

引用格式:赵佩佩,张强强,钟逸伟,等. 社会网络嵌入对农户绿色防控技术采用的影响: 基于技术认知的中介效应[J]. 资源科学, 2022, 44(9): 1865-1878. [Zhao P P, Zhang Q Q, Zhong Y W, et al. Impact of social network embeddedness on the adoption of green control technologies by farmers: Mediating effects based on technology perception[J]. Resources Science, 2022, 44(9): 1865-1878.] DOI: 10.18402/resci.2022.09.10

# 社会网络嵌入对农户绿色防控技术采用的影响 ——基于技术认知的中介效应

赵佩佩<sup>1,2</sup>, 张强强<sup>3</sup>, 钟逸伟<sup>4</sup>, 刘天军<sup>1,2</sup>

(1. 西北农林科技大学经济管理学院, 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学西部农村发展研究中心, 杨凌 712100; 3. 北京大学现代农学院, 北京 100871; 4. 西北农林科技大学信息工程学院, 杨凌 712100)

**摘要:** 分析不同社会网络嵌入对农户绿色防控技术采用的影响及其作用机制, 可为政府完善绿色农业技术推广政策提供决策参考。本文利用河南、陕西和甘肃 790 份苹果种植户微观调查数据, 运用社会网络分析方法构建农户村域社会网络矩阵, 基于关系嵌入和结构嵌入, 探讨何种社会网络嵌入影响农户绿色防控技术采用及其作用机制。结果发现: ①关系嵌入能显著提高农户采用绿色防控技术的可能性, 结构嵌入的影响效应不显著。在控制其他因素的情况下, 农户关系嵌入每增加一个单位, 采用绿色防控技术的概率将提高 13.5%~31.4%。②机制分析表明, 关系嵌入通过增强农户技术认知广度和深度促进其采用绿色防控技术, 结构嵌入对农户绿色防控技术采用的影响受到示范效应的调节, 表现为结构嵌入仅对高示范效应组的农户绿色防控技术采用具有显著的正向影响, 对低示范效应组的农户影响不显著。根据研究结论本文提出, 政府应注重农户所嵌入的社会网络在绿色防控技术扩散中的媒介作用, 加强农户互动水平, 强化种植大户和家庭农场主的示范带动作用, 加快实现农业绿色转型。

**关键词:** 关系嵌入; 结构嵌入; 绿色防控技术; 技术认知; 示范效应; 社会网络分析

DOI: 10.18402/resci.2022.09.10

## 1 引言

化学农药的过度施用严重阻碍了中国农业绿色转型升级和质量兴农战略的实施。据统计, 2019 年中国农药施用量高达  $8.39 \text{ kg/hm}^2$ <sup>[1]</sup>, 高出国际警戒值 19.9%。农药的过量施用不仅使粮、菜、果等农产品受到直接污染, 还会通过破坏农业生态环境对人类健康产生间接危害<sup>[2]</sup>。绿色防控技术通过采用生态友好型病虫害防治措施, 能够有效降低化学农药的施用频次和剂量<sup>[3]</sup>, 是实现农业绿色可持续发展的有效途径。然而, 目前中国主要农作物病虫害绿色防控覆盖率仅为 27.2%<sup>[4]</sup>, 农户采用绿色防控技术的积极性不高。识别并破解阻碍绿色防控技术

扩散的关键因素成为当前研究的热点问题。

已有研究从公共农技推广干预<sup>[5]</sup>、农民合作组织参与<sup>[3]</sup>以及市场收益保证<sup>[4]</sup>等方面进行了深入讨论。不过, 当前中国乡村社会仍是一个典型的关系型社会, 血缘、亲缘、地缘等社会关系纵横交织形成的社会网络对农户经济行为的影响不容忽视<sup>[6,7]</sup>。根据社会网络嵌入理论, 个体经济行为不仅受社会关系强弱属性的影响, 还受社会关系互嵌所形成的社会结构的影响与制约, 即关系嵌入与结构嵌入都会影响个体行为<sup>[8]</sup>。具体到农户技术采用情境, 学界对于何种嵌入机制会影响农户的技术采用行为并未得出一致结论。就关系嵌入而言, 一方面, 强

收稿日期: 2022-03-02, 修订日期: 2022-08-08

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(71933005); 陕西省哲学社会科学重大理论与现实问题研究一般项目(2022ND0207)。

作者简介: 赵佩佩, 女, 山东济宁人, 博士研究生, 主要研究方向为农业资源与环境管理。E-mail: peipei.zhao@nwsuaf.edu.cn

通讯作者: 刘天军, 男, 安徽宣城人, 教授, 主要研究方向为农业经济理论与政策。E-mail: ltj168168@nwsuaf.edu.cn

关系网络在提高农业技术信息传递效率、促进信息深度共享等方面具有天然优势,可以推动经验、技巧、策略等隐性农业技术知识在社会网络中流动,促进技术采用<sup>[7]</sup>;另一方面,由于强关系网络成员的同质性程度较高,农户可能陷入过度嵌入或认知固化的境地,产生“技术锁定”效应,阻碍新技术的扩散与采用<sup>[9]</sup>。就结构嵌入而言,一方面,结构嵌入促使农户跨越社会网络边界而在更大范围内获得非冗余信息交换的桥梁优势<sup>[10]</sup>,可以提高农户技术信息来源的广度和异质度,增加农户采用新技术的可能性;另一方面,异质性网络群体内部协调与整合成本较高,不利于技术采用过程中互惠互利、合作共享等非正式制度的形成,可能会阻碍新技术扩散。

关于何种社会网络嵌入影响农户绿色防控技术采用,已有文献产生分歧的原因主要有以下两点:一是社会网络本身具有关系的特殊性与结构的复杂性,既有研究大多基于案例分析或使用相关替代变量反映农户社会网络嵌入的某个侧面<sup>[7,11]</sup>,为了全面剖析农户社会网络嵌入特征就必须将各个农户之间错综复杂的社会关系纳入考察范围。然而,这样的关系数据无法满足常规统计学意义上的“变量独立性假设”,惯用的各类多元统计分析方法在分析关系数据时面临“失灵”<sup>[12]</sup>。社会网络分析法(Social Network Analysis, SNA)作为一种新型的网络研究工具,恰恰是从“关系”的视角出发研究社会现象与社会结构,能详实地刻画农户的社会网络拓扑结构,更好地描述社会网络的嵌入特征,因此更适合于分析错综复杂的农户社会关系网络。二是已有研究大多忽略了社会网络嵌入在影响农户绿色防控技术采用过程中可能存在反向因果或遗漏变量引致的内生性问题。反向因果表现为,有绿色防控技术采用意愿的农户更有可能主动向技术采用经验丰富的农户请教,导致其嵌入的社会网络关系和结构发生重构。遗漏变量,如农户的内在能力,可能既影响农户社会网络嵌入程度,又影响其绿色防控技术采用行为。忽略社会网络嵌入的内生性问题可能会导致有偏的估计结果。

本文基于河南省、陕西省和甘肃省 790 份农户微观调研数据,运用社会网络分析方法探讨不同社

会网络嵌入影响农户绿色防控技术采用行为的作用机制。本文的边际贡献主要体现在:第一,从“关系”的视角利用社会网络分析方法构建农户村域社会网络矩阵,并在此基础上运用拓扑指标来刻画农户社会网络的嵌入特征,具有一定的创新性。第二,基于技术认知视角,打开社会网络嵌入影响农户绿色防控技术采用的“黑箱”,丰富已有研究成果。第三,借鉴相关研究<sup>[13,14]</sup>,尝试利用“同伴的同伴”的社会网络嵌入均值作为工具变量缓解社会网络嵌入的内生性问题。

## 2 理论分析与研究假说

### 2.1 社会网络嵌入对农户绿色防控技术采用的影响

个体的经济行为内嵌于特定的社会网络结构之中。根据 Granovetter<sup>[8]</sup>的观点,关系嵌入与结构嵌入是两种主要的社会网络嵌入机制。关系嵌入是指个体经济行为受自身与他人关系的直接影响,强调二元人际关系的强弱对个体行为的微观作用。关系嵌入对农户绿色防控技术采用的影响主要体现在两方面:一是信息获取效应。强关系网络成员间互动和互惠频率高,可以降低绿色防控技术信息获取成本。密集的网络连接可以缩短信息传递距离,减少信息失真和信息损失。此外,较强的信任与情感纽带能显著提高农户的信息分享意愿,有利于具有默会性和难以模仿性的隐性绿色防控信息的传递<sup>[15]</sup>,降低农户技术采用的不确定性。二是合作治理效应。嵌入于强关系网络中的农户具有较高的信任水平,容易形成互惠互利、合作共享的非正式制度安排,有助于克服绿色防控技术采用过程中的技术认知缺陷<sup>[7]</sup>、信息资源贫乏及采用效率低下等问题。因此,关系嵌入对农户绿色防控技术采用具有促进作用。

结构嵌入是指个体所嵌入的社会网络结构对其行为所施加的影响和作用,强调个体因占据不同的网络位置而拥有不同的信息、声望以及地位等社会资源的获取能力<sup>[8]</sup>。根据 Freeman<sup>[16]</sup>,中心度是衡量网络位置特征的重要指标,刻画了个体在网络中占据怎样的中心地位。点度中心度、中介中心度及接近中心度是描绘网络中心度的 3 个主要维度<sup>[10,17,18]</sup>。首先,点度中心度较高的农户往往处于网络中的核心位置,他们拥有多重信息渠道和信息来源,在绿

2022年9月

色防控技术采用过程中占据明显的信息优势。此外,点度中心度较高的农户可以接触到更多的信息与资源,增加了其社会学习的可能性,有利于降低绿色防控技术采用风险。其次,中介中心度用以表征农户在新技术从一个群体扩散至另一个群体过程中的中介作用<sup>[17]</sup>。中介中心度较高的农户通过连接异质性群体而跨越网络边界,因此能更快速地捕获具有异质性和非冗余特征的绿色防控技术信息,并在此基础上判断技术采用风险、把握技术采用时机,降低技术采用的不确定性<sup>[10]</sup>。最后,接近中心度刻画了农户与其他农户的“接近”程度<sup>[16]</sup>。接近中心度越高的农户越有可能掌握信息传播的最短路径,在降低信息传递损失、提升信息传输效率等方面具有明显优势<sup>[17]</sup>,因而更有可能获取有价值的绿色防控技术信息,提高技术采用的可能性。基于上述分析,本文提出以下假说:

H1a: 关系嵌入正向影响农户绿色技术采用行为。

H1b: 结构嵌入正向影响农户绿色技术采用行为。

## 2.2 技术认知对农户绿色防控技术采用的影响

技术认知是指农户在利用多种渠道获得相关信息的基础上形成的对绿色防控技术的认识与理解<sup>[19]</sup>。参考吴雪莲等<sup>[20]</sup>的研究,本文从认知广度和认知深度两个维度剖析农户的技术认知水平。其中,认知广度是指农户对绿色防控技术种类的了解程度,即农户知道多少种绿色防控技术;认知深度是指农户对所知道的绿色防控技术易用性和有用性的了解程度。根据计划行为理论,农户的技术认知水平对其绿色防控技术采用行为具有重要影响<sup>[19]</sup>。一方面,技术认知广度越高的农户知晓或了解的绿色防控技术种类越多,他们更有可能从中选出与自身禀赋和需求相匹配的技术并付诸实施。而且,技术认知广度越高的农户越有可能联合采用多项物理、化学以及生物防控技术,从而提高绿色防控技术的有效性和安全性;另一方面,技术认知深度的提高有助于降低农户采用绿色防控技术过程中的风险和不确定性,增加农户采用新技术的可能性。原因在于,农户的人力资本水平较低且具有较强的风险规避意识,当他们认为绿色防控技术操

作过程复杂、采用效果不佳时,可能就会产生“畏难”和“退缩”的心理,进而拒绝采用该技术。反之,当农户认为绿色防控技术操作难度较低且能替代化学农药对病虫害起到良好的防治效果时,就会在心理上主动接纳该技术并产生技术采用意愿<sup>[6,19]</sup>,有助于引发技术采用行为。

H2: 技术认知能促进农户采用绿色防控技术。

## 2.3 技术认知在社会网络嵌入影响农户绿色防控技术采用过程中的中介作用

社会网络嵌入可以通过提高农户的技术认知广度进而影响其绿色防控技术采用行为。一方面,关系嵌入程度越高的农户越有可能与其他农户形成连结紧密的社会网络,网络内部技术交流频繁、信息传递路径较短<sup>[17]</sup>。因此,绿色防控技术信息在关系紧密的强关系网络中具有更高的传递效率和更快的扩散速度。嵌入于该网络中的农户能快速知晓目前所推广的绿色防控技术种类,增加他们的技术认知广度,进而提高技术采用的可能性;另一方面,结构嵌入程度较高的农户信息来源更加广泛,他们可以从家庭农场主、合作社带头人以及农技推广员等网络节点获取大量异质性的绿色防控技术信息<sup>[7]</sup>,进而增加接触到各类物理防控技术、生物防控技术以及化学防控技术的机会,有利于拓宽技术认知广度,增加技术采用的可能性。

社会网络嵌入还可以通过提高农户的技术认知深度进而促进其采用绿色防控技术。一方面,随着关系嵌入程度的提高,农户会更加频繁和深入地与周围其他农户交流绿色防控技术信息。在这个过程中,较为隐性的技术采用经验、技巧、成本以及收益等方面的信息得以交换和融合<sup>[6]</sup>,农户对绿色防控技术的认知程度得以加深,因此更有可能采用该技术;另一方面,结构嵌入程度较高的农户能够以较低的搜寻成本和较短的时间捕捉并识别网络中有价值的绿色防控技术信息<sup>[17]</sup>,从而更新自身的技术认知体系,加深对绿色防控技术操作方法、采用效果等方面的认知程度,催生技术采用行为。基于以上分析,本文提出以下研究假说:

H3a: 技术认知广度在社会网络嵌入与农户绿色防控技术采用之间发挥中介作用。

H3b: 技术认知深度在社会网络嵌入与农户绿色防控技术采用之间发挥中介作用。



### 3 数据获取、变量说明与模型设定

#### 3.1 数据获取

本文所使用的数据源于苹果产业课题组于2019年11—12月在河南、陕西和甘肃对苹果种植户开展的实地问卷调查。首先,苹果属于典型的经济作物,为避免病虫害导致的经济损失,农户增施农药现象比较普遍。根据杨勤民等<sup>[21]</sup>的调查研究,苹果种植户每年施药次数高达7次,且大多是化学农药。绝大多数被调查果园的施药量在10~30 kg/hm<sup>2</sup>之间,用药最多的果园达到了75.38 kg/hm<sup>2</sup>,远超同期全国农作物用药平均水平10.65 kg/hm<sup>2</sup>。长期过量施用化学农药不仅加剧了农业面源污染,也严重影响了苹果产业绿色发展。其次,陕西渭北和陕北南部地区、河南西部地区以及甘肃东部和南部地区是中国重要的黄土高原苹果优势产区,该产区苹果种植面积和产量均超过中国总量的一半以上。因此,课题组将河南、陕西以及甘肃的苹果种植户作为调研对象具有一定的典型性与代表性。

课题组采用多阶段随机抽样法确定样本农户。首先,根据农业部《苹果优势区域布局规划》中黄土高原优势产区包含的苹果基地县市,按照等比例抽样原则,课题组在河南、陕西和甘肃分别随机抽取2个、4个和2个样本县市;其次,在每个样本县市随机抽取2~3个样本乡镇;再次,在每个样本乡镇随机抽取2~3个样本村;最后,在每个样本村随机抽取15~20户苹果种植户进行问卷访谈。农户问卷主要包括两个部分,一部分是农户属性数据的收集,如户主个体特征、农户家庭特征以及生产经营情况等;另一部分是农户关系数据的收集,如农户与其他农户是否交流绿色防控技术、是否相互帮忙、信任程度等。本次调研共发放问卷903份,剔除数据缺失的样本后,共获得39个村的790份有效样本数据。

社会关系数据的收集是准确测度社会网络嵌入的关键。与以往从单个行动者的视角测度社会网络不同的是,本文参考Di Falco等<sup>[13]</sup>以及Abdul等<sup>[14]</sup>的做法,调查从某一群体随机抽取的样本中任意两个样本农户的社会关系数据,并由此构建社会网络矩阵。该方法既能捕获独特的“二元”关系信息,又能得到任意关系所连接的节点农户的属性信息。具体来看,某一群体的社会网络系统 $G$ 可以表示

为: $G=(V,E)$ 。其中, $V=\{v_1,v_2,\dots,v_n\}$ 为节点集合,其元素 $v_i$ 表示随机抽样获取的节点农户。 $E=\{e_{ij}\}$ 为关系集,其元素称为关系,表示节点农户之间的社会关系。 $E$ 中的每条关系 $e_{ij}$ 均有 $V$ 中的一对节点 $(v_i,v_j)$ 与之对应。为了更好地刻画农户间错综复杂的社会关系网络,本文在村级层面分别构建了无权社会网络 $A$ 和加权社会网络 $W$ 。对于矩阵 $A$ 中的元素 $a_{ij}$ ,如果两个农户之间存在关系,则 $a_{ij}=1$ ;反之, $a_{ij}=0$ 。而加权社会网络 $W$ 中的元素 $w_{ij}$ 则为农户 $i$ 与农户 $j$ 的关系强度。

实际调查中有以下3点需要说明:一是本文将社会网络边界设定为行政村范围。自1954年以来,国家逐步将自然村以居民小组的形式合并为行政村<sup>[22]</sup>,各小组成员逐渐突破原有的自然村的居住空间,在更大的行政村范围内交流信息、获取资源。因此,将行政村而非自然村作为农户社会网络的边界是合理的。二是“精英”农户是村民所共知的公共人物,其大多乐于尝试新型农业技术,热心为普通农户解决技术难题,是推动绿色防控技术扩散的中坚力量。因此,本文参考Di Falco等<sup>[13]</sup>的做法,将村干部、种植大户、合作社带头人等“精英”农户节点尽可能地包含在社会网络样本中。三是农户的社会关系具有典型的对称性,当调研过程中发现农户 $i$ 回答与农户 $j$ 有“关系”,但农户 $j$ 回答与农户 $i$ 没有“关系”时,调研员将对双方是否存在“关系”再次进行核验。此外,由于农户对互动频率、互助频率等关系强度的感知可能存在差异,本文参照刘景卿等<sup>[12]</sup>的做法,对加权的矩阵按照最大值法做了对称化处理。因此,本文构建的无权社会网络和加权社会网络均为对称方阵。

#### 3.2 变量设置

##### 3.2.1 因变量

本文的因变量为农户绿色防控技术采用行为。通过查阅相关文献及实地开展预调研,选取样本县广泛推广的杀虫灯或色板诱杀技术、昆虫性诱剂诱杀技术以及生物农药技术作为考察对象。以上3种绿色防控技术的采用均可以有效减少化学农药的施用频率和剂量,缓解生态污染及食品安全等问题。若农户在调查当年采用了任意一项绿色防控技术时,则因变量取值为1,否则取值为0(表1)。

2022年9月

表1 变量含义及描述性统计分析

Table 1 Definition and descriptive statistics of variables

变量名称	变量含义及赋值	均值	标准差
被解释变量			
绿色防控技术	农户是否采用绿色防控技术(1=是;0=否)	0.518	0.500
核心自变量			
关系嵌入			
相对互动强度	农户与其他农户的相对交流频率	0.256	0.147
相对互惠强度	农户与其他农户的相对互惠频率	0.197	0.122
相对信任强度	农户与其他农户的相对信任程度	0.434	0.148
结构嵌入			
相对点度中心度	农户与其他农户建立直接联系的相对数量	0.629	0.251
相对中介中心度	农户在其他农户之间充当中介作用的相对程度	0.028	0.049
相对接近中心度	农户与其他农户接近的相对程度	0.684	0.198
中介变量			
技术认知广度	您知道几种绿色防控技术(0=完全不知道;1=知道1种;2=知道2种;3=知道3种)	1.834	0.871
技术认知深度	您对绿色防控技术的了解程度(1=完全不了解;2=比较不了解;3=一般;4=比较了解;5=完全了解)	3.271	1.290
控制变量			
年龄	户主年龄/岁	53.769	9.518
受教育程度	户主受教育程度/年	7.531	3.319
种植年限	户主种植苹果的年限	22.593	9.163
家庭规模	农户家庭成员的数量/人	4.657	1.549
苹果种植面积	农户种植苹果面积/亩	9.629	8.413
种植技术水平	农户种植苹果的技术在本村处于什么水平(取值为1~10,数值越大表示技术水平越高)	5.863	1.826
家庭经济水平	农户的家庭经济收入在本村处于什么水平(取值为1~10,数值越大表示经济水平越高)	5.070	1.783
合作社	农户是否加入农民专业合作社(1=已加入;0=未加入)	0.273	0.446
技术培训	农户当年接受农业技术培训的次数	2.519	2.543
互联网使用	农户使用互联网搜索绿色防控技术信息的情况(1=从来不;2=比较少;3=一般;4=比较多;5=经常)	3.567	1.810
政府支持	政府发放绿色防控物资的情况(1=从来不;2=比较少;3=一般;4=比较多;5=经常)	2.447	1.458
市场激励	采用绿色防控技术可以提高农产品价格(1=非常不同意;2=比较不同意;3=一般;4=比较同意;5=非常同意)	2.904	1.166

3.2.2 核心自变量

本文的核心自变量为社会网络嵌入。依据 Granovetter 的观点,将社会网络嵌入分为关系嵌入和结构嵌入两个维度。关系嵌入是一个较为抽象的概念,是互动强度、互惠强度及信任程度的函数<sup>[7]</sup>。在本文中,互动强度用“农户与他人交流绿色防控技术信息的频率”来表征,互惠强度用“农户与他人农忙时互相帮忙的频率”来表征,信任强度用“农户对他人的信任程度”来表征。接下来,以互动强度为例说明指标构建过程。调研过程中,调研员分别

询问农户*i*与本村其他所有样本农户的互动情况,问项为“最近一年内,您与农户*j*是否交流绿色防控技术信息?”,若不交流,则取值为0;若交流,则继续问“交流频率是多少?”,取值为1~4,1表示交流极少,2表示交流较少,3表示交流较多,4表示经常交流,数值越大,表明交流频率越高。根据下式计算农户的互动强度(*Inter*):

$$Inter_i = \sum_j^n w_{ij} \tag{1}$$

式中:*w<sub>ij</sub>*表示农户*i*与农户*j*的交流频率,通过该方

法计算得出的互动强度被称为绝对互动强度。但考虑到不同样本村包含的样本农户数量可能不同,即社会网络规模可能存在差异,为使其具有可比性,使用Freeman<sup>[16]</sup>提出的相对互动强度(*Rstrength*),即绝对互动强度与村内最大可能的互动强度之比,计算方法如下:

$$Rstrength_i = \frac{\sum_j w_{ij}}{4(n-1)} \quad (2)$$

式中:  $4(n-1)$  表示节点总数为  $n$  的无向图中,任意一个节点的最大可能的连接强度。互惠强度和信任程度的测度方法与之类似,此处不再赘述。

结构嵌入是指个体所嵌入的社会网络的整体结构如何约束或影响网络内部信息流动的方向和效率。中心度是衡量网络位置特征的重要指标,刻画了个体在网络中占据了怎样的中心地位<sup>[16]</sup>。参考已有研究<sup>[10,17,18]</sup>,本文选取了点度中心度、中介中心度及接近中心度3个指标来测度结构嵌入。参考Freeman<sup>[16]</sup>的相关研究,各个中心度的具体计算方法如下:

首先,点度中心度(*degree*)的计算方法如式(3)所示:

$$degree_i = \sum_j a_{ij} \quad (3)$$

式中:  $a_{ij}$  表示农户  $i$  与农户  $j$  的直接连接关系,当两个农户之间具有直接交流关系时,取值为1,否则取值为0。通过该方法计算得出绝对点度中心度。为使不同网络规模的点度中心度具有可比性,本文使用相对点度中心度(*Rdegree*),即绝对点度中心度与村内最大可能的点度中心度之比,具体计算方法如下:

$$Rdegree_i = \frac{\sum_j a_{ij}}{n-1} \quad (4)$$

式中:  $n-1$  表示节点总数为  $n$  的无向图中,任意一个节点的最大可能的点度中心度。

其次,节点  $i$  相对于某一对节点  $j$  和  $k$  的中介中心度是指经过节点  $i$  并且连接  $j$  和  $k$  两个节点的捷径(任意两点之间的最短距离)数量占二者之间总捷径数量的比值。假设节点  $j$  和  $k$  之间存在的捷径数量为  $g_{jk}$ , 其中经过节点  $i$  的捷径数量为  $g_{jk}(i)$ , 那么

节点  $i$  相对于节点  $j$  和  $k$  的中介中心度( $b_{jk}$ )为:

$$b_{jk}(i) = \frac{g_{jk}(i)}{g_{jk}} \quad (5)$$

然后,将节点  $i$  相对应的所有点对的中介中心度加总,就可以得到该点的绝对中介中心度(*betweeness*),其计算方法如下:

$$betweeness = \sum_j \sum_k b_{jk}(i), j \neq k \neq i, \text{ 并且 } j < k \quad (6)$$

为了比较不同网络规模的节点中介中心度,本文使用相对中介中心度(*Rbetweeness*),即绝对中介中心度与村内最大可能的中介中心度的比值,计算方法如下:

$$Rbetweeness = \frac{2 \sum_j \sum_k b_{jk}(i)}{n^2 - 3n + 2}, j \neq k \neq i, \text{ 并且 } j < k \quad (7)$$

式中:  $(n^2 - 3n + 2)/2$  表示节点总数为  $n$  的无向图中,任意一个节点的最大可能的中介中心度。

最后,接近中心度(*closeness*)表示农户与网络中所有其他农户的捷径距离的倒数,其计算方法如下:

$$closeness^{-1} = \sum_{j=1}^n d_{ij} \quad (8)$$

式中:  $d_{ij}$  表示农户  $i$  与农户  $j$  之间的捷径距离。通过该方法计算得出的是绝对接近中心度。为使得不同网络规模的接近中心度具有可比性,本文使用相对接近中心度(*Rcloseness*),即绝对接近中心度与村内最大可能的接近中心度之比,其计算方法如下:

$$Rcloseness = \frac{n-1}{closeness^{-1}} \quad (9)$$

式中: 对于包含  $n$  个节点的无向图来说,最大可能的接近中心度为  $1/(n-1)$ 。

### 3.2.3 中介变量

本文的中介变量为技术认知,分为认知广度和认知深度两个维度。其中,认知广度是取值为0~3的有序分类变量。对于本文涉及到的杀虫灯或色板诱杀技术、昆虫性诱剂诱杀技术以及生物农药技术,若农户未听说过任意一种技术,则赋值为0,若听说过其中的1种、2种或3种技术,则分别赋值为1、2、3。认知深度则通过农户对所知道的绿色防控技术操作的了解程度及收益的了解程度来测度,赋



2022年9月

值为1~5,1表示完全不了解,5表示非常了解,数值越大,表示农户对绿色防控技术的认知越深。

### 3.2.4 控制变量

参考程琳琳等<sup>[7]</sup>、刘迪等<sup>[4]</sup>的研究,本文选取户主个体特征变量、生产特征变量以及外部环境变量作为控制变量。其中,个体特征变量包括户主年龄、受教育程度、种植年限以及互联网使用情况;生产特征变量包括家庭规模、苹果种植面积、种植技术水平、家庭经济水平、是否加入合作社以及农业技术培训参与情况;外部环境变量包括政府支持和市场激励。变量含义及描述性统计如表1所示。

## 3.3 模型设定

### 3.3.1 二元probit模型

本文的因变量为农户是否采用绿色防控生产技术,为二元分类变量,1表示采用,0表示未采用。因此,本文利用二元probit模型进行回归分析,模型设定如下:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 Embd + \beta_2 X + \eta_j + \varepsilon \quad (10)$$

式中:被解释变量 $Y$ 为农户的绿色防控技术采用行为; $Embd$ 为社会网络嵌入; $X$ 为控制变量,包括农户的个体特征、家庭特征以及生产经营特征;为捕捉村庄不可观测特征(如社会规范、推广政策以及基础设施等)对农户绿色防控技术采用的影响,我们加入了村庄固定效应 $\eta_j$ ; $\varepsilon$ 为随机误差项; $\beta_0$ 为常数项; $\beta_1$ 和 $\beta_2$ 是待估系数。

### 3.3.2 中介效应模型

借鉴温忠麟等<sup>[23]</sup>提出的逐步回归法检验技术认知在社会网络嵌入影响农户绿色防控技术采用过程中的中介效应,并构建如下回归模型:

$$Y = cEmbd + \alpha_1 X + \mu_1 \quad (11)$$

$$M = aEmbd + \alpha_2 X + \mu_2 \quad (12)$$

$$Y = c'Embd + bM + \alpha_3 X + \mu_3 \quad (13)$$

式中: $M$ 表示技术认知; $\mu_1$ 、 $\mu_2$ 和 $\mu_3$ 为随机误差项。各系数的含义分别为: $c$ 表示社会网络嵌入对农户绿色防控技术采用的总影响, $a$ 表示社会网络嵌入对技术认知的影响效应, $b$ 和 $c'$ 分别表示技术认知和社会网络嵌入对农户绿色防控技术采用的直接效应。当模型中的待估系数 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 均显著时,说明存在中介效应。当中介效应成立时,若 $c'$ 显著且与 $ab$ 同号,为部分中介效应;若 $c'$ 显著且与 $ab$ 异

号,为遮掩效应;若 $c'$ 不显著,为完全中介效应。

## 4 结果与分析

### 4.1 社会网络嵌入对农户绿色技术采用行为的直接影响

本文基于Stata 15.0软件运用probit模型估计了社会网络嵌入对农户绿色防控技术采用的影响,结果如表2所示。其中,模型(1)仅控制了农户层面的特征变量,模型(2)进一步控制了村庄效应,同时汇报了估计系数和边际效应。模型(1)的估计结果显示,关系嵌入中的相对互动强度、相对互惠强度以及相对信任强度至少在10%的显著性水平正向影响农户绿色防控技术采用,而结构嵌入的影响均不显著。控制了村庄固定效应后,模型拟合度大幅提升,且关系嵌入的3个维度仍显著正向影响农户绿色防控技术采用行为,结构嵌入的估计结果仍不显著。模型(2)的边际估计结果显示,在其他条件不变的情况下,农户的相对互动强度每增加一个单位,其采用绿色防控技术的概率会提升31.4%。与之相似,相对互惠强度和相对信任强度每增加一个单位,农户采用绿色防控技术的可能性会分别提高19.2%和13.5%。假说H1a得到验证,假说H1b未得到验证。结合实际调研经验,我们发现,技术扩散往往发生在关系较为亲近的农户之间,体现出一定的“差序格局”特征。以农户自身为中心像水波纹一样推及开,愈推关系愈淡薄,交流农业技术的频率和内容也愈稀少。现实中,关系亲近的农户往往会自发形成一个联系密切的“小圈子”,圈子内部的农户通过频繁的互动探讨、相互学习以及互利合作快速掌握绿色防控技术操作要领,获得技术收益<sup>[7]</sup>。圈子外的农户则因较高的信息获取壁垒而对绿色防控技术“望而却步”。这与李博伟等<sup>[15]</sup>得出的强关系能直接促进农户掌握新技术的结论较为一致,因此关系嵌入对农户绿色防控技术采用具有显著影响。此外,本文研究还发现,种植面积与绿色防控技术采用呈现显著的倒U型关系。在一定范围内,种植面积的增加能使农户获得规模效益,进而促进其采用绿色防控技术,但超过某一临界值后,雇工所带来的监督成本以及交易成本上升,可能对绿色防控技术采用产生抑制作用,这与曹慧等<sup>[24]</sup>的研究结论一致。

表2 社会网络嵌入对农户绿色防控技术采用行为影响的回归结果

Table 2 Regression results of the effect of social network embeddedness on farmers' green control technology adoption behavior

变量名称	模型(1)		模型(2)	
	系数	边际效应	系数	边际效应
相对互动强度	0.763** (0.383)	0.261** (0.114)	1.205*** (0.389)	0.314*** (0.101)
相对互惠强度	0.362** (0.172)	0.124** (0.059)	0.739** (0.316)	0.192** (0.082)
相对信任强度	0.374* (0.199)	0.128* (0.068)	0.518** (0.234)	0.135** (0.061)
相对点度中心度	0.010 (0.393)	0.004 (0.135)	-0.297 (0.646)	-0.077 (0.167)
相对中介中心度	1.322 (0.945)	0.453 (0.323)	1.664 (1.267)	0.433 (0.330)
相对接近中心度	-0.282 (0.318)	-0.097 (0.109)	0.319 (0.829)	0.083 (0.216)
年龄	-0.001 (0.006)	-0.0002 (0.002)	0.003 (0.007)	0.001 (0.002)
受教育程度	0.037** (0.016)	0.013** (0.005)	0.038** (0.017)	0.010** (0.004)
种植年限	0.003 (0.006)	-0.001 (0.002)	0.001 (0.007)	-0.0003 (0.002)
互联网使用	0.223* (0.135)	0.077* (0.046)	0.276* (0.148)	0.072* (0.039)
家庭规模	0.040 (0.031)	0.014 (0.011)	0.044 (0.034)	0.011 (0.009)
种植面积	0.042*** (0.013)	0.004*** (0.002)	0.016* (0.009)	0.004* (0.002)
种植面积的平方	-0.0003** (0.0001)	-0.0002** (0.0001)	-0.0002* (0.0001)	-0.0001* (0.0001)
种植技术水平	0.054 (0.034)	0.011 (0.011)	0.044 (0.037)	0.011 (0.009)
经济收入水平	0.031 (0.032)	0.018 (0.011)	0.007 (0.035)	0.002 (0.011)
合作社	0.133 (0.114)	0.045 (0.039)	0.161 (0.135)	0.042 (0.035)
技术培训	0.085*** (0.021)	0.029*** (0.007)	0.100*** (0.024)	0.026*** (0.006)
政府支持	0.200*** (0.036)	0.069*** (0.012)	0.183*** (0.052)	0.048*** (0.014)
市场激励	0.148*** (0.043)	0.044*** (0.014)	0.155*** (0.046)	0.040*** (0.012)
村庄固定效应	未控制	未控制	控制	控制
常数项	-2.456*** (0.498)	—	-2.795*** (0.911)	—
观测值	790	790	790	790
Pseudo $R^2$	0.131	—	0.211	—
Prob > $\chi^2$	0.000	—	0.000	—

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%和10%的统计水平上显著,括号内数字为稳健性标准误。下同。



2022年9月

## 4.2 稳健性检验

### 4.2.1 内生性讨论

尽管在基准回归中控制了农户层面的特征变量以及村庄固定效应,但还可能因遗漏变量、反向因果等导致的内生性问题。因此,本文采用工具变量法克服社会网络嵌入可能存在的内生性问题,以获得更为稳健可靠的估计结果。参考Di Falco等<sup>[13]</sup>和Abdul等<sup>[14]</sup>的做法,使用“同伴的同伴”(Peers of Peers)的社会网络嵌入均值作为工具变量,对模型进行再次回归。在社会网络分析中,同伴定义为与之具有直接相连关系的其他个体。“同伴的同伴”可以定义为,在特定的社会网络结构中,个体*i*与个体*j*直接相连,个体*j*与个体*k*直接相连,但是个体*i*与个体*k*不直接相连,此时个体*k*就是个体*i*的“同伴的同伴”。社会网络的传递性与阻隔性使该工具变量可以同时满足相关性与外生性条件。具体来看,个体的特征与偏好往往会受到同伴的特征与偏好的影响,且这种影响具有传递性<sup>[14]</sup>。那么在特定的社会网络结构中,个体*k*的社会网络嵌入水平就可以通过影响其同伴*j*,进而影响其“同伴的同伴”*i*的社会网络嵌入水平,满足工具变量的相关性要求。再者,个体*k*的社会网络嵌入水平不会直接影响个体*i*的绿色防控技术采用,两人共同

的同伴*j*发挥了“阻隔传递”的角色,使得个体*k*的特征变量无法对个体*i*的行为变量产生直接影响。此外,考虑到个体*k*的社会网络嵌入水平可能会影响其自身的绿色防控技术采用行为,然后通过同群效应影响个体*j*的绿色防控技术采用行为,进而影响个体*i*的绿色防控技术采用行为,导致外生性条件不足。但本文认为这条影响路径非常微弱甚至不存在,原因在于技术采用虽然可能表现出一定的同群效应,但其根本是在既有信息约束下做出的“有限理性”选择,而非完全盲目的跟风行为。因此,同伴的技术采用行为会以信息和知识的形式经由社会网络来影响农户自身的技术采用偏好和意愿,并不会直接影响行为。因此,满足外生性要求。

接下来,本文以“同伴的同伴”的社会网络嵌入均值作为工具变量,使用对异方差稳健的Durbin-Wu-Hausman(DWH)方法检验关系嵌入和结构嵌入各维度变量的内生性,结果显示只有相对互动强度及相对点度中心度为内生变量。然后,使用两阶段最小二乘法(2SLS)对相对互动强度和相对点度中心度与绿色防控技术采用之间的关系进行工具变量法的回归,结果如表3所示。由第一阶段的回归结果可知,“同伴的同伴”的相对互动强度和相对点度中心度均显著正向影响农户的相对互动强度,

表3 工具变量回归结果

Table 3 Regression results for instrumental variables

2SLS 第一阶段			2SLS 第二阶段	
变量名称	模型(3)	模型(4)	变量名称	模型(5)
	相对互动强度	相对点度中心度		绿色防控技术采用
“同伴的同伴”的相对互动强度	1.130*** (0.121)	0.058 (0.134)	相对互动强度	1.179*** (0.211)
“同伴的同伴”的相对点度中心度	0.299*** (0.071)	0.532*** (0.079)	相对点度中心度	-0.298 (0.422)
控制变量	控制	控制	相对互惠强度	控制
村庄固定效应	控制	控制	相对信任强度	控制
Wald F 统计量	59.452***	66.310***	相对中介中心度	控制
调整的 Shea's Partial $R^2$	0.022	0.021	相对接近中心度	控制
样本数	738	738	控制变量	控制
调整的 $R^2$	0.810	0.922	村庄固定效应	控制
$Prob > F$	0.000	0.000	样本数	738
			$Prob > \chi^2$	0.000

注:利用“同伴的同伴”的社会网络嵌入均值作为工具变量进行回归时样本量有所减少,因为在为农户匹配“同伴的同伴”的过程中,可能会存在匹配失败的情况。例如,当农户与本村其他所有农户均有直接连接关系时,该农户就没有“同伴的同伴”。因此,最后采用匹配成功的738份样本进行回归分析。

“同伴的同伴”的相对点度中心度显著正向影响农户的相对点度中心度,结合 Wald  $F$  统计量分别为 59.452 和 66.310 (均超过 10),及调整的 Shea's Partial  $R^2$  分别为 0.022 和 0.021,表明不存在弱工具变量问题。第二阶段的回归结果显示,在克服了内生性问题后,关系嵌入中的相对互动强度对农户的绿色防控技术采用的促进作用仍然显著,而结构嵌入中的相对点度中心度的影响仍不显著,这与基准回归得出的结果一致。

#### 4.2.2 替换核心解释变量

为进一步检验估计结果的稳健性,本文将社会网络嵌入相对指标替换为绝对指标,然后运用 probit 模型重新进行回归分析,结果如表 4 所示。其中,模型(6)仅控制了农户层面的特征变量,模型(7)进一步控制了村庄效应。回归结果显示,关系嵌入中的互动强度、互惠强度以及信任强度均显著促进农户采用绿色防控技术,结构嵌入对农户绿色防控技术的影响仍未通过显著性检验。该结论与前文得出的结论较为一致,说明具有一定的稳健性。

#### 4.3 技术认知的中介作用分析

技术认知在社会网络嵌入影响农户绿色防控技术采用过程中的中介作用检验结果如表 5 所示。

其中,模型(8)和模型(9)分别考察了社会网络嵌入对农户技术认知广度和认知深度的影响,模型(10)将社会网络嵌入因素与技术认知因素纳入同一个模型中进行回归。首先,由模型(8)可知,关系嵌入的 3 个维度均至少在 10% 的统计水平上显著正向影响农户的绿色防控技术认知广度,说明随着与他人互动、互惠及信任程度的加强,农户可以了解更多种类的绿色防控技术。但是结构嵌入对农户技术认知广度的影响不显著。可能的原因是,中国的绿色防控技术推广工作正处于起步阶段,尚未在农户群体中得到广泛关注,对于绿色防控技术的讨论可能仍局限于关系亲密的农户之间,结构嵌入的影响相对较弱。其次,由模型(9)可知,关系嵌入的提升可以显著增强农户对于绿色防控技术的认知深度,而结构嵌入对农户技术认知深度的影响仍然不显著。该结论进一步验证了技术扩散的“差序格局”特征,即农户倾向于与关系亲近的人探讨技术采用经验、分享技术采用知识。而且农户也更容易相信来自关系亲近的人传递的技术信息<sup>[15]</sup>,这都会加深农户对绿色防控技术的了解与认知。最后,模型(10)的回归结果显示,技术认知广度和技术认知深度都显著增加了农户采用绿色防控技术的可能

表 4 稳健性检验回归结果

Table 4 Robustness test regression results

变量名称	模型(6)		模型(7)	
	系数	边际效应	系数	边际效应
绝对互动强度	0.013** (0.006)	0.004** 0.002	0.018*** (0.004)	0.005*** (0.001)
绝对互惠强度	0.007** (0.003)	0.002** (0.001)	0.009*** (0.004)	0.003*** (0.001)
绝对信任强度	0.004* (0.002)	0.001* (0.001)	0.006** (0.003)	0.002** (0.001)
绝对点度中心度	-0.021 (0.013)	-0.007 (0.004)	-0.017 (0.019)	-0.005 (0.006)
绝对中介中心度	-0.004 (0.025)	-0.001 (0.006)	-0.018 (0.027)	-0.005 (0.006)
绝对接近中心度	-0.023 (0.411)	-0.007 (0.125)	0.110 (0.604)	0.031 (0.172)
控制变量	控制	控制	控制	控制
村庄固定效应	未控制	未控制	控制	控制
观测值	790	790	790	790
Pseudo $R^2$	0.099	—	0.226	—
Prob > $\chi^2$	0.000	—	0.000	—

2022年9月

表5 技术认知的中介作用回归结果

Table 5 Regression results for the mediating role of technology perceptions

变量名称	模型(8)		模型(9)		模型(10)	
	技术认知广度		技术认知深度		绿色防控技术采用	
	系数	标准误	系数	标准误	系数	标准误
相对互动强度	1.333**	0.607	1.056**	0.488	1.079 **	0.489
相对互惠强度	0.620*	0.329	1.191***	0.387	0.575**	0.258
相对信任强度	0.467*	0.256	0.513*	0.273	0.448*	0.238
相对节点度数	-0.609	0.526	-0.517	0.496	-0.047	0.725
相对中介中心度	0.350	1.006	0.021	1.009	1.359	1.403
相对接近中心度	0.920	0.656	0.979	0.628	-0.193	0.995
技术认知广度					0.440***	0.105
技术认知深度					0.281***	0.071
控制变量	控制		控制		控制	
村庄固定效应	控制		控制		控制	
观测值	790		790		790	
Pseudo $R^2$	0.103		0.082		0.356	
Prob > $\chi^2$	0.000		0.000		0.000	

性。关系嵌入的影响系数显著为正,结构嵌入的影响系数仍不显著,说明技术认知广度和认知深度仅在关系嵌入与农户绿色防控技术采用之间发挥显著的中介作用。具体来说,技术认知广度的中介效应分别占互动强度、互惠强度以及信任程度总效应的48.674%、36.915%和39.668%;技术认知深度的中介效应分别占互动强度、互惠强度以及信任程度总效应的24.625%、45.287%和27.829%。综上,假说H2和H3a得到验证,假说H3b未得到验证。

#### 4.4 进一步分析:示范效应的调节作用

上述实证结果表明,结构嵌入对农户绿色防控技术采用的影响并不显著。原因何在呢?本文尝试从网络示范效应的角度对此做进一步分析。理论上讲,采用新技术意味着不确定增加。尽管结构嵌入能够提供获取和学习绿色防控技术的信息渠道,但农户缺乏新技术的实践经验,不确定性仍然较高。而不确定性是导致农户选择观望并沿用传统生产技术的关键因素,示范效应可以在很大程度上降低新技术采用的不确定性<sup>[25]</sup>。具体来说,当社会网络中已采用绿色防控技术的农户较多时,他们通过“干中学”的方式摸索出更适用于本土的绿色防控技术采用经验和技巧<sup>[6]</sup>。结构嵌入程度高的农户可以通过社会互动、社会学习等方式可以获得更具价值的技术知识和信息,减少技术搜寻成本和转

换成本<sup>[7]</sup>,降低技术采用的不确定性,进而提高绿色防控技术采用的可能性。此外,绿色防控技术是一种准公共物品,具有正外部性,当周围大部分农户都采用该技术时,农户在社会压力下会主动向他人学习新技术,以避免违背社会规范和村庄公共利益可能带来的舆论谴责。反之,低示范效应可能会因社会网络中技术信息密度不足,以及无法形成有效的社会规范而阻碍绿色防控技术扩散。因此,示范效应可能在结构嵌入与农户绿色防控技术采用之间发挥调节作用。

为检验示范效应在结构嵌入影响农户绿色防控技术采用过程中是否存在调节作用,本文参考应瑞瑶等<sup>[25]</sup>的研究,采用“农户社会网络中除本人以外已采用绿色防控技术的农户数量与网络规模的比值”来表征示范效应。以示范效应均值为界限,将示范效应取值小于或等于均值的样本视为低示范效应组,将大于均值的视为高示范效应组,分别考察结构嵌入对两组农户绿色防控技术采用的影响。由表6可知,对于低示范效应组,结构嵌入对农户绿色防控技术采用行为的影响未通过显著性检验;对于高示范效应组,结构嵌入对农户绿色防控技术采用行为具有显著的正向影响,说明示范效应在结构嵌入与农户绿色防控技术采用之间发挥显著的调节作用。



表6 示范作用的调节作用回归结果

Table 6 Regression results for the moderating effect of the demonstration

变量名称	低示范效应		高示范效应	
	系数	标准误	系数	标准误
相对点度中心度	-0.650	1.082	0.372*	0.206
相对中介中心度	-0.013	1.739	6.975**	3.387
相对接近中心度	-0.320	1.389	1.145*	0.609
关系嵌入		控制		控制
控制变量		控制		控制
村庄固定效应		控制		控制
常数项	-1.667	1.226	-2.813*	1.439
Observations		373		417
Pseudo R <sup>2</sup>		0.254		0.211
Prob> chi <sup>2</sup>		0.000		0.000

5 结论与政策启示

5.1 结论

本文基于河南、陕西和甘肃39个村庄的790份苹果种植户微观调查数据,在构建农户村域社会网络矩阵的基础上,运用社会网络分析法和二元probit模型考察了社会网络嵌入对农户绿色防控技术采用的影响及其作用机制。主要结论如下:

(1)关系嵌入能显著促进农户采用绿色防控技术。具体而言,农户与其他农户的互动强度、互惠强度以及信任程度每增加一个单位,其采用绿色防控技术的概率会提升31.4%、19.2%和13.5%。原因在于农业技术信息扩散往往发生在关系较为亲近的农户之间,频繁的互动探讨、相互学习以及互利合作能够帮助农户快速掌握绿色防控技术操作要领,获得技术收益。关系嵌入程度较低的农户则因为较高的信息获取壁垒而对绿色防控技术“望而却步”。

(2)结构嵌入对农户绿色防控技术采用的影响不显著,原因是结构嵌入的影响依赖于网络示范效应。高示范效应下,结构嵌入程度较高的农户通过广泛的人际交往获取有价值的技术采用经验、技巧等信息,促进技术采用行为;反之,低示范效应可能会因社会网络中技术信息密度不足,以及无法形成有效的社会规范而阻碍绿色防控技术扩散。

(3)机制分析表明,关系嵌入通过拓宽农户的技术认知广度、增强农户的技术认知深度进而提高其采用绿色防控技术的可能性。其中,技术认知广度的中介效应分别占互动强度、互惠强度以及信任程度总效应的48.674%、36.915%和39.668%;技术

认知深度的中介效应分别占互动强度、互惠强度以及信任程度总效应的24.625%、45.287%和27.829%。

5.2 政策启示

根据上述研究结论,本文得到以下政策启示:

(1)在绿色防控技术推广实践中,政府应注重农户所嵌入的社会网络在技术扩散中的媒介作用,利用熟人之间的社会学习机制传递绿色防控技术知识和信息。搭建技术交流网络平台,鼓励农户通过线上、线下等多种互动方式加强绿色防控技术交流,逐步引导农户之间形成互助、互惠的非正式制度安排,共同克服绿色防控技术采用过程中的难题。

(2)鉴于示范效应对农户绿色防控技术采用的重要影响,要强化种植大户、家庭农场主的示范带动作用,通过创建和评选绿色防控技术示范户,并对其给予补贴和奖励,激发农户采用绿色防控技术的积极性。同时应鼓励示范户主动与普通农户交流和接触,分享绿色防控技术采用经验、技巧等信息,结合田间操作示范和技术指导,降低农户采用绿色防控技术的不确定性。

(3)技术认知是农户采用绿色防控技术的基础,政府不仅应广泛宣传各种绿色防控技术措施,更应定期组织培训向农户深入讲解各种措施的操作方法、使用成本和收益等知识,引导并增强农户对绿色防控技术的认知度和认同感。

参考文献(References):

[1] 桑贤策, 罗小锋. 新媒体使用对农户生物农药采纳行为的影响

2022年9月

- 研究[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2021, (6): 90-100. [Sang X C, Luo X F. The impact of new media application on farmers' adoption of biopesticide[J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition), 2021, (6): 90-100.]
- [2] 高杨, 赵端阳, 于丽丽. 家庭农场绿色防控技术政策偏好与补偿意愿[J]. 资源科学, 2019, 41(10): 1837-1848. [Gao Y, Zhao D Y, Yu L L. Family farms' policy preferences and willingness to accept compensation on green pest control techniques[J]. Resources Science, 2019, 41(10): 1837-1848.]
- [3] Ma W, Abdulai A. IPM adoption, cooperative membership and farm economic performance: Insight from apple farmers in China [J]. China Agricultural Economic Review, 2019, 11(2): 218-236.
- [4] 刘迪, 孙剑, 黄梦思, 等. 市场与政府对农户绿色防控技术采纳的协同作用分析[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(5): 1154-1163. [Liu D, Sun J, Huang M S, et al. Research on cooperative effect of market and government on farmers' adoption of integrated pest management technology[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(5): 1154-1163.]
- [5] 王学婷, 张俊飏, 童庆蒙. 参与农业技术培训能否促进农户实施绿色生产行为: 基于家庭禀赋视角的ESR模型分析[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(1): 202-211. [Wang X T, Zhang J B, Tong Q M. Can participating in agricultural technology training promote farmers to implement green production behavior? Based on the analysis of family endowment and ESR Model[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2021, 30(1): 202-211.]
- [6] 朱月季, 杨倩, 王芳. 社会网络对蕉农采纳资源节约型技术的影响机制: 以水肥一体化技术为例[J]. 资源科学, 2021, 43(6): 1099-1114. [Zhu Y J, Yang Q, Wang F. Mechanism of influence of social networks on banana farmers' adoption of resource conservation technologies: A case study of the drip fertigation system[J]. Resources Science, 2021, 43(6): 1099-1114.]
- [7] 程琳琳, 张俊飏, 何可. 网络嵌入与风险感知对农户绿色耕作技术采纳行为的影响分析: 基于湖北省615个农户的调查数据[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(7): 1736-1746. [Cheng L L, Zhang J B, He K. Analysis on the influence of network embeddedness and risk perception on farmers' adoption behavior of green agricultural tillage technology: Based on the survey data of 615 farmers in Hubei Province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(7): 1736-1746.]
- [8] Granovetter M. Society and Economy[M]. Cambridge: Harvard University Press, 2017.
- [9] 马兴栋, 邵砾群, 霍学喜. 差序格局是否导致农户生产的“技术锁定”? 基于技术网络嵌入视角[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2018, (6): 20-28. [Ma X D, Shao L Q, Huo X X. Is pattern of difference sequence the cause of technology lock-in in farmers' production? Based on the perspective of technology network embedding[J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition), 2018, (6): 20-28.]
- [10] Skaalsveen K, Ingram J, Urquhart J. The role of farmers' social networks in the implementation of no-till farming practices[J]. Agricultural Systems, 2020, DOI: 10.1016/j.agsy.2020.102824.
- [11] 李世杰, 刘琼, 高健. 关系嵌入、利益联盟与“公司+农户”的组织制度变迁: 基于海源公司的案例分析[J]. 中国农村经济, 2018, (2): 33-48. [Li S J, Liu Q, Gao J. Relational embeddedness, interest alliance and institutional change of “Company Plus Smallholder” pattern: An analysis based on Haiyuan model[J]. Chinese Rural Economy, 2018, (2): 33-48.]
- [12] 刘景卿, 于佳雯, 车维汉. FDI流动与全球价值链分工变化: 基于社会网络分析的视角[J]. 财经研究, 2019, 45(3): 100-113. [Liu J Q, Yu J W, Che W H. FDI flow and the division of labor in GVC: An understanding from the perspective of social network analyses[J]. Journal of Finance and Economics, 2019, 45(3): 100-113.]
- [13] Di Falco S, Doku A, Mahajan A. Peer effects and the choice of adaptation strategies[J]. Agricultural Economics, 2020, 51(1): 17-30.
- [14] Abdul M Y, Abdulai A. Social networks, adoption of improved variety and household welfare: Evidence from Ghana[J]. European Review of Agricultural Economics, 2022, 49(1): 1-32.
- [15] 李博伟, 徐翔. 社会网络、信息流动与农民采用新技术: 格兰诺维特“弱关系假设”的再检验[J]. 农业技术经济, 2017, (12): 98-109. [Li B W, Xu X. Social networks, information flows and farmers' adoption of new technologies: A re-test of Granovetter's weak relationship hypothesis' [J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2017, (12): 98-109.]
- [16] Freeman L C. Centrality in social networks conceptual clarification [J]. Social Networks, 1978, 1(3): 215-239.
- [17] 朱月季. 社会网络视角下的农业创新采纳与扩散[J]. 中国农村经济, 2016, (9): 58-71. [Zhu Y J. Adoption and diffusion of agricultural innovations in a social network perspective[J]. Chinese Rural Economy, 2016, (9): 58-71.]
- [18] Zhang A J, Matous P, Tan D K Y. Forget opinion leaders: The role of social network brokers in the adoption of innovative farming practices in North-western Cambodia[J]. International Journal of Agricultural Sustainability, 2020, 18(4): 266-284.
- [19] 刘丽, 褚力其, 姜志德. 技术认知、风险感知对黄土高原农户水土保持耕作技术采用意愿的影响及代际差异[J]. 资源科学, 2020, 42(4): 763-775. [Liu L, Chu L Q, Jiang Z D. Influence of technology cognition and risk perception on the willingness to adopt soil and water conservation tillage technologies and its inter-generational differences[J]. Resources Science, 2020, 42(4): 763-775.]
- [20] 吴雪莲, 张俊飏, 丰军辉. 农户绿色农业技术认知影响因素及其层级结构分解: 基于Probit-ISM模型[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2017, (5): 36-45. [Wu X L, Zhang J B, Feng J H. Research on factors influencing farmer's cognition of green agricultural technologies and the stratification: Based on Probit-ISM model [J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition), 2017, (5): 36-45.]
- [21] 杨勤民, 赵中华, 王亚红, 等. 我国苹果园病虫害防治用药情况

- 及减量增效对策[J]. 中国植保导刊, 2018, 38(4): 57–61. [Yang Q M, Zhao Z H, Wang Y H, et al. The use of pesticides for pest control in apple orchards in China and measures to reduce and increase efficiency[J]. China Plant Protection, 2018, 38(4): 57–61.]
- [22] 贺雪峰. 论半熟人社会: 理解村委会选举的一个视角[J]. 政治学研究, 2000, (3): 61–69. [He X F. On the semi-acquaintance society: A perspective on village council elections[J]. CASS Journal of Political Science, 2000, (3): 61–69.]
- [23] 温忠麟, 方杰, 谢晋艳, 等. 国内中介效应的方法学研究[J]. 心理科学进展, 2022, 30(8): 1692–1702. [Wen Z L, Fang J, Xie J Y, et al. Methodological research on mediation effects in China's mainland[J]. Advances in Psychological Science, 2022, 30(8): 1692–1702.]
- [24] 曹慧, 赵凯. 耕地经营规模对农户亲环境行为的影响[J]. 资源科学, 2019, 41(4): 740–752. [Cao H, Zhao K. Farmland scale and farmers' pro-environmental behavior: Verification of the inverted U hypothesis[J]. Resources Science, 2019, 41(4): 740–752.]
- [25] 应瑞瑶, 徐斌. 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[J]. 中国农村经济, 2014, (8): 30–41. [Ying R Y, Xu B. Analysis of the demonstration effect of the adoption of agricultural social services by farmers: The example of integrated pest management[J]. Chinese Rural Economy, 2014, (8): 30–41.]

## Impact of social network embeddedness on the adoption of green control technologies by farmers: Mediating effects based on technology perception

ZHAO Peipei<sup>1,2</sup>, ZHANG Qiangqiang<sup>3</sup>, ZHONG Yiwei<sup>4</sup>, LIU Tianjun<sup>1,2</sup>

(1. College of Economics and Management, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. Center for Western Rural Development, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 3. School of Advanced Agricultural Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 4. College of Information Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

**Abstract:** The analysis of the influence of different social network embeddedness on the adoption of green control technologies by farmers and its mechanism can provide a reference for the government to improve the policy of green agricultural technology promotion. In this study, the survey data of 790 apple farmers in Henan, Shaanxi, and Gansu Provinces were used to construct a social network matrix of farmers' village-level social networks using social network analysis methods. The results show that: (1) Relational embeddedness significantly increased the likelihood of farmers adopting green control technologies, while the effect of structural embeddedness was not significant. (2) The mechanism analysis showed that relational embeddedness promoted farmers' adoption of green control technologies by enhancing the breadth and depth of their technology knowledge and the effect of structural embeddedness on farmers' adoption of green control technologies was moderated by the demonstration effect, indicating that structural embeddedness only had a significant positive effect on the adoption of green control technologies by farmers in the high demonstration effect group, but not in the low demonstration effect group. Based on the findings of the study, we recommend that the government should focus on the role of the social network embeddedness of farmers as a mediator in the diffusion of green control technologies, strengthen the level of farmer interaction, and enhance the demonstration role of large farmers and family farmers to accelerate the green transition of agriculture.

**Key words:** relational embeddedness; structural embeddedness; green control technology; technology perception; demonstration effect; social network analysis