

朱媛媛, 田进军, 李红亮, 等. 丹江口水库水质评价及水污染特征[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(1): 139–147.

ZHU Yuan-yuan, TIAN Jin-jun, LI Hong-liang, et al. Water quality assessment and pollution profile identification of Danjiangkou Reservoir, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(1): 139–147.

丹江口水库水质评价及水污染特征

朱媛媛^{1,2}, 田进军³, 李红亮⁴, 江秋枫¹, 刘 琰^{1*}

(1. 中国环境科学研究院环境基准与风险评估国家重点实验室, 国家环境保护饮用水水源地保护重点实验室, 北京 100012; 2. 北京科技大学土木与环境工程学院环境工程系, 北京 100083; 3. 南阳理工学院生物与化学工程学院, 河南 南阳 473004; 4. 河南省环境监测中心, 河南 郑州 450004)

摘 要: 在南水北调中线工程通水前夕, 为了解丹江口库区水质状况及影响库区水质的主要污染因子, 于 2014 年平水期(5 月)、丰水期(8 月)、枯水期(12 月)对库区内 26 个点表层水样进行采集, 分别采用单因子评价法、综合污染指数法和主成分分析法对库区水质进行评价。单因子评价结果表明, TN 对水质评价结果有重要影响, 参与评价时库区水质为Ⅳ类或Ⅴ类。综合污染指数法评价结果表明, 库区水质整体处于中污染, 平水期水质优于枯水期和丰水期, 且丹江库区(DK)水质劣于汉江库区(HK); 总磷(TP)、总氮(TN)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})及生化需氧量(BOD₅)为库区的主要污染因子。主成分分析法结果表明, 库区水质主要受溶解氧(DO)、TN、BOD₅及 COD_{Mn}的影响; DK 各点位主成分得分均值高于 HK 各点位主成分得分均值, 也说明 HK 水质整体上略优于 DK 水质。

关键词: 丹江口库区; 水质评价; 单因子评价法; 综合污染指数法; 主成分分析法

中图分类号: X824 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2016)01-0139-09 doi:10.11654/jaes.2016.01.019

Water quality assessment and pollution profile identification of Danjiangkou Reservoir, China

ZHU Yuan-yuan^{1,2}, TIAN Jin-jun³, LI Hong-liang⁴, JIANG Qiu-feng¹, LIU Yan^{1*}

(1. State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, State Environmental Protection Key Laboratory of Drinking Water Source Protection, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2. Department of Environmental Engineering, School of Civil and Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China; 3. College of Biology and Chemical Engineering, Nanyang Institute of Technology, Nanyang 473004, China; 4. Henan Province Environmental Monitoring Center, Zhengzhou 450004, China)

Abstract: Danjiangkou Reservoir is the main source of water for the “middle-route” of South to North Water Diversion Project in China. Its water quality directly affects the safety of drinking water for residents along the route. In this study, 26 surface water samples were collected in normal- (May), high- (August) and low- water (December) periods in 2014, of which 14 samples were located in Danjiang Reservoir (DK) and 12 samples in Hanjiang Reservoir (HK). Total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), five-day biochemical oxygen demand (BOD₅), dissolved oxygen (DO), permanganate index (COD_{Mn}), ammonia nitrogen (NH₃-N), nitrate nitrogen (NO₃⁻-N) and pH were analyzed. Single factor assessment (SFA), comprehensive pollution index (CPI) and principal component analysis (PCA) were applied to evaluate the water quality. The SFA showed that the water quality of the reservoir was strongly influenced by TN, with the water quality being ranked at Ⅳ or Ⅴ for all locations. The CPI indicated that the water quality of this reservoir was at the medium pollution level in 2014, with slightly better water quality in normal period than in other two periods. TN, BOD₅, COD_{Mn} and TP were the main impact factors of the water quality. The PCA showed that DO, TN, BOD₅ and COD_{Mn} had an important effect on the water quality. The water quality in HK was better than that in DK.

Keywords: Danjiangkou Reservoir; single factor assessment; water quality assessment; comprehensive pollution index; principle component analysis

收稿日期: 2015-07-21

基金项目: 环保公益性行业科研专项(201309067); 国家水体污染控制与治理科技重大专项课题(2014ZX07405-001-04)

作者简介: 朱媛媛(1991—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为水环境管理与评价。E-mail: 624313802@qq.com

* 通信作者: 刘 琰 E-mail: liuyan@craes.org.cn

丹江口水库是南水北调中线工程核心水源区,其水质状况直接关系到受水区居民的饮水安全。随着库区周边区域社会经济的不断发展,来自点源及面源的污染物排放量不断增大,对水质安全构成了较大威胁。因此,对丹江口水库的水质进行全面的监测与评价,并识别影响水质的主要指标,对于掌握水库真实的水质状况,强化水污染防治、确保水质安全具有重要指导意义。

合理的水质评价应能提供水质类别、主要污染因子及水质的时空变化情况。目前水质评价常用的方法主要有单因子评价法、综合污染指数法、主成分分析法、灰色评价法、神经网络法等^[1-3]。单因子评价法由于计算简单、便于掌握而被普遍采用,但该方法仅能对水质进行类别评价,无法定量反映水质变化情况。综合污染指数及主成分分析法能够对水质状况进行量化,但综合污染指数法无法科学确定各项因子的权重;主成分分析法充分考虑各指标间信息重叠,在最大限度保留原有信息的基础上,对高维变量进行最佳的综合降维,且客观地确定各指标的权重,避免了主观随意性。为了客观、科学地反映水体水质状况,通常将几种方法相结合来对水体水质进行评价。

近年来丹江口水库的水环境状况已引起广泛关注。目前研究主要集中在营养状况评估、重金属污染特征及污染来源等方面^[4-7]。2014年12月,南水北调中线工程正式通水。在通水前夕,为全面了解丹江口水库的水质状况,按照库区的水文节律,分别在丰、平、枯三个水期对库区代表性点位进行表层水样的采集与分析,采用单因子评价法对水质类别进行评价,再采用综合污染指数和主成分分析法对库区水质进行定量评价,识别主要污染因子,并对水质随水期及空间的变化情况进行分析,以期为丹江口水库的水污染防治工作提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

丹江口水库位于湖北省丹江口市汉江干流与其支流丹江交汇处,由1973年建成的丹江口大坝截汉江、丹江而形成。多年平均入库水量为394.8亿m³,其中326亿m³来自汉江(包括丹江口以上部分的陕西南部、湖北西部),54亿m³来自丹江^[8]。大坝加高后,正常蓄水位由157 m增至170 m,水域面积可达到1050 km²,蓄水量增至290.5 m³。2014年12月12日,南水北调中线工程正式通水,年均调水量为95亿m³。

丹江口水库流域属北亚热带季风气候,冬季严寒,夏季较热,春季温暖,秋季凉爽,四季分明,雨量比较充沛。年平均气温14.4~15.9℃,极端最高温度42.6℃,极端最低温度-13.2℃,无霜期230~250 d。平均降雨量800~1000 mm之间,年内分配不均,5—10月降水量占全年的80%。水沙量也主要集中在5—10月,占全年的78.3%^[9]。

1.2 水样采集与分析

根据丹江口水库所处地形状况和水流特点,在库区内设置了26个采样点(图1),其中D1~D14采样点属于南阳的丹江库区(用DK表示),D15~D26采样点属于十堰的汉江库区(用HK表示)。根据流域内降水特征及水文节律,7—9月为丰水期;5—6月、10—11月为平水期;1—4月、12月为枯水期。分别于2014年5月(平水期)、8月(丰水期)和12月(枯水期)月初进行水样的采集工作,用以代表平、丰、枯三个水期的水质状况。用GPS导航定位采样点,确保三次采样地点相同,同时记录采样点周围地理条件、输入源、所接纳废水来源等。

用柱状采水器采集表层(深度50 cm)水样500 mL,所有点位均取平行样3组。采集后的水样按照《水质样品的保存和管理技术规定》(HJ 493—2009)中要求的方法保存。每个样品分析两类指标,第一类为理化和营养盐指标,包括pH、水温、总氮(TN)、总磷(TP)、硝酸盐氮(NO₃-N)、氨氮(NH₃-N);第二类为有机污染指标,包括溶解氧(DO)、五日生化需氧量(BOD₅)和高锰酸盐指数(COD_{Mn})。水体DO、pH及温度理化指标采用YSI6600(YSI公司,美国)现场测定,其余指标按照文献[10]和[11]的方法进行测定。

1.3 数据处理与评价

每项指标测定结果为3个平行样分析结果的平均值,误差控制在5%内。低于检出限的数据用1/2检出限代替计算。利用Excel 2010及Origin 8.0对实验数据进行统计和绘图。

依据《地表水环境质量标准》(以下简称GB 3838—2002)^[12],采用单因子评价法对库区水质类别进行判断,评价的指标包括TN、TP、NH₃-N、BOD₅、COD_{Mn}、pH、DO及NO₃-N共8项。

本研究中各点位分析指标的年均浓度由其丰、平、枯的浓度计算得出,计算公式为:

$$C = \frac{C_{\text{丰}} \times 3 + C_{\text{平}} \times 4 + C_{\text{枯}} \times 5}{12}$$

式中:C指年均浓度,mg·L⁻¹;C_丰、C_平、C_枯分别指丰、

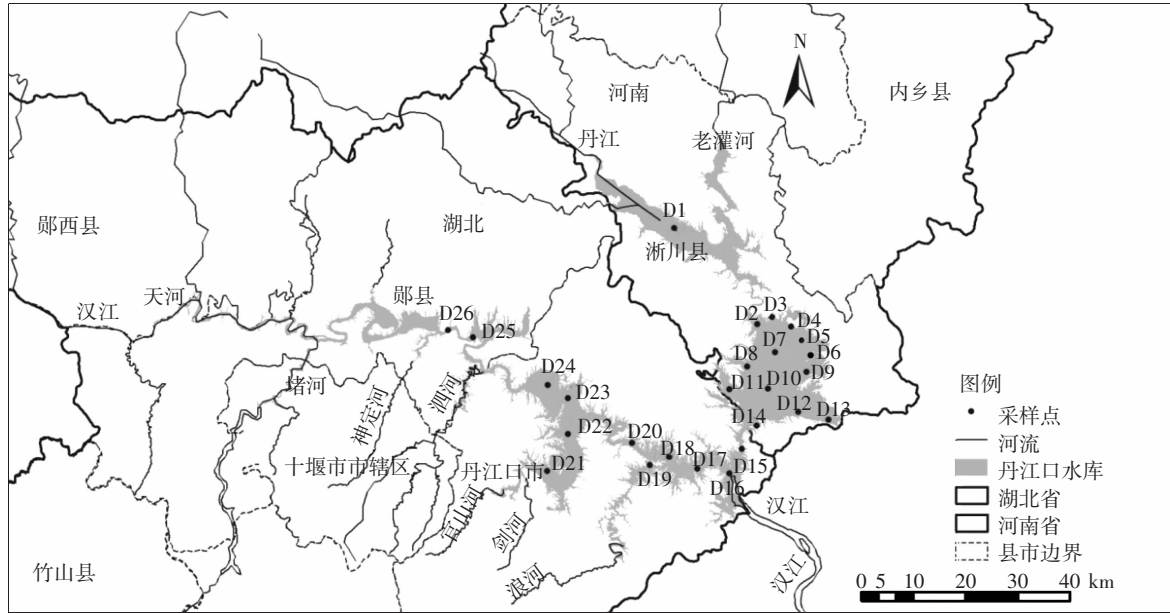


图 1 丹江口库区采样点位示意图

Figure 1 Locations of 26 surface water samples in Danjiangkou Reservoir

平、枯水期浓度, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

采用综合污染指数法对水质状况进行分级评价时, $P_i > 1$ 定义为超标。综合污染指数 P 分级标准见表 1。以污染分担率 K_i 表征各污染物的贡献和识别主要污染物。各计算公式如下:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i}$$

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

$$K_i = \frac{P_i}{nP} \times 100\%$$

式中: P_i 为水质因子 i 的污染指数; C_i 为水质因子 i 的实测浓度, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; S_i 为 GB 3838—2002 中水质因子 i 的 II 类标准值, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; P 为综合污染指数; K_i 为水质因子 i 的污染分担率; n 为参评指标个数。

在 SPSS 18.0 中进行主成分分析时^[13], 首先应将 8 项水质数据年均值进行标准化处理(其中 DO 先进行倒数变换再标准化), 然后对求得的指标间相关系数

和特征值进行分析, 并根据累计贡献率确定主成分个数, 同时通过各点位水质污染综合得分来判断其水质状况。为使每个主成分的意义更加明确, 对因子进行旋转时, 采用 Varimax 最大方差法。

2 结果与讨论

2.1 水质因子特征

为更好地了解丹江口水库各采样点的水质状况, 取各点位丰、平、枯水期水质指标分析结果的平均值并作标准偏差分析, 结果见图 2、图 3。

2.1.1 理化和营养盐指标

各点位 pH 均值为 7.18~8.28, 水质呈弱碱性。TN 含量均值均高于 $1.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (III 类水质标准), 均值变化范围为 $1.13 \sim 1.72 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 其中 D3~D6、D10 及 D14 点位均值高于 $1.50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (IV 类水质标准)。NH₃-N 含量均值低于 $0.10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 变化范围在 $0.05 \sim 0.10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间。NO₃-N 含量在各点位均值变化范围为 $0.76 \sim 1.28 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 远远低于 GB 3838—2002 规定的 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。TP 含量均值变化范围为 $0.005 \sim 0.057 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 仅有 D2、D5 及 D9 点位均值大于 $0.025 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (II 类水质标准), 分别为 0.037 、 0.057 、 $0.027 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。就 pH、TN、NH₃-N 及 NO₃-N 而言, 位于 HK 的点位水期之间差异较 DK 显著(图 2)。

2.1.2 有机污染指标

库区各点位 DO 含量均值均高于 $6.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (II 类水质标准)。COD_{Mn} 含量均值均低于 $3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (II 类

表 1 综合污染指数对应水质分级

Table 1 Grades of water quality according to comprehensive pollution index

综合污染指数 Comprehensive pollution index	≤0.25	0.26~0.40	0.41~0.50	0.51~0.99	≥1
水质分级 Water quality grade	清洁	较清洁	轻污染	中污染	重污染

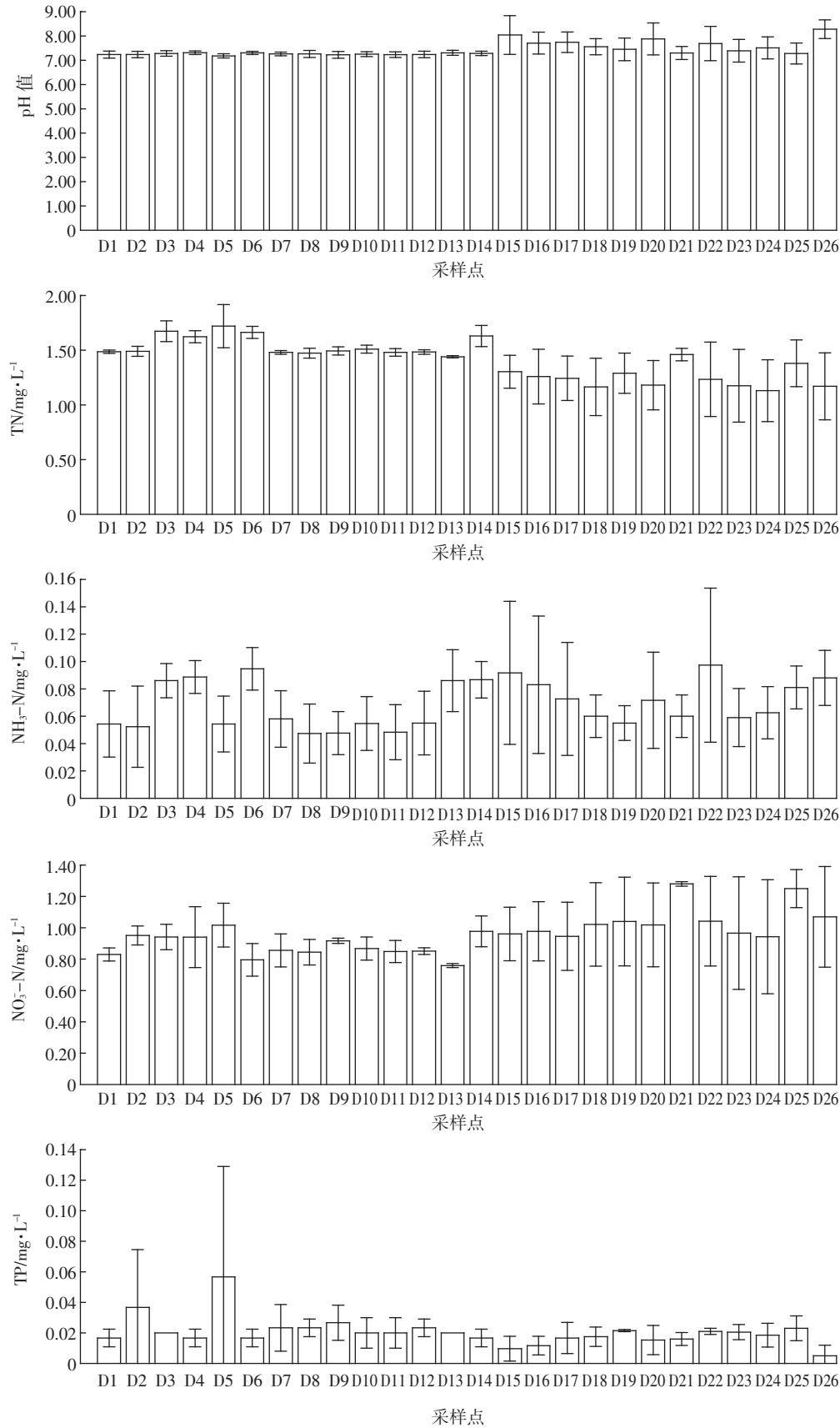


图 2 丹江口库区 pH、TN、NH₃-N、NO₃-N 及 TP 水质监测结果平均值

Figure 2 Average values of water quality parameters(pH, TN, NH₃-N, NO₃-N and TP) in Danjiangkou Reservoir

水质标准为 $4.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 62% 的点位 COD_{Mn} 均值低于 $2.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (I 类水质标准), 其余点位 COD_{Mn} 含量均值高于 $2.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 但低于 $3.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。 BOD_5 均值均小于 $2.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (II 类水质标准为 $3.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)。位于 HK 的点位 DO 水期之间差异较 DK 显著 (图 3)。

2.1.3 总体特征

丹江口库区水体呈弱碱性, 水质状况基本良好。然而, 丹江口库区水体的 TN 超标现象严重, 且 HK 各点位水质指标水期之间差异较 DK 显著。研究^[14-15]表明, 入库河流、农业面源污染、生活污水的排入是库区 TN 污染的主要来源。

2.2 水质类别评价结果

单因子评价结果表明, TN 参与评价时, D1、D3~

D5、D8、D9、D13、D14 点位仅达 V 类水标准, 其余点位满足 IV 类水要求, 可见库区水质主要限制因子是 TN。

从三个水期的评价结果来看, TN 参与评价时, 除丰水期有 23% 的点位能达到 III 类外, 其他点位和其他水期全部点位的水质均为 IV 类或 V 类。由此可见, TN 在各个水期均对库区水质有重要影响。

2.3 综合污染指数法

TN 参评时库区各点位年均及不同水期的综合污染指数范围及均值见表 2。由计算结果可知, 就各点位年均 P 值而言, 除 D5 点位 (P 值为 1.01) 水质类别为重污染之外, 其余点位水质类别为中污染。DK 各点位年均 P 值均值 (0.75) 略大于 HK (0.63), 由此可见, DK 水质整体上略劣于 HK 水质。

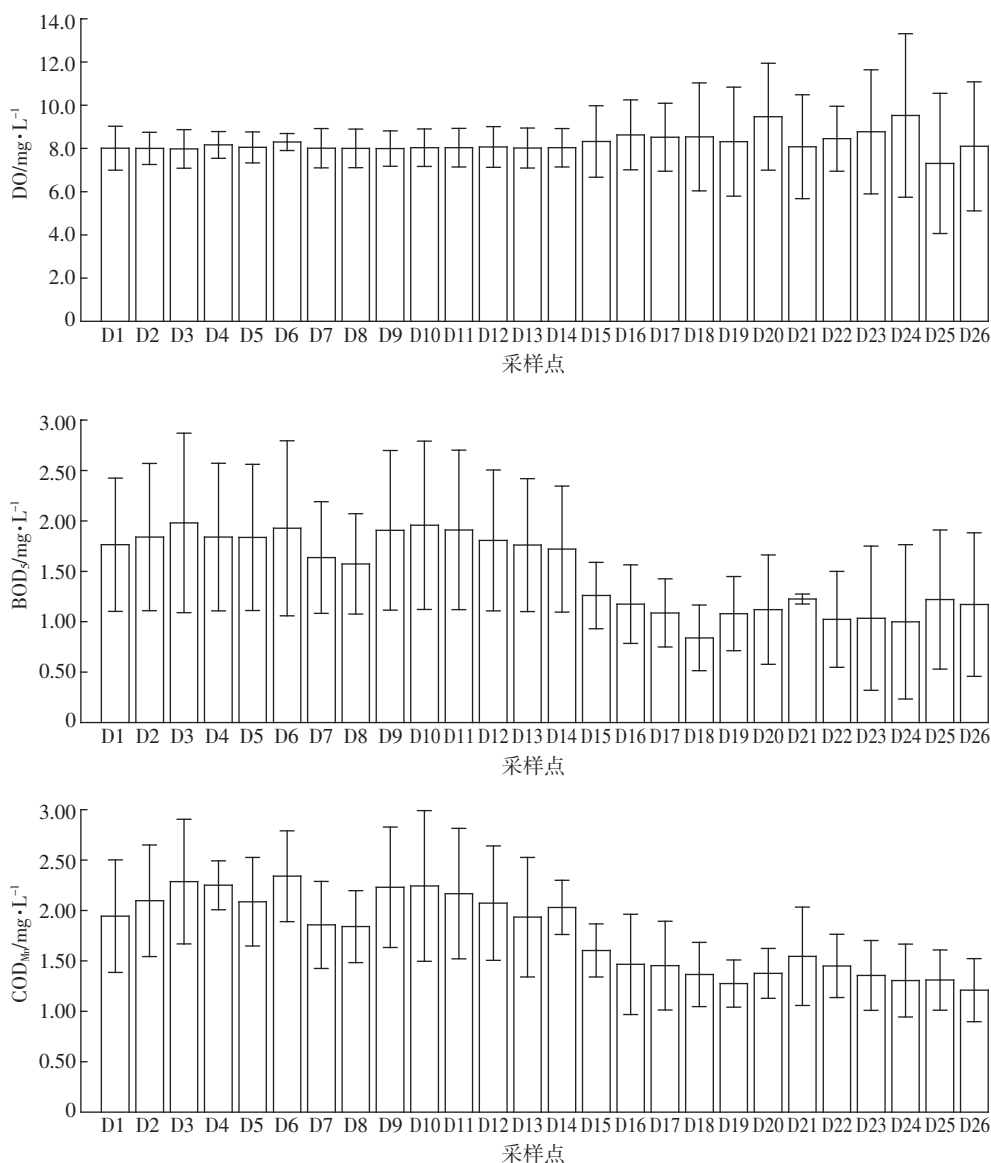


图 3 丹江口库区 DO、 BOD_5 及 COD_{Mn} 水质监测结果平均值

Figure 3 Average values of water quality parameters (DO , BOD_5 , and COD_{Mn}) in Danjiangkou Reservoir

表2 丹江口库区综合污染指数

Table 2 Comprehensive pollution index in Danjiangkou Reservoir

<i>P</i>	全年 Whole year	平水期 Normal water period	丰水期 High water period	枯水期 Low water period
库区	0.57~1.01 (0.63)	0.57~1.36 (0.70)	0.54~1.06 (0.78)	0.65~0.92 (0.76)
DK	0.70~1.01 (0.69)	0.64~1.36 (0.77)	0.72~0.86 (0.77)	0.65~0.92 (0.77)
HK	0.57~0.70 (0.75)	0.57~0.67 (0.61)	0.54~1.06 (0.79)	0.69~0.88 (0.75)

注:括号内为平均值。

Note: Average values are in parentheses.

位于DK的14个点位中,除D3、D4、D7、D10~D12及D14七个点位外,其余点位 P 值水期之间差异显著(标准偏差 $>5\%$);而HK各点位 P 值水期之间均差异显著。因此,就DK及HK整体而言,HK各点位 P 值随水期变化较DK明显。分析原因可知,库区水质主要受污染来源及来水量影响较大,HK流域污染来源主要是点源,点源污染在各水期较固定,因此HK水质主要受汉江径流量的影响,汉江来水量约占库区总来水量75%以上,其来水量随水期变化显著,导致HK各点位 P 值变化明显。对比平、丰、枯水期各点位 P 值,明显看出,77%点位在平水期时 P 值低于其他水期。由此可见,库区平水期水质整体上明显优于枯水期和丰水期,可能由于枯水期时污染主要来自点源,径流量较小,汇入的污染物浓缩,水质较差;而在丰水期时,面源污染加强,点源及面源的综合作用使得库区水质在丰水期时水质亦较差。

参评的8项因子污染分担率计算结果见图4。TN污染分担率远远高于其他因子,库区各点位年均TN的 P 值范围为2.44~3.33,相应TN污染分担率范围在41.50%~57.42%之间,除D2、D5、D7、D24及D25五个

点位TN污染分担率小于50%外,其余点位均在50%以上。TP、BOD₅、COD_{Mn}污染分担率次之,库区各点位年均TP的 P 值在0.40~2.73之间,相应TP污染分担率范围为8.08%~34.02%;库区各点位年均BOD₅、COD_{Mn}的 P 值在0.28~0.61、0.29~0.57之间,相应BOD₅、COD_{Mn}污染分担率范围依次为5.36%~10.61%、5.20%~8.03%。各点位TN、TP、BOD₅及COD_{Mn}污染分担率之和基本超过80.00%,说明TN、TP、BOD₅及COD_{Mn}对库区水质有较大影响,应引起重视。

2.4 主成分分析法

根据各指标年均值,对指标的相关性进行分析,相关系数矩阵见表3。从表3可以看出,指标之间具有较好的相关性,存在信息上的重叠,原始变量适合进行主成分分析。

表4为旋转后提取出的主成分因子载荷量。根据主成分分析法中主成分个数选取原则,从表4可见当累计贡献率大于80%时,应提取3个主成分,PC1、PC2、PC3的累计贡献率达85.536%。其中PC1携带的信息最多,水质主要由PC1控制,贡献率达到50%以上,远大于其他主成分的贡献率,与其相关联的因子主要是DO、TN、BOD₅及COD_{Mn},载荷绝对值变化范围为0.722~0.894。研究表明,营养盐能够促进水体中水生生物的生长,使得水生生物的数量增加,BOD₅及COD_{Mn}代表水体中的有机物也随之上升,由于水生生物在繁殖过程中不断消耗氧,使得DO随着水生生物的增加而不断降低^[16]。与PC2相关联的是NH₃-N及TP,其载荷绝对值分别为0.897、0.767,该主成分是在PC1的基础上进一步反映水体受到营养盐的影响;与PC3相关联的是NO₃-N,其载荷绝对值为0.951。由此可知,PC1反映丹江口水库水体营养性及有机污染物,PC2反映水体营养性及来自农业面源等非点源的

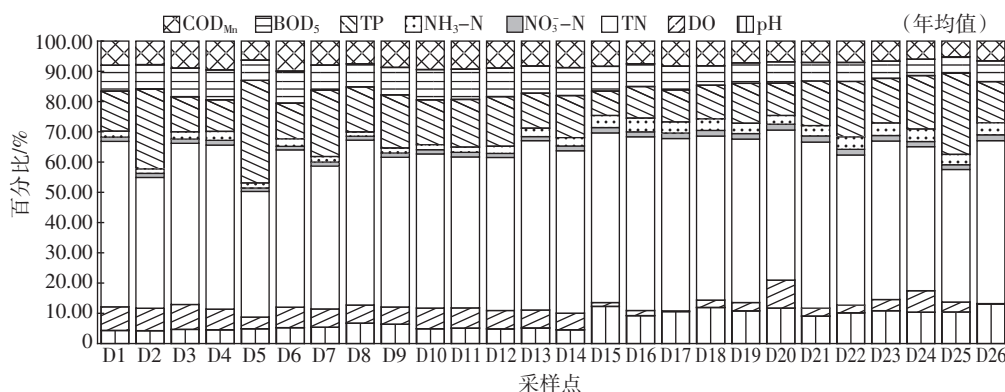


图4 丹江口库区污染分担率

Figure 4 Percentages of pollutants in Danjiangkou Reservoir

表 3 指标间相关系数矩阵
Table 3 Correlation matrix of water quality parameters

R	pH	DO	TN	NO ₃ -N	NH ₃ -N	TP	BOD ₅	COD _{Mn}
pH	1.000							
DO	0.451*	1.000						
TN	-0.700**	-0.617**	1.000					
NO ₃ -N	0.269	-0.042	-0.294	1.000				
NH ₃ -N	0.482*	0.049	-0.047	0.130	1.000			
TP	-0.569**	-0.236	0.457*	-0.026	-0.465*	1.000		
BOD ₅	-0.641**	-0.545**	0.891**	-0.562**	-0.156	0.361	1.000	
COD _{Mn}	-0.652**	-0.448*	0.887**	-0.585**	-0.122	0.352	0.964**	1.000

注: * 表示在 0.05 水平显著相关; ** 表示在 0.01 水平极显著相关。

Note: * and ** are significant at 0.05 and 0.01 levels (2-tailed), respectively.

表 4 Varimax 旋转后的因子载荷矩阵

Table 4 Rotated component matrix of principal component analysis

项目 Index	PC1	PC2	PC3
pH	-0.581	0.63	-0.245
DO	-0.855	0.052	0.191
TN	0.894	-0.171	0.315
NO ₃ -N	-0.035	0.041	-0.951
NH ₃ -N	0.12	0.897	-0.104
TP	0.345	-0.767	-0.046
BOD ₅	0.763	-0.171	0.584
COD _{Mn}	0.722	-0.159	0.636
特征值	4.295	1.408	1.139
方差百分比/%	53.693	17.603	14.24
累计方差百分比/%	53.693	71.296	85.536

污染物, PC3 反映水体来自工业废水和生活污水等点源的污染物。

根据特征向量矩阵(表 5)得出各因子得分的回归方程:

$$F_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n$$

$$F_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n$$

表 5 特征向量矩阵

Table 5 Eigen vector matrix of principal component analysis

监测指标 Index	PC1	PC2	PC3
pH	-0.400	0.277	0.002
DO	-0.292	-0.046	-0.592
TN	0.443	0.144	0.218
NO ₃ -N	-0.234	-0.314	0.686
NH ₃ -N	-0.155	0.651	0.338
TP	0.273	-0.525	0.052
BOD ₅	0.454	0.217	-0.051
COD _{Mn}	0.447	0.236	-0.108

$$F_3 = a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + \cdots + a_{3n}x_n$$

式中: F_1 、 F_2 、 F_3 分别指 PC1、PC2 和 PC3 三个主成分的得分值; $a_{i1} \sim a_{in}$ 为旋转前的因子载荷量矩阵中每一列值依次除以 $\sqrt{\lambda_1} \sim \sqrt{\lambda_n}$; $x_1 \sim x_n$ 为各采样点经过标准化的数据。

将各采样点的水质数据(标准化的数据)代入上列方程, 即可得出各点位主成分得分。

如图 5 所示, 主成分得分呈显著的空间变化。D3、D4 点位 F_1 、 F_2 与 F_3 均较高, 表明这 2 个点位的指示污染物含量均较高, 原因可能是 D3、D4 点位靠近仓房镇、石鼓镇及瓦亭镇, 这 3 个镇农业生产较发达, 同时存在较多企业, 流域内产生的大量点源和非点源污染物直接或间接排入库区中, 致使水体中各类污染物浓度均较高。D17~D20、D23 及 D24 的 F_1 、 F_2 与 F_3 均较低, 表明这 6 个点位的指示污染物含量均较低, 表明水体受各类点源及非点源污染的影响较小。D1、D2、D7~D12 点位的 F_1 显著高于其他主成分, 表明这 7 个点位水质受 DO、TN、BOD₅ 及 COD_{Mn} 的影响较强, 而受其他指示污染物的影响较弱。D15 及 D16 的 F_2 显著高于 F_1 和 F_3 , 表明这 2 个点位水质受 NH₃-N 和 TP 的影响较强。D21、D25 的 F_3 显著高于 F_1 及 F_2 , 表明这 2 个点位水质受 NO₃-N 的影响较强。

最后通过公式 $F = (\lambda_1 \times F_1 + \lambda_2 \times F_2 + \lambda_3 \times F_3) / (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)$ 计算出 26 个点位水质污染综合得分(F), 即得出污染程度的定量化描述。综合得分越高, 污染程度越严重^[17]。结果见图 6。

从评价得分来看, 各点位得分范围为 -2.241~1.728, 其中 D1~D14(位于 DK)点位得分均值为 1.126, 水质状况较差; D15~D26(位于 HK)点位得分均值为 -1.313, 水质较好。这一定程度上反映了 HK 水质整体上略优于 DK 水质, 与 2.2 节综合污染指数

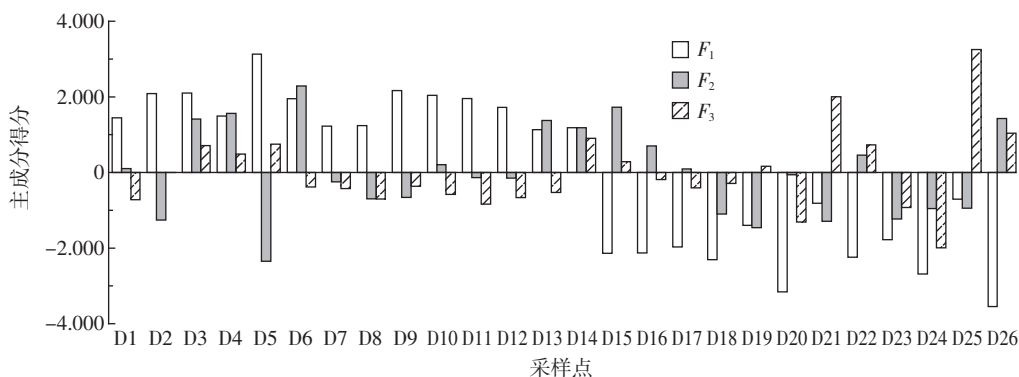


图5 主成分得分在各采样点的分布

Figure 5 Spatial distribution of principal component scores



图6 丹江口水库各采样点水质综合评价结果

Figure 6 Assessment results of all samples in Danjiangkou Reservoir

法的评价结果一致。

2.5 综合污染指数法与主成分分析法的分析结果对比

综合污染指数法和主成分分析法都能够对库区水质进行定量评价,均得出了HK水质整体上优于DK水质的结论,但在库区主要污染因子的识别上,综合污染指数法筛选了TN、TP、COD_{Mn}及BOD₅四个指标,代表了水体受TN、TP、BOD₅及COD_{Mn}影响较大;而主成分分析法根据方差累计贡献率的大小作为因子权重,筛选出了影响库区水质的四个指标,包括DO、TN、BOD₅及COD_{Mn},代表了水体主要受到DO、TN、BOD₅及COD_{Mn}的影响。造成主要污染指标识别存在差异的原因在于,主成分分析法是根据方差累计贡献率作为因子权重来判断的,而综合污染指数法只采取均权处理,忽略了因子的权重。

3 结论

(1)TN为丹江口库区水质主要限制因子。TN参与评价时,69%的点位水质能满足Ⅳ类标准要求,其他均为Ⅴ类。

(2)TN参与评价时,库区年均综合污染指数范围为0.57~1.01,水质整体上处于中污染;库区平、丰、枯水期综合污染指数均值分别为0.70、0.78、0.76,平水期水质优于丰水期和枯水期;HK水质略优于DK。TN的污染分担率远高于其他因子,TP、BOD₅及COD_{Mn}次之。

(3)主成分分析法结果表明库区水质主要受DO、TN、BOD₅及COD_{Mn}四个指标的影响;DK各点位主成分得分均值高于HK各点位主成分得分均值,也说明HK水质整体上略优于DK水质,且DO、TN、BOD₅及COD_{Mn}为库区水质的主要污染指标。

(4)与单因子评价法相比,综合污染指数法和主成分分析法能够提供更多和更具体的水质信息,从而使得水质评价结果更加客观、准确。因此,应采用多种评价方法相结合的手段来开展水质评价工作。

参考文献:

- [1] 荆红卫, 张志刚, 郭 婧. 北京北运河水系水质污染特征及污染来源分析[J]. 中国环境科学, 2013, 33(2): 319-327.

- JING Hong-wei, ZHANG Zhi-gang, GUO Jing. Water pollution characteristics and pollution sources of Bei Cana River system in Beijing[J]. *China Environmental Science*, 2013, 33(2):319-327.
- [2] 张 婷,刘静玲,王雪梅.白洋淀水质时空变化及影响因子评价与分析[J]. *环境科学学报*, 2010, 30(2):261-267.
- ZHANG Ting, LIU Jing-ling, WANG Xue-mei. Causal analysis of the spatial-temporal variation of water quality in Baiyangdian Lake[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2010, 30(2):261-267.
- [3] 富天乙,邹志红,王晓静.基于多元统计和水质标识指数的辽阳太子河水质评价研究[J]. *环境科学学报*, 2014, 34(2):473-480.
- FU Tian-yi, ZOU Zhi-hong, WANG Xiao-jing. Water quality assessment for Taizi River watershed in Liaoyang section based on multivariate statistical analysis and water quality identification index[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2014, 34(2):473-480.
- [4] 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[J]. *湖泊科学*, 2013, 25(5):649-654.
- LI Kun, LI Zhao-hua, CHEN Hong-bing, et al. Spatial variations of the water quality in Jianhe River of Wudang Mountain in the upper reaches of Danjiangkou Reservoir[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2013, 25(5):649-654.
- [5] 张 雷,秦延文,郑丙辉,等.丹江口水库迁建区土壤重金属分布及污染评价[J]. *环境科学*, 2013, 34(1):108-114.
- ZHANG Lei, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, et al. Distribution and pollution assessment of heavy metals in soil of relocation areas from the Danjiangkou Reservoir[J]. *Environmental Science*, 2013, 34(1):108-114.
- [6] Li S Y, Xu Z F, Cheng X L, et al. Dissolved trace elements and heavy metals in the Danjiangkou Reservoir, China[J]. *Environmental Geology*, 2008, 55:977-983.
- [7] Bu Q W, Wang D H, Wang Z J, et al. Identification and ranking of the risky organic contaminants in the source water of the Danjiangkou Reservoir[J]. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 2014, 8(1):42-53.
- [8] Wang J X, Song G Q, Li A M, et al. Combined chemical and toxicological long-term monitoring for AhR agonists with SPMD-based virtual organisms in drinking water Danjiangkou Reservoir, China[J]. *Chemosphere*, 2014, 108:306-313.
- [9] Ma F B, Li C H, Wang X, et al. A Bayesian method for comprehensive water quality evaluation of the Danjiangkou Reservoir water source area, for the middle route of the South-to-North Water Diversion Project in China[J]. *Frontiers of Earth Science*, 2014, 8(2):242-250.
- [10] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法[M].四版.北京:中国环境科学出版社,2002:239-284.
- State Environmental Protection Administration. Methods for the monitoring and analysis of water and wastewater[M]. 4th Edition. Beijing: China Environmental Science Press, 2002:239-284.
- [11] 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[J]. *农业环境科学学报*, 2014, 33(8):1609-1616.
- BAO Shan-shan, LI Chong-wei, WANG Zu-wei, et al. Relationship between spatial variation of nitrogen and phosphorus in water and landscape pattern in Yuqiao Reservoir Basin, Tianjin[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33(8):1609-1616.
- [12] 国家环境保护总局. GB 3838—2002 地表水环境质量标准[S].北京:中国环境科学出版社,2002.
- State Environmental Protection Administration. GB 3838—2002 Surface water environmental quality standard[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [13] Peng T, Zhou L N, Liu N. Application of principal component analysis with SPSS in water quality assessment of Shenzhen Eastern Beach[J]. *Agricultural Science and Technology*, 2014, 15(4):688-691.
- [14] 殷 明,施敏芳,刘成付.丹江口水库水质总氮超标成因初步分析及对策研究[J]. *环境科学与技术*, 2007, 30(7):35-36.
- YIN Ming, SHI Min-fang, LIU Cheng-fu. Preliminary analysis and control of TN in Danjiangkou Reservoir[J]. *Environmental Science & Technology*, 2007, 30(7):35-36.
- [15] 陈 静,丁卫东,焦 飞,等.丹江口水库总氮含量较高的调查分析[J]. *中国环境监测*, 2005, 21(3):54-57.
- CHEN Jing, DING Wei-dong, JIAO Fei, et al. Analyse of high content of total nitrogen in Danjiangkou Reservoir[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2005, 21(3):54-57.
- [16] 朱渝芬,王志高.主成分分析在南太湖水质参数评价中的应用[J]. *浙江农业科学*, 2015, 56(7):1110-1112.
- ZHU Yu-fen, WANG Zhi-gao. Application of principal component analysis to an evaluation of water quality in Nantaihu[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2015, 56(7):1110-1112.
- [17] 张国珍,乔国亮,武福平,等.主成分分析法在窖水水质变化评价中的应用[J]. *环境科学与技术*, 2014, 37(4):181-184.
- ZHANG Guo-zhen, QIAO Guo-liang, WU Fu-ping, et al. Application of principal component analysis to an evaluation of water quality in Water Cellar[J]. *Environmental Science and Technology*, 2014, 37(4):181-184.