



曹静,徐家鹏,闫振宇,曹慧敏,王芳芳. 生猪养殖户种养结合模式采纳决策的驱动机制与收入效应分析[J]. 中国农业大学学报,2026,31(03):181-195.
CAO Jing, XU Jiapeng, YAN Zhenyu, CAO Huimin, WANG Fangfang. Research on the driving mechanism of adoption decision and income effect of crop-livestock integration for pig farmers[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2026, 31(03): 181-195.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2026.03.16

生猪养殖户种养结合模式采纳决策的驱动机制与收入效应分析

曹 静 徐家鹏 闫振宇* 曹慧敏 王芳芳

(西北农林科技大学 经济管理学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要 为揭示养殖户种养结合行为决策机理,提升其种养结合内生动力,本研究基于对陕西省316位生猪养殖户的实地调研,采用Triple-Hurdle模型实证检验了养殖户种养结合模式采纳决策的影响因素,并对种养结合模式的收入效应进行评价。结果表明:1)90.5%的受访养殖户愿意采纳种养结合模式,但采纳率仅为40.8%,平均种养结合程度为0.236。2)养殖户种养结合模式采纳决策受经济预期与环境规制的综合影响,经济预期正向影响养殖户的采纳决策,但不同类型环境规制与经济预期的交互作用对采纳决策的影响存在差异。3)种养结合模式对养殖户收入具有显著的正向影响。反事实情境下,对于实际采纳该模式的养殖户,若其未采纳,其收入将平均降低4.5%;对于实际未采纳该模式的养殖户,若采纳,收入可平均提升6.8%。本研究为破解养殖户种养结合模式采纳困境、优化农业绿色发展政策提供了理论依据。

关键词 养殖户; 种养结合; 经济预期; 环境规制; 收入效应

中图分类号 F323.8

文章编号 1007-4333(2026)03-0181-15

文献标志码 A

Research on the driving mechanism of adoption decision and income effect of crop-livestock integration for pig farmers

CAO Jing, XU Jiapeng, YAN Zhenyu*, CAO Huimin, WANG Fangfang

(College of Economics and Management, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China)

Abstract To investigate the decision-making mechanism of farmers' crop-livestock integration (CLI) behaviors and enhance their motivation of CLI, based on field surveys of 316 pig farmers in Shaanxi Province, this study employs a Triple-Hurdle model to empirically examine the factors influencing farmers' adoption decisions regarding CLI and evaluates the income effects of this model. The results show that: 1) 90.5% of farmers are willing to adopt CLI, but the actual adoption rate are 40.8%, with an average integration degree of 0.236. 2) Farmers' CLI adoption decisions are jointly influenced by economic expectations and environmental regulations. Economic expectations significantly promote adoption decisions, but the interaction effects between different types of environmental regulations and economic expectations on adoption decisions vary. 3) The CLI model has a significant effect on increasing the income of pig farmers. Counterfactual analysis shows that for farmers who actually adopted CLI, assuming they do not adopt it, their average income would decrease by 4.5%. Conversely, their average income would increase by 6.8%. This study provides theoretical underpinnings for overcoming the dilemma of farmer adoption of CLI and optimizing policies for agricultural green development.

Keywords farmers; crop-livestock integration; economic expectations; environmental regulation; income effect

收稿日期: 2025-09-10;接受日期: 2025-11-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(24XGL005)

第一作者: 曹静 (ORCID: 0009-0003-8936-8310), 博士研究生, E-mail: caojing@126.com

通讯作者: 闫振宇 (ORCID: 0000-0002-3154-9763), 副教授, 主要从事畜牧业经济与管理研究, E-mail: yanzhenyu@nwsuaf.edu.cn

种养结合是种植业和养殖业紧密衔接的生态农业模式,是将畜禽养殖产生的粪污作为种植业的肥料来源,而种植业为养殖业提供饲料,并消纳养殖业废弃物,使物质和能量在动植物之间进行转换的循环式农业。该农业生产模式不仅能产出多样化的农产品,增强农业生态系统的自我调节能力^[1]、减少化肥农药投入^[2];还可有效缓解农业现代化进程中的森林砍伐、面源污染及温室气体排放等环境压力,并促进生物多样性保护^[3]。种养结合对土壤的影响最为突出,可提高土壤活性碳氮,提高土壤有机碳、氮的矿化速率,增加农田系统固碳量^[4],改善土壤理化性质,从而提高农产品品质^[5]。

尽管种养结合模式优势显著,但在农业专业化、规模化发展的浪潮中,我国的农业生产体系却出现了普遍的种养分离趋势^[6]。根据农业农村部固定观察点数据显示,1986—2017年,我国农村种养结合的家庭比例从71%大幅降至12%,仅从事种植的家庭从26%增加到57%^[7]。全国超过70%的农业园区仅从事单一的种植业或养殖业。尽管部分园区同时涉及种植和养殖,但大多数难以实现两者的有效衔接和协调发展^[8]。种养分离增加了畜禽粪便还田的难度,造成粪肥资源浪费,同时,对生态环境产生巨大压力;在种植业中对化肥的过度依赖和滥用,破坏了土壤结构、抑制土壤微生物活性,削弱土壤的可持续生产能力^[9-11]。根据农业农村部数据,全国耕地质量平均等级仅为4.76等,中低等耕地面积超过68%^[12],中国26%的耕地土壤有机质含量不到1%,棕壤、褐土和黑钙土等类型的有机质水平仅为欧洲同类型土壤的一半^[13]。扭转种养分离趋势、有效推广种养结合模式,关键在于引导微观农业经营主体的采纳决策。

农户既是“经济人”也是“社会人”,其行为具有多重目标属性。根据舒尔茨的“理性小农”概念,经济动机是农户行为逻辑的起点,也是采纳种养结合模式的关键。Han等^[14]认为,经济预期促进了农户对种养结合模式的采纳行为;杨兴杰等^[15]则认为由于技术损失的存在,种养结合模式的成本节约效应不显著,较低的经济预期抑制了农户的种养结合采纳行为。Bell等^[16]发现经济预期对农户种养结合采纳决策影响也存在自身禀赋特征异质性。环境规制构成了农户行为决策的重要外部压力,有助于克服技术和财务障碍,为农户采纳决策提供激励^[17]。

环境规制具有多维度特征,不同类型的环境规制对农户种养结合采纳决策的影响不同^[18]。约束型环境规制通过纠正农户的逆向选择和道德风险,进而促进稻虾共作模式采纳^[19];引导型环境规制通过政府宣传和教育促进了农户采纳种养结合^[20];而激励型环境规制的长期利益与农户短期利益的失衡,表现出“相对制度无效”,倾向于阻碍农户的绿色生产行为^[21]。进一步地,学者们关注经济预期和环境规制的交互作用对农户绿色生产行为的影响,环境规制通过改变农户的经济认知来推动农户的绿色生产行为^[22];政府激励和农户的经济预期相辅相成,鼓励生态农业技术的采纳^[15]。关于种养结合模式的收入效应存在较大争议。一部分学者认为,种养结合农场经营的多样性会对其效率有正向影响^[23],不仅可以通过节约饲料成本提高农户收入,还具有缓解环境风险的效益^[16],是一种理想的经营模式^[24]。但也有学者认为,种养结合模式在经济上不具备显著优势,多元化经营程度的提升对农场的管理提出更高要求,如果管理水平无法相应提升,管理效率可能下降。此外,多元化经营增强资产专用性,降低资产使用的规模效应,导致家庭农场效率损失^[25]。种养结合模式使农户同时暴露于种植业和养殖业的双重技术风险与市场风险之下。种植业和养殖业任一环节出现问题(如疫病、气候灾害等),均会通过系统内部的物质与能量链接引发连锁反应,放大整体经营风险^[26]。

综上所述,现有研究分别从经济预期、环境规制的独立视角,对农户的种养结合采纳行为进行了探讨,为本文提供了参考,但仍有进一步拓展的空间。其一,现有研究大多采用将经济预期、环境规制一方作为核心解释变量、另一方作为控制变量的分析策略,识别了经济预期或环境规制对农户种养结合采纳行为的独立影响。部分研究关注经济预期与环境规制的互动对农户绿色生产行为的影响,但对于这种交互效应在农户的多阶段决策过程中如何动态演变,是一个尚未被深入揭示的“黑箱”。其二,现有研究多从种植户的种养结合采纳决策入手。然而,考虑到中国农民每家每户都有一亩三分地的现实、养殖的专业性以及处理畜禽粪污的政策与成本压力,决定养殖户采纳种养结合模式的可能性更高。其三,在实证测量方面,对种养结合程度的科学化量化仍存在挑战。本研究将依据其核心定

义,构建精确的量化指标。其四,关于种养结合模式收入效应的研究结论存在争议,揭示了其收入效应评价的复杂性与条件依赖性。此外,受某些无法观测变量的影响,养殖户“自选择”引起的样本选择偏差与内生性问题,可能导致收入效应的估计结果失真。

因此,本研究以生猪养殖户为研究对象,基于316份微观样本数据,从以下方面进行拓展和深化:一是研究视角上,本研究聚焦于生猪养殖户,旨在深化对养殖户种养结合采纳决策过程中内在动力与外部压力作用机制的理论理解,以及对采纳阶段异质性的探索;二是研究方法上,在科学量化种养结合程度基础上,利用Triple-Hurdle模型剖析养殖户在“意愿-行为-程度”3个阶段的采纳决策及其影响因素;进而,采用内生转换回归模型,精准评估种养结合模式的收入效应。本研究有助于阐明生猪养殖户的多阶段采纳决策,更能从因果识别层面准确评估决策的经济价值,为政府设计精准有效的环境规制政策、促进种养结合模式推广提供重要的实证依据和政策启示。

1 理论分析与研究假说

1.1 经济预期、环境规制对养殖户种养结合模式采纳决策的直接影响

根据计划行为理论,个体的行为意向受其行为态度、主观规范与知觉行为控制共同影响,并最终影响实际行为。在本研究情境下,基于“理性人”假说,养殖户对采纳种养结合所能带来的“经济收益”的积极预期,是构成其积极采纳决策的核心维度与关键基础^[27]。首先,种养结合模式通过种植-养殖系统闭环实现双向增值:作物残渣饲料化降低外购成本,粪肥还田替代化肥并提升地力。其次,经济预期影响养殖户对自身能力的判断,高收益预期激励养殖户投入更多资源(资金、劳动力)去克服采纳过程中的技术、管理障碍,增强其感知的行为控制力。相反,若预期收益模糊或偏低,即使模式本身有价值,养殖户也可能因感知风险高、回报不确定而缺乏动力。此外,当邻里因采纳种养结合获得可观经济效益时,会形成示范效应和社会压力,进一步强化个体的经济预期判断。据此,提出假说:

H1a:经济预期对养殖户的种养结合采纳决策有显著正向影响。

畜禽粪便污染是典型的负外部性问题,但由于环境的公共物品属性,其产权难以界定,仅依靠市场机制难以实现外部成本内部化。“自上而下”的环境规制作为政府干预的有效方法,能通过补贴、监管和处罚等方式,调节养殖户的经济预期,促使其生产决策趋向经济高效与环境友好。引导型环境规制通过技术培训、信息传递、示范型种养结合农场宣传等“软性”工具,作用于养殖户的认知结构与主观规范。通过普及种养结合模式的长期经济效益与生态价值,并提供可靠的技术指导,修正养殖户的传统认知偏差,内化其环境责任,激发其采纳意愿,使行为从“被动合规”转向“主动寻求”。激励型环境规制通过提供补贴、税收减免、信贷优惠等工具,改变采纳种养结合模式的相对价格与成本收益结构。例如,对建设粪污处理设施或购买还田设备的养殖户提供财政补贴,能够有效分摊其转型成本,提升该模式的财务吸引力。约束型环境规制通过设立畜禽养殖污染物排放标准、禁养区划定、化肥农药减量等规制,明确农业生产行为的底线,提高其违规成本,将环境污染的负外部性内化为养殖户必须承担的成本与经营风险。一旦违规,养殖户将面临罚款、限产乃至关停等实质性惩罚,促使其为规避惩罚而采纳种养结合模式。基于此,提出以下假说:

H1b:引导型环境规制对养殖户的种养结合采纳决策有显著正向影响。

H1c:激励型环境规制对养殖户的种养结合采纳决策有显著正向影响。

H1d:约束型环境规制对养殖户的种养结合采纳决策有显著正向影响。

1.2 环境规制类型的差异化调节效应

引导型环境规制通过对种养结合模式的技术培训与效益宣传双向修正认知偏差,既量化长期收益数据,将模糊预期转化为可决策参数,又降低技术应用门槛,从而优化养殖户对种养结合模式的经济性的自主评估^[28]。然而,政府主导的效益宣传与技术推广,在养殖户对种养结合模式易用性感知不高的条件下,占用了养殖户的时间与人力动员成本,占用过度则会引起养殖户的抵触心理,反而使得养殖户不愿采纳种养结合模式^[21]。激励型环境规制以补贴、税收减免等工具分担转型成本,补偿预期收益损失,短期内增强养殖户的种养结合模式采纳意愿。然而,根据动机挤出理论,外部经济激

励可能“挤出”个体的内在动机。当政府补贴介入时,养殖户的决策参照从种养结合模式长期盈利窄化为对短期政策补贴的追逐,导致政策退出后行为不可持续。约束型环境规制通过设立畜禽养殖污染物排放标准、划定禁养区、要求化肥农药减量投入等规制,不仅界定了养殖户行为底线,更向市场释放了关于种养结合模式未来发展方向与政策风险的可信承诺。根据信号理论,这种强信号能有效降低养殖户面临的政策不确定性,使其对长期投资形成稳定预期。当积极的经济预期与清晰的合规路径相结合时,养殖户的决策逻辑整合了内在的“经济预期”与外部的“合规安全”,二者协同,共同强化了其对长期生产转型的承诺。因此,约束型环境规制会增强经济预期对种养结合模式采纳决策的驱动作用。据此,提出以下假说:

H2a:引导型环境规制负向调节经济预期与种养结合模式采纳决策之间的关系。

H2b:激励型环境规制负向调节经济预期与种养结合模式采纳决策之间的关系。

H2c:约束型环境规制正向调节经济预期与种养结合模式采纳决策之间的关系。

1.3 种养结合模式的收入效应

种养结合模式通过整合作物与牲畜系统,能

够创造显著的经济效益。范围经济理论指出,该模式通过在作物与畜牧活动间共享设施、机械与管理资源,有效摊薄单位产品的固定成本^[29],其核心优势在于构建内部资源循环^[30]。此外,产品多元化有助于农场应对单一农产品市场波动,依靠多样化收入增强系统经济韧性^[31]。然而,该模式亦面临经济挑战。由专业化农场向种养结合模式转型通常需要高昂的初始投资与持续运营成本(如专用设备、围栏与畜舍),短期内可能严重挤压利润^[32]。系统内部亦存在资源权衡问题,例如将土地从高价值经济作物转向饲草生产,可能牺牲即时现金收入,产生可观的机会成本^[33]。此外,其内部循环的效益具有情境脆弱性,当遭遇不利外部市场条件如饲料价格飙升、畜产品价格低迷时,节本收益可能被完全抵消^[30]。研究表明,尽管种养结合模式在长期平均利润方面可与专业化生产相当,但其生产成本与年际利润波动通常更高,因而对风险厌恶型经营者吸引力较低^[34]。据此,提出假说:

H3:种养结合模式对生猪养殖户收入有显著影响,但是方向不确定。

根据上述分析,本研究构建的理论框架如图1所示。

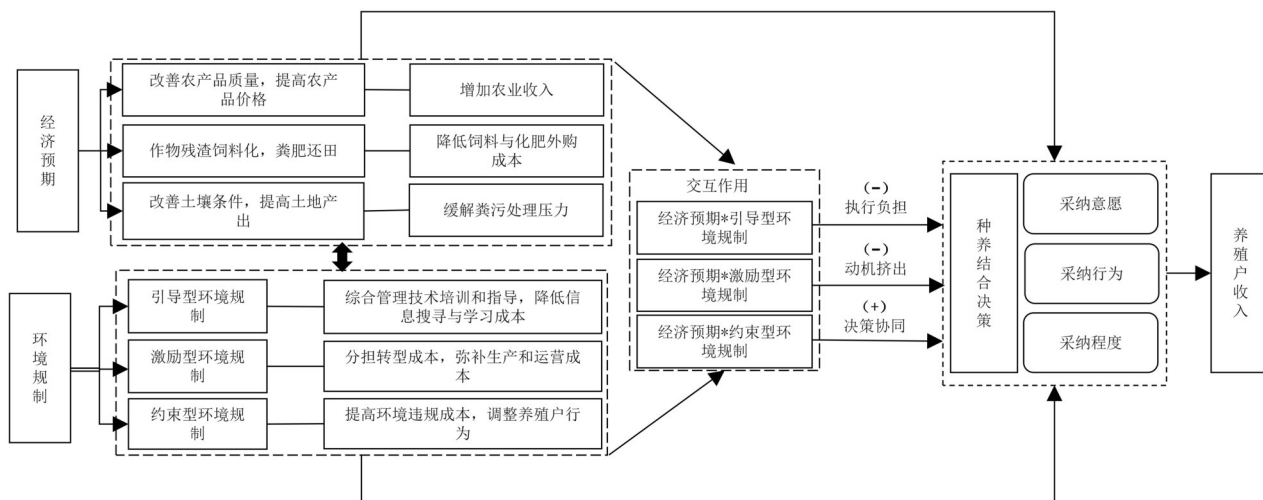


图1 生猪养殖户种养结合决策与收入效应理论分析框架

Fig. 1 Theoretical analysis framework of pig farmers' decision-making and income effect of crop-livestock integration

2 数据来源、模型构建与变量选取

2.1 数据来源

本研究数据来源于课题组2022年6—7月在

陕西省对生猪养殖户的实地调查。采取分层随机抽样的方式保证抽样的科学性和代表性。首先,根据生猪出栏量和种养结合比例等条件,最终选取了西乡县、澄城县、汉滨区、城固县和淳化县作

为样本县；再依据生猪养殖户数量，从各县排名前50%的乡（镇）中随机选取2~3个乡（镇），按照不同养殖规模从每个乡（镇）中随机抽取10~20个生猪养殖户主（养殖场负责人）作为问卷调查对象。在当地畜牧部门的协助下，主要采用“一对一”访谈的方式，对养殖场主或具有生产经营决策权的

养殖户进行调查，内容主要包括受访者家庭基本情况、养殖成本收益情况、养殖场种养结合情况、粪污资源化利用意愿及行为、生猪养殖高质量发展适应行为等。本次调查最终获得有效问卷316份，样本有效率为96.34%。样本分布情况见表1。

表1 调研样本区域分布情况

Table 1 The distribution of the survey sample areas

市 City	汉中市 Hanzhong City		安康市 Ankang Cty	渭南市 Weinan City	咸阳市 Xianyang City
样本县 Sample county	西乡县	城固县	汉滨区	澄城县	淳化县
数量/份 Quantity	56	64	74	62	72

2.2 模型构建

2.2.1 Triple-Hurdle 模型

关于农户绿色生产行为的决策过程，学者们大多聚焦于单一阶段的采纳意愿或采纳行为研究^[35]。部分研究者认为农户的采纳决策是一个连续过程，因此将采纳意愿与采纳行为结合开展研究^[36]。然而，农户的意愿与行为之间可能存在偏差：具有采纳意愿的个体未必最终实施该行为^[37]，这将导致对不同采纳阶段农户样本选择的偏误。针对样本选择性偏差问题，通常采用 Heckman 两阶段或 Double-Hurdle 模型进行拟合，但二者仅适用于两阶段决策分析。为深入探究农户行为的多阶段决策过程，学者们将 Double-Hurdle 模型拓展为 Triple-Hurdle 模型，并已在农户市场决策及草地社区治理等研究领域得到成功应用^[38-39]。基于此，本研究借鉴上述方法，建立 Triple-Hurdle 模型分析生猪养殖户对种养结合模式采纳决策过程。具体而言：

本研究首先调查了养殖户在第一阶段是否有种养结合意愿，以及在第二阶段是否有种养结合采纳行为，并构建以下模型：

$$Y_{1i}^* = \alpha X_{1i} + v_{1i} \quad (1)$$

$$Y_{1i} = \begin{cases} 1, Y_{1i}^* > 0 \\ 0, Y_{1i}^* \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$Y_{2i}^* = \beta X_{2i} + v_{2i} \quad (3)$$

$$Y_{2i} = \begin{cases} 1, Y_{2i}^* > 0 \\ 0, Y_{2i}^* \leq 0 \end{cases} \quad (4)$$

式(1)是选择方程， Y_{1i} 指养殖户种养结合模式

的采纳意愿，公式(3)是结果方程， Y_{2i} 代表养殖户种养结合的采纳行为，其样本选择机制为：当且仅当 $Y_{1i} = 1, Y_{2i}$ 才能被观测到。 Y_{1i}^* 和 Y_{2i}^* 代表对应的潜变量； i 代表第 i 个养殖户； X_{1i} 代表影响养殖户采纳意愿的一组自变量； X_{2i} 代表影响养殖户采纳行为的一组自变量； α 和 β 代表对应方程的待估系数； v_{1i} 和 v_{2i} 分别代表方程的残差，且 $\text{corr}(v_{1i}, v_{2i}) = \rho$ 。为保证式(1)的可识别性，式(1)中至少含有一个不在(3)式中出现的自变量 m_{1i} ，且 m_{1i} 理论上对 Y_{1i} 有直接影响，但对 Y_{2i} 没有直接影响， m_{1i} 被称为排除性限制变量。根据(1)~(4)式和样本选择机制，建立相应的无条件概率模型：

$$\text{Prob}[Y_{1i} = 1 | X_{1i}] = \varphi(\alpha X_{1i}) \quad (5)$$

$$\text{Prob}[Y_{2i} = 1, Y_{1i} = 1 | X_{1i}, X_{2i}] = \varphi(\alpha X_{1i}) \varphi(\beta X_{2i}) \quad (6)$$

式(5)代表养殖户愿意采纳种养结合模式的概率模型；式(6)为愿意采纳种养结合模式的养殖户采纳了种养结合模式的概率模型； $\varphi(\cdot)$ 代表标准正态分布的累计函数。用 Probit 模型估计式(6)，得到 m_{1i} 的估计系数 ζ_1 ，如果 m_{1i} 显著，则适合做排除性限制变量。基于式(5)的回归结果构造逆米尔斯比率 (Inverse mill's ratio, IMR)，将 IMR 作为控制变量与其他解释变量一起代入式(6)进行回归，得到的逆米尔斯比率系数 $\hat{\rho}$ 。进一步，养殖户种养结合程度可以构建如下模型：

$$Y_{3i}^* = \gamma X_{3i} + v_{3i} \quad (7)$$

$$Y_{3i} = \begin{cases} 1, Y_{2i}^* > 0 \\ 0, Y_{2i}^* \leq 0 \end{cases} \quad (8)$$

$$E(Y_{3i}|Y_{3i} > 0, X_{3i}) = \gamma X_{3i} + \delta \vartheta(\gamma X_{3i}/\delta) \quad (9)$$

(7)~(9)式中, Y_{3i} 为养殖户对种养结合模式的种养结合程度, Y_{3i}^* 对应潜变量, X_{3i} 为影响养殖户种

$$f(Y_{1i}, Y_{2i}, Y_{3i}|\alpha, \beta, \gamma, \delta) = [1 - \varphi(\alpha X_{1i})]^{I(Y_{1i}=0)} [\varphi(\alpha X_{1i}) \left\{ \varphi(\beta X_{2i}) \frac{\phi(\frac{Y_{3i} - \gamma X_{3i}}{\delta})}{\delta} \right\}^{I(Y_{2i}=1)}]^{I(Y_{1i}=1)} \quad (10)$$

式中: $I(\cdot)$ 为示性函数, 若括号里的表达式成立取值为1; 反之, 取值为0。

2.2.2 内生转换回归模型

上述 Triple-Hurdle 模型描述了养殖户对种养结合模式“意愿-行为-程度”的递进式决策过程。为评估决策行为的经济回报, 并纠正由不可观测因素导致的“自选择”偏误, 本研究进一步采用内生转换回归模型 (Endogenous switching regression model, ESRM) 来估计种养结合模式的净收入效应。养殖户 i 的收入效应模型如下:

$$y_i = \omega A_i + \delta x_i + \varepsilon_i \quad (11)$$

式中: y_i 为养殖户收入, A_i 是养殖户种养结合采纳决策虚拟变量 ($A_i = 1$ 为养殖户采纳种养结合模式; $A_i = 0$ 代表养殖户未采纳种养结合模式), x_i 是影响养殖户收入的自变量, ω 和 δ 是待估参数, ε_i 为随机误差项。内生转换模型分为2个阶段: 选择方程 (12) 和结果方程 (13) 和 (14):

$$A_i = \eta Z_i + \mu_i \quad (12)$$

$$y_{1i} = \theta_{1i} x_{1i} + \varepsilon_{1i}, A_i = 1 \quad (13)$$

$$y_{0i} = \theta_{0i} x_{0i} + \varepsilon_{0i}, A_i = 0 \quad (14)$$

式中: Z_i 为影响养殖户种养结合采纳行为的自变量, y_{1i}, y_{0i} 分别代表采纳养殖户与未采纳者的农业收入, θ_{1i} 和 θ_{0i} 是待估系数, ε_i 同上。若有不可观测变量同时影响方程 (14)~(16), 则残差项相关。在估计式 (14) 后, 计算逆米尔斯比率 (λ_i^*), 并将其引入式 (15) 和 (16), 有如下方程:

$$y_{1i} = \theta_{1i} x_{1i}^* + \rho_{\mu 1} \lambda_{1i}^* + \varepsilon_{1i}, A_i = 1 \quad (15)$$

$$y_{0i} = \theta_{0i} x_{0i}^* + \rho_{\mu 0} \lambda_{0i}^* + \varepsilon_{0i}, A_i = 0 \quad (16)$$

式中: λ_{1i}^* 和 λ_{0i}^* 是由不可观测因素造成的样本选择性偏差, $\tau_{\mu 0} (\tau_{\mu 0} = \rho_{\mu 0} / \rho_{\mu 0} \rho_{\mu})$, $\tau_{\mu 1} (\tau_{\mu 1} = \rho_{\mu 1} / \rho_{\mu 0} \rho_{\mu})$ 是选择方程与结果方程的相关系数。基于内生转换模型的估计结果可以用于反事实分析, 以评估种养结

养结合程度的一组自变量, γ 是待估系数, v_{3i} 为方程式残差。 $E(\cdot)$ 代表条件期望, $\vartheta(\cdot) = \phi(\cdot) / \varphi(\cdot)$, $\phi(\cdot)$ 表示服从标准正态分布的概率密度函数; δ 为截断正态分布的标准差。整合以上方程, 对每个农户 i , 可建立 Triple-Hurdle 模型的似然函数:

合模式的收入效应。

在事实情境下, 采纳种养结合模式的养殖户预期收入如下:

$$E[y_{1i}|A_i = 1] = \theta_{1i} x_{1i}^* + \rho_{\mu 1} \lambda_{1i} \quad (17)$$

未采纳种养结合模式的养殖户预期收入如下:

$$E[y_{0i}|A_i = 0] = \theta_{0i} x_{0i}^* + \rho_{\mu 0} \lambda_{0i} \quad (18)$$

在反事实情境下, 实际采纳种养结合模式的养殖户假设其未采纳种养结合模式预期收入如下:

$$E[y_{0i}|A_i = 1] = \theta_{0i} x_{1i}^* + \rho_{\mu 0} \lambda_{1i} \quad (19)$$

实际未采纳种养结合模式的养殖户假设其采纳种养结合模式预期收入如下:

$$E[y_{1i}|A_i = 0] = \theta_{1i} x_{0i}^* + \rho_{\mu 1} \lambda_{0i} \quad (20)$$

因此, 处理组的平均处理效应为:

$$ATT = E[y_{1i}|A_i = 1] - E[y_{0i}|A_i = 1] = (\theta_{1i} - \theta_{0i}) x_{1i}^* + (\rho_{\mu 1} - \rho_{\mu 0}) \lambda_{1i} \quad (21)$$

控制组的平均处理效应为:

$$ATU = E[y_{1i}|A_i = 0] - E[y_{0i}|A_i = 0] = (\theta_{1i} - \theta_{0i}) x_{0i}^* + (\rho_{\mu 1} - \rho_{\mu 0}) \lambda_{0i} \quad (22)$$

2.3 变量选取

被解释变量: 本文包含3个因变量, 2个虚拟变量 (采纳意愿和采纳行为) 和1个连续变量 (种养结合程度) (图2)。在问卷中, 通过询问养殖户“您是否愿意采用种养结合模式? 是=1; 否=0”来定义采纳意愿。通过询问“您是否同时利用畜禽粪便作肥料并实现饲料自给? 是=1; 否=0”来定义采纳行为。种养结合程度采用等权重方法计算, 该方法强调种植业与养殖业的同等地位, 通过询问“您饲料自给的比例是多少?”和“您利用畜禽粪便作为肥料的比例是多少?”来衡量。

核心解释变量包括经济预期和环境规制。经济预期是养殖户采纳种养结合模式的内部驱动力, 具有主观差异性, 养殖户根据该模式的经济可行性和潜在回报决定是否采纳, 参考 Trujillo-Barrera

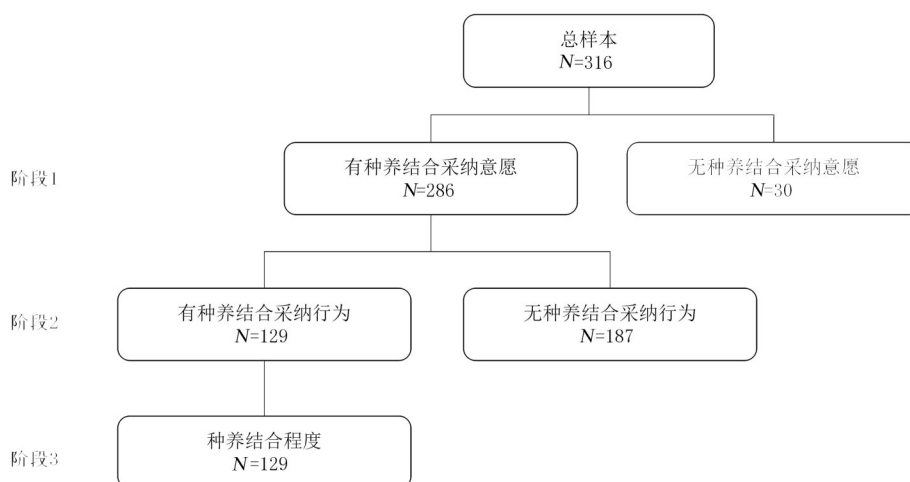


图2 Triple-Hurdle 模型中采纳决策的样本分布

Fig. 2 Sample distribution of the Triple-Hurdle model for adoption decision-making

等^[40]的研究,本研究使用表2中题项EE1-EE4的平均值来定义经济预期。由于养殖户的资源禀赋(如资金状况、知识水平、养殖经验、社会网络等)不同,其对环境规制的响应也有所不同。借鉴Lu等^[41]的研究,从农户视角探讨环境规制对农户种养结合模式采纳决策的影响,以更好地阐明环境规制在不同农户采纳决策中的差异化作用。具体定义和赋值见表3。

排除性限制变量:根据计划行为理论,风险偏好属于感知行为控制范畴,直接影响种养结合模式采纳意愿,但不直接影响采纳决策。为了确保Triple-Hurdle模型的可识别性,本研究将风险偏好作为的排除性限制变量。控制变量选自户主特征(性别、年龄、教育程度和风险偏好)、家庭特征(劳动力、闲暇时间、社会网络和家庭财务状况)、生产

和经营特征(养殖经验、养猪模式、规模、是否为合作社成员和耕地面积)。表3为变量的定义和赋值。

3 结果与分析

3.1 经济预期、环境规制对养殖户种养结合采纳决策的影响

本研究通过构建Triple-Hurdle模型来分析经济预期与环境规制对养殖户种养结合模式采纳决策的影响。首先建立不含交互项的基准模型(表4),随后引入经济预期与三类环境规制的交互项构建表4的模型2,以深入探讨其中的作用机制。在正式回归分析前,对变量进行了多重共线性检验。结果显示,所有变量的方差膨胀因子(VIF)均低于10临界值(最大值为1.47,平均值为1.21),表明变量间不存在多重共线性问题。此外,风险偏好

表2 经济预期的定义与赋值

Table 2 Definitions and assignments of economic expectations

题项 Item	定义 Definition	变量赋值 Variable assignment	均值 Mean	标准差 SD
EE1	种养结合模式改善了农产品的质量,提高了农产品的价格		3.035	1.239
EE2	种养结合模式降低了化肥与饲料外购成本	完全不赞同=1;不太赞同=2;一般=3;比较赞同=4;完全赞同=5	2.277	0.929
EE3	种养结合模式增加土壤肥力,提高农业产出		1.821	0.744
EE4	种养结合模式增加农户收入		1.973	0.805

表3 变量定义与描述性统计
Table 3 Variable definitions and descriptive statistics

变量 Variable	定义与赋值 Definition and assignment	均值 Mean	标准差 SD
采纳意愿 Adoption willingness	您愿意采纳种养结合模式吗？是=1；否=0	0.905	0.294
采纳行为 Adoption behavior	您是否同时利用畜禽粪便作为肥料并实现饲料自给？是=1；否=0	0.408	0.492
种养结合程度 Crop-livestock integration' integration degree	种养结合程度=0.5*(畜禽粪使用作肥料比例)+0.5*(饲料自给比例)	0.236	0.316
经济预期(EE) Economic expectations	EE1-EE4的均值	2.277	0.916
引导型环境规制(GER) Guiding environmental regulation	您认为有关种养结合模式的宣传频率如何？从未=1；不太频繁=2；一般=3；比较频繁=4；非常频繁=5	3.132	0.881
激励型环境规制(IER) Incentive environmental regulation	您接受到的政府有关种养结合模式补贴是多少?(元)	315.19	88.07
约束型环境规制(CER) Constraining environmental regulation	当地政府要求对畜禽污染排放与农作物残茬等进行绿色处理；完全不赞同=1；不太赞同=2；一般=3；比较赞同=4；完全赞同=5	3.29	1.317
性别 Gender	户主性别：女=0；男=1	0.899	0.302
年龄 Age	户主年龄	50.848	10.195
受教育程度 Education	户主受教育年限	9.231	3.078
风险偏好类型 Risk preference	风险厌恶=1；风险中立=2；风险偏好=3	2.158	0.898
养殖经验 Breeding experience	从事生猪养殖年限	8.526	12.819
家庭经济状况 Family's financial situation	对家庭经济状况满意度；非常低=1；相对较低=2；一般=3；相对较高=4；非常高=5	3.304	1.626
闲暇时间 Leisure time	您是否有充足的闲暇时间？非常少=1；相对较少=2；一般=3；相对较多=4；非常多=5	3.358	1.446
劳动力数量 Laborers	从事农业生产的劳动力数量	3.18	1.298
社会网络 Social network	和当地村民的互动频次；从未=1；不太频繁=2；一般=3；经常=4；非常频繁=5	3.025	1.267
饲养模式 Pig-raising patterns	母猪场=1；仔猪场=2；育肥场=3	1.82	0.93
合作社成员 Cooperative membership	是=1；否=0	0.424	0.495
养殖规模 Production scale	2021年年末生猪出栏量,头	573.149	1426.4
耕地面积 Arable land	hm ²	0.411	0.554
农业收入 Agricultural income	种植业与养殖业年收入(取对数)	4.087	1.715

在1%的水平上显著为正,适合作为排除性限制变量。为检验样本选择偏误的可能性,在Probit回归中计算了逆米尔斯比率(IMR),并将其作为控制变量纳入方程(6)的回归分析。结果表明IMR的回归系数为0.587($P=0.131$)^①,未拒绝原假设,说明不存在样本选择性偏误。同时,Probit回归的LR卡方检验和Double Hurdle模型的Wald卡方检验均在1%的水平上显著,证明模型的整体拟合效果良好。

由表4模型1可知,经济预期显著提高了养殖户的“种养结合采纳意愿”和“种养结合程度”,但对“种养结合采纳行为”的影响不显著。估计系数表明,养殖户的经济预期水平每提升1个单位,其采纳意愿的相对概率增加约0.587个单位,种养结合的程度将深化约0.593个单位。结果表明,良好的经济前景判断是养殖户考虑并深度实践该模式的原因。然而,从“意愿”到“行为”的断层说明,存在诸如初始投资门槛、技

①在检验是否存在样本选择偏误问题时,IMR不显著,因此,这里仅说明IMR的检验结果,未报告整体回归结果。

术复杂性或市场不确定性等现实约束。

表 4 模型 1 显示,引导型环境规制显著提升了养殖户的“种养结合采纳意愿”和“种养结合程度”。通过组织经验交流会、示范农场观摩,有效传达了种养结合模式的潜在利益,缓解了养殖户的转型顾虑,坚定了其采纳信心;其次,对种养结合模式的全方位的管理技术培训降低了养殖户的信息搜寻成本和技术采纳门槛。表 4 模型 2 中,引导型环境规制负向调节经济预期对养殖户采纳意愿的积极影响,可能是由于当养殖户对种养结合模式的易用性存疑时,这些新增成本会显著抬高其感知的综合决策成本,从而降低其采纳意愿。

表 4 模型 1 显示,激励型环境规制显著促进了“种养结合采纳行为”与“种养结合程度”。相较于专业化的种植与养殖,种养结合模式需要额外的生产要素投入,使养殖户处于成本劣势,而政府补贴补偿了这部分新增成本,激励了养殖户的采纳行为并提高结合程度。然而,表 4 模型 2 中经济预期与激励型环境规制的交互项对“种养结合程度”产生了消极影响。这表明,激励型环境规制可能对养殖户基于经济预期的内在动机产生“挤出效应”,使其采纳行为从关注长期价值转向追求短期补贴。

在表 4 模型 1 中,约束型规制提升养殖户的“种养结合程度”。当政府发布规制以限制作物系统中

表 4 经济预期、环境规制对种养结合采纳决策影响

Table 4 The impact of economic expectations and environmental regulations on crop-livestock integration adoption decisions						
变量 Variable	模型 1 Model 1			模型 2 Model 2		
	采纳意愿 Adoption willingness	采纳行为 Adoption behavior	种养结合程度 Crop-livestock integration degree	采纳意愿 Adoption willingness	采纳行为 Adoption behavior	种养结合程度 Crop-livestock integration degree
EE	0.587** (0.227)	0.236 (0.150)	0.593*** (0.057)	0.940*** (0.282)	0.285 (0.245)	0.596*** (0.100)
IER	-0.002 (0.002)	0.010*** (0.002)	0.004*** (0.001)	-0.003 (0.003)	0.011*** (0.002)	0.007*** (0.001)
GER	0.092 (0.147)	1.151*** (0.172)	0.225** (0.085)	-0.341 (0.208)	1.145*** (0.189)	0.156 (0.086)
CER	0.168 (0.125)	0.027 (0.106)	0.238*** (0.048)	0.297* (0.151)	0.015 (0.110)	0.116* (0.049)
EE*IER	— —	— —	— —	0.000 (0.004)	0.002 (0.003)	-0.002** (0.001)
EE*GER	— —	— —	— —	-0.807*** (0.226)	0.010 (0.259)	0.086 (0.096)
EE*CER	— —	— —	— —	0.321 (0.187)	0.398*** (0.119)	0.201*** (0.041)
控制变量 Control variable	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
常数项 Constant	-7.776*** (2.092)	-13.762*** (1.757)	-2.181** (0.779)	-7.290*** (2.180)	-14.265* (1.952)	-2.507** (0.865)
Log likelihood	-46.582	-185.053		-38.517318	-165.275	
Wald chi2	—	485.216***	—		497.031***	
LR chi2	105.17***		—	121.30***		—

注:*,**和***分别表示在10%、5%和1%的水平上显著。括号内为系数的标准误。下同。
Note: *, **, and *** indicate significance at the 10%, 5% and 1% levels, respectively. Standard errors are in parentheses. The same below.

农药和化肥的过量使用或制定严格的粪便排放标准以保护环境时,养殖户面临处罚带来的损失和风险成本,激励其绿色生产实践。表4模型2中其与经济预期的交互项对“种养结合采纳行为”和“种养结合程度”均有显著的正向影响,这表明规制措施与经济预期之间存在显著的协同效应,揭示了惩罚机制构成的“推力”与预期收益产生的“拉力”共同作用,协同强化了养殖户的采纳实践。

控制变量方面,采纳意愿阶段,饲养模式、闲暇时间、社会网络、劳动力数量和养殖经验促进了养殖户的种养结合采纳意愿,但与养殖户的家庭经济状况呈负相关。相较于母猪场与仔猪场,育肥猪场因更接近消费市场,对产品声誉与市场预期更为敏感,因而表现出更强的采纳意愿。考虑到种养结合模式是劳动密集型,充足的闲暇时间和劳动力促进了养殖户的采纳意愿。丰富的养殖经验有助于降低其对种养结合模式风险的评估,从而提升采纳意愿。发达的社会网络能有效降低信息搜寻与技术获取成本,对采纳意愿有积极影响。家庭经济状况与采纳意愿呈负相关,表

明家庭经济状况较好的养殖户对农业收入的依赖度较低,其转型动机也相应减弱。

采纳行为阶段,合作社成员身份、饲养模式和社会网络对养殖户种养结合采纳行为有积极影响。合作社为成员提供技术指导,便利的信息分享与沟通渠道降低了采纳种养结合模式的门槛。种养结合模式降低生猪养殖的饲料外购成本和潜在污染输入,使得育肥场养殖户倾向于采纳种养结合模式。社会网络通过降低与种养结合模式相关的技术风险促进了养殖户采纳行为。在结合程度阶段,养殖规模 and 合作社成员身份消极影响种养结合程度。随着养殖规模的扩大,提高种养结合程度的成本也随之增加,在推广种养结合模式时寻求适度规模至关重要。合作社成员身份对种养结合程度的消极影响可能归因于非洲猪瘟疫情后,合作社要求成员减少自制饲料而选择购买浓缩饲料以减少疫病传播,从而降低了种养结合程度^[42]。

3.2 稳健性检验

表5中模型替换(模型3)和添加控制变量

表5 稳健性检验
Table 5 Robustness tests

变量 Variable	模型 3 Model 3			模型 4 Model 4		
	采纳意愿 Adoption willingness	采纳行为 Adoption behavior	种养结合程度 Crop-livestock integration degree	采纳意愿 Adoption willingness	采纳行为 Adoption behavior	种养结合程度 Crop-livestock integration degree
EE	1.165* (0.453)	0.245 (0.152)	0.592*** (0.057)	0.586* (0.228)	0.260 (0.153)	0.550*** (0.056)
IER	-0.003 (0.004)	0.010*** (0.002)	0.004*** (0.001)	-0.002 (0.002)	0.010*** (0.002)	0.004*** (0.001)
GER	0.140 (0.266)	1.145*** (0.173)	0.224** (0.085)	0.091 (0.147)	1.146*** (0.173)	0.216** (0.081)
CER	0.286 (0.231)	0.024 (0.106)	0.238*** (0.048)	0.169 (0.125)	0.024 (0.107)	0.254*** (0.046)
耕地面积 Arable land	—	—	—	0.001 (0.021)	-0.014 (0.015)	0.020** (0.006)
控制变量 Control variable	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
常数项 Constant	-14.295*** (3.886)	-13.889*** (1.784)	-2.076* (0.831)	-7.779*** (2.093)	-13.986*** (1.814)	-2.108** (0.797)
Log likelihood	-46.521		-184.915	-46.579		-179.487
Wald chi2	—		485.576***	—		531.072***
LR chi2	105.29		—	105.17***		—

(模型 4)用于检验表 4 模型 1 中基准回归结果的稳健性。由于采纳意愿和采纳行为都是二值变量, Logit 和 Probit 模型较为适合。种养结合程度是 0 到 1 之间的连续变量,最广泛使用的是 Tobit 模型。据此,本文分别用 Logit、Probit 和 Tobit 模型替换 Triple-Hurdle 模型。其次,养殖户的种养结合采纳决策可能因其耕地面积大小而异,本研究添加了“耕地面积”作为控制变量。变量的显著性和方向与表 4 中模型 1 回归结果基本一致,验证了研究结

果的稳健性。

3.3 异质性分析

闲暇时间是影响种养结合采纳决策的重要因素。表 6 中根据养殖户闲暇时间均值将样本分为闲暇时间充足组和闲暇时间不足组,分析经济预期、环境规制对养殖户种养结合采纳决策的闲暇时间异质性。通过对比表 6 中模型 5 和模型 6 的回归结果,发现经济预期和环境规制对闲暇时间充足组养殖户的采纳决策具有更显著的影响。

表 6 闲暇时间的异质性分析
Table 6 Heterogeneity analysis of leisure time

变量 Variable	模型 5(闲暇时间充足组) Model 5 (Sufficient leisure time)			模型 6(闲暇时间不足组) Model 6 (Insufficient leisure time)		
	采纳意愿 Adoption willingness	采纳行为 Adoption behavior	种养结合程度 Crop-livestock integration degree	采纳意愿 Adoption willingness	采纳行为 Adoption behavior	种养结合程度 Crop-livestock integration degree
EE	0.262 (0.367)	0.033 (0.306)	0.598*** (0.068)	0.783 (0.494)	0.435 (0.295)	0.695*** (0.110)
IER	0 (0.004)	0.011** (0.005)	0.005*** (0.001)	-0.004 (0.005)	0.016*** (0.004)	0.004 (0.003)
GER	0.484 (0.284)	2.311*** (0.568)	0.240** (0.109)	0.094 (0.285)	0.955*** (0.256)	0.233 (0.134)
CER	0.365 (0.217)	-0.354 (0.259)	0.258*** (0.063)	0.12 (0.259)	0.263 (0.195)	0.203** (0.076)
控制变量 Control variable	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
常数项 Constant	-11.115** (3.916)	20.118*** (4.907)	-4.307*** (0.966)	-7.580 (6.932)	12.659*** (3.473)	-1.265 (1.426)
Logl ikelihood	-19.836		-69.601	-15.321		-89.273
Wald chi2	—		370.085***	—		226.336***
LRchi2	70.15***		—	55.67***		—

3.4 种养结合模式的收入效应

表 7 展示了养殖户对种养结合模式采纳决策模型与收入效应模型的联立估计结果。内生转换回归模型的似然比卡方统计量为 12.37,对应的 *P* 值为 0.001,这表明在 1% 的显著性水平上,可以拒绝决策方程和收入方程相互独立的原假设,即养殖户对种养结合模式的采纳决策并非随机过程,存在选择性偏误和内生性,内生转换回归模型是合理的,可以纠正选择性偏误和内生性问题。

基于 ESRM,反事实估计下种养结合采纳行为对养殖户收入影响的平均处理效应结果如表 8 所

示。无论是种养结合模式的采纳养殖户还是未采纳养殖户,均面临 2 个选择:采纳或不采纳。表 8 显示,采纳养殖户与未采纳养殖户的平均处理效应(ATT)和(ATU)分别为 0.067 和 0.087,差异性 *t* 检验均在 1% 的水平上显著,说明采纳种养结合模式能显著增加养殖户收入。从变化率来看,在反事实情境下,对于实际采纳种养结合模式的养殖户,假设其未采纳种养结合模式,收入水平将下降 4.5%;对于实际未采纳种养结合模式的养殖户,假设其采纳种养结合模式,收入水平将提高 6.8%。由此进一步说明采纳种养结合模式可显著提升农

表7 ESRM模型估计结果
Table 7 ESRM model estimation results

变量 Variable	模型7 Model 7	模型8 Model 8	
	决策方程 Decision model	收入效应方程 Income effect model	
		采纳养殖户 Adopters	未采纳养殖户 Non-adopters
EE	0.277** (0.138)	—	—
IER	0.009*** (0.002)	—	—
GER	0.951*** (0.165)	—	—
CER	0.067 (0.101)	—	—
控制变量 Control variable	已控制	已控制	已控制
常数项 Constant	−12.349*** (1.683)	1.175*** (0.339)	1.382*** (0.295)
/lns1	—	−1.267*** (0.06)	—
/r1	—	0.731** (0.234)	—
/lns0	—	—	−0.976*** (0.056)
/r0	—	—	0.603* (0.324)
Sigma0	0.377*** (0.021)	—	—
Sigma1	0.282*** (0.019)	—	—
Rho0	0.539** (0.229)	—	—
Rho1	0.624*** (0.143)	—	—
LR	12.37***	—	—
Log likelihood	−156.579***	—	—

表8 种养结合采纳决策对预期收入影响
Table 8 Impact of crop-livestock integration adoption decision on expected income

分组 Group	N	采纳决策 Adoption decision		处理效应 Treatment effects		变化率/% Rate of change
		采纳 Adoption	未采纳 Non-adoption	ATT	ATU	
采纳养殖户 Adopters	129	(i)1.498	(ii)1.431	0.067***	—	4.5
未采纳养殖户 Non-adopters	187	(iii)1.374	(iv)1.287	—	0.087***	6.8

业收入,即为正向收入效应,且对于未采纳养殖户在采纳后的收入效应更明显。

4 结论与建议

本研究基于陕西省316户生猪养殖户的调查数据,综合运用Triple-Hurdle模型与内生转换回归模型,系统考察了经济预期、环境规制及其交互项对养殖户种养结合采纳决策的影响,并评估了种养结合模式的收入效应。研究结论如下:1)90.5%的养殖户愿意采纳种养结合,但其采纳率仅为40.8%,种养结合模式平均采纳程度仅为0.236。2)经济预期显著促进养殖户的采纳意愿和采纳程度,而激励型与引导型环境规制会产生“挤出效应”,削弱经济预期对种养结合采纳决策的积极作用;约束型规制强化了经济预期对养殖户种养结合模式的采纳程度。3)种养结合采纳各阶段的影响因素具有异质性,采纳意愿受闲暇与否、养殖场类型、家庭收入状况、养殖经验及社会网络影响;采纳行为与合作社成员身份、养殖经验和强社会网络正相关;采纳程度则与中小规模及非合作社成员显著关联。4)内生转换回归模型的反事实估计证实,种养结合模式对养殖户收入存在显著的提升作用。据此,本研究提出3点政策建议:

1)稳定养殖户收益预期,激发内生动力。完善绿色产品认证与溢价机制,探索建立区域性粪肥/秸秆交易平台,将种养结合的生态产品(有机肥、沼气等)直接转化为经济收益。

2)优化环境规制政策组合,促进种养结合模式采纳。协同运用约束与激励型政策,强化其对种养结合模式的正向引导。推动约束标准与技术支持、市场激励措施配套落地,同时优化补贴方式,更多采用后补助、以奖代补等形式,提升政策效率。

3)聚焦采纳阶段差异,实施精准推广。需因“段”施策,通过社会化服务降低劳动门槛以激发采纳意愿,依托合作社强化技术推广与扩散促进采纳行为,为中小规模户设计种养适度模式以提升技术与生产条件的匹配度。

参考文献 References

- [1] Salton J C, Mercante F M, Tomazi M, Zanatta J A, Concenço G, Silva W M, Retore M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2014, 190: 70-79

- [2] 林孝丽, 周应恒. 稻田种养结合循环农业模式生态环境效应实证分析: 以南方稻区稻-鱼模式为例[J]. *中国人口·资源与环境*, 2012, 22(3): 37-42
Lin X L, Zhou Y H. An analysis on the eco-environment effect of circular agriculture mode of planting-culture in the paddyfield [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2012, 22(3): 37-42 (in Chinese)
- [3] Paul B K, Epper C A, Tschopp D J, Long C T M, Tungani V, Burra D, Hok L, Phengsavan P, Douxchamps S. Crop-livestock integration provides opportunities to mitigate environmental trade-offs in transitioning smallholder agricultural systems of the Greater Mekong Subregion [J]. *Agricultural Systems*, 2022, 195: 103285
- [4] 周玲红, 魏甲彬, 唐先亮, 成小琳, 肖志祥, 徐华勤, 唐剑武. 冬季种养结合对稻田土壤微生物量及有效碳氮库的影响[J]. *草业学报*, 2016, 25(11): 103-114
Zhou L H, Wei J B, Tang X L, Cheng X L, Xiao Z X, Xu H Q, Tang J W. Effects of winter green manure crops with and without chicken rearing on microbial biomass and effective carbon and nitrogen pools in a double-crop rice paddy soil [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016, 25(11): 103-114 (in Chinese)
- [5] 黄显雷, 赵俊伟, 方琳娜, 张洋, 尹昌斌. 基于种养结合的畜禽养殖环境承载力研究: 以舒兰市为例[J]. *中国农业资源与区划*, 2020, 41(4): 34-42
Huang X L, Zhao J W, Fang L N, Zhang Y, Yin C B. Study on environmental carrying capacity of livestock and poultry based on the combination of planting and breeding in Shulan city [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2020, 41(4): 34-42 (in Chinese)
- [6] 金书秦, 张玖弘, 庞洁, 胡钰. 中国农业种养关系演进的历史脉络、理论逻辑和实践趋向[J]. *中国农村观察*, 2025(5): 23-41
Jin S Q, Zhang J H, Pang J, Hu Y. The historical context, theoretical logic and practical trend of the relationship between livestock and crop production in China [J]. *China Rural Survey*, 2025(5): 23-41 (in Chinese)
- [7] Jin S Q, Zhang B, Wu B, Han D M, Hu Y, Ren C C, Zhang C Z, Wei X, Wu Y, Mol A P J, Reis S, Gu B J, Chen J. Decoupling livestock and crop production at the household level in China [J]. *Nature Sustainability*, 2021, 4(1): 48-55
- [8] 农业农村部. 种养结合循环农业示范工程建设规划(2017—2020年)[R]. 中华人民共和国农业部公报, 2017(9): 42-55
Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Construction Planning for Demonstration Projects of Crop-livestock Integrated Circular Agriculture (2017-2020) [R]. Beijing: Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, 2017 (in Chinese)
- [9] 陆钰凤. 中国化肥减量政策变迁及其内在逻辑[J]. *农业经济问题*, 2022, 43(9): 74-85
Lu Y F. The policy change of chemical fertilizer reduction and its internal logic in China [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2022, 43(9): 74-85 (in Chinese)
- [10] Tian L, Wang X J, Yan Z Q, Liu E K. Effects of soil mechanical stability aggregates on maize grain amylose content under equivalent application of straw nitrogen instead of chemical fertilizers [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2025, 311: 143726
- [11] Zhang F L, Wang N, Zhao C Y, Yang L Z, Zhao X M, Gao H J, Zhang F G, Wang H B, Huang N. Enhancing black soil fertility and microbial community structure via microbial agents to reduce chemical fertilizer dependency: A strategy to boost maize yield [J]. *Agronomy*, 2025, 15(5): 1029
- [12] 农业农村部. 2019年全国耕地质量等级情况公报[EB/OL]. [2020-05-06]. http://www.moa.gov.cn/nybg/b/2020/202004/202005/t20200506_6343095.htm
Ministry of Agriculture and Rural Affairs. 2019 National Bulletin on Cultivated Land Quality Grade [EB/OL]. [2025-05-06]. http://www.moa.gov.cn/nybg/b/2020/202004/202005/t20200506_6343095.htm

- gov.cn/nybgb/2020/202004/202005/t20200506_6343095.htm (in Chinese)
- [13] 徐明岗, 卢昌艾, 张文菊, 李玲, 段英华. 我国耕地质量状况与提升对策[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(7): 8-14
- Xu M G, Lu C A, Zhang W J, Li L, Duan Y H. Situation of the quality of arable land in China and improvement strategy [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2016, 37(7): 8-14 (in Chinese)
- [14] Han Z, Han C, Shi Z Z, Li J K, Luo E G. Rebuilding the crop-livestock integration system in China: Based on the perspective of circular economy [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 393: 136347
- [15] 杨兴杰, 齐振宏. 预期收益与技术补贴对农户采纳生态农业技术的影响: 以稻虾共作技术为例[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2022(5): 89-100
- Yang X J, Qi Z H. The impact of expected return and technology subsidy on farmers' adoption of agroecological technology: Taking rice-crayfish co-culture technology as an example [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2022(5): 89-100 (in Chinese)
- [16] Bell L W, Moore A D. Integrated crop - livestock systems in Australian agriculture: Trends, drivers and implications [J]. *Agricultural Systems*, 2012, 111: 1-12
- [17] Guo Z D, Chen X Q, Zhang Y W. Impact of environmental regulation perception on farmers' agricultural green production technology adoption: A new perspective of social capital [J]. *Technology in Society*, 2022, 71: 102085
- [18] 石志恒, 于世捷. 环境规制情境下亲环境意识对农户生活垃圾分类行为的影响[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(5): 208-220
- Shi Z H, Yu S J. Impact of pro-environmental awareness on farmers household waste classification behavior in the context of environmental regulation [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(5): 208-220 (in Chinese)
- [19] 杨兴杰, 齐振宏, 杨彩艳, 刘哲. 市场与政府一定能促进农户采纳生态农业技术吗: 以农户采纳稻虾共作技术为例[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(4): 1016-1026
- Yang X J, Qi Z H, Yang C Y, Liu Z. Can the market and government promote the adoption of eco-agricultural technologies by farmers: Taking farmers to adopt rice and shrimp co-culture technology as an example [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2021, 30(4): 1016-1026 (in Chinese)
- [20] 杨兴杰, 齐振宏, 陈雪婷, 杨彩艳. 政府培训、技术认知与农户生态农业技术采纳行为: 以稻虾共养技术为例[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(5): 198-208
- Yang X J, Qi Z H, Chen X T, Yang C Y. Government training, technology cognition and farmer eco-agricultural technology adoption behavior: Taking rice and shrimp co-culture technology as an example [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and regional Planning*, 2021, 42(5): 198-208 (in Chinese)
- [21] 石志恒, 张衡. 社会规范、环境规制与农户施肥行为选择研究[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(11): 51-61
- Shi Z H, Zhang H. Research on social norms, environmental, regulations and farmers' fertilization behavior Selection [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 42(11): 51-61 (in Chinese)
- [22] Yang C Y J, Liang X M, Xue Y J, Zhang Y Y, Xue Y J. Can government regulation weak the gap between green production intention and behavior? Based on the perspective of farmers' perceptions [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2024, 434: 139743
- [23] 曹文杰. 基于DEA-Tobit模型的山东省家庭农场经营效率及影响因素分析[J]. 山东农业科学, 2014, 46(12): 133-137
- Cao W J. Analysis on operational efficiency and influencing factors of family farms in Shandong Province based on DEA-Tobit model [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2014, 46(12): 133-137 (in Chinese)
- [24] 钱忠好, 李友芝. 家庭农场的效率及其决定: 基于上海松江943户家庭农场2017年数据的实证研究[J]. 管理世界, 2020, 36(4): 168-181, 219
- Qian Z H, Li Y Y. The values and influence factors of family farms efficiency: An empirical study based on 2017 data from 943 family farms in Songjiang district, Shanghai [J]. *Management World*, 2020, 36(4): 168-181, 219 (in Chinese)
- [25] 周炜. 多元化经营背景下家庭农场水稻生产效率: 基于全国农村固定观察点的实证研究[J]. 南京农业大学学报: 社会科学版, 2017, 17(5): 132-137, 155-156
- Zhou W. An analysis of rice production efficiency on family farm under the background of diversified management: An empirical study based on national rural fixed observing point [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2017, 17(5): 132-137, 155-156 (in Chinese)
- [26] Bell L W, Moore A D, Thomas D T. Diversified crop-livestock farms are risk-efficient in the face of price and production variability [J]. *Agricultural Systems*, 2021, 189: 103050
- [27] 张康洁, 尹昌斌, CHIEN Hsiaoping. 预期感知、社会学习与稻农绿色生产行为: 基于安徽、湖北867户农户调查数据[J]. 农林经济管理学报, 2021, 20(1): 29-41
- Zhang K J, Yin C B, Hsiaoping C. Anticipation perception, social learning and green production behavior of rice farmers: Based on survey data of 867 households in Anhui and Hubei province [J]. *Journal of Agro-Forestry Economics and Management*, 2021, 20(1): 29-41 (in Chinese)
- [28] Garrett R D, Niles M T, Gil J D B, Gaudin A, Chaplin-Kramer R, Assmann A, Assmann T S, Brewer K, de Faccio Carvalho P C, Cortner O, Dynes R, Garbach K, Kebreab E, Mueller N, Peterson C, Reis J C, Snow V, Valentim J. Social and ecological analysis of commercial integrated crop livestock systems: Current knowledge and remaining uncertainty [J]. *Agricultural Systems*, 2017, 155: 136-146
- [29] Mendonça G G, Simili F F, Augusto J G, Bonacim P M, Menegatto L S, Gameiro A H. Economic gains from crop-livestock integration in relation to conventional systems [J]. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2020, 49: e20190029
- [30] Brewin D G, Undi M, Kulshreshtha S, Wittenberg K, Tenuta M, Ominski K H. Integration of forage, beef, and hog production systems in Western Canada: An economic assessment [J]. *Agricultural Systems*, 2014, 127: 1-8
- [31] Kumar S, Sieverding H, Lai L, Thandiwe N, Wienhold B, Redfearn D, Archer D, Ussiri D, Faust D, Landblom D, Grings E, Stone J J, Jacquet J, Pokharel K, Liebig M, Schmer M, Sexton P, Mitchell R, Smalley S, Osborne S, Ali S, Şentürk S, Sehgal S, Owens V, Jin V. Facilitating crop - livestock reintegration in the northern great plains [J]. *Agronomy Journal*, 2019, 111(5): 2141-2156
- [32] Moisés C, Arrobas M, Tsitos D, Pinho D, Rezende R F, Rodrigues M Â. Regenerative agriculture: Insights and challenges in farmer adoption [J]. *Sustainability*, 2025, 17(16): 7235
- [33] Komarek A M, Bell L W, Whish J P M, Robertson M J, Bellotti W D. Whole-farm economic, risk and resource-use trade-offs associated with integrating forages into crop - livestock systems in western China [J]. *Agricultural Systems*, 2015, 133: 63-72
- [34] Poffenbarger H, Artz G, Dahlke G, Edwards W, Hanna M, Russell J, Sellers H, Liebman M. An economic analysis of integrated crop-livestock systems in Iowa, U. S. A [J]. *Agricultural Systems*, 2017, 157: 51-69
- [35] Du S C, Liu J, Fu Z T. The impact of village rules and formal environmental regulations on farmers' cleaner production behavior: New evidence from China [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18(14): 7311
- [36] Zhu Z Y, Chen Y X, Ning K, Liu Z J. Policy setting, heterogeneous scale,

- and willingness to adopt green production behavior: Field evidence from cooperatives in China[J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2024, 26(1): 1529-1555
- [37] Kelifa A. Review of Tobit, Heckman and double hurdle econometric models: Supported with evidences from the studies conducted in Ethiopia[J]. *SN Business & Economics*, 2023, 3(6): 104
- [38] 史雨星, 姚柳杨, 赵敏娟. 社会资本对牧户参与草场社区治理意愿的影响: 基于 Triple-Hurdle 模型的分析[J]. *中国农村观察*, 2018(3): 35-50
Shi Y X, Yao L Y, Zhao M J. The effect of social capital on herdsmen's participation willingness in grassland community governance: An analysis based on triple-hurdle model[J]. *China Rural Survey*, 2018(3): 35-50 (in Chinese)
- [39] Burke W J, Myers R J, Jayne T S. A Triple-Hurdle model of production and market participation in Kenya's dairy market[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 2015, 97(4): 1227-1246
- [40] Trujillo-Barrera A, Pennings J M E, Hofenk D. Understanding producers' motives for adopting sustainable practices: The role of expected rewards, risk perception and risk tolerance [J]. *European Review of Agricultural Economics*, 2016, 43(3): 359-382
- [41] Lu Y, Tan Y F, Wang H M. Impact of environmental regulation on green technology adoption by farmers microscopic investigation evidence from pig breeding in China[J]. *Frontiers in Environmental Science*, 2022, 10: 885933
- [42] Ji C, Jin S Q, Wang H T, Ye C H. Estimating effects of cooperative membership on farmers' safe production behaviors: Evidence from pig sector in China[J]. *Food Policy*, 2019, 83: 231-245

责任编辑: 秦梅



第一作者简介:曹静,西北农林科技大学经济管理学院在读博士研究生。主要研究方向为资源环境经济、畜牧产业经济与管理,参与国家自然科学基金、国家社会科学基金项目等,曾获研究生学业奖学金等。



通讯作者简介:闫振宇,西北农林科技大学经济管理学院副教授、博士生导师,主要从事农业经济理论与政策、畜牧产业经济与管理研究。《干旱区资源与环境》青年编委委员;中国农业企业教学管理研究会常务理事;国家现代苹果产业技术体系产业经济功能研究室成员。主持国家自然科学基金、国家社会科学基金、陕西社科联年度重大项目、农业农村部行业管理项目等国家及省部级项目多项。在《经济地理》、《自然资源学报》、*International Journal of Agricultural Sustainability*等期刊发表论文30余篇。