类活动分析相同,取1993~2008年双塔水库水质指标年平均平均值, Y_1 pH值、 Y_2 溶解氧值、 Y_3 高锰酸钾盐指数、 Y_4 化学需氧量、 Y_5 生化需氧量、 Y_6 氟化物、 Y_7 砷化物含量、 Y_8 矿化度进行主成分降维分析(为了提高分析的精确度将溶解氧DO值取倒数再乘以10、砷含量值乘以100、矿化度值除以100后进行分析)得到相关系数矩阵、主成分列表及载荷矩阵。从而得出前四个主成分的累计贡献率可以达到84.078%,已经基本可以代表水质数据所反映的信息,因此选取前四个主成分进行综合分析,得出:在主成分1中选取贡献率最大的pH值作为第1主成分的代表,第2主成分中选取贡献率较高的溶解氧值作为代表,第3主成分中

选取贡献率较大的高锰酸钾盐指数作为代表,在第4主成分中选取化学需氧量 COD 作为评价的代表。因

此,共选取 pH 值、溶解氧值、高锰酸钾盐指数、化学需氧量 COD 四个指标作为评价水质的标准。

表1 瓜州县人类活动及土地利用变化相关系数矩阵表
Table1 The correlation matrix of the human activities and land use changes in Guazhou county

	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	L_{11}
L_1	1.000	0.033	0.385	0.898	0.887	0.859	0.973	0.968	0.939	0.944	0.925
L_2	0.033	1.000	0.681	0.156	0.236	0.052	0.038	0.046	0.005	0.195	0.197
L_3	0.385	0.681	1.000	0.608	0.639	0.505	0.447	0.374	0.222	0.610	0.619
L_4	0.898	0.156	0.608	1.000	0.978	0.956	0.956	0.891	0.719	0.978	0.986
L_5	0.887	0.236	0.639	0.978	1.000	0.903	0.917	0.888	0.742	0.974	0.974
L_6	0.859	0.052	0.505	0.956	0.903	1.000	0.934	0.826	0.668	0.932	0.921
L_7	0.973	0.038	0.447	0.956	0.917	0.934	1.000	0.974	0.842	0.960	0.954
L_8	0.968	0.046	0.374	0.891	0.888	0.826	0.974	1.000	0.923	0.920	0.917
L_9	0.939	0.005	0.222	0.719	0.742	0.668	0.842	0.923	1.000	0.816	0.781
L_{10}	0.944	0.195	0.610	0.978	0.974	0.932	0.960	0.920	0.816	1.000	0.989
L_{11}	0.925	0.197	0.619	0.986	0.974	0.921	0.954	0.917	0.781	0.989	1.000

(L_1 :耕地面积, L_2 :造林面积, L_3 :种草面积, L_4 :化肥施用量, L_5 :氮肥施用量, L_6 :磷肥施用量, L_7 :有效灌溉面积, L_8 :人口总数, L_9 :工业生产总产值, L_{10} :农业生产总产值, L_{11} :人均 GDP。)

表2 瓜州县人类活动及土地利用变化主成分列表
Table 2 The principle components of the human activities and land use changes in Guazhou county

主成分	特征根	初始特征值 方差百分数/%	累积贡献率/%
1	8.571	77.922	77.922
2	1.598	14.531	92.453
3	0.512	4.652	97.105
4	0.151	1.371	98.476
5	0.079	0.716	99.192
6	0.042	0.386	99.578
7	0.026	0.234	99.812
8	0.016	0.149	99.961
9	0.003	0.026	99.987
10	0.001	0.012	99.999
11	0.000	0.001	100.000

表3 瓜州县人类活动及土地利用变化主成分载荷矩阵
Table3 The component matrix of the human activities and land use changes in Guazhou county

主成分	1	2
L_1	0.112	-0.129
L_2	0.020	0.564
L_3	0.067	0.473
L_4	0.114	0.027
L_5	0.113	0.066
L_6	0.108	-0.032
L_7	0.114	-0.094
L_8	0.111	-0.124
L_9	0.098	-0.188
L_{10}	0.116	0.024
L_{11}	0.115	0.034

3.3 双塔水库水质对瓜州县人类活动及土地利用变化的响应分析

回归分析主要指通过提供变量之间的数学表达式来定量的描述变量间相关关系的数学过程。这种数学表达式通常称为经验公式^[2]。分别以选出的 1993~2008 年的代表水质的数据为应变变量,人类活动和土地利用变化数据为自变量来进行多元线性回归分析以探求双塔水库水质变化对人类活动及土地利用变化的响应。

3.3.1 pH 值对人类活动及土地利用变化的响应分析

根据以上的主成分分析结果,以 1993~2008 年双塔水库 pH 的年平均平均值 Y_1 为应变变量,选取 X_1 造林面积、 X_2 现价工业总产值、 X_3 耕地面积、 X_4 氮肥施用量、 X_5 磷肥使用量、 X_6 有效灌溉面积、 X_7 总人口、 X_8 现价农业总产值作为代表人类活动及土地利用变化为自变量进行多元线性相关分析,利用 SPSS16.0 软件的多元线性回归方法得出下面的方程:

$$Y_1=8.631+0.062X_3+1.837X_4-0.304X_5-0.123X_6$$

$$-0.053X_7-0.002X_8 \quad (1)$$

方程 (1) 中 R 值为 0.643, F 值为 8.71, sig. 值为 0.101, 方程通过有效性检验,但是回归分析得到的 pH 值与人类活动及土地利用变化的相关性不是非常明显,在方程中 pH 值主要受到常数项以及 X_4 氮肥施用量的影响, X_5 磷肥施用量、 X_6 有效灌溉面积也对 pH 值有一定的影响但不如氮肥施用量的影响明显, X_3 耕地面积、 X_7 总人口、 X_8 现价农业总产值对 pH 值的影响并不十分明显。说明对 pH 值起主要影响作用的是人类的农业活动,其中化肥的使用量对 pH 值的影响最大, pH 值对人类的农业活动的响应最为明显。根据回归分析方程,在农业活动过程中,其它条件不发生变化时,耕地面积每增加 10 000 亩 pH 值上升 0.062; 每增加 10 000t 的氮肥施用量大约会引起 pH 值升高 1.837。

3.3.2 溶解氧值对人类活动及土地利用变化的响应分析

在进行分析之前,对 1993~2008 年的溶解氧年平均平均值进行取倒数再乘以 10 的预处理之后再行模拟

计算以期达到更好的分析结果。通过多元线性回归分析得到方程(2):

$$Y_2=1.329-0.046X_3+0.034X_6+0.01X_8 \quad (2)$$

方程(2)的 R 值为 0.866, F 值为 11.976, sig. 值为 0.001, 方程通过有效性检验, 且达到极显著相关。溶解氧值主要受到耕地面积、有效灌溉面积以及现价农业总产值的影响, 由于方程的系数很小即溶解氧值随耕地面积、有效灌溉面积以及现价农业总产值的变化并不是很大, 基本稳定在常数项 1.329 范围之内^[13]。说明人类的农业活动是影响溶解氧值的主要因素。根据回归方程可得出: 在人类农业活动过程中, 其它条件不发生变化, 耕地数量每增加 10 000 亩溶解氧值下降 0.046。

3.3.3 高锰酸钾盐指数对人类活动及土地利用变化的响应分析

经过逐步多元线性回归分析, 可得出高锰酸钾盐指数对人类活动及土地利用变化因子的响应方程:

$$Y_3=2.046+0.103X_3-0.086X_8 \quad (3)$$

方程(3)的 R 值为 0.899, F 值为 27.498, sig. 值为 0.000, 方程通过有效性检验, 达到极显著相关, 说明高锰酸钾盐指数与人类活动和土地利用变化有很强的相关性。其中, 耕地面积对高锰酸钾盐指数有比较明显的影响, 而现价农业总产值由于系数较小故对高锰酸钾盐指数的影响微弱。总体来看, 高锰酸钾指数与人类的农业活动相关性较强, 由于方程系数较小, 高锰酸钾指数的波动不会很大, 基本维持在常数项 2.046 的波动范围之内。根据多元回归方程, 在人类农业活动过程中, 其它条件不发生变化的情况下, 耕地面积每增加 1 万亩高锰酸钾指数上升 0.103。

3.3.4 化学需氧量 COD 值对人类活动及土地利用变化的响应分析

将 1993~2008 年双塔水库的 COD 年平均值与人类活动及土地利用变化数据做逐步多元线性回归分析得到下面方程:

$$Y_4=8.877+0.617X_3-2.656X_4-1.359X_6+0.798X_7+0.23X_8 \quad (4)$$

方程(4)的 R 值为 0.767, F 值为 2.85, sig. 值为 0.033, 方程通过有效性检验, 但方程的相关性不是很明显。从方程的系数中可以看出, 氮肥施用量以及有效灌溉面积对 COD 值的影响较大, 其次是总人口和耕地面积也对 COD 值有一定的影响, 但没有前二者影响强烈, 农业总产值对 COD 值有微弱的影响。从方程中可以看出 COD 值对人类农业活动的响应比较的明显, 对工业活动的响应在方程中没有体现出来。根据线性回

归方程, 在人类农业活动过程中, 其它条件不发生变化, 耕地面积增加 10 000 亩, COD 值上升 0.617; 总人口每增加 1 万人, COD 值上升 0.798。

4 结论

通过对瓜州县人类活动及土地利用变化的研究, 采用主成分分析法将繁杂冗余的土地利用数据进行处理得出分别代表人类农业活动和工业活动的代表数据, 并对双塔水库的水质数据进行同样的处理选出 pH 值、溶解氧值、高锰酸钾盐指数、COD 值来代表水库水质情况进行多元线性回归分析, 由回归分析可得出双塔水库的水质对于人类的农业活动以及耕地的变化有很明显的响应, 主要结论有以下几点:

(1) 双塔水库水质变化情况为人类活动增强导致水体污染物载荷量增大和水库上游人类活动致使下游河道、水库的受水量减少。人类生活排污也对水库水质有一定的影响, 但影响不如农业活动强烈。人类农业活动的非点源污染是水库水质的主要污染源; 人类的工业活动对水库水质的影响没有在回归方程中体现出来。双塔水库的水质变化对化肥施用量响应最为明显。

(2) 对双塔水库 pH 值影响较为明显的是流域内的农业活动, 流域内工业活动对水库 pH 值的影响在回归方程中没有显示出来。在人类农业活动过程中(其它条件不发生变化时), 耕地面积每增加 10 000 亩 pH 值上升 0.062; 每增加 10 000t 的氮肥施用量大约会引起 pH 值升高 1.837。

(3) 人类的农业活动是影响溶解氧值的主要因素, 大规模的农业活动促使氮肥、磷肥等肥料的施用量增大、水库上游大批移民向玉门镇的迁移向水库排放生活污水都会使水库的溶解氧值降低, 使水库存在富营养化的可能。该流域人类的工业活动对水库溶解氧值的影响在回归方程中没有显示出来。在人类农业活动过程中, 其它条件不发生变化, 耕地数量每增加 10 000 亩溶解氧值下降 0.046。

(4) 高锰酸钾盐指数与流域内农业活动相关性较强, 但波动不会很大, 基本维持在常数项 2.046 的波动范围之内。双塔水库上游农业开发活动的增强引起生活排污增加致使水体中的 N 、 P 等有机污染物增多; 流域内工业废污的排放会引起水体中无机可氧化性污染物增多, 都是水体中高锰酸钾盐指数升高的主要原因。在其它条件不发生变化的情况下, 耕地面积每增加 10 000 亩高锰酸钾指数上升 0.103。

(4)COD 值对人类农业活动的响应比较的明显,对工业活动的响应在方程中没有体现出来。其它条件不发生变化时,耕地面积增加 10 000 亩,COD 值上升 0.617;总人口每增加 1 万人,COD 值上升 0.798。

参考文献:

- [1] Shilong Piao, Pierre Friedlingstein, Philippe Ciais, et al. Changes in climate and land use have a larger direct impact than rising CO₂ on global river runoff trends[J]. PANS, 2007,14: 15242-15247.
- [2] Turner B. L., David S., Steven S. Land use and land cover change (LUCC):science/research plan [R].IGBP Reports,No.35,1995:24-28.
- [3] US2SGCR/CENR. Our Changing Planet:the FY 1995 U.S.[M].Global Change Research Program. Washington DC: USGCR ID,1995:26-29.
- [4] 郑辛酉,贾铁飞,倪少春.基于区域城市化 LUCC 的人类生态过程定量研究——以上海市典型城市化样带为例 [J]. 生态学报,2007,27 (1): 261-267. (ZHENG Xinyou, JIA Tiefei, NI Shaochun. A quantitative study on human eco-processes in the regional urbanization based on land use and cover change: a case study of a typical urbanization sample zone in Shanghai[J]. Acta Ecologica Sinica,2007,27(1): 261-267.(in Chinese))
- [5] 王夏晖,王波,张惠远. 农村景观格局的水环境效应研究进展[J].中国生态农业学报, 2008,16 (6):1591-1593.(WANG Xiahui, WANG Bo, ZHANG Huiyuan. Advances in research on the effect of rural landscape pattern on water environment[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008,16(6): 1591-1593.(in Chinese))
- [6] 李怀恩,李越,蔡明,等. 河流水质与流域人类活动之间的关系[J]. 水资源与水工程学报,2004, 15(1): 24-26. (LI Huaien, LI Yue, CAI Ming, et al. Relationship between river water quality and human activities in watershed [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2004, 15(1): 24-26.(in Chinese))
- [7] 张凯,王润元,张勃,等. 区域土地利用变化的水资源效应研究——以黑河中游地区为例[J].土壤,2008,40(1):51-53. (ZHANG Kai, WANG Runyuan, ZHANG Bo, et al. Effect of regional land use variation on water resources——A case study of the middle reaches of the Heihe River [J]. Soils, 2008,40(1):51-53.(in Chinese))
- [8] 盛学良,舒金华,彭补拙,等.江苏省太湖流域总氮、总磷排放标准研究[J].地理科学,2002,22 (4):449-452. (SHENG Xueliang, SHU Jinhua, PENG Buzhuo, et al. Study on emission standards of total nitrogen and total phosphorus at Taihu valley in Jiangsu province [J]. Scientia Geographica Sinica, 2002,22 (4):449-452.(in Chinese))
- [9] 刘苏峡,张士锋,刘昌明.黄河流域水循环研究的进展和展望[J].地理研究,2001,20 (3):257-265. (LIU Suxia, ZHANG Shifeng, LIU Changming. Advances on the research into the mechanism of hydrological cycle in Yellow river catchment [J]. Geographical Research, 2001,20(3): 257-265.(in Chinese))
- [10] 梁涛,张秀梅,章申,等.西碛河流域不同土地类型下磷素随暴雨径流的迁移特征[J].环境科学,2003,24(2):35-40. (LIANG Tao, ZHANG Xiumei, ZHANG Shen, et al. Nitrogen elements transferring processes and fluxes under different land use in west Tiaoxi catchment [J]. Acta Geographica Sinica, 2003,24(2):35-40.(in Chinese))
- [11] 鲁希圣,陈向前,王玉珍,等.安西县志[M].北京:知识出版社,1990:77-91. (LU Xisheng, CHEN Xiangqian, WANG Yuzhen, et al. County Annals of Anxi [M]. Beijing: Publishing House of Knowledge, 1990:77-91.(in Chinese))
- [12] 罗应婷,杨钰娟.SPSS 统计分析从基础到实践[M].北京:电子工业出版社,2002:212-213. (LUO Yingting, YANG Yujuan. SPSS Statistical Analysis from Basic to Practice [M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2002:212-213.(in Chinese))
- [13] 孔彦龙,井森,吴春勇等.新立城水库水质与气候及人类活动的相互响应分析[J].中国环境管理, 2007,6(2):14-16. (KONG Yanlong, JING Miao, WU Chunyong, et al. Response analysis of water quality of Xinlicheng reservoir to climate force and artificial influence factor [J]. China Environment Management, 2007,6(2):14-16.(in Chinese))

Response of Water Quality in Shuangta Reservoir to Human Activities

GAO Yayu¹, ZHANG Xinmin¹, TIAN Jinhua¹, QIAN Ju²

(1. Gansu Institute of Soil & Water Conservation Sciences, Lanzhou 730020, China;

2. College of Resources and Environment, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Guazhou County is located in the downstream of the Shulehe River Basin. The principal components were used to analysis the data of human activities in Guazhou County and the annual average water quality data in Shuangta Reservoir from 1993 to 2008, and the information representing human agricultural and industrial activities and the reservoir water quality situations was obtained. Then, the multiple linear regression analysis was used to calculate four regression equations reflecting the impacts of human activities and land use changes on pH index, dissolved oxygen index, potassium permanganate index and chemical oxygen demand index of water environment in the reservoir. The results show that the main impacts on water quality in the Shuangta Reservoir are human agricultural activities and land use changes, and the major pollution sources of water quality in reservoir are non-point source pollution aroused by human agricultural activities. In addition, the impact of human industrial activities on water quality is not obvious in the regression equation. And the reservoir is still facing the risk of eutrophication. In the course of human agricultural activities, each increase of 10 thousands mu of cultivated land will cause the pH index increasing by 0.062, dissolved oxygen index dropping by 0.046, potassium permanganate index increasing by 0.103, chemical oxygen demand index increasing by 0.617; and each increase of 10 thousands tons of nitrogen fertilizer will cause pH index increasing by 1.837, and if the total population increase by 10 thousands, then the chemical oxygen demand index will increase by 0.798 as well.

Key words: Shuangta Reservoir; water quality; principal component analysis; regression analysis; human activity