关键控制因子识别法筛查引黄济青干渠水质安全风险

祁 峰[1,2], 王 琳[1], 孙艺珂[1]

(1. 中国海洋大学 环境科学与工程学院, 山东 青岛 266100; 2. 山东建筑大学 市政与环境工程学院, 山东 济南 250101)

摘 要: [目的] 了解引黄济青干渠水质安全风险,为干渠安全管理提供依据,保障青岛居民饮水安全。[方法] 基于干渠沿线监测数据,识别出决定黄济青干渠水质的关键控制因子,并通过进一步的分析筛查风险因子,确定水质安全风险清单。[结果] 干渠水质先好转后恶化,营养物质是影响干渠水质的主要指标,但南水北调水明显缓解了干渠的富营养化。宋庄分水闸至棘洪滩水库进水处之间的供水干渠存在较大的铁和磷污染源。[结论] 关键控制因子识别法应用于长距离调水工程是可行的;干渠现有安全风险包括黄河水中氮磷营养物质及南水北调水中有机物和硫酸盐,以及干渠后半段铁、磷和有机物污染;潜在安全风险为南水北调水汇入量的变化或湿地系统失效可能造成富营养化和金属离子释出。

关键词: 关键控制因子识别; 风险因子筛查; 水质安全; 引黄济青; 干渠

文献标识码: B **文章编号**: 1000-288X(2018)05-0347-06 **中图分类号**: TU46$^+$1

文献参数: 祁峰, 王琳, 孙艺珂. 关键控制因子识别法筛查引黄济青干渠水质安全风险[J]. 水土保持通报, 2018,38(5):347-352. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2018.05.055. Qi Feng, Wang Lin, Sun Yike. Screening water quality safety risks in main canal for water diversion from Yellow River to Qingdao City by key control factors identification method[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018,38(5):347-352.

Screening Water Quality Safety Risks in Main Canal for Water Diversion from Yellow River to Qingdao City by Key Control Factors Identification Method

QI Feng[1,2], WANG Lin[1], SUN Yike[1]

(1. *College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao, Shandong* 266100, *China*; 2. *School of Municipal and Environmental Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan, Shandong* 250101, *China*)

Abstract: [Objective] To understand the risk of water quality safety in main canal for water diversion from Yellow River to Qingdao City, in order to provide basis for the safety management of main canal, and to ensure the the drinking water safety of Qingdao City. [Methods] Based on the monitoring data obtained along the main canal, the key control factors which determine the water quality in the main canal were identified, and a list of the water quality safety risks was determined by further analysis of the risk factors. [Results] The water quality of the main canal was improved firstly, and then deteriorated. Nutrients were the main indexes affecting the water quality of the main canal. The south-to-north water diversion project alleviated the eutrophication of the main canal obviously. There were larger sources of iron and phosphorus pollution in the main trunk canal between Songzhuang water diversion and water inlet of Jihongtian reservoir. [Conclusion] It is feasible to apply the key control factors identification method in the long distance water diversion projects. The existing safety risks in the main canal include total nitrogen and total phosphorus from the Yellow River, organic matter and sulphate from the south-to-north water diversion project, and iron, phosphorus and organic pollutants in the latter half of the main canal. The potential safety risks are eutrophication and release of metal ions caused by the changes of water intake volume in south-to-north diversion or the Yellow River and the failure of the wetland system.

收稿日期:2018-04-11 **修回日期**:2018-04-17

资助项目:山东省重点研发计划"山东引黄饮用水水质安全评价及影响溯源方法的研究"(2016GSF117018); 中国人民政治协商会议山东省委员会"实施城乡居民饮用水污染防治行动"专题调研项目

第一作者:祁峰(1976—),男(汉族),山东省济南市人,博士,副教授,主要从事水质评价工作。E-mail:qifeng@sdjzu.edu.cn。

通讯作者:王琳(1966—),女(汉族),山东省潍坊市人,博士,教授,主要从事水资源利用和水污染控制、环境规划与管理工作。E-mail:lwangouc@126.com。

Keywords: key control factors identification; screening risk factors; water quality safety; water diversion from the Yellow River to Qingdao City; main canal

引黄济青工程是将黄河水引向青岛的水利工程，并在南水北调水东线工程建成后成为其重要组成部分[1-2]。一方面，该工程缓解了青岛地区缺水现状，成为青岛居民的重要饮用水水源[3]。显然，引黄济青干渠水质安全对保障青岛居民健康有重大意义。另一方面，该工程全长 290 km，包括了 253 km 的输水明渠，途经 4 个市地，10 个县市区[2]，其水质安全必然暴露在众多的风险下[4-5]。WHO 也提出过对水源进行污染风险评估的重要性[6]。但是，长距离调水干渠的每一小段，每个水质指标都可能存在被污染的风险。如果想进行类似的污染评价，就需要即使对整个干渠的众多可能受影响的水质指标进行监测和分析。显然，这个工作量是非常巨大的，而且因缺乏针对性而难以保证评价准确性。因此，对大型调水工程输水干渠进行风险分析识别报道非常少见，如何简单快速地筛查干渠水质安全风险就成为干渠安全管理的一个难点。

研究表明，尽管潜在的风险较多，但仅有少数因素会对饮用水水质安全起到决定性影响[7-8]，即关键控制因子(key control factors，KCFs)。对饮用水管理而言，有针对性地重点监测分析 KCFs，就可以在较小范围内准确地筛查安全风险，从而用较小工作量将不可控制风险转化为可控制风险[8]，这是 KCFs 识别的意义所在。这一观点较早应用在 WHO 所推荐“危害分析关键控制点”(HACCP)管理原理中[9]。为此，我们在改进传统的监测数据标准化方法和主成分分析法基础上，建立起了一种 KCFs 识别法，从干渠中的众多分段和水质指标，以及分段和指标形成的数据元素矩阵中识别少数决定水质的 KCFs，并在 KCFs 范围中根据其对水质影响贡献大小、正负影响效应以及污染物产生和衰减的特点，筛查应重点控制的干渠水质安全风险因子。该方法已应用于山东引黄饮用水及泰安市饮用水供应链风险因子筛查(数据未发表)。由于是为筛查供应链中水质安全风险因子而设计的，该法显然也适用于长距离调水工程，如引黄济青工程。

因此，为了了解影响引黄济青干渠水质的潜在安全风险，本研究拟以干渠沿线的水质监测数据为基础，利用 KCFs 识别法筛选出对干渠水质产生决定性影响的 KCFs，并在其中进一步筛查出干渠水质安全风险因子，从而将最有可能引发引黄济青干渠水质安全危害的区域和污染物质以及应采取措施列入水质安全影响清单，以期为干渠管理提出的预警和防控目标。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

本次研究的对象为南水北调工程东线引黄济青工程的主干渠。引黄济青工程自打渔张通滨闸引取黄河水，首先在渠首沉沙池进行沉淀，沿途经多个县市，在陈户新村有南水北调水汇入，最终抵达山东省青岛市棘洪滩水库[2]。本研究在干渠共设 6 个监测点(表 1)，对水温、pH 值、高锰酸盐指数、COD 值、BOD_5 值、氨氮、TP 值、TN 值、铜、锌、氟化物、硒、砷、汞、镉、六价铬、铅、氰化物、挥发酚、阴离子合成洗涤剂、硫化物、粪大肠菌群、硫酸盐、氯化物、硝酸盐、铁、锰和总硬度等 29 个项目进行监测。

表 1 监测点位及其监测时间

监测点名称	监测日期	监测点性质
通滨闸	20170408	黄河水，渠首
陈户新村(汇水前)	20170408	南水北调水
陈户新村(汇水后)	20170408	混合水
丁庄小清河子闸	20170408	混合水
宋庄分水闸	20170409	混合水
棘洪滩水库进水	20170409	混合水，干渠终点

监测点将引黄济青干渠分为 4 个部分以研究不同分段对水质影响：Ⅰ段(通滨闸至陈户新村汇水后)、Ⅱ段(陈户新村汇水前后至丁庄小清河子闸)、Ⅲ段(丁庄小清河子闸至宋庄分水闸)和Ⅳ段(宋庄分水闸至棘洪滩水库进水处)。

1.2 KCFs 识别法

1.2.1 *数据标准化* 将袁东等[10]所用综合水质指数法中分指数的计算方法进行优化，对除水温外的 28 项指标的监测原始数据换算为统一的标准化指数，以便不同指标数据进行的对比和综合计算。除总硬度选用《生活饮用水水质标准》(GB5749-2006)外，其余指标均选用《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中Ⅲ类水体标准。指数标准化方法如下：

(1) 对于规定了最高浓度限值的指标，指数用实测数据的占标率概念标准化：

$$I_i = C_i / S_i \tag{1}$$

式中：C_i——i 指标的实测值(mg/L)；S_i——相应的标准值(mg/L)。实测值低于最低检出值时，以最低检出值的一半代替实测浓度。

(2) 对于有上下两个限值的指标，如 pH 值，指数计算公式为：

$$I_i=|C_i-(S_{max}+S_{min})/2|/[(S_{max}+S_{min})/2]I \quad (2)$$

式中:S_{max}——上限值;S_{min}——下限值。

(3) 对于微生物指标和感官指标,按以下公式标准化。

如粪大肠菌指数,当实测值低于限值时,指数以实测值除以标准值作为分指数 I_i;当实测值高于限值时,指数按照公式(3)计算:

$$I_i=1.00+\lg(C_i/S_i) \quad (3)$$

式中:C_i——i 指标的实测值;S_i——相应的标准值。

1.2.2　影响贡献率的计算　以水质指标在干渠分段中的指数变化作为基本分析元素,组成数据矩阵,按以下步骤计算各水质指标、干渠分段和元素对水质影响的贡献率。

(1) 将在各监测点中始终未检出和保持不变的指标筛选出来,默认这类指标对水质变化影响贡献为 0,不参与主成分分析,以避免恒量数据造成分析失败。

(2) 计算水质指标 i 在干渠各段($j=1,2,3,4$ 分别代表干渠 4 段)中的变化值 $\Delta I_{i,j}$,并计算该水质指标到 j 分段处的累积变化值 $\sum\Delta I_{i,j}$:

$$\sum\Delta I_{i,j}=\sum_{j=1}^{k}|\Delta I_{i,k}| \quad (4)$$

(3) 以积累变化值 $\sum\Delta I_{i,j}$ 为变量进行主成分分析。由于仅有第 1 主成分与评价方向一致,具有综合评价功能,是"大小因子",其它主成分参与加权后反而不利于排序[11],因此将按李朝峰等[12]的方法得到第一主成分各指标特征根向量作为该指标对水质变化影响的贡献值 ω_i^*。然后,对指标贡献值 ω_i^* 进行标准化处理,最终得到和为 1 的各指标对水质变化贡献率 ω_i。

(4) 按水质指标在同一分段变化的幅值占供应链中总积累变化值的比例,计算该水质指标在干渠不同分段对水质影响的分担率 $P_{i,j}$:

$$P_{ij}=\frac{|\Delta I_{i,j}|}{\sum\Delta I_{i,3}} \quad (5)$$

(5) 按下式计算各元素对水质影响的贡献率 $\psi_{i,j}^*$:

$$\psi_{i,j}^*=\omega_i\times P_{i,j} \quad (6)$$

对贡献值 $\psi_{i,j}^*$ 进行标准化处理,最终得到和为 1 的水质变化贡献率 $\psi_{i,j}$。

(6) 累计同一分段下元素的贡献率,得到该分段对水质影响的贡献率 ξ_j:

$$\xi_j=\sum_{i=1}^{k}\psi_{i,j} \quad (7)$$

(7) 以指标对影响贡献率 ω_i 为权重,采用如下公式计算监测点位 k 处的综合水质指数 I_k':

$$I_k'=\sum_{i=1}^{n}\omega_i\times I_{i,k} \quad (8)$$

式中:$I_{i,k}$——第 i 种水质指标在 k 监测点的指数值。

1.2.3　KCFs 的识别　将水质指标、干渠分段和分析元素按对水质影响贡献率的大小排序,分别筛选其中累计贡献率超过 85%的前 m 个识别为关键控制指标、关键控制分段和关键控制元素作为 KCFs。

1.2.4　KCFs 的影响效应　考查水质指标的指数在整个干渠的变化:如指数上升,说明该水质指标在整个干渠中趋于净化,对水质安全呈正效应;反之说明趋于污染,对水质安全呈负效应。

考查综合水质指数在干渠分段中的变化:如指数上升,说明水质在该分段中趋于净化,对水质安全呈正效应;反之说明趋于污染,对水质安全呈负效应。

考查元素指数的变化:如指数上升,说明相应水质指标在该分段中趋于净化,对水质安全呈正效应;反之说明趋于污染,对水质安全呈负效应。

1.3　通量贡献率的计算

为反映不同来水对混合水水质的贡献,计算第 l 来源水中污染物 i 的通量贡献率 $\rho_{i,l}$:

$$\rho_{i,l}=\frac{I_{i,l}}{I_i}\times R_l \quad (9)$$

式中:$I_{i,l}$ 和 I_i——污染物 i 汇合前第 l 来源指数和汇合后的指数;R_l——汇合前第 l 来源水量与汇合后水量的比值。

利用质量守恒法计算污染物 i 未明来源的通量贡献率 $\hat{\rho}$:

$$\hat{\rho}=1-\sum\rho_{i,l} \quad (10)$$

式中:$\sum\rho_{i,l}$——有明确来源水中污染物 i 的通量贡献率的和。

2　结果与讨论

2.1　KCFs 的识别结果

利用 KCFs 通过对本次监测数据进行分析,共识别出 22 个关键控制元素和 8 个关键控制指标,4 个干渠分段则均被识别为关键控制分段。

2.1.1　关键控制指标　如表 2 所示,从引黄济青干渠共识别出的 8 个关键控制指标,占本次分析指标数的 28.57%,但它们对水质影响的贡献率达到 85.70%,涉及到关键控制元素 18 个,占识别出关键控制元素的 81.82%。说明这些关键控制指标数量虽不多,却对水质好坏起决定性作用。

各关键控制指标中营养元素的影响最大,TP 和 TN 分别位于第 1 和第 2 位,且均为正效应,说明在干渠中氮磷总体上污染减轻了。但由于其在黄河水中分别超标 0.95 和 4.11 倍,特别 TP 在分段Ⅳ显著

反弹(参见表3),因此两者在进入棘洪滩水库时仍超标。

表2 关键控制指标识别结果

排序	指标	贡献率/%	影响效应	关键控制元素数量
1	TP	27.34	正	3
2	TN	17.17	正	2
3	六价铬	16.74	正	3
4	铁	7.03	负	2
5	锰	6.31	负	2
6	COD	4.55	负	3
7	高锰酸盐指数	3.81	负	2
8	硫酸盐	2.75	负	1
总计		85.70		18

表3 关键控制元素识别结果

排序	元素(指标—环节)	贡献率/%	正负影响
1	TN-Ⅰ	12.60	正
2	TP-Ⅳ	12.07	负
3	TP-Ⅰ	8.94	正
4	六价铬-Ⅲ	6.60	负
5	六价铬-Ⅳ	6.28	正
6	TP-Ⅱ	5.40	正
7	铁-Ⅳ	4.29	负
8	TN-Ⅱ	3.75	正
9	锰-Ⅱ	3.16	负
10	锰-Ⅲ	3.16	正
11	六价铬-Ⅱ	2.90	正
12	pH-Ⅰ	2.00	负
13	硫酸盐-Ⅰ	1.79	负
14	BOD_5-Ⅲ	1.71	负
15	COD-Ⅰ	1.65	负
16	COD-Ⅱ	1.65	正
17	高锰酸盐指数-Ⅳ	1.53	负
18	高锰酸盐指数-Ⅰ	1.29	负
19	COD-Ⅲ	1.24	正
20	硝酸盐-Ⅱ	1.21	正
21	铁-Ⅲ	1.20	正
22	氟化物-Ⅱ	1.07	负
总计		85.47	

识别出的关键控制金属离子指标为铁、六价铬和锰,其中铁表现为负效应,其他金属离子基本没有检出,所以金属离子中应重点关注铁指标。有机物指标COD和高锰酸盐指数被识别为关键控制指标且为负效应,说明在干渠存在有机污染源且净化作用不足以抵消污染作用。硫酸盐则在干渠中污染有所加重。

2.1.2 关键控制分段 如表4所示,引黄济青干渠的4个分段均被识别为关键控制分段。这是由于分段数量比较少而没一个贡献率小于15%。因此,说明4个分段均对水质好坏起决定性作用。

表4 关键控制分段识别结果

排序	环节	贡献率/%	综合水质指数的变化	影响效应	关键控制元素数量
1	Ⅰ	34.05	−0.632	正	6
2	Ⅳ	26.31	0.426	负	4
3	Ⅱ	21.97	−0.309	正	8
4	Ⅲ	17.67	0.114	负	4

由表4可知,引黄济青干渠在前半段(分段Ⅰ和Ⅱ)水质变好。特别是在分段Ⅰ涉及的关键控制元素较多,对干渠水质的影响贡献率最高(34.05%)且有积极的影响。在后半段(分段Ⅲ和Ⅳ)水质变差特别是在分段Ⅳ对水质有极大的负面贡献(26.31%),使水质明显下降,说明分段Ⅳ处有较大的污染源。

2.1.3 关键控制元素 如表3所示,通过对本次监测数据进行分析,从引黄济青干渠共识别出22个关键控制元素,占本次分析元素总数(112项)的19.64%,但他们对水质影响的贡献率达到85.47%,说明基于这些关键控制点进行干渠的安全风险分析目标性更强且保证准确性。

表3中铁-Ⅳ,TN-Ⅰ,TP-Ⅳ,TP-Ⅰ,六价铬-Ⅲ和六价铬-Ⅳ对水质的影响贡献率大于5 ,对水质产生了显著影响。其中,铁-Ⅳ,TP-Ⅳ,六价铬-Ⅲ表现为负效应,在宋庄分水闸至棘洪滩水库进水处之间的供水干渠存在铁和磷的较大污染源,在丁庄小清河子闸至宋庄分水闸之间的供水干渠存在六价铬较大污染源,应进行排查。考虑到底泥中磷和铁释放相互影响且均受pH值等因素制约[13-15],出应考虑铁和磷为底泥短期释放的可能性。TN-Ⅰ,TP-Ⅰ和六价铬-Ⅳ表现为正效应,说明在通滨闸至陈户新村汇水之间的供水干渠中氮磷被极大地稀释或去除,而六价铬在宋庄分水闸至棘洪滩水库进水处之间的供水干渠中被大量除去。

在分段Ⅳ仅识别出了4个关键控制元素,但排序比较靠前(第2,5,7,17位),除六价铬外均为负效应,说明磷、铁和有机物污染是引黄济青干渠后段水质恶化的主因,应予以重视。

锰和六价铬虽然分别在分段Ⅱ和分段Ⅲ处有较大的负效应,即有明显的污染,但被随后分段中的净化作用抵消了。对铁也有一定净化作用,但不足以抵消污染影响。这些结果说明干渠自身的净化作用可以在一定程度上消除上不太重的金属离子污染,可能与pH值较高,金属离子易于沉淀有关。然而,一旦

干渠水的 pH 值发生较大变化,沉积在底泥中的金属离子就有释放出来的风险[16-18]。在南水北调水和黄河水的引水量发生变化的时候,这样情况有可能发生。

2.2　南水北调水与黄河水的影响对比

引黄济青干渠以输送黄河水为主,但南水北调东线建成后,开始接纳南水北调水。黄河水和南水北调水分别从分段Ⅰ两端渠首打渔张通滨闸和陈户新村汇入,并在陈户新村汇合。利用公式(9)得出了黄河水、南水北调水对混合水污染物(分段Ⅰ中 KCFs 涉及到的指标, pH 值除外)通量的贡献率,而利用公式(10)得出未明来源的通量贡献率,视为分段Ⅰ沿线对混合水污染物通量的贡献率(表 5)。

表 5　黄河水与南水北调水对混合水污染物通量的贡献率

项 目		黄河水	南水北调水	分段Ⅰ沿线
通污量染贡物献输率入/%	高锰酸盐指数	57.76	44.50	−2.26
	COD	53.06	59.28	−12.33
	TP	180.39	1.29	−81.68
	TN	103.36	10.06	−13.42
	硫酸盐	54.80	54.14	−8.94
流量比/%		69.38	38.76	−8.14

由表 5 可以看出,黄河水在氮磷输入方面占据绝对优势,不仅因为黄河水的氮磷含量比长江水高得多[19-20],而且进行监测的 4 月份正是一年中引黄干渠渠首取水中氮磷含量最高时期[1];而汇入的南水北调水占混合水量的 38.76%,但输入的 TP 与 TN 分别只占混合水通量的 1.29%和 10.06%;相反有机物质和硫酸盐占混合水的通量的比例略超 50%。说明南水北调水对分段Ⅰ中营养物质浓度下降很大的积极贡献,而在有机物和硫酸盐方面有一定的不利影响。汇入干渠的黄河水和南水北调水无论在水量和各种污染物总量均较混合后的高。这说明在分段Ⅰ沿线水量有所消耗,原因是取水灌溉与下渗补给地下水;主要污染物有所消减,特别是 TP 的消减量达到了混合水通量的 81.68%,其余污染物消减较小。该结果与张瑞丽[2]在对引黄济青干渠开端部分(进水闸至沉砂池出水闸)的分析结果相符。其原因是引黄济青沉砂池被建成了一个湿地系统[2],对 TP 有明显的去除作用,但对氮和有机物的去除作用有限。

2.3　水质风险因子与安全影响清单

根据以上分析,可列将引黄济青干渠识别出 KCFs 分类,并进一步列出水质风险因子及其应采取措施,形成水质安全影响清单如下:

(1) 来源水中的风险因子。黄河水中氮磷营养物质及南水北调水中有机物和硫酸盐是来源水明显的风险因子,应重视来源地黄河和长江相应污染物的监测与排放的控制。

(2) 干渠中的污染风险因子。干渠后半段有明显的污染点,是造成干渠水质恶化的风险因子,如:丁庄小清河子闸至宋庄分水闸之间的供水干渠存在六价铬污染,而在宋庄分水闸至棘洪滩水库进水处之间的供水干渠存在铁、磷和有机物污染。特别是后者的污染是引黄济青干渠后段水质恶化的主因,应排查污染源,控制水质风险。

(3) 正效应影响失效的潜在风险点。干渠在前半段的 KCFs 对水质的影响基本上为正效应。其中南水北调水对氮磷稀释和渠首沉砂池湿地对 TP 的消减贡献较大,应考虑无南水北调水汇入或湿地系统失效造成干渠水富营养化的风险;而黄河水的高 pH 值对金属离子的污染有抑制作用,也应考虑更多南水北调水汇入造成 pH 值下降,而使金属离子从底泥中释放出来的风险。

2.4　KCFs 识别在长距离调水风险因子筛查中的应用前景

KCFs 识别法已在饮用水供应链中风险因子筛查中得到应用,但第一次应用在长距离调水工程中。该方法通过有效的分析,将实际影响干渠水质的 KCFs 从工程面临着诸多安全风险识别出来,使风险因子筛查变得简单而更有针对性,从而证实了其可行性。这为中国长距离调水工程的安全保障提供了新的分析工具。如在更多监测数据基础上,其舍弃绝大多数无用信息的大数据信息挖掘特征将更有优势。因此,该方法在长距离调水工程风险因子筛查中有广阔的应用前景。

3　结 论

本研究利用 KCFs 识别法,基于对引黄济青干渠水质监测数据,识别出了影响干渠水质的 KCFs,并进一步识别出其安全风险因子,证实了其用于筛查长距离调水工程水质安全风险的可行性。识别出风险因子表明,黄河水中氮磷营养物质及南水北调水中有机物和硫酸盐,以及干渠后半段铁、磷和有机物污染是干渠存在明显的安全风险;南水北调水汇入量的变化或湿地系统失效是可能造成富营养化和金属离子释出的潜在风险。根据分析的结果,提出引黄济青干渠水质安全影响清单以及应采取措施。最后,指出具有数据挖掘优点的 KCFs 法在长距离调水工程风险筛查中有广阔的应用前景。

[参 考 文 献]

[1] 吴等等,顾锦钊,张瑞丽,等.引黄济青工程渠首水质变化研究[J].北京水务,2013(6):15-18.

[2] 张瑞丽.引黄济青输水沿程水质变化及对策研究[D].山东 青岛:青岛理工大学,2011.

[3] 祁峰."实施城乡居民饮用水污染防治行动"专家组调查评价报告[R].济南:中国人民政治协商会议山东省委员会,2015.

[4] 卫宝立,王琳,展二鹏.基于 RS 和 GIS 的滨州城区土地利用变化研究[J].水土保持通报,2017,37(4):138-142.

[5] Tang Caihong, Yi Yujun, Yang Zhifeng, et al. Water pollution risk simulation and prediction in the main canal of the south-to-north water transfer project [J]. Journal of Hydrology, 2014,519:2111-120.

[6] Organization World Health, Guidelines for Drinking-water Quality[G]. Malta, 2011.

[7] Rak J, Pietrucha K . Some factors of crisis management in water supply system [J]. Environment Protection Engineering, 2008,34(2):57-65.

[8] Tchórzewskacieslak B. Risk in water supply system crisis management[J]. Journal of Konbin, 2008,5(2):175-190.

[9] 姜晓华,汤芳,孙丽娟,等.基于 HACCP 原理的再生水粪大肠菌安全控制管理研究[J].中国给水排水,2015,31(14):7-11.

[10] 袁东,陈仁杰,钱海雷,等.城市生活饮用水综合指数评价方法建立及其应用[J].环境与职业医学,2010,27(5):257-260.

[11] 唐启义.DPS 数据处理系统[M]. 3 版.北京:科学出版社,2013.

[12] 李朝峰,杨中宝. SPSS 主成分分析中的特征向量计算问题[J].统计教育,2007(3):10-11.

[13] 马旭阳.黄河水体沉积物中铁与磷的形态分布及相关分析[D].呼和浩特:内蒙古师范大学,2015.

[14] Zhang Yi, He Feng, Kong Lingwei, et al. Release characteristics of sediment P in all fractions of Donghu Lake, Wuhan, China [J]. Desalin Water Treat, 2016, 57(53):1-9.

[15] Ding Shiming, Wang Yan, Wang Dan, et al. In situ, high-resolution evidence for iron-coupled mobilization of phosphorus in sediments [J]. Scientific Reports, 2016,6:24341.

[16] 阳辉,樊贵盛,刘婷.流域底泥重金属分布特征及其生态风险评价[J].水土保持通报,2014,34(2):208-212.

[17] Chou Ping I, NG Dingquan, LI I Chia, et al. Effects of dissolved oxygen, pH, salinity and humic acid on the release of metal ions from PbS, CuS and ZnS during a simulated storm event [J]. Science of the Total Environment, 2018,624:1401-1410.

[18] Zang Fei, Wang Shengli, Nan Z Zhongren, et al. Influence of pH on the release and chemical fractionation of heavy metals in sediment from a suburban drainage stream in an arid mine-based oasis[J]. Journal of Soils and Sediments, 2017,17(10):2524-36.

[19] 陈沛沛.黄河下游与长江流域营养盐变化规律的研究[D].山东 青岛:中国海洋大学,2012.

[20] 康雅,许月霞,吴新平,等.南水北调水源切换后原水水质情况对比研究[J].给水排水,2016,42(8):17-19.

《水土保持通报》封面图案稿酬支付启事

本刊 2016 年第 1 期至 2017 年第 4 期封面 1 的树木图案来自网络资料。因原图案相关部位缺失作者联系方式,未能及时支付稿酬。请该图作者及时与本刊编辑部(bulletin@ms.iswc.ac.cn)联系,《水土保持通报》编辑部会按我刊正常付酬标准并参考同类期刊付酬标准尽快支付稿酬。多谢支持!

《水土保持通报》编辑部

二零一八年十月