

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2025.01.036; CSTR:32311.14.rswc.2025.01.036.

王国重, 李中原, 杨丹, 等. 沙颍河干流河南段河道生态基流价值估算与分析[J]. 水土保持研究, 2025, 32(1): 203-208.

Wang Guozhong, Li Zhongyuan, Yang Dan, et al. Estimation and analysis of ecological base flow value in main stream of Shaying River in Henan Section[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2025, 32(1): 203-208.

沙颍河干流河南段河道生态基流价值估算与分析

王国重¹, 李中原², 杨丹³, 张武云⁴, 卢圆章⁵, 徐志国³, 邵全忠³

(1.黄河水文水资源科学研究院, 河南 郑州 450004; 2.河南省水利移民事务中心,

河南 郑州 450003; 3.河南省周口水文水资源测报分中心, 河南 周口 466000;

4.河南省南阳水文水资源测报分中心, 河南 南阳 473000; 5.河南省水文水资源测报中心, 河南 郑州 450003)

摘 要:[目的]为使人们认识河道生态基流的重要性,对其价值进行量化,以便推动生态基流保障补偿工作的开展。

[方法]以沙颍河干流河南段为例,基于生态基流功能分析,将生态基流价值划分为维持河道连通、局地气候调节、泥沙输送、维系河滩湿地、生物多样性维护、净化水质、水产品生产、科研与休闲娱乐等;河道气候调节价值的计算采用水体蒸发的吸热量与释放相同热量的标煤用量构建的估算模型,其他价值的测算则是基于资源环境经济学算法。

[结果]2021 年河南段气候调节价值为 6.459 亿元、泥沙输送价值 5.056 亿元、维持河滩湿地价值 0.96 亿元、生态多样性维护价值 0.22 亿元、水质净化价值 10.28 亿元、水产品生产价值 10.092 亿元、文化娱乐价值 57.38 亿元,则沙颍河干流 2021 年河南段生态基流总价值 90.447 亿元。[结论]各河段因所处位置、流域面积、区间长度等情况不同,生态基流价值差异较大,各河段生态基流价值占当地 GDP 比例均在 1%以内,说明计算结果的合理性,也便于今后流域水土流失治理、生态保护与保障补偿工作的推进。

关键词:生态基流价值; 沙颍河干流; 河南段; 保障补偿

中图分类号:X196

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2025)01-0203-06

Estimation and analysis of ecological base flow value in main stream of Shaying River in Henan Section

Wang Guozhong¹, Li Zhongyuan², Yang Dan³, Zhang Wuyun⁴,

Lu Yuanzhang⁵, Xu Zhiguo³, Shao Quanzhong³

(1.Hydrology and Water Resources of Yellow River Scientific Research Institute, Zhengzhou 450004, China; 2.Water Resources Immigration Affairs Center in Henan Province, Zhengzhou 450003, China; 3.Zhoukou Branch of Hydrology and Water Resources Measurement and Reporting Center in Henan Province, Zhoukou, Henan 466000, China; 4.Nanyang Branch of Hydrology and Water Resources Measurement and Reporting Center in Henan Province, Nanyang, Henan 473000, China; 5.Hydrology and Water Resources Measurement and Reporting Center in Henan Province, Zhengzhou 450003, China)

Abstract:[Objective] The aims of this study are to make people realize the importance of ecological base flow, its value was quantified, and to promote the work of ecological base flow guarantee compensation.

[Methods] The main stream of Shaying River in Henan section was taken as an example. By analysis of ecological base flow function, the value of river ecological base flow was divided into maintaining river connectivity, local climate regulation, sediment transport, maintaining river wetland, biodiversity maintenance, water purification, aquatic product production, providing scientific research and cultural entertainment, etc. The value of climate regulation to river channels was estimated by the model built based on the amount of standard coal used to release the same heat amount which absorbed heat during water evaporating. The calculation of other values was carried out by adopting the resource and environmental

收稿日期:2024-03-23

修回日期:2024-04-18

资助项目:河南省科技攻关计划“沙颍河干流生态基流价值分析与保障补偿机制”(GG202230)

第一作者:王国重(1972—),男,河南南阳人,正高级工程师,博士,从事水文水资源、水土保持方面工作。E-mail:398248738@qq.com

<http://stbcyj.paperonce.org>

economics algorithm. [Results] In 2021, the value of climate regulation in Henan section was 645.9 million yuan, the value of sediment transport was 505.6 million yuan, the value of maintaining river wetland was 96 million yuan, the value of maintaining ecological diversity was 22 million yuan, the value of water purification was 1.028 billion yuan, the value of aquatic product production was 1.092 billion yuan, and the value of cultural entertainment was 5.738 billion yuan, and the total value of ecological base flow was 9.044 7 billion yuan in Shaying River in Henan section. [Conclusion] The ecological base flow value of each reach varied greatly due to the different location, basin area and interval length. For each river segment, the ratio of the ecological base flow value to the local GDP is less than 1 per cent, which shows the rationality of the calculation results, and also facilitates the promotion of soil and water loss control, ecological protection and compensation in the future.

Keywords: ecological base flow value; the main stream of Shaying River; Henan section; safeguard compensation

河道生态基流是维系河流和河口生态系统健康,满足人类生存生活需要,协调河流水资源开发利用与生态保护之间矛盾的最小流量^[1],是河道生态基流价值计算与分析的基础、生态基流保障补偿工作实施的依据^[2-3]。在区域水资源开发利用实践中,如果不顾及生态基流,从河道过度取水,就会影响河流其他功能的发挥,甚至造成河道断流,危及流域生态安全。

作为水资源中的特殊类型,河道生态基流的价值尚未引起人们的重视,研究者更多关注的是水资源生态系统的经济价值。Tesfaye 等^[4]以埃塞俄比亚青尼罗河为例,基于残值法量化了该流域灌溉、水电、航运和渔业的水文生态服务价值。Rupérez-Moreno 等^[5]采用条件价值分析法,研究了西班牙埃林运河 Boquerón 含水层的非使用价值及其在保障与该含水层相关生态系统中的作用。Fu 等^[6]根据成本效益法剖析了永定河流域的水环境恢复成本。段锦等^[7]研究了东江流域生态系统服务价值及其时空变化特征。陈美球等^[8]分析了赣江上游流域土地利用变化对区域生态系统服务价值的影响。张彪等^[9]基于调查数据,估算了北京市主要湿地生态系统的服务价值,为当地湿地系统的维护与保护提供支撑。

水资源生态系统兼具经济属性和自然属性,只强调经济属性会使人们无视河道生态基流的自然本质,在区域水资源开发利用中任意挤占生态基流,轻者河道流量减少,重者河道断流、生态恶化。生态基流是河流的重要组成部分,目前缺乏合理、有效的方法对其进行币值量化。本文以沙颍河干流河南段为例,参考资源与环境经济学中的思路与方法,测算该河段生态基流的价值,为生态基流的保护和保障补偿奠定基础。

1 研究区概况

沙颍河是淮河最大支流,流经河南、安徽两省,是沙河与颍河的合称,沙河发源于河南省鲁山县,颍河

发源于登封市嵩山,二者在周口市附近的孙咀交汇后始称沙颍河。沙颍河流域总面积 39 075.3 km²,河南省境内的面积为 34 480 km²,占河南省面积的 21%。流域属暖温带向亚热带过渡地带的半湿润性气候,多年平均降水量 950 mm,汛期雨量占全年的 65%左右;流域土壤以砂浆土、潮土为主,土质较为疏松,易经降雨冲刷而流失,再加上人口密集,人类活动频繁,暴雨集中、强度大,极易产生水力侵蚀^[10-11]。

根据河南省水利厅发布的《河南省沙颍河流域地表水水量分配方案》(豫水政资函〔2017〕67号)、《河南省第二批重点河湖生态流量保障目标(试行)》所给出的沙颍河主要断面生态基流值,侧重于以颍河作为沙河水系上游的干流。本项目沿用这两个技术文件,将颍河作为沙河水系上游的干流,结合所给出的站点基流值,将河南段所在的干流分为告成站、化行闸、黄桥闸、周口闸、槐店闸等河段,各个控制断面的基流量调控值及流域控制面积等见表 1。

2 试验材料与方法

2.1 河道生态基流功能划分

河道生态基流具有多用途、多价值的特性,其功能主要体现在自然属性、生态环境属性和社会属性 3 个方面^[12]。李怀恩等^[13]将其分为 11 种功能:避免河道断流、维持湿地生态系统、水质净化、输送营养物质、水文循环、保持土壤肥力、输沙、地质、生产水产品、休闲娱乐景观、提高生活质量,并指出生态基流在枯水季节往往难以得到保障,河道径流量较小但用水矛盾却较为突出。周永雄^[14]、周贵尧^[15]等的研究表明,河滩湿地功能应包含土壤养分输送、土壤肥力保持。董哲仁等^[16]认为河流生态系统对营养物质的输送包括河道内的泥沙输送、两岸河滩湿地养分传递、维护河道内外的生物多样性。陈婷等^[17]指出河流系统的水文循环主要体现在对局地气候的调节。河道生态基流在流动

过程中会侵蚀河道及河道两岸,并输送部分泥沙,地质作用不明显,可不予考虑;提高生活质量功能体现在其他功能中,可予以忽略^[13]。故河道生态基流的

功能可细分为以下 8 种:维持河道连通、局地气候调节、泥沙输送、维系河滩湿地、生物多样性维护、净化水质、水产品生产、提供科研与娱乐功能。

表 1 沙颍河干流河段划分

Table 1 The main stream division in Shaying River

项目	河源—告成	告成—化行	化行—黄桥	黄桥—周口	周口—槐店
流域面积/km ²	627	1285	6153	5535	1500
控制断面	告成水文站	化行闸	黄桥闸	周口闸	槐店闸
河段长度/km	37	83.1	110	33	90
行政区域	登封市	襄城县	西华县	川汇区	沈丘县
区域面积/km ²	1220	2145.8	3017	2761.9	1082.35
生态基流/(m ³ ·s ⁻¹)	0.16	0.39	0.80	4.30	5.50

2.2 河道生态基流价值计算

(1) 维持河道连通价值。维持河道连通性是生态基流价值分析的基础,若发生河道断流,其他价值也就不复存在,故维持河道连通价值体现于其他价值中,不再单独计算^[12]。

(2) 气候调节价值。生态基流可以促进水文循环,使区域降水增多,增加空气湿度,缓解夏季的高温,提高冬季的最低温。其气候调节价值通过水面蒸发体现出来,可由市场价值法计算,以水体蒸发时的吸热量与释放相同热量的用煤量来估算,用公式描述为^[18]:

$$V_{\text{气候}} = P_c \times \sum \frac{E \times A \times \rho \times Q}{S} \quad (1)$$

式中: $V_{\text{气候}}$ 表示气候调节价值(元); E 表示某河段的月蒸发量(m³); P_c 表示标准煤的单价(元/kg); A 表示河段面积(km²); ρ 表示水的密度(kg/m³); Q 表示水的汽化热(MJ/kg); S 表示煤燃烧释放的热量(MJ/kg)。

(3) 泥沙输送价值。生态基流通过输送河流泥沙,减少泥沙在河道中淤积,降低洪水发生频率。采用替代工程法,由河道泥沙人工清理费用来计算,即^[19]:

$$V_{\text{沙}} = Q_{\text{沙}} \times P_{\text{沙}} \quad (2)$$

式中: $V_{\text{沙}}$ 表示河道泥沙输送价值(元); $P_{\text{沙}}$ 表示人工清理河道泥沙的费用(元/t); $Q_{\text{沙}}$ 表示河流在指定时段的输沙量(t); $P_{\text{沙}}$ 表示人工河道清理泥沙费用(元/t)。

(4) 维持河滩湿地生态系统价值。生态基流可使两岸滩地土壤保持湿润,增加土壤有机质含量,使土壤肥沃,为两岸生物提供必要的养分,维系河滩湿地生态系统正常运转。其价值可由下式估算^[20]:

$$V_{\text{河滩}} = S \times P_{\text{河滩}} \quad (3)$$

式中: $V_{\text{河滩}}$ 表示维持河滩湿地生态系统的价值(元); S 表示河流生态系统的面积(m²); $P_{\text{河滩}}$ 表示单位面积所提供的价值(元/m²)。

(5) 生物多样性维护价值。生态基流维护生物多样性价值,采用成果参考法,参考前人的计算方法,公式为^[21]:

$$V_{\text{多样性}} = S_{\text{河段}} \times P_{\text{单位面积}} \quad (4)$$

式中: $V_{\text{多样性}}$ 表示多样性维护价值(元); $S_{\text{河段}}$ 表示河段水面面积(hm²); $P_{\text{单位面积}}$ 表示河道水生生态系统维护生物多样性单位面积的价值(元/hm²)。

(6) 水质净化价值。根据环境生态部要求,水体污染物总量控制指标是化学需氧量(COD),NH₄-N,采用恢复费用法,用污染物即 NH₄-N,COD 的污染当量数与污染当量征收标准的乘积表示,即^[22]

$$V_{\text{净}} = C_{\text{污}} \times P_{\text{污}} \quad (5)$$

式中: $V_{\text{净}}$ 表示河道生态基流的水质净化价值(元); $C_{\text{污}}$ 表示各污染物的排放量与污染当量值的比值之和(kg); $P_{\text{污}}$ 表示污染当量征收标准(元/kg)。

(7) 水产品生产价值。生态基流水产品生产价值可用市场价值法计算,公式如下^[23]:

$$V_{\text{水产品}} = G_{\text{水产品}} \times P_{\text{水产品}} \quad (6)$$

式中: $V_{\text{水产品}}$ 表示水产品生产价值(元); $G_{\text{水产品}}$ 表示河道中水产品的产量(t); $P_{\text{水产品}}$ 表示水产品的市场价格(元/t)。

(8) 文娱服务价值。生态基流的文娱服务价值,包括文化科研、休闲娱乐价值采用成果参考法计算,具体公式为^[24]:

$$V_{\text{文娱}} = A_{\text{河段}} \times P_{\text{文娱}} \quad (7)$$

式中: $V_{\text{文娱}}$ 表示文化娱乐价值(元); $A_{\text{河段}}$ 表示河段的流域面积(km²); $P_{\text{文娱}}$ 表示河段的平均文化科研价值、休闲娱乐价值(元/km²)。

3 结果与分析

3.1 气候调节价值

河道生态基流的气候调节价值体现在人们对气候舒适度的满意程度,选用国家标准《人居环境气候舒适度评价》中的温湿指数公式来体现,并将值域 14.0~27.5 划为舒适范围^[18]。该计算公式为:

$$I = T - 0.55 \times (1 - RH) \times (T - 14.4) \quad (8)$$

式中: I 表示温湿指数; T 表示月平均气温(℃); RH 表示月均相对湿度(%)。可得告成、化行、黄桥、周口、槐店等河段 2021 年各月舒适值,11—3 月均在舒适值范围以外,见表 2。

表 2 各河段 2021 年温湿指数计算结果

Table 2 Calculation results of temperature and humidity index of each river section in 2021

月份	告成			化行			黄桥			周口			槐店		
	T/℃	RH/%	I	T/℃	RH/%	I	T/℃	RH/%	I	T/℃	RH/%	I	T/℃	RH/%	I
1	2.9	35	7.01	2.7	52	5.85	4.4	51	6.15	3.9	52	6.59	2.7	61	5.21
2	8.5	48	10.19	8.0	62	9.23	8.6	61	10.24	9.7	62	10.62	8.6	69	9.59
3	10.1	66	10.90	10.8	69	11.31	12.0	69	11.66	11.6	69	12.03	10.9	75	11.38
4	14.5	57	14.48	15.2	66	15.07	16.1	65	15.21	15.9	66	15.56	15.0	74	14.91
5	21.7	52	19.77	21.7	67	20.42	22.1	64	20.25	22.2	67	20.73	21.2	75	20.27
6	26.4	59	23.69	27.9	64	25.15	28.0	59	25.09	28.5	64	25.65	27.8	67	25.37
7	26.3	84	25.25	28.0	84	26.73	29.4	80	26.59	28.4	84	27.14	27.8	88	26.92
8	24.3	85	23.48	25.9	82	25.01	29.2	83	25.37	27.0	82	25.72	26.5	89	25.77
9	21.6	85	21.01	23.0	77	22.43	25.9	78	23.10	24.9	77	23.53	24.5	81	23.44
10	14.2	73	14.23	14.9	72	14.85	19.2	72	16.01	16.7	72	16.30	16.5	77	16.23
11	10.5	45	11.68	11.1	58	11.90	13.0	57	11.96	11.7	58	12.25	10.7	66	11.39
12	5.0	39	8.15	5.0	53	7.12	7.3	56	7.65	6.2	53	8.24	5.0	61	7.02

以 4—10 月份的气候调节价值为正值,11—3 月份的调节价值为负值,2021 年各河段生态基流的调节价值为正负向价值的代数和。我国标准煤价格 866 元/t,沙颍河流经告成段、化行段水面面积分别为 0.74 km², 3.32 km²,流经黄桥段、周口段、槐店段的面积分别是 5.5 km², 4.49 km², 13.5 km²,水的汽化热为 2.26 MJ/kg,每 1 kg 标煤的燃烧值是 29.307 6 MJ。

由公式(1)可得源—告成段、告成—化行段、化行—黄桥段、黄桥—周口段、周口—槐店段河道 2021 年气候调节生态服务价值分别为 0.224 亿元、0.885 亿元、1.535 亿元、1.128 亿元、2.687 亿元。

3.2 其他价值计算

泥沙输送价值计算中,河道人工清淤费用按照 80 元/t 计算;《郑州市建设黄河流域生态保护和高质量发展核心示范区三年行动计划(2020—2022)》中,

河滩湿地的生态补偿标准是每年 15 000 元/hm²,按照这个标准计算生态基流维持河滩湿地系统的价值;参考王飞儿等^[25]的研究,河道水生态系统年生物多样性维护价值采用 0.8 万元/hm²;《排污费征收标准及计算方法》中,化学需氧量的污染当量值是 1 kg,氨氮为 0.8 kg;参照《上海市财政局上海市地方税务局上海市环境保护局关于本市应税大气污染物和水污染物环境保护税适用税额标准等有关问题的通知》,化学需氧量的排污征收标准 5 元/kg,氨氮为 4.8 元/kg;水产品价格按照 25 元/kg;沙颍河流域历史悠久、文化积淀比较丰富,其文化科研价值、休闲娱乐价值,参照马元等^[24]的标准,按照 38 万元/km²计算。则各河段泥沙输送、维持河滩湿地系统、生物多样性维护、水质净化、水产品生产、文化娱乐等价值的计算结果参见表 3。

表 3 各河段 2021 年其他价值计算结果

Table 3 Calculation results of other values of each reach in 2021

河段	泥沙输送		河滩湿地		多样性		水质净化			水产品		文娱服务	
	沙量/ 万 t	价值/ 亿元	面积/ km ²	价值/ 亿元	面积/ hm ²	价值/ 亿元	COD/ 万 t	NH ₄ -N/ t	价值/ 亿元	产量/ t	价值/ 亿元	流域 面积/km ²	价值/ 亿元
告成	30.41	0.243	3.7	0.056	74	0.006	0.466	291	0.250	5210	1.303	627	2.383
化行	8.45	0.068	11.6	0.174	332	0.027	0.51	255	0.270	15200	3.800	1285	4.883
黄桥	10.14	0.081	19.8	0.297	550	0.044	3.769	704	1.930	4872.4	1.218	6153	23.381
周口	271.37	2.171	7.3	0.109	449	0.036	14.402	4399	7.470	11250	2.813	5535	21.033
槐店	311.61	2.493	21.6	0.324	1350	0.108	0.001	5976	0.359	3835.3	0.959	1500	5.700

表 3 中告成站以上河段位于山丘区,易产生水土流失,再加上汛期水流较大,便于通过河道输送泥沙;白沙水库在告成站下游,但在化行、黄桥站上游,能够对河道泥沙进行拦蓄,使得这两处河段泥沙量减少;颍河与沙河在周口交汇,沙河年输沙量较大,造成周口、槐店段泥沙量增加。

由表 3 可以看出,结合前面计算的气候调节价

值,沙颍河河南段 2021 年生态基流总价值为 90.447 亿元。其中,黄桥—周口段所占份额最大,占总价值的 38.43%,这是由于沙颍河中的沙河与颍河在周口交汇,流域面积增加、流量增加、含沙量、水产品产量也随之增加;其次是化行—黄桥河段,其价值占总价值的 31.50%,该河段流经建安区、临颍县、西华县,流经区域较多,从而使流域面积增加,河滩湿地面积增

加;源区—告成段价值占比最低,仅为 4.94%。

3.3 合理性分析

沙颍河河南段不同河段生态基流价值的研究未见报道,将各河段计算的价值与其对应区域的国内生产总值进行比较,结果详见表 4。

各河段对应区域 2021 年 GDP 数据来自《2022 年河南省统计年鉴》,由表 4 可知,各河段生态基流价值所占比例均在当地 GDP 的 1%以内,便于后续河道生态基流保障补偿工作的开展,不会增加当地政府的财政负担,也说明计算结果在合理范围之内。

表 4 各河段计算的价值与相应区域 GDP 比较

Table 4 Comparison of calculated value of each reach with GDP of corresponding region						亿元
价值	源—告成	告成—化行	化行—黄桥	黄桥—周口	周口—槐店	河南段
基流价值	4.465	10.106	28.486	34.759	12.630	90.447
相应区域	郑州市	许昌市	许昌漯河	周口	周口	郑许漯河
区域 GDP	12691	3655.4	5376.5	3496.2	3496.2	21563.7
所占比例/%	0.035	0.277	0.531	0.994	0.361	0.419

4 结 论

基于资源与环境经济学算法,以沙颍河干流河南段为例,对 2021 年河道生态基流各项价值进行币值量化,以便推动流域水土流失治理、生态基流保护与保障补偿工作的开展。结论如下:

(1) 2021 年沙颍河干流河南段生态基流总价值 90.447 亿元,其中气候调节价值 6.459 亿元、泥沙输送价值 5.056 亿元、维持河滩湿地价值 0.96 亿元、生态多样性维护价值 0.22 亿元、水质净化价值 10.28 亿元、水产品生产价值 10.092 亿元、文化娱乐价值 57.38 亿元。科研文化娱乐价值在各分项价值中最大,说明沙颍河流域历史文化积淀的厚重性

(2) 沙颍河干流河南段生态基流总价值中,各个河段因所处的位置、流域面积、区间长度等情况不同,生态基流价值差异较大:源—告成段的价值是 4.465 亿元、告成—化行段 10.106 亿元、化行—黄桥段 28.487 亿元、黄桥—周口段 34.759 亿元、周口—槐店段 12.63 亿元。黄桥—周口段的生态基流价值最高,这是由于沙河与颍河在周口交汇,流域面积增加,水产品产量也随之增加,再加上文化底蕴丰厚等因素所致。

(3) 各河段生态基流价值显著,所占当地 GDP 的比例均在 1%以内,便于今后生态基流保护和保障补偿工作的开展,同时也警示人类在开发利用水资源时,要协调好生态保护与经济效益之间的关系,在保障生态基流的条件下进行利用。

参考文献(References):

[1] 朱庆平,黄利群,叶亚琦,等.水生态文明建设中的城市内河综合治理[J].中国水利,2013(15):47-50,35.
Zhu Q P, Huang L Q, Ye Y Q, et al. Integrated treatment of urban rivers in the water ecological civilization construction[J]. China Water Resources, 2013(15):47-50,35.
[2] 李怀恩,黄文菁,岳思羽.基于模糊数学模型的河道生态基流价值计算[J].生态经济,2016,32(5):186-190.

Li H E, Huang W J, Yue S Y. The value calculation of ecological basic flow based on fuzzy mathematical model [J]. Ecological Economy, 2016,32(5):186-190.
[3] 李怀恩,徐梅梅,赵宇.基于能值法的河道生态基流价值及其年内时间变化研究[J].生态经济,2017,33(3):160-164.
Li H E, Xu M M, Zhao Y. Study on river ecological base flow value and its changes during the year based on emergy method[J]. Ecological Economy, 2017,33(3): 160-164.
[4] Tesfaye A, Wolanios N, Brouwer R. Estimation of the economic value of the ecosystem services provided by the Blue Nile Basin in Ethiopia[J]. Ecosystem Services, 2016,17:268-277.
[5] Rupérez-Moreno C, Pérez-Sánchez J, Senent-Aparicio J, et al. The economic value of conjoint local management in water resources: Results from a contingent valuation in the Boquerón aquifer (Albacete, SE Spain) [J]. The Science of the Total Environment, 2015,532:255-264.
[6] Fu Y C, Ruan B Q, Zhang C L, et al. Yongding river basin water environmental restoration cost[J]. Journal of Food, Agriculture and Environment, 2012,10(2): 876-883.
[7] 段锦,康慕谊,江源.东江流域生态系统服务价值变化研究[J].自然资源学报,2012,27(1):90-103.
Duan J, Kang M Y, Jiang Y. Dynamic valuation on ecosystem services of Dongjiang River Basin[J]. Journal of Natural Resources, 2012,27(1):90-103.
[8] 陈美球,赵宝苹,罗志军,等.基于 RS 与 GIS 的赣江上游流域生态系统服务价值变化[J].生态学报,2013,33(9): 2761-2767.
Chen M Q, Zhao B P, Luo Z J, et al. The ecosystem services value change in the upper reaches of Ganjiang River Based on RS and GIS[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013,33(9):2761-2767.
[9] 张彪,史芸婷,李庆旭,等.北京湿地生态系统重要服务功能及其价值评估[J].自然资源学报,2017,32(8): 1311-1324.

- Zhang B, Shi Y T, Li Q X, et al. The key ecological services and their values of wetland ecosystems in Beijing[J]. *Journal of Natural Resources*, 2017,32(8):1311-1324.
- [10] 张玉杰,丁永杰.沙河与颍河洪水遭遇分析[J].*河南水利与南水北调*,2015(18):78-79.
Zhang Y J, Ding Y J. Analysis of flood encounters in Shahe and Yinghe Rivers[J]. *Henan Water Resources & South-to-North Water Diversion*, 2015(18):78-79.
- [11] 郭薇.基于SWAT模型的农田氮磷面源污染时空变化研究[D].郑州:华北水利水电大学,2019.
Guo W. Spatial and Temporal Changes of Nitrogen and Phosphorus Non-Point Source Pollution in Farmland Based on SWAT Model[D].Zhengzhou: North China University of Water Resources and Electric Power, 2019.
- [12] 岳思羽.水资源短缺地区河道生态基流的价值与时空变化研究:以渭河为例[D].西安:西安理工大学,2020.
Yue S Y. Economic Value Produced by River Ecological Base Flow and Its Temporal-Spatial Variations in Water Shortage Area [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2020.
- [13] 李怀恩,岳思羽.河道生态基流的功能及价值研究:以渭河宝鸡段为例[J].*水力发电学报*,2016,35(11):64-73.
Li H E, Yue S Y. Functions and values of ecological base flow: A case study of Baoji reach of Wei River[J]. *Journal of Hydroelectric Engineering*, 2016, 35 (11): 64-73.
- [14] 周永维,葛瑶,艾宁,等.南泥湾湿地不同植被类型土壤养分变化规律与肥力评价[J].*水土保持研究*,2021,28(5):76-80,87.
Zhou Y W, Ge Y, Ai N, et al. Soil nutrient variation pattern and fertility evaluation in different vegetation types in Nanniwan wetland[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2021,28(5):76-80,87.
- [15] 周贵尧,吴沿友,张明明.泉州湾洛阳江河口湿地土壤肥力质量特征分析[J].*土壤通报*,2015,46(5):1138-1144.
Zhou G Y, Wu Y Y, Zhang M M. Study on the characteristics of soil fertility quality of estuarine wetlands in Luoyang River of Quanzhou Bay[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2015,46(5):1138-1144.
- [16] 董哲仁,孙东亚,赵进勇,等.河流生态系统结构功能整体性概念模型[J].*水科学进展*,2010,21(4):550-559.
Dong Z R, Sun D Y, Zhao J Y, et al. Holistic conceptual model for the structure and function of river ecosystems[J]. *Advances in Water Science*, 2010,21(4): 550-559.
- [17] 陈婷,夏军,邹磊.汉江上游流域水文循环过程对气候变化的响应[J].*中国农村水利水电*,2019(9):1-7.
Chen T, Xia J, Zou L. The response of the upstream hydrological cycle process to climate change in the upper Hanjiang River Basin[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2019(9):1-7.
- [18] Wang G Z, Li Z Y, Yang D, et al. Study on ecological service value of climate regulation in Zhoukou section of shaying river trunk stream[C]//Yuan C. International Conference on Resources and Environmental Research. Cham: Springer, 2024:159-168.
- [19] 张丽,范建友.珠江三角洲水生态调节功能分析及其价值评价[J].*生态科学*,2016,35(6):62-66.
Zhang L, Fan J Y. Analysis and value assessment of water ecosystem regulation function in the Pearl River Delta[J]. *Ecological Science*, 2016,35(6):62-66.
- [20] 卢书兵,杨琳琳,李波,等.3个时期华阳河湖群湿地生态系统服务价值估算[J].*湿地科学*,2014,12(6):747-752.
Lu S B, Yang L L, Li B, et al. Estimation of ecosystem services value of wetlands in Huayang Lakes area for three periods[J]. *Wetland Science*, 2014,12(6):747-752.
- [21] 赵筱青,顾泽贤,高翔宇.人工园林大面积种植区土地利用/覆被变化对生态系统服务价值影响[J].*长江流域资源与环境*,2016,25(1):88-97.
Zhao X Q, Gu Z X, Gao X Y. Land use and land-cover change and it's impact on ecosystem services values in a region with large-area artificial gardens[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2016,25(1): 88-97.
- [22] 龚毅帆,周致远,孙小舟,等.湖北省汉江流域生态服务功能价值评估[J].*湖北农业科学*,2015,54(24):6231-6234.
Gong Y F, Zhou Z Y, Sun X Z, et al. Ecosystem service function value assessment of Hanjiang River Basin in Hubei Province [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2015,54(24):6231-6234.
- [23] 咎欣,张玉玲,贾晓宇,等.永定河上游流域水生态系统服务价值评估[J].*自然资源学报*,2020,35(6):1326-1337.
Zan X, Zhang Y L, Jia X Y, et al. Evaluation on the ecosystem services value of the upper reaches of Yongding River[J]. *Journal of Natural Resources*, 2020,35(6): 1326-1337.
- [24] 马元,王江萍,任亚鹏.河流价值综合认知与评价:以武汉市为例[J].*绿色科技*,2020(10):269-273,287.
Ma Y, Wang J P, Ren Y P. Comprehensive recognition and evaluation of river value: A case study of Wuhan[J]. *Journal of Green Science and Technology*, 2020(10):269-273,287.
- [25] 王飞儿,郑思远,杨泓蕊,等.基于生态系统服务的浙江省水生态环境分区分类管控[J].*生态学报*,2022,42(2):539-548.
Wang F E, Zheng S Y, Yang H R, et al. Regionalization and classification of water eco-environment in Zhejiang Province based on ecosystem service [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022,42(2):539-548.