中国农业大学学报 2026,31(11):386-402
Journal of China Agricultural University http://zgnydxxb.ijournals.cn

赵哲,许由,张怡. 种养循环模式采纳决策——影响因素、收入效应及其异质性特征[J]. 中国农业大学学报,2026,31(11):386-402.
ZHAO Zhe, XU You, ZHANG Yi. Adoption decisions of crop-livestock integration model: Influencing factors, income effects, and heterogeneous characteristics[J]. *Journal of China Agricultural University*,2026,31(11):386-402.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2026.11.29

种养循环模式采纳决策
——影响因素、收入效应及其异质性特征

赵 哲[1] 许 由[1] 张 怡[2]
(1. 辽宁大学 经济学院,沈阳 110136;
2. 吉林大学 经济学院,长春 130015)

摘 要 为厘清种养循环模式采纳决策的影响因素及其收入效应,基于辽宁省15个县(市、区)、32个乡(镇)、83个村、1 051户调研数据,结合Logit回归模型和夏普里值分解及内生转换模型等方法,探讨种养循环采纳模式的关键影响因素和对农户收入的影响。结果显示:样本区内农户对种养循环模式进行了积极实践,采纳率为38.44%;农户做出采纳种养循环模式的决策是以经济理性为基础的,同时考虑到种养循环模式对于技术水平要求较高,因此农户在采纳决策时也会关注其感知易用性;个体特征、生产经营特征和家庭特征对于种养循环模式采纳决策的贡献率依次下降;采纳种养循环模式对于农户收入具有显著的正向影响,这种正向影响随着采纳强度提升而增强,并且在不同生产经营情况下表现出显著的异质性。基于此,本研究提出应深入开展宣传,提高农民对种养循环模式的认知;通过普惠培训提升农民资源管理、循环利用等专业技能;同时加强补贴力度,调动种养主体参与积极性等政策建议。

关键词 种养循环模式; 夏普里值; 内生转换; 采纳决策; 影响因素; 收入效应
中图分类号 F323 **文章编号** 1007-4333(2026)11-0386-17 **文献标志码** A

Adoption decisions of crop-livestock integration model: Influencing factors, income effects, and heterogeneous characteristics

ZHAO Zhe[1], XU You[1], ZHANG Yi[2]
(1. School of Economics, Liaoning University, Shenyang 110136, China;
2. School of Economics, Jilin University, Changchun 130015, China)

Abstract To clarify the influencing factors of farmer's adoption decision regarding the crop-livestock integration model and its income effect, this study is based on the survey data from 15 counties (cities and districts), 32 townships (towns), 83 villages, and 1 051 households in Liaoning Province. Logit regression model, Shapley value decomposition method, and endogenous switching model are employed to explore the key influencing factors of the adoption of the crop-livestock integration model and its impact on farmers' income. The results showed that farmers in the sample area have actively practiced the crop- livestock integration model, with an adoption rate of 38.44%. Farmers' adoption decisions were made based on economic rationality, meanwhile, considering that the crop-livestock integration model has a high requirement for technical level, farmers also

收稿日期:2025-11-15;接受日期:2026-02-09
基金项目:国家自然科学基金青年项目(72303087);国家自然科学基金专项(72442022)
第一作者:赵哲(ORCID:0000-0002-2736-9049),副教授,主要从事资源环境经济与政策相关研究,E-mail:zhaozhe@lnu.edu.cn

considered its perceived ease of use in the adoption decision. The contribution rates of individual characteristics, production and operation characteristics, and family characteristics to the adoption decision of the crop-livestock integration model decreased in turn. The adoption of the crop-livestock integration model had a significant positive impact on farmers' income, and this positive impact increased with the increase of adoption intensity, and showed significant heterogeneity under different production and operating conditions. Based on this, this study proposed the following policy recommendations: conducting in-depth publicity to enhance farmers' awareness of the crop-livestock integration model; providing inclusive training to improve farmers' professional skills in resource management and recycling; and increasing subsidies to encourage crop-livestock integration entities to participate.

Keywords　crop-livestock integration model; Shapley value; endogenous switching; adoption decision; influencing factors; income effect

改革开放以来，中国在水土资源短缺的情况下不断创造摆脱饥饿和消灭贫困的发展奇迹。但是，粮食等重要农产品生产持续增长的同时，也付出了巨大的资源环境代价，农业生产的可持续性面临严峻挑战[1]。加快推进农业生产方式由粗放型向绿色集约型转变，是破解农业面源污染难题、提升农业资源配置效率、实现农业永续发展的重要途径[2]。绿色高效成为新时代农业发展的主旋律。

在此背景下，种养循环模式在推动农业绿色转型发展中的关键作用日益凸显。种养循环模式是将畜禽养殖产生的粪污作为种植业的肥源，种植业为养殖业提供饲料，并消纳养殖业废弃物，使物质和能量在种养业之间进行转换利用的循环式绿色农业生产方式[3]。实施种养循环，有助于实现种植业内部和养殖业之间的良性循环、改善农业系统生态环境、增加农业经营性收入、推动草食畜牧业发展和提高农业可持续发展能力[4]。农业农村部于2021年启动实施绿色种养循环农业试点。2024年中央一号文件《中共中央、国务院关于学习运用“千村示范、万村整治”工程经验有力有效推进乡村全面振兴的意见》提出，“扎实推进化肥农药减量增效，推广种养循环模式”。2025年中央一号文件《中共中央、国务院关于进一步深化农村改革扎实推进乡村全面振兴的意见》强调，“加强畜禽粪污资源化利用和水产养殖尾水处理”。种养循环模式日益成为政府部门和学术界关注的焦点。

现有关于种养循环模式的研究主要聚焦于以下3个方面。一是关于种养循环模式类型的研究。中国幅员辽阔，气候条件、土壤类型等资源禀赋上的差异，催生出各具特色的种养循环模式。例如，稻虾共作[5]、鱼塘-稻蟹复合种养[6]、生猪种养一体化[7]等。上述模式虽然各有不同，但其核心机制均为通过构建种养之间的有效结合方式，使养殖废弃物通过种养系统内部循环进行消化，从而实现环境效益与经济效益的协调统一[8]。并且，现有研究大量探讨了种养循环模式在农业企业或家庭农场中的实现形式，但是农户作为我国农业最基本的生产经营单位，应该成为种养循环模式的实施主体[9]。

二是关于种养循环模式采纳决策的影响因素研究。现有研究普遍认为，种养循环模式是一项技术门槛较高的系统性集成技术[10]。影响其采纳决策的因素很多，基本可分为两类，即综合因素和特定因素。综合因素分析中主要包含个体特征（如性别、学历等）、家庭特征（如劳动力数量、农业收入占比等）和经营特征（如经营规模、经营地块数量等）等。特定因素分析大多聚焦某一特定因素，例如风险偏好[11]、数字技能[12]、土地流转[13]等。整体来看，现有研究对于种养循环模式采纳决策的影响因素进行了较为丰富的探讨，但是缺少对于农业经营主体异质性特征的分析。此外，现有研究虽然检验了各影响因素与种养循环模式采纳决策间的相关性，但是对于不同因素的相对贡献没有进行有效度量。

三是关于种养循环模式采纳的效应研究。现有研究较多地探讨了种养循环模式的环境效应，并且普遍认同其能够实现畜禽粪污与农作物秸秆的资源化利用，防控畜禽养殖与秸秆焚烧污染[14]，同时显著减少化学肥料使用，降低农业面源污染，改善土壤质量[15]。在经济效应方面则存在分歧，部分研究认为，种养循环模式能够更充分地利用土地生产价值[16]，共享生产资料[17]，增加农业收入[18]；另一部分研究则认为，种养循环模式虽然减少了饲料、化肥和农药的投入成本[19]，但其本身也会增加粪污处理、储存、运输和农业设施投资等直接成本[20]。此外，虽然关于种养循环模式采纳经济效应方面的

实证研究较少，但是从农户技术采纳的相关研究来看，其技术采纳决策是多阶段且以静态分析为主，但是在分析过程中，大多只是简单地以二元决策（是否采纳）或二元变量的组合决策进行分析[21]，较少考虑采纳强度，即农业经营主体在技术应用中的深度和规模。

整体来看，现有研究对于种养循环模式开展了丰富的探讨，但仍存在以下不足：首先，

在研究对象方面，现有研究较多地探讨了以家庭农场或农业企业为主体的种养循环模式，以及养殖企业与农户通过契约关系实现的种养循环模式。但是，却较少讨论以普通农户为经营主体的家庭内部种养循环模式。结合大国小农的基本国情，农户家庭内部种养循环模式不应被忽略。其次，在种养循环模式采纳决策影响因素方面，现有研究忽略了对农业经营主体异质性的考量，例如高兼业农户和低兼业农户、普通农户与新型农业经营主体之间的采纳决策差异，并且量化不同因素的相对贡献率对于科学甄别关键影响因素具有重要意义。最后，在种养循环模式采纳效应方面，如果忽略对于采纳强度的考虑，会导致采纳效应被低估，特别是收入效应，因为采纳强度直接影响资源利用效率和经济回报，忽略采纳强度可能无法准确评估种养循环对收入的边际贡献。因此，关于种养循环采纳效应的研究，应进一步关注其微观视角下不同采纳强度的收入效应。

基于此，本研究基于辽宁省15个县（市、区）、32个乡（镇）、83个村、1 051户调研数据，结合Logit模型和夏普里值分解方法系统识别种养循环模式采纳决策的影响因素，并量化不同因素的贡献率，甄别关键影响因素；采用内生转换模型进一步探讨不同采纳强度下种养循环模式的收入效应，并探究其在不同生产经营情况下的异质性特征，以期为加快推进种养循环，实现农业绿色可持续发展提供参考依据；同时也为种养循环模式在不同类型生产经营主体中的应用提供实践探索。

1 理论分析

为深入探究种养循环模式收入效应的内在机理，本研究构建了一个静态与动态相结合的综合模型，将种养循环模式的影响分解为成本节约和产出提升两条路径，并关注其对农业收入的长期和动态累积效应。在模型设定中，将农户生产系统设定为包含种植子系统和养殖子系统的整体系统。在种养循环模式采纳前，两大子系统独立运行，农户必须从外部市场全额购买化肥和饲料；当农户采纳种养循环模式后，系统内部建立起资源循环纽带，养殖子系统产生的废弃物可被有效转化为有机肥，用以替代部分外购化肥，产生成本节约效应。需要强调的是，有机肥施用并非仅限于当期收益，而是能够持续改善土壤质量、提升土壤肥力，从而不断增强农作物的单位产出，由此产生间接动态的产出提升效应。此外，将种植子系统副产物秸秆加工为饲料，可以替代部分外购饲料，同样会产生成本节约效应。

具体来看，种养循环模式有助于增加土壤有机质含量，抵消土壤自然退化过程，提升土壤质量，如式（1）：

$$S_{t+1}=(1-\delta)S_t+\theta\eta L \tag{1}$$

式中：S_{t+1}和S_t分别为第$t+1$期和第t期的土壤质量；δ为土壤质量的自然退化率，$\delta\in(0,1)$；θ为种养循环技术采纳程度，$\theta\in[0,1]$；η为单位养殖废弃物转化的土壤质量增量，$\eta>0$；L为养殖规模。

土壤质量提升有助于增加种植业产出，即农作物产量，其函数具体表现形式如式（2）：

$$Y_c=A\cdot S^{\gamma}\cdot F \tag{2}$$

式中：Y_c为农作物产量；A为农作物种植面积；F为除土壤外的其他投入；γ为土壤质量提升对产量的弹性，$\gamma>0$；S为土壤质量，稳态水平下$S=\theta\eta L/\delta$。

养殖业产出更多受市场供求和政策导向影响，为简化模型，本研究假定养殖业产出不受种养循环模式和土壤质量提升的直接影响，令$Y_l=L\cdot G$，其中Y_l为养殖子系统中的畜禽产量，L为养殖规模，G为其他投入。

基于上述假定条件，农户经济收益可以表示为农业产出价值与成本的差值，并且将成本进一步拆解为种养循环模式采纳前成本与节约成本的差值，如式（3）：

$$R=p_cY_c+p_lY_l-C_0+\theta\left[\alpha C_fY_c+\beta C_dY_l\right] \tag{3}$$

式中：R为农户经济收益；p_c和p_l分别为农作物和畜禽的外生市场价格；C_0为种养循环模式采纳前外购化肥和饲料的总成本；α和β分别为有机肥对化肥和

秸秆对商业饲料的替代率；C_f和C_d分别为单位化肥成本和饲料成本。

为分解农户增收渠道，对R求偏导，得式(4)：

$$\frac{\partial R}{\partial \theta}=p_c\frac{\partial Y_c}{\partial S}\frac{\partial S}{\partial \theta}+\left[\alpha C_f Y_c+\beta C_d Y_l\right]+\theta\alpha C_f\frac{\partial Y_c}{\partial S}\frac{\partial S}{\partial \theta} \tag{4}$$

式中：$p_c\frac{\partial Y_c}{\partial S}\frac{\partial S}{\partial \theta}$为种养循环模式对产出的提升作用；$\left[\alpha C_f Y_c+\beta C_d Y_l\right]+\theta\alpha C_f\frac{\partial Y_c}{\partial S}\frac{\partial S}{\partial \theta}$为种养循环模式对生产经营成本的减缓效应。要判断二者正负，首先要计算关键变量$\partial S/\partial\theta$的值，计算过程如下；

根据式(1)，对于任意时期t，有一般性递推关系；

$$\frac{\partial S_{t+1}}{\partial \theta}=(1-\delta)\frac{\partial S_t}{\partial \theta}+\eta L \tag{5}$$

通过数学归纳法得通解公式：

$$\frac{\partial S_t}{\partial \theta}=\eta L\sum_{i=0}^{t-1}(1-\delta)^i \tag{6}$$

利用几何级数求和公式：

$$\sum_{i=0}^{t-1}(1-\delta)^i=\frac{1-(1-\delta)^t}{1-(1-\delta)}=\frac{1-(1-\delta)^t}{\delta} \tag{7}$$

代回式(6)，可得；

$$\frac{\partial S_t}{\partial \theta}=\frac{\eta L\left[1-(1-\delta)^t\right]}{\delta} \tag{8}$$

由于已知$0<\delta<1$，因此$0<(1-\delta)^t<1$，又因为$\eta>0$、$L>0$、$\delta>0$，因此$\partial S_t/\partial\theta>0$。从而可得$\partial R/\partial\theta>0$，即种养循环模式采纳强度增加，通过提高土壤质量$S$增加农业产出，同时也降低成本，提高农户经济收益。在稳态下，农业产出可达$Y_c^*=A\cdot\left(\theta\eta L/\delta\right)^\gamma$，表明种养循环模式的采纳效应是通过永久性地改变生产要素禀赋，从而实现农业产出和农户经济效益的长期稳定提升，这种提升效应具有动态累积潜力且长期效果更为显著。

进一步地，本研究将农业经营主体的异质性特征纳入分析框架，考察农业经营主体类型和兼业程度对种养循环模式采纳效应的影响。在土壤质量的提升效应中，由于普通农户的土地规模较小、土壤退化严重，因此种养循环模式采纳的边际改善空间更大，其单位养殖废弃物转化的土壤质量增量(η_i)高于新型农业经营主体单位养殖废弃物转化的土壤质量增量(η_j)，因此$\partial S_{i,t}/\partial\theta>\partial S_{j,t}/\partial\theta$。同理，低兼业农户的农业经营性收入占比较高，劳动投入时间较长，种养循环模式实施效果更好；而高兼业农户农业投入较少，种养循环模式实施存在时间成本和机会成本，因此低兼业农户的单位养殖废弃物转化的土壤质量增量(η_m)高于高兼业农户单位养殖废弃物转化的土壤质量增量(η_n)，可得$\partial S_{m,t}/\partial\theta>\partial S_{n,t}/\partial\theta$。理论上，$\partial Y_c/\partial S$和$p_c$为外生变量，$C_f$和$C_d$在群体间不存在差异，因此可得$\partial Y_{i,t}/\partial\theta>\partial Y_{j,t}/\partial\theta$，$\partial Y_{m,t}/\partial\theta>\partial Y_{n,t}/\partial\theta$，即表明普通农户和低兼业农户的边际增收效应更强，种养循环模式的收入效应更为显著。

2　数据来源、变量选取与模型构建

2.1　数据来源

本研究使用的微观数据来自本课题组2024年6—8月开展的农户调研。该调研以辽宁省内的农户和规模化农场作为调研对象，主要原因在于辽宁省作为农业大省，近年来受“南养北移”布局变化影响，养殖业规模不断扩大，畜禽粪污产生量激增，加剧了农业面源污染风险。此外，辽宁省作为农业农村部第二批种养循环农业试点省份，对其开展研究具有较好的典型性和代表性。在开展预调研并对调研问卷进行调整完善的基础上，采用分层随机抽样方式从抚顺市、沈阳市、丹东市、鞍山市和铁岭市下辖的15个县(市、区)、32个乡镇、83个行政村中随机选择农业经营主体，通过入户调查的方式获取微观调研数据。问卷主要包括4类问题，即家庭人口特征、种植和养殖投入情况、产出情况以及对政策的感知，下设有48个二级题项。在剔除36份失真和缺失样本后，共保留了1 051份有效问卷进行分析，问卷有效率为97.05%。

2.2　模型设定

2.2.1　Logit回归模型

“是否采纳种养循环模式”属于0-1变量结合截面数据类型，理论上可以使用Logit模型或Probit模型对关键影响因素进行分析，由于Probit模型要求误差项服从标准正态分布，Logit模型假设条件则较为宽松，并且计算更加灵活方便，适合捕捉个体异质性对采纳决策的影响。基于此，本研究采用Logit模型进行基准回归，具体如下所示：

$$\Pr\left[X_i=1 \mid Z_i\right]=\frac{\exp(\alpha_0+Z_i\alpha)}{1+\exp(\alpha_0+Z_i\alpha)} \quad (9)$$

式中：i为第i个农户；X_i为农户i是否采纳种养循环模式（若是，则$X_i=1$；反之，则$X_i=0$）；Z_i为影响种养循环模式采纳决策的变量；$Pr\left[X_i=1 \mid Z_i\right]$为农户$i$采纳种养循环模式的条件概率；$\alpha_0$为截距项；$\alpha$为回归系数。

2.2.2 夏普里值分解

通过量化自变量对因变量的贡献率，有助于科学甄别关键影响因素。夏普里值（Shapley-Value）分解方法可以量化自变量对于总体差异的贡献率，并且对模型设定没有特殊限制，因此本研究采取夏普里值分解方法进行分析。该方法主要是通过考察不同自变量组合状况下模型R^2的变化，计算不同自变量的贡献率，具体如下所示：

$$\mathrm{MR}_k^2=E\left[R^2\left(y=a+\sum\nolimits_{j\in S}b_jz_j+b_kz_k+e\right)-R^2\left(y=a^*+\sum\nolimits_{j\in S}b_j^*z_j^*+e\right)\right] \quad (10)$$

式中，z_j为不包含变量z_k的自变量组合。在量化z_k的贡献率时，先计算包含z_k的R^2，之后计算排除z_k的R^2。当存在多个自变量时，则通过计算不同自变量组合下排除z_k的R^2的均值即可得到z_k的贡献率MR_k^2。

2.2.3 内生转换模型

本研究进一步采用内生转换模型考察种养循环模式采纳的收入效应，该模型可以有效破解由于不可观测因素造成的自选择偏误问题，并且能够识别采纳和未采纳组对农户收入的影响因素，具体包括1个决策方程以及2个结果方程。

首先，构建农户种养循环模式采纳的决策方程，具体如下所示：

$$A_i=Z_i\gamma+k_iI_i+\mu_i \quad (11)$$

式中：Z_i为农户种养循环模式采纳决策的影响因素；I_i为工具变量向量。

其次，分别构建2个农户收入方程，具体如下所示：

$$若A_i=1, Y_{i1}=\delta_{i1}Z_{i1}'+\sigma_{\mu1}\lambda_{i1}'+\theta_{i1} \quad (12)$$

$$若A_i=0, Y_{i0}=\delta_{i0}Z_{i0}'+\sigma_{\mu0}\lambda_{i0}'+\theta_{i0} \quad (13)$$

式中：Y_{i1}和Y_{i0}分别为采纳和未采纳种养循环模式的农户收入的对数值；Z_{i1}'和Z_{i0}'为农户收入的影响因素向量；θ_{i1}和θ_{i0}为随机扰动项。为验证倾向得分匹配（PSM）自选择偏误的稳健性，引入逆米尔斯比率λ_{i1}'和λ_{i0}'控制由未观测变量产生的选择性偏差，并得出选择方程和结果方程协方差的相关系数$\rho_{\mu1}\left(\rho_{\mu1}=\sigma_{\mu1}/\sigma_\mu\sigma_{i1}\right)$和$\rho_{\mu0}\left(\rho_{\mu0}=\sigma_{\mu0}/\sigma_\mu\sigma_{i0}\right)$。若$\rho_{\mu1}$或$\rho_{\mu0}$显著，表明存在自选择偏误。

2.3 变量设定

2.3.1 被解释变量

为探究种养循环模式采纳的收入效应，在参考现有研究的基础上[12]，选择农户收入作为被解释变量进行分析，具体以调研数据中的农户农业总收入的对数值进行表征。

2.3.2 核心解释变量

本研究核心解释变量为是否采纳种养循环模式。由于种养循环模式可以看作一项系统集成技术，本研究参考陈雪婷等[10]，将“是否采纳”设置为虚拟变量，其中“是”即为采纳，赋值为“1”；“否”即为未采纳，赋值为“0”。

2.3.3 控制变量

在充分参考现有研究[10,22-24]的基础上，本研究从个体特征、家庭特征、生产经营特征3个方面选取控制变量。其中，个体特征包括：性别、学历、是否是村干部、风险偏好、是否掌握互联网技能、互联网使用频率；家庭特征包括：劳动力数量、在外务工人数、农业生产经营培训、社会网络；生产经营特征包括：农地流转、土地转入、土地转出、经营地块数量和是否加入合作社。

2.3.4 工具变量

在借鉴现有研究[25]的基础上，本研究选择是否为种养循环试点县作为工具变量。具体变量描述性统计如表1所示。

3 结果与分析

3.1 种养循环模式采纳决策的影响因素及其异质性特征

3.1.1 Logit模型回归结果

本研究基于Logit模型考察种养循环模式采纳决策的影响因素及其异质性特征。在参考现有研究的基础上[24,26]，按照农业经营主体类型、兼业程度、种养循环类型和采纳强度4种划分方式开展种养循环模式采纳决策影响因素的异质性分析。其中，按照农业经营主体类型将家庭农场、农业企业、农业大户划分为新型农业经营主体，其余划分为小

表 1　变量的描述性统计

Table 1　Descriptive statistics of variables

变量 Variable	样本量 Observation	均值 Mean	标准差 SD	最小值 Min	最大值 Max
农业收入 Agricultural income	1 051	11.563 2	1.546 2	7.696 2	18.270 3
是否采纳种养循环 Adoption of the crop-livestock integration model	1 051	0.384 4	0.486 7	0	1
采纳种养循环强度 Adoption intensity of the crop-livestock integration model	1 051	0.333 3	0.326 9	0	1
性别 Gender	1 051	0.713 6	0.452 3	0	1
学历 Education level	1 051	1.887 7	0.663 9	1	3
是否村干部 Village cadre status	1 051	0.152 2	0.359 4	0	1
风险偏好 Risk preference	1 051	1.783 1	0.876 4	1	3
是否掌握互联网技能 Internet skills mastery	1 051	0.598 5	0.490 4	0	1
互联网使用频率 Internet usage frequency	1 051	1.459 6	0.761 6	0	2
感知经济效益 Perceived economic benefits	1 051	2.615 6	0.704 2	1	3
感知易用性 Perceived ease of use	1 051	2.249 3	0.793 2	1	3
家庭劳动力数量 Number of household labor	1 051	2.624 2	1.100 0	0	8
在外务工人数 Number of migrant workers	1 051	0.539 5	0.780 2	0	4
生产经营培训 Skills training	1 051	0.530 9	0.499 3	0	1
社会网络 Social network	1 051	30.821 1	59.006 6	0	1 010
农地流转 Farmland transfer	1 051	0.507 1	0.500 2	0	1
土地转入 Farmland transfer-in	1 051	0.445 3	0.497 2	0	1
土地转出 Farmland transfer-out	1 051	0.080 9	0.272 8	0	1
经营地块数量 Number of operated plots	1 051	7.775 5	11.287 5	0	110
是否加入合作社 Cooperative membership	1 051	0.267 4	0.442 8	0	1
是否为种养循环试点县 Pilot county status for the crop-livestock integration model	1 051	0.223 6	0.416 9	0	1

农户。按照非农收入占比划分兼业程度，非农收入占比大于50%定义为高兼业，低于50%定义为低兼业[27]。按照种养循环类型，将规模化养殖场或农业企业与普通农户通过契约关系形成的种养循环模式划分为外循环模式，将农户内部形成的种养循环模式划分为内循环模式。按照采纳强度，参考Zhao等[26]的研究，通过施用有机肥的市场价格占施肥总量的市场价格的比重进行表征，并将0～0.2、≥0.2～0.5、≥0.5～1分别定义为低、中、高3种类型。全样本回归结果和异质性结果如表2。

在个体特征方面，性别通过10%水平的显著性检验，表明男性更容易做出采纳种养循环模式的决策，可能的原因在于男性在家庭决策中一般具有较高的话语权。风险偏好在1%水平上显著为正，表明风险偏好型农户更容易做出采纳种养循环模式的决策，这与程守文等[28]的研究结论相一致，种养循环模式作为一项系统性集成技术，在采纳过程中需要额外投入和不确定性投资，但是风险偏好型农户更加关注采纳种养循环模式所带来的机会回报，因此更容易做出采纳决策。从异质性特征来看，风险偏好对于普通农户、低兼业农户和外循环模式的影响更为显著，可能的原因是，在普通农户和低兼业农户层面，风险偏好程度存在显著差异，并且外循环模式主要存在于规模化农场和养殖企业，采纳种养循环模式需要投入更多的生产要素并且承担更高风险，因而风险偏好的影响较为显著；新型农

表2 种养循环模式采纳决策影响因素的Logit模型估计结果

Table 2 Logit model estimation results of influencing factors for the adoption decision of the crop-livestock integration model

项目 Item	变量 Variable	全样本 Full sample	农业经营主体类型 Types of agricultural management entities		兼业程度 Degree of pluriactivity		种养循环类型 Types of circular planting-breeding models		采纳强度 Adoption intensity		
			新型农业经营主体 New agricultural business entities	普通农户 Conventional farmers	高 High	低 Low	外循环 External circulation	内循环 Internal circulation	高 High	中 Medium	低 Low
个体特征 Individual characteristic	性别 Gender	0.273 0* （1.803 9）	−0.184 6 （−0.702 2）	0.414 1** （2.086 0）	0.647 9 （1.153 5）	0.168 9 （0.974 6）	0.706 1** （2.096 3）	0.211 7 （1.145 1）	0.809 4** （2.168 3）	0.242 7 （0.728 3）	0.085 2 （0.294 8）
	学历 Education level	−0.093 9 （−0.825 4）	−0.077 1 （−0.398 4）	−0.134 0 （−0.877 5）	−0.087 8 （−0.230 0）	−0.073 7 （−0.573 4）	0.039 3 （0.155 3）	−0.086 9 （−0.626 2）	−0.172 5 （−0.606 6）	−0.255 0 （−1.104 1）	−0.124 1 （−0.557 7）
	是否村干部 Village cadre status	0.075 3 （0.371 8）	0.384 0 （1.140 7）	−0.056 4 （−0.206 0）	−1.025 1 （−1.142 9）	0.331 0 （1.412 3）	−0.331 5 （−0.782 3）	0.093 4 （0.369 7）	−0.138 3 （−0.263 8）	0.883 4* （1.880 9）	−0.265 5 （−0.640 9）
	风险偏好 Risk preference	0.215 0*** （2.700 8）	0.193 2 （1.521 0）	0.331 1*** （3.030 2）	0.029 6 （0.098 0）	0.201 9** （2.281 2）	0.584 3*** （3.028 9）	0.127 9 （1.327 3）	0.103 6 （0.531 0）	0.224 3 （1.304 8）	−0.037 2 （−0.239 8）
	是否掌握互联网技能 Internet skills mastery	−0.136 8 （−0.752 9）	0.029 1 （0.095 0）	−0.223 9 （−0.936 8）	−0.169 0 （−0.260 3）	−0.207 7 （−1.000 7）	−0.019 0 （−0.045 5）	−0.218 8 （−1.005 9）	0.085 2 （0.198 0）	−0.373 7 （−0.932 1）	−0.129 8 （−0.375 6）
	互联网使用频率 Internet usage frequency	0.229 3* （1.950 7）	−0.059 8 （−0.284 0）	0.321 7** （2.133 4）	−0.424 9 （−1.174 8）	0.367 4*** （2.704 4）	0.481 9* （1.791 6）	0.164 6 （1.167 9）	0.499 3* （1.749 2）	0.598 0** （2.247 7）	−0.089 2 （−0.414 7）
	感知经济效益 Perceived economic benefits	0.341 6*** （3.307 1）	0.538 2*** （2.967 2）	0.279 6** （2.047 3）	1.121 6* （1.723 7）	0.436 4*** （3.839 4）	0.214 5 （0.968 9）	0.379 1*** （3.036 3）	0.708 3*** （2.956 7）	0.349 3 （1.489 5）	0.256 7 （1.305 8）
	感知易用性 Perceived ease of use	0.551 4*** （6.184 4）	0.434 8*** （2.967 7）	0.644 7*** （5.305 1）	0.149 6 （0.501 2）	0.543 6*** （5.464 8）	1.015 5*** （4.718 1）	0.472 3*** （4.428 1）	1.232 2*** （6.163 0）	1.307 3*** （5.044 9）	0.886 4*** （4.226 7）
家庭特征 Household characteristic	家庭劳动力数量 Number of household labor	0.191 8*** （2.795 5）	0.225 0** （1.991 5）	0.151 8 （1.606 8）	0.043 5 （0.198 5）	0.271 8*** （3.448 8）	0.322 2** （2.067 7）	0.182 9** （2.174 4）	−0.019 2 （−0.114 4）	0.258 6* （1.706 7）	0.252 1** （1.974 3）
	在外务工人数 Number of migrant workers	−0.075 8 （−0.786 9）	0.012 2 （0.073 3）	−0.122 0 （−0.967 7）	0.018 6 （0.060 3）	0.345 3*** （2.826 9）	0.174 4 （0.803 4）	−0.160 2 （−1.353 0）	0.086 2 （0.381 9）	−0.021 8 （−0.107 5）	−0.287 7 （−1.523 1）

表2（续）

项目 Item	变量 Variable	全样本 Full sample	农业经营主体类型 Types of agricultural management entities		兼业程度 Degree of pluriactivity		种养循环类型 Types of circular planting-breeding models		采纳强度 Adoption intensity		
			新型农业经营主体 New agricultural business entities	普通农户 Conventional farmers	高 High	低 Low	外循环 External circulation	内循环 Internal circulation	高 High	中 Medium	低 Low
家庭特征 Household characteristic	农业生产经营培训 Skills training	0.349 6**	0.883 6***	−0.056 1	−0.121 4	0.514 0***	0.287 8	0.267 7	0.102 4	0.156 9	0.356 2
		（2.369 5）	（3.522 9）	（−0.288 0）	（−0.226 8）	（3.108 2）	（0.832 8）	（1.515 2）	（0.288 8）	（0.490 0）	（1.257 8）
	社会网络 Social network	−0.000 1	−0.000 8	0.000 2	0.003 7	−0.000 4	0.000 5	0.002 8	−0.001 3	0.000 2	−0.002 2
		（−0.035 5）	（−0.506 4）	（0.138 2）	（0.763 3）	（−0.269 2）	（0.086 2）	（1.325 1）	（−0.381 4）	（0.074 8）	（−0.665 3）
生产经营特征 Production and operation characteristic	农地流转 Farmland transfer	−0.725 1	−0.117 7	−0.707 7	−1.806 3	−0.552 7	−0.484 1	−0.361 5	−1.797 4	0.546 3	0.387 9
		（−1.576 3）	（−0.136 5）	（−1.126 4）	（−1.038 4）	（−1.103 3）	（−0.427 1）	（−0.632 6）	（−1.394 4）	（0.530 2）	（0.461 2）
	土地转入 Farmland transfer-in	0.854 4*	−0.887 1	1.053 9*	2.815 7*	0.337 4	0.305 8	0.499 3	2.312 2*	−0.293 8	0.084 5
		（1.913 0）	（−1.071 1）	（1.708 9）	（1.680 8）	（0.689 1）	（0.278 1）	（0.895 2）	（1.859 9）	（−0.286 5）	（0.104 9）
	土地转出 Farmland transfer-out	0.124 2	0.104 6	−0.023 0	1.167 3	0.008 2	−0.386 2	0.311 0	0.958 7	−2.007 0	0.047 6
		（0.307 8）	（0.174 1）	（−0.038 6）	（0.859 7）	（0.018 3）	（−0.417 8）	（0.607 9）	（0.837 2）	（−1.588 5）	（0.067 8）
	经营地块数量 Number of operated plots	−0.014 5**	−0.023 6***	0.043 5*	−0.001 5	−0.020 2**	−0.019 4	−0.014 0	−0.057 9*	0.021 3	−0.005 2
		（−1.976 6）	（−2.598 4）	（1.736 0）	（−0.043 4）	（−2.533 1）	（−1.359 1）	（−1.302 0）	（−1.718 7）	（1.245 0）	（−0.487 2）
	是否加入合作社 Cooperative membership	−0.510 4***	−0.396 5	−0.618 5***	−0.223 9	−0.667 0***	−0.170 2	−0.531 6**	−0.233 8	−0.973 0**	−0.046 1
		（−3.071 2）	（−1.550 5）	（−2.586 3）	（−0.353 4）	（−3.620 1）	（−0.478 3）	（−2.526 2）	（−0.526 3）	（−2.555 2）	（−0.157 1）
	常数项 Cons_	−3.749 9***	−2.576 5***	−4.214 2***	−5.584 2**	−4.015 4***	−6.121 5***	−3.218 7***	−4.300 6***	−5.523 6***	−4.961 7***
		（−7.467 3）	（−2.815 2）	（−6.417 4）	（−2.312 2）	（−7.274 6）	（−5.456 3）	（−5.258 7）	（−4.255 2）	（−4.720 7）	（−4.551 1）
	N	1 051	408	643	215	836	243	691	270	261	520
	Ps. R^2	0.075 1	0.131 1	0.102 0	0.129 7	0.105 3	0.166 6	0.059 5	0.237 9	0.173 5	0.092 0

注：括号内数值为 *t* 值。*$P<0.10$，**$P<0.05$，***$P<0.01$。下同。

Note：The values in parentheses are *t* values. *$P<0.10$, **$P<0.05$, ***$P<0.01$. The same below.

业经营主体普遍具有较高的风险偏好，高兼业农户的农业经营性收入占比较低，因而风险偏好的影响并不明显。互联网使用频率在10%水平上显著为正，表明互联网使用有利于提高采纳概率。可能的原因在于，农户通过上网了解更多关于种养循环模式的相关信息，有助于增强对于种养循环模式的认识和理解，减少信息不对称，提高采纳概率。郭巧苓等[29]的研究也得到类似的结论，并且认为互联网使用对于低技能农户的影响更为显著，这与异质性分析中，互联网使用频率对于普通农户的影响更为显著的结论也是一致的。感知经济效益和感知易用性均在1%水平上通过了显著性检验，表明当农户认为种养循环模式的经济效益较高和相关技术较容易掌握时，更容易做出采纳决策。这与陈雪婷等[10]的研究结论相一致。农户做出种养循环模式的采纳决策是基于经济理性的基础，考虑到种养循环模式对于技术水平要求较高，因此农户在采纳决策时也会关注其易用性，这与异质性分析中感知经济效益和感知易用性对高循环强度的影响更为显著的结论也是一致的。

在家庭特征方面，农业生产经营培训对于种养循环模式的采纳决策具有显著正向影响，表明通过开展种养循环模式相关技术的普及和推广，有助于增强农户对种养循环模式的认知理解和技术水平，提高其感知易用性，做出采纳决策。这与邓远远等[24]的研究结论一致。

在生产经营特征方面，土地转入同样通过了显著性检验。土地转入意味着经营规模扩大，由于规模经济带来的边际成本降低更有助于农户做出采纳决策。经营地块数量在1%水平上显著为负，可能的原因在于，经营地块越多意味着破碎化程度越高，相应采纳种养循环模式所需投入的成本越高，感知经济效益下降，不利于做出采纳决策。

3.1.2 夏普里值分解结果

本研究进一步采用夏普里值分解方法估计种养循环模式采纳决策影响因素不同分组的总体贡献率，根据前述，按照个体特征、家庭特征、生产经营特征进行分组，计算组别贡献率，结果如表3。

从全样本分析中各影响因素的贡献率可以看出，农户个体特征组别的整体贡献率最高，为63.37%，对采纳决策起到决定性作用。根据异质性特征的结果可以看出，农户个体特征组别对于新型农业经营主体的解释程度较低，为27.81%，对于

表3 种养循环模式采纳决策影响因素的夏普里值贡献率分解

Table 3 Shapley value contribution rate decomposition of influencing factors for the adoption decision of the crop-livestock integration model %

变量 Variable	全样本 Full sample	农业经营主体类型 Types of agricultural management entities		兼业程度 Degree of pluriactivity		种养循环类型 Types of circular planting-breeding models		采纳强度 Adoption intensity		
		新型农业经营主体 New agricultural business entities	普通农户 Conventional farmers	高 High	低 Low	外循环 External circulation	内循环 Internal circulation	高 High	中 Medium	低 Low
个体特征 Individual characteristic	63.37	27.81	65.68	58.88	49.51	79.24	62.02	84.32	67.65	71.43
家庭特征 Household characteristic	13.50	23.11	4.28	4.75	26.50	13.59	18.18	2.45	7.12	18.99
生产经营特征 Production and operation characteristics	23.13	49.08	30.04	36.36	23.99	7.18	19.80	13.24	25.22	9.58

注：贡献率为百分比。

Note: The contribution rate is expressed as a percentage.

普通农户等其他类别的解释程度均较高。可能的原因在于，普通农户群体间本身存在较大差异，认知水平、风险偏好等的不同对于决策行为会产生差异化影响。新型农业经营主体普遍具有较高的生产经营素质，生产经营特征对其决策行为的影响更为显著，如若地块数量较多，意味着经营破碎化，采纳种养循环模式需要投入更多的生产要素，增加生产成本；土地流入增加，意味着经营规模扩大，采纳种养循环模式能够实现规模经济，获取更高的经济和环境效益。

3.2　种养循环模式采纳决策对农业收入的影响

3.2.1　内生转换模型分析结果

种养循环模式采纳决策模型和收入效应模型的联立回归结果如表4。其中，似然比检验的卡方统计量为94.66，在1%的显著水平上拒绝决策模型和收入效应模型相互独立的原假设。$\rho_{\mu 0}^{0}$和$\rho_{\mu 1}^{1}$分别为决策模型与未采纳农户的收入效应模型、采纳农户的收入效应模型误差项的相关系数，其估计值均在1%的水平上显著，表明存在不可观测因素引起的自选择偏误问题，需要引入内生转换模型。此外，$\rho_{\mu 1}^{1}$的估计值为正，表明采纳种养循环模式农户的农业收入高于样本平均水平；$\rho_{\mu 0}^{0}$的估计值为负，表明未采纳种养循环模式农户的农业收入低于样本平均水平。

在参考现有研究的基础上[15,23]，选择“是否为种养循环试点县（是=1；否=0）”作为工具变量引入种养循环模式采纳决策模型，从而解决由于反向因果和遗漏解释变量等因素导致的内生性问题。在决策模型中，种养循环模式采纳决策影响因素的显著性与表2中全样本Logit回归模型的显著性基本一致，表明前述分析结果具有稳健性。在采纳和未采纳种养循环模式的收入效应模型中，从农户个体特征来看，学历对于未采纳农户收入具有正向影响，是否为村干部则具有显著的负向影响，可能的原因在于受过良好教育的农户，对于经营管理技能和生产技术的获取、理解与运用能力更高，有助于提升农业生产效率；而村干部承担较多村务工作，可能在一定程度上挤占家庭农业经营时间和精力。互联网使用频率对于采纳农户收入具有正向影响，表明通过信息网络有助于获取更多关于青贮饲料种植、粪肥堆沤等技术信息，减少外购化肥和饲料比例，降低生产成本，提高农业收入，这与前述研究结论一致。从家庭特征来看，劳动力数量对于采纳农户收入具有正向影响，可能的原因在于，采纳种养循环模式意味着更多的农业投入，例如种植农户通过养殖畜禽实现种养循环，或养殖户通过土地流转种植青贮饲料并消纳畜禽粪污，经营规模扩大需要投入更多劳动力，因此影响较为显著，这与张海霞等[30]的研究结论相一致。从生产经营特征来看，土地转入对于采纳农户收入具有正向影响，这与前述的研究结论相一致，通过土地流转实现规模经济，有助于提高农业生产效率，增加农业收入。是否加入合作社对于未采纳农户收入具有正向影响，现有研究普遍认为合作社作为实现小农户与现代农业有机衔接的重要载体，对于增加农户收入具有积极效应[31]。

表4　种养循环模式采纳决策模型和收入效应模型联立回归结果

Table 4　Simultaneous equations regression results for the adoption decision model and income effect model of the crop-livestock integration model

项目 Item	变量 Variable	决策模型（N=1 051） Decision model	收入效应模型 Income effect model	
			未采纳（N=647） Do not adopt	采纳（N=404） Adopt
个体特征 Individual characteristics	性别 Gender	0.104 7 （1.238 3）	0.127 4 （1.017 4）	0.244 1 （1.568 7）
	学历 Education level	−0.103 8 （−1.626 4）	0.285 7*** （2.991 4）	0.070 3 （0.600 7）
	是否村干部 Village cadre status	0.066 5 （0.574 6）	−0.350 8** （−2.049 6）	−0.177 4 （−0.838 2）
	风险偏好 Risk preference	0.100 6** （2.243 5）	−0.009 8 （−0.143 4）	0.089 4 （1.116 4）

表 4（续）

项目 Item	变量 Variable	决策模型（N=1 051） Decision model	收入效应模型 Income effect model	
			未采纳（N=647） Do not adopt	采纳（N=404） Adopt
个体特征 Individual characteristics	是否掌握互联网技能 Internet skills mastery	−0.107 1 （−1.054 4）	0.242 7 （1.587 1）	−0.208 5 （−1.138 9）
	互联网使用频率 Internet usage frequency	0.150 7** （2.312 4）	−0.116 7 （−1.178 5）	0.374 6*** （3.143 8）
	感知经济效益 Perceived economic benefits	0.085 4** （2.200 0）		
	感知易用性 Perceived ease of use	0.107 1*** （3.060 3）		
家庭特征 Household characteristics	家庭劳动力数量 Number of household labor	0.107 6*** （2.807 4）	−0.080 0 （−1.369 3）	0.157 8** （2.268 2）
	在外务工人数 Number of migrant workers	0.007 1 （0.131 7）	−0.054 2 （−0.672 4）	−0.131 2 （−1.325 8）
	农业生产经营培训 Skills training	0.153 2* （1.865 0）	−0.183 4 （−1.486 7）	0.176 9 （1.163 2）
	社会网络 Social network	−0.000 6 （−1.001 5）	0.002 7*** （2.918 2）	0.000 6 （0.447 1）
生产经营特征 Production and operation characteristic	农地流转 Farmland transfer	−0.523 9** （−2.089 3）	0.576 2 （1.551 4）	−0.746 9 （−1.575 1）
	土地转入 Farmland transfer-in	0.588 7** （2.431 9）	0.492 1 （1.366 2）	1.216 2*** （2.629 5）
	土地转出 Farmland transfer-out	−0.115 1 （−0.515 5）	0.107 4 （0.314 1）	−0.101 7 （−0.263 2）
	经营地块数量 Number of operated plots	−0.007 0** （−2.008 0）	0.030 6*** （6.082 3）	0.004 5 （0.564 6）
	是否加入合作社 Cooperative membership	−0.268 1*** （−2.915 9）	0.666 3*** （5.008 0）	−0.189 6 （−1.070 2）
工具变量 Instrumental variables	是否为循环试点县 Pilot county status for circular agriculture	0.169 2** （2.300 6）		
常数项 Cons_		−1.214 2*** （−4.921 5）	8.997 1*** （31.188 4）	9.295 8*** （24.065 2）
$\ln \sigma_{\mu 0}^{0}$			0.492 0*** （13.523 7）	
$\rho_{\mu 0}^{0}$			−1.750 4*** （−15.104 9）	
$\ln \sigma_{\mu 1}^{1}$				0.525 2*** （8.348 4）
$\rho_{\mu 1}^{1}$				1.545 3*** （8.424 5）
LR		94.66***		
Log Likelihood		−2 269.24***		

3.2.2 异质性分析

按照前述的划分方式进一步探讨种养循环模式采纳决策对于农业收入影响的异质性特征，结果如表5。

从经营主体类型的异质性特征可以看出，种养循环模式采纳决策对于新型农业经营主体和普通农户均具有显著正向的影响，但对普通农户的影响更为明显。可能的原因在于，新型农业经营主体的集约化、现代化水平较高，此时采纳种养循环模式，增加技术和资本要素投入产生的边际效应较低，因此对农业收入的影响弱于普通农户，这也验证前述理论分析的结论。

从不同兼业水平的异质性特征可以看出，种养循环模式采纳决策对于高兼业农户的影响弱于低兼业农户。可能的原因在于，高兼业农户的家庭收入主要来自非农就业，并且外出务工等兼业行为会挤压农业生产时间，导致农业投入不足，影响农业收入，这与前述理论分析的结果也是一致的。

从不同种养循环类型的异质性特征可以看出，种养循环模式采纳决策对于内循环模式和外循环模式的农业收入均具有正向影响，但是对外循环模式的影响更为显著。可能的原因在于，外循环模式多为家庭农场或养殖企业与普通农户通过契约关系形成的，生产经营规模普遍较大，实施种养循环能够显著降低化肥和饲料购买成本，同时减少畜禽粪污和秸秆处理成本，提高农业收入。王如玉等[32]的研究也得到类似的结论。

从种养循环采纳强度的异质性特征可以看出，种养循环模式采纳决策对于高、中、低3种强度类型的影响均在1%水平上显著为正，但是对于高采纳强度的影响最大。可能的原因在于，高采纳强度农户能够有效节约外购化肥和饲料所需的生产成本，验证了前述理论分析结论。并且，从高采纳强度下土地转入和土地转出均显著为正的结果可以看出，高采纳强度农户通过土地流转，实现土地连片和规模化经营，提高农业产出。陈雪婷等[10]的研究也指出，种养循环模式能够进行土地集约化利用，提升土地产出率。

3.2.3 稳健性分析

1） 倾向得分匹配（PSM）检验。种养循环模式采纳决策是农户基于自身特征（如风险偏好、感知易用性）和成本收益分析的自选择行为，可能存在不可观测因素（如隐性动机或外部冲击），这些因素同时影响采纳决策和农业收入，导致基准回归模型估计有偏，因此本研究引入倾向得分匹配（PSM）方法进行稳健性检验。PSM检验通过构建反事实框架，匹配采纳组和未采纳组的观测值，得到平均处理效应（ATT），从而缓解自选择偏差，同时采用Logit模型，将基准模型中除核心解释变量外的其他变量作为匹配特征进行控制。具体采用近邻匹配（1∶1）、近邻匹配（1∶2）、近邻匹配（1∶5）、卡尺匹配和核匹配方法，排除匹配方法对结果的影响。

由表6可知，PSM匹配前后种养循环模式采纳决策对农业收入的影响在这5种匹配方法中均通过了1%水平的显著性检验，验证了基准回归结果的稳健性。表7为样本匹配结果的平衡性检验结果，可知匹配后的所有变量的标准化偏差全部在10%以下，并且P值均>0.1，表明匹配后变量对种养循环模式采纳决策的解释力变差，验证了匹配变量选择的合理性，且偏差均$<20\%$，表明匹配结果低于匹配失败的阈值。表8是样本匹配结果的平稳性检验，可以看出，所有匹配结果的ATT均正向显著，进一步验证了基准回归结果的稳健性。

2） 其余稳健性检验。为排除不同地理层级上不可观测的、不随时间变化的混杂因素影响，在依次添加城市、县域和村庄虚拟变量后，由表9可知，回归系数仍在1%的水平上显著，表明研究结论具有稳健性。当农户做出是否采纳种养循环模式的决策时，也面临着采纳强度的选择，因此本研究将核心解释变量替换为种养循环采纳强度进行稳健性检验，由表9可知，种养循环采纳强度提升对于增加农业收入具有显著积极效应，验证了基准回归结果的稳健性。且在替换解释变量的同时增加区域固定效应，解释变量的回归结果依然在1%的水平上显著，进一步验证了研究结论的稳健性。

4 结论与建议

本研究基于微观调研数据，结合Logit回归模型、夏普里值分解方法以及内生转换模型探讨种养循环模式采纳决策的影响因素、收入效应及其异质性特征，主要结论如下：

第一，样本区内农户对种养循环模式进行了积极实践，样本农户中采纳种养循环模式的比例较大，但在地区间存在采纳强度差异。第二，性别、风

表5 异质性分析结果

Table 5 Heterogeneity analysis results

变量 Variable	农业经营主体类型 Types of agricultural management entities		兼业程度 Degree of pluriactivity		种养循环类型 Types of circular planting-breeding models		采纳强度 Adoption intensity		
	新型农业经营主体 New agricultural business entities	普通农户 Conventional farmers	高 High	低 Low	外循环 External circulation	内循环 Internal circulation	高 High	中 Medium	低 Low
是否采纳种养循环模式 Adoption of the crop-livestock integration model	0.345 2*** （2.814 7）	1.208 6*** （15.410 2）	0.458 8*** （2.944 0）	0.881 1*** （10.179 2）	1.281 9*** （8.215 3）	1.137 0*** （15.566 6）	1.909 3*** （11.678 2）	1.044 4*** （7.886 3）	0.819 4*** （5.230 8）
控制变量 Control variables	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项 Cons_	9.268 5*** （13.310 5）	9.988 2*** （41.778 6）	8.174 5*** （22.270 4）	9.358 5*** （43.617 0）	9.828 7*** （18.855 5）	8.858 8*** （36.241 2）	8.594 3*** （23.750 2）	9.742 7*** （29.871 3）	9.192 4*** （30.291 1）
$\ln \sigma_{\mu 0}^{0}$		0.266 5*** （7.568 4）		0.173 3*** （7.084 9）		0.303 1*** （9.111 4）			
$\rho_{\mu 0}^{0}$		−1.779 3*** （−11.733 7）		−0.008 6 （−0.045 2）		−1.927 5*** （−12.684 0）			
$\ln \sigma_{\mu 1}^{1}$	0.302 7*** （3.191 7）		−0.117 5 （−1.152 2）		0.145 0** （2.230 8）				
$\rho_{\mu 1}^{1}$	0.861 8** （2.521 6）		0.979 3*** （4.242 4）		−0.207 5 （−0.661 7）				
N	408	643	215	836	243	691	270	261	520
Adj. R^2							0.484 8	0.445 8	0.346 0

表 6　PSM 匹配回归结果

Table 6　PSM matching regression results

变量 Variable	邻近匹配 1∶1 Nearest neighbor matching 1∶1	邻近匹配 1∶2 Nearest neighbor matching 1∶2	邻近匹配 1∶5 Nearest neighbor matching 1∶5	卡尺匹配 Caliper matching	核匹配 Kernel matching
是否采纳种养循环 Adoption of the crop-livestock integration model	1.166 5*** （12.551 7）	1.147 9*** （13.321 1）	1.106 2*** （13.802 7）	1.168 2*** （12.593 9）	1.112 7*** （13.934 5）
控制变量 Control variables	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	9.491 8***	9.402 2***	9.300 1***	9.511 6***	9.341 2***
Cons_	（38.662 4）	（40.623 3）	（45.117 2）	（38.879 9）	（47.793 4）
N	637	805	985	671	1 050
Adj. R^2	0.347 1	0.359 4	0.364 4	0.348 0	0.366 7

表 7　样本匹配结果的平衡性检验

Table 7　Balance test of sample matching results

匹配方法 Matching methods	Pseudo R^2	LR chi^2	$P>$chi^2	偏差/% Bias
匹配前 Before matching	0.039	53.94	0.000	9.1
邻近匹配 1∶1 Nearest neighbor matching 1∶1	0.007	8.36	0.909	3.4
邻近匹配 1∶2 Nearest neighbor matching 1∶2	0.004	4.68	0.985	3.3
邻近匹配 1∶5 Nearest neighbor matching 1∶5	0.002	2.10	1.000	2.1
卡尺匹配 Caliper matching	0.009	9.61	0.844	3.4
核匹配 Kernel matching	0.001	0.83	1.000	1.4

表 8　样本匹配结果的平稳性检验

Table 8　Stability test of sample matching results

匹配方法 Matching method	ATT	标准误 SE	T 值 T values
近邻匹配 1∶1 Nearest neighbor matching 1∶1	1.022 2	0.139 0	7.36
近邻匹配 1∶2 Nearest neighbor matching 1∶2	1.105 1	0.123 3	8.96
近邻匹配 1∶5 Nearest neighbor matching 1∶5	1.132 4	0.126 2	8.97
卡尺匹配 Caliper matching	1.246 8	0.134 4	9.27
核匹配 Kernel matching	1.089 0	0.118 9	9.15
平均值 Mean	1.119 1		

表 9 稳健性检验结果

Table 9 Robustness test results

变量 Variable	模型(1) Model(1)	模型(2) Model(2)	模型(3) Model(3)	模型(4) Model(4)	模型(5) Model(5)	模型(6) Model(6)	模型(7) Model(7)
采纳种养循环强度 Adoption intensity of the crop-livestock integration model				0.646 3*** (5.024 3)	0.592 0*** (4.768 7)	0.586 4*** (4.679 1)	0.511 6*** (4.033 4)
是否采纳种养循环 Adoption of the crop-livestock integration model	1.092 9*** (14.199 1)	1.158 8*** (15.057 4)	1.111 6*** (13.546 6)				
控制变量 Control variables	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项 Cons_	9.094 8*** (45.975 9)	9.448 6*** (38.201 8)	9.500 7*** (25.763 3)	9.284 5*** (43.341 2)	9.018 3*** (41.813 0)	9.240 2*** (34.195 0)	9.416 3*** (23.581 3)
城市虚拟变量 City dummy variable	控制	不控制	不控制	不控制	控制	不控制	不控制
县域虚拟变量 County dummy variable	不控制	控制	不控制	不控制	不控制	控制	不控制
村庄虚拟变量 Village dummy variable	不控制	不控制	控制	不控制	不控制	不控制	控制
N	1 051	1 051	1 051	1 051	1 051	1 051	1 051
Adj. R^2	0.435 2	0.471 3	0.509 7	0.265 7	0.339 2	0.367 4	0.425 0

注:模型(1)~(3)在回归上依次控制城市、县域和村庄虚拟变量,模型(4)解释变量替换为种养循环采纳强度,模型(5)~(7)在替换解释变量的同时依次控制城市、县域和村庄虚拟变量。

Note: Models (1)-(3) incrementally control for city, county, and village dummy variables, respectively. Model (4) replaces the explanatory variable with the adoption intensity of the crop-livestock integration model. Subsequently, Models (5)-(7) replace the explanatory variable while simultaneously incrementally controlling for city, county, and village dummy variables.

险偏好、感知经济效益、感知易用性、互联网使用频率、农业生产经营培训和土地转入对种养循环模式采纳决策具有显著正向影响。其中,风险偏好对于普通农户、低兼业农户和外循环模式采纳决策的影响更为显著;互联网使用频率对于普通农户采纳决策的影响更为显著;感知经济效益和感知易用性对高循环强度采纳决策的影响更为显著。从影响因素的贡献率来看,个体特征、生产经营特征和家庭特征对于种养循环模式采纳决策的贡献率依次下降。第三,采纳种养循环模式对于农户收入具有显著的正向影响,并且这种正向影响在普通农户、低兼业农户、外循环模式下更为明显。此外,农户收入随着种养循环采纳强度提升而增加,进一步表明采纳种养循环模式在提升农户收入方面具有积极效应。

种养循环模式能够实现种植业和养殖业间的良性互动,兼具环境效益和经济效益,符合农业绿色转型发展要求。基于此,结合研究结论可得到如下政策启示:第一,充分利用互联网、大数据、人工智能等方式,深入开展粪肥科学施用、种养循环发展等系列宣传,提高农民对种养循环模式的认知,增强农民参与种养循环生产经营活动的积极性。第二,通过普惠制劳动技能培训进一步提升农民在资源管理、循环利用等方面的专业技能,鼓励农民向技术型、管理型方向转变。第三,完善商品有机肥补贴政策,将补贴投入在粪肥的“最后一公里”环节,按照“谁运补贴谁,谁施用补贴谁”的原则,充分调动种养主体的积极性,加快推动种养循环模式普及。

参考文献　References

[1] 黄季焜. 粮食安全、永续发展和农民增收：过去经验和未来展望[J]. 农经，2025(Z1)：3-15
Huang J K. Food security, sustainable development and farmer's income: Past experiences and future prospects [J]. *Agricultural Economics*, 2025(Z1): 3-15 (in Chinese)

[2] 姬志恒. 中国农业农村高质量发展的空间差异及驱动机制[J]. 数量经济技术经济研究，2021，38(12)：25-44
Ji Z H. Spatial differences and driving mechanism of high quality development in China's agriculture and rural areas [J]. *Journal of Quantitative & Technological Economics*, 2021, 38(12): 25-44 (in Chinese)

[3] 孟祥海，周海川，杜丽永，沈贵银. 中国农业环境技术效率与绿色全要素生产率增长变迁：基于种养结合视角的再考察[J]. 农业经济问题，2019(6)：9-22
Meng X H, Zhou H C, Du L Y, Shen G Y. The change of agricultural environmental technology efficiency and green total factor productivity growth in China: Re-examination based on the perspective of combination of planting and breeding[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2019(6): 9-22 (in Chinese)

[4] 郭世娟，胡铁华，胡向东，宿阳. "粮改饲"补贴政策该何去何从：基于试点区肉牛养殖户的微观模拟[J]. 农业经济问题，2020(9)：101-110
Guo S J, Hu T H, Hu X D, Su Y. Where should the "food-fodder change" subsidy policy go: Based on the simulation of beef cattle farmers in the pilot area[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2020(9): 101-110 (in Chinese)

[5] 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)

[6] 徐程，王凯，邱小琮，周伟，倪成，袁金龙. 不同鱼塘-稻蟹复合种养模式下稻田土壤细菌群落结构研究[J]. 农业机械学报，2025，56(12)：717-726
Xu C, Wang K, Qiu X C, Zhou W, Ni C, Yuan J L. Impact of fishpond-rice-crab integrated co-culture model on structure of soil bacterial community in rice fields [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2025,56(12): 717-726 (in Chinese)

[7] 王淑彬，王明利. 中国生猪养殖场种养一体化综合效益评价研究：基于8省的实地调研[J]. 中国农业资源与区划，2022，43(2)：43-54
Wang S B, Wang M L. Study on comprehensive benefit evaluation of integrated crop-livestock of pig farms in China: A case study of field research in eight provinces [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(2): 43-54 (in Chinese)

[8] 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)

[9] 郭庆海. "粮改饲"行动下的生态关照：基于东北粮食主产区耕地质量问题的讨论[J]. 农业经济问题，2019(10)：89-99
Guo Q H. A discussion on the quality of farm land in the primary grain producing areas in Northeast China[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2019(10): 89-99 (in Chinese)

[10] 陈雪婷，黄炜虹，齐振宏，冯中朝. 生态种养模式认知、采纳强度与收入效应：以长江中下游地区稻虾共作模式为例[J]. 中国农村经济，2020(10)：71-90
Chen X T, Huang W H, Qi Z H, Feng Z C. Farmers' cognition, adoption intensity and income effect of ecological breeding mode: A case study of rice-shrimp co-cultivation mode in the middle and lower reaches of Yangtze River [J]. *Chinese Rural Economy*, 2020(10): 71-90 (in Chinese)

[11] 田卓亚，齐振宏，杨彩艳，刘哲. 脆弱性对农户稻虾共养技术采纳行为的影响：基于风险偏好的中介作用[J]. 四川农业大学学报，2021，39(4)：565-570
Tian Z Y, Qi Z H, Yang C Y, Liu Z. Effects of vulnerability on farmers' adoption of rice and shrimp co-culture technology: Mediating effects based on risk appetite [J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2021, 39(4): 565-570 (in Chinese)

[12] 郭锦墉，刘衍朵，贺亚琴. 数字技能、种养结合模式采纳行为与收入效应：基于CRRS数据[J]. 中国农业大学学报，2025，30(8)：210-224
Guo J Y, Liu Y D, He Y Q. Digital skills, farmers' adoption behavior of crop-livestock combined pattern and income effect: Based on CRRS data[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(8): 210-224 (in Chinese)

[13] 舒畅，乔娟. 我国种养一体化模式治理畜禽粪污的发展问题研究[J]. 中国畜牧杂志，2019，55(8)：146-150
Shu C, Qiao J. Research on development issues of livestock and poultry waste treatment through integrated planting-breeding models in China[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2019, 55(8): 146-150 (in Chinese)

[14] 安婧，丁子明，高程程，胡芳雨，魏树和. 畜禽粪便污染的环境风险与资源化处理技术分析[J]. 环境科学，2023，44(8)：4764-4774
An J, Ding Z M, Gao C C, Hu Fy, Wei S H. Analysis of the environmental risk of livestock manure pollution and resource treatment technology[J]. *Environmental Science*, 2023, 44(8): 4764-4774 (in Chinese)

[15] 栾健，金书秦，张哲晰，胡钰. 邻里养殖会促进农户使用农家肥替代化肥吗[J]. 中国生态农业学报(中英文)，2025，33(2)：228--239
Luan J, Jin S Q, Zhang Z X, Hu Y. Will neighbor's livestock breeding promote the use of manure for farmers as a substitute for chemical fertilizer [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2025, 33(2): 228-239 (in Chinese)

[16] 李如龙，何楚，罗颖，汪金平，曹凑贵，刘娟，江洋. 不同种养模式稻田生态系统的服务功能及价值评估[J]. 华中农业大学学报，2025，44(3)：91-103
Li R L, He C, Luo Y, Wang J P, Cao C G, Liu J, Jiang Y. Evaluating service functions and value of ecosystem in rice fields under different models of integrated farming[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2025, 44(3): 91-103 (in Chinese)

[17] 何可，刘洋，郑家喜. "双碳"目标下的种养结合循环农业发展[J]. 中南财经政法大学学报，2024(6)：28-39
He K, Liu Y, Zheng J X. The development of integrated crop-livestock system under the Carbon Peaking and carbon Neutrality goals[J]. *Journal of ZhongNan University of Economics and Law*, 2024(6): 28-39 (in Chinese)

[18] 汪熙琮，田卓亚，杨彩艳，齐振宏，程守文. 采纳稻田综合种养模式能否提升农户效益：以稻虾共作模式为例[J]. 中国农业大学学报，2023，28(10)：259-274
Wang X C, Tian Z Y, Yang C Y, Qi Z H, Cheng S W. Can the adoption of rice-aquaculture integrated cultivation mode improve farmers benefits: A case study of rice and crayfish coculture pattern[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(10): 259-274 (in Chinese)

[19] 农一鑫，钱小平，尹昌斌，万永全，付利波. 果园生草复合种养循环模式效应分析：基于云南泸西县果园比较研究[J]. 中国农业资源与区划，2021，42(11)：7-14
Nong Y X, Qian X P, Yin C B, Wan Y Q, Fu L B. Effect analysis of the grass-orchard-livestock integrated circular agriculture model: A comparative study of orchards in Luxi, Yunnan[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 42(11): 7-14 (in Chinese)

[20] 陈铭哲，印遇龙，何流琴. 畜禽粪污资源化处理与种养循环一体化研究与思

考[J]. 中国科学 生命科学, 2024, 54(7): 1211-1225
Chen M Z, Yin Y L, He L Q. Research and reflection on the integration of manure resource treatment and integrated farming system in animal husbandry[J]. *Scientia Sinica Vitae*, 2024, 54(7): 1211-1225 (in Chinese)

[21] 张复宏, 宋晓丽, 霍明. 果农对过量施肥的认知与测土配方施肥技术采纳行为的影响因素分析:基于山东省9个县(区、市)苹果种植户的调查[J]. 中国农村观察, 2017(3): 117-130
Zhang F H, Song X L, Huo M. Excess fertilizer application and growers' adoption behavior for soil testing for fertilizer formulation and their determinants: An empirical analysis based on survey data from apple growers in 9 counties of Shandong Province[J]. *China Rural Survey*, 2017(3): 117-130 (in Chinese)

[22] 孔祥智, 方松海, 庞晓鹏, 马九杰. 西部地区农户禀赋对农业技术采纳的影响分析[J]. 经济研究, 2004(12): 85-95,122
Kong X Z, Fang S H, Pang X P, Ma J J. Analysis of the effect of household endowments on the agricultural technology adoption decision in West China [J]. *Economic Research Journal*, 2004(12): 85-95,122 (in Chinese)

[23] 王欢, 齐振宏, 杨彩艳, 田卓亚. 农户信息能力对生态种养模式采纳意愿的影响研究:基于感知易用性的中介作用[J]. 世界农业, 2022(7): 93-105
Wang H, Qi Z H, Yang C Y, Tian Z Y. Study on the influence of farmers' information capability on the adoption intention of ecological planting and breeding Model-Mediation based on perceived ease of use [J]. *World Agriculture*, 2022(7): 93-105 (in Chinese)

[24] 邓远远, 朱俊峰. 粮食种植户保护性耕作技术采纳决策:影响因素及其异质性特征[J]. 中国农业大学学报, 2023,28(12): 248-261
Deng Y Y, Zhu J F. Grain farmers' conservation tillage technology adoption behavior: Influencing factors and its heterogeneity characteristics[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023,28(12): 248-261 (in Chinese)

[25] 郑晓冬, 方向明. 社会养老保险与农村老年人主观福利[J]. 财经研究, 2018, 44(9): 80-94
Zheng X D, Fang X M. The social pension scheme and the subjective well-being of the elderly in rural China[J]. *Journal of Finance and Economics*, 2018, 44(9): 80-94 (in Chinese)

[26] Zhao Z, Jiang S, Zhang X. Scenario analysis of the environmental impacts of breeding structure change from the perspective of farming and breeding balance in Northeast China[J]. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, 2025, 23(1): 132-142

[27] 钟涨宝, 寇永丽, 韦宏耀. 劳动力配置与保障替代:兼业农户的农地转出意愿研究:基于五省微观数据的实证分析[J]. 南京农业大学学报:社会科学版, 2016, 16(2): 84-92,154-155
Zhong Z B, Kou Y L, Wei H Y. On part-time farmers' intention to transfer agricultural land from the perspective of labor allocation and security replacement: An empirical analysis based on micro-level data from five provinces[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2016, 16(2): 84-92,154-155 (in Chinese)

[28] 程守文, 齐振宏, 田卓亚, 刘哲. 互联网使用和风险偏好对农户生态种养技术持续采纳意愿的影响:以稻虾共作技术为例[J]. 世界农业, 2023(1): 115-126
Cheng S W, Qi Z H, Tian Z Y, Liu Z. Effects of internet use and risk preference on farmers' willingness to continue adoption of ecological planting and rearing technology: A case study of rice-crayfish integrated technology [J]. *World Agriculture*, 2023(1): 115-126 (in Chinese)

[29] 郭巧苓, 马骥. 互联网应用对农户精准农业技术采纳的影响:基于907个蛋鸡养殖户的实证分析[J]. 农业技术经济, 2024(12): 25-45
Guo Q L, Ma J. The impact of internet application on the adoption of precision agricultural technology of farmers: Empirical analysis based on 907 layer farmers[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2024(12): 25-45 (in Chinese)

[30] 张海霞, 王明月, 庄天慧. 贫困地区小农户农业技术采纳意愿及其异质性分析:基于"信息-动机-行为技巧"模型[J]. 贵州财经大学学报, 2020(3): 81-90
Zhang H X, Wang M Y, Zhuang T H. Analysis on the willingness to adopt agricultural technology and its heterogeneity in small farmers in poverty-stricken areas: Based on the "information-motivation-behavioral skills" model [J]. *Journal of Guizhou University of Finance and Economics*, 2020(3): 81-90(in Chinese)

[31] 刘俊文. 农民专业合作社对贫困农户收入及其稳定性的影响:以山东、贵州两省为例[J]. 中国农村经济, 2017(2): 44-55
Liu J W. The impact of farmers' specialized cooperatives on rural poor households' income: Evidences from Shandong and Guizhou provinces [J]. *Chinese Rural Economy*, 2017(2): 44-55 (in Chinese)

[32] 王如玉, 肖海峰. 种养结合能否提升肉羊养殖环境技术效率:基于不同种养结合模式的MTE模型分析[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(3): 260-273
Wang R Y, Xiao H F. Can the combination of planting and breeding improve the environmental technical efficiency of mutton sheep breeding: MTE model analysis based on different combination modes of planting and breeding[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(3): 260-273 (in Chinese)

责任编辑: 王岩



第一作者简介: 赵哲,博士,硕士生导师,辽宁大学经济学院副教授,主要研究领域为农业经济、资源环境经济与政策等。入选辽宁省哲学社会科学青年人才培养计划和沈阳市高层次人才。先后在*Technological Forecasting and Social Change*、*Agricultural Economics*、《大连理工大学学报(哲学社会科学版)》等期刊上发表学术论文20余篇,出版专著1部,撰写的多份咨政报告得到省部级相关领导肯定性批示。先后主持国家自然科学基金青年项目、辽宁省哲学社会科学规划基金、辽宁省经济社会发展研究课题等国家及省部级课题10项。