

农田水利管护模式对农户灌溉效率的影响

常明^{1,2},王西琴^{2*},张馨月²

(1.中国农业科学院农业经济与发展研究所,北京100081;
2.中国人民大学农业与农村发展学院,北京100872)



摘要 使用河北省井灌区618份农户的调查数据,探究私人 and 群体两种常见管护模式对农户灌溉用水效率的影响。结果表明:相较于群体管护模式,私人管护模式机井的使用农户具有显著更高的灌溉用水效率;使用私人管护机井的农户具有更高的农户型节水技术采纳程度和更好的设施维护状态,从而提升了灌溉用水效率,但是社区型节水技术的中介效应并不显著;农户灌溉用水效率存在水价门槛值,群体管护机井的灌溉水价低于门槛值,其仍有较高的上升空间;部分私人管护机井灌溉水价远高于门槛值,已进入对灌溉用水效率的“无作用阶段”。基于此,私人管护模式应在继续保持农户高效用水的同时,以减少农户福利损失为优化方向;群体管护模式应以提升节水技术采纳和水利设施维护效果为改进目标。

关键词 管护模式;灌溉用水效率;节水技术采纳;农村公共事务治理;井灌区

中图分类号:F322 **文献标识码**:A **文章编号**:1008-3456(2022)02-0024-12

DOI编码:10.13300/j.cnki.hnwkxb.2022.02.003

中国的粮食生产重心逐渐在向水资源缺乏的北方地区转移,粮食生产与水资源禀赋的不匹配程度进一步扩大,增加了水资源利用的压力^[1]。并且,地下水作为水资源的重要组成部分,在中国多个省市均已存在不同程度的超采问题,黄淮海平原已成世界三大地下水“漏斗群”之一^[2],其中又以河北省黑龙港流域最为典型^[3]。在水资源禀赋与粮食生产错配以及地下水超采背景下,既要保证农业生产有水可用,又要尽可能地节约水资源使用,提高灌溉用水效率已成为地下水超采区以至全国解决以上矛盾的有效措施和必然要求^[4-5]。农业种植对于水资源和水利基础设施的依赖程度比其他任何产业都要高,而中国同时作为人口大国和农业大国,庞大的粮食生产需求与贫瘠的水资源禀赋状况,决定了确保国家粮食安全和提升农业生产能力均需要大量且能稳定运行的农田水利基础设施。中国大部分农户的农田地块较小且分散,没有形成规模化生产,因此灌溉范围和投资额度较小的小型农田水利对中国农业生产起着基础性作用,是解决低质量农业生产的关键性设施^[6]。而在取消农业税及“两工”制度后,政府不再作为小型农田水利设施的管护主体,其管理和维护问题需要使用农户自行解决,便出现了管护主体缺位、机制不健全等问题,发生了农户“只想用、不想管”和“重建设、轻管护”等现象^[7]。据不完全统计,自新中国成立以来陆续建设了两千万处小型农田水利,但损坏程度却已达一半以上^[8]。缺乏有效管护制度的小型农田水利设施,最终会导致灌溉水资源渗漏浪费,加重水资源短缺和利用效率低下的问题。而在地表水紧缺的河北井灌区,缺少建设大中型农田水利灌溉设施的必要条件,大量农户的灌溉水源长久以来仅能通过机井等小型农田水利设施获取。在农业税费改革后,机井灌溉设施同样出现管护主体缺位的危机,并在小型农田水利设施产权制度改革的推动下逐渐往产权私有化和农户自主管护的方向演进,形成了中国井灌区特有的机井管护模式。

收稿日期:2021-11-06

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2018ZX07111001);国家重点研发计划政府间国际科技创新合作/港澳台科技创新合作重点专项项目“中泰合作二期适应气候变化的社区水资源管理”(2017YFE0133000)。

*为通讯作者。

关于中国农田水利设施管护制度的研究,有研究认为通过将水利设施的管护主体转交给用水户协会,不仅对渠道维护和纠纷治理具有显著作用,还减轻了政府的财政负担、提升了生产效率^[9-11];也有研究认为,由于用水户协会缺乏激励机制以及农户并没有真正的发言权和决策权,且多流于形式,导致并未达到设定的节水目标^[12-14]。现有研究对象主要为用水户协会,缺乏私人管护样本;研究区域集中在渠灌区,忽视了对井灌区的研究。因此,其研究结论和政策建议不能完全适用以地下水灌溉为主的北方井灌地区。关于农田水利设施管护绩效的研究,主要体现在供给和占用两个方面,大多研究聚焦在水利设施的完好程度、供水能否满足农户需求、农户对使用规则的遵守等水利设施在运行中的绩效^[15-16];对管护结果的绩效表征,多数以农户的满意度作为用水效率的替代^[17],无法衡量自身及区域的用水效率变化。而提高灌溉用水效率作为农田水利管护的重要目标之一,现有对农田水利设施管护绩效的探索研究,缺乏对灌溉用水效率的作用探讨。

基于此,本文选择河北省井灌区,探讨私人 and 群体两种管护模式对农户灌溉用水效率的影响机制,并评估这两种模式的优点与缺点。

一、理论分析与研究假设

河北省井灌区存在两种常见的机井管护模式。一种是由经营者进行管护的私人管护模式,即机井由个人拥有或承包,将地下水售卖给具有灌溉需求的农户,并由个人对售价和机井维护进行决策的模式;私人管护模式的形成是由于小型农田水利产权改革向私有化的发展中,部分有经济实力的农户承包经营了村集体机井或是独立出资建造机井,从而拥有了机井的经营权利^[18-19]。另一种为群体管护模式,即机井由使用边界内的农户群体管理和维护,没有机井经营者售卖地下水或灌溉服务,灌溉的价格和机井的维护均由农户群体制定和决策,虽然农户群体可能会推选一位“机井组长”负责灌溉电费、机井维修费用的收取,并支付少量工资,但是“机井组长”仅作为机井使用者之间互相协商的联络人,并无更多的决策权力;群体管护模式的形成同样是在农田水利产权改革推动下,无人承包的村集体机井或是农户集资建造的机井,则由机井灌溉边界内的农户群体一起承担管护责任。

1. 管护模式、节水技术采纳与灌溉用水效率

新古典经济学中认为,生产者理性经济人,其目标是实现利润最大化。具体到农业生产中,在生产要素市场有效的前提下,具有经济理性的农户会根据生产要素价格的相对变动来调整各个要素的投入比例,倾向于减少相对价格较高或趋于上升的生产要素投入量,以获得最大利润^[20-21]。由此可见,灌溉水价是影响农户灌溉水量、节水技术采纳等相关要素投入的首要决策因素。在本文中,由于机井昂贵的建设费用和河北省地下水超采区打井审批的限制,单位面积的农户土地上机井的数量是有限的,从而使机井系统的管护主体产生差异,造成了灌溉定价机制的不同。在私人管护模式下,机井的拥有者或承包者形成了一种相对天然的垄断经营,为了获取超额利润,私人管护者向农户收取了高昂的“维修管理费”;而在群体管护模式下,机井的维修费用多是在急需维修时才集资筹措,大部分群体管护模式下机井的使用农户仅需支付基础电费,少部分会给群体中负责协调水费收取、维修集资和其他灌溉事务的“组长”支付少量的报酬,由于不需缴纳昂贵的超额利润,群体管护模式下农户支付的灌溉水价比私人管护模式下低得多,实地调查数据显示两者平均价格相差接近一倍。因此,在理性经济人假设前提下,使用私人管护模式下机井的农户,应该倾向于使用较少的地下水,或是通过采纳节水灌溉技术来提高单位水的生产力,最终应相较于群体管护模式具有更高的灌溉用水效率。据此,本文提出假说1。

H₁:私人管护模式相较于群体管护模式具有更高的农户灌溉用水效率,并会以相对较高的节水技术采纳为中介要素,间接提高灌溉用水效率。

2. 管护模式、设施维护与灌溉用水效率

在经历了小型农田水利产权制度改革后,河北省井灌区形成的两种机井管护模式可以理解为部分产权束的主体发生了转变,在私人 and 群体管护模式下,虽然机井的所有权可能并未随着管护主体

的更改而改变,但是其使用权、经营权和收益权分属于私人 and 农户群体。当产权被明确界定给私人时,个人即可获取该部分收益,收益的增加会激励私人更好地维护公共资源或物品;并且私人产权减少了交易费用,增加了资源配置的效率^[22]。但当公共物品产权没有明确界定给私人时,个人可能无法得到整个投资收益,即出现了个人与群体收益不相等的负外部性,则容易产生“公地悲剧”,其原因在于群体中的个人都会从自身利益的角度对资源的利用进行决策,从而出现了过度无序的使用,造成了负外部性,即理性、追求利益最大化的个人不会为了达成共同和集团的利益而行事,造成了集体行动效率的下降^[23];并且由于共有产权存在着不菲的交易成本,会抑制各经济主体参与资源的交易,导致资源无法配置给相对高效的利用者。而研究区机井管护模式的不同是由于产权制度改革推动下,机井的使用权、经营权和收益权是否界定给了私人或是属于农户群体;基于以上理论推演,机井管护模式的不同势必会造成其治理效果的差异,而在本文中其治理效果则可对应为机井设施的维护状态,体现在水泵提水能力和管道的渗漏程度,并最终会对农户的用水效率造成影响。因此,基于以上理论推演,本文提出假说2。

H₂:相较于群体管护模式,私人管护模式能带来更好的设施维护状态,并以此为中介要素间接提高灌溉用水效率。

3. 灌溉水价与管护模式

作为理性经济人,农户会以利润最大化作为农业生产的决策目标。在不考虑灌溉以外生产投入的情况下,农户对农作物灌溉水的投入量取决于灌溉边际收益和成本的对比。当灌溉水价上升时,农户会以损失少量产量的代价下减少灌溉水的投入,以保证自己的利润最大化。但随着灌溉水价的持续上升,灌溉水量投入的不断减少,作物产量的下降幅度却会逐渐增加;在实地调研时获知,当农作物的灌溉水量低于一定程度时会突然导致作物严重减产甚至颗粒无收,农户会有作物最低灌溉水量的预计值;即使灌溉水价已经较高,农户也会灌溉一定水量,保证作物最低限度的生长,从而获得高灌溉水价下的最大利润;直至水价高涨至无利润,此时农户放弃该作物种植。因此,对应作物的最低需水量,存在一个相应的灌溉水价门槛值,当灌溉水价处于门槛值以下的区间时,价格的上升会导致农户主动缩减灌溉用水量,或是通过技术采纳间接减少灌溉用水量,此时灌溉用水效率不断上升;当灌溉水价处于高于门槛值的区间时,农户的灌溉用水量已不随价格上升而显著变化,即进入了水价对水量的无弹性阶段^[24],此时灌溉用水效率也基本固定。根据上述论述可以推断,灌溉水价在门槛值以下的区间时,农户会由于价格的上升做出相应的决策行为以减少灌溉水量,但灌溉水量的减少则会降低私人管护者的收益;而当私人管护者将灌溉水价提升至门槛值以上时,在高于门槛值的区间内农户的灌溉水量则不会跟随价格的继续上涨出现明显的下降。因此,在相对垄断经营下的私人管护者,会尽可能将灌溉水价提升至门槛值以上,以获取更多的超额利润,但超过门槛值的灌溉水价会进入对用水效率的“无作用”区间;而机井在群体管护模式下,具有经济理性的农户群体,则不会将灌溉水价制定在会损失自身经济福利的门槛值以上。基于此,本文提出假说3。

H₃:灌溉水价对用水效率的影响存在门槛值,群体管护模式下的灌溉水价低于门槛值,私人管护模式下的灌溉水价则高于门槛值。

综上所述,本文建立分析框架如图1所示。

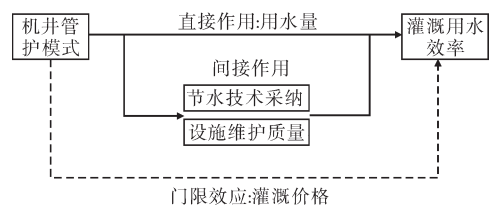


图1 分析框架

二、数据来源及模型设定

1. 数据来源

本文数据来源于调研团队在2019年6月至7月和2020年11月至12月期间,在河北省4县36个乡镇101个行政村进行的实地调研。调研地区农业种植以小麦和玉米轮作为主,灌溉水源依赖地下水资源,且位于全国典型的地下水超采区黑龙江流域,所选调研区域具有较强代表性,调研方式采用

问卷调查和农户访谈相结合。其中,问卷调查综合分层抽样和随机抽样方式共计抽取632户农户,剔除缺失值、异常值及地表水灌溉农户问卷,共获得问卷618份,有效回收率为97.78%。

2. 变量选取

(1)被解释变量:灌溉用水效率。灌溉用水效率被界定为除水资源投入外,各项其他投入和产出已确定情况下,最优水资源投入量与实际水资源投入量的比值。其两种常见评估方式分别是基于生产函数的随机前沿分析(SFA)和基于线性规划方法的数据包络分析(DEA)。本文对农户灌溉用水效率评估的主要目的是衡量出样本间效率的差异,从而分析由于机井管护模式的不同造成了农户灌溉用水效率的变化,因此并不需要在生产函数下得出农户灌溉用水效率,并且为了防止假定生产函数带来的偏误,本文选择了更侧重样本间相对效率测算的DEA方法评估农户灌溉用水效率。但是传统DEA方法在评估技术效率时会出现若干决策单元同时有效(效率等于1),导致无法进一步比较而影响参数精度,本文为避免该缺陷使用了超效率DEA模型,该模型为了避免决策单元同时为1无法比较的缺陷,在评价决策单元时不考虑本身。根据上文,灌溉用水效率界定为灌溉用水的最优投入量与实际值的比率,公式如下:

$$IE_i = \frac{IWR_i - S_{w,i}}{IWR_i} \quad (1)$$

式(1)中, IE_i 为*i*农户的灌溉用水效率; IWR_i 为*i*农户的灌溉水资源实际投入量; $S_{w,i}$ 为超效率DEA模型计算的*i*农户的灌溉水资源投入的松弛量, IWR_i 减去 $S_{w,i}$ 即为灌溉用水的最优投入量。

由于农户的种植结构不同,农户家庭所有作物灌溉用水效率的测算值不具备比较意义,而小麦是研究区最常见的农作物,因此选择小麦作为本文中农户灌溉用水效率的测算和比较对象。本文在通过超效率DEA模型测算的农户灌溉用水效率中考虑的投入要素均为亩均投入量,参考已有研究^[25],并结合调研实际提出投入要素见表1。由于河北省井灌区农户采用电动水泵的机井灌溉,大部分水泵并无灌溉水资源量的计量设施,灌溉水资源量需要“以电折水”方式得出。

(2)核心自变量:机井管护模式。本文核心自变量为农户使用机井的管护模式,两种管护模式的内涵已经在上文给出,通过在实地调研时询问农户所使用机井的运行和维护情况,判定其所使用机井的管护方式。对于由个人拥有或承包,以经营为目的,将地下水售卖给具有灌溉需求的农户,并由个人对售价和维护进行决策的机井,归为私人管护机井;对于没有经营者售卖地下水,且由使用边界内的农户群体制定灌溉水价和决策维护的机井,归为群体管护模式。

表1 农户小麦灌溉用水效率测度的投入产出指标体系

指标类型	指标名称
投入	种子投入量/(斤/亩)
	化肥投入量/(斤/亩)
	农药除草投入量/(元/亩)
	机械投入量/(元/亩)
	劳动力投入量/(标准劳动日/亩)
产出	灌溉用水投入量/(立方/亩)
	小麦产量/(斤/亩)

注:标准劳动日为一个中等劳动力正常劳动8小时。

(3)中介变量。本文的中介变量可分为节水技术采纳和设施维护程度。灌溉节水技术可分为农户型和社区型^[26],其中农户型节水技术的特点为投入成本较低且小规模种植农户可采用,包括地表软管、地膜和抗旱品种等,通过实地调研发现河北省井灌区常见农户型节水技术主要为两种,一是从机井地下管道的出水口至田间运输途中使用的输水带,通过取代土渠水沟减少地下水运送途中的渗漏;二是购买使用抗旱品种的小麦,在相对较低的灌溉水量情况下使产量不出现明显下降。社区型节水技术的特点为投入成本高,小规模种植农户难以采用,包括喷灌或滴灌等,调研区域中仅有少部分种植大户和节水工程项目覆盖的农户采用了社区型节水技术。基于以上原因,本文设置了农户型和社区型两种节水技术采纳的中介变量,用以区分不同节水技术采纳的中介效应差异。除了节水技术采纳外,机井设施的维护程度是本文中另一个中介变量,机井水泵和地下管道由于老化失修导致的提水能力减弱和输水渗漏,均会造成灌溉效率下降。

(4)门槛变量。本文的门槛变量为灌溉水价,即灌溉每立方水的花费。由于研究区域缺乏水量计量措施,农户均采用电动水泵的机井灌溉,灌溉费用通过耗电度数核算,因此要得出研究区农户的

灌溉水价,需要将灌溉水资源量通过“以电折水”方式得出^[27],灌溉用水量测算方式如下:

$$IWR_i = \left(\frac{POW \times 3.6 \times 10^5 \times (1 - LPOW)}{9.8 \times 10^3 \times LIFT} \right) \times \frac{1}{POW} \times \frac{IC}{EP} \quad (2)$$

式(2)中, IWR_i 为*i*农户每亩小麦的灌溉水资源投入量,单位为立方米; POW 为*i*农户使用机井水泵的电机功率,单位为KW; $LIFT$ 为*i*农户使用机井水泵的扬程,单位为米; IC 为*i*农户每亩小麦多次灌溉的总花费,单位为元; EP 为*i*农户灌溉需要缴纳的电费价格,单位为元/度; $LPOW$ 为*i*农户使用机井的功率损失,取值0~1区间。

(5)控制变量。本文参考相关研究经验,从个体层面^[28-31]、家庭层面^[32]、自然资源禀赋层面^[33-34]选取控制变量。个体层面包括农户年龄、受教育程度、是否做过村干部、社会交往程度、地下水超采危害认知。高龄农户由于习惯固有的灌溉经验且缺乏长远眼光,因此倾向于粗放灌溉行为并对农田水利设施的维护及投资意愿较低,可能导致灌溉用水效率低下。农户的受教育程度越高,越能准确把握农作物的灌溉需水规律和技术使用,因此有助于提高灌溉用水效率。具有村干部经历的农户在信息获取和技术学习等方面更有优势,因此可能具有更高的灌溉用水效率。农户的社会网络越大,越有利于互相之间学习先进的生产技术和知识,从而提升生产效率,因此农户的社会交往程度可能对灌溉用水效率有提升作用。农户对当地水资源量及风险的认知程度会调控自身的灌溉行为,从而影响灌溉用水效率。

家庭层面控制变量包括非农就业程度、农户种植规模、农户年家庭收入。非农就业程度通过农户家中非农就业人数与家庭总人数的比值衡量;因为随着非农就业程度的上升,造成劳动力减少和农业在家庭生产中重要性的下降,可能导致灌溉水资源浪费和对水利设施维护减少,从而降低了灌溉用水效率。农户种植经营规模的扩大会使农业生产具有规模效应,从而降低生产资料的投入。农户年家庭收入的增多可能是由于兼业程度较高导致,进而导致对农业的依附性下降,从而降低灌溉用水效率;另一方面,农户年收入的增多也可能是由于农业生产规模的扩张,从而通过规模效应提升了灌溉效率。

自然资源禀赋层面选取的控制变量包括土地肥沃程度和降水量。较为肥沃的土地可以增强作物对水资源的利用能力,从而提升作物灌溉用水效率和产量。小麦生长期和播种前期的降水量数据来源于美国国家气候数据中心(NCDC)中国城市对应地面站的逐月气象资料;降水量会直接作用于作物水分利用率,并引发农户适应性灌溉行为,最终影响灌溉效率。

3. 模型设定

(1)基础回归模型设定。为了验证假说1中机井不同管护模式对灌溉用水效率的影响作用,因此构建基础回归模型。由于本文的被解释变量农户灌溉用水效率,是通过超效率DEA模型计算,其最大值可以超过1,但最小效率值仅为0,属于受限因变量,呈现左断尾分布,因此选择基于最大似然法回归的Tobit模型作为基础回归模型,具体模型构建如公式(3)和(4)。同时基于文献及数据可得性,将个人特征、家庭特征和自然资源禀赋特征等控制变量加入回归模型中,提升回归结果准确性。模型建立如下:

$$IE_i = \alpha_0 + \alpha_1 MPM_i + \alpha_2 AGE_i + \alpha_3 EDU_i + \alpha_4 VC_i + \alpha_5 HA_i + \alpha_6 SC_i + \alpha_7 NAE_i + \alpha_8 PS_i + \alpha_9 INC_i + \alpha_{10} SF_i + \alpha_{11} GPRE_i + \alpha_{12} PPRE_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

$$IE_i = \max(0, IE_i) \quad (4)$$

式中 IE_i 为被解释变量,即由DEA模型核算的农户灌溉用水效率。 MPM_i 为本文核心自变量,即农户使用机井的管护模式,私人管护模式=1,群体管护模式=0。 ε 为误差项。其余变量为控制变量,详见表2。 α_0 为回归式的常数项; $\alpha_1 \sim \alpha_{12}$ 为各自变量的回归系数。

(2)中介效应模型设定。为验证假说1和假说2中的间接效应,根据Baron等人的方法采用依次检验法构建如下中介效应模型^[35]:

$$IE_i = \alpha_0 + \alpha_1 MPM_{ai} + \sum_2^k \alpha_k X_{ki} + \varepsilon_{1i} \quad (5)$$

$$M_{ai} = \beta_0 + \beta_1 MPM_{ai} + \sum_2^k \beta_k X_{ki} + \varepsilon_{2i} \quad (6)$$

$$IE_i = \gamma_0 + \gamma_1 MPM_{ai} + \gamma_2 M_i + \sum_2^k \gamma_k X_{ki} + \epsilon_{3i} \quad (7)$$

式中 M_{ai} 表示第 i 个农户的中介要素 ($a=1, 2, 3$), M_{1i} 为农户型节水技术, 研究区域常见的农户型节水技术主要为地表输水带和抗旱品种, 赋值 0~2, 两种均使用=2, 仅使用一种=1, 没有使用=0; M_{2i} 为社区型节水技术, 主要为喷灌或滴灌, 赋值 0 或 1, 使用喷灌或滴灌=1, 没有使用=0; M_{3i} 表示农户所用机井设施的维护状态, 非常差=1, 比较差=2, 一般=3, 比较好=4, 非常好=5。式中被解释变量和核心自变量与上文相同。式(5)可估计机井管护模式影响农户灌溉用水效率的总效应 α_1 ; 式(6)可估计机井管护模式对中介要素的配置效应 β_1 ; 式(7)可估计机井管护模式对农户灌溉用水效率的直接效应 γ_1 和中介效应 $\beta_1 \gamma_2$, 并通过依次检验法和 Bootstrap 法进行中介效应有效性检验。

(3) 门槛效应模型设定。为验证假说 3, 需要找出灌溉水价对灌溉用水效率影响作用的门槛值, 而通过主观方式去寻找门槛可能会存在偏误, Hansen 提出的截面数据门槛估计方法则很好地解决了这一困境, 该方法在推导出门槛的最小二乘估计量近似分布的基础上, 并对门槛值进行了相应检验^[36]。本文先建立门槛模型如下:

$$IE_i = \alpha_0 + \alpha_{1a} WP_i \times I(WP \leq r) + \alpha_{1b} WP_i \times I(WP > r) + \sum_2^k \alpha_k X_{ki} + \epsilon_i \quad (8)$$

式中 WP 为灌溉水价, 在该模型中作为门槛变量, r 为待估计的门槛值, I 为示性函数, 条件表达式真时为 1, 反之则为 0; 式中被解释变量和控制变量与公式(3)相同。

表2 变量描述性统计

	变量名称	代码	变量定义	平均值	标准差
被解释变量	灌溉用水效率	IE	连续变量	0.62	0.38
核心自变量	机井管护模式	MPM	私人管护模式=1; 群体管护模式=0	0.27	0.44
	农户型节水技术采纳程度	M_1	两种均使用=2; 仅使用一种=1; 没有使用=0	1.39	0.65
中介变量	社区型节水技术采纳程度	M_2	使用=1; 没有使用=0	0.04	0.205
	设施维护状态	WI	非常差=1; 比较差=2; 一般=3; 比较好=4; 非常好=5	3.72	0.964
门槛变量	灌溉水价	WP	连续变量/元/立方米	0.36	0.18
	年龄	AGE	连续变量	59.78	9.83
	受教育程度	EDU	小学以下=1; 小学=2; 初中=3; 中专及高中=4; 大专及以上=5	2.91	0.90
	是否做过村干部	VC	是=1; 否=0	0.34	0.47
	农户社会交往程度	SC	非常少=1; 稍微少一点=2; 基本一样=3; 稍微多一点=4; 非常多=5	3.66	0.98
	地下水超采危害认知	HA	完全不了解=1; 不太了解=2, 基本了解=3; 比较了解=4; 完全了解=5	3.79	1.16
控制变量	非农就业程度	NAE	连续变量	0.24	0.28
	种植规模/公顷	PS	连续变量	1.64	6.43
	家庭年收入/万元	INC	连续变量	5.10	7.891
	土地肥沃程度	SF	贫瘠=1; 普通=2; 肥沃=3	2.39	0.542
	生长期降水量/毫米	GPPE	连续变量	278.78	18.291
	播种前期降水量/毫米	PPPE	连续变量	311.40	27.33

三、结果与分析

1. 基础模型回归结果

式(3)回归结果见表 3, 所有模型 LR 检验显示自变量均联合显著 ($P < 0.01$), 说明模型拟合程度较好。表 3 中模型 1 仅以机井管护模式作为自变量, 在无其他任何控制变量的情况下, 回归结果显示相关性为正, 通过 1% 水平下显著性检验。而模型 2、3、4 在模型 1 基础上, 除了将机井管护模式作为核心变量外, 又加入了个人特征、家庭特征和自然资源禀赋等控制变量, 其回归结果方向仍然为正,

显著性仍然通过1%水平下检验,且LR值出现上升;说明了个人、家庭和自然资源禀赋特征等控制变量的引入提升了模型的拟合效果,使模型的模拟结果更为准确合理。以上结果展示了核心自变量机井管护模式对灌溉用水效率的回归结果显著为正,可以得出相较于群体管护模式,私人管护模式下机井使用农户表现出了更高的灌溉用水效率。该结果初步验证了假说1,但是中介要素的作用效果如何仍需在下文验证。

控制变量的结果显示,在个人特征中农户社会交往程度和地下水超采危害认知对灌溉用水效率显著为正;说明农户之间来往频率越高,越有利于农户之间相互学习灌溉经验,改善粗放的灌溉行为,从而提升灌溉用水效率,而对地下水超采危害认识更深刻的农户,更知道超量使用地下水带来的不利影响,从而主动调整了自己的灌溉行为,使得灌溉用水效率出现提升。在农户家庭特征变量中非农就业程度对灌溉用水效率具有显著负向效应,说明农业劳动力外流和农户对农业生产依附性的下降,造成了农户粗犷灌溉和对农田水利设施重视程度的下降,进而导致了对灌溉用水效率产生负效应。而种植规模和年收入变量对灌溉用水效率均为显著正相关;说明农户种植规模的扩张提升了灌溉用水效率的规模效应,而农户家庭年收入一方面与经营规模相关,另一方面随着家庭收入的增多,可能有助于农户对节水技术的采纳和水利设施维护的参与。在自然资源禀赋特征中,农户的土地肥沃程度与灌溉用水效率呈现了显著正相关,说明土壤的肥沃程度对水资源的利用能力有明显的增强效应。

表3 基础模型回归结果

被解释变量	变量	模型1	模型2	模型3	模型4
	灌溉用水效率				
核心自变量	机井管护模式	0.127*** (0.034)	0.128*** (0.034)	0.140*** (0.033)	0.142*** (0.034)
	Log年龄		-0.097 (0.196)	0.173 (0.204)	0.146 (0.203)
	受教育程度		-0.012 (0.018)	-0.020 (0.018)	-0.014 (0.018)
	个人特征	是否做过村干部		0.043 (0.033)	0.038 (0.033)
	农户社会交往程度		0.044*** (0.016)	0.043*** (0.016)	0.037** (0.017)
	地下水超采危害认知		0.031** (0.013)	0.028** (0.013)	0.026** (0.013)
	非农就业程度			-0.122** (0.055)	-0.123** (0.056)
家庭特征	种植规模			0.007*** (0.002)	0.007*** (0.002)
	Log家庭年收入			0.109*** (0.039)	0.0975** (0.040)
	土地肥沃程度				0.073*** (0.027)
自然资源禀赋特征	Log生长期降水量				-0.797 (0.563)
	Log播种前降水量				0.171 (0.414)
	LR	13.93***	33.46***	57.97***	67.47***
	截距项	0.59***	0.50	0.03	1.44

注:括号外数字表示回归系数,括号内数字表示标准差,***、**、*分别表示在1%、5%、10%水平上显著。下同。

2. 中介效应模型结果分析

根据公式(5)至(7)构建中介模型中,除了使用基础模型中所选变量作为控制变量外,在节水技术采纳为中介变量的模型中添加了设施维护状态为控制变量,同时在设施维护状态为中介变量的模型中添加了节水技术采纳为控制变量。中介效应模型结果显示如表4,首先机井管护模式对灌溉用水效率的总效应显著为正,同时机井管护模式对农户型节水技术采纳和设施维护状态具有显著正向效应,并且管护模式、农户型节水技术采纳与设施维护状态也同时对灌溉用水效率具有显著正向效应;因此认为机井管护模式对灌溉用水效率除了可以产生直接效应外,还会通过农户型节水技术采纳和设施维护状态对灌溉用水效率产生中介效应,且通过了依次检验法;Bootstrap在1000次重复抽样下对中介效应检验显示,农户型节水技术采纳和设施维护状态在机井管护模式对灌溉用水效率的中介效应值分别为0.009和0.010,与逐步法计算结果相同,置信区间分别为(0.0003,0.0169)和(0.0003,0.0198),置信区间均不包含0,说明农户型节水技术采纳和设施维护状态的中介效应也通过了Bootstrap检验。上述结果可以得出相较于群体管护模式,使用私人管护模式机井的农户除了直接具有较高的灌溉用水效率外,其还通过更高的农户型节水技术采纳程度和更好的设施维护状态,进而间接提升了农户用水效率。

表4 中介效应模型回归结果

变量	总效应	核心自变量对中介要素的配置效应				引入中介要素后核心自变量影响因变量的直接效应			中介效应	Bootstrap中介效应检验	
		灌溉用水效率	农户型节水技术采纳	社区型节水技术采纳	设施维护状态	灌溉用水效率				系数	置信区间
机井管护模式	0.130*** (0.034)	0.161*** (0.061)	-0.009 (0.017)	0.297*** (0.087)	0.121*** (0.034)	0.129*** (0.034)	0.121*** (0.034)				
农户型节水技术采纳					0.054** (0.023)			0.009	0.009** (0.004)	[0.0003, 0.0169]	
社区型节水技术采纳						-0.054 (0.080)		0.001	0.001 (0.002)	[-0.0033, 0.0043]	
设施维护状态							0.034** (0.016)	0.010	0.010** (0.005)	[0.0003, 0.0198]	
控制变量	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制				
F值	5.83***	2.69***	12.87***	5.75***	5.85***	5.44***	5.85***				
截距项	1.36	2.92	-1.12	1.76	1.21	1.30	1.21				

但是,机井管护模式对社区型节水技术采纳的回归结果并不显著,同时,社区型节水技术采纳对灌溉用水效率的回归结果也未通过显著性检验,即社区型节水技术的中介效应未通过逐步检验法;Bootstrap在1000次重复抽样下对社区型节水技术中介效应检验结果表明,置信区间处于(-0.0033,0.0043),置信区间包括0,因此也未通过Bootstrap检验。这说明社区型节水技术在机井管护模式对灌溉用水效率的影响中不具备中介效应。以上结果验证了假说1和假说2,即私人管护模式相较于群体管护模式具有更高的农户灌溉用水效率,还会通过相对更高的节水技术采纳程度和更好的设施维护状态具有间接影响,但仅有农户型节水技术能发挥显著中介效应。

基于以上中介效应模型结果并结合上文的机制分析可以得出,相较于群体管护模式的低水价,私人管护模式较高的灌溉定价可以直接促使农户降低灌溉用水量,从而具有提升灌溉用水效率的直接效应;虽然地表软管和抗旱品种等农户型节水技术相较于喷灌和滴管等社区型节水技术,对灌溉用水效率的提升能力较弱^[37],但是由于其具有投资成本低且可被小规模农户使用的优势,在私人管护机井的高灌溉水价的压力下得到了广泛的采纳,一定程度上实现了减少水资源损耗和节水高产的目的,并达到了提升井灌区农户灌溉用水效率的效果。但是,社区型节水技术由于其较高的投资成本且单个农户难以采用的缺点,在井灌区并未受到农户广泛的采纳,并在私人管护机井的高灌溉水价的压力下社区型节水技术的采纳程度也未出现显著性提升,因此在管护模式对农户灌溉用水效率的

作用中并未起到显著中介效应。此外,私人管护模式可以更好地将灌溉系统外部性内部化,实现资源的更优配置,降低了交易成本,从而达到对机井设施更好的维护效果,表现为水泵较优的提水动力以及地下管道较少的渗漏,其也在管护模式对农户灌溉用水效率的作用中起到了较大的中介效应。

3. 进一步讨论:私人管护模式的缺陷

实证结果得出了使用私人管护模式机井的农户灌溉用水效率要显著高于群体管护模式,并解析了其中的作用机制。虽然私人管护模式在灌溉效率层面优于群体管护模式,但其也存在着一一定的缺陷。基于此,本文依据两种管护模式在灌溉水价对用水效率门槛值前后的分布情况,进行更进一步的讨论。

依据式(8),本文先估计灌溉水价对农户用水效率的门槛值。首先采用Bootstrap的方法重复抽样1000次得到LM的统计量为76.83,对应的P值为0.012,因此拒绝原假设,认为灌溉水价对农户用水效率的影响存在门槛效应。进一步通过似然比值考察门槛值的位置,当门槛值为0.569时似然比值为0,并且低于95%的临界值,因此接受 $\hat{\tau}=0.569$ 为门槛值,即以灌溉水价格0.569元/立方米为门槛值。

以门槛值划分样本后,再运用Tobit模型估计灌溉水价对农户用水效率的影响,控制变量的选择与基础回归模型相同,结果见表5所示。未以门槛值划分的全样本估计结果显示,灌溉水价正向影响灌溉用水效率,系数为0.408且通过1%水平下显著性检验。而灌溉水价低于门槛值的样本估计结果显示,灌溉水价对用水效率的回归系数为0.420,大于全样本的回归系数且同样通过1%水平下显著性检验,表明灌溉水价低于门槛值的农户,其灌溉水价对农户用水效率的正向作用力度更强;即在灌溉水价低于0.569元/立方米时,农户灌溉用水效率对价格的变动更为敏感,灌溉水价在低于门槛值的区间内上涨可以有效提升灌溉用水效率。而灌溉水价高于门槛值的样本估计结果显示,灌溉水价对用水效率的回归系数为0.568,但未通过显著性检验,说明灌溉水价在高于门槛值的区间对用水效率不存在显著影响;说明当灌溉水价超过门槛值时,农户已将灌溉用水量缩减到最低程度,此时再提升灌溉水价已无法对用水效率产生显著影响作用。

表5 门槛值前后灌溉水价对用水效率的回归结果

被解释变量	变量灌溉用水效率	全样本	灌溉水价<0.569元/立方米	灌溉水价>0.569元/立方米
核心自变量	灌溉水价	0.408***	0.420***	0.568
		(0.082)	(0.091)	(0.582)
控制变量		已控制	已控制	已控制
	LR	82.88***	90.63***	23.78**
	截距项	-0.51	1.46	-10.98

本文进一步将私人 and 群体管护模式的农户样本按照灌溉水价的门槛值进行了划分对比,如图2所示。可以看出,在剔除离群点后,使用群体管护机井的农户所缴纳的灌溉水价全部低于0.569元/立方米,其平均灌溉水价(0.27元/立方米)远低于门槛值,即该部分农户的灌溉水价还未完全发挥出对灌溉效率的驱动作用,仍有较高的上升空间;而使用私人管护模式机井的农户中,已有超过四分之一的农户缴纳的灌溉水价远高于门槛值,已进入灌溉水价对用水效率“无作用阶段”。以上结果未能完全验证假说3,虽然几乎所有的群体管护机井的灌溉水价低于门槛值,但仅有部分私人管护机井的灌溉水价高于了门槛值,并没有全部超过,说明在中国农村“熟人社会”场域下,部分私人机井管护者放弃了一定的超额利润,与用水农户达成了灌溉“人情价格”。

结合前文结果可以得出,相较于群体管护模式,使用私人管护机井的农户在较高的灌溉水价下,

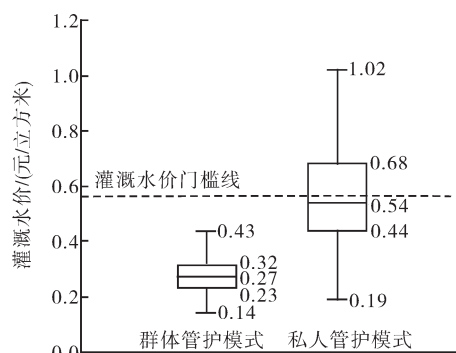


图2 不同管护模式在灌溉水价门槛下的比例

虽然拥有了更高的灌溉用水效率;但由于地下水灌溉服务经营的天然垄断特性,部分私人机井管护者制定的灌溉水价已超过有效促进用水效率的合理区间。因此,私人管护模式虽然具有相对较高的灌溉用水效率,但是部分私人管护机井的灌溉水价处于超过阈值值的“过高”区间,这在一定程度上损害了用水农户福利。综上所述,将机井由群体管护模式直接转变为私人管护模式,并不是研究区域的最优选择,制定井灌区农田水利设施的更优管护方案,具有进一步研究的必要。

4. 稳健性检验

为保障本文所得结果的稳健性,通过更换回归方式、缩小样本范围等方式对本文所得结果进行稳健性检验。由于篇幅限制,具体稳健性检验过程不再赘述^①。首先,将上文基础模型更换为倾向值匹配法(PSM),在拟自然实验的环境下评估出因果处理效应^[38]。其次,对中介效应检验从OLS回归模型更换成Tobit模型和Probit模型,检查系数方向和显著性是否发生变化。最后,对门槛效应回归模型从全样本缩减为仅户主回答样本,估计灌溉价格阈值和门槛前后灌溉价格对农户灌溉用水效率的影响作用与前文是否一致。

结果显示,PSM方法得出多种倾向性得分匹配后处理组的平均处理效应达到了0.1438~0.1461,且均通过显著性检验,验证了使用私人管护模式机井的农户相较于群体管护模式拥有更高的灌溉用水效率,说明上文基准模型回归结果具有较高的稳健性。中介效应检验在更换回归方式后仍能得出农户型节水技术、设施维护状态的显著中介效应,社区型节水技术的中介效应依然不显著,证明了该结果具有较强的稳健性。门槛效应回归在筛选出户主回答样本后,所得灌溉价格门限值依然为每立方米0.569元,并显示出在低于门限值时,灌溉价格对用水效率具有较强的正向作用,超过门限后作用便不再显著,均与前文结果一致。

四、结论与启示

本文通过在河北省4县收集的618户调研问卷数据,探讨了井灌区农田水利管护模式对农户灌溉用水效率的影响作用和机制,得到以下研究结论:第一,私人管护模式机井的使用农户相较于群体管护模式,具有显著更高的灌溉用水效率。第二,使用私人管护机井的农户除了直接具有较高的灌溉用水效率外,还通过较高的农户型节水技术采纳和更好的设施维护状态,进而间接提升了灌溉用水效率,但是社区型节水技术的中介效应并不显著。第三,本文样本中灌溉水价对农户用水效率作用的阈值为0.569元/立方米;在高于阈值的区间,灌溉水价对农户用水效率的影响作用不再显著;群体管护机井的灌溉水价均低于阈值,仍有较高的上升空间;部分私人管护机井的灌溉水价远高于阈值,已进入灌溉水价对用水效率的“无作用阶段”。

本文结论具有以下政策启示:第一,私人管护模式应在继续保持农户高效用水的同时,以减少农户福利损失为优化方向。在继续探索和推广如地表软管、抗旱品种等投资较小的农户型节水技术的基础上,还需大力提升喷灌和滴灌等节水技术的补贴力度,从而促进农户对社区型节水技术的采纳力度;此外,应参考农机服务市场的建立运行方式,依托可移动灌溉设备的发展,使私人管护机井的灌溉服务边界不再受地下管道铺设范围限制,并由政府或村集体引导私人机井的经营者成立灌溉服务队伍,从而将竞争机制引入到目前私人管护机井的灌溉服务中。第二,群体管护模式应以提升节水技术采纳和水利设施维护效果为改进目标。村集体或政府应引导群体管护模式下的使用农户对灌溉价格合理定价,扩大现有群体组长的权力和责任,参考农业水价改革中灌溉价格的核算方式,将维修费用和组长报酬计入灌溉水价,使灌溉水价提升至能更多促进农户节水的合理区间,并协助农户群体建立机井管理和维修的规则制度。第三,鉴于河北井灌区两种农田水利管护模式均存在缺陷,考虑将农村基层组织作为农田水利的管护主体重新介入村庄灌溉事务,通过获取农田水利经营权以及负责设施维修,激活用水户协会等村集体经济组织,统一执行合理灌溉水价,选拔专业能人管

① 由于文章篇幅有限,稳健性检验过程和具体结果不在文中展示,可与作者联系获取。

理机井分担灌溉事务,并给予激励型报酬,建立村基层组织主管、村能人合作的新管护模式,实现乡村灌溉系统的“善治”。

参 考 文 献

- [1] 王浩,汪林,杨贵羽,等.我国农业水资源形势与高效利用战略举措[J].中国工程科学,2018,20(5):9-15.
- [2] YU C, GONG P, YIN Y. China's water crisis needs more than words [J].Nature,2011,470(7334):307.
- [3] 胡振通,王亚华.华北地下水超采综合治理效果评估——以冬小麦春节水政策为例[J].干旱区资源与环境,2019,33(5):101-106.
- [4] 孙爱军,方先明.中国省际水资源利用效率的空间分布格局及决定因素[J].中国人口·资源与环境,2010,20(5):139-145.
- [5] 常明,王西琴,贾宝珍.中国粮食作物灌溉用水效率时空特征及驱动因素——以稻谷、小麦、玉米为例[J].资源科学,2019,41(11):2032-2042.
- [6] LIU Y, LI Y. Revitalize the world's countryside[J]. Nature News, 2017,548(7667):275-277.
- [7] 郭珍.农地流转、集体行动与村庄小型农田水利设施供给——基于湖南省团结村的个案研究[J].农业经济问题,2015,36(8):21-27,110.
- [8] 王博.制度能力、合作水平与农田灌溉系统治理研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2020.
- [9] GHOSH S, KOLADY D E, DAS U, et al. Spatio-temporal variations in effects of participatory irrigation management (PIM) reform in India: a panel data analysis[J].Agricultural water management,2019,222:48-61.
- [10] 刘静,MEINZEN-DICK R,钱克明,等.中国中部用水者协会对农户生产的影响[J].经济学(季刊),2008(2):465-480.
- [11] 姜东晖,胡继连,武华光.农业灌溉管理制度变革研究——对山东省SIDD试点的实证考察及理论分析[J].农业经济问题,2007(9):44-50,111.
- [12] 王金霞,黄季焜,ROZELLE S.激励机制、农民参与和节水效应:黄河流域灌区水管理制度改革的实证研究[J].中国软科学,2004(11):8-14.
- [13] 王亚华.中国用水户协会改革:政策执行视角的审视[J].管理世界,2013(6):61-71,98,187-188.
- [14] 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.
- [15] 杨柳,朱玉春,任洋.社会信任、组织支持对农户参与小农水管护绩效的影响[J].资源科学,2018,40(6):1230-1245.
- [16] 蔡荣.管护效果及投资意愿:小型农田水利设施合作供给困境分析[J].南京农业大学学报(社会科学版),2015,15(4):78-86,134.
- [17] 罗岚,许贝贝,张祥薇,等.农田水利设施管护绩效及其驱动机制研究——以陕西省大荔县为例[J].世界农业,2020(5):119-127.
- [18] 王昕,陆迁.产权安排与农户投资意愿:三种小型水利设施管护方式的比较分析[J].农林经济管理学报,2015,14(3):259-266.
- [19] 张丽娟.非农就业对农户是否选择购买地下水灌溉服务的影响——基于跨度16年5轮实地追踪调查数据的实证分析[J].中国农村经济,2021(5):124-144.
- [20] SCHULTZ T W. Transforming traditional agriculture[M]. New Haven: Yale University Press, 1964.
- [21] DUIKER W J, POPKIN S L. The rational peasant: the political economy of rural society in vietnam[J].The journal of asian studies,1980,41(4):889-891.
- [22] COASE R H. The problem of social cost[J]. The journal of law and economics, 2013,56(4):837-877.
- [23] OLSON M. The logic of collective action: public goods and the theory of groups[M]. Cambridge: Harvard University Press, 1977.
- [24] HUFFAKER R G, WHITTLESEY N K, MICHELSENA M, et al. Evaluating the effectiveness of conservation water-pricing programs[J]. Journal of agricultural and resource economics, 1998,23(1):12-19.
- [25] RAZZAQ A, QING P, ABID M, et al.Can the informal groundwater markets improve water use efficiency and equity? Evidence from a semi-arid region of Pakistan[J].Science of the total environment,2019,666:849-857.
- [26] 刘亚克,王金霞,李玉敏,等.农业节水技术的采用及影响因素[J].自然资源学报,2011,26(6):932-942.
- [27] 岳士茹.农机电井以电折水方法及其应用[D].保定:河北农业大学,2019.
- [28] 贾蕊,陆迁.信贷约束、社会资本与节水灌溉技术采用——以甘肃张掖为例[J].中国人口·资源与环境,2017,27(5):54-62.
- [29] 许朗,黄莺.农业灌溉用水效率及其影响因素分析——基于安徽省蒙城县的实地调查[J].资源科学,2012,34(1):105-113.
- [30] 于林霞,张波,白秀广.黄土高原区苹果生产技术效率及其影响因素研究——基于528户苹果种植户的调查数据[J].干旱区资源与环境,2018,32(4):68-74.
- [31] 王昕,陆迁.水资源稀缺性感知影响农户地下水利用效率的路径分析——基于华北井灌区1168份调查数据的实证[J].资源科学,2019,41(1):87-97.
- [32] 常明.农户兼业行为影响灌溉效率吗?——基于CFPS的微观证据[J].农林经济管理学报,2020,19(6):681-689.

- [33] 于伟咏, 漆雁斌, 韦锋, 等. 水旱轮作模式和灌溉方式对西南地区水稻灌溉用水效率的影响[J]. 资源科学, 2017, 39(6): 1127-1136.
- [34] 梁静溪, 张安康, 李彩凤. 基于权重约束DEA和Tobit模型农业灌溉用水效率实证研究——以黑龙江省为例[J]. 节水灌溉, 2018(4): 62-68.
- [35] BARON R M, KENNY D A. The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: conceptual, strategic, and statistical consideration[J]. Journal of personality and social psychology, 51(6): 1173-1182.
- [36] HANSEN B E. Sample splitting and threshold estimation[J]. Econometrica, 2000, 68(3): 575-603.
- [37] 黄腾, 赵佳佳, 魏娟, 等. 节水灌溉技术认知、采用强度与收入效应——基于甘肃省微观农户数据的实证分析[J]. 资源科学, 2018, 40(2): 347-358.
- [38] ROSENBAUM P R, RUBIN D B. The central role of the propensity score in observational studies for causal effects[J]. Biometrika, 1983, 70(1): 41-55.

Influence of Management Mode of Farmland Water Conservancy on Irrigation Efficiency of Farmers

CHANG Ming, WANG Xiqin, ZHANG Xinyue

Abstract According to the survey data of 618 farmers in the well-irrigated area in Hebei Province, this paper explored the impact of private management mode and group management mode on the irrigation water efficiency, on the basis of clarifying the differences in the existing management modes of borewells. The research results showed that the farmers using the private management mode of borewells had significantly higher irrigation water efficiency compared with the group management mode. Farmers who used privately-managed borewells had a higher adoption of farm-type water-saving technologies and better facility maintenance, which improved irrigation water efficiency, while the mediating effect of community-type water-saving technologies was not significant. Moreover, there was a water price threshold for the irrigation water efficiency of farmers. The irrigation water price of the group managed wells was lower than the threshold, and there was still a lot of room for increase. The irrigation price of some privately-managed borewells was much higher than the threshold, and had entered into the “non-effect stage” of irrigation water efficiency. Based on the above conclusions, the private management model should be optimised to reduce the loss of farmers’ welfare while continuing to maintain efficiency of farmers; the group management model should aim to improve the adoption of water-saving technology and the maintenance of water conservancy facilities.

Key words management mode; irrigation water efficiency; adoption of water saving technology; rural public affairs governance; well-irrigated area

(责任编辑: 金会平)