

基于主成分分析及 WQI_{\min} 的大黑汀水库水质评价

朱长军^{1,2}, 赵方星¹, 李步东³, 王世岩³, 郝文龙¹

(1.河北工程大学 能源与环境工程学院,河北 邯郸 056038;2.河海大学 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,南京 210009;3.中国水利水电科学研究院 水生态环境研究所,北京 100038)

摘要:大黑汀水库是引滦枢纽的源头,水质优劣关乎周边地区饮水安全,其水质评价当前尚处于以单指标和多指标分析简单综合的阶段.将主成分分析法与最小水质综合指数(WQI_{\min})法相结合,基于 2019 年大黑汀水库不同水期水质监测数据,对大黑汀水库水质进行定量评价.结果表明,2019 年大黑汀水库水质状况整体评价为中等,丰水期水质状况略优于平水期与枯水期,坝头水质状况略优于库尾,且水质状况从坝头至库尾呈递减趋势.基于主成分分析法所筛选出的对水库水质状况影响较大的水质因子说明该时段大黑汀水库的主要污染类型属于有机型及富营养化污染.以平水期为例,在充分考虑环境因子权重的前提下,基于主成分分析的 WQI_{\min} 在水环境综合水质评价方面有一定的可行性与参考价值.

关键词:大黑汀水库;主成分分析; WQI_{\min} ;水质评价

中图分类号:X824;X524

文献标志码:A

水库是我国城市饮用水的主要水源地之一,在缓解饮水问题的同时也带动了周边地区经济发展,在灌溉、防洪、发电等方面起着不可或缺的作用.大黑汀水库位于滦河干流,作为引滦枢纽工程的源头^[1-3],主要承接上游潘家口水库的调节水量^[4],提高水位的同时为周边地区提供饮用水,是天津市、唐山市及滦河下游城市重要的饮用水水源地^[5],其水质优劣直接影响燕山南麓地区用水安全.水环境质量评价是保证水质安全、合理利用水资源、控制水环境污染的前提.诸多学者对大黑汀水库水质状况进行了研究,如文帅龙等^[6]通过对国内外湖泊水库营养盐释放通量发现大黑汀水库 TN(总氮)、TP(总磷)和有机质含量较高;朱翔等^[7]研究发现,大黑汀水库与上游的潘家口水库相比 TP 的含量略高;马权等^[8]运用 Piper 三线图和模糊综合评价法解析了大黑汀水库水化学性质,并对其综合水体质量进行了评价;王珊等^[9]在大黑汀水库进行多源遥感水质监测,利用遥感与地面协同的方式对水库的水质进行了分析;吴涛等^[10]采集大黑汀水库表层和分层水样对水库水质时空变化特征进行了分析,并提出了下游引水策略.对于大黑汀水库的水质状况,目前研究者多倾向于探索其水质影响因子,但是水质评价尚处于以单指标和多指标分析简单综合的阶段.因此有必要寻找全面准确且便捷高效的水质评价方法,了解大黑汀水库水环境质量和污染现状.本研究基于 2019 年大黑汀水库不同时期水质监测数据,将主成分分析(PCA)法与 WQI_{\min} (最小水质综合指数)法相结合,在对大黑汀水库水质进行客观评价的同时期待探索一种准确高效的水质评价方法.

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

大黑汀水库(40°12'4"~40°21'18"N,118°15'22"~118°19'21"E)始建于 1986 年,地处暖温带大陆性季风气候区,位于河北省唐山市迁西县城北 5 km 的滦河干流上,集水面积 530 km²,总库容 5.1 亿 m³^[11],是引滦

收稿日期:2020-10-26;修回日期:2021-03-23.

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0401701);“一带一路”水与可持续发展基金项目(2019490911);邯郸市科技专项计划项目(19422303008-73).

作者简介(通信作者):朱长军(1976—),男,河北邯郸人,河北工程大学教授,博士,研究方向为水环境模拟与规划和环境系统模拟与信息技术,E-mail:christorf@126.com.

枢纽工程体系中的骨干水库工程.其主要功能是承接来自潘家口水库的调节水量,提高水位,为跨流域引水创造条件^[12],同时为天津,唐山等周边城区提供饮用水水源,并利用输水进行发电,发挥一定的经济效益和社会效益.

1.2 样品采集与测定

自大黑汀水库下游大坝前至上游库尾处,均匀布设 5 个采样点(见图 1),将除冰封期^[4](12 月至次年 3 月)之外的其他时段按丰、平、枯水期进行划分,于不同水期选取代表月份(7 月份代表丰水期;9 月份代表平水期;11 月份代表枯水期)在库区依据不同采样点位实际水深划分表、中、底层(见表 1),然后使用分层采水器按不同水层进行分层采样.采样时,在每个采样点用 GPS 定位系统定位记录之后,分别于不同水层的不同深度采集水样,每个水层的不同深度分别取 500 mL 水样装于干净的聚乙烯塑料采样瓶中,放入保温箱中进行低温保存,并及时运回实验室做后续处理,相应水体的 pH、电导率、溶解氧等水质指标由 SX800 系列便携式电化学仪表现场测定.总磷的测定参照钼酸铵分光光度法 GB/T 11893—1989,总氮的测定参照碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法 HJ 636—2012,氨氮的测定参照纳氏试剂分光光度法 GB 7479—87,硝态氮的测定参照酚二磺

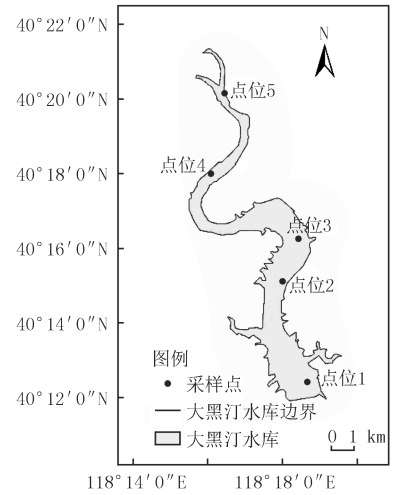


图1 采样点位

Fig.1 Sampling points

酸分光光度法 GB/T 7480—1987,亚硝氮的测定参照分光光度法 GB/T 7493—1987,总有机氮的测定参照 GB/T 11891—1989,磷酸盐的测定参照钼锑抗分光光度法,硫酸盐的测定参照铬酸钡分光光度法 HJ/T 342—2007,氯化物的测定参照 GB/T 11896—1989,高锰酸盐指数的测定参照高锰酸钾法 GB 11892—89,化学需氧量的测定参照重铬酸盐法 GB 11892—89,BOD 的测定参照稀释与接种法 GB 7488—87.

表 1 采样点位水层划分及采样深度

Tab. 1 Water layer division and sampling depth at sampling point

水层划分	采样深度/m				
	1 号监测点	2 号监测点	3 号监测点	4 号监测点	5 号监测点
表	0.5,4.5	0.5,4.5	0.5,4.5	0.5	0.5
中	8.5,12.5	8.5,12.5	8.5,12.5	3.5	2.5
底	16.5,21.0	15.5,18.5	16.5	6.5	4.0

1.3 研究方法

主成分分析(PCA)在水质评价指标的选取与水环境质量评价的工作当中应用广泛^[13-18].它能够在最大限度保留原始数据信息的基础上,对高维变量系统进行最好的集成和简化,更集中、典型地反映了研究对象的特征,从而避免了传统水质分析方法(污染指数法、模糊综合评判法等)的主观随意性,具有独特的优越性.

水质综合指数(water quality index, WQI)是环境质量指数的一种,它是综合几个水质参数的检验结果,来综合描述水质质量的一个无量纲数值^[19].其基本原理是将各种水质参数的实际监测值除以相应的环境标准,最后进行数值综合.

本研究选用总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮(NH_3-N)、硝氮(NO_3-N)、亚硝氮(NO_2-N)、总有机氮(TON)、溶解氧(DO)、磷酸盐(Phosphate)、硫酸盐(Sulfate)、氯化物(Chloride)、高锰酸盐指数(COD-Mn)、化学需氧量(COD)、五日生化需氧量(BOD_5)、电导率(EC)、酸碱度(pH)等水质指标按(1)式来计算 WQI ^[20-21]:

$$WQI = \sum_{i=1}^n C_i P_i / \sum_{i=1}^n P_i, \quad (1)$$

式中, n 为水质参数总个数, C_i 为赋值给参数 i 的归一化值, P_i 为参数 i 的相对权重, 参考依据水生生物保护文献所提出的值^[20], 范围在 1~4(表 2), 王芳等^[22]根据 2019 年潘大水库水质检测成果研究发现, 2019 年大黑汀水库 III 类水达标率仅为 66.7%, 主要污染物为 TP, 是近期造成其水质污染的主要因素, 因此将 TP 权重修正为 4.

表 2 WQI 中各指标的相对权重和归一化值

Tab. 2 The relative weights and the normalization factors of parameters for WQI calculation

指标	权重(P_i)	归一化值(C_i)				
		100	90	80	70	60
TN/(mg · L ⁻¹)	2	<0.10	[0.10,0.20)	[0.20,0.35)	[0.35,0.50)	[0.50,0.75)
TP/(mg · L ⁻¹)	4	<0.01	[0.01,0.02)	[0.02,0.05)	[0.05,0.10)	[0.10,0.15)
NH ₃ -N/(mg · L ⁻¹)	3	<0.01	[0.01,0.05)	[0.05,0.10)	[0.10,0.20)	[0.15,0.30)
NO ₃ -N/(mg · L ⁻¹)	2	<0.5	[0.5,2.0)	[2.0,4.0)	[4.0,6.0)	[6.0,8.0)
NO ₂ -N/(mg · L ⁻¹)	2	<0.005	[0.005,0.010)	[0.010,0.030)	[0.030,0.050)	[0.050,0.100)
TON/(mg · L ⁻¹)	2	<0.05	[0.05,0.10)	[0.10,0.20)	[0.20,0.30)	[0.30,0.40)
DO/(mg · L ⁻¹)	4	≥7.5	(7.5,7.0)	[7.0,6.5)	[6.5,6.0)	[6.0,5.0)
Phosphate/(mg · L ⁻¹)	1	<0.16	[0.16,1.60)	[0.60,3.20)	[3.20,6.40)	[6.40,9.60)
Sulfate/(mg · L ⁻¹)	2	<25	[25,50)	[50,75)	[75,100)	[100,150)
Chloride/(mg · L ⁻¹)	1	<25	[25,50)	[50,100)	[100,150)	[150,200)
COD-Mn/(mg · L ⁻¹)	3	<1	[1,2)	[2,3)	[3,4)	[4,5)
COD/(mg · L ⁻¹)	3	<5	[5,10)	[10,20)	[20,30)	[30,40)
BOD ₅ /(mg · L ⁻¹)	3	<0.5	[0.5,2.0)	[2.0,3.0)	[3.0,4.0)	[4.0,5.0)
EC/(μS · cm ⁻³)	1	<750	[750,1 000)	[1 000,1 250)	[1 250,1 500)	[1 500,2 000)
pH	1	7.0	(7.0,8.0]	(8.0,8.5]	(8.5,9.0)	(6.5,7.0)

指标	归一化值(C_i)					
	50	40	30	20	10	0
TN/(mg · L ⁻¹)	[0.75,1.00)	[1.00,1.25)	[1.25,1.50)	[1.50,1.75)	[1.75,2.00]	>2.00
TP/(mg · L ⁻¹)	[0.15,0.20)	[0.20,0.25)	[0.25,0.30)	[0.30,0.35)	[0.35,0.40]	>0.40
NH ₃ -N/(mg · L ⁻¹)	[0.30,0.40)	[0.40,0.50)	[0.50,0.75)	[0.75,1.00)	[1.00,1.25]	>1.25
NO ₃ -N/(mg · L ⁻¹)	[8.0,10.0)	[10.0,15.0)	[15.0,20.0)	[20.0,50.0)	[50.0,100.0]	>100.0
NO ₂ -N/(mg · L ⁻¹)	[0.100,0.150)	[0.150,0.200)	[0.200,0.250)	[0.250,0.500)	[0.500,1.000]	>1.000
TON/(mg · L ⁻¹)	[0.40,0.50)	[0.50,0.70)	[0.70,1.00)	[1.00,2.00)	[2.00,3.00)	≥3.00
DO/(mg · L ⁻¹)	[5.0,4.0)	[4.0,3.5)	[3.5,3.0)	[3.0,2.0)	[2.0,1.0]	<1.0
Phosphate/(mg · L ⁻¹)	[9.60,16.00)	[16.00,32.00)	[32.00,64.00)	[64.00,96.00)	[96.00,160.00]	>160.00
Sulfate/(mg · L ⁻¹)	[150,250)	[250,400)	[400,600)	[600,1 000)	[1 000,1 500]	>1 500
Chloride/(mg · L ⁻¹)	[200,300)	[300,500)	[500,700)	[700,1 000)	[1 000,1 500]	>1 500
COD-Mn/(mg · L ⁻¹)	[5,8)	[8,10)	[10,12)	[12,14)	[14,15]	>15
COD/(mg · L ⁻¹)	[40,50)	[50,60)	[60,80)	[80,100)	[100,150]	>150
BOD ₅ /(mg · L ⁻¹)	[5.0,6.0)	[6.0,8.0)	[8.0,10.0)	[10.0,12.0)	[12.0,15.0]	>15.0
EC/(μS · cm ⁻³)	[2 000,2 500)	[2 500,3 000)	[3 000,5 000)	[5 000,8 000)	[8 000,12 000]	>12 000
pH	(6.0,6.5]∪ [9.0,9.5)	[5.0,6.0]∪ [9.5,10.0)	[4.0,5.0]∪ [10.0,11.0)	[3.0,4.0]∪ [11.0,12.0)	[2.0,3.0]∪ [12.0,13.0)	[1.0,2.0]∪ [13.0,14.0)

WQI_{min}(最小水质综合指数)是在 WQI 的基础之上, 选取 3~5 个水质参数对目标水体进行评价, 在水质评价工作中具有简捷高效的特点. 水环境系统是由多种水质因子相互联系, 综合作用形成的复杂系统, 且不同的水质因子之间存在程度不一的相关性, 为了避免对水质监测数据直接评价所带来的水质信息重叠和掩盖的问题, 本研究选用 PCA 分析确定各水质变量对入选主成分的贡献率大小, 保留起主导作用的水质因子, 并进一步以 PCA 分析结果所筛选出的水质评价因子作为基本参数. 计算方法如下^[20-21]: WQI_{min} =

$\sum_{i=1}^n C_i/n$, n 为参数总个数, C_i 为赋值给参数 i 的归一化值(表 2)。

本研究以 WQI 为环境质量指数对大黑汀水库全年水质状况分丰、平、枯 3 个时期进行定量评价,并在此基础上选取平水期相关水质监测数据计算 WQI_{min} (最小水质综合指数),探索基于 PCA 的 WQI_{min} 在水库水质评价方面的可行性。

2 结果与分析

2.1 PCA 分析

使用 SPSS 的主成分因子分析功能对不同采样时期的水质指标监测数据的平均值进行主因子提取,分析结果如表 3 所示。由表 3 可知,不同时期提取出的特征值大于 1 的主成分因子均为 3 个,三者的累计贡献率分别达到 90.656%、94.807%、98.390%,很大程度上能够直接影响水质优劣,从各时期所提取出的不同主成分里选取主元载荷矩阵中各主成分载荷值最大的水质因子作为本次研究的 WQI_{min} 评价指标,丰水期为五日生化需氧量(BOD_5)、亚硝氮(NO_2-N)、氯化物(Chloride);平水期为化学需氧量(COD)、总磷(TP)、总氮(TN);枯水期为磷酸盐(Phosphate)、氨氮(NH_3-N)、化学需氧量(COD),对以上水质指标进行水环境质量评价可以较为全面的反映其对应时期的水质特征信息。

2.2 水质综合指数(WQI)计算

依据 2019 年大黑汀水库水质监测数据,结合(1)式与表 2,计算 WQI,结果详见图 2、图 3。

表 3 大黑汀水库不同时期主成分因子及主要参数

Tab. 3 Principal component factors and main parameters in different periods of Daheiting reservoir

时期	参数	主成分因子		
		1	2	3
丰水期	特征值	8.185	2.810	1.698
	贡献率/%	58.462	20.068	12.127
	累计贡献率/%	58.462	78.529	90.656
	荷载值最大水质因子	BOD_5	NO_2-N	Chloride
平水期	特征值	5.491	2.854	2.083
	贡献率/%	49.919	25.949	18.939
	累计贡献率/%	49.919	75.868	94.807
	荷载值最大水质因子	COD	TP	TN
枯水期	特征值	7.971	2.568	2.252
	贡献率/%	61.312	19.757	17.321
	累计贡献率/%	61.312	81.069	98.390
	荷载值最大水质因子	Phosphate	NH_3-N	COD

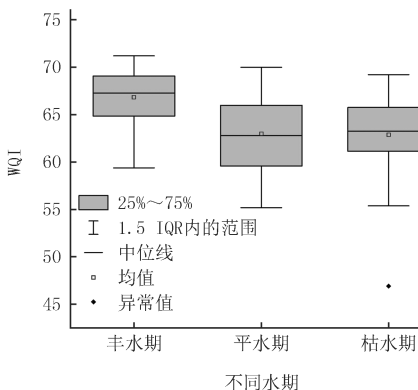


图2 不同水期WQI计算结果箱线图

Fig.2 Boxplot of WQI calculation results in different water periods

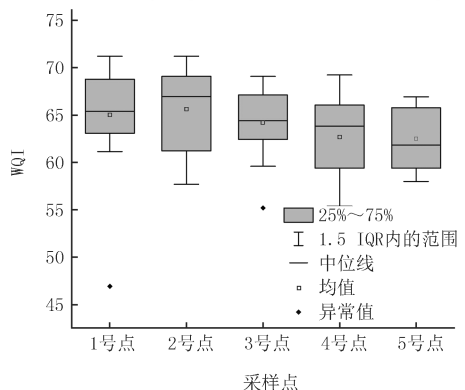


图3 不同点位WQI计算结果箱线图

Fig.3 Boxplot of WQI calculation results at different points

四分位间距框(IQR)所代表的是集中 50%(25%~75%)的数据区间,能表现出数据的集中程度。由图 2 的统计结果可知,平水期的四分位间距框的高度略高于平水期与枯水期,说明丰水期与枯水期各点位水质状况相较平水期分布较集中,各点位之间水质状况相差不大;丰水期四分位间距框所在位置略高于平水期与枯

水期,说明丰水期的水质状况整体略优于其他两个时期.由图3的统计结果可知,5个采样点位中,2号点位四分位间距框的高度最高,说明该点位数据分布较离散,不同时期水质状况相差较大;3号点位四分位间距框的高度最低,说明该点位数据分布较集中,不同时期水质状况相差较小.此外还可看出坝头的水质状况略优于库尾的水质状况,且水质状况从坝头至库尾呈递减趋势,整体来看,结合表4中WQI水质分级,本研究期间大黑汀水库综合水质级别评级为中等.

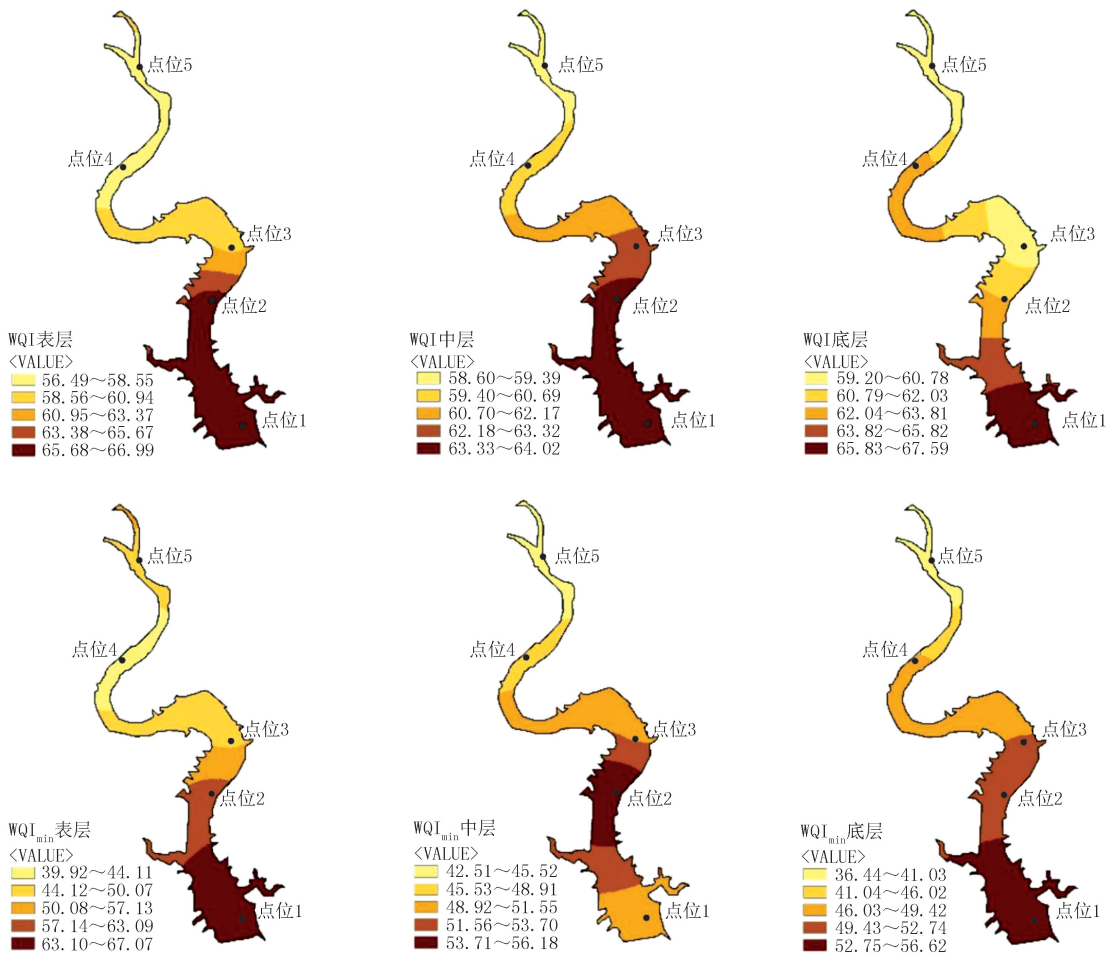
表4 WQI水质分级

Tab. 4 WQI water quality classification

范围	$WQI > 90$	$90 \geq WQI > 70$	$70 \geq WQI > 50$	$50 \geq WQI \geq 25$	$WQI < 25$
综合水质级别	非常好	好	中等	差	非常差

2.3 WQI与 WQI_{min} 相关性分析

选取平水期水质监测数据结合表2计算 WQI_{min} ,使用Arc GIS对WQI与 WQI_{min} 计算结果进行可视化处理(图4).

图4 平水期不同水层WQI与 WQI_{min} 计算结果Fig.4 Calculation results of WQI and WQI_{min} in different water layers in horizontal period

由图4可知, WQI_{min} 的计算结果与在水质评价工作中广泛应用的WQI指标体系评价结果有较好的一致性,均表现为坝头的水质状况略优于库尾的水质状况,且水质状况从坝头至库尾呈递减趋势,这与图3的箱线图分析结果相吻合.吴涛等^[10]为了探究大黑汀水库2017年养鱼网箱拆除后水质特征,于2018年分季节采集水库表层和分层水样分析水库水质时空变化特征,发现大黑汀水库下游水质要优于中上游,这与本研究成果较一致.大黑汀水库所处滦河水系地势东南低,西北高,地势的高度差和水流的冲击作用使得水库水域面积呈现从上游库尾至下游坝头逐渐递增的趋势,较大的水域面积与较高的储水量使得坝头所在

水域对来自上游潘家口水库的污染物有较好的稀释作用。此外,李宁^[23]研究发现,大黑汀水库上游水质受到洒河镇来水的影响,镇上居民生活污水与铁矿厂工业废水汇入洒河,进而流入大黑汀水库,对水库上游水质造成了一定程度的污染。以上原因造成了大黑汀水库坝头的水质状况略优于库尾的水质状况,且水质状况从坝头至库尾呈递减趋势。

对WQI和WQI_{min}进行相关性分析,结果(图5)显示二者之间具有较好的相关性($R^2=0.80$),此外,丰水期与枯水期的分析结果均表现良好(R^2 分别为0.75和0.77),这与KAMRAN Z等人^[24]于2009年至2011年在伊朗乌尔米亚湖盆地沙尔柴河所得研究结果接近($R^2=0.68, R^2=0.76$),说明基于PCA分析的WQI_{min}在水环境综合水质评价方面有一定的可行性与参考价值。

3 结 论

2019年大黑汀水库水质状况整体评价为中等,丰水期水质状况略优于平水期与枯水期,坝头水质状况略优于库尾,且水质状况从坝头至库尾呈递减趋势。基于主成分分析法所筛选出的水质因子中,化学需氧量(COD)与五日生化需氧量(BOD₅)表征有机污染,总氮(TN)、总磷(TP)表征水体富营养化,说明该时段大黑汀水库主要污染类型属于有机型及富营养化污染。基于主成分分析和最小水质综合指数(WQI_{min})的水质评价方法在节省大量人力物力的同时,可有效筛选出主要的水质污染指标,对目标水环境水质状况进行定量评价。研究结果对大黑汀水库水质管理具有一定的参考价值,可用于水库水质的快速、低成本评价。

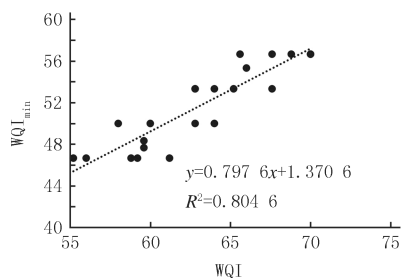


图5 平水期WQI与WQI_{min}相关性

Fig.5 Correlation between WQI and WQI_{min} in horizontal period

参 考 文 献

- [1] 张敏,渠晓东,陈勇,等.京津冀重要水源地潘大水库水生生物群落结构及水质生物学评价[J].生态学杂志,2016,35(10):2774-2782.
ZHANG M, QU X D, CHEN Y, et al. The aquatic organism communities of the Panjiakou-Daheiting Reservoir and the bioassessment of water quality[J]. Chinese Journal of Ecology, 2016, 35(10): 2774-2782.
- [2] 姚德贵,郭旭峰.滦河潘家口、大黑汀水库水污染诊断与治理对策[J].中国防汛抗旱,2020,30(4):48-51.
YAO D G, GUO X F. Water pollution diagnosis and treatment measures of Panjiakou and Daheiting reservoirs[J]. China Flood & Drought Management, 2020, 30(4): 48-51.
- [3] 陈勇,张敏,渠晓东,等.潘大水库水环境时空格局演变动态[J].应用与环境生物学报,2016,22(6):1082-1088.
CHEN Y, ZHANG M, QU X D, et al. The spatial-temporal pattern dynamics of the water environment in Panjiakou-Daheiting Reservoir[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2016, 22(6): 1082-1088.
- [4] 刘畅,刘晓波,周怀东,等.水库缺氧区时空演化特征及驱动因素分析[J].水利学报,2019,50(12):67-78.
LIU C, LIU X B, ZHOU H D, et al. Spatio-temporal evolution characteristics and driving factors of anoxic reservoir[J]. Journal of Water Conservancy, 2019, 50(12): 67-78.
- [5] 李步东.大黑汀水库水温分层及水质响应特性研究[D].邯郸:河北工程大学,2019.
LI B D. Study on water temperature stratification and water quality response characteristics of daheiting reservoir[D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2019.
- [6] 文帅龙,吴涛,杨洁,等.冬季大黑汀水库沉积物-水界面氮磷磷存特征及交换通量[J].中国环境科学,2019,39(3):1217-1225.
WEN S L, WU T, YANG J, et al. Distribution characteristics and exchange flux of nitrogen and phosphorus at the sediment-water interface of Daheiting Reservoir in winter[J]. China Environmental Science, 2019, 39(3): 1217-1225.
- [7] 朱翔,张敏,渠晓东,等.潘大水库表层沉积物营养盐污染状况及赋存形态[J].应用生态学报,2018,29(11):3847-3856.
ZHU X, ZHANG M, QU X D, et al. Contamination status and speciation for the sediment nutrients in Panjiakou-Daheiting Reservoir[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(11): 3847-3856.
- [8] 马权,张爱芹.大黑汀水库水化学性质与水质模糊综合评价[J].陕西水利,2018,18(6):110-112.
MA Q, ZHANG A Q. Hydrochemical properties and water quality modulus and comprehensive evaluation of Daheiting Reservoir[J].

- Shaanxi Water Conservancy, 2018, 18(6): 110-112.
- [9] 王珊.基于多源遥感影像的潘家口-大黑汀水库水质变化监测与分析[D].兰州:兰州交通大学, 2019.
WANG S. Monitoring and analyzing of Panjiakou-Daheiting reservoir water quality change based on multi-source remote sensing images [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiatong University, 2019.
- [10] 吴涛, 王建波, 杨洁, 等.大黑汀水库水质时空变化特征及下游引水策略[J].水资源保护, 2020, 36(2): 65-72.
WU T, WANG J B, YANG J, et al. Spatio-temporal characteristics of water quality in Daheiting Reservoir and downstream water transfer strategy[J]. Water Resources Protection, 2020, 36(2): 65-72.
- [11] 吴婷婷, 王明猛, 陈旭锋, 等.唐山陡河水库沉积物汞的分布、来源及污染评价[J].环境科学, 2017, 38(3): 979-986.
WU T T, WANG M M, CHEN X F, et al. Distributions, sources and pollution assessment of Hg in sediment of douhe reservoir in Tangshan City[J]. Chinese Journal of Environmental Science, 2017, 38(3): 979-986.
- [12] 龚琬晴, 文帅龙, 王伟, 等.大黑汀水库夏秋季节温室气体赋存及排放特征[J].中国环境科学, 2019, 39(11): 4611-4619.
GONG W Q, WEN S L, WANG W, et al. Characteristics of storage and emission of greenhouse gases in summer and autumn in Daheiting reservoir[J]. Environmental Science, 2019, 39(11): 4611-4619.
- [13] 李洁, 赵锐锋, 梁丹, 等.兰州市城市土地生态安全评价与时空动态研究[J].地域研究与开发, 2018, 37(2): 151-157.
LI J, ZHAO R F, LIANG D, et al. Assessment and spatial-temporal dynamics of urban land ecological security of Lanzhou City[J]. Areal Research and Development, 2018, 37(2): 151-157.
- [14] 于海洋, 张飞, 曹雷, 等.基于乡镇尺度的土地生态安全时空格局评价研究:以博尔塔拉蒙古自治州为例[J].生态学报, 2017, 37(19): 6355-6369.
YU H Y, ZHANG F, CAO L, et al. Spatial-temporal pattern of land ecological security at a township scale in the bortala Mongolian autonomous prefecture[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(19): 6355-6369.
- [15] 刘明远, 张合兵, 孙江锋, 等.典型区域土地生态状况精细评估[J].中国农学通报, 2014, 30(33): 206-211.
LIU M Y, ZHANG H B, SUN J F, et al. Fine assessment of land ecological status in typical area[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(33): 206-211.
- [16] 刘志有, 朱亚楠, 蒲春玲, 等.基于生态文明视角新疆绿洲土地生态安全影响因素及管控机制研究:以塔城市为例[J].中国农业资源与区划, 2018, 39(3): 155-160.
LIU Z Y, ZHU Y N, PU C L, et al. A study on the influencing factors and management mechanism of land ecological security in Oases of Xinjiang from the perspective of ecological civilization: a case study of Tacheng[J]. Agricultural Resources and regionalization in China, 2018, 39(3): 155-160.
- [17] 马世五, 谢德体, 张孝成, 等.三峡库区生态敏感区土地生态安全预警测度与时空演变:以重庆市万州区为例[J].生态学报, 2017, 37(24): 8227-8240.
MA S W, XIE D T, ZHANG X C, et al. Measures of land ecological security early warning and its spatial-temporal evolution in the ecologically sensitive area of the Three Gorges reservoir area: a case study of Wanzhou District, Chongqing City[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(24): 8227-8240.
- [18] 于淑会, 周向莉, 卿冀川, 等.河北滨海盐碱土地生态安全评价[J].中国生态农业学报, 2017(5): 158-166.
YU S H, ZHOU X L, QING J C, et al. Ecological security assessment of saline-alkali land in Binhai, Hebei Province[J]. Chinese journal of Ecological Agriculture, 2017(5): 158-166.
- [19] 李思悦, 张全发.运用水质指数法评价南水北调中线水源地丹江口水库水质[J].环境科学研究, 2008, 21(3): 61-68.
LI S Y, ZHANG Q F. Assessing the water quality in the water source area of the middle route of the south to north water transfer project (Danjiangkou reservoir) using A water quality index method[J]. Research of Environmental Sciences, 2008, 21(3): 61-68.
- [20] PESCE S F, WUNDERLIN D A. Use of water quality indices to verify the impact of Cordoba City (Argentina) on Suquia River[J]. Water Research, 2000, 34(11): 2915-2926.
- [21] KOCER M A T, SEVGILI H. Parameters selection for water quality index in the assessment of the environmental impacts of land-based trout farms[J]. Ecological Indicators, 2014, 36: 672-681.
- [22] 王芳.潘家口、大黑汀水库水质现状及保护对策[J].水利规划与设计, 2020(3): 43-48.
WANG F. Water Quality Status and protection countermeasures of Panjiakou and Daheiting reservoirs[J]. Water Planning and Design, 2020(3): 43-48.
- [23] 李宁.矿产资源型县域经济转型研究[D].天津:河北工业大学, 2010.
LI N. Study on the Economic Transformation of mineral resource-based counties[D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2010.
- [24] KAMRAN Z, ELNAZ R. Determining spatial and temporal changes of surface water quality using principal component analysis[J]. Journal of Hydrology, 2017, 13: 1-10.

vey, the small amount of specimens used in morphological analysis and simple morphological description in early literatures made the basic data not clear for *Triplophysa* species in Henan province. Based on the detailed field investigation, this study comprehensively inspected the specimens, by using the method of morphology and molecular systematics to identify species and supplement the detailed morphological description, determined the range of *Triplophysa* in Henan Province. This study will contribute to the revision of Ichthyology of Henan Province.

Keywords: Henan Province; *Triplophysa*; morphology; taxonomy

[责任编辑 刘洋 杨浦]

(上接第 58 页)

Water quality evaluation of Daheiting reservoir based on principal component analysis and WQI_{\min}

Zhu Changjun^{1,2}, Zhao Fangxing¹, Li Budong³, Wang Shiyan³, Hao Wenlong¹

(1. College of Energy and Environmental Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China;

2. State Key Laboratory of Hydrology, Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210009, China;

3. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: Daheiting reservoir is the source of the Luan River Diversion Project. The quality of water is related to the safety of drinking water in the surrounding area. The evaluation of water quality is still in the stage of single index and multi-index analysis. Principal component analysis (PCA) and WQI_{\min} (minimum water quality index) were combined to quantitatively evaluate the water quality of Daheiting reservoir based on the water quality monitoring data of different water periods in 2019. The results showed that the water quality of Daheiting reservoir was medium in 2019, and the water quality of high water period was slightly better than that of low water period, and the water quality of dam head was slightly better than that of reservoir tail. The main pollution types of Daheiting reservoir in this period are organic pollution and eutrophication pollution according to the water quality factors selected by principal component analysis. Taking the horizontal period as an example, the minimum water quality index (WQI_{\min}) based on principal component analysis has certain feasibility and reference value in the water environment comprehensive water quality evaluation under the premise of fully considering the weight of environmental factors.

Keywords: Daheiting reservoir; principal component analysis; WQI_{\min} ; water quality assessment

[责任编辑 赵晓华 陈留院]