

【农业经济】

# 果农施用农药的效率测度与减少错配的驱动力量

——基于中国桃主产区 524 个种植户的实证分析

展进涛,张慧仪,陈超

(南京农业大学 经济管理学院/中国粮食安全研究中心,江苏 南京 210095)

**摘 要:**面对农业面源污染严峻和农业生产要素成本上升的双重压力,推进化学农药减量增效以及病虫害绿色综合防控是实现农业可持续发展目标的政策要求之一。基于 2018 年全国 85 个县 524 份桃种植户调研样本,运用损失控制模型估算果农农药投入的边际生产率,进而采用 Probit 方法分析影响果农过量施用农药的因素。研究发现:75.38% 的样本果农存在过量施药现象,且在控制了病虫害发生程度下,政府有施药检查经历、市场组织化程度高、文化水平较高的果农过量施用农药的概率越低。此外,对不同病虫害防治模式进行分组回归的结果表明:政府施药监管对于抑制纯化学农药防治下的过量投入影响显著,过量施药概率下降 14.26%;加入合作社、企业等市场组织对于采纳病虫害绿色防控防治模式具有较强的激励效果,过量施药概率下降 10.42%。

**关键词:**边际生产率;损失控制模型;病虫害防治;绿色防控技术;施药行为

**中图分类号:**F326.12      **文献标志码:**A      **文章编号:**1671-7465(2020)06-0148-09

## 一、引言

长期以来农药的使用在保障果树种植收益中发挥着重要作用,其不仅可以减少病虫害导致的产量损失,还可以减轻果实外观损伤、货架期缩短带来的质量损失<sup>[1]</sup>。然而人们逐渐意识到,农药投入过量不仅无益于产量提升,还会带来冗余成本<sup>[2]</sup>,农药品种结构中对于化学药剂的过度依赖使得农药残留和环境污染等一系列问题凸显,对果农健康、农产品品质及生态环境存在隐性危害。我国在《到 2020 年农药使用量零增长行动方案》中提出化学农药减量控害和提高绿色防控技术覆盖率的政策目标。农业农村部数据显示,2017 年底我国绿色防控覆盖率为 27.2%,现阶段化学农药仍是生物农药等绿色防控技术的低成本经济替代<sup>[3]</sup>。联合国粮农组织的统计数据表明,作为全球最大的桃生产国,近年来中国桃果产量约 1500 万吨,约占全球总产量的 60%。然而,桃属于农药密集型农产品且桃树属于多年生经济作物,病虫害综合防治跨期难度大,施药技术选择弹性较大,非化学农药的选择往往成本更高、效率更低<sup>[4]</sup>。

在农药投入量估算方法和农药施用行为及影响因素研究方面,Headley<sup>[5]</sup>首次将农药生产要素引入 C-D 生产函数中估算得出增加农药支出可以提高农场生产收入。之后,Lichtenberg 等<sup>[6]</sup>指出农药施用与土地、劳动等常规生产要素对粮食产量的影响方式不同,它并不会直接提高粮食产出而是在既定的产量水平基础上减少病虫害发生带来的损失,因此将农药定义为损害

收稿日期:2020-03-21

基金项目:国家自然科学基金项目“异质性视角下农业重大病虫害协同防治的同群效应及干预机制研究”;国家自然科学基金项目“转基因食品安全性事件的同伴效应及对信息分享行为的影响机制研究:社会影响的视角”;江苏省高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

作者简介:展进涛,男,南京农业大学经济管理学院教授、博士生导师;张慧仪,女,南京农业大学经济管理学院硕士生;陈超,男,南京农业大学经济管理学院教授、博士生导师。

控制剂的损失控制函数可以更准确地估计农药边际生产率。国内学者 Huang 等<sup>[7]</sup>首次将损害控制函数方法应用于棉花生产领域,周曙东等<sup>[8]</sup>则在损害控制模型的基础上提出了加入农药使用技术效率因素的改进模型。朱淀等<sup>[9]</sup>通过该方法估算中国苏南地区 648 个水稻种植户施用农药的边际生产率并进一步定量研究影响施药过量的主要因素。孔霞<sup>[10]</sup>同样利用损害控制模型测量了苏州地区稻农的农药边际生产率。王建华等<sup>[2]</sup>则利用改良的两阶段最小二乘法改进了生猪养殖中兽药投入效率估算方法并总结了不同类型兽药的投入成本影响因素。以上研究结果表明,农户文化水平、风险态度<sup>[11]</sup>等个体特征,种植目的<sup>[12-13]</sup>、种植规模、农业收入占比<sup>[14]</sup>、社会网络<sup>[15]</sup>等种植经营特征,参加合作社<sup>[16]</sup>、市场价格影响<sup>[17-18]</sup>等市场特征,种植监管、绿色农药补贴、参加技术培训<sup>[19]</sup>等政策措施是影响农户施药用量的主要因素。

实践表明农药投入量的估算包含农药品种选择、施用频率、混合比例等,是一个复杂的生产决策过程,因此从农药边际生产率的估算切入是分析农业生产者农药投入经济效益的可行方法之一。本文以桃为例并基于全国桃主产县的农户调研数据,测算了桃农农药边际生产率并衡量过量施药与否,进而探究果农农药过量投入的影响因素及其方向和大小,这对于增加果农经济收益、实现化学农药减量控害和提高绿色防控覆盖率的政策目标具有现实意义。

## 二、理论分析与模型选择

### (一) 理论分析

农药要素作用机制与传统的资本、劳动力、化肥等投入要素不同<sup>[7]</sup>,它并不是土地的直接替代要素,而是通过控制病虫害达到减少农产品价值损失的目的。以往研究中多采用农药施用频次、是否与说明书一致等主观形式的问卷作答作为农药投入是否过量的关键变量,然而施药次数可能存在少次多量、多次适量的隐性问题,并不能完全体现农药施用水平,要想准确掌握农药施用量必须有详细的多次农药浓度、配比数据,这在实际调研中获取难度较大,因此本文选择标准 C-D 生产函数基础上改进的损害控制模型。其基本思想是,在传统的 C-D 生产函数基础上以损害控制函数的形式表达农药投入,进而计算更符合实际的农药边际生产率。当杀虫剂施用量为 0 时,害虫的数量为 $Z_0$ ,设杀虫剂的施用量为  $Q$ ,害虫数量的影响表达式为  $C(Q)$ ,则害虫数量控制模型函数表达式为:

$$Z=Z_0[1-C(Q)] \tag{1}$$

$C(Q)$ 是处于  $[0,1]$  范围内的累积分布函数。当  $C(Q)=0$  时,说明病虫害没有得到任何控制;当  $C(Q)=1$  时,说明病虫害被完全清除。

将上式引入方程, $Y_0$  表示未受病虫害影响时的初始产量, $D(Z)$ 代表病害影响程度  $Z$  下产量受到影响的比列,则损害函数的表达式为:

$$Y=Y_0[1-D(Z)] \tag{2}$$

$D(Z)$ 同样是处于  $[0,1]$  范围内的累积分布函数,则:

$$Y=Y_0[1-D\{Z_0[1-C(Q)]\}] \tag{3}$$

### (二) 模型选择

在一般的要素投入生产率研究中,C-D 生产函数为最常见的形式,即:

$$Y=\alpha\{\prod_{i=1}^n[(X_i)^{\beta_i}]\}(X_p)^{\delta} \tag{4}$$

$Y$ 是农产品产量, $X_p$ 是农药投入量, $X_i$ 是农药之外影响产品产量的第  $i$  种生产要素投入量, $\alpha,\beta_i,\delta$  为待估系数。

为计量识别,令(5)式中的参数  $\gamma=1$ 。根据 Lichtenberg 和 Zilberman 所提出的损害控制生产函数<sup>[6]</sup>,表述为:

$$Y=\alpha\{\prod_{i=1}^n[(X_i)^{\beta_i}]\}G(X_p)^{\gamma} \tag{5}$$

为了方便计算,将上式简化为:

$$Y = F[X, G(X_p)] \quad (6)$$

其中,  $F(\cdot)$  表示 C-D 生产函数,  $G(\cdot)$  表示损害控制函数。  $G(X_p)$  被定义为消减函数, 并有 Exponential 分布、Weibull 分布、Logistic 分布、Pareto 分布共四种分布形式。除了 Pareto 分布, 其余三种分布在实证分析中应用较多。研究者可以根据计算简便、易于理解、对数据拟合度较好的原则选择分布形式<sup>①</sup>。

关于农药边际生产率的回归方程构建的相关研究方法一般分为两种: 一是排除价格, 单纯考虑投入量与产出量的关系<sup>②</sup>; 二是考虑价格, 分析投入成本与产出收益的关系。但是由于农药品种繁多, 同种农药浓度剂型也各不相同, 统计调研各类农药剂量和价格作为单一变量存在一定难度。因此, 本文选择第二种研究方法, 通过核算每亩桃园的各类生产要素成本与每亩桃销售总收入的成本收益关系, 进而估算农药边际生产率。同时为了便于比较标准 C-D 生产函数和损害控制模型的异同, 分别建立对数回归方程:

$$\ln(Y_n) = \alpha + \sum \beta_i \ln(X_{in}) + \sum \theta_j M_{jn} + \delta \ln(X_p) + V_n \quad (7)$$

$$\ln(Y_n) = \alpha + \sum \beta_i \ln(X_{in}) + \sum \theta_j M_{jn} + \ln[G(X_p)] + V_n \quad (8)$$

式中  $Y_n$  为第  $n$  户果农的桃销售价格,  $\alpha$ 、 $\delta$ 、 $\beta_i$ 、 $\theta_j$  为待估参数,  $V_n$  为随机误差项,  $X_{in}$  为除农药以外的其他投入成本,  $M$  为控制变量。理论上, 虫害造成的潜在产量损失比例为 0 (完全损失作物) 以统一 (完全控制害虫),  $G(X_p)$  遵循关于  $X$  值的累积概率分布。

就上述对数回归方程, 两边分别对  $X_p$  求偏导, 则农药边际生产率 (MVP) 被定义为每增加一单位农药投入量所带来的种植收入, 当 MVP = 1 时达到经济最优农药投入状态, 其计算式分别为:

$$MVP = \frac{\partial Y}{\partial X_p} = \delta \frac{Y}{X_p} \quad (9)$$

$$MVP = \frac{\partial Y}{\partial X_p} = \frac{Y}{G(X_p)} \times \frac{\partial G(X_p)}{\partial X_p} \quad (10)$$

### 三、数据来源与描述性统计

#### (一) 数据来源

本文所使用的数据来源于 2018 年 9 月在全国 17 个省 (自治区) 的桃主产区展开的实地调研。本次调研过程采取多阶段随机抽样的调查方法随机抽取样本县、样本农户。在每个省份随机抽取 5 个样本县, 在每个样本县内随机抽取 8 个样本农户, 共计回收 745 份样本。在数据处理中剔除关键数据缺失和明显失真的问卷, 同时为了获得完整的投入产出数据而删除因 2017 年、2018 年新建果园未产生收益的样本。最终获得有效问卷 524 份, 有效率为 71.80%。

#### (二) 样本描述性统计

从问卷中 (表 1) 果农个体特征来看, 男性为样本主体, 占比 91.98%; 桃农平均种植年数约为 14 年, 多数果农种植经验丰富; 初中及以下学历占比 56.3%, 说明过半数果农平均受教育程度为初中; 调查样本中普通种植户 97 户, 占比 18.51%, 专业大户 264 户, 占比 50.38%; 合作社 123 家, 占比 23.47%, 企业 40 家, 占比 7.64%, 说明样本采集中各类经营主体均有覆盖, 其中以专业大户为主。

从桃种植经营特征来看, 果园平均面积为 68.10 亩, 种植亩产量为 2927.22 斤, 亩产值平均为 8352.95 元。从表 1 的基本特征总体来看桃种植的规模化、专业化程度较高。

① 参见 Kumar Jha R, Prasad Regmi A 的 Productivity of Pesticides in Vegetable Farming in Nepal. SANDEE Working Paper No. 43-09, 2009. <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/handle/10625/41849>。

表 1 调查样本的基本特征

类别	分类指标	样本数	百分比/%	类别	分类指标	样本数	百分比/%
性别	男	482	91.98	果园面积	0~10 亩	153	29.2
	女	42	8.02		10~20 亩	118	22.52
文化水平	小学及以下	49	9.35		20~50 亩	108	20.61
	初中	246	46.95		50~100 亩	41	7.82
	高中	153	29.20	经营主体	>100 亩	104	19.85
	大专	60	11.45		普通种植户	97	18.51
种桃经验	大学及以上	16	3.05		专业大户	264	50.38
	≤5 年	93	17.75		生产合作社	123	23.47
	5~10 年	147	28.05		自有企业	40	7.64
	>10 年	284	54.20				

问卷调查中,桃农施用的农药种类共计 60 种,包含 36 种杀虫剂,24 种杀菌剂,但没有记录表明桃农使用高毒农药来规避生产风险。调研样本中使用人次最高的是化学农药,排名第一的是杀虫剂吡虫啉,共有 450 户样本果农使用;其次是杀虫剂氯氰菊酯,共有 252 户样本果农使用;使用杀菌剂吡唑醚菌酯的共计 224 户;使用代森联的 153 户;使用毒死蜱的 136 户;样本总体中 34.16%的农户农药施用人次数小于 5 次。多数果农在一次施药过程中采取多种农药混合制剂的方式,品类繁多、剂型各异;63.16%的果农购买了喷雾机等植保设备以提高农药施用的技术效率。在一次完整的桃生长周期内,果农平均施药次数达 6.86 次。

表 2 显示,在施药技术采纳行为中,采用包括杀虫灯、诱捕器、糖醋液罐、防护网、粘虫板、苏云金杆菌、阿维菌素等物理防治和生物农药在内的绿色综合防控技术的样本数达 333 户,比例达 63.55%,其中享有绿色农药政策补贴的占样本总体的 14.12%。这说明病虫害绿色综合防控技术的推广取得了良好成效,但是绿色农药补贴覆盖率较低。

表 2 桃农农药施用情况

类别	分类指标	样本数	百分比/%
平均施药次数	≤5 次	179	34.16
	5~10 次	272	51.91
	>10 次	73	13.93
是否购买植保设备	否	193	36.84
	是	331	63.16
是否采纳绿色综合防控技术	否	191	36.45
	是	333	63.55
是否享有绿色农药补贴	否	450	85.88
	是	74	14.12

四、实证分析与结论

(一) 果农施用农药的边际生产率估计

在公式(7)(8)中各项投入变量的赋值见表 3。除一般生产要素投入成本外,结合桃种植生产实际,本文增加了工具材料费用(包括覆膜、套袋、包装等)。同时纳入可能影响产量的种植面积、种植经验(代表人力资本变量)作为控制变量<sup>[7]</sup>。从投入成本的角度来看,投入成本占比从高到低依次为劳动力投入、肥料投入、种苗投入、机械投入、农药投入、工具材料投入、燃料水电投入,占比依次为 43.43%、15.81%、11.29%、10.50%、6.92%、6.53%、3.88%,可见桃种植成本中劳动力和肥料成本投入占比较大,农药投入成本占比相对较小,果农对于农药投入成本变动的价格敏感性不足。

表 3 模型变量与赋值

变量	变量定义与赋值	最小值	最大值	平均值	标准差
桃种植收入	连续变量:每亩桃的销售收入/元	143.75	38100	8352.95	7486.89
农药投入	连续变量:每亩桃的农药成本/元	7.80	1875	344.54	257.80
种苗投入	连续变量:每亩桃的种苗成本/元	0.01	8333.33	562.21	874.63
燃料水电投入	连续变量:每亩桃的燃料水电成本/元	0.01	9628.57	193.28	558.45
肥料投入	连续变量:每亩桃的肥料成本/元	26.66	4666.67	787.34	747.53
工具材料投入	连续变量:每亩桃的工具材料成本/元	5.50	2516.67	325.42	416.34
劳动力投入	连续变量:每亩桃的劳动力成本/元	0.01	8900	2163.37	1986.67
机械投入	连续变量:每亩桃的机械作业成本/元	0.01	13693.6	523.06	1208.21
种植面积	连续变量:果园面积/亩	0.8	1500	68.10	150.78
种植经验	连续变量:种植年数/年	0	50	14.09	8.61

本文选择了标准 C-D 生产函数模型与分布函数为指数 (Exponential) 形式、威布尔 (Weibull) 形式的损害控制模型进行对比分析,在 Stata 15.0 软件中分别选择最小二乘法 (OLS)、非线性最小二乘法 (NLS) 进行估计,结果见表 4。

表 4 标准 C-D 生产函数模型与损害控制模型估计结果

变量	C-D 生产函数	损害控制模型	
		Exponential 分布	Weibull 分布
农药投入	0.1466 ** (0.0504)	0.0351 ** (0.0108)	0.1687 (0.4041)
种苗投入	0.0094 (0.0141)	0.0083 (0.0141)	0.0063 (0.0138)
燃料投入	-0.0181 (0.0118)	-0.0157 (0.0118)	-0.0235 * (0.0115)
肥料投入	0.2208 *** (0.0504)	0.2248 *** (0.0501)	0.2049 *** (0.0482)
工具材料投入	0.1721 *** (0.0317)	0.1753 *** (0.0318)	0.1165 *** (0.0310)
劳动力投入	0.0551 (0.0350)	0.0727 * (0.0347)	0.0901 * * (0.0346)
机械投入	0.0316 ** (0.0122)	0.0326 ** (0.0122)	0.0362 * * (0.0119)
种植面积	-0.0003 (0.0003)	-0.0003 (0.0003)	-0.0004 (0.0003)
种植经验	0.0014 (0.0047)	0.0002 (0.0048)	0.0026 (0.0046)
常数项	5.0203 *** (0.3975)	5.6477 *** (0.478)	4.3961 *** (0.6621)
调整后 R <sup>2</sup>	0.216	0.215	0.252
F 统计量	15.74	15.66	19.26

注:括号内的值为标准误;\*\*\*、\*\*、\* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平上显著。

从表 4 可以看出,标准 C-D 生产函数和指数、威布尔分布形式的模型变量系数方向一致。其中 C-D 生产函数和指数分布的损害控制模型中农药投入对农产品产值的弹性系数为正且通过了 5% 的显著性检验。机械投入在 5% 的显著水平上正向影响桃产值。肥料、工具材料投入在 1% 的显著水平上与产值正相关,原因可能是工具材料包括桃果套袋、定制礼盒等包装材料成本能产生销售溢价。燃料投入系数为负说明燃料随着桃运输距离延长对种植收益产生负影响。

以农药投入系数较为显著、计算简便的指数分布形式损害控制模型为例,将各成本变量的均值代入(9) 与(10) 式测算出样本总体平均农药边际生产率接近 0,即每增加 1 元农药投入所增加的桃果产值增加接近 0。而 C-D 生产函数计算出的农药边际生产率接近 3.55,表明 C-D 生产函数测算的农药边际生产率高于损害控制模型,这与 Lichtenberg 和 Zilberman 的研究结论一致。同理测算单个样本的农药边际生产率,得出 75.38% 的样本果农处于超量施药状态,说明受访对象中存在一定农药超量投入行为。但必须指出本文是从成本收益角度进行的估算,不考虑农药施用技术效率<sup>[8]</sup> 及农药施用带来的环境效益,所估算的农药投入边际生产率可能高估了这一数值。

(二) 果农减少农药配置的驱动因素分析

以表 4 中 Exponential 损害控制模型的系数估计单个样本果农的农药边际生产率。将农药投入作为被解释变量,超量的样本赋值为 1,反之未超量赋值为 0。在此基础上构造 Probit 模型进行估计,具体形式为:

$$Y_i = \begin{cases} 0, & \text{if } Y_i^* \leq 0 \\ 1, & \text{if } Y_i^* > 1 \end{cases} \tag{11}$$

其中, $Y_i$ 表示在因变量取值 0 或 1, $Y_i^* = \beta X_i' + \varepsilon_i (i = 1, 2, \cdots, J)$ ;  $X_i$ 为一组解释变量的观测值; $J$  是状态参数。 $Y_i$ 的响应概率为:

$$Prob(Y_i = 1 | X_i') = Prob(\beta X_i' + \varepsilon_i \geq 0 | X_i) = \Phi(\beta X_i') \tag{12}$$

式中, $Y_i$ 代表第  $i$  个果农农药投入是否过量; $X_i$ 为影响果农农药过量投入的第  $i$  个自变量。 $\Phi$  为标准正态累积分布函数; $\beta$  为待估计的参数变量; $\varepsilon_i$ 为随机解释变量。

影响果农农药过量投入的主要因素有个体特征、种植经营特征和外部环境特征。因此本文选取以下 3 类共 9 个因素作为影响因素模型的自变量:(1) 果农个体特征因素,包括性别、文化程度;(2) 种植经营特征因素,包括是否购买农业保险、果农对病虫害预期损失估计和土壤质量评价<sup>[10]</sup>,其中病虫害发生的严重程度直接影响果农的风险感知和农药投入行为,土壤质量的优劣则关系到土传性病害的发生频率;(3) 外部环境特征,包括政府规制<sup>[20]</sup> 和市场组织两方面,具体为政府是否提供绿色农药补贴、政府是否有施药监督检查、政府是否有施药宣传培训,以及是否加入企业、合作社等市场组织。在果农施用农药的影响因素模型中农药价格是影响因素之一<sup>[21]</sup>。由于果农农药投入周期跨度长、地区间农药品牌价格差异明显难以准确统计,本文未将农药价格纳入模型。

表 5 回归变量定义与赋值

变量	变量定义与赋值	均值	标准差
是否过量投入农药	虚拟变量:否=0,是=1	0.75	0.43
政府是否提供绿色农药补贴	虚拟变量:否=0,是=1	0.14	0.35
政府是否有施药监督检查	虚拟变量:否=0,是=1	0.58	0.49
政府是否有施药宣传培训	虚拟变量:否=0,是=1	0.68	0.47
是否加入市场组织(合作社、企业)	虚拟变量:未加入组织=0,加入组织=1	0.31	0.46
性别	虚拟变量:女=0,男=1	0.92	0.27
文化程度	虚拟变量:小学或以下=1,初中=2,高中=3,大专或以上=4	2.53	0.92
土壤质量	虚拟变量:很差=1,较差=2,一般=3,较好=4,很好=5	3.62	0.77
是否购买农业保险	虚拟变量:否=0,是=1	0.17	0.38
病虫害严重程度	虚拟变量:0%~20%=1,20%~40%=2,40%~60%=3,60%~80%=4,80%~100%=5	3.40	1.09

在拟合前对自变量进行相关性检验和共线性检验,结果表明不存在严重的相关性和共线性问题。基于表 5 中的变量设置和检验结果,对果农过量施药影响因素分别进行 OLS 和 Probit 回归估计,且在(2)(4)中加入控制变量,拟合结果见表 6。

表 6 OLS 和 Probit 估计结果(N=524)

变量	OLS		Probit	
	(1)	(2)	(3)	(4)
政府是否提供绿色农药补贴	0.0851(0.0551)	0.0679(0.0551)	0.2723(0.1836)	0.2114(0.1914)
政府是否有施药监督检查	-0.1393** (0.0460)	-0.1366** (0.0452)	-0.4926* (0.1640)	-0.4912** (0.1703)
政府是否有施药宣传培训	-0.0254(0.0482)	-0.0246(0.0473)	-0.0598(0.1727)	-0.0818(0.1799)
是否加入市场组织	-0.1570*** (0.0410)	-0.1068* (0.0420)	-0.4843*** (0.1324)	-0.3524* (0.1411)
性别		-0.0207(0.0665)		-0.0970(0.2512)
文化水平		-0.0604** (0.0205)		-0.2024** (0.0696)
土壤质量		0.0073(0.0238)		-0.0318(0.0828)
病虫害严重程度		0.0716*** (0.0166)		0.2427*** (0.0572)
是否购买农业保险		0.0820(0.0498)		0.3065(0.1790)
常数项	0.8804*** (0.0343)	0.8149*** (0.1307)	1.1725*** (0.1236)	1.0344* (0.4604)
Adj.R <sup>2</sup> /Pseudo R <sup>2</sup>	0.0597	0.1035	0.0603	0.1109

注:括号内的值为标准误;\*\*\*、\*\*、\* 分别表示在 1%、5%、10%的水平上显著。

从表 6 可知,主要解释变量的显著性较为稳定且影响方向一致,对果农具有显著影响的因素有施药监督检查、是否加入市场组织、果农文化水平和病虫害严重程度等。为了进一步验证回归结果的稳健性,并比较不同病虫害防控模式下果农农药过量投入影响因素的异质性,将果农分为纯化学农药防治组和绿色防控防治组进行分组回归。模型拟合结果见表 7,其中回归系数和边际效应分别表示影响方向和影响程度。

表 7 分组 Probit 估计结果

变量	样本总体		纯化学农药防治组		绿色防控技术防治组	
	估计参数	边际效应	估计参数	边际效应	估计参数	边际效应
政府是否提供绿色农药补贴	0.2114 (0.1914)	0.0588 (0.0531)	0.0899 (0.5378)	0.0174 (0.1037)	0.2209 (0.2081)	0.0704 (0.0661)
政府是否有施药监督检查	-0.4912 ** (0.1703)	-0.1365 ** (0.0464)	-0.7392 ** (0.2842)	-0.1426 ** (0.0534)	-0.4127 (0.2367)	-0.1316 (0.0745)
政府是否有施药宣传培训	-0.0818 (0.1799)	-0.0227 (0.0500)	-0.0770 (0.2875)	-0.0149 (0.0555)	0.1015 (0.2642)	0.0324 (0.0842)
市场组织化程度	-0.3524 * (0.1411)	-0.0980 * (0.0386)	-0.2611 (0.2885)	-0.0504 (0.0555)	-0.3266 * (0.1663)	-0.1042 * (0.0521)
性别	-0.0970 (0.2512)	-0.0270 (0.0698)	0.0701 (0.4614)	0.0135 (0.0890)	-0.1299 (0.3036)	-0.0414 (0.0967)
文化水平	-0.2024 ** (0.0696)	-0.0563 ** (0.0190)	-0.1787 (0.1325)	-0.0345 (0.0252)	-0.2039 * (0.0835)	-0.0650 ** (0.0260)
土壤质量	-0.0318 (0.0828)	-0.0088 (0.0230)	-0.1293 (0.1738)	-0.0250 (0.0334)	-0.0064 (0.0960)	-0.0020 (0.0306)
病虫害严重程度	0.2427 *** (0.0572)	0.0675 *** (0.0151)	0.4652 *** (0.1213)	0.0898 *** (0.0214)	0.1676 * (0.0663)	0.0534 ** (0.0205)
是否购买农业保险	0.3065 (0.1790)	0.0852 (0.0494)	0.3145 (0.4184)	0.0607 (0.0803)	0.3458 (0.2004)	0.1103 (0.0631)
LR chi <sup>2</sup> (9)	64.84		35.79		27.81	
Pseudo R <sup>2</sup>	0.1109		0.2113		0.0689	
样本数	524		191		333	

注:括号内的值为标准误;\*\*\*、\*\*、\* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平上显著。

对于表 7 估计结果的具体分析如下:

第一,政府规制政策中,施药监督检查在 5% 的置信水平上显著负向影响纯化学农药防治组果农的农药过量投入,而对于已采纳生物防治的果农影响不显著。边际效应系数显示,当地政府有过施药监督检查则纯化学防治组农户过量施药的概率下降 14.26%,说明随着当地监督检查力度的提高,对果农过量施药的抑制作用增强。政府是否提供绿色农药补贴、是否有施药宣传培训等政府激励政策对减少两种防治组农药过量投入的效果不佳。可能原因是享受绿色农药补贴的样本比例较低,且农药投入在生产期内属于隐性行为,强制性指令能更有效地达到规制效果。

第二,加入市场组织在 10% 的置信水平上显著负向影响农药过量投入水平,且对采纳病虫害绿色防控技术组的影响更显著。加入市场组织则绿色防治模式组果农过量施药的概率下降 10.42%,说明参加合作社等市场经济组织的果农更倾向于不过量投入农药,这可能是因为在合作社的组织运营机制内农药等生产资料采购标准更规范统一;绿色防控技术的采纳和学习成本更低,同时更易于专业化病虫害风险集中预警和统防统治管理。此外,从市场角度来看合作社品牌的市场质量违约风险损失也是其考虑的重要风险因素之一。因此,参加合作社等市场化组织的果农过量投入农药的可能性更低。

第三,果农文化水平在 5% 的置信水平上显著负向影响农药过量投入,文化水平每提高一个单位,样本总体过量施药概率下降 5.63%,且采纳绿色防治组比纯化学农药防治组更显著。这可能是因为病虫害绿色防控技术比传统的化学防治技术更复杂、对劳动力素质要求更高。果农

受教育程度越高,越有可能掌握农药合理配比剂量和毒性危害等知识,从而更倾向于选择科学合理的施药技术和用量。而种植经验对减少农药过量投入并无显著影响,说明现阶段在其他因素不变的前提下,伴随果农种植经验的增加,果农更可能在长期种植的“路径依赖”的基础上形成固有施药习惯以保障自身农业收益最大化。且三组回归结果均显示,病虫害程度越严重,果农过量投入农药倾向越强。这也反映出果农农药过量投入行为的直接原因是病虫害预期损失的风险规避心理。

## 五、结论与政策建议

本文基于 2018 年全国 85 个县 524 份桃农调研数据,运用 C-D 生产函数改进的损失控制模型,以桃为例估算了果农农药投入的边际生产率,进而采用 Probit 方法分析影响果农过量施用农药的因素。研究表明,75.38% 的样本果农存在农药过量投入现象,采纳物理防治、生物防治类的病虫害绿色防控技术能够降低农户超量施用农药的发生概率。政府规制政策能够有效抑制纯化学农药过量投入,但当前激励政策对农药减量的作用尚未发挥出全局性作用。此外,善于利用市场组织力量可有效降低果农的农药投入,使其转而采纳绿色综合防控技术和模式。

根据上文的分析,采纳不同病虫害防治措施的果农施药行为影响因素的差异性较大,联系调研实际,提出如下相应建议:(1)在当前农药“零增长”政策执行背景下,针对采纳不同防治措施的果农应重视阶段差异化管理。对于采用纯化学农药防治的果农应实行过程监管与农技推广、示范引导结合的方式,进一步扩大农药补贴政策和规范用药宣传培训的实施力度,对果农采纳绿色防控技术的行为给予正向激励。(2)对于已采纳绿色防控技术防治的果农,要充分发挥经济激励机制的内在驱动作用。利用质量分级、农产品溯源和品牌保护等方式建立通畅的优质优价链路,提高果农可感知的绿色防控技术应用带来的预期收益,使得果农减少农药投入而增加的价值收入大于减少农药投入可能导致的价值损失,从而引导果农主动保持科学合理的农药施用行为,形成深入“农”心的绿色植保、绿色生产理念。(3)进一步提升产业组织化和垂直协作水平,充分发挥果农生产合作社和企业的生产要素配置、生产监管和市场联动作用,从而形成市场侧与政府侧的协同激励体系,在保证农业生产种植过程中农药要素投入实现减量控害政策目标的同时,探寻农药投入成本的下降空间,实现果农节本增收和农产品质量安全共利共赢。

## 参考文献:

- [1] Babcock B A, Lichtenberg E, Zilberman D. Impact of Damage Control and Quality of Output: Estimating Pest Control Effectiveness[J]. American Journal of Agricultural Economics, 1992, 74(1):163-172.
- [2] 王建华, 邓远远, 朱淀. 生猪养殖中兽药投入效率测度——基于损害控制模型的分析[J]. 中国农村经济, 2018(1):63-77.
- [3] 侯建昀, 刘军弟, 霍学喜. 区域异质性视角下农户农药施用行为研究——基于非线性面板数据的实证分析[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2014(4):1-9.
- [4] Lichtenberg E. Economics of Pesticide Use and Regulation[J]. Science, 1991, 253(5019):518-522.
- [5] Headley J C. Estimating the Productivity of Agricultural Pesticides[J]. American Journal of Agricultural Economics, 1968, 50(1):13-23.
- [6] Lichtenberg E, Zilberman D. The Econometrics of Damage Control: Why Specification Matters[J]. American Journal of Agricultural Economics, 1986, 68(2):261-273.
- [7] Huang J K, Hu R F, Rozelle D, et al. Transgenic Varieties and Productivity of Smallholder Cotton Farmers in China[J]. The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics, 2002, 46(3):367-387.
- [8] 周曙东, 张宗毅. 农户农药施药效率估算、影响因素及其与农药生产率关系研究——对农药损失控制生产函数的改进[J]. 农业技术经济, 2013(3):4-14.

- [9]朱淀,孔霞,顾建平.农户过量施用农药的非理性均衡:来自中国苏南地区农户的证据[J].中国农村经济,2014(8):17-29.
- [10]孔霞.农业农药生产率及农药施用行为的影响因素分析[D].苏州:苏州大学,2013.
- [11]Sharafi K, Pirsahab M, Maleki S, et al. Knowledge Attitude and Practices of Farmers about Pesticide Use, Risks, and Wastes; A Cross-Sectional Study (Kermanshah, Iran) [J]. Science of the Total Environment, 2018, 645 (15): 509-517.
- [12]黄炎忠,罗小锋.既吃又卖:稻农的生物农药施用行为差异分析[J].中国农村经济,2018(7):63-78.
- [13]高晶晶,史清华.农户生产性特征对农药施用的影响:机制与证据[J].中国农村经济,2019(11):83-99.
- [14]李昊,李世平,南灵,等.农户农药施用行为及其影响因素——来自鲁、晋、陕、甘四省693份经济作物种植户的经验证据[J].干旱区资源与环境,2018(2):161-168.
- [15]林锐,周力,周曙东.规模分化视角下农户农药施用行为的邻里效应分析——以花生种植户为例[J].福建农业学报,2018(11):1224-1230.
- [16]刘明.设施蔬菜种植户农药使用效率研究——以设施辣椒为例[D].北京:中国农业科学院,2018.
- [17]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.
- [18]姜健,周静,孙若愚.菜农过量施用农药行为分析——以辽宁省蔬菜种植户为例[J].农业技术经济,2017(11):16-25.
- [19]Khan M, Mahmood H Z, Damalas C A. Pesticide Use and Risk Perceptions Among Farmers in the Cotton Belt of Punjab, Pakistan[J]. Crop Protection, 2015, 67(1): 184-190.
- [20]黄祖辉,钟颖琦,王晓莉.不同政策对农户农药施用行为的影响[J].中国人口·资源与环境,2016(8):148-155.
- [21]黄季焜,齐亮,陈瑞剑.技术信息知识、风险偏好与农民施用农药[J].管理世界,2008(5):71-76.

(责任编辑:蒋玮)

## The Analysis of Efficiency Measurement of Pesticide Application for Fruit Growers and the Driving Force to Reduce Misallocation: Empirical Analysis: Based on 524 Peach Farmers from 85 Production Counties in China

ZHAN Jintao, ZHANG Huiyi, CHEN Chao

**Abstract:** In the face of the double pressure of severe agricultural non-point source pollution and rising cost of agricultural production factors, it is one of the policy requirements to promote the reduction and efficiency of chemical pesticides and green comprehensive prevention and control of pests and diseases to achieve the goal of agricultural sustainable development. Based on 524 peach farmers' survey data of China in 2018, this paper uses the improved damage control model to estimate the marginal productivity of pesticide input factors of fruit farmers, and then uses Probit method to analyze the factors affecting excessive pesticide application of fruit farmers. The results show that the average marginal productivity of pesticide is close to 0, which indicates that there is a certain degree of overuse of pesticide. However, under the control of the occurrence of diseases and insect pests, the probability of overuse of pesticide is lower when the government has the supervision and inspection of pesticide application, the degree of market organization is high, and the level of education is high. In addition, the results of group regression of different pest control modes show that the government's supervision and inspection policies have a significant impact on the inhibition of excessive pesticide investment under the pure chemical pesticide control mode, and the high degree of market organization has a strong normative effect on the adoption of green control mode. It can be seen that, in addition to strengthening green prevention and control subsidies, the current reduction of pesticide investment in fruit and vegetable products can not relax government regulation while giving play to market guidance.

**Keywords:** Marginal Productivity; Damage Control Model; Pest Control and Management; Green Control Techniques; Pesticide Use