

DOI:10.13476/j.cnki.nsbtdqk.2020.0058

李泽利,赵兴华,梅鹏蔚,等.于桥水库库周沟渠水质评价与污染负荷估算[J].南水北调与水利科技(中英文),2020,18(3):142-150. LI Z L,ZHAO X H,MEI P Y,et al. Water quality evaluation and pollution load estimation of ditches around the Yuqiao reservoir[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology,2020,18(3):142-150. (in Chinese)

于桥水库库周沟渠水质评价与污染负荷估算

李泽利¹,赵兴华^{1,2},梅鹏蔚¹,韩龙¹,姜伟¹,古小超^{1,2}

(1.天津市生态环境监测中心,天津 300191;2.天津天滨瑞成环境技术工程有限公司,天津 300191)

摘要:2017年对于桥水库周边31条沟渠或季节性河流进行全面摸查,分别采用单因子评价法和综合污染指数法对水质现状进行评价。单因子评价结果显示:库周沟渠Ⅲ类水体占比9.5%,劣Ⅴ类水体占比52.4%,总体处于重度污染水平,主要污染因子是氨氮、总磷、化学需氧量。综合污染指数评价结果显示水质最差的是燕各庄沟,综合污染指数为48.67,最好的是英庄子沟,综合污染指数为1.45。通过收集于桥水库周边气象、降水、水文、地形、土壤和土地利用类型等数据资料,采用SCS-CN法模拟沟渠地表径流量,乘以实测污染物浓度估算污染负荷,得出库周沟渠年输入化学需氧量723.2 t,总氮213.9 t,总磷11.4 t。研究成果可为加大于桥水库水质保障和面源污染治理力度、斩断入库污染源、确保饮用水水源地安全提供科学依据。

关键词:于桥水库;沟渠;综合污染指数法;SCS-CN法;污染负荷

中图分类号:TV213;X824 文献标志码:A 开放科学(资源服务)标志码(OSID):



Water quality evaluation and pollution load estimation of ditches around the Yuqiao reservoir

LI Zeli¹, ZHAO Xinghua^{1,2}, MEI Pengyu¹, HAN Long¹, JIANG Wei¹, GU Xiaochao^{1,2}

(1. Tianjin Eco-Environmental Monitoring Center, Tianjin 300191, China;

2. Tianjin Tianbin Ruicheng Environmental Technology Engineering Co., Ltd, Tianjin 300191, China)

Abstract: The single factor evaluation method and the comprehensive pollution index (CPI) method were employed to evaluate the water quality of 31 ditches around the Yuqiao reservoir in 2017. The single factor evaluation results showed that the proportion of III and the lower V were 9.5% and 52.4%, respectively. The main pollution factors were ammonia nitrogen, total phosphorus, and chemical oxygen demand. The comprehensive pollution index results showed that the worst water quality was Yangezhuang ditch with CPI=48.67 and the best was Yingzhuangzi ditch with CPI=1.45, respectively. Based on meteorology data, such as rainfall, hydrological data, topographic information, soil and land use records were collected to simulate the surface runoff of the ditches using SCS-CN method. Furthermore, the pollution load of the main pollutants was estimated after multiplying by the concentration of the pollutant. The results indicated that the annual input of chemical oxygen demand was 723.2 tons, and total nitrogen was 213.9 tons, while total phosphorus was 11.4 tons, respectively. The research result would provide scientific evidence for strengthening the water quality safeguarding and non-point source pollution controlling of Yuqiao Reservoir, which may benefit from reducing the reservoir inflow pollutants and ensuring the drinking water resource safety.

Key words: the Yuqiao reservoir; ditches; comprehensive pollution index; SCS-CN method; pollution load

收稿日期:2019-02-15 修回日期:2019-11-01 网络出版时间:2019-11-22

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20191122.1017.004.html>

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2013ZX07603-003-006)

作者简介:李泽利(1984—),男,河北承德人,工程师,博士,主要从事水污染防治方面工作。E-mail:lizeli@tj.gov.cn

通信作者:梅鹏蔚(1979—),男,天津人,高级工程师,主要从事环境监测工作。E-mail:meipengyu@163.com

于桥水库位于天津北部蓟州城东 4 km 处,是一座山谷形盆地水库,距离天津市区 115 km。作为引滦入津工程重要的调蓄水库,于桥水库是天津市重要城市集中式饮用水源地之一,正常蓄水面积 86.8 km²,流域总面积 2 060 km²,其中天津市境内的流域面积 424 km²,占全流域面积的 21%^[1-2]。2014 年以来,于桥水库水体富营养化问题凸显,水质呈现恶化趋势,2015—2017 年,于桥水库连续 3 年水质为地表水(湖库)Ⅳ类,其中 2016 年 2 月—3 月,于桥水库因硅藻暴发启动藻类暴发Ⅲ级预警响应,临时中断供水,6 月中旬再次爆发大规模蓝藻鱼腥藻水华^[3],启动Ⅲ级预警响应并停止供水;2017 年 7 月,于桥水库再次启动藻类暴发Ⅲ级预警响应。在此形势下,天津市不得不依赖南水北调中线水源以保证城市正常供水和生态用水,人民群众生产、生活受到一定程度影响。

许多学者针对于桥水库的富营养化状态和污染源解析做了大量研究。王立林等^[4]针对于桥水库进行了富营养化研究,从近 10 年的水质监测数据看,引滦入境水、入库河流及水库周边污染源为于桥水库污染的主要来源。卞少伟等^[5]在 2015 年采用单因子评价法和综合营养状态指数对天津市于桥水库水质监测结果进行分析评价,发现 2015 年于桥水库整体水质为Ⅴ类,主要超标因子为总氮和总磷,水库整体呈轻度富营养状态。李玉英^[6]、杜玉凤等^[7]也分别针对于桥水库富营养化变化趋势、成因及防治措施进行过探讨。葛宁等^[8]发现在于桥水库中 9 月份总氮含量最高,而总磷含量最低,8 月份总氮含量最低,7 月份总磷含量最高。然而,以往对于桥水库污染物来源的研究主要是针对黎河、沙河、淋河和果河 4 条入库河流输入^[9],对水库周边污染源的研究相对较少。陆海明等^[10]对于桥水库周边 2 个农业小流域进行了研究,发现地表径流总磷浓度以果园为最高,浓度超过 10 mg/L,村庄次之,农田最低,后续陆海明等^[11]又对于桥水库周边氮素流失特征进行研究,发现在村庄和果园的地表径流的总氮浓度最高,平均为 20 mg/L,山坡最低,平均低于 10 mg/L。但是该研究也只是针对于桥水库周边的 2 个农业小流域进行研究,并未对周边沟渠对于桥水库的影响进行评价。李雪娇等^[12]在于桥水库水污染因素调查分析中提到,于桥水库主要污染来源分为内源污染和外源污染,内源污染主要是库底底泥的释放及库中水草的死亡腐烂,外源污染主要是引滦输水、上游来水及水库周边污染,但是未对水库周边污染进行定量分析。

河流、沟渠是面源污染进入库区的主要通道之一,本研究于 2017 年对于桥水库周边 31 条沟渠或季节性河流进行水质监测,分析项目为地表水环境质量评价办法(试行)(环办〔2011〕22 号)中的 21 项;收集周边降雨数据、地形数据、土壤和土地利用数据,采用 SCS-CN 法估算沟渠地表径流,估算于桥水库周边沟渠年污染物输出负荷,为加大于桥水库水质保障和面源污染治理力度、斩断入库污染源、确保饮用水水源地环境安全提供科学依据。

1 现状调查及研究内容

1.1 沟渠调查概况

2017 年,对于桥水库库周所有大小沟渠进行全面排查,确定沟渠数量、名称、经纬度坐标、河长标志牌等信息,对周围环境进行调查并拍摄照片。调查共发现位于天津市蓟州区境内的库周大小沟渠 31 条,其中别山镇 1 条、穿芳峪镇和出头岭镇各 2 条、西龙虎峪镇 3 条、渔阳镇 5 条、马伸桥镇 7 条、五百户镇 12 条,沟渠总长度约 106 km。其中 10 条沟渠全年为干涸状态,其余 21 条沟渠均采集到水质样品。沟渠分布、编号、名称详见图 1,编号 1 至 15 为水库南侧沟渠,16 至 31 为水库北侧沟渠。黎河、沙河、淋河、果河等 4 条河流不在本调查研究范围内。

1.2 研究内容

1.2.1 沟渠水质评价

对 2017 年各个沟渠水质监测数据进行单因子评价分析,研究沟渠水质污染现状。采用综合污染指数对沟渠污染程度进行评价、排序,对污染较为严重的沟渠进一步开展评价分析。

1.2.2 估算模型建立与应用

构建污染物输出与沟渠水质、径流量响应模型,估算于桥水库沟渠年污染物输出负荷。沟渠水质为实测值,沟渠径流量采用 GWLF 模型中的 SCS-CN 法进行估算。首先收集模型所需的气象数据、降水数据、水文资料、地形图、土地利用类型图、土壤数据资料(见表 1),然后进行模型 CN 值等参数率定,最后将 2017 年实际降雨量带入率定好的模型中估算各条沟渠的产流量,进而估算出主要污染物入库负荷。

2 水质评价分析

2.1 单因子评价

依据地表水环境质量评价办法(试行)(环办〔2011〕22 号)进行水质评价,可得 21 条监测沟渠中,

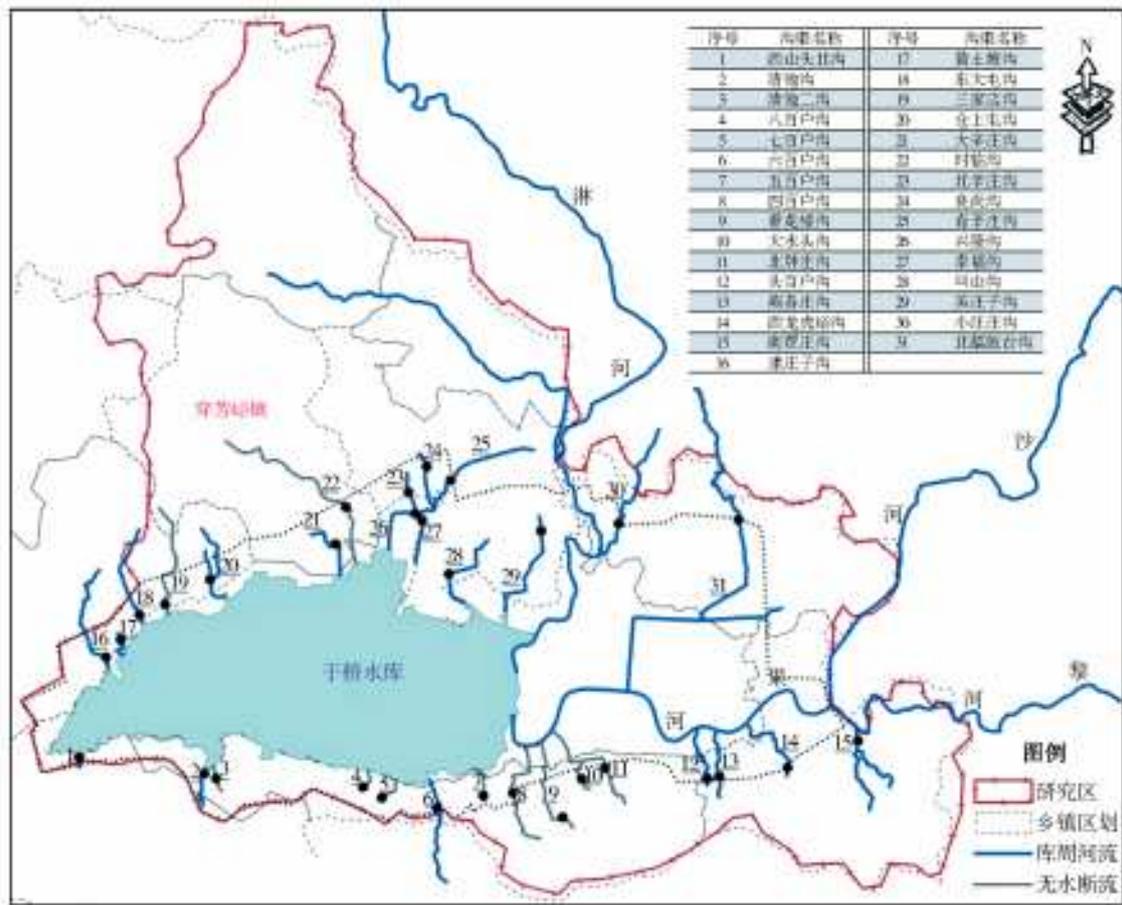


图 1 沟渠空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of ditches

表 1 模型构建原始数据来源

Tab. 1 Original data source for model construction

数据类型	来源	时间	数据描述
气象、降水数据	气象数据共享平台	2006—2017 年	蓟县、遵化逐日气温、降水数据
水文资料	水文年鉴	2006—2015 年	沙河水平口水文站逐日数据
DEM	中国科学院科学数据库	2000 年	30 m×30 m
土地利用类型图	天津市生态环境监测中心	2012 年	自行解译成果
土壤图	中科院南京土壤研究所	2008 年	第二次全国土壤普查

Ⅲ类水质 2 条,占比 9.5%,Ⅳ类水质 3 条,占比 14.3%,Ⅴ类水质 5 条,占比 23.8%,劣Ⅴ类水质 11 条,占比 52.4%,总体处于重度污染水平,主要污染因子是氨氮、总磷、化学需氧量。

2.2 综合污染指数

于桥水库是天津市重要的饮用水源地之一,水质应满足地表水Ⅲ类水质标准。选择高锰酸盐指数、化学需氧量、氨氮、总磷 4 项主要污染指标,按照地表水Ⅲ类水质标准计算库周沟渠的综合污染指数(CPI, the comprehensive pollution index)^[13-14],公式为

$$CPI = \sum_{i=1}^m \frac{C_i}{C_{is}} \quad (1)$$

式中:CPI 为沟渠综合污染指数; C_i 为评价指标 i 的

当月监测浓度值,mg/L; C_{is} 为评价指标 i 的Ⅲ类水质标准浓度,mg/L。CPI 小于 4,可认为该沟渠水质较好。

4 项指标的平均浓度见图 2,21 条沟渠的 CPI 统计结果见图 3。评价结果显示所监测沟渠中水质较差的有 14 条(CPI>4),水质相对较好的 7 条(CPI≤4)。水质最差的是燕各庄沟,CPI 为 48.67,最好的是英庄子沟,CPI 仅为 1.45。

2.3 沟渠水质分析

针对水质综合污染指数排名靠后的 3 条沟渠,即燕各庄沟、仓上屯沟和大辛庄沟进行逐月水质分析。燕各庄沟全年水质为劣Ⅴ类,共有 5 项污染物超过地表水Ⅲ类水质标准,主要污染物分别是氨氮、总磷和化学需氧量,年平均浓度分别是 25.6、3.24

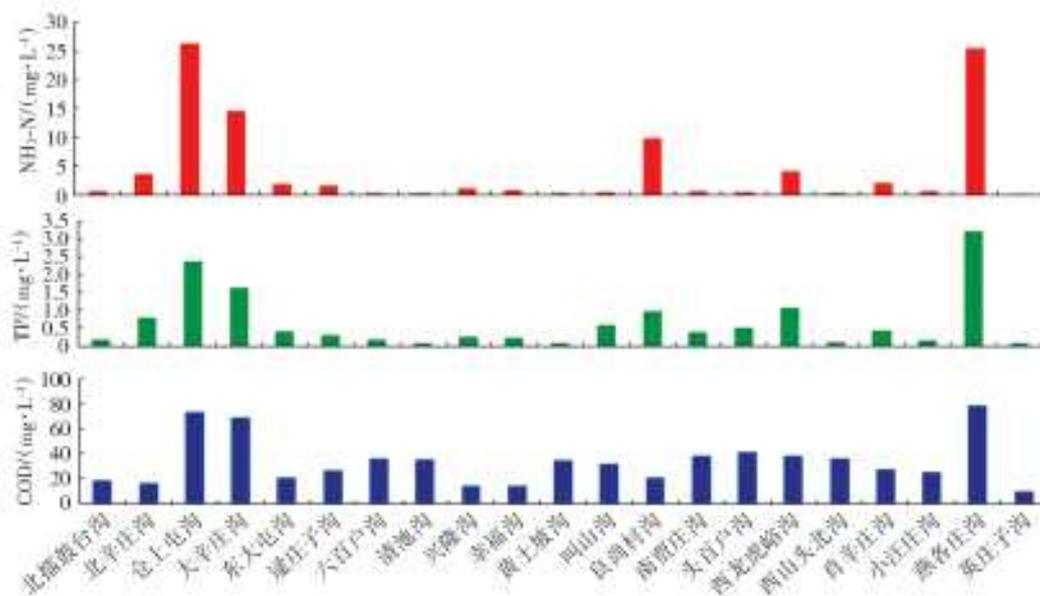


图2 氨氮、总磷、化学需氧量平均浓度

Fig.2 Average concentration of NH₃-N,TP and COD

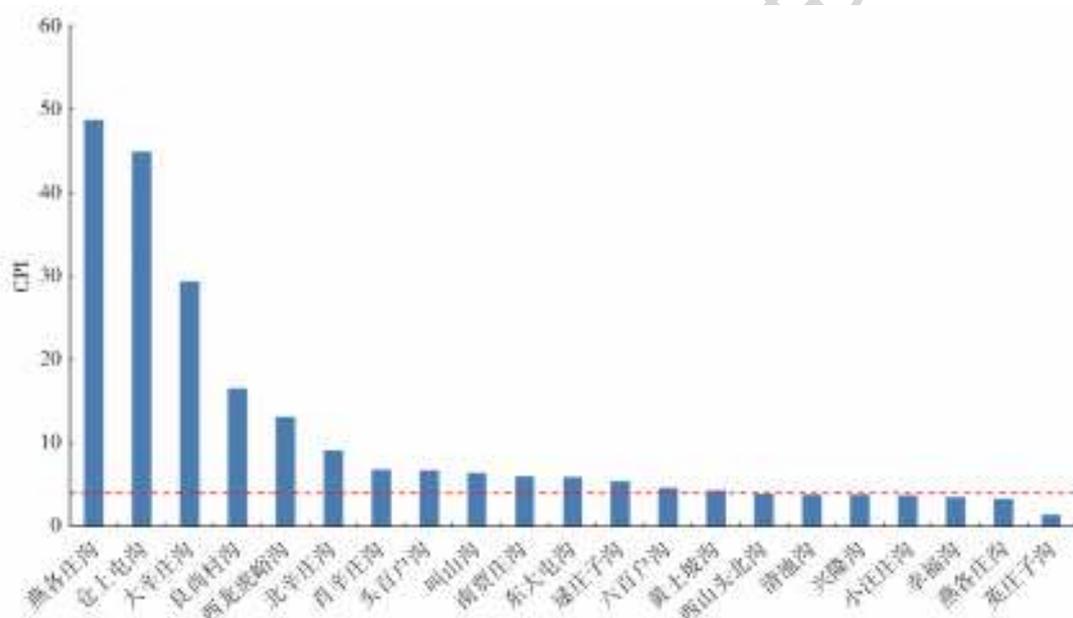


图3 于桥水库周边沟渠水质综合污染指数

Fig.3 CPI of ditches water quality around Yuqiao reservoir

和 79 mg/L, 分别超过地表水Ⅲ类标准 24.6 倍、15.2 倍和 2.95 倍。调查结果显示,燕各庄沟污染主要是周边村庄污染,周边居民生活污水汇入其中,导致水质较差。

仓上屯沟全年水质为劣Ⅴ类,共有 8 项污染物超过地表水Ⅲ类水质标准,主要污染因子为氨氮、总磷和生化需氧量,年平均浓度分别是 26.4、2.40 和 19.8 mg/L,分别超过地表水Ⅲ类标准 25.4 倍、11.0 倍和 3.95 倍。调查显示仓上屯沟长期有生活污水流动,水质较差,二级保护区范围内存在驻蓟部队排污口。

大辛庄沟全年水质为劣Ⅴ类,共有 6 项污染物

超过地表水Ⅲ类水质标准,主要污染因子为氨氮、总磷和化学需氧量,年平均浓度分别是 14.6、1.64 和 69 mg/L,分别超过地表水Ⅲ类标准 13.6 倍、7.20 倍和 2.45 倍。大辛庄沟长期有水存在,但是水体流动性不明显,水中存在大量蓝藻,同时大辛庄村附近存在 5 家畜禽养殖,其中 2 家养殖专业户,3 家散养户。

3 库周围沟渠污染负荷的估算

3.1 模型构建

各个沟渠所在子流域的逐月产流量采用 SCS-CN 模型模拟获取。SCS 模型是美国农业部水土保

持局于 20 世纪 50 年代开发的小流域降雨径流统计经验模型,该模型具有结构简单、所需参数少、对观测数据的要求不严格等特点,能够客观描述不同土地利用方式、土壤类型、前期土壤含水量及降水条件下的地表径流过程,对于小面积集水区径流预报具有较强的能力。在国内,张卫等^[15]用 SCS 模型估算红壤土坡地降雨径流量,王爱娟等^[16]应用该模型对秦巴山区商南县两条流域进行降雨径流过程的模拟,董文涛等^[17]应用该模型对巢湖流域降雨-径流过程进行模拟,顾雯等^[18]使用改进的 SCS 模型应用于黑龙江省中小流域径流模拟,张睿昊等^[19]基于 GWLF 模型的 SCS 曲线法对引滦上游柳河流域 2006—2014 年的水文过程进行了模拟,均取得了较好的模拟效果。

SCS 模型的计算为^[20-22]

$$Q = \begin{cases} \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} & P \geq 0.2S \\ 0 & P < 0.2S \end{cases} \quad (2)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

式中:Q 表示地表径流深度,mm;P 表示降水量,mm;S 表示流域当时的可能滞留量,即降雨与径流之间的最大差值,mm,也称吸水系数;CN 为径流曲线参数。CN 代表地表产生径流的能力,与植被覆盖、土壤性质和土壤湿度等因素有关,是产流计算的

关键参数。由于库周沟渠缺乏流量实测数据,本文采用于桥水库沙河流域水平口水文站的流量数据进行建模,率定 CN 值等关键参数。

模型软件选取。选取美国康奈尔大学 Swaney 和 Hong 开发的 ReNuMa 模型软件建模并进行参数率定。该模型软件基于原始 GWLF 理论框架和算法,其中地表径流使用 SCS-CN 模型进行参数化模拟,使用 VBA 语言开发并在 Excel 平台上运行,可利用规划求解宏进行参数自动校准,已经用于于桥水库流域的水文和污染物模拟研究^[23-24],在月尺度模拟上取得了较好的效果。

模型参数率定。将沙河流域的气象、降水、土地利用面积和径流量等数据按模型要求格式输入到 ReNuMa 模型中。使用 2006—2015 年水平口水文站实测流量,以纳氏系数(NSE)为目标函数^[25],对不同土地利用类型的 CN 值进行参数率定。结果显示模型拟合效果较好,纳什系数 NSE 为 0.71,降水与产流过程基本吻合(图 4)。率定后的不同土地利用类型的 CN 值见表 2。

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (Q_{oi} - Q_{pi})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2} \quad (4)$$

式中:Q_{oi} 为观测值;Q_{pi} 为模拟值; \bar{Q}_o 为多年平均观测值;n 为样本个数。

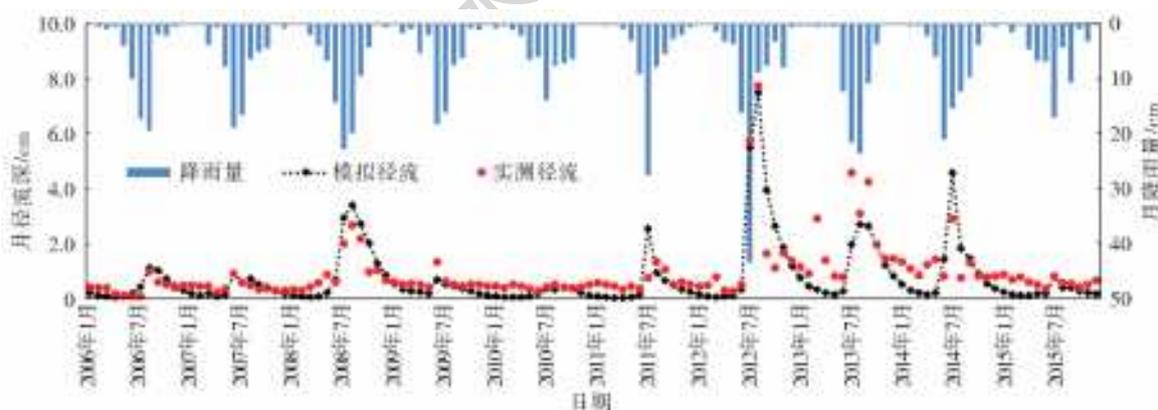


图 4 降水过程与模型模拟效果

Fig. 4 Precipitation process and model simulation efficiency diagram

子流域划分与产流量估算。基于 ArcGIS 平台的 SWAT 模型插件,加载研究区的数字高程图 (DEM) 并利用实际进行河网矫正后,生成各个沟渠的子流域空间分布图,统计出各个子流域的面积以及每个子流域中各类土地利用类型的面积。从气象数据共享平台获取蓟州区雨量站 2017 年逐日降水观测数据,将降雨量数据 P、某种土地利用类型的 CN 值分别带入式(2)和(3),计算出相应的地表径流深 Q 值,再用 Q 值乘以该土地利用类

型的面积,即可获得该土地利用类型的产流量。将每个子流域所有土地利用类型产流量相加,即可获得该子流域总产流量。淋河、沙河、黎河子流域(灰色部分)不在研究区范围内,暂不参与本研究计算。

表 2 不同土地利用类型的 CN 值

Tab. 2 CN values of different land use types

土地利用类型	耕地	林地	草地	建设用地	水面
CN 值	65	30	35	98	100

3.2 结果与分析

库周共划分为27个子流域(23至27号沟渠共用一个流域出口),子流域面积大小在0.52~35.52 km²(图5),其中子流域3至5、7至11、19和22所在的10条沟渠全年干涸,产流量为0。其余子流域全年产流量在8.1~640.8万 m³,累计产流量3 152.4万 m³(详见表3)。

各个子流域产流量数据乘以主要污染物年均浓度,计算得到各个子流域的污染物输出量,结果见表2。21条库周沟渠中,化学需氧量负荷在2.85~173 t,年输出723.2 t,30号小汪庄沟贡献量最大;总氮负荷在0.12~65.4 t,年输出213.9 t,30号小汪庄沟贡献量最大;总磷负荷在0.01~2.04 t,年输出11.4 t,13号燕各庄沟贡献量最大。

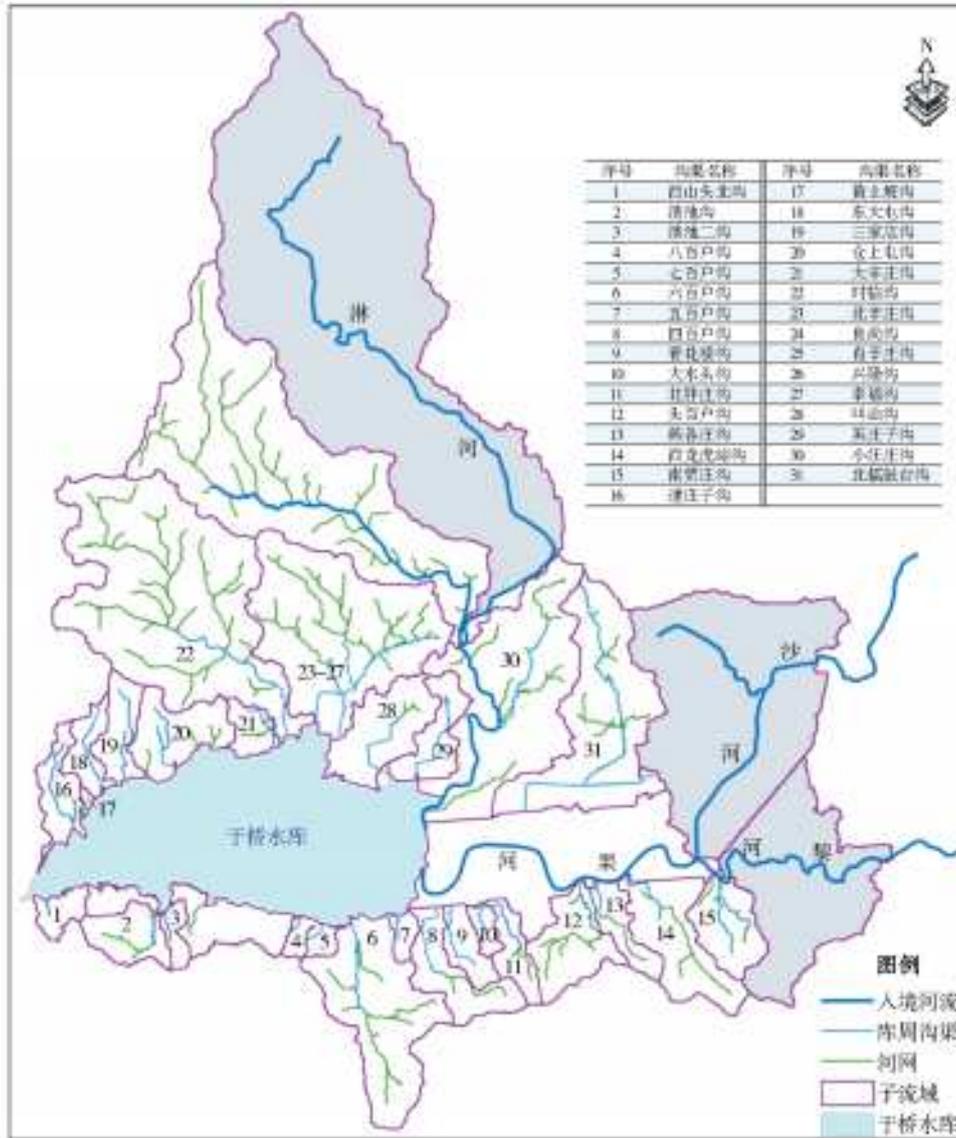


图5 库周沟渠子流域划分结果

Fig. 5 Subbasin dividing results of ditches around Yuqiao reservoir

与黎河、沙河、淋河污染物入库负荷量^[26]相比,库周沟渠总氮、总磷负荷量分别占入库河流的25%和7%左右。

4 结论与建议

4.1 结论

(1)从水质分析评价中可以看出库周边沟渠总体处于重度污染水平,劣V类水质11个,占比

52.4%,主要污染因子是氨氮、总磷、化学需氧量。水质最差的是燕各庄沟,综合污染指数为48.67,最好的是英庄子沟,综合污染指数仅为1.45。

(2)通过库周沟渠污染负荷的估算可知,年输入化学需氧量723.2 t,总氮213.9 t,总磷11.4 t,其中化学需氧量影响较大的前三个子区域分别为小汪庄沟、北擂鼓台沟和仓上屯沟,总氮影响较大的前3个子区域分别为小汪庄沟、西龙虎峪沟和仓上屯沟,

表 3 各个子流域土地利用类型、面积及污染负荷量
Tab. 3 Land use types, areas and pollution load of each ditches

子流域	面积/km ²							产流量/ 万 m ³	负荷量/t		
	总面积	耕地	林地	草地	建设用地	水体	裸地		COD	TN	TP
1	2.56	0.65	1.32	0	0.58	0	0.01	23.20	8.35	0.49	0.03
2	5.56	1.68	2.25	1.22	0.40	0	0.02	50.90	18.80	0.63	0.04
6	5.87	1.37	2.97	0.22	0.77	0.03	0.51	60.10	21.60	0.77	0.10
12	8.73	4.68	2.57	0	1.13	0.17	0.15	121.80	51.20	1.98	0.62
13	4.25	1.31	1.51	0	1.08	0.23	0.12	63	49.80	23.40	2.04
14	12.08	5.40	4.80	0	1.27	0.09	0.49	146.90	55.80	26.40	1.59
15	7.55	4.18	2.21	0	1.00	0.07	0.09	100.10	38.00	2.01	0.39
16	5.02	0.67	0.89	1.08	2.24	0.14	0	56.10	15.70	4.50	0.18
17	0.52	0.28	0.00	0.18	0.04	0.02	0	8.10	2.85	0.12	0.01
18	3.78	0.89	2.04	0.24	0.55	0	0.05	32.80	7.55	2.66	0.14
20	8.68	3.00	2.83	1.27	1.39	0	0.20	90.20	60.40	24.50	1.78
21	3.03	1.36	0.58	0.25	0.63	0	0.21	38.40	26.50	8.33	0.63
23至27	35.22	14.85	11.74	1.16	6.35	0.36	0.76	427.80	59.90	13.00	1.11
28	10.14	4.49	2.83	0	2.78	0.04	0	120.70	38.60	7.33	0.71
29	5.99	3.69	0.70	0.35	1.23	0.01	0	81.90	8.19	16.50	0.06
30	23.64	12.08	2.30	0.75	4.25	4.24	0.02	640.80	173.00	65.40	1.15
31	20.51	10.22	1.57	0.59	4.62	1.86	1.66	434.10	86.80	15.90	0.87
合计	217.52	81.82	80.36	8.70	33.37	7.33	5.94	3 152.40	723.20	213.90	11.40

分别为 65.36 t, 26.44 t 和 24.45 t, 总磷影响较大的前 3 个子区域分别为燕各庄沟、仓上屯沟和西龙虎峪沟, 分别为 2.04 t, 1.78 t 和 1.59 t。

4.2 对策建议

(1) 提高周边沟渠环境监测能力。实施沟渠精细化管理, 加强监测能力建设, 增设水质监控断面、监测项目和设备, 或通过购买第三方服务对流域整体水质情况进行定期监测, 实时掌握于桥水库周边沟渠的水质状况, 科学分析水质变化趋势和规律, 有针对性地采取管理保护措施。

(2) 实施入库沟道的“河长制”考核和日常管理保护机制。完善入库沟道的河长制长效机制, 健全河长制工作的巡查和例会、信息报告、应急处置、组织协调、指导服务、督查督办、考核激励、宣传教育、全民参与等工作机制。加强于桥水库周边一级保护区和二级保护区的监督管理, 规范污染较重的子流域内的排污口、工业企业、餐饮行业及周边的畜禽养殖等。

(3) 做好污染物治理和截污控源工作。制定于桥水库综合治污方案, 全面监控并妥善处置治污载体, 防止发生二次污染。水库北岸靠近水库边的村庄, 建议不准在村内进行养殖和畜禽粪便堆放, 斩断入库污染源, 防止降水形成地表径流, 使污染物直

接冲到水库造成水体污染。可考虑建设环库截污沟道, 通过导流渠将沟渠中的水导流, 然后对其进行处理, 完成污染物的削减工作。

参考文献(References):

- [1] 金丹越, 黄艳菊. 天津于桥水库主要环境问题及其防治对策[J]. 环境科学研究, 2004, 17(s1): 77-79. (JIN D Y, HUANG Y J. The environmental problems and controlling countermeasures of Tianjin Yuqiao reservoir [J]. Research of Environmental Sciences, 2004, 17(s1): 77-79. (in Chinese)) DOI:10.13198/j.res.2004.s1.79.jindy.018.
- [2] 王新年, 沈大军. 基于讨价还价模型的跨省水源地保护生态补偿标准研究——以于桥水库为例[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(6): 88-95. (WANG X N, SHEN D J. Research on eco-compensation standards of inter-provincial water source protection based on bargaining model: A case study of Yuqiao reservoir [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(6): 88-95. (in Chinese)) DOI:10.13476/j.cnki.nsbdkq.2017.06.013.
- [3] 房旭, 段洪涛, 曹志刚. 基于多源卫星数据的小型水体蓝藻水华联合监测——以天津于桥水库为例[J]. 湖泊

- 科学,2018,30(4):967-978. (FANG X, DUAN H T, CAO Z G. Remote monitoring of cyanobacterial blooms using multi-source satellite data; A case of Yuqiao Reservoir, Tianjin[J]. Journal of Lake Sciences, 2018, 30(4): 967-978. (in Chinese)) DOI: 10. 18307 /2018. 0410.
- [4] 王立林,杜玉凤,王鸿雁. 于桥水库富营养化控制对策研究[J]. 水科学与工程技术,2007(6):23-26. (WANG L L, DU Y F, WANG H Y. Study on eutrophication control strategy of Yuqiao reservoir[J]. Water Sciences and Engineering Technology, 2007(6): 23-26. (in Chinese)) DOI: 10. 19733/j. cnki. 1672-9900. 2007. 06. 008.
- [5] 卞少伟,陈晨,王秋莲,等. 于桥水库水质富营养化评价及防治对策研究[J]. 中国环境管理干部学院学报,2016,26(6):47-50. (BIAN S W, CHEN C, WANG Q L, et al. Research on eutrophic evaluation and control measures for yuqiao reservoir[J]. Journal of Environmental Management College of China, 2016, 26(6): 47-50. (in Chinese)) DOI: 10. 13358/j. issn. 1008-813x. 2016. 06. 12.
- [6] 李玉英,侯任合. 于桥水库富营养化趋势及成因[J]. 水利水电技术,2001,32(8):61-63. (LI Y Y, HOU R H. Trend and cause of eutrophication in Yuqiao reservoir [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2001, 32(8): 61-63. (in Chinese)) DOI: 10. 13928/j. cnki. wrahe. 2001. 08. 022.
- [7] 杜玉凤. 于桥水库水体富营养化及防治对策[J]. 海河水利,2005(1):36-38. (DU Y F. Eutrophication and its control of Yuqiao reservoir [J]. Haihe Water Resources, 2005(1): 36-38. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1004-7328. 2005. 01. 014.
- [8] 葛宁,冯平,孙冬梅,等. 库区面源氮、磷污染对于桥水库水质的影响[J]. 南水北调与水利科技,2015,13(3):427-433. (GE N, FENG P, SUN D M, et al. Effects of non-point source pollution of nitrogen and phosphorus on water quality of the Yuqiao reservoir[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2015, 13(3): 427-433. (in Chinese)) DOI: 10. 13476/j. cnki. nsbdqk. 2015. 03. 007.
- [9] 李泽利,周笑白,赵兴华,等. 于桥水库流域污染负荷估算和管理效果评估[J]. 环境污染与防治,2017,39(7):752-764. (LI Z L, ZHOU X B, ZHAO X H, et al. Estimating pollution load and evaluating management practices for yuqiao reservoir watershed[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 39(7): 752-764. (in Chinese)) DOI: 10. 15985/j. cnki. 1001-3865. 2017. 07. 012.
- [10] 陆海明,尹澄清,王夏晖,等. 于桥水库周边农业小流域地表径流和亚表层流的磷素流失浓度特征[J]. 环境科学学报,2007,27(10):1702-1708. (LU H M, YIN C Q, WANG X H, et al. Phosphorus concentrations in surface runoff and subsurface flow from agricultural catchments by the Yuqiao reservoir[J]. Acta Science Circumstantiae, 2007, 27(10): 1702-1708. (in Chinese)) DOI: 10. 13671/j. hjkxxb. 2007. 10. 024.
- [11] 陆海明,尹澄清,王夏晖,等. 于桥水库周边农业小流域氮素流失浓度特征[J]. 环境科学学报,2008,28(2):349-355. (LU H M, YIN C Q, WANG X H, et al. Nitrogen loss from agricultural catchments by drinking water sources-A case study of the Yuqiao reservoir[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2008, 28(2): 349-355. (in Chinese)) DOI: 10. 13671/j. hjkxxb. 2008. 02. 017.
- [12] 李雪娇,孙翔宇,孔庆杰. 于桥水库水污染因素调查分析[J]. 海河水利,2013(6):27-28. (LI X J, SUN X Y, KONG Q J. Investigation and analysis of water pollution factors in Yuqiao reservoir[J]. Haihe Water Resources, 2013(6): 27-28. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1004-7328. 2013. 06. 010.
- [13] 花瑞祥,张永勇,刘威,等. 不同评价方法对水库水质评价的适应性[J]. 南水北调与水利科技,2016,14(6):183-189. (HUA R X, ZHANG Y Y, LIU W, et al. Adaptability analysis of multiple evaluation methods in reservoir water quality evaluation[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016, 14(6): 183-189. (in Chinese)) DOI: 10. 13476/j. cnki. nsbdqk. 2016. 06. 031.
- [14] 薛巧英,刘建明. 水污染综合指数评价方法与应用分析[J]. 环境工程,2004,22(1):64-66,69. (XUE Q Y, LIU J M. Evaluation and application analysis of water pollution comprehensive index[J]. Environmental Engineering, 2004, 22(1): 64-66, 69. (in Chinese)) DOI: 10. 13205/j. hjgc. 2004. 01. 020.
- [15] 张卫,张展羽,杨洁. SCS模型在红壤土地降雨径流量估算中的应用[J]. 水土保持通报,2014,34(5):124-127. (ZHANG W, ZHANG Z Y, YANG J. Application of SCS model to estimate volume of runoff in slope field of red soil[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2014, 34(5): 124-127. (in Chinese)) DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2014. 05. 030.
- [16] 王爱娟,张平仓,丁文峰. 应用SCS模型计算秦巴山

- 区小流域降雨径流[J]. 人民长江, 2008, 39(15): 49-50. (WANG A J, ZHANG P C, DING W F. Rainfall-runoff computation of small watersheds in Qinba mountainous area by SCS model[J]. Yangtze River, 2008, 39(15): 49-50. (in Chinese)) DOI: 10. 16232/j. cnki. 1001-4179. 2008. 15. 017.
- [17] 董文涛, 程先富, 张群, 等. SCS-CN 模型在巢湖流域地表产流估算中的应用[J]. 水土保持通报, 2012, 32(3): 174-177. (DONG W T, CHENG X F, ZHANG Q, et al. Application of SCS-CN model estimating surface runoff to chaohu lake basin[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2012, 32(3): 174-177. (in Chinese)) DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2012. 03. 018.
- [18] 顾雯, 李丽, 石晓丹, 等. 改进的 SCS 模型在黑龙江省中小流域径流模拟中的应用[J]. 水文, 2017, 37(3): 70-74. (GU W, LI L, SHI X D, et al. Application of modified SCS model in runoff simulation for medium- and small-sized basins in Heilongjiang Province[J]. Journal of China Hydrology, 2017, 37(3): 70-74. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-0852. 2017. 03. 012.
- [19] 张睿昊, 朱龙基, 王佰梅. 柳河流域特征污染物负荷模拟及污染源解析[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(4): 120-127. (ZHANG R H, ZHU L J, WANG B M. Simulation of characteristic pollutant load and analysis of pollution source in Liuhe River basin[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16(4): 120-127. (in Chinese)) DOI: 10. 13476/j. cnki. nsbdqk. 2018. 0105.
- [20] LANE L J. SCS National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, Chapter 19: Transmission Losses [M]. USDA, SCS, Washington, DC, 1983.
- [21] MISHRA S K, TYAGI J V, SINGH V P, et al. SCS-CN-based modeling of sediment yield[J]. Journal of Hydrology (Amsterdam), 2006, 324: 301-322. DOI: 10. 1016/j. jhydrol. 2005. 10. 006.
- [22] 刘家福, 蒋卫国, 占文凤, 等. SCS 模型及其研究进展[J]. 水土保持研究, 2010, 17(2): 120-124. (LIU J F, JIANG W G, ZHAN W F, et al. Processes of SCS model for hydrological simulation: a review[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2010, 17(2): 120-124. (In Chinese))
- [23] SHA J, LIU M, WANG D, et al. Application of the ReNuMa model in the Shahe River watershed: Tools for watershed environmental management[J]. Journal of environmental management, 2013, 124: 40-50. DOI: 10. 1016/j. jenvman. 2013. 03. 030.
- [24] 张亚尼, 李泽利, 邓小文, 等. 沙河流域非点源溶解态氮负荷模拟及源解析[J]. 水土保持研究, 2017, 24(5): 352-356. (ZHANG Y N, LI Z L, DENG X W, et al. Simulation and source apportionment of nonpoint source dissolved nitrogen load in Shahe watershed [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(5): 352-356. (in Chinese)) DOI: 10. 13869/j. cnki. rswc. 2017. 05. 055.
- [25] LI Z L, LIU M H, ZHAO Y, et al. Application of regional nutrient management Model in Tunxi catchment: In support of the trans-boundary eco-compensation in eastern China [J]. CLEAN-Soil Air Water, 2014, 42(12): 1729-1739. DOI: 10. 1002/clean. 201300380.
- [26] 徐宁, 高金强, 王潜. 基于 SWAT 模型的州河流域非点源污染模拟[J]. 海河水利, 2017(5): 53-56. (XU N, GAO J Q, WANG Q. Non-point source pollution of SWAT model in Zhouhe River basin[J]. Haihe Water Resources, 2017(5): 53-56. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1004-7328. 2017. 05. 018.