

引用格式: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. [Huang T, Zhao J J, Wei J, et al. Cognition of irrigation water-saving techniques, adoption intensity and income effects in Gansu, China[J]. *Resources Science*, 2018, 40(2): 347-358.] DOI: 10.18402/resci.2018.02.11

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

黄 腾,赵佳佳,魏 娟,刘天军

(西北农林科技大学经济管理学院西部农村发展研究中心,杨凌 712100)

摘 要:基于甘肃省5市285户微观农户调查数据,构建农户节水灌溉技术认知和节水技术采用强度两阶段模型拟合农户动态、多阶段的节水灌溉技术采用行为,采用双变量有序Probit模型实证分析农户节水灌溉技术认知和采用强度的影响因素,运用内生转换回归模型分析有效节水灌溉技术采用对农业收入的影响。研究结果表明:①89.82%的样本农户至少采用一种节水灌溉技术,但高效节水技术采用仅为5.26%,大部分农户采用中低效节水技术;②年龄与农户技术认知存在倒U型关系,性别、教育程度、村干部经历、农业种植结构、政府资金支持、政策认知与农户技术认知呈正相关;③节水技术认知、家庭纯收入、农业收入占比、政府资金支持与技术采用强度呈正相关,村干部经历、到乡镇距离、农业种植结构、社区灌溉设施与技术采用强度呈负相关,农户节水技术认知存在显著的个体差异与区域差异;④农业亩均收入低于平均水平的农户更愿意采用有效节水灌溉技术,且有效节水灌溉技术采用有助于农业亩均收入增长19.66%。最后,根据研究结论给出相应的政策建议。

关键词:节水灌溉技术;技术认知;技术采用强度;收入效应;双变量有序Probit;内生转换回归模型;甘肃省

DOI: 10.18402/resci.2018.02.11

1 引言

西北半干旱区是中国水资源极度匮乏和生态环境最为脆弱的地区。该区域土地资源丰富,在保障中国食品安全、水安全和生态安全中占有极其重要的地位^[1]。但长期以来,随着中国工业化、城镇化步伐的不断加快,以及人口增加、极端气候等因素导致该区域水资源短缺程度加剧,再加上不合理的人为活动又进一步加剧了该区域生态环境的恶化,导致大面积的水土流失,地下水位下降,旱灾频发,水资源供需矛盾日趋严重^[2-4]。因此,大力发展旱作农业,应用和推广节水技术,成为缓解西北半干旱区域水资源供需矛盾的必然选择^[5]。农户作为旱作农业的主要经营主体,对其农业节水灌溉技术认知和采用现状、节水灌溉技术认知和采用强度的影响

因素以及采用农业节水灌溉技术对其收入的影响程度等关键问题的研究,对于提高农业节水技术的普及率和增强可持续发展能力具有实践意义^[6]。

目前,关于农户节水灌溉技术采用行为的研究主要分为两方面:一方面,农户采用节水技术的诱因和动机;另一方面,农户采用节水技术的影响因素。满明俊等认为资源稀缺是其选择和采用新技术的诱因^[7];李丰认为农户灌溉的边际收益往往低于边际成本,其灌溉行为并非受利润最大化驱使,风险最小化才是农户技术选择的动机^[8]。关于技术采用影响因素的研究,学者主要从农户个体及家庭因素、农业种植因素、环境因素等方面,进行了较为深入的探索。其中农户及家庭因素主要包括年龄、文化程度、风险态度、经济状况、社会网络等;农业种

收稿日期 2017-04-17;修订日期:2017-07-27

基金项目 教育部人文社会科学项目(16XJA790006);国家自然科学基金项目(71773089);陕西高校人文社会科学青年英才支持计划项目“农产品流通体系机制创新研究”。

作者简介 黄腾,男,江西赣州人,硕士生,主要研究方向为农业经济发展。E-mail: vinerhuang@foxmail.com

通讯作者 刘天军, E-mail: ltj168168@nwsuaf.edu.cn

植因素主要包括经营规模、耕地细碎化程度、作物结构等;环境因素可分为自然环境和政策环境,具体包括到乡镇距离、水资源短缺程度、农业用水价格、水权市场、政府资金扶持等^[9-13]。上述研究在相当程度上揭示了农户采用节水灌溉技术的内在机理以及各种因素对农户节水技术采用的影响,但也遗漏农户对技术认知等主观因素对行为选择的影响。许朗等、韩一军等、乔丹等、黄玉祥等学者考虑认知对农户技术采用的关键性影响^[6,12-14],却忽视认知和行为之间可能存在内生性问题。

不同学者使用不同尺度刻画农户节水技术采用行为。多数学者对农户节水技术采用行为简单的处理为采用和不采用的二元选择^[6,9,12,15],并使用二元Logit或Logistic模型回归。其他学者通过采用强度刻画农户技术采用行为,比如,刘亚克等用村庄在某时期采用的某类节水技术播种面积比例反映采用强度,使用Tobit回归模型估计^[16];李丰使用分值法计算AWD技术采用程度,使用Tobit回归模型估计^[8];杨宇等采用灌溉频次表征灌溉行为强度,使用泊松模型回归估计^[17]。实际上技术采用行为是一个动态的多级过程^[18],经历前期的认知、是否做出决策、技术采用程度和技术效果等多个阶段,是否采用或者采用强度等单一尺度,均无法真实有效的刻画农户节水技术采用行为。

因此,本文基于农户的微观调研数据,构建两阶段模型拟合农户动态、多阶段的节水灌溉技术采用行为,克服技术认知与采用行为的内生性问题,采用双变量有序probit模型实证分析农户节水技术认知和农户节水灌溉技术采用强度的影响因素,运用内生转换回归模型分析有效节水灌溉技术采用对农户收入的影响。

2 理论模型与估计方法

2.1 理论模型

2.1.1 理论基础与分析

技术采用相关研究总体可分为动态和静态分析两大类^[19]。动态分析通常采用面板数据,静态分析采用截面数据。由于技术采用的面板数据获取难度较大,大多学者采用静态分析,但静态分析方

法本身难以拟合动态的技术选择^[20]。技术采用行为是“个体从开始接触到最终采用的主要过程”,分为技术认知阶段(Cognition of Technology)、是否采用技术阶段和技术采用强度(Adoption Intensity)三个阶段^[3]。因此,本文针对农户节水灌溉技术采用行为的连续性和多阶段特征,借鉴Tang等的方法,将是否采用技术阶段融入采用强度阶段¹⁾,通过构建农户节水灌溉技术认知和节水灌溉技术采用强度两阶段模型,拟合农户节水灌溉技术采用行为,一定程度克服静态分析的固有缺陷^[3]。

不同学者对节水灌溉技术认知有不同的定义:Atanu等研究创新技术采用时,将认知定义为名义上对创新技术的熟悉、接触^[21];Dimara等定义认知为农户努力收集了解技术信息的过程^[18];Tang等定义认知为由于影响自身利益而对其的关注^[22]。借鉴已有研究成果,本文将节水灌溉技术认知定义为接触、学习相关信息后形成对技术的了解程度,在问卷中通过询问“您对节水技术的了解程度”获得该数据,1~5依次表示非常不了解、不了解、一般、了解、非常了解。

节水灌溉技术采用强度难以直接测量,本文通过不同节水灌溉技术的效率水平差异进行衡量,将农户采用最有效率的节水灌溉技术代理农户技术采用强度^[3,23]。将节水灌溉技术效率水平分为无效率(大水漫灌)、低效率(沟灌和畦灌)、中等效率(抗旱品种和覆膜)和高效率(喷灌和滴灌)四类。农户采用无效率、低效率、中等效率和高效率灌溉技术,其技术强度取值分别设为0、1、2、3^[3]。

节水技术认知与技术采用行为存在内生性问题。一方面,遗漏变量影响农户技术认知和采用行为。另一方面,节水技术认知与农户节水技术采用存在双向影响。节水技术认知是农户节水灌溉技术采用强度产生的重要前提,对节水技术采用有显著影响;与此同时,农户属于不断学习和积累经验个体,由于“学习效应”^[24,25],已经采用节水技术并获得利益的农户会更加关注高效节水技术,从而提高其对节水技术的认知。赵肖柯等认为农业技术对生产经营效益有较大正向影响的农户会更为关注农

1)如果技术采用强度为0,则视为没有采用技术;如果技术采用强度非0,即采用节水技术。

2018年2月

业新技术,从而提高其对新技术的认知^[24],郝利等研究发现农(兽)药的使用显著影响到农户对生产安全农产品收益的认知^[25]。本文采用双变量有序 Probit 模型克服认知与行为的内生性,估计农户节水灌溉技术认知与节水灌溉技术采用强度的影响因素。

2.1.2 研究假设

本文选取影响农户节水灌溉技术认知和技术采用强度的因素主要以下三类:

(1)农户个体特征。①性别。一般情况男性对新生事物的学习能力和接受能力要高于女性。本文预期,相比女性,男性的节水技术认知和采用强度更高^[12]。②年龄。随着农户年龄增加,农户对新事物接受、理解和运用的速度明显降低,导致其对新知识和新信息的接受程度变慢^[26],同时,投资节水技术的预期收益期限将变短,采用节水技术的积极性将降低。因此,本文预期农户年龄对节水技术认知和采用强度有负向影响。考虑到年龄与农户技术认知和采用强度可能存在“U型”或“倒U型”的关系,本文加入年龄平方的变量,根据国亮等研究结论^[11],本文预期年龄平方对节水技术认知和采用强度有负向影响。③受教育程度。受教育程度越高的农户,收集、理解和掌握节水技术的能力越强^[9]。因此,本文预期受教育程度对农户节水灌溉技术认知和采用强度有正向影响。④是否村干部。有村干部经历的农户较普通农户在信息收集、技术学习和资金获取等方面更有优势。因此,本文预期村干部对节水技术认知和采用强度有正向影响。

(2)地理环境特征。①到乡镇距离。储成兵认为农户到乡镇的距离与农户新技术的采用呈负相关^[27]。虽然现代社会信息传播途径丰富且多样,但在基础设施较落后的农村地区,乡镇仍然是文化、经济和技术信息的中心,对农业技术的传播起关键作用。因此,本文预期到乡镇距离对农户节水灌溉技术认知和采用强度有负向影响。②地区虚拟变量¹⁾。以兰州为参照,天水、白银、定西、平凉等经济水平更低,该地区农户对农业经济依赖程度更高,相应地对节水灌溉技术信息更加关注,采用节水灌溉技术的积极性更高。因此,本文以兰州为参照,预期天水、白银、定西、平凉对节水灌溉技术认知和

采用强度有正向影响。

(3)生产经营特征。①家庭纯收入。家庭纯收入作为农户投资生产的重要前提,经济水平高的农户对于节水技术采用的支付能力更高,承担技术风险的能力强。因此,本文预期家庭纯收入对节水技术认知和采用强度有正向影响^[9]。②农业收入占比。农业收入占总体收入比重越高,农户节水灌溉技术的需求强度越高,主动学习和关注技术信息可能性越高。因此,本文预期农业收入占比对节水技术认知和采用强度有正向影响。③农业经营规模。节水技术规模效应的存在,使得经营规模越大的农户,越倾向学习和采用节水灌溉技术。因此,本文预期农业经营规模对节水技术认知和采用强度有正向影响^[9]。④农业种植结构。因为经济作物较粮食作物的预期收益更高,所以经济作物为主的农户更加愿意投资节水灌溉技术,本文预期农业种植结构对节水技术认知和采用强度有正向影响。⑤社区灌溉设施。一方面,管道或硬化水渠等基础设施存在,有利于降低高效节水灌溉技术的投资成本,从而刺激农户采用高效的节水灌溉技术;另一方面,社区灌溉设施一定程度满足了农户的节水需求而减弱采用中效或高效节水灌溉技术的意愿。因此,社区灌溉设施对节水灌溉技术认知和采用强度的影响方向不确定。⑥政府资金支持。喷灌、滴管等高效节水灌溉技术初始投资较大,政府有关部门提供资金支持力度越大,农户资金压力越小。因此,本文预期政府资金支持对节水技术认知和采用强度有正向影响。

2.2 模型构建

2.2.1 节水技术认知与技术采用强度模型构建——双变量有序 Probit 模型

针对农户节水灌溉技术采用行为的多阶段特征及节水技术认知与采用强度存在内生性问题,本文选用双变量有序 Probit 模型(Bivariate Ordered Probit model)估计农户节水灌溉技术认知和采用强度^[28]。模型具体形式如下:

$$\begin{cases} Z_i^* = X_{1i}'\beta_1 + \varepsilon_{1i} \\ Y_i^* = X_{2i}'\beta_2 + \gamma Z_i^* + \varepsilon_{2i} \end{cases} \quad (1)$$

式中 Z_i^* 代表农户节水灌溉技术认知的隐含变量;

1) 本文调研区域包括兰州、天水、平凉、定西和白银等市,均为中国西北半干旱地区。

Y_i^* 代表农户节水灌溉技术采用强度的隐含变量; X'_{1i} 、 X'_{2i} 分别为农户节水灌溉技术认知和节水灌溉技术采用强度的解释变量,即农户个体特征、地理环境特征、生产经营特征三类变量; β_1 、 β_2 、 γ 为待估参数; ε_{1i} 和 ε_{2i} 为误差项; i 表示观察样本。农户节水灌溉技术认知 Z_i 和节水灌溉技术采用强度 Y_i 两个分类变量的临界标准如下:

$$Z_i = \begin{cases} 1 - \text{非常不了解} & \text{if } Z_i^* \leq \mu_1 \\ 2 - \text{不了解} & \text{if } \mu_1 < Z_i^* \leq \mu_2 \\ 3 - \text{一般} & \text{if } \mu_2 < Z_i^* \leq \mu_3 \\ 4 - \text{了解} & \text{if } \mu_3 < Z_i^* \leq \mu_4 \\ 5 - \text{非常了解} & \text{if } \mu_4 < Z_i^* \end{cases} \quad (2)$$

$$Y_i = \begin{cases} 0 - \text{无效率} & \text{if } Y_i^* \leq \delta_0 \\ 1 - \text{低效率} & \text{if } \delta_0 < Y_i^* \leq \delta_1 \\ 2 - \text{中等效率} & \text{if } \delta_1 < Y_i^* \leq \delta_2 \\ 3 - \text{高效率} & \text{if } \delta_2 < Y_i^* \end{cases} \quad (3)$$

式中 μ 和 δ 为临界表征值,并满足 $\mu_{j-1} < \mu_j$, $\delta_{k-1} < \delta_k$; $j \in [1, 2, 3, 4, 5]$ 表示农户技术认知程度; $k \in [0, 1, 2, 3]$ 表示技术采用强度。此时, $Z_i = j$ 和 $Y_i = k$ 的概率为:

$$\begin{aligned} \Pr(Z_i = j, Y_i = k) &= \Pr(\mu_{j-1} < Z_i^* \leq \mu_j, \delta_{k-1} < Y_i^* \leq \delta_k) \\ &= \Pr(Z_i^* \leq \mu_j, Y_i^* \leq \delta_k) - \Pr(Z_i^* \leq \mu_{j-1}, Y_i^* \leq \delta_k) \\ &\quad - \Pr(Z_i^* \leq \mu_j, Y_i^* \leq \delta_{k-1}) + \Pr(Z_i^* \leq \mu_{j-1}, Y_i^* \leq \delta_{k-1}) \end{aligned} \quad (4)$$

如果 ε_1 、 ε_2 服从系数为 ρ 的二元标准正态分布,则 $Z_i = j$ 和 $Y_i = k$ 的概率函数表达式为:

$$\begin{aligned} \Pr(Z_i = j, Y_i = k) &= \Phi_2(\mu_j - X'_{1i}\beta_1, (\delta_k - \gamma X'_{1i}\beta_1 - X'_{2i}\beta_2)\zeta, \tilde{\rho}) \\ &\quad - \Phi_2(\mu_{j-1} - X'_{1i}\beta_1, (\delta_k - \gamma X'_{1i}\beta_1 - X'_{2i}\beta_2)\zeta, \tilde{\rho}) \\ &\quad - \Phi_2(\mu_j - X'_{1i}\beta_1, (\delta_{k-1} - \gamma X'_{1i}\beta_1 - X'_{2i}\beta_2)\zeta, \tilde{\rho}) \\ &\quad + \Phi_2(\mu_{j-1} - X'_{1i}\beta_1, (\delta_{k-1} - \gamma X'_{1i}\beta_1 - X'_{2i}\beta_2)\zeta, \tilde{\rho}) \end{aligned} \quad (5)$$

式中 Φ_2 是二元累积标准正态分布函数, $\zeta = 1/\sqrt{1 + 2\gamma\rho + \gamma^2}$, $\tilde{\rho} = \zeta(\gamma + \rho)$ 。

最后采用全信息极大似然法(Full Information Maximum Likelihood, FIML)估计,样本对数似然函数可以表示为:

$$\ln L_i = \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^4 I(Z_i = j, Y_i = k) \ln \Pr(Z_i = j, Y_i = k) \quad (6)$$

各样本独立的条件下,加总全样本对数似然数可得:

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^4 I(Z_i = j, Y_i = k) \ln \Pr(Z_i = j, Y_i = k) \quad (7)$$

其中:

$$I(Z_i = j, Y_i = k) = \begin{cases} 1 & \text{如果农户节水技术认知} \\ & \text{且技术采用强度为} k \\ 0 & \text{其他情况} \end{cases}$$

为识别联立方程模型的参数,将“节水灌溉政策了解程度”(以下简称“政策认知”)作为农户认知的工具变量¹⁾。

2.2.2 有效节水灌溉技术效应评估——内生转换回归模型

本部分重点分析有效节水灌溉技术²⁾对农业收入的影响,假设农业收入是解释变量的线性函数,可以构建如下农业收入模型:

$$Y_i = X_i\alpha + A_i\eta + \varepsilon_i \quad (8)$$

式中 Y_i 为农户农业收入;向量 X_i 包括农户个体特征、地理环境特征和生产经营特征; A_i 为农户是否采用有效节水技术的虚拟变量; α 和 η 是待估参数; ε_i 是误差项。

公式(8)中,农户是否采用有效节水灌溉技术不能视为外生变量。一方面,该行为是农户基于成本收益分析的自选择;另一方面,存在不可观测变量同时影响是否采用有效节水技术与农业收入。因此,用最小二乘法(OLS)估计有效节水技术采用对农业收入的影响将产生有偏的估计系数。

为了解决选择性偏差(Selection Bias),常见的计量方法是倾向得分匹配(P propensity Score Matching, PSM)。然而,倾向得分匹配法在估计技术采用

1) 农户节水灌溉政策了解程度,特指国家和甘肃省出台系列高效节水技术推广的文件和政策,用1~5依次表示非常不了解、不了解、一般、比较了解、非常了解,政策认知越高的农户具有更高的学习和理解能力,表现更高的技术认知。实际调查发现,现有节水政策多强调节水重要性、发布节水任务等纲领性内容,即使强调建立节水奖励机制,也无明确奖励方案,难以直接刺激或鼓励农户采用高效节水技术。同时模型检验结果表明政策认知对农户节水技术认知显著正向影响,对技术采用强度无直接影响。因此,本文采用政策认知作为技术认知的工具变量。

2) 本文中有有效节水技术是中等效率或高效率节水灌溉技术,无效节水灌溉技术是指无节水灌溉技术或者低效率节水灌溉技术。

2018年2月

的处理效应时,只能控制可观测变量的异质性,农户是否采用节水技术可能还受邻居是否采用、个人风险偏好等不可观测变量的影响,此时倾向得分匹配法具有较大局限性。因此,本文采用内生转换回归模型(Endogenous Switching Regression Model, ESRM)进行估计,控制可观测和不可观测变量的异质性,解决选择性偏差问题^[29,30]。

内生转换回归模型采用两阶段估计思路。第一阶段对选择方程(Selection Equation)估计,即农户有效节水灌溉技术采用模型估计,见公式(9);第二阶段对结果方程(Outcome Equation)估计,将采用和未采用有效节水技术的农户分成两个样本组,分别构成两个农业收入模型,见公式(10)、公式(11):

$$A_i = Z_i \gamma + \mu_i \quad (9)$$

$$Y_{i1} = X_i' \beta_{i1} + \varepsilon_{i1}, \text{ if } A_i = 1 \quad (10)$$

$$Y_{i0} = X_i' \beta_{i0} + \varepsilon_{i0}, \text{ if } A_i = 0 \quad (11)$$

式中,如果农户采用有效节水技术记 $A_i = 1$, 否则 $A_i = 0$; Y_{i1} 和 Y_{i0} 分别是采用有效节水技术和采用无效节水技术农户的农业收入;向量 X_i' 是解释变量, ε_i 是随机干扰项。为提高模型识别度,引入“到乡镇距离”作为农户是否采用有效节水灌溉技术的工具变量,到乡镇的距离会影响灌溉技术的可获得程度(Availability),但对农业的产出无直接影响。经检验,到乡镇距离对农户是否采用节水灌溉技术有显著负向影响,对农业收入无直接影响,满足工具变量的要求。

内生转换回归模型将不可观测变量作为缺失变量处理,来解决模型的选择性偏差。估计方程式(9)技术采用模型后,计算逆米尔斯比率(Inverse Mills Ratios) λ_{i1} , λ_{i0} 和误差项的协方差 $\sigma_{\mu 1} = \text{cov}(\mu_i, \varepsilon_{i1})$, $\sigma_{\mu 0} = \text{cov}(\mu_i, \varepsilon_{i0})$, 并放入公式(10)和公式(11)中,有:

$$Y_{i1} = X_i' \beta_{i1} + \sigma_{\mu 1} \lambda_{i1} + \zeta_{i1} \quad \text{if } A_i = 1 \quad (12)$$

$$Y_{i0} = X_i' \beta_{i0} + \sigma_{\mu 0} \lambda_{i0} + \zeta_{i0} \quad \text{if } A_i = 0 \quad (13)$$

式中 λ_{i1} 和 λ_{i0} 控制由未观测变量产生的选择性偏差,误差项 ζ_{i1} 和 ζ_{i0} 满足条件零均值假设, $\rho_{\mu 1} = \sigma_{\mu 1} / \sigma_{\mu} \sigma_{\varepsilon 1}$ 和 $\rho_{\mu 0} = \sigma_{\mu 0} / \sigma_{\mu} \sigma_{\varepsilon 0}$ 是选择方程和结果方程协方差的相关性系数。若 $\rho_{\mu 1}$ 或者 $\rho_{\mu 0}$ 显著,表明选择性偏差是由未观测变量产生的,此时消除观测和未观

测变量导致的选择性偏差是保证获得处理效应无偏估计的前提;如果 $\rho_{\mu 1} > 0$ 意味着负选择性偏差,表明农业收入低于平均值的农户更愿意采用有效节水灌溉技术;如果 $\rho_{\mu 1} < 0$ 意味着正选择性偏差,表明农业收入高于平均值的农户更愿意采用有效节水灌溉技术。

基于内生转换回归模型估计结果,计算有效节水技术采用农户的平均农业收入效应,及其反事实农业收入效应(即采用节水技术农户如果未采用节水技术时的平均农业收入效应),二者相减计算出节水灌溉技术采用行为的平均处理效应(ATT)。关于内生转换回归模型,进一步可参见 Lokshin 等^[29]

$$\begin{aligned} ATT &= E[Y_{i1}|A=1] - E[Y_{i0}|A=1] \\ &= X_i(\beta_{i1} - \beta_{i0}) + \lambda_{i1}(\sigma_{\mu 1} - \sigma_{\mu 0}) \end{aligned} \quad (14)$$

3 研究区概况、数据来源与描述性分析

3.1 研究区概况

本文选取兰州、白银、定西、天水、平凉等为研究区域,该区域属于甘肃河东地区,处于半干旱及半湿润气候过渡区,年降水量约为200~550 mm,具有自南向北迅速减少的特点,年蒸发量为1200~1950 mm,地势西高东低,地形破碎易受侵蚀,典型的雨养农业,是甘肃省冬小麦主产区。其中兰州、白银、定西属于兰州至下河沿流域,流域面积为29 752 km²;天水属于渭河宝鸡峡以上流域,流域面积25 790 km²;平凉属于泾河张家山以上流域,流域面积30 979 km²。2012年甘肃省实施了“中心带动、两翼齐飞”的区域发展战略,建设兰州—白银都市经济圈,打造陇东能源化工和河西新能源及新能源装备与制造基地,兰州、白银、定西、天水、平凉等地区经济社会加速发展,水资源消耗量迅速增长,该地区水资源紧缺问题进一步突出,用水矛盾日趋尖锐^[13,31,32]。

3.2 数据来源

本文数据来自2015年8月在甘肃地区进行微观农户的调研数据。样本选择采取典型抽样和随机抽样相结合的方法,首先在甘肃省内筛选农户采用节水灌溉的地区,然后根据当地农业部门提供信息抽取节水灌溉技术推广的典型地区,最后对典型地区及周边农户随机抽样调研,最终获得甘肃省5个地级市285个样本农户数据。调研采用与农户面对面访谈方法,调查内容主要包括农户个人和家庭

基本情况、节水灌溉技术认知和采用现状、社区灌溉条件和政府补贴等问题。

3.3 描述性统计分析

表1统计结果显示,72.63%的样本农户为男性,其平均年龄为51.44岁;农户平均教育程度为2.53,被访农户以小学、初中文化水平为主;具有村干部经历的农户仅占总数的9.47%;样本农户一年家庭纯收入平均为26 909.47元,其中农业为收入为该地区农户的重要收入来源,被访农户的农业收入占比平均为63.40%;社区灌溉设施均值为0.43,即43%被访农户回应当地有硬化的水渠或者管道输水,一定程度说明当地灌溉条件良好;53%的农户回答有政府资金支持采用节水灌溉技术。

表2统计结果显示,覆膜和抗旱品种是样本区农户最常用的节水技术,而喷灌和滴灌节水技术采用率低,分别仅占4.91%和0.35%。表3节水灌溉技术的采用强度中,29位被访农户采用无效率的灌溉

技术,256位样本农户(占总样本的89.82%)至少采用一种节水灌溉技术。以覆膜和抗旱品种为代表的中等效率的节水灌溉技术采用率达62.11%以上。采用高效率节水技术(喷灌和滴灌)的农户仅有15户(占总样本的5.26%),表明在调研地区高效的节水灌溉技术并没有广泛采用。户均节水技术采用强度为1.62,介于中低效率节水技术之间。

4 结果及分析

4.1 农户节水灌溉技术认知及采用强度分析

本文使用Stata13.0软件运行双变量有序Probit模型同时估计农户节水灌溉技术认知和技术采用强度,结果见表4。其中,内生性检验辅助参数Athrho的系数显著,表明农户节水灌溉技术认知与技术采用强度确实存在内生性问题。

表4结果显示,节水技术认知受性别、年龄、是否村干部、农业种植结构、政府资金支持和政策认知等众多因素影响。其中,性别与技术认知在5%

表1 自变量定义、预期方向及描述性统计

Table 1 Independent variable definitions, hypothesized direction of influence and statistical descriptions

变量名称	定义变量	预期方向	均值	标准差
农户个体特征				
性别	被访者性别:女=0;男=1	++	0.73	0.45
年龄	农户的实际年龄/岁	--	51.43	12.14
年龄平方	农户年龄的平方/岁	--	2 792.73	1 253.02
教育程度	没上学=1;小学=2;初中=3;高中/中专=4;大专及以上=5	++	2.53	1.05
是否村干部	曾经或现在是否担任村干部:否=0;是=1	++	0.09	0.29
地理环境特征				
到乡镇距离	家到乡镇距离/km	--	6.46	5.58
兰州	否=0;是=1	Ref.	0.22	0.42
天水	否=0;是=1	++	0.14	0.35
平凉	否=0;是=1	++	0.19	0.40
定西	否=0;是=1	++	0.23	0.42
白银	否=0;是=1	++	0.21	0.41
经营生产特征				
家庭纯收入	农户家庭一年纯收入/元	++	26 909.47	36 902.09
农业收入占比	农户的农业收入占总收入的百分比/%	++	63.40	32.77
农业经营规模	农户目前耕地实际面积/hm ²	++	0.39	0.24
农业种植结构	粮食作物=1;混合经营=2;经济作物=3	++	1.55	0.64
社区灌溉设施	普通水渠=0;硬化水渠或者管道输水=1	\ \	0.43	0.37
政府资金支持	政府是否有资金支持节水技术使用:否=0;是=1	++	0.53	0.50

注:“预期方向”列中第一个符号为预期解释变量对节水灌溉技术认知的作用方向,第二个符号为预期解释变量对节水灌溉技术采用强度的作用方向;兰州作为参照地区,因此该变量预期方向为“Ref.”;社区灌溉设施对因变量作用方向不确定,用“\”表示。

2018年2月

表2 2015年研究区灌溉技术采用情况及
节水技术采用强度

Table 2 Descriptive statistics on adoption intensity of water-saving techniques in study area in 2015

灌溉技术	采用该技术的数量	占比/%
大水漫灌	57	20.00
沟灌	66	23.16
畦灌	78	27.37
覆膜	149	52.28
抗旱品种	111	38.95
喷灌	14	4.91
滴灌	1	0.35

表3 2015年研究区节水灌溉技术采用强度

Table 3 Descriptive statistics on adoption intensity of water-saving techniques in study area in 2015

节水技术采用强度	无效率	低效率	中等效率	高效率
农户数量	29	64	177	15

表4 2015年研究区节水灌溉技术认知和采用强度
bioprobit模型估计结果

Table 4 Simultaneously estimated bivariate probit model results of adoption intensity and cognition of technology in study area in 2015

	节水灌溉技术认知		节水灌溉技术采用强度	
	系数	标准差	系数	标准差
性别	0.41**	0.16	0.10	0.18
年龄	0.06*	0.04	0.04	0.04
年龄平方	-0.00*	0.00	-0.00	0.00
教育程度	0.11	0.07	0.11	0.08
是否村干部	0.58**	0.24	-0.57**	0.27
到乡镇距离	0.03	0.06	-0.25***	0.06
天水	0.53*	0.27	0.37	0.30
平凉	0.24	0.24	1.18***	0.28
定西	0.32	0.24	1.10***	0.27
白银	0.56**	0.24	-0.01	0.26
家庭纯收入	0.05	0.08	0.18*	0.09
农业收入占比	-0.00	0.00	0.01***	0.00
农业经营规模	0.00	0.02	0.01	0.02
农业种植结构	0.21*	0.12	-0.44***	0.13
社区灌溉设施	0.17	0.24	-0.50**	0.24
政府资金支持	0.30**	0.14	0.31**	0.17
政策认知	0.44***	0.06		
节水技术认知			0.42***	0.11
Athrho	-0.39**	0.17		
样本量	285			
Log likelihood	-619.94			
Prob > chi2	0.02			
LR test of indep. eqns: chi2(1)				5.41

注:1%、5%、10%的显著性水平分别以***、**、*表示;到乡镇距离,使用到乡镇距离的自然对数形式表示,以下相同。

显著水平下呈正相关,与假设相符,说明男性的确对节水灌溉技术认知更高。年龄与技术认知呈正向相关,而年龄平方与技术认知呈负相关,证实年龄与节水技术认知存在倒U型关系的假定。担任或曾经担任过村干部的农户也表现更高的节水技术认知。不同地区农户评价也不同,相对于兰州地区的农户,研究结果表明天水、白银农户的节水灌溉技术认知更高。农业种植结构与节水认知呈正相关,与假设相符。资金支持与技术认知在5%显著水平下呈正相关,即享受过政府资金支持节水技术的农户,节水灌溉技术的认知水平更高。政策认知与节水技术认知高度正相关,即对节水政策越了解的农户,对节水灌溉技术认知也越高。

表4结果显示,是否村干部、到乡镇距离、家庭纯收入、农业收入占比、农业种植结构、社区灌溉设施、政府资金支持、节水技术认知等因素对农户节水技术采用强度有不同程度影响。其中,是否村干部与节水技术采用强度呈负相关,与假设不符,这可能由于村干部认为采用高效节水技术会花费较多的精力^[33]。到乡镇距离与节水技术采用强度呈负相关,与前文预期一致,距离乡镇中心越近的农户,受到以乡镇为中心的技术、信息辐射越大。从区域角度分析,以兰州为参照,平凉、定西等地区的农户节水灌溉技术采用强度更高,符合前文假设,即平凉、定西等地区的农户对农业经济依赖程度更高,采用节水灌溉技术的积极性更高。

从生产经营特征分析,家庭纯收入与农户节水灌溉技术采用强度呈正相关,与假设相符,经济水平高的农户拥有更高的支付能力和风险承担能力,节水技术采用强度更高。农业收入占比与农户技术采用强度呈正相关,与假设相符,即家庭收入中农业占比越大,其节水灌溉技术采用强度越高。农业种植结构与技术采用强度呈负相关,与假设不符,即种植粮食作物的农户更偏向采用高效率的节水技术,而种植经济作物的农户偏向采用低效率的节水灌溉技术。究其原因,一方面受限于耕地面积,小规模经济作物种植难以获得较高收入,农户缺乏采用高效节水技术的动力。调研样本中,平均每户家庭土地实际经营面积为0.39hm²,其中大于0.67hm²的家庭只有24户,仅占总样本8.42%;另一方面,多数农户将农业种植定位为满足家庭粮食基

本需求,粮食作物种植的重要性进一步强化,因而粮农的节水灌溉技术采用强度更高。社区灌溉设施与农户节水灌溉技术采用强度呈负相关,表明有社区灌溉设施的农户反而采用更低效率的节水技术,与Tang等^[3]研究结论一致,即渠道防渗、地下管道等社区型灌溉设施的存在,满足农户节水灌溉的需求而降低个体采用更高效节水灌溉技术的意愿。政府资金支持与节水技术采用强度呈正相关,通过政府资金补贴等措施,能有效的刺激农户采用更高效率的节水灌溉技术。节水技术认知与技术采用强度在1%显著水平下呈正相关,证实节水技术认知是农户节水灌溉技术采用强度的重要前提。

表5显示各变量对农户技术采用强度的边际效应。其中,节水技术认知提高一个单位,农户选择无效率($Y=0$)和低效率节水技术($Y=1$)的概率将分别下降5%、6%,相应采用中等效率和高效率节水灌溉技术的概率将分别增加5%、6%。类似地,家庭纯收入、农业收入占家庭总收入比重、政府资金支持等增加一个单位,也将不同程度降低农户不采用节水灌溉和采用低效率节水灌溉技术的可能性,增加采用更高效节水技术的概率。与此同时,社区灌溉设施的存在,农户更偏向不采取节水灌溉($Y=0, 9\%$)或者选择低效节水灌溉技术($Y=1, 6\%$),而降低农户采用中效和高效节水灌溉技术的概率($Y=2, -10\%$; $Y=3, -4\%$)。类似地,是否村干部、到乡镇距离、农业种植结构等变量增加一个单位,将不同程度促使农户选择无效率和低效率节水灌溉技术,抑制农户对中等效率和高效率节水灌溉技术的采用。

4.2 有效节水灌溉技术采用对农业收入影响

本文采用内生转换回归模型估计有效节水灌溉技术对农户农业收入的影响,结果见表6。其中, $\rho_{\mu 0}$ 和 $\rho_{\mu 1}$ 均在1%水平上

表5 各变量对节水灌溉技术采用强度的边际效应分析

变量	无效率($Y=0$)	低效率($Y=1$)	中等效率($Y=2$)	高效率($Y=3$)
是否村干部	0.11(0.07)	0.06(0.07)	-0.12(0.10)	-0.05(0.05)
到乡镇距离	0.01(0.03)	0.02(0.03)	-0.02(0.05)	-0.01(0.04)
家庭纯收入	-0.01(0.02)	-0.01(0.02)	0.01(0.03)	0.01(0.01)
农业收入占比	-0.00(0.00)	-0.00(0.00)	0.00(0.00)	0.00(0.00)
农业种植结构	0.08(0.06)	0.05(0.06)	-0.09(0.08)	-0.04(0.04)
社区灌溉设施	0.09(0.07)	0.06(0.06)	-0.10(0.09)	-0.04(0.05)
政府资金支持	-0.04(0.04)	-0.04(0.03)	0.04(0.07)	0.04(0.04)
节水技术认知	-0.05(0.05)	-0.06(0.04)	0.05(0.10)	0.06(0.05)

注:家庭纯收入1个单位变化量是1万元,以便更好地观察其边际效应;各系数为相应自变量增加1个单位导致节水灌溉技术采用强度的变化,括号内为标准误。

表6 2015年研究区有效节水灌溉技术采用对农业收入影响

Table 6 Impact of efficiency water-saving techniques on agricultural income in study area in 2015

变量	有效节水技术 采用模型		农业收入			
	系数	标准差	没有采用技术	采用技术	系数	标准差
常数	-3.64***	1.35	9.99***	1.93	5.42***	1.16
性别	-0.13	0.19	0.13	0.28	-0.11	0.17
年龄	0.13***	0.05	-0.07	0.07	0.00	0.04
年龄平方	-0.00***	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
教育程度	0.15	0.10	-0.17	0.14	0.22***	0.08
是否村干部	-0.68**	0.32	0.16	0.43	-0.11	0.26
天水	0.22	0.28	0.35	0.38	1.05***	0.27
平凉	2.05***	0.31	-2.67***	0.73	0.81***	0.26
定西	1.92***	0.32	-1.78***	0.61	0.61***	0.22
白银	0.09	0.26	0.31	0.32	0.61**	0.27
农业收入占比	0.00	0.00	-0.00	0.00	0.01**	0.00
社区灌溉设施	-0.19	0.26	0.18	0.35	0.10	0.27
政府资金支持	0.41**	0.17	-0.04	0.26	0.39**	0.16
节水技术认知	0.16**	0.07	0.03	0.10	0.05**	0.06
到乡镇距离	-0.35***	0.07				
$Ln\sigma_{\mu 0}$			0.22	0.14		
$\rho_{\mu 0}$			-0.82***	0.13		
$Ln\sigma_{\mu 1}$					0.04	0.07
$\rho_{\mu 1}$					0.98***	0.03
LR test of indep. eqns.	15.47***					
Log likelihood	-457.27					
Observations	270		270		270	

注:1%、5%、10%显著性水平分别以***、**、*表示;农业收入采用亩均收入对数形式表示,此处样本量为270,15个样本缺失是由于农业收入为0,亩均收入取对数时成为缺失值。

2018年2月

显著,表明存在不可观测变量导致选择性偏差,如果不对选择性偏差修正,将产生有偏的估计系数。进一步分析, $\rho_{\mu i} > 0$,即存在负选择性偏差,表明农业亩均收入低于平均水平的农户更愿意采用有效节水灌溉技术。这个结论符合实际,农业亩均收入较低主要在于其农业禀赋较差,比如距水源远、地形和土壤类型不宜灌溉等,这些农户更希望通过有效节水灌溉技术提高用水效率,增加亩均产量,以期获得更高收入。农业亩均收入较高的农户,因其农业禀赋较好,对有效节水灌溉技术的需求更小。最后,通过内生转换回归模型消除选择性偏差后,发现有效节水灌溉技术采用有助于亩均农业收入提高19.66%,见表7。

表7 2015年研究区有效节水灌溉技术对农业收入影响的平均处理效应

Table 7 Average treatment effects of efficiency water-saving techniques on agricultural income in study area in 2015

	均值		ATT	t-value	变化率/%
	技术采用	无技术采用			
农业收入	7.57	6.32	1.24	17.57***	19.66

注:***表示在1%水平上显著。

5 结论与政策建议

5.1 结论

本文通过农户节水灌溉技术认知和节水技术采用强度构建两阶段模型,拟合农户连续、多阶段的节水灌溉技术采用行为,利用甘肃省5个市285户农户调查数据,选择双变量有序Probit模型实证分析农户节水灌溉技术认知和采用强度的影响因素,并采用内生转换回归模型分析高效节水灌溉技术采用对农业收入的影响,主要得出以下结论:

(1)节水灌溉技术采用率高,但高效节水技术采用率非常低。样本数据分析结果显示,89.82%的样本农户至少采用了一种节水灌溉技术,以覆膜和抗旱品种为代表的中等效率的节水灌溉技术采用率达62.11%以上,但以喷灌和滴灌为代表的高效节水灌溉技术采用仅为15户。户均节水技术采用强度为1.62(介于中低效率节水技术之间)。

(2)农户节水技术认知存在显著的个体差异与区域差异。实证结果显示,教育程度越高、有村干部经历、农业种植结构越倾向经济作物、有政府资

金支持的男性农户表现更高的节水技术认知;年龄与农户认知呈现倒U型关系;天水 and 白银农户的节水技术认知明显较兰州地区农户高。

(3)农户节水技术采用强度主要受生产经营特征和区域差异影响。研究结果表明,家庭纯收入越高、农业收入占比越大、粮食作物为主、有政府资金支持、到乡镇距离越近的农户表现更高的技术采用强度;社区灌溉条件一定程度抑制农户节水技术采用强度;平凉、定西等地农户较兰州地区农户节水技术采用强度更高。农户节水灌溉技术认知对技术采用强度具有显著正向影响。

(4)有效节水灌溉技术对提高农业收入有显著影响。根据实证结果可知,农业亩均收入低于平均值的农户更愿意采用有效的节水灌溉技术,即存在负选择性偏差,本文采用内生转换回归模型消除选择性偏差后,发现有效节水灌溉技术采用有助于农业亩均收入增长19.66%。

5.2 政策建议

随着新一轮西部大开发战略的实施,加之气候变化导致降雨和河流径流的不稳定,提高农业灌溉效率是农业可持续发展的必要条件,如何促进有效节水灌溉技术的采用成为关键问题。为此,政府部门应在加强节水技术和设备研发、提高农户节水技术认知、促进中高效节水技术采用等方面出台政策,具体建议如下:

(1)加强节水灌溉技术和设备的自主创新研发。一方面,中效节水技术采用率高,而高效技术采用率极低,主要原因在于喷灌、滴灌等技术投资成本高。另一方面,以覆膜为代表的中效节水技术引起的“白色污染”愈发严重,而可降解地膜由于成本高而不被农户广泛使用。政府应出台相关政策,扶持部分企业发展壮大,鼓励高校研究成果商业化,加快新型节水灌溉设备的研发速度,以降低农户使用成本,提升节水效率。

(2)基于农户个体特征,提高农户节水技术认知。一方面,政府部门应该重点关注教育程度低、以经济作物为主的女性农户,通过电视、广播、宣传栏、村级广播、村级培训等各种途径,大力宣传节水灌溉技术相关信息,提高该群体的节水技术认知;另一方面,重视农户社会网络中受教育程度高中年

男性农户的宣传和示范作用,该群体表现更高的技术认知,作为非正式的关系网络,若内嵌于推广服务正式组织中,或可发挥更大的带动作用^[13]。

(3)提升技术采用经济效益,促进中高效节水技术采用。家庭纯收入高、有政府资金支持的农户表现更高的技术采用强度,而距离乡镇远的农户由于基础设施落后和技术信息缺失表现更低的技术采用强度,亩均收入高的农户因其农业禀赋较好而对节水灌溉技术的需求较小。因此,政府应在信息、技术和资金支持方面出台政策,降低农户信息获取和技术学习成本,减轻农户资金压力,提升农户技术采用的经济效益,进而提高农户中高效节水灌溉技术采用积极性。

致谢:感谢审稿专家和 Jianjun Tang 博士(Queen's University Belfast)对本文内容和方法提出的中肯、详细的修改意见,感谢赵佳佳、侯建昀和冯晓龙博士在论文写作过程中的大力帮助,最后感谢调研团队的辛勤付出。

参考文献(References):

- [1] 赵爱栋,许实,曾薇,等.干旱半干旱区不稳定耕地分析及退耕可行性评估[J].农业工程学报,2016,32(17):215-225. [Zhao A D, Xu S, Zeng W, et al. Analysis of unstable farmland in arid and semi-arid regions and feasibility evaluation of its conversion[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(17): 215-225.]
- [2] Tang J, Folmer H, Xue J. Technical and allocative efficiency of irrigation water use in the Guanzhong Plain, China[J]. *Food Policy*, 2015, 50: 43-52.
- [3] Tang J, Folmer H, Xue J. Adoption of farm-based irrigation water-saving techniques in the Guanzhong Plain, China[J]. *Agricultural Economics*, 2016, 47(4): 445-455.
- [4] Tang J, Folmer H. Latent vs. observed variables: analysis of irrigation water efficiency using SEM and SUR[J]. *Journal of Agricultural Economics*, 2016, 67(1): 173-185.
- [5] 薛亮,郝卫平.加强科技创新 提高农业用水生产力[J].农业经济问题,2012,(5):4-7. [Xue L, Hao W P. Strengthen scientific and technological innovation to improve agricultural water productivity[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2012, (5): 4-7.]
- [6] 许朗,刘金金.农户节水灌溉技术选择行为的影响因素分析—基于山东省蒙阴县的调查数据[J].中国农村观察,2013,(6):45-51. [Xu L, Liu J J. Study on influencing factors of farmers choice behavior for water-saving irrigation techniques based on survey data from Mengyin, Shandong Province[J]. *China Rural Survey*, 2013, (6): 45-51.]
- [7] 满明俊,周民良,李同昇.农户采用不同属性技术行为的差异分析—基于陕西、甘肃、宁夏的调查[J].中国农村经济,2010,(2):68-78. [Man M J, Zhou M L, Li T S. An analysis of the differences in farmers' households' behaviours of adoption of agricultural technology with different natures—based on survey to Shaanxi Province, Gansu Province and Ningxia Hui Autonomous Region [J]. *Chinese Rural Economy*, 2010, (2): 68-78.]
- [8] 李丰.稻农节水灌溉技术采用行为分析—以干湿交替灌溉技术为例[J].农业技术经济,2015,(11):53-61. [Li F. Analysis of rice farmers' adoption behavior on water saving technology—case of alternating wet and dry irrigation technology[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2015, (11): 53-61.]
- [9] 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,(4):44-54. [Liu H M, Wang K Q, Huang Z J. Analysis on the factors affecting Chinese farmers' use of water-saving irrigation technology[J]. *Chinese Rural Economy*, 2008, (4): 44-54.]
- [10] 王亦宁,李培蕾,谷树忠,等.基于永定河流域典型案例区的农业节水技术需求影响因素分析[J].资源科学,2010,32(6):1204-1212. [Wang Y N, Li P L, Gu S Z, et al. An analysis on influential factors of demand for agricultural saving-water technology: a case of the Yongding River Basin[J]. *Resources Science*, 2010, 32(6): 1204-1212.]
- [11] 国亮,侯军歧.农户禀赋影响节水灌溉技术普及的实证分析—以陕西为例[J].开发研究,2011,(1):79-81. [Guo L, Hou J Q. An empirical study on the effect of farmers' endowment on the popularization of water-saving irrigation techniques—taking Shaanxi as an example[J]. *Research on Development*, 2011, (1): 79-81.]
- [12] 韩一军,李雪,付文阁.麦农采用农业节水技术的影响因素分析—基于北方干旱缺水地区的调查[J].南京农业大学学报(社会科学版),2015,(4):62-69. [Han Y J, Li X, Fu W G. Influencing factors on water-saving technologies adoption by wheat producers: based on an investigation in water shortage areas of Northern China[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University(Social Sciences Edition)*, 2015, (4): 62-69.]
- [13] 乔丹,陆迁,徐涛.社会网络、推广服务与农户节水灌溉技术采用—以甘肃省民勤县为例[J].资源科学,2017,39(3):441-450. [Qiao D, Lu Q, Xu T. Social network, extension service and farmers water-saving irrigation technology adoption in Minqin County [J]. *Resources Science*, 2017, 39(3): 441-450.]
- [14] 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. Farmer cognition on water-saving irrigation technology and its influencing factors analysis[J]. *Transactions*

2018年2月

- tions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28 (18): 113-120.]
- [15] 聂英, 董娜, 孔祥露. 基于 Logistic 模型的农户节水技术选择行为研究[J]. 统计与决策, 2015, (10): 92-95. [Nie Y, Dong N, Kong X L. Study on farmers' water-saving technology selection behavior based on logistic model[J]. *Statistics & Decision*, 2015, (10): 92-95.]
- [16] 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, (6): 932-942. [Liu Y K, Wang J X, Li Y M, et al. Study on the adoption and determinants of agricultural water saving technologies[J]. *Journal of Natural Resource*, 2011, (6): 932-942.]
- [17] 杨宇, 王金霞, 黄季焜. 农户灌溉适应行为及对单产的影响: 华北平原应对严重干旱事件的实证研究[J]. 资源科学, 2016, 38 (5): 900-908. [Yang Y, Wang J X, Huang J K. The adaptive irrigation behavior of farmers and impacts on yield during extreme drought events in the North China Plain[J]. *Resources Science*, 2016, 38(5): 900-908.]
- [18] Dimara E, Skuras D. Adoption of agricultural innovations as a two-stage partial observability process[J]. *Agricultural Economics*, 2003, 28(3): 187-196.
- [19] Marra M, Pannell D J, Ghadim A A. The economics of risk, uncertainty and learning in the adoption of new agricultural technologies: where are we on the learning curve[J]. *Agricultural Systems*, 2003, 75(2-3): 215-234.
- [20] Doss C R. Analyzing technology adoption using microstudies: Limitations, challenges, and opportunities for improvement[J]. *Agricultural Economics*, 2006, 34(3): 207-219.
- [21] Atanu S, Love H A, Schwart R. Adoption of emerging technologies under output uncertainty[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 1994, 76(4): 836-846.
- [22] Tang J, Folmer H, Xue J. 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, 126(14): 55-62.
- [23] Paxton K W, Mishra A K, Chintawar S, et al. Intensity of precision agriculture technology adoption by cotton producers[J]. *Agricultural & Resource Economics Review*, 2011, 40(1): 133-144.
- [24] 赵肖柯, 周波. 种稻大户对农业新技术认知的影响因素分析—基于江西省 1077 户农户的调查[J]. 中国农村观察, 2012, (4): 29-36. [Zhao X K, Zhou B. An analysis on factors influencing large-scale rice-plant farmers' cognition of up-to-date agriculture technology—based on the survey of 1077 farmers in Jiangxi Province[J]. *China Rural Survey*, 2012, (4): 29-36.]
- [25] 郝利, 李庆江. 农户对农产品质量安全成本收益的认知分析—基于 18 省农户的抽样调查[J]. 农业技术经济, 2013, (9): 61-67. [Hao L, Li Q J. Analysis on farmers' cognitive on agricultural product is cost and benefit of quality safety—based on a sample survey of farmers in 18 provinces[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2013, (9): 61-67.]
- [26] 吕亚荣, 陈淑芬. 农民对气候变化的认知及适应性行为分析[J]. 中国农村经济, 2010, (7): 75-86. [Lv Y R, Chen S F. An analysis of farmers' cognition of climate change and their adaptive behaviors[J]. *Chinese Rural Economy*, 2010, (7): 75-86.]
- [27] 储成兵. 农户病虫害综合防治技术的采纳决策和采纳密度研究—基于 Double-Hurdle 模型的实证分析[J]. 农业技术经济, 2015, (9): 117-127. [Chu C B. Study on the farmer's adoption decision and the density of the technology of integrated pest control—empirical analysis based on double-hurdle model[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2015, (9): 117-127.]
- [28] Sajaia Z. Maximum likelihood estimation of a bivariate ordered Probit model: Implementation and Monte Carlo simulations[J]. *Stata Journal*, 2009, (2): 1-18.
- [29] Lokshin M, Sajaia Z. Maximum likelihood estimation of endogenous switching regression models[J]. *The Stata Journal*, 2004, 4 (3): 282-289.
- [30] Narayanan S. Profits from participation in high value agriculture: Evidence of heterogeneous benefits in contract farming schemes in Southern India [J]. *Food Policy*, 2014, 44: 142-157.
- [31] 乔志霞, 贾海波, 张艳荣. 欠发达省份区域空间结构演变与优化—以甘肃省为例[J]. 经济地理, 2014, 34(9): 13-18. [Qiao Z X, Jia H B, Zhang Y R. Economic spatial structure evolution and optimization of underdeveloped provinces—a case study of Gansu Province[J]. *Economic Geography*, 2014, 34(9): 13-18.]
- [32] 马琼, 张勃, 王东, 等. 1960-2012 年甘肃黄土高原干旱时空变化特征分析—基于标准化降水蒸散指数[J]. 资源科学, 2014, 36(9): 1834-1841. [Ma Q, Zhang B, Wang D, et al. The temporal and spatial distribution of drought on the loess plateau based on the standardized precipitation evapotranspiration index from 1960 to 2012[J]. *Resources Science*, 2014, 36(9): 1834-1841.]
- [33] 曹建民, 胡瑞法, 黄季焜. 技术推广与农民对新技术的修正采用: 农民参与技术培训和采用新技术的意愿及其影响因素分析[J]. 中国软科学, 2005, (6): 60-66. [Cao J M, Hu R F, Huang J K. Agricultural technology extension and farmers modification of new technology: study on influence factors in farmers participating in technologies training and their willingness to adopt[J]. *China Soft Science*, 2005, (6): 60-66.]

Cognition of irrigation water-saving techniques, adoption intensity and income effects in Gansu, China

HUANG Teng, ZHAO Jiajia, WEI Juan, LIU Tianjun

(Center for Western Rural Development, College of Economics and Management, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: Here, we constructed a two-stage model containing farmer cognition and adoption of irrigation water-saving techniques to model the dynamic and multi-stage procedure of irrigation water-saving technique adoption using survey data from 285 households and five cities in Gansu, China. We used a bivariate ordered probit model to analyze the influencing factors of cognition and adoption of irrigation water-saving technology. An endogenous switching regression model was employed to examine the impact of efficient irrigation water-saving techniques on agricultural income. We found that 89.8% of farmers adopt at least one water-saving irrigation technology, but the rate of adopting efficient techniques is only 5%, which means that most farmers use inefficient water-saving techniques. Special attention should be paid to the cognition of techniques and follows a U-shaped age profile. At the same time, gender, education level, village cadre experience, agricultural planting structure, government subsidies and cognition of policies have a positive influence on the cognition of techniques. We found that cognition of water-saving techniques, household net income, proportion of agricultural income and government subsidies enhance adoption of more advanced techniques whereas village cadres experience, distance to township, agricultural planting structure and access to better community-based irrigation infrastructure discourage it. Finally, efficient irrigation water-saving techniques had increased in agricultural income per mu of 19.66% and farmers with below average agricultural income per mu are more likely to adopt the techniques. According to these conclusions, corresponding policy recommendations are discussed.

Key words: irrigation water-saving techniques; adoption intensity; income effect; Bivariate Ordered Probit model; Endogenous Switching Regression model; Gansu