

农药施用技术培训减少农药过量施用了吗？*

李昊 李世平 南灵

摘要：本文基于山东、山西、陕西和甘肃四省 2016 年和 2017 年经济作物种植户微观调查数据，利用引入损失控制函数的 Cobb-Douglas 生产函数对水果、反季和顺季蔬菜种植户的农药过量施用水平进行测算，运用二项 Logit 模型估计农药施用技术培训对农药是否过量施用的影响，采用分位数回归和倾向得分匹配考察农药施用技术培训对农药过量施用用户过量施用水平的影响和因果效应，并进一步分析农药施用技术培训效果在基本特征不同的种植户之间的差异。结果表明：经济作物种植户农药过量施用现象较为普遍；参加培训对种植户过量施用农药有显著的负向影响；培训效果也因种植户基本特征的不同而不同，培训的影响程度随农药过量施用用户农药过量施用水平的升高而下降，在农药过量施用水平较低时，不同机构组织的培训和不同模式的培训均降低了种植户农药过量施用水平，其中村委会组织的培训和田间指导的培训效果较好。

关键词：农药过量施用 农药施用技术培训 倾向得分匹配 经济作物种植户

中图分类号：F301 **文献标识码：**A

一、引言

农药的施用为农业生产率提高和农产品稳定供给做出了积极贡献，但农药过量施用造成了农业面源污染加剧、农业生态系统退化，已成为中国水体和土壤的主要污染源。农药过量施用也导致食品安全和人体健康等诸多风险，虽然目前尚无直接证据表明农药的过量施用是人体健康问题的诱因，但通常认为二者相关性颇高 (Markel et al., 2015)。即便如此，中国农户农药用量仍居高不下，目前中国已成为世界最大的农药生产国和消费国 (Grung et al., 2015)。

粮食产量的连年增长和公众对食品安全问题的关注，催生了农产品由数量供需矛盾向质量供需矛盾的转变。中央政府提出农业供给侧结构性改革，力推主要满足农产品数量需求的传统农业向更加注重满足质量需求的现代农业转变。因此，切实加强农业环境保护和污染源头治理，全面提升农产品质量和食品安全水平，是新的历史阶段中国农业发展的必然选择。

国内外学者对农户不合理施用农药的诸多影响因素进行了探索，以农户户主个体特征、家庭特

*本文研究得到国家社会科学基金项目“基于社会规范和个人规范双重视角的农户亲环境行为的作用路径及提升机制研究”(项目编号：17BJY067)。感谢匿名审稿专家的宝贵意见，当然，文责自负。

征、生产特征和外部环境因素等为逻辑主线，形成了农户农药施用行为经济学分析的常用范式（例如 Jallow et al., 2017; Woods et al., 2017）。Schreinemachers et al. (2017) 对东南亚地区菜农农药施用行为的研究发现，受访者性别、种植年限和种植规模等是影响农户农药过量施用的关键，其中，女性受访者随着种植年限的增加和种植规模的扩大，更倾向于增加农药用量。Abdollahzadeh et al. (2015) 对伊朗稻农病虫害生物控制技术采用行为的研究结果表明，受访者较高的受教育程度、农业服务机构的有效性和较多家庭农业劳动力是农户采用生物控制技术的主要影响因素。此外，户主的身体健康状况、农药中毒经历等也是影响农户农药施用行为的关键（应瑞瑶、徐斌，2014）。

一些研究透过农户不合理施用农药行为的表象，挖掘影响其施药行为的深层次原因。农户是理性人，其农业生产的目的在于实现收入最大化，对病虫害等可能造成作物减产具有明显的损失厌恶特征（朱淀等，2014a）。担心作物减产的风险使农户施用更多农药以避免作物产出的不确定性（米建伟等，2012）。目前中国农业生产仍以小农生产为主，在农业生产中面临风险时，农户往往依赖更多农药的投入（黄季焜等，2008）。但也存在另一种声音，即认为较多农户的农药用量已远超过经济意义上的最优用量（Jallow et al., 2017）。一个合理的解释为：农户农药施用知识匮乏，导致农药滥用现象较为普遍。那么，农药施用技术培训减少农药过量施用了吗？培训的效果在具有不同基本特征的农户之间存在差异吗？对上述问题的回答，对减少农户农药投入冗余、节省生产成本和改善农业生态环境具有重要的现实意义。此外，对上述问题的回答还可以检视政府、农业服务组织等所提供的农药施用技术培训的效果，加深对农户过量施用农药行为的认识，同时也为农业面源污染、食品安全等问题的源头控制提供一个独特的视角。

二、农药施用知识对农药过量施用的影响

（一）农药过量施用的界定及动因

1. 农药过量施用的界定。按照经济分析逻辑，农药的最优用量应满足农药施用的边际收益等于边际成本，当农药施用的边际收益低于边际成本时，则为过量施用。

2. 农药过量施用的动因。农药施用的利益相关群体主要包括农户、农药销售商、地方政府和农产品消费者。农户过量施用农药主要源于“私利”，即农药投入能稳定农业产出。虽然较多研究表明，随着农村劳动力转移，农业副业化、兼业化现象较为普遍，但在当前收入格局下，农业仍不失为农户增收的有效渠道。农药销售商同样是出于“私利”，其农药销售收益和农户农业产出密切相关，只有所售出的农药有效控制了农作物病虫害，才能吸引更多农户购药。这也导致农药销售商所提供的农药施用建议往往高于标准，甚至提供禁用农药（Wang et al., 2015）。与前两者不同，地方政府对农药施用的监管更多地是出于一种“公利”，存在公利权衡：一方面，在国家法律法规的约束下，为改善当地农业生态环境，当地政府有监管农户过量施用农药的动机；另一方面，严格执行农业环境保护政策可能会导致农作物减产，影响当地政府的政绩指标。两者权衡的作用下，农业生产监管通常不足（Grovermann et al., 2013）。在完全竞争市场中，消费者对安全农产品的需求能够引导供给，从而促进农户安全农药施用行为。但是，农产品从生产者到消费者转移的过程中存在信

息失真和信息不对称。第一，消费者不能分辨何为安全农产品，所仰赖的是公权力部门对安全农产品的认证和监管，而当前安全农产品认证乱象丛生，造成信息失真；第二，即便农户合理施药，生产安全农产品，但由于缺少认证，也不能被消费者认可，导致信息不对称。信息失真和信息不对称导致农产品市场对安全农产品生产的有效引导不足。

（二）农药施用知识对农户过量施药行为的影响

在发展中国家，农户农药施用知识欠缺是普遍现象。农户对杂草和病虫害的种类不能合理区分，在病虫害等侵袭时很难对症下药（Khan and Damalas, 2015），一般情况下，农户依赖于经验判断施用农药（朱淀等，2014b）。这种依赖一方面可能导致农户错用农药而贻误病虫害最佳防治期；另一方面会促使农户进一步施用农药以期挽回损失，从而增加施药成本。二者均会助长农药过量施用。目前，中国农药过量施用严重，农药的有效利用率仅为 35%（刘振伟，2014），其余部分农药大多随风和降水进入空气、土壤和河流中，造成土壤退化、水源污染等一系列环境问题。农药施用知识不足成为制约农户农药合理投入的关键，致使农户的施药行为缺乏科学指导，即便完全理性的农户，由于农药施用知识的匮乏，其农药用量也可能与经济意义上的最优用量相背离。

三、研究方案设计

（一）农药过量施用的理论分析

基于经典经济学分析框架，假设农户是理性人，其农业生产目标在于追求利益最大化，即：

$$\Pi = pY - \sum_i r_i Z_i - wX \quad (1)$$

（1）式中， Π 为农业生产净收益， p 为单位农产品价格， Y 为农产品总产量， r_i 为除农药外其他要素的单价， Z_i 为除农药外其他要素的投入量， w 为农药单价， X 为农药投入量。在实现私人收益最大化时，农药最优用量应满足一阶导数条件：

$$d\Pi = w \quad (2)$$

（2）式中， $d\Pi$ 为农药施用的边际产出价值（VMP），当 $VMP/w=1$ 时，农药用量为经济意义上的最优用量；当 VMP/w 大于 1 时，农药用量不足；反之，则为过量施用。

理论界常用 Cobb-Douglas (C-D) 生产函数来估计农药的边际产出，将化肥、农药、劳动力等作为生产性投入代入 C-D 生产函数。但是，农药并非生产性投入，而属于损失控制 (damage control) 投入，即农户为防止农作物减产而进行的投入，将其直接代入生产函数会造成农药边际产出的高估 (Lichtenberg and Zilberman, 1986; Grovermann et al., 2013)。为克服直接将农药投入代入 C-D 生产函数造成农药边际产出的高估，Lichtenberg and Zilberman (1986) 建议将农药投入作为损失控制函数引入生产函数，即：

$$Y = F(Z, C)G(X) \quad (3)$$

(3) 式中, Y 为农作物产量, $F(Z, C)$ 为除农药投入外包含其他生产性投入和控制变量的复合函数, $G(X)$ 为损失控制函数。其中, 损失控制函数有帕累托、指数、逻辑斯蒂克和韦布尔等形式, 根据 Grovermann et al. (2017), 采用指数形式能得出更稳健的结果, 故本文损失控制函数选择指数分布形式, 并建立如下生产函数模型:

$$\ln Y = \alpha + \sum_i \beta_i \ln C_i + \sum_j r_j \ln Z_j + \ln(1 - e^{-\lambda X}) + \varepsilon \quad (4)$$

(4) 式中, Y 为农作物产量, α 为常数项, C_i 为第 i 个控制变量, X 为农药投入, Z_j 为第 j 个其他生产性投入, β_i 、 r_j 和 λ 为待估系数, ε 为残差项。(4) 式中农药施用函数的一阶导数为:

$$VMP = F(Z, C) \times \frac{\lambda e^{-\lambda X}}{1 - e^{-\lambda X}} \quad (5)$$

本文的生产函数估计包含了价格因素, 将 (4) 式的参数估计值代入 (5) 式, 当 VMP 等于农药单位投入 (计算详见模型估计部分的注释) 时, 计算出农户经济意义上的农药最优投入 (X^*) (参见 Grovermann et al., 2013), 故农户农药过量施用为实际投入 (X) 与经济意义上最优投入 (X^*) 之差:

$$X_{overuse} = X - X^* \quad (6)$$

(二) 准实验设计

对于受访者是否参加过培训, 本文将参加者作为处理组, 未参加者作为对照组。处理组平均处理效应 (ATT) 为参加过培训的受访者农药用量的期望值与假设其未参加过培训情况下农药用量的期望值之差:

$$ATT = E(Y_1 | I_i = 1) - E(Y_0 | I_i = 1) \quad (7)$$

(7) 式中, I_i 为第 i 个受访者是否参加过培训, 参加过取 1, 反之取 0; Y_1 为参加过培训者的农药用量, $Y_0 | I_i = 1$ 表示假设同一受访者未参加过培训情况下的农药用量。但能被观测到的只是受访者参加过或未参加过培训中的一种:

$$ATE = E(Y_1 | I_i = 1) - E(Y_0 | I_i = 0) \quad (8)$$

(8) 式中, ATE 为平均处理效应。由 (7) 式和 (8) 式进一步推出:

$$ATE = ATT + E(Y_0 | I_i = 1) - E(Y_0 | I_i = 0) \quad (9)$$

如果受访者参加培训与否是完全随机分配的, 即 I_i 与 (Y_1, Y_0) 相互独立, 此时, $ATE = ATT$ 。但受访者参加培训与否并非完全随机分配, 这可能导致模型估计的内生性。因此, 应消除实验前受访者基本特征差异 ($E(Y_0 | I_i = 1) - E(Y_0 | I_i = 0)$) 的影响。本文采用倾向得分匹配 (propensity score matching, PSM) 这一准实验方法来消除该影响, 以实现 I_i 与 (Y_1, Y_0) 条件独立。

目前常见的做法是以广义线性模型的回归结果作为倾向得分, 进而用局部线性回归或核匹配等

方式消除受访者基本特征对其是否参加过培训的影响，但该方法通常会导致某些特征在匹配后差异增大。本文采用遗传算法（参见 Wood and Donnell, 2016）来解决上述问题：

$$D(\vec{x}, \vec{y}, W) = \sqrt{(\vec{x} - \vec{y})^T (s^{-\frac{1}{2}})^T s^{-\frac{1}{2}} W (\vec{x} - \vec{y})} \quad (10)$$

(10) 式中， $D(\vec{x}, \vec{y}, W)$ 为距离函数， \vec{x} 和 \vec{y} 分别对应处理组和对照组受访者的基本特征， W 为 $(\vec{x} - \vec{y})$ 的权重， s 为处理组和对照组间的协方差矩阵， $s^{-\frac{1}{2}}$ 为 s 的乔列斯基分解， T 为转置矩阵。通过上述方法实现受访者参加培训对农药过量施用影响的因果推断。

四、数据来源与样本统计特征分析

（一）农户选择及样本分类

1. 调查对象选择。果蔬类经济作物利润空间较大，导致其生产中农药用量远高于粮食作物，其中，设施蔬菜等反季作物尤为甚之。故本文选择水果和蔬菜种植户为研究对象。

2. 样本分类。为避免不分种植类型对农户投入产出进行分析可能带来的误差，且鉴于水果和蔬菜本身的差异，本文首先将水果种植户作为一类。考虑到反季蔬菜种植中的农药用量远高于顺季蔬菜种植，故进一步将蔬菜种植户分为反季蔬菜种植户和顺季蔬菜种植户。本文样本所种植的果蔬中水果为哈密瓜，反季蔬菜为番茄，顺季蔬菜包括黄瓜、茄子等常见蔬菜。即本文研究对象包括水果、反季蔬菜和顺季蔬菜种植户三类。

（二）数据来源

为保证样本的合理性和代表性，本文数据来源于课题组 2016 年 12 月至 2017 年 3 月对山东、山西、陕西和甘肃果蔬种植户的随机抽样调查。课题组在每个省随机选取 2~3 个县，在每个县按照农村居民平均收入水平高、中、低随机选取 3 个乡（镇），按照同样方法在每个乡（镇）选取 3~4 个村，在每个村按照果蔬种植户数随机发放 10~15 份问卷，受访者为果蔬种植户的户主。课题组共发放问卷 1300 份，回收有效问卷 1223 份，有效率为 94.08%。

（三）样本统计特征分析

1. 受访者个体特征。受访者中，男性为 789 人，占比为 64.51%；受访者以中老年人为主，30 岁及以下、31~40 岁、41~50 岁、51~60 岁及 60 岁以上的受访者占比分别为 4.33%、12.43%、40.39%、32.54% 和 10.30%；受访者的受教育程度普遍偏低，初中及初中以下的受访者累计占比为 72.69%。

2. 样本户家庭基本特征。受访者家庭人口数平均为 4.56 人，家庭劳动力平均为 2.30 人，家庭年收入平均为 4.26 万元，其中，家庭农业收入平均为 2.50 万元，农业收入占家庭年收入的比例平均为 59.81%，每户果蔬种植面积平均为 5.59 亩。

3. 样本户农药投入情况。水果、反季和顺季蔬菜种植户亩均农药投入分别为 140 元、801 元和 260 元。反季蔬菜种植户的农药投入远高于顺季蔬菜和水果种植户。

本文所用变量（未包含农药投入、化肥投入等变量）的含义、测量方式及其均值如表 1 所示，

多类别虚拟变量的均值省略。本文控制变量的选取以目前常用的行为经济学分析范式为基础，选取户主个体特征、家庭特征、种植特征和认知因素等作为控制变量（参见 Schreinemachers et al., 2017）。

表 1 变量含义及赋值

类型	变量	变量含义及测量方式	均值
因变量	是否过量施用农药 (<i>Y</i>)	虚拟变量；过量=1，未过量=0	0.68
核心变量	是否参加过培训 (<i>TRAIN</i>)	虚拟变量；参加过=1，未参加过=0	0.65
	培训频率 (<i>FRE</i>)	连续型变量；参加农药施用技术培训的次数	1.95
	不同机构组织的培训 (<i>AGENCY</i>)	虚拟变量；以未参加培训或参加其他类型的培训为对照，分别设置 3 个变量：参加政府组织的培训 (<i>AGENCY</i> ₁)，参加村委会组织的培训 (<i>AGENCY</i> ₂)，二者皆参加 (<i>AGENCY</i> ₃)	—
	培训模式 (<i>MODE</i>)	虚拟变量；以未参加培训或参加其他模式的培训为参照，分别设置 3 个变量：参加课堂讲授培训 (<i>MODE</i> ₁)，参加田间指导培训 (<i>MODE</i> ₂)，二者皆参加 (<i>MODE</i> ₃)	—
	性别 (<i>GENDER</i>)	虚拟变量；男=1，女=0	0.65
控制变量	年龄 (<i>AGE</i>)	连续型变量；实际年龄 (岁)	49.53
	受教育程度 (<i>EDU</i>)	虚拟变量；以“未上过学”为参照，分别设置 4 个变量：小学 (<i>EDU</i> ₁)，初中 (<i>EDU</i> ₂)，高中 (<i>EDU</i> ₃)，大专及以上 (<i>EDU</i> ₄)	—
	身体健康状况 (<i>HEALTH</i>)	虚拟变量；以“不好”为参照，分别设置 2 个变量：一般 (<i>HEALTH</i> ₁)，健康 (<i>HEALTH</i> ₂)	—
	风险规避 (<i>RISK</i>)	虚拟变量；以“风险偏好”为参照，分别设置 2 个变量：风险中性 (<i>RISK</i> ₁)，风险规避 (<i>RISK</i> ₂)	—
	家庭人口数 (<i>HOME</i>)	连续型变量；家庭实际人数 (人)	4.56
	家庭年收入 (<i>TINCOME</i>)	连续型变量；家庭实际年纯收入 (万元)；	4.26
	种植规模 (<i>AREA</i>)	连续型变量；种植面积 (亩)	5.59
	种植年限 (<i>PYEARS</i>)	连续型变量；累计种植蔬菜 (水果) 的年数 (年)	9.88
	农业收入占比 (<i>CINCOME</i>)	连续型变量；农业纯收入占家庭年纯收入的比例	0.60
	农药残留认知 (<i>RESIDUE</i>)	虚拟变量；以“不了解”为参照，分别设置 2 个变量：一般 (<i>RESIDUE</i> ₁)，了解 (<i>RESIDUE</i> ₂)	—
	施药对自身健康影响的认知 (<i>SH</i>)	虚拟变量；以“无影响”为参照，分别设置 2 个变量：一般 (<i>SH</i> ₁)，有影响 (<i>SH</i> ₂)	—
	施药对农业环境污染影响的认知 (<i>ENPO</i>)	虚拟变量；以“无影响”为参照，分别设置 2 个变量：一般 (<i>ENPO</i> ₁)，有影响 (<i>ENPO</i> ₂)	—
	政府对农药残留检测的频率 (<i>CHECK</i>)	虚拟变量；以“从不检测”为参照，分别设置 2 个变量：检测 1 或 2 次 (<i>CHECK</i> ₁)，2 次以上 (<i>CHECK</i> ₂)	—
	是否加入合作社 (<i>COOP</i>)	虚拟变量；加入=1，未加入=0	0.54
	地区变量	虚拟变量；以甘肃省为参照，分别设置 3 个变量：山东省	—

(SD)，山西省(SX)，陕西省(SHX)

注：风险规避以受访者对投资、风险和收益的选择衡量，选择“高成本、高风险、高收益”定义为风险偏好，选择“中等成本、中等风险、中等收益”定义为风险中性，选择“低成本、低风险、低收益”定义为风险规避。

五、结果分析

(一) 生产函数估计

为避免顺季蔬菜种植户种植蔬菜品种不同可能对估计结果的影响，本文将同类顺季蔬菜种植较多的样本归为一类，分别为黄瓜种植户(n=152)和茄子种植户(n=146)，其余为第三类(n=121)，通过 Kruskal-Wallis 法检验种植不同蔬菜品种农户的投入和产出差异(见表 2)。由表 2 可知，三类顺季蔬菜种植户在化肥投入、农药投入、劳动力投入、其他投入(包括机械、种子等)和蔬菜种植收入上无显著差异，故本文将顺季蔬菜种植户作为一类种植户具有一定的合理性。

表 2 顺季蔬菜种植户各项投入和产出的比较

变量	卡方值	自由度	p 值
化肥投入	2.629	2	0.269
农药投入	0.447	2	0.800
劳动力投入	1.766	2	0.414
其他投入	2.680	2	0.262
蔬菜种植收入	3.564	2	0.168

对(4)式的估计，目前主要存在两种思路：一种是在剔除价格因素的影响后，考察生产性投入量和产量之间的关系(参见 Zhang et al., 2015)；另一种是包括价格因素，考察投入成本和收入之间的关系(参见朱淀等, 2014a)。考虑到农药施用种类和顺季蔬菜种植户种植不同蔬菜品种的差异，本文以亩均投入成本和亩均收入来估计 C-D 生产函数。本文在 C-D 生产函数估计中加入了种植户户主的年龄、受教育程度、种植年限以及地区虚拟变量作为控制变量(见表 3)。

表 3 损失控制生产函数估计结果

变量	水果种植户		反季蔬菜种植户		顺季蔬菜种植户	
	估计值	标准误	估计值	标准误	估计值	标准误
截距	9.404***	2.163	1.606***	0.412	94.792***	27.317
化肥(对数)	0.113***	0.036	0.070***	0.024	0.058**	0.026
劳动力(对数)	0.597***	0.047	0.896***	0.042	0.113***	0.032
其他(对数)	0.321***	0.044	-0.116	0.084	0.876***	0.063
年龄(对数)	-0.126**	0.060	0.002	0.058	-0.392***	0.073

农药施用技术培训减少农药过量施用了吗？

受教育程度（对数）	0.052	0.056	-0.082	0.071	-0.167***	0.047
种植年限（对数）	-0.002	0.016	0.124***	0.017	-0.051*	0.030
农药	0.225***	0.059	0.331**	0.154	0.211***	0.034
样本数	396		408		419	
R ²	0.929		0.919		0.725	

注：①*、**和***分别表示在 10%、5%和 1%的水平上显著，下同；②受教育程度以有序分类变量处理；③地区控制变量的估计结果省略，下同。

根据（5）式，本文将三类种植户化肥投入、劳动力投入等相关变量的均值代入，计算出农药投入的边际生产率（ VMP/w ）。结果表明，水果和顺季蔬菜种植户的农药边际生产率分别为 0.34 和 0.33，反季蔬菜种植户的农药边际生产率接近于 0。三类种植户均存在农药过量施用现象，若考虑农药施用导致的人体健康风险和环境污染等负外部效应，反季蔬菜种植户的农药边际生产率可能为负。

（二）农药施用技术培训与农药是否过量施用

鉴于种植户农药施用种类的多样性，本文对每个种植户选取其最常用的杀虫剂、除草剂和杀菌剂进行折算^①，然后根据表 3 中的估计结果，计算出种植户经济意义上的农药最优用量。水果、反季蔬菜和顺季蔬菜种植户中分别有 214 户、318 户和 295 户过量施用农药，占比分别为 54.04%、77.94% 和 70.41%。初步结果表明，农药过量施用情况在三类种植户中普遍存在，反季蔬菜种植户尤为严重。

为考察农药施用技术培训对种植户是否过量施用农药的影响，本文采用二项 Logit 模型进行估计，并引入可能影响种植户施药行为的户主个体特征、家庭特征和种植特征等作为控制变量，模型估计结果见表 4。为保证结果的稳健性，表 4 同时给出了贝叶斯二项 Logit 模型的估计结果。

由表 4 分析可知，三类种植户中，参加农药施用技术培训均显著，且其符号为负，意味着参加过培训能显著降低种植户过量施用农药的概率。该结果证实了农药施用技术培训可增加种植户对农药安全施用的了解，进而在农业生产中影响其农药投入决策。此外，大专及以上学历受教育程度影响显著，即户主较高的受教育程度减少了种植户过量施用农药的可能。风险规避程度越高，种植户越可能过量施用农药。农药残留检测频率越高，越能显著降低种植户农药过量施用的可能性。

与女性相比，户主为男性的水果种植户过量施药的可能性较低。水果种植户种植规模越大，越会减少农药过量投入。农业收入占比越大，水果种植户农药过量施用的可能性越大。这可能是因为农业收入占比高的种植户更加看重农业收入，为避免作物减产而过量施用农药。

在反季和顺季蔬菜种植户中，户主年龄越大，其农药过量施用的可能性越小。身体健康状况在反季蔬菜种植户中不显著。顺季蔬菜种植户有家庭劳动力外出务工的占比为 29.59%，反季蔬菜种植户这一比例不足 10%，故户主身体健康状况较好的顺季蔬菜种植户更倾向于以农药投入替代劳动力投入。家庭人口数越多、家庭年收入越高，顺季蔬菜种植户越可能过量施用农药，但该影响在反季

^①折算方式借鉴 Grovermann et al. (2013) 的计算方式，即取每个样本户常用杀虫剂、除草剂和杀菌剂活性成分质量之和，然后以这些农药的购买成本除以活性成分质量计算农药单位投入，以亩均表示。

蔬菜种植户中不显著。可能的原因是，两类蔬菜种植户收入水平有差距，反季蔬菜种植户的亩均收入近 11000 元，而顺季蔬菜种植户的亩均收入仅为反季蔬菜种植户的一半。种植规模越大，顺季蔬菜种植户越有可能不过量施用农药，但该影响在反季蔬菜种植户中不显著。这是因为，当种植规模较大时，较高的农药投入使家庭年收入不高的顺季蔬菜种植户更惜于支出。与果农相比，菜农认为农药施用对自身健康产生不利影响的程度越高，越可能不过量施用农药。蔬菜种植户特别是反季蔬菜种植户，平均 3~7 天施药一次。较高的施药频次可能使菜农更加关注农药施用对自身健康的影响。

表 4 农药施用技术培训对农药是否过量施用的影响

变量	水果种植户		反季蔬菜种植户		顺季蔬菜种植户	
	Logit	贝叶斯 Logit	Logit	贝叶斯 Logit	Logit	贝叶斯 Logit
<i>TRAIN</i>	-1.031** (0.506)	-1.596** (-2.957, -0.408)	-0.163** (0.082)	-0.364** (-0.674, -0.054)	-0.478** (0.201)	-0.587*** (-1.019, -0.202)
<i>GENDER</i>	-0.687* (0.376)	-0.915** (-1.807, -0.023)	-1.122 (0.892)	-0.632 (-1.686, 2.950)	0.061 (0.411)	0.040 (-0.214, 0.294)
<i>AGE</i>	0.082 (0.059)	0.121 (-0.147, 0.391)	-0.120* (0.064)	-0.062* (-0.126, 0.002)	-0.043* (0.024)	-0.053** (-0.096, -0.009)
<i>EDU₁</i>	-0.949 (1.317)	-1.425 (-4.795, 1.506)	0.181 (0.596)	0.198 (-4.238, 4.262)	0.136 (0.700)	0.123 (-0.298, 0.544)
<i>EDU₂</i>	-2.123 (1.355)	-3.116 (-8.432, 2.200)	0.350 (0.703)	0.617 (-4.140, 5.013)	0.353 (0.716)	-0.091 (-1.939, 1.758)
<i>EDU₃</i>	-3.474** (1.431)	-5.014*** (-8.781, -1.806)	-0.436 (0.808)	-0.183 (-5.323, 4.619)	-0.457 (0.762)	-0.106 (-1.892, 1.680)
<i>EDU₄</i>	-2.914** (1.405)	-4.351** (-8.939, -0.217)	-2.756* (1.599)	-2.140* (-4.364, 0.084)	-1.326** (0.656)	-0.676** (-1.280, -0.072)
<i>HEALTH₁</i>	0.979 (1.182)	1.509 (-1.371, 4.389)	0.421 (1.402)	0.846 (-2.994, 4.686)	0.636* (0.354)	1.277* (-0.093, 2.647)
<i>HEALTH₂</i>	0.971 (0.858)	1.333 (-0.679, 3.373)	1.808 (1.340)	2.301 (-1.403, 6.005)	0.851** (0.421)	1.543** (0.091, 2.995)
<i>RISK₁</i>	0.498 (0.816)	0.653 (-1.251, 2.601)	0.401 (1.124)	0.490 (-2.724, 3.704)	0.718 (0.496)	1.107 (-0.541, 2.755)
<i>RISK₂</i>	2.609** (1.070)	5.581*** (3.093, 8.356)	1.712** (0.722)	1.918** (0.002, 3.834)	2.283*** (0.612)	3.071*** (1.686, 4.503)
<i>HOME</i>	-0.293 (0.261)	-0.424 (-1.050, 0.178)	0.150 (0.239)	0.264 (-0.363, 0.925)	0.188** (0.092)	0.215** (0.031, 0.399)
<i>TINCOME</i>	0.209 (0.136)	0.282 (-0.252, 0.816)	0.577 (0.389)	1.103 (-1.081, 3.287)	0.123** (0.056)	0.128** (0.047, 0.264)
<i>AREA</i>	-0.099* (0.056)	-0.136* (-0.252, 0.816)	-0.068 (0.389)	-0.292 (-1.081, 3.287)	-0.224*** (0.056)	-0.266*** (0.047, 0.264)

农药施用技术培训减少农药过量施用了吗？

	(0.060)	(-0.285, 0.006)	(0.201)	(-0.898, 0.314)	(0.072)	(-0.429, -0.145)
<i>PYEARS</i>	-0.047	-0.072	-0.077	-0.135	-0.039	-0.049
	(0.037)	(-0.160, 0.016)	(0.140)	(-0.499, 0.232)	(0.027)	(-0.104, 0.016)
<i>CINCOME</i>	0.571**	0.883*	2.097	2.148	0.781	0.738
	(0.273)	(-0.003, 1.769)	(1.778)	(-2.740, 7.036)	(0.874)	(-0.563, 2.665)
<i>RESIDUE₁</i>	0.226	0.258	0.002	0.011	0.640	0.519
	(0.787)	(-1.554, 2.113)	(0.021)	(-0.013, 0.035)	(0.459)	(-0.455, 1.493)
<i>RESIDUE₂</i>	-0.470	-0.672	-0.351	-0.793	-0.044	-0.051
	(0.707)	(-2.368, 0.981)	(1.164)	(-4.003, 2.417)	(0.584)	(-0.113, 0.215)
<i>SH₁</i>	-1.068	-1.308	-0.277	-0.348	-0.607	-0.804
	(2.012)	(-6.128, 3.505)	(1.361)	(-4.086, 3.183)	(0.643)	(-0.634, 2.242)
<i>SH₂</i>	-1.666	-2.347	-1.336**	-2.356**	-1.998***	-2.624***
	(1.413)	(-5.831, 0.897)	(0.511)	(-4.620, -0.092)	(0.629)	(-3.672, -1.343)
<i>ENPO₁</i>	1.536	2.337	-1.247	-2.558	0.197	0.524
	(1.526)	(-1.300, 6.088)	(1.558)	(-6.856, 1.455)	(0.580)	(-0.802, 1.717)
<i>ENPO₂</i>	0.593	0.944	-1.958	-2.798	-0.147	-0.466
	(1.311)	(-2.172, 4.190)	(1.490)	(-6.926, 1.330)	(0.595)	(-0.880, 1.812)
<i>CHECK₁</i>	-1.917**	-2.727***	-0.365	-0.667	-0.249	-0.229
	(0.758)	(-4.559, -0.895)	(1.120)	(-3.723, 2.385)	(0.459)	(-1.099, 0.641)
<i>CHECK₂</i>	-2.567**	-3.565**	-3.375**	-3.220**	-0.730**	-0.597**
	(1.086)	(-7.125, -0.005)	(1.465)	(-6.324, -0.116)	(0.352)	(-1.193, -0.001)
<i>COOP</i>	0.146	0.253	-1.437	-1.669	-0.644	-1.006
	(0.678)	(-0.103, 0.609)	(0.960)	(-4.349, 1.011)	(0.433)	(-3.452, 1.440)

注：①Logit 模型报告的结果为系数，括号中的数字为标准误；贝叶斯 Logit 模型报告的结果为系数，括号中的数字为 95% 置信区间。②截距项的估计结果省略，下同。

（三）农药施用技术培训对农药过量施用影响的初步证据

为进一步考察农药施用技术培训对种植户农药过量施用的影响，本文仅保留三类种植户中过量施用农药的样本，即因变量为农药过量施用水平，且将是否参加过培训替换为更能反映培训特征的变量——培训频率、不同机构组织的培训和培训模式。同时，为揭示培训可能存在的影响强度的变化特征，本文采用分位数回归对估计结果进行验证，并加入均值回归作为参照（见表 5）。为简便起见，本文分别将农药施用水平超过经济意义上最优施用水平 25%、50% 和 75% 的种植户称为轻微过量（I 类）种植户、中等过量（II 类）种植户和严重过量（III 类）种植户。

由表 5 可知，对于水果种植户，培训频率能显著减少 I 类和 II 类种植户的农药过量施用水平，但对 III 类种植户的影响不显著。对于 I 类和 II 类种植户，参加不同机构组织的培训均降低了其农药过量施用水平，其中，村委会组织的培训效果较好。田间指导的培训模式显著降低了 I 类和 II 类水果种植户的农药过量施用水平。风险规避显著增加了水果种植户的农药过量施用水平。农药残留检

测频率在不同程度上减少了 I 类和 II 类种植户的农药过量施用水平。

表 5 农药施用技术培训对农药过量施用的影响

变量	水果种植户 (n=214)				反季蔬菜种植户 (n=318)				顺季蔬菜种植户 (n=295)			
	25%	50%	75%	OLS	25%	50%	75%	OLS	25%	50%	75%	OLS
<i>FRE</i>	-1.00*** (0.16)	-0.11** (0.05)	-0.11 (0.08)	-0.14** (0.07)	-0.08*** (0.01)	-0.07* (0.04)	-0.08 (0.07)	-0.08* (0.04)	-0.06** (0.03)	-0.09 (0.05)	-0.02 (0.03)	-0.13* (0.08)
<i>AGENCY</i> ₁	-0.10** (0.05)	-0.12 (0.16)	0.04 (0.04)	-0.24 (0.24)	-0.06 (0.06)	-0.04 (0.07)	0.01 (0.08)	-0.09 (0.16)	-0.06* (0.03)	-0.01 (0.04)	0.03 (0.11)	-0.06 (0.09)
<i>AGENCY</i> ₂	-0.02** (0.01)	-0.05** (0.02)	0.08 (0.42)	-0.10* (0.05)	-0.03** (0.01)	0.05 (0.05)	0.09 (0.08)	-0.01 (0.12)	-0.02** (0.01)	0.03 (0.03)	0.02 (0.07)	-0.03 (0.07)
<i>AGENCY</i> ₃	-0.02* (0.01)	-0.02 (0.02)	-0.00 (0.04)	-0.02 (0.19)	-0.01** (0.00)	-0.00 (0.04)	0.02 (0.09)	-0.09 (0.15)	-0.04* (0.02)	-0.05 (0.04)	0.10 (0.09)	-0.12 (0.09)
<i>MODE</i> ₁	-0.08 (0.19)	-0.05 (0.14)	-0.01 (0.28)	-0.14 (0.19)	-0.01 (0.02)	-0.04 (0.04)	-0.01 (0.08)	-0.02 (0.11)	-0.01 (0.02)	0.02 (0.03)	0.02 (0.07)	0.02 (0.06)
<i>MODE</i> ₂	-0.15* (0.08)	-0.08* (0.04)	-0.02 (0.44)	-0.20* (0.12)	-0.03* (0.02)	-0.00 (0.07)	0.07 (0.09)	-0.04 (0.16)	-0.04* (0.02)	-0.01 (0.05)	0.07 (0.11)	-0.04 (0.10)
<i>MODE</i> ₃	-0.31 (0.52)	-0.30** (0.15)	-0.19 (0.35)	-0.51 (0.47)	-0.04 (0.05)	-0.05 (0.05)	-0.04 (0.15)	-0.01 (0.18)	-0.07** (0.03)	-0.06* (0.03)	0.06 (0.13)	-0.08* (0.04)
<i>GENDER</i>	0.12 (0.15)	0.03 (0.11)	0.02 (0.07)	0.07 (0.13)	0.05 (0.12)	0.05 (0.03)	0.11 (0.16)	0.20 (0.20)	0.01 (0.02)	-0.05 (0.03)	-0.05 (0.07)	-0.09* (0.05)
<i>AGE</i>	0.00 (0.01)	-0.00 (0.01)	-0.01 (0.02)	-0.01 (0.01)	-0.00* (0.00)	-0.00 (0.00)	-0.01 (0.01)	-0.01 (0.01)	-0.00 (0.00)	-0.00 (0.00)	-0.00 (0.00)	-0.00 (0.00)
<i>EDU</i> ₁	-0.09 (0.25)	-0.10 (0.21)	-0.19 (0.40)	-0.07 (0.23)	0.02 (0.04)	0.03 (0.06)	-0.22 (0.21)	-0.27 (0.18)	0.00 (0.04)	0.01 (0.04)	0.03 (0.12)	0.09 (0.10)
<i>EDU</i> ₂	-0.01 (0.25)	-0.08 (0.21)	-0.17 (0.37)	-0.20 (0.24)	0.01 (0.04)	-0.02 (0.06)	-0.25 (0.21)	-0.12 (0.19)	0.01 (0.05)	-0.05 (0.04)	0.03 (0.13)	0.04 (0.12)
<i>EDU</i> ₃	-0.11 (0.42)	-0.17 (0.28)	-0.08 (0.29)	-0.04 (0.33)	-0.01 (0.06)	-0.02 (0.07)	-0.21 (0.22)	-0.23 (0.23)	-0.03 (0.05)	-0.09* (0.05)	0.07 (0.16)	-0.03 (0.03)
<i>EDU</i> ₄	-0.00 (0.99)	-0.17 (0.32)	-0.00 (0.44)	-1.06** (0.44)	-0.07*** (0.02)	-0.14 (0.31)	-0.53 (2.08)	-0.66 (0.48)	-0.02 (0.09)	-0.02 (0.08)	-0.04 (0.95)	-0.07 (0.06)
<i>HEALTH</i> ₁	0.03 (0.29)	0.08 (0.16)	0.19 (0.48)	0.19 (0.25)	-0.01 (0.06)	0.02 (0.06)	0.01 (0.12)	-0.10 (0.18)	0.02 (0.13)	0.03 (0.05)	-0.00 (0.53)	0.11 (0.15)
<i>HEALTH</i> ₂	-0.04 (0.19)	-0.04 (0.16)	-0.02 (0.61)	-0.08 (0.19)	-0.04 (0.05)	-0.01 (0.06)	-0.01 (0.09)	-0.05 (0.18)	-0.01 (0.13)	0.03* (0.02)	-0.02 (0.52)	0.04* (0.02)
<i>RISK</i> ₁	0.08 (0.16)	0.17 (0.10)	0.07 (0.34)	0.01 (0.15)	-0.01 (0.04)	0.01 (0.05)	-0.06 (0.09)	-0.05 (0.14)	0.02 (0.02)	0.05 (0.03)	0.04 (0.07)	0.10 (0.07)
<i>RISK</i> ₂	0.28** (0.11)	0.56*** (0.15)	0.68* (0.25)	0.57*** (0.15)	0.07* (0.03)	0.05* (0.03)	0.09** (0.04)	0.18** (0.07)	0.03** (0.02)	0.05 (0.03)	0.04 (0.07)	0.13* (0.07)

农药施用技术培训减少农药过量施用了吗？

	(0.13)	(0.19)	(0.37)	(0.19)	(0.04)	(0.03)	(0.04)	(0.08)	(0.01)	(0.04)	(0.11)	(0.07)
<i>HOME</i>	0.01	-0.02	0.07	0.04	0.01	-0.00	0.03	0.03	0.01	0.00	0.01	0.02
	(0.05)	(0.05)	(0.13)	(0.06)	(0.01)	(0.01)	(0.02)	(0.03)	(0.07)	(0.01)	(0.02)	(0.02)
<i>TINCOME</i>	0.00	0.02	0.03	0.04*	0.00	0.01	0.02***	0.07***	0.01**	0.02**	0.03***	0.03***
	(0.04)	(0.03)	(0.02)	(0.02)	(0.01)	(0.01)	(0.00)	(0.02)	(0.00)	(0.01)	(0.01)	(0.01)
<i>AREA</i>	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.00	-0.01**	-0.02**	-0.06***	-0.01*	-0.01	-0.01**	-0.03***
	(0.02)	(0.01)	(0.01)	(0.01)	(0.01)	(0.00)	(0.01)	(0.02)	(0.01)	(0.01)	(0.01)	(0.01)
<i>PYEARS</i>	-0.01	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.01	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
	(0.01)	(0.01)	(0.01)	(0.01)	(0.00)	(0.01)	(0.01)	(0.01)	(0.00)	(0.00)	(0.01)	(0.00)
<i>CINCOME</i>	-0.02	-0.07	0.11	-0.04	0.01	0.04	-0.10	0.13	0.09**	0.10*	0.27*	0.26**
	(0.28)	(0.20)	(0.42)	(0.25)	(0.06)	(0.07)	(0.16)	(0.20)	(0.04)	(0.06)	(0.15)	(0.12)
<i>RESIDUE₁</i>	-0.01	0.01	-0.28	-0.24	0.07	0.09	0.11	0.14	-0.02	-0.00	-0.02	-0.10
	(0.14)	(0.15)	(0.29)	(0.15)	(0.05)	(0.14)	(0.11)	(0.11)	(0.02)	(0.03)	(0.08)	(0.07)
<i>RESIDUE₂</i>	-0.13	-0.10	-0.15	-0.12	-0.02	-0.03	-0.16	-0.08	-0.03	-0.05	-0.01	-0.01
	(0.17)	(0.12)	(0.27)	(0.17)	(0.02)	(0.06)	(0.12)	(0.15)	(0.02)	(0.04)	(0.09)	(0.08)
<i>SH₁</i>	0.12	0.13	0.46	0.48	0.06	0.04	0.04	0.16	0.01	-0.02	0.07	0.11
	(0.40)	(0.34)	(0.62)	(0.34)	(0.05)	(0.04)	(0.09)	(0.12)	(0.03)	(0.03)	(0.09)	(0.07)
<i>SH₂</i>	0.17	-0.01	-0.43	-0.71	0.04	0.04	0.05	0.11	-0.04	-0.01	-0.04	-0.10
	(0.25)	(0.26)	(0.61)	(0.47)	(0.03)	(0.05)	(0.08)	(0.12)	(0.03)	(0.03)	(0.07)	(0.07)
<i>ENPO₁</i>	-0.20	-0.13	0.26	-0.54	-0.05**	0.01	0.08	-0.10	0.00	-0.05*	-0.07	-0.14*
	(0.30)	(0.38)	(2.06)	(0.36)	(0.03)	(0.04)	(0.09)	(0.15)	(0.02)	(0.03)	(0.09)	(0.07)
<i>ENPO₂</i>	-0.37	-0.15	-0.11	-0.98**	-0.02	-0.06	-0.01	-0.04	-0.06***	-0.12***	-0.12*	-0.19***
	(0.32)	(0.34)	(1.69)	(0.44)	(0.03)	(0.05)	(0.08)	(0.14)	(0.02)	(0.04)	(0.07)	(0.07)
<i>CHECK₁</i>	-0.18*	-0.19	-0.10	-0.22	-0.03	-0.06	-0.08	-0.20	-0.01	-0.01	-0.03	-0.06
	(0.10)	(0.13)	(0.38)	(0.16)	(0.09)	(0.06)	(0.12)	(0.15)	(0.02)	(0.03)	(0.08)	(0.07)
<i>CHECK₂</i>	-0.14**	-0.08**	-0.07	-0.25**	-0.08***	-0.11***	-0.15**	-0.23**	-0.05**	-0.03	-0.09	-0.09
	(0.05)	(0.04)	(0.75)	(0.12)	(0.03)	(0.03)	(0.07)	(0.10)	(0.03)	(0.04)	(0.08)	(0.09)
<i>COOP</i>	-0.09	-0.14	0.29	-0.36**	-0.00	-0.02	0.05	-0.10	-0.00	-0.03	-0.06	-0.05
	(0.17)	(0.11)	(0.21)	(0.14)	(0.03)	(0.04)	(0.08)	(0.11)	(0.02)	(0.03)	(0.09)	(0.06)

对于反季蔬菜种植户，培训频率能显著降低 I 类和 II 类种植户的农药过量施用水平，但对 III 类种植户的影响不显著。对于 I 类种植户，参加村委会组织的培训或二者皆参加和田间指导的培训模式均降低了其农药过量施用水平。此外，风险规避使种植户增加了农药过量施用水平。随着农药过量施用水平的增加，种植规模越大，种植户过量施用的水平越低。政府对农药残留检测的频率越高，越能规范种植户农药过量施用水平。

对于顺季蔬菜种植户，培训频率能显著降低 I 类种植户的农药过量施用水平，培训频率对 II 类种植户农药过量施用水平的影响接近临界显著。从种植户参加培训的组织机构和模式来看，参加不

同机构组织的培训、不同模式的培训（参加课堂讲授培训除外）均降低了 I 类种植户的农药过量施用水平；二者皆参加的培训模式降低了 II 类种植户的农药过量施用水平。此外，家庭年收入越高，越能显著增加种植户农药过量施用水平，且随着种植户农药过量施用水平的增加，家庭年收入的影响逐渐增强；种植规模越大，越会降低 I 类和 III 类种植户的农药过量施用水平；农业收入占比越高，越会增加种植户的农药过量施用水平，且随着种植户农药过量施用水平的增加，农业收入占比的影响逐渐增强。对农药施用造成农业环境污染的认知程度越高，越有助于种植户降低农药过量施用水平。

基于上述初步分析，培训频率对种植户农药过量施用水平的影响均表现出同样的趋势，即培训频率可有效改变轻微和中等农药过量施用种植户的施药水平，但对严重过量施药的种植户影响较小。种植户参加政府组织的培训、村委会组织的培训或二者皆参加以及参加课堂培训、田间指导或二者皆参加均降低了轻微农药过量施用种植户的农药过量施用水平，但随着种植户农药过量施用水平的增加，种植户参加不同机构组织和不同模式培训的影响不显著。从调查情况来看，受访者受教育程度越低，参加培训的比例也越低，种植户农药过量施用水平也随之提高。这一结果可能说明，户主受教育程度不高，阻碍了种植户接受新知识的能力，培训效果对这类种植户来说不明显。

（四）农药施用技术培训对农药过量施用影响的进一步证据

本文采用基于遗传算法的倾向得分匹配方法避免种植户参加培训与否的内生性问题，就培训对农药过量施用的影响做进一步的因果推断，倾向得分匹配前后效果检验如表 6 所示。

表 6 倾向得分匹配前后效果检验

变量	水果种植户				反季蔬菜种植户				顺季蔬菜种植户			
	匹配前	p 值	匹配后	p 值	匹配前	p 值	匹配后	p 值	匹配前	p 值	匹配后	p 值
<i>GENDER</i>	-5.05	0.79	3.70	0.84	-27.13*	0.09	-3.54	0.57	6.67	0.53	2.88	0.83
<i>AGE</i>	-2.72	0.87	5.72	0.50	-33.90*	0.06	-3.02	0.76	6.01	0.61	4.28	0.78
<i>EDU</i>	41.78**	0.02	6.18	0.41	54.15***	0.00	5.68	0.53	7.63	0.46	0.13	0.98
<i>HEALTH</i>	15.28	0.41	9.74	0.47	-11.13	0.52	-1.34	0.89	3.83	0.57	2.29	0.79
<i>HOME</i>	-4.70	0.60	-4.22	0.82	-14.90	0.38	1.86	0.85	23.30	0.12	8.61	0.43
<i>TINCOME</i>	-5.01	0.61	4.97	0.80	11.19	0.43	7.74	0.44	13.20	0.28	6.03	0.41
<i>AREA</i>	10.62	0.44	3.54	0.85	27.11*	0.08	4.30	0.59	23.24*	0.10	9.90	0.39
<i>PYEARS</i>	-9.08	0.59	-11.88	0.47	-49.47***	0.00	-8.01	0.44	16.28	0.27	4.88	0.46
<i>CINCOME</i>	-43.13***	0.01	-1.57	0.82	5.52	0.70	-2.24	0.83	-16.23	0.30	-6.91	0.52

注：“匹配前”和“匹配后”分别对应变量的标准均值差，p 值为 bootstrap1000 次稳健的 t 检验显著性水平。

从表 6 来看，匹配后，各变量标准均值差的绝对值均下降（水果种植户户主的年龄和种植年限除外，虽匹配后二者的标准均值差增加，但检验结果仍不显著），各变量的检验结果均不显著，说明匹配后种植户是否参加过培训不受其基本特征变量的影响，匹配效果较好。对匹配后所得匹配样本

的农药过量施用水平进行计算的结果表明，培训能显著降低水果、反季和顺季蔬菜种植户农药过量施用部分的 65.97%、41.57%和 42.41%。

（五）农药施用技术培训效果在不同特征种植户之间的差异分析

为进一步考察培训效果在不同特征种植户（本节指农药过量施用户）之间的差异，本文按户主个体特征、家庭特征和种植特征将其分类，检视同一种植类型下培训效果在不同特征种植户之间的差异。

1.分类标准。本文主要依据户主个体特征、种植户的家庭特征和种植特征的自然属性和统计分布对三类种植户进行分类。户主个体特征包括性别、年龄、受教育程度和身体健康状况。根据受访者的年龄分布特征，本文将样本分为户主 50 岁及以下和 50 岁以上两类；由于受访者受教育程度普遍偏低，故将初中以下的作为一类，初中及以上的视为一类；按受访者身体健康状况将样本分为受访者身体状况一般及以下和身体状况较好两类。

按照家庭特征和种植特征的中位数将种植户分为两类，其中，家庭特征包括家庭人口数和家庭年收入，种植特征包括种植规模、种植年限和农业收入占比。按照农业收入占比是否超过 50%将种植户分为两类。为进一步验证前文分位数回归所得结论，本文将农药过量施用种植户按照过量施用水平分为低、中、高三类，分别对应 25%分位数以下、25%~75%分位数之间和 75%分位数以上。

2.估计结果。本文运用基于遗传算法的倾向得分匹配方法避免种植户参加培训与否的内生性问题。由表 7 可知，对于水果种植户，培训在户主不同的性别、年龄、受教育程度、身体健康状况和受访户不同的家庭人口数、家庭年收入、种植规模、种植年限方面对降低农药过量施用水平有不同程度的影响。其中，不同户主受教育程度和不同家庭人口数的种植户之间，培训效果存在明显差异，户主受教育程度较高的种植户在接受培训后，更能显著减少农药过量施用量；家庭人口数较多的种植户在接受培训后，更能显著减少农药过量施用量。

对于反季蔬菜种植户，培训在户主不同的受教育程度、身体健康状况和受访户不同的家庭人口数、种植规模、种植年限方面对降低农药过量施用水平有不同程度的影响。户主受教育程度较高时，培训显著降低了其农药过量施用水平；但户主受教育程度较低时，该影响不显著。户主身体健康状况一般时，培训能显著降低其农药过量施用水平，但对户主身体健康状况较好的种植户无显著影响。培训对种植规模较大的种植户降低农药过量施用水平的效果显著。

对于顺季蔬菜种植户，培训在户主不同的性别、年龄、身体健康状况和受访户不同的种植规模方面对降低农药过量施用水平有不同程度的影响。女性和身体健康状况一般的受访者在接受培训后能显著减少农药过量施用量，但该影响在户主为男性且身体状况较好的种植户中不显著。农药施用技术培训显著降低了种植规模较大的种植户的农药过量施用水平。

整体来看，培训显著降低了种植户的农药过量施用水平，但从减少的比例来看，培训效果随种植户农药过量施用水平的增加呈下降趋势。这在一定程度上说明，让农药过量施用水平较高的种植户自愿选择是否参加培训来实现农药施用减量化是不够的。

表 7 农药施用技术培训效果在不同特征种植户之间的差异

变量	分类	水果种植户			反季蔬菜种植户			顺季蔬菜种植户		
		减少比例 (%)	F 检验	t 检验	减少比例 (%)	F 检验	t 检验	减少比例 (%)	F 检验	t 检验
<i>GENDER</i>	男性	68.37 ^{***}	4.53 ^{***}	1.63	24.07	1.75	0.32	22.15	1.73	1.84 [*]
	女性	54.62 ^{***}			21.00			53.45 ^{**}		
<i>AGE</i>	≤50 岁	61.62 ^{***}	0.19 ^{***}	0.54	21.69	1.28	1.24	37.44 [*]	1.14	0.25
	>50 岁	57.47 ^{***}			12.64			37.44 ^{**}		
<i>EDU</i>	较低	63.20 ^{***}	2.89 ^{***}	2.63 ^{**}	9.20	0.12 ^{***}	1.92 [*]	39.68	0.23 ^{***}	0.55
	较高	71.47 ^{**}			56.76 ^{***}			47.46		
<i>HEALTH</i>	一般	72.47 ^{**}	0.30 ^{***}	0.73	57.06 ^{**}	0.23 ^{***}	1.95 [*]	45.97 [*]	1.90 [*]	1.73 [*]
	较好	61.44 ^{***}			26.48			9.88		
<i>HOME</i>	较少	65.67 ^{***}	4.65 ^{***}	3.00 ^{***}	28.66 [*]	0.71	0.27	35.06	0.57	0.95
	较多	74.81 ^{**}			37.13 ^{**}			12.57		
<i>TINCOME</i>	较少	56.77 ^{***}	3.62 ^{***}	1.14	13.08	36.77 ^{***}	0.93	41.28	2.16 ^{**}	0.07
	较多	69.60 ^{***}			52.55			28.89		
<i>AREA</i>	较小	64.59 ^{**}	0.13 ^{***}	0.37	-1.63	0.33 ^{***}	1.96 [*]	34.39	4.39	1.67 [*]
	较大	61.85 ^{***}			39.83 ^{***}			48.57 ^{**}		
<i>PYEARS</i>	较短	53.77 ^{***}	1.09	0.54	34.58 [*]	1.86	1.19	24.53	0.70	0.85
	较长	69.84 ^{***}			34.97 [*]			49.79		
<i>CINCOME</i>	≤50%	76.33 ^{***}	0.45 [*]	0.80	19.80	0.21 ^{***}	0.42	29.64	2.76 ^{***}	0.06
	>50%	67.51 ^{***}			35.67			22.12		
<i>ALEVEL</i>	低	63.02 ^{***}	15.80 ^{***}	3.17 ^{***}	43.89 ^{**}	11.41 ^{***}	1.85 ^{**}	27.27 [*]	0.03	0.21
	中	26.09 ^{**}	12.87 ^{***}	0.70	24.31 ^{**}	7.32 ^{**}	1.97 [*]	14.51 [*]	7.58 ^{***}	1.30
	高	15.68 [*]	0.00	2.25 ^{**}	12.23	7.74 ^{**}	1.87 [*]	8.62	8.28 ^{***}	2.00 [*]

注：①F 检验为方差齐性检验，报告内容为 F 统计值；②若方差不齐，t 检验为方差齐性 t 检验，反之则为方差不齐 t 检验，报告内容为 t 统计值；③ *ALEVEL* 为农药过量施用水平，该变量的减少比例由上至下依次对应培训减少种植户农药过量施用水平低、中、高的比例，F 检验和 t 检验由上至下依次为低与中对比、中与高对比和低与高对比。

六、主要结论与政策启示

内生于中国农业比较收益普遍较低的现实，在农户自身逐利性的驱使下大量施用农药，而农药施用技术培训减少他们农药过量施用了吗？本文对此的回答是肯定的，但在基本特征不同的种植户间存在一定差异。本文研究结论主要有四：第一，经济作物种植户农药过量施用现象普遍存在，特别是反季蔬菜种植户。第二，农药施用技术培训能显著降低种植户农药过量施用水平。对于水果、反季和顺季蔬菜种植户，培训对其农药是否过量施用和过量施用水平均有显著影响，其中，村委会组织的培训和田间指导的培训模式对减少其农药过量施用水平效果更好。第三，随着种植户农药过

量施用水平的增加，培训效果逐渐减弱。对于农药过量施用处于较低和中等水平的种植户，培训降低农药过量施用水平的效果较为明显；但对于过量施用水平较高的种植户，培训效果较差。参加培训者受教育程度不高，接受新知识的能力较低，使得种植户不愿意参加培训，可能是导致培训效果不断减弱的深层次原因。第四，在基本特征不同的种植户之间，农药施用技术培训的效果不尽相同。

基于上述研究结论，本文的政策启示为：第一，减少当前经济作物种植户农药投入，可降低其生产成本，增加收益。第二，进一步强化经济作物种植户农药施用技术培训，特别是过量施用较低和中等水平的种植户；鼓励村委会自发组织更具针对性的农药施用技术培训，以田间指导的培训模式为主。第三，对于农药过量施用水平较高的种植户，应加强农药残留检测等强制性监管手段，逐步引导其降低农药施用量；应开办田间学校，鼓励该类农户进一步接受培训。第四，对种植户农药施用知识的培训，应考虑其不同的种植类型和基本特征。

参考文献

- 1.黄季焜、齐亮、陈瑞剑，2008：《技术信息知识、风险偏好与农民施用农药》，《管理世界》第5期。
- 2.刘振伟，2014：《对我国农业立法工作的几点思考》，《农业经济问题》第12期。
- 3.米建伟、黄季焜、陈瑞剑、Elaine M. Liu，2012：《风险规避与中国棉农的农药施用行为》，《中国农村经济》第7期。
- 4.应瑞瑶、徐斌，2014：《农户采纳农业社会化服务的示范效应分析——以病虫害统防统治为例》，《中国农村经济》第8期。
- 5.朱淀、孔霞、顾建平，2014a：《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》，《中国农村经济》第8期。
- 6.朱淀、张秀玲、牛亮云，2014b：《蔬菜种植农户施用生物农药意愿研究》，《中国人口·资源与环境》第4期。
- 7.Abdollahzadeh, G, M. S. Sharifzadeh, and C. A. Damalas, 2015, "Perceptions of the Beneficial and Harmful Effects of Pesticides among Iranian Rice Farmers Influence the Adoption of Biological Control", *Crop Protection*, 75: 124-131.
- 8.Grovermann, C., P. Schreinemachers, and T. Berger, 2013, "Quantifying Pesticide Overuse from Farmer and Societal Points of View: An Application to Thailand", *Crop Protection*, 53: 161-168.
- 9.Grovermann, C., P. Schreinemachers, S. Riwthong, and T. Berger, 2017, "'Smart' Policies to Reduce Pesticide Use and Avoid Income Trade-offs: An Agent-based Model Applied to Thai Agriculture", *Ecological Economics*, 132: 91-103.
- 10.Grung, M. Y. Lin, H. Zhang, A. O. Steen, J. Huang, G. Zhang, and T. Larssen, 2015, "Pesticide Levels and Environmental Risk in Aquatic Environments in China—A Review", *Environment International*, 81: 87-97.
- 11.Jallow, M. F. A., D. G. Awadh, M. S. Albaho, V. Y. Devi, and B. M. Thomas, 2017, "Pesticide Risk Behaviors and Factors Influencing Pesticide Use among Farmers in Kuwait", *Science of the Total Environment*, 574: 490-498.
- 12.Khan, M., and C. A. Damalas, 2015, "Farmers' Knowledge about Common Pests and Pesticide Safety in Conventional Cotton Production in Pakistan", *Crop Protection*, 77: 45-51.
- 13.Lichtenberg, E., and D. Zilberman, 1986, "The Econometrics of Damage Control: Why Specification Matters",

American Journal of Agricultural Economics, 68(2): 261-273.

14. Markel, T. A., C. Proctor, J. Ying, and P. D. Winchester, 2015, "Environmental Pesticides Increase the Risk of Developing Hypertrophic Pyloric Stenosis", *Journal of Pediatric Surgery*, 50(8): 1283-1288.

15. Schreinemachers, P., H. Chen, T. T. L. Nguyen, B. Buntong, L. Bouapao, S. Gautam, N. T. Le, T. Pinn, P. Vilaysone, and R. Srinivasan, 2017, "Too Much to Handle? Pesticide Dependence of Smallholder Vegetable Farmers in Southeast Asia", *Science of the Total Environment*, 593-594: 470-477.

16. Wang, Y., Y. Wang, X. Huo, X. X. Huo, and Y. C. Zhu, 2015, "Why Some Restricted Pesticides Are Still Chosen by Some Farmers in China? Empirical Evidence from a Survey of Vegetable and Apple Growers", *Food Control*, 51: 417-424.

17. Wood, J., and E. T. Donnell, 2016, "Safety Evaluation of Continuous Green T Intersections: A Propensity Scores-genetic Matching-potential Outcomes Approach", *Accident Analysis & Prevention*, 93: 1-13.

18. Woods, B., H. Ø. Nielsen, A. B. Pedersen, and D. Kristofersson, 2017, "Farmers' Perceptions of Climate Change and Their Likely Responses in Danish Agriculture", *Land Use Policy*, 65: 109-120.

19. Zhang, C., M. S. Guan, S. Jian, and R. F. Hu, 2015, "Productivity Effect and Overuse of Pesticide in Crop Production in China", *Journal of Integrative Agriculture*, 14(9): 1903-1910.

(作者单位: 西北农林科技大学经济管理学院)

(责任编辑: 何 欢)

Can Technical Training Reduce Pesticide Overuse?

Li Hao Li Shiping Nan Ling

Abstract: This article uses data collected from cash crop growers in Shandong, Shanxi, Shaanxi and Gansu provinces in 2016 and 2017 to calculate the level of pesticide overuse by fruit growers, anti-seasonal and seasonal vegetable growers. A C-D production function is employed to measure the level of pesticide overuse and a Logit model is used to estimate the training effects on pesticide overuse. The quantile regression and propensity score matching methods are used to check the training effects on pesticide overused growers. The effects are analyzed based on growers' different characteristics. The results show that pesticide overuse is common among growers. Technical trainings have a significant negative effect on pesticide overuse. Moreover, the training effects are different among growers based on their basic characteristics. The training effects decrease with the increase in the level of pesticide overuse of growers. In case of a low level of pesticide overuse, the trainings provided by different organizations in different forms can reduce the level of growers' pesticide overuse. Finally, the trainings organized by village committees and those in the form of field guidance appear to be more effective.

Key Words: Pesticide Overuse; Technical Training of Pesticide Use; Propensity Score Matching; Cash-crop Grower