农业新质生产力对长江经济带农业面源污染治理的影响及组态路径

帅清华[1], 甘黎黎[2]

(1.南昌航空大学 文法学院, 江西 南昌 330063; 2.华东交通大学 人文社会科学学院, 江西 南昌 330013)

摘　要: [目的]探究农业新质生产力对农业面源污染治理的影响,为保障长江大保护战略实施,推动农业高质量发展提供理论指导。[方法]基于2002—2024年长江经济带11个省(市)的面板数据,综合运用熵值法、综合发展指数模型、双向固定效应模型、RE模型、空间滞后模型、模糊集定性比较分析(fsQCA),定性和定量分析了长江经济带农业新质生产力对农业面源污染治理的影响和组态路径。[结果]①2002—2024年长江经济带农业新质生产力状况(0.211~0.796)和农业面源污染治理效率(0.269~0.738)总体向好。②农业新质生产力对农业面源污染治理效率的正向影响显著,但其具体指标对农业面源污染治理影响存在异质性。③农业新质生产力对农业面源污染治理效率存在显著的空间溢出效应。[结论]农业新质生产力对农业面源污染治理效率的影响存在3条组合驱动路径,均呈现显著的治理效果。其中,长江经济带物质与无形生产资料充足是核心条件,劳动者技能、生态环境、新质产业三者构成差异化驱动来源。建议继续强化生产资料投入,做好基础保障;引导劳动者就业理念,增强参与主动性;分类施策,精准选择主导路径。

关键词: 农业新质生产力; 农业面源污染治理; 组态路径; 长江经济带

文献标识码: A　　**文章编号:** 1000-288X(2026)05-0468-10　　**中图分类号:** X321

文献参数: 帅清华, 甘黎黎.农业新质生产力对长江经济带农业面源污染治理的影响及组态路径[J].水土保持通报,2026,46(5):468-477. Shuai Qinghua, Gan Lili. Impacts and configuration pathways of agricultural new quality productive forces on agricultural non-point source pollution control in Yangtze River economic belt [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation,2026,46(5):468-477.

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2026.05.035　　**CSTR:32312.14.stbctb.2026.05.035**

Impacts and configuration pathways of agricultural new quality productive forces on agricultural non-point source pollution control in Yangtze River economic belt

Shuai Qinghua[1], Gan Lili[2]

(1.*School of Humanities and Law, Nanchang University of Aeronautics and Astronautics, Nanchang, Jiangxi* 330063, *China*; 2.*School of Humanities and Social Sciences, East China Jiaotong University, Nanchang, Jiangxi* 330013, *China*)

Abstract: [Objective] The effects of agricultural new quality productive forces on agricultural non-point source pollution control were investigated in order to provide theoretical guidance for implementing the Yangtze River protection strategy and promoting high-quality agricultural development. [Methods] Based on panel data from 11 provinces (cities) in the Yangtze River economic belt from 2002 to 2024, the impact and configuration pathways of agricultural new quality productive forces on agricultural non-point source pollution control in the Yangtze River economic belt were qualitatively and quantitatively analyzed using the entropy method, comprehensive development index model, two-way fixed effects model, RE model, spatial lag model, and fuzzy set qualitative comparative analysis (fsQCA). [Results] ① From 2002 to 2024, the status of agricultural new quality productive

收稿日期:2026-03-03　　**修回日期:**2026-04-05　　**采用日期:**2026-04-11

资助项目:江西省社科规划项目"长江经济带农业面源污染协同规制研究"(21GL24)

第一作者:帅清华(1975—),男(汉族),江西省吉安市人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事环境资源法学和环境资源管理方面的研究。Email:shuaiqh@126.com。

通信作者:甘黎黎(1981—),女(汉族),湖北省宜昌市人,博士,教授,硕士生导师,主要从事公共政策与管理方面的研究。Email:orange.gll@163.com。

forces (0.211—0.796) and the efficiency of agricultural non-point source pollution control (0.269—0.738) in the Yangtze River economic belt generally showed positive trends. ② The positive impact of agricultural new quality productive forces on agricultural non-point source pollution control efficiency was significant, but there was heterogeneity in the impacts of specific indicators of agricultural new quality productive forces on agricultural non-point source pollution control. ③ Agricultural new quality productive forces had a significant spatial spillover effect on agricultural non-point source pollution control efficiency. [Conclusion] There are three configurational pathways for the impacts of agricultural new quality productive forces on agricultural non-point source pollution control efficiency, all of which exhibit significant control effects. Among them, the sufficiency of material and intangible productive resources is the core condition, while labor skills, ecological environment, and new industries constitute differentiated driving sources. The following recommendations are proposed: continuously strengthening the input of productive resources and providing fundamental support; guiding laborers' employment concepts and enhancing their participation initiative; and implementing targeted policies and accurately selecting the leading pathway.

Keywords: agricultural new quality productive forces; agricultural non-point source pollution control; configuration pathway; Yangtze River economic belt

长江经济带横贯中国东中西部,以约20%的国土面积承载着超全国40%的人口与经济总量,是中国经济发展的重要引擎,也是生态安全的关键屏障。但是,随着经济快速发展,长江经济带的生态环境也面临诸多挑战,化肥、农药、农膜等投入品使用强度大,加之畜禽水产养殖规模庞大,农业面源污染日益突出,造成水体富营养化,土壤质量下降等后果,严重威胁长江流域的生态安全与农业可持续发展。在“十四五”任务即将结束与“十五五”布局的关键时期,加强长江经济带农业面源污染治理,探寻新的治理路径和手段成为当务之急。农业新质生产力作为推动农业发展的新动力,有望为解决长江经济带农业面源污染问题提供前所未有的技术可能性和模式创新契机。因此,深入研究农业新质生产力对农业面源污染治理的影响,对实现长江经济带生态保护与农业高质量发展的双赢目标具有重要意义。

国外没有与新质生产力完全对应的术语,类似概念通常被表述为“数字生产力”“绿色生产力”等[1-2]。国内关于新质生产力理论内涵的研究强调科技、要素与理念的深度融合(罗必良等[3];黄季焜[4])。在测度方法上,朱迪和叶林祥[5]构建了包含科技创新、要素配置、绿色效率与产业融合的4维评价体系;宋振江等[6]则从科技投入与绿色产出等维度建立模型进行量化分析。驱动机制研究揭示,数智技术(孙壮珍[7])、集体产权改革(王曙光等[8])与适度规模经营(刘同山和刘婕[9])属于关键推动力。实践路径上,学者们聚焦高素质农民培育(王维国等[10])、制度改革与财税支持(王岩等[11])等具体维度。

农业面源污染治理研究则经历了从技术应用到系统治理的演进。早期研究侧重单项技术,如氮磷生态拦截(王忠敏和梅凯[12])与人工湿地(Kasak等[13]),近年则转向复合生态工程模式,包括处理塘与生态沟渠组合(王翔等[14])、植被缓冲带(Matthews等[15])等。治理主体研究从农户个体行为(周慧等[16])拓展至政府与农户的互动(赵领娣等[17])及多元共治模式(Thomas[18])。分阶段实施政策组合能有效平衡农户接受度与治理效果(Bryan等[19]),激励政策与强制性标准结合使美国面源污染治理项目效益提升15%~20%(Shortle等[20]),环境保护税、生态补偿机制等市场化工具(罗倩文等[21];杨祁云等[22])也被广泛应用。

关于新质生产力与农业面源污染治理关系的研究主要从影响机制与协同路径展开。农业新质生产力能显著促进农业绿色低碳发展,且影响存在区域异质性(张金鑫等[23])。从微观视角看,新质生产力及其子维度对养殖户畜禽粪污能源化利用行为具有积极作用(刘振涛等[24];刘鑫等[25])。应通过健全法律体系、增强生产者参与能力和推动产学研协同,为新质生产力在农业环境污染防治中创造良好条件(张硕等[26];郑泽宇[27])。

综上所述,现有研究已构建起农业新质生产力的理论框架与实证基础,农业面源污染治理的国内外研究也比较丰富。但是,关于新质生产力和环境治理二者关系的研究相对较少,专门研究新质生产力和农业生态环境关系的则更少。因此,本研究基于长江经济带2002—2024年的省级面板数据,综合运用熵值法、综合发展指数模型、双向固定效应模型、RE模型、空间滞后模型、模糊集定性比较分析(fsQCA)等定性和定量研究方法,深入分析长江经济带农业新质生产力对农业面源污染治理的影响和组

态路径,以期丰富农业新质生产力与农业面源污染治理的关联研究,为实现区域农业高质量发展与生态环境保护协同增效提供数据支持和有益启示。

1 材料与方法

1.1 研究区域

长江经济带覆盖上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、云南、贵州等11个省市,面积约2.05×10^6 km^2,占全国的21.4%。2024年,长江经济带总人口约6.07亿人,占全国的43.1%;国内生产总值628 720.7亿元,占全国的46.7%。本研究所需数据通过查阅2002—2025年《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国科技统计年鉴》,上海等11个省市《统计年鉴》获得。

1.2 构建评价指标体系

1.2.1 农业新质生产力指标

农业新质生产力参考已有研究[28-29],从"农业劳动者-农业劳动对象-农业劳动资料"3个维度构建指标体系(表1)。①农业劳动者包括劳动者技能、劳动者生产率、劳动者就业理念3个一级指标。劳动者技能的二级指标为受教育程度,劳动者生产率的二级指标为人均产值,劳动者就业理念的二级指标为农村劳动力流失情况。②农业劳动对象包括生态环境、新质产业两个一级指标。生态环境的二级指标为绿色环保和污染治理;绿色环保用森林覆盖率解释;污染治理用化学需氧量排放量、氨氮排放量、水土流失治理面积解释。新质产业的二级指标为农业产业,用农业物联网等信息技术应用解释。③农业劳动资料包括物质生产资料和无形生产资料两个一级指标。物质生产资料的二级指标为数字基础设施和能源消耗。数字基础设施用农村宽带接入用户数、农村智能手机拥有量和光缆线路长度解释;能源消耗用农村用电量解释。无形生产资料包括科技研发和科技产出两个二级指标。科技研发用科技财政支出比例解释,科技产出用农业植物新品种申请授权数量解释。

表1 农业新质生产力评价指标体系

Table 1 Evaluation indicator system for agricultural new quality productive forces

准则层	1级指标	2级指标	指标解释	属性	权重/%
农业劳动者	劳动者技能	1受教育程度	农村居民家庭户主文化程度/%	+	2.703 0
	劳动者生产率	2人均产值	GDP/总人口/(亿元·万人$^{-1}$)	+	6.950 2
	劳动者就业理念	3农村劳动力流动情况	第一产业就业/乡村从业人员/%	−	8.607 1
农业劳动对象	生态环境	4绿色环保	森林覆盖率/%	+	8.610 8
		5污染治理	化学需氧量排放量/10^4 t	−	3.885 8
			氨氮排放量/10^4 t	−	4.087 4
			水土流失治理面积/hm^2	+	6.552 2
	新质产业	6农业产业	农业物联网等信息技术应用 邮政业农村投递路线/农村人数/(km·人$^{-1}$)	+	12.777 5
农业劳动资料	物质生产资料	7数字基础设施	农村宽带接入用户数/万户	+	9.761 7
			农村智能手机拥有量 农村居民平均每百户年移动电话拥有量/部	+	5.684 4
			光缆线路长度/10^4 km	+	2.894 9
		8能源消耗	农村用电量/10^8 kW·h	−	5.541 3
	无形生产资料	9科技研发	科技财政支出比例/%	+	8.386 8
		10科技产出	农业植物新品种权申请授权/件	+	13.556 9

1.2.2 农业面源污染治理效率指标

农业面源污染治理效率参考已有研究[30],从"投入-产出"2个维度构建指标体系。表2为农业面源污染治理效率评价指标体系,投入维度选取财政农林水支出、有效灌溉率、农业机械总动力、农业用水比例4个指标,产出指标主要选取农林牧渔增加值、粮食总产量、化肥施用强度、农药施用强度、农膜使用强度5个指标。

1.3 研究方法

1.3.1 熵值法

熵值法指利用信息熵来测度指标值的变异程度从而对多指标系统进行综合评价的方法。与其他权重计算方法相比,熵值法属于客观赋权法,能够有效避免主观判断带来的偏差,且独立、纯粹地反映各指标对整体评价的区分程度与信息含量,能确保权重结果的客观性和科学性。

表 2　农业面源污染治理效率评价指标体系

Table 2　Evaluation indicator system for efficiency of agricultural non-point source pollution control

1级指标	2级指标	指标解释	属性	权重
投入指标	财政农林水支出/亿元	财政农林水支出	+	15.7072%
	有效灌溉率/%	有效灌溉面积/农作物播种面积	+	10.4757%
	农业机械总动力/10^4 kW		+	8.5660%
	农业用水比例/%	农业用水总量/用水总量	−	5.7944%
产出指标	化肥施用强度/(kg·hm^{-2})	化肥施用量/耕地面积	−	18.4993%
	农膜施用强度/(kg·hm^{-2})	农膜施用量/耕地面积	−	8.9954%
	农药施用强度/(kg·hm^{-2})	农药施用量/耕地面积	−	11.8631%
	农林牧渔增加值/亿元		+	13.6585%
	粮食总产量/10^4 t		+	6.4404%

(1) 由于获取原始数据计量单位、数量级等存在较大差异,需要对原始数据处理进行标准化处理。

对于正向指标:

$$X_{ij}=\frac{x_{ij}-\min x_{ij}}{\max x_{ij}-\min_{ij}} \tag{1}$$

对于负向指标:

$$X_{ij}=\frac{\max x_{ij}-x_{ij}}{\max x_{ij}-\min_{ij}} \tag{2}$$

(2) 计算第j项指标下第i个评价对象的特征比重(贡献度)P_{ij}。

$$p_{ij}=\frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^{n}x_{ij}} \tag{3}$$

(3) 计算第j项指标的信息熵值E_j。

$$E_j=\frac{1}{\ln(n)}\sum_{i=1}^{n}p_{ij}\ln p_{ij} \tag{4}$$

(4) 对评价指标进行权重计算。L_j为计算后的具体权重。

$$L_j=\frac{1-E_j}{\sum_{j=1}^{n}(1-E_j)} \tag{5}$$

式中:x_{ij}为第i个评价对象第j项指标的原始值;$\min x_{ij}$,$\max x_{ij}$为第j个指标的最小值和最大值;X_{ij}为标准化后的指标值;P_{ij}表示第j项指标下,第i个评价对象的特征比重;E_j为第j项指标的信息熵值;L_j为第j项指标的客观权重。根据公式(1)—(5),分别计算农业新质生产力和农业面源污染治理评价指标的具体权重,具体结果详见表1—2。

1.3.2　综合发展指数模型

综合发展指数,见式(6)。

$$T=t_1L_1+t_2L_2+\cdots+t_jL_j \tag{6}$$

式中:T为综合发展指数,取值范围为[0,1];t_1为指标1标准化后的指标值;L_1为指标1的权重。分别计算农业新质生产力综合指数(X_{it})和农业面源污染治理综合指数(Y_{it}),2002—2024年两个指数变化情况如图1所示。

1.3.3　双向固定效应模型

若数据存在时间固定效应,需引入时间虚拟变量λ_t(或直接设时间固定效应项),计算公式为

$$Y_{it}=\alpha_i+\lambda_t+\beta x_{it}+\varepsilon_{it} \tag{7}$$

式中:Y_{it}为农业面源污染治理效率综合指数;a_i个体固定效应;λ_t反映第t期的时间固定效应,进一步剥离“年度共性冲击”,让β更贴近“纯个体+核心变量”的净效应。

1.3.4　RE模型

模型表达式为

$$Y_{it}=\beta X_{it}+\alpha+u_i+\varepsilon_{it} \tag{8}$$

式中:X_{it}为核心解释变量,指农业新质生产力指数;β为总平均效应,考虑随机个体扰动后的平均影响;a为总截距;u_i为个体随机效应;ε_{it}为随机误差项。

1.3.5　空间滞后模型

模型表达式为

$$Y_{it}=\rho\sum_{j=1}^{n}W_{ij}Y_j+\beta_1x_{it}+k_i+\varepsilon_{it}\ (i=1,2\cdots n) \tag{9}$$

式中:新增项ρ为空间滞后系数;W_{ij}为空间矩阵W的元素,量化个体i对j的空间关联;β_0为常数;β_1X_{it}对应农业新质生产力的直接效应;k_i表示个体效应,在FE模型里,为固定效应a_i,在RE模型里,为随机效应u_i。

1.3.6　模糊集定性比较分析(fsQCA)

模糊集定性比较分析(fsQCA)是通过将数据校准为模糊集隶属分数,并运用布尔代数进行逻辑简化,识别出导致同一结果的多种等效路径,从而系统揭示多条殊途同归因果模式的定性研究方法。

2 结果与分析

2.1 农业新质生产力对农业面源污染治理的影响

2.1.1 农业新质生产力和农业面源污染治理效率综合指数时序变化特征

由图1可知，2002—2024年农业新质生产力综合指数呈现“较大波动增长”态势，农业面源污染治理综合指数呈现“小幅波动增长”态势，长江经济带农业新质生产力状况和农业面源污染治理效率总体向好。分阶段而言：①2002—2012年农业面源污染治理效率综合指数相对平稳，在0.2～0.5区间小幅波动，治理效率提升较慢；农业新质生产力综合指数在2002—2004年下滑后长期低位徘徊，反映农业新质生产力相对滞后，未形成有效增长动力。②2013—2017年农业新质生产力综合指数快速攀升，其快速发展源于政策推动，2013年中央一号文件启动土地确权和“三权分置”改革，激活土地、资本、人才等要素，同时强调依靠科技创新驱动现代农业发展；农业面源污染治理效率综合指数同步缓慢提升，表明新质生产力可能对农业面源污染治理效率产生正向带动。③2018—2024年农业新质生产力综合指数持续冲高，进入高速发展及成效凸显阶段，核心原因在于乡村振兴战略、农业科技集中突破、土地人才要素全面激活等叠加形成的动力；农业面源污染治理效率综合指数在0.6～0.8区间持续上升，反映新质生产力对农业面源污染治理效率的影响持续升高。

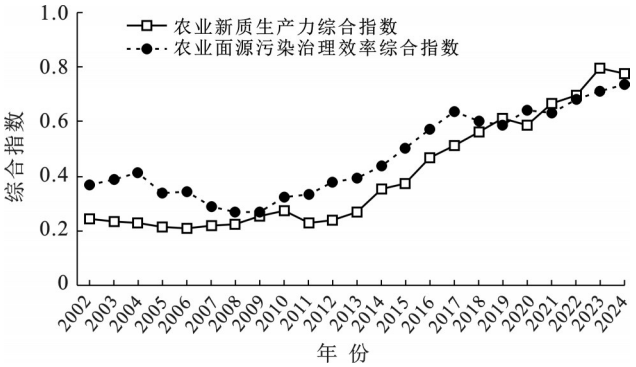


图1 农业新质生产力和农业面源污染治理效率综合指数时序变化

Fig.1 Time-series changes in comprehensive index of agricultural new quality productive forces and agricultural non-point source pollution control efficiency

2.1.2 农业新质生产力对农业面源污染治理影响的回归分析

（1）总体影响。本文采用双向固定效应模型为主模型，RE模型为对照模型，分析农业新质生产力对农业面源污染治理效率的总体影响，因变量为农业面源污染治理综合指数。依据公式(7)—(8)进行计算，总体影响结果详见表3。二者R^2(within)分别为0.477和0.738，说明模型对同一地区农业面源污染治理的动态变化解释力较强，拟合度较好；F检验均显著，说明模型整体显著。双向固定模型系数为0.477，表明剥离地区＋时间共性干扰后，农业新质生产力对污染治理的纯净影响值显著，说明即使排除年度共性波动，正向作用稳定。RE模型系数为0.738，证实农业新质生产力对农业面源污染治理存在正向效应。

表3 农业新质生产力对农业面源污染治理效率总体影响的回归结果

Table 3 Regression results of overall impacts of agricultural new quality productive forces on efficiency of agricultural non-point source pollution control

项 目	双向固定效应模型	RE模型
截距	0.321**(8.901)	0.149**(6.339)
农业新质生产力指数	0.326**(3.312)	0.795**(25.170)
R^2	0.109	−0.035
R^2(within)	0.477	0.738
样本量	253	253
检验	$F(1,219)=10.969$, $p=0.001$	$\chi^2(1)=633.551$, $p=0.000$

注：①*$p<0.05$，**$p<0.01$；②括号内为t值。③R^2(within)是面板双向固定效应模型的组内R^2，表征控制固定效应后解释变量对被解释变量单元内时序变异的解释力。下同。

（2）具体影响。采用同样模型，分析农业新质生产力具体指标对农业面源污染治理效率的影响。因变量为农业面源污染治理综合指数，共纳入7个解释变量，即农业新质生产力相关一级指标。依据公式(7)—(8)进行计算，具体影响结果详见表4。

双向固定效应模型结果为：①农业劳动者因素呈现分化影响。劳动者技能负面影响增强且显著提升，表明技能错配问题独立于时间趋势而稳定存在且更为严重；劳动者生产率影响变得不显著，说明其正面效应很大程度上源于时间趋势而非独立的边际贡献；劳动者就业理念不显著，说明其正向影响可能不是理念本身带来的边际改善。②农业劳动对象因素影响为负。生态环境负向显著，表明在剥离时间趋势后，生态环境较差的地区治理改善反而更明显；新质产业在双向模型中为正向但不显著，说明新质产业可能需更长时间或与其他条件配合才能发挥作用。③农业生产资料影响显著。物质生产资料正向影响大幅减弱但仍显著，表明物质投入的作用部分依赖于时间因素；无形生产资料保持高度显著且系数稳定，证明软性投入的回报独立于时间趋势。

表 4　农业新质生产力具体指标对农业面源污染治理效率影响的回归结果

Table 4　Regression results of specific indicators of agricultural new quality productive forces on efficiency of agricultural non-point source pollution control

项 目	双向固定效应模型	RE模型
截距	0.460**(8.487)	0.279**(9.199)
劳动者技能	−0.113**(−2.704)	−0.095*(−2.484)
劳动者生产率	0.071(1.491)	0.243**(8.121)
劳动者就业理念	0.046(1.356)	0.048**(2.709)
生态环境	−0.149*(−2.092)	0.024(0.614)
新质产业	0.039(1.418)	−0.008(−0.292)
物质生产资料	0.106*(1.987)	0.247**(6.904)
无形生产资料	0.136**(4.426)	0.150**(5.514)
R^2	−0.048	0.156
R^2(within)	0.45	0.809
样本量	253	253
检验	$F(7,213)=6.929$, $p=0.000$	$\chi^2(7)=929.393$, $p=0.000$

RE模型结果为:①农业劳动者因素呈现分化影响。劳动者技能显著负向,表明技能结构与治理需求可能存在错配;劳动者生产率正向显著,表明生产效率提高能直接促进治理水平;劳动者就业理念正向显著,表明先进的就业理念对治理有积极贡献。②农业劳动对象因素不显著。生态环境的影响不显著,说明生态环境对治理的直接影响不明显;新质产业影响不显著,表明新质产业发展尚未显示出对农业面源污染治理的显著影响。③农业生产资料的作用突出。物质生产资料和无形生产资料均有显著正向影响,表明生产条件改善能有效提升农业面源污染治理水平。

对比两组结果可见,多数核心变量系数符号保持一致,表明结论一致,即农业新质生产力对农业面源污染治理具有正向效应;双向固定效应模型组内解释力为0.45,比RE模型组内解释力低,表明时间趋势对结果有重要影响;两个模型部分指标影响存在显著区别,表明一级指标的影响具有异质性。

(3)空间效应。采用全局莫兰指数开展空间自相关检验,结果显示具有空间相关性。空间面板模型LM检验时,LM-error检验没有呈现出显著性($p=0.554>0.05$),LM-lag检验呈现出显著性($p=0.000<0.05$),宜采用空间滞后模型分析空间效应。依据公式(9)进行计算,具体结果详见表5。FE空间滞后模型结果显示,农业新质生产力指数的回归系数为0.52,说明本地区新质生产力每提升1单位,农业面源污染治理综合指数将显著提升0.52单位,验证了农业新质生产力要素对农业面源污染治理效果的直接作用。因变量空间滞后项 W_y 的系数为0.35,表明一个地区的治理效果提升会显著带动周边地区同步提升,体现出比较显著的正向溢出效应。RE空间滞后模型结果显示,农业新质生产力指数的回归系数为0.518,与FE模型高度一致,再次证明新质生产力对治理效果的稳定正向驱动作用;因变量空间滞后项 W_y 的系数同样为0.35,验证了空间溢出效应的稳健性。此外,RE模型的phi项系数为0.08,表明不同地区的个体异质性也存在显著的空间相关性。尽管Hausman检验表明RE模型更优,但综合而言,FE与RE模型的核心变量系数高度一致且均显著,证实农业新质生产力是提升本地区农业面源污染治理效果的核心动力。同时,治理效果存在显著的正向空间溢出效应,结论具备稳健性。

表 5　农业新质生产力对农业面源污染治理效率的空间滞后模型回归结果

Table 5　Regression results of spatial lag model of agricultural new quality productive forces on efficiency of agricultural non-point source pollution control

模型	项 目	回归系数	标准误	z值	p值	95%CI
FE模型	农业新质生产力指数	0.520	0.052	10.005	0.000**	0.418～0.622
	W_y(因变量空间滞后变量)	0.350	0.057	6.099	0.000**	0.238～0.463
	样本量 n			253		
	伪 R^2			0.777		
	空间伪 R^2			0.757		
RE模型	常数	0.092	0.030	3.049	0.002**	0.033～0.151
	农业新质生产力指数	0.518	0.034	15.005	0.000**	0.450～0.585
	W_y(因变量空间滞后变量)	0.350	0.026	13.513	0.000**	0.299～0.401
	phi	0.080	0.014	5.583	0.000**	0.052～0.108
	样本量 n			253		
	伪 R^2			0.769		
	空间伪 R^2			0.75		

注:*,**分别表示在$p<0.05$和$p<0.01$水平差异显著。

为缓解模型中可能存在的内生性问题，采用工具变量法进行检验。第一阶段的估计系数在1%水平上显著为正，模型亦通过了弱工具变量和不可识别检验；第二阶段估计结果与基准回归相比，核心变量系数符号及显著性未发生实质性改变，说明模型并未受到严重的内生性干扰。进而为了确保分析结果的稳健性，在RE模型对照基础上，通过剔除直辖市数据、替换权重计算方法、替换空间权重矩阵等方法进行了稳健性检验，检验结果与前文结论基本保持一致，证明研究结论具有良好的稳健性。

2.2 农业新质生产力对农业面源污染治理影响的组态路径分析

2.2.1 数据来源与校准

采用前文数据继续展开分析。以农业面源污染治理综合指数作为结果变量，选取农业新质生产力的劳动者技能(JN)、劳动者生产率(SCL)、劳动者就业理念(JY)、生态环境(HJ)、新质产业(CY)、物质生产资料(YX)、无形生产资料(WX)7个一级指标作为前因条件。经过预处理的数值已介于0～1之间，但是，为了更符合模糊集隶属度，校准锚点根据各组数据值情况计算“完全隶属”(0.95)“交叉点”(0.50)和“完全不隶属”(0.05)3个临界值的具体数值，校准后数据为0.50的数值，改为0.501。

2.2.2 单条件必要性分析

表6所有变量的一致性水平均小于0.9，表明不存在单个必要性条件，农业面源污染治理效率是多种因素共同作用的结果。

表6 必要条件分析结果

Table 6 Analysis results of necessary conditions

指标	一致性	覆盖度
劳动者技能(JN)	0.748 367	0.670 717
劳动者技能(～JN)	0.761 806	0.660 296
劳动者生产率(SCL)	0.729 888	0.707 153
劳动者生产率(～SCL)	0.752 569	0.608 207
劳动者就业理念(JY)	0.738 586	0.627 222
劳动者就业理念(～JY)	0.784 682	0.718 603
生态环境(HJ)	0.775 529	0.650 004
生态环境(～HJ)	0.687 305	0.638 527
新质产业(CY)	0.722 242	0.689 499
新质产业(～CY)	0.787 889	0.644 745
物质生产资料(YX)	0.751 320	0.708 108
物质生产资料(～YX)	0.687 183	0.568 633
无形生产资料(WX)	0.709 931	0.672 453
无形生产资料(～WX)	0.742 599	0.611 810

注：符号“～”是fsQCA的集合非运算，“～条件”指代该条件的缺失(低水平)状态，用于检验条件缺失作为必要条件的可能性。下同。

2.2.3 前因条件组态分析

参考杜运周等(2022)的研究[30]，结合本研究数据情况，将一致性门槛值设定为0.9，参数PRI水平设定为0.8，最小案例频数设定为1，最终获取复杂解、简约解和中间解3种结果。前因组态结果如表7所示。

表7 高农业面源污染治理效率的组态结果

Table 7 Configurational results of high efficiency in agricultural non-point source pollution control

条件变量	组态1(高素质驱动型)	组态2(生态优先型)	组态3(多要素协同型)
	JN*SCL*～HJ*～CY*YX*WX	JN*～SCL*～JY*HJ*～CY*YX*WX	～JN*SCL*～JY*HJ*CY*YX*WX
劳动者技能(JN)	●	◎	◎
劳动者生产率(SCL)	●	◎	●
劳动者就业理念(JY)		◎	◎
生态环境(HJ)	◎	●	●
新质产业(CY)	◎	◎	●
物质生产资料(YX)	●	●	●
无形生产资料(WX)	●	●	●
一致性	0.991 798	0.998 110	0.996 214
原始覆盖度	0.285 854	0.287 136	0.269 978
唯一覆盖度	0.093 081	0.037 849 5	0.026 253 1
总体覆盖度		0.410 776	
总体一致性		0.990 515	

注：●和◎表示条件存在，其中，●为核心条件，◎为边缘条件；空白表示条件不影响结果。

由表7可以发现，本研究识别出三条组态路径。总体一致性为0.990 515(＞0.9阈值)，解释具有高度可靠性；总体覆盖度为0.410 776，解释力较强。

3条组态路径的具体为：①高素质驱动型(JN*SCL*～HJ*～CY*YX*WX)。该路径的核心机制为生态环境(HJ)与生产资料(YX＋WX)结合形成

的“生态基础＋资源投入”治理模式。具体作用机理为:①依赖生态系统的自然治理功能。良好的生态环境本身具备较强的污染物降解能力、水土保持功能与生物净化作用,可降低面源污染的扩散风险与治理难度。②依赖生态条件对治理投入的增益效应。在生态环境优良的区域,治理投入往往能获得更高的边际收益。③依赖资源投入对短板的补偿。充足的物质生产资料与无形生产资料能够弥补劳动者素质不高,产业落后带来的执行能力不足。②生态优先型(JN*～SCL*～JY*HJ*～CY*YX*WX)。该路径以高素质劳动者群体作为核心驱动力,通过人力资源优势克服生态环境与产业条件的双重约束,实现治理目标。具体作用机理为:①依赖技术采纳与执行能力。高技能劳动者能快速学习并应用农业面源污染治理技术,减少技术推广障碍。②依赖资源配置效率。高生产率劳动者能更有效地利用物质与无形资源,降低治理成本,提升实施进度。③多要素协同型(～JN*SCL*～JY*HJ*CY* YX*WX)。该路径体现了“产业升级＋生态优势＋高效生产＋生产资料”的协同驱动模式。具体作用机理为:①依赖产业升级带动治理升级。新质产业本身具有清洁生产属性,从源头减少污染产生。②依赖生态优势赋能产业价值。良好的生态环境能提升农产品品质与品牌溢价,形成“好生态—好产品—好收益”的正向循环,激励农民主动参与农业面源污染治理。③依赖生产效率弥补技能短板。通过高生产率,降低对劳动者个体技能的依赖,保障治理措施规范执行。

2.2.4　稳健性检验

在 fsQCA 研究中,判断是否稳健的标准主要有 2 种:①改变阈值后,比较条件变量组态的覆盖度和一致性与原数据的差异,差异较小则较为稳健;②若检验后的条件变量组态与原条件变量组态呈现明显的子集关系,则具有稳健性[31]。本研究通过调整一致性进行稳健性检验,将一致性阈值提高至 0.95,所得组态与原组态保持一致,通过稳健性检验。

3　结　论

(1) 2002—2024 年长江经济带农业新质生产力状况和农业面源污染治理效率总体向好。农业新质生产力综合指数呈现较大波动增长态势,发展水平为 0.211～0.796;农业面源污染治理综合指数呈现小幅波动增长态势,发展水平为 0.269～0.738。

(2) 农业新质生产力对农业面源污染治理效率的正向影响显著,但农业新质生产力具体指标对农业面源污染治理影响存在异质性。

(3) 农业新质生产力对农业面源污染治理效率存在显著的空间溢出效应。农业新质生产力的提升不仅对本地的农业面源污染治理具有积极影响,还会显著带动周边地区农业面源污染治理效率的提升。

(4) 农业新质生产力对农业面源污染治理效率的影响存在 3 条组合驱动路径,均呈现显著的治理效果。其中,物质与无形生产资料充足是核心条件,劳动者技能、生态环境、新质产业三者构成差异化驱动来源。

4　建　议

(1) 继续强化生产资料投入,做好基础保障。加大科技和环保财政投入,建立多元投入机制引导社会资本参与;搭建数字化平台,强化技术推广、数字监管。

(2) 引导劳动者就业理念,增强参与主动性。针对部分区域劳动者参与意愿不足问题,优化利益激励,探索收益共享机制;加强宣传推动转变,强化技能培训和权益保障,推动劳动者从被动参与转向主动参与。

(3) 分类施策,精准选择主导路径。立足区域差异,高素质劳动力密集区走人力资本驱动型路径,加强技能培训和环保教育,建立激励机制调动参与积极性;生态优良但劳动力弱势区走生态优势驱动型路径,严格生态保护,推广低成本简易技术,依托第三方服务弥补劳动力短板;产业与生态良好区走产业-生态协同型路径,推动绿色产业链建设,提升生产标准化水平,实现生态与产业共赢。

参考文献(References)

[1] Abiri R, Rizan N, Balasundram S K, et al. Application of digital technologies for ensuring agricultural productivity [J]. Heliyon, 2023,9(12):e22601.

[2] Dwivedi S, Sherly M A. Multivariate assessment of digital agriculture and irrigation potential: Application to India [J]. Agricultural Systems, 2025,227(C):104328-104328.

[3] 罗必良,耿鹏鹏.农业新质生产力:理论脉络、基本内核与提升路径[J].农业经济问题,2024(4):13-26.
Luo Biliang, Geng Pengpeng. New quality agricultural productivity: Theoretical framework, core concepts, and enhancement pathways [J]. Issues in Agricultural Economy, 2024(4):13-26.

[4] 黄季焜.农业新质生产力:内涵与外延、潜力与挑战和发展思路[J].中国农村观察,2024(5):19-34.
Huang Jikun. New quality productive forces in agricul-

ture: Connotation and denotation, potential and challenges, and development ideas [J]. China Rural Survey, 2024(5):19-34.

[5] 朱迪,叶林祥.中国农业新质生产力:水平测度与动态演变[J].统计与决策,2024,40(9):24-30.
Zhu Di, Ye Linxiang. Agricultural new quality productive force in China: Level measurement and dynamic evolution [J]. Statistics and Decision, 2024,40(9):24-30.

[6] 宋振江,冷明妮,周波,等.中国农业新质生产力:评价体系构建、动态演进及政策启示[J].农林经济管理学报,2024,23(4):425-434.
Song Zhenjiang, Leng Mingni, Zhou Bo, et al. New quality agricultural productive forces in China: Evaluation system construction, dynamic evolution and policy implications [J]. Journal of Agro-Forestry Economics and Management, 2024,23(4):425-434.

[7] 孙壮珍.数智技术赋能农业新质生产力:内在机理、驱动要素与实现进路[J].江淮论坛,2025(1):100-106.
Sun Zhuangzhen. Empowering agricultural new quality productive forces through digital intelligence technology: Intrinsic mechanisms, driving factors, and implementation route [J]. Jiang-Huai Tribune, 2025(1):100-106.

[8] 王曙光,刘杨婧卓,梁爽.农村集体产权制度改革与农业新质生产力发展[J].贵州社会科学,2025(2):134-145.
Wang Shuguang, Liu Yangjingzhuo, Liang Shuang. Reform of rural collective property right system and development of new agricultural productivity [J]. Guizhou Social Sciences, 2025(2):134-145.

[9] 刘同山,刘婕.适度规模经营促进了农业新质生产力形成吗?基于"生产力-生产方式-劳动生产率"框架的实证分析[J].改革,2024(10):44-61.
Liu Tongshan, Liu Jie. Does appropriate scale management promote the formation of new quality productive forces in agriculture? Empirical analysis based on the framework of "productive forces-production mode-labor productivity" [J]. Reform, 2024(10):44-61.

[10] 王维国,刘亚宁,思敏康.农业新质生产力下高素质农民培育的底层逻辑、面临挑战及应对策略[J].西北农林科技大学学报(社会科学版),2025,25(4):11-21.
Wang Weiguo, Liu Yaning, Si Minkang. The underlying logic, challenges and countermeasures of cultivating high-quality farmers under the background of new quality productive forces in agriculture [J]. Journal of Northwest A&F University (Social Science Edition), 2025, 25(4):11-21.

[11] 王岩,李静爽,王贺.地权整合对农业新质生产力培育的影响研究[J].农业经济与管理,2024(6):48-62.
Wang Yan, Li Jingshuang, Wang He. Research on influence of integration of land rights on cultivation of new quality agricultural productive forces [J]. Agricultural Economics and Management, 2024(6):48-62.

[12] 王忠敏,梅凯.氮磷生态拦截技术在治理太湖流域农业面源污染中的应用[J].江苏农业科学,2012,40(8):336-339.
Wang Zhongmin, Mei Kai. Application of nitrogen and phosphorus ecological interception technology in controlling agricultural non-point source pollution in Taihu Lake basin [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2012,40(8):336-339.

[13] Kasak K, Kill K, Pärn J, et al. Efficiency of a newly established in-stream constructed wetland treating diffuse agricultural pollution [J]. Ecological Engineering, 2018,119:1-7.

[14] 王翔,张伟,杨文辉,等.三级处理塘与生态沟渠用于农业面源污染治理[J].中国给水排水,2019,35(18):94-98.
Wang Xiang, Zhang Wei, Yang Wenhui, et al. Application of tertiary treatment ponds and ecological ditches in the treatment of agricultural non-point source pollution [J]. China Water & Wastewater, 2019,35(18):94-98.

[15] Matthews Y S, Holland P, Matheson F E, et al. Evaluating the cost-effectiveness of green infrastructure for mitigating diffuse agricultural contaminant losses [J]. Land,2024,13(6):748.

[16] 周慧,文高辉,胡贤辉.基于TPB框架的心理认知对农户农业面源污染治理参与意愿的影响:兼论环境规制的调节效应[J].世界农业,2021(3):59-69.
Zhou Hui, Wen Gaohui, Hu Xianhui. Influence of psychological cognition based on TPB framework on farmers' willingness to participate in agricultural non-point source pollution control: Also on the regulatory effect of environmental regulation [J]. World Agriculture, 2021(3):59-69.

[17] 赵领娣,赵志博,李莎莎.白洋淀农业面源污染治理分析:基于政府与农户演化博弈模型[J].北京理工大学学报(社会科学版),2020,22(3):48-56.
Zhao Lingdi, Zhao Zhibo, Li Shasha. Analysis of agricultural non-point source pollution control in Baiyangdian: Based on evolutionary game model between government and farmers [J]. Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition), 2020, 22(3):48-56.

[18] Vetter T. Co-producing better land management? An ethnographic study of partnership working in the context of agricultural diffuse pollution [J]. Review of Agricultural, Food and Environmental Studies, 2022,103(2):117-141.

[19] Bryan B A, Kandulu J M. Designing a policy mix and sequence for mitigating agricultural non-point source pollution in a water supply catchment [J]. Water Resources Management, 2011,25(3):875-892.

[20] Shortle J S, Ribaudo M, Horan R D, et al. Reforming agricultural nonpoint pollution policy in an increasingly budget-constrained environment [J]. Environmental Science & Technology, 2012,46(3):1316-1325.

[21] 罗倩文,姜松.农业面源污染治理的环境保护税政策改进[J].税务研究,2020(5):130-135.
Luo Qianwen, Jiang Song. Improvement of environmental protection tax policy for agricultural non-point source pollution control [J]. Taxation Research, 2020(5):130-135.

[22] 杨祁云,孙大元,刘平平,等.信息化管理生态补偿机制在广东省农业面源污染治理中的实践与成效[J].生态经济,2023,39(11):170-177.
Yang Qiyun, Sun Dayuan, Liu Pingping, et al. Practice and effect of information management ecological compensation mechanism in agricultural non-point source pollution control in Guangdong Province [J]. Ecological Economy, 2023,39(11):170-177.

[23] 张金鑫,刘军彤,黄玛兰,等.农业新质生产力的绿色低碳发展效应及实现机制[J].环境经济研究,2025,10(2):136-157.
Zhang Jinxin, Liu Juntong, Huang Malan, et al. The green development effect and mechanism of agricultural new quality productive forces [J]. Journal of Environmental Economics, 2025,10(2):136-157.

[24] 刘振涛,马卓亚,周勋章,等.新质生产力与畜禽粪污能源化利用及其改进:基于县域宏观数据和养殖户微观数据的跨层实证[J].干旱区资源与环境,2025,39(3):24-36.
Liu Zhentao, Ma Zhuoya, Zhou Xunzhang, et al. New quality productivity and energy utilization of livestock manure, and its improvement: A cross-level empirical study [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2025,39(3):24-36.

[25] 刘鑫,崔元培,赵慧峰.新质生产力在畜牧养殖生态环境治理中的应用[J].饲料研究,2025,48(8):184-187.
Liu Xin, Cui Yuanpei, Zhao Huifeng. Application of new quality productivity in ecological environment management of animal husbandry [J]. Feed Research,2025,48(8):184-187.

[26] 张硕,刘惠明.新质生产力赋能农业环境污染防治困境与路径探析[J].东北农业科学,2025,50(2):100-105.
Zhang Shuo, Liu Huiming. Study on the problem and path of agricultural environmental pollution control empowered by new quality productivity [J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2025,50(2):100-105.

[27] 郑泽宇.新质生产力赋能农村环境治理:内在逻辑、现实挑战与实践路径[J].青岛科技大学学报(社会科学版),2025,41(1):60-69.
Zheng Zeyu. New quality productive forces enabling rural environmental governance: Internal logic, practical challenges and practical paths [J]. Journal of Qingdao University of Science and Technology (Social Sciences), 2025,41(1):60-69.

[28] 丁宝根,方羽,罗芳.中国农业新质生产力水平的测度、时空特征及影响因素研究[J].江苏农业科学,2024,52(24):282-291.
Ding Baogen, Fang Yu, Luo Fang. Study on measurement, spatio-temporal characteristics and influencing factors of China's agricultural new quality productive forces level [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2024,52(24):282-291.

[29] 杨和平,李红波.农业新质生产力对耕地利用生态效率的影响:以长江经济带为例[J].中国土地科学,2024,38(11):94-104.
Yang Heping, Li Hongbo. Impact of agricultural new quality productivity on ecological efficiency of cultivated land use: A case study of the Yangtze River economic belt [J]. China Land Science,2024,38(11):94-104.

[30] 杜运周,刘秋辰,陈凯薇,等.营商环境生态、全要素生产率与城市高质量发展的多元模式:基于复杂系统观的组态分析[J].管理世界,2022,38(9):127-144.
Du Yunzhou, Liu Qiuchen, Chen Kaiwei, et al. Ecosystem of doing business, total factor productivity and multiple patterns of high-quality development of Chinese Cities: A configuration analysis based on complex systems view [J]. Management World, 2022,38(9):127-144.

[31] 申霞.基于fsQCA的灾害事故跨域协同治理共同体研究[J].中国安全科学学报,2024,34(10):205-213.
Shen Xia. Research on disaster and accident trans-regional collaborative governance community based on fsQCA [J]. China Safety Science Journal, 2024, 34(10):205-213.