

多项绿色生产技术的采纳决策:影响因素及相关性分析

毛欢^{1,2,3} 罗小锋^{1,2,3*} 唐林^{1,2,3} 黄炎忠^{1,2,3}

(1. 华中农业大学 经济管理学院, 武汉 430070;

2. 湖北农村发展研究中心, 武汉 430070;

3. 华中农业大学 农村可持续发展研究中心, 武汉 430070)

摘要 为探索农户面临多项绿色生产技术时如何做出采纳决策,本研究采用多元 Probit 模型在控制误差项相关的基础上,分析农户采纳不同属性绿色生产技术(保护性耕作技术、绿色防控技术、农膜回收处理技术)的可观测影响因素,并研究多项技术采纳决策之间的相关性。进一步地,通过技术采纳的条件概率与平均处理效应(ATT)来估计相关性对每一项技术采纳的影响。结果表明:1)不同资源禀赋的农户对采纳属性各异的技术有一定的选择偏向,但又不必然采纳对应属性的技术。2)不同阶段的绿色生产技术采纳相互依赖,存在着较强的正相关性。通过对比其影响效应发现,农户采纳绿色生产技术的的项目数量对采纳概率的提升具有“叠加效应”,不同绿色生产技术间相关性的影响具有异质性。因此,本研究提出应结合农户的资源禀赋和技术属性,采用差异化的技术推广策略,并根据技术间相关性影响的大小,合理安排技术组合与推广的先后顺序,以最大化绿色生产技术推广的效果。

关键词 多元 Probit 模型; 绿色生产技术; 技术采纳; 处理效应

中图分类号 F323.3

文章编号 1007-4333(2021)06-0231-14

文献标志码 A

Adoption decisions of multiple agricultural green production technologies: Explanatory factors and correlation analysis

MAO Huan^{1,2,3}, LUO Xiaofeng^{1,2,3*}, TANG Lin^{1,2,3}, HUANG Yanzhong^{1,2,3}

(1. College of Economics & Management, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Hubei Rural Development Research Center, Wuhan 430070, China;

3. Rural Sustainable Development Research Center, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract To explore how farmers make decisions when facing multiple green production technologies, this study uses a multivariate Probit model to analyze the observable determinants of different green production technologies (conservation tillage technology, green control techniques, and recycling of agricultural plastic film) based on cross-correlation error controlled, and the correlation among adopted technologies are investigated. The cross-technology correlation is estimated by using conditional probabilities and the average treatment effect method. The results show that: 1) Farmers with different resource endowments have certain technical choices for the technology of different attributes, but they do not necessarily adopt the technology of corresponding attributes. 2) Farmers' adoption of different green production technologies is interdependent, and there exist a strong positive correlation. Comparing the effects, the number of technologies that farmers adopt increase the probability of adoption, which results in a "superimposed effect". The impact of the cross-technology correlation is heterogeneous. Therefore, this study

收稿日期: 2020-11-09

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(72073048); 农业农村部软科学项目(202007); 国家社会科学基金重点项目(20AZD091)

第一作者: 毛欢, 硕士研究生, E-mail: 1258137887@qq.com

通讯作者: 罗小锋, 教授, 主要从事资源环境经济、农村区域与发展研究, E-mail: luoxiaofeng@mail.hzau.edu.cn

proposes differentiated technology promotion strategies should be adopted according to farmers' resource endowments and technical attributes. And to improve the efficiency of green production technology promotion, the technical combination and the sequence of technology promotion should be arranged reasonably according to cross-technology correlation.

Keywords multivariate Probit model; green production technology; technology adoption; treatment effect

当今农户面临着多项绿色生产技术的采纳抉择。中央政府先后出台了耕地地力保护补贴政策、化肥农药零增长支持政策、农作物秸秆综合利用试点政策、废弃农膜回收利用试点政策等来促进多种绿色生产技术和全面应用。各地方省级人民政府也根据本地实际情况确定需要推广的绿色生产技术。如湖北省政府在《湖北省农业面源污染治理工作方案》中提出要推进畜禽粪污基本资源化利用,推进化肥农药减量增效,普及测土配方肥、示范秸秆还田技术、实施国家重大病虫绿色防控项目等。一些重点的地区则会制定区域特有的绿色生产技术推广政策,如东北黑土地保护试点政策、草原生态保护补助奖励政策等。这有赖于党中央将农业生产绿色化作为当下协调农业农村经济发展与环境保护的有效方式,在中央到地方不同层级政府部门的努力下,多项绿色生产技术已逐步深入农村地区。

农户可能会同时采纳多项技术,而且这些技术的选择之间并不互相排斥^[1]。当前农户对某项绿色技术的采纳是一个主动的在多项技术之中挑选的过程,往往会综合比较农业绿色生产技术的可得性、可操作性、政策、技术本身的属性以及生产作用等多方面因素,以实现采纳决策的利益最大化^[2]。在这些可观测的与不可观测因素的共同影响下,多项绿色技术采纳决策之间相互作用产生联系,使得一项绿色生产技术的采纳会受到另外一项绿色生产技术的影 响^[3]。对技术推广工作而言,了解农业绿色生产技术采纳之间的联系,可以通过技术采纳经验判断不同农户群体的采纳概率,更轻松地识别技术采纳的目标群体,节约搜寻成本。但不可观测因素难以纳入到技术采纳决策模型之中予以控制,导致多个采纳决策方程之间产生联系。内生性问题的存在使得实证模型易做出有偏误的估计。因此,如何厘清多项绿色生产技术采纳模型中可观测变量与不可观测变量的影响作用,了解技术采纳之间的具体联系,以及利用这种联系得到不同农户群体采纳技术的概率信息了?对这些问题的回答将有助于我们从一个新角度去理解农户采纳绿色生产技术的决策过程,

促进我国绿色生产技术的推广应用。

关于农户绿色生产技术的采纳决策,学者们做了丰富且卓有成效的探索。这些研究中不仅从个人特征、要素禀赋、外部环境等方面进行了尽可能完备的影响因素探索^[4-8],随着跨学科的兴起,对农户个人的技术采纳行为研究还结合了社会学、心理学等学科的智慧,如农户的绿色生态认知^[9]、利他倾向和有限理性^[10]、社会网络^[11-12]等。但上述文献中多分析单项技术或者某一类型绿色生产技术的采纳决策问题,存在着一定局限性。这是因为:一方面技术本身的属性就可以解释采纳原因的49%~87%^[13]。针对单项绿色生产技术影响因素的研究难以适用到其他绿色生产技术的采纳决策上,其代表性和典型性有待商榷;另一方面某项绿色生产技术的农业绿色化生产作用也十分单一。农业生产特别是作物的生长,往往包含了多个紧密相连的生产流程,如耕作、田间管理、产后废弃物的处理等,需要多项绿色生产技术全流程的紧密配合。

当然一部分学者也研究了多项绿色生产技术采纳的问题,并将技术划分成不同的类型。如根据技术属性差异划分为劳动密集型、资本密集型、技术风险型等^[14-15];根据技术的生产作用将其划分为资源节约型、环境友好型技术以及高产型技术等^[13,16]。这些研究虽然考虑到了技术差异以及多项技术采纳的现实情况,但忽略了技术采纳之间的相关性,多采用二项 logistic 模型或 probit 模型,往往是分为几个单独模型进行回归后对比估计结果。这就假定了技术采纳处于“真空”环境,没有其他技术的影响。少数学者意识到多项绿色技术采纳间的相关性,如李芬妮等^[17]构建了多元 Probit 模型控制绿色技术采纳间的相关性以得到更能反映现实的估计结果,类似的研究还有潘丹等^[2]对环境友好型畜禽粪便处理方式选择的分析和张亚如^[18]对社会网络与绿色农业生产技术采用行为的分析。但这些研究只是将几项技术笼统地放在一起研究,并未结合技术属性、生产作用等进行分类,对技术采纳相关性信息也缺乏更深一步地探索。

鉴于此,本研究采用多元 Probit 模型在控制多个决策方程扰动项相关的基础上,厘清可观测因素和不可观测因素的影响,分析农户采纳不同属性绿色生产技术的因素,并探讨多项技术采纳间的相关性。进一步地,在反事实的框架下估计这种相关性对农户技术采纳的影响效应。本研究主要着眼于3个方面:第一,考虑到多项绿色生产技术对农业绿色化发展的重要性,选择跨越产前、产中、产后阶段具有代表性的3项技术,以期发现不同阶段技术采纳的相关性,促进绿色生产技术在全阶段的广泛应用;第二,在允许技术采纳决策之间存在联系的基础上分析多项绿色生产技术采纳的影响因素,并结合技术属性和个体的资源禀赋特征来系统地研究农户如何在多项绿色生产技术中做出采纳决策;第三,在反事实框架下估计了3项绿色生产技术间相关性影响的平均处理效应,试图为我国农业的绿色生产技术推广工作更具有实操性的数据信息,加快绿色生产技术的应用落地。

1 理论分析

1.1 绿色生产技术的定义

农业绿色生产技术是指为保护生态环境、节约资源和促进农业可持续发展而在生产中使用的各种技能、工具和规则体系的集合^[16]。根据水稻的生产阶段,本研究以保护性耕作技术(产前)、绿色防控技术(产中)以及农膜回收处理技术(产后)为例,研究农户采纳多项绿色生产技术的情况。

保护性耕作技术以残茬覆盖地表,通过少动土、深松土以减少土壤侵蚀,提高土壤的肥力和可持续生产能力。它是以机械化技术装备为载体的现代农业新技术,如免/少耕技术用免耕播种机将种子和肥料置入地里;残茬覆盖使用机械进行秸秆粉碎、旋埋、地表平整等作业。保护性耕作技术涉及到租赁或购买农机,属于资本密集型技术。病虫害防控技术是一项综合性防治技术,采取生态调控、生物防治、物理防治和科学用药等措施来减少化学农药用量。目前政府部门主要推广的病虫害防控技术有抗病虫种子、生物农药、性诱剂、杀虫灯、诱虫板等,其中使用较为普遍的抗病虫种子、生物农药由于较长的研发流程,一般比普通种子、化学农药价格更高,而性诱剂、杀虫灯、诱虫板等均需要购买相应的材料装备。因此相较于原来的技术要投入更多的资本但劳动量没有明显变化,属于资本密集型技术。农膜

回收处理技术是指农户通过人工或机械的方式捡回田间地头的废弃农膜,并通过二次利用或者卖给废弃站等方式进行回收或使用可降解的生物地膜/加厚地膜,以防止农膜残留对土壤结构的破坏和作物根系发育的阻碍。其中,可降解的生物地膜和加厚地膜主要在西北等重点区域的试点地区使用,所调研的湖北地区样本中并未使用,因此本研究中农膜回收处理指农膜的二次使用、捡拾回收。这种传统的农膜回收依赖于人工,相比于原来的处理方式所耗费的劳动量更多,属于劳动密集型技术。

1.2 多项绿色生产技术的采纳决策

技术属性反映了相较于原有方式要素投入密集度的高低。在采纳不同类型的绿色生产技术时,农户会受到资源禀赋特征的约束而表现出一定的技术选择偏向,即资本禀赋越高的农户越愿意采纳资本密集型技术,而劳动力禀赋越高的农户更倾向于采纳劳动密集型技术^[14]。农户个人特征如年龄、兼业程度等也会通过影响资源禀赋而间接影响不同属性技术的采纳。如年龄越大,农户从事农业的机会成本降低再加上“恋土情节”的加重,愿意投入更多的劳动量进行精耕细作,并且因为总收入降低将更倾向于劳动密集型技术而非资本密集型技术^[15]。农户兼业程度越高,可以获得更高的收入但农业劳动时间减少,因此技术采纳的资本约束越弱而劳动约束越强。除了农户的特征,外部环境条件则可能通过直接改变“技术属性”来影响技术的采纳。如政策补贴,农业绿色生产技术的政策补贴大多补贴生产商供应商,降低了购买价格,直接影响了技术资本的密集程度。再如村庄的特征,交通越便利越容易获取农业生产性服务,劳动密集型技术如保护性耕作可通过生产外包从劳动密集性转变为资本密集型技术。

农户之所以愿意投入更多的要素采纳绿色生产技术源于采纳收益,即生产作用。保护性耕作技术可减少现有耕作方式对土壤结构的长期破坏、绿色防控技术可防控病虫害、农膜回收处理技术可减少农膜对作物根系发育的影响,都属于生产损失规避型。3项技术不同的生产作用实现了功能上的互补,而且对于某种特定生产作用的实现需要从产前到产后不同阶段生产技术的配合使用。这使得3项绿色生产技术采纳间可能存在着正向的联系。例如,要提高土壤质量,既需要产前的保护性耕作以减少土壤侵蚀,也需要减少产中阶段的化学农药污染,还要处理好产后的农膜残留。当然,这3项绿色生

产技术也存在着消极的联系,比如保护性耕作技术和绿色防控技术。保护性耕作技术相比于传统耕作方式增加了病虫害发生的可能性^[19],而一些绿色防控的手段如生物农药见效较慢,农户可能转而使用更大剂量的化学农药来防病灭虫。

农户对绿色技术采纳成本和收益的考量会被不确定性所改变,特别是在采纳一项新技术时。行为经济学的预期理论认为,在不确定条件下,人们往往在经验规则下做出直观推断,将复杂的决策问题简单化,导致实际决策与基于理性经济人期望效用函数的预测结果产生偏差^[20]。较为常见的有相似性偏差,是指人们依靠事物间相似特性形成一致性的预期。保护性耕作技术、绿色防控技术和农膜回收处理都属于绿色生产技术,且都是政府提倡鼓励采纳的技术。根据这种相似性特征,农户评估技术采纳后获得收益或减少损失的概率预期。而作为损失规避型技术,农户对其的风险偏好表现为高概率预期下追求风险,低概率条件下规避风险。即如果采纳过的某项绿色生产技术能够很好的降低农业生产中的损失,农户将形成规避损失的高概率预期,更倾向于冒险而采纳其他绿色生产技术,此时技术采纳间表现出正相关关系。反之,技术采纳间呈负相关。

由以上分析可知,影响多项绿色生产技术采纳的因素可以分为两类:一类是影响农户采纳不同属性技术的资源禀赋约束、个人特征和外部条件。这些因素都可以直接测量,归为可观测的影响因素。另一类是技术生产作用的互补互斥影响以及不确定条件下的概率预期,在绿色生产技术采纳过程中互动形成,难以通过某个变量来衡量,归为不可观测的影响因素。可观测因素对技术采纳决策的影响易于在模型中控制,难以控制的不可观测因素对多项绿色技术采纳决策的共同影响则会引起技术采纳方程的联系。因此,本研究提出如下研究假说:

假说1:通过综合考量资源禀赋和技术属性差异,农户将形成相应的技术选择偏好。资本禀赋越强的农户越倾向于采纳资本密集型技术,劳动力禀赋越强的农户越倾向于采纳劳动密集型技术。

假说2:控制了农户的个人特征、资源禀赋和外部条件等因素后,不同阶段绿色生产技术的采纳受生产作用的联系和相似性偏差影响,仍然存在着相关性。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本研究使用的数据来源源于课题组2018年6—8月在湖北省开展的实地调研。湖北省水稻种植历史悠久,是长江中下游重要的粮食主产区。同时,该地区也存在着由于长期过度耕作导致的地力下降、土壤侵蚀和农业面源污染等问题。省政府积极响应有关政策文件,大力推广绿色生产技术,实施补贴政策。当地农户面临着多项绿色生产技术的采纳抉择,在研究问题上具有典型性。本研究按照地区经济发展水平选取了黄冈、宜昌、潜江和襄阳市4个市展开农户调查。通过分层随机抽样的方式在市、县两层级递进抽样,最终选取13个乡镇,入户访谈804户。剔除明显不合逻辑以及信息缺失的问卷后,获得有效问卷722份,问卷有效率为89.80%。

初步统计分析结果显示(表1),保护性耕作技术(Y_1)、绿色防控技术(Y_2)、农膜回收处理技术(Y_3)3项绿色生产技术在采纳其他绿色生产技术条件下的采纳比例要明显高于普通农户群体的采纳比例,表明3项技术的采纳间可能存在着较强的联系。比如,对于采纳了保护性耕作技术的农户,采纳绿色防控技术的农户占比88.08%,采纳农膜回收处理技术的农户占比40.92%,要远高于普通农户群体中79.50%和27.00%的采纳比例。同样地,对于采纳两项技术条件下的农户,其采纳比例也要高于一般的情况,如采纳了病虫害的绿色防控技术和农膜回收处理技术的农户,有76.47%的农户采纳保护性耕作技术,而普通农户群体中采纳比例仅为51.12%。

2.2 变量选取与描述性统计分析

2.2.1 被解释变量

本研究的被解释变量分别为保护性耕作技术、绿色防控技术以及农膜回收处理技术。结合实际种植的特性以及湖北地区绿色防控技术的实际推广情况,将保护性耕作技术分为免/少耕技术、轮/套/间作技术、深松技术这3项子技术,并且秸秆覆盖是采纳保护性耕作技术的前提条件。绿色防控技术为抗病虫种子、灌水淹虫、生物农药、天敌(蜂/鸭/蛙)、灯光捕杀、粘虫板。农膜回收处理技术为农户通过捡拾地膜来进行二次使用或回收处理。对于每一阶段的技术,采纳其中任意一项视为采纳,取值为1,否则取值为0。

表 1 3 项技术采纳的比例分布情况

Table 1 Proportion of three green production technologies adoption

技术采纳比例 Proportion of technology adoption	保护性耕作技术 Conservation tillage technology	绿色防控技术 Green control techniques	农膜回收处理技术 Recycling of agricultural plastic film
$P(Y_1=1)$	51.12	79.50	27.00
$P(\cdot Y_1=1)$	100.00	88.08	40.92
$P(\cdot Y_2=1)$	56.62	100.00	32.58
$P(\cdot Y_3=1)$	77.44	95.90	100.00
$P(\cdot Y_1=1, Y_2=1)$	100.00	100.00	44.00
$P(\cdot Y_1=1, Y_3=1)$	100.00	94.70	100.00
$P(\cdot Y_2=1, Y_3=1)$	76.47	100.00	100.00

注: $Y_i=1$ 表示采纳第 i 项技术, $P(\cdot)$ 表示采纳某项技术的比例 ($i=1,2,3$)。

Note: $Y_i=1$ indicates adoption of technology i , $P(\cdot)$ indicates the frequency of adopting a certain technology ($i=1,2,3$).

2.2.2 解释变量

参考关于绿色生产技术采纳决策以及技术属性的文献,本研究将可能影响农户绿色技术采纳行为的因素归于资源禀赋、个人特征、外部环境、控制变量 4 个方面: 1) 资源禀赋,除了技术采纳的直接投入要素家庭人均收入和劳动力数量,还包括耕地面积和耕地质量。耕地是农业基本的生产资料,其面积和质量将直接影响到单位面积农户资本和劳动力的投入是否充足和技术使用效果。2) 个人特征,即性别、年龄、教育、兼业情况。个人特征的差异会带来资本禀赋、劳动力禀赋投入的数量和质量差异。3) 外部环境,政策条件和市场距离。政府在农业技术创新扩散中起关键作用^[21]。本研究选择了政府在推广绿色生产技术时常用的几种措施作为政府干预的代理变量,包括政策宣传、技术培训以及补贴力度。政策宣传和技术培训将提高劳动力的技能水平,而对农户来说补贴力度的增强则会降低采纳技术的资金密集度。市场距离影响了村庄与外界经济的连接,距离越近越有利于资源的交换,有助于突破农户本身的资源禀赋约束。4) 控制变量,作为理性人的农户在追求自身利益最大化的过程中将受到个人认知水平的牵制。因此,本研究进一步纳入农户的绿色认知作为控制变量。研究认为^[22],认知形成意愿,进而决定农户的采纳行为。农户越重视农业生产带来的资源环境问题,采纳绿色生产技术的可能也就越大。将农户的绿色认知可分为资源环境感知、资源环境知识以及农户社会责任意识。各变量

的定义和描述性统计分析结果见表 2。

2.3 模型构建

Probit 模型最初用于生物学领域,研究刺激水平如何影响生物体的反应。但一种刺激往往会导致生物体的多种反应同时发生,各种反应之间并非独立,不能使用单个模型逐一进行估计,于是就产生了多元 Probit 模型 (Multivariate probit model, MVP)^[23]。MVP 模型允许多个方程之间存在相关性,不仅可以估计其联系,而且还可以对方程的影响因素进行分析。因此,有研究用 MVP 模型来控制多项行为选择间的内生性,研究农户行为决策之间的互补或替代关系^[2,24]。本研究基于 Cappellari 等^[25]和 Ramful 等^[26]提出的多元 Probit 模型框架下,构建三元 Probit 模型来估计保护性耕作技术 (Y_1)、绿色绿色防控技术 (Y_2)、农膜回收处理技术 (Y_3) 的采纳决策以及相关联系。具体模型如下:

$$Y_i^* = \beta_i X_i + \epsilon_i \quad (i = 1, 2, 3) \quad (1)$$

式中: Y_i^* 是代表农户采纳第 i 技术意愿水平的潜在变量, X_i 表示影响农户采纳决策的个人家庭特征以及其他经济社会变量, β_i 是变量的估计系数, ϵ_i 为扰动项。进一步地,我们有:

$$Y_i = \begin{cases} 1 & \beta_i X_i + \epsilon_i > 0 \\ 0 & \beta_i X_i + \epsilon_i \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: Y_i 是一个二元离散变量,代表农户是否采纳某项绿色生产技术决策。假设农户多个决策方程的误差项共同服从一个多元正态分布 MVN (Multivariate normal distribution),即 $\epsilon_i \sim MVN(0, \Sigma) (i = 1, 2, 3)$ 。

表2 变量定义及描述性统计分析结果
Table 2 Variables definition and descriptive statistics analysis

变量名称 Variables	变量说明 Variable description	均值 Mean	标准差 Standard deviation
保护性耕作技术 Conservation tillage technology	是否采纳保护性耕作技术:是=1;否=0	0.511	0.500
绿色防控技术 Green control techniques	是否采纳病虫害的绿色防控技术:是=1;否=0	0.795	0.404
农膜回收处理技术 Recycling of agricultural plastic film	是否采纳农膜回收处理技术:是=1;否=0	0.270	0.444
家庭人均收入 Family average income	2017年家庭总收入/万元	1.283	0.883
劳动力数量 Labors	家庭自有劳动力数量/人	3.271	1.197
耕地面积 Land area	2017年实际耕种面积/hm ²	0.613	0.984
耕地质量 Land quality	土壤的肥力:较差=1;一般=2;较好=3	2.198	0.669
性别 Gender	受访者的性别:男=1;女=0	0.644	0.479
年龄 Age	受访者的实际年龄/岁	57.188	8.909
教育程度 Education	受访者的受教育的年限/年	6.760	3.504
兼业情况 Part-time job	2017年家庭成员中是否有兼业:是=1;否=0	0.258	0.438
政策宣传 Policy advocacy	您认为绿色生产技术的政策宣传力度:非常少=1;较少=2;一般=3;较多=4;非常多=5	3.048	1.238
技术培训 Technical training	您认为绿色生产技术的培训次数如何:非常少=1;较少=2;一般=3;较多=4;非常多=5	2.434	1.213
补贴力度 Subsidies	您认为绿色生产的补贴力度如何:非常少=1;较少=2;一般=3;较多=4;非常多=5	1.965	1.072
市场距离 Market distance	最近集镇或市场/km	5.229	5.837
资源环境感知 Resource environment awareness	您觉得目前农业生产污染现象是否严重:非常不严重=1;较不严重=2;一般=3;较为严重=4;非常严重=5	2.989	1.168
资源环境知识 Resource environment knowledge	您对农村的生态环境保护政策比较了解:非常不同意=1;较不同意=2;一般=3;比较同意=4;完全同意=5	3.350	1.146
社会责任意识 Social responsibility sense	您认为农村的生态环境保护重要:非常不同意=1;较不同意=2;一般=3;比较同意=4;完全同意=5	4.572	0.617

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{12} & \rho_{13} \\ \rho_{21} & 1 & \rho_{23} \\ \rho_{31} & \rho_{32} & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中:非主对角线上的 ρ_{ij} ($i, j = 1, 2, 3; i \neq j$) 表示农

户多项绿色技术采纳间的联系。若非主对角线上的元素显著异于0,则说明扰动项之间存在关联。更具体地,如果 $\rho_{ij} < 0$ 则表示两项决策之间存在着替代关系,反之,存在互补关系。若每个方程的扰动项

独立同分布,且都服从正态分布,说明农户采纳某种绿色农业技术不会影响到另外一项技术的采纳。

当农户仅面临 3 项技术中的 1 项技术时,其采纳概率可以表示 ($i = 1, 2, 3$)

$$P(Y_i = 1) = \phi_1(X'_i\beta_i) \quad (4)$$

当农户面临 3 项技术中的 2 项技术采纳选择时,其采纳概率可以表示为 ($i, j = 1, 2, 3; i \neq j$):

$$\begin{aligned} P(Y_i = 1, Y_j = 1 | X_i, X_j) &= \phi_2(X'_i\beta_i, X'_j\beta_j; \rho_{ij}) \\ P(Y_i = 0, Y_j = 0 | X_i, X_j) &= \phi_2(-X'_i\beta_i, -X'_j\beta_j; \rho_{ij}) \end{aligned} \quad (5)$$

当农户面临 3 项技术的采纳选择时,其采纳概率可以表示为:

$$\begin{aligned} P(Y_i = 1, Y_j = 1, Y_k = 1 | X_i, X_j, X_k) &= \phi_3(X'_i\beta_i, X'_j\beta_j, X'_k\beta_k; \rho_{ij}, \rho_{ik}, \rho_{jk}) \\ P(Y_i = 1, Y_j = 0, Y_k = 0 | X_i, X_j, X_k) &= \phi_3(X'_i\beta_i, -X'_j\beta_j, -X'_k\beta_k; -\rho_{ij}, -\rho_{ik}, \rho_{jk}) \end{aligned} \quad (6)$$

$\phi_1(\cdot), \phi_2(z_1, z_2; \gamma_{12}), \phi_3(z_1, z_2, z_3; \gamma_{12}, \gamma_{13}, \gamma_{23})$ 分别表示一元、二元、三元的标准正态累积分布函数,其中 γ_{st} 表示 $z_s, z_t (s, t = 1, 2, 3; s \neq t)$ 之间的相关性系数。

因此,当农户面临保护性耕作技术、绿色防控技术以及农膜回收处理技术 3 项选择时,其条件概率模型可以表述为:

$$\begin{aligned} P(Y_i = 1 | Y_j = 1, Y_k = 1; X_i, X_j, X_k) &= \frac{\phi_3(X'_i\beta_i, X'_j\beta_j, X'_k\beta_k; \rho_{ij}, \rho_{ik}, \rho_{jk})}{\phi_2(X'_j\beta_j, X'_k\beta_k; \rho_{jk})} \\ P(Y_i = 1 | Y_j = 0, Y_k = 0; X_i, X_j, X_k) &= \frac{\phi_3(X'_i\beta_i, -X'_j\beta_j, -X'_k\beta_k; -\rho_{ij}, -\rho_{ik}, \rho_{jk})}{\phi_2(X'_j\beta_j, -X'_k\beta_k; \rho_{jk})} \\ P(Y_i = 1 | Y_j = 1; X_i, X_j) &= \frac{\phi_2(X'_i\beta_i, X'_j\beta_j; \rho_{ij})}{\phi_1(X'_j\beta_j)} \end{aligned} \quad (7)$$

假设 N 个样本相互独立且服从正态分布,对于每一个农户 $n (n = 1, 2, \dots, N)$ 可以用极大似然函数来联合估计 3 个农户决策模型的系数,其似然函数 $L(\cdot)$ 表示为:

$$L = \sum_n \log \phi_3(\mu_n; \Omega) \quad (8)$$

其中: $\phi_3(\mu_n; \Omega)$ 表示以均值为 μ_n 、方差为 Ω 的三元正态分布函数,且有:

$$\mu_n = (K_{n1}\beta'_1 X_{n1}, K_{n2}\beta'_2 X_{n2}, K_{n3}\beta'_3 X_{n3})$$

$$K_{mm} = 2Y_m - 1, m = (1, 2, 3) \quad (9)$$

矩阵 Ω 的组成元素所示如下:

$$\begin{aligned} \Omega_{mm} &= 1 \quad m = 1, 2, 3 \\ \Omega_{21} &= \Omega_{12} = K_{n1}K_{n2}\rho_{21} \\ \Omega_{31} &= \Omega_{13} = K_{n3}K_{n1}\rho_{31} \\ \Omega_{32} &= \Omega_{23} = K_{n3}K_{n2}\rho_{32} \end{aligned} \quad (10)$$

3 估计结果与分析

3.1 农户绿色技术采纳的影响因素及相关性分析

本研究使用 Stata 15.0 统计分析软件,采用多元 Probit 模型对农户 3 种绿色技术的采纳行为进行估计,得到如表 3 所示的估计结果。考虑模型中可能存在多重共线性问题,检验了模型的方差膨胀因子(VIF)。统计结果显示 VIF 平均值为 1.23,各变量的 VIF 值在 1.07~1.52,远小于门槛值 10,表明模型不存在严重的多重共线性问题。此外,模型整体通过了卡方检验,说明不同阶段的技术采纳行为是不同的。似然比也检验结果通过了 1% 的显著性水平检验,拒绝了 3 个误差项系数同时为 0 的原假设。这说明考虑到可观测的个人异质性以及经济社会特征后,3 项技术的采纳之间仍有很强的相关性,假说 2 得证,选择多元 Probit 模型对农户的多项技术采纳问题进行估计是合理且必要的。

3.1.1 影响因素的分析

1)资源禀赋。家庭人均收入在 5% 的水平上显著正向影响农户采纳保护性耕作技术,但不显著影响绿色防控技术。同为资本密集型技术,影响显著性不同可能是两种技术在劳动投入上的不一致。人均收入高的家庭愿意投入更多的资本采纳保护性耕作技术可能是由于该项技术可以替代劳动,但绿色防控技术并不能带来劳动的节省,农户有能力支付却不愿意支付。这与蔡书凯^[7]的发现相似,种植收入对绿色防控技术采纳无显著的影响,但种植收入占家庭收入的比重显著正向影响采纳决策。收入越高的农户越节省技术的采纳成本,除非该项技术对农户来说意义重大,如节约劳动、过于依赖农业收入。劳动力数量对农膜回收处理并无显著的影响,这可能是水稻仅早稻育种时需要农膜覆盖,回收工作量较少,劳动力数量不足以构成制约回收工作的因素。耕地面积显著正向影响农户绿色防控技术的采纳,即面积越大,农户越可能采纳该项技术。可能是因为面积越大所带来的规模效应越强,降低了单位面积的绿色防控技术的资本投入,使得农户更愿意采纳。

表3 农户绿色技术采纳决策的MVP估计结果
Table 3 MVP model results of green technology adoption

变量名称 Variables	保护性耕作技术 Conservation tillage technology		绿色防控技术 Green control techniques		农膜回收处理技术 Recycling of agricultural plastic film	
	系数 Coefficient	标准误 Standard error	系数 Coefficient	标准误 Standard error	系数 Coefficient	标准误 Standard error
家庭人均收入 Family average income	0.135**	0.063	0.108	0.071	0.096	0.062
劳动力数量 Labors	-0.048	0.042	0.020	0.052	-0.047	0.048
耕地面积 Land area	0.002	0.002	0.018***	0.006	0.002	0.002
耕地质量 Land quality	-0.062	0.072	-0.019	0.079	-0.119	0.076
性别 Gender	0.141	0.115	0.151	0.134	-0.027	0.127
年龄 Age	0.005	0.006	0.005	0.007	0.011*	0.006
教育程度 Education	-0.001	0.016	0.005	0.018	-0.020	0.017
兼业情况 Part-time job	-0.003	0.121	0.108	0.139	0.032	0.135
政策宣传 Policy advocacy	0.113**	0.047	0.267***	0.055	0.336***	0.051
技术培训 Technology training	0.0635	0.049	-0.082	0.060	-0.211***	0.054
补贴力度 Subsidies	-0.221***	0.051	-0.008	0.058	-0.035	0.056
市场距离 Market distance	0.015*	0.009	-0.009	0.009	-0.016*	0.009
资源环境认知 Resource environment awareness	0.172***	0.042	-0.025	0.048	-0.013	0.047
资源环境知识 Resource environment knowledge	0.112**	0.046	-0.179***	0.059	0.272***	0.055
社会责任意识 Social responsibility sense	0.001	0.086	0.325***	0.095	0.301***	0.114
保护性耕作技术 Conservation tillage technology						
绿色防控技术 Green control techniques	0.369***	0.073				
农膜回收处理技术 Recycling of agricultural plastic film	0.573***	0.074	0.642***	0.104		
对数似然值 Log likelihood			-1 094.10***			
Wald chi ² (45)			221.02***			
似然比检验 Likelihood-ratio test			$\rho_{12} = \rho_{23} = \rho_{13}$			

注:①*、**、***分别表示在10%、5%和1%的统计水平上显著;②括号里的标准误为稳健标准误,下同。

Note: ①*, **, and *** represents 10%, 5% and 1% significant levels, respectively; ②The standard error in the parentheses is robust standard error. The same below.

2) 个人特征。年龄对于农户选择农膜回收处理有显著的正向影响, 即农户的年龄越大, 有更大的可能性进行农膜的回收处理。这与预期一致, 随着农户年龄渐长收入降低, 更倾向于回收资源以节约支出。

3) 外部环境。政策宣传对3项绿色技术都呈显著的正向影响, 而技术培训对农膜的回收处理有显著的负向影响, 技术补贴显著负向影响保护性耕作技术。具体而言, 政策宣传的力度越大农户采纳的可能性越高, 这是因为政策宣传向农户传递了相关的知识信息, 有助于农户绿色生产的行动。技术培训的力度越大, 降低了农户采纳农膜回收处理的可能性, 这可能是因为技术培训大多关注测土配方肥、绿色防控、秸秆资源化等传统意义上技术, 鲜少涉及到农膜回收处理, 使得农户将主要精力放在其他地方, 忽略了农膜的回收处理。补贴力度越大, 负向影响农户采纳保护性耕作技术的可能性。这可能与湖北耕地地力补贴方式有关, 补贴对象原则上为拥有承包权的农户, 因此对于已流转的土地, 农户并无积极性进行保护性耕作, 反而会因为补贴提高流转成本, 刺激农户加大耕作强度以获得收益。市场距离显著正向影响保护性耕作技术的采纳而负向影响农户进行农膜的回收处理。可能是越偏僻的地方越依赖于农业, 更倾向于保护地力寻求可持续性的发展。而离市场越近, 越可能有农膜回收处理的相关建设设施, 如回收处理的站点等, 农户采纳的可能性也就越高。

4) 控制变量上, 农户的绿色认知对绿色技术采纳的影响基本上与预期一致且大部分显著。资源环境认知显著正向影响保护性耕作技术的采纳, 农户对资源环境认知越强采纳保护性耕作的可能性越高。农户的资源环境知识对保护性耕作技术和农膜回收处理技术有显著的正向影响, 说明农户对环境政策越了解越可能采纳此两项技术。但对病虫害的绿色防控技术有显著的负向影响, 这可能是因为农户关于农药与环境的知识仅停留于使用低毒农药, 而非采用更为先进的绿色防控措施。在我们的实地调研中也发现, 农户将低毒农药和生物农药混为一谈, 认为使用低毒农药就足以保护环境, 对病虫害绿色防控存在着知识误区。农户的社会责任意识显著正向影响其绿色防控技术和农膜回收技术的采纳。

3.1.2 相关性分析

从可观测变量的估计结果来看, 3项绿色技术的采纳之间可能存在相关性。首先, 影响3项绿色生产技术采纳的要素投入具有明显的区别, 不存在

同一资源上的竞争。因此农户可将资本投入到保护性耕作技术, 将更多的土地采纳绿色防控技术。再者, 3项绿色技术的采纳受到政策干预的共同影响。政府对绿色生产技术的宣传将帮助农户更加了解技术补贴政策, 还将潜移默化地改变农户对绿色生产技术的态度、认知, 同时促进农户对这3项技术的采纳。

不可观测变量引起的误差项相关性系数矩阵如表3所示, 保护性耕作技术和病虫害的绿色防控技术之间的误差项相关性系数为0.369; 保护性耕作技术和绿色防控技术之间的误差项相关系数为0.573; 农膜的回收技术和绿色防控技术之间的误差项相关性系数为0.642, 3者均在在1%的水平上通过了显著性检验。在不可观测因素的影响下, 3项绿色技术的采纳呈现出显著的正相关关系。一方面说明在生产作用上, 3项技术更多地是表现出生产协同互补作用。农户更倾向于在全生产阶段都采纳绿色生产技术, 并看重多项技术配合使用。保护性耕作技术和绿色防抗技术间的消极联系并未出现, 可能是因为对于保护型耕作技术所导致的病虫害问题, 绿色防控技术虽然作用缓慢但持续效果好。实践中也发现绿色防控技术中抗(耐)病品种是最经济有效的方式, 而且可配合前期的土壤深翻压低病虫害基数^[27]。因此, 相较于采用见效快的化学农药, 农户更可能在综合考虑下使用绿色防控技术治理秸秆还田后的病虫害; 另一方面, 绿色生产技术采纳之间显著的正相关也可能源于高概率的损失规避预期。捡拾回收田间农膜可对农膜造成的危害起到立竿见影的效果, 而保护性耕作技术和绿色防控技术均在土壤结构的保护和病虫害的防护上有较好的经济效应和环境效应^[28-29], 因此任意一项技术的采纳经验都将增强农户的信心, 形成高概率的损失规避预期, 更愿意继续采纳其他绿色生产技术。

3.2 农户绿色技术采纳相关性的影响

通过以上分析可知, 保护性耕作技术(Y_1)、绿色防控技术(Y_2)以及农膜回收处理技术(Y_3)可在可观测因素和不可观测因素的共同影响下, 采纳行为之间可能存在正相关性。那这种相关性具体会对农户的绿色技术采纳产生多大的影响? 在允许多项技术采纳方程扰动项关联的情况下, 本研究使用MVP模型进一步估计了绿色生产技术采纳的条件采纳概率和平均处理效应(ATT), 以量化分析不同技术采纳的相关性影响效应, 结果如表4所示:

表4 绿色生产技术采纳的条件概率及非条件概率预测

Table 4 Predicted conditional and unconditional probabilities of Green technology adoption

绿色生产技术 Green production technology		定义及说明 Definition and description	预测概率值 Predicted probabilities
保护性耕作技术 (Y_1) Conservation tillage technology	非条件概率 Unconditional probabilities	$P(Y_1 = 1 X)$	0.51(0.006)***
	条件概率 Conditional probabilities	$P(Y_1 = 1 Y_2 = 1, Y_3 = 1, X)$	0.78(0.004)***
		$P(Y_1 = 1 Y_2 = 0, Y_3 = 0, X)$	0.30(0.005)***
		$P(Y_1 = 1 Y_2 = 1, X)$	0.56(0.006)***
		$P(Y_1 = 1 Y_2 = 0, X)$	0.32(0.005)***
		$P(Y_1 = 1 Y_3 = 1, X)$	0.77(0.005)***
		$P(Y_1 = 1 Y_3 = 0, X)$	0.42(0.005)***
	ATT	$P(Y_1 = 1 Y_2 = 1, Y_3 = 1, X) - P(Y_1 = 1 Y_2 = 0, Y_3 = 0, X)$	0.48(0.003)***
		$P(Y_1 = 1 Y_2 = 1, X) - P(Y_1 = 1 Y_2 = 0, X)$	0.24(0.002)***
		$P(Y_1 = 1 Y_3 = 1, X) - P(Y_1 = 1 Y_3 = 0, X)$	0.35(0.003)***
绿色防控技术 (Y_2) Green control techniques	非条件概率 Unconditional probabilities	$P(Y_2 = 1 X)$	0.79(0.005)***
	条件概率 Conditional probabilities	$P(Y_2 = 1 Y_1 = 1, Y_3 = 1, X)$	0.96(0.001)***
		$P(Y_2 = 1 Y_1 = 0, Y_3 = 0, X)$	0.69(0.005)***
		$P(Y_2 = 1 Y_1 = 1, X)$	0.87(0.004)***
		$P(Y_2 = 1 Y_1 = 0, X)$	0.72(0.005)***
		$P(Y_2 = 1 Y_3 = 1, X)$	0.96(0.003)***
		$P(Y_2 = 1 Y_3 = 0, X)$	0.74(0.005)***
	ATT	$P(Y_2 = 1 Y_1 = 1, Y_3 = 1, X) - P(Y_2 = 1 Y_1 = 0, Y_3 = 0, X)$	0.28(0.004)***
		$P(Y_2 = 1 Y_1 = 1, X) - P(Y_2 = 1 Y_1 = 0, X)$	0.15(0.005)***
		$P(Y_2 = 1 Y_3 = 1, X) - P(Y_2 = 1 Y_3 = 0, X)$	0.22(0.005)***
农膜回收处理 (Y_3) Recycling of agricultural plastic film	非条件概率 Unconditional probabilities	$P(Y_3 = 1 X)$	0.27(0.007)***
	条件概率 Conditional probabilities	$P(Y_3 = 1 Y_1 = 1, Y_2 = 1, X)$	0.42(0.007)***
		$P(Y_3 = 1 Y_1 = 0, Y_2 = 0, X)$	0.03(0.002)***
		$P(Y_3 = 1 Y_1 = 1, X)$	0.39(0.007)***
		$P(Y_3 = 1 Y_1 = 0, X)$	0.14(0.005)***
		$P(Y_3 = 1 Y_2 = 1, X)$	0.31(0.006)***
		$P(Y_3 = 1 Y_2 = 0, X)$	0.06(0.003)***
	ATT	$P(Y_3 = 1 Y_1 = 1, Y_2 = 1, X) - P(Y_3 = 1 Y_1 = 0, Y_2 = 0, X)$	0.39(0.006)***
		$P(Y_3 = 1 Y_1 = 1, X) - P(Y_3 = 1 Y_1 = 0, X)$	0.25(0.004)***
		$P(Y_3 = 1 Y_2 = 1, X) - P(Y_3 = 1 Y_2 = 0, X)$	0.25(0.004)***

3.2.1 绿色生产技术条件采纳概率预估

每一项绿色生产技术采纳的条件概率大于非条件概率。如对于同时采纳了绿色防控技术和农膜回收处理的农户而言, 采纳保护性耕作技术的概率为78%, 远大于普通农户群体51%的采纳概率。

3项绿色技术的条件采纳概率估计结果显示: 农户采纳保护性耕作技术的概率在采纳其他两项技术时为78%, 采纳绿色防控技术时为56%, 采纳农膜回收处理时为77%; 农户采纳绿色防控技术的概率在采纳其他两项技术时为96%, 与进行农膜回收处理时相等, 而采纳保护性耕作技术时为87%; 农户进行农膜回收处理的概率在采纳其他两项绿色技术时为39%, 与农户采纳保护性耕作技术时相等, 而采纳绿色防控技术时仅为32%。

3.2.2 绿色生产技术采纳相关性的影响

在表4中, 本研究构造了相应的反事实来估计处理效应(ATT), 探究保护性耕作技术、绿色防控技术和农膜回收处理采纳间相关性影响的具体大小。比如说, 在保护性耕作技术的估计结果中 $P(Y_1=1|Y_2=1, Y_3=1, X)$ 和 $P(Y_1=1|Y_2=0, Y_3=0, X)$ 分别代表农户采纳或不采纳绿色防控技术和农膜回收处理的条件下采纳保护性耕作技术的概率, 后者是前者的一个反事实。通过将本来同时采用其他两项技术的农户样本数据代入到同时未采纳这两项技术的保护性耕作技术采纳方程中估计所得。经济学含义为本来同时采纳绿色防控技术和农膜回收处理的农户放弃采纳时, 这部分样本依然采纳保护性耕作技术的概率。对于这部分农户来说, 其平均处理效应 $ATT=P(Y_1=1|Y_2=1, Y_3=1, X)-P(Y_1=1|Y_2=0, Y_3=0, X)$, 即为其他两项技术的采纳对农户采纳保护性耕作技术的影响, 估计结果显示提升了保护性耕作技术48%的采纳概率。

从ATT的估计结果来看, 绿色技术采纳之间有显著的积极影响, 进一步证实了在可观测因素和不可观测因素的共同作用下, 不同阶段绿色生产技术之间两两互补, 呈现出较强的正相关关系。在采纳技术的项目数量上, 两项技术采纳行为的影响要大于一项技术的影响, 技术采纳相关性的影响具有“叠加效应”。如对保护性耕作技术而言, 同时采纳两项绿色技术时的采纳概率提升了48%, 要大于仅采纳一项技术时的24%以及35%。这可能是由于采纳的绿色生产技术越多, 一方面表明农户更注重全阶段农业绿色化发展的必要型; 另一方面越能增

强相似性偏差下农户对其他绿色生产技术采纳的信心, 提高损失规避的预期概率。

仅观察3项绿色技术中任意两项技术之间的关系可以发现: 3项绿色技术间影响的大小不一样, 具有异质性。这可能是不同绿色生产技术实施的不确定性差异, 不确定性越低, 农户形成的损失规避预期概率越高, 越有利于农户采纳其他绿色生产技术。而传统技术较新技术的不确定性更高。因此对保护性耕作技术和绿色防控技术两项新技术而言, 都是农膜回收处理对它们采纳概率提升的影响最大, 分别提高了35%、22%的采纳率, 而就农膜回收技术这项传统型技术的采纳而言, 其他两项创新型技术对它的影响相同。

4 结论及建议

本研究基于课题组对湖北省水稻种植户的调研数据, 采用多元Probit模型, 从农户资源禀赋约束的角度分析农户采纳不同属性绿色生产技术的可观测影响因素, 并验证了由不可观测因素和可观测因素所带来的保护性耕作技术、绿色防控技术以及农膜回收处理技术这3项技术采纳间相关性的存在, 进一步通过技术采纳的条件概率及其平均处理效应计算了技术采纳相关性的影响大小。本研究发现:

第一, 资源禀赋约束促使农户形成相应的技术选择偏向, 但受现实中其他因素的干预, 农户并不必然会做出对应的采纳决策。保护性耕作技术和绿色防控技术虽同为资本集中型技术, 但资本禀赋越高的农户越倾向于用资本替代劳动, 采纳“节劳”的保护性耕作技术而非“稳劳”的绿色防控技术。如能通过种植规模的扩大来降低技术的单位投入成本, 将显著促进绿色防控技术的采纳。农膜回收处理技术虽然较原有处理方式增加了劳动量但终究是“举手之劳”, 不在于劳动力数量禀赋, 更在于劳动力是否愿意去做这件事情。因此, 越是年老的农户越可能采纳该项技术。外部条件中发现, 技术的政策宣传力度越大农户越愿意采纳, 而技术培训不利于农膜回收, 补贴力度不利于保护性耕作技术的采纳。村庄到市场距离越远, 采纳保护性耕作技术的可能性越大, 采纳农膜回收处理的可能性越小。

第二, 3项绿色生产技术的采纳在可观测和不可观测因素的影响下有较强的相关性。通过技术采纳的条件概率和平均处理效应的计算结果可知, 一项绿色技术的采纳将显著促进其他绿色技术的采

纳,而且这种影响具有“叠加效应”,其中绿色防控技术和农膜回收处理两项技术的共同采纳行为对农户采纳保护性耕作技术的影响最大。由于技术的生产作用和不确定性的差异,技术间采纳影响具有异质性。比较而言,农膜回收处理的影响最大,进行农膜回收处理的农户有更大概率采纳其他两项技术。

基于本研究的结论,得到以下的政策启示:①绿色技术推广工作中应做好目标农户识别工作,以提高推广资金的使用效率。一是结合农户可观测的特征和技术特性来判断,如家庭人均收入较高,耕地离市场较远,绿色认知较强的农户更愿意采纳省劳的保护性耕作技术;二是通过绿色技术采纳之间的相关性来判断,可将目标群体锁定于采纳过绿色生产技术的农户,同等条件下,选择采纳绿色生产技术项目数较多的农户;②多项绿色生产技术推广时应科学制定技术推广的顺序,优化技术组合以达到推广效果的最大化。技术间影响的大小不一样,政府推广时可选择相关性较大的技术进行组合,或按照影响大小的排序,循序渐进地推广技术,提高农户的采纳概率。

参考文献 References

- [1] 冯淑怡,罗小娟,张丽军,石晓平. 养殖企业畜禽粪尿处理方式选择、影响因素与适用政策工具分析:以太湖流域上游为例[J]. 华中农业大学学报:社会科学版, 2013(1): 12-18
Feng S Y, Luo X J, Zhang L J, Shi X P. Livestock enterprises' choice of waste treatment modes, its influencing factors and possible policy instruments: A case study in upper reaches of Taihu lake basin [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2013(1): 12-18 (in Chinese)
- [2] 潘丹,孔凡斌. 养殖户环境友好型畜禽粪便处理方式选择行为分析:以生猪养殖为例[J]. 中国农村经济, 2015(9): 17-29
Pan D, Kong F B. Environmentally friendly way choice behavior analysis of farmers: Based on pigs breeding [J]. *Chinese Rural Economy*, 2015(9): 17-29 (in Chinese)
- [3] Luo X J, Feng S Y, Liu H B, Zhao B. Large-scale grain producers' application of land conservation technologies in China: Correlation effects and determinants [J]. *Sustainability*, 2019, 11(2): 441. doi:10.3390/su11020441
- [4] 刘洋,熊学萍,刘海清,刘恩平. 农户绿色防控技术采纳意愿及其影响因素研究:基于湖南省长沙市 348 个农户的调查数据[J]. 中国农业大学学报, 2015, 20(4): 263-271
Liu Y, Xiong X P, Liu H Q, Liu E P. Research on farmers willingness to adopt green control techniques and influencing factors: Empirical evidence from 348 farmers in Hunan Province [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2015, 20(4): 263-271 (in Chinese)
- [5] 孙小燕,刘雍. 土地托管能否带动农户绿色生产[J]. 中国农村经济, 2019(10): 60-80
Sun X Y, Liu Y. Can land trusteeship improve farmers' green production [J]. *Chinese Rural Economy*, 2019(10): 60-80 (in Chinese)
- [6] 尚燕,颜廷武,江鑫,张童朝,张俊飏. 绿色化生产技术采纳:家庭经济水平能唤醒农户生态自觉性吗[J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34(11): 988-996
Shang Y, Yan T W, Jiang X, Zhang T C, Zhang J B. Adoption of green production technology: Can family economic condition arouse farmers' ecological consciousness [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2018, 34(11): 988-996 (in Chinese)
- [7] 蔡书凯. 经济结构、耕地特征与病虫害绿色防控技术采纳的实证研究:基于安徽省 740 个水稻种植户的调查数据[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(4): 208-215
Cai S K. Empirical study of economic structure, land's feature and green pest control techniques adoption: Based on the Anhui Province 740 rice farmer's research [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2013, 18(4): 208-215 (in Chinese)
- [8] 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 adoption on pesticides application [J]. *China Population, Resource and Environment*, 2017, 27(8): 90-97 (in Chinese)
- [9] 黄炎忠,罗小锋,李容容,张俊飏. 农户认知、外部环境与绿色农业生产意愿,基于湖北省 632 个农户调研数[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(3): 680-687
Huang Y Z, Luo X F, Li R R, Zhang J B. Farmer cognition, external environment and willingness of green agriculture production: Based on the survey data of 632 farmers in Hubei Province [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2018, 27(3): 680-687 (in Chinese)
- [10] 张童朝,颜廷武,何可,张俊飏. 利他倾向、有限理性与农民绿色农业技术采纳行为[J]. 西北农林科技大学学报:社会科学版, 2019, 19(5): 115-124
Zhang T C, Yan T W, He K, Zhang J B. Altruistic tendency, bounded rationality and farmers' green agricultural technology

- adoption[J]. *Journal of Northwest A&F University: Social Science Edition*, 2019, 19(5): 115-124 (in Chinese)
- [11] 程琳琳, 张俊飏, 何可. 网络嵌入与风险感知对农户绿色耕作技术采纳行为的影响分析: 基于湖北省 615 个农户的调查数据[J]. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(7): 1736-1746
Cheng L L, Zhang J B, He K. Analysis on the influence of network embeddedness and risk perception on farmers' adoption behavior of green agricultural tillage technology: Based on the survey data of 615 farmers in Hubei Province[J]. *Resources and environment in the Yangtze basin*, 2019, 28(7): 1736-1746 (in Chinese)
- [12] 杨志海. 老龄化、社会网络与农户绿色生产技术采纳行为: 来自长江流域六省农户数据的验证[J]. *中国农村观察*, 2018(4): 44-58
Yang Z H. Ageing, social network and the adoption of green production technology: Evidence from farm households in six provinces in the Yangtze river basin[J]. *China Rural Survey*, 2018(4): 44-58 (in Chinese)
- [13] 文长存, 汪必旺, 吴敬学. 农户采用不同属性“两型农业”技术的影响因素分析: 基于辽宁省农户问卷的调查[J]. *农业现代化研究*, 2016, 37(4): 701-708
Wen C C, Wang B W, Wu J X. Factors affecting the adoption of different technologies by “the Two-Oriented Agriculture”: A case study of grain farmers in Liaoning, China[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2016, 37(4): 701-708 (in Chinese)
- [14] 郑旭媛, 王芳, 应瑞瑶. 农户禀赋约束、技术属性与农业技术选择偏向: 基于不完全要素市场条件下的农户技术采用分析框架[J]. *中国农村经济*, 2018(3): 105-122
Zheng X Y, Wang F, Ying R Y. Farmers' endowment constraints, technical properties and agricultural technology selection preferences: An analytical framework of farmers' technology adoption under an incomplete factor market[J]. *Chinese Rural Economy*, 2018(3): 105-122 (in Chinese)
- [15] 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)
- [16] 王浩, 刘芳. 农户对不同属性技术的需求及其影响因素分析: 基于广东省油茶种植业的实证分析[J]. *中国农村观察*, 2012(1): 53-64
Wang H, Liu F. Analysis of farmers' demand for different attribute technology and its influencing factors: Based on the empirical analysis of camellia plantation in Guangdong Province[J]. *China Rural Survey*, 2012(1): 53-64 (in Chinese)
- [17] 李芬妮, 张俊飏, 何可. 非正式制度、环境规制对农户绿色生产行为的影响: 基于湖北 1 105 份农户调查数据[J]. *资源科学*, 2019, 41(7): 1227-1239
Li F N, Zhang J B, He K. Impact of informal institutions and environmental regulations on farmers' green production behavior: Based on survey data of 1105 households in Hubei Province[J]. *Resources Science*, 2019, 41(7): 1227-1239 (in Chinese)
- [18] 张亚如. 社会网络对农户绿色农业生产技术采用行为影响研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2018
Zhang Y R. Influence of social network on farmers' green agricultural production technology adoption [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2018 (in Chinese)
- [19] 冯小丽. 保护性耕作技术在基层推广应用中的问题与探讨[J]. *农业开发与装备*, 2018(12): 158-159
Feng X L. Problems and discussion on application of conservation tillage technology in grass roots[J]. *Agricultural Development & Equipments*, 2018(12): 158-159 (in Chinese)
- [20] 黄祖辉, 胡豹. 经济学的新分支: 行为经济学研究综述[J]. *浙江社会科学*, 2003(2): 70-77
Huang Z H, Hu B. The new branch of economics: A review of behavioral economics[J]. *Zhejiang Social Science*, 2003(2): 70-77 (in Chinese)
- [21] 舒全峰, 王亚华. 我国农业技术创新扩散研究评述[J]. *中国农业科技导报*, 2018, 20(2): 1-9
Shu Q F, Wang Y H. Review on agricultural technology innovation diffusion in China[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2018, 20(2): 1-9 (in Chinese)
- [22] 余威震, 罗小锋, 李容容, 薛龙飞, 黄磊. 绿色认知视角下农户绿色技术采纳意愿与行为悖离研究[J]. *资源科学*, 2017, 39(8): 1573-1583
Yu W Z, Luo X F, Li R R, Xue L F, Huang L. The paradox between farmer willingness and their adoption of green technology from the perspective of green cognition [J]. *Resources Science*, 2017, 39(8): 1573-1583 (in Chinese)
- [23] 汪铁丰. Probit 模型的发展和演变[D]. 哈尔滨: 东北师范大学, 2008
Wang T F. The development and evolvement of Probit Model

- [D]. Haerbin: Northeast Normal University, 2008 (in Chinese)
- [24] 刘西川, 杨奇明, 陈立辉. 农户信贷市场的正规部门与非正规部门: 替代还是互补[J]. 经济研究, 2014, 49(11): 145-158
Liu X C, Yang Q M, Chen L H. Formal sector and informal sector in rural households credits market: Substitutes or complements[J]. *Economic Research Journal*, 2014, 49(11): 145-158, 188 (in Chinese)
- [25] Ramful P, Zhao X. Participation in marijuana, cocaine and heroin consumption in Australia: A multivariate probit approach[J]. *Applied Economics*, 2009, 41(4): 481-496
- [26] Lorenzo C, Stephen P J. Multivariate probit regression using simulated maximum likelihood[J]. *The Stata Journal*, 2003, 3(3): 278-294
- [27] 马书芳, 朱德慧, 曹辉辉, 关瑞陈. 秸秆全量还田对农作物病虫害的影响及防控对策[J]. 中国植保导刊, 2016, 36(7): 75-77
Ma S F, Zhu D H, Cao H H, Guan R C. The effect of returning the whole amount of straw to the field on crop diseases and insect pests and its prevention and control countermeasures[J]. *China Plant Protection*, 2016, 36(7): 75-77 (in Chinese)
- [28] 秦诗乐, 吕新业. 农户绿色防控技术采纳行为及效应评价研究[J]. 中国农业大学学报: 社会科学版, 2020, 37(4): 50-60
Qin S L, Lv X Y. Research on farmers' green control techniques adoption behavior and its effect evaluation[J]. *China Agricultural University Journal of Social Sciences Edition*, 2020, 37(4): 50-60 (in Chinese)
- [29] 刘丽, 上官定一, 雷传方, 姜志德. 基于多维异质性的农户保护性耕作技术采用效应研究[J]. 干旱区资源与环境, 2020, 34(10): 119-125
Liu L, Shangguan D Y, Lei C F, Jiang Z D. Study on the effect of farmers' conservation tillage technology adoption based on multidimensional heterogeneity[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2020, 34(10): 119-125 (in Chinese)

责任编辑: 王岩