

因子分析法在伊通河水质评价中的应用

杨 威, 卢文喜, 李 平, 杨忠平

(吉林大学环境与资源学院, 长春 130026)

摘 要:根据伊通河 8 个不同监测断面的水质监测数据, 采用 R 型因子分析方法对伊通河水质进行了综合评价, 研究(或分析)了河水中 12 种化学成分之间的相关关系, 从中提取了 4 个主因子进行分析计算, 结果表明第一污染因子主要为有机污染, 包括 BOD₅、挥发酚、石油类等; 第二主因子的主要代表指标是氨氮、NO₂-N 和 DO; Zn、Pb 分别对第三、四主因子贡献明显。分析结果从整体上认识和评价了伊通河水质的污染现状, 为保护、管理伊通河水资源提供了基础理论依据。

关键词:水质评价; 因子分析; 伊通河

中图分类号: X522

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)01-0113-02

Application of Factor Analysis Method to the Water Quality Evaluation of Yitong River

YANG Wei, LU Wen-xi, LI Ping, YANG Zhong-ping

(College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract: According to water quality monitoring data of 8 different monitoring section of Yitong River, the correlation among 12 chemical components in the river were researched by using R-mode factor analysis. In this way, four main pollution factors were selected to analysis and calculate. The research showed that first polluted factor was organic pollution, such as BOD₅, petroleum and volatile etc. NH₃-N, NO₂-N and DO were secondary important pollutants. Zn, Pb contributed for the third and fourth factors. The research provides a scientific basis for assessing, protecting and managing the water quality of Yitong River.

Key words: water quality; factor analysis; Yitong River

伊通河是长春市惟一的过境河流, 是长春市的重要水体。对该河流进行全面的水质成分分析、评价, 不仅对长春地区的环境保护具有现实意义, 并且对我国其它水系的流域治理也有一定的参考价值。

伊通河发源于吉林省伊通县内, 流经长春市、农安县等地, 在农安靠山屯附近汇入饮马河后流入第二松花江, 河流全长约 342.5 km, 流域面积 8 440 km², 是饮马河的最大支流^[1]。该河流属于季节性河流, 流量随季节和降水量大小而变化, 局部河段在枯水期甚至出现干枯断流。河流本身的净水能力很弱, 加之在流经各市、县市区时, 各种生活污水、工业废水和大量的农业汇水排入, 使得伊通河的水质变差, 水生生态系统的结构和功能发生了明显的改变, 污染程度日益严重^[2]。为研究伊通河水质污染状况, 本文利用松辽流域水环境监测中心 2003 年伊通河 8 个监测断面的监测资料, 应用 R 型因子分析方法, 对伊通河水质成分进行分析。

1 因子分析法基本原理

因子分析法是研究一组变量(样品)之间相关关系的一种多元统计方法, 是主成分分析方法的推广和深化^[3]。该分析方法是多以多变量之间的相关关系为基础, 在多变量中寻找相互独立的变量组合, 构成最少个数的独立的新变量——因子, 这些少数因子不仅提供了研究对象总变化的绝大部分信息, 而且还揭示研究对象之间的相互关系, 尤其是成因上的联系^[5]。

因子模型^[4]: 假如有 n 个地理样本, 每个样本共有 p 个变量 (x_1, x_2, \dots, x_p), 这样就构成了一个 $n \times p$ 阶的地理数据矩阵:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{np} \end{bmatrix}$$

经过标准化及降维处理, p 个变量可以综合成 m 个新指标 F_1, F_2, \dots, F_m , 则标准化的变量 Z 可由 F_m 线性表示出, 即:

$$Z = AF + CU$$

式中: F ——公共因子矩阵; A ——因子载荷矩阵; U ——单一因子

那么, Z 就称为新综合指标的向量集合, 据此就可以进行相关的分析。 A 为原变量在新变量上的载荷矩阵值(即原变量与新变量的相关程度)。整个计算过程应用 Visual Basic 编程语言实现。

2 伊通河水质评价

2.1 评价指标的选取

以伊通河每个水质监测断面的监测值作为一个样品, 自伊通河的源头伊通镇到汇入饮马河前的靠山大桥共计 8 个监测断面, 对每个样品中的 12 种化学成分进行分析(即 12 个变量), 即 DO、COD_{Mn}、NO₃-N、BOD₅、氨氮、NO₂-N、挥发酚、Zn、pH 值(无因次)、氰化物、Pb 及石油类。其中有 11

* 收稿日期: 2006-03-19

基金项目: 水利部“948”项目(合同编号: 2000105)

作者简介: 杨 威(1982-), 女, 黑龙江大庆市人, 水文与水资源硕士研究生; 通讯作者: 卢文喜(1956-), 男, 吉林德惠人, 教授, 主要从事地下水数值模拟与优化管理等研究。

项指标属于浓度越高污染越严重,而 DO 浓度越高水质越好,因此在数据处理时取其倒数。

2.2 特征值和特征向量的计算

将原始数据做标准化处理后^[3],求出 12 个变量两两之间的相关系数,形成一个 12 ×12 阶的方阵,即相关系数矩阵,再由 $|I - R| = 0$ 求出特征值,即第 j 个主因子的贡献率,并计算累计贡献率(见表 1)。

表 1 各主因子特征值与贡献率

主因子 / F	特征值 /	贡献率 / %	累计贡献率 / %
1	5.485	45.706	45.706
2	3.122	26.015	71.721
3	1.492	12.431	84.153
4	1.136	9.466	93.619

由表 1 可知,前 4 个特征值累计贡献率已达 93.619%,因此可以认为这 4 个主因子反映了原始数据的基本信息。并计算对应原始变量的 4 个主因子的载荷矩阵 p 及公因子方差 hi^2 (见表 2)。

表 2 12 项水质指标在各个主因子上的得分

污染指标	第一主因子	第二主因子	第三主因子	第四主因子	公因子方差
DO	-0.359	0.554	-0.230	0.275	0.564
COD _{Mn}	0.958	0.236	0.077	-0.089	0.987
NO ₃ - N	0.732	0.625	0.171	-0.081	0.963
BOD ₅	0.945	0.098	-0.156	0.234	0.982
氨氮	0.607	0.747	0.139	0.180	0.978
NO ₂ - N	0.573	0.779	-0.235	-0.127	0.936
挥发酚	0.942	-0.301	0.064	0.122	0.997
Zn	-0.641	-0.277	0.587	0.341	0.948
pH	-0.522	0.692	0.331	-0.237	0.917
氰化物	-0.612	0.453	-0.297	-0.359	0.802
Pb	-0.512	-0.386	0.130	0.734	0.967
石油类	0.932	0.151	-0.127	0.271	0.981

2.3 各主因子的得分

由表 2 可知,各个观测变量的共同度大多都在 90% 以上,仅有 DO 的较小,因此用前 4 个因子作为综合因子是合理的。COD_{Mn}、BOD₅、挥发酚、石油类对第一主因子贡献明显,这 4 个指标主要是有机污染物。对第二主因子做主要贡献的是 NO₂ - N、NO₃ - N 和 DO 等,这主要反应了农业汇水对河流造成的农业污染。第三主因子主要代表了锌(载荷为 0.587),第四主因子主要代表了铅(载荷为 0.734),这反映了重金属污染是伊通河水质污染的又一特征。

旋转主因子载荷矩阵 P 并转置,求出各主因子的得分系数矩阵,然后由 $F_{ij} = \sum_{k=1}^{12} x_{ik} p_{jk} / x_{ik}$ ——标准化后第 i 个监测断面第 k 个变量的数值; $i = 1, 2, \dots, 8; j = 1, 2, 3, 4$),求出各监测断面在各主因子上的得分。由 $F_i = (\sum_{j=1}^4 F_{ij} \cdot j) / j$ ($i = 1, 2, \dots, 8$),求出各监测断面的综合得分(见表 3)。

3 结果与分析

表 3 中综合因子的得分反映了监测断面的污染状况。由以上计算结果可知:伊通河源头段河流水质得分并不高,这表明该段河流虽然由于伊通镇农业汇水和生活污水的排入受到了一定的污染,但新立城水库容量较大,水体自净能力强,恢复较快,所以水质较好。伊通河流入长春市区以后,

参考文献:

[1] 肖荣襄. 吉林省志(卷 4) - 自然地理志[M]. 长春:吉林人民出版社,1992. 142.
[2] 王洪鑫. 伊通河地表水环境质量评价[J]. 吉林水利, 2005, (7): 13 - 15.
[3] 徐振邦, 姜元仁. 数学地质基础[M]. 北京:北京大学出版社, 1994. 106 - 108.
[4] 于秀林, 任雪松. 多元统计分析[M]. 北京:中国统计出版社, 1999. 154 - 162.
[5] 卢文喜. 长春南湖水质成分的因子分析[J]. 世界地质, 1999, 18(3): 61 - 65.
[6] 董德明, 李海龙, 等. 伊通河(长春市区段)沉积物重金属元素化学形态分布特征[J]. 水土保持研究, 2004, 11(1): 95 - 97.

由于沿途不断有污染源的汇入,导致综合评价得分沿水流方向开始逐渐升高,至农安大桥监测断面处得分达到最高,而靠山大桥处得分又有所下降,这是因为伊通河在靠山大桥处汇入饮马河得到了饮马河水的稀释,使污染程度降低。农安大桥监测断面处综合得分最高,说明该段河流污染最为严重,这与现场观测到的该段河流水色浑浊并有恶臭,部分河段出现断流现象相一致。该断面的 F_1 值最大,表明其主要污染为有机污染。分析原因,首先是由于该段位于伊通河上游与下游的过渡段,上游长春市每年有近 80% 的工业废水和 90% 的生活污水直接排入到伊通河内,这些废水中 COD_{Mn}、BOD₅、挥发酚含量严重超标,尤其是挥发酚,经监测超标约近 3 倍;其次是河流在流经农安县时有农业汇水排入,使水体中农药、化肥等含量过高;另外,该河流是季节性河流,在农安大桥附近有些地段甚至出现了断流,致使该河段自净能力极差,污染甚为严重。赛得大桥、南关大桥在 F_3 与 F_4 上得分较高,表明这两个断面处的河水重金属污染严重,这是由于河流在流入长春市时工业废水的排入使 Zn、Pb 含量高,但在其向下游流动过程中,在一定的物理化学条件下,重金属元素经过蓄凝、吸附、沉淀等作用进入到沉积物中^[6],而使河水中的重金属含量呈下降趋势。

表 3 伊通河监测断面主因子得分及污染排序

主因子	伊通大桥	新立城水库上游	新立城水库库心	赛得大桥	南关大桥	长春东大桥	农安大桥	靠山大桥
F_1	-0.3065	0.1289	-0.0949	0.3534	0.6865	0.9676	2.3832	0.4175
F_2	0.4134	-0.3916	-0.0561	-0.2361	1.065	0.4918	0.6121	0.5441
F_3	-0.0275	0.1425	-0.4073	1.0023	0.4621	-0.3529	-0.2361	0.4725
F_4	-0.3065	-1.4425	1.4413	0.8319	1.6121	-0.2506	0.2631	-0.1105
综合得分	0.3063	-0.2132	-0.1927	-0.2634	0.5261	0.8207	1.2633	0.7156

近年来,由于人口的大量增长以及现代化化工农业的急遽发展,生活污水、工业废水和农业汇水的排放量急剧增加,而这些废水几乎未经过任何处理直接排放到伊通河中,这是造成伊通河污染的主要原因;另外水资源的不合理开发和利用使河流流量急剧减少,甚至部分地段出现断流的现象,污染物得不到有效的稀释,河水的自净能力大大削弱,致使污染程度相对增加。

4 防治建议

通过对伊通河污染现状的研究,可以得知伊通河流域的水污染已严重影响了流域内的经济发展和人民的身体健康,为改善伊通河环境,提高当地人民的生活质量,现提出如下对策与建议:

- (1) 提高当地政府决策部门及当地居民的环保意识,采取积极有效措施加强对城市污水和工业废水的综合治理,加强对排污企业的有效监督,以大幅度削减伊通河的污染负荷。
- (2) 完善城市下水管网,施行雨污分流,汇集大量雨水及地表径流补给河水流量,以增大伊通河的环境容量。
- (3) 清淤河道,减小河道向地下水的渗漏量。尤其是长春东大桥至农安大桥河段在平水期或枯水期河段流量很小,局部河段干枯断流,其纳污能力几乎为 0,所以必须对伊通河进行河道清淤,彻底根除潜在的污染源,以减少河流的渗漏污染量。
- (4) 在保证生活、生产用水的前提下,适当调度新立城水库的排泄水量(特别是枯水期),以补充伊通河长春段的水量,增加其自净能力,减轻污染。