

引用格式: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. [Wang X, Lu Q. Path characterization of water resources scarcity perception's effects on farmers' groundwater usage efficiency——empirical study based on 1168 survey data of Well-irrigated District in North China[J]. *Resources Science*, 2019, 41(1): 87-97.] DOI :10.18402/resci.2019.01.09

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

王 昕¹, 陆 迁²

(1. 天津商业大学经济学院, 天津 300134; 2. 西北农林科技大学经济管理学院, 杨凌 712100)

摘 要: 本文将水资源稀缺性感知划分为水量短缺认知、水位下降认知、风险认知、机井使用感受和灌溉感受五个维度, 利用华北井灌区1168户农户户主的调查数据, 运用边际结构模型(MSM)逆向概率加权(IPW)估计方法剔除气候、资源禀赋等伪关联因素的影响, 实证分析了水资源稀缺性感知对农户地下水利用效率的影响机制。结果发现: 稀缺性感知影响地下水利用效率既有直接影响也有间接影响, 其中间接影响发挥作用更大。直接影响是通过水量短缺认知和水位下降认知来实现的, 即认知水平越高, 地下水利用效率越高。稀缺性感知通过影响超采行为、节水技术采用行为和水利设施维护等投入行为决策间接作用于地下水利用效率, 且风险认知、灌溉感受和和行为决策间存在交互效应。风险认知水平高导致超采行为频发, 降低地下水利用效率; 灌溉感受越差的农户水利设施维护动力越强烈, 从而提高地下水利用效率; 节水技术采用行为有利于实现地下水的高效利用。

关键词: 水资源稀缺性感知; 地下水利用效率; 影响路径; 边际结构模型

DOI :10.18402/resci.2019.01.09

1 引言

在地表水资源日益贫乏的情况下, 以机井为主要形式的地下水灌溉系统成为华北井灌区农户灌溉的重要方式^[1]。随着农业用水需求的增加, 农户无序抽取地下水行为时有发生, 地下水超采现象日益突出。同时, 现有灌溉用水效率低下又导致地下水资源大量浪费, 更加剧了地下水的超采危机, 使原本严重的水资源短缺问题雪上加霜^[2]。因地下水资源稀缺引发的过度开采和用水效率低下之间的矛盾, 已成为理论研究和政府治理的热点。政策制定者越来越关注如何通过提升灌溉用水效率来减少水资源浪费, 以缓解甚至避免地下水的过度开采。而制定有效政策的关键在于从农户层面理解水资源利用效率, 提炼出激励性因子并赋予政策含义,

从而使开采的每一滴地下水都得到高效利用。

现有文献侧重于从市场机制和经济手段讨论农户灌溉用水效率低下的原因, 认为灌溉用水效率受到水价、完善水权交易市场、采用节水技术等的影响。本质上, 农户是农业生产经营和灌溉用水的主体, 其水资源感知水平和用水行为决定着灌溉用水效率^[3]。但当前研究尚未重视农户稀缺性感知与资源利用效率之间的内在联系, 对稀缺性感知影响农户地下水利用效率的路径探讨更是缺乏。随着稀缺性感知研究的兴起和地下水超采形势日益严峻, 学者们开始关注稀缺性感知与灌溉用水效率的关系。稀缺性感知对灌溉用水效率既有直接影响又有间接影响。直接影响主要是通过农户对地下水资源短缺的认识程度及其基于这些认识形成的

收稿日期: 2018-04-21 ; 修订日期: 2018-10-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(71503181)。

作者简介: 王昕, 女, 河北遵化人, 博士, 讲师, 主要研究领域为区域经济发展。E-mail: wangxin@tjcu.edu.cn

资源观念来作用于地下水资源的利用效率^[4]。李鹤等认为相当数量的农民没有认识到水资源的稀缺性,缺乏水资源危机意识是地下水资源利用效率低的原因^[5]。另一方面,稀缺性感知还可通过影响农户地下水开发利用投入行为决策而间接决定水资源的利用效率。稀缺的水资源和不断下降的水位导致农户对水资源稀缺性产生评价,这种评价心理直接影响到农户地下水开发利用行为决策,进而关系到水资源的利用效率^[6,7]。Shah等指出稀缺性认知不足导致地下水过度开采,降低用水效率^[8];黄玉祥等则强调认知程度在农户节水行为方面扮演着重要的角色,而节水行为改进能够有效提高水资源的利用效率^[9,10]。综上所述,稀缺性感知对地下水利用效率的影响机制比较复杂,既有直接影响也有间接影响,这些影响的显著程度以及究竟是如何发生的,均有待进一步验证。

本文利用华北井灌区1168户农户户主的调研数据,来识别水资源稀缺感知影响地下水利用效率的路径。重点关注两个方面的问题:①感知低下是否直接导致了资源利用效率低下?如果是,那作用程度如何?②水资源稀缺性感知如何通过投入行为决策影响地下水资源利用效率?与现有文献相比,本文的独特之处在于:利用边际结构模型(MSM)逆向加权概率评估(IPW)方法,剔除了气候及资源禀赋等伪关联因素的影响,阐释水资源稀缺性感知影响农户地下水利用效率的路径与作用机理。

2 理论框架

2.1 概念界定

2.1.1 水资源稀缺性感知

根据微观经济学原理,自然资源的稀缺是相对于需求量而言的,指的是人类所能获得资源的数量是有限的。由此推及,农户层面的水资源稀缺主要是指影响农业生产或者灌溉决策的水资源可获得性是有限的。同时,水资源稀缺性同时还应该包括资源可用的质量及未来的可用程度^[11]。稀缺的紧张程度与地下水获取的难易程度密切相关。华北井灌区常年使用地下水灌溉,地下水资源被过度开采,农户获取地下水资源代价越来越高。而水资源稀缺性感知则是建立在这个事实的基础上,从心里层面来衡量农户对地下水资源稀缺现状的认知程

度。根据心理学的相关定义,感知主要包括感受和认知两个方面,其中感受指的是人脑对直接作用于感觉器官的客观事物个别属性的反映,认知是指通过形成概念、知觉、判断或想象等心理活动来获取知识的过程。基于此,农户层面的稀缺性感知主要是指资源获取数量、质量和未来可用程度稀缺的认知和感受。水资源的稀缺既有资源环境如干旱等造成的资源性的稀缺,同时也有人类活动的不合理利用如水价制定、灌溉管理等带来的人为因素的稀缺。因此,本文定义的水资源稀缺性感知是包含环境、经济、社会因素的集合。

参考Tang等、Varghese等、赵雪雁等^[6,7,12]对水资源稀缺性感知的指标选取,结合现有农村地下水抽取行为和灌溉事实,最终列出水资源稀缺性感知指标体系,如表1所示。水量稀缺认知(QR)主要是指农户对现有水量和未来水量的认识。水位下降认知(TR)主要是指对现有水井水位、未来水井水位和地面下陷的认识。在华北井灌区,旱灾频发、水井荒废、灌溉面积减少和灌溉水质污染都会造成水资源短缺,而这种水资源短缺具有很强的不确定性,在一定程度上也会影响农户的灌溉决策,因此本文把这部分由稀缺性造成的后果认知定义为风险认知(RR),将其纳入稀缺性感知指标体系。在感受方面,本文用灌溉感受和机井使用感受两个指标来衡量。灌溉感受主要是水价和灌溉排队等候时间的感受。水价是稀缺性信号的直接表征,水价提高凸显了水资源的稀缺性。灌溉排队等候时间越长,表明农作物越不能及时被灌溉,农户的灌溉感受越差。机井使用感受之所以被纳入到感受指标体系主要是因为机井灌溉是华北井灌区农户的主要灌溉方式,机井的使用感受直接反映了水资源的短缺程度。该指标主要用钻井成本和水井干枯程度来表征,钻井成本的上升表明地下水获取难度加大;水井越干枯表明体制型缺水越严重。所有指标均采用李克特量表5等分法获得,稀缺性感知指数用因子分析方法计算得出。

2.1.2 地下水资源利用效率

本文根据Färe等技术效率的定义^[13],即技术效率是指在既定投入下获得最大产出的能力或者最少投入下获得既定产出的能力;借鉴Watto等的研

表1 水资源稀缺性感知指标体系构建

Table 1 Construction of water scarcity perception index

一级指标	指标说明	定义及赋值
水量稀缺认知(QR)	地下水资源总量非常稀缺 未来水资源短缺危机加剧	非常不同意=1,比较同意=2,一般=3,比较同意=4,非常同意=5 非常不同意=1,比较同意=2,一般=3,比较同意=4,非常同意=5
水位下降认知(TR)	地下水抽取太多造成地面下陷 近几年水井水位下降的很严重 未来新井越打越深	非常不同意=1,比较同意=2,一般=3,比较同意=4,非常同意=5 非常不同意=1,比较同意=2,一般=3,比较同意=4,非常同意=5 非常不同意=1,比较同意=2,一般=3,比较同意=4,非常同意=5
风险认知(RR)	旱灾频发会给生产造成损失 水井荒废会给生产造成损失 灌溉面积减少会给生产造成损失 灌溉水质污染会给生产造成损失	非常不同意=1,比较同意=2,一般=3,比较同意=4,非常同意=5 非常不同意=1,比较同意=2,一般=3,比较同意=4,非常同意=5 非常不同意=1,比较同意=2,一般=3,比较同意=4,非常同意=5 非常不同意=1,比较同意=2,一般=3,比较同意=4,非常同意=5
灌溉感受(WE)	近年来灌溉水价升高 灌溉排队等候时间长	非常不同意=1,比较同意=2,一般=3,比较同意=4,非常同意=5 非常不同意=1,比较同意=2,一般=3,比较同意=4,非常同意=5
机井使用感受(PE)	近几年打井的成本提高了 近几年水井干枯严重	非常不同意=1,比较同意=2,一般=3,比较同意=4,非常同意=5 非常不同意=1,比较同意=2,一般=3,比较同意=4,非常同意=5

究^[14],将地下水资源的利用效率定义为在给定的产出和其他投入水平的情况下,地下水的最优使用量与实际使用量的比值。可能达到的最优使用量是指技术充分有效、不存任何效率损失情形下的灌溉地下水用量。假设单个农户的投入要素为 X 、地下水灌溉用量为 W ,产出为 Y ,生产函数的形式为 $Y=f(X,W)$,则地下水资源利用效率测定的具体表达式为:

$$GWUE = \text{Min}\{\mu; f(X, \mu W) \geq Y(\hat{W})\} = \hat{W}/W \quad (1)$$

式中, μ 为地下水利用无效率的规模参数; W 为实际用水量; \hat{W} 为技术上可行的最优使用量; $GWUE$ 为地下水资源利用的效率, $GWUE \in [0, 1]$;当 $GWUE=1$,表明地下水利用效率达到最大,水资源实现了有效利用,反之则意味着用水无效率。当 $0 < GWUE < 1$,则意味着灌溉地下水还有一定的节水空间。

2.2 理论构建

地下水资源属于典型的“公共池塘资源”,容易被“免费搭车”,从而造成了肆意浪费的“公共资源悲剧”^[15]。关注农户资源稀缺性感知与地下水利用效率间的内在约束与作用机制成为解决“公共资源悲剧”的新思路^[6]。为更好识别水资源稀缺性感知对地下水利用效率复杂的影响关系,本文采用因果关系图(如图1)考察水资源稀缺性感知对地下水利用效率的影响机制,既包括水资源稀缺性感知对地下水利用效率的直接影响;也包括水资源稀缺性感知作用于农户投入行为决策来间接影响地下水利

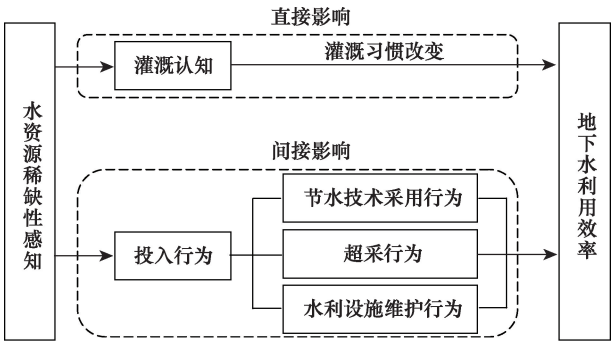


图1 水资源稀缺性感知影响农户地下水利用效率路径

Figure 1 A directed graph of path of water scarcity perception affecting the rural households' groundwater utilization efficiency

用效率。
2.2.1 水资源稀缺性感知对地下水利用效率的直接影响

如前文所述,稀缺性感知主要是由水量稀缺认知、水位下降认知、风险认知、灌溉感受、机井使用感受来表征的。资源的性质、农户直观感受和判断很大程度上决定了农户对待资源的态度及利用强度^[16]。经济学理论认为稀缺性是资源使用效率的直接影响因素。水资源的稀缺性感知可从思想意识层面直接影响农户对作物灌溉用水、气候与降水量情况、产出比等用水规律的认知态度,即在现有水资源禀赋和自然条件下,农户通过对作物各生长阶段需水量、降水量与土壤墒情预估以及灌溉用水最

优产出比等的认知强化,更科学合理地配置作物各生长阶段的灌溉用水,以认知强化的方式,通过日常灌溉习惯的改变来实现地下水资源的高效利用^[7,12]。水量稀缺性认知和水位下降认知程度高的农户会认为水的边际价值升高,以谨慎用水的态度,通过了解作物生长习性、灌溉需水规律和气候变化规律,合理配置灌溉用水,提高效率。Molden等认为资源型缺水是增加水资源生产力的关键动力^[17]; Venot等也指出干旱型缺水农户更愿意追求水资源的高效利用^[18]。风险认知主要用稀缺造成后果的认知来表征,当农户意识到稀缺性严重危害农业生产时,基于理性行为人的心理,脆弱性农户更倾向于风险规避,根据估算的亩均收益,做出高用水投入高用水收益的判断,从而加大对现有水资源的追逐满足当前用水需求,造成了资源的浪费^[19,20]。稀缺性感受的差异也会导致水资源利用效率的不同。对于华北井灌区农户来说,他们最直接的水资源短缺的感受来自于灌溉活动。水价越高和灌溉排队等候时间越长,意味着农户获取地下水资源的能力和及时性越差,由此改变灌溉习惯,用水态度更为慎重,提高利用效率。机井使用感受用水井干枯程度和打井成本表征,直接表征了农户对水资源获取成本的判断,资源获取成本越高,农户灌溉越少,农户地下水利用效率越高^[21]。

2.2.2 水资源稀缺性感知对地下水利用效率的间接影响

本文假定水资源稀缺性感知对地下水利用效率的间接影响是通过改变农户投入行为决策这一“中介效应”来实现的,即稀缺性感知迫使农户做出节水技术采用、超采或水利设施维护等投入行为选择,这些行为选择多是通过采取特定技术投入的方式来改变作物灌溉用水需求量或供给量,进而影响水资源的利用效率。本文所指的节水技术采用行为主要包括滴灌、喷灌等技术及其设备建设、种植低耗水作物等节水灌溉措施的采用。地下水超采难以直接度量,主要是用农户是否通过深挖井或者新打井超额灌溉来表征。水利设施维护行为主要是指通过修建完善现有机井、管渠设施等方式保障正常灌溉水供给。彭致功等的研究发现,在资源性缺水的井灌区通过加大节水力度和减少开采量可

有效避免地下水过度开采,进而提高灌溉用水效率^[22]。从稀缺性感知视角,农户对未来水资源稀缺性感知越强烈,越愿意采用节水技术,即水资源的稀缺性感知可影响农户的节水行为^[23-25]。而农户节水技术的采用会大幅度降低农作物的灌溉需水量,提高用水效率^[26]。Ostrom等指出农户的水资源稀缺意识可通过强化农户有限理性而规范地下水开采行为^[27],降低农户打新井或者深挖井的过度开采概率,进而提高了资源利用效率。引导农户正确的稀缺性认知,是避免水资源浪费,采用节水技术的重要途径^[12]。同时,稀缺性感知还可以通过影响水利设施维护间接影响效率。稀缺性感知关系到农户对灌溉水源可用性的判断,进而通过水利设施维护的行为决策而影响效率。水利设施维护状态良好则可以为农户提供稳定和可靠的水源保障。当稀缺性感知较为强烈时,农户预期水源可用性受到威胁,尝试通过维护水利设施来提供减少水资源浪费^[7]。

此外,在研究资源稀缺性感知与地下水利用效率关系时,会存在对其他农户个体特征变量和经济社会因素的复杂关系,因此,本文还引入农户特征等因素来考察稀缺性感知与地下水资源利用效率间的关系。

3 研究方法

3.1 地下水资源利用效率的测度方法

根据前文地下水资源利用效率定义,借鉴Färe等^[13]的建模思想,采用可变规模报酬数据包络分析方法(VRS-DEA)的分向量模型(sub-vector efficiency)测度地下水资源利用效率。具体公式为:

$$\begin{aligned}
 & \min_{\theta, \lambda} \theta^i \\
 & \text{s. t.} \\
 & \sum_{k=1}^K \lambda_k y_{m,k} \geq y_{m,o} \\
 & \sum_{k=1}^K \lambda_k x_{n-t,k} \leq x_{n,o} \\
 & \sum_{k=1}^K \lambda_k x_{t,k} \leq \theta^i x_{t,o} \\
 & \sum_{k=1}^K \lambda_k = 1 \\
 & \lambda_k \geq 0
 \end{aligned} \tag{2}$$

假设有 K 个农户, $y_{m,k}$ 表示第 k 个农户的 m 个产

2019年1月

出(小麦产量); $y_{m,o}$ 表示参照农户(farm_o)最大化 m 个产出; $x_{n,o}$ 表示参照农户(farm_o)最小化 n 个投入矩阵(主要包括单位面积的劳动力、资本、地下水投入量); θ^k 表示第 k 个农户地下水资源利用效率的得分; $x_{n-t,k}$ 表示第 k 个农户除了地下水投入外的 $n-t$ 个投入矩阵; $x_{t,k}$ 表示第 k 个农户的地下水投入量; λ_k 是 K 的一个矢量,代表在参照农户(farm_o)的确定技术效率中每个农户的比重。效率得分用DEAP2.1软件进行计算。

3.2 水资源稀缺性感知对地下水利用效率的作用路径测度方法

由于受到如资源禀赋、区域差异、气候、市场环境等复杂因素的影响,采用标准回归估计往往是有偏差的且估计效率不高。因此,采用边际结构模型(MSM)逆向概率加权估计(IPW estimation)的方法能够有效避免因果关系的估计偏差,提高精确程度,识别路径关系及中介效应^[28]。

令 $Y_{(x,m)}$ 表示反事实的结果,即给定农户可以观察到地下水资源利用效率(Y),稀缺性感知被设置为 x 和农户地下水开发利用投入行为的选择被设置为 m ; $Y_{(0,m)}$ 表示给定农户可以观察到地下水资源利用效率(Y),稀缺性感知被设置为0和农户地下水开发利用投入行为的选择被设置为 m 。边际结构模型(MSM)可以表示为:

$$E\{Y_{(x,m)} - Y_{(0,m)} | C\} = \varphi_x x + \varphi_{xc} xc \quad (3)$$

式中, φ_x 表示稀缺性感知对地下水利用效率的直接影响程度; φ_{xc} 表示直接影响随着其他控制变量变化的变化程度; C 表示控制变量($C=c_i$),主要包括农户特征及环境变量(本文主要选取受教育程度、农业收入来表征)。通过两步加权方式获得农户投入行为和地下水利用效率因果关系的逆向加权估计^[28,29],测度间接影响。

$$w_i^x = \frac{P(X=x_i)}{P(X=x_i|C=c_i)} \quad (4)$$

$$w_i^M = \frac{P(M=m_i|X=x_i)}{P(M=m_i|X=x_i, C=c_i)} \quad (5)$$

式中, w_i^x 表示稀缺性感知对农户地下水利用效率的直接影响程度; w_i^M 表示间接效应,即稀缺性感知如何通过农户投入行为选择影响地下水利用

效率; $P(X=x_i|C=c_i)$ 是农户地下水开发利用投入行为受稀缺性感知和其他因素影响的概率; $P(M=m_i|X=x_i, C=c_i)$ 表示在不同稀缺性感知程度时超采行为或节水技术采用行为或水利设施维护行为发生的概率。模型结果由STATA14.0计算得出。

4 数据来源和描述性统计

4.1 数据来源

本文选取由地理条件和自然气候导致的水量短缺型、地下水超采问题比较突出的华北井灌区进行微观层面的地下水资源利用效率研究。所有数据主要来自于2016年1月天津商业大学水资源调研团队对河北、河南、山东、天津、北京进行的实地调研。调查方案设计中,将调查范围缩小至只使用地下水灌溉的区域,调查对象的筛选考虑经济发展和地域文化特点,结合华北井灌区地下水使用典型地区的现实情况,选取河北衡水桃城区、沧州吴桥县、河南商丘宁陵县、山东泰安肥城县、天津武清区、北京密云区作为典型地区,根据分层随机抽样的方法,每个县区随机抽取2个村庄,每个村随机选取100个农户家庭,共计1200个农户家庭。调查采用面对面的随机访谈形式,调查对象主要是20岁以上80岁以下的有正常行为能力、从事农业生产经营且有决策能力的户主。调查内容主要围绕着地下水使用情况、稀缺性感知等问题展开。最终获得的调查问卷数量为1168份,问卷有效率为97.333%。

4.2 描述性统计

4.2.1 样本的基本特征

样本的基本特征如表2所示。受访者以男性为主,占到总体样本的55.479%¹⁾;处于36~65岁的农户户主较多,占比为72.945%,农村劳动力主要以壮年和老年为主;被调查农户以小学文化居多,占比为37.329%;52.568%的农村家庭户均灌溉面积在0.268~0.536hm²之间,农户的家庭农业年均收入2万元以下的占比为49.657%,绝大部分农户的农业收入在4万元以下。综合来看,调查样本与现实基本符合,研究样本具有一定代表性。

4.2.2 投入产出指标的描述性统计

由表3数据描述性统计可知,小麦单产的平均

1) 由于部分家庭的男劳动力长年在外劳作,所以家庭中农业生产的主要决策由女性决定,这也是为何受访者男女比例大体相当的原因。

表2 被调查户主的基本特征

Table 2 Basic characteristics of households surveyed

选项		人数	比例/%	选项		人数	比例/%
户主性别	男	648	55.479	受教育程度	文盲	350	29.966
	女	520	44.521		小学	436	37.329
受访者年龄/岁	[20,35]	34	2.911		初中	43	3.681
	[36,50]	270	23.116		高中	287	24.572
	[51,65]	582	49.829		大学及以上	52	4.452
	[66,80]	282	24.144	2015 年家庭农 业年收入/万元	2 以下	580	49.657
					[2,4)	332	28.425
灌溉面积/hm ²	0.268 以下	178	15.240		[4,6)	136	11.644
	[0.268,0.536)	614	52.568		[6,8)	80	6.849
	[0.536,0.804)	280	23.973		8 及以上	40	3.425
	0.804 以上	96	8.219				

数据来源: 根据调研数据整理所得。

表3 投入产出指标的描述性统计

Table 3 Descriptive statistics of input-output indicators

指标说明		平均值	标准差	极小值	极大值
产出指标					
小麦单产	当年小麦产量/(kg/ hm ²)	7 103.955	153.963	2 985.075	11 194.030
投入指标					
劳动投入	当年投入的劳动力/(d/ hm ²)	27.164	1.677	2.239	268.657
资本投入	当年投入的资本,包括种子、化肥、农药、机械等/(元/ hm ²)	8 510.299	254.249	426.418	30 597.015
地下水灌溉	当年使用的地下水量/(m ³ / hm ²)	3 656.866	373.743	68.358	53 174.179

数据来源: 根据调研数据整理所得。

值为7103.955kg/hm²,劳动投入为27.164d/hm²,资本投入为8510.299元/hm²、地下水灌溉用水量为3656.866m³/hm²。

4.2.3 相关变量的描述性统计

由效率测度模型得出的灌溉用水效率平均得分为0.743(如表4),说明在产出和其他投入保持不变的条件下,相对于现有生产条件下可行的最小地下水投入量而言,被调查农户在小麦生产过程中浪费了25.7%的地下水资源,有很大的效率提升空间。被调查对象中约有33%的农户采用了节水技术,该比例较低的主要原因是部分农户认为节水成本高、操作过程繁琐。被调查户主的受教育程度以小学为主,水利设施维护水平一般,且由于水位下降和极端天气的出现,地下水超采行为也时有发生。

5 实证结果分析

5.1 地下水资源利用效率

在分析地下水利用效率对水资源短缺的影响

之前,首先测度出农户地下水利用效率的情况。如前文定义所述,地下水利用效率考量的是在给定产量的前提下,可能最优的地下水投入量。基于1168个农户截面数据,运用DEAP2.1软件测算得出,未采用节水技术农户地下水效率平均值为0.719,采用节水技术农户的地下水利用效率为0.790。由此可见,采用节水技术的农户的水资源利用效率略高于未采用节水技术的农户。大部分农户的效率值都小于1,表明被调查农户地下水利用处于低效配置状态,存在一定的改进空间。由不同的区间统计结果(见表5)可知,28.644%的未采用农户和20.726%的采用农户的利用效率低于0.5,地下水资源浪费较为严重;而14.706%的未节水农户利用效率和38.082%的节水农户利用效率落在了前沿面上,表明水资源得到了最优配置。由此可以推断农户的节水技术采用行为和利用效率间存在着因果关系,当意识到资源的稀缺性,农户更愿意通过采取节水

2019年1月

表4 变量定义及描述性统计

Table 4 Definitions and descriptive statistics of variables

	变量说明	平均值	标准差	极小值	极大值
因变量					
地下水资源利用效率	根据 DEA 方法的分向量模型计算得分	0.743	0.303	0.017	1.000
核心自变量(稀缺性感知)					
水量短缺认知	根据因子分析方法计算得分	0.011	1.011	-0.919	4.167
水位下降认知	根据因子分析方法计算得分	0.010	0.991	-3.766	1.467
风险认知	根据因子分析方法计算得分	-0.020	1.005	-2.673	2.442
灌溉感受	根据因子分析方法计算得分	0.024	0.996	-2.572	2.455
机井使用感受	根据因子分析方法计算得分	0.014	0.994	-2.557	2.450
中介变量(投入行为决策)					
节水技术采用行为	您是否采用节水技术? 采用=1, 不采用=0	0.330	0.470	0.000	1.000
超采行为	您近年来是否出现地下水超额灌溉? 偶尔发生=1, 时有发生=2, 经常发生=3	1.990	0.608	1.000	3.000
水利设施维护	维护水平较低=1, 维护水平一般=2, 维护水平较高=3	1.636	0.483	1.000	3.000
控制变量					
受教育程度	文盲=1, 小学=2, 初中=3, 高中=4, 大学及以上=5	2.363	1.261	1.000	5.000
农业收入	农业收入对数	9.712	0.945	6.907	11.513

数据来源: 根据调研数据整理所得。

表5 是否采用节水技术行为农户的地下水资源利用效率比较

Table 5 Comparison of the groundwater use efficiency of farmers with or without water-saving technology behavior

技术效率	尚未采用节水技术行为农户		采用节水技术行为农户	
	频数	占比/%	频数	占比/%
[0.000~0.250)	78	9.974	24	6.218
[0.250~0.500)	146	18.670	56	14.508
[0.500~0.750)	114	14.578	52	13.472
[0.750~1.000)	329	42.072	107	27.720
1.000	115	14.706	147	38.082
合计	782	100.000	386	100.000

数据来源: 根据调研数据整理所得。

技术来提高利用效率。接下来,本文进一步验证稀缺性感知对利用效率的作用路径。

5.2 稀缺性感知影响农户地下水资源利用效率的路径分析

采用MSM模型估计影响路径,既包括稀缺性感知地下水资源利用效率的直接影响,还包括农户水资源稀缺性感知和变量间的交互效应,最终的结果如表6和表7所示。估计模型通过了显著性检验,研究结果具有一定的可靠性。结果发现,水资源稀缺性感知变量中的认知变量对农户地下水资源利用效率有显著的正向影响。交互项分析表明地下水稀缺性感知与地下水利用效率存在正向或

者负向的相关关系,农户的稀缺性感知水平会通过影响农户地下水开发利用投入行为决策进而影响地下水利用效率。

5.2.1 直接影响分析

水量短缺认知、水位下降认知通过了5%的显著性水平检验,且符号为正,表明水量短缺和水位下降认知是地下水资源利用效率提高的直接原因。水量短缺和水位下降认知水平每提高一个单位,地下水资源利用率得分分别增加0.050和0.079。水量短缺和水位下降认知是农户从心里层面对当前灌溉用水需求现实情况的基本判断,衡量的是农户对稀缺现状的认知程度,认知程度越高,

表6 边际结构模型的估计参数

Table 6 Estimation parameters of Marginal Structure Model

变量	系数	标准误	P 值
水量短缺认知	0.050**	0.022	0.021
水位下降认知	0.079**	0.037	0.032
风险认知	0.106	0.070	0.127
灌溉感受	-0.058	0.036	0.112
机井使用感受	-0.006	0.041	0.875
节水技术采用行为	0.743***	0.011	0.000
超采行为	-0.125***	0.033	0.000
水利设施维护	0.194***	0.025	0.000
受教育程度	0.026**	0.011	0.015
农业收入	-0.009	0.019	0.615
风险认知×超采行为	-0.064**	0.030	0.034
灌溉感受×水利设施维护	0.106**	0.070	0.014
截距项	-0.050***	0.022	0.000

注：*、**、***分别表示处于10%、5%和1%的显著性水平。

表7 交互项对地下水资源利用效率的影响

Table 7 Effects of interactions on groundwater use efficiency

	风险认知	灌溉感受	影响效应
超采行为	较低		-0.057
	较高		-0.113
水利设施维护		较低	0.100
		较高	0.153

则水资源的边际价值越大,因此当意识到水资源短缺危机时,农户用水会比较谨慎,更加珍视水资源的使用,进而提升水资源的利用效率。机井使用感受对地下水利用效率的影响不大。统计结果还发现,风险认知、灌溉感受对农户地下水资源利用效率的直接影响并不明显,而是通过间接影响对地下水利用效率发生作用的。

5.2.2 间接影响分析

农户稀缺性感知可通过影响超采行为、水利设施维护或节水技术采用行为等农户地下水开发利用投入决策而间接作用于地下水利用效率。为进一步识别交互作用效果,探究深层次的原因,本文以风险认知和灌溉感受的因子分析得分为基准,用数据表示,将低于均值的样本选择设置为较低,将高于均值的样本选择设置为较高,计算得出表7。由表7可知,用水纠纷对地下水利用效率的影响是负的,这种效应随着风险认知程度的提高而增加。当风险认知水平低时,地下水利用的技术效率损失

接近0.057个单位,当风险认知水平高时,效率损失约是较低水平的二倍。由此可知,农户用水行为会随风险认知水平发生显著改变,风险认知水平高,致使农户地下水超采行为频发,造成了地下水利用效率的损失。可能的原因是风险认知是农户的主观感受,认知水平高,意味着农户认为稀缺性导致的生产风险损失大,为减少损失,倾向于开发利用地下水的行为选择。由于地下水具有公共资源特性,在地下水开发监管不够健全的北方农村地区^[5],农户为实现自身利益最大化,将“过度开发地下水”作为其理性行为选择,通过深挖井或者是新打井的方式加大对地下水的追逐和竞争,而对采用提高水资源利用效率的节水灌溉技术的动力缺乏,因此,导致地下水资源利用效率低下^[29]。水利设施维护对地下水利用效率的影响是正向的,这种效应随着灌溉感受得分的提高而增加。由前文可知,灌溉感受用近年来灌溉水价升高、灌溉排队等候时间长两个指标表示,用因子分析方法计算出得分,得分较高表示的是农户对灌溉水价上升和排队等候时间感受强烈,得分较低表示的是农户对灌溉水价上升和排队等候时间感受不明显。当灌溉感受得分较低时,效率增加0.100个单位,当灌溉感受得分较高时,效率会增加0.153个单位,这也意味着通过水利设施维护的方式来减少农户等待时间和缓解水价提高压力进而提高地下水资源利用效率是可行的。完善的水利设施保障灌溉用水的充足补给,有利于提高水资源利用效率。

节水技术采用行为的系数为0.743,通过了1%的显著性水平检验,且符号为正,表明节水技术采用行为提高农户地下水利用效率的作用明显;与未采用农户相比,节水农户的水资源利用效率提高0.743个单位。通过MSM模型验证了节水技术采用行为对地下水利用效率的间接影响。显著的正向结果意味着即使剔除资源禀赋、气候变化等伪关联因素的作用,农户在水资源稀缺性感知水平提高的情况下,通过采用节水技术能够显著优化水资源的利用效率。实地调查发现,在稀缺性感知约束下,农户主要采用节水灌溉技术等方式来提高水资源的利用效率^[30]。

此外,受教育程度、农业收入等农户特征和地

2019年1月

下水利用效率之间的关系会受到无法预测的伪关联因素如社会地位、资源禀赋、市场波动等的影响。本文通过逆向概率加权估计方式将这些伪关联因素剔除进而得到农户特征对地下水利用效率的影响。农户受教育程度对地下水利用效率有显著的正向影响。受教育程度高的农户对作物需水规律和技术采用规律有更好的了解,在一定程度上能够提高水资源的利用效率^[31]。受教育程度每上升一个层次,地下水资源利用效率得分提高0.026个单位。农业收入对地下水利用效率的影响未能通过显著性检验。

6 结论与政策建议

本文将稀缺性感知划分为水量短缺认知、水位下降认知、风险认知、灌溉感受和机井使用感受五个维度,利用华北井灌区农户调查数据,分别从理论和实证层面分析了农户稀缺性感知对地下水资源利用效率的作用路径。得出结论如下:

(1)农户地下水利用效率平均得分为0.743,地下水资源利用仍然存在浪费现象,拥有较大改进空间。

(2)稀缺性感知对地下水利用效率的直接影响是通过水量短缺认知和水位下降认知维度来实现的,水量短缺认知和水位下降认知每提升一个单位,地下水利用效率分别提高0.050和0.079个单位。

(3)稀缺性感知通过影响超采行为、节水技术采用行为和水利设施维护等农户用水投入行为决策,对地下水利用效率产生中介效应,且稀缺性感知部分维度和行为决策间存在交互效应。其中,风险认知水平的提高加剧水资源超采行为从而降低了地下水利用效率;灌溉感受越差的农户维护水利设施的动力越强烈,对地下水利用效率提升起到积极作用;在稀缺性感知约束下,节水农户的地下水利用效率比不节水农户的效率提高0.743个单位。

(4)从系数来看间接影响作用大于直接影响,其中节水技术采用行为对水资源利用效率正向影响最大。此外,农户受教育程度对利用效率有显著正向影响,受教育程度每提高一个层次,地下水利用效率增加0.026个单位。

根据以上结论,政府要充分发挥农户稀缺性感知在减少地下水超采,提高用水效率方面的作用。提出如下政策建议:

(1)政府需完善地下水资源水量和水位等信息的动态量化监测体系,将其纳入信息化管理系统,并借助电视、广播等传统媒介和手机APP、微博、微信公众号等新媒介对这些信息进行实时播报,提高农户水量短缺认知和水位下降认知水平。

(2)采用多种途径提高农户面临稀缺性后果的风险承担能力,如鼓励农户购买农业灾害保险、加入用水协会、参与联合灌溉等。再者,依靠政府投入、社会资本引入和农户参与等方式,为水利设施维护提供资金和人力保障,保证灌溉水源的有效和及时供给,减少农户灌溉等待的时间;同时利用合理制定水价、水权流转、用水信息公示等方式健全水权市场优化农户的灌溉感受。

(3)利用政府推广、教育培训等方式引导农户拓宽思路,寻找替代地下水的灌溉水源,减少开采,并通过积极采用节水灌溉技术、种植抗旱作物等措施节约用水。

参考文献(References):

- [1] 王金霞, 黄季焜, Scott Rozelle. 地下水灌溉系统产权制度的创新与理论解释——小型水利工程的实证研究[J]. 经济研究, 2000, (04): 66-74+79. [Wang J X, Huang J K, Scott Rozelle. The innovation and theoretical interpretation of the property rights system of groundwater irrigation system: an empirical study of small water conservancy [J]. *Economic Research*, 2000, (04): 66-74+79.]
- [2] 宋春晓, 马恒运, 黄季焜, 等. 气候变化和农户适应性对小麦灌溉效率影响——基于中东部5省小麦主产区的实证研究[J]. 农业技术经济, 2014, (02): 4-16. [Song C X, Ma H Y, Huang J K, et al. Effects of climate change and farmers adaptation on wheat irrigation efficiency: an empirical study based on the main wheat production areas in the five central and eastern provinces [J]. *Agricultural Technical Economy*, 2014, (02): 4-16.]
- [3] 刘七军, 李昭楠. 不同规模农户生产技术效率及灌溉用水效率差异研究——基于内陆干旱区农户微观调查数据[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(10): 1375-1381. [Liu Q J, Li Z N. Study on the technical efficiency of production and irrigation water efficiency of different scale farmers: based on the micro survey data of farmers in inland arid areas[J]. *Chinese Journal of Ecology and Agriculture*, 2012, 20(10): 1375-1381.]
- [4] 邓娅敏, 徐恒力, 佟元清. “有序”开采: 北方地区地下水资源利用中两难选择的途径[J]. 中国人口. 资源与环境, 2006, (01): 127-131. [Deng Y M, Xu H L, Tong Y Q. "Orderly" exploitation: the dilemma in the use of groundwater resources in the northern region [J].

- Chinese Population, Resources and Environment*, 2006, (01): 127-1314]
- [5] 李鹤, 刘永功. 农村地下水管理存在的问题及对策[J]. 红旗文稿, 2007, (15): 26-28. [Li H, Liu Y G. Problems and countermeasures in rural groundwater management[J]. *Red Flag Manuscript*, 2007, (15): 26-28.]
- [6] 赵雪雁, 薛冰. 干旱区内陆河流域农户对水资源紧缺的感知及适应——以石羊河中下游为例[J]. 地理科学, 2015, 35(12): 1622-1630. [Zhao X Y, Xue B. Perception and adaptation of farmers in inland river basin in the dry zone to water resources shortage: a case study of middle and lower Shiyang River[J]. *Geoscience*, 2015, 35(12): 1622-1630.]
- [7] Varghese S K, Veetil P C, Speelman S, et al. Estimating the causal effect of water scarcity on the groundwater use efficiency of rice farming in South India[J]. *Ecological Economics*, 2013: 55-64.
- [8] Shah T, Roy A D, Qureshi A S, et al. Sustaining Asia's groundwater boom: an overview of issues and evidence[J]. *Natural Resources Forum*, 2003, 27(2): 130-141.
- [9] 黄玉祥, 韩文霆, 周龙, 等. 农户节水灌溉技术认知及其影响因素分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(18): 113-120. [Huang Y X, Han W T, Zhou L, et al. The cognition of water saving irrigation technology of farmers and its influencing factors[J]. *Journal of Agricultural Engineering*, 2012, 28(18): 113-120.]
- [10] 王晓娟, 李周. 灌溉用水效率及影响因素分析[J]. 中国农村经济, 2005, (07): 11-18. [Wang X J, Li Z. Analysis of irrigation water efficiency and influencing factors[J]. *Chinese Rural Economy*, 2005, (07): 11-18.]
- [11] Pereira L S, Oweis T, Zairi A. Irrigation management under water scarcity[J]. *Agricultural Water Management*, 2002, 57(3): 175-206.
- [12] Tang J, Folmer H, Xue J, et al. Estimation of awareness and perception of water scarcity among farmers in the Guanzhong Plain, China, by means of a structural equation model[J]. *Journal of Environmental Management*, 2013: 55-62.
- [13] Färe, R., Grosskopf, S., Lovell, C. A. K. *Production Frontiers*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994: 94-103.
- [14] Watto, M. A. and Muger, A. W. Measuring groundwater irrigation efficiency in Pakistan: a DEA approach using the Sub-vector and Slack-based Models[EB/OL]. <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/152204/2/SP%20Watto.pdf>.
- [15] 雍会, 张凤丽, 张晓莉, 等. 干旱区塔里木河流域地下水资源统筹管理研究[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(1): 90-94. [Yong H, Zhang F L, Zhang X L, et al. Study on integrated management of groundwater resources in Tarim River Basin in dry zone[J]. *China Agricultural Resources and Zoning*, 2016, 37(1): 90-94.]
- [16] Osés-Eraso, N., Viladrich-Grau, M., On the sustainability of common property resources[J]. *Journal of Environmental Economics and Management* 2007, 53: 393-410.
- [17] Molden D, Oweis T, Steduto P, et al. Improving agricultural water productivity: between optimism and caution[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(4): 528-535.
- [18] Venot J, Reddy V R, Umapathy D, et al. Coping with drought in irrigated South India: farmers' adjustments in Nagarjuna Sagar[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(10): 1434-1442.
- [19] Grossman H I, Mendoza J. Scarcity and appropriative competition[J]. *European Journal of Political Economy*, 2003, 19(4): 747-758.
- [20] Herr A, Gardner R, Walker J M, et al. An experimental study of time-independent and time-dependent externalities in the commons[J]. *Games and Economic Behavior*, 1997, 19(1): 77-96.
- [21] Kaneko S, Tanaka K, Toyota T, et al. Water efficiency of agricultural production in China: regional comparison from 1999 to 2002[J]. *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology*, 2004: 231-251.
- [22] 彭致功, 刘钰, 许迪, 等. 农业节水措施对地下水涵养的作用及其敏感性分析[J]. 农业机械学报, 2012, 43(07): 36-41. [Peng Z G, Liu Y, Xu D et al. Effects of agricultural water conservation measures on groundwater conservation and its sensitivity analysis[J]. *Journal of Agricultural Machinery*, 2012, 43(07): 36-41.]
- [23] 周玉玺, 周霞, 宋欣. 影响农户农业节水技术采用水平差异的因素分析——基于山东省17市333个农户的问卷调查[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(03): 37-43. [Zhou Y, Zhou X, Song X. Analysis of factors affecting the level differences in the adoption of agricultural water conservation technology for farmers—based on the questionnaire survey of 333 farmers in 17 cities in Shandong Province[J]. *Drought Zone Resources and Environment*, 2014, 28(03): 37-43.]
- [24] 刘红梅, 王克强, 黄智俊. 影响中国农户采用节水灌溉技术行为的因素分析[J]. 中国农村经济, 2008(04): 44-54. [Liu H M, Wang K Q, Huang Z J. Analysis of factors affecting the behavior of Chinese farmers using water-saving irrigation technology[J]. *Chinese Rural Economy*, 2008(04): 44-54.]
- [25] 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(06): 932-942. [Liu Y K, Wang J X, Li Y M, et al. Adoption of agricultural water-saving technology and influencing factors[J]. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(06): 932-942.]
- [26] Falkenmark M, Widstrand C. Population and water resources: a delicate balance. [J]. *Population Bulletin*, 1993, 47(3): 1-36.
- [27] Ostrom E, Burger J, Field C B, et al. Revisiting the commons: local lessons, global challenges[J]. *Science*, 1999, 284(5412): 278-282.
- [28] Vansteelandt S. Estimating direct effects in cohort and case-control studies[J]. *Epidemiology*, 2009, 20(6): 851-860.
- [29] 齐顾波, 常宏蕾, 徐秀丽. 农村地下水资源管理中的获取机制研究——以河北省A村为例[J]. 水资源保护, 2009, 25(6): 94-98. [Qi G B, Chang H L, Xu X L. Study on the access mechanism in rural groundwater resources management: a village in Hebei Province as an example[J]. *Water Resources Protection*, 2009, 25(6): 94-98.]

[30] 李玉敏, 王金霞. 农村水资源短缺: 现状、趋势及其对作物种植结构的影响——基于全国10个省调查数据的实证分析[J]. 自然资源学报, 2009, 24(02): 200–208. [Li Y M, Wang J X. Rural water shortage: current situation, trends and their impact on crop cultivation structure: an empirical analysis based on the survey data

of ten provinces across the country[J]. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(02): 200–208.]

[31] Karagiannis G, Tzouvelekas V, Xepapadeas A. Measuring irrigation water efficiency with a stochastic production frontier[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2003, 26(1): 57–72.

Path characterization of water resources scarcity perception's effects on farmers' groundwater usage efficiency ——empirical study based on 1168 survey data of Well-irrigated District in North China

WANG Xin¹, LU Qian²

(1. Department of Economics, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China;

2. College of Economics and Management, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China)

Abstract: This study classified water scarcity perception into five dimensions: water quantity shortage recognition, water table decline recognition, risk recognition, well usage experience, and irrigation experience. Then, we characterized the water scarcity perception's effect path on groundwater use efficiency (GWUE) through theoretical and empirical approach by the application of marginal structure model (MSM) reverse weighted probability (IPW) estimation which erased the influence of pseudo-correlation factors such as climate and resource endowment based on 1168 farmers' survey data Well-irrigated District in North China. The results demonstrated that: the average score of farmers' groundwater use efficiency was 0.743. There is still a large space for improvement in the utilization of groundwater resources. Water scarcity perception would have a direct and or indirect effect on GWUE, while indirect effect plays a more important role than direct effect. Direct effect on GWUE was identified positively through two factors: water quantity shortage recognition and water table decline recognition, that is, the higher level of water quantity shortage recognition and water table decline recognition, the higher GWUE. Indirect effects of water scarcity perception on GWUE are observed through farmers' behavior such as groundwater over-exploitation, water-saving behavior, and water conservancy facilities maintenance. There are interactive effects among risk cognition, irrigation experience, and behavior decision. High level of risk cognition leads to frequent groundwater over-exploitation behavior, which reduces GWUE. Farmers with worse experience in using irrigation systems would have a stronger willingness to maintain water conservancy facilities, so as to improve GWUE. Farmers' water-saving behavior is beneficial to increase GWUE. In addition, the level of farmers' education has a significant positive effect on the groundwater usage efficiency. If the levels of education are improved in one degree, the utilization efficiency of groundwater increases by 0.026 units.

Key words: water scarcity perception; groundwater use efficiency; effect path; marginal structure model