

基于河道生态基流保障的农田生态系统服务价值损失量研究

成波, 李怀恩, 黄康, 范远航

(西安理工大学 西北旱区生态水利工程国家重点实验室培育基地, 陕西 西安 710048)

摘要: 河道生态基流保障的经济损失量直接决定着政府部门对生态基流保障的决策, 同时也为河道生态基流的合理保障水平提供定量依据。基于河道生态基流保障的粮食损失引起的农田生态系统服务价值损失, 提出了河道生态基流保障的农田生态系统服务价值损失量的计算方法, 探讨了农田生态系统服务价值损失量的变化规律, 并分析了价值损失量处理办法以及粮食市场价值对其影响变化。研究表明: 来水量是计算农田生态系统服务价值损失量的基础, 来水量年内分配影响农田生态系统服务价值损失量; 通过水权交易和生态补偿等两种方法对河道生态基流保障的经济损失量进行处理, 有利于促进农田生态系统和河道生态基流保障的协调发展; 同时, 粮食市场价格变化也会引起农田生态系统服务价值损失量变化。

关键词: 河道生态基流保障; 农田生态系统服务价值; 价值损失量

中图分类号: TV213.4; X196

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2018)04-0255-06

Study on the farmland ecosystem services value loss based on the river ecological base flow protection

CHENG Bo, LI Huaen, HUANG Kang, FAN Yuanhang

(State Key Laboratory of Ecohydraulic Engineering in Cultivation Base, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: The agricultural economic loss of the river ecological base flow protection directly determines government decision-making on the protection of the ecological base flow, and provides the quantitative basis to remain a reasonable level of the ecological river base flow protection. Based on the farmland ecosystem services value loss caused by the river ecological base flow protection grain loss, we proposed a calculation method to compute the farmland ecosystem services value loss based on the river ecological base flow protection. The change rule of service value loss of farmland ecosystem was discussed and the way of dealing with value loss was analyzed. The effect of grain market value on the loss of service value of farmland ecosystem service was analyzed. The results show that runoff is the basis to calculate farmland ecosystem services value loss, and the annual distribution influences farmland ecosystem services value loss. We can deal with the economic loss based on the river ecological base flow protection by the water right trading method and the agricultural ecological compensation method, which can promote the coordinated development of the agriculture and the river ecological basic flow, and food market fluctuation also cause farmland ecosystem services value loss change.

Key words: river ecological base flow protection; farmland ecosystem services value; value loss

1 研究背景

如何处理农业用水和生态用水之间的矛盾已成为了国际热点话题。根据 calzadilla 等^[1]统计, 70%

左右的河道水资源总量用于农业灌溉; 农业灌溉用水是中国北方最大的用水需求, 2008 年农业灌溉消耗了水资源总量的 74.4%^[2]; 且近些年来气候变化和人类活动导致河道来水量逐渐减少, 人口数量剧

收稿日期: 2018-01-24; 修回日期: 2018-03-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(51479162)

作者简介: 成波(1989-), 男, 陕西渭南人, 博士研究生, 研究方向: 生态水文和水资源保护。

通讯作者: 李怀恩(1960-), 男, 陕西商南人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 水资源保护研究。

增以及保障粮食安全的农业发展致使农业用水量逐渐增多,生态用水和农业用水矛盾加剧。同时,在来水量减少的情况下,持续增加农业用水会严重挤占环境用水量。河道生态基流是径流的一部分,也是生态环境流量中最基础的流量,河道中存在一定流动水量是维持河道生态环境功能的基本条件^[3]。为了维持河道生态环境的基本功能,河道中应该长期保有相对量的流量,防止河道萎缩、断流以及河道基本功能损失,这一相对量的流量被称为河道生态基流^[4-5]。河道生态基流对农户没有产生直接的经济效益,所以农户对河道生态基流并不重视。因此,河道生态基流难以得到保障,导致河道萎缩、断流以及河道基本功能损失,流域环境严重恶化,造成了难以逆转的损坏。

河道生态基流定量化的研究^[6-8]以及河道生态基流价值的研究^[9-10]让人们意识到河道生态基流的重要性。于是学者们展开了河道生态基流保障的研究,如林启才等^[11]根据渭河干流宝鸡段的实际情况,在农业灌溉节水、区域调水、有效管理和政策的基础上,提出了保障河道生态基本流量的具体措施;朱磊等^[12]通过建立渭河干流关中段水质水量响应关系的计算程序,为渭河干流关中段枯水期河道生态基流保障及水质改善提供技术支持。但是,尚未有学者对河道生态基流保障的经济损失量做出定量分析,难以给河道生态基流保障的决策者提供定量化依据。国外学者对农业用水和生态用水的相互转化的经济损失量做了定量化研究,如 Qureshi 等^[13]在澳大利亚墨累流域的水资源管理中,研究保障生态用水产生的农业机会成本。Jones 等^[14]考虑多因素的共同影响,构建随机动力过程模型,分析了灌溉农业用水转移到生态用水而产生的农业经济损失。Malano 等^[15]以印度 Krishna 流域和澳大利亚 Murray - Darling 流域为例,提出了农业用水和生态用水的权衡分析框架,采用残差法来研究农业用水短缺的经济损失量。目前,关于河道生态基流保障产生的农业经济损失量以及针对渭河干流宝鸡段河道生态基流保障引起的农业经济损失量的研究相对较少。

本研究的主要目的是建立一个河道生态基流保障的农田生态系统服务价值损失量模型,为河道生态基流保障的决策者提供定量化依据。以渭河干流宝鸡段为例,建立渭河干流宝鸡段河道生态基流保障的农田生态系统服务价值损失量计算模型。通过分析计算渭河干流宝鸡段河道生态基流保障的农田生态系统服务价值损失量,可以为河道生态基流合

理保障提供定量依据,同时,为政府部门对河道生态基流保障的决策提供理论支持。

2 研究方法

2.1 河道生态基流保障的农业缺水量

假定其他用水量不变,对河道生态基流保障的同时,势必会限制农业引水量,则生态基流保障的农业缺水量采用水量平衡方程进行计算,如公式(1)所示。

$$W_{AL} = W_G - W_Q \quad (1)$$

式中: W_{AL} 为河道生态基流保障的农业缺水量, 10^8 m^3 ; W_G 为河道生态基流保障值, 10^8 m^3 ; W_Q 为河道实测来水量, 10^8 m^3 。

2.2 河道生态基流保障的粮食产量损失量

作物需水系数最初是为了计算作物需水量、水分亏损和不同供水条件下的作物产量,本研究将作物需水系数引进分析计算由于缺水量而导致的粮食产量损失量,作物需水系数定义为作物全生育期的蒸发蒸腾水量与收获的干物质量或产量之比。粮食产量损失量用农业缺水量和作物需水系数的比值表示,计算如公式(2)和(3)所示。

$$K_C = \frac{ET}{M} \quad (2)$$

$$Y_L = \frac{W_{AL}}{K_C} \quad (3)$$

式中: Y_L 为粮食产量损失量, 10^8 kg ; K_C 为粮食作物需水系数, m^3/kg ; ET 为某时段内的作物需水量, m^3 ; M 为作物全生育期收获的干物质量或产量, 10^8 kg 。

2.3 河道生态基流保障的农田生态系统服务价值损失量

2.3.1 河道生态基流保障的单位面积粮食产量损失量 用河道生态基流保障的粮食产量损失量和研究区域农田面积的比值表示单位面积粮食产量损失量,计算公式如(4)所示。

$$T_a = \frac{Y_L}{A} \quad (4)$$

式中: T_a 为河道生态基流保障的单位面积粮食产量损失量, kg/hm^2 ; A 为研究区域粮食作物种植面积, hm^2 。

2.3.2 河道生态基流保障的单位面积服务价值损失量 谢高地等^[16]根据中国的实际情况,参考 Costanza 等^[17]的研究成果,在概括综合的基础上,制定了中国陆地生态系统单位面积生态基准服务价值表。单位面积农田生态系统食物生产服务功能的经济价值,计算公式为(5)所示。

$$VC_L = C_{crop} \cdot c = \frac{1}{7} \cdot c \cdot T_a \cdot T_b \quad (5)$$

式中: VC_L 为农田生态系统服务价值系数总和, 10^8 元/ hm^2 。 C_{crop} 为农田生态系统单位面积食物生产服务功能的经济价值, 元/ hm^2 ; T_b 为渭河宝鸡市平均粮食单价, 元/kg; c 为农田生态系统服务功能的当量因子和。

2.3.3 河道生态基流保障的农田生态系统服务价值损失量 粮食产量的变化也会引起农田生态系统服务价值系数的变化, 进而引起农田生态系统服务价值变动。河道生态基流保障造成农田灌溉用水量减小, 进而导致农田生态系统服务价值损失, 计算公式如(6)所示。

$$V_L = A \cdot VC_L \quad (6)$$

式中: V_L 为河道生态基流保障的农田生态系统服务价值损失量, 10^8 元。

3 研究区域

渭河流域关中段位于陕西省中部, 东经 $106^{\circ}30' \sim 110^{\circ}30'$, 北纬 $33^{\circ}30' \sim 35^{\circ}40'$ 。其中渭河干流宝鸡段(林家村-常兴桥)全长 224 km, 处于渭河中下游, 该段用水量大, 特别是农业灌溉用水量, 供需矛盾突出。同时渭河天然来水量减少, 造成河道非汛期流量锐减甚至断流, 无法保障河道生态基流量, 导致河道生态系统恶化、断流、萎缩。

宝鸡峡灌区位于关中西部, 地理位置纬度为 34.350°N , 经度为 107.90°E , 总控制面积 $2\,355\text{ km}^2$, 在林家村和魏家堡建有 2 座引水枢纽, 形成塬上、塬下两大灌溉系统。宝鸡峡塬上灌区从宝鸡市林家村引渭河水, 设计引水流量 $50\text{ m}^3/\text{s}$, 灌溉面积 $12.8 \times 10^4\text{ hm}^2$ 。宝鸡峡渠首引水主要灌溉宝鸡峡塬上灌区, 宝鸡峡塬上灌区行政区主要包括宝鸡市的金台、宝鸡、岐山, 咸阳市的杨凌、武功、乾县、泾阳、秦都、渭城及西安市的高陵等县区。

数据主要来源于《中华人民共和国水文年鉴》第 4 卷的黄河流域水文资料、《陕西省统计年鉴》以及《陕西省水利统计年鉴》。

4 计算结果

4.1 基于河道生态基流保障的农业缺水量

据调查, 近几年来宝鸡峡塬上灌区采用地表水和地下水联合灌溉方式, 但目前为止多为非充分灌溉模式, 因为两种主要水源无法满足宝鸡峡塬上灌区的用水量, 那么减少地表水水资源量势必会降低

灌区作物产量。10 月下旬至次年 6 月上旬, 宝鸡峡塬上灌区的优势物种为冬小麦, 而 6 月下旬至次年 10 月上旬灌区的优势物种为夏玉米, 因此, 选择了冬小麦和夏玉米作为典型作物。

结合林家村(三)站 2000-2015 年径流资料和河道生态基流保障值 $4\text{ m}^3/\text{s}$ [18-19], 采用公式(1)以年份为时段计算了农业缺水量, 如图 1 所示。

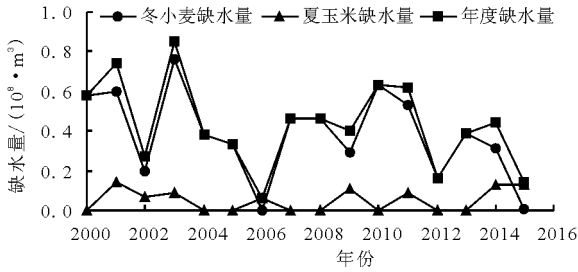


图 1 保障河道生态基流的农业缺水量

4.2 基于河道生态基流保障的生态系统服务价值损失量

4.2.1 作物需水系数 采用陕西省宝鸡峡塬上灌区冬小麦和夏玉米所对应时段的水面蒸发量, 以及冬小麦和夏玉米所对应时段的需求量, 通过式(2)得到不同典型年冬小麦和夏玉米的作物需水系数, 如表 1 所示。

结合河道生态基流保障的农业缺水量和冬小麦和夏玉米作物需水系数, 采用式(3)计算了河道生态基流不同保障水平的粮食产量损失量, 如表 1 所示。

表 1 冬小麦和夏玉米的粮食产量损失量

年份	作物需水系数/($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)		种植面积/ 10^3 hm^2	粮食产量损失量/ 10^8 kg	
	冬小麦	夏玉米		冬小麦	夏玉米
2000	0.86	1.10	892.73	0.67	0.00
2001	0.81	1.08	855.49	0.74	0.13
2002	0.97	1.12	843.86	0.21	0.06
2003	0.82	1.15	807.53	0.93	0.08
2004	0.89	1.09	822.98	0.43	0.00
2005	0.89	1.18	832.98	0.37	0.00
2006	0.90	1.04	838.00	0.00	0.05
2007	0.93	1.13	774.31	0.50	0.00
2008	1.00	1.16	783.46	0.46	0.00
2009	0.88	1.15	778.85	0.33	0.10
2010	0.96	1.13	788.48	0.66	0.00
2011	0.82	1.14	734.27	0.65	0.08
2012	0.98	1.08	737.74	0.17	0.00
2013	0.87	1.12	736.34	0.45	0.00
2014	0.83	1.07	723.96	0.38	0.12
2015	0.84	1.14	720.68	0.01	0.11
平均值	0.89	1.12	791.98	0.43	0.05

4.2.2 单位面积农田生态系统服务价值损失量结合谢高地等^[16]的生态系统服务功能划分类型,选定食物生产、原材料生产、气体调节、气候调节、水文调节、废物处理、土壤保持、维持生物多样性以及提供美学景观等九种农田生态系统服务功能。

《陕西省统计年鉴》给出了宝鸡市冬小麦和夏玉米价格,其值分别为 2.52 和 1.68 元/kg,并结合谢高地等^[16]给出农田生态系统服务功能的当量因子以及单位面积粮食产量损失量,采用公式(5)和(6)可以得到河道生态基流保障水平为 4 m³/s 的农田生态系统服务价值损失量,如图 2 所示。

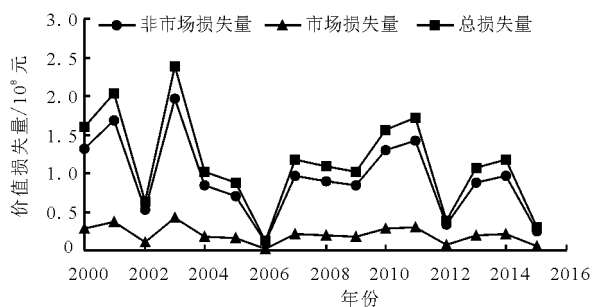


图2 保障河道生态基流的农田生态系统服务价值损失量

从图2可以看出,基于河道生态基流保障的农田生态系统服务价值损失量呈不规则变化,且非市场价值损失量相对市场价值损失量较大;2006年的非市场和市场价值损失量均为损失量最小,2003年损失量均为最大。

5 结果讨论

5.1 农田生态系统服务价值损失量变化规律分析

分析河道生态基流保障的农田生态系统服务价值损失量变化规律,可以为河道生态基流合理保障的决策者提供定量化依据,将2000-2015的径流量和农田生态系统服务价值损失量绘制成图3。

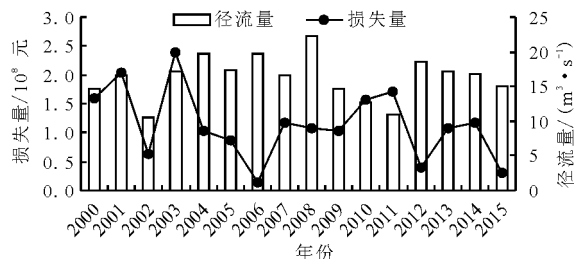


图3 径流量和农田生态系统服务价值损失量变化过程

从图3可以看出,来水量影响着农田生态系统服务价值损失量的变化,但是两者并无明显的相关关系,两个年份来水量相同情况下也会出现价值损

失量差异较大的情况,如2003和2013年;或是价值损失量差异不大但两年来水量差异较大,如2002和2005年,其主要原因是年内不同月份水资源分配差异较大,使得各月河道生态基流保障的缺水量不同,进而造成河道生态基流保障的农田生态系统服务价值损失量差异较大。

5.2 市场价格变化对价值损失量的影响

前文中给出冬小麦和夏玉米价格分别为2.52和1.68元/kg,是为了分析在2015粮食价格变化情况下的河道生态基流保障引起的农田生态系统服务价值损失量,但是粮食价格的年际和年内变化是不同的,粮食市场价格变化会引起农田生态系统服务价值损失量的变化,如图4所示。图4中分别采用了历年冬小麦和夏玉米不同市场价格、2000年冬小麦和夏玉米市场价格、2008年冬小麦和夏玉米市场价格以及2015年冬小麦和夏玉米市场价格(图例中前面为冬小麦价格,后者为夏玉米价格)。

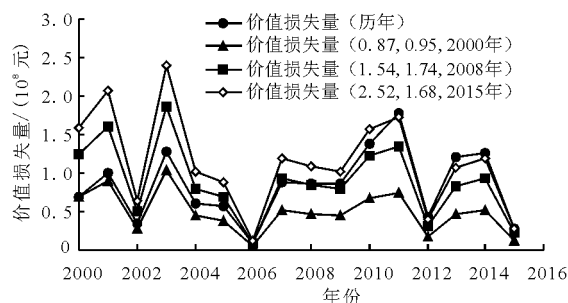


图4 不同粮食价格变化的价值损失量变化过程

由图4可以看出,农田生态系统服务价值损失量随着粮食市场价格变化也在变化,同时,粮食市场价格越大,农田生态系统服务价值损失量也越大,两者呈正相关变化。

5.3 农田生态系统服务价值损失量处理探索

本文所研究的河道生态基流保障的农田生态系统服务价值损失量包括两部分,即非市场价值损失量和市场价值损失量,如图5所示。市场价值损失量会给农业水资源拥有者带来直接的经济损失量,非市场价值损失量是对人类有益的其他服务的价值损失量,这种价值损失量会引起河道生态基流系统服务价值的提高,也会增强河道的其他服务功能。

针对农田用水农户的确会产生一定的经济损失量,如果这部分损失量处理不当,河道生态基流保障就会受阻。因此,要采用农业生态补偿的形式对农户的经济损失量进行补偿,并要以市场价值为底线补偿宝鸡峡塬上灌区因保障河道生态基流而产生损失的农户。资金来源于河道管理相关部门以及

河道生态基流保障后产生的经济效益,比如水产品生产或是排污权卖出等形式产生的经济效益,作为河道生态基流保障的农业经济损失补偿量。且农业生态补偿量的形式不仅可以以现金形式补偿,也可以改造水利工程等其他模式对宝鸡峡塬上灌区进行补偿。

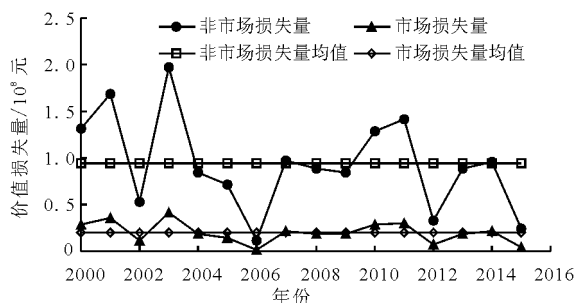


图 5 农田生态系统服务价值非市场损失量和市场损失量

5.4 单方水损失量研究结果对比

河道生态基流保障的农田生态系统服务价值损失量不仅可以为河道生态基流合理保障水平提供定量化依据,而且可以分析水资源对农田生态系统服务价值量的影响程度。

河道生态基流保障势必会导致灌区粮食产量损失,且粮食产量损失进而会导致单位面积农田生态系统服务价值损失。该法将河道生态基流和农田生态系统服务价值变化联系起来,也是将河道生态基流价值转移到了农田生态系统服务价值。因此,单方水农田生态系统服务价值的实质是单方水河道生态基流价值。通过计算得到单方水农田生态系统服务价值损失量(河道生态基流价值)均值为 2.56 元/ m^3 。

黄文菁^[3]采用模糊数学法计算了渭河干流关中段不同断面的单方河道生态基流价值,其值如表 2 所示。

表 2 渭河关中段 4 个断面的单方生态基流价值^[3]

控制断面	生态基流价值/(元· m^{-3})
临 潼	2.011
魏家堡	3.006
咸 阳	3.302
华 县	2.105

单方水农业生态系统服务价值损失量计算结果和黄文菁^[3]的单方生态基流价值比较接近,较为合理。

6 结 论

农业用水量对河道生态基流保障的同时,势必

会导致灌区粮食作物产量损失,进而会引起灌区单位面积农田生态系统服务价值损失。基于此,本研究提出了河道生态基流不同保障水平的农田生态系统服务价值损失量计算方法,并分析了粮食市场价格变化、典型作物选取、来水量对该服务价值损失量的影响。同时,也探讨了由农业用水量保障河道生态基流会对社会造成的影响。结果表明:

(1)通过对单方水价值损失量合理性分析,该法计算河道生态基流保障的农业生态系统服务价值损失量切实可行;

(2)河道来水量是计算农田生态系统服务价值损失量的基础,但两者之间并无明显的相关关系,且来水量年内分配的差异同样影响农田生态系统服务价值损失量。

(3)通过水权交易和生态补偿等两种方法对有利于河道生态基流保障的经济损失量进行处理,促进农田生态系统与河道生态基流保障的协调发展。

(4)粮食市场价格越大,农田生态系统服务价值损失量也越大,两者呈正相关变化。

展望:采用冬小麦和夏玉米作物需水系数确定河道生态基流保障的粮食损失量,并未考虑诸如其他自然灾害等粮食产量影响因素。因此,粮食产量损失量结果有所偏差,进而导致农业生态系统服务价值损失量有所偏差,后面研究中尽量将自然灾害、气候变化等因素考虑进去。

参考文献:

[1] CALZADILLA A, REHDANZ K, TOL R S J, et al. The economic impact of more sustainable water use in agriculture: a computable general equilibrium analysis. [J]. Journal of Hydrology, 2014,384(3):292-305.

[2] Ministry of Water Resources of China(MWR). The annual book of water resources in China[R]. Beijing: China Water Press,2008.

[3] 黄文菁. 渭河干流关中段河道生态基流价值与补偿研究[D]. 西安:西安理工大学,2013.

[4] 崔 英,张 强,陈晓宏,等. 生态需水理论与方法研究进展[J]. 湖泊科学,2010,22(4):465-480.

[5] 穆文彬,于福亮,李传哲,等. 河流河道生态基流概念与评价方法的差异性及其影响[J]. 中国农村水利水电, 2015(1):90-94.

[6] 桑连海,陈西庆,黄 薇. 河流环境流量法研究进展[J]. 水科学进展,2006,17(5):754-760.

[7] ACREMAN M C, DUNBAR M J. Defining environmental river flow requirements: a review[J]. Hydrology and Earth System Sciences,2004,8(5):861-876.

- [8] JOWETT I G. Instream flow methods: a comparison of approaches[J]. *River Research & Applications*, 2015, 13(2): 115–127.
- [9] 徐梅梅, 李怀恩, 成波. 河道生态基流价值的估算与比较[J]. *西安理工大学学报*, 2016, 32(3): 359–363.
- [10] 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.
- [11] 林启才, 李怀恩. 宝鸡峡引水对渭河河道生态基流的影响及其保障研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2010, 24(11): 114–119.
- [12] 朱磊, 李怀恩, 李家科, 等. 渭河干流关中段河道生态基流保障的水质水量响应关系研究[J]. *环境科学学报*, 2013, 33(3): 885–892.
- [13] QURESHI M E, CONNOR J, KIRBY M, et al. Economic assessment of acquiring water for environmental flows in the Murray Basin[J]. *Australian Journal of Agricultural & Resource Economics*, 2010, 51(3): 283–303.
- [14] JONES R, CREAN J, ALUWIHARE P, et al. Economic cost of environmental flows in an unregulated river system[J]. *Australian Journal of Agricultural & Resource Economics*, 2010, 51(3): 305–321.
- [15] MALANO H M, DAVIDSON B, Tardieu H, et al. A framework for assessing the trade-offs between economic and environmental uses of water in a river basin. [J]. *Irrigation & Drainage*, 2010, 58(S1): S133–S147.
- [16] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. *自然资源学报*, 2008, 23(5): 911–919.
- [17] COSTANZA R, D'ARCE R, GROOT R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *World Environment*, 1997, 387(1): 3–15.
- [18] 杨涛. 渭河宝鸡市区段河道生态基流及调控初步研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2008.
- [19] 徐宗学. 河道生态基流理论基础与计算方法: 以渭河关中段为例[M]. 北京: 科学出版社, 2016.

喜 讯

《水资源与水工程学报》被中国科学引文数据库(Chinese Science Citation Database, 简称 CSCD)收录为 2017–2018 年度来源期刊。2017 年又被中国科学评价中心(RCCE)、武汉大学图书馆和中国科教评价网联合完成的第五版《中国学术期刊评价报告(2017–2018)》评价为 A 类核心期刊。