

基于河道生态基流保障的灌区农业补偿机制研究 ——以渭河干流宝鸡段为例

张 倩¹, 李怀恩¹, 高志玥^{1,2}, 成 波¹, 贾斌凯¹, 党 菲¹

(1. 西安理工大学 西北旱区生态水利工程国家重点实验室,陕西 西安 710048 2. 黄河水利委员会上游水文水资源局,甘肃 兰州 730000)

摘要:针对非汛期河道生态基流保障引起的农业灌溉用水短缺问题,定量计算其对灌区农业造成的直接经济损失和间接社会影响,并从补偿主体、补偿额度与补偿标准、补偿方式等方面进行探讨,从而构建相应的生态补偿机制。以保障渭河干流宝鸡段河道生态基流进行实例研究,结果表明:基于生态基流保障的灌区农业损失(农业生产损失、社会保障影响和社会稳定影响)可以作为不同生态基流调控值下的生态补偿额度;渭河干流宝鸡段河道生态基流保障补偿的主体为陕西省政府、宝鸡市和咸阳市政府,客体为灌区受损农户;基于灌区农业总损失的补偿标准在3.93~9.94元·m⁻³之间;提出资金补偿、政策补偿和项目补偿三种补偿方式,具体实践中可以通过建立农业生态补偿资金、给予农业优惠政策、加大农田水利设施建设等方式来实施,以促进灌区农业的可持续发展。

关键词:河道生态基流保障;灌区农业;生态补偿机制;渭河干流宝鸡段

中图分类号:S181.4; X24 **文献标志码:**A

Study on agricultural compensation mechanism based on river flow protection for basic ecological demand in irrigation district —Baoji section of the Weihe River as an example

ZHANG Qian¹, LI Huai-en¹, GAO Zhi-yue^{1,2}, CHENG Bo¹, JIA Bin-kai¹, DANG Fei¹

(1. State Key Laboratory of Eco-Hydraulic Engineering in Arid Area, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China; 2. Upstream Hydrology and Water Resources Bureau, Yellow River Conservancy Commission of the Ministry of Water Resources, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: Due to the shortage of water for agricultural irrigation in non-flood seasons caused by river flow protection for basic ecological demand, we quantitatively studied the direct economic losses and indirect social impacts on agricultural production in the irrigation district, and also investigated responsible body, object, quota, standard, and means of the compensation in order to establish rational ecological compensation mechanism. The Baoji section of the Weihe river was taken as an example. The results showed that the agricultural losses including agricultural production losses and social security and stability impacts in the irrigation district due to the ecological basic flow protection can be considered as an ecological compensation. The main body for providing compensation were Shaanxi provincial government, Baoji and Xianyang municipal governments. The receivers of the compensation were farmers impacted in the irrigation district. The compensation standard based on the total losses of irrigation district was between 3.93 and 9.94 yuan · m⁻³ water. In order to promote the sustainable development in the irrigation district, three types of compensation methods, cash compensation, policy compensation, and project compensation, were established. The specific practice were carried out by establishing agricultural ecological compensation funds, giving preferential agricultural policy, and increasing the investment in irrigation infrastructure and water conservancy facilities, etc.

Keywords: river flow protection for basic ecological demand; irrigation district agriculture; ecological com-

pensation mechanism; Baoji section of the Weihe River

近年来,社会经济持续发展进程中不合理的水资源利用对水生态系统健康造成了严重威胁,尤以我国北方地区突出,枯水期尖锐的水资源矛盾使这一问题更具普遍性,如黄、淮、海、辽四大流域的水污染问题十分突出,江河断流、湖泊萎缩、水生物种减少、生态环境退化等问题日益明显,淡水生态系统功能呈现“局部改善,整体退化”的态势^[1],究其原因,是未能协调好生态环境与水资源的相互作用和关系。要使生态环境朝着良性循环的方向发展,必须改变当前的用水结构,充分合理考虑生态环境对水的需求,并适当地给河流配置一定的生态基流,使河道在满足自身需求的前提下再为河道外供水,这对于恢复和促进河流生态环境的改善和健康发展十分重要^[2]。渭河流域是我国西部经济欠发达地区水资源贫乏、污染严重、多泥沙河流的典型代表。宝鸡峡等大型灌区的引水,严重挤占了渭河宝鸡段河道内生态基流,并产生了一系列水生态环境问题^[3]。

生态基流作为河道生态需水的一部分,随着生态基流价值定量分析研究的快速发展,人们渐已认识到它的重要性。但在非汛期等水资源短缺条件下,河道来水量有限,生态基流难以满足,因此有关学者对河道生态基流保障问题展开了研究。林启才等^[4]根据渭河干流宝鸡段的实际情况,提出了以农业灌溉节水、区域调水与有效管理和政策相结合的保障河道生态基流的具体措施。周洋等^[5]构建了渭河宝鸡段水资源综合管理模型,通过模型调控分析得出了保障该河段河道内生态基流的最佳方案。高凡等^[3]建立了基于河道生态基流保障的水资源调控模型、调控规则和调控方案集,对渭河宝鸡段不同水平年不同来水与需水情形下基于河道非汛期生态基流保障的水资源调控结果进行了分析。朱磊等^[6]建立了渭河关中段水质水量响应关系计算程序,为枯水期生态基流保障及水质改善提供了技术支持。王宏杰等^[7]探讨了宝鸡峡灌区用水结构变化对渭河生态基流的影响状况,提出了基于生态基流保障的灌区农业节水措施及水资源联合调度方式。在有限的水资源条件下,要保障河道生态基流,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^[8]。农业用水作为流域最大的用水户,主要用于农业灌溉,水量短缺会给灌区造成一定的损失。生态补偿作为一种新型的环境管理制度和重要的生态环境经济政策,在协

调生态环境保护中的各种利益关系、维护社会公平等方面效果日益显著^[9]。因此,要在保障河道生态基流的同时维护灌区的利益,进行相应的生态补偿研究很有必要。Qureshi 等^[10]计算了澳大利亚 Murray Basin 水资源管理中保障生态用水造成的农业机会成本。Sisto^[11]计算了保障莫斯科北部 RioConchos 流域下游 Chihuahua 沙漠生态需水的农业补偿标准。Malano 等^[12]采用残差法计算了印度 Krishna 流域与澳大利亚 Murray-Darling 流域农业用水短缺造成的经济损失量。Jones 等^[13]运用随机动力过程模型计算了农业灌溉用水转移到生态用水产生的农业经济损失。庞爱萍等^[14]运用水分生产函数模型计算了保障黄河口生态需水造成的山东引黄灌区的农作物损失,确定了对冬小麦、夏玉米种植户不同等级的生态补偿标准。罗万云等^[15]采用机会成本法计算了保证塔里木河干流生态用水而限制种植业发展需付出的生态补偿标准。

已有研究大多针对的是流域水资源管理中保障生态需水造成的农业经济损失和补偿标准问题,而对补偿主体、补偿方式等未能深入探讨,同时有关生态基流的研究大多集中于概念、计算方法、价值及保障等内容,缺乏对河道生态基流保障造成传统用水户的损失及补偿机制研究。渭河生态环境健康对陕西关中地区社会经济发展至关重要,因此,本文以渭河干流宝鸡段河道生态基流保障引起的农业灌溉用水短缺问题为例,运用生态补偿手段科学协调河道生态基流保障与灌区之间的利益关系,建立相应的生态补偿机制,以期推动渭河河道生态基流保障工作的持续开展和日益完善,同时为进一步做好渭河流域水生态文明建设提供支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

渭河是黄河的最大一级支流,发源于甘肃省渭源县鸟鼠山,经陇东高原、天水盆地、关中平原,至潼关港口汇入黄河。其中,宝鸡段是渭河由山区河流转向平原河流的过渡段,属渭河中游段,西起林家村宝鸡峡引渭渠,东至扶眉与杨陵交界,全长 224 km。宝鸡峡灌区地处关中西部,东西长 180 km,南北平均宽 14 km,分为塬上、塬下两大灌溉系统。其中,塬上灌区从宝鸡市林家村渠首引渭河水,设计引水流量 $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,灌溉面积 12.8 万 hm^2 ,该灌区引水导致渭河干流林家村河段水量减少^[16],造成渭

河干流宝鸡段河道生态基流得不到保障,严重制约了地区河流的健康发展。

渭河宝鸡段的林家村水文站位于宝鸡峡灌区引水灌溉渠首,水文站同时监测宝鸡峡引水渠流量(宝鸡峡渠)和引水后渭河干流流量(林家村三),所以林家村(三)站的水文数据可以直接反映渭河干流宝鸡段河道生态基流的变化情况^[17]。

1.2 研究方法

1.2.1 基于河道生态基流保障的缺水量计算方法

基于生态基流保障的河道水量,是指现状引水后河道剩余水量能够满足生态基流调控值,当不能满足时,应对用水部门(农业、工业、引水式水电站等)减少供水量。在确定各用水部门供水减少量的基础上,计算基于生态基流保障的灌区减少的农业灌溉引水量。在灌区农业水资源供大于需的情况下,为保障河道生态基流而减少的这部分引水量并不一定会引起农业损失;供小于需时,减少的这部分引水量一定会引起农业损失。因此,基于生态基流保障的灌区农业灌溉用水短缺量(Q_{DAW})一般需要在灌区供需水量平衡分析的基础上确定。

以月为单位,计算断面来水量(W)与已经确定的流域下游断面生态基流调控值(W_{EBF})的差值,不计盈余水量(两者之差 ≥ 0),将短缺量(差值为负)累加求和取绝对值,即可得到基于生态基流保障的河道缺水量,即河道生态基流短缺量;采用德尔菲法确定农业供水减少量的权重,进而确定基于生态基流保障的灌区减少的农业灌溉引水量,计算公式为:

$$W_{IS} = W_{RS} \times \alpha \times \beta \times k \quad (1)$$

式中, W_{IS} 为基于生态基流保障的灌区减少的农业灌溉引水量(万 m³), W_{RS} 为河道生态基流短缺量(万 m³), α 为农业供水减少量的权重, β 为分配给农业灌溉的用水比例; k 为灌溉水利用系数。

根据 W_{IS} 值,结合灌区供需水量平衡分析,确定基于生态基流保障的灌区农业灌溉用水短缺量。

1.2.2 农业损失计算方法 (1)直接经济损失:农业灌溉用水短缺将直接造成灌区农作物减产,影响地区农业生产活动,农户收入减少,可以根据流域地区农业灌溉用水效益计算这部分损失。(2)间接社会影响:①社会保障,灌溉用水短缺致使农业不景气,农业生产所需劳动力减少,农村剩余劳动力增多,加重社会保障负担,可以通过灌溉农田与旱地吸纳劳动力人数的差值与这部分就业人口失业时需要的最低生活保障费用计算这部分影响^[18];②社会稳定,灌溉用水短缺造成农作物产量和质量

下降,可能不利于保障地区或国家的粮食安全,影响社会稳定,可以根据粮食供需价值量差额计算这部分影响,即单方水承担的粮食供需价值量差值^[19]。计算公式分别为:

$$L_{AP} = b_{awu} Q_{DAW} \quad (2)$$

$$I_{SSE} = \frac{Q_{DAW}}{Q_{CIF}} N_{ALF} S_u r \quad (3)$$

$$I_{SST} = \frac{|V_{GS} - V_{GD}|}{Q_{AWC}} Q_{DAW} \quad (4)$$

$$V_{GS} = O_{TG} \times P_{AG} \quad (5)$$

$$V_{GD} = C_u \times P_u + C_r \times P_r \quad (6)$$

式中: L_{AP} 为生态基流保障造成的农业生产损失(万元), I_{SSE} 为生态基流保障造成的社会保障影响(万元), I_{SST} 为生态基流保障造成的社会稳定影响(万元), b_{awu} 为单方水农业灌溉效益(元·m⁻³), Q_{DAW} 为基于生态基流保障的灌区农业灌溉用水短缺量(万 m³), Q_{CIF} 为农田综合灌溉定额(m³·hm⁻²), N_{ALF} 为灌溉农田与旱地相比吸收的农业劳动力差值(人·hm⁻²·a⁻¹), S_u 为城市居民最低社会保障标准(元·人⁻¹·年⁻¹), r 为农村居民生活消费开支与城市居民生活消费开支的比值, V_{GS} 为地区粮食供给价值量(万元·a⁻¹), V_{GD} 为地区粮食需求价值量(万元·a⁻¹), Q_{AWC} 为地区农业灌溉用水量(万 m³·a⁻¹), O_{TG} 为粮食总产量(万 t), P_{AG} 为粮食平均价格(元·kg⁻¹), C_u 、 C_r 分别为城镇居民和农村居民人均粮食消费额(元·人⁻¹·a⁻¹), P_u 、 P_r 分别为城镇人口和农村人口(万人)。

1.2.3 生态补偿机制 生态补偿机制主要包括补偿主体与客体、补偿额度与补偿标准、补偿方式等,本文将结合后面的实例计算分析探讨。

2 结果与讨论

2.1 基于河道生态基流保障的缺水量计算

杨涛^[20]采用流速法、最小月平均流量法和 Tenant 法得到渭河宝鸡市区段河道生态基流流量分别为 13.99、6.00 m³·s⁻¹ 和 6.97 m³·s⁻¹, 经过合理性分析, 确定渭河宝鸡市区段河道生态基流流量的结果, 即林家村(三)站断面平均流量应达到 6 m³·s⁻¹; 徐宗学等^[21]采用 Tenant 法计算的 30% 年平均流量(最佳状态)的推荐值为 8.48 m³·s⁻¹, 将其取整(8 m³·s⁻¹)作为林家村(三)站的生态基流推荐值; 2002 年《陕西省渭河流域综合治理规划》^[22]报告中规定渭河干流林家村(三)站断面非汛期(11 月~翌年 6 月)的低限生态环境流量应不低于 10 m³·s⁻¹,

故本文将渭河干流宝鸡段林家村(三)站断面河道生态基流调控值分别设定为 $6\text{、}8\text{、}10\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ 。同时考虑到非汛期是保障河道生态基流的关键期,因此,本文只分析计算该时段的基流保障补偿问题。

宝鸡峡塬上灌区从林家村渠首大量引水,造成该河段河道生态基流难以保障,而灌区引水主要用于农业灌溉和魏家堡水电站发电,对工业、生活等影响很小。魏家堡水电站是宝鸡峡管理局开发水能,调整产业结构,培植新的经济增长点,发展水利经济的重要工程^[23]。因此,本文假定在该河段河道生态基流保障中不改变魏家堡水电站的发电引水量,主要研究其对灌区农业造成的影响,取 $\alpha=1$, $\beta=1$;为便于计算, k 均取0.54。根据1999—2014年林家村(三)站的流量资料,计算不同生态基流调控值下的河道生态基流短缺量和灌区减少的农业灌溉引水量。考虑到该灌区属于干旱半干旱气候条件下的水源供水欠缺地区^[24],存在着严重的农田灌溉水量供需矛盾^[25],而非汛期河道生态基流的保障要求更会加剧灌区农业水资源供需矛盾,且受现有资料条件限制,因此,本文近似假设基于生态基流保障的灌区减少的农业灌溉引水量即为基于生态基流保障的灌区农业灌溉用水短缺量,计算结果如表1所示。

由表1可知,同一年份,生态基流调控值越大,

河道生态基流短缺量越多;同一生态基流调控值,河道生态基流短缺量年际差异较大,分析其原因,是由于断面来水的年际差异且来水年内分配不均;基于生态基流保障的灌区农业灌溉用水短缺量随河道生态基流短缺量的变化而变化。

2.2 农业损失计算

渭河干流宝鸡段主要向宝鸡市和咸阳市农业供水,沿用成波^[26]计算的渭河干流关中段各市的单方水农业灌溉效益研究成果,将宝鸡市和咸阳市的数值取平均值,作为渭河干流宝鸡段的 b_{awu} 值;冬小麦和夏玉米是渭河宝鸡段的优势作物,由于非汛期保障河道生态基流主要会对冬小麦的生长造成影响, Q_{CIF} 取冬小麦的灌溉定额,这也符合国家保障粮食安全的目标要求(面积稳定和保障功能显著的粮食作物更适宜作为补偿标准计算的依据)^[14];根据《陕西统计年鉴》^[27]中农业从业人员、农业从业者人均耕地面积等数据分析,取 N_{ALF} 为1人· $667\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$;根据《陕西统计年鉴》^[27]中城镇居民最低生活保障收入数据分析,取 S_u 为600元· $\text{人}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$;为便于计算, P_{AG} 均取2.4元· kg^{-1} ;鉴于数据的可获得性,宝鸡峡塬上灌区控制区域城镇居民和农村居民的生活消费开支均取陕西省的数据,则基于河道生态基流保障的灌区农业损失计算结果见表2。

表1 基于河道生态基流保障的缺水量

Table 1 Water shortage estimated based on river flow protection for basic ecological demand

年份 Year	河道生态基流短缺量/亿 m^3 Water shortage for basic ecological basic demand/ 10^9 m^3			农业灌溉用水短缺量/亿 m^3 Water shortage for agricultural irrigation/ 10^9 m^3		
	$6\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	$8\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	$10\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	$6\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	$8\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	$10\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
2000	0.93	1.30	1.67	0.50	0.70	0.90
2001	1.11	1.53	1.95	0.60	0.82	1.05
2002	0.42	0.65	0.98	0.23	0.35	0.53
2003	1.18	1.60	2.01	0.64	0.86	1.09
2004	0.71	1.07	1.44	0.38	0.58	0.78
2005	0.59	0.85	1.11	0.32	0.46	0.60
2006	0.26	0.52	0.79	0.14	0.28	0.43
2007	0.88	1.30	1.71	0.47	0.70	0.93
2008	0.77	1.09	1.48	0.42	0.59	0.80
2009	0.75	1.12	1.49	0.41	0.61	0.80
2010	0.95	1.32	1.68	0.51	0.71	0.91
2011	1.04	1.46	1.88	0.56	0.79	1.02
2012	0.34	0.60	0.87	0.18	0.32	0.47
2013	0.65	0.92	1.20	0.35	0.49	0.65
2014	0.58	0.84	1.13	0.31	0.45	0.61
平均值 Mean	0.74	1.08	1.43	0.40	0.58	0.77

注: $6\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $8\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $10\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ 指生态基流调控值。下同。

Note: $6\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, $8\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, and $10\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ refer to the basic flow control value. The same below.

表 2 基于河道生态基流保障的灌区农业损失/亿元

Table 2 Agricultural losses in irrigation district due to basic flow protection for basic ecological demand/10⁹ Yuan

年份 Year	农业生产 Agricultural production			社会保障 Social security			社会稳定 Social stability		
	6 m ³ · s ⁻¹	8 m ³ · s ⁻¹	10 m ³ · s ⁻¹	6 m ³ · s ⁻¹	8 m ³ · s ⁻¹	10 m ³ · s ⁻¹	6 m ³ · s ⁻¹	8 m ³ · s ⁻¹	10 m ³ · s ⁻¹
2000	1.08	1.51	1.94	0.96	1.34	1.72	1.67	2.33	2.99
2001	1.38	1.91	2.43	1.12	1.55	1.97	1.85	2.55	3.24
2002	0.54	0.83	1.25	0.41	0.64	0.96	0.84	1.30	1.96
2003	1.55	2.10	2.65	1.07	1.45	1.83	2.80	3.80	4.79
2004	1.34	2.03	2.72	0.65	0.98	1.32	1.97	2.99	4.01
2005	1.29	1.86	2.44	0.59	0.85	1.12	1.41	2.03	2.66
2006	0.58	1.18	1.80	0.26	0.53	0.81	0.74	1.49	2.28
2007	2.53	3.73	4.94	0.94	1.39	1.84	1.78	2.62	3.47
2008	2.75	3.89	5.30	0.83	1.17	1.60	2.00	2.84	3.86
2009	2.72	4.03	5.35	0.83	1.24	1.64	2.22	3.29	4.37
2010	4.20	5.83	7.45	1.08	1.49	1.91	3.22	4.46	5.70
2011	5.36	7.51	9.66	1.20	1.68	2.17	2.49	3.49	4.48
2012	1.80	3.16	4.62	0.40	0.70	1.03	0.94	1.65	2.41
2013	3.66	5.11	6.67	0.90	1.26	1.64	1.67	2.34	3.06
2014	3.43	4.98	6.71	0.84	1.22	1.65	1.47	2.13	2.87
平均值 Mean	2.28	3.31	4.39	0.81	1.17	1.55	1.80	2.62	3.48

由表 2 可知, 河道生态基流保障造成的各项损失值差异较大, 其受基于生态基流保障的灌区农业灌溉用水短缺量和灌区单方水价值量的综合影响, 分析得到灌区单方水社会保障价值量最小, 单方水农业灌溉效益次之, 单方水社会稳定价值量最大, 且各项价值量呈逐年增长趋势。

2.3 生态补偿机制

2.3.1 补偿主体与客体 主客体的界定是解决“谁补偿谁”的问题, 根据各利益相关方在河道生态基流保障中的利益关系和受影响程度, 辨识补偿主体与客体。①补偿主体, 按照“谁受益, 谁补偿”的原则, 补偿主体即为河道生态基流得到保障的受益者。考虑到河流生态服务具有明显的外部性^[28], 则河流所涉区域内的整个社会公众均为基流保障的受益者。而区域相关政府作为一定区域公众利益的代表并对辖区内生态环境建设和经济发展负有不可推卸的责任^[29], 因此, 确定河流所涉区域具有代表性的地方政府为河道生态基流保障补偿的主体。渭河干流宝鸡段主要向宝鸡市和咸阳市农业供水, 参照生态补偿实践, 凡是涉及到不同的行政单元, 基本上都需要在上级政府部门的主导和指导下进行。因此, 该河段河道生态基流保障补偿的主体主要为陕西省政府、宝鸡市和咸阳市政府。②补偿客体即是指“补偿给谁”。水资源短缺地区的河道来水量有限, 无法同时满足河道生态基流与当地生产用水的需求。保障河道生态基流势必会在一定程度上影响地区生产用水, 进而给其带来一定的损失, 对其合理用水的损失进行补偿是社会发展的必然要求。因此, 确定河道生态基流保障中的相关

损失方为补偿客体, 一般包括当地的灌区管理单位、灌区农户、渠系上的水电站等。在渭河干流宝鸡段河道生态基流保障中, 本文假定不改变魏家堡水电站的发电引水量, 由宝鸡峡塬上灌区减少引水来满足河道生态基流的保障要求, 灌溉用水短缺造成灌区农业生产损失; 农业不景气, 农业生产所需劳动力减少, 农村剩余劳动力增多; 农产品产量和质量下降, 不利于保障地区的粮食安全; 灌区农产品价格因作物减产而产生波动, 影响市民的消费行为; 农业灌溉用水减少, 灌区管理局的水费收入必然减少等。农产品价格的波动, 政府可以进行价格调控, 市民也可以选择替代品; 宝鸡峡灌区的农业灌溉水费偏低, 灌区管理局的水费收入损失相比于灌区农户的损失很小, 因此, 本文没有考虑这部分损失, 则确定补偿客体主要为灌区农户。另一方面, 确保河道一定量的生态基流是一项客观的自然需求, 灌区农户自身也有保护资源与环境的责任和义务, 因此, 其在接受补偿的同时也应承担起保障河道生态基流的责任。

2.3.2 补偿额度与补偿标准 本文所说的补偿额度指的是补偿量, 补偿标准指的是单方水的补偿量。基于河道生态基流保障的农业生态补偿体现了水资源短缺条件下, 河道生态基流与农业用水之间存在矛盾时, 牺牲部分农业灌溉用水来保护河流生态健康。农业灌溉用水短缺限制了灌区农业的发展, 对农户造成了一定的损失, 因此, 生态补偿额度应能满足基流保障对其造成的损失值, 这样才能激励灌区农户科学制定合理的灌溉计划, 提高保障河道生态基流的主动性、积极性; 造成灌区农业损

失的根本原因是保障河道生态基流,若按基于河道生态基流保障的灌区农业灌溉用水短缺量确定相应的补偿标准,将无法满足河道生态基流的保障要求,因此,生态补偿标准应根据得到保障的生态基流量,即河道生态基流短缺量来计算。本文根据河道生态基流保障造成的灌区农业总损失确定了相应的补偿额度和补偿标准,计算公式如式(7),计算结果见图1。

$$S = \frac{C}{W_{RS}} = \frac{L_{AP} + I_{SSE} + I_{SST}}{W_{RS}} \quad (7)$$

式中,C为补偿额度(万元);S为补偿标准($\text{元} \cdot \text{m}^{-3}$)。

由图1可知,补偿额度年际差异较大,补偿标准随年际变化逐渐增加,取值在 $3.93\sim9.94 \text{ 元} \cdot \text{m}^{-3}$ 之间。本文的生态补偿额度主要是针对河道生态基流保障引起的,所以单方水的补偿额度,即补偿标准也就是河道生态基流价值。目前,有关河道生态基流价值的研究结果很少,本课题组借鉴生态系统服务价值法估算了2008年渭河宝鸡段河道生态基流价值为 $7.12 \text{ 元} \cdot \text{m}^{-3}$ ^[30],本文计算的2008年的补偿标准为 $7.26 \text{ 元} \cdot \text{m}^{-3}$,与之相接近;徐梅梅等^[29]采用机会成本法、影子工程法和分析综合法估算了2012年渭河宝鸡段河道生态基流价值分别为 5.60 、 8.14 、 $9.30 \text{ 元} \cdot \text{m}^{-3}$,其中,机会成本法是根据经济效益最大近似代替总效益最大来计算的,反映的是生态基流的机会价值;影子工程法是根据单位库容的年投入成本作为供水的替代工程来计算的,反映的是生态基流得不到保障时造成的最低经济损失;分析综合法是根据河道生态基流所具有的功能来计算的,反映的是生态基流的生态服务功能价值,本文计算得到的2012年的补偿标准为 $9.24 \text{ 元} \cdot \text{m}^{-3}$,

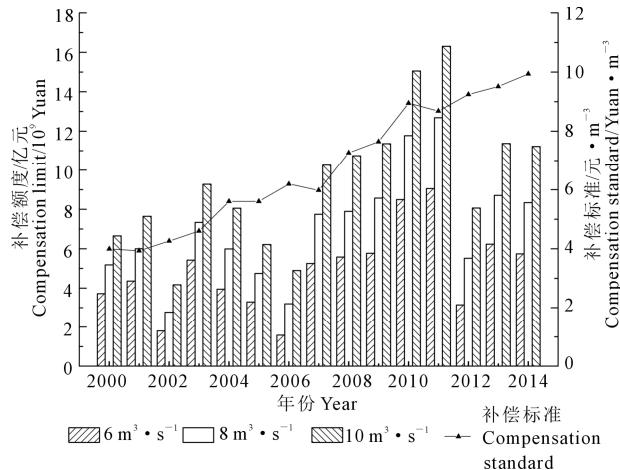


图1 基于河道生态基流保障的补偿额度和补偿标准

Fig.1 Compensation limit and standard based on flow protection for basicecological demand

与分析综合法计算得到的河道生态基流价值相比略小;本文计算的补偿标准平均值为 $6.76 \text{ 元} \cdot \text{m}^{-3}$,在文献[30]、[31]计算的河道生态基流价值范围内,因此该计算结果具有一定的合理性。

实际生产中灌区农户的农业收入与计算的补偿额度相比较小,若按该计算结果实施补偿,不仅会增加补偿主体的资金压力,而且会使农户产生依赖心理,懒于农耕生产,只想靠补偿获利。因此,资金补偿应主要考虑河道生态基流保障造成的农业直接经济损失,间接影响及损失可通过其他补偿方式来实现,从而达到保障河道生态基流与维护灌区农户利益的双向激励效果。

2.3.3 补偿方式 (1)资金补偿,补偿额度和补偿标准的定量化、货币化,为实施资金补偿提供了依据,但其均为理论计算值,实践中往往很难被接受。考虑到通过补偿主体与对象双方“讨价还价”达成协议的补偿标准要比根据理论价值估算确定的补偿标准更加可行^[32],因此,具体的补偿标准可由灌区农民用水户协会代表与地方政府代表博弈和协商确定。陕西省、宝鸡市和咸阳市政府应设专项资金列入财政预算,共建河道生态基流保障农业补偿金;引导社会公众参与到河道生态基流保障补偿中并筹集资金。(2)政策补偿,宝鸡峡灌区目前的农业种植结构为“粮食作物+经济作物+其他”,2014年粮食作物播种面积约占总播种面积的77.78%,经济作物约占3.77%,其他约占18.45%。若在保证地区粮食消费水平和粮食自给率的条件下,通过减少耗水量大、收益低的粮食作物,扩大耗水量小、收益高的经济作物等方式调整作物种植结构,即可减少灌溉水量,从而有利于保障河道生态基流。因此,陕西省、宝鸡市和咸阳市政府应加强对地区的关注力度,给予灌区一定的农业优惠政策,如采用低息或无息贷款的方式支持农业发展等,以鼓励农户在规划作物布局时,采取粮改经等方式调整作物种植结构。(3)项目补偿,宝鸡峡灌区目前因工程、技术、管理等原因,渠系水利用系数和灌溉水利用系数偏低,水资源利用率不高。若通过加强灌区各级渠道衬砌力度和田间工程配套速度,提高基本农田水利化,提高灌溉水利用率,则在灌区农业灌溉用水需求一定时,即可减少引水量,从而有利于保障河道生态基流。因此,陕西省、宝鸡市和咸阳市政府应调整财政支出结构,将农田水利设施建设资金纳入财政年度预算,优先安排,并鼓励和吸引民间资本、金融资本投资农田水利工程建设。

短期内河道生态基流保障补偿的实施应以资

金、政策和项目补偿为主,但这些均为“输血型”补偿方式,不能从根本上解决问题。随着地区社会经济发展及渭河生态环境状况的改善,应侧重于智力补偿等“造血型”补偿方式,如向灌区培养、输送各方面的技术人才和管理人才;开展智力服务和教育,为农户提供无偿技术咨询和指导;开展多层次、多形式的劳动职业技能培训等,使灌区自身形成造血机能,这将更有利于河道生态基流保障工作的持续开展和日益完善。

3 结 论

1)根据非汛期河道生态基流保障引起的农业灌溉用水短缺量,从直接经济损失和间接社会影响两方面定量计算了其对灌区农业造成的损失,以此作为不同生态基流调控值下的生态补偿额度,为补偿标准的确定提供定量依据。

2)渭河干流宝鸡段河道生态基流保障补偿的主体为陕西省政府、宝鸡市和咸阳市政府,客体为灌区农户;基于灌区农业总损失的补偿标准在 $3.93\sim9.94\text{ 元}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间;提出资金补偿、政策补偿和项目补偿三种补偿方式,具体实践中可以通过建立农业生态补偿资金、给予农业优惠政策、加大农田水利设施建设等方式来实施,以促进灌区农业的可持续发展。

基于河道生态基流保障的灌区农业补偿机制的建立,能够为流域地区有限水资源的利用、管理和规划提供支持。但本文在计算河道生态基流保障造成的灌区农业损失时,没有考虑相应的生态影响,且生态补偿机制中对补偿资金的分担问题未能深入探讨,因此,还有待进一步研究。

参 考 文 献:

- [1] 王浩,王建华.中国水资源与可持续发展[J].中国科学院院刊,2012,27(3):352-358.
- [2] 李怀恩,岳思羽,赵宇.河道生态基流价值研究进展[J].水利经济,2015,33(4):6-9.
- [3] 高凡,黄强,张洪波.基于河道生态基流保障的渭河宝鸡段水资源调控研究[J].干旱区资源与环境,2012,26(6):149-154.
- [4] 林启才,李怀恩.宝鸡峡引水对渭河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.
- [5] 周洋,周孝德,张新华.渭河宝鸡段生态基流保障研究[J].水力发电学报,2012,31(5):56-62.
- [6] 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.
- [7] 王宏杰.保障渭河生态基流的宝鸡峡灌区节水调控技术研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2017.
- [8] 张倩,李怀恩.渭河关中段生态基流保障对灌区的影响及补偿研究[J].水资源与水工程学报,2016,27(6):227-231.
- [9] 陈军,谭显英,陈祖军.太湖流域省际边界河湖治理生态补偿机制研究[J].水资源保护,2012,28(2):85-90.
- [10] 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, 2007, 51(3): 283-303.
- [11] Sisto N P. Environmental flows for rivers and economic compensation for irrigators[J]. Journal of Environmental Management, 2009, 90(2):1236-40.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 罗万云,卢玉文,陈亚宁.基于保证生态需水的生态补偿标准研究——以塔里木河干流为例[J].节水灌溉,2016(5):71-74.
- [16] 林启才.渭河关中段生态基流诊断与价值研究[D].西安:西安理工大学,2013.
- [17] 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.
- [18] 孙新章,周海林,谢高地.中国农田生态系统的服务功能及其经济价值[J].中国人口·资源与环境,2007,17(4):55-60.
- [19] 任平,吴涛,周介铭.耕地资源非农化价值损失评价模型与补偿机制研究[J].中国农业科学,2014,47(4):786-795.
- [20] 杨涛.渭河宝鸡市区段生态基流及调控初步研究[D].西安:西安理工大学,2008.
- [21] 徐宗学,彭定志,庞博,等.河道生态基流理论基础与计算方法[M].北京:科学出版社,2016.
- [22] 吴建民.陕西省渭河流域综合治理规划简介[C]//全球水伙伴中国陕西省小伙伴协会成立大会暨水论坛论文集.西安:陕西省小伙伴协会,2004.
- [23] 王寿茂,刘贵雄.从魏家堡水电站建设看业主的主导作用[J].水利水电技术,2000,31(9):31-33.
- [24] 张亚平.陕西水问题研究[M].西安:陕西科学技术出版社,2008.
- [25] 张丽,魏晓妹,赵凤伟,等.宝鸡峡灌区农田灌溉水量供需平衡分析[J].人民黄河,2007,29(4):46-48.
- [26] 成波.基于河道生态基流保障的经济损失补偿量研究[D].西安:西安理工大学,2017.
- [27] 陕西省统计局.陕西统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2000-2014.
- [28] 郑海霞,张陆彪.流域生态服务补偿定量标准研究[J].环境保护,2006(1a):42-46.
- [29] 崔琰.黑河流域生态补偿机制研究[D].兰州:兰州大学,2010.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] 王修林,李克强.渤海主要化学污染物海洋环境容量[M].北京:科学出版社,2006.