

农户绿色生产技术采纳行为及其效应 ——以测土配方施肥技术为例

邝佛缘¹ 金建君^{1,2*} 邱欣¹

(1. 北京师范大学 地理科学学部 自然资源学院, 北京 100875;

2. 北京师范大学 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875)

摘要 为揭示农户绿色生产技术采纳行为决策的规律性和显化其行为效应,基于鄱阳湖平原6个产粮大县的607份调查数据,利用内生转换回归(ESR)模型实证分析了农户采纳测土配方施肥技术的影响因素及其采纳行为的经济和生态效应。结果表明:农户采纳测土配方施肥技术主要受到家庭总收入、耕种面积和信息获取渠道的正向影响,耕地破碎度和家离农技机构距离的负向影响。测土配方施肥技术的采纳有助于农户实现水稻的增产和化肥的减量化施用,表现为在反事实假设情景下,实际采纳该技术的农户若未采纳,其水稻单位面积产值下降6.38%、化肥施用量增加2.14%;实际未采纳该技术的农户若采纳,其水稻单位面积产值提高1.83%、化肥施用量减少1.00%。鉴于此,建议降低耕地破碎度,实现适度规模经营,加强技术的宣传推广,构建技术培训体系,显化技术效益,发挥技术的示范带动效果。

关键词 绿色生产技术; 采纳行为; 行为效应; 内生转换回归模型; 测土配方施肥技术

中图分类号 F323.3

文章编号 1007-4333(2022)10-0226-10

文献标志码 A

Farmers' adoption behavior of green production technology and its effects: A case study of soil testing and formula fertilization technology

KUANG Foyuan¹, JIN Jianjun^{1,2*}, QIU Xin¹

(1. School of Natural Resources, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract In order to reveal the regularity of the decision of farmers' green production technology behavior and its effect, based on a survey of 607 farmers from six major grain-producing counties in the Poyang Lake Plain, the endogenous switching regression (ESR) model was adopted. Factors affecting farmers' adoption behavior of soil testing and formula fertilization technology and the economic and ecological effects of their adoption behavior were analyzed. The results show that: The adoption of soil testing and formula fertilization technology by farmers is mainly affected by the positive impacts of the family's income, cultivated area and information acquisition channels, and the negative impacts of the fragmentation of cultivated land and the distance from home to agricultural technology institutions. The adoption of soil testing and formula fertilization technology will help farmers to increase rice yield and reduce chemical fertilizer application. Under counterfactual scenarios, if farmers who have actually adopted the technology did not adopt it, their rice output per unit will reduce by 6.38%, the amount of chemical fertilizers will increase by 2.14%. If farmers who have not actually adopted this technology adopt it, their rice output per unit will increase by 1.83% and the amount of chemical fertilizers will reduce by 1.00%. Based on this, it is suggested to

收稿日期: 2021-12-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(41671170)

第一作者: 邝佛缘, 博士研究生, E-mail: kfy5913@163.com

通讯作者: 金建君, 教授, 主要从事资源经济学研究, E-mail: jjin@bnu.edu.cn

reduce the fragmentation of cultivated land, realize moderate scale operation, and strengthen the publicity and promotion of technology. It is necessary to build a technology training system, show the benefits of technology, and give full play to the demonstration effect of technology.

Keywords green production technology; adoption behavior; behavior effects; the endogenous switching regression model; soil testing and formula fertilization technology

长期以来高投入、高消耗、高排放的粗放型农业经营方式已经导致我国耕地质量下降、土地退化、生态环境破坏等问题,农业生态环境的承载力逼近极限^[1]。在此背景下,2021年中央一号文件强调推进农业绿色发展,持续推进化肥的减量增效。加快农业生产方式向绿色农业发展的转型升级尤为迫切,推广绿色生产技术是其中重要一环。测土配方施肥技术作为一项重要的绿色生产技术,通过前期的土壤测试结果,有针对性地调整作物现有的营养元素配比,从而实现精准施肥^[2]。该技术通过转变农户盲目从重的施肥方式,转向科学精准的绿色农业生产方式,可以有效地提高化肥利用率,减少化肥对农业生态环境、土壤土质等的破坏,在保障粮食安全的基础上实现农作物的增产和农户的增收^[2-4]。农户作为测土配方施肥技术的实际采纳者,其采纳行为直接影响到我国绿色生产技术的推广效果^[5]。然而,农户由于缺乏知识、对技术效益的感知水平低、对技术采纳的风险预期高和缺乏采纳条件等因素,采纳测土配方施肥技术的积极性并不高,采纳比例较低^[4-7],从而影响到我国绿色农业的推进步伐。因此,从农户视角切入,有必要对农户测土配方施肥技术采纳行为及其行为效应进行分析。

梳理已有研究,诸多学者认为测土配方施肥技术的采纳行为主要受到农户主体内在驱动因素和外在环境因素的影响。内在驱动因素方面,主要包括个体特征(如农户的年龄、性别、教育程度、技术感知水平等)、耕地资源禀赋和家庭禀赋特征^[5-12]。外在环境因素,例如土地产权稳定性、技术效益与展示、技术指导与支持等^[5,8,13-14]。此外,也有部分学者探究了测土配方施肥技术对农户增产增收或化肥减量施用的影响,认为技术采纳具有明显的经济效应和生态效应^[6,15-16]。现有研究已经做出了较为系统地探索,但仍有待深化的空间。一方面,已有研究更多的关注农户采纳测土配方施肥技术的行为决策,而较少聚焦到农户采纳技术的行为效应,抑或只关注单方面的行为效应(经济效应或生态效应)。另一方面,已有研究所使用的研究方法(最小二乘法、倾向

得分匹配法或工具变量法)并没有很好地解决测土配方施肥技术采纳的内生性问题或样本自选择问题,研究方法还有待完善。

基于此,本研究利用鄱阳湖平原 6 个产粮大县的 607 份农户调查数据,运用 ESR 模型实证分析了农户采纳测土配方施肥技术的影响因素及其采纳行为的经济和生态效应。本研究识别出农户采纳测土配方施肥技术的障碍因子,以期为相关部门制定政策和工作开展提供实证依据;通过显化技术的行为效应,有助于提高农户采纳该技术的积极性,从而更好地推动我国农业绿色发展的进程。

1 理论分析与研究假说

农户作为理性经济人,其做出测土配方施肥技术采纳决策是基于效用最大化,这种效用主要体现在农户采纳该技术成本和收益的差值,即净效用。具体而言,当农户采纳该技术的收益大于采纳成本时,农户会倾向于采纳该技术;而当农户采纳该技术的收益小于采纳成本时,农户往往不会采纳该技术。测土配方施肥技术基于田间肥料试验和土壤测试,结合农作物在不同生产阶段的需肥规律、土壤供肥性能和肥料效应,有针对性地调整作物现有的营养元素配比,从而实现精准施肥^[2]。该技术基于农作物“缺什么补什么、缺多少补多少”的原则,实现土壤各种养分的平衡供应,满足农作物的生长需求,从而提高化肥的利用率,实现农作物的增产和农户的增收^[2-4]。结合本研究而言,农户更关注测土配方施肥技术是否能够提高水稻产值和降低化肥施用量。具体而言,假定农户 i 是否采纳测土配方施肥技术的行为决策为 A_i ,农户 i 采纳测土配方施肥技术所能获得的潜在净效用是 U_{iv} ,则未采纳测土配方施肥技术的潜在净效用为 U_m 。那么农户采纳测土配方施肥技术的前提条件是采纳技术所能获得的净效用大于未采纳技术的净效用,即当 $U_{iv} - U_m > 0$ 时。由于农户是否采纳测土配方施肥技术的净效用是无法被直接观测的潜变量,需要由一系列可观测外生变量的函数表达式所表示,则农户是否采纳测土配

方施肥技术的决策模型可以表示为:

$$A_i = \begin{cases} 0, & U_{iy} - U_m \leq 0 \\ 1, & U_{iy} - U_m > 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: $A_i=0$ 表示农户选择不采纳测土配方施肥技术, $A_i=1$ 则表示农户选择采纳测土配方施肥技术。

1.1 农户个体特征对采纳行为的影响

我国农村的农业经营决策往往是由户主或农业经营决策者主导,其个体特征会影响到测土配方施肥技术的采纳行为决策。研究表明,年龄越大的农户由于其受到传统思想观念的禁锢越大,对新技术的理解和接受能力也更差,往往会更不愿意采纳测土配方施肥技术^[5-6]。农户对生态环境和施用化肥方面的认知存在性别差异,表现出男性农户在环境保护和科学合理施肥方面的意识更强^[17-18],这种认识有利于促进农户采纳测土配方施肥技术^[8,14]。教育程度会影响农户对环保和科学施肥的认知^[17-18],也会影响农户采纳测土配方技术的能力^[16,19]。因此,提出本研究的假说1:

H1:农户采纳测土配方施肥技术的行为决策受到个体特征的影响,农户的年龄和受教育程度对采纳测土配方施肥技术存在正向影响,且男性更有可能采纳该技术。

1.2 农户家庭特征对采纳行为的影响

家庭特征会影响到农户的农业生产决策,尤其是一些劳动密集型或资金密集型绿色生产技术的采纳。家庭人口数越多,往往更便于农户开展农业生产^[7]。家庭人口数越多的农户往往从事各行各业的可能性更大,与外界接触面更广,获取农业技术信息的渠道也越多,往往越愿意采纳测土配方施肥技术^[20]。家庭总收入作为衡量农户家庭经济能力的重要指标之一,而测土配方施肥技术的采纳可能需要更多资金支持,农户家庭经济能力越好,其采纳测土配方施肥技术的可能性越高^[5,7]。家庭亲朋好友中有担任政府部门职务的农户往往拥有更多农业资讯的获取渠道,也更容易获取农业技术支持,更可能采纳测土配方施肥技术^[7,9]。因此,提出本研究的假说2:

H2:农户采纳测土配方施肥技术的行为决策受到家庭特征的影响,家庭人口数、家庭总收入和家庭亲朋好友中有担任政府部门职务对农户采纳测土配方施肥技术有正向影响。

1.3 农户耕地资源特征对采纳行为的影响

在家庭联产承包责任制下,小规模分散经营是

我国农业生产的主要特征,耕种面积越大的农户往往更愿意采纳测土配方施肥技术来应对土地质量异质性的问题,从而实现农业生产的增产增收和减少土地投入成本的目标^[10,12]。有研究指出,土地破碎化会降低农户参与非农劳动供给的概率,减少非农劳动供给时间^[21],加大了劳动强度,提高农业技术采纳成本,阻碍了农户获取规模经济,从而不利于农户采纳测土配方施肥技术^[11]。而耕地土壤肥沃程度越好的农户,往往对测土配方施肥技术的需求迫切性更低,从而采纳该技术的可能性也更低^[21]。家离耕地的距离越远,往往会增加土地经营的投入成本,从而削弱农户对测土配方施肥技术的采纳^[11]。因此,提出本研究的假说3:

H3:农户采纳测土配方施肥技术的行为决策受到耕地资源特征的影响,耕种面积对农户采纳该技术具有正向影响,耕地破碎度、土壤肥沃程度和家离耕地距离则为负向影响。

2 数据、模型与变量

2.1 数据来源

数据来源于课题组2020年12月在鄱阳湖平原6个产粮大县(都昌县、永修县、鄱阳县、新建区、余干县和进贤县)的实地调研。实地调研采取简单随机抽样和分层随机抽样相结合的方式选取样本点和样本农户,采用调查问卷和小型专题座谈会等参与式农村评估工具对6个样本县(区)开展入户访谈。根据各县(区)的乡镇规模、人口数量和地理位置,从每个县(区)中选择2个乡镇,每个乡镇随机选择3个村庄,在每个村庄随机邀请15~20户农户进行问卷调查,共发放630份调查问卷,经过问卷数据的检查,剔除了存在信息不全、自相矛盾等问题的问卷,最后共获得607份有效问卷,问卷有效率为96.35%。

2.2 研究方法

由于决定是否采纳测土配方施肥技术是农户分析预期收益后的自选择,存在一些如农户个人偏好、管理技能等不可观测的因素,这些因素同时对农户测土配方施肥技术采纳行为与行为效应水平产生影响,也就是说存在样本自选择问题。如果忽视样本自选择问题,采用最小二乘法来估计,可能得到有偏估计。诸多学者采用倾向得分匹配法来解决选择性偏差问题,然而该方法并不能解决不可观测因素导致遗漏变量的内生问题。此外,也有学者尝试采用

工具变量法来估计,但该方法未考虑处理效应的异质性问题。本研究将使用 Maddala^[22] 提出的 ESR 模型来探讨农户测土配方施肥技术的采纳行为效应。

ESR 模型估计了 3 个方程:行为选择方程(农户是否采纳测土配方施肥技术)、结果方程 I(控制组,即未采纳农户的行为效应水平方程)和结果方程 II(处理组,即采纳农户的行为效应水平方程),其方程表达式分别为式(2)、(3)和(4):

$$A_i = \varphi Z_i + \delta W_i + \mu_i \quad (2)$$

$$Y_m = \beta_n X_m + \varepsilon_m \quad (3)$$

$$Y_{iy} = \beta_y X_{iy} + \varepsilon_{iy} \quad (4)$$

式(2)中: i 表示第 i 个农户,农户未采纳测土配方施肥技术用 n 表示,已采纳则用 y 表示; A_i 表示农户是否采纳测土配方施肥技术的二元选择变量; Z_i 表示影响农户是否采纳测土配方施肥技术的各种因素; W_i 表示识别变量向量,用来保证 ESR 模型的可识别性; φ 和 δ 分别表示 Z_i 和 W_i 的估计系数; μ_i 是随机误差项。式(3)和(4)中, Y_m 和 Y_{iy} 分别表示未采纳农户和采纳农户两个样本组的行为效应水平; X_m 和 X_{iy} 表示影响农户行为效应的一系列因素, β_n 和 β_y 分别表示 X_m 和 X_{iy} 的估计系数; ε_m 和 ε_{iy} 分别是各自方程的随机误差项。

通过 ESR 模型的估计系数,运用反事实分析框架,通过对比真实情景与反事实假设情景下测土配方施肥技术未采纳农户与采纳农户的效应水平期望值,来估计测土配方施肥技术采纳行为对农户效应影响的平均处理效应。计算公式分别为式(5)、(6)、(7)和(8):

$$E[Y_m | A_i = 0] = \beta_n X_m + \sigma_{\mu n} \lambda_{in} \quad (5)$$

$$E[Y_{iy} | A_i = 1] = \beta_y X_{iy} + \sigma_{\mu y} \lambda_{iy} \quad (6)$$

$$E[Y_{iy} | A_i = 0] = \beta_y X_m + \sigma_{\mu y} \lambda_{in} \quad (7)$$

$$E[Y_m | A_i = 1] = \beta_n X_{iy} + \sigma_{\mu n} \lambda_{iy} \quad (8)$$

因此,未采纳测土配方施肥技术农户效应水平的平均处理效应,即控制组的平均处理效应(ATU),可以表述为式(5)与(7)之差:

$$ATU_i = E[Y_m | A_i = 0] - E[Y_{iy} | A_i = 0] = (\beta_n - \beta_y) X_m + (\sigma_{\mu n} - \sigma_{\mu y}) \lambda_{in} \quad (9)$$

相应地,实际采纳测土配方施肥技术农户效应水平的平均处理效应,即处理组的平均处理效应(ATT),可以表述为式(6)与(8)之差:

$$ATT_i = E[Y_{iy} | A_i = 1] - E[Y_m | A_i = 1] = (\beta_y - \beta_n) X_{iy} + (\sigma_{\mu y} - \sigma_{\mu n}) \lambda_{iy} \quad (10)$$

2.3 变量设定

1)被解释变量。根据上述的模型设定,被解释变量设定为评价农户采纳测土配方施肥技术的经济效应和生态效应的指标。借鉴现有研究^[6,12],选择水稻单位面积产值和化肥施用量 2 个指标来衡量。

2)关键解释变量。农户测土配方施肥技术的采纳行为被设定为本研究的关键解释变量,通过询问农户“您是否采纳了测土配方施肥技术”来测度。

3)其他解释变量。参考已有研究^[5-12],从农户个体特征、家庭特征和耕地资源特征 3 方面选取指标。个体特征方面,选择年龄、性别和教育程度 3 个指标衡量;家庭特征方面,选取家庭总收入、家庭人口数和政府官员 3 个指标衡量;耕地资源特征方面,选取耕种面积、耕地破碎度、土壤肥沃程度和家离耕地距离 4 个指标衡量。

4)识别变量。选取“信息获取渠道”和“家离农技距离”两个变量作为识别变量。选择这两个变量的原因是,更多的信息获取渠道和家离农技机构更近有助于农户更好地获取农业技术、补贴等农业资讯,会直接影响到农户采纳测土配方施肥技术的行为决策。此外,农户家离农技机构的距离是客观存在的,并不会对农户的水稻产值和化肥施用量产生直接影响。上述各个变量的定义与描述统计性分析如表 1 所示。

3 实证结果与分析

为了减小异常值和异方差等对模型估计结果的影响,本研究在进行回归分析时对水稻单位面积产值和化肥施用量两个变量进行自然对数处理,得到表 2 和 3 的回归结果。其中,采纳决策模型 I 为选择方程与经济效应方程联合估计结果,采纳决策模型 II 则为与生态效应方程联合估计结果。如表 2 所示,两次联合估计的对数似然值检验和联合独立似然比检验均在 1% 的水平上显著,表明模型的拟合效果较好。此外,两个识别变量对农户采纳测土配方施肥技术的行为决策均具有显著影响,对水稻单位面积产值和化肥施用量的影响未通过显著性检验。因此,可以认为识别变量是有效的。

根据已有研究^[23-24]提出的观点,在 ESR 模型估计中相关系数 $\rho_{\mu n}$ 和 $\rho_{\mu y}$ 具有计量解释。在 ESR 模型中,样本自选择效应主要通过测土配方施肥技术采纳户效应方程结构变量 $\rho_{\mu n}$ 和非采纳户效应方程的 $\rho_{\mu y}$ 反映出来。估计结果中,如果结构变量为 0,则选

表 1 变量的定义及描述性统计
Table 1 Definitions and descriptive statistics of the variables

变量 Variable	变量定义和赋值 Variable definition and assignment	均值 Mean	标准差 Standard deviation
水稻单位面积产值 Unit output value of rice	水稻生产总收入/水稻总播种面积,元/hm ²	18 910.65	216.11
化肥施用量 Fertilizer application	水稻种植施用氮磷钾肥折纯量总和,kg/hm ²	472.88	11.18
测土配方施肥 Soil testing and formula fertilization	是否采纳测土配方施肥技术:否=0;是=1	0.32	0.47
年龄 Age	农户 2020 年的实际年龄,岁	60.00	9.90
性别 Gender	女=0;男=1	0.68	0.47
教育程度 Education level	文盲=1;小学=2;初中=3;高中/中专=4;大学及以上=5	2.20	0.81
家庭总收入 Total household income	农户 2020 年家庭总收入,万元	14.23	20.11
家庭人口数 Family population	农户家庭总人数,人	6.03	2.65
政府官员 Government officials	家庭亲戚朋友中有担任政府部门职务:否=0;是=1	0.27	0.44
耕种面积 Cultivated area	农户 2020 年实际种植耕种的面积,hm ²	3.08	114.03
耕地破碎度 Fragmentation of cultivated land	2020 年农户种植耕地的破碎程度,耕地面积/耕地块数,hm ² /块	0.07	0.92
土壤肥沃程度 Soil fertility	很差=1;比较差=2;一般=3;比较好=4;很好=5	3.60	1.01
家离耕地距离 Distance from home to cultivated land	农户家离种植耕地的平均距离,km	2.44	2.30
信息获取渠道 Information acquisition channels	农户获取农业生产信息的渠道数量	2.51	1.23
家离农技距离 Distance from home to agricultural technology	农户到最近农业技术推广/科研机构的距离,km	6.65	11.13

择外生转换模型；如果显著不为 0，则说明有必要纠正选择性导致的内生性偏误，需要选择 ESR 模型。如表 3 所示，结构变量 ρ_{xi} 和 ρ_{yi} 在同一个模型中至少有一个通过了显著性检验，这表明样本存在自选择问题，农户选择是否采纳测土配方施肥技术并不是随机产生的，而是农户基于采纳技术前后自身效用变化后做出的“自选择”，如果不进行纠正，所得到的估计结果将是偏的。

3.1 农户测土配方施肥技术采纳决策模型的估计结果分析

由表 2 可知，农户测土配方施肥技术采纳行为主要受到性别、家庭总收入、耕种面积、耕地破碎度、信息获取渠道和家离农技距离等变量的影响。具体而言，性别通过了 5% 的显著水平检验，表现为男性更可能采纳测土配方施肥技术。已有研究也有类似结果^[17-18]，可能原因是男性更偏好冒险且在科学合理施肥方面的意识更强，这种风险偏好和意识，有利于促进农户采纳测土配方施肥技术。由此，研究假说 1 得到部分验证。家庭总收入对农户采纳测土配方施肥技术有显著正向影响，这比较容易理解。相比于传统的农业技术，测土配方施肥技术可能需要农户投入更多的钱用于测土和使用配方肥等环节，农户家庭的经济状况越好，其采纳测土配方施肥技术的概率越高^[5,7]。到此，研究假说 2 得到部分验证。耕种面积在两个采纳决策模型中均通过了 1% 的显著性检验，表现为耕种面积越大，农户越可能采纳测土配方施肥技术。农户进行大规模种植时，更希望通过采纳测土配方施肥技术来减少化肥的投入成本，从而实现水稻的增产增收^[10,12]。耕地破碎度变量对农户采纳测土配方施肥技术具有显著负向影响，说明农户耕种土地的破碎度越大，农户采纳测土配方施肥技术的可能性越低。类似研究就表明，农户耕种土地的破碎度越大，往往会加大劳动力投入强度、增加土地投入成本，从而抑制农户采纳测土配方施肥技术^[11,21]。到此，研究假说 3 得到部分验证。信息获取渠道和家离农技距离均通过了 1% 的显著水平检验，分别对农户采纳测土配方施肥技术表现为正向影响和负向影响。信息获取渠道和家离农技机构距离均可以反映农户获取农业技术等农业资讯的便利性，测土配方施肥技术作为一种新型农业技术，其运用离不开农业技术部门的支持，而信息不对称是阻碍农户采纳农业技术的重要因素。

3.2 农户行为效应模型估计结果分析

表 3 给出了农户不同采纳情景下经济效应和生态效应的估计结果。经济效应模型中，土壤肥沃程度、家离耕地距离、政府官员、教育程度、家庭人口数、耕种面积和耕地破碎度等变量影响农户水稻单位面积产值。采纳农户组中，教育程度、政府官员和土壤肥沃程度对水稻单位面积产值具有显著正向影响，表现为农户的教育程度越高或亲朋好友中有担任政府部门职务或土壤肥沃程度越好，水稻单位面积产值越高。此外，家离耕地距离表现出显著负向影响，即农户家离耕地距离越远，水稻单位面积产值往往越低。未采纳农户组中，家庭人口数、耕种面积、耕地破碎度和家离耕地距离变量对水稻单位面积产值有显著负向影响，政府官员和土壤肥沃程度变量则具有显著正向影响。具体而言，家庭人口数越多、耕种面积越大、耕地破碎度越大或家离耕地距离越大，农户的水稻单位面积产值往往会越低；家庭亲朋好友中有担任政府部门职务或土壤肥沃程度越大的农户，水稻单位面积产值往往会越高。

生态效应模型中，耕地破碎度和土壤肥沃程度对测土配方施肥技术采纳组和未采纳组均通过了 1% 的显著水平检验。这说明农户的耕地破碎度越大，越倾向于施用更多的化肥；土壤肥沃程度越好的农户，则会倾向于少施用化肥。在采纳农户组，性别对农户施用化肥量有显著影响，即男性在水稻种植时会更倾向于施用更多的化肥。在未采纳农户组，家庭人口数越多或家离耕地距离越大的农户，往往在水稻种植时会施用更多的化肥。

3.3 农户采纳测土配方施肥技术的行为效应分析

如表 4 所示，总体而言，测土配方施肥技术的采纳对农户水稻单位面积产值有正向处理效应，对化肥施用量有负向处理效应，且均在 1% 的统计水平上显著，这表明农户采纳测土配方施肥技术具有良好的经济效应和生态效应，即该技术的采纳有利于农户实现水稻增收和化肥减量化施用的目标。具体而言，ATT 的计量结果表明，对于已采纳测土配方施肥技术农户而言，假如农户选择不采纳该技术，其水稻单位面积产值将分别下降 6.38%、化肥施用量将增加 2.14%。从 ATU 的估计结果可知，倘若未采纳测土配方施肥技术的农户能够采纳该技术，其水稻单位面积产值将分别增加 1.83%、化肥施用量将下降 1.00%。类似研究表明，测土配方施肥技术的采用可使水稻和小麦分别增产 6.51% 和 8.22%，

表2 农户采纳测土施肥技术的估计结果

Table 2 The estimated results of farmers' adoption of soil testing and formula fertilization technology

变量 Variable	采纳决策模型 I Adopt decision model I		采纳决策模型 II Adopt decision model II	
	系数 Coefficient	标准差 Standard deviation	系数 Coefficient	标准差 Standard deviation
年龄 Age	-0.009	0.013	0.010	0.013
性别 Gender	0.605**	0.307	0.475	0.303
教育程度 Education level	0.031	0.161	0.156	0.164
家庭总收入 Total household income	0.084*	0.044	0.048	0.043
家庭人口数 Family population	-0.006	0.053	0.019	0.055
政府官员 Government officials	-0.407	0.253	-0.213	0.249
耕种面积 Cultivated area	0.084***	0.014	0.077***	0.013
耕地破碎度 Fragmentation of cultivated land	-1.461**	0.621	-0.702	0.477
土壤肥沃程度 Soil fertility	0.175	0.172	0.073	0.157
家离耕地距离 Distance from home to cultivated land	0.033	0.051	0.059	0.057
信息获取渠道 Information acquisition channels	0.824***	0.171	0.945***	0.141
家离农技距离 Distance from home to agricultural technology	-0.162***	0.052	-0.172***	0.057
常数项 Constant term	-4.236***	1.640	-5.839***	1.447
Log likelihood	334.076 61		461.625 31	
LR test of indep. eqns.	12.59***		11.68***	

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

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

分别实现 531.60 元/hm² 和 492.15 元/hm² 的增收^[15]。此外,也有研究结果发现,测土配方施肥技术不仅具有良好的经济效应,还有生态效应,表现为测土配方施肥技术采用率每增加 1%,化肥施用量降低 0.09%^[6]。

值得提出的是,测土配方施肥技术被证实具有良好的经济和生态效应,而实际采纳率却很低^[4-7],其原因究竟是什么?一方面,本研究认为测土配方施肥技术的实际采纳效应可能偏高。结合实地调研,农户实际耕作时采纳农业技术往往呈现两个极端,基本不采纳或采纳多种农业技术,换言之,仅考虑

单种技术进行估计,其行为效应估计结果往往偏高,这也为后续研究提供了一个方向。此外,采纳测土配方施肥技术的农户往往集中在规模经营的农户,这类农户的收入来源更大比重来源于农业,也更有能力和动机来采纳测土配方施肥技术,往往会采纳多种农业技术。另一方面,测土配方施肥技术的宣传和配套服务还有待加强。类似研究也指出,农户对测土配方施肥技术还停留在简单的认知水平,对技术的采纳行为效应还有待进一步宣传^[5,14]。此外,测土配方施肥包含“测土、配方、配肥、供应、施肥指导”5 个核心环节,技术的采纳离不开农业技术推广部门的支持^[2]。

表 3 农户采纳技术效应模型的估计结果

Table 3 Estimation results of the effect of farmers' adoption behaviors

变量 Variable	经济效应模型 Economic effect model				生态效应模型 Ecological effect model			
	采纳农户		未采纳农户		采纳农户		未采纳农户	
	系数	标准差	系数	标准差	系数	标准差	系数	标准差
年龄 Age	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001
性别 Gender	-0.002	0.015	0.006	0.019	0.022*	0.012	-0.011	0.016
教育程度 Education level	0.030***	0.009	0.016	0.012	0.000	0.007	0.006	0.010
家庭总收入 Total household income	0.001	0.001	0.002	0.003	0.000	0.000	-0.002	0.003
家庭人口数 Family population	-0.004	0.003	-0.009***	0.004	0.002	0.002	0.006*	0.003
政府官员 Government officials	0.045***	0.012	0.088***	0.020	0.004	0.010	0.000	0.017
耕种面积 Cultivated area	-0.000	0.000	-0.003**	0.001	-0.000	0.000	-0.000	0.001
耕地破碎度 Fragmentation of cultivated land	-0.041	0.038	-0.034***	0.009	0.117***	0.030	0.028***	0.008
土壤肥沃程度 Soil fertility	0.033***	0.009	0.029***	0.009	-0.025***	0.007	-0.052***	0.007
家离耕地距离 Distance from home to cultivated land	-0.010***	0.003	-0.015***	0.003	0.003	0.003	0.011***	0.003
常数项 Constant term	7.048***	0.066	6.958***	0.073	4.004***	0.053	4.267***	0.060
$\ln\sigma_{\mu_1}$	-2.518***	0.052			-2.761***	0.051		
$\ln\sigma_{\mu_2}$			-1.848***	0.036			-2.042***	0.036
ρ_{μ_1}	-0.491***	0.182			-0.121	0.249		
ρ_{μ_2}			-0.759***	0.114			0.839***	0.092

表 4 农户采纳行为的平均处理效应

Table 4 Average treatment effect of farmers' adoption behavior

效应类别 Effect category	采纳情形 Adoption situation	决策阶段 Decision stage		处理组的平均 处理效应 ATT	控制组的平均 处理效应 ATU	变化率/% Change rate
		采纳 Adopted	未采纳 Unadopted			
		经济效应 Economic effect	已采纳户			
	未采纳户	7.191	7.062		0.129***	1.827
生态效应 Ecological effect	已采纳户	4.011	4.097	-0.087***		2.144
	未采纳户	4.142	4.184		-0.042***	1.004

4 结论与政策建议

本研究利用鄱阳湖平原6个产粮大县607份农户调查数据,以测土配方施肥技术为例,运用ESR模型探讨了农户绿色生产技术采纳行为及其行为效应。主要研究结论为:1)农户测土配方施肥技术采纳行为主要受到性别、家庭总收入、耕种面积、耕地破碎度、信息获取渠道和家离农技距离等变量的影响。男性、家庭收入越高、耕种面积越大,耕地破碎度越小、信息获取渠道越多以及家离农技机构距离越近的农户,更可能采纳测土配方施肥技术。2)采纳测土配方施肥技术的经济效应和生态效应存在禀赋差异,土壤肥沃程度越好、家离耕地距离越近、亲朋好友中有担任政府职务的、教育程度越好、家庭人口数越少、耕种面积越小以及耕地破碎度越小的农户,其水稻单位面积产值更高;耕地破碎度越小、土壤肥沃程度越好、女性、家庭人口数越少以及家离耕地距离越近的农户,其施用化肥量越小。3)总体而言,测土配方施肥技术的采纳有助于农户实现水稻的增产和化肥减量化施用,表现为在反事实假设情景下,实际采纳该技术的农户若未采纳,其水稻单位面积产值下降、化肥施用量增加;实际未采纳该技术的农户若采纳,其水稻单位面积产值升高、化肥施用量减少。

基于以上结论,得到如下政策建议:1)降低耕地破碎度,实现适度规模经营。大力推动土地整治工程和高标准基本农田建设,通过土地平整、土地调整等方式,以村为单位实现土地的集中连片,有效地降低耕地破碎度;稳步推进农地“三权分置”制度,培育农地流转市场,构建以适度规模经营农户为主体的现代农业经营体系,鼓励农户开展适度规模经营。2)加强技术的宣传推广,构建技术培训体系。由农业技术推广部门牵头,大力开展测土配方施肥技术的宣传与教育活动,提高农户对测土配方施肥技术的认知水平;以地方农技部门为主导,整合农技科研机构、高校和农资企业等组织机构的力量,构建多渠道、多形式和多层次的技术培训体系和培训网络。3)显化技术效益,发挥技术的示范带动效果。从种植规模、生产基础和示范带动效果等方面,筛选一些农户或新型农业经营主体来开展技术的推广示范,显化技术的效益,发挥技术效益的示范带动作用,让广大农户更真切地感受到测土配方施肥技术所带来的成效,提高农户采纳该技术的积极性。

参考文献 References

- [1] 韩长赋. 毫不动摇地加快转变农业发展方式[J]. 求是, 2010(10): 29-32
Han C F. Speed up the transformation of agricultural development model without a shake[J]. *QiuShi*, 2010(10): 29-32 (in Chinese)
- [2] 张福锁. 测土配方施肥技术要览[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2006
Zhang F S. *The Essentials of Soil Testing and Formula Fertilization Technology* [M]. Beijing: China Agricultural University Press (in Chinese)
- [3] Jordan-meille L, Rubæk G H, Ehlert P A I, Genot V, Hofman G, Goulding K, Recknagel J, Provolo G, Barraclough P. An overview of fertilizer-P recommendations in Europe: Soil testing, calibration and fertilizer recommendations [J]. *Soil Use and Management*, 2012, 28(4): 419-435
- [4] Liu Y, Ruiz-menjivar J, Zhang L, Zhang J B, Swisher M E. Technical training and rice farmers' adoption of low-carbon management practices: The case of soil testing and formulated fertilization technologies in Hubei, China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 226, 454-462
- [5] 王思琪, 陈美球, 彭欣欣, 刘桃菊. 农户分化对环境友好型技术采纳影响的实证研究: 基于554户农户对测土配方施肥技术应用的调研[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(6): 187-196
Wang S Q, Chen M Q, Peng X X, Liu T J. Empirical study on the influence of rural-household differentiation on their willingness to adopt environment-friendly technology: Based on the investigation of 554 peasant households' application of soil testing and formula fertilization technology[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2018, 23(6): 187-196 (in Chinese)
- [6] 罗小娟, 冯淑怡, 石晓平, 曲福田. 太湖流域农户环境友好型技术采纳行为及其环境和经济效应评价: 以测土配方施肥技术为例[J]. 自然资源学报, 2013, 28(11): 1891-1902
Luo X J, Feng S Y, Shi X P, Qu F T. Farm households' adoption behavior of environment friendly technology and the evaluation of their environmental and economic effects in Taihu basin: Taking formula fertilization by soil testing technology as an example[J]. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(11): 1891-1902 (in Chinese)
- [7] 冯晓龙, 仇焕广, 刘明月. 不同规模视角下产出风险对农户技术采用的影响: 以苹果种植户测土配方施肥技术为例[J]. 农业技术经济, 2018(11): 120-131
Feng X L, Qiu H G, Liu M Y. Technology adoption of farmers in different farm sizes under production risk: A case study of apple farmers' formula fertilization technology by soil testing[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2018(11): 120-131 (in Chinese)
- [8] 余威震, 罗小锋, 黄炎忠, 唐林. 服务供给对稻农测土配方施肥技术采纳行为的影响研究[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(2): 484-492
Yu W Z, Luo X F, Huang Y Z, Tang L. Study on the influence of service supply on the adoption of rice farmers' soil

- testing formula fertilization technology [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2021, 30(2): 484-492 (in Chinese)
- [9] 王晓飞. 农户测土配方施肥技术采纳意愿的影响因素及路径[J]. 湖南农业大学学报:社会科学版, 2020, 21(1): 1-7
Wang X F. Influencing factors and paths of farmers' willingness to adopt soil testing and formulated fertilization technology[J]. *Journal of Hunan Agricultural University: Social Sciences*, 2020, 21(1): 1-7 (in Chinese)
- [10] 夏雯雯, 杜志雄, 郜亮亮. 土地经营规模对测土配方施肥技术应用的影响研究:基于家庭农场监测数据的观察[J]. 中国土地科学, 2019, 33(11): 70-78
Xia W W, Du Z X, Gao L L. Study on the impact of land operational scale on the application of formula fertilization technology by soil testing: Based on the observation from family farm monitoring data[J]. *China Land Science*, 2019, 33(11): 70-78 (in Chinese)
- [11] 岳梦, 张露, 张俊飏. 土地细碎化与农户环境友好型技术采纳决策:以测土配方施肥技术为例[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(8): 1957-1968
Yue M, Zhang L, Zhang J B. Land fragmentation and farmers' Environmental-Friendly technology adoption decision: Taking soil measurement and fertilization technology as an example[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2021, 30(8): 1957-1968 (in Chinese)
- [12] 冯燕, 吴金芳. 合作社组织、种植规模与农户测土配方施肥技术采纳行为:基于太湖、巢湖流域水稻种植户的调查[J]. 南京工业大学学报:社会科学版, 2018, 17(6): 28-37
Feng Y, Wu J F. Cooperative organization, planting scale and farmers' soil testing and formula adoption behavior: A survey of rice growers based on Taihu lake and Chaohu lake basin[J]. *Journal of Nanjing University of Technology: Social Science Edition*, 2018, 17(6): 28-37 (in Chinese)
- [13] 郑沃林. 土地产权稳定能促进农户绿色生产行为吗:以广东省确权颁证与农户采纳测土配方施肥技术为例证[J]. 西部论坛, 2020, 30(3): 51-61
Zheng W L. Can land property rights stability boost farmers' green production behavior: Take Guangdong's land titling and formula fertilization by soil testing technology as an example [J]. *West Forum*, 2020, 30(3): 51-61 (in Chinese)
- [14] 彭欣欣, 陈美球, 王思琪, 刘桃菊. 基于 TAM 的农户环境友好型技术采纳意愿的影响分析:以测土配方施肥技术为例[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(5): 209-218
Peng X X, Chen M Q, Wang S Q, Liu T J. Impact analysis of farmers' willingness to adopt environmentally friendly technology based on TAM: A case of soil testing and formula fertilization technology [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 42(5): 209-218 (in Chinese)
- [15] 张成玉, 肖海峰. 我国测土配方施肥技术增收节支效果研究:基于江苏、吉林两省的实证分析[J]. 农业技术经济, 2009(3): 44-51
Zhang C Y, Xiao H F. Study on the effect of increasing income and saving cost of soil testing and formula fertilization technology in China: Based on the empirical analysis of Jiangsu and Jilin [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2009(3): 44-51 (in Chinese)
- [16] 张聪颖, 冯晓龙, 霍学喜. 我国苹果主产区测土配方施肥技术实施效果评价:基于倾向得分匹配法的实证分析[J]. 农林经济管理学报, 2017, 16(3): 343-350
Zhang C Y, Feng X L, Huo X X. Effect evaluation of soil testing and formulated fertilization technology in major apple production areas: An empirical analysis with propensity score matching methods [J]. *Journal of Agro-Forestry Economics and Management*, 2017, 16(3): 343-350 (in Chinese)
- [17] 李莎莎, 朱一鸣. 测土配方施肥技术推广对农户过量施肥风险认知影响分析[J]. 农林经济管理学报, 2017, 16(1): 65-73
Li S S, Zhu Y M. Impact of soil testing formula fertilization technology extension on farmers' cognition of excessive fertilization [J]. *Journal of Agro-Forestry Economics Management*, 2017, 16(1): 65-73 (in Chinese)
- [18] 邝佛缘, 陈美球, 李志朋, 彭欣欣, 刘静, 刘洋洋. 农户生态环境认知与保护行为的差异分析:以农药化肥使用为例[J]. 水土保持研究, 2018, 25(1): 321-326
Kuang F Y, Chen M Q, Li Z P, Peng X X, Liu J, Liu Y Y. Analysis on the difference between farmers' ecological environment cognition and protective behavior based on using pesticide and chemical fertilizer [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2018, 25(1): 321-326 (in Chinese)
- [19] 高瑛, 王娜, 李向菲, 王咏红. 农户生态友好型农田土壤管理技术采纳决策分析:以山东省为例[J]. 农业经济问题, 2017, 38(1): 38-47, 110-111
Gao Y, Wang N, Li X F, Wang Y H. Adoption of eco-friendly soil management practices by smallholder farmers in Shandong of China [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2017, 38(1): 38-47, 110-111 (in Chinese)
- [20] 黄婧轩, 王立国. 乡村旅游地农户亲环境行为采纳意愿及影响因素分析:以测土配方施肥为例[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(6): 60-68
Huang J X, Wang L G. Analysis of farmers' willingness to adopt pro-environmental behaviors and influencing factors in rural tourism areas: Taking soil testing and formula fertilization as an example [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 42(6): 60-68 (in Chinese)
- [21] 纪月清, 熊晶白, 刘华. 土地细碎化与农村劳动力转移研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(8): 105-115
Ji Y Q, Xiong B B, Liu H. Land fragmentation and the transfer of rural labor [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(8): 105-115 (in Chinese)
- [22] Maddala G S. *Limited Dependent and Qualitative Variables in Econometrics* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1983
- [23] Lokshin M, Sajaia Z. Maximum likelihood estimation of endogenous switching regression models [J]. *The Stata Journal*, 2004, 4(3): 282-289
- [24] Ma W L, Abdulai A. Does cooperative membership improve household welfare: Evidence from apple farmers in China [J]. *Food Policy*, 2016, 58, 94-102