

AI赋能农户绿色防控技术采纳现状及其效应研究 —基于烟台市苹果种植户的调研

吴芝岭, 王孟琪, 董佳乐, 李梅芳*

(中国农业大学烟台研究院, 山东 烟台 264670)

摘要: 在农业现代化背景下, AI技术成为提升农业生产效率, 推动农业绿色转型与乡村振兴的核心驱动力。本研究以烟台市苹果种植户为对象, 通过对141户种植户的实地调研数据进行分析, 构建基准回归模型与中介效应模型, 探究AI赋能下绿色防控技术采纳现状及其经济效应和环境效应。研究发现: 第一, 绿色防控技术采纳呈现“生态调控为主、生物防治为辅”的结构特征, 套袋、壁蜂授粉等技术采纳率超50%, 但性诱、释放天敌等技术推广不足; AI技术整体采纳率仅20.41%, 智能灌溉与施肥系统因成本效益显著成为首选, 而高投资技术采纳率普遍低于20%; 第二, 绿色防控技术采纳对烟台苹果产业的经济效应和环境效应均具有显著正向影响; 第三, AI技术在绿色防控技术与经济效应和环境效应之间起部分中介作用。基于此, 提出强化技术推广与培训、完善技术服务支持、优化政策扶持激励等政策建议, 旨在为推动农业绿色、高效、智能化发展提供参考。

关键词: AI技术; 绿色防控技术; 回归模型; 中介效应; 苹果产业

中图分类号: F326

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2025)06-0196-08

AI-Enabled Adoption of Green Pest Control Technologies by Farmers: Current Status and Effects

—A Case Study of Apple Growers in Yantai City

WU Zhiling, WANG Mengqi, DONG Jiale, LI Meifang*

(Yantai Institute of China Agricultural University, Yantai 264670, China)

Abstract: Against the backdrop of agricultural modernization, artificial intelligence(AI) technology has emerged as a core driver for enhancing agricultural production efficiency, advancing the green transformation of agriculture, and revitalizing rural areas. By analyzing field survey data from 141 apple growers in Yantai City, this study constructed a baseline regression model and a mediating effect model to explore the current status of AI-enabled adoption of green pest control technologies, as well as their economic and environmental effects. The findings are as follows: First, the adoption of green pest control technologies exhibits a structural feature of “Ecological regulation as the main approach, supplemented by biological control.” Technologies such as fruit bagging and osmia pollination have adoption rates exceeding 50%, while the promotion of technologies like sex pheromone traps and natural enemy release remains insufficient. Among the surveyed farmers, the overall adoption rate of AI technology is only 20.41%: intelligent irrigation and fertilization systems are the most preferred due to their significant cost-effectiveness, whereas the adoption rates of high-investment technologies (e.g., drone orchard inspection and intelligent fruit quality sorting equipment) generally remain below 20%. Second, the adoption of green pest control technologies exerts a significantly positive impact on both the economic and environmental performance of the Yantai apple industry. Third, AI technology plays a partial mediating role between the adoption of green pest control technologies and their economic and environmental effects. Based on these findings, policy recommendations are proposed, including strengthening technology promotion and training, improving technical service sup-

收稿日期: 2025-05-02

基金项目: 烟台市教育局校地融合项目(2022XDRHXMQT24); 烟台市教育局校地融合项目(2023XDRHXMK09); 中国农业大学烟台研究院引导性课题项目(Z202304)

作者简介: 吴芝岭(2005-), 女, 在读本科, 研究方向为农业经济及市场营销。

通信作者: 李梅芳, E-mail: limeifang1969@163.com

port, and optimizing policy incentives. These recommendations are aimed at providing a reference for promoting the green, efficient, and intelligent development of agriculture.

Key words: AI technology; Green Control technology; Regression model; Mediating effect; Apple industry

国家高度重视农业绿色发展,积极实施“预防为主、综合防治”的植保方针^[1],同时大力倡导“公共植保、绿色植保”理念^[2]。作为实现农业绿色发展的关键举措,绿色防控技术(Green Control Techniques, GCT)愈发受到关注。与此同时,人工智能(Artificial Intelligence, AI)作为国家战略级技术革新,已成为推动各行业持续进步的核心驱动力。2024年两会政府工作报告强调深化大数据、人工智能等领域的研发与应用,进一步促进数字产业集群的发展^[3]。以习近平同志为核心的党中央将建设农业强国置于重要战略地位,明确指出农业农村现代化要依靠科技驱动。作为国家地理标志产品,烟台苹果在我国苹果产业中占据举足轻重的地位;数据显示,2023年其总产量达658.57万t,种植面积达13.09万hm²^[4],是当地农业经济的重要支柱。然而,随着消费者对食品安全和生态环境保护关注度的日益提升,传统苹果种植模式亟须向绿色、高效方向转型。在此背景下,将绿色防控技术与AI技术融合应用于烟台苹果产业,既能有效减少化学农药使用,保障苹果产量和品质,实现经济效应和环境效益双赢,又能顺应农业发展趋势,提升烟台苹果产业的竞争力。深入探究AI赋能农户绿色防控技术采纳产生的经济效应和环境效应,将有力推动我国农业向绿色、高效、智能方向转型升级。

本研究旨在探究农户绿色防控技术采纳对烟台苹果产业经济效应和环境效应的影响,并明确AI技术在其中发挥中介作用的机制。具体针对烟台141户苹果种植户,收集其绿色防控技术采纳情况、AI技术采纳情况以及经济效应、环境效应等相关数据,完成数据处理后,构建基准回归模型和中介效应模型,借助SPSS进行传统三步回归分析,检验研究假设的正确性。最后,依据实证分析结果,提出切实可行的政策建议。

1 理论分析与研究假说

1.1 绿色防控技术对经济效应的直接影响

绿色防控技术对经济效应的直接影响主要体现在3个方面。第一,该技术能通过节约成本以显著提升农户收入^[5-7],部分技术如理化诱控可减少农药使用频次和剂量,降低防治成本^[8],且节省

的农药费用常转投至有机肥和优质种子,优化生产结构^[9]。第二,绿色防控技术通过减少病虫害损失,达到增产效果,具有高投入产出比^[10]。第三,生产的农产品因农药残留低、品质高,市场认可度高,可获得价格溢价,增强市场竞争力^[9]。同时,由于规模效应,绿色防控技术的采纳使大规模农户成本节约更显著且实现增收^[8]。基于上述分析提出假设1:绿色防控技术采纳对烟台苹果产业经济效应具有显著正向影响。

1.2 绿色防控技术对环境效应的直接影响

依据生态环境理论,绿色防控技术的采纳对环境效应有显著的直接影响。一方面,绿色防控技术综合运用生物防治、理化诱控等多种手段大幅减少化学农药使用,降低环境污染,保护土壤、水体等环境介质^[11-12];另一方面,可以通过恢复天敌种群、优化农田生态,促进生态平衡与生物多样性保护^[13]。并且,在减少农药化肥生产与使用过程中,绿色防控技术间接降低了化石能源消耗和碳排放^[14]。通过轮作、间作等生态调控措施,绿色防控技术还优化了农田微环境^[15],打破病虫害食物链^[16],增强系统抗逆性^[17],从长期看有助于建立起健康的农业生产体系,减少生态修复成本。基于上述分析提出假设2:绿色防控技术采纳对烟台苹果产业环境效应具有显著正向影响。

1.3 AI技术的中介效应:从技术赋能到效应释放

在农业绿色发展进程中,绿色防控技术与AI技术的融合受到较多关注。AI技术发挥关键的中介作用,其理论机制涉及多个层面。从经济学中的技术扩散理论来看,新技术的推广应用会在一定范围内逐渐传播并产生影响。绿色防控技术作为农业领域的创新技术,它的推广过程给AI技术的介入创造了契机。农户采纳绿色防控技术后,为了追求更高的生产效率和效益,会更愿意采纳与之适配的AI技术,由此促进AI技术在农业生产中的扩散。

AI技术在绿色防控技术产生经济和环境效应中发挥中介作用。在数据驱动的精准确定资源管理方面,AI技术精准定位需施肥、灌溉区域,优化水、化肥及农药施用量,在提升经济效益的同时,也带来环境效益^[18]。在病虫害与气候风险的预测及防控上,AI结合机器学习模型,可提前精准预

测病虫害爆发和极端天气事件,降低作物损失,避免过量农药对土壤和水体造成污染^[19]。此外, AI驱动的自动化设备替代传统高污染、高耗能的人力作业,如精准除草机器人可精准施用除草剂,减少化学物质使用量^[20],在实现经济效应的同时^[21],减少了环境污染。总之, AI技术通过上述多种途径,在绿色防控技术采纳与经济效应和环境效应之间搭建起桥梁,发挥重要的中介效应。基于以上理论分析,提出假设3和假设4。假设3: AI技术在绿色防控技术与经济效应间起中介作用,即绿色防控技术通过AI赋能间接提升经济效应。假设4: AI技术在绿色防控技术与环境效应间起中介作用,即绿色防控技术通过AI赋能间接改善环境效应。

2 研究设计

2.1 数据来源

本研究数据源自2025年1—4月山东省烟台市苹果主产区的抽样调查数据。整个调查分为两个阶段:第一阶段为预调查,通过走访部分农村,与农户进行“面对面”交流,全面了解当地苹果种植情况,包括种植品种、病虫害防治手段等,以及农户对绿色防控技术和AI技术的认知与应用情况,由此对调查问卷进行修改。第二阶段为正式调查,调研团队前往烟台多个苹果种植区域,如栖霞市、尺坎村等地,进行逐户走访调查。在每个调研点,按照随机抽样原则抽取20~30个苹果种植农户作为调查对象,保证样本的随机性和代表性。共发放问卷155份,获得有效问卷141份,有效回收率为90.97%。

2.2 变量选取

2.2.1 被解释变量

经济效应:以农户感知为测量依据,采用李克特5级量表进行评分。1分表示农户感知到的经济效应极低,获得利润并不理想;2分表示农户认为经济效应较低,采纳绿色防控技术后利润增长不明显;3分表示农户认为经济效应处于中等水平,没有突出的利润增长情况;4分表示农户感觉经济效应较高,采纳绿色防控技术后利润增长较为显著;5分表示农户感知到的经济效应非常高,明显感受到利润空间扩大。

环境效应:同样基于农户感知,运用李克特5级量表。1分表示农户感知到的环境效应极低,观察到果园生态环境无变化;2分表示农户认为环境效应较低,果园生态环境改善不明显;3分表

示农户认为环境效应处于中等水平,果园生态环境有一定程度改善;4分表示农户感觉环境效应较高,果园生态环境改善显著;5分表示农户感受到环境效应极佳,生态系统呈现良好的发展态势。

2.2.2 核心解释变量

苹果种植户绿色防控技术采纳程度:绿色防控技术是多种技术的总称,参考《2019年植保植检工作要点》作出的分类,再结合苹果生产在调研区域应用绿色防控技术的实际情况。本研究最终从理化诱控、生物防治、科学用药、生态调控四个方面选择代表性技术作为绿色防控技术采纳的元素^[22],包括色板诱杀、诱虫灯、防虫网、性诱、生物农药、释放天敌、使用低毒低残留农药、精准施药、套袋、种植诱集植物、生草栽培以及壁蜂授粉等。同时,为量化分析农户采纳绿色防控技术的情况,本研究参考杨志海等^[23]的方法,用农户采纳绿色防控技术的数量衡量其采纳行为。

2.2.3 中介变量

AI技术采纳程度:本研究结合已有文献^[24]以及调研区域实际情况,选取采纳AI技术数量作为衡量采纳程度的指标,包括环境数据监测分析系统、病虫害智能识别与预警系统、无人机果园巡查、智能灌溉与施肥系统、果实品质智能分选设备和农产品电商智能推荐系统。

2.2.4 控制变量

参考现有研究成果以及调研地实际情况,总结出对农户绿色防控技术采纳存在影响的控制变量,并将其进行分为3类:一是种植户户主特征,包括文化程度、种植经验和生态认知;二是生产特征,包括种植规模、苹果收入占总收入的比重以及生产组织形式;三是外部情况,包括技术培训和他人影响两个方面。表1为变量的定义以及描述性统计结果。

2.3 模型构建

2.3.1 基准回归模型设定

基于前文分析,设定如下基准回归模型:

经济效应模型:

$$EconomicEffect = \alpha_0 + \alpha_1 GCT_i + \alpha_2 AITech_i + \alpha_3 Control_i + \varepsilon_{1i} \dots \dots \dots (1)$$

环境效应模型:

$$EnvironmentEffect = \beta_0 + \beta_1 GCT_i + \beta_2 AITech_i + \beta_3 Control_i + \varepsilon_{2i} \dots \dots \dots (2)$$

其中, *EconomicEffect* 代表经济效应, *EnvironmentEffect* 代表环境效应, *GCT_i* 为核心解释

表1 变量基本情况
Table 1 Basic information of variables

变量 Variable	变量名 Variable name	变量定义 Variable definition	均值 Mean value	标准差 Standard deviation
被解释变量	经济效应	采纳绿色防控技术对收入的提高程度:1.非常小;2.比较小;3.一般;4.比较大;5.非常大	3.510 6	0.850 35
	环境效应	采纳绿色防控技术对环境的改善程度:1.非常小;2.比较小;3.一般;4.比较大;5.非常大	3.766 0	0.960 94
核心解释变量	绿色防控技术采纳	采纳绿色防控技术的数量/种,数值介于0~12	7.212 8	1.718 84
中介变量	AI技术采纳	使用AI技术数量/种,数值介于0~6	1.766 0	1.059 91
控制变量	文化程度	种植户文化程度:1.未上学;2.小学;3.初中;4.高中或中专;5.大专及以上	3.468 1	0.580 06
	种植经验	户主种植苹果年数/年	19.638 3	10.314 54
	生态认知	农药、化肥等的使用对生态环境的影响程度:1.非常小;2.比较小;3.一般;4.比较大;5.非常大	3.170 2	1.158 55
	种植规模	种植苹果的面积/亩	10.191 5	9.796 62
	苹果收入占比	苹果收入占家庭收入比例	60.340 4	28.088 59
	生产组织形式	1.新型农业经营主体;0.普通农户	0.297 9	0.458 95
	技术培训	接受技术培训的次数(次/年)	2.000 0	1.035 10
	他人影响	亲戚朋友等使用绿色防控技术对我采纳意愿的影响程度:1.非常小;2.比较小;3.一般;4.比较大;5.非常大	3.085 1	0.944 83

变量,表示绿色防控技术采纳情况, $Control_i$ 表示控制变量,包括户主特征、生产特征和外部条件3方面, $AITech_i$ 为中介变量,表示AI技术采纳情况, $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \gamma_0, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ 为待估系数, $\varepsilon_{1i}, \varepsilon_{2i}$ 为随机干扰项。

2.3.2 中介效应模型设定

为探究绿色防控技术采纳通过AI技术采纳而产生的经济效应和环境效应,参考温忠麟等^[25]的研究思路,在公式(1)和公式(2)的基础上将中介效应模型设定如下:

$$EconomicEffect = \lambda_0 + \lambda_1 GCT_i + \lambda_2 Control_i + \varepsilon_{3i} \dots \dots \dots (3)$$

$$EnvironmentEffect = \rho_0 + \rho_1 GCT_i + \rho_2 Control_i + \varepsilon_{4i} \dots \dots \dots (4)$$

$$AITech_i = \gamma_0 + \gamma_1 GCT_i + \gamma_2 Control_i + \varepsilon_{5i} \dots \dots (5)$$

其中, $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \rho_0, \rho_1, \rho_2, \gamma_0, \gamma_1, \gamma_2$ 为待估系数, $\varepsilon_{3i}, \varepsilon_{4i}, \varepsilon_{5i}$ 为随机干扰项。

3 技术采纳现状

3.1 绿色防控技术采纳现状

表2表明,样本农户大多采纳生态调控技术和生物防治技术,其中,97.96%的农户选择套袋,59.18%的农户采用壁蜂授粉,55.10%的农户选择生物农药和53.06%的农户会使用低毒、低残留农药

药。而性诱(2.04%)、释放天敌(6.12%)和种植诱集植物(6.12%)等绿色防控技术的采纳率均未超过10%。可见,农户的绿色防控技术采纳行为在不同的技术类型间存在差异。

表2 样本农户对不同种类绿色防控技术的采纳情况
Table 2 Adoption of different types of green control technologies by sample farmers

类别 Category	绿色防控技术 Green control technology	采纳占比/% Adoption rate
理化诱控	色板诱杀	12.24
	诱虫灯	12.24
	防虫网	12.24
生物防治	性诱	2.04
	生物农药	55.10
科学用药	释放天敌	6.12
	使用低毒、低残留农药	53.06
	精准施药	38.78
生态调控	套袋	97.96
	种植诱集植物	6.12
	生草栽培	26.53
	壁蜂授粉	59.18

3.2 AI技术采纳现状

样本农户对AI技术的整体采纳数据显示,仅

有20.41%的农户采纳AI技术,未采纳的农户占比高达79.59%。表明在当前烟台苹果种植户群体中,AI技术的普及程度不高,大部分农户未将AI技术应用于苹果种植生产过程。

表3为样本农户对AI技术的具体采纳情况。其中,由于智能灌溉与施肥系统能够根据土壤墒情、作物生长阶段等精准调控水肥供应,降低作物的生产成本,提升农产品的生产效率,对农户具有较大吸引力,此技术采纳占比最高,达到50.00%。由于设备成本较高,采纳无人机果园巡查和果实品质智能分选系统的占比均低于20.00%。

4 结果与分析

4.1 直接效应

基准回归模型结果如表4所示。第(1)列以经

表3 采纳AI技术的样本农户具体采纳情况
Table 3 Specific adoption of AI technologies by sample farmers who adopted AI

类别 Category	采纳占比/% Adoption rate
环境数据监测分析系统	20.00
病虫害智能识别与预警系统	20.00
无人机果园巡查	16.67
智能灌溉与施肥系统	50.00
果实品质智能分选设备	13.33
农产品电商智能推荐系统	33.33

济效应为因变量,以绿色防控技术采纳为自变量,未加入控制变量,绿色防控技术采纳的系数显著为正;第(2)列加入控制变量后,绿色防控技

表4 基准回归结果
Table 4 Baseline regression results

变量名 Variable name	(1) 经济效应 Economic impact	(2) 经济效应 Economic impact	(3) 环境效应 Ecological impact	(4) 环境效应 Ecological impact
绿色防控技术采纳	0.442*** (23.361)	0.394*** (18.180)	0.501*** (23.692)	0.504*** (20.256)
AI技术采纳		0.061** (2.011)		0.144*** (4.159)
文化程度		0.000 2 (0.004)		0.059 (0.946)
种植经验		0.001 (0.289)		-0.002 (-0.487)
生态认知		0.115*** (3.662)		-0.101*** (-2.807)
种植规模		-0.001 (-0.275)		-0.009** (-2.032)
苹果收入占比		0.000 3 (0.226)		-0.001 (-0.483)
生产组织形式		0.032 (0.353)		0.175* (1.698)
技术培训		-0.158*** (-5.191)		0.116*** (3.301)
他人影响		0.062* (1.689)		-0.073* (-1.728)
常数项	0.325** (2.319)	0.279 (1.108)	0.156 (0.995)	0.116 (0.402)
R^2	0.893	0.921	0.895	0.919
样本量	141	141	141	141

注:括号内数值为t统计量;*、**、*** 分别表示在10%、5%、1%的统计水平上差异显著。

Note: T-values are presented in parentheses; *, **, *** denote significance at the 10%, 5%, and 1% levels, respectively.

术采纳的系数仍显著为正,表明该技术对经济效应应有显著的正向影响,假设1成立。在第(3)列和第(4)列中,绿色防控技术采纳的系数在1%的显著性水平下均显著为正,说明其对环境效应存在正向影响,假设2成立。在第(2)列和第(4)列中,AI技术采纳的系数显著为正,说明AI技术对经济效应和环境效应均存在正向促进作用。

通过对模型中控制变量的观察,发现他们对经济效应和环境效应的影响存在差异。生态认知显著正向影响经济效应,却显著负向影响环境效应,可能是因为部分农户追求短期经济利益而忽视生态环境的长期影响;种植规模仅显著负向影响环境效应,表明较大的种植规模可能因资源投入较多,对环境产生一定压力;新型农业经营主体显著有利于技术采纳产生的环境效应;技术培训有利于农户更好地掌握技术的使用,对环境效应具有正向影响,却可能因为其成本导致对经济效应的负向影响;周围农户采纳技术产生正向经济效应后,会形成示范效应,使其他农户跟风采纳,却可能因为盲目跟风导致技术应用不当,对环境产生负面影响。

4.2 中介效应

表5为中介效应检验结果。第(1)列中绿色防控技术采纳的系数在1%水平下显著为正,数值

达0.405,表明绿色防控技术采纳对经济效应存在直接且显著的正向驱动作用。第(2)列将AI技术采纳作为因变量,绿色防控技术采纳作为自变量,结果显示,绿色防控技术采纳对AI技术采纳具有显著的促进作用。第(3)列将绿色防控技术采纳与AI技术采纳同时纳入回归模型,因变量仍为经济效应。此时,绿色防控技术采纳的回归系数为0.394,相较于第(1)列有所减小,而AI技术采纳的回归系数为0.061,且二者均对经济效应具有积极意义,表明AI技术在绿色防控技术采纳影响经济效应的过程中起部分中介作用。假设3得到验证。第(4)列中绿色防控技术采纳的系数在1%水平下显著为正,数值达0.529,表明绿色防控技术采纳对环境效应存在直接且显著的正向促进作用。第(5)列将AI技术采纳作为因变量,绿色防控技术采纳作为自变量,结果显示,绿色防控技术采纳对AI技术采纳具有显著的促进作用。第(6)列将绿色防控技术采纳与AI技术采纳同时纳入回归模型,因变量仍为环境效应。此时,绿色防控技术采纳的回归系数为0.504,相较于第(4)列有所下降,而AI技术采纳的回归系数为0.144,且二者均对环境效应具有积极影响,表明AI技术在绿色防控技术采纳影响环境效应的过程中起部分中介作用。假设4得到验证。

表5 中介效应检验结果
Table 5 Mediation effect test results

变量名 Variable name	(1) 经济效应 Economic impact	(2) AI技术采纳 AI adoption	(3) 经济效应 Economic impact	(4) 环境效应 Ecological impact	(5) AI技术采纳 AI adoption	(6) 环境效应 Ecological impact
AI技术采纳			0.061**			0.144**
绿色防控技术采纳	0.405***	0.174***	0.394***	0.529***	0.174***	0.504***
常数项	0.285	0.106	0.279	0.131	0.106	0.116
控制变量	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
R ²	0.844	0.177	0.849	0.823	0.177	0.844

5 研究结论与建议

5.1 研究结论

本研究聚焦绿色防控技术,探讨经济效应和环境效应产生的理论逻辑,对141户烟台市苹果种植户进行实地调研并获取数据,分析AI技术赋能经济效应和环境效应机制,结果如下:

第一,当前烟台苹果种植户的绿色防控技术采纳呈现“生态调控为主、生物防治为辅”的结构

性特征。套袋、壁蜂授粉等技术因操作简易、成本适配性高,采纳率较高,而性诱、释放天敌等技术因前期投入高、效果滞后,采纳率不足。从技术集成度看,多数农户停留在单一或少数组合技术应用层面,技术协同增效潜力有待释放。AI技术采纳整体水平较低且呈现显著技术偏好差异:智能灌溉与施肥系统因直接关联降本增效,采纳率较高,而果实品质智能分选设备因投资门槛高,采纳率较低。表明农户对AI技术的接受度与

技术可见收益和操作复杂度紧密相关,高附加值、低成本的技术更易被采纳。

第二,绿色防控技术采纳对经济效应和环境效应均具有显著的正向影响。在经济效应上,该技术通过成本节约和市场溢价等途径可提高农户收入,且大规模种植农户受益更为明显。在环境效应上,绿色防控技术通过减少化学农药的使用,改善了土壤环境和水体环境,保护了生物多样性,促进了农业生态系统的可持续发展。

第三,绿色防控技术能够通过AI技术赋能经济效应和环境效应,AI技术在绿色防控技术与经济效应和环境效益之间发挥部分中介作用。绿色防控技术的采纳促进了AI技术的应用,而AI技术凭借其精准管理、智能预测和自动化等优势,提升了绿色防控技术产生的经济效应和环境效应。

5.2 建议

基于以上研究结果提出以下建议:

第一,强化技术推广与培训。针对不同文化程度和种植经验的农户构建多元化培训机制,制定分层分类的培训方案。组织农业技术专家和科研人员深入农村,为农户指导绿色防控技术的具体操作、AI技术设备的使用与维护等技术应用方式,确保农户能够熟练掌握并正确应用这些技术。

第二,完善技术服务与支持体系。加强农业技术服务队伍建设,加大对农业技术服务人员的培养和引进力度,提高其专业素养和技术水平,打造一支既懂绿色防控技术又熟悉AI技术的复合型农业技术服务团队,为农户提供及时、有效的技术咨询和现场服务,解决农户在技术应用过程中遇到的实际问题。

第三,优化政策扶持与激励机制。加大财政补贴力度,政府设立专项补贴资金,对采用绿色防控生产技术和AI技术的苹果种植户给予直接的经济补贴,补贴标准可根据技术采用数量、应用面积等指标进行差异化设定,降低农户的技术采用成本。同时,对开展绿色防控和AI技术相关研发、推广的企业和机构给予税收优惠、研发补贴等支持,鼓励社会资本投入到农业绿色发展领域。

参考文献:

- [1] 叶贞琴. 大力实施绿色防控加快现代植保建设步伐[J]. 中国植保导刊, 2013, 33(2): 5-9, 23.
YE Z Q. Vigorously implement green control to accelerate the construction of modern plant protection[J]. China Plant Protection, 2013, 33(2): 5-9, 23. (in Chinese)
- [2] 夏敬源. 公共植保绿色植保的发展与展望[J]. 农业技术与装备, 2011(10): 4-7.
XIA J Y. Development and prospect of public plant protection and green plant protection[J]. Agricultural Technology&Equipment, 2011(10): 4-7. (in Chinese)
- [3] 李强. 政府工作报告——2024年3月5日在第十四届全国人民代表大会第二次会议上[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2024(9): 2-16.
LI Q. Government work report - delivered at the second session of the 14th National People's Congress on March 5, 2024[J]. The Bulletin of the State Council of the People's Republic of China, 2024(9): 2-16. (in Chinese)
- [4] 烟台市统计局. 烟台统计年鉴-2024[EB/OL]. (2025-02-11) [2025-05-20]. <http://tjj.yantai.gov.cn>.
- [5] 刘治平, 范才银, 安然, 等. 绿色防控技术对烟草病虫害及经济效益的影响[J]. 现代农业科技, 2020(6): 105, 111.
LIU Z P, FAN C Y, AN R, et al. Impact of green control technologies on tobacco pests and diseases and economic benefits[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2020(6): 105, 111. (in Chinese)
- [6] 田路, 郑少锋, 陈如静. 绿色防控技术采纳影响因素及收入效应研究——基于792户菜农调查数据的实证分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2022, 30(10): 1687-1697.
TIAN L, ZHENG S F, CHEN R J. Study on influencing factors of green control technology adoption and income effect-empirical analysis based on survey data of 792 vegetable farmers [J]. Chinese Journal of Eco-agriculture, 2022, 30(10): 1687-1697. (in Chinese)
- [7] 霍瑜, 夏文浩, 郎禹超, 等. 绿色防控技术采纳及其对新疆棉农福利的影响[J]. 资源科学, 2023, 45(1): 130-143.
HUO Y, XIA W H, LANG Y C, et al. Adoption of green control technologies and its impact on the welfare of cotton farmers in Xinjiang[J]. Resources Science, 2023, 45(1): 130-143. (in Chinese)
- [8] 黄炎忠, 罗小锋, 唐林, 等. 绿色防控技术的节本增收效应——基于长江流域水稻种植户的调查[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(10): 174-184.
HUANG Y Z, LUO X F, TANG L, et al. Cost-saving and income-increasing effects of green control technologies - survey based on rice farmers in the Yangtze River Basin[J]. Chinese Journal of Population, Resources and Environment, 2020, 30(10): 174-184. (in Chinese)
- [9] 李后建, 曹安迪. 绿色防控技术对稻农经济收益的影响及其作用机制[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(2): 80-89.
LI H J, CAO A D. Impact of green control technologies on rice farmers' economic benefits and its mechanism[J]. Chinese Journal of Population, Resources and Environment, 2021, 31(2): 80-89. (in Chinese)
- [10] 赵秀梅, 王振营, 张树权, 等. 亚洲玉米螟绿色防控技术组装集成田间防效测定与评价[J]. 应用昆虫学报, 2014, 51(3): 680-688.

- ZHAO X M, WANG Z Y, ZHANG S Q, et al. Evaluation of different integrated, multiple, green, control techniques to control the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis*(*Guenée*) (Lepidoptera: Crambidae)[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2014, 51(3): 680-688. (in Chinese)
- [11] 刘晨光,刘宝玉,杨立国,等.巴彦淖尔市向日葵蜜蜂授粉与绿色防控增产技术模式及应用[J].中国植保导刊,2016,36(5):29-31.
- LIU C G, LIU B Y, YANG L G, et al. Technology model and application of sunflower bee pollination and green control for yield increase in Bayannur City[J]. China Plant Protection, 2016, 36(5): 29-31. (in Chinese)
- [12] 何晓冰,王明鑫,马文辉,等.浓香型烟叶产区烟草病虫害绿色防控技术集成:以平顶山烟区为例[J].贵州农业科学,2018,46(7):48-52.
- HE X B, WANG M X, MA W H, et al. Integration of green control technologies for tobacco pests and diseases in aromatic tobacco producing areas: A case study of Pingdingshan tobacco area[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2018, 46(7): 48-52. (in Chinese)
- [13] 孙攀,姚联斌.水稻病虫害绿色防控技术推广与效益初探[J].农业与技术,2013(10):150,180.
- SUN P, YAO L B. Preliminary study on promotion and benefits of green control technologies for rice pests and diseases[J]. Agricultural Science & Technology, 2013(10): 150, 180. (in Chinese)
- [14] 赵景,蔡万伦,沈栎阳,等.水稻害虫绿色防控技术研究的发展现状及展望[J].华中农业大学学报,2022,41(1):92-104.
- ZHAO J, CAI W L, SHEN L Y, et al. Research status and prospect of green control technologies for rice pests[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2022, 41(1): 92-104. (in Chinese)
- [15] 黄国勤,熊云明,钱海燕,等.稻田轮作系统的生态学分析[J].生态学报,2006(4):1159-1164.
- HUANG G Q, XIONG Y M, QIAN H Y, et al. Ecological analysis of paddy field rotation system[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006(4): 1159-1164. (in Chinese)
- [16] REBOUH N Y, KHUGAEV C V, UTKINA A O, et al. Contribution of eco-friendly agricultural practices in improving and stabilizing wheat crop yield: A review[J]. Agronomy, 2023, 13(9): 2400.
- [17] YU T, MAHE L, LI Y, et al. Benefits of crop rotation on climate resilience and its prospects in China[J]. Agronomy, 2022, 12(2): 436.
- [18] AKTER M S. Harnessing technology for environmental sustainability: utilizing AI to tackle global ecological challenge[J]. Journal of Artificial Intelligence General Science(JAIGS), 2024, 2(1): 61-70.
- [19] AHMAD A, LIEW A X W, VENTURINI F, et al. AI can empower agriculture for global food security: challenges and prospects in developing nations[J]. Frontiers in Artificial Intelligence, 2024, 7: 1328530.
- [20] SAHOO P K, SHARMA D. Economic impact of artificial intelligence in the field of agriculture[J]. International Journal of Horticulture and Food Science, 2023, 5(1): 29-34.
- [21] 卫佳静,郑少锋,张青松.数字技术使用、绿色认知与农户绿色防控技术采纳——以晋冀两省梨种植户为例[J].世界农业,2024(3):99-112.
- WEI J J, ZHENG S F, ZHANG Q S. Digital technology use, green cognition and farmers' adoption of green control technologies - a case study of pear growers in Shanxi and Hebei Provinces[J]. World Agriculture, 2024(3): 99-112. (in Chinese)
- [22] 杜三峡,罗小锋,黄炎忠,等.外出务工促进了农户采纳绿色防控技术吗?[J].中国人口·资源与环境,2021,31(10):167-176.
- DU S X, LUO X F, HUANG Y Z, et al. Does migrant work promote farmers' adoption of green control technologies?[J]. Chinese Journal of Population, Resources and Environment, 2021, 31(10): 167-176. (in Chinese)
- [23] 杨志海.老龄化、社会网络与农户绿色生产技术采纳行为——来自长江流域六省农户数据的验证[J].中国农村观察,2018(4):44-58.
- YANG Z H. Aging, social networks and farmers' adoption of green production technologies - verification from farmer data in six provinces of the Yangtze River Basin[J]. China Rural Survey, 2018(4): 44-58. (in Chinese)
- [24] 车砚名.AI技术在农业生产领域的应用及展望[J].农机质量与监督,2024(4):3-4.
- CHE Y M. Application and prospect of AI technology in agricultural production[J]. Agricultural Machinery Quality & Supervision, 2024(4): 3-4. (in Chinese)
- [25] 温忠麟,叶宝娟.中介效应分析:方法和模型发展[J].心理科学进展,2014,22(5):731-745.
- WEN Z L, YE B J. Mediation effect analysis: method and model development[J]. Advances in Psychological Science, 2014, 22(5): 731-745. (in Chinese)

(责任编辑:王 昱)