

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2023.04.005

<https://xuebao.xaut.edu.cn>

引文格式:刘政,汪妮,余龙,张昕,汪泉熹. 地下水超采区种植结构调整下的生态补偿激励机制研究[J]. 西安理工大学学报, 2023,39(4):497-505.

LIU Zheng, WANG Ni, YU Long, ZHANG Xin, WANG Quanxi. Study on incentive mechanism for ecological compensation in the adjustment of planting structure in groundwater overdraft area[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2023, 39(4): 497-505.

地下水超采区种植结构调整下的生态补偿激励机制研究

刘政¹, 汪妮¹, 余龙², 张昕², 汪泉熹¹

(1. 西安理工大学 西北旱区生态水利国家重点实验室, 陕西 西安 710048;

2. 陕西省引汉济渭工程建设有限公司, 陕西 西安 710024)

摘要: 为研究有效激励地下水超采区农户主动参与地下水压采的生态补偿激励机制,解决近年来农户在参与地下水压采措施施行过程中消极和地下水压采效果不显著等问题,把调节径流、涵养水源功能价值模型改进并建立地下水压采生态补偿激励模型,并将该模型应用到地下水压采生态补偿激励标准核算中,再结合以成本分析法计算出的生态补偿基础标准得出新的生态补偿标准。以成安县为例,引入干旱指数概念和地下水开采系数改进调节径流、涵养水源功能价值模型,干旱指数客观反映了研究区域降水、气候等因素,地下水开采系数则反映了各乡镇超采程度的差异,改进模型计算确定出了试点年成安县各试点村补偿金在416~634元/亩间浮动。激励机制的加入使得地下水压采区生态补偿标准更具针对性和合理性,为实现地下水压采工作的可持续推进提供了参考。

关键词: 生态补偿; 激励机制; 种植结构调整; 地下水压采; 干旱指数

中图分类号: TV213.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-4710(2023)04-0497-09

Study on incentive mechanism for ecological compensation in the adjustment of planting structure in groundwater overdraft area

LIU Zheng¹, WANG Ni¹, YU Long², ZHANG Xin², WANG Quanxi¹

(1. State Key Laboratory of Eco-hydraulics in Northwest Arid Region of China, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. Hanjiang to Weihe River Valley Water Diversion Project Construction Co. Ltd., Xi'an 710024, China)

Abstract: In order to study the incentive mechanism for ecological compensation for effectively encouraging farmers to take the initiative to participate in restricting groundwater extraction and solve the problems by farmers' negative participation in the implementation of restriction on groundwater extraction measures and the insignificant effect of agricultural measures on restricting groundwater extraction in recent years. An ecological compensation incentive model for restriction on groundwater extraction is established by improving the functional value models of runoff regulation and water conservation, the model is applied to the accounting of ecological compensation incentive standard for restricting groundwater extraction, and a new ecological

收稿日期: 2022-10-23; 网络首发日期: 2023-05-16

网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1294.n.20230515.1446.002.html>

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51979221); 陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(2021JLM-45)

第一作者: 刘政,男,硕士生,研究方向为水文学及水资源。E-mail:1473825389@qq.com

通信作者: 汪妮,女,博士,教授,研究方向为水文学及水资源。E-mail:wangni@xaut.edu.cn

compensation standard is obtained by combining with the ecological compensation basic standard calculated by the cost analysis method. Taking Cheng'an County as an example, the concept of drought index and the groundwater exploitation coefficient are introduced to improve the functional value model for regulating runoff and water conservation. The drought index objectively reflects the precipitation and climate in the study area, while the groundwater exploitation coefficient reflects the difference of over extraction on underground water in each township. The improved model calculates and determines the compensation of each pilot village in Cheng'an County fluctuating between 416 yuan and 634 yuan per mu in the pilot year. The addition of incentive mechanism makes the ecological compensation standard of areas restricted by groundwater extraction more targeted and reasonable, providing a reference for realizing the sustainable advancement of underground water pressure mining work.

Key words: ecological compensation; incentive mechanism; adjustment of planting structure; underground water pressure mining; drought index

华北平原作为我国粮食的重要产区,承担着重要的粮食安全保障作用^[1]。华北平原在地表水资源匮乏的情况下,成本低廉并且引用方便的地下水成为农户的普遍选择^[2],这也是导致农业灌溉用水成为华北平原地下水过度开采的最大原因。面对形势愈加严峻的地下水超采问题,2014年国家在河北省进行地下水超采综合治理试点,地下水超采治理农业措施经过试点发现,调整种植结构措施压采效果最好,调整种植结构措施是酌情减少需要抽取地下水超采区的冬小麦种植面积,用一年一熟作物来替代冬小麦、夏玉米这类一年两熟作物,在减少开采地下水灌溉、保存土壤肥力的同时增强秋粮作物雨热同期的增产潜力^[3]。种植结构调整措施在修复生态环境的同时也造成了当地农户的耕种收益减少,针对这种因生态保护造成保护地各方损益失衡的问题通常以生态补偿的方式解决。我国现行的小麦种植结构调整措施的补偿标准是500元/亩,该补偿标准大致是以实施治理措施前农户的平均亩产量为基础制定的,忽略了农户的补偿主体意愿与农户收益的外界因素影响,没有充分考虑到各级政府经济发展间的差异性与政府支付补偿资金的能力。

关于压采区种植结构调整补偿标准的研究,国内学者在不同角度做了很多探索。例如柳荻等运用单边界二分式和双边界二分式的CVM,对地下水超采区农户的休耕受偿意愿进行了研究,为农户补偿标准的制订提供建议。谢花林等运用问卷调查法、机会成本法与Logistic模型对河北衡水地下水漏斗区农户冬小麦休耕生态补偿标准进行研究,为我国科学合理制定地下水漏斗区耕地轮作休耕政策提供理论依据。徐庆勇等在“双源”分布区利用地下水实测数据,采用模型评估地下水调节径流、涵养水源的生态价值,进一步完善了生态价值评价模型。李继清等^[7]通过构建生态补偿演化博弈模型,来模

拟不同主体间的相关利益冲突,结合实际寻求解决方案,为构建生态补偿机制提供决策依据和思路方法。查阅大量文献可知,目前地下水补偿机制的研究在补偿政策的执行效果和补偿标准的合理性上仍有欠缺,也缺少因地制宜的动态化核算地下水生态补偿的激励机制。以成安县我国现行的小麦种植结构调整措施的补偿标准为例,2014年的农业措施压采目标超额完成,但2016年农业措施压采目标才刚刚达标^[8]。说明随着时间的推移,现有的固定补偿标准不能充分调动压采农户的积极性,不能使压采政策效果扩大化,同时也反映了生态补偿政策缺乏有效的激励机制,使得针对种植结构调整这一措施的生态补偿政策作用有所减弱,并且有朝着与制度设立初衷相反方向发展的趋势。农户是地下水压采的主要贡献者,因此建立地下水压采补偿激励机制,通过奖惩措施来调动农户参与生态补偿的积极性,从而保证生态补偿政策的执行效果^[9]。

农业地下水压采生态补偿激励标准建立的核心问题是地下水生态系统价值的核算。通过确定地下水生态系统价值,从而将农户超额完成的压采量通过水量价值折算作为激励农户的补偿金额^[10]。本文以成安县为例,根据《河北省地下水超采综合治理试点方案(2014年度)》,选取农业压采措施中的种植结构调整作为研究对象,将地下水生态系统服务功能价值测算模型进行改进并用于生态补偿激励标准核算,对地下水超采区种植结构调整补偿标准及其影响因素进行研究,为生态补偿政策的执行提供新思路。

1 研究区域概况与方法

1.1 研究区域概况

本文研究区域成安县是河北省邯郸市下辖县,农业是成安县经济发展中的支柱产业。据成安县

2013年水资源公报,地下水为主要供水水源,占供水总量的近九成,2013年成安县农业用水量 $9.8344 \times 10^7 \text{ m}^3$,农业灌溉占88.77%。现状年地下水实际开采量为 $9.748 \times 10^7 \text{ m}^3$,地下水开发利用程度为174%,超采率达74.3%,属于严重超采^[11]。由于成安县水资源量不足,且全县无地表河流,降水入渗补给远远不够,为生存发展长期超采地下水,导致地下水埋深不断加大、地下水位持续下降。由于浅层地下水位连年下降一直到含水层底板,造成局部含水层干涸,在部分地区形成较大地下漏斗。地下水位下降导致黏土释水,低层压密固结,从而形成地面沉降。水位持续下降还引起地面开裂、裂缝导致管道破裂、道路损坏等危及人们生活生产的地质问题。

成安县农业的主要农作物是小麦和玉米,冬小麦在播种后到拔节前耗水量占全生育期耗水量的35%~40%,需水量远大于这段时期的降水量,为促进丰产稳产大量开采地下水造成地下水超采过度^[12]。针对愈加严重的地下水超采问题,成安县在2014年根据国家政策开始进行地下水超采治理试点,试点初期治理方案主要以农业措施为主,项目采取对农业的种植结构进行调整、引进冬小麦保护性耕作节水技术、小麦春灌节水技术等多种节水技术,

结合传统节水耕作模式与技术型节水措施以减少农业灌溉用水,从而直接减少用于灌溉的地下水超采量。其中调整种植结构项目涉及范围持续增加,从2014年的4000亩,2015年持续补助项目6000亩,一直到2016年新增面积10000亩。调整种植结构后,目标节水量为平均一亩 180 m^3 ,总目标节水量为 $3.60 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。试点期间按照亩均500元的补助标准对压减冬小麦种植面积的农户进行补贴^[8]。这种生态补偿政策与治理地下水超采相结合在我国尚属首次,补偿资金由中央政府和地方政府共同承担。该政策在很大程度上促进了种植结构调整措施的实施,但是随着时间的推移出现了农户复种、地方政府落实不到位等现象。

1.2 数据来源

成安县试点年超采治理中种植结构调整措施压采地下水水量情况见表1。标准化降雨蒸散指数的计算,选用河北省邯郸市邢台气象站1960—2020年的气象数据和水文站降雨量数据。调节、涵养水源功能价值模型中地下水开采潜力系数的计算数据,选用试点年成安县地下水监测报告中成安县各乡镇地下水开采量统计数据 and 浅层地下水资源成果数据,见表2。

表1 成安县试点年种植结构调整措施压采地下水水量情况表

Tab. 1 Cheng'an County pilot year planting structure adjustment measures to suppress groundwater extraction water table

序号	实施地点		面积/亩		目标节水量	总节水量/ 10^4 m^3
	乡(镇)	村(农户)	规划面积	实施面积	/ 10^4 m^3	
1	道东堡乡	周化店村	200	200	3.60	3.92
2	道东堡乡	大堤西村1	687	687	12.37	13.65
3	道东堡乡	大堤西一村	782	782	14.08	15.37
4	道东堡乡	大堤西二村	235	235	4.23	4.53
5	道东堡乡	大堤西三村	95	95	1.71	1.41
6	道东堡乡	大堤西	246	246	4.43	5.22
7	道东堡乡	大堤西村2	1074	1074	19.33	21.48
8	北乡义乡	店上西村	200	200	3.60	3.08
9	北乡义乡	大寨	100	100	1.80	2.20
10	北乡义乡	吕村	73	73	1.31	1.42
11	北乡义乡	庞村	550	550	9.90	9.60
12	漳河店镇	辛集村	500	500	9.00	9.50
13	漳河店镇	西马村	308	308	5.54	5.85
14	漳河店镇	中甘罗村	950	950	17.10	16.50
合计			6000		108	113.73

注:1亩 $\approx 666.667 \text{ m}^2$,下同。

表2 试点年成安县各乡镇地下水开采量统计表

Tab. 2 Groundwater extraction statistics for each township in Cheng'an County in the pilot year

乡镇	面积/km ²	总补给量/ 10 ⁴ m ³	可开采量/ 10 ⁴ m ³	开采量/10 ⁴ m ³			
				合计	浅层水	微咸水	深层水
辛义乡	63.7	889.0	858.0	1 247.2	1 237.2		10.0
柏寺营乡	32.7	448.0	285.0	671.6	670.3		1.4
李家瞳镇	48.7	762.0	565.0	1 007.9	993.0		14.9
漳河店镇	50.3	653.0	120.0	1 110.5	505.1	174.9	430.5
北乡义乡	64.9	890.0	625.0	1 308.2	767.2	177.6	363.4
道东堡乡	67.0	759.0	717.0	1 193.5	1 154.8		38.7
成安镇	53.4	601.0	589.0	1362.7	1 202.5		160.1
商城镇	71.4	851.0	834.0	1 179.0	1 179.0		
长巷乡	32.9	411.0	403.0	643.2	636.9		6.3
全县	485.0	6 264.0	4 996.0	9 724.0	8 346.1	352.5	1 025.4

1.3 研究方法

1.3.1 生态系统服务功能价值法

生态系统服务价值包括生态补偿区自然价值、生态价值和保护后所产生的经济价值,它是人类直接或间接从自然界中得到的价值^[13]。地下水生态系统功能价值的评估需从多角度进行,根据生态经济学、资源经济学等研究成果,评价方法分为直接市场评价法、替代市场评价法、权变评价方法三大类。李山梅^[14]在地下水生态系统价值评估方法研究中总结了六种对地下水生态服务功能价值的测算模型。考虑到地下水的低流动性以及农业地下水的压采主要是对压采水量的核算,与水质、土壤侵蚀、生态效益的联系并不紧密,因此本文对地下水生态价值的核算采用调节径流、涵养水源的功能价值模型。

1.3.2 模型建立

本研究中应用于地下水生态系统价值的调节、涵养水源功能价值模型的计算公式为:

$$V_1 = f \times Q \times C_r \quad (1)$$

式中: f 为当地发展系数; Q 为该区域的地下水资源量; C_r 为贮水成本。

此模型是将超额压采量折算成对农户的激励补偿,而降雨量和温度等因素对农业方面地下水压采有直接影响,因此引入能客观反映降雨量和温度等因素的 SPEI 指数来改进模型。SPEI 指数不仅将降雨作为干旱程度的影响因素,还考虑了温度变化对干旱情况的影响。相较于标准化降水指数(SPI),SPEI 指数对干旱的反映还考虑了蒸散发影响更具实际意义^[15]。

本文研究区域成安县有九个乡镇,且每个乡镇地下水超采程度皆有差异。针对乡镇地下水超采差异,将反映地下水超采程度的地下水开采系数作为

调节参数来改进模型。调节径流、涵养水源功能价值模型加入干旱指数和地下水开采系数两项参数使地下水压采生态补偿激励标准更为客观合理且具有针对性,也能更有效地调动农户积极性,提高生态补偿政策执行效果。改进后的模型计算公式如下:

$$R_j = \alpha_1 \times \alpha_2 \times f \times (Q_i - Q_0) \times C_r \quad (2)$$

$$\alpha_1 = \frac{SP_i}{SP_0} \quad (3)$$

$$\alpha_2 = \frac{Q_m}{Q_w} \quad (4)$$

式中: R_j 为激励补偿; α_1 为干旱指数调整系数; α_2 为地下水开采系数; Q_i 为农户种植结构调整的实际压采量; Q_0 为农户种植结构调整的目标压采量; SP_i 为现年的 SPEI 值所处的干旱等级; SP_0 为 SPEI 多年加权平均值所处干旱等级; C_r 为贮水成本; Q_w 为地下水可开采量; Q_m 为地下水开采量。

1.3.3 干旱指数

SPEI 干旱指数为标准化降水蒸散指数,通过标准化潜在蒸散与降水的差值表征一个地区干湿状况偏离常年的程度,是分析干旱演变趋势的指标^[16]。标准化降水蒸散指数计算见下。

1) 计算潜在蒸散量通过月平均气温^[17]:

$$E_i = 16K \left(\frac{10T}{I} \right)^\varphi \quad (5)$$

式中: K 为根据纬度计算的修正系数; T 为月平均气温; I 为年总加热指数; φ 为由 I 决定的系数。

2) 计算蒸散发量与逐月降水差值:

$$D_i = P_i - E_i \quad (6)$$

式中: D_i 为水分盈亏状况, mm; P_i 为降雨, mm; E_i 为潜在蒸散发量, mm。

3) 采用 Log-logistic 概率分布函数对水分盈亏状况进行拟合,求得累积概率为:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}\right]^{-2} \quad (7)$$

$$F(x) = \int_0^x f(t)dt = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x-\gamma}\right)^{\beta}\right]^{-1} \quad (8)$$

式中: α 为给定时间尺度的参数; β 为形状参数; γ 为 origin 参数; $F(x)$ 为概率分布函数。

4) 利用正态逆变换求得 SPEI:

当 $P \leq 0.5$ 时

$$SPEI = W - \frac{a_0 + a_1 + a_2 W^2}{1 + b_1 W + b_2 W^2 + b_3 W^3} \quad (9)$$

当 $P > 0.5$ 时

$$SPEI = -\left(W - \frac{a_0 + a_1 + a_2 W^2}{1 + b_1 W + b_2 W^2 + b_3 W^3}\right) \quad (10)$$

$$W = \sqrt{-2\ln(P)} \quad (11)$$

式中: $a_0 = 2.515$, $a_1 = 0.803$, $a_2 = 0.0103$, $b_1 = 1.433$, $b_2 = 0.1893$, $b_3 = 0.00131$ 。

Pearl 生长曲线能精确反映经济发展阶段对生态价值的影响,再引入反映人类生活水平指数 Engel 系数来构建求解发展系数模型^[18]:

$$f = \frac{1}{1 + e^{-\left(\frac{1}{E}-3\right)}} \quad (12)$$

式中: E 为 Engel 系数; f 为发展阶段指数。

2 结果与讨论

2.1 干旱指数调整系数的确定

为更直观地反映成安县的干旱指数长期变化规律,选用 12 个月尺度计算成安县 1960—2020 年的 SPEI 指数。成安县 61 年的 SPEI 指数年际变化见图 1。

根据成安县 SPEI 年际变化图可以看出 61 年

间分别在 1972、1986、1994、2001 四年出现严重干旱,在 1999 年更是出现极端干旱现象,并且 SPEI 指数变换趋势表明成安县呈干旱化趋势。成安县 SPEI 年际变化图同时清晰反映了近 30 年干旱出现次数增多,干旱少雨需额外增加灌溉用水,地下水的开采量就偏大,对压采目标的完成有影响。

成安县的旱涝等级划分参考 GB/T20481—2006《气象干旱等级标准》,同时结合成安县 1960—2020 年 SPEI 指数变化规律,借鉴高秉丽等的划分方法。根据成安县 SPEI 年际变化图整理近 61 年成安县干旱等级、类别及频率,见表 3。由表 3 可直接看出成安县 61 年间 SPEI 指数绝大部分处于正常区间内,61 年间 SPEI 指数的加权平均值为 0.448,干旱等级为 4;研究区现状年 SPEI 指数为 -1.436,干旱等级为 3。本文以正常干旱情况作为成安县干旱标准值,现状年的 SPEI 值所处干旱等级与标准值所处干旱等级的比值作为干旱指数调整系数对激励补偿模型做出合理调整,将上述干旱等级代入式(3),得到成安县试点年的干旱调整系数为 0.75。

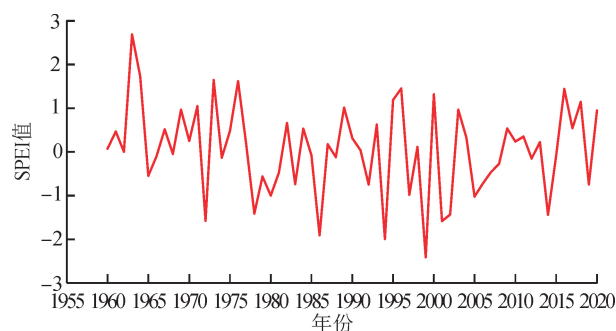


图 1 成安县 SPEI 年际变化图

Fig. 1 Interannual variation of SPEI in Cheng'an County

表 3 成安县 1960—2020 年干旱分布情况表

Tab. 3 Distribution of droughts in Cheng'an County, 1960—2020

等级	1	2	3	4	5	6	7
类别	特旱	重旱	轻旱	正常	中涝	重涝	特涝
SPEI	$(-\infty, -2.0]$	$(-2.0, -1.5]$	$(-1.5, -1.0]$	$(-1.0, 1.0]$	$(1.0, 1.5]$	$(1.5, 2.0]$	$(2.0, +\infty]$
频数	1	3	7	41	4	4	1
频率	1.64%	4.92%	11.47%	67.21%	6.56%	6.56%	1.64%

2.2 地下水开采调整系数的确定

成安县各乡镇的浅层地下水开采系数情况见表 4。根据地下水超采区划分标准,地下水开采系数超过 1.3 的区域为严重超采区,地下水开采系数介于 1~1.3 之间的区域为一般超采区,地下水开采系数小于 1 的区域为正常开采区^[20]。由表 4 数据可知成安

县各乡镇皆属于地下水严重超采区,但各乡镇间的超采程度有较大差异。根据成安县各乡镇浅层地下水开采情况可直观看出漳河店镇超采情况尤为突出,各乡镇之间的超采情况也有显著差异。超采情况相较于其他乡镇更为严重的区域,激励补偿应该适当上调,这既能加快缓解该区域的超采严峻形势,也能使农户

积极主动地进行压采。因此将参与试点乡镇的地下水开采系数直接作为地下水开采调整系数对激励补

偿模型做出合理改进,使生态补偿激励机制更具针对性来保证生态补偿政策长久有效地执行。

表 4 成安县各乡镇浅层地下水超采情况表

Tab. 4 Table of shallow groundwater overdraft in each township of Cheng'an County

乡镇	辛义乡	柏寺营乡	李家瞳镇	漳河店镇	北乡义乡	道东堡乡	成安镇	商城镇	长巷乡
开采量/ 10^4 m^3	1 247.2	671.6	1 007.9	1 110.5	1 308.2	1 193.5	1 362.7	1 179.0	643.2
可开采量/ 10^4 m^3	858.0	285.0	565.0	120.0	625.0	717.0	589.0	834.0	403.0
超采量/ 10^4 m^3	389.2	386.6	442.9	990.5	683.2	476.5	773.7	345.0	240.2
超采系数	0.45	1.36	0.78	8.25	1.09	0.66	1.31	0.41	0.60
开采系数	1.44	2.35	1.76	4.21	1.81	1.61	2.04	1.41	1.58

2.3 成安县种植结构调整补偿结果与分析

本文主要研究区域是成安县的农业种植区,因此将成安县统计年鉴中的数据计算后得到成安县农村的 Engel 系数为 33.53%,将 Engel 系数代入式(11)中计算得到发展系数 f 为 0.467。李山梅^[14]在地下水生态系统价值评估方法研究中计算出河北水库储水平均成本约合为 4.13 元/ m^3 。根据成安县试点年种植结构调整模式实施表得知实际压采量为 $1.1373 \times 10^6 \text{ m}^3$,压采目标为 $180 \text{ m}^3/\text{亩}$ ^[8]。成安县试点年种植结构调整措施下生态补偿标准见表 5。刘伟^[8]在成安县地下水超采综合治理的生态补偿机制研究中计算的基础生态补偿额为 338.57 万元,经计算核实该计算结果误差较大,本文借鉴该文章用

成本分析法计算生态基础补偿为 289.47 万元,成安县试点年农户地下水压采生态补偿的总金额为 305.34 万元。

从表 4 可以直观看成安县种植结构调整措施试点的三个乡镇地下水的开采程度都有一定的差异,虽然都属于严重超采范围,但漳河店镇相较其余两镇超采程度恶劣得多,北义乡超采恶劣程度次之,最后是道东堡乡。以地下水开采调整系数改进后的调节径流、涵养水源的功能价值模型在计算激励补偿就差异性的对三个乡镇的补偿比例进行了调整。

通过表 5 中的各乡镇补偿数据绘制激励机制奖惩图,见图 2。

表 5 成安县试点年种植结构调整生态补偿标准表

Tab. 5 Ecological compensation standard for planting structure adjustment in Cheng'an County in the pilot year

序号	实施地点		面积/亩		目标节水量/ 10^4 m^3	总节水量/ 10^4 m^3	超额压采量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{亩}^{-1})$	基础补偿标准/万元	激励补偿标准/万元	总补偿/万元
	乡(镇)	村(农户)	规划面积	实施面积						
1	道东堡乡	大堤西村 2	1 074	1 074	19.33	21.48	20.02	51.81	5.16	56.97
2	道东堡乡	大堤西村 1	687	687	12.37	13.65	18.63	33.14	3.07	36.21
3	道东堡乡	大堤西一村	782	782	14.08	15.37	16.50	37.73	3.10	40.83
4	道东堡乡	大堤西	246	246	4.43	5.22	32.11	11.87	1.90	13.77
5	道东堡乡	大堤西二村	235	235	4.23	4.53	12.77	11.34	0.72	12.06
6	道东堡乡	大堤西三村	95	95	1.71	1.41	-31.58	4.58	-0.72	3.86
7	道东堡乡	周化店村	200	200	3.60	3.92	16.00	9.65	0.77	10.42
8	北乡义乡	吕村	73	73	1.31	1.42	15.07	3.52	0.33	3.85
9	北乡义乡	大寨	100	100	1.80	2.20	40.00	4.82	1.21	6.03
10	北乡义乡	庞村	550	550	9.90	9.60	-5.45	26.54	-0.91	25.63
11	漳河店镇	中甘罗村	950	950	17.10	16.50	-6.32	45.84	-8.01	37.83
12	漳河店镇	辛集村	500	500	9.00	9.50	10.00	24.12	6.68	30.80
13	漳河店镇	西马村	308	308	5.54	5.85	10.06	14.86	4.14	19.00
14	北乡义乡	店上西村	200	200	3.60	3.08	-26.00	9.65	-1.57	8.08
合计			6 000		108	113.73		289.47	15.87	305.34

注:基础补偿标准通过成本分析法计算得出,激励补偿标准由文中建立的生态补偿激励机制计算得出。

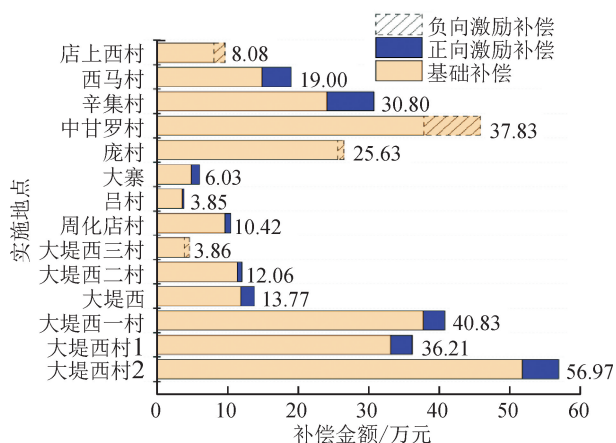


图2 成安县试点年生态补偿激励机制奖惩图

Fig. 2 Map of ecological compensation incentive mechanism rewards and punishments in Cheng'an County for the pilot year

图2清晰反映了激励机制对各乡镇地下水压采完成情况的奖惩程度。要保证地下水压采工作的可持续推进就必须在确保完成压采目标这个首要前提下,让更多农户加入额外多压采的行列。对比图2道东堡乡周化店村正向激励补偿和北乡义吕村正向激励补偿可以发现,尽管两村在压采目标外的亩均多余压采水量相似,但激励补偿相差近三倍,差异性的补偿便是生态补偿激励机制更具针对性的优势所在。同样,图2中北乡义乡庞村和漳河店镇中甘罗村都未完成压采目标,在亩均少压采水量差不多的情况下,庞村的惩罚金额为17元/亩,中甘罗村的惩罚金额为84元/亩;这在表现差异性的同时,更是对农户超采行为的强力约束。以图2中漳河店镇的三个村为例,作为成安县超采形势最为严峻的乡镇,奖惩调整系数相较其它乡镇都是倍数增长,激励机制用惩罚措施来严格约束农户的超采行为以保证压采目标能顺利完成,用奖励措施来鼓励农户在完成目标后积极主动地多压采,使生态补偿政策的执行效果更为显著,在形势越严峻的地区,越针对性地提高奖惩的力度,来快速缓解超采过度的严峻形势。

3 结论与政策启示

3.1 结论

本文将生态系统服务功能价值法中调节径流、涵养水源的功能价值模型加以改进后分析了河北省邯郸市成安县地区试点年在种植结构调整措施下的生态补偿激励标准,并把以成本分析法计算的生态补偿标准作为基本补偿,结合两者得出新的生态补偿标准,主要结论见下。

1) 将干旱系数和地下水开采系数与地下水生态调节径流、涵养水源的功能价值模型相结合,把成安县地区的原因固定式生态补偿标准转换为动态生态补偿激励标准,使其更加合理且具有针对性。同时提高了农民参与地下水压采措施的积极性,并改善了地下水压采效果。

2) 试点年成安县种植结构调整措施下的生态激励补偿为15.87万元,约占基础补偿值的6%,以股权激励占比约束比例来看处于正常合理范围^[21]。

3) 对近几十年的干旱指数分析发现成安县呈干旱化趋势,试点年作为轻度干旱年份相对上调了激励补偿的比例。

4) 分析发现相同的超额压采水量,在超采程度越大的乡镇激励补偿差异越明显,生态补偿激励机制极具针对性,地区超采越严重,对农户的超采行为约束就更为严格,同样对农户的超额压采奖励更为丰厚。

5) 本次研究得出的各试点村生态补偿标准在416~634元/亩之间浮动。用地下水生态补偿激励机制核算的动态化生态补偿标准来代替一刀切的固定标准提高了补偿政策的合理性与针对性,在实现地下水压采工作的可持续推进上更具保证力度。并且生态补偿标准总额度为305.34万元相较于300万元的国家固定补偿差异不大具有很高可行性。

3.2 政策启示

1) 根据生态补偿中的有利益相关者理论^[22]和特别牺牲理论^[23],再结合地下水的区域性和低流动性确定了种植结构调整措施下的补偿主体为政府、农户、居民;补偿客体为农户。居民和农户同样享受了环境改善带来的益处,因此生态激励补偿资金的筹措除当地政府提供资金,也可通过提高当地居民水费等措施来筹措资金。

2) 政府作为地下水压采生态补偿中最重要的主体,应该健全压采农户的政策保障制度,并加强对压采补偿的监管,切实保障压采农户自身利益,不断完善有关政策和条例^[24]。加强政府与农户主客体双方的沟通和了解,深入农民内部寻找其需求与政策法规的不足之处,加以修正改进。

3) 加强地下水超采区的压采政策宣传,通过电视、广播、入村介绍等方式加强农户对种植结构调整措施的认识度,提高农户保护地下水资源的意识,调动农户压采积极性。

4) 政府应该积极鼓励居民农户参与到生态补偿机制的构建中,公众作为享受生态恢复的受益者

和补偿主体是利益相关者,所以公众的积极参与有助于生态补偿政策更好的实施。

参考文献:

- [1] 伍国勇,董蕊,于法稳. 小流域生态补偿标准测算—基于生态服务功能价值法 [J]. 生态经济,2019, 35(12): 210-214,229.
WU Guoyong, DONG Rui, YU Fawen. Estimation of ecological compensation standards for small watersheds: based on the value of ecological service function [J]. Ecological Economy,2019,35(12):210-214, 229.
- [2] 李文鹏,王龙凤,杨会峰,等. 华北平原地下水超采状况与治理对策建议[J]. 中国水利, 2020 (13): 26-30.
LI Wenpeng, WANG Longfeng, YANG Huifeng, et al. The groundwater overexploitation status and countermeasure suggestions of the North China Plain [J]. China Water Resources,2020(13):26-30.
- [3] 曹雪梅,常冬梅,王彦荣,等. 衡水市关于减少深层地下水超采调整种植结构的探索 [J]. 农业科技通讯,2018 (4): 35-37.
- [4] 柳荻,胡振通,靳乐山. 基于农户受偿意愿的地下水超采区休耕补偿标准研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(8): 130-139.
LIU Di, HU Zhentong, JIN Leshan. Study on compensation rate for fallow program in groundwater over-exploited area based on rural households' willingness to accept [J]. China Population Resources and Environment,2019,29(8):130-139.
- [5] 谢花林,程玲娟. 地下水漏斗区农户冬小麦休耕意愿的影响因素及其生态补偿标准研究—以河北衡水为例 [J]. 自然资源学报,2017, 32(12): 2012-2022.
XIE Hualin, CHENG Lingjuan. Influence factors and ecological compensation standard of winter wheat-fallow in the groundwater funnel area [J]. Journal of Natural Resources,2017,32(12):2012-2022.
- [6] 徐庆勇,林健,江岳,等. “双源”分布区地下水质量及生态价值评估 [J]. 水资源与水工程学报,2019, 30(4): 63-70.
XU Qingyong, LIN Jian, JIANG Yue, et al. Assessment of groundwater quality and ecological value in “Double source” Distribution Area [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering,2019,30(4):63-70.
- [7] 李继清,薛智明,汪定盼. 基于演化博弈的南水北调东线工程生态补偿研究[J]. 中国农村水利水电:2022 (12):31-38,46.
LI Jiqing, XUE Zhiming, WANG Dingpan. Research on the ecological compensation of the eastern route of south-to-north water transfer project based on the evolutionary game theory [J]. China Rural Water and Hydropower, 2022(12):31-38, 46.
- [8] 刘伟. 成安县地下水超采综合治理的生态补偿机制研究, [D]. 西安:西安理工大学,2019.
LIU Wei. Research on ecological compensation mechanism for comprehensive management of groundwater over-shoot in Cheng'an County [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2019.
- [9] 彭卓越,濮杭荣,吴灏. 基于 Bayes 和 SWOT 的跨流域调水生态补偿受偿意愿及激励机制研究 [J]. 生态经济:2023(2): 182-187.
PENG Zhuoyue, PU Hangrong, WU Hao. Study on willingness to accept and incentive mechanism of inter-basin water transfer ecological compensation based on BEYS and SWOT [J]. Ecological Economy, 2023(2): 182-187.
- [10] 刘念,李天宏,席浩郡. 长江中游荆江河段生态系统价值核算研究 [J]. 应用基础与工程科学学报,2021, 29 (6): 1335-1346.
LIU Nian, LI Tianhong, XI Haojun. River ecosystem value changes on Jingjiang Reach of the Yangtze River [J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2021, 29(6):1335-1346.
- [11] 马爽,张正良,胡浩云,等. 成安县地下水超采现状及对策研究 [J]. 河南科技,2018 (22): 90-91.
MA Shuang, ZHANG Zhengliang, HU Haoyun, et al. Study on current situation and countermeasures of groundwater exploitation excessive in Cheng'an county [J]. Henan Science and Technology,2018(22):90-91.
- [12] 钟华平. 农业灌溉与地下水超采若干问题 [J]. 中国水利,2019(21): 21-23.
ZHONG Huaping. Issues related to irrigated agriculture and groundwater over-exploitation [J]. China Water Resources,2019(21):21-23.
- [13] 赵军,杨凯. 生态系统服务价值评估研究进展 [J]. 生态学报,2007(1): 346-356.
ZHAO Jun, YANG Kai. Valuation of ecosystem services: characteristics, issues and prospects [J]. Acta Ecologica Sinica,2007(1):346-356.
- [14] 李山梅. 地下水生态系统价值评估方法研究 [J]. 生态经济,2016, 32(11): 27-31.
LI Shanmei. Study on assessment method of groundwater ecosystem value [J]. Ecological Economy,2016,32 (11):27-31.
- [15] 张璐,朱仲元,王慧敏,等. 基于 SPEI 的锡林河流域气象干旱风险分析 [J]. 水土保持研究,2020, 27 (2): 220-226.
ZHANG Lu, ZHU Zhongyuan, WANG Huimin, et al. Analysis on risk of meteorological drought of the upstream Xilin River Basin based on SPEI [J]. Research

- of Soil and Water Conservation, 2020, 27(2): 220-226.
- [16] 宋雪姣. 山西省煤炭基地地表蒸散量的遥感估算及其差异化研究 [D]. 北京:中国地质大学(北京), 2015.
SONG Xuejiao. Remote sensing estimation of surface evapotranspiration from coal bases in Shanxi Province and its differentiation [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2015.
- [17] 周一虹, 赵雷刚. 基于环境重置成本法的流域生态补偿价值计量方法研究—以黄河流域(兰州段)为例 [C]//南京:中国会计学会环境会计专业委员会 2014 学术年会, 2014.
- [18] 李金昌. 价值核算是环境核算的关键 [J]. 中国人口·资源与环境, 2002(3): 11-17.
LI Jinchang. Value assessment is the key of environmental assessment [J]. China Population Resources and Environment, 2002(3): 11-17.
- [19] 高秉丽, 巩杰, 李焱, 等. 基于 SPEI 的黄河流域多尺度干湿特征分析 [J]. 干旱区研究, 2022, 39(3): 723-733.
GAO Bingli, GONG Jie, LI Yan, et al. Analysis of multi-scalar characteristics of dry and wet conditions in the Yellow River Basin based on SPEI [J]. Arid Zone Research, 2022, 39(3): 723-733.
- [20] 吴旭, 王树谦. 基于开采系数法的邯郸市东部平原区深层地下水超采区划分研究 [J]. 水利科技与经济, 2015, 21(7): 23-25, 29.
WU Xu, WANG Shuqian. Research of deep groundwater overdraft area division based on the mining coefficient method in Handan City eastern plains [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2015, 21(7): 23-25, 29.
- [21] 须轶琦. 上市公司股权激励激励方法探讨 [J]. 现代商业, 2018(20): 114-115.
- [22] 马国勇, 陈红. 基于利益相关者理论的生态补偿机制研究 [J]. 生态经济, 2014, 30(4): 33-36, 49.
MA Guoyong, CHEN Hong. Study on ecological compensation mechanism based on stakeholders [J]. Ecological Economy, 2014, 30(4): 33-36, 49.
- [23] 许占鲁, 韩兆柱. 论行政补偿制度的法理基础 [J]. 辽宁行政学院学报, 2006(11): 37-39.
- [24] 白荣君, 李军媛. 南水北调中线水源地生态补偿机制的制度保障研究——以秦岭地区陕南三市为例 [J]. 生态经济, 2022, 38(11): 209-214.
BAI Rongjun, LI Junyuan. Research on institutional guarantee of ecological compensation mechanism for water source area of the middle route project of the south-to-north water transfer: taking the three cities of Southern Shaanxi in Qinling Area as examples [J]. Ecological Economy, 2022, 38(11): 209-214.

(责任编辑 王绪迪)