

引用格式: 沈金龙, 许航, 李佳芬, 等. 气候变化适应性行为对农户水贫困的影响[J]. 资源科学, 2023, 45(7): 1410-1423. [Shen J L, Xu H, Li J F, et al. The impact of farmers' adaptive behavior to climate change on their water poverty[J]. Resources Science, 2023, 45(7): 1410-1423.] DOI: 10.18402/resci.2023.07.10

气候变化适应性行为对农户水贫困的影响

沈金龙, 许航, 李佳芬, 宋健峰

(西北农林科技大学经济管理学院, 杨凌 712100)

摘要:【目的】旨在分析气候变化适应性行为对农户水贫困的影响及作用机制, 以有效应对复杂气候变化, 缓解农户水贫困问题。【方法】利用陕西、宁夏两省共603户农村居民调查数据, 构建微观尺度水贫困指数测算农户水贫困水平。在此基础上, 运用倾向匹配得分法构建反事实框架, 对气候变化适应性行为与农户水贫困之间的关系进行实证分析。【结果】①农户气候变化适应性行为采纳能够显著缓解农户水贫困; ②不同类型气候变化适应性行为对农户水贫困的影响效果存在差异, 其中节水类行为对农户水贫困的缓解效应最大, 可使农户水贫困下降0.227; 工程类、非工程类行为则分别使农户水贫困下降0.210和0.166。③气候变化适应性行为分别通过提高农药施用效率、农机使用效率、化肥施用效率和农业用水效率来影响农户水贫困。【结论】气候变化适应性行为采纳通过提升农药施用效率、农机使用效率、化肥施用效率及农业用水效率4个途径有效缓解农户水贫困, 但未来仍需关注农户水贫困问题, 助推乡村振兴与共同富裕目标的实现。

关键词: 气候变化; 适应性行为; 农户水贫困; 影响机制; 倾向匹配得分法

DOI: 10.18402/resci.2023.07.10

1 引言

水资源是限制农业产出和世界农村贫困人口收入的主要因素, 日益严重的水资源短缺和水资源竞争对许多国家未来在减贫方面的进展构成威胁^[1]。中国是一个水资源短缺的国家, 水短缺问题持续限制其工农业发展。特别是国内水资源分布不均衡, 空间差异性大等问题格外突出^[2], 对中国社会经济均衡发展, 尤其是西部农村地区的发展带来了严重的制约。气候变化是影响地表水资源的主要因素^[3]。随着全球气候变化愈演愈烈, 如极端干旱等气候现象对不同区域内的水资源状况产生了极大影响^[4], 加剧了农村地区用水矛盾。总之, 由水资源短缺所引致的一系列社会经济问题, 严重阻碍了共同富裕目标的实现。水贫困理论的提出与发展为有效解决水资源管理利用矛盾, 促进农村地区经济发展提供了理论指导。

水贫困概念来自于Sullivan^[5], 其定义水贫困为自然界中缺少可供使用的水, 或者人们缺少获得水的能力或权利。而后学界又提出水财富指数(WWI)、水富裕指数(WPI+)、农业水贫困指数(AWPI)等一系列指数, 使水贫困理论得到了充分的发展^[6,7]。随着水贫困概念的完善, 人们对缺水问题的认知从资源匮乏上升到能力匮乏视角。但目前来看, 水贫困理论的研究仍然存在局限: ①目前水贫困理论的研究主要聚焦于宏观尺度, 用于评价区域空间尺度水贫困状况^[8,9], 但对微观层面的研究不够深入, 忽视了微观主体层面用水能力评价^[10,11]。②现有水贫困评价方法主要依赖于水贫困指数(WPI), 该指数存在主观性强、计算复杂等一系列问题^[7], 不利于水贫困相关研究的应用拓展。水贫困问题被定义为用水能力的缺失, 对于农户群体而言, 用水能力的缺失将产生一系列矛盾, 主要包括

收稿日期: 2023-01-10 修订日期: 2023-04-11

基金项目: 国家社会科学基金项目(22XGL022); 陕西省自然科学基金研究计划项目(2021JM-112)。

作者简介: 沈金龙, 男, 陕西旬阳人, 硕士生, 研究方向为水资源管理。E-mail: s_jl2022@nwafu.edu.cn

通讯作者: 宋健峰, 女, 山西运城人, 副教授, 博士生导师, 研究方向为农业经济管理。E-mail: s_jf@nwsuaf.edu.cn

因生活用水紧张影响到基本生存,因生产用水紧张而影响到农业生产、家庭收入。因此,本文基于经典贫困理论概念,并参照已有水贫困、农业水贫困等相关研究^[7-9],将农户水贫困定义为:农户群体因用水能力或权利缺失,生产及生活用水困难,导致农业减产、减收,从而诱发贫困。农户水贫困体现了农户家庭水资源匮乏和发展能力受限两个核心属性。当前,气候变化已经严重影响到农业生产用水^[12],进而影响农户水贫困问题。因而如何抵御气候变化对农户水贫困的不利影响,将是一个亟待解决的现实问题。

长期以来,复杂的气候变化对农业产出、人类健康和水资源产生了负面影响^[12,13]。为此,采取积极有效的应对策略与适应性行为在应对气候变化的不利影响中十分重要^[14]。适应性行为是指减少气候变化可能造成的危害的个人行为和实践,这可能会给社会或环境带来额外的好处^[15]。其中,农户作为微观生产主体,极易受到极端气候带来的危害,因此农户群体所做出的适应性反应尤为重要^[16]。现有关于农户气候变化适应性行为的研究颇丰,主要包括农户气候变化适应性感知及适应性行为决策的影响因素研究^[16-18],农户气候变化适应性行为选择、分类研究^[15,19,20],以及农户气候变化适应性行为所产生相关影响的研究。现有研究详细分析了农户气候变化适应性行为对农业产出、农民收入、水资源短缺等的影响^[19,21,22],特别是有关农民气候变化适应性行为与水短缺/匮乏间的研究较为突出^[22-24]。但由于缺水与水贫困的本质内涵不同,水贫困是从一般贫困理论出发,将水资源的开发、管理利用及人们利用水资源的能力、权利和生计有机结合,将水资源短缺问题的解决从水文工程领域扩展到社会经济领域^[25],故农户气候变化适应性行为与缺水问题间的研究并不能有效揭示其与水贫困的联系。就目前看,气候变化适应性行为与农户水贫困间的研究还相对缺乏。

综上所述,现有研究对微观农户尺度水贫困的测算还不够精确;同时面对气候变化的不利影响,当前研究主要集中在分析气候变化适应性行为与缺水间的联系,尚未揭示气候变化适应性行为对农户水贫困的影响及作用机制。对此,本文在理论分析基础上,结合陕西、宁夏两地 603 份农户样本数

据,使用倾向匹配得分法实证分析气候变化适应性行为对农户水贫困的影响,并对其作用机制进行检验。这对有效应对复杂气候变化,缓解农户水贫困问题有着积极意义。

2 气候变化适应性行为对农户水贫困的影响机制

当前,受极端气候、全球气温升高等的影响,极具脆弱性的农户群体易因自然灾害导致其农业用水能力、农业发展能力降低,收入下降^[26],加剧农户水贫困问题。在此情境下,农户群体采取一系列气候变化适应性行为可有效应对由气候变化带来对生产生活的负面影响^[21]。现有研究中,农户气候变化适应性行为涵盖的范围较广,诸如采纳节水灌溉技术、测土配方施肥、使用生物农药、修建大棚等行为均属于该范畴。这些行为采纳对缓解农业用水压力,改善农业生产状况、提升农业发展能力发挥着重要作用;且不同类型适应性行为所发挥的作用以及对农户的适应性也有差异^[20]。譬如,节水灌溉技术采纳可有效提升农业用水效率^[27],测土配方施肥能有效提升化肥施用效率^[28]。本文在前文农户水贫困定义的基础上,从缓解水资源匮乏和提升发展能力两方面对农户气候变化适应性行为与农户水贫困间的作用路径进行了具体分析(图1)。

(1)农户气候变化适应性行为有助于提升农业用水效率,降低水资源利用匮乏度并增强农户家庭发展能力,进而缓解农户水贫困。农户水贫困问题的根源来自于农户家庭用水能力的缺乏。全球性的气候变化对水资源量及作物生长需水带来了极大的影响^[12]。而气候变化适应性行为的采纳,尤其是节水灌溉等节水类行为的采纳对缓解农户用水压力,提升农户用水效能、提高作物产量具有重要作用^[29]。农户群体通过采纳相关气候变化适应性行为,有助于增强自身应对气候变化的适应能力,提升农业生产用水效率,能够有效抵御气候变化对作物需水、农业生产经营用水等的负面影响,在提升农业发展能力的同时也减轻了水资源压力,有利于缓解农户水贫困。

(2)农户气候变化适应性行为有助于提升农药、化肥施用效率和农机使用效率,增强农户家庭发展能力,缓解农户水贫困。农业产出与农户家庭发展

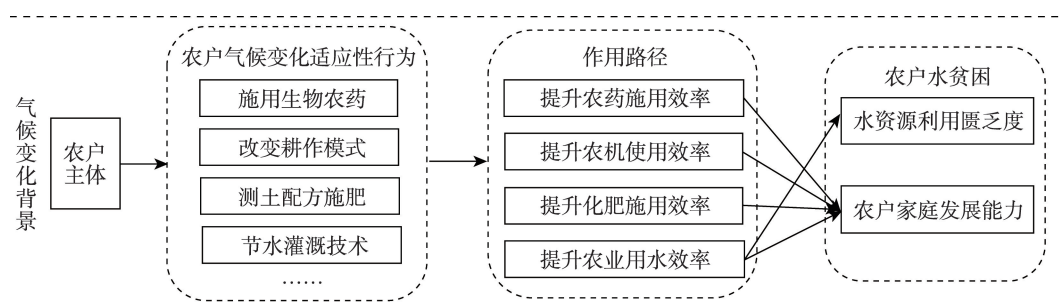


图1 农户气候变化适应性行为对农户水贫困的作用机制

Figure 1 Mechanism of farmers' adaptive behavior to climate change on farmers' water poverty

能力密切相关,在对农业产出的影响中,Ray等^[30]提到作物对气候变化高度敏感,复杂气候变化既影响了产量,更影响与产量相关的变异。而农户气候变化适应行为采纳将有助于降低气候变化的负面影响,增加作物产量^[31]。其中,农药化肥的有效施用有助于提升作物产量、增加农业产出^[32]。然而,随着气候变化的不断影响,农户群体对农药化肥的施用状况随之改变,主要表现为农户为确保稳定的农业生产,倾向于过量使用化肥和农药^[33]。但过度施用农药化肥非但不能使作物产量持续增长,反而导致食品安全问题、环境问题等的出现^[34,35]。因此,着力提升农药化肥的施用效率对推进农业发展,提升农户家庭发展能力至关重要。此外,农机使用效率同样在促进农业发展,增强农户发展能力中发挥重要作用。研究发现,气候变化对农业劳动力转移存在影响^[36],使劳动力相对于土地和资本的稀缺程度和价格不断上升,导致农田生产力的下降^[37]。对此,农业机械化服务和其他生产要素(如化肥、农药)对劳动力要素的替代效应变得十分重要^[38]。当前,农业机械化作为农业现代化的重要表征,农业机械的高质量发展和高效利用能有效稳定粮食生产、保障粮食和主要农产品有效供给,是推进农业高质量发展的重要方面^[39]。故农户通过采取气候变化适应性行为,提升农机使用效率,是增强农户家庭发展能力,缓解农户水贫困问题的重要途径。

3 数据来源、模型构建与变量选择

3.1 数据来源

本文数据来源于课题组2022年7—8月在陕西、宁夏两地对农户所开展的实地调查。陕西、宁夏地处西北内陆,属于干旱半干旱地区,是中国重

要的农业大省。长期以来,其农村居民生产及生活用水矛盾突出,水资源严重掣肘当地社会经济发展。同时,为保证样本数据具有代表性,主要选取陕北靖边县、神木市、米脂县及宁夏青铜峡市、平罗县共5县(市)开展调研,对农村居民用水条件较好与较差的区域均有涉及。进一步,课题组采用分层逐级抽样和随机抽样相结合的方式选取农户样本,具体方法为:首先在每个县(市)随机抽取3~5个乡镇,然后在每个乡镇随机抽取3~5个村,最后在每个村随机选取8~15户农户样本。农户问卷调查采用一对一入户调研形式,调查内容主要包括农户家庭基本信息、农户家庭用水状况、生产经营现状与气候变化感知等相关信息。此次调研共发放农户问卷650份,经数据筛查,剔除缺失数据及无效样本后回收有效问卷603份,问卷有效率为92.77%。

3.2 模型设定

本文采用倾向匹配得分法(PSM)分析气候变化适应性行为对农户水贫困的影响。主要基于以下考虑:①农户气候变化适应性行为的采纳出于自身意愿决定,因此样本内采纳与未采纳农户非随机,存在样本“自选择”问题。②采纳气候变化适应性行为的农户与未采纳农户的初始禀赋可能不同,故气候变化适应性行为的采纳对农户水贫困影响存在“选择偏差”。③由于无法获取采纳气候变化适应行为农户在未采纳状态下的数据,直接比较采纳与未采纳农户的差异会产生内生性问题。针对上述问题,PSM方法可以有效解决。

倾向匹配得分法的基本思想是将采纳气候变化适应性行为的农户(处理组)和未采纳气候变化适应性行为的农户(对照组)进行匹配,使得采纳和

2023年7月

未采纳相应行为的农户趋于均衡可比状态,然后比较不同类型气候变化适应性行为对农户水贫困的影响。分析步骤如下:

首先利用Logit模型估计农户采纳气候变化适应性行为的条件概率拟合值,即倾向得分值(PS_m)的表达式为:

$$PS_m = Pr(Adopt_m = 1|X_m) = E(Adopt_m = 0|X_m) \quad (1)$$

式中: $m=1\sim3$,依次表示采取了工程类、非工程类、节水类行为的农户; $Adopt_m$ 表示农户采纳气候变化适应性行为的情况,采纳取值为1,未采纳取值为0; X_m 表示年龄平方、受教育程度、健康状况等匹配变量。

在得到倾向匹配得分后,接着需要选择合适方法对处理组和对照组进行匹配。为检验匹配结果的稳健性,选取如下3种主流方法进行匹配:①卡尺内 k 近邻匹配,即在给定卡尺范围内寻找 k 近邻匹配。本文将卡尺范围设定为0.005,进行一对四匹配,从而实现均方误差最小化。②半径匹配。其中卡尺范围设定为0.003。③核匹配。使用默认的核函数,带宽设为0.002。而关于选用何种方法进行匹

配才能使得结果最优,学术界尚未达成共识^[40]。但是,当在运用多种匹配方法后所获取的结果十分接近,则表明匹配结果稳健,样本有效性良好。

最后,计算处理组和对照组农户水贫困的差异,即平均处理效应(ATT),从而得到气候变化适应性行为对农户水贫困的影响。 ATT 的表达式为:

$$ATT = E(Y_{1m}|Adopt_m = 1) - E(Y_{0m}|Adopt_m = 1) \\ = E(Y_{1m} - Y_{0m}|Adopt_m = 1) \quad (2)$$

式中: Y_{1m} 为采纳气候变化适应性行为的农户家庭水贫困值; Y_{0m} 为采纳气候变化适应性行为的农户假设未采纳时的农户水贫困值。 $E(Y_{1m}|Adopt_m = 1)$ 为采纳气候变化适应性行为下处理组农户水贫困的期望值,可直接观测;而 $E(Y_{0m}|Adopt_m = 1)$ 为采纳农户假设未采纳状况下处理组的农户水贫困期望值,不可直接观测,为反事实结果,本文采用倾向匹配得分法构造相应指标。

3.3 变量选取与描述性统计

(1)结果变量:农户水贫困指数(表1)。本文使用水资源利用匮乏度与农户家庭发展能力的比值

表1 农户不同类型气候变化适应性行为下各指标的描述性统计和均值差异

Table 1 Descriptive statistics and mean difference of various indicators under different types of climate change adaptive behavior of farmers

变量名称	变量解释	全样本 均值	工程类		非工程类		节水类	
			均值	差值	均值	差值	均值	差值
结果变量								
农户水贫困指数	由FWPI计算得	0.291	0.186	0.317***	0.108	0.565***	0.101	0.261***
匹配变量								
年龄平方	户主年龄的平方	3704.038	3612.901	276.159**	3561.990	439.256***	3198.774	694.018***
受教育程度	户主受教育程度:1=文盲;2=小学;3=初中;4=高中/中专;5=本科/大专及以上	2.333	2.460	-0.385***	2.468	-0.417***	2.848	-0.706***
健康状况	户主健康状况:1=生活不能自理;2=有疾病,但可自理;3=一般,无劳动能力;4=健康,能做简单农活;5=健康,有完全劳动能力	4.299	4.441	-0.431***	4.532	-0.722***	4.610	-0.428***
气候变化认知	您是否觉得近年气候不断发生着异常变化:1=没有变化;2=变化不大;3=一般;4=变化较大;5=变化明显	3.760	3.861	-0.309***	3.863	-0.319***	3.989	-0.314***
社会网络	亲戚朋友是医生、老师、公务员的数量/人	1.700	2.173	-1.435***	2.105	-1.254***	3.440	-2.389***
用水协会	当地是否有用水者协会:1=是;0=否	0.242	0.292	-0.151***	0.333	-0.282***	0.372	-0.178***
乡镇距离	农户家距乡镇距离/500 m	9.221	9.528	-0.929	9.526	-0.943	11.173	-2.681***
地区虚拟变量	陕西=0;宁夏=1	0.642	0.646	-0.013	0.779	-0.426***	0.494	0.203***

注: *、**、***分别代表10%、5%、1%的显著性水平。下同。

测度农户水贫困,将有效表达农户水贫困定义中的水资源匮乏与发展能力受限双重属性。尤其在水资源利用匮乏度的计算中,研究同时涵盖农户家庭的生活与生产用水,使其计算更为精准全面。此外,该指数可在不同研究对象间进行比较,规避了已有主流方法的不足,在微观农户尺度具有很强的适用性^[5,7]。具体指数计算公式如下:

$$FWPI = \frac{WRD}{1 - FDA} \quad (3)$$

$$WRD = \frac{AWDA + AWDL}{AWUA + AWUL} \quad (4)$$

$$FDA = [(F_1^3 + F_2^3 + F_3^3 + F_4^3)/4]^{1/3} \quad (5)$$

式中: $FWPI$ 为农户水贫困指数,指数越大表明农户家庭水贫困程度越严重; WRD 表示农户家庭水资源利用匮乏度; FDA 为农户家庭发展能力指数; $AWDA$ 为农户家庭农业生产中农作物应需的水资源量,具体是指农作物的蒸散总量; $AWDL$ 为农户家庭日常生活应需水资源量; $AWUA$ 为农业生产中农作物生长用水量,具体指作物生产中的绿水和蓝水消耗总量; $AWUL$ 为农户家庭日常生活水资源使用量,关于农业生产中需水量和用水量的详细计算参考Shen等^[7]的研究。 F_1 指农户家庭中65岁以上老人比重,反映了农户家庭老龄化; F_2 指农户家中初中以下学历人口占比,反映农户家庭受教育水平; F_3 指农户家庭食品消费支出占家庭总支出比重(恩格尔系数),反映农户家庭经济结构与状况; F_4 指单位耕地面积下农业机械总动力(家庭农机总动力/家庭现经营耕地数),反映农户家庭农业发展程度及潜力。

其中, $AWUL$ 的获取存在一定难度,结合调研现状,宁夏青铜峡、平罗地区的农村已安装水表并投入使用,因此在调研中容易获得农户家庭一年的生活用水量。而对于尚未安装水表的陕西农村地区,无法直观获取农户家庭一年中生活用水量。对此,本文主要依赖农户家庭的主要用水行为对其用水量进行估计。现有研究发现影响居民家庭人均日用水量的主要因素分别为做饭频率、洗澡频率、洗衣频率及节水程度等^[41]。而如冲厕浇花等用水行为,根据刘家宏等^[42]的研究,将洗衣、洗菜、洗脸等的“灰水”收集起来进行冲厕浇花等起到明显的节水效果。对此,为便于计算,本文主要采用农村居民餐饮次数、洗衣频率及洗澡频率估算农村居民日常生

活用水量。其中,餐饮用水及洗澡用水量参照刘家宏等^[42]的研究,分别取标准为7 L/次,40 L/次。洗衣用水量参照王春艳等^[41]的研究,依据农户家庭洗衣方式和洗衣机种类的不同,洗衣用水标准分别为:手洗衣物每换一次水用水量4 L,波轮洗衣机用水量140 L/次,滚筒洗衣机用水量63 L/次。对于 $AWDL$ 指标,Thomas^[43]认为100 L/d是一个人每天的合理用水量。考虑中国农村实际情况,本文参照全国农村居民用水定额及陕西和宁夏最新用水定额标准^[44-46],设定农村居民每天需水量为70 L。

(2)处理变量:气候变化适应性行为。气候变化适应性行为是指面对气候变化,为了稳定农业生产,农民所采取的利用气候变化带给农业的机会或是减少气候变化带来的风险的适应性行为^[20]。本文选用反事实假设的方法分析农户气候变化适应性行为对农户水贫困的处理效应,故将农户气候变化适应性行为设置为虚拟变量。另外,本文以Smit等^[47]提出的“适应性行为具有目的性”为判断标准,将气候变化适应性行为分为工程非节水类(工程类)、非工程非节水类(非工程类)及节水类3类。其中,工程类行为主要包括:修建大棚、使用水井/水泵、使用机井水泵进行输水灌溉、家庭污水通过相关设施排放处理;非工程类行为主要包括:购买农业保险、更换作物品种、改变种植结构、采取农田少耕或免耕直播的措施、进行测土配方施肥、进行秸秆粉碎还田、购买使用生物农药;节水类行为包括:参与灌溉管理组织、采纳节水灌溉技术、改变地膜覆盖的状况、节水改造投入、农田进行湿润或间歇式灌溉。如果样本农户采纳了工程类、非工程类、节水类3类行为内容中的任意一种,对应将该类行为变量赋值为1(作为处理组);如果样本农户没有采取任何行为,则赋值为0(作为对照组)。

(3)机制变量。基于理论分析,选择农药施用效率、化肥施用效率、农业用水效率和农机使用效率作为机制变量,以分析气候变化适应性行为与农户水贫困间的作用机制。其中,各效率指标的计算均参照传统能源效率测度方法^[48],以农业生产总产值分别比农药和化肥施用量、农业机械总动力及农业用水总量来表示。

(4)匹配变量。本文综合考虑内部特征和外部

2023年7月

因素两个方面的影响,从户主特征(年龄平方、受教育程度、健康状况、气候变化认知)、家庭特征(社会网络)、经营特征(当地是否有用水者协会、农户家到乡镇的距离)中选择7个控制变量。另外,为了控制由于地区差异造成的估计偏误,本文在回归中加入地区虚拟变量。

4 结果与分析

4.1 农户水贫困测算结果

依据构建的农户水贫困指数,结合陕西、宁夏共603份农户样本数据,计算得到研究区内农户水贫困值。为便于对研究区内农户水贫困现状做进一步分析,分别从县域、省级及研究区整体不同尺度对农户水贫困的平均状况进行描述统计(表2)。

由表2可知,研究区农户水贫困的平均值为0.291,与各地区间的农户水贫困平均状况存在较大差异。具体在对两省(区)间的比较中,陕西省的平均农户水贫困值为0.633,明显高于宁夏地区,表明陕西的平均农户水贫困状况比宁夏地区严重。而在对各县域农户水贫困平均水平的比较中:米脂县>神木市>青铜峡市>靖边县>平罗县,米脂县的平均农户水贫困状态要明显比其余几个地区严重,其平均FWPI为1.207;其次是神木市,平均FWPI为0.631。相对而言,青铜峡市、靖边县及平罗县的平均农户水贫困状况较为接近,其平均FWPI均明显低于研究区的平均水平。现实中,陕西、宁夏地处干旱半干旱区,两地整体上均长期处于相对缺水的状态,特别是农村地区农业用水的供给压力较大。而各县域中,米脂县及神木市地处陕西北部,其水资源供给对地下水的依赖度高,水资源开发利用等问题较为严重。宁夏平罗县与青铜峡市处于青铜

峡灌区,水资源供给较为充裕,农户缺水问题则相对较轻。

4.2 气候变化适应性行为对农户水贫困的影响分析

4.2.1 Logit模型估计结果

为了匹配不同气候变化适应性行为类型下采取与未采取相应行为的农户样本,本文采用Logit模型估计了农户采取气候变化适应性行为的条件概率,估计结果如表3所示。

从表3可以看出,各匹配变量对节水类气候变化适应性行为采纳均存在显著的影响。其中户主年龄平方对节水类行为存在显著的负向影响,即年龄与节水类行为间存在显著的“倒U型”关系。其余各变量中除地区虚拟变量对节水类行为存在负向影响外,剩余变量存在显著的正向影响。此外,各协变量对工程类和非工程类行为的影响存在差异。在工程类行为采纳决策中,除年龄平方、乡镇距离和地区虚拟变量对其不存在显著影响外,其余各变量均对农户工程类行为的采纳起显著的正向促进作用。而在非工程类行为采纳决策的影响中,除年龄平方不显著外,其余协变量均正向影响农户非工程类行为的采纳。值得注意的是,地区虚拟变量对非工程类行为存在显著的正向影响,对节水类行为存在显著的负向影响,这体现出在不同区域中农户对于气候变化适应性行为采纳存在差异性,表明控制地区差异的必要性。

4.2.2 共同支撑域检验

为了保证匹配的质量,还需讨论匹配的共同支

表3 基于Logit模型的农户气候变化适应性行为采纳决策方程估计结果

Table 3 Estimation results of the adoptive decision equation of farmers' climate change adaptive behavior based on the logit model

变量名称	工程类	非工程类	节水类
年龄平方	0.0001	-0.0001	-0.0002*
受教育程度	0.199*	0.241**	0.356***
健康状况	0.313***	0.423***	0.307**
气候变化认知	0.341***	0.460***	0.312**
社会网络	0.174***	0.123**	0.188***
用水协会	0.493*	1.238***	0.720***
乡镇距离	0.014	0.043***	0.027**
地区虚拟变量	-0.191	1.889***	-1.382***
Cons	-3.126***	-5.639***	-3.784***
LR值	71.800***	203.070***	156.840***
Pseudo R ²	0.094	0.268	0.222

表2 各区域平均农户水贫困状况描述统计

Table 2 Descriptive statistics of average farmers' water poverty by region

	平均FWPI	标准差
研究区	0.291	0.737
陕西	0.633	1.103
靖边县	0.092	0.207
米脂县	1.207	1.368
神木市	0.631	1.091
宁夏	0.100	0.259
青铜峡市	0.122	0.330
平罗县	0.072	0.119

支撑域条件。由图2可知,不同类型农户气候变化适应性行为在匹配后的处理组和对照组的倾向得分区间大范围内重叠,说明共同支撑域条件较好。同时农户各类气候变化适应性行为的倾向得分匹配结果如表4所示。可知,处理组与对照组进行匹配后样本损失量相对较少,即可认为样本得到了较好的匹配。

4.2.3 平衡性检验

样本匹配后,工程类、非工程类及节水类适应性行为所对应解释变量的标准化误差整体显著降低,不同匹配方法下各类行为的标准化偏差均小于

平衡性检验规定的20%红线标准^[40](表5)。LR统计量、Ps R²也显著下降。工程类行为的LR统计量从匹配前的71.640下降到匹配后的4.050~6.860,非工程类行为的LR统计量从匹配前的201.720下降到匹配后的4.750~6.070,节水类行为的LR统计量从匹配前的153.780下降到匹配后的0.890~3.940。工程类行为的Ps R²值从匹配前的0.094下降到匹配后的0.004~0.009,非工程类行为的Ps R²值从匹配前的0.266下降到匹配后的0.007~0.012,节水类行为的Ps R²值从匹配前的0.218下降到匹配后的0.004~0.013。各结果均表明,倾向得分匹配显著降低了处

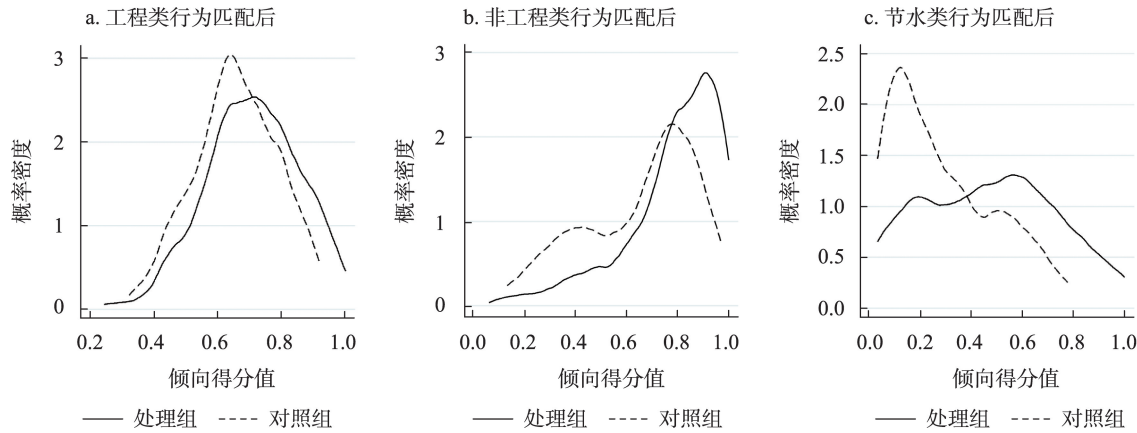


图2 不同类型气候变化适应性行为处理组和对照组共同支撑域

Figure 2 Common support of treatment and control groups for different types of climate change adaptive behavior

表4 倾向得分匹配结果

Table 4 Propensity score matching results

	工程类			非工程类			节水类		
	未匹配样本	匹配样本	总计	未匹配样本	匹配样本	总计	未匹配样本	匹配样本	总计
处理组	15	184	199	48	147	195	75	364	439
对照组	50	354	404	116	292	408	40	124	164
总计	65	538	603	164	439	603	115	488	603

注:农户采纳某种类型的行为相互独立,并不会对各行为分类后的总体样本量产生影响。本文采用3种匹配方式进行样本估计,故存在3种样本损失量。由于各估计方法所得样本损失量接近且受限于篇幅,表4仅报告卡尺内k近邻匹配的结果。

表5 平衡性检验

Table 5 Results of balance test

匹配方法	工程类			非工程类			节水类		
	Ps R ²	LR 值	标准化偏差	Ps R ²	LR 值	标准化偏差	Ps R ²	LR 值	标准化偏差
匹配前	0.094	71.640	50	0.266	201.720	67	0.218	153.780	67
卡尺内k近邻匹配	0.004	4.050	0	0.007	5.900	17	0.009	3.260	17
半径匹配	0.006	4.980	0	0.007	4.750	17	0.013	3.940	17
核匹配	0.009	6.860	17	0.012	6.070	17	0.004	0.890	17

2023年7月

理组与对照组之间的解释变量差异,样本匹配质量较好。

4.2.4 不同气候变化适应性行为对农户水贫困的平均处理效应

表6展示了由3种不同匹配方法得出的各类气候变化适应性行为对农户水贫困的平均处理效应。从表中可知,虽然匹配方法不同,但每种适应行为下所得到的 ATT 值均显著,最差也在5%的统计水平上通过显著性检验。同时,不同类型气候变化适应性行为对农户水贫困的影响方向均保持一致,处理效应的结果较为接近,即表明样本数据具有良好的稳健性。

本文还在表6的最后一列给出了3种测算方法的平均值。可知,工程类、非工程类、节水类气候变化适应性行为均表现出对农户水贫困的负向影响。说明:与未采纳气候变化适应性行为的农户群体相比较,气候变化适应性行为的采纳将有效缓解农户水贫困问题。同时,不同类型气候变化适应性行为采纳对农户水贫困问题的缓解程度也存在差异。节水类气候变化适应性行为对农户水贫困的影响最大,其影响的平均净效应为 -0.227 ,表明在考虑了农户选择性偏差后,采纳节水类行为会促使农户家庭水贫困程度显著下降 0.227 。工程类气候变化适应性行为的平均处理效应(ATT)为 -0.210 ,影响程度排在第2位。表明在控制其他因素不变的情况下,采纳工程类行为的农户家庭要比不采纳的农户家庭的水贫困值下降 0.210 。而非工程类行为采纳的影响最小,其 ATT 值为 -0.166 。整体而言,在面对复杂气候变化背景下的农户水贫困问题时,农户气候变化适应性行为的采纳在增强农户家庭适应能力、缓解农户水贫困问题中发挥出明显的作用。

表6 不同气候变化适应性行为对农户水贫困的平均处理效应

Table 6 Average treatment effect of different climate change adaptive behaviors on farmers' water poverty

匹配方法	工程类(ATT)	非工程类(ATT)	节水类(ATT)
卡尺内 k 近邻匹配	-0.182^{**}	-0.143^{**}	-0.201^{**}
半径匹配	-0.223^{**}	-0.153^{**}	-0.236^{**}
核匹配	-0.225^{**}	-0.201^{***}	-0.243^{**}
均值	-0.210	-0.166	-0.227

4.2.5 敏感性分析

在对农户水贫困 ATT 的敏感性分析中,本文使用Rosenbaum等^[49]提出的边界方法(Rosenbaum Bounds)来检验PSM估计的农户水贫困处理效应是否易受到未观察因素的影响。其中,伽马系数(Γ)是对隐藏偏差的敏感性的测量,伽马系数越接近于1,表示研究结果对可能存在的隐藏偏差越敏感;伽马系数越接近于2,表示研究结果对可能存在的隐藏偏差越不敏感。由表7可知,工程类和非工程类行为直至伽马系数增至2时依旧在0.050的水平上显著,而节水类行为直至伽马系数增至2时依旧在0.010的水平上显著。据此可以断定,即使可能存在不可观测的因素,但处理效应估计对这些潜在的因素并不敏感,这一定程度上消除了本文对未控制变量可能导致PSM测算结果存在较大偏差的担忧。

4.3 作用机制检验

为检验气候变化适应性行为对农户水贫困的作用机制,仍采用PSM方法依次估计气候变化适应性行为对农药施用效率、农机使用效率、化肥施用效率、农业用水效率的平均处理效应。此外,由于研究区内陕西与宁夏地区的农户水贫困状况存在一定差异,故同时将样本数据按地区分为陕西和宁夏两组,分别进行作用机制检验,这也将有效验证整体结果的稳健性。估计结果如表8所示。

农业用水效率提升是缓解农业水资源压力,提升农业发展能力的重要途径,将有效改善农户水贫

表7 农户水贫困 ATT 的敏感性分析

Table 7 Sensitivity analysis of average treatment effect on farmers' water poverty

Γ	工程类		非工程类		节水类	
	sig+	sig-	sig+	sig-	sig+	sig-
1.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.8	0.000	0.002	0.000	0.004	0.000	0.000
2.0	0.000	0.021	0.000	0.030	0.000	0.003

注: Γ 表示由未控制因素导致的不同安排的对数发生比, sig+表示显著性水平上界, sig-表示显著性水平下界。囿于文章篇幅,表7所展示为利用卡尺内 k 近邻匹配方法所得的敏感性分析结果, Γ 值间隔0.2递增。

表8 气候变化适应性行为对农户水贫困影响机制检验的估计结果

Table 8 Estimation results of testing the mechanism of impact of climate change adaptive behavior on farmers' water poverty

机制变量	匹配方法	ATT		
		研究区	陕西	宁夏
农药施用效率	卡尺内 k 近邻匹配	2.884**	0.135	2.702
	半径匹配	2.680**	0.843	2.987
	核匹配	2.296*	0.586	2.456
	均值	2.620	0.521	2.715
农机使用效率	卡尺内 k 近邻匹配	2.636**	2.746	2.989*
	半径匹配	2.441*	4.910*	3.372*
	核匹配	2.214	4.853	3.140
	均值	2.430	4.170	3.167
化肥施用效率	卡尺内 k 近邻匹配	2.022***	1.369*	2.087**
	半径匹配	2.095***	1.580*	2.219**
	核匹配	2.024***	1.974*	1.997*
	均值	2.047	1.641	2.101
农业用水效率	卡尺内 k 近邻匹配	1.438**	0.800	1.670
	半径匹配	1.555**	1.030	1.868*
	核匹配	1.497**	1.395	1.651
	均值	1.497	1.075	1.730

困问题的窘状。从研究区的验证结果看,不同匹配方法下气候变化适应性行为对农业用水效率产生了显著的正向影响,均在5%的显著性水平上通过检验,表明农户群体采纳气候变化适应性行为将显著提升农业用水效率,进而缓解农户水贫困。在对农户家庭发展能力的分析中,农药、化肥的高效施用有助于提升作物产量,增加农业产出,增强农户家庭的发展韧性,从而缓解农户水贫困。故本文选取农药及化肥的施用效率作为机制变量进行检验,结果发现,研究区内农户气候变化适应性行为对农药、化肥施用效率在不同匹配方法下均正向显著,各结果至少在10%的显著性水平上通过检验;说明采纳适应性行为可通过提升农药与化肥施用效率来发挥积极作用。此外,农业机械化水平同样是影响农户家庭发展能力的重要因素,经检验,适应性行为对农机使用效率的影响在卡尺内 k 近邻匹配、半径匹配方法下分别在5%和10%的统计水平显著。意味着适应性行为的采纳同样有助于提高农机使用效率,增强农户农业发展能力,从而在缓解农户水贫困中发挥积极作用。因此,积极推进农户气候变化适应性行为采纳,特别是工程类、节水类等相关行为采纳对提升农业机械使用效率,缓解农

户水贫困问题十分关键。

整体上,研究区内气候变化适应性行为对农户水贫困的不同作用路径得到了较好的验证,表明采纳气候变化适应性行为将分别通过提升农药施用效率、农机使用效率、化肥施用效率、农业用水效率4条路径缓解农户水贫困问题。不同区域间作用机制的检验结果发现,陕西地区农户气候变化适应性行为采纳一定程度上会通过提升化肥施用效率、农机使用效率来影响农户水贫困,而宁夏地区则主要通过提升化肥施用效率、农机使用效率及农业用水效率3条路径产生影响。可见,不同地区间的作用路径存在略微差异,但整体而言,不同样本组内较多数量的机制变量均在一定程度上通过显著性检验,表明整体作用机制的结果稳健。

4.4 稳健性检验

为保证研究结果的可靠性,本文采用普通最小二乘法(OLS)及由Maddala^[50]提出的处理效应模型(Treatment Effects Model)进行稳健性检验。处理效应模型可以有效克服选择性偏差,能同时控制由可观测因素和不可观测因素导致的选择性偏差问题。因此,本文以工程类、非工程类和节水类气候变化适应性行为作为处理变量,并参照冯晓龙等^[21]

2023年7月

的研究以“村庄是否提供气候变化适应措施信息服务?”作为工具变量。之所以选择这类工具变量是因为信息来源仅影响农户的气候变化适应性行为选择,而不影响农户水贫困状况。最终本文采用处理效应模型二步法进行稳健性检验估计并与OLS模型估计结果进行对照,结果如表9所示。

由表9可知,OLS回归模型的结果显示不同气候变化适应性行为与农户水贫困间存在显著的负向影响关系,其结果均在1%的统计水平下显著。这一影响关系与PSM分析所得结果相一致。而与OLS模型相比,处理效应模型可以很好地消除选择性偏差和处理变量的内生性问题。故进一步结合处理效应模型的估计结果看,工具变量“村庄是否提供气候变化适应措施信息服务”与工程类、节水类、非工程类行为采纳在第一阶段Probit回归中的系数在1%水平上显著,表明工具变量与内生变量具有显著相关关系。随后,使用极大似然方法计算内生性检验的结果,在对非工程类和节水类行为采纳的估计中,LR检验显示,在5%水平上拒绝模型不存在内生性问题的原假设,表明非工程类和节水类行为存在内生性问题。故继续采用处理效应模型进行分析,结果显示工程类、非工程类、节水类行为采纳与农户水贫困间均呈显著的负向影响关系。

表9 不同气候变化适应性行为对农户水贫困影响的稳健性检验结果

Table 9 Robustness test results of different climate change adaptive behaviors on farmers' water poverty

模型类别	变量	OLS回归	处理效应模型
工程类	工程类行为采纳	-0.192***	-0.498**
	控制变量	控制	控制
	村庄是否提供气候变化适应措施信息服务?	—	0.356***
	LR检验 χ^2	—	2.19
非工程类	非工程类行为采纳	-0.241***	-0.424***
	控制变量	控制	控制
	村庄是否提供气候变化适应措施信息服务?	—	0.857***
	LR检验 χ^2	—	4.030**
节水类	节水类行为采纳	-0.241***	-0.523***
	控制变量	控制	控制
	村庄是否提供气候变化适应措施信息服务?	—	0.680***
	LR检验 χ^2	—	4.500**

其中,工程类行为采纳与农户水贫困在5%的统计水平下呈现显著负向影响,非工程类、节水类行为采纳在1%的统计水平下呈显著负向影响。同时,处理效应模型的估计结果显示出节水类行为采纳的影响效果要明显高于工程类及非工程类行为采纳的影响,其影响关系与PSM估计结果顺序一致。上述结果整体表明,PSM模型估计结果具有良好的稳健性。

5 结论与政策启示

5.1 结论

本文以陕西、宁夏603份农户样本为例,构建并测算农户水贫困指数,采用倾向匹配得分法通过构建反事实框架,实证分析采纳不同气候变化适应性行为对农户水贫困的影响,并进一步分析影响机制。得出结论如下:

(1)气候变化适应性行为的采纳可以有效缓解农户水贫困问题。通过PSM方法构建反事实模型,解决农户适应性行为自选择问题带来的估计偏差,结果显示在卡尺内 k 近邻匹配、半径匹配及核匹配等不同匹配方式下,工程类、非工程类及节水类气候变化适应性行为对农户水贫困的平均处理效应均显著。

(2)采纳不同类型气候变化适应性行为对农户水贫困的影响存在明显差异,节水类行为的影响最大,工程类行为次之。在反事实假设情况下,对比未采纳气候变化适应性行为的农户,采纳节水类行为可使农户水贫困下降0.227,而采纳工程类、非工程类行为则分别使农户水贫困降低0.210和0.166。

(3)作用机制分析的结果表明,农户采纳气候变化适应性行为分别通过提升农药施用效率、农机使用效率、化肥施用效率和农业用水效率4条路径来缓解农户水贫困问题。

5.2 政策启示

针对上述结论,本文提出如下政策启示:

(1)为有效缓解农户水贫困,需不断提升农户群体对气候变化适应性行为的采纳意愿。本文通过实证分析发现气候变化适应性行为的采纳对缓解农户水贫困问题具有积极意义。而当前西北农村地区农户群体对不同类型气候变化适应性行为的采纳程度仍相对较低,农户抵御水贫困风险的能

力较弱。故政府部门、村干部群体可通过广泛开展节水技术示范、农业技术培训、政策宣讲会等形式,增强农户对气候变化和适应性行为的认知,刺激农户群体提高其采纳意愿。

(2)发挥节水类行为缓解农户水贫困的显著优势,加大对农村地区节水灌溉工程的投入。本文发现节水类行为对农户水贫困问题的缓解效应最大,工程类行为次之。政府部门可通过增加对农村地区节水灌溉水利工程的投资、加大政府补贴、兴建灌溉排水设施等措施,保障农村地区水资源有效供给,提高农村居民的用水能力。村集体可发挥集体优势,加强节水技术的普及和推广,带动农户广泛参与到节水改造、水利工程建设之中,普遍提高农户群体采纳水平。

(3)鼓励非工程类行为采纳,提升农户技术水平和知识储备。采纳非工程类行为同样有助于缓解农户水贫困,政府应积极鼓励农户群体对测土配方施肥、使用生物农药、购买农业保险等行为的采纳。同时,政府、村集体也应帮助提高农户群体的专业知识储备和技术水平,例如推广绿色农药、化肥的使用技巧,介绍农机的保养和使用方法等,根据作用机制的分析结果,这将有助于通过提高农药化肥施用效率、农机使用效率等途径缓解农户家庭的水贫困。

参考文献(References):

- [1] Namara R E, Hanjra M A, Castillo G E, et al. Agricultural water management and poverty linkages[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(4): 520–527.
- [2] 陈艳萍, 刘畅. 中国水资源利用效率及其影响因素研究: 基于Shephard水资源距离函数[J]. *世界地理研究*, 2022, 31(3): 591–601. [Chen Y P, Liu C. Research on water resources utilization efficiency and its influencing factors in China: Based on Shephard water resources distance function[J]. *World Regional Studies*, 2022, 31(3): 591–601.]
- [3] 李任之, 黄河清, 余国安, 等. 气候变化和人类活动对澜沧江-湄公河流域径流变化的影响[J]. *资源科学*, 2021, 43(12): 2428–2441. [Li R Z, Huang H Q, Yu G A, et al. Contributions of climatic variation and human activities to streamflow changes in the Lancang-Mekong River Basin[J]. *Resources Science*, 2021, 43(12): 2428–2441.]
- [4] 陆咏晴, 严岩, 丁丁, 等. 我国极端干旱天气变化趋势及其对城市水资源压力的影响[J]. *生态学报*, 2018, 38(4): 1470–1477. [Lu Y Q, Yan Y, Ding D, et al. Drought trends and their impacts of pressures of urban water resources in China of precipitations[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(4): 1470–1477.]
- [5] Sullivan C. Calculating a water poverty index[J]. *World Development*, 2002, 30(7): 1195–1210.
- [6] Wilk J, Jonsson A C. From water poverty to water prosperity: A more participatory approach to studying local water resources management[J]. *Water Resources Management*, 2013, 27(3): 695–713.
- [7] Shen J, Zhao Y, Song J. Analysis of the regional differences in agricultural water poverty in China: Based on a new agricultural water poverty index[J]. *Agricultural Water Management*, 2022, DOI: 10.1016/j.agwat.2022.107745.
- [8] 孙才志, 白雪妮. 基于WPI-ESDA模型的中国水贫困评价及空间关联格局分析[J]. *资源科学*, 2011, 33(6): 1072–1082. [Sun C Z, Wang X N. Research on the assessment and spatial correlation pattern of water poverty in China based on WPI-ESDA Model[J]. *Resources Science*, 2011, 33(6): 1072–1082.]
- [9] 张华, 王礼力. 中国农业水贫困评价及时空特征分析[J]. *资源科学*, 2019, 41(1): 75–86. [Zhang H, Wang L L. Evaluation and spatio-temporal analysis for agricultural water poverty in China[J]. *Resources Science*, 2019, 41(1): 75–86.]
- [10] 杨玉蓉, 张青山, 邹君. 基于村级尺度的湖南农村水贫困比较研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2014, 23(7): 1027–1034. [Yang Y R, Zhang Q S, Zou J. A comparative study of Hunan rural water poverty based on village scale[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2014, 23(7): 1027–1034.]
- [11] 张华, 王礼力. 农业水贫困对农户节水灌溉技术采用决策的影响[J]. *干旱区资源与环境*, 2020, 34(12): 105–109. [Zhang H, Wang L L. Impact of agricultural water poverty on the decision-making of farmers' water saving irrigation technology adoption[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2020, 34(12): 105–109.]
- [12] 许迪, 李益农, 龚时宏, 等. 气候变化对农业水管理的影响及应对策略研究[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(14): 79–89. [Xu D, Li Y N, Gong S H, et al. Impacts of climate change on agricultural water management and its coping strategies[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(14): 79–89.]
- [13] 冯琳, 庞玉亭, 钟琪, 等. 1980–2016年气候变化对湖南省农业产量的影响[J]. *资源科学*, 2019, 41(3): 582–590. [Feng L, Pang Y T, Zhong Q, et al. Impacts of climate variability on crop yields in Hunan Province during 1980–2016[J]. *Resources Science*, 2019, 41(3): 582–590.]
- [14] 刘华民, 王立新, 杨劼, 等. 气候变化对农牧民生计影响及适应性研究: 以鄂尔多斯市乌审旗为例[J]. *资源科学*, 2012, 34(2):

2023年7月

- 248–255. [Liu H M, Wang L X, Yang J, et al. Influence of climate change on farming and grazing households and its adaptation: A case study in Uxin Banner in Inner Mongolia[J]. *Resources Science*, 2012, 34(2): 248–255.]
- [15] Carman J P, Zint M T. Defining and classifying personal and household climate change adaptation behaviors[J]. *Global Environmental Change*, 2020, DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2020.102062.
- [16] 李美佳, 徐志刚, 林光华. 灾害损失可控性、受灾经历与农户极端气候响应[J]. *农业技术经济*, (2022–09–05) [2023–01–10]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1883.s.20220902.1740.010.htm>. [Li M J, Xu Z G, Lin G H. Controllability of disaster loss, disaster experience and farmer's response to extreme climate[J/OL]. *Journal of Agrotechnical Economics*, (2022–09–05) [2023–01–10]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1883.s.20220902.1740.010.htm>.]
- [17] 秦语晗, 曹振选, 史兴民. 农户气候变化感知与实测数据对比及影响因素: 以陕北黄土高原农户为例[J]. *地域研究与开发*, 2022, 41(3): 161–166. [Qin Y H, Cao Z X, Shi X M. Comparison of farmers' climate change perception and measured data and influencing factors: A case from Loess Plateau farmers in Northern Shaanxi Province[J]. *Areal Research and Development*, 2022, 41(3): 161–166.]
- [18] 宋臻, 史兴民. 雨养农业区农户的气候变化适应行为及影响因素路径分析[J]. *地理科学进展*, 2020, 39(3): 461–473. [Song Z, Shi X M. Path analysis of influencing factors of farmers adaptive behaviors to climate change in the rain-fed agricultural areas[J]. *Progress in Geography*, 2020, 39(3): 461–473.]
- [19] 宋良媛, 杜富林. 气候变化适应性行为对牧户收入的影响研究: 以内蒙古为例[J]. *农业经济与管理*, 2022, (3): 86–96. [Song L Y, Du F L. Study on the impact of climate change adaptive behaviors on herdsman's income: A case study of Inner Mongolia[J]. *Agricultural Economics and Management*, 2022, (3): 86–96.]
- [20] 汪兴东, 陈昭玖, 蔡波. 农民气候变化认知及适应性措施选择: 基于鄱阳湖区的调查研究[J]. *农林经济管理学报*, 2016, 15(3): 316–326. [Wang X D, Chen Z J, Cai B. Farmer's cognition and adaptation to climate change: Based on survey in Poyang Lake Area[J]. *Journal of Agro-Forestry Economics and Management*, 2016, 15(3): 316–326.]
- [21] 冯晓龙, 刘明月, 霍学喜, 等. 农户气候变化适应性决策对农业产出的影响效应: 以陕西苹果种植户为例[J]. *中国农村经济*, 2017, (3): 31–45. [Feng X L, Liu M Y, Huo X X, et al. The effects of farmers' adaptation to climate change on agricultural production: A case study on apple farmers in Shaanxi[J]. *Chinese Rural Economy*, 2017, (3): 31–45.]
- [22] Pakmehr S, Yazdanpanah M, Baradaran M. How collective efficacy makes a difference in responses to water shortage due to climate change in southwest Iran?[J]. *Land Use Policy*, 2020, DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.104798.
- [23] Zobeidi T, Yaghoubi J, Yazdanpanah M. Farmers' incremental adaptation to water scarcity: An application of the model of private proactive adaptation to climate change (MPPACC)[J]. *Agricultural Water Management*, 2022, DOI: 10.1016/j.agwat.2022.10752.
- [24] Hung F W, Son K H, Yang Y C. Investigating uncertainties in human adaptation and their impacts on water scarcity in the Colorado river Basin, United States[J]. *Journal of Hydrology*, 2022, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2022.128015.
- [25] 邵薇薇, 杨大文. 水贫乏指数的概念及其在中国主要流域的初步应用[J]. *水利学报*, 2007, 370(7): 866–872. [Shao W W, Yang D W. Water poverty index and its application to main river basins in China[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2007, 370(7): 866–872.]
- [26] Cervantes-Godoy D, Kimura S, Antón J. Smallholder Risk Management in Developing Countries[R]. OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers No. 16, 2013.
- [27] 许朗, 陈杰, 刘晨. 小农户与新型农业经营主体的灌溉用水效率及其影响因素比较[J]. *资源科学*, 2021, 43(9): 1821–1833. [Xu L, Chen J, Liu C. Comparison of irrigation efficiency of smallholder farmers and new agricultural operators and influencing factors [J]. *Resources Science*, 2021, 43(9): 1821–1833.]
- [28] 刘琼, 肖海峰. 农地经营规模与财政支农政策对农业碳排放的影响[J]. *资源科学*, 2020, 42(6): 1063–1073. [Liu Q, Xiao H F. The impact of farmland management scale and fiscal policy for supporting agriculture on agricultural carbon emission[J]. *Resources Science*, 2020, 42(6): 1063–1073.]
- [29] 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, (2): 4–16. [Song C X, Ma H Y, Huang J K, et al. Impact of climate change and farmer adaptation on irrigation efficiency of wheat: An empirical study based on wheat main production areas in five central-eastern provinces[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2014, (2): 4–16.]
- [30] Ray D K, Gerber J S, MacDonald G K, et al. Climate variation explains a third of global crop yield variability[J]. *Nature Communication*, 2015, DOI: 10.1038/ncomms6989.
- [31] 高雪, 李谷成, 尹朝静. 气候变化下的农户适应性行为及其对粮食单产的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2021, 26(3): 240–248. [Gao X, Li G C, Yin C J. Farmers' adaptation to climate change and its impact on grain yield[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2021, 26(3): 240–248.]
- [32] 彭继权, 吴海涛, 汪为. 农业机械化水平对农户主粮生产的影响[J]. *中国农业资源与区划*, 2021, 42(1): 51–59. [Peng J Q, Wu H T, Wang W. The influence of agricultural mechanization level on farmers' production of staple food[J]. *Chinese Journal of Agricultural*

- tural Resources and Regional Planning, 2021, 42(1): 51–59.]
- [33] Zheng W L, Luo B L, Hu X Y. The determinants of farmers' fertilizers and pesticides use behavior in China: An explanation based on label effect[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123054.
- [34] 邵宜添, 陈刚, 杨建辉. 农村地区初级农产品质量安全隐患及其监管均衡[J]. 财经论丛, 2020, (9): 104–112. [Shao Y T, Chen G, Yang J H. Potential safety hazard and regulation equilibrium of primary agricultural products in rural areas[J]. Collected Essays on Finance and Economics, 2020, (9): 104–112.]
- [35] 应瑞瑶, 徐斌. 农作物病虫害专业化防治服务对农药施用强度的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(8): 90–97. [Ying R Y, Xu B. Effects of regional pest control adoption on pesticides application[J]. China Population, Resources and Environment, 2017, 27(8): 90–97.]
- [36] 王春超, 王志文. 气候变化与人口迁移: 粮食主产区和非粮食主产区城市净移民率分析[J]. 社会科学战线, 2018, (10): 67–76. [Wang C C, Wang Z W. On the relationship between climate change and population migration: An analysis based the net immigration rate of major grain producing areas and non-major grain producing areas[J]. Social Science Front, 2018, (10): 67–76.]
- [37] Li L F, Khan S U, Guo C H, et al. Non-agricultural labor transfer, factor allocation and farmland yield: Evidence from the part-time peasants in Loess Plateau region of Northwest China[J]. Land Use Policy, 2022, DOI: 10.1016/j.landusepol.2022.106289.
- [38] Li L, Khan S U, Xia X, et al. Screening of agricultural land productivity and returning farmland to forest area for sensitivity to rural labor outward migration in the ecologically fragile Loess Plateau region[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2020, 27(21): 26442–26462.
- [39] 王瑞峰, 李爽, 王红蕾, 等. 中国粮食产业高质量发展评价及实现路径[J]. 统计与决策, 2020, 36(14): 93–97. [Wang R F, Li S, Wang H L, et al. Evaluation and realization path of high quality development of China's grain industry[J]. Statistics & Decision, 2020, 36(14): 93–97.]
- [40] 王慧玲, 孔荣. 正规借贷促进农村居民家庭消费了吗? 基于PSM方法的实证分析[J]. 中国农村经济, 2019, (8): 72–90. [Wang H L, Kong R. Does formal lending promote rural households' consumption? An empirical analysis based on PSM method[J]. Chinese Rural Economy, 2019, (8): 72–90.]
- [41] 王春艳, 周雨澎, 尤恺杰, 等. 北京市居民家庭水: 能消费活动碳排放核算及影响因素分析[J]. 中国环境管理, 2021, 13(3): 56–65. [Wang C Y, Zhou Y P, You K J, et al. Analysis of carbon emis-
- sions accounting and influencing factors of water-energy consumption behaviors in Beijing residents[J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2021, 13(3): 56–65.]
- [42] 刘家宏, 王建华, 李海红, 等. 城市生活用水指标计算模型[J]. 水利学报, 2013, 44(10): 1158–1164. [Liu J H, Wang J H, Li H H, et al. A mathematic model for rational domestic water demand considering climate and economic development factors[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(10): 1158–1164.]
- [43] Thomas V C. Principles of Water Resources History, Development, Management and Policy[M]. New York: John Wiley & Sons, 2009.
- [44] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 农村生活饮用水卫生标准[N/OL]. (1989–02–10) [2023–01–10]. <http://www.nhc.gov.cn/wjw/pgw/201212/34347.shtml>. [National Health Commission of the People's Republic of China. Hygienic Standard for Water Consumption in Rural Areas[N/OL]. (1989–02–10) [2023–01–10]. <http://www.nhc.gov.cn/wjw/pgw/201212/34347.shtml>.]
- [45] 陕西省水利厅. 陕西省行业用水定额[N/OL]. (2021–04–15) [2023–01–10]. http://slt.shaanxi.gov.cn/zfxgk/zcjd/202012/t20201228_2147053.html. [Shaanxi Provincial Department of Water Resources. Norm of Water Intake for Industries in Shaanxi Province [N/OL]. (2021–04–15) [2023–01–10]. http://slt.shaanxi.gov.cn/zfxgk/zcjd/202012/t20201228_2147053.html.]
- [46] 宁夏回族自治区水利厅. 自治区政府办公厅关于印发宁夏回族自治区有关行业用水定额(修订)的通知[N/OL]. (2020–09–24) [2023–01–10]. http://slt.nx.gov.cn/xxgk_281/fdzdgknr/wjk/zzqwj/202112/t20211215_3225337.html. [Ningxia Water Conservancy. General Office of the Regional Government of Ningxia Hui Autonomous Region on Issuing the Norm of Water Intake for Industries (Revised) Notice[N/OL]. (2020–09–24) [2023–01–10]. http://slt.nx.gov.cn/xxgk_281/fdzdgknr/wjk/zzqwj/202112/t20211215_3225337.html.]
- [47] Smit B, Burton I, Klein R J, et al. The science of adaptation: A framework for assessment[J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 1999, 4(3): 199–213.
- [48] Patterson M G. What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues[J]. Energy Policy, 1996, 24(5): 377–390.
- [49] 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.
- [50] Maddala G S. Limited Dependent and Qualitative Variables in Econometrics[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

The impact of farmers' adaptive behavior to climate change on their water poverty

SHEN Jinlong, XU Hang, LI Jiafen, SONG Jianfeng

(College of Economics and Management, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: [Objective] The purpose of this study was to analyze the impact of farmers' climate change adaptive behavior adoption on farmers' water poverty and its mechanism of action in order to effectively respond to complex climate change and alleviate farmers' water poverty. [Methods] Using the survey data from 603 rural households in Shaanxi Province and Ningxia Hui Autonomous Region, this study constructed a micro-scale water poverty index to measure the level of farmers' water poverty. On this basis, a counterfactual framework was constructed using the propensity score matching method to empirically analyze the relationship between climate change adaptive behavior and farmers' water poverty. [Result] (1) The adoption of climate change adaptive behavior can effectively alleviate farmers' water poverty. The counterfactual model addressed the estimation bias caused by the self-selection problem of farmers' adaptation behaviors and the results show that the average treatment effects of engineering, non-engineering, and water-saving climate change adaptation behaviors on farmers' water poverty are significant using different matching methods including the Caliper-based K-nearest neighbor matching, radius matching, and kernel matching. (2) The effects of adopting different types of climate change adaptive behaviors differed significantly, with water-saving behaviors having the largest effect, followed by engineering behaviors. Under the counterfactual hypothesis, the adoption of water-saving behaviors reduces farmers' water poverty by 0.227, while the adoption of engineering and non-engineering behaviors effectively reduces farmers' water poverty by 0.210 and 0.166, respectively, compared with farmer groups who do not adopt climate change adaptation behaviors. (3) Climate change adaptive behaviour affects farmers' water poverty by increasing pesticide application efficiency, agricultural machinery use efficiency, fertilizer application efficiency and agricultural water use efficiency, respectively. [Conclusion] The adoption of climate change adaptive behavior by farmers can alleviate the water poverty of farmers by improving the efficiency of pesticide application, agricultural machinery use, fertilizer application, and agricultural water use. In the future, farmers' water poverty still needs to be constantly concerned to help achieve the goals of rural revitalization and common prosperity.

Key words: climate change; adaptive behavior; farmers' water poverty; mechanism of impact; propensity score matching