

## 绿色防控技术采纳行为的影响因素和生产绩效研究——基于四川省水稻种植户调查数据的实证分析

熊鹰, 何鹏

引用本文:

熊鹰, 何鹏. 绿色防控技术采纳行为的影响因素和生产绩效研究——基于四川省水稻种植户调查数据的实证分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(1): 136–146.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190673>

---

### 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

#### 技术感知、环境认知与农业清洁生产技术推广意愿

Technical perception, environmental awareness and adoption willingness of agricultural cleaner production technology  
中国生态农业学报. 2018, 26(6): 926–936 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.171051>

#### 四川省环境友好型农业生产效率测算及影响因素研究——基于超效率DEA模型和空间面板STIRPAT模型

Measurements and influencing factors of the efficiency of environmentally-friendly agricultural production in Sichuan Province based on SE-DEA and spatial panel STIRPAT models  
中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(7): 1134–1146 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.180857>

#### 长江经济带稻田耕作制度绿色发展探讨

Green development of paddy field farming systems in the Yangtze River Economic Belt  
中国生态农业学报(中英文). 2020, 28(1): 1–7 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190500>

#### 绿色发展背景下农户施肥及其决策行为研究进展

Advances in research on fertilization and decision-making behavior of farmers in the context of green development  
中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(8): 1284–1292 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.180976>

#### 不同代际传递方式对稻农有机肥施用意愿的影响

The influence of intergenerational transmission of farming practices on organic fertilizer utilization willingness of rice producers  
中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(4): 644–653 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.180723>

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.190673

熊鹰, 何鹏. 绿色防控技术采纳行为的影响因素和生产绩效研究——基于四川省水稻种植户调查数据的实证分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(1): 136-146

XIONG Y, HE P. Impact factors and production performance of adoption of green control technology: An empirical analysis based on the survey data of rice farmers in Sichuan Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(1): 136-146

# 绿色防控技术采纳行为的影响因素 和生产绩效研究\*

——基于四川省水稻种植户调查数据的实证分析

熊鹰<sup>1,2</sup>, 何鹏<sup>1</sup>

(1. 四川省农业科学院农业信息与农村经济研究所 成都 610066; 2. 四川省农业科学院农村发展研究中心 成都 610066)

**摘要:** 绿色防控技术的应用推广顺应了当前农业绿色发展的迫切需要, 但现有针对农户绿色防控技术采纳行为的研究在影响因素的综合分析和生产绩效的分析方法上存在不足。本文以四川省水稻种植户为例, 对采纳绿色防控技术的影响因素和生产绩效进行定量分析, 旨在为促进四川省农业绿色防控技术的有效推广提供政策参考, 丰富绿色防控技术应用推广的理论研究。本文基于四川省水稻种植户调查数据, 采用 Logit 模型分析影响农户绿色防控技术采纳行为的主要因素并估算绩效倾向得分, 运用 DEA-PSM 模型分析农户采纳绿色防控技术对生产绩效的影响效应。结果表明: 性别为男性、受教育程度越高、种植面积越大、加入合作社、距离乡镇和县城越近、参加过绿色防控技术培训、采纳绿色防控技术生产的安全农产品能够获得市场溢价、认为农业生态环境质量不好、愿意减施农药的农户, 采纳绿色防控技术的可能性越大。调查农户的水稻生产绩效介于 0.103~1.000, 绩效平均值为 0.471, 在不改变技术水平以及投入规模的情况下, 仍有 52.9% 的绩效提升空间; 大部分农户的生产绩效处于 0.4~0.6, 农户生产效率普遍不高。而从调查区域来看, 邛崃、宣汉、泸县的水稻生产绩效均值分别为 0.558、0.379 和 0.467, 区域间生产绩效存在显著差异。采用最近相邻匹配法、半径匹配法和核匹配法, 测算绿色防控技术采纳对水稻生产绩效的影响效应, 结果表明是否采纳绿色防控技术的生产绩效差异较小, 且绿色防控技术采纳对水稻生产绩效的影响也不显著。因此, 营造农户绿色防控技术采纳的外部环境、激发农户绿色防控技术采纳的内生动力, 发挥绿色防控技术的节本增收效应, 是推动该技术应用推广的关键。

**关键词:** 农作物绿色防控技术; 农户采纳; 生产绩效; Logit 模型; DEA-PSM 模型

中图分类号: F323.3

开放科学码(资源服务)标识码(OSID):



## Impact factors and production performance of adoption of green control technology: An empirical analysis based on the survey data of rice farmers in Sichuan Province\*

XIONG Ying<sup>1,2</sup>, HE Peng<sup>1</sup>

(1. Agricultural Information and Rural Economy Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China;  
2. Center for Rural Development Research, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China)

\* 国家自然科学基金项目(71603178)、四川省农业科学院青年领军人才研究基金(2019LJRC023)和成都市软科学研究项目(2017-RK00-00024-ZF)资助熊鹰, 研究方向为农业经济与生态经济。E-mail: 54540677@qq.com

收稿日期: 2019-09-17 接受日期: 2019-10-05

\* This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (71603178), the Research Fund for Leading Young Talents of Sichuan Academy of Agricultural Sciences (2019LJRC023) and the Soft Science Research Project of Chengdu (2017-RK00-00024-ZF). Corresponding author, XIONG Ying, E-mail: 54540677@qq.com

Received Sep. 17, 2019; accepted Oct. 5, 2019

**Abstract:** The application and promotion of crop green control technology addresses the urgent need for green agricultural development. However, existing researches on the adoption of green control technologies suffer from a lack of comprehensive analysis of the influencing factors and methods of production performance. A quantitative analysis of impact factors and production performance of the adoption of green control technology by rice farmers in Sichuan Province could provide policy directions to promote green control technologies and enrich our understanding of their application and promotion. Using data from a survey of rice farmers in Sichuan Province, a Logit model identified the main factors affecting adoption of green control technologies and estimated the propensity scores of production performance. DEA-PSM model analyzed the effects on production performance of the adoption of green control technology by farmers. The results showed that the male gender, higher education levels, greater planting area, cooperative membership, proximity to urban areas, green control technology training, ability to obtain a market premium for safe agricultural products produced by green control technology, consideration of the weak quality of agricultural ecological environments, and willingness to reduce pesticide use were associated with a greater likelihood of adopting green control technology. Rice production performance of the surveyed farmers was 0.103–1.000, and the average performance was 0.471. Without changing the technological level and input scale, there was still room for a 52.9% improvement in performance. Production performance of most farmers was between 0.4 and 0.6, and production efficiency was generally not high. The average rice production performance in Qionglai, Xuanhan, and Luxian counties was 0.558, 0.379, and 0.467 respectively, indicating significant differences among regions. The nearest-neighbor, radius, and kernel matching methods were applied to measure the effects of adoption of green control technology on rice production. The results showed that whether farmers adopting green control technology had little difference on production performance and the effect of farmer adoption of green control technology on rice production performance was not significant. Application and promotion of green control technology will therefore require the creation of a supportive external environment that empowers adoption of green control technology and focuses on reducing costs and increasing incomes.

**Keywords:** Crop green control technology; Farmer adoption; Production performance; Logit model; DEA-PSM model

我国是农业大国,每年会产生巨大的农药消费需求,农药施用虽然是当前防治农作物病虫害的主要手段,但长期施用农药也引起了一系列环境污染及食品安全问题<sup>[1-2]</sup>。在此背景下,中华人民共和国农业农村部于 2015 年 3 月在全国启动了农药零增长行动,加快绿色防控技术推广,力争到 2020 年全国主要农作物绿色防控总体覆盖率达 60%以上,优势农作物产区绿色防控技术普及率达 80%以上。农户作为农业技术扩散的终端需求者与最终使用者,是绿色防控技术得以顺利应用的关键。虽然绿色防控技术的环境社会效益显著,但农户作为“理性经济人”,在作出绿色防控技术采纳决策时,不可避免地要考虑成本、收益、风险等因素。如果采纳绿色防控技术不能使农户降低生产成本或提升农作物产量,就会影响该技术的应用推广<sup>[3]</sup>。那么,哪些因素能够对农户绿色防控技术采纳行为产生影响?农户采纳绿色防控技术的生产绩效如何?对于上述问题的回答不仅关系到对农户绿色防控技术采纳行为的有效激励,而且决定着绿色防控技术应用推广的可持续性。因此,有必要对农户绿色防控技术采纳行为的影响因素及生产绩效展开深入研究。

在影响农户绿色防控技术采纳行为的因素中,

农户自身受教育程度决定着知识水平,从而对其绿色防控技术的采纳产生影响<sup>[4-5]</sup>。一些学者的研究表明,种植规模在农户绿色防控技术采纳中起着显著作用<sup>[6-7]</sup>,但对于租入耕地的农户而言,种植规模的影响并不显著,出于短期利益的考虑,往往不愿意投入更多成本而采纳绿色防控技术<sup>[8]</sup>。农业信息的获取和外部环境因素的影响也受到学者们的关注<sup>[9]</sup>,Pontius 等<sup>[10]</sup>、赵连阁等<sup>[11]</sup>指出,农民田间学校通过开展实验性的集体学习,增强了农户对绿色防控技术的认知,对促进农户绿色防控技术采纳具有积极作用。并且,在相互合作方式下,农户技术采纳的意愿更强<sup>[12]</sup>。耿宇宁等<sup>[13]</sup>认为农户绿色防控技术采纳行为还受到经济激励和社会网络的显著影响。另有一些研究表明,农户风险态度、环境关注度、心理因素等主观因素,也会对农户绿色防控技术采纳产生影响<sup>[14-16]</sup>。同时,由于绿色防控技术具有正的外部性及效益缓释性,若缺乏政策激励,则很难达到社会最优水平,因此还需要加强政策激励有效地促进该技术的应用<sup>[17]</sup>。对采纳绿色防控技术进行补贴已成为发达国家普遍采用的政策手段,但是与农产品价格、投入要素相关的一些补贴政策可能并不利于绿色防控技术的应用推广,例如对粮食价格的补贴可能引起农户过量施用农药和化肥,进而导致土

壤和水资源污染问题更为严重<sup>[18-19]</sup>。因此,政策完善策略之一是将补贴政策与环保政策相结合,对采取一定的环保技术和措施的农户提供补贴和扶持<sup>[20-21]</sup>。应瑞瑶等<sup>[22]</sup>指出农业技术培训对农户化学投入品使用行为具有重要的影响,并且农业技术培训具有一定的技术扩散作用,因此政府部门应加大对绿色防控技术的培训指导<sup>[23]</sup>。

绿色防控技术的应用效果也倍受关注,尽管绿色防控技术产生的环境效应已成为共识<sup>[24-25]</sup>,但在绿色防控技术对农业生产绩效影响的研究上还存在分歧。Cuyno 等<sup>[26]</sup>将菲律宾洋葱(*Allium cepa* L.)种植户作为研究对象,通过调查发现,在采纳绿色防控技术之后,洋葱产量有了显著的提升。但 Fernandez-Cornejo 等<sup>[27]</sup>针对美国西红柿(*Solanum lycopersicum* Mill.)种植户的调查后发现,采纳绿色防控技术并没有使西红柿产量出现明显增长。李丹等<sup>[28]</sup>对贵州省水稻(*Oryza sativa* L.)生产中实施绿色防控的评估结果显示,相对不防治区和常规区而言,水稻绿色防控区的增产率分别达 76.07%和 36.06%。赵连阁等<sup>[11]</sup>基于对安徽晚稻种植户的调查,发现化学防治型绿色防控技术和生物防治型绿色防控技术显著提高了水稻产量。耿宇宁等<sup>[29]</sup>基于对陕西省猕猴桃(*Actinidia chinensis* Planch)农户的调查,发现不同绿色防控技术手段的增产效果差异较大,应用人工释放天敌技术、平衡施肥技术、果园生草技术和果实套袋技术具有显著的增产效果,但应用杀虫灯技术和生物农药技术的增产效果并不明显。

综上,以往研究已经奠定了良好的研究基础,既有从农户生产视角的微观分析,又有从政府政策视角的宏观分析,但也存在较大的改进空间。首先,就研究对象而言,现有研究分别对农户和政府进行考察,缺乏将生产因素和政策因素纳入到同一分析框架。其次,就研究方法而言,目前对农户采纳绿色防控技术的生产绩效分析方法分为两类:一是假设影响农户采纳行为的其他因素不变,通过实验数据比较农户技术采纳前后的生产绩效指标,但由于难以保证其他因素不变,使得生产绩效的变化并不单一取决于绿色防控技术采纳的影响;二是假设采纳者与非采纳者的其他条件相同,仅采纳行为有差异,对采纳者和非采纳者的生产绩效指标进行比较。但问题是不仅农户的资源禀赋各不相同,而且农户的采纳行为与生产绩效之间也互为影响,生产绩效越高的农户越可能

进行技术采纳,而采纳技术后农户的生产绩效也可能更高,因此现有方法不能有效衡量农户采纳绿色防控技术的生产绩效。

本文以四川省水稻种植户作为调查对象,一方面四川地处亚热带地区,雨量充沛、气候温和,是我国 13 个粮食主产省之一,水稻种植面积常年稳定在 200 万  $\text{hm}^2$  左右,但水稻病虫害发生比较严重,农药使用量较多;另一方面,在可持续发展和绿色理念的指导下,近年来四川省加快水稻病虫害防控的发展,全面推广绿色防控技术,对于研究农户绿色防控技术采纳行为和生产绩效具有较好的代表性。因此,本文基于四川省水稻种植户调查数据,采用 Logit 模型分析影响农户绿色防控技术采纳行为的主要因素并估算绩效倾向得分,运用 DEA-PSM 模型分析农户采纳绿色防控技术对生产绩效的影响效应,不仅为促进四川省绿色防控技术的有效推广提供政策参考,也为其他地区推进绿色防控提供借鉴。

## 1 研究方法与数据来源

### 1.1 研究方法

#### 1.1.1 Logit 回归分析法

影响农户绿色防控技术采纳行为的因素是多方面的,同时被解释变量农户绿色防控技术采纳行为分为采纳或不采纳两种情况,这是典型的二元选择变量,可以采用 Logit 模型进行分析,模型具体形式为:

$$p_i = F(Z_i) = F(\alpha + \beta X_i + \mu) = \frac{1}{1 + e^{-Z_i}} \quad (1)$$

式中:  $Z_i = \alpha + \beta X_i + \mu$ 。(1)式的估计式为:

$$\ln \frac{p_i}{1 - p_i} = Z_i = \alpha + \beta X_i + \mu \quad (2)$$

式中:  $p_i$ 表示农户是否采纳绿色防控技术的概率;  $Z_i$ 指农户绿色防控技术采纳行为,若农户采纳行为发生,  $Z_i=1$ , 否则  $Z_i=0$ ; 解释变量  $X_i$ 是影响农户绿色防控技术采纳行为的因素,  $i$ 为解释变量的个数;  $\alpha$ 、 $\beta$ 为待估参数,分别为截距项和解释变量的回归系数;  $\mu$ 为随机误差项。

#### 1.1.2 DEA-PSM 分析法

数据包络分析法(data envelopment analysis, DEA)是用于非参数相对效率评估的常用方法,该方法通过测算决策单元与最佳前沿面的距离得到效率值。根据规模报酬是否可变,可将 DEA 模型分为规模报酬不变的 CCR 模型和规模报酬可变的 BCC 模

型。在进行效率测算时, 该方法不需要提前设定生产函数或各指标的权重, 因此应用范围比较广泛, 也常用于测算农业生产效率<sup>[30]</sup>。由于农业生产投入量相对可控, 产出的规模报酬可变, 因此本文对农户生产绩效的测算适合采用投入导向型的 BCC 模型, 模型表达式如下:

$$\begin{aligned} & \text{Min } \theta^j \\ & \theta, \lambda \\ & \text{s.t. } \begin{cases} \sum_{j=1}^{502} \lambda_j x_{m,j} \leq \theta^j x_{m,j} & m=1,2,3 \\ \sum_{j=1}^{502} \lambda_j x_{n,j} \geq y_{n,j} & n=1 \\ \lambda_j \geq 0 & j=1,2,\dots,502 \\ \sum_{j=1}^{502} \lambda_j = 1 \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

式中:  $\theta^j$  反映第  $j$  个农户的生产绩效值;  $x_{m,j}$ 、 $y_{n,j}$  分别反映第  $j$  个农户的生产投入量与产出量, 其中  $m$ 、 $n$  分别为投入变量和产出变量个数;  $\lambda_j$  表示第  $m$  项投入和第  $n$  项产出的加权系数;  $\theta^j$  为生产绩效值, 取值为  $0 \sim 1$ ,  $\theta^j$  值越接近于 1, 表明生产绩效越高, 当  $\theta^j=1$  时表示生产完全有效。此外,  $x \geq 0$ ,  $y \geq 0$ , 且  $m=3, n=1$ 。

为了分析农户采纳绿色防控技术对生产绩效的影响效应, 进一步采用倾向得分匹配法(propensity score matching, PSM), 衡量农户采纳绿色防控技术的生产绩效与假设采纳但实际未采纳的生产绩效之差。假定农户采纳绿色防控技术的生产绩效为  $Y_j^1$ , 未采纳绿色防控技术的生产绩效为  $Y_j^0$ 。  $T_j$  为虚拟变量, 当  $T_j=1$  时, 表示农户采纳绿色防控技术, 当  $T_j=0$  时, 表示农户未采纳绿色防控技术, 技术采纳对生产绩效产生的影响(ATT)可表示为:

$$\text{ATT} = E(Y_j^1 | T_j = 1) - E(Y_j^0 | T_j = 1) = E(Y_j^1 - Y_j^0 | T_j = 1) \quad (4)$$

由式(4)可知, 分析农户采纳绿色防控技术对生产绩效所起到的实际影响, 必须首先评估如果农户没有采纳时的生产绩效, 但现实中却无法得知农户未采纳绿色防控技术的结果, 因为单个农户在某个固定时点上只能呈现采纳和不采纳当中的一种状态, 这种无法进行观测的结果被称为反事实结果<sup>[31]</sup>。针对单个农户的考察, 或在采纳绿色防控技术下获得生产绩效  $Y_j^1$ , 或在未采纳绿色防控技术下获得生产绩效  $Y_j^0$ , 两者之差(ATD)可表示为:

$$\begin{aligned} \text{ATD} &= E(Y_j^1 | T_j = 1) - E(Y_j^0 | T_j = 0) \\ &= [E(Y_j^1 | T_j = 1) - E(Y_j^0 | T_j = 1)] + \\ & \quad [E(Y_j^0 | T_j = 1) - E(Y_j^0 | T_j = 0)] \\ &= \text{ATT} + E(Y_j^0 | T_j = 1) - E(Y_j^0 | T_j = 0) \end{aligned} \quad (5)$$

传统最小二乘法假设 ATT 与 ATD 相等, 但该假设仅限于农户绿色防控技术采纳是随机的或是数据完全来自于社会试验时才能满足。然而, 该假设在本研究中并不成立, 农户的采纳行为并不是随机发生的, 而是根据自身条件和资源禀赋决定是否采纳绿色防控技术, 因此农户是否采纳绿色防控技术并不是随机均衡分布的, 也即采纳绿色防控技术的农户与未采纳绿色防控技术的农户本来就有所不同。当是否采纳绿色防控技术不是随机发生的行为时,  $E(Y_j^1 | T_j = 0)$  并不等同于  $E(Y_j^0 | T_j = 1)$ 。例如, 如果农户接受过良好的教育, 或是种植规模较大, 则倾向于采纳绿色防控技术, 那么两组农户之间存在的生产绩效差异可能是由于受教育程度、种植规模以及绿色防控技术采纳的影响。在不控制样本选择效果的情况下, 就会导致估计存在偏差。PSM 方法可以避免绿色防控技术采纳效应中农户“自选择”引起的估计偏差, 在无法观测到结果  $E(Y_j^0 | T_j = 1)$  的情况下, 为每个采纳绿色防控技术的农户匹配 1 个具有类似特征的未采纳绿色防控技术的农户, 构造 1 个统计比较组, 本质上 PSM 方法创建了 1 个参与者和非参与者随机分配的实验<sup>[32]</sup>。通过模拟自然实验的状态, 得到农户采纳绿色防控技术对生产绩效影响的一致估计结果。倾向得分匹配法是通过倾向匹配函数完成的, 本文将运用比较常用的最近相邻匹配、半径匹配和核匹配这 3 种方法进行分析。

### 1.2 数据来源

为获取四川省水稻种植户绿色防控技术采纳情况, 本研究综合地理位置和经济发展水平因素, 选取了成都平原的邛崃市、川东北丘陵区的宣汉县和川南丘陵区的泸县 3 个水稻生产大县(市)进行实地调研。抽样过程具体为: 首先结合农业产业结构和距离县中心的考虑, 以典型抽样法在 3 个市县中各选取 3 个乡镇, 每个乡镇中再随机选取 3 个村, 每个村再随机选取 20 个农户样本。综合已有研究的变量选择及四川省水稻种植户的生产情况, 从农户绿色防控技术采纳行为、个人和家庭特征、技术获取便利性、政府政策、优质优价获取和农户生态环境认知等方面展开调查, 采取入户面谈和问卷调查

形式,共发放问卷 540 份,剔除漏答关键信息、未完成及出现错误信息的问卷,回收有效问卷 502 份,问卷有效率为 92.96%。各变量定义及特征值如表 1 所示。

表 1 水稻种植户绿色防控技术采纳情况调查的变量解释及特征值  
Table 1 Variables explanation and characteristic values of rice farmer adoption survey of green control technology

变量 Variable	变量解释 Explanation of variable	平均值 Mean	标准差 Standard deviation
被解释变量 Dependent variable	绿色防控技术 Green control technology	1=采纳; 0=未采纳 1 = adopt; 0 = not adopt	0.33 0.47
解释变量 Independent variable	个人特征 Personal characteristics		
	性别 Gender	1=男性; 0=女性 1 = male; 0 = female	0.67 0.47
	年龄 Age	周岁 Year of life	47.15 9.82
	受教育程度 Education	1=文盲; 2=小学; 3=初中; 4=高中或中专; 5=大专及以上学历 1 = illiterate; 2 = primary school; 3 = middle school; 4 = high school or secondary school; 5 = college or above	2.73 0.96
	家庭特征 Family characteristics		
	种植面积 Planting area	公顷 Hectare	0.47 1.48
	农业劳动力 Agricultural labor	人 Person	3.91 1.40
	加入合作社 Join cooperatives	1=是; 0=否 1 = yes; 0 = no	0.14 0.34
	技术获取便利性 Convenience of access to technology		
	与乡镇距离 Distance to town	km	2.86 1.06
	与县城距离 Distance to county	km	18.18 6.11
	政府政策 Governmental policy		
	绿色防控技术培训 Green control technology training	1=是; 0=否 1 = yes; 0 = no	0.30 0.46
	政府宣传 Governmental propaganda	1=有; 0=无 1 = yes; 0 = no	0.54 0.50
	政府补贴 Governmental subsidy	1=有; 0=无 1 = yes; 0 = no	0.28 0.45
	优质优价获取 Obtain high quality and high price		
	农产品优质优价获取 Obtain high quality and high price of agricultural products	1=是; 0=否 1 = yes; 0 = no	0.22 0.41
	生态环境认知 Cognition of ecological environment		
	农业生态环境质量 Agricultural environmental quality	1=不好; 2=一般; 3=好 1 = weak; 2 = general; 3 = good	1.85 0.63
	减施农药态度 Attitude to pesticides reduction	1=愿意; 0=不愿意 1 = willing; 0 = unwilling	0.75 0.44

农业生产效率主要受自然条件和社会条件影响,自然条件包括土壤质量、光照、气候等,社会条件包括种植规模、生产技术、生产资料投入等。选取水稻生产的主要投入指标为: 1)耕地投入,指上年度水稻种植面积; 2)资本投入,指各项生产费用的

总和,包括种子、化肥、农药、人工成本等; 3)劳动力投入,指水稻生产投入的劳动力时间总和,为了体现价格因素,本文选取的产出是该农户上一年水稻总产值。表 2 总结了水稻种植投入产出指标的主要特征。

表 2 水稻生产投入产出指标说明  
Table 2 Description of input and output indexes of rice production

指标 Index	均值 Mean	标准差 Standard deviation	最大值 Maximum	最小值 Minimum
耕地投入 Farmland input (hm <sup>2</sup> )	0.47	1.48	20.00	0.01
资本投入 Capital input (¥)	3 627.42	11 457.58	154 500.00	40.00
劳动力投入 Labor input (h)	170.16	132.19	1 660.00	10.00
水稻产值 Rice output value (¥)	7 603.72	33 048.12	463 000.00	180.00

## 2 结果与分析

### 2.1 农户绿色防控技术采纳行为的影响因素

本文采用 Logit 回归模型拟合农户绿色防控技术采纳概率,表 3 所示的估计结果显示:McFadden  $R^2$  值为 0.518,表明所选自变量对因变量具有一定的解释能力,LR 统计量的相伴概率值表明模型总体显著性较高。从影响农户绿色防控技术采纳的显著因素来看,性别为男性、受教育程度越高、种植面积越大、加入合作社、距离乡镇和县城越近、参加过绿色防控技术培训、采纳绿色防控技术生产的安全农产品能够获得市场溢价、认为农业生态环境质量不好、愿意减施农药的农户,采纳绿色防控技术的可能性越大。

由于 Logit 模型的估计系数只反映出各变量的影响方向,不能准确反映各变量的影响程度,因此本文通过计算  $\partial pr(Y_i = j) / \partial X_i$  来解释各变量对农户绿色防控技术采纳程度的边际效应,结果见表 3,对估计结果分析如下:

1)性别对农户绿色防控技术采纳具有显著的正向影响。男性户主相对于女性户主更倾向于采纳绿色防控技术,这是因为男性户主在资源、信息等获取上具有更多的优势,也更能承受新技术采纳带来的风险;而女性户主大多较为保守,对新技术的接受能力也弱于男性,采纳绿色防控技术的意愿也较低。从边际效应来看,男性户主采纳绿色防控技术的概率比女性户主高 20.8%。

2)受教育程度对农户绿色防控技术采纳具有显著的正向影响。受过良好教育的农户更具有能力理解较复杂的技术信息、更容易掌握应用方法,从而更倾向于采纳绿色防控技术。从边际效应来看,农户受教育程度在均值处变动 1 个单位,绿色防控技术采纳的概率将增加 18.0%。

3)种植面积对农户绿色防控技术采纳具有显著的正向影响。由于采纳绿色防控技术将增加生产投入成本,对于小规模农户而言,缺乏技术采纳的经济激励,而种植面积较大的农户由于容易获得技术采纳的规模经济效益,因此规模较大的农户更倾向于采纳该技术。调查发现,采纳绿色防控技术的农户种植面积平均为  $0.92 \text{ hm}^2$ ,远高于样本农户平均  $0.47 \text{ hm}^2$  的种植面积。从边际效应来看,规模在均值处每增加 1 个单位,采纳绿色防控技术的概率将增加 4.8%。

4)加入合作社对农户绿色防控技术采纳具有显著的正向影响。农户加入合作社有利于增强对新技

术的接受能力,提升农户对绿色防控技术的支付能力和抵抗风险能力,激励了农户的采纳行为。从调查结果来看,加入合作社的农户中有 60.9% 采纳绿色防控技术,而未加入合作社的农户仅有 28.6% 采纳绿色防控技术。从边际效应来看,加入合作社使得农户采纳绿色防控技术的概率将增加 22.3%。

5)与乡镇距离对农户绿色防控技术采纳具有显著的负向影响。与乡镇距离越远,处在交通相对闭塞的农户所能了解和新技术的机会就越少,采纳绿色防控技术的可能性也越低。从边际效应来看,与乡镇距离在均值处每增加 1 个单位,采纳绿色防控技术的概率将降低 7.3%。

6)与县城距离对农户绿色防控技术采纳具有显著的负向影响。目前我国绿色防控技术的推广主体是政府、合作社和龙头企业,县级农技推广中心是其中主要的力量,而由于县级农技推广中心一般地处县城,因此与县城距离越近的农户,得到技术指导服务的机会也越多,从而提高了农户采纳绿色防控技术的可能性,反之则不利于农户的技术采纳。从边际效应来看,与县城距离在均值处每增加 1 个单位,采纳绿色防控技术的概率将降低 2.4%。

7)绿色防控技术培训对农户采纳该技术具有显著的正向影响。参加过绿色防控技术培训的农户不仅在生产技术方面更有保障,而且对农产品质量安全认识也有所增强,从而促进农户对该技术的采纳。调查发现,参加过绿色防控技术培训的农户中有 56.7% 采纳该技术,而未参加过绿色防控技术培训的农户仅有 23.0% 采纳该技术。从边际效应来看,参加绿色防控技术培训使得农户采纳该技术的概率将增加 24.4%。

8)农产品优质优价的获取对农户绿色防控技术采纳具有显著的正向影响。当农户采纳绿色防控技术生产的安全农产品相对于普通农产品可以获得市场溢价,有利于增强农户采纳该技术的内生动力。从边际效应来看,采纳绿色防控技术生产的安全农产品能够获得市场溢价将促使农户采纳绿色防控技术的概率增加 51.7%。

9)农业生态环境质量对农户绿色防控技术采纳具有显著的负向影响。越是认为农业生态环境质量不好的农户,在环境忧患意识和责任意识的推动下,越有可能采纳绿色防控技术。从边际效应来看,该变量在均值处每增加 1 个单位,采纳绿色防控技术的概率将减少 20.1%。

10)减施农药态度对农户绿色防控技术采纳具有显著的正向影响。随着农田环境污染越来越受到社会

的关注,不少农户也开始重视农药施用对环境和健康的危害,越愿意减施农药的农户,采纳绿色防控技术

的可能性也越大。从边际效应来看,愿意减施农药的农户采纳绿色防控技术概率将增加 42.8%。

表 3 农户绿色防控技术采纳影响因素的估计结果、边际效应和标准化系数  
Table 3 Estimation results, marginal effects and standardized coefficients of impact factors of farmers adopting green control technology

解释变量 Dependent variable	系数 Coefficient	标准误 Standard error	边际效应 Marginal effect	标准误 Standard error
性别 Gender	1.009***	0.347	0.208***	0.066
年龄 Age	0.035	0.023	0.008	0.005
受教育程度 Education	0.812***	0.194	0.180***	0.045
种植面积 Planting area	0.218***	0.075	0.048**	0.021
农业劳动力 Agricultural labor	0.056	0.122	0.012	0.027
加入合作社 Join cooperatives	0.937**	0.453	0.223**	0.109
与乡镇距离 Distance to town	-0.328**	0.160	-0.073*	0.039
与县城距离 Distance to country	-0.107***	0.033	-0.024***	0.008
绿色防控技术培训 Green control technology training	1.055***	0.339	0.244***	0.077
政府宣传 Governmental propaganda	0.488	0.313	0.107	0.067
政府补贴 Governmental subsidy	0.512	0.338	0.117	0.080
农产品优质优价获取 Obtain high quality and high price of agricultural products	2.289***	0.374	0.517***	0.069
农业生态环境质量 Agricultural environmental quality	-0.905***	0.267	-0.201***	0.059
减施农药态度 Attitude to pesticides reduction	2.630***	0.551	0.428***	0.066
McFadden's $R^2$		0.518		
Log likelihood		-153.661		
LR statistic		329.874		
Prob (LR statistic)		0.000		
样本农户数 Number of sample farmers		502		

\*, \*\*和\*\*\*分别表示在 10%、5%和 1%水平上显著。\*, \*\*, \*\*\* mean significant at the levels of 10%, 5% and 1%, respectively.

## 2.2 农户采纳绿色防控技术对生产绩效的影响效应

### 2.2.1 水稻生产绩效测算

本文采用 DEAP2.1 软件对水稻生产绩效进行测算,结果如表 4 所示。整体而言,农户水稻生产绩效值为 0.103~1.000,均值为 0.471,说明在其他条件不变的前提下,农户生产绩效还有 52.9%的增长空间。同时,绩效值在 0.3~0.4 和 0.4~0.5 的农户比例占 50.4%,说明水稻生产绩效总体偏低。并且,区域间水稻生产绩效也存在显著差异,邛崃、宣汉和泸县的绩效均值分别为 0.558、0.379 和 0.467,邛崃水稻生产绩效明显高于宣汉和泸县。相对于川东北丘陵区宣汉县和川南丘陵区的泸县而言,地处成都平原的邛崃市,自然条件和经济基础更为优越,并且通过“合作联社+种植大户”模式推动土地规模化和服务规模化,实现了资源的较优配置<sup>[33]</sup>,促进了水稻生产效率的提升。

### 2.2.2 绿色防控技术采纳对水稻生产绩效的影响效应

#### 2.2.2.1 处理组和对照组农户水稻生产绩效比较

为了考察农户采纳绿色防控技术对水稻生产绩

效的影响,将农户分为两组:采纳绿色防控技术的农户为“处理组”,合计 166 个农户;未采纳绿色防控技术的农户为“对照组”,合计 366 个农户。比较两组农户的生产绩效和各项指标(表 5)可以看出,处理组的农户水稻生产绩效均值为 0.539,高于对照组的均值 0.437,并且处理组和对照组在各项指标上的差异也十分明显。处理组和对照组农户的生产绩效差异,说明了农户采纳绿色防控技术会影响生产绩效,但由于两组农户在其他变量上也存在着显著差异,因此只有排除其他变量差异的影响,才能对绿色防控技术采纳的生产绩效影响作出准确判断。

#### 2.2.2.2 PSM 实证结果分析

为了避免样本选择偏差问题,本文进一步采用 PSM 方法模拟“反事实”的对照组,将绿色防控技术采纳从其他影响生产绩效的因素中独立出来,以便更准确地考察农户采纳该技术对生产绩效的影响效应,采用最近相邻法进行倾向评分匹配,结果见表 6。匹配结果显示,ATT 估计值为-0.002,表明不



表 4 农户水稻生产绩效总体情况及区域比较

Table 4 Overall situation and regional comparison of rice production performance of farmers

绩效分组 Grouping by performance	总体 Totality		邛崃 Qionglai		宣汉 Xuanhan		泸县 Luxian	
	户数 Number of farmer household	比例 Proportion (%)	户数 Number of farmer household	比例 Proportion (%)	户数 Number of farmer household	比例 Proportion (%)	户数 Number of farmer household	比例 Proportion (%)
(0.1, 0.2]	14	2.79	3	1.67	7	4.27	4	2.53
(0.2, 0.3]	75	14.94	10	5.56	42	25.61	23	14.56
(0.3, 0.4]	69	13.75	12	6.67	38	23.17	19	12.03
(0.4, 0.5]	116	23.11	28	15.56	40	24.39	48	30.38
(0.5, 0.6]	137	27.29	67	37.22	28	17.07	42	26.58
(0.6, 0.7]	67	13.35	44	24.44	8	4.88	15	9.49
(0.7, 0.8]	9	1.79	6	3.33	1	0.61	2	1.27
(0.8, 0.9]	5	1.00	3	1.67	0	0	2	1.27
(0.9, 1.0]	10	1.99	7	3.89	0	0	3	1.90
最大值 Maximum	1.000		1.000		0.103		0.150	
最小值 Minimum	0.103		0.158		0.701		0.935	
均值 Mean	0.471		0.558		0.379		0.467	
样本数 Sample number	502		180		164		158	

表 5 采纳绿色防控技术影响因素的处理组农户和对照组农户对比

Table 5 Comparison of mean values of impact factors of farmers adopting green control technology between control farmers group and adoption farmers group of green control technology

指标 Index	绿色防控技术 Green control technology	
	采用组 Adoption group	对照组 Control group
水稻生产绩效 Rice production performance	0.539	0.437
性别 Gender	0.711	0.655
年龄 Age	43.890	48.756
受教育程度 Education	3.259	2.470
种植面积 Planting	14.442	3.300
农业劳动力 Agricultural labor	3.886	3.926
加入合作社 Join cooperatives	0.253	0.080
与乡镇距离 Distance to town	2.592	2.977
与县城距离 Distance to county	15.819	19.339
绿色防控技术培训 Green control technology training	0.512	0.193
政府宣传 Governmental propaganda	0.717	0.449
政府补贴 Governmental subsidy	0.470	0.182
农产品优质优价获取 Obtain high quality and high price of agricultural products	0.494	0.080
农业生态环境质量 Agricultural ecological environmental quality	1.633	1.952
减施农药态度 Attitude willing to reduce pesticides	0.970	0.634

表 6 最近相邻匹配法的倾向得分匹配方法(PSM)估计农户采纳绿色防控技术对生产绩效影响的估计结果

Table 6 Propensity score match (PSM) estimation results with nearest neighbor matching method for effect of green control technology on rice production

对象 Object	方法 Method	处理效应 Treatment effect	采用组 Adoption group	对照组 Control group	ATT 值 ATT value	T 值 T value
绿色防控技术 Green control technology	最近相邻匹配法 Nearest neighbor matching method	匹配前 Before matching	0.539	0.437	0.102	7.17***
		匹配后 After matching	0.495	0.497	-0.002	-0.05

采纳绿色防控技术的农户水稻生产绩效略高于采纳绿色防控技术的农户,但两者生产绩效差异较小,且对应的 $|t|=0.05$ ,小于 1.96 的临界值,说明农户采纳绿色防控技术对水稻生产绩效的影响并不显著。其可能的原因:一是采纳绿色防控技术会增加农户的生产成本;二是由于农户缺乏对绿色防控技术的认知和实践,导致生产过程中未能降低用药成本和用工成本;三是采纳绿色防控技术生产的安全农产品未能获得市场溢价或是对该技术的应用能力不足,从而难以实现增收。

为了确认匹配结果是否稳健,本文采用半径匹配法和核匹配法检验农户采纳绿色防控技术对水稻生产绩效的影响。表 7 所示的匹配结果显示,半径匹配法和核匹配法的 ATT 估计值分别为-0.009 和-0.011,对应的 $|t|=0.32$ 和 $|t|=0.37$ 均小于 1.96 的临界值,表明半径匹配法、核匹配法与最近相邻匹配法的估计结果一致,在控制了样本的选择性偏差之后,不仅采纳或不采纳绿色防控技术的生产绩效差异较小,并且农户采纳绿色防控技术对水稻生产绩效的影响也不显著。

表 7 半径匹配法和核匹配法的倾向得分匹配方法(PSM)农户采纳绿色防控技术对生产绩效影响的估计结果  
Table 7 Propensity score match (PSM) estimation results with radius matching method and kernel matching method for effect of green control technology on rice production

对象 Object	方法 Method	处理效应 Treatment effect	采用组 Adoption group	对照组 Control group	ATT 值 ATT value	T 值 T value
绿色防控技术 Green control technology	半径匹配法 Radius matching method	匹配前 Before matching	0.539	0.437	0.102	7.17***
		匹配后 After matching	0.476	0.485	-0.009	-0.32
	核匹配法 Kernel matching method	匹配前 Before matching	0.539	0.437	0.102	7.17***
		匹配后 After matching	0.495	0.506	-0.011	-0.37

### 3 讨论与结论

#### 3.1 讨论

加快绿色防控技术应用推广,促进农业绿色发展是实施质量兴农战略的必然选择。农户是农业生产经营的微观主体,对农户绿色防控技术采纳行为的影响因素和生产绩效进行定量分析,可为绿色防控技术应用推广的政策制定提供重要依据。相比以往研究,本文在以下两方面得到了深化:

1)采用 Logit 模型分析影响农户绿色防控技术采纳行为的主要因素,将生产因素和政策因素纳入到同一分析框架,弥补了现有研究分别对农户和政府进行考察的不足,使得分析更加符合客观实际,同时也丰富了绿色防控技术应用推广的理论研究。

2)目前针对农户采纳绿色防控技术的生产绩效分析方法,无法避免采纳行为与生产绩效之间的互为影响,不能有效衡量农户绿色防控技术采纳的行为效应,本文采用倾向得分匹配方法(PSM)构造一个反事实情形可以弥补传统分析方法的不足。

本文值得探讨的问题:一是因时间和人力所限,本研究仅选取了四川省 3 个市县作为调查样本,但由于绿色防控技术具有正的外部性和效益的缓释性,其应用推广是一个长期的过程,在这一过程中,影响农户采纳绿色防控技术的因素会随着环境的变化、研究地点的不同、样本量的大小而有所变化,今后

将进一步扩大样本区域范围,使研究结论更具普适性。二是本研究采用 PSM 方法构造一个“反事实”的对照组,分析农户采纳绿色防控技术对生产绩效的影响效应,该方法虽然在一定程度上克服了传统分析方法存在的选择性偏差问题,但当“处理组”与“控制组”存在不可观测的系统性差异时,PSM 并不能控制这些差异,今后将通过可对观测变量的进一步完善,减少该偏差,使研究结果更具科学性。

#### 3.2 结论

本文基于四川省水稻种植户调查数据,采用 Logit 模型分析影响农户绿色防控技术采纳行为的主要因素,运用 DEA-PSM 模型分析农户采纳绿色防控技术对水稻生产绩效的影响效应,得出以下主要结论:第一,农户采纳绿色防控技术的主要影响因素分析结果表明,性别为男性、受教育程度越高、种植面积越大、加入合作社、距离乡镇和县城越近、参加过绿色防控技术培训、采纳绿色防控技术生产的安全农产品能够获得市场溢价、认为农业生态环境质量不好、愿意减施农药的农户,采纳绿色防控技术的可能性越大。第二,调查农户的水稻生产绩效介于 0.103~1.000,具有显著差异,绩效平均值为 0.471,表明在不改变技术水平以及投入规模的情况下,整体生产绩效仍有 52.9%的提升空间;大多数农户的生产绩效介于 0.4~0.6,表明目前整体生产效

率不高。而从调查区域来看, 邛崃、宣汉、泸县的水稻生产绩效均值分别为 0.558、0.379 和 0.467, 邛崃的绩效均值明显高于宣汉和泸县, 表明区域间生产绩效存在显著差异。第三, 运用最近相邻匹配法、半径匹配法和核匹配法测算农户采纳绿色防控技术对水稻生产绩效的影响效应, 表明绿色防控技术采纳与否的生产绩效差异较小, 并且农户采纳绿色防控技术对水稻生产绩效的影响也不显著。

基于本文研究结论, 从营造农户绿色防控技术采纳的外部环境和激励农户绿色防控技术采纳的内生动力两大方面, 得出如下政策启示: 第一, 加大农村公共教育投资力度, 提高农民综合文化素质。同时, 加强绿色防控宣传培训, 增强农户的环境安全意识和减施农药的积极性。第二, 充分调动和发挥农业技术推广部门、农业科研院所、农业高校和农村合作组织的力量和作用, 加大农业技术向偏远村庄的辐射力度。第三, 完善土地流转政策, 促进适度规模经营, 对规模化生产农户采纳绿色防控技术进行补贴, 提升绿色防控技术应用的生产效率和规模效益。第四, 推动农民合作社发展, 鼓励农户加入合作社, 提高农户技术采纳的收益保障。第五, 推动绿色防控产地标准化生产和安全农产品品牌创建, 严格执行农产品市场准入制度, 完善农产品质量安全追溯制度, 促进农产品优质优价市场环境的形成。

## 参考文献 References

- [1] 米建伟, 黄季焜, 陈瑞剑, 等. 风险规避与中国棉农的农药施用行为[J]. 中国农村经济, 2012(7): 60-71  
MI J W, HUANG J K, CHEN R J, et al. Risk aversion and pesticide application of Chinese cotton farmers[J]. Chinese Rural Economy, 2012(7): 60-71
- [2] 王常伟, 顾海英. 市场 VS 政府, 什么力量影响了我国菜农农药用量的选择?[J]. 管理世界, 2013(11): 50-66  
WANG C W, GU H Y. The market vs. the government: what forces affect the selection of amount of pesticide used by China's vegetable grower?[J]. Management World, 2013(11): 50-66
- [3] WANG J, HUANG J, ZHANG L, et al. Why is China's blue revolution so "Blue"? the determinants of conservation tillage in China[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 65(2): 113-129
- [4] CHAVES B, RILEY J. Determination of factors influencing integrated pest management adoption in coffee berry borer in Colombian farms[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2001, 87(2): 159-177
- [5] DEVI P I, SOLOMON S S, JAYASREE M G. Green technologies for sustainable agriculture: Policy options towards farmer adoption[J]. Indian Journal of Agricultural Economics, 2014, 69(3): 414-425
- [6] BONABANA-WABBI J. Assessing factors affecting adoption of agricultural technologies: the case of integrated pest management (IPM) in Kumi District, Eastern Uganda[D]. Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2002
- [7] 吴雪莲, 张俊飏, 何可. 农户高效农药喷雾技术采纳意愿——影响因素及其差异性分析[J]. 中国农业大学学报, 2016, 21(4): 137-148  
WU X L, ZHANG J B, HE K. Farmers' willingness to adopt the effective pesticide spraying technology: Influencing factors and group heterogeneity[J]. Journal of China Agricultural University, 2016, 21(4): 137-148
- [8] 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
- [9] FEDER G, MURGAI R, QUIZON J B. Sending farmers back to school: the impact of farmer field schools in Indonesia[J]. Review of Agricultural Economics, 2004, 26(1): 45-62
- [10] PONTIUS J, DILTS R, BARTLETT A. From Farmer Field School to Community IPM: Ten Years of IPM Training in Asia[R]. Rap Publication, 2002
- [11] 赵连阁, 蔡书凯. 晚稻种植农户 IPM 技术采纳的农药成本节约和粮食增产效果分析[J]. 中国农村经济, 2013(5): 78-87  
ZHAO L G, CAI S K. Analysis on the effect of farmer adoption of IPM technology on pesticide cost saving and grain yield increase[J]. Chinese Rural Economy, 2013(5): 78-87
- [12] STALLMAN H R, JAMES H S JR. Determinants affecting farmers' willingness to cooperate to control pests[J]. Ecological Economics, 2015, 117: 182-192
- [13] 耿宇宁, 郑少锋, 陆迁. 经济激励、社会网络对农户绿色防控技术采纳行为的影响——来自陕西猕猴桃主产区的证据[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2017(6): 59-69  
GENG Y N, ZHENG S F, LU Q. Impact of economic incentives and social networks on farmers' adoption of integrated pest management technology — evidence from the kiwifruit main production areas of Shaanxi Province[J]. Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition, 2017(6): 59-69
- [14] 刘岩峰, 王绪龙. 风险规避及收入对农户采纳有害生物综合治理(IPM)技术的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(5): 396-398  
LIU Y F, WANG X L. Effects of risk aversion and income on farmer adoption of integrated pest management (IPM) technology[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2013, 41(5): 396-398
- [15] 刘洋, 熊学萍, 刘海清, 等. 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, et al. 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
- [16] 李紫娟, 孙剑, 陈桃. 农户绿色防控技术采纳行为影响因素——基于湖北省 265 户柑橘种植户调查数据的分析[J]. *科技管理研究*, 2018, 38(21): 249–254  
LI Z J, SUN J, CHEN T. Influencing factors of Farmers' green control techniques adoption behaviors: analysis of 265 *Citrus* growers' investigation data in Hubei Province[J]. *Science and Technology Management Research*, 2018, 38(21): 249–254
- [17] PANNELL D J. Public benefits, private benefits, and policy mechanism choice for land-use change for environmental benefits[J]. *Land Economics*, 2008, 84(2): 225–240
- [18] KHANNA M, ZILBERMAN D. Incentives, precision technology and environmental protection[J]. *Ecological Economics*, 1997, 23(1): 25–43
- [19] SERRA T, ZILBERMAN D, GOODWIN B K, et al. Replacement of agricultural price supports by area payments in the European Union and the effects on pesticide use[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 2005, 87(4): 870–884
- [20] SUNDING D, ZILBERMAN D. Chapter 4. The agricultural innovation process: Research and technology adoption in a changing agricultural sector[M]//*Handbook of Agricultural Economics*. North Holland: Elsevier, 2001: 207–261
- [21] MILLOCK K, XABADIA A, ZILBERMAN D. Policy for the adoption of new environmental monitoring technologies to manage stock externalities[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2012, 64(1): 102–116
- [22] 应瑞瑶, 朱勇. 农业技术培训方式对农户农业化学投入品使用行为的影响——源自实验经济学的证据[J]. *中国农村观察*, 2015(1): 50–58  
YING R Y, ZHU Y. The impact of agricultural technical training on Farmers' agrochemical use behavior: evidence from experimental economics[J]. *China Rural Survey*, 2015(1): 50–58
- [23] 杨普云, 赵中华, 朱景全, 等. 关于农作物病虫害绿色防控工作的几点思考[J]. *中国植保导刊*, 2011, 31(11): 51–54  
YANG P Y, ZHAO Z H, ZHU J Q, et al. Thoughts on green control of crop diseases and insect pests[J]. *China Plant Protection*, 2011, 31(11): 51–54
- [24] DUBEYP, KUMAR A. *Green Technologies for Sustainable Agriculture*[M]. New Delhi: Daya Publishing House, 2006
- [25] 杨普云, 王强, 李萍, 等. 农作物病虫害绿色防控的环境和社会效益评价方法探讨[J]. *中国植保导刊*, 2014, 34(3): 73–76  
YANG P Y, WANG Q, LI P, et al. Discussion on evaluation methods of environmental and social benefits of green control of crop diseases and insect pests[J]. *China Plant Protection*, 2014, 34(3): 73–76
- [26] CUYNO L C M, NORTON G W, ROLA A. Economic analysis of environmental benefits of integrated pest management: a Philippine case study[J]. *Agricultural Economics*, 2001, 25(2/3): 227–233
- [27] FERNANDEZ-CORNEJO J. The microeconomic impact of IPM adoption: theory and application[J]. *Agricultural and Resource Economics Review*, 1996, 25(2): 149–160
- [28] 李丹, 刘红梅, 何海永, 等. 水稻病虫害绿色防控技术的防效评估[J]. *贵州农业科学*, 2012, 40(7): 123–128  
LI D, LIU H M, HE H Y, et al. Control effect assessment of the green prevention and control technology for rice diseases and pests[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2012, 40(7): 123–128
- [29] 耿宇宁, 郑少锋, 刘婧. 农户绿色防控技术采纳的经济效应与环境效应评价——基于陕西省猕猴桃主产区的调查[J]. *科技管理研究*, 2018, 38(2): 245–251  
GENG Y N, ZHENG S F, LIU J. The evaluation of economic and environmental effects of Farmers' integrated pest management technology adoption behavior: based on the investigation in kiwi fruit main production areas of Shaanxi Province[J]. *Science and Technology Management Research*, 2018, 38(2): 245–251
- [30] 贺正楚, 翟欢欢. 基于 DEA 三阶段模型的两型农业生产效率——以湖南省为例[J]. *农业系统科学与综合研究*, 2011, 27(4): 395–400  
HE Z C, ZHAI H H. Data envelopment analysis of three-stage model for production efficiency of two-oriented agriculture — taking Hunan Province as an example[J]. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2011, 27(4): 395–400
- [31] CALIENDO M, KOPEINIG S. Some practical guidance for the implementation of propensity score matching[J]. *Journal of Economic Surveys*, 2008, 22(1): 31–72
- [32] ROSENBAUM P R, RUBIN D B. Assessing sensitivity to an unobserved binary covariate in an observational study with binary outcome[J]. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 1983, 45(2): 212–218
- [33] 熊鹰, 彭迎, 陈春燕, 等. 粮食适度规模经营的探索实践与思考——以四川省邛崃市“合作联社+种植大户”模式为例[J]. *农业科技管理*, 2016, 35(6): 57–60  
XIONG Y, PENG Y, CHEN C Y, et al. Exploratory practice and reflection on moderate scale management of grain, taking the “Cooperative union + large scale growers” mode of Qionglai City of Sichuan Province as an example[J]. *Management of Agriculture Science and Technology*, 2016, 35(6): 57–60