

渭河关中段生态基流保障对灌区的影响及补偿研究

张倩, 李怀恩

(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: 针对枯水期河道生态基流保障造成的农业灌溉用水短缺问题, 研究其对灌区的影响及生态补偿量, 以推动基流保障工作的持续开展和日益完善。定性分析灌溉用水短缺可能产生的影响, 明确不同方案引起的灌区灌溉缺水量, 并应用水分生产函数模型估算造成的农作物减产损失, 进而确定对灌区的生态补偿量。以渭河关中段为例, 对3种基流保障方案造成的灌区灌溉用水短缺问题进行分析计算。结果表明: 3种基流保障方案对宝鸡峡塬上、塬下灌区及交口抽渭灌区冬小麦的生态总补偿量分别为 2800.30×10^4 元、 32392.58×10^4 元、 98817.98×10^4 元。

关键词: 生态基流保障; 灌区; 生态补偿量; 枯水期; 渭河关中段

中图分类号: TV93; S274.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)06-0227-05

Study on the effect and compensation of the ecological base flow protection to irrigation district in Shaanxi Section of Weihe River

ZHANG Qian, LI Huaien

(State Key Laboratory Base of Eco-Hydraulic Engineering in Arid Area, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: According to the agricultural irrigation water shortage in dry season caused by the ecological base flow security, it is necessary to study its effect on irrigation district and ecological compensation so as to promote the sustainable development of base flow protection and improvement. First, the possible impact of irrigation water shortage should be qualitatively analyzed. Next, the amount of irrigation water in irrigation district caused by different base flow security proposals should be clearly determined. And then the crop production losses caused by irrigation water shortage should be estimated by the water production function model, and also the amount of ecological compensation for irrigation areas should be determined. Taking Shaanxi section of Weihe River as an example, the water shortage caused by three base flow security programs was analyzed and calculated in the irrigation area. The results showed that the ecological compensation amounts of winter wheat in Baoji gorge Yuanshang irrigation area, Yuanxia irrigation area and Jiaokou irrigation area were 28.003 million yuan, 323.926 million yuan and 988.180 million yuan under three ecological base flow security schemes respectively.

Key words: ecological base flow protection; irrigation district; ecological compensation amount; dry season; Shaanxi section of Weihe River

1 研究背景

枯水期河道来水量有限, 为保障河道生态基流, 势必会限制农业、工业、生活等用水部门的水资源量, 特别是农业用水。农业用水是流域用水第一大户, 主要用于农业灌溉, 水量短缺会对灌区造成直接经济损失及间接影响。因此, 对灌区给予相应的补

偿, 既能保障河道生态基流, 又能维护水资源使用者的利益, 同时使决策者更容易进行管理, 让有限的水资源发挥更大的生态效用^[1]。生态补偿作为调节生态环境保护和建设过程中利益相关方的关系, 使外部成本内部化的环境经济手段而日益受到重视^[2-3]。目前, 国际上与我国生态补偿涵义接近且使用最广泛的是生态/环境服务付费 (Payment for

收稿日期: 2016-07-05; 修回日期: 2016-09-01

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51479162)

作者简介: 张倩 (1992-), 女, 陕西宝鸡人, 硕士研究生, 研究方向: 环境规划管理。

通讯作者: 李怀恩 (1960-), 男, 陕西商南人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水资源保护与环境经济研究。

Ecological/ Environmental Services, PES), 其中, 在哥伦比亚、哥斯达黎加、墨西哥、厄瓜多尔等国家开展的环境服务支付项目在生态补偿项目中最具代表性^[4]。Sisto^[5]计算了保障莫斯科北部 Rio Conchos 流域下游 Chihuahua 沙漠生态需水的农业补偿标准。Malano 等^[6]采用残差法计算了印度 Krishna 流域和澳大利亚 Murray - Darling 流域农业用水短缺造成的经济损失量。罗小娟等^[7]结合太湖流域现有补偿机制及存在问题, 设计了多地区 - 多主体 - 多层次的太湖流域生态补偿机制框架。付意成等^[8]借助能值与价值之间的可转化性, 计算了永定河流域农业生态补偿标准。张明波等^[9]提出在渭河全流域推行生态补偿, 并设计了渭河流域省际间、市际间生态补偿法律框架体系。施翠仙等^[10]基于 CVM 意愿调查法, 研究了洱海流域上游水源地洱源县的农业生态补偿问题。庞爱萍等^[11]计算了保障黄河口生态需水引起的山东引黄灌区的农作物损失, 确定了对冬小麦和夏玉米种植户不同等级的生态补偿标准。

虽然之前学者对生态补偿进行了相关研究, 但对保障生态基流造成的损失及补偿问题研究较少。由于渭河水资源的过度开发利用, 使河道生态基流得不到保证。在枯水期, 渭河关中段农业、工业、生活和生态用水矛盾十分尖锐^[12]。因此, 针对渭河河道生态基流保障造成的农业灌溉用水短缺问题, 研究其对灌区的影响及生态补偿量很有必要。本文以渭河关中段为例, 分析灌溉用水短缺可能产生的影响, 明确不同方案引起的灌区灌溉缺水, 并估算其造成的损失, 进而确定对灌区的生态补偿量, 从而推动渭河河道生态基流保障工作的持续开展和日益完善。

2 研究区域概况与方法

2.1 研究区域概况

渭河属于中国西部干旱半干旱地区缺水重污染河流, 发源于甘肃省渭源县鸟鼠山, 自东沟峡进入陕西, 至老潼关注入黄河, 全长 818 km, 陕西境内 502.4 km, 沿岸有西安、宝鸡、咸阳、渭南、铜川等 5 个地市(区)^[13]。其中, 宝鸡峡灌区位于关中西部, 东西长 181 km, 南北平均宽 14 km(最宽处 40 km), 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。灌区从渭河河道引水解决了灌溉需求, 但也对渭河的河流健康状况产生了深刻影响^[14], 尤其是在枯水期, 河流系统遭到破坏, 造成了

严重的河流生态环境问题^[15]。交口抽渭灌区位于关中平原东部, 渭河下游北岸, 是以渭河为水源、灌排结合的大型、多级、无坝电力抽水灌区^[16], 东西长 48.6 km, 南北宽 31.9 km。

2.2 研究方法

首先定性分析农业灌溉用水短缺可能产生的影响; 其次明确不同方案造成的灌区灌溉缺水; 然后应用水分生产函数模型估算造成的农作物减产损失; 最后根据作物产值损失确定对灌区的生态补偿量。

2.2.1 基于生态基流保障的农业灌溉缺水计算

本文在国家科技重大专项“渭河水污染防治专项技术与示范”课题三“渭河关中段生态基流保障技术研究”的基础上进行研究, 因此, 沿用渭河水专项中采用“渭河关中段生态基流保障与水质改善多目标调控模型”计算得到的基于生态基流保障的农业灌溉缺水, 如式(1)所示:

$$W_{\text{缺}} = W_{\text{需}} - (W_{\text{来}} - W_{\text{生态基流}} - W_{\text{发电}} - W_{\text{其他}}) \quad (1)$$

式中: $W_{\text{缺}}$ 为农业灌溉缺水, 10^4 m^3 ; $W_{\text{需}}$ 为农业灌溉需水量, 10^4 m^3 , 按 $P = 75\%$ 的灌溉制度计算; $W_{\text{来}}$ 为河道来水量, 10^4 m^3 ; $W_{\text{生态基流}}$ 为河道生态基流调控量, 10^4 m^3 ; $W_{\text{发电}}$ 为发电用水量, 10^4 m^3 ; $W_{\text{其他}}$ 为其他用水量, 10^4 m^3 。

2.2.2 农作物产量及产值损失计算 运用水分生产函数模型估算农作物减产损失。考虑灌溉用水不足对农作物产量的影响, Stewart 等^[17]提出了水分生产函数模型, 如式(2)所示:

$$q_m^j - q^j = k_y q_m^j \left(\frac{ET_j - ET_\alpha}{ET_j} \right) \quad (2)$$

式中: j 为作物种类; q_m^j 为无水分胁迫下作物最大产量, kg/hm^2 ; q^j 为作物 j 实际产量, kg/hm^2 ; k_y 为作物产量响应系数; ET_j 为作物潜在蒸散发值, mm ; ET_α 为作物实际蒸散发值, mm 。

式(2)中, $ET_j - ET_\alpha$ 为实际用水短缺量, 对应的农业产量损失为 $q_m^j - q^j$ 。令 W_s/S_j 表示单位面积农业用水短缺量, 其中, S_j 为作物 j 种植面积, hm^2 , 得到单位面积作物 j 产量损失 q_s^j (kg/hm^2)^[11], 如式(3)所示:

$$q_s^j = k_y q_m^j \frac{W_s}{S_j ET_j} \quad (3)$$

作物在不同的生长阶段, 灌溉不足产生的农业产量损失不同^[18]。相加模型将作物总产量损失值确立为各阶段产量损失之和, 在半湿润与半干旱等地

区的籽粒产量计算中适用^[19]。

根据灌溉不足造成的作物产量损失,乘以作物的单位质量价格,得到产值损失^[11],如式(4)所示:

$$v^j = q_j^i Q^j \quad (4)$$

式中: v^j 为作物 j 单位面积产值损失,元/hm²; Q^j 为作物 j 单位质量价格,元/kg。

3 结果与分析

3.1 基流保障对灌区的影响分析

(1) 枯水期保障河道生态基流造成农业灌溉用水短缺,将直接导致灌区农作物减产,农户收入减少,其消费水平和消费结构将发生变化,尤其是低收入群体,这在一定程度上会降低他们的生活水平,影响其生活质量。

(2) 农业不景气,农业生产所需劳动力减少,致使农村剩余劳动力增加。这些剩余劳动力大部分转移到城市,但这种转移并没有从根本上解决劳动力过剩问题,反而会增加新的社会矛盾,如“留守儿童”、“空巢老人”问题等。

(3) 农作物减产,以农产品为原料的轻工业的生产和发展将受到影响。原料供给不足,价格上涨,工业成本增加,制约了轻工业的发展基础,最终导致其效益降低。

(4) 可能对保障关中地区的粮食安全带来不利影响。关中地区人口基数大,人口增长迅速,粮食需求量大,农作物减产可能不利于保障地区的粮食安全。

3.2 基流保障对灌溉水量的影响

沿用水专项中以 2007 年为研究对象,分初始方案(现状情形)、方案 1、林家村渠首引水量减少 50%、引水量减少 75% 4 种方案研究各灌区的保证率。其中,初始方案是不考虑河道内生态基流保障条件下的供水状况;方案 1 是考虑了生态基流保障条件下的供水状况;林家村渠首引水量减少 50%、引水量减少 75% 分别是指在 2007 年林家村渠首现状引水的基础上将引水量减少 50%、75% 时考虑生态基流保障条件下的供水状况。

水专项中根据专题 3-1“渭河关中段河道生态基础流量研究”提供的非汛期河道生态基流控制断面最小生态基流及过程,并查阅国内外相关研究资料,参考前人研究成果,将林家村、魏家堡、咸阳、临潼、华县断面非汛期河道生态基流调控值依次设定为 4、6、8、15、15 m³/s。本文直接使用水专项中得到的不同方案渭河关中段部分灌区的灌溉缺水量(见表 1)。

表 1 渭河关中段部分灌区的灌溉缺水量 10⁴ m³

灌区	初始方案 (现状情形)		方案 1	
	引水量 减少 50%	引水量 减少 75%	引水量 减少 50%	引水量 减少 75%
宝鸡峡塬上灌区	12138	14814	24408	32311
宝鸡峡塬下灌区	5701	4016	3490	2506
交口抽渭灌区	6615	5923	0	0

注:数据来源于“渭河关中段生态基础流量保障技术研究”专题报告。

由表 1 可知,与初始方案(现状情形)相比,三种基流保障方案宝鸡峡塬上灌区灌溉用水短缺量增大,因而受损;而宝鸡峡塬下灌区和交口抽渭灌区灌溉缺水量减小,因而受益。

3.3 基流保障对灌区的损失计算

综合考虑国家保障粮食安全的目标要求,面积稳定及保障功能显著的粮食作物更适合作为补偿标准计算的依据^[11]。关中地区主要农作物冬小麦和夏玉米采用轮作的方式,根据作物生育期,把冬小麦分为播种-越冬期(10-12月)、越冬-返青期(1-2月)、返青-收获期(3-5月)三个阶段,夏玉米为全育期(6-9月)。由此可知,枯水期灌溉用水短缺不会对夏玉米的生长造成影响,因此,只分析其对冬小麦的影响。宝鸡峡灌区和交口抽渭灌区冬小麦不同生长阶段相关参数(见表 2)。

表 2 冬小麦不同生长阶段相关参数 mm

灌区	参数	生长阶段/月份			
		1-2	3-5	6-9	10-12
宝鸡峡 交口抽渭	响应系数 k_s	0.6	0.5	0	0.2
	潜在蒸发量 ET_p	23.3	82.95	0	31.39
		21.3	100.33	0	32.70

注: k_s 值参照世界粮食组织(FAO)给出的数值; ET_p 由“保障渭河生态基流的关中地区农业节水及调控技术研究报告”中的数据整理得到。

查阅 2012 年《陕西省统计年鉴》得到宝鸡峡灌区、交口抽渭灌区作物种植面积分别为 28.87×10^4 hm²、 6.93×10^4 hm²,其中,宝鸡峡塬上灌区为 18.36×10^4 hm²,塬下灌区为 10.51×10^4 hm²;渭河关中段冬小麦平均产量为 4 244.52 kg/hm²(取 5 市 1 区冬小麦平均产量),作为冬小麦的 q_m^i 值;2012 年国家冬小麦最低收购价格为 2.04 元/kg(2012 年小麦最低收购价执行预案 国家发展改革委财政部农业部),作为冬小麦的单位质量价格 Q^j 值;以冬小麦的生长时间求出平均缺水量,进而求出各阶段的缺水量,采用相加模型,根据式公(3)、(4)计算不同方

案各灌区冬小麦单位面积产量、产值损失(表3)和总产值损失(表4)。

表3 冬小麦单位面积产量及产值损失

kg/hm², 元/hm²

方 案	宝鸡峡塬上灌区		宝鸡峡塬下灌区		交口抽渭灌区	
	产量损失	产值损失	产量损失	产值损失	产量损失	产值损失
初始方案	3110.91	6346.26	2553.24	5208.61	4539.67	9260.92
方案1	3796.76	7745.39	1798.60	3669.14	4064.77	8292.13
引水量减少50%	6255.66	12761.54	1563.03	3188.57	0	0
引水量减少75%	8281.16	16893.57	1122.33	2289.56	0	0

作物产量损失的增减直接导致产值损失的增减。由表3可知,同初始方案相比,不同基流保障方案宝鸡峡塬上灌区冬小麦单位面积产值损失增大,而塬下灌区和交口抽渭灌区冬小麦单位面积产值损失减小。

表4 冬小麦总产值损失 10⁴元

灌区	初始方案	方案1	引水量	
			减少50%	减少75%
宝鸡峡塬上灌区	116530.08	142220.84	234327.41	310199.64
宝鸡峡塬下灌区	54732.08	38555.35	33505.52	24058.69
交口抽渭灌区	64178.19	57464.46	0	0
合 计	235440.35	238240.65	267832.93	334258.33

由表4可知,与初始方案相比,不同基流保障方案3个灌区冬小麦总产值损失分别增加了2 800.30 × 10⁴元、32 392.58 × 10⁴元、98 817.98 × 10⁴元。

3.4 基流保障对灌区的补偿标准

由于初始方案是不考虑河道内生态基流保障,即现状情形的供水状况,灌区本身就有一定的灌溉缺水水量,使灌区冬小麦受损。因此,以初始方案为基准,得到不同基流保障方案灌区冬小麦总产值损失之差,以此作为对灌区的生态补偿量,则方案1对3个灌区的生态补偿量为2 800.30 × 10⁴元,林家村渠首引水量减少50%时为32 392.58 × 10⁴元,引水量减少75%时为98 817.98 × 10⁴元。

将灌区的生态补偿量转化为单方水的补偿量(生态补偿量与灌溉缺水量的比值),则宝鸡峡塬上、塬下灌区均为9.60元/m³,交口抽渭灌区为9.70元/m³,两者不同但相差较小,是因为宝鸡峡灌区和交口抽渭灌区冬小麦的ET值不同。赵娟^[20]在生产利润最大与水资源消费支出最小的条件下,测算出宝鸡市的水资源价值为11.65元/m³,而本文得到的单方水的补偿量小于11.65元/m³,具有一定的合理性。

4 结 论

本文针对枯水期渭河关中段河道生态基流保障造成的农业灌溉用水短缺问题,分析计算了其对于灌区的影响及生态补偿量,结论如下:

(1)灌溉用水短缺可能造成灌区农作物减产、农村剩余劳动力增加等;

(2)3种基流保障方案对灌区冬小麦的生态补偿量分别为2 800.30 × 10⁴元、32 392.58 × 10⁴元、98 817.98 × 10⁴元;

(3)分析表明该计算结果合理,计算方法对类似灌区具有一定的参考价值。

由于对补偿标准的确定,应综合考虑如农作物种类、所处地理位置及水平年的类型等,因此,本文对灌溉用水短缺造成的损失的计算还不够准确、全面,需进一步改善。

参考文献:

- [1] 黄文菁. 渭河关中段生态基流价值与补偿研究[D]. 西安:西安理工大学, 2013.
- [2] 中国生态补偿机制与政策研究课题组. 中国生态补偿机制与政策研究[M]. 北京:科学出版社, 2007.
- [3] 中国21世纪议程管理中心. 生态补偿原理与应用[M]. 北京:社会科学文献出版社, 2009.
- [4] Caplan A J, Sliva E C D. An efficient mechanism to control correlated externalities: redistributive transfers and the coexistence of regional and global pollution permit markets [J]. Journal of Environmental Economics & Management, 2005, 49(1):68-82.
- [5] Sisto N P. Environmental flows for rivers and economic compensation for irrigators [J]. Journal of Environmental Management, 2008, 90(2):1236-40.
- [6] Malano H M, Brian D. A framework for assessing the trade-offs between economic and environmental uses of water in a river basin[J]. Irrigation & Drainage, 2009, 58(S1):

- S133 - S147.
- [7] 罗小娟,曲福田,冯淑怡,等. 太湖流域生态补偿机制的框架设计研究——基于流域生态补偿理论及国内外经验[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2011, 11(1): 82 - 89.
- [8] 付意成,高婷,闫丽娟,等. 基于能值分析的永定河流域农业生态补偿标准[J]. 农业工程学报, 2013, 29(1): 209 - 217.
- [9] 张明波,田义文. 渭河全流域生态补偿机制研究[J]. 广东农业科学, 2013, 40(3): 163 - 166.
- [10] 施翠仙,郭先华,祖艳群,等. 基于CVM意愿调查的洱海流域上游农业生态补偿研究[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(4): 730 - 736.
- [11] 庞爱萍,孙涛. 基于生态需水保障的农业生态补偿标准[J]. 生态学报, 2012, 32(8): 2550 - 2560.
- [12] 李英杰,张振文,王亚萍,等. 渭河关中段水污染状况与防治对策[J]. 人民黄河, 2015, 37(6): 53 - 55.
- [13] 朱磊,李怀恩,李家科,等. 渭河关中段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.
- [14] 王西琴,张远,张艳会. 渭河上游天然径流变化及其自然与人为因素影响贡献量[J]. 自然资源学报, 2006, 21(6): 981 - 990.
- [15] 王雁林,王文科,杨泽元. 陕西省渭河流域生态环境需水量探讨[J]. 自然资源学报, 2004, 19(1): 69 - 78.
- [16] 郭红娟. 浅析渭河水源水质变化对交口抽渭灌区的影响[J]. 陕西水利, 2013, (5): 163 - 164.
- [17] Stewart J I, Hagan R M, Pruitt W O, et al. Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil[R]. Logan: Utah Water Research Laboratory, 1977.
- [18] Li Yalong, Cui Yuanlai, Li Yuanhua. Advancement of research on crop water - nitrogen production function[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 37(6): 704 - 710.
- [19] Zhang H J. Field crop water - yield models and their applications[J]. Chinese Journal of Eco-agriculture, 2009, 17(5).
- [20] 赵娟. 陕西省宝鸡市水资源价值研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2008.

(上接第226页)

- [9] Lindholm U S, Yeakley L M, Nagy A, et al. The dynamic strength and fracture properties of dresser basalt[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 1974, 11(5): 181 - 191.
- [10] Okubo S, Fukui K, Qi Qingxin. Uniaxial compression and tension tests of anthracite and loading rate dependence of peak strength[J]. International Journal of Coal Geology, 2006, 68(3-4): 196 - 204.
- [11] Alam M S, Chakraborty T, Matsagar V, et al. Characterization of Kota sandstone under different strain rates in uniaxial loading[J]. Geotechnical and Geological Engineering, 2015, 33(1): 143 - 152.
- [12] 臧绍先,魏荣强. 应变率对Westerly花岗岩强度的影响[C]//. 中国地球物理学会第二十届年会论文集, 2004.
- [13] Qian Qihu, Qi Chengzhi, Wang Mingyang. Dynamic strength of rocks and physical nature of rock strength[J]. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2009, 1(1): 1 - 10.
- [14] Qi Chengzhi, Wang Mingyang, Qian Qihu. Strain - rate effects on the strength and fragmentation size of rocks[J]. International Journal of Impact Engineering, 2009, 36(12): 1355 - 1364.
- [15] Li Yanrong, Huang Da, Li Xián. Strain rate dependency of coarse crystal marble under uniaxial compression: strength, deformation, and strain energy[J]. Rock Mechanics And Rock Engineering, 2014, 47(4): 1153 - 1164.
- [16] 中华人民共和国建设部. GB/T 50266 - 2013 工程岩体试验方法标准[S]. 北京:中国计划出版社, 2013.