第43卷第4期 水生态学杂志 Vol.43, No.4
2022年 7月 Journal of Hydroecology Jul. 2022
DOI:10.15928/j.1674-3075.202010230306

岗南–黄壁庄水库分区污染贡献率分析

聂 睿[1,2],李国强[2],诸葛亦斯[2],余 晓[2],李双双[2],石浩洋[1,2]

(1. 三峡大学水利与环境学院,湖北 宜昌 443002;
2. 中国水利水电科学研究院水生态环境研究所,北京 100038)

摘要:开展岗南-黄壁庄水库产汇区面源污染分区贡献率计算与分析,为具有复杂干支流特征的串联水库产汇区面源污染防治及消减提供参考。采用输出系数法与浓度传递系数矩阵相结合的方法,在子流域划分的基础上,计算各子流域面源污染对入库污染负荷贡献率,并分析入库污染空间格局。结果表明,对岗南水库入库COD_{Cr}和氨氮贡献率最大的是滹沱河干流入境水,为89.56%和76.31%;对黄壁庄水库入库COD_{Cr}和氨氮贡献率最大的是岗南水库下泄水和绵河、甘陶河入境水,二者合计贡献率占74.26%和66.58%,即上游山西来水对岗南-黄壁庄水库入库污染负荷的贡献最大。河北省境内各子流域对岗南水库贡献率均较小,大多在1%左右,郭苏河、险溢河相对较高也不超过4%;黄壁庄水库以冶河井陉-平山汇水区、南甸河和滹沱河干流岗南-黄壁庄水库区间最大,这3个子流域对入库COD_{Cr}和氨氮贡献率分别为7.12%和9.51%、4.69%和6.29%、3.53%和4.78%,应将这些区域作为岗南-黄壁庄水库产汇区面源污染优先控制区域,并将农田径流作为优先控制污染源。

关键词:输出系数法;浓度传递系数矩阵;岗南-黄壁庄水库;面源污染;分区贡献率;串联水库

中图分类号:X508 **文献标志码**:A **文章编号**:1674-3075(2022)04-0071-07

水库型水源地是我国饮用水源的重要类型,随着对点源污染的有效控制,面源污染已成为影响水源地水库水质安全最主要的因素之一(陈平等,2018),准确识别面源污染空间格局并量化产汇区面源污染对于认识水库水质的受影响程度并有效控制入库污染负荷从而保障水库型水源地水质安全具有重要意义(Gao et al,2014)。

面源污染分布广泛且随机分散,监测难度大,使用模型估算的方法较多,但大多数模型十分复杂且对参数要求很高,很难进行率定验证和推广应用(刘庄等,2015)。输出系数法是一种常用的面源污染估算方法,所需参数少、操作简单、精度较高,已被国内外研究学者广泛采用(周文婷等,2017)。但该法是直接建立面源污染源强与耕地面积、化肥施用量、畜禽养殖规模、人口数量等统计数据之间的联系,未考虑污染物在河流水体中的迁移转化过程以及对于水库水质控制断面的具体响应。针对研究区域所在流域支流水系众多,产汇区面源污染空间格局复杂交错的串联水库,入库污染分析亟需一种较为简单明晰的方法(韩宇平等,2003)。表征恒定水流条件下入河排污口污染物浓度与各个控制断面污染物浓度比例关系的浓度传递系数,刚好可以实现复杂产汇流条件下面源污染在河流中迁移衰减之后到达水体控制断面的污染物浓度计算,且形式简单,可操作性强,得到了学者们的认可(诸葛亦斯等,2011)。尚未见到将2种方法结合起来使用的研究成果。

本文以河北省岗南–黄壁庄串联水库为例,采用输出系数法和浓度传递系数矩阵相结合的方法,在子流域划分的基础上,开展各子流域面源污染对入库污染负荷贡献率的计算,并分析入库污染空间格局,提出相应的防控建议。成果可为控制具有复杂干支流特征的串联水库产汇区面源污染、消减入库污染负荷及保障水库水质安全提供参考。

1 区域概况与研究方法

1.1 研究区概况

岗南、黄壁庄水库是河北省境内滹沱河干流上的2座串联水库,于20世纪50年代末同期建设,均

收稿日期:2020-10-23 **修回日期**:2021-01-26

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2018ZX07110-006)

作者简介:聂睿,1997年生,男,硕士研究生,研究方向为河流生态环境保护与修复。E-mail:1623649939@qq.com

通信作者:李国强,1976年生,男,博士,正高级工程师,主要研究方向为水利水电工程的生态影响、河流生态系统恢复。E-mail:ligq@iwhr.com

为大(1)型工程,岗南水库位于黄壁庄水库上游约28 km处,岗南水库下泄水经滹沱河入黄壁庄水库。黄壁庄水库以上为山区,汇水面积大,支流水系多,流域面积大于100 km^2的河流有25条,水库以下为平原。岗南水库的直接入库支流主要有郭苏河、文都河和险溢河等,黄壁庄水库的主要入库河流有滹沱河和冶河,其中南甸河为滹沱河支流,河水汇入滹沱河后入黄壁庄水库,见图1。

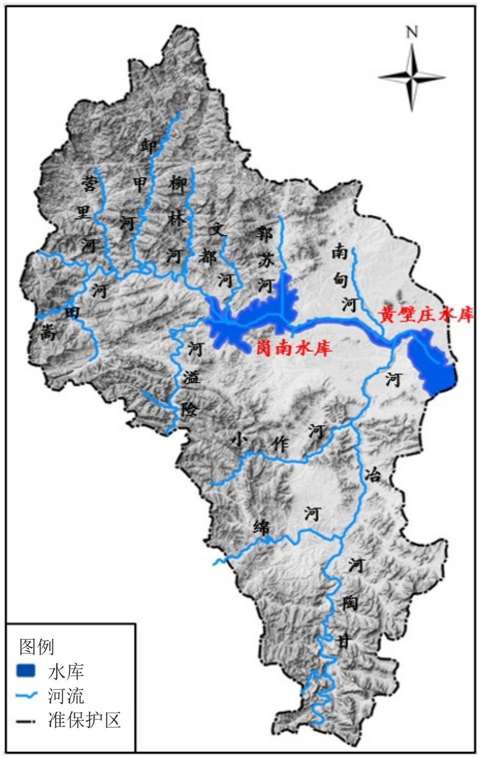

图1　岗南、黄壁庄水库入库支流

Fig.1　Inflow tributaries of Gangnan and Huangbizhuang reservoirs

1.2　资料来源

滹沱河流域河北省境内各类相关数据来自2016−2017年平山县、井陉县及井陉矿区统计年鉴、年报、文献。同时本文收集了岗南、黄壁庄水库管理局和海河流域水体水环境质量状况通报资料,并于2019年7−9月对滹沱河入境、绵河甘陶河入境、岗南入库等26个相关断面按照《地表水环境质量标准》(GB3838−2002)中所规定的24项基本项目和5项补充项目进行了实地监测。

1.3　研究技术路线

采取基于天然流域产汇机理的产污产汇统计,在此基础上,基于DEM数据进行滹沱河全流域的子流域划分,根据设定的子流域面积阈值和子流域进水口及出水口位置,将滹沱河流域划分为27个子流域。在子流域划分的基础上叠加下垫面的水土开发特性,应用输出系数法估算各子流域面源污染源强,然后运用GIS空间分析技术得到水库产汇区面源污染源强空间分布。同时基于流域环境系统水量水质模拟,通过浓度传递系数矩阵确定入库水质控制断面对于各支流入干流口逐一排放COD_{Cr}及氨氮浓度的响应关系,从而确定入库污染负荷的分区贡献率,技术路线见图2。

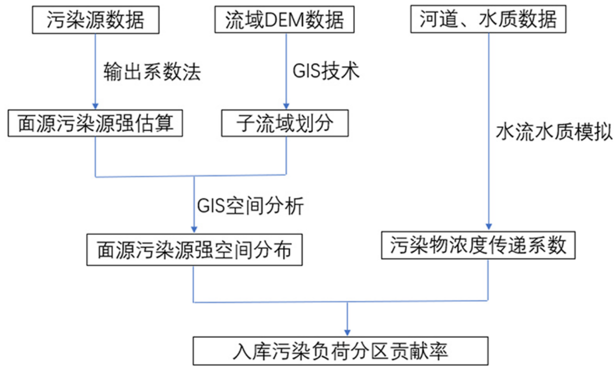

图2　技术路线

Fig.2　Flow chart for estimates of NPS loading

1.4　面源污染计算

输出系数法是由Omernik(1976)提出的用于估算不同土地利用类型面源污染负荷的模型,经Johnes(1996)改进后综合考虑了土地利用类型、人口分布状况及畜禽养殖数量等因素对面源污染的影响并被广泛应用于面源污染研究中。本文采用输出系数法获得岗南、黄壁庄水库产汇区面源污染COD_{Cr}、氨氮污染负荷。计算公式为:

$$L_i = \sum_{j=1}^{m} E_{ij} A_i + P \qquad ①$$

式中:L_i为第i种污染物在研究区域的总源强(t/a);m为研究区内污染源的数量(本文取m=2);E_{ij}为第j种污染物在第i种土地利用类型中的输出系数[kg/(hm^2·a)],或第i种畜禽养殖导致的第j种污染物的输出系数[kg/(头(只)·a)],或农村生活导致的第j种污染物的输出系数[kg/(人·a)];A_i为流域中第i种土地利用类型的面积(hm^2),或第i种畜禽养殖的数量[(头)只]或人口数量(人);P为大气沉降输入的污染物总量[kg/(hm^2·a)],因滹沱河流域大气输入的污染物总量相较于面源污染物总量可忽略不计,故本文不考虑此项影响。

输出系数的取值主要受地形地貌、水文气候、土地利用、植被覆盖和人类活动等因素的影响。鉴于岗黄水库产汇区无实测的输出系数,本文主要参考

《海河流域综合规划(2012-2030年)》(水利部海河水利委员会，2013)及《全国水资源综合规划地表水水质评价及污染物排放量调查估算工作补充技术细则》(全国水资源综合规划技术工作组，2003)确定各项输出系数，以此估算农田径流、畜禽养殖、农村生活3类面源污染来源的COD_{Cr}、氨氮的排放负荷。

1.5　子流域划分

基于DEM数据应用GIS技术进行了滹沱河全流域的分区，根据地形地貌、河流分布、关心的重点区域等将滹沱河流域划分为27个子流域，见图3。

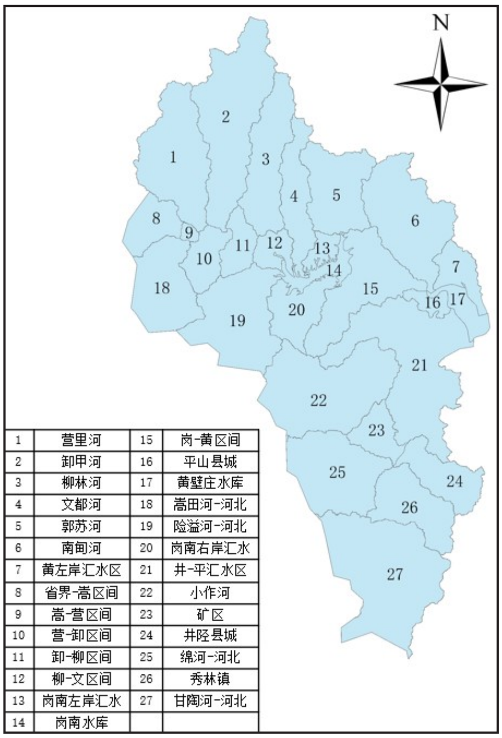

图3　滹沱河流域子流域划分

Fig.3　Sub-basin division of the Hutuo River basin

1.6　浓度传递系数矩阵

基于水流水质模拟计算，可确定支流入干流口逐一排放COD_{Cr}及氨氮对各个水质控制断面水质的影响，即固定水流条件下入河排污口污染物浓度与各个控制断面污染物浓度的比例关系，表示为浓度传递系数。浓度传递系数的原理如图4。

假定河道中水流为均匀流，第j个水质控制断面流量为Q_j，平均流速为u_j，污染物的综合降解系数为K，且支流入干流口i污水排放量Q_{p_i}远小于河道流量，支流入干流口i污染物排放对下游L_{ij}距离j断面浓度的影响，可用浓度传递函数f_{ij}表示，公式如下：

$$f_{ij}=exp\left(-\frac{KL_{ij}/u_i}{Q_i}\right)=\frac{K_j^i}{P_i} \qquad ②$$

$$A=\begin{bmatrix} f_{11} & \cdots & f_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{n1} & \cdots & f_{nm} \end{bmatrix} \qquad ③$$

式中：P_i为第i支流入干流口的污染物浓度，mg/L；K_j^i为第i支流入干流口污染负荷在第j控制断面造成的污染物浓度，mg/L；f_{ij}为第i个支流入干流口污染物浓度在第j个控制断面造成的污染物浓度与第i支流入干流的污染物浓度之比，在水流条件不变情况下该比例关系不变；A为上述浓度比例关系汇总，即浓度传递系数矩阵。

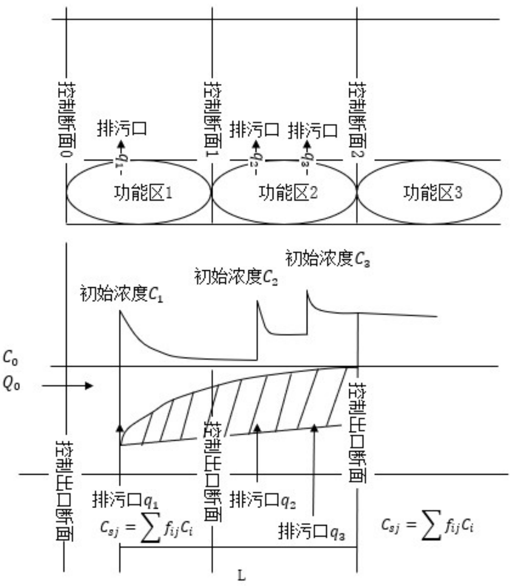

图4　浓度传递系数示意

Fig.4　Schematic diagram of the process used to estimate concentration transfer coefficients

2　结果与分析

2.1　各子流域面源污染源强空间分布

在空间分布上，岗南-黄壁庄水库产汇区面源污染COD_{Cr}、氨氮源强主要集中在岗南水库以下干流段及冶河、南甸河流域，其中滹沱河干流岗南-黄壁庄水库区间，COD_{Cr}和氨氮源强分占总量的8.40%和8.42%；南甸河流域COD_{Cr}和氨氮源强分占总量的13.89%和13.75%；冶河流域COD_{Cr}和氨氮源强分占总量的60.85%和60.46%，其中井-平区间分占总量的23.19%和23.22%，绵河-河北子流域分占总量的9.42%和9.41%，各子流域COD_{Cr}和氨氮源强空间分布见图5。

2.2　各子流域污染物浓度传递系数

在多年平均水文条件下，各个支流入干流口逐一排放浓度为单位浓度的特征污染物，其他排污口无污染物排放情况下，相应水库水质控制断面的特征浓度传递系数如表1。

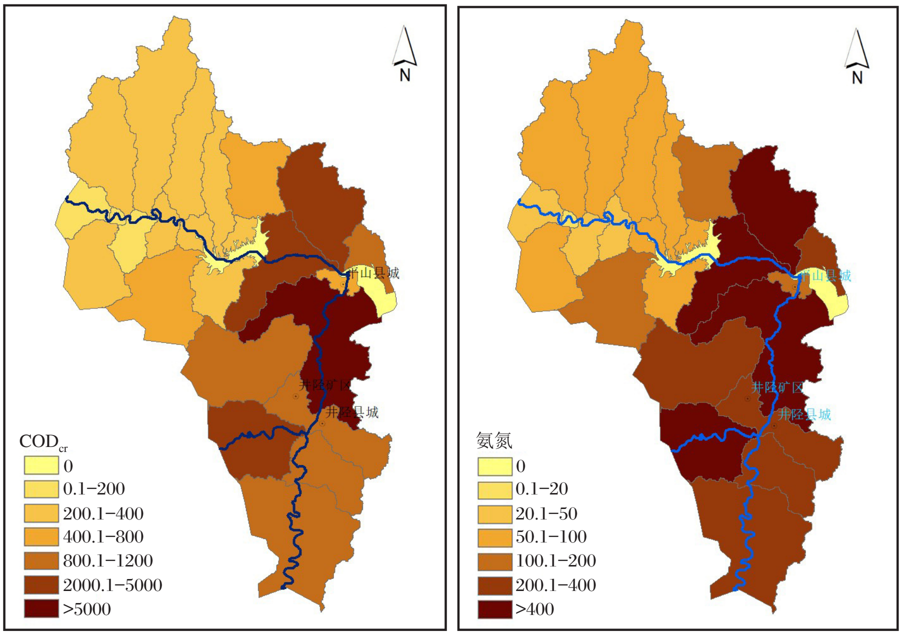

图5　各子流域COD_{Cr}及氨氮源强空间分布

Fig.5　Spatial distribution of COD_{Cr} and ammonia nitrogen source intensity in each sub-basin

表1　各子流域至岗南-黄壁庄水库浓度传递系数

Tab.1　Concentration transfer coefficient from each sub-basin to Gangnan-Huangbizhuang reservoirs

子流域	COD_{Cr}	氨氮	子流域	COD_{Cr}	氨氮
入境	87.29	76.20	岗南下泄	97.53	95.12
省界-嵩田河区间	90.15	81.26	甘陶河-入境	67.63	45.73
嵩田河	90.15	81.26	绵河-入境	70.74	50.05
嵩田河-营里河区间	91.50	83.72	甘陶河-河北	73.67	54.27
营里河	91.50	83.72	绵河-河北	75.77	57.42
营里河-卸甲河区间	92.45	85.48	秀林镇	75.77	57.42
卸甲河	92.45	85.48	矿区	76.63	58.73
卸甲河-柳林河区间	94.81	89.89	井陉县城	77.93	60.74
柳林河	94.81	89.89	井-平汇水区	95.33	90.89
柳林河-文都河区间	100	100	小作河	86.25	74.39
文都河	100	100	平山县城	100	100
险溢河	100	100	南甸河	100	100
岗南右岸汇水	100	100	黄左岸汇水区	100	100
岗南左岸汇水	100	100			
郭苏河	100	100			

2.3　各子流域面源污染对入库污染负荷的贡献率

根据面源污染源强分布计算结果，确定的入河系数，得到滹沱河流域河北省境内COD_{Cr}入河量为1 573.19 t/a，氨氮入河量为337.75 t/a，各子流域面源污染入河量见图6。岗南水库上游面源污染入河量整体较小，郭苏河、险溢河相对较高；岗南水库下游面源污染入河量主要集中在井-平汇水区、南甸河、绵河-河北和岗-黄区间等子流域。

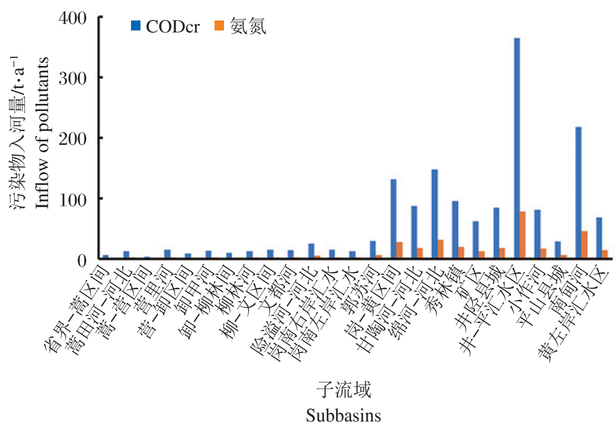

图6　各子流域面源污染入河量

Fig.6　Inflow loading of non-point source pollutants for each sub-basin

根据各子流域污染物入河量，结合各子流域至水库控制断面的污染物浓度传递系数，计算各子流域对岗南、黄壁庄水库入库污染负荷贡献率见表2和表3。滹沱河干流、绵河、甘陶河等入境污染负荷根据入境水量及水功能区水质目标计算，上述河流水质目标为III类，COD_{Cr}浓度取20 mg/L，氨氮浓度取1 mg/L。从表2可以看出，对岗南水库COD_{Cr}和氨氮贡献率最大的是滹沱河干流入境水量，绝对贡献率占89.56%和76.31%；河北境内各区间绝对贡献率大多在1%左右，郭苏河、险溢河不超过4%。对河北省境内的各子流域进行比较，郭苏河相对贡献率分别为14.76%和14.85%；其次为险溢河，相对贡献率分别为12.91%和

13.25%；再次为岗南水库左右岸汇水区，COD_{Cr}和氨氮相对贡献率分别为8.15%和8.10%、7.79%和8.11%，其他支流相对贡献率基本在5%~7%。

表2 各子流域对岗南水库COD_{Cr}、氨氮贡献率

Tab.2 COD_{Cr} and ammonia nitrogen contribution rate of each sub-basin to Gangnan reservoir

子流域	面积/km²	绝对贡献率/%		相对贡献率/%	
		COD_{Cr}	氨氮	COD_{Cr}	氨氮
入境		89.56	76.31		
省界-嵩田河区间	80.84	0.34	0.74	3.29	3.13
嵩田河	172.93	0.58	1.29	5.59	5.46
嵩田河-营里河区间	9.52	0.20	0.44	1.90	1.85
营里河	250.70	0.81	1.80	7.80	7.58
营里河-卸甲河区间	71.35	0.51	1.11	4.84	4.67
卸甲河	337.69	0.67	1.54	6.40	6.51
卸甲河-柳林河区间	59.37	0.57	1.27	5.50	5.36
柳林河	185.66	0.57	1.27	5.41	5.37
柳林河-文都河区间	46.01	0.90	2.04	8.67	8.60
文都河	122.23	0.73	1.69	6.99	7.14
险溢河	244.43	1.35	3.14	12.91	13.25
岗南右岸汇水	104.32	0.81	1.92	7.79	8.11
岗南左岸汇水	31.40	0.85	1.92	8.15	8.10
郭苏河	173.23	1.54	3.52	14.76	14.85

表3 各子流域对黄壁庄水库COD_{Cr}、氨氮贡献率

Tab.3 COD_{Cr} and ammonia nitrogen contribution rate of each sub-basin to Huangbizhuang reservoir

子流域	面积/km²	绝对贡献率/%		相对贡献率/%	
		COD_{Cr}	氨氮	COD_{Cr}	氨氮
绵河、甘陶河入境		38.54	27.37		
岗南下泄		35.72	39.21		
岗-黄区间	207.38	3.53	4.78	36.51	20.78
甘陶河-河北	391.66	1.29	1.51	13.33	6.56
绵河-河北	222.20	2.07	2.48	21.43	10.80
秀林镇	147.65	1.43	1.67	14.75	7.29
矿区	67.02	1.01	1.15	10.41	5.01
井陉县城	111.68	1.13	1.38	11.70	5.99
井-平汇水区	386.50	7.12	9.51	73.73	41.38
小作河	327.03	1.40	1.79	14.44	7.79
平山县城	27.49	0.57	0.81	5.88	3.51
南甸河	257.05	4.69	6.29	48.56	27.39
黄左岸汇水区	64.94	1.51	2.05	15.67	8.93

从表3可以看出，对黄壁庄水库COD_{Cr}和氨氮贡献率最大的是岗南水库下泄水量和绵河、甘陶河入境水量，二者合计绝对贡献率占74.26%和66.58%；与岗南水库上游相比，黄壁庄水库汇水区内各子流域贡献率相对均匀，井-平汇水区COD_{Cr}和氨氮绝对贡献率分别为7.12%和9.51%，南甸河流域绝对贡献率分别为4.69%和6.29%，岗-黄区间分别为3.53%和4.78%；其余子流域COD_{Cr}和氨氮绝对贡献率分别在0.57%~2.07%和0.81%~2.48%。从河北省境内各子流域相对贡献率来看，以井-平汇水区最高，COD_{Cr}和氨氮分别为73.73%和41.38%，其次为南甸河和岗-黄区间，剩余子流域贡献率较小。

3 讨论

3.1 入库污染空间格局

从各子流域分区贡献率来看，对岗南水库入库COD_{Cr}和氨氮贡献率最大的是滹沱河干流入境水，绝对贡献率占89.56%和76.31%，滹沱河干流2008-2016年多年平均入库水量为3.20亿m³，占到岗南水库入库总水量的61%以上，因此上游山西来水水质对岗南水库水质影响很大。河北省境内各子流域贡献率均较小，这是流域地形地貌状况、经济社会发展水平以及各支流入库水量等多因素综合影响的结果，从地形上看，岗南水库以上为山区且距离水库较远，干支流水位落差大流速急，入河污染物在河水的裹挟冲刷之下经过较长距离的稀释降解才能到达水库，因而浓度传递系数较小，加之山区流域人口分布少，经济社会发展水平低，因此面源污染源强较小，且直接入库支流险溢河、文都河和郭苏河入库径流量分别只占入库总水量的8%、1%和1%。由此可知，各支流入库断面水质状况主要取决于入境水量与境内产水量及污染负荷的数量关系，入境水量提供了降解空间，入境水量越大，区间可容纳的污染物越多。

黄壁庄水库入库河流中，岗南水库下泄水和冶河支流绵河、甘陶河省界断面来水是影响水库水质的主要原因之一，二者合计贡献率为74.26%和66.58%，岗南水库下泄水量约占黄壁庄水库入库总水量的44%，冶河入黄壁庄水库径流量约占黄壁庄入库总水量的48%，而入境水量就占到冶河水资源总量的一半以上(其中绵河省界以上32%，甘陶河省界以上19%)，因此岗南水库下泄水和冶河支流绵河、甘陶河省界断面来水的水质情况极大程度上决定了黄壁庄水库的水质。此外，冶河流域多浅山丘陵，有丰富的岩溶裂隙水，娘子关与威州一带，分布着大量泉群，地下水储蓄量丰富，且与地表水补排关系复杂，其中泉域涌水约占冶河入库径流总量的20%。河北省境内分区贡献率以冶河井-平汇水区、南甸河和滹沱河干流岗-黄区间这3个子流域最大，冶河井-平汇水区内人口密集，经济发达，集约化畜

禽养殖和规模化农业生产程度高，土地开发利用以大面积的农业灌区为主，冶河流域山区段耕地集中分布在河流两侧3 km之内，平原段3 km内耕地占比达到71%，化肥施用量和流失量大，因此面源污染源强值高，且冶河入滹沱河干流口距离黄壁庄水库较近，因此浓度传递系数较大，对入库污染贡献率自然较大。位于黄壁庄水库左岸的南甸河汇水面积虽然较小，但流域内工农业开发强度大且距离水库较近，因此对入库污染负荷的贡献率也较大。但各子流域面源污染源强与对入库污染贡献率的大小关系并不总是保持一致，如绵河-河北子流域的源强值大于岗-黄区间的源强值，但从子流域分区贡献率来看，岗-黄区间COD_{Cr}和氨氮对黄壁庄水库的入库污染负荷的绝对贡献率分别为3.53%和4.78%，大于绵河-河北的贡献率2.07%和2.48%，这是因为虽然岗-黄区间的源强值小于绵河-河北子流域，但岗-黄区间较绵河-河北子流域更靠近水库，加之滹沱河干流水体流量大、流速快，区间内的污染物在来不及输移降解的情况下就进入水库，因此污染物浓度传递系数大，从而导致贡献率也大。同样对于黄壁庄左岸汇水区，其源强小于秀林镇、甘陶河-河北、井陉县城及小作河子流域，但贡献率却大于这些子流域。

从面源污染类型来看，由于区域大面积灌区的分布，造成流域内入河的农田径流面源占比高达70%，农田径流污染控制尤为重要，这与其他学者对类似水库面源污染估算后得到的农田径流污染是第一大污染源的结论是一致的（殷绪华等，2018）；其次是农村生活和畜禽养殖分别占23%、7%。因此采取有效措施控制这些面源污染，对于消减入库污染负荷意义重大。

由此可见，山西省的出境水质较大程度上决定了岗南、黄壁庄水库的水质，因此省界断面水质稳定达标是岗黄水库水质达到Ⅱ类水质的基础和前提，对于岗黄水库入库污染控制应首先保证省界断面来水水质稳定达标，河北省境内水库产汇区应优先控制冶河井-平区间，南甸河流域和滹沱河干流岗-黄区间这3个子流域的面源污染，类型上重点控制农田径流。尽管子流域划分和污染指标选取等存在一定差异，但研究成果与焦艳平等（2010）采用输出系数法对岗南、黄壁庄水库上游流域面源污染负荷进行估算的结果是近似的。

3.2 入库污染防控建议

科学划定岗南-黄壁庄饮用水水源保护区，严格控制水源保护区内农村和农业面源污染；依法处理保护区内违规项目，加强面源污染防治宣传。

强化流域水污染治理，针对沿滹沱河、冶河、绵河、甘陶河两岸的灌区农业面源污染，一方面实行科学种植，控制农药、化肥施用量，减少污染物产生量；另一方面农田集中区域，考虑沿河侧修建生态沟渠或截污沟，拦截雨水冲刷污染物入河。绵河、甘陶河可以依靠自然地势建设人工湿地净化工程，减少入冶河污染物量。对于农村生活和畜禽养殖产生的面源污染应全过程控制农村生活污水，全面系统治理农村生活垃圾，分散式畜禽养殖废物全部资源化利用。

参考文献

陈平，傅长锋，及晓光，等，2018. 洋河水库流域面源污染负荷的空间分布特征[J]. 水生态学杂志，39(6):58-64.

刘庄，晁建颖，张丽，等，2015. 中国非点源污染负荷计算研究现状与存在问题[J]. 水科学进展，26(3):432-442.

周文婷，邵瑞华，马千里，等，2017. 高州水库集水区污染源分布特征及污染负荷研究[J]. 水生态学杂志，38(3):23-31.

韩宇平，阮本清，解建仓，等，2003. 串联水库联合供水的风险分析[J]. 水利学报，(6):14-21.

诸葛亦斯，彭文启，杜强，等，2011. 太子河闸坝河段水环境容量研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报，9(1):29-34.

殷绪华，朱亮，陈琳，等，2018. ArcGIS在水源地污染源强度空间分析中的应用[J]. 河海大学学报(自然科学版)，46(5):395-401.

焦艳平，马香玲，艾万祥，等，2010. 岗南、黄壁庄水库上游流域非点源污染负荷估算[J]. 南水北调与水利科技，8(2):95-98.

水利部海河水利委员会，2013. 海河流域综合规划(2012-2030年)[R]. 天津:水利部海河水利委员会.

全国水资源综合规划技术工作组，2003. 全国水资源综合规划地表水水质评价及污染物排放量调查估算工作补充技术细则[R]. 北京：中华人民共和国水利部.

Gao M F，Qiu J J，Li C S，et al，2014. Modeling nitrogen loading from a watershed consisting of cropland and livestock farms in China using Manure-DNDC[J]. Agriculture，Ecosystems and Environment，185(1):88-98.

Johnes P J，1996. Evaluation and management of the impact of land use change on the nitrogen and phosphorus load delivered to surface waters: The export coefficient modeling approach[J].Journal of Hydrology，183:323-349.

Omernik J M，1976. The influence of land use on stream nutrient levels[M].Corvallis: United States Environmental Protection Agency：77-105.

（责任编辑 郑金秀）

Regional Contribution Rates of Nonpoint Source Pollution to Gangnan-Huangbizhuang Reservoirs

NIE Rui[1,2], LI Guo-qiang[2], ZHUGE Yi-si[2], YU Xiao[2], LI Shuang-shuang[2], SHI Hao-yang[1,2]

(1. College of Hydraulic and Environmental Engineering, China Three Gorges University, Yi Chang　443002, P.R. China;
2. Institute of Water Ecology and Environment, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing　100038, P.R. China)

Abstract: The Gangnan-Huangbizhuang reservoirs are cascaded reservoirs located in the Hutuo River of Hebei Province. Inflow tributaries to Gangnan reservoir include Guosu River, Wendu River and Xianyi River, and the primary inflow rivers to Huangbizhuang reservoir are Hutuo River, Yehe River and their tributaries (Nandian River, Mianhe River and Gantao River). In this study, regional contributions of non-point source pollution to the Gangnan-Huangbizhuang reservoirs were calculated and the spatial pollution patterns of the inflow rivers were then analyzed using export coefficients with a concentration transfer coefficient matrix. The aim was to provide a reference for targeting areas of high non-point source (NPS) pollution to support reduction and prevention efforts in the catchment area of cascaded reservoirs with complex tributary and sub-basin characteristics. From July to September of 2019, water quality monitoring was carried out at 26 transects according to methods included in the National Surface Water Environmental Quality Standard (GB3838-2002). Results show that the largest contribution to COD_{Cr} and ammonia nitrogen loading to Gangnan reservoir was inflow from Hutuo River, accounting respectively for 89.56% and 76.31% of the total loads. The largest contribution to COD_{Cr} and ammonia nitrogen loading to Huangbizhuang reservoir was the outflow of Gangnan reservoir and inflows from the Gantao and Mianhe Rivers, accounting respectively for 74.26% and 66.58% of the total load. These results indicate that water flowing from Shanxi Province contributes most of the pollution load to Gangnan-Huangbizhuang reservoirs. The contribution rate of each sub-basin in Hebei Province to the total pollution load of Gangnan reservoir was relatively small (~1%), while the contribution rates of Guosu River and Xianyi River were higher but not more than 4%. For Huangbizhuang reservoir, the largest contribution to COD_{Cr} and ammonia nitrogen loading was from the Jingxing-Pingshan section of Yehe River (7.12% and 9.51%), Nandian River (4.69% and 6.29%), and the Gangnan-Huangbizhuang section of Hutuo River (3.53% and 4.78%). These sections were designated as priority control areas for non-point source pollution reduction to protect water sources to the Gangnan-Huangbizhuang reservoirs. In terms of the pollution source types, farmland runoff contributed the most, up to 70%, followed by livestock and poultry breeding, accounting for 23% and 7%, respectively. Therefore, farmland runoff should be taken as the priority of pollution source control.

Key words: export coefficient method; concentration transfer coefficient matrix; Gangnan-Huangbizhuang reservoirs; non-point source pollution; NPS regional contribution; cascaded reservoirs