

# 基于演化博弈的灌溉用水户水权交易相关主体行为决策

罗万云<sup>1,2</sup>,赵栋淳<sup>1,2</sup>,王金霞<sup>3</sup>

(1. 新疆大学经济与管理学院,新疆 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学新疆创新管理研究中心,新疆 乌鲁木齐 830046; 3. 北京大学现代农学院中国农业政策研究中心,北京 100871)

**摘要:**以灌溉用水户水权交易过程中相关主体的行为决策为研究线索,构建包含地方政府、供水机构、农户三方主体演化博弈模型,并基于新疆昌吉州的498份农户调查数据,利用 MATLAB 工具对灌溉用水户水权交易过程中相关主体决策进行仿真分析。结果表明:地方政府通过设定合理的奖惩基数,同时将农户的回购水权价格提高至执行水价的5.58倍以上,可有效激励供水机构采取积极的供水策略;供水机构的供水效率是决定灌溉用水户水权交易达成的关键因素,供水效率的提升不仅能增强农户的交易意愿,还可显著降低地方政府的水权回购成本;农户参与水权交易的意愿受到供水机构积极经营的影响,其交易水权产生增收效果要求供水效率至少需额外提升0.034,且地方政府出台更具激励性的水权回购价格。

**关键词:**演化博弈;灌溉用水户;水权交易;行为决策;案例仿真

**中图分类号:**F407.9      **文献标志码:**A      **文章编号:**1003-9511(2025)03-0013-07

**Decision-making behavior of stakeholders in irrigation water rights trading based on evolutionary game theory//** LUO Wanyun<sup>1,2</sup>, ZHAO Dongchun<sup>1,2</sup>, WANG Jinxia<sup>3</sup> (1. School of Economics and Management, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 2. Xinjiang Innovation Management Research Center, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 3. China Agricultural Policy Research Center, College of Modern Agriculture, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** This paper takes the behavior decisions of relevant subjects in the irrigation water rights trading process as the research clue, constructing an evolutionary game model involving local government, water supply agencies, and farmers. Based on a survey of 498 rural households in Changji, Xinjiang, it utilizes MATLAB tools to conduct evolutionary simulation analysis of the decision-making of relevant subjects in the irrigation water rights trading process. The results show that: local governments can set a reasonable reward and punishment base, At the same time, increasing the price of farmers' repurchased water rights to more than 5.58 times of the implemented water price can effectively motivate water supply institutions to adopt active water supply strategies; the water supply efficiency of water supply institutions is the key factor that determines the conclusion of water rights transactions of irrigation water users, and the improvement of water supply efficiency can not only enhance farmers' willingness to trade, but also significantly reduce the water right buyback cost by local governments; farmers' willingness to participate in water rights trading is affected by the active operation of water supply institutions, and the water supply efficiency of trading water rights requires an additional increase of at least 0.034, and local governments should introduce more incentive water right buyback prices.

**Key words:** evolutionary game; irrigation water user; water rights trading; behavioral decision making; case simulation

灌溉用水户水权交易是破解水资源供需矛盾的重要市场机制工具。在我国水权交易类型中,灌溉用水户水权交易涉及广大农户、供水机构和地方政府,在提升农村水资源利用效率方面具有巨大潜力。2024年水利部印发《用水权交易管理规则(试行)》,

明确灌溉用水户水权交易的参与主体、交易制度及收益分配目标。目前,灌溉用水户水权交易数量虽占据了水权交易数的80%以上,但交易水量却不足总量的1%,灌溉用水户水权交易市场仍存在参与主体不活跃及交易量不理想等难题<sup>[1]</sup>,其原因在于尚未搭建起

基金项目:国家社会科学基金青年项目(21CJY038);自治区高校基本科研业务费科研项目(XJEDU2024P003)

作者简介:罗万云(1990—),男,副教授,博士,主要从事农村水资源管理与可持续发展研究。E-mail:luowanyun0824@126.com

面向农村水市场的政府、市场和灌溉农户协同参与的用水权交易制度体系<sup>[2-3]</sup>。为破解这一困境,建设农村节水灌溉设施及水利工程固然重要,但根本出路仍在于建立健全以用水者为主体的水权交易制度,并在政府的调控监督及供水机构的积极运营下实现其良性运作。

## 1 文献综述

激励制度设计对水短缺及公地悲剧现象提供了有力解释<sup>[4]</sup>。对于灌溉用水户水权交易,学界共识是构建能激励多元主体积极参与的机制体系<sup>[5]</sup>。受制于私有产权体制,国外多数水权实践具有自下而上的博弈特征,以公共资源自治理论学派尤为典型<sup>[6]</sup>,其中多方主体互动特征表现为围绕水权初始配置<sup>[7]</sup>、经济成本及水权定价<sup>[8]</sup>、供水效率<sup>[9]</sup>等展开博弈。而国内的灌溉用水户水权交易则带有自上而下的国家行动特征,一方面探讨了农户与政府<sup>[10]</sup>、农户与供水企业<sup>[11]</sup>之间水权交易的行为逻辑;另一方面探寻利益相关主体收益函数的确定<sup>[12-13]</sup>以及有效节水激励机制的构建<sup>[14]</sup>。近年来,全国各地加快灌溉用水户水权交易试点与制度建设<sup>[15]</sup>,但实际结果与预期成效存在明显差距<sup>[16]</sup>,其原因包括地方政府财政供给不足<sup>[17]</sup>、供水机构供水效率较低<sup>[18]</sup>及农户节水收益有限等<sup>[19]</sup>。面向农户的水权交易有赖于“两手发力”的激励性制度设计<sup>[1]</sup>,尤其是地方政府在统筹中央节水目标与水权交易参与主体的成本收益方面的角色,决定了水权交易政策能否顺利实施。

虽然已有文献对农户水权交易的水价值和现实困境进行了分析<sup>[20]</sup>,但很少从利益相关主体策略选择的视角对灌溉用水户水权交易行为进行研究,特别是在当前供水机构市场化成为主流改革方向的现状下<sup>[21]</sup>,较少文献研究供水机构的经营效率对促进灌溉用水户水权交易的影响。此外,政府回购水权措施在降低交易成本方面具有显著优势,然而当前缺乏对政府回购水权项目的可行性研究。为了填补这些研究空白,本文基于政府回购灌溉用水户水权的推广模式,搭建起连接地方政府、供水机构与农户的行为策略框架,结合数理推导与演化博弈模型探索了诱致水权市场制度演绎变化的内在因素,运用农户调查数据推算出农户积极参与水权交易的有效激励强度阈值,并量化分析了供水机构的经营策略对地方政府水权回购项目成本以及农户参与水权交易收益的影响,致力于构建一个多元主体积极参与的水权交易市场,对健全农村水权交易市场具有政策指导价值。

## 2 研究方法

### 2.1 问题描述与利益相关主体行为选择

水权交易涉及的经济利益相关主体可界定为地方政府、供水机构以及农户。地方政府是水权交易的管理者、监管者和政策制定者。地方政府的行动策略分为两种:一是政府购买水利设施管护服务的“行政为主”治水策略;二是设计奖惩机制激励供水机构积极经营的“两手发力”治水策略。供水机构是水资源供应商和交易服务的提供者,本文的供水机构是指需要自负盈亏的灌区专管公司,供水机构有两种选择:一是消极供水,即以售水为主要收益的消极经营策略;二是积极供水,即以市场化灌溉服务收益为主的积极经营策略。农户是灌溉用水权的拥有者,也是使用者和交易者,其策略包括两种:一是消极节水,不参与交易;二是积极节水,参与交易。

### 2.2 模型假设与支付矩阵构建

为了简化研究,本文结合现实情况,对模型作出如下假设:

**假设1** 在一定时期内,利益相关主体种类及总数稳定,地方政府选择“行政为主”治水策略的概率为 $x$ ,供水机构消极经营的概率为 $y$ ,农户消极节水的概率为 $z$ ,并满足 $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1$ 。

**假设2** 地方政府的基本水价政策为定额管理制度,定额内水价为执行水价 $p_0$ ,超定额水价为 $p_1$ ,灌溉定额为 $w_0$ ,回购水权价格倍数为 $n$ ,地方政府的节水效益为 $i$ 。在“行政为主”治水策略下,地方政府管理水资源的行政成本为 $g_{c1}$ ,其承担积极经营供水机构的渠系维护成本为 $g_{c2}$ ,对消极经营供水机构的惩罚基数为 $k$ 。在“两手发力”治水策略下,地方政府对供水机构实施奖惩机制,并将渠系维护责任转交于供水机构。供水机构积极经营时,可向农户收取灌溉服务费。设灌溉服务费为 $p_f$ ,准许收益率为 $\rho$ ,供水效率为 $a$ 。

**假设3** 对农户而言,在消极节水策略下,农户的决策行为符合“前景理论”,农户厌恶节水可能带来的风险损失而选择将当期定额水用尽并购买所需超额水,此时农户灌溉用水量为 $w_1$ ,种植利润为 $F_1$ (不含水费);在积极节水策略下,农户不具有“认知负荷”,能准确获取水资源供给信息、水权交易政策、节水技术信息,能基于节水行为的边际收益投资节水技术,此时农户灌溉用水量为 $w_2$ ,种植利润为 $F_2$ (不含水费)。

根据上述假设和参数设定,三方博弈主体的支付矩阵如表1所示。

表 1 三方博弈支付矩阵  
Table 1 Payoff matrix of the three-player game

地方政府策略	供水机构策略	农户策略	
		消极节水	积极节水
行政为主	消极经营	$\begin{bmatrix} -g_{c1} + p_1(w_1 - w_0) + kaw_1p_0 \\ p_0w_0 - kaw_1p_0 \\ F_1 - p_0w_0 - p_1(w_1 - w_0) \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -g_{c1}w_2 + i(w_1 - w_2) - np_0(w_0 - w_2) + kaw_1p_0 \\ p_0w_0 - kaw_2p_0 \\ F_2 - p_0w_2 + np_0(w_0 - w_2) \end{bmatrix}$
	积极经营	$\begin{bmatrix} -g_{c1}w_1(1-a) + p_1[(1-a)w_1 - w_0] + iaw_1 - g_{c2} \\ p_0w_0 \\ F_2 - p_0w_0 - p_0[w_1(1-a) - w_0] \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -g_{c1}w_2(1-a) + i[w_1 - w_2(1-a)] - np_0[w_0 - w_2(1-a)] - g_{c2} \\ p_0w_2(1-a) \\ F_2 - p_0w_2(1-a) + np_0[w_0 - w_2(1-a)] \end{bmatrix}$
“两手发力”	消极经营	$\begin{bmatrix} -g_{c1} + p_1(w_1 - w_0) + kaw_1p_0 \\ p_0w_0 - kaw_1p_0 \\ F_2 - p_0w_0 - p_1(w_1 - w_0) \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -g_{c1}w_2 + i(w_1 - w_2) - np_0(w_0 - w_2) + kaw_2p_0 \\ p_0w_2 - kaw_2p_0 \\ F_2 - p_0w_2 + np_0(w_0 - w_2) \end{bmatrix}$
	积极经营	$\begin{bmatrix} -g_{c1}w_1(1-a) + p_1[(1-a)w_1 - w_0] + iaw_1 - kaw_1p_0 \\ p_0w_0 + pp_f w_1(1-a) + kaw_1p_0 \\ F_1 - p_0w_0 - p_1[w_1(1-a) - w_0] - p_f w_1(1-a) \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -g_{c1}w_2(1-a) + i[w_1 - w_2(1-a)] - np_0[w_0 - w_2(1-a)] - kaw_2p_0 \\ p_0w_2(1-a) + pp_f w_2(1-a) + kaw_2p_0 \\ F_2 - p_0w_2(1-a) - p_f w_2(1-a) + np_0[w_0 - w_2(1-a)] \end{bmatrix}$

## 2.3 演化博弈分析

### 2.3.1 演化过程均衡点

根据 Malthusian 方程, 地方政府选择“行政为主”策略概率的增长率与选择该策略时所获支付与该主体的期望支付之差成正比, 即

$$\dot{x} = x(1-x) \{ -yz[2kap_0(w_1 - w_2)] + y[(w_1 - 2w_2)akp_0 + g_{c2}] + zakp_0(w_1 - w_2) + akp_0w_2 - g_{c2} \} \quad (1)$$

同理, 可得供水机构和农户的复制动态方程, 不再赘述。由 3 个主体的复制动态方程组成一个三维动力系统。当  $\dot{x}=0, \dot{y}=0, \dot{z}=0$  时该系统必然存在  $2^3$  个三主体均采纳纯策略的均衡点  $E_1(0,0,0)$ 、 $E_2(0,0,1)$ 、 $E_3(0,1,0)$ 、 $E_4(1,0,0)$ 、 $E_5(1,1,0)$ 、 $E_6(1,0,1)$ 、 $E_7(0,1,1)$ 、 $E_8(1,1,1)$ 。

### 2.3.2 均衡点的稳定性分析

本文借助李雅普洛夫稳定性理论, 分析由微分方程组系统所描述的群体动态演化过程。系统均衡点稳定的充要条件即雅可比矩阵的所有特征值均具有负实部, 如表 2 所示。可知该系统的稳定均衡点有 4 个, 分别为  $E_1(0,0,0)$ 、 $E_2(0,0,1)$ 、 $E_4(1,0,0)$ 、 $E_6(1,0,1)$ 。

表 2 系统均衡点稳定性条件

Table 2 Stability conditions of system equilibrium points

均衡点	均衡点稳定条件	稳定性分析结论
$E_1(0,0,0)$	$akp_0w_2 - g_{c2} < 0, D < 0, A < 0$	稳定均衡点
$E_2(0,0,1)$	$akp_0w_1 - g_{c2} < 0, -2akp_0w_1 - pp_f(1-a)w_1 < 0, -A < 0$	稳定均衡点
$E_3(0,1,0)$	$(w_1 - w_2)akp_0 < 0, -D < 0, B + A < 0$	不稳定点
$E_4(1,0,0)$	$g_{c2} - akp_0w_2 < 0, p_0aw_2 - akp_0w_2 < 0, C < 0$	稳定均衡点
$E_5(1,1,0)$	$(w_2 - w_1)akp_0 < 0, akp_0w_2 - p_0aw_2 < 0, C + B < 0$	不稳定点
$E_6(1,0,1)$	$g_{c2} - akp_0w_1 < 0, -akp_0w_1 < 0, -C < 0$	稳定均衡点

注:  $E_7(0,1,1)$ 、 $E_8(1,1,1)$ 由于存在特征值 0 而不稳定, 故未进行讨论。为简化表达式, 设  $A = p_0(n+1)[w_2(1-a) - w_0] - p_1[w_1(1-a) - w_0] + p_f(1-a)(w_2 - w_1) + F_2 - F_1$ ;  $B = (n-1)aw_2p_0 - p_1(2w_1 - 2w_0 - aw_1) - p_f(1-a)(w_1 - w_2)$ ;  $C = (1-n)[w_0 - (1-a)w_2]p_0 - p_1[w_1(1-a) - w_0] + F_2 - F_1$ ;  $D = p_0aw_2 - 2akp_0w_2 - pp_f(1-a)w_2$ 。

$E_6(1,0,1)$ 。分析可知: ①当行政治水成本过高, 且市场化收益以及利率足够高时, 地方政府与供水机构存在市场化改革激励, 地方政府可提升回购水权价格倍数以激励农户积极节水, 系统将演化至  $E_1(0,0,0)$ ; ②在  $E_1(0,0,0)$  的基础上, 当回购水权价格倍数较低时, 农户将转而执行消极节水策略, 即演化至  $E_2(0,0,1)$ ; ③当行政治水成本处于低水平时, 地方政府缺乏进行市场化改革的动力, 依赖将惩罚基数和回购水权价格倍数维持在较高水平, 使系统演化至  $E_4(1,0,0)$ ; ④在  $E_4(1,0,0)$  的基础上, 当地方政府财政无力维持高水平回购水权价格倍数时, 系统将演化至  $E_6(1,0,1)$ 。

### 2.3.3 农户用水决策模型

农户种植要素投入分配以农业净收益  $I$  最大化为目标。在选择积极节水策略下, 农户用水决策模型的目标函数与约束条件如下所示:

$$\begin{aligned} \max I = & \sum_{i'} Z_{i'} [Y_{i'} - \sum_j X_{ij}] - p_0w_2(1-a) + \\ & np_0[w_0 - w_2(1-a)] \\ \text{s. t. } & 0 < w_2 < w_0 \quad 0 < F_1 < I \end{aligned} \quad (2)$$

式中:  $Z_{i'}$  为作物  $i'$  的种植比例,  $i'=1, 2, 3$ ;  $X_{ij}$  为作物

$i'$ 的第 $j$ 种农业生产投入的成本;  $Y_{i'}$ 为作物 $i'$ 的水资源与农产品产量响应函数。

根据 Mérel 等<sup>[22]</sup>对水资源与农作物产值的研究, 构建起具有 S 型特征的水资源与农产品产量响

$$\text{应函数 } Y_{i'} = \frac{\alpha_{i'}}{1 + \exp\left[\frac{-(w - \beta_{i'})}{\gamma_{i'}}\right]}, \text{因此, 积极节水}$$

农户的农业净收益函数为

$$I = \sum_{i'} \left\{ \frac{Z_{i'} \alpha_{i'}}{1 + \exp\left[\frac{-(w_2 - \beta_{i'})}{\gamma_{i'}}\right]} - \sum_j X_{ij} \right\} - p_0 w_2 (1 - a) + np_0 [w_0 - w_2(1 - a)] \quad (3)$$

式中  $\alpha_{i'}, \beta_{i'}, \gamma_{i'}$  为待定系数。

由积极节水农户净收益函数的一阶条件可得农户灌溉用水权的边际产品价值以及农户灌溉用水权的机会成本。农户灌溉用水量的决策由  $I$  的一阶条件决定, 如式(4)所示:

$$\sum_{i'} Z_{i'} \frac{\partial Y_{i'}}{\partial w_2} = p_0 (1 - a) (n + 1) \quad (4)$$

### 3 结果与分析

#### 3.1 案例选取与参数设置

本文案例区新疆昌吉州地处天山北麓经济带中段, 具有典型的内陆性气候特征, 降雨稀少、蒸发强烈, 农田高度依赖灌溉渠系, 渠系具有垂直多层和多库网状辐射的复杂特征。2014 年, 昌吉州成为新疆首批农业水价综合改革试点区, 各县成立了水权交易中心, 开展与水权交易直接相关的中介业务与水权收储转让等经营性业务。昌吉州建成了以地表水-地下水混合灌溉为主要特征的灌溉系统, 每到灌溉季节, 其正常运行十分依赖地方政府、供水机构及农户间的通力配合。

本文数据包括农户种植收益信息及地方政府和供水单位决策信息。2024 年 7 月 18 日至 8 月 14 日, 对昌吉州奇台县、吉木萨尔县、阜康市、昌吉市、呼图壁县、玛纳斯县进行田野调查, 根据每个市(县)综合经济发展水平、灌溉条件以及地理位置, 选择 2~4 个乡镇, 然后随机抽取 5~8 个村, 发放问卷 505 份, 收回有效问卷 498 份, 回收率 98.6%。此外, 调查时在每个乡镇选择 1 位分管水利灌溉的乡镇干部或供水单位负责人进行开放式访谈。本文所涉及其他水资源数据, 参考了 2018—2023 年昌吉州地方政府公开信息、2021—2023 年度新疆水利建设公开信息等。综上, 本文参数取值及数据来源如表 3 所示。

表 3 参数取值及数据来源

Table 3 Initial parameter values and source

变量符号	变量取值	数据来源
$w_0$	5 130 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	问卷调查
$p_0$	0.144 元/m <sup>3</sup>	《昌吉回族自治州人民政府关于印发自治州农业水价综合改革方案的通知》
$p_1$	0.288 元/m <sup>3</sup>	《关于调整昌吉市供水价格的通知》
$i$	5.2 元/m <sup>3</sup>	《自治州农业初始水权分配及水量交易管理办法(暂行)》
$n$	3	《昌吉州 2023 政府预算公开》
$g_{c1}$	0.0349 元/m <sup>3</sup>	新疆公共资源交易网
$g_{c2}$	1 510.95 元/hm <sup>2</sup>	实地调研、政府座谈
$a$	0.020	实地调研、政府座谈
$k$	0	国家水土保持示范案例
$p_f$	0.2 元/m <sup>3</sup>	《水利工程供水价格管理办法》
$\rho$	7%	问卷调查
$w_1$	5 130 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	问卷调查
$F_1$	17 072 元/hm <sup>2</sup>	问卷调查

种植结构对灌溉用水户水权交易具有重要影响。2023 年案例区棉花播种面积占农作物总面积的 45.9%, 是典型高耗水高利润经济作物, 小麦占粮食作物播种面积的 31.2%, 为典型低耗水低利润作物, 玉米是重要粮食作物和饲料作物。考虑到其他农作物播种面积小且具有一定的区域特色, 本文选择棉花、玉米、小麦作为研究作物。基于对该区域的调研数据, 结合式(3)对待定系数  $\alpha_{i'}, \beta_{i'}, \gamma_{i'}$  进行估计, 估计结果如表 4 所示, 表中三种作物的种植结构参考昌吉州 2018—2023 年的种植结构情况, 利润和种植成本均不含水费。

表 4 不同作物的待定系数估计结果及作物收益情况

Table 4 Estimation results of the undetermined coefficients of different crops and the profit situations

种植作物	$\alpha_{i'}$	$\beta_{i'}$	$\gamma_{i'}$
玉米	3 056.47	298.05	120.41
小麦	1 774.45	265.19	82.70
棉花	4 761.10	325.55	179.37
利润/(元/hm <sup>2</sup> )	种植成本/(元/hm <sup>2</sup> )		种植结构/%
17 436.89	14 077.35		18
7 524.15	14 165.55		40
26 008.82	20 045.40		42

注:  $\alpha_{i'}, \beta_{i'}, \gamma_{i'}$  初值分别设置为 1 500、150、50。种植成本包括种子、地膜、农药、化肥、农业机械、滴灌带成本及人工费。

案例区宏观的种植结构可视作农户在微观上种植某种作物的概率, 结合式(4)可得基于农作物产出函数的水资源边际价值, 如图 1 所示, 可知农户在 4 215 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 灌溉用水量处可得最大灌溉用水边际价值 6.01 元/m<sup>3</sup>, 而后随着灌溉用水量的提高边际价值逐渐下降, 在灌溉定额 5 130 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 处, 农户的灌溉用水边际价值为 5.62 元/m<sup>3</sup>。基于农作物产出函数的水资源边际价值, 可视作农户为节省每单位水资源愿投入的最大成本, 考虑到案例区滴灌节水技术已推广多年, 可假设节水农户在当前技术下

的节水成本与水资源边际价值相等。

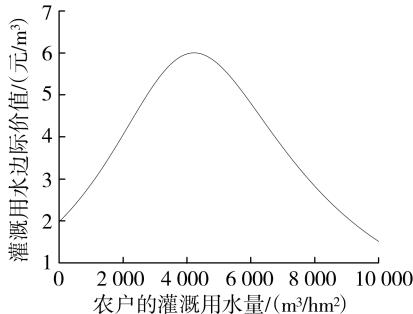


图1 基于农作物产出函数的水资源边际价值

Fig. 1 Marginal value of water resources based on crop output function

### 3.2 水权交易中三方主体演化博弈过程

灌溉用水户水权交易的达成涉及地方政府、供水机构及农户决策。在初始值设定下,三方主体的演化博弈结果为地方政府、供水机构及农户分别选择“两手发力”、积极经营、消极节水的策略。三方主体演化博弈均衡策略如图2所示。结合其均衡条件分析其经济学意义,对地方政府而言,供水效率、惩罚基数是决定策略选择的关键,即供水效率提升潜力足够高及奖惩机制成本较低时,政府将加强水权交易市场建设,实行“两手发力”治水策略。对供水机构而言,供水效率、惩罚基数、准许收益率是决定其积极经营的关键参数。在奖惩机制及市场盈利的激励下,供水机构依托自身优势,逐步转型为“参与式灌溉管理”的供水公司。对于农户而言,供水效率和回购水权价格倍数是引导农户产生节水行为的关键因素。在供水效率为0.02、回购水权价格倍数为3的现状下,政府的回购价格缺乏激励效应,农户消极参与水权交易市场。地方政府想要激活水权交易制度的节水潜力,需要设定合理的机制激励阈值,引导供水机构、农户尽快完成节水合作的策略转变。

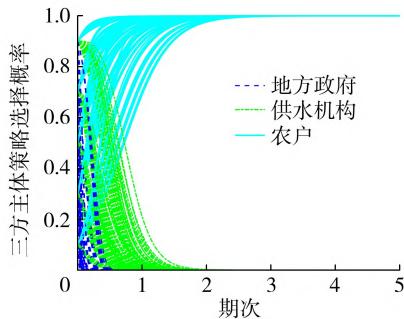


图2 三方主体演化博弈均衡策略

Fig. 2 Equilibrium strategies in the evolutionary game of three parties

#### 3.2.1 奖惩基数与准许收益率的影响

灌溉用水户水权交易的顺利展开首先要理顺地

方政府对供水机构监督、调控机制的具体影响。计算分析可知,地方政府设计的奖惩基数分别为0、5、10时,供水机构将加速转型为积极经营的市场化供水公司。供水机构的积极经营策略包括加强对末级渠系的管护,这为供水机构提供市场化灌溉服务降低了平均成本而更具竞争力。当准许收益率分别为-0.04、-0.01、0.04、0.07时,供水机构的经营策略由消极转向积极,对演化速率呈正单调影响。奖惩机制实际上为供水机构市场化制度变迁提供了内生保障。地方政府将市场化灌溉业务与末级渠系“最后一公里”的维护挂钩,可激励供水机构自主自觉承担提高渠系输水效率的职能。在水资源定额管理制度下,由于渠首放水量不变,农户实际可支配水权伴随着供水机构的积极经营而增多,但由于政府回购价格不具备激励性,农户依然选择消极节水策略。

#### 3.2.2 政府回购水权价格倍数和供水效率的影响

政府回购水权价格是农户是否参与水权交易的重要考量因素。调研发现,地方政府难以直接承担水权回购成本,而供水机构的积极经营有利于地方政府以低价实现水权回购。以回购农户定额内 $1\text{ m}^3$ 的用水权为目标,政府逐步提高回购水权价格倍数,农户节水策略逐渐由消极转为积极。地方政府制定的回购水权价格倍数至少需实现积极节水农户可获取与消极节水农户同等的收益。图3展示了供水效率为0、0.020、0.034、0.050时,回购水权价格倍数与农户灌溉用水量之间的非线性关系,当供水效率为0.020时政府回购农户定额内 $1\text{ m}^3$ 用水权的边际回购水权价格倍数为5.58倍。随着供水机构供水效率的提升,农户分担的渠道水量损耗下降,该潜在成本优化机制不仅帮助地方政府“降本”,而且为农户实现用水“增效”,并通过经济利益诱致农户产生节水行为并逐步适应水权交易常态化,是拓展资源配置优化机制的重要补充。

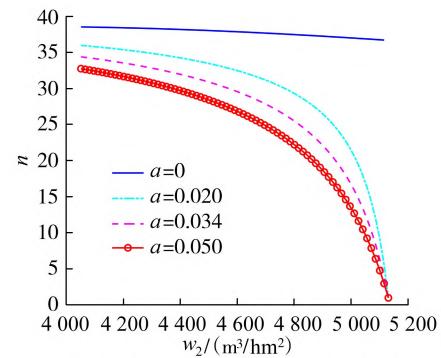


图3 回购水权价格倍数和供水效率对策略演化的影响

Fig. 3 Impact of buyback water price and water supply efficiency on the evolution of strategies

### 3.2.3 供水机构积极供水对农户的收益影响

供水机构经营策略不仅会影响地方政府的回购水权成本,而且会对农户收益产生影响。供水效率的提升将降低农户用水的机会成本并使农户从中获益,当地方政府与农户达成地方政府“两手发力”、农户积极节水的策略均衡时,供水机构的积极经营策略对节水农户产生的额外收益为 $\Delta I$ , $\Delta I = [ap_0 + np_0a - p_f(1-a)]w_2$ 。图4为不同农户灌溉用水量下供水效率对 $\Delta I$ 的影响,当参与水权交易的农户产生正向增收效果时,供水机构最小供水效率阈值为0.034。随着农户交易节水量的上升,供水效率对农户的增收效果影响逐渐扩大。同时,供水机构在灌溉市场上易形成自然垄断地位,供水机构依靠农户用水量获益的利益激励机制依然存在,因而,地方政府协助农户对供水机构实施有效监督是构建更加公平的水权交易市场的重要前提。

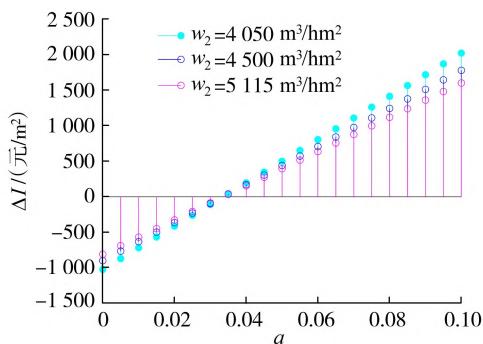


图4 不同农户灌溉用水量下供水效率对 $\Delta I$ 的影响

Fig. 4 Impact of water supply efficiency on  $\Delta I$  under different irrigation water consumption levels of various rural households

## 4 结论与建议

### 4.1 结论

本文主要结论如下:①设计合理的奖惩机制及准许收益率能激励供水机构积极供水,政府提高回购水权价格倍数至5.58时,农户节水策略开始由消极转为积极。②供水机构积极经营可有效降低农户承担的渠道损耗水量,增加农户可供交易的水权,显著降低地方政府回购水权成本。当供水效率额外提升0.034时,农户可通过水权交易实现增收。③地方政府回购水价价格倍数、供水机构最小供水效率阈值、农户节水收益是政府、供水机构与农户达成水权交易合作的关键利益点,但前提需要在政府引导下实现农户对供水机构的有效监督。

### 4.2 建议

数字农业和水权交易机制的结合为破解西部干旱地区农村灌溉“用水之困”具有重要意义。案例

区玛纳斯县正在大力推动数字农田建设,以66 670 hm<sup>2</sup>数字农田为例,地方政府水权回购主要包括农户水权回购成本1.69亿元、供水机构激励成本837.22万元,水权再配置行政费用145.45万元,总计约1.78亿元。通过水权转让项目,政府净收益达0.38亿元,同时节约用水4 162万m<sup>3</sup>,可用于其他行业发展。供水机构供水效率达到最小效率阈值0.034时,最高可获得462.52万元的市场化利润。农户则在节水增效的同时,通过水权交易和数字农田技术获得2 534.85元/hm<sup>2</sup>的收益。

本文隐含的政策含义包括:第一,完善的农村水资源监测体系是灌溉用水户水权交易的前提。在地表水为主的区域应设尽设河湖断面监测站点,应装尽装取水口计量设施,逐步加密地下水监测站网。在完善精准计量基础设施的基础上,进一步完善农村灌溉信息采集系统和归集平台,实现高质量的灌溉信息生产,实现信息共享。第二,培育更加多元化且灵活的水权交易市场。利用城乡供水设施互联互通工程,深入探索灌溉用水户水权交易市场发育中的主体引导规则,围绕交易情形、交易期限、交易程序及权益保障等支持措施,最大程度降低各方主体参与的制度成本,达成各方稳定预期,形成现代化的农村灌溉关系。

### 参考文献:

- [1] 王亚华.中国水资源配置“两手发力”的实现路径:再论“三权分置”水权制度改革[J].水利发展研究,2024,24(6):7-12. (WANG Yahua. The implementation path of China's water resource allocation by giving full play to the roles of both government and market: on the reform of the water rights system of “Three Rights Separation” [J]. Water Resources Development Research, 2024, 24 (6) :7-12. (in Chinese))
- [2] WANG Jinxia, ZHU Yunyun, SUN Tianhe, et al. Forty years of irrigation development and reform in China [J]. Australian Journal of Agricultural and Resource Economics, 2020, 64(1):126-149.
- [3] 陈茂山.农业水价综合改革的探索实践与方向重点[J].中国水利,2024(19):1-6. (CHEN Maoshan. Exploring practices of integrated reform of agricultural water pricing system and main directions [J]. China Water Resources, 2024(19):1-6. (in Chinese))
- [4] NORTH D C. Institutions, institutional change, and economic performance [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1990:4-10.
- [5] 蔡威熙,周玉玺,胡继连.农业水价改革的利益相容政策研究:基于山东省的案例分析[J].农业经济问题,2020(10):32-39. (CAI Weixi, ZHOU Yuxi, HU Jilian. A

- case study on interest compatible policies of agricultural water price reform in Shandong Province [ J ]. Issues in Agricultural Economy, 2020(10):32-39. (in Chinese) )
- [ 6 ] BRUNO E M, JESSOE K. Designing water markets for climate change adaptation [ J ]. Nature Climate Change, 2024, 14(4):331-339.
- [ 7 ] ADELODUN B, MOHAMMED A A, ADENIRAN K A, et al. Comparative assessment of technical efficiencies of irrigated crop production farms:a case study of the large-scale Kampe-Omi irrigation scheme, Nigeria [ J ]. African Journal of Science, Technology, Innovation and Development, 2021, 13(3):293-302.
- [ 8 ] ANDERIES J M, JANSEN M A, LEE A, et al. Environmental variability and collective action: experimental insights from an irrigation game [ J ]. Ecological Economics, 2013, 93:166-176.
- [ 9 ] LI Mo, XU Yaowen, FU Qiang, et al. Efficient irrigation water allocation and its impact on agricultural sustainability and water scarcity under uncertainty [ J ]. Journal of Hydrology, 2020, 586:124888.
- [ 10 ] 刘敏.“准市场”与区域水资源问题治理:内蒙古清水区水权转换的社会学分析 [ J ]. 农业经济问题, 2016, 37(10): 41-50. ( LIU Min. “Quasi-market” and regional governance of water resources problem: a sociological analysis of transfer of water rights in Qingshui District, Inner Mongolia [ J ]. Issues in Agricultural Economy, 2016, 37(10):41-50. (in Chinese) )
- [ 11 ] 田贵良,胡豪,景晓栋. 基于演化博弈的水权交易双方行为策略选择及案例仿真 [ J ]. 中国人口·资源与环境, 2023, 33(4): 184-195. ( TIAN Guiliang, HU Hao, JING Xiaodong. Bilateral behavior strategy choice and case simulation of water rights trading based on evolutionary game [ J ]. China Population, Resources and Environment, 2023, 33(4):184-195. (in Chinese) )
- [ 12 ] 胡继连. 农用水权的界定、实施效率及改进策略 [ J ]. 农业经济问题, 2010, 31(11): 40-46. ( HU Jilian. The definition of the lirigation water and it's enforcement efficiency [ J ]. Issues in Agricultural Economy, 2010, 31(11):40-46. (in Chinese) )
- [ 13 ] 王金霞,张丽娟. 绿色转型背景下农业节水的政策演进、发展困境及破解对策 [ J ]. 中州学刊, 2024(5):24-31. ( WANG Jinxia, ZHANG Lijuan. Policy evolution, development dilemmas, and countermeasures for agricultural water conservation in the context of green transformation [ J ]. Academic Journal of Zhongzhou, 2024(5):24-31. (in Chinese) )
- [ 14 ] CAO Yongchao, LI Huimin, SU Limin. Blockchain-driven incentive mechanism for agricultural water-saving: a tripartite game model [ J ]. Journal of Cleaner Production, 2024, 434:140197.
- [ 15 ] 沈满洪. 生态文明制度建设:理论阐释、演进趋势与路径选择 [ J ]. 中国农村经济, 2024(10): 2-19. ( SHEN Manhong. The construction of eco-civilization system: theoreticalinterpretation, evolution trend, and path selection [ J ]. Chinese Rural Economy, 2024 ( 10 ): 2-19. ( in Chinese) )
- [ 16 ] SUN Tianhe, HUANG Qiuqiong, WANG Jinxia. Estimation of irrigation water demand and economic returns of water in Zhangye Basin [ J ]. Water, 2017, 10(1):19.
- [ 17 ] 潘海英,叶晓丹. 水权市场建设的政府作为:一个总体框架 [ J ]. 改革, 2018(1): 95-105. ( PAN Haiying, YE Xiaodan. The governmental action of the construction of water rights market: an overall framework [ J ]. Reform, 2018(1):95-105. (in Chinese) )
- [ 18 ] 宋洪远,吴仲斌. 盈利能力、社会资源介入与产权制度改革:基于小型农田水利设施建设与管理问题的研究 [ J ]. 中国农村经济, 2009(3):4-13. ( SONG Hongyuan, WU Zhongbin. Profitability, social resource intervention, and property rights system reform: a study on the construction and management of small-scale irrigation infrastructure [ J ]. Chinese Rural Economy, 2009 ( 3 ): 4-13. (in Chinese) )
- [ 19 ] SUN Tianhe, WANG Jinxia, HUANG Qiuqiong, et al. Assessment of water rights and irrigation pricing reforms in Heihe River Basin in China [ J ]. Water, 2016, 8(8):333.
- [ 20 ] 成琨,王子欣,孙楠. 国内外水资源价值与价格研究综述 [ J ]. 水利经济, 2024, 42(4): 7-13. ( CHENG Kun, WANG Zixin, SUN Nan. Review of domestic and international research on the value and price of water resources [ J ]. Journal of Economics of Water Resources, 2024, 42(4):7-13. (in Chinese) )
- [ 21 ] 王冠军. 对深化水利经济体制机制改革有关问题的思考 [ J ]. 水利发展研究, 2025, 25(1): 24-31. ( WANG Guanjun. Thoughts on deepening the reform of water conservancy economic system and mechanism [ J ]. Water Resources Development Research, 2025, 25 ( 1 ): 24-31. (in Chinese) )
- [ 22 ] MÉREL P, YI Fujin, LEE J, et al. A regional bio-economic model of nitrogen use in cropping [ J ]. American Journal of Agricultural Economics, 2014, 96(1):67-91.

(收稿日期:2025-02-26 编辑:骆超)