

DOI: 10.5846/stxb202004070817

鲍艳磊, 田冰, 张瑜, 渠开跃, 李炜, 钱金平. 雄安新区河流健康评价. 生态学报, 2021, 41(15): 5988-5997.

Bao Y L, Tian B, Zhang Y, Qu K Y, Li W, Qian J P. River health assessment in Xiong'an New Area. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(15): 5988-5997.

雄安新区河流健康评价

鲍艳磊^{1,2,3,6}, 田冰^{1,2,3,*}, 张瑜^{1,2,3}, 渠开跃⁴, 李炜⁵, 钱金平^{1,2,3}

1 河北师范大学资源与环境科学学院, 石家庄 050024

2 河北省环境演变与生态建设重点实验室, 石家庄 050024

3 河北省环境变化遥感识别技术创新中心, 石家庄 050024

4 河北工业职业技术学院环境与化学工程系, 石家庄 050091

5 河北地质大学土地资源与城乡规划学院, 石家庄 050031

6 河北水利电力学院水利工程学院, 沧州 061001

摘要: 雄安新区地理环境敏感, 生态环境较为脆弱, 研究新区河流健康对维护区域水生态平衡, 实施京津冀协同发展战略及疏解北京非首都功能具有重要意义。以雄安新区 4 条河流为研究对象, 基于高分二号遥感影像、地理信息数据和实测数据, 构建由水文水资源、河流水质、河流底泥、河流生物、河流生境和社会服务构成的河流健康评价指标体系, 并用主客观赋值法得到各指标的综合权重, 进而计算河流的综合健康指数, 以此对河流健康情况进行评价。结果表明不同河流的准则层指标的健康指数和河流综合健康指数存在差异性, 其中白沟引河综合健康指数为 0.640, 处于健康状态; 府河的综合健康指数为 0.484, 处于亚健康状态; 瀑河和孝义河均处于病态, 综合健康指数为 0.269 和 0.228。总体表现同一河流不同河段以及不同河流存在明显的空间异质性, 府河和白沟引河的健康状态明显好于孝义河和瀑河, 同时除孝义河不同采样点的健康情况没有差别, 府河、瀑河和白沟引河三条河流不同采样点之间的健康状况存在一定的差别, 河流入淀处健康状况普遍比中游健康状况好。这为后期生态需水及其整个新区的生态功能提升提供了参考依据。

关键词: 雄安新区; 河流健康评价; 层次分析法; 熵权法; 主客观综合赋值法

River health assessment in Xiong'an New Area

BAO Yanlei^{1,2,3,6}, TIAN Bing^{1,2,3,*}, ZHANG Yu^{1,2,3}, QU Kaiyue⁴, LI Wei⁵, QIAN Jinping^{1,2,3}

1 College of Resources and Environmental Sciences, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024, China

2 Hebei Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction, Shijiazhuang 050024, China

3 Hebei Technology Innovation Center for Remote Sensing Identification of Environmental Change, Shijiazhuang 050024, China

4 Department of Environmental and Chemical Engineering, Hebei College of Industry and Technology, Shijiazhuang 050091, China

5 School of Land Resources & Urban and Rural Planning, Hebei GEO University, Shijiazhuang 050031, China

6 College of Hydraulic Engineering, Hebei University of Water Resources and Electric Engineering, Cangzhou 061001, China

Abstract: In recent years, insufficient protection or excessive utilization has caused widespread degradation of river ecosystems, affecting the natural and social functions of the river, losing the river's own value and endangering the river's health. Therefore, river ecological health assessment has attracted extensive attention. Due to sensitive geographical environment and fragile ecological environment of Xiong'an New Area, studying the health of rivers in Xiong'an New Area is of great significance to maintain regional water ecological balance, to implement Beijing-Tianjin-Hebei coordinated development strategy and to ease the non-capital function of Beijing. Taking four rivers in Xiong'an New Area as the research objects, based on GF-2 remote sensing image, geographic information data and measured data, river health

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC0506904)

收稿日期: 2020-04-07; 网络出版日期: 2021-05-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tbjyp@sina.com

assessment index system was constructed, which was composed of hydrology and water resources, river water quality, river sediment, river organism, river habitat and social service. Based on the comprehensive weight of each index obtained by subjective and objective assignment methods, the comprehensive health indexes of rivers were calculated to assess the health of rivers. The results showed that among the selected 19 sampling points in the river system of the Xiong'an New Area, 1 point was in the natural state, 3 points were in the healthy state, 6 points were in the sub-healthy state, 2 points were in the unhealthy state, and 7 points were in the morbid state. The health indexes of criterion level and comprehensive health indexes were different in different rivers. The comprehensive health index of Baigouyin River was 0.640, which was in healthy state. The index of Fuhe River was 0.484, which was in sub-healthy state, while Baohe River and Xiaoyi River were both in morbid state, with comprehensive health indexes of 0.269 and 0.228. It showed that there was obviously spatial heterogeneity in different sections of the same river and different rivers. The health status of Fuhe River and Baigouyin River was significantly better than that of Xiaoyi River and Baohe River. There was no difference in the health status of different sampling points of Xiaoyi River. There were certain differences in the health status of Baohe River, Fuhe River and Baigouyin River. The health status of the river entering the lake was generally better than that of the middle reaches. This river health assessment provided the reference for later ecological water demand and ecological function improvement of Xiong'an New Area.

Key Words: Xiong'an New Area; river health assessment; analytic hierarchy process (AHP); the entropy method; subjective and objective comprehensive assignment method

河流生态系统是河流生物与环境相互作用的统一体,具有动态、开放、连续等特点^[1],提供着供水、输沙、防洪、涵养水源等多种生态服务功能,不仅以其自然功能推动人类的发展,同时还具备经济、社会与环境价值。近年来,河流生态普遍退化严重^[2-3],影响了河流的自然和社会功能,失去了其自身价值,也危及了河流健康,因此河流健康评价引起了广泛的研究和重视。

河流健康评价是进行河流生态整治改善、水资源保护和管理的基本前提^[4],需要明确河流水文、水质和栖息地质量,同时还要因地制宜地为河流建立河流健康评价体系^[5]。澳大利亚、美国、英国、南非等许多国家地区对于河流健康评价,建立了相对成熟的调查方法与评价体系^[6-7],我国也于 2010 年提出了《河流健康评估指标、标准与方法(试点工作用)》,用于指导全国河流健康评价试点工作,为我国河流健康评价提供了重要参考。在此基础上,近年来学者针对不同流域情况开展了大量河流健康评价实证研究,韩春华^[8]从河流的自然生态功能角度出发,建立包含河流水文、水质等在内的 20 项指标的评价体系对沙颍河典型断面的健康评价。而陈歆等^[9]综合了考虑拉萨河的自然生态环境和社会经济,基于拉萨河生态环境和社会经济发展特点建立多层次多指标的评价体系,为拉萨河流域管理、保护工作提供参考。通过总结不同学者利用不同指标要素建立的河流健康评价体系,可以看出学者对指标的选择更侧重于维持河流河道正常生态功能以及河流周边环境方面,并且多是研究大型河流的健康评价体系^[10-12],对于中小型河流的研究较少。雄安新区由于上游水库拦蓄及巨大地下水漏斗的存在,在气候变化和人类活动的双重影响下,无论是白洋淀区还是区域内河流健康都受损严重。淀是生态恢复的核心,河是生态恢复的纽带,白洋淀 8 条呈树状分布的入淀河流的生态健康问题直接关系着淀区的生态健康,研究入淀河流的健康问题对于整个新区的生态修复及功能提升具有重要意义。因此,本文以雄安新区河流水体状况为基础,建立包含水文水资源状况、河流水质、底泥、生物、河流生境以及社会服务 6 个方面的河流健康评价体系,并利用综合健康指数法对现阶段新区河流进行健康评价,以期后期生态需水及其整个新区的生态修复和功能提升提供参考依据。

1 研究区概况

雄安新区地处大清河流域腹地,规划范围涵盖河北省雄县、容城、安新 3 个县及周边部分区域,区内有华

北最大天然湖泊白洋淀,接纳府河、瀑河、唐河、漕河、潞龙河、白沟引河和孝义河等河流来水,总体呈现西北高东南低。雄安新区为季风气候,全年最高月与最低月平均气温为 26°C 、 -4.9°C ,年降水量 550 mm 左右。为全面研究河流生态的健康情况,本研究于 2019 年 7 月对雄安新区 4 条常年有水的入淀河流白沟引河、瀑河、府河和孝义河进行了实地采样调查,按照河流沿岸土地利用类型的不同选取了 19 个采样点,孝义河 4 个点(X1—X4)、瀑河 4 个点(B5—B8)、府河 7 个点(F9—F15)和白沟引河 4 个点(G16—G19),采样点位置如图 1 所示。

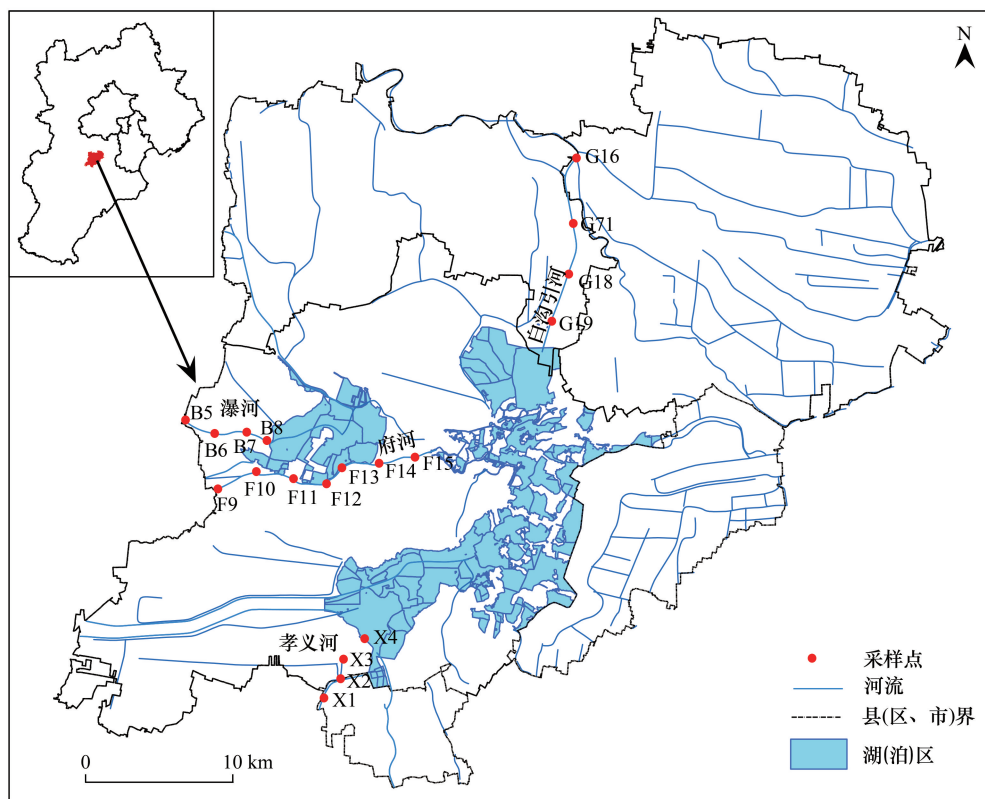


图 1 采样点布局

Fig.1 Distribution of sampling points

X1、X2、X3 及 X4: 孝义河的研究断面 Four monitored sections in Xiaoyi River; B5、B6、B7 及 B8: 瀑河的研究断面 Four monitored sections in Baohu River; F9、F10、F11、F12、F13、F14 及 F15: 府河的研究断面 Seven monitored sections in Fuhe River; G16、G17、G18 及 G19: 白沟引河的研究断面 Four monitored sections in Baigouyin River

2 研究方法

2.1 河流健康评价体系的构建

2.1.1 河流健康评价指标体系的构建原则

河流健康评价指标体系的构建应遵循科学性、层次性、系统性、全面性和普遍适用性的原则,从多角度综合考虑河流健康的影响因素,因地制宜地建立科学的评价体系。

基于上述原则,雄安新区河流健康评价指标体系的构建步骤为:(1)进行相关参考文献的阅读,掌握目前进行河流健康评价指标的构建的方法、指标量化方法以及指标的权重的确定方法;(2)实地调研,采集数据,并咨询相关专家对新区 4 条有水河流的自然和社会要素信息进行实地调研与分析,明确评价体系应具备的几个方面;(3)综合考虑目前国内外采用的指标体系,结合新区河流生态环境和社会经济特征,以及数据的可获取性筛选评价指标,构建评价指标体系。(4)就能够得到的数据咨询相关专家,不断改善评价指标体系的指标构成,最终建立适合新区河流的指标评价体系。

2.1.2 河流健康评价指标体系构建

众多国内外学者采用生境多样性指标、水质指标、底泥指标、河口径流指标、森林覆盖率指标、地下水超采率、河流纵向连续性指标、河岸带、水生生物、景观环境、栖息地等指标用以建立河流生态健康评价体系^[13-23]。根据雄安新区河流特征,更多考虑维持河流河道自身的生态功能的指标,从河流河道生态,生境和社会服务功能等方面建立体现河流水量,河流水质,河流水环境,河流生境和社会服务功能的健康评价体系。雄安新区河流健康评价体系包含了水文水资源、河流水质、河流底泥、河流生物、河流生境以及社会服务功能 6 个准则层 16 个指标,各指标要素见下表 1。

表 1 河流健康评价指标体系
Table 1 River health assessment index system

目标层 Target level	准则层 Criterion level	指标层 Index level	数据来源与计算方法 Data sources and calculation methods
河流健康 A River Health	水文水资源 B1	地下水高程 C11	中国地质调查局 ^[24] 、公开发表的相关论文 ^[25-26]
		生态基流保障度 C12	通过多年的河流径流量计算结果与利用水文学 Tennant 方法 ^[27] 计算得到的生态基流(河道生态需水)进行对比得到
	河流水质 B2	DO 单因子水质标识指数 C21	通过水样检测数据用单因子水质标识法计算得到
		耗氧有机污染综合水质标识指数 C22	利用化学需氧量、五日生化需氧量和氨氮数值,用单因子水质标识法和综合水质标识法计算得到
		营养盐综合水质标识指数 C23	利用硝酸盐氮、总磷、总氮用单因子水质标识法和综合水质标识法计算得到
		其他污染综合水质标识指数 C24	利用浊度、色度、pH 和叶绿素 a,用单因子水质标识法和综合水质标识法计算得到
	河流底泥 B3	有机质和营养盐综合污染指数 C31	检测氨氮、全氮、总磷、有机质、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮,通过底泥因子检测数据用综合污染评价指数法计算得到
		重金属综合污染指数 C32	检测 Pb、Cu、Zn、Cd、Cr、Co、Ni 和 Sn,通过底泥因子检测数据用内梅罗综合污染评价指数法计算得到
	河流生物 B4	浮游生物多样性指数 C41	2—3 次采样,并用 75% 的乙醇进行固定,利用 Shannon-Wiener 物种多样性指数计算得到
		底栖动物多样性指数 C42	2—3 次采样,并用 75% 的乙醇进行固定,利用 Shannon-Wiener 物种多样性指数计算得到
	河流生境 B5	河岸稳定性 C51	河岸倾角、高度、侵蚀程度
		植被覆盖度 C52	20m×20m 样方法实地测量
		河流连通阻隔状况 C53	GF-2 号遥感影像和实地考察
		河岸土地利用类型 C54	基于 GF-2 号遥感影像进行得到河流两岸土地利用的分类图,计算河岸坡顶外侧(0—50m)的土地斑块的复杂度和土地利用的最大斑块指数来进行综合评价,得到河岸带土地利用情况结果
	社会服务 B6	防洪安全系数 C61	收集遥感影像、相关资料和实地考察,根据地形、河道因素、坝体高度、护坡情况、社会经济因素 ^[28-29] ,通过主客观赋值法计算权重,加权运算得到安全系数
		水资源开发利用率 C62	地下水数据

2.2 评价指标权重的确定方法

权重是以一个数值大小来表示众多因素相对重要程度的量值,在对多个指标进行评估时,各项指标的权重的确定是重要的也是困难的。层次分析法操作相对简单但是主观性较强,随意性大;熵权法可以考虑到指标实际信息对评估结果的影响,更贴合客观实际。为降低随机性,提高科学性,本文采用层次分析法和熵值法两种方法分别计算权重,进而通过主客观赋值法得到综合权重值。

(1) 层次分析法

- 1) 构造成对比矩阵。
- 2) 计算权向量并做一致性检验。

3) 计算组合权向量并做组合一致性检验。计算最下层对目标的组合权向量,并做组合一致性检验。

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(A\alpha_i)}{n\alpha_i} \quad (1)$$

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

式中, $\lambda_{\max}$ 为最大特征根, A 为对比矩阵, α_i 为权重向量, $R.I.$ 为判断矩阵的随机一致性指标。当 $C.R. < 0.1$ 时, 认为判断矩阵的一致性是可以接受的。

(2) 熵值法

1) 选取样本和指标, 定义为 i 个样本 j 个指标;

2) 指标的归一化处理: 异质指标同质化得到 X_{ij} ;

3) 计算指标的比重 Y_{ij} :

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}} \quad (3)$$

4) 计算第 j 项指标的熵值:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m (Y_{ij} \times \ln Y_{ij}) \quad (4)$$

式中 $k = \frac{1}{\ln(n)} > 0$, 满足 $e_{ij} \geq 0$ 。

5) 计算信息熵冗余度:

$$d_j = 1 - e_j \quad (5)$$

6) 计算各项指标的权值:

$$W_i = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (6)$$

式中, X_{ij} 表示第 i 个年份第 j 项评价指标的归一化数值, n 为指标数。

(3) 综合权重的确定

综合权重的确定运用了加法集成法, 由主客观赋值法得到的的综合权重向量进行计算, 公式为:

$$w = \alpha p + \beta q \quad (7)$$

式中, α, β 为待定系数, 关于 α, β 的确定, 主要采用差异系数法, 计算公式如下:

$$\alpha = \frac{n}{n-1} T, \quad \beta = 1 - \alpha \quad (8)$$

式中, T 为主观权重 q 的各分量的差异系数, 有:

$$T = \frac{2}{n} (1p_1 + 2p_2 + \dots + np_n) - \frac{n+1}{n} \quad (9)$$

式中, $p_1, p_2, \dots, p_n$ 是主观权重向量中各分量从小到大的重新排列。

2.3 评价指标综合评分与评分标准

应用所有采样点位的河流健康综合指数值, 建立新区河流健康评价标准。具体方法是以所有样点综合健康指数的 95% 分位数对应的值作为标准, 大于此值的健康等级为 I 级 (自然状态), 将小于该值至最小值的分布范围四等分。分值从大到小依次分别代表河流健康等级为 II 级 (健康)、III 级 (亚健康)、IV 级 (不健康) 和 V 级 (病态), 并对指标进行赋分, 单项要素分值标准为 0、2、4、6、8, 因此最高值为 8, 16 个要素总分为 128。据此将新区河流健康情况划分为 5 个等级。

综合健康指数计算公式:

$$S_{ij} = \sum_{i=1}^n W_i \times X_{ij}$$
 (10)

式中, S_{ij} 为各采样点的综合健康指数, W_{ij} 为评价指标的权重值, X_{ij} 为标准优化后的各采样点各项指标值。

3 结果与分析

3.1 河流健康评价指标的权重

根据层次分析法和熵值法,在 Matlab 2016a 中计算得到两种方法的各指标的权重值,再进行综合权重的计算,结果如表 2 所示。准则层中的水文水资源、河流水质、河流底泥、河流生物、河流生境和社会服务的综合权重值分别为 0.161、0.167、0.082、0.144、0.178 和 0.268。指标层指标的取值范围为 0.017—0.139,其中,生态基流保障度和防洪工程的权重值较大,河流水质中的其他污染指数和水文水资源中的地下水高程的权重值较小。

表 2 河流健康评价指标权重
Table 2 The weight of every river health assessment index

指标权重 Index weight	C11/ m	C12/ %	C21	C22	C23	C24	C31	C32	C41	C42	C51/ %	C52/ %	C53/ %	C54	C61	C62/ %
AHP 权重 Weight obtained by AHP	0.033	0.099	0.053	0.053	0.053	0.026	0.066	0.066	0.053	0.105	0.061	0.061	0.020	0.041	0.117	0.093
熵值法权重 Weight obtained by entropy method	0.018	0.153	0.071	0.063	0.015	0.014	0.012	0.053	0.090	0.048	0.036	0.034	0.036	0.069	0.238	0.050
综合权重 Comprehensive weight	0.022	0.139	0.066	0.060	0.024	0.017	0.026	0.056	0.081	0.063	0.043	0.041	0.032	0.062	0.207	0.061

C11:地下水高程 Groundwater elevation;C12:生态基流保障度 Ecological base flow security degree;C21:DO 单因子水质标识指数 The single factor water quality identification index of dissolved oxygen;C22:耗氧有机污染综合污染标识指数 The integrated pollution index of oxygen consuming organic pollution;C23:营养盐综合污染标识指数 The integrated pollution index of nutrients; C24:其他污染综合污染标识指数 The integrated pollution index of others;C31:有机质和营养盐综合污染指数 The integrated pollution index of organic matter and nutrients in sediment;C32:重金属综合污染指数 The integrated pollution index of heavy metal; C41:浮游生物多样性指数 The diversity index of plankton;C42:底栖动物多样性指数 The diversity index of benthic animal;C51:河岸稳定性 Riverbank stability;C52:植被覆盖度 Vegetation coverage; C53:河流连通阻隔状况 River connectivity barrier;C54:河岸土地利用类型 Land use type of riverbank;C61:防洪安全指数 Flood protection safety index;C62:水资源开发利用效率 Exploitation rate of water resources

3.2 河流健康评价标准

根据通过指标评价体系 6 个准则层 16 个指标要素计算得到的综合健康指数对河流健康情况进行综合评价,评价标准等级如表 3 所示。

表 3 河流健康评价等级划分
Table 3 Health assessment grading of rivers

健康等级 Health level	自然状态 Natural	健康 Healthy	亚健康 Sub-healthy	不健康 Unhealthy	病态 Morbid
综合健康指数 Comprehensive health index	0.659—1	0.543—0.659	0.427—0.543	0.311—0.427	0—0.311
分值 Score	84.352—128	69.517—84.352	54.682—69.517	39.847—54.682	0—39.847

3.3 河流健康评价分析

3.3.1 准则层评价分析

通过公式(10)计算,得到新区 4 条河流 6 项单项评价指标健康指数,结果如表 4 所示。从表中可以看出,

不同河流的准则层指标差别较大,其中水文水资源、河流底泥和社会服务的健康指数差值较大,河流水质、河流生物和河流生境的健康指数差值较小。水文水资源方面,综合健康指数的范围为 0.008—0.153,瀑河的水文条件最差,府河的最好;河流底泥的综合健康指数的范围为 0.013—0.082,孝义河的底泥污染严重,白沟引河的污染较轻;河流生物综合健康指数的取值范围为 0.003—0.078,最好的是府河和白沟引河,瀑河最差;白沟引河的社会服务最好,其次是瀑河和府河,孝义河的最差。河流水质、河流生境的综合健康指数最大差值分别为 0.041、0.052。

新区 4 条河流中,白沟引河有多项准则层的健康指数较高,其次是府河,孝义河和瀑河的健康情况较差。情况最好的白沟引河也存在综合健康指数较低的指标,白沟引河的水文水资源健康指数为 0.015,与府河相差了 90.20%,说明白沟引河在此方面健康情况差距明显;府河在水文水资源和河流生物方面达到了 4 条河流的最优,在河流水质、河流底泥、河流生境和社会服务方面与最高的健康指数分别相差 0.025、0.041、0.029 和 0.202,差异程度分别达到 21.37%、50.00%、25.44%和 85.23%,在河流底泥、社会服务方面与白沟引河差距明显;孝义河和瀑河在多个准则层指标的综合健康指数明显均较低,孝义河健康情况最好的是河流水质和河流生境,但河流生境仍与白沟引河差异程度达到 34.21%;瀑河的河流底泥和社会服务情况除白沟引河外的 3 条河流中最好,但是其社会服务综合健康指数仍与白沟引河的差异程度达到 74.26%,差别明显。

表 4 河流单项评价指标健康指数
Table 4 Health indexes of river single assessment index

河流 River	水文水资源 Hydrology and water resources	河流水质 River water quality	河流底泥 River sediment	河流生物 River organism	河流生境 River habitat	社会服务 Social service
孝义河	0.008	0.104	0.013	0.028	0.075	0.000
瀑河	0.008	0.076	0.061	0.003	0.062	0.061
府河	0.153	0.092	0.041	0.078	0.085	0.035
白沟引河	0.015	0.117	0.082	0.075	0.114	0.237

3.3.2 综合评价分析

经公式(10)计算,得到新区河流的综合指数、综合得分以及健康等级结果,19 个采样点中有 1 个采样点处于自然状态,占比 5.26%,采样点来自于白沟引河中下游河段;有 3 个点处于健康状态,占比 15.78%,均为白沟引河的采样点;6 个采样点处于亚健康状态,占比 31.58%,均为府河的采样点;瀑河和府河分别有 1 个采样点处于不健康状态,占比 10.53%,瀑河不健康状态点位为临近淀区位置;孝义河 4 个,瀑河 3 个采样点均处于病态,占比 36.85%。由图 2 各采样点的综合健康指数等级结果可知,不同河流以及同一河流的不同点位甚至不同河段的河流健康情况均存在一定的空间异质性。府河和白沟引河的健康状态明显好于孝义河和瀑河;同时除孝义河不同采样点的健康情况没有差别,府河、瀑河和白沟引河三条河流不同采样点之间的健康状况存在一定的差别。孝义河四个采样点均处于病态状态;瀑河在临近淀区的 B8 采样点健康状况发生了改变,其他三个采样点均处于病态,临近淀区的采样点 B8 处于不健康状态;府河同样有一个采样点的健康状态与其他采样点不同,其他六个采样点均处于亚健康状态,F11 采样点综合健康情况较差,处于不健康状态;白沟引河 G18 采样点的健康状态最好,为自然状态,健康情况优于其他三个处于健康状态的采样点。

如表 5 所示,白沟引河的综合健康指数为 0.640,综合得分为 81.920,处于健康状态;府河综合健康指数为 0.484,处于亚健康状态;瀑河和孝义河的综合健康指数分别为 0.228 和 0.269,均处于病态。府河虽然处于亚健康状态,但是其综合健康指数只比区间最低值高 0.057,白沟引河的综合健康指数与处于健康状态的区间最大值还相差 0.049,因此新区河流不同河流均存在不同程度的健康问题。

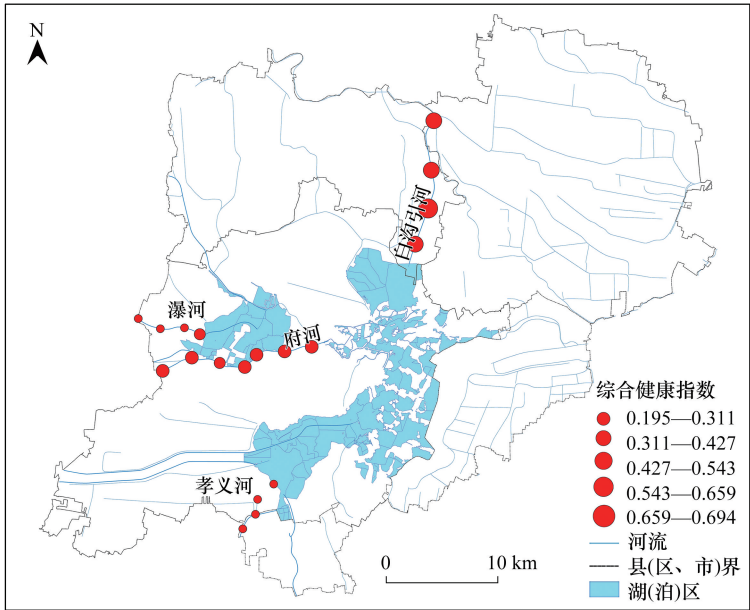


图 2 河流采样点综合健康指数结果

Fig.2 Results of comprehensive health indexes of sampling points in rivers

表 5 河流综合指数、综合得分以及健康等级结果

Table 5 Comprehensive health indexes, comprehensive scores and results of health level			
河流 River	综合健康指数 Comprehensive health index	综合得分 Comprehensive score	健康等级 Health level
孝义河	0.228	29.184	病态
瀑河	0.269	34.432	病态
府河	0.484	61.952	亚健康
白沟引河	0.640	81.920	健康

4 讨论

4.1 水文及其影响因素

气候是影响水文条件的一个因素,统计 1974—2018 年雄县、容城县、安新县、高阳县、任丘市的多年平均降水量分别为 498.96、494.81、500.13、472.61 mm 和 503.93 mm,年内变化和年际变化趋势基本一致;汛期降水占全年总降水量的 78%—81%,年际降雨量较少。降雨量影响地表径流,同时全球气候变暖,气温的升高增加了地表蒸散和植被蒸腾作用,也导致地表径流降低,对保障河流的生态需水有着直接影响。

河流水文受到水利枢纽的影响^[30]。新区白沟引河有新盖房水利枢纽,可用于灌溉和分洪。大清河的灌溉闸是在下游需进行灌溉时才进行输水,灌溉用水一般在春秋两季,这与“蓄洪补枯”在时间上存在一定的差别,在一定程度上影响着白沟引河的河流自身水文条件。

4.2 河流水质、底泥和生物及其影响因素

河流水质、底泥和生物相互影响并共同影响着河流的生态系统^[31]。河流底泥污染是水体中污染物沉淀或被颗粒物吸附而使得底泥受到污染,沉积物中营养盐的释放会引起水体富营养化,重金属的释放则影响水生生物。

入河水源是造成河流污染物输入的一个不可忽视的原因。孝义河长期接纳蠡吾镇、辛兴镇等制革工业的排污水,水质长期处于劣 V 类^[32]。新区建立后,对入河污水进行管控,根据采集的数据得到孝义河溶解氧含量较好,数值在 7.50—8.00 mg/L 之间;但河流中营养盐污染指数在 6.30—6.43 之间,耗氧有机物污染指数除

临近淀区河段,污染指数均高于 5.50,水质劣于Ⅳ类。

河流临近居民点是造成水质较差的原因,在样品采集过程中和检测分析结果均可发现越靠近村庄水质就越差,沿岸生活污水和垃圾会造成河流水体污染。瀑河的 DO 含量在淀区上游和临近淀区河段,数值达到 7.20—8.10 mg/L;在流经村庄的河流中游段,DO 含量则低于 5.00 mg/L;除临近淀区的 B8 采样点,其他采样点的耗氧有机物污染指数的数值均高于 4.00,河流水质均无法达到Ⅳ类水功能区水质目标。

工业废水是导致河流中有机物污染和重金属污染严重的原因。白洋淀流域近年来降水量减少、泥沙淤积,直接导致水体污染物不断累积沉淀^[33]。印染工业废水会排入孝义河,污染物沉积,孝义河 X2 和 X4 采样点的 N、P 含量高,有机污染指数分别达到 3.58、2.73,属于重度污染;同时 Pb、Co 及 Sn 元素在孝义河沉积物中含量最高,尤其是 Pb 数值高达 389.51 mg/kg,是全国背景值的 16.60 倍。另外来自于保定市的生活污水造成府河的氮污染^[34],府河的有机物污染综合污染指数为 1.49,4 个采样点处于中度污染;同时底泥中重金属污染程度大,Zn、Cd 含量为全国背景值的 4.70、13.80 倍。保定市工业废水、生活污水及府河沿岸金属冶炼企业很可能是造成府河沉积物中重金属污染的原因。

具有低耐用能力的底栖动物及浮游生物能很好的适应水体环境^[35]。节肢动物摇蚊幼虫、轮虫因耐污能力强普遍存在于四条河流中,但是对环境较敏感的无齿蚌则在水体环境较好的白沟引河中存在较多。同时汛期水体中的 TP 和 DO 浓度直接影响到浮游植物种类组成、密度及多样性,府河中的 DO 含量范围为 3.50—5.30 mg/L,浮游植物生物量高。因此水体环境直接造成不同河流的生物量的差距。

4.3 生态修复建议

本文通过结合当前河流存在的健康问题,遵循“流域统筹、系统治理、远近兼顾、建管并重”的总体原则,以“山、水、林、田、湖生命共同体”为生态修复核心理念,为达到改善河流的生态系统,提供更好的自然功能与社会功能的目标,对不同健康情况的河流给予不同的修复建议。

对处于病态的孝义河和瀑河,建议从以下几个方面进行修复:

(1) 提升补水能力,改善水资源条件

考虑气候原因,合理规划种植结构;并考虑跨区调水,根据《河北雄安新区规划纲要》、《华北地区地下水超采综合治理行动方案》等要求,确保河流水流量。

(2) 改善河岸带稳定性,提升生物栖息地环境质量

改善河流河岸带覆盖植被类型单一的现状,可采用乔灌木结合,在河道设置生态景观带、生态绿带;并调整河岸的坡度与高度,提高河岸的稳定性。

(3) 提升治污能力,改善河流水质、底泥和生物

与相关部门建议建立适量的污水处理厂,严格规定污水排放标准;在后期修复工程中可以在一定河段放置生态浮床,在其中种植合适植物,在净化河水的同时为河流生物及鸟类提供水中栖息地;建立底泥沉降工程,将底泥沉降过滤后再返回河流;同时可以在水流、水深、饵料相宜的地方进行放置鱼类和水生生物,提高河流的生物多样性。

(4) 建设防洪堤坝

对河流进行河流的清淤,以还原自然河道状态;另外新区地势低,强降水年份可能会带来水患,需要在新区主要河流建设行洪水道和防洪堤坝。

对处于亚健康状态的府河,则需要着重改善河岸稳定性、提升生物栖息地环境质量;并净化河流水质、底泥;建设符合防洪要求的堤坝。对健康状态较好的白沟引河也需要改善水资源条件,提高河岸带植被多样性和河流生物多样性。

5 结论

(1) 在选取的新区河流体系中的 19 个样点中,有 1 个点处于自然状态,3 个点处于健康状态,6 个点处于

亚健康状态,2 个点处于不健康状态,7 个点处于病态。不同河流的准则层指标的健康指数和河流综合健康指数存在差异性,计算得到白沟引河综合健康指数为 0.640,处于健康状态;府河的综合健康指数为 0.484,处于亚健康状态;瀑河和孝义河均处于病态,综合健康指数为 0.269 和 0.228。

(2) 新区河流水系同一河流的不同河段以及不同河流的健康状况呈现出明显的空间异质性。整体呈现河流入淀处健康状况比中游健康状况好。

(3) 随着雄安新区的建设,对河流湿地进行生态修复。应对入河水源的水质和河流底泥的清洁程度予以控制,并适当放置河流生物;提高河岸带的林草覆盖度、调整土地利用类型;在临近河流地带建立绿化带;做到节水环保,跨区域调水保障河流的生态需水;并构建符合标准的防洪工程。

参考文献 (References):

- [1] 栾建国, 陈文祥. 河流生态系统的典型特征和服务功能. 人民长江, 2004, 35(9): 41-43.
- [2] Xia J, Zeng S D, Du H, Zhan C S. Quantifying the effects of climate change and human activities on runoff in the water source area of Beijing, China. Hydrological Sciences Journal, 2014, 59(10): 1794-1807.
- [3] 唐涛, 蔡庆华, 刘建康. 河流生态系统健康及其评价. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1191-1194.
- [4] 刘园园, 阿依巧丽, 张森瑞, 吴兴蓉, 万彬娜, 张小萍, 曾波. 着生藻类和浮游藻类在三峡库区河流健康评价中的适宜性比较研究. 生态学报, 2020, 40(11): 3833-3843.
- [5] 董哲仁. 河流健康评估的原则和方法. 中国水利, 2005, (10): 17-19.
- [6] Fryirs K. Guiding principles for assessing geomorphic river condition: application of a framework in the Bega catchment, South Coast, New South Wales, Australia. CATENA, 2003, 53(1): 17-52.
- [7] Wilson M A, Carpenter S R. Economic valuation of freshwater ecosystem services in the United States: 1971-1997. Ecological Applications, 1999, 9(3): 772-783.
- [8] 韩春华. 沙颍河流域河流健康评价与水资源优化配置研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2018.
- [9] 陈歆, 靳甜甜, 苏辉东, 林俊强, 王东波, 刘国华, 张俊洁. 拉萨河河流健康评价指标体系构建及应用. 生态学报, 2019, 39(3): 799-809.
- [10] 魏春风. 松花江干流河流健康评价研究[D]. 长春: 中国科学院大学(中国科学院东北地理与农业生态研究所), 2018.
- [11] 王晖文. 河北省河流生态健康评价及修复技术研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2010.
- [12] 王雪蕾, 杨胜天, 郝芳华, 陈浩, 王静. 都江堰灌区金马河河流健康空间形态分析. 北京师范大学学报(自然科学版), 2007, 43(4): 452-456.
- [13] 粟一帆, 李卫明, 艾志强, 刘德富, 朱澄浩, 李金京, 孙徐阳. 汉江中下游生态系统健康评价指标体系构建及其应用. 生态学报, 2019, 39(11): 3895-3907.
- [14] 曹宸, 李叙勇. 区县尺度下的河流生态系统健康评价——以北京房山区为例. 生态学报, 2018, 38(12): 4296-4306.
- [15] 邓晓军, 许有鹏, 翟禄新, 刘娅, 李艺. 城市河流健康评价指标体系构建及其应用. 生态学报, 2014, 34(4): 993-1001.
- [16] 张凤玲, 刘静玲, 杨志峰. 城市河湖生态系统健康评价——以北京市“六海”为例. 生态学报, 2005, 25(11): 3019-3027.
- [17] 张杰, 苏航, 盛楚涵, 崇祥玉, 殷旭旺, 徐宗学, 张远. 浑太河河流生态系统完整性评价体系的构建. 环境科学研究, 2020, 33(2): 363-374.
- [18] 王小平, 张飞, 李晓航, 曹灿, 郭苗, 陈丽华. 艾比湖区域景观格局空间特征与地表水质的关联分析. 生态学报, 2017, 37(22): 7438-7452.
- [19] 顾晓昀, 徐宗学, 刘麟菲, 殷旭旺, 王汨. 北京北运河河流生态系统健康评价. 环境科学, 2018, 39(6): 2576-2587.
- [20] 李嘉薇, 陈新美. 河流生态健康评价中功能指标分析与计算. 南水北调与水利科技, 2013, 11(5): 53-56.
- [21] 颜利, 王金坑, 黄浩. 基于 PSR 框架模型的东溪流域生态系统健康评价. 资源科学, 2008, 30(1): 107-113.
- [22] 刘淑德, 钱薇薇. 三峡水库蓄水前后春季长江口鱼类浮游生物群落结构特征. 长江科学院院报, 2010, 27(10): 82-87.
- [23] 胡国安. 平原河网区河流健康评估方法及应用[D]. 扬州: 扬州大学, 2018.
- [24] 中国地质调查局. 雄安新区城市地质调查服务新区总体规划成效显著. [2019-04-07]. http://www.drc.cgs.gov.cn/maga/cgkx/201807/t20180726_464111.html.
- [25] 李文体, 刘向华, 冯谦诚. 河北省地下水超采区划分及超采状况分析研究. 水资源保护, 2001, (4): 26-30.
- [26] 朱明君, 崔亚莉, 李长青. 华北平原地下水超采评价软件的开发与应用. 地质学刊, 2017, 41(2): 269-275.
- [27] 杨蕊, 冯民权, 孙小平, 杨志. 基于改进 Tennant 法的汾河中游环境流量计算方法[J]. 水电能源科学, 2018, 36(12): 13-15.
- [28] 兰博, 关许为, 肖庆华. 基于 FAHP 与熵权融合法的堤防工程安全综合评价[J]. 中国农村水利水电, 2019(6): 131-137.
- [29] 何晓洁, 赵二峰. 基于 AHP-熵权法的黄河下游堤防安全模糊评价[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2015, 37(1): 38-42.
- [30] 胡威, 李卫明, 王丽, 粟一帆, 孙徐阳, 李金京, 陈求稳. 基于 GA-BP 优化模型的中小河流健康评价研究[J]. 生态学报, 2021, 41(5): 1-12.
- [31] 方宇翹, 应太林, 襄祖楠, 姚振淮, 漆德瑶. 污染河流底泥释放与耗氧对水质的影响. 环境科学研究, 1991, 4(2): 24-31.
- [32] 刘鑫, 史斌, 孟晶, 周云桥, 可欣, 王铁宇. 白洋淀水体富营养化和沉积物污染时空变化特征. 环境科学, 2020, 41(5): 2127-2136.
- [33] 孙悦, 李再兴, 张艺冉, 周石磊, 战江, 王函, 尹璐, 郭朋朋. 雄安新区—白洋淀冰封期水体污染特征及水质评价. 湖泊科学, 2020, 32(4): 952-963.
- [34] 王珺, 高高, 裴元生, 杨志峰. 白洋淀府河氮的来源与迁移转化研究. 环境科学, 2010, 31(12): 2905-2910.
- [35] 孙泉琼, 李宏昌, 廖晨延, 邓俊泽, 孙海明, 闫明星, 王宏伟. 白洋淀底栖无脊椎动物调查及水环境分析. 河北渔业, 2019, (8): 40-44, 50-50.