

农户绿色生产技术采用行为及其对收入的影响 ——以武陵山茶叶主产区为例

彭斯 陈玉萍*

(中南财经政法大学 工商管理学院,武汉 430073)

摘要 为了解农户绿色生产技术采用行为,推动农业可持续发展与农民增收。基于武陵山茶叶主产区 634 个农户调研数据,通过构建 Heckman 样本选择模型分析农户绿色生产技术采用行为的影响因素,并运用分位数回归模型进一步探讨技术采用行为对农户不同茶叶收入水平的影响及差异。结果表明:1)农户对品种改良、土壤改良与生物农药单项技术的采用率较高,但对所考察的 3 项技术的整体采用率还有待提高;2)影响农户绿色生产技术采用行为的因素存在显著差异。其中,家庭规模、务农人数比重、茶叶收入占比、技术便利性认知、亲戚朋友数量、信息获取途径均对农户是否采用技术有正向影响,年龄则产生负向影响;文化程度、技术效率认知、技术或资金支持对农户技术采用程度产生正向促进作用,但子女抚养比则相反。3)技术采用行为对农户茶叶收入的提升具有显著促进作用,其影响效应因农户茶叶收入水平的不同而表现出一定的差异性。技术采用行为对较低收入农户的增收效应显著大于中高收入农户,这有利于缩小农户间的收入差距。依据农户技术采用行为的实际状况及其对收入的差异化影响,应从提高农户绿色生产技术认知水平,推动茶叶生产集约化与规模化经营,加大技术培训与资金补贴力度等方面采取有效措施,促进农户绿色生产技术采用,强化技术的增产增收效应。

关键词 技术采用行为; Heckman 模型; 分位数回归; 收入效应

中图分类号 F323.3

文章编号 1007-4333(2022)02-0243-13

文献标志码 A

Farmers' green production technology adoption behavior and its impact on income:

Taking the main tea producing area of Wuling Mountain as an example

PENG Si, CHEN Yuping*

(College of Business Administration, Zhongnan University of Economics and Law, Wuhan 430073, China)

Abstract The aims of this study were to understand farmers' adoption behavior of green production technology, promote agricultural sustainable development and increase farmers' income. Based on the survey data of 634 farmers in the main tea producing area of Wuling Mountain, the Heckman sample selection model was constructed to analyze the factors affecting farmers' green production technology adoption behavior. The quantile regression model was used to further explore the impact of technology adoption behavior on farmers' different tea income levels. The results show that: 1) The adoption rate of individual technology for variety improvement, soil improvement and biological pesticides is relatively high by farmers, but the overall adoption rate of the three technologies under investigation needs to be improved. 2) There are significant differences in the factors that affect the adoption of green production technology by farmers. Among them, the family size, proportion of farmers, proportion of tea income, technology convenience perception, number of relatives and friends, and accessibility to information have positive impact on farmers' intention

收稿日期: 2021-05-17

基金项目: 教育部人文社会科学研究规划基金项目(18YJA790013); 国家社会科学基金项目(20BGL249); 中南财经政法大学博士研究生科研创新项目(202011008)

第一作者: 彭斯, 博士研究生, Email: pengsizuel@163.com

通讯作者: 陈玉萍, 教授, 主要从事农业技术经济研究, Email: chen yuping08@aliyun.com

to adopt technology, while age has a negative impact; The education level, technical efficiency cognition, technology or financial support have positive effect on the technology adoption degree of farmers, while the child dependency ratio is the opposite. 3) The technology adoption behavior has a significant role in promoting the increase of farmers' tea income, and its impact effect shows certain differences due to the different levels of farmers' tea income. The income-increasing effect of technology adoption behavior on lower income farmers is significantly greater than that of middle and high income farmers, which is conducive to narrow down the income gap between farmers. According to the actual situation of farmers' technology adoption behavior and its effect on the difference of the income, it is necessary to improve farmers' awareness of green production technology, promote the intensive and large-scale operation of tea production, increase technical training and fund subsidies, and promote the adoption of green production technology by farmers, so as to strengthen the effect of increasing production and income of technology.

Keywords technology adoption behavior; Heckman model; quantile regression; income effect

近年来,随着绿色发展理念不断深入人心,社会上对农业绿色发展的关注也在不断提高。过去传统农业生产由于过度依赖大量化肥农药的施用提高农业生产效率,不仅导致农产品价值低,市场竞争力不高,还造成了生态环境的恶化,不利于农业的可持续发展。在国家大力实施农业供给侧结构性改革,加快转变农业生产方式的作用下,农业生产环境得到了有效改善。但农产品质量安全问题和风险隐患依然存在,农药残留超标及生产环境污染现象仍存在个别地区,尚未从根本上得到改变。

2021年,中央一号文件强调推进农业绿色发展,并提出持续推进化肥农药减量增效,推广农作物病虫害绿色防控产品和技术等16项具体要求。推进农业绿色发展是实现农业供给侧结构性改革与农业可持续发展的重要内容,而农业绿色发展技术体系是推动农业绿色发展的有力支撑,依靠科技加快农业绿色生产方式形成,强化绿色农产品的有效供给,成为破解当前我国农业农村资源环境突出问题的根本途径。与此同时,农业绿色发展技术的应用也提高了农业生产经营者的经济收入。中国绿色食品发展中心有关数据表明,绿色食品直接带动了农户增收。对于仍以农业收入作为家庭重要收入来源的农户来说,是否采用绿色生产技术取决于技术带来的收入效应^[1]。因此,探讨农户绿色生产技术采用行为及其对收入的影响对实现农业可持续发展与农民增收至关重要。

1 文献综述

目前,已有关于农户绿色生产技术采用的研究主要集中在技术采用的影响因素与技术效益方面。影响农户绿色生产技术采用的因素复杂多样,通过总结和梳理,可大致分为内部与外部影响因素。其

中,内部因素主要包括农户个人特征、家庭特征、认知水平、社会网络等。个人特征中,年龄、文化程度、健康状况、是否村干部等是影响农户技术采用的基本因素^[2-3],对不同属性技术采用所表现的影响不同。如石志恒等^[4]发现,随着劳动力年龄的增长,农户会偏向实施劳动密集型绿色生产行为,而减少资本密集型绿色生产行为。家庭特征方面,现有研究主要考察了农户家庭规模、劳动力数量、土地规模、家庭收入等因素的影响^[5-6]。技术认知^[7]、生态认知^[8]是影响农户绿色生产技术采用的重要因素。社会网络通过拓宽农户信息获取渠道,帮助农户更好地认识与理解绿色生产技术,降低技术采用风险,促进农户技术采用^[9]。外部影响因素中,诸如市场经济环境下的产品销售价格^[10]、生产监管^[11],政策与制度环境下的环境规制^[12]、技术补贴^[13]、推广服务^[14-15],以及地理环境中的水资源^[16]、气候条件^[17]等因素都是学者们重点研究的内容。

经济效应是农户决定是否采用技术及提高采用程度的根本驱动力^[18]。在衡量农户技术采用带来的收入效应方面,不同技术的采用行为所产生的效应存在差异。陈玉萍等^[19]发现,改良陆稻技术提高了技术采用户的整体收入水平。崔惠斌等^[20]研究显示,水肥一体化技术采用为农户带来的收入效应最高,其次是间伐技术,而高接换种技术效应最小。杨程方等^[21]则发现,绿色防控技术的采用数量越多,农户的收入水平也就越高。农业绿色生产技术采用在减贫、降低收入差距与改善消费方面也发挥着积极作用。Biru等^[22]发现,随着时间的推移,技术及技术的组合采用有助于减少农户贫困和脆弱性,并改善农户消费状况。吴海涛等^[23]研究表明,杂交玉米技术采用对山区农户收入有显著促进作用,且对农户间收入不均等的效应仅为0.005。胡

海等^[24]发现,采用绿色防控技术的农户相较于未采用的农户,在茶叶亩产利润、家庭可支配收入与消费支出上分别高出 8.732 7%、4.426 0%与 2.871 5%。

既有关于农户绿色生产技术采用及其对收入影响的研究对本研究具有重要参考价值,但仍有值得补充研究的地方。关于经济作物的绿色生产是农业绿色发展的重要内容,作为茶叶生产大国,在茶叶高度商品化发展的今天,市场消费者对生态安全与产品质量高度关注,有关茶叶的绿色生产值得关注与研究。已有关于茶叶技术采用的研究多集中在影响因素分析上,较少进一步探讨茶叶技术采用对收入的影响。且农业技术采用是动态发展的过程,运用常见分析手段(如 OLS、Probit、Logit 模型)不能较好地比较农户不同技术采用阶段的行为特点与差异,对农户技术采用中可能存在的自选择问题带来的样本选择偏差与内生性解释力度有限。同时,在测度技术采用的收入效应方面,易受到极端值的影响,未能较好地观测到不同水平的农户收入差异。本研究尝试解决上述问题,以农户绿色生产技术采用为切入点,基于武陵山茶叶主产区农户调研数据,通过构建 Heckman 样本选择模型解决可能存在的样本选择偏差与内生性问题,对农户决定是否采用技术与技术采用程度的不同阶段进行比较分析,并运用分位数回归进一步探讨技术采用行为对农户不同收入水平的影响差异,以期为促进山区特色优势产业发展和农户增产增收提供研究证据。

2 理论分析

2.1 绿色生产技术采用的影响因素分析

农户技术采用是动态发展的过程,历经从接触与认识新技术,到决定是否采用技术,以及技术采用程度的不同发展阶段。随着农户技术采用行为发生变化,影响农户技术采用决策的因素可能也存在差异。根据农户行为理论,为获取家庭生产活动的总体收益最大化,农户会根据自身家庭情况对各项生产资料进行合理配置。农户个人与家庭禀赋条件对技术采用有一定的约束性^[25],年龄、健康与文化程度所代表的人力资本水平反映了农户技术采用的态度与能力,年龄较小、文化程度较高的农户更偏向于采用技术^[6]。土地是最基本的农业生产资料,农户拥有的土地规模越大,技术采用带来的长期规模效益可能就越高。当农户对农业生产的依赖性较强,农业收入占家庭收入的比重较大时,农户技术采用

的意愿往往更强烈。技术认知决定了农户对绿色生产技术的采用预期,受农户个人文化程度与所处环境信息流动的影响,当农户未能及时、有效地认识技术采用对农业生产的重要性时,农户的技术采用决策必然受到影响。社会网络是信息传递的重要媒介,并通过信息获取、社会学习、风险分担、服务互补等主要机制直接影响农户技术采用^[26]。作为公共品,绿色生产技术在推广与应用的过程中离不开政府的相关支持,政府主要通过技术培训、资金补贴等方式,增强农户对技术的理解,帮助农户掌握正确使用技术的方法,并减少农户的技术采用成本。

2.2 绿色生产技术采用对农户收入的影响分析

作为理性行为人,农户基于收益最大化的生产决策最终体现在家庭收入水平上。根据成本收益理论,各项生产资料成本是农户为获取农业收益必须进行的投入,而收益大于成本是农户技术采用的根本出发点。具体来说,茶叶绿色生产技术采用对农户收入的影响主要体现在以下两个方面:一方面,采用绿色生产技术可使茶叶生产过程中的病虫害得到有效控制,促进茶树生长,提高茶叶产量与质量,增加优质茶叶产出。在消费者绿色消费意识不断提高的市场环境中,农户生产价值高的绿色、有机茶叶,能在市场上占据有力的竞争地位,并获取较高的市场价格,可以直接增加收入。另一方面,技术的采用优化了茶叶生产的整体环境,提高了土地、技术、劳动等各项生产资料的综合利用率,降低了农户对传统化肥农药的施用次数与施用量,节约了农户茶叶生产过程中的总体投入成本。与此同时,得益于我国政府部门对农业绿色生产技术推广与应用的高度重视,政府行为下的技术培训降低了农户的学习成本,技术采用的相关补贴在一定程度上减轻了农户技术采用的负担,为实现农户增收提供了可能。但由于农户的初始资源禀赋条件不同,技术采用行为各异,农户技术采用的支付能力、风险应对能力等不同,对技术采用相关的资金、劳动等要素投入并不一致,导致技术采用对农户家庭收入的边际贡献也会存在差异化^[27]。

3 数据来源、变量选取与模型构建

3.1 数据来源

武陵山区地跨鄂、渝、湘、黔 4 省(市),集边远地区、革命老区、民族地区和贫困地区于一体,该区域

气候温热潮湿,土壤富硒,紫外线充足,十分适宜茶树的生长。本研究数据来自2019年6月课题组位于武陵山区H省L市的茶农问卷调查。L市作为全国重点产茶大县,全市茶叶种植面积达1.81万 hm^2 ,年产茶叶2.21万t,产值超过12.78亿元。目前L市正大力加快茶叶生产全域绿色化建设,已建成国家级绿色食品原料(茶叶)标准化生产基地0.67万 hm^2 ,有机认证茶园基地0.07万 hm^2 。

实地调查中,调查组主要对L市茶叶种植典型行政村展开调研,采取随机抽查的方式对茶农进行一对一访谈,共计获得农户调查问卷670份。经处理,剔除存在数据缺失、异常值等问题的部分问卷后,实际有效问卷为634份,有效问卷率达94.63%。问卷调查主要包括农户家庭人口信息、土地资源及耕种作物、固定资产与金融资产、茶园技术采用、政府支持、家庭收入等内容。

3.1.1 农户技术采用情况

参考目前国家主要推广应用的农业绿色生产技

术内容,以及调研地区茶叶种植农户实际技术采用情况,农户采用的绿色生产技术主要包括品种改良技术、土壤改良技术与生物农药技术。品种改良技术通过采用优良茶叶品种,提高茶树本身的抗病抗冻能力;土壤改良技术通过施用有机肥等方式增加土壤有机质含量,提高土壤肥力,促进茶树生长;生物农药技术通过采用高效、低毒、低残留的生物制剂,减少茶叶病虫害,提高茶叶品质。

本研究借鉴李卫等^[6]、黄晓慧等^[8]、陈玉萍等^[19]研究方法,将农户技术采用行为分为两个阶段,第一个阶段是农户决定“是否采用技术”,第二个阶段是一旦决定采用技术,农户会采用几种技术,即“技术采用程度”。对农户不同技术采用情况进行分析,结果如表1所示,农户对品种改良技术的采用率最高,占比为89.12%,未采用农户占比仅为10.88%,说明该技术在当地得到了较好的推广与应用。过半农户采用了土壤改良技术与生物农药技术,未采用农户则分别占比40.85%与44.16%。

表1 农户不同绿色生产技术采用情况

Table 1 The adoption of different green production technologies by farmers

指标 Index	品种改良技术 Variety improvement technology		土壤改良技术 Soil improvement technology		生物农药技术 Biopesticide technology	
	采用 Adopted	未采用 Not adopted	采用 Adopted	未采用 Not adopted	采用 Adopted	未采用 Not adopted
	户数/户 No. of households	565	69	375	259	354
占比/% Proportion	89.12	10.88	59.15	40.85	55.84	44.16

农户技术采用程度情况如表2所示。从整体上看,大部分农户都采用了1种及以上的技术,仅有8.04%的农户未采用技术。采用任意1种技术的农户占比13.72%,采用任意2种技术的农户占比最高,为44.32%,1/3的农户采用了全部3种绿色生产技术。

3.1.2 农户茶叶收入情况

数据分析显示,茶叶收入是山区农户农业收入的重要来源,样本农户中,91.64%的农户家庭茶叶纯收入占农业纯收入的比重过半。对比发现,技术采用农户的平均茶叶纯收入为6401.37元,比未采

用技术的农户高2686.08元。 t 检验发现($P=0.000$),两者间的收入差异具有统计学意义,技术采用农户的茶叶收入显著高于未采用农户。从农户技术采用程度来看,采用全部3种技术的农户平均茶叶纯收入最高,为7568.83元,采用任意2种技术与任意1种技术的农户平均茶叶纯收入分别为6235.65元与4051.49元,分别比未采用技术的农户高3853.54元、2520.36元、336.2元,表明农户茶叶收入水平随技术采用程度的提高而提高。方差分析结果显示($P=0.000$),不同技术采用程度的农户之间茶叶收入存在显著差异。

表2 农户绿色生产技术采用程度情况

Table 2 The degree of green production technology adoption by farmers

指标 Index	未采用技术 Not adopted	采用任意1种技术 Adopted any one technology	采用任意2种技术 Adopted any two techniques	采用全部3种技术 Fully adopted	合计 Sum
户数/户 No. of households	51	87	281	215	634
占比/% Proportion	8.04	13.72	44.32	33.91	100

3.2 变量选取与描述性统计

3.2.1 被解释变量

考虑农户技术采用行为的两个不同阶段,对于农户“是否采用技术”,将未采用技术赋值为“0”,采用任意一种或多种技术赋值为“1”;对农户“技术采用程度”的度量,则根据农户对3种技术的实际采用情况而定,技术采用的数量越多,说明农户的技术采用程度越高。技术采用行为对农户不同收入水平的差异性比较则采用农户的茶叶纯收入进行分析。

3.2.2 解释变量

结合已有研究成果与本研究内容,选取户主年龄、文化程度反映农户个人特征,选取家庭规模、务农人数比重、子女抚养比、茶叶种植面积、茶叶收入占比反映家庭特征,选取技术效率认知与技术便利性认知反映农户技术认知情况,选取亲戚朋友数量、可借钱人数、技术或资金支持反映社会支持,并选取信息获取途径作为识别变量。关于各变量的定义与描述性统计如表3所示。

3.3 模型构建

3.3.1 Heckman 样本选择模型

农户在技术采用过程中,首先决定是否采用技术,进而决定采用几种技术。对于未采用技术的农户,由于无法观察得到其技术采用程度,因而认为农户的技术采用行为存在样本选择偏误,可通过构建 Heckman 样本选择模型进行分析。同时,为了克服样本选择偏误问题,在农户选择是否采用技术的第1阶段纳入满足排他性条件的识别变量,即信息获取途径,该变量对第二阶段的技术采用程度无直接影响。具体模型构建如下:

$$y_{1i} = X_{1i}\alpha + \mu_{1i} \quad (1)$$

$$y_{1i} \begin{cases} 1, & \text{当 } y_{1i}^* > 0 \text{ 时} \\ 0, & \text{当 } y_{1i}^* \leq 0 \text{ 时} \end{cases}$$

$$y_{2i} = X_{2i}\beta + \mu_{2i} \quad (2)$$

$$y_{2i} \begin{cases} c, & \text{当 } y_{1i} = 1 \text{ 时} \\ 0, & \text{当 } y_{1i} = 0 \text{ 时} \end{cases}$$

其中:式(1)为选择方程,式(2)为结果方程。 i 代表第 i 个样本农户; y_{1i} 与 y_{2i} 为被解释变量,分别表示农户是否采用技术、技术采用程度两种行为; X_{1i} 、 X_{2i} 分别为两个方程的自变量; α 和 β 表示待估参数; μ_{1i} 、 μ_{2i} 表示残差项,且均服从正态分布。 y_{1i}^* 为不可观测的潜变量; c 表示农户技术采用的程度,取值范围为 $1 \leq c \leq 3$,且仅当 $y_{1i}^* > 0$ 时, y_{2i} 才能被观测到。

农户对绿色生产技术采用程度的条件期望为:

$$E(y_{2i} | y_{2i} = c) = E(y_{2i} | y_{1i}^* > 0) =$$

$$E(X_{2i}\beta + \mu_{2i} | X_{1i}\alpha + \mu_{1i} > 0) =$$

$$E(X_{2i}\beta + \mu_{2i} | \mu_{1i} > -X_{1i}\alpha) =$$

$$X_{2i}\beta + E(\mu_{2i} | \mu_{1i} > -X_{1i}\alpha) =$$

$$X_{2i}\beta + \rho\sigma_{\mu 2}\lambda(-X_{1i}\alpha) \quad (3)$$

式中: $\lambda(\cdot)$ 为反米尔斯比率函数。 ρ 表示 y_{1i} 、 y_{2i} 的相关系数,当 $\rho=0$ 时,表示 y_{2i} 不受 y_{1i} 的影响;当 $\rho \neq 0$ 时,表示 y_{2i} 的结果受 y_{1i} 的影响,存在样本选择偏误。 σ 为标准差。

3.3.2 分位数回归

为比较农户绿色生产技术采用行为对不同茶叶收入水平的影响差异,本研究采用分位数回归进行分析。分位数回归使用残差绝对值的加权平均作为最小化目标函数,避免了数据中的极端值影响,使估计结果更加稳健可靠。将 $Q_q(\ln Y)$ 定义为 q 分位上的农户茶叶收入水平,对任意的 $0 < q < 1$,分位数回归模型表示为:

$$Q_q(\ln Y) = a_q + b_q X + \omega_q Z + \varepsilon_q \quad (4)$$

式中: X 表示农户技术采用行为, Z 表示影响农户茶叶收入的其他解释变量, b_q 和 ω_q 为待估系数, ε_q 为误差项。

表3 各变量的定义与描述性统计

Table 3 The definition and descriptive statistics of each variables

变量 Variable	定义与赋值 Variable definition and assignment	均值 Mean	标准差 S E
是否采用技术 Adopt technology or not	0=未采用,1=采用	0.92	0.27
技术采用程度 The degree of technology adoption	采用了几种绿色生产技术	2.04	0.89
茶叶收入 The income of tea	茶叶纯收入取对数	8.41	0.86
个人特征 Personal characteristics	年龄/岁 Age	55.46	11.77
	文化程度 Education	2.58	0.81
	1=未上学,2=小学,3=初中,4=高中或中专,5=大专及以上学历		
	家庭规模/人 Family size	3.97	1.39
	务农人数比重/% Proportion of number of farmers	43.27	27.73
家庭特征 Family characteristics	子女抚养比/% Child dependency ratio	12.24	14.86
	茶叶种植面积/hm ² Tea planting area	0.24	0.14
	茶叶收入占比/% Proportion of tea income	23.34	23.28
技术认知 Technology awareness	技术效率认知 Technical efficiency perception	2.18	0.80
	1=减少,2=不变,3=增加		
	技术便利性认知 Awareness of technical convenience	1.77	0.65
	1=增加,2=不变,3=减少		
社会支持 Social support	亲戚朋友数量 Number of relatives and friends	2.43	0.98
	身为村干部、企业主、教师等亲戚朋友的数量划分:1=0人,2=1~3人,3=4~6人,4=7人及以上		
	可借钱人数 Number of borrowers	3.36	3.83
	家庭困难时可借款5000元以上的人数		
	技术/资金支持 Technical/Financial support	0.21	0.41
	是否获得技术培训或资金补贴: 0=否,1=是		
识别变量 Identification variable	信息获取途径 Access to information	1.50	0.73
	信息获取的途径有多少种		

4 结果与分析

4.1 农户技术采用行为分析

为保证估计结果的有效性,对各解释变量之间的共线性进行检验,结果显示 VIF 值最大仅为 2.28,说明解释变量之间的共线性关系较弱,满足对变量的独

立性要求。利用 stata 15.0 软件对 Heckman 样本选择模型进行估计,得到的估计结果如表 4 所示。从估计结果可看出,Wald 值在 1% 的统计水平上显著,Mills lambda 值不为 0 且通过了 5% 的显著性检验,表明样本选择的偏差存在,农户技术采用行为的两个阶段确实存在联系,采用 Heckman 模型对数据

表 4 农户技术采用行为模型回归结果

Table 4 The model regression results of farmer technology adoption behavior

变量 Variable	模型 1 是否采用技术 Model 1 Adopt technology or not		模型 2 技术采用程度 Model 2 The degree of technology adoption		
	系数	标准误	系数	标准误	
个人特征 Personal characteristics	年龄 Age	-0.021 2**	0.008 5	0.002 0	0.003 0
	文化程度 Education	0.013 9	0.112 7	0.067 7*	0.038 0
家庭特征 Family characteristics	家庭规模 Family size	0.215 9**	0.088 1	-0.020 8	0.033 7
	务农人数比重 Proportion of number of farmers	0.007 1*	0.004 3	-0.001 0	0.001 6
	子女抚养比 Child dependency ratio	0.001 1	0.007 2	-0.004 7**	0.002 4
	茶叶种植面积 Tea planting area	0.117 0**	0.050 7	0.046 0***	0.015 8
技术认知 Technology awareness	茶叶收入占比 Proportion of tea income	0.011 6**	0.005 4	-0.001 9	0.001 6
	技术效率认知 Technical efficiency perception	-0.090 3	0.109 7	0.136 5***	0.035 7
社会支持 Social support	技术便利性认知 Awareness of technical convenience	0.316 9**	0.133 1	0.040 6	0.048 6
	亲戚朋友数量 Number of relatives and friends	0.177 7**	0.090 2	0.010 3	0.031 4
	可借钱人数 Number of borrowers	-0.035 1*	0.020 4	-0.029 4***	0.008 4
识别变量 Identification variable	技术/资金支持 Technical/Financial support	0.078 3	0.233 4	0.155 9**	0.071 6
	信息获取途径 Access to information	0.731 4***	0.213 6		
Mills lambda		-0.635 2**			
Wald chi ² (12)		56.15***			

注: *、** 和 *** 分别表示在 10%、5% 和 1% 的统计水平上显著。下同。

Note: *, ** and *** indicate significant at 10%, 5%, and 1% levels, respectively. The same below.

进行分析是适用的,模型的总体拟合结果良好。识别变量在1%的统计水平上显著,说明所选用的识别变量适用于 Heckman 模型分析。

根据表4的模型回归结果进行以下分析:

1)个人特征中,年龄对农户是否采用技术有显著的负向影响,年龄越大的农户采用绿色生产技术的意愿越低,这与薛彩霞等^[28]研究结论一致。农户年龄越大意味着茶叶种植经验越丰富,相对于采用新技术需要面临未知的风险性,更倾向于依赖自身种植经验。文化程度对技术采用程度有显著正向作用,受教育水平较高的农户对新事物的学习与理解能力较强,更能认识到多种绿色生产技术采用对经济与生态环境带来的综合效益,因此对技术采用的积极性较高。

2)家庭特征中,家庭规模与务农人数比重均对农户绿色生产技术采用有显著的正向影响,说明家庭人口数量多与务农人数比重高的农户更倾向于采用绿色生产技术。对于茶叶生产这种劳动密集型产业来说,家庭规模越大,务农人数比重越高,说明农户对茶叶生产的依赖性越大,投入的劳动力资源越多,越有时间与精力采用技术。子女抚养比对农户技术采用程度有显著的负向影响,家庭中14岁以下的孩子数量越多,需要大人照顾的时间也越多,分散了农户的茶叶生产时间与精力,不利于农户进行多种技术采用。茶叶种植面积对农户绿色生产技术采用及采用程度均有显著的正向影响。茶叶种植规模越大,表明农户进行集约化经营的程度可能越高,为尽可能获取茶叶生产带来的规模效益而采用多种技术。茶叶收入占比对农户决定是否采用技术的影响系数为正,且通过了5%的统计水平检验。茶叶收入占比越高,说明茶叶生产对农户家庭收入越重要,因此农户更重视茶叶的生产收益与可持续性发展,对技术的采用倾向也较高。

3)技术认知中,技术效率认知对农户技术采用程度有显著的正向影响,当农户认为采用绿色生产技术可以提高茶叶产量,进而增加茶叶收益时,越可能采用多种技术。技术便利性认知对农户绿色生产技术采用有显著的正向影响,尤其对于农业劳动力短缺的农户来说,为节省茶叶生产过程中的总体劳动时间投入,会主动选择采用技术。

4)社会支持中,亲戚朋友数量对农户技术采用有显著的正向影响。农户家庭中身为村干部、企业主、教师等亲戚朋友一般受教育程度较高,社会活动

广泛,知识面较广,有助于帮助农户更好地认识与了解绿色生产技术。且农户对他们的社会信任程度较高,对其讲解的相关技术信息具有较高的认可度与接受度,有利于促进农户技术采用。可借钱人数对农户绿色生产技术采用及采用程度均有显著的负向影响,结合数据分析发现,可借钱人数多的农户,其茶叶收入占家庭总收入的比重较低,说明这部分农户的生产经营活动并不以茶叶生产为主,家庭收入主要来自非农收入。因此,农户的可借钱人数虽多,但其借款用途不是用在茶叶生产上,对茶叶生产的相关投入较少,不利于技术采用。技术或资金支持对农户技术采用程度有显著的正向影响,一方面,技术培训加强了农户对绿色生产技术的认知与理解,使农户意识到多技术采用对茶叶生产的重要性;另一方面,技术采用中的优良茶苗、有机肥、生物农药等的使用需要一定的成本投入,相关技术补贴可以缓解农户的资金约束,降低技术采用成本,激励农户采用多种技术。

5)工具变量。信息获取途径对农户是否采用技术有显著的正向影响,农户通过手机、电视、邻居、村委会、农技站等获取信息的途径越多,说明农户的社会活动越广泛,信息获取能力越强,有利于及时、全面、有效了解技术信息,提高技术的可获得性,促使农户主动采用技术。

4.2 技术采用行为对农户茶叶收入的影响分析

为进一步探讨技术采用行为对农户不同茶叶收入水平的影响差异,利用 stata 15.0 软件对样本数据进行分位数回归估计,并选取 0.25、0.5、0.75 这 3 个不同分位点为代表进行对比分析,以区分农户在较低、中等与较高 3 种不同水平的茶叶收入。回归结果如表 5 所示,其中,模型 3 与 4 分别表示是否采用技术、技术采用程度两种技术采用行为对不同分位点上的茶叶收入的影响。

从表 5 中模型 3 的估计结果可看出,技术采用对不同分位点的农户茶叶收入均有显著正向影响,说明采用绿色生产技术可以显著提高农户茶叶收入,且技术采用对不同水平的农户茶叶收入的促进作用存在显著差异。是否采用技术在 0.25、0.5 与 0.75 这 3 个不同分位点上的茶叶收入影响系数分别为 0.419 4、0.202 5 与 0.202 4,说明采用绿色生产技术对提高较低水平的农户茶叶收入的促进作用最强。原因可能是,处于较低水平的农户本身茶叶收入基数较小,由于家庭资源禀赋不足、物质生产资

料短缺等因素阻碍了技术采用,一旦这部分农户采用技术,会带来较为明显的边际产出效果。茶叶种植面积对不同分位点上的农户茶叶收入影响显著为正,尤其对较高收入影响作用最大,这可能是因为,

处于较高收入水平的农户家庭资源禀赋条件相对较好,物质生产资料较丰富,集约化经营下包括技术在内的各类生产要素的综合效益提高,为农户带来较高的产出与收益。

表5 农户茶叶收入的分位数回归结果

Table 5 The quantile regression results of farmers' tea income

变量 Variable	模型 3 Model 3			模型 4 Model 4		
	$q=0.25$	$q=0.5$	$q=0.75$	$q=0.25$	$q=0.5$	$q=0.75$
是否采用技术 Adopt technology or not	0.419 4**	0.202 5*	0.202 4*			
技术采用程度 The degree of technology adoption				0.176 6***	0.092 4**	0.111 8**
个人特征 Characteristics						
年龄 Age	0.005 7	0.002 6	0.001 3	0.003 9	0.002 2	0.001 6
文化程度 Education	-0.000 1	0.056 6	0.079 9*	-0.001 2	0.059 3	0.077 7**
家庭特征 Family characteristics						
家庭规模 Family size	0.037 0	0.056 6**	0.026 5	0.060 4	0.052 3**	0.021 9
务农人数比重 Proportion of number of farmers	0.000 1	0.001 1	0.001 6	0.000 3	0.001 3	0.001 4
子女抚养比 Child dependency ratio	0.001 6	-0.002 1	0.000 1	0.000 8	-0.001 8	0.000 2
茶叶种植面积 Tea planting area	0.184 3***	0.170 8***	0.205 8***	0.170 3***	0.173 7***	0.212 3***
技术认知 Technology awareness						
技术效率认知 Technical efficiency perception	-0.000 1	0.058 2*	0.090 7*	-0.028 2	0.036 4	0.048 6
技术便利性认知 Awareness of technical convenience	0.036 1	0.001 4	-0.023 9	0.019 2	0.005 7	-0.056 9
社会支持 Social support						
亲戚朋友数量 Number of relatives and friends	-0.023 1	0.037 1	0.051 1*	-0.010 5	0.018 5	0.039 8
可借钱人数 Number of borrowers	0.003 5	0.010 7	0.015 6	0.011 9	0.017 8	0.019 0
技术/资金支持 Technical/Financial support	0.020 7	-0.006 2	-0.053 0	0.042 3	-0.004 3	-0.047 8
常数项	6.459 3***	6.904 4***	7.205 4***	6.384 5***	6.892 1***	7.201 5***
Pseudo R^2	0.125 5	0.169 8	0.188 6	0.131 8	0.171 5	0.191 5

模型4中,技术采用程度对不同分位点的茶叶收入均有显著正向影响,且农户每多采用一种技术,处于较低、中等与较高水平的农户茶叶收入将分别提升0.18%、0.09%与0.11%,说明技术采用程度对不同水平的茶叶收入均有提升作用,但对较低收入的提升作用最明显。得益于多技术采用的正外部性,当较低收入的农户提高技术采用程度时,通过学习与模仿可较快掌握不同技术的采用方法,实现茶叶产量与质量的提高,从而增加茶叶收入。茶叶种植面积与不同分位点的茶叶收入均呈现正相关关系。家庭规模对中等水平茶叶收入的正向影响通过了5%的统计水平检验。文化程度则对较高水平农户茶叶收入有显著正向作用,较高的文化水平有助于农户掌握多种技术的采用技巧,并通过技术与其他生产资料相结合,发挥多技术采用的增收效应。

4.3 稳健性检验

为验证上述技术采用行为对不同分位点上茶叶收入的影响差异,进一步采用全分位数回归模型,分

析技术采用行为在全部分位点上对农户茶叶收入的边际效应与变化趋势(图1)。图中,x轴表示百分位点,y轴表示解释变量对茶叶收入的回归系数,虚线表示OLS的回归系数及其置信带,曲线与阴影部分表示各分位数的回归系数及其置信带。

图1(a)显示,随着分位点的增加,“是否采用技术”的全分位回归系数呈现先降后平稳再略升的趋势。虽然回归系数大致在0.75的分位点处略有回升,但涨幅较小,且系数最大值处于0.1左右的分位点上,整体上在低分位点的回归系数大于中高分位点。图1(b)显示,“技术采用程度”的全分位回归系数则表现出先降后起伏再回升的变化,有一定的波动性。从回归系数可以发现,技术采用程度对较低与较高收入的影响大于中等收入,但对较低收入的影响最大。总体而言,技术采用行为对农户茶叶收入有显著的正向影响,“是否采用技术”与“技术采用程度”对较低收入农户的增收效应显著大于中高收入农户,与上述主要分析结论基本一致,表明估计结果有一定的可靠性。

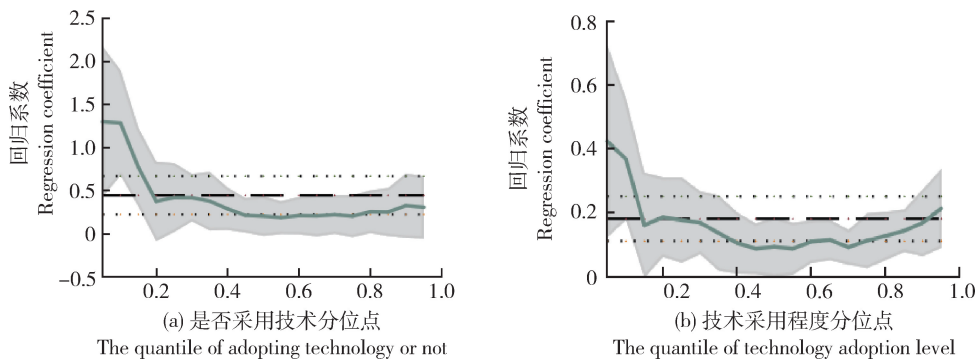


图1 农户技术采用行为全分位数回归系数变化趋势

Fig. 1 The change trend of full-quantile regression coefficient of farmer's technology adoption behavior

5 研究结论与建议

5.1 研究结论

本研究利用武陵山茶叶主产区农户调研数据,采用 Heckman 样本选择模型克服样本选择偏误问题,实证分析了农户绿色生产技术采用行为的影响因素,并通过分位数回归模型探讨了技术采用行为对农户不同茶叶收入水平的影响差异。研究发现:1)山区农户对绿色生产技术中的品种改良、土壤改良与生物农药单项技术的采用率较高,但对3项技术的整体采用率还有待提高。2)影响农户是否采用技术与技术采用程度的因素存在显著差异,除茶叶

种植面积对农户技术采用与采用程度均有显著正向影响、可借钱人数存在负向影响外,家庭规模、务农人数比重、茶叶收入占比、技术便利性认知、亲戚朋友数量、信息获取途径均对农户是否采用技术有积极影响,年龄则产生负向影响;文化程度、技术效率认知、技术或资金支持对农户技术采用程度产生正向促进作用,但子女抚养比则相反。3)技术采用行为对农户茶叶收入有显著促进作用,且在不同茶叶收入水平上所产生的影响效应存在差异。技术采用行为对较低收入农户的增收效应显著大于中高收入农户,这对鼓励低收入农户采用绿色生产技术并降低农户间的收入差距具有重要意义。

5.2 建议

基于上述研究结论,为加快山区农户绿色生产技术推广与应用,实现农户增收的目标,可考虑以下几点建议:一是提高农户对绿色生产技术的认知水平。地理位置、交通等因素阻碍了山区信息的有效传播,可通过电视广播、入户宣传、成立技术互助小组、加入合作社等多种方式,强化农户、村干部、企业、技术推广人员之间的联结,拓宽农户技术信息获取渠道,加强农户对绿色生产技术的认知与理解,引导农户对技术的采用从无到有,从少到多。二是鼓励有条件的农户扩大茶叶种植规模。较大的茶叶种植规模对促进农户技术采用与提高茶叶收入水平均有积极影响,针对山区部分农户由于家庭农业劳动力短缺、兼业程度较高等原因导致茶园闲置、管理效率低下的现象,可鼓励农户间进行土地流转或茶园承包,通过扩大种植面积实现茶叶生产的集约化与规模化经营,发挥绿色生产技术采用的规模效益。三是有效甄别农户技术采用行为差异,针对家庭禀赋条件较差尤其是低收入农户,依据农户实际技术采用需求,完善技术培训内容,加大技术采用补贴力度,减少农户技术采用的投入成本,提高农户技术采用程度,发挥多技术采用的增收效应,缩小农户收入差距。

参考文献 References

- [1] 黄炎忠, 罗小锋, 唐林, 杜三峡. 绿色防控技术的节本增收效应: 基于长江流域水稻种植户的调查[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(10): 174-184
Huang Y Z, Luo X F, Tang L, Du S X. Cost-saving and income-increasing effect of green control techniques: Evidence from rice growers in the Yangtze basin[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30(10): 174-184 (in Chinese)
- [2] 李福夺, 任静, 尹昌斌. 资本禀赋、价值认知与农户绿肥养地采纳行为: 基于南方稻区农户调查数据及生态补偿政策的调节效应[J]. 农林经济管理学报, 2020, 19(4): 464-475
Ling F D, Ren J, Yin C B. Capital endowment, value cognition and farmers' adoption behavior of planting green manure: Based on the survey data of farmers in southern China and the moderating effect of ecological compensation policies [J]. *Journal of Agro-Forestry Economics and Management*, 2020, 19(4): 464-475 (in Chinese)
- [3] Sharma R, Sharma S K, Bhati D S. Factors affecting adoption of improved technologies of wheat cultivation[J]. *Journal of Progressive Agriculture*, 2016, 7(1): 33-37
- [4] 石志恒, 崔民. 个体差异对农户不同绿色生产行为的异质性影响: 年龄和风险偏好影响劳动密集型与资本密集型绿色生产行为的比较[J]. 西部论坛, 2020, 30(1): 111-119
Shi Z H, Cui M. Heterogeneity influence of individual difference on different green production behaviors of farmers: Based on the comparison of labor age and risk preference on green production technology of labor intensive type and capital intensive type[J]. *West Forum*, 2020, 30(1): 111-119 (in Chinese)
- [5] 陈玉萍, 张嘉强, 吴海涛, 丁士军. 资源贫瘠地区农户技术采用的影响因素分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(4): 130-136
Chen Y P, Zhang J Q, Wu H T, Ding S J. Analysis on influencing factors of farmers' technology adoption in resource-poor mountainous area [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2010, 20(4): 130-136 (in Chinese)
- [6] 李卫, 薛彩霞, 姚顺波, 朱瑞祥. 农户保护性耕作技术采用行为及其影响因素: 基于黄土高原 476 户农户的分析[J]. 中国农村经济, 2017(1): 44-57, 94-95
Li W, Xue C X, Yao S B, Zhu R X. The adoption behavior of households' conservation tillage technology: An empirical analysis based on data collected from 476 households on the Loess plateau[J]. *Chinese Rural Economy*, 2017(1): 44-57, 94-95 (in Chinese)
- [7] 刘丽, 褚力其, 姜志德. 技术认知、风险感知对黄土高原农户水土保持耕作技术采用意愿的影响及代际差异[J]. 资源科学, 2020, 42(4): 763-775
Liu L, Chu L Q, Jiang Z D. Influence of technology cognition and risk perception on the willingness to adopt soil and water conservation tillage technologies and its intergenerational differences[J]. *Resources Science*, 2020, 42(4): 763-775 (in Chinese)
- [8] 黄晓慧, 陆迁, 王礼力. 资本禀赋、生态认知与农户水土保持技术采用行为研究: 基于生态补偿政策的调节效应[J]. 农业技术经济, 2020(1): 33-44
Huang X H, Lu Q, Wang L L. Capital endowment, ecological cognition and farmers' adoption behavior of soil and water conservation technology: Based on the moderating effect of ecological compensation policy [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2020(1): 33-44 (in Chinese)
- [9] 乔丹, 陆迁, 徐涛. 社会网络、信息获取与农户节水灌溉技术采用: 以甘肃省民勤县为例[J]. 南京农业大学学报: 社会科学

- 版, 2017, 17(4): 147-155, 160
- Qiao D, Lu Q, Xu T. Social network, information acquisition and adoption of water-saving irrigation technology in rural households: A case study of Minqin County, Gansu Province [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2017, 17(4): 147-155, 160 (in Chinese)
- [10] 贺梅英, 庄丽娟. 市场需求对农户技术采用行为的诱导: 来自荔枝主产区的证据[J]. 中国农村经济, 2014(2): 33-41
- He M Y, Zhuang L J. Market demand induced farmers' technology adoption behavior: Evidence from the main litchi producing area[J]. *Chinese Rural Economy*, 2014(2): 33-41 (in Chinese)
- [11] 沈昱雯, 罗小锋, 余威震. 激励与约束如何影响农户生物农药施用行为: 兼论约束措施的调节作用[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(4): 1040-1050
- Shen Y W, Luo X F, Yu W Z. How Incentives and constraints affect farmers' biological pesticide application behavior: Concurrently discussing the regulating effect of restraint measures [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2020, 29(4): 1040-1050 (in Chinese)
- [12] 许佳彬, 王洋, 李翠霞. 环境规制政策情境下农户认知对农业绿色生产意愿的影响: 来自黑龙江省 698 个种植户数据的验证[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(2): 164-176
- Xu J B, Wang Y, Ling C X. Impact of farmers' cognition on the willingness of green production in the context of environmental regulation policy: Data verification from 698 growers in Heilongjiang Province [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2021, 26(2): 164-176 (in Chinese)
- [13] 毛慧, 曹光乔. 作业补贴与农户绿色生态农业技术采用行为研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(1): 49-56
- Mao H, Cao G Q. Subsidy policy and green ecological agricultural technology adoption behavior of farmers[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30(1): 49-56 (in Chinese)
- [14] 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 (in Chinese)
- [15] Emongor R A, Usido R J. Factors affecting adoption of integrated pest management technologies by smallholder common bean farmers in Kenya: A case study of Machakos and Bungoma counties [J]. *Asian Journal of Agricultural Extension Economics & Sociology*, 2019, 36(1): 1-12
- [16] 张华, 王礼力. 农业水贫困对农户灌溉技术采用效果的影响: 以宝鸡峡灌区为例[J]. 农业现代化研究, 2020, 41(6): 1069-1077
- Zhang H, Wang L L. The impact of agricultural water poverty on farmers' adoption of irrigation technology: A case study of Baojixia irrigation district [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2020, 41(6): 1069-1077 (in Chinese)
- [17] 冯晓龙, 刘明月, 霍学喜, 陈宗兴. 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, Chen Z X. The effects of farmers' adaptation to climate change on agricultural production: A case study on apple farmers in Shanxi [J]. *Chinese Rural Economy*, 2017(3): 31-45 (in Chinese)
- [18] 陈雪婷, 黄炜虹, 齐振宏, 冯中朝. 生态种养模式认知、采纳强度与收入效应: 以长江中下游地区稻虾共作模式为例[J]. 中国农村经济, 2020(10): 71-90
- Chen X T, Huang W H, Qi Z H, Feng Z C. Cognition, adoption intensity and income effects of ecological cropping patterns: A case study of rice-shrimp co-cropping patterns in the middle and lower reaches of the Yangtze River [J]. *Chinese Rural Economy*, 2020(10): 71-90 (in Chinese)
- [19] 陈玉萍, 吴海涛, Pandey S, 陶大云. 技术采用对农户间收入分配的影响: 来自滇西南山区的证据[J]. 中国软科学, 2009(7): 35-41
- Chen Y P, Wu H T, Pandey S, Tao D Y. The impact of technology adoption on farmers' income distribution: Evidence from upland of Southwest Yunnan [J]. *China Soft Science*, 2009(7): 35-41 (in Chinese)
- [20] 崔惠斌, 庄丽娟, 王楷洁. 先进技术采用有效改善了农户的收入水平吗: 来自荔枝主产区的证据[J]. 农林经济管理学报, 2016, 15(5): 515-523
- Cui H B, Zhuang L J, Wang K J. Has advanced technology effectively improved farmers' income: Evidence from major producing areas of Litchi [J]. *Journal of Agro-Forestry Economics and Management*, 2016, 15(5): 515-523 (in Chinese)
- [21] 杨程方, 郑少锋, 杨宁. 信息素养、绿色防控技术采用行为对农户收入的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(11): 1823-1834
- Yang C F, Zheng S F, Yang N. The impact of information literacy and green prevention-control technology adoption behavior on farmer household income [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2020, 28(11): 1823-1834 (in Chinese)

- [22] Biru W D, Zeller M, Loos T K. The impact of agricultural technologies on poverty and vulnerability of smallholders in Ethiopia: A panel data analysis [J]. *Social Indicators Research*, 2020, 147(2): 517-544
- [23] 吴海涛, 陈玉萍, 张永敏. 杂交玉米技术采用对山区农户生计的影响分析: 来自滇西南的实证[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(24): 5228-5236
- Wu H T, Chen Y P, Zhang Y M. The impact of hybrid maize technology adoption on farmers' livelihoods in mountains: Evidence from southwest Yunnan [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(24): 5228-5236 (in Chinese)
- [24] 胡海, 庄天慧. 绿色防控技术采纳对农户福利的影响效应研究: 基于四川省茶叶主产区茶农的调查数据[J]. *农村经济*, 2020(6): 106-113
- Hu H, Zhuang T H. Effects of green prevention and control technology adoption on farmers' welfare: Based on the survey data of tea farmers in the main tea producing areas of Sichuan Province [J]. *Rural Economy*, 2020(6): 106-113 (in Chinese)
- [25] 张童朝, 颜廷武, 何可, 张俊飏. 资本禀赋对农户绿色生产投资意愿的影响: 以秸秆还田为例[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(8): 78-89
- Zhang T C, Yan T W, He K, Zhang J B. Impact of capital endowment on peasants' willingness to invest in green production: Taking crop straw returning to the field as an example [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27(8): 78-89 (in Chinese)
- [26] 王格玲, 陆迁. 社会网络影响农户技术采用的路径研究: 以民勤节水灌溉为例[J]. *华中科技大学学报: 社会科学版*, 2016, 30(5): 83-91
- Wang G L, Lu Q. Research on the influence of social network on farmers' technology adoption: A case study of Minqin water-saving irrigation [J]. *Journal of Huazhong University of Science and Technology: Social Science Edition*, 2016, 30(5): 83-91 (in Chinese)
- [27] 谢贤鑫, 陈美球. 生态耕种对农户收入的影响研究: 以江西省水稻种植户为例[J]. *生态与农村环境学报*, 2020, 36(2): 152-160
- Xie X X, Chen M Q. The influence of ecological farming on farmers' income: An example of rice growers in Jiangxi Province [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2020, 36(2): 152-160 (in Chinese)
- [28] 薛彩霞, 黄玉祥, 韩文霆. 政府补贴、采用效果对农户节水灌溉技术持续采用行为的影响研究[J]. *资源科学*, 2018, 40(7): 1418-1428
- Xue C X, Huang Y X, Han W T. Influence of government subsidies and adoption effect on continuous adoption behavior of water-saving irrigation technology by farmers [J]. *Resources Science*, 2018, 40(7): 1418-1428 (in Chinese)

责任编辑: 王岩