

DOI: 10.12357/cjea.20240180

CSTR: 32371.14.cjea.20240180

余永琦, 池泽新, 黄微, 彭柳林. 农村人口老龄化与农业绿色发展: 促进或抑制?[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2024, 32(11): 1968–1980

YU Y Q, CHI Z X, HUANG W, PENG L L. Rural population aging and agricultural green development: promote or inhibit?[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2024, 32(11): 1968–1980

农村人口老龄化与农业绿色发展: 促进或抑制?*

余永琦^{1,2}, 池泽新¹, 黄微¹, 彭柳林^{1,3**}

(1. 江西省农业科学院农业经济与信息研究所 南昌 330200; 2. 江西农业大学经济管理学院 南昌 330045;

3. 中国农业科学院农业经济与发展研究所 北京 100081)

摘要: 为明晰农村人口老龄化对农业绿色发展的影响及其机理, 本研究基于 2003—2020 年中国 31 个省份 (不包括中国香港、澳门和台湾地区) 的面板数据, 利用固定效应模型和调节效应模型, 实证分析了农村人口老龄化对农业绿色发展的影响机理。研究发现: 1) 我国农业绿色发展水平逐步提升, 但呈现非均衡的发展特征。2) 农村人口老龄化会显著抑制农业绿色发展, 其抑制效应在低老龄化区域更为突出; 分维度异质性检验发现, 农村人口老龄化会抑制资源节约和经济效益, 而对环境友好具有显著的促进作用, 对生态保育不具有影响。3) 农村人口老龄化对农业绿色发展的影响存在 U 型的非线性关系, 且样本量主要分布在转折点左侧, 边际影响以负向为主。4) 农业社会化服务能够有效缓解农村人口老龄化对农业绿色发展的抑制效应。为加快推进农业绿色发展, 建议因地制宜推进农业绿色发展, 不断缩小各地发展差异; 着力提升老龄农户的人力资本积累效应, 大力培育新型职业农民; 支持和鼓励各类新型经营主体加快农业社会化服务供给, 积极引导老龄农户有序融入社会化服务体系; 实现老龄农户与现代农业有机衔接, 推进农业绿色生产。

关键词: 农业绿色发展; 农村人口老龄化; 非线性关系; 农业社会化服务

中图分类号: F303.3; F323.6; F326.6

Rural population aging and agricultural green development: promote or inhibit?*

YU Yongqi^{1,2}, CHI Zexin¹, HUANG Wei¹, PENG Liulin^{1,3**}

(1. Institute of Agricultural Economics and Information, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China; 2. School of Economics and Management, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 3. Institute of Agricultural Economics and Development, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Clarifying the mechanism by which rural population aging affects green agricultural development is of great significance for accelerating the green transformation of agriculture in China. Based on the panel data of 31 provinces (excluding Hong Kong, Macao, and Taiwan of China) in China from 2003 to 2020, this study measured the level of agricultural green development in China and empirically analyzed the influence mechanism of rural population aging on agricultural green development using the fixed- and moderating-effect models. The results show that: 1) The level of agricultural green development in China is consistently enhancing;

* 国家自然科学基金项目 (72163015, 72063018)、江西省社会科学基金项目 (23YJ56D) 和江西省农业科学院基础研究与人才培养项目 (JXSNKYJCRC202413) 资助

** 通信作者: 彭柳林, 主要从事粮食生产与产业经济研究。E-mail: pengliulin2010@126.com

余永琦, 主要从事农业经济与农业绿色发展研究。E-mail: yiyu_hyl0129@163.com

收稿日期: 2024-04-07 接受日期: 2024-08-17

* This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (72163015, 72063018), the Social Science Foundation of Jiangxi Province (23YJ56D), and the Basic Research and Talent Training Project of Jiangxi Academy of Agricultural Sciences (JXSNKYJCRC202413).

** Corresponding author, E-mail: pengliulin2010@126.com

Received Apr. 7, 2024; accepted Aug. 17, 2024

however, inter-provincial disparities demonstrate an expanding tendency, and the dynamic adjustment of regional agricultural green development is conspicuous, featuring an overall unbalanced development. 2) Rural population aging significantly inhibits green agricultural development and this inhibitory effect is more prominent in low-aging regions. According to the fractal heterogeneity test, rural population aging inhibits resource conservation and economic effects, plays a significant role in promoting environmental friendliness, but has no effect on ecological conservation. In general, the negative effects of aging on the rural population outweigh the promotional effects, thereby inhibiting green agricultural development. 3) The impact of rural population aging on agricultural green development exhibits a U-shaped nonlinear relationship, with an inflection point of 0.16. Because most of the sample is distributed to the left of this inflection point, the marginal impact is predominantly negative. 4) According to the development of China's agricultural socialized services, agricultural socialized services can notably enhance the level of agricultural green development. Meanwhile, it can exert a regulatory function in the process by which rural population aging influences green agricultural development; that is, it can effectively mitigate the inhibitory impact of rural population aging on green agricultural development. Therefore, local policies should be adopted to promote green agricultural development and constantly narrow the development differences between regions. Efforts should be made to enhance the human capital accumulation effect on elderly farmers, vigorously cultivate new professional farmers, support and encourage all types of new business entities to accelerate the supply of socialized agricultural services, actively guide elderly farmers to integrate into the social service system in an orderly manner, realize the organic connection between elderly farmers and modern agriculture, and promote green agricultural production.

Keywords: Agricultural green development; Rural population aging; Nonlinear relationship; Agricultural socialized services

改革开放 40 多年来,我国农业发展迅速,但也面临着严重的生态环境危机,以往过度追求“量”的粗放型农业生产方式导致资源约束趋紧、环境污染、生态系统退化等问题,严重威胁到我国的粮食安全和农业的可持续发展,从而倒逼农业向集约化和绿色化的发展模式转型^[1]。然而,在这一转型的关键时期,中国农业正面临劳动力老龄化的严峻挑战^[2]。根据第七次全国人口普查数据显示,我国乡村 65 岁及以上老年人口 9036 万人,占乡村人口的 17.72%,超出全国平均水平 4.2 个百分点,反映出乡村人口老龄化问题尤为严重。随着农村人口老龄化程度不断加深,农业生产逐渐向老龄农户集中^[3]，“老人农业”成为农村普遍存在的农业生产形态^[4-5]。此外,农村人口老龄化带来的人力资本弱化、劳动力供给数量和质量下降,使农业绿色发展面临一系列约束^[6-7]。

目前学界关于人口老龄化与农业绿色发展关系的研究相对较少,部分学者尝试从农业要素投入、农业绿色生产技术采纳、农业全要素生产率等方面探讨二者的关系,但研究结论存在分歧,暂未形成统一认识。一种观点认为农村人口老龄化对农业绿色发展具有抑制效应。如刘恩玲等^[8]研究认为,随着老龄化程度加深,老龄带来的人力资本弱化作用会直接影响农户生产决策,致使农户倾向施用更多的化肥农药;黄炎忠等^[9]研究发现,农户年龄越大,采纳农业绿色生产技术的需求意愿越低,越不利于农业绿色生产;Ren 等^[10]研究认为,老龄化农户受教育程度低,难以采用科学的管理知识与先进技术经营农业,长此以往会阻碍技术进步与农业绿色生产。另一种

观点认为农村人口老龄化对农业绿色发展具有促进效应。部分学者认为人口老龄化的加深会引发农户家庭资源禀赋结构的调整,倒逼农户选择更具成本优势的技术和资本,加大对农业机械化等社会化服务的购买^[11],并催生各类新型农业经营方式、新型农业经营主体^[7],使得人口老龄化所产生的负面效应会因农户采用利于自身农业生产的新技术、新服务和新设备而被弱化。同时,人口老龄化的倒逼效应也会催动农户知识的更新,并实现技术进步与技能提升,加快人力资本积累的速度,从而提高农业全要素绿色生产率^[5,12]。

从农业绿色发展的界定及其评价看,学术界进行了大量研究,也进一步丰富了农业绿色发展的内涵,但对这一理念的界定及其评价尚未完全达成共识。一部分学者从投入产出的视角测算农业绿色全要素生产率来表征农业绿色发展水平^[13-14];但一部分学者认为农业绿色发展是一个综合性概念,它是以资源和环境承载力为基础,通过统筹协调农业发展的经济效益、社会效益、环境效益和生态效益,从而达到 4 个效益协调统一的农业可持续发展方式^[15-16],若仅仅依赖单一的指标进行评价,则无法全面地反映农业绿色发展的实质内涵。故而,盖美等^[16]基于农业经济活力、农业生态环境、农业资源利用、农业绿色供给和农业科技创新 5 大维度构建了农业绿色发展评价指标体系。赵会杰等^[17]从资源节约、环境友好、产出高效和生活保障 4 个方面来评价农业绿色发展水平。周静^[18]从资源节约、环境友好、生态保育、经济增长 4 个方面构建了农业绿

色发展评价指标体系。尽管现有文献未就农业绿色发展评价指标体系达成共识,但相较于采用农业绿色全要素生产率来衡量农业绿色发展水平,构建多维度的指标体系测算农业绿色发展水平更能契合农业绿色发展内涵。

综上所述,已有研究为构建农业绿色发展指标体系提供了丰富的理论基础与经验借鉴,同时也为理解农村人口老龄化背景下如何实现农业绿色生产提供了重要参考,但尚有较重要的扩展空间。第一,现有文献聚焦农村人口老龄化对农业绿色发展影响的研究不多,研究结论存在分歧,且影响机制的深入分析不足。第二,随着农业社会化服务迅速兴起,其在农村人口老龄化与农业绿色发展两者关系中发挥怎样的作用值得探究,但目前鲜有文献将农村人口老龄化、农业社会化服务和农业绿色发展纳入在一个研究框架进行研究。鉴于此,本文将研究内容聚焦在农村人口老龄化背景下如何加快农业绿色发展问题上,结合理论分析与实证检验对农村人口老龄化影响农业绿色发展的作用机制进行探讨,进一步明晰农村人口老龄化、农业社会化服务和农业绿色发展三者之间的关系机理,为科学发展农业社会化服务以及推动农业绿色高质量发展提供理论支撑。

1 理论分析与研究假说

1.1 农村人口老龄化对农业绿色发展的影响

根据要素替代理论,农村人口老龄化导致农业劳动力体能衰退、健康水平降低,会导致农业劳动力供给衰减和质量下降^[19],必然会引致老龄农户寻求化肥、农药、薄膜等现代农业生产资料或劳动节约型技术来替代劳动力^[20]。但老年农户受制于自身有限的知识水平和生产技能,可能无法掌握专业的农药化肥施用知识,易导致农药化肥滥用和技术效率损失^[21],从而抑制农业绿色发展。从生产决策角度来看,相比青年劳动力而言,老龄农户务农经验更为丰富,可能在一定程度上通过人力资本积累实现了农业绿色生产率提升^[22],但囿于知识体系陈旧、认知能力和学习能力转弱,风险规避倾向逐渐增强,老龄农户原有的生产决策难以转变,现实中大多数老龄农户依然维持施肥施药越多越好的旧式思维,甚至不愿意接触和学习新的农业生产技术并应用于生产实践^[6-7,10],因而阻碍了绿色生产技术推广、生产技能提升以及农业生产的绿色转型^[23]。此外,根据人力资本存量生命周期理论,农业劳动力人力资本存量是一

个动态变化的过程,呈现一种“倒U型”的变化趋势,即随着年龄的增长,在劳动供给能力^[24]、认知能力^[25]以及学习能力^[26]等方面人力资本存量会由少到多,直至在某一年龄达到峰值后,再逐步下降,呈现人力资本弱化效应。这意味着,在人力资本存量边际递减作用下,农村人口老龄化对农业绿色发展可能存在非线性影响,即农村人口老龄化对农业绿色发展的边际影响存在差异。基于上述分析,本文提出假说 H1a 和 H1b。

H1a: 农村人口老龄化会抑制农业绿色发展。

H1b: 农村人口老龄化对农业绿色发展的影响具有非线性效应。

1.2 农业社会化服务在农村人口老龄化影响农业绿色发展中的调节作用

农业社会化服务是政府公共机构、农村专业合作组织、龙头企业、科研教育单位和其他社会服务组织为农户生产经营所提供的各种服务,服务内容涵盖产前、产中、产后各个环节^[27]。从要素替代和引致创新理论来看,农村人口老龄化会导致农业劳动力供给呈现衰减趋势并加剧农业生产成本上升,从而促使农业社会化服务业发展^[28]。有学者研究表明,发展农业社会化服务业是应对农村人口老龄化的重要举措^[29]。现实中,老龄农户由于体力下降、技术掌握程度不高、家庭劳动力短缺、要素投入成本上涨等原因会更偏向于采用价格相对较低的农业社会化服务^[30],愿意将农业生产的各个环节外包给专门的社会化服务提供者。一方面,农业社会化服务的介入,可以改善老龄农户进行农业生产的各类要素约束,有效减少化肥、农药等农用化学品的投入,从而提高农业生产效率^[31]。另一个方面,在确保农产品优质优价情况下,采用社会化服务的经济效益会激励农户参与到农业绿色生产的循环中去,并将创新技术、绿色技术外溢给周边老龄农户,从而实现经济和环境效益双赢。此外,从农户认知角度来看,农业技术培训与推广服务的开展,能在一定程度上有效缓解老龄化对农户采纳绿色生产技术的阻碍,使老龄农户科学施药、施肥的认知和技能得以提升^[32-33],并引致农业生产方式发生转变,从而实现农业绿色发展。因此,随着农业社会化服务水平的提升以及规模的扩大,农村人口老龄化对农业绿色发展的抑制作用可能会被弱化,甚至会被抵消。基于上述分析,本文提出假说 H2。

H2: 农业社会化服务能够缓解农村人口老龄化对农业绿色发展的抑制作用。

2 模型设定、变量选取和数据说明

2.1 模型设定

1) 基准回归模型。为探究农村人口老龄化与农业绿色发展两者的关系,本文构建基准回归模型如下:

$$AGD_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 aging_{it} + \sum \alpha_j control_{it} + \mu_i + \tau_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$AGD_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 aging_{it} + \alpha_2 aging_{it}^2 + \sum \alpha_j control_{it} + \mu_i + \tau_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$AGD_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 aging_{it} + \alpha_2 aging_{it}^2 + \alpha_3 aging_{it}^3 + \sum \alpha_j control_{it} + \mu_i + \tau_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

式中:被解释变量 AGD_{it} 为 i 省 t 年的农业绿色发展水平,核心解释变量 $aging_{it}$ 为 i 省 t 年的农村人口老龄化程度, $control_{it}$ 包括产业、经济、社会等多个控制变量, μ_i 为个体效应, τ_t 为时间效应, ε_{it} 为随机扰动项。为了验证农村人口老龄化对农业绿色发展水平的非线性作用,在式 (2) 和式 (3) 中分别引入农村人口老龄化的平方项和三次项, α_0 为截距项, α_1 、 α_2 和 α_3 为待估系数。

2) 调节效应模型。为了考察农业社会化服务在农村人口老龄化影响农业绿色发展中的调节效应,在式 (1) 的基础上构建模型如下:

$$AGD_{it} = \lambda_0 + \lambda_1 aging_{it} + \lambda_2 Mod_{it} + \lambda_3 aging_{it} Mod_{it} + \sum \lambda_j control_{it} + \mu_i + \tau_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

式中: Mod_{it} 为调节变量,取农业社会化服务水平对数值 ($lnassv$); 其余变量解释同上。为了规避多重共线性问题,分别对农村人口老龄化和农业社会化服务进行中心化处理,随后将两者相乘生成交互项放入式 (4) 中, λ_0 为截距项, λ_1 和 λ_2 分别为农村人口老龄化和农业社会化服务的影响系数, λ_3 为调节效应估计系数,预期符号为正。

2.2 变量选取

1) 被解释变量:农业绿色发展水平 (AGD)。基于数据的可得性和适用性,力求指标能够科学、客观、准确反映农业绿色发展的实际情况。本文借鉴赵会杰等^[17]以及魏琦等^[34]的做法,从资源节约、环境友好、生态保育、经济效益 4 个角度选择 19 个具体指标构建农业绿色发展水平指标体系。采用熵权法计算农业绿色发展水平,相关指标和权重如表 1 所示。数据来自 2004—2021 年的《中国统计年鉴》和《中国环境统计年鉴》。

2) 核心解释变量:农村人口老龄化 (aging)。本文采用农村中 65 岁及以上人口占总人口数的比重来衡量农村人口老龄化。同时,选取农村老年人口抚养比 (fyb) 作为替代变量进行稳健性检验。数据均来自 2004—2021 年的《中国人口与就业统计年鉴》。

3) 调节变量:农业社会化服务水平 (assv)。长期以来,相关统计年鉴没有专门针对农业生产性服务进行统计,本文参照郝爱民^[35]的做法,用农林牧渔服务业产值作为农业生产性服务业产值的代理变量来衡量农业社会化服务发展水平。农林牧渔服务业具体指对农、林、牧、渔业生产活动进行的各种支持性服务活动,虽不包括各种科学技术和专业技术服务活动,但在概念和内容上与农业生产性服务业相近,能够表征农业社会化服务发展水平^[36]。为了使数据具有纵向可比性,将农林牧渔服务业产值转化为以 2003 年为基期的可比变量。数据来自 2004—2021 年的《中国统计年鉴》和《中国第三产业统计年鉴》。

4) 控制变量。借鉴相关学者研究成果^[3,37],引入下列控制变量:人均地区生产总值 (pgdp),用以考虑当地经济发展水平对农业绿色发展水平的影响;城镇化率 (ub),采用城市人口占地区总人口 (包括农业和非农) 的比重衡量,城镇化率愈高,反映从农村迁入城市的人口愈多,用以考虑农村居民生产经营活动的增减变化对农业绿色发展水平的影响;农业种植结构 (aps),采用粮食作物播种面积与非粮食作物播种面积 (农作物种植面积—粮食播种面积) 之比衡量,一般认为农作物种植结构的调整,能够优化农业生产布局,推动农药化肥减量化和耕地轮作休耕,从而实现农业可持续发展^[38];农业规模化程度 (asc),采用农作物总播种面积与乡村人口之比衡量,一般认为规模化经营能够有效推动农业生产方式转变,影响农业绿色发展;工业化程度 (ist),采用第二产业增加值占地区生产总值之比衡量,用以考虑工业化发展情况对农业绿色发展的影响。数据来自 2004—2021 年的《中国统计年鉴》。

2.3 变量描述性分析

模型中主要变量的描述性统计结果如表 2 所示。本文采用方差膨胀因子 (VIF) 对模型中变量进行了多重共线性检验,所有变量的 VIF 值均小于 5,且方差膨胀因子均值为 2.53,表明各变量之间不具有多重共线性问题。同时,运用 LLC 检验、IPS 检验和 Fisher 检验进行单位根检验,所有变量至少通过上述两种面板单位根检验,表明上述所选变量皆具有平

表 1 农业绿色发展水平指标体系
Table 1 Indicator system for the level of agricultural green development

维度 Dimension	指标 Indicator	属性 Attribute	权重 Weight			计算公式及单位 Calculation formula and unit
			熵权法 Entropy weight method	CRITIC法 CRITIC method	组合 Combined	
资源节约 Resource conservation	农业用水强度 Agricultural water consumption intensity	—	0.006	0.066	0.036	农业用水量/农业总产值 Agricultural water consumption / gross agricultural product [$\text{m}^3 \cdot (10^4 \text{ ¥})^{-1}$]
	复种指数 Cropping index	—	0.021	0.047	0.034	农作物播种面积/年末耕地面积 Crop sown area / cultivated area at the end of the year
	单位播种面积农机总动力 Total power of agricultural machinery per sowing area	—	0.006	0.072	0.039	农业机械总动力/农作物播种面积 Total power of agricultural machinery / sown area of crops ($\text{kW} \cdot \text{hm}^{-2}$)
	农业用电强度 Agricultural electricity consumption intensity	—	0.003	0.089	0.046	农村用电量/农林牧渔总产值 Rural electricity consumption / total output value of agriculture, forestry, animal husbandry and fisher [$\text{kWh} \cdot (10^4 \text{ ¥})^{-1}$]
	有效灌溉率 Effective irrigation rate	+	0.060	0.040	0.050	有效灌溉面积/年末耕地面积 Available irrigated area / cultivated area at the end of the year (%)
	农业财政投入占比 Proportion of agricultural financial input	+	0.036	0.044	0.040	农林水事务支出/财政支出 Expenditure on agriculture, forestry and water resources / government expenditure (%)
	单位耕地面积农药施用量 Pesticide application amount per unit cultivated land area	—	0.013	0.046	0.030	农药使用量/年末耕地面积 Pesticide usage amount / cultivated area at the end of the year ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)
环境友好 Environment friendly	单位耕地面积化肥施用量 Fertilizer application amount per unit cultivated area	—	0.028	0.039	0.034	农用化肥施用折纯量/年末耕地面积 Conversion amount of agricultural fertilizer application / cultivated area at the end of the year ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)
	单位耕地面积薄膜用量 Film dosage per unit cultivated land area	—	0.010	0.055	0.033	农用塑料薄膜使用量/年末耕地面积 Agricultural plastic film usage amount / cultivated area at the end of the year ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)
	单位农机耗油量 Fuel consumption per unit of agricultural machinery	—	0.010	0.052	0.031	农用柴油使用量/农业机械总动力 Agricultural diesel consumption / total power of agricultural machinery ($\text{t} \cdot \text{kW}^{-1}$)
	水土流失治理面积占比 The proportion of soil erosion control area	+	0.110	0.052	0.081	水土流失治理面积/国土面积 Soil erosion control area / land area (%)
生态保育 Ecological conservation	森林覆盖率 Forest coverage rate	+	0.079	0.034	0.056	森林面积/国土面积 Forest area / land area (%)
	成灾率 Disaster rate	—	0.020	0.055	0.037	成灾面积/受灾面积 Plague area / afflicted area (%)
	自然保护区占比 The proportion of nature reserves	+	0.107	0.042	0.075	自然保护区面积/国土面积 Area of nature reserve / land area (%)
	除涝面积占比 The proportion of waterlogging control area	+	0.251	0.050	0.150	除涝面积/国土面积 Waterlogging control area / land area (%)
经济效益 Economic effect	粮食单产 Grain yield per unit area	+	0.045	0.047	0.046	粮食总产量/粮食播种面积 Total grain production / grain sown area ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)
	农业土地产出率 Agricultural land yield	+	0.092	0.057	0.074	农业总产值/主要农作物播种面积 Total agricultural output value / sown area of major crops ($\text{¥} \cdot \text{hm}^{-2}$)
	农业劳动生产率 Agricultural labor productivity	+	0.086	0.055	0.070	农林牧渔总产值/乡村人口 Total output value of agriculture, forestry, animal husbandry and fishery / rural population ($\text{¥} \cdot \text{person}^{-1}$)
	农民纯收入增长率 Farmers' net income growth rate	+	0.018	0.057	0.038	(本期农村居民纯收入—上期农村居民纯收入)/上期农 村居民纯收入 (Net income of rural residents in the current period—net income of rural residents in the previous period) / net income of rural residents in the previous period (%)

稳性。此外,为了缓解数据的波动性和克服异方差问题,下文实证中对农业社会化服务和人均地区生产总值 2 个变量进行取对数处理。部分缺失数据采用均值法填充。

3 实证分析

3.1 农业绿色发展的时空演变分析

基于 2003—2020 年 31 个省级面板数据(不包括中国香港、澳门和台湾地区),利用熵权法对各省农

表 2 主要变量的描述性统计结果
Table 2 Descriptive statistics of main variables

变量分类 Variable classification	变量名称 Variable and abbreviation	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	最小值 Min	最大值 Max	观测值数 Observations number
被解释变量 Explained variable	农业绿色发展水平 Agricultural green development level (AGD)	0.31	0.06	0.19	0.55	558
	资源节约指数 Resource conservation index (RCI)	0.07	0.01	0.04	0.12	558
	环境友好指数 Environmental friendly index (EFI)	0.04	0.01	0.02	0.06	558
	生态保育指数 Ecological conservation index (ECI)	0.13	0.04	0.04	0.30	558
	经济效应指数 Economic effect index (EEI)	0.07	0.03	0.01	0.18	558
解释变量 Explanatory variable	农村人口老龄化 Rural population aging (aging)	0.11	0.04	0.05	0.19	558
	农村老年人口抚养比 Rural elderly population dependency ratio (fyb)	0.15	0.06	0.07	0.30	558
	农业社会化服务水平 Agricultural socialized services level (assv) ($\times 10^8$ 元)	160.14	196.53	0.95	1222.51	558
调节变量 Moderating variable	人均地区生产总值 Per capita GDP (pgdp) (元)	38 590.68	27 543.13	3708.00	164 158.00	558
控制变量 Control variable	城镇化率 Urbanization rate (ub)	0.53	0.15	0.20	0.90	558
	农业种植结构 Agricultural planting structure (APS)	2.90	3.32	0.62	23.08	558
	农业规模化程度 Scale level of agriculture (asc)	0.26	0.19	0.32	1.37	558
	工业化程度 Industrialization level (ist)	0.42	0.08	0.16	0.62	558

业绿色发展水平进行测算。本文根据测算结果将农业绿色发展综合指数分为低等水平 ($AGD \leq 0.3$)、中等水平 ($0.3 < AGD \leq 0.4$)、高等水平 ($AGD > 0.4$) 3 个梯队, 结果如表 3 所示。

整体上来看, 2003—2020 年我国农业绿色发展水平明显提高, 农业绿色发展综合指数从 2003 年的 0.2582 上升至 2020 年 0.3691。其中, 2020 年东部地区农业绿色发展水平最高 (0.4199), 其后依次为东北

表 3 不同省(直辖市、自治区)农业绿色发展 (AGD) 的时间演变

Table 3 Temporal evolution of agricultural green development (AGD) of different provinces (municipalities, autonomous regions)

年份 Year	AGD ≤ 0.3	0.3<AGD ≤ 0.4	AGD>0.4
2003	河北、山西、内蒙古、吉林、黑龙江、浙江、安徽、福建、江西、河南、湖北、湖南、广东、广西、海南、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆 Hebei, Shanxi, Inner Mongolia, Jilin, Heilongjiang, Zhejiang, Anhui, Fujian, Jiangxi, Henan, Hubei, Hunan, Guangdong, Guangxi, Hainan, Chongqing, Sichuan, Guizhou, Yunnan, Xizang, Shaanxi, Gansu, Qinghai, Ningxia, Xinjiang	北京、辽宁、江苏、山东 Beijing, Liaoning, Jiangsu, Shandong	天津、上海 Tianjin, Shanghai
2009	山西、内蒙古、吉林、福建、湖北、湖南、广东、广西、海南、重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆 Shanxi, Inner Mongolia, Jilin, Fujian, Hubei, Hunan, Guangdong, Guangxi, Hainan, Chongqing, Sichuan, Guizhou, Yunnan, Shaanxi, Gansu, Qinghai, Ningxia, Xinjiang	北京、河北、辽宁、黑龙江、上海、江苏、浙江、安徽、江西、山东、河南、西藏 Beijing, Hebei, Liaoning, Heilongjiang, Shanghai, Jiangsu, Zhejiang, Anhui, Jiangxi, Shandong, Henan, Xizang	天津 Tianjin
2015	山西、内蒙古、广西、重庆、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏 Shanxi, Inner Mongolia, Guangxi, Chongqing, Guizhou, Yunnan, Shaanxi, Gansu, Qinghai, Ningxia	北京、河北、辽宁、吉林、黑龙江、浙江、安徽、福建、江西、山东、河南、湖北、湖南、广东、海南、四川、西藏、新疆 Beijing, Hebei, Liaoning, Jilin, Heilongjiang, Zhejiang, Anhui, Fujian, Jiangxi, Shandong, Henan, Hubei, Hunan, Guangdong, Hainan, Sichuan, Xizang, Xinjiang	天津、上海、江苏 Tianjin, Shanghai, Jiangsu
2020	山西、甘肃 Shanxi, Gansu	北京、河北、内蒙古、吉林、浙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南、广东、广西、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、青海、宁夏、新疆 Beijing, Hebei, Inner Mongolia, Jilin, Zhejiang, Anhui, Jiangxi, Henan, Hubei, Hunan, Guangdong, Guangxi, Chongqing, Sichuan, Guizhou, Yunnan, Xizang, Shaanxi, Qinghai, Ningxia, Xinjiang	天津、辽宁、黑龙江、上海、江苏、福建、山东、海南 Tianjin, Liaoning, Heilongjiang, Shanghai, Jiangsu, Fujian, Shandong, Hainan

地区 (0.4032)、中部地区 (0.3501) 和西部地区 (0.3277), 呈现由东向西的阶梯状分布与时空非均衡特征。从时间维度来看, 我国农业正处于向绿色农业快速转型的新阶段, 从低等水平向中等、高等水平跃升的省份逐渐增多。从空间分布来看, 2003 年我国各地区农业绿色发展水平整体不高, 区域发展差异明显, 有 25 个地区的农业绿色发展水平处于低等水平, 仅有北京、辽宁、江苏、山东迈入了中等水平, 进入高等水平的地区也仅有天津、上海。2003—2009 年, 从低等水平迈进中等水平的地区增加至 7 个, 其中中部地区有安徽、江西和河南, 而西部仅有西藏进入了中等水平。同时, 受到 2008 年自然灾害和全球金融危机的影响, 各地区的农业绿色发展水平同比上年均有所回落, 其中上海从高等水平回落至中等水平。2010—2015 年, 东部和东北地区所有省份率先实现了从低等水平向中等水平跃升, 同时江苏省从中等水平迈入了高等水平, 但西部发展相对滞后, 仍有 9 个省份处于低等水平, 而中部仅剩山西省还处于低等水平。2016—2020 年, 除去山西、甘肃, 其余省份的农业绿色发展水平均迈向了更高水平, 其中辽宁、黑龙江、福建、山东、海南首次由中等水平迈入高等水平。可见, 纵观 2003—2020 年, 我国农业绿色发展水平不断提升, 但省际差异正呈现扩大趋势, 区域农业绿色发展动态调整明显, 总体上具有非均衡发展的特征。

3.2 实证检验结果分析

在进行实证检验之前, 本文采用 stata16 进行 Hausman 检验, 其结果为 $\chi^2(6)=25.85$, $\text{Prob}>\chi^2 =$

0.0002, 拒绝采用随机效应模型, 故本文采用固定效应模型进行估计, 同时为减少异方差引起的偏误, 在下列模型中采用稳健标准误进行估计。

表 4 报告了基准回归结果。根据模型 1 的结果显示, 农村人口老龄化对农业绿色发展水平具有显著的抑制作用, 农村老年人口占比每提高 1 个单位, 农业绿色发展水平下降 0.12。从控制变量来看, 人均地区生产总值和农业种植结构对农业绿色发展具有显著的正向影响, 工业化程度对农业绿色发展具有显著的负向影响, 城镇化率和农业规模化对农业绿色发展不具有显著的正向影响。模型 2 加入了农村人口老龄化的平方项, 结果显示, 一次项回归系数显著为负, 二次项回归系数显著为正, 表明农村人口老龄化对农业绿色发展的影响存在 U 型关系, 即农村人口老龄化对农业绿色发展的影响呈现“先抑后扬”的状态。这可能是因为, 随着农村人口老龄化程度加深, 未来可能会进一步放大新服务模式、生产技术以及资本等要素替代效应, 从而改善因老龄化对农业绿色发展的抑制作用, 甚至推动其抑制作用转变为促进作用。模型 3 同时加入了农村人口老龄化的平方项和立方项, 发现农村人口老龄化对农业绿色发展的影响不存在更高幂次的函数关系。因此, 上述结果表明, 我国农村人口老龄化负向影响农业绿色发展, 且这种影响存在 U 型的非线性关系, 验证了 H1a 和 H1b。

值得注意的是, 农村人口老龄化对农业绿色发展的边际影响为 $dAGD/daging=4.698aging-0.754$, 令其为 0 时, 可知模型 2 的转折点为 0.16, 结合图 1, 可

表 4 农村人口老龄化与农业绿色发展的基准回归结果
Table 4 Benchmark regression results of rural population aging and agricultural green development

变量 Variable	模型1 Model 1	模型2 Model 2	模型3 Model 3
aging	-0.120**(-1.99)	-0.754***(-3.09)	-1.246*(-1.80)
aging ²		2.349*** (2.68)	6.550(1.07)
aging ³			-11.299(-0.65)
ln(pgdp)	0.049*** (6.03)	0.047*** (5.50)	0.046*** (5.51)
ub	0.026(0.65)	0.044(1.03)	0.047(1.11)
aps	0.002*** (3.11)	0.002*** (3.71)	0.002*** (3.71)
asc	0.012(0.97)	0.020(1.40)	0.019(1.31)
ist	-0.098***(-3.82)	-0.087***(-3.49)	-0.088***(-3.51)
常数项 Constant term	-0.164*(-2.30)	-0.114(-1.49)	-0.097(-1.24)
省份固定 Provincial fixed effect	Yes	Yes	Yes
时间固定 Year fixed effect	Yes	Yes	Yes
观测值数 Observations number	558	558	558
R ²	0.950	0.951	0.951
Adj. R ²	0.945	0.946	0.946

各变量名称具体见表 2。括号内数值为 t 统计量; **、* 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平下统计显著。The detail explanation of each variable is shown in Table 2. The values in brackets are t statistics; ***, ** and * mean statistical significance at the levels of 1%, 5% and 10%, respectively.

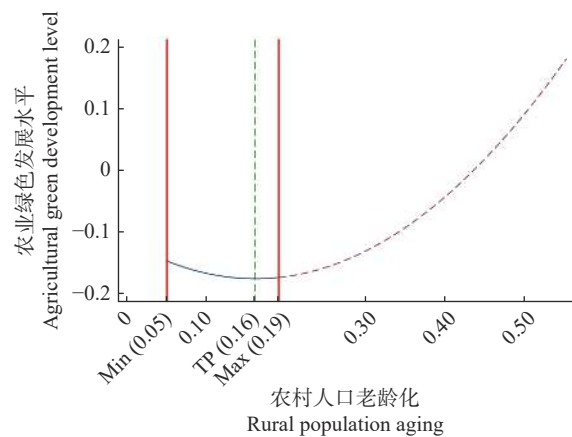


图 1 农村人口老龄化与农业绿色发展水平的非线性关系 (TP: 转折点)

Fig. 1 Nonlinear relationship between rural population aging and agricultural green development level (TP: turning point)

以发现计算所得的转折点位于农村人口老龄化最大值的左侧,表明当前的研究样本落在转折点的左右两侧,也就是说我国农村人口老龄化对农业绿色发展的影响正在由单调递减向单调递增转变。其中,转折点左侧样本量为 539,右侧样本量为 49,这说明当前农村人口老龄化对农业绿色发展的边际影响仍是以负向为主,但农村人口老龄化越过转折点的部分地区呈现出老龄化的倒逼效应,即农村人口老龄化对农业绿色发展有一定的促进作用。

3.3 稳健性检验

在基准回归估计中,可能存在方法选择和变量选择的误差导致结果有偏,为了确保基准回归结果

的可靠性,本文进行如下稳健性检验。

1) 替换被解释变量。鉴于熵权法无法考虑指标之间的相关关系,可能对农业绿色发展水平测算存在偏差,导致回归结果有偏。因此,为了修正这种偏差,本文通过采用 CRITIC 模型重新计算权重 W_{cri} ,并与熵权法计算的权重 W_{en} 重新确定组合权重 W_{con} ,即 $W_{con}=0.5\times W_{cri}+0.5\times W_{en}$,使最终的权重能够综合反映指标数据的特性以及指标之间的相关性,从而使农业绿色发展水平测算更为准确,如表 1 所示。表 5 模型 4 的结果显示,农村人口老龄化对农业绿色发展具有显著的抑制作用,与表 4 模型 1 结果具有一致性。

2) 替换核心解释变量。本文选择农村老年人口抚养比作为农村人口老龄化的替代指标代入式 (1) 和式 (2) 进行回归分析。由表 5 模型 5 和模型 6 的回归结果可知,农村老年人口抚养比变量系数的方向和显著性均未发生改变,说明上述回归结果具有稳健性。

3) 剔除直辖市。考虑北京、天津、上海、重庆 4 个直辖市在经济发展和政策导向上具有一定的独立性,为了规避该类样本的估计偏差,本文剔除 4 个直辖市的子样本再进行估计。由表 5 模型 7 的回归结果可知,农村人口老龄化的估计系数仍显著为负,证明基准回归的结果是稳健可靠的。

3.4 内生性检验

考虑到模型中可能存在因遗漏变量和潜在的互为因果关系导致的内生性问题,本文分别采用以下

表 5 农村人口老龄化对农业绿色发展影响的稳健性检验结果
Table 5 Robustness test results of the impact of rural population aging on agricultural green development

变量 Variable	模型4 (替换被解释变量) Model 4 (replace the explained variable)	模型5 (替换核心解释变量) Model 5 (replace the core explanatory variable)	模型6 (替换核心解释变量) Model 6 (replace the core explanatory variable)	模型7 (剔除直辖市) Model 7 (exclude municipalities)
aging	-0.138**(-2.24)			-0.123*(-1.73)
fyb		-0.068*(-1.93)	-0.476***(-3.30)	
fyb ²			0.010*** (2.89)	
常数项 Constant term	0.107(1.40)	-0.167*(-2.36)	-0.095(-1.22)	-0.037(-0.57)
控制变量 Control variable	Yes	Yes	Yes	Yes
省份固定 Provincial fixed effect	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定 Year fixed effect	Yes	Yes	Yes	Yes
观测值数 Observations number	558	558	558	486
R ²	0.900	0.950	0.952	0.947
Adj. R ²	0.889	0.945	0.946	0.941

各变量名称具体见表 2。括号内数值为 t 统计量; ***, ** 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平下统计显著。The detail explanation of each variable is shown in Table 2. The values in brackets are t statistics; ***, ** and * mean statistical significance at the levels of 1%, 5% and 10%, respectively.

两种方法进行检验:一是在模型 8 中分别加入土地流转率、农作物综合机械化率和农村人口平均受教育程度 3 个控制变量,进一步验证结果的稳健性。二是参照金绍荣等^[5]的做法,本文取社会保障与就业财政支出(对数值)作为工具变量,并采用两阶段最小二乘法(2SLS)和广义矩估计(GMM)方法估计农村人口老龄化对农业绿色发展的影响。根据估计结果,发现一阶段 F 值为 76.72,远大于经验值 10,说明工具变量与内生变量高度相关。同时,根据弱工具变量检验,模型 9 和模型 10 的 Cragg-Donald Wald F statistic 均为 100.654,远大于 10% 的临界值 16.38,说明所选工具变量不是弱工具变量,且 Kleibergen-Paap rk LM statistic 均在 1% 的显著水平下拒绝不可识别的原假设,并根据 Hansen J statistic 显示不存在过度

识别的问题,表明所选的工具变量是适当的。因此,结合表 6 模型 8-10 的结果,可知在 5% 的显著性水平下,农村人口老龄化对农业绿色发展的影响是负向的,与基准回归结果保持一致。

3.5 影响机制检验

为了验证农业社会化服务在农村人口老龄化对农业绿色发展影响中具有调节效应,本文加入农业社会化服务与农村人口老龄化的交互项进行验证,同时加入农业社会化服务与农村老年人口抚养比的交互项进行稳健性检验。表 7 中模型 11 和模型 12 报告了农业社会化服务调节效应检验结果,均显示交互项系数显著为正,表明农业社会化服务水平的提升可以显著缓解农村人口老龄化对农业绿色发展的抑制作用。从模型 11 来看,农村人口老龄化对农

表 6 农村人口老龄化(aging)对农业绿色发展影响的内生性检验结果

Table 6 Endogeneity test results of the impact of rural population aging (aging) on agricultural green development

变量 Variable	模型8(增加控制变量) Model 8 (add control variables)	模型9(两阶段最小二乘法) Model 9 (2SLS)	模型10(广义矩估计) Model 10 (GMM)
aging	-0.124**(-2.17)	-0.333**(-1.98)	-0.333**(-1.98)
Kleibergen-Paap rk LM statistic		72.143<0.000>	72.143<0.000>
Cragg-Donald Wald F statistic		100.654<16.38>	100.654<16.38>
Hansen J statistic		0.000	0.000
常数项 Constant term	-0.114(-1.58)	-0.318***(-7.09)	-0.318***(-7.09)
控制变量 Control variable	Yes	Yes	Yes
省份固定 Provincial fixed effect	Yes	Yes	Yes
时间固定 Year fixed effect	Yes	Yes	Yes
观测值数 Observations number	558	558	558
R^2	0.950	0.563	0.563
Adj. R^2	0.945	0.558	0.558

括号内数值为 t 统计量;***和**分别表示在1%和5%的水平下统计显著。Kleibergen-Paap rk LM statistic的尖括号内为 P 值,Cragg-Donald Wald F statistic的尖括号内为Stock-Yogo weak ID test中10% maximal IV size对应的临界值。The values in brackets are t statistics; *** and ** mean statistical significance at the levels of 1% and 5%, respectively. The P -value disclosed in angle brackets of Kleibergen-Paap rk LM statistic. The critical value corresponding to 10% maximal IV size in the Stock-Yogo weak ID test is disclosed in angle brackets of the Cragg-Donald Wald F statistic.

表 7 农业社会化服务调节效应检验结果

Table 7 Test results of the moderating effect of agricultural socialized services

变量 Variable	模型11 Model 11	模型12 Model 12
aging	-0.151**(-2.24)	
fyb		-0.105***(-2.66)
lnassv	0.006*** (3.15)	0.006*** (3.17)
lnassv×aging	0.064*** (2.72)	
lnassv×fyb		0.044*** (2.99)
常数项 Constant term	-0.078(-1.05)	-0.066(-0.91)
控制变量 Control variable	Yes	Yes
省份固定 Provincial fixed effect	Yes	Yes
时间固定 Year fixed effect	Yes	Yes
观测值数 Observations number	558	558
R^2	0.952	0.952
Adj. R^2	0.947	0.947

各变量名称具体见表2。括号内数值为 t 统计量;***和**分别表示在1%和5%水平下统计显著。The detail explanation of each variable is shown in Table 2. The values in brackets are t statistics; *** and ** mean statistical significance at the levels of 1% and 5%, respectively.

业绿色发展的边际影响是关于农业社会化服务的函数,即 $dAGD/daging=0.064lnassv-0.151$, 也为农村人口老龄化对农业绿色发展的整体影响效应。令 $0.064lnassv-0.151$ 等于零时,求得 $lnassv=2.36$,即为农村人口老龄化对农业绿色发展的影响效应拐点。因此,当农业社会化服务对数值小于 2.36 时,农村人口老龄化对农业绿色发展的影响为负,反之为正。由表 2 可知,当前我国农业社会化服务均值为 160.14 亿元、最大值为 1222.51 亿元,对数值分别为 5.08、7.11,即表明当前我国大部分地区农业社会化服务水平已经越过了拐点,农村人口老龄化对农业绿色发展的正向影响在农业社会化服务的推动下已经显现。从模型 12 稳健性检验结果来看,在 1% 的显著性水平下,农业社会化服务在农村老年人口抚养比对农业绿色发展的影响中具有正向的调节作用,与模型 11 的结果基本保持一致,且拐点的位置与上述估计相近 ($lnassv=2.39$),表明上述结果具有可靠性,验证了 H2。

3.6 异质性分析

鉴于我国农村人口老龄化问题凸显,老龄化程度不同可能对农业绿色发展的影响不同,本文按均值将样本划分为低老龄化区域和高老龄化区域进行检验。同时,本文尝试从不同的维度考虑农村人口老龄化对农业绿色发展各个子系统的异质性影响,表 8 模型 13-18 报告了异质性检验结果。

由表 8 模型 13 和模型 14 的结果可知,在低老龄化区域,农村人口老龄化会显著抑制农业绿色发展,而高老龄化区域则不显著,表明农村人口老龄化对农业绿色发展的抑制效应在老龄化程度不同的区域

具有差异。这可能是因为,在高老龄化区域,老龄农户的体能、健康水平急剧衰退,部分丧失劳动力的老龄农户通过土地流转退出农业生产,或者依赖现代农业生产新模式,如购买农机服务、农业生产托管服务缓解了老龄化对农业绿色发展的不利冲击^[6]。而在低老龄化区域,老龄农户的身体机能还处于较好的阶段,本身对先进知识、先进技术和先进服务模式依赖程度不高,而且该区域的农户趋于选择简单保守的种植模式,即仍以小农经营的粗放型农业生产方式为主^[29],因而对农业绿色发展的抑制作用更为显著。

由表 8 模型 15-18 的结果可知,农村人口老龄化对资源节约指数 (RCI) 和经济效应指数 (EEI) 具有显著的抑制作用,对环境友好指数 (EFI) 具有显著的促进作用,即农村老年人口占比每提高 1 个单位,资源节约指数和经济效应指数分别下降 0.085 和 0.125,环境友好指数上升 0.04,而农村人口老龄化对生态保育指数 (ECI) 的影响为正,但不显著。原因在于,农村人口老龄化对农业资源利用、生产环境保护、农业生产具有直接的关联,农户本身的生产行为会直接影响水土等资源利用、农药化肥要素投入、农业生产效率提升以及农业收入的获得,尤其是随着年龄的增长,农户资源节约意识减弱,且受自身劳动力质量以及健康水平下降的影响,自我增收能力也日趋下降。为了维持正常生计,一方面,农户会倾向于投入大量的生产要素,从而造成资源浪费与生产效率低下;另一方面,农户会寻求外部支持来缓解人力资本下降带来的减收影响,如将农业生产中部分或者全部作业环节委托给第三方服务组织,从而能够

表 8 农村人口老龄化 (aging) 对农业绿色发展影响的异质性检验结果

Table 8 Heterogeneity test results of the impact of rural population aging (aging) on agricultural green development

变量 Variable	模型13 Model 13 (AGD)	模型14 Model 14 (AGD)	模型15 Model 15 (RCI)	模型16 Model 16 (EFI)	模型17 Model 17 (ECI)	模型18 Model 18 (EEI)
aging	-0.328**(-2.37)	-0.118(-1.05)	-0.085***(-4.10)	0.040*** (3.80)	0.051(1.39)	-0.125***(-3.35)
常数项 Constant term	-0.022(-0.18)	0.493*** (2.65)	0.084*** (3.58)	0.016(1.33)	-0.259***(-5.76)	-0.005(-0.13)
控制变量 Control variable	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
省份固定 Provincial fixed effect	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定 Year fixed effect	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
观测值数 Observations number	316	242	558	558	558	558
R^2	0.961	0.957	0.895	0.952	0.963	0.920
Adj. R^2	0.954	0.946	0.884	0.947	0.959	0.911

各缩写的解释见表2。括号内数值为t统计量;***和**分别表示在1%和5%水平下统计显著。模型13和模型14分别为低老龄化区域和高老龄化区域。The detail explanation of each abbreviation is shown in Table 2. The values in brackets are t statistics; *** and ** mean statistical significance at the levels of 1% and 5%, respectively. Model 13 and Model 14 refer to the areas with low aging and high aging, respectively.

改善老龄农户粗放型的生产方式,并带动化肥农药减量化,促进环境友好发展。而生态保育对于农户来说,如大面积的水土流失治理、除涝、植树造林以及防灾等工程则更需要国家政策的支持,农户本身的影响相对较小,因而农村人口老龄化对生态保育的影响并不明确。另外,结合模型 15-18 的结果可知,农村人口老龄化对农业绿色发展各组成指数影响虽有所不同,但综合各个模型的影响系数来看,农村人口老龄化的负向作用相较于正向作用更大,农村人口老龄化总体上对农业绿色发展的影响是负向的。

4 结论与政策启示

4.1 结论

本文基于 2003—2020 年 31 个省份(不包括中国香港、澳门和台湾地区)的统计数据对我国农业绿色发展水平的时空变化特征进行分析,并采用双向固定效应模型和调节效应模型探讨了农村人口老龄化对农业绿色发展的影响效应以及农业社会化服务在二者关系中的作用,主要结论如下:

1) 2003—2020 年我国农业绿色发展水平逐步提升,但省际发展差异逐步扩大,呈现“非均衡”的发展特征。

2) 农村人口老龄化对农业绿色发展具有显著的抑制效应,经过稳健性和内生性检验结论依然成立。

3) 农村人口老龄化与农业绿色发展具有显著的 U 型非线性关系,转折点为 0.16,且当前的研究样本主要落在转折点的左侧,表明农村人口老龄化对农业绿色发展的边际影响以负向为主。

4) 农业社会化服务在农村人口老龄化影响农业绿色发展中具有调节作用,能够有效缓解农村人口老龄化对农业绿色发展的负面作用。

5) 分区域异质性分析表明,农村人口老龄化对农业绿色发展的抑制作用在低老龄化区域更为显著,而在高老龄化区域不显著;分维度异质性分析表明,农村人口老龄化对资源节约和经济效应具有显著的抑制作用,对环境友好具有显著的促进作用,对生态保育不具有影响,但总体上农村人口老龄化的负向作用大于促进作用,从而对农业绿色发展呈现抑制作用。

4.2 政策启示

依据前述分析和实证研究结果,得出如下政策启示:一是因地制宜制定农业绿色发展政策与实施方案,加快补齐农业绿色发展的薄弱环节与增强薄弱地区的发展动力,尤其是充分发挥东部、东北地

区农业绿色发展的头部效应与外溢作用,协同带动中部地区和西部地区各省份的农业绿色发展,从而减少各地区农业绿色发展水平差异。二是创新老龄农户职业教育、技能培训方式,从整体上提升农村人力资本积累效应。同时,大力培育新型职业农民,引导大学毕业生、能人、农民工、企业家有序回流,优化农村人力资本结构,进而缓解农业绿色发展的劳动力数量和质量约束。三是加大政策支持力度,积极鼓励农业服务公司、农民合作社、农村集体经济组织、基层供销合作社、涉农金融机构等新型经营主体提供农业社会化服务,同时不断完善农业生产社会化服务体系,有效提升农业社会化服务的供给质量和效率。四是积极引导老龄农户有序融入社会化服务体系,大力宣传推广促进化学品投入减量替代的绿色技术,鼓励支持农户采纳绿色生产技术、农业生产新模式、现代农业机械装备等现代农业绿色生产资料进行农业生产,从而推动农户尤其是老龄农户生产理念与生产方式转变。

参考文献 References

- [1] 郭海红,刘新民.中国农业绿色全要素生产率时空演变[J].中国管理科学,2020,28(9):66-75
GUO H H, LIU X M. Time-space evolution of China's agricultural green total factor productivity[J]. Chinese Journal of Management Science, 2020, 28(9): 66-75
- [2] 张童朝,颜廷武,仇童伟.年龄对农民跨期绿色农业技术采纳的影响[J].资源科学,2020,42(6):1123-1134
ZHANG T C, YAN T W, QIU T W. Effects of age on farmers' adoption of intertemporal green agricultural technology[J]. Resources Science, 2020, 42(6): 1123-1134
- [3] 姜常宜,张怡.农村人口老龄化、农业生产性服务与农业技术效率[J].世界农业,2022(6):90-100
JIANG C Y, ZHANG Y. Rural population aging, agricultural producer services and agricultural technical efficiency[J]. World Agriculture, 2022(6): 90-100
- [4] 孙明扬.中国农村的“老人农业”及其社会功能[J].南京农业大学学报(社会科学版),2020,20(3):79-89
SUN M Y. The old-age agriculture in China's rural areas and its social function[J]. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition), 2020, 20(3): 79-89
- [5] 金绍荣,王佩佩.人口老龄化、农地流转与农业绿色全要素生产率[J].宏观经济研究,2023(1):101-117
JIN S R, WANG P P. Population aging, farmland transfer and agricultural green total factor productivity[J]. Macroeconomics, 2023(1): 101-117
- [6] 孙中义,王力,李兴锋.人口老龄化、农业社会化服务与农业高质量发展[J].贵州财经大学学报,2022(3):37-47
SUN Z Y, WANG L, LI X F. Population aging, socialized agricultural services and agricultural high quality development[J]. Journal of Guizhou University of Finance and

- Economics*, 2022(3): 37–47
- [7] 魏佳朔, 宋洪远. 农业劳动力老龄化影响了粮食全要素生产率吗? ——基于农村固定观察点数据的分析验证[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2022, 22(4): 22–33
WEI J S, SONG H Y. Does ageing of agricultural labor force affect grain total factor productivity? Analysis based on fixed observation points in rural areas[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition)*, 2022, 22(4): 22–33
 - [8] 刘恩玲, 罗小锋, 杜三峡, 等. 老龄化、种植目的与稻农化学农药减量[J]. *浙江农业学报*, 2022, 34(12): 2789–2799
LIU E L, LUO X F, DU S X, et al. Aging, planting purpose and rice farmers' chemical pesticide reduction[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2022, 34(12): 2789–2799
 - [9] 黄炎忠, 罗小锋, 李容容, 等. 农户认知、外部环境与健康农业生产意愿——基于湖北省 632 个农户调研数据[J]. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(3): 680–687
HUANG Y Z, LUO X F, LI R R, et al. Farmer cognition, external environment and willingness of green agriculture production — Based on the survey data of 632 farmers in Hubei Province[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2018, 27(3): 680–687
 - [10] REN C C, ZHOU X Y, WANG C, et al. Ageing threatens sustainability of smallholder farming in China[J]. *Nature*, 2023, 616: 96–103
 - [11] 王筋旭, 李朝柱. 农村人口老龄化与农业生产的效应机制[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2020, 19(2): 60–73
WANG J X, LI C Z. Effect mechanism of rural population aging on agricultural production[J]. *Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition)*, 2020, 19(2): 60–73
 - [12] 刘成坤. 农村人口老龄化与农业全要素生产率的区域异质性[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2021, 20(6): 46–55
LIU C K. Rural population aging and regional heterogeneity of agricultural total factor productivity[J]. *Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition)*, 2021, 20(6): 46–55
 - [13] XU Q H, ZHU P X, TANG L. Agricultural services: another way of farmland utilization and its effect on agricultural green total factor productivity in China[J]. *Land*, 2022, 11(8): 1170
 - [14] LIU Z, ZHANG M L, LI Q M, et al. The impact of green trade barriers on agricultural green total factor productivity: evidence from China and OECD countries[J]. *Economic Analysis and Policy*, 2023, 78: 319–331
 - [15] LIU Y F, SUN D S, WANG H J, et al. An evaluation of China's agricultural green production: 1978–2017[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 243: 118483
 - [16] 盖美, 杨苒菲, 何亚宁. 东北粮食主产区农业绿色发展水平时空演化及其影响因素[J]. *资源科学*, 2022, 44(5): 927–942
GAI M, YANG Q F, HE Y N. Spatiotemporal changes and influencing factors of agricultural green development level in main grain-producing areas in Northeast China[J]. *Resources Science*, 2022, 44(5): 927–942
 - [17] 赵会杰, 于法稳. 基于熵值法的粮食主产区农业绿色发展水平评价[J]. 改革, 2019(11): 136–146
 - [18] ZHAO H J, YU F W. Evaluation of agricultural green development level in main grain producing areas based on entropy method[J]. *Reform*, 2019(11): 136–146
 - [18] 周静. 长江经济带农业绿色发展评价、区域差异分析及优化路径[J]. 农村经济, 2021(12): 99–108
ZHOU J. Evaluation, regional difference analysis, and optimization path of agricultural green development in Yangtze River Economic Belt[J]. *Rural Economy*, 2021(12): 99–108
 - [19] LEE C C, YAN J Y, WANG F H. Impact of population aging on food security in the context of artificial intelligence: evidence from China[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2024, 199: 123062
 - [20] 蔡昉, 王美艳. 从穷人经济到规模经济——发展阶段变化对中国农业提出的挑战[J]. 经济研究, 2016, 51(5): 14–26
CAI F, WANG M Y. Challenges facing China's agriculture as it moves towards a new development stage[J]. *Economic Research Journal*, 2016, 51(5): 14–26
 - [21] 黄季焜, 齐亮, 陈瑞剑. 技术信息知识、风险偏好与农民施用农药[J]. 管理世界, 2008(5): 71–76
HUANG J K, QI L, CHEN R J. The knowledge about technology information, predilection for running risks and peasants' application of pesticides[J]. *Management World*, 2008(5): 71–76
 - [22] 高升, 邓峰. 农村人口老龄化、农业机械化与小麦两阶段生产效率[J]. 技术经济与管理研究, 2019(10): 117–121
GAO S, DENG F. Rural population aging, agricultural mechanization and two-stage production efficiency of wheat[J]. *Journal of Technical Economics & Management*, 2019(10): 117–121
 - [23] 杨志海. 老龄化、社会网络与农户绿色生产技术采纳行为——来自长江流域六省农户数据的验证[J]. 中国农村观察, 2018(4): 44–58
YANG Z H. Ageing, social network and the adoption of green production technology: evidence from farm households in six provinces in the Yangtze River Basin[J]. *China Rural Survey*, 2018(4): 44–58
 - [24] 应瑞瑶, 徐斌. 农户采纳农业社会化服务的示范效应分析——以病虫害统防统治为例[J]. 中国农村经济, 2014(8): 30–41
YING R Y, XU B. Demonstration effect analysis of farmers' adoption of agricultural socialization service — Taking the rule of integrated control of diseases and pests as an example[J]. *Chinese Rural Economy*, 2014(8): 30–41
 - [25] 汪伟, 姜振茂. 人口老龄化对技术进步的影响研究综述[J]. 中国人口科学, 2016(3): 114–125
WANG W, JIANG Z M. A literature review on the effects of population aging on technological progress[J]. *Chinese Journal of Population Science*, 2016(3): 114–125
 - [26] 郭晓鸣, 左喆瑜. 基于老龄化视角的传统农区农户生产技术选择与技术效率分析——来自四川省富顺、安岳、中江 3 县的农户微观数据[J]. 农业技术经济, 2015(1): 42–53
GUO X M, ZUO Z Y. Analysis on production technology selection and technical efficiency of farmers in traditional agricultural areas from the perspective of aging — Micro-data of farmers in Fushun, Anyue and Zhongjiang Counties of Sichuan

- Province[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2015(1): 42–53
- [27] LI Y J, HUAN M L, JIAO X Q, et al. The impact of labor migration on chemical fertilizer use of wheat smallholders in China- mediation analysis of socialized service[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 394: 136366
- [28] 纪月清, 王许沁, 陆五一, 等. 农业劳动力特征、土地细碎化与农机社会化服务[J]. *农业现代化研究*, 2016(5): 910–916
- J I Y Q, WANG X Q, LU W Y, et al. The characteristics of rural labor, land fragmentation, and agricultural machinery services[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2016(5): 910–916
- [29] 彭柳林, 池泽新, 付江凡, 等. 劳动力老龄化背景下农机作业服务与农业科技培训对粮食生产的调节效应研究——基于江西省的微观调查数据[J]. *农业技术经济*, 2019(9): 91–104
- PENG L L, CHI Z X, FU J F, et al. Regulation effect of agricultural machinery operational services and agricultural science and technology training on grain production under the background of aging labor force — Based on the micro-survey data of Jiangxi Province[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2019(9): 91–104
- [30] 唐林, 罗小锋, 张俊飏. 购买农业机械服务增加了农户收入吗——基于老龄化视角的检验[J]. *农业技术经济*, 2021(1): 46–60
- TANG L, LUO X F, ZHANG J B. Has the purchase of agricultural machinery services increased farmers' income? — Testing from the perspective of aging[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2021(1): 46–60
- [31] QING Y, CHEN M Y, SHENG Y, et al. Mechanization services, farm productivity and institutional innovation in China[J]. *China Agricultural Economic Review*, 2019, 11(3): 536–554
- [32] 李卫, 薛彩霞, 姚顺波, 等. 农户保护性耕作技术采用行为及其影响因素: 基于黄土高原 476 户农户的分析[J]. *中国农村经济*, 2017(1): 44–57
- LI W, XUE C X, YAO S B, et al. The adoption behavior of households' conservation tillage technology: An empirical analysis based on data collected from 476 households on the Loess Plateau[J]. *Chinese Rural Economy*, 2017(1): 44–57
- [33] 闫阿倩, 罗小锋, 黄炎忠, 等. 基于老龄化背景下的绿色生产技术推广研究——以生物农药与测土配方肥为例[J]. *中国农业资源与区划*, 2021, 42(3): 110–118
- YAN A Q, LUO X F, HUANG Y Z, et al. Research on the popularization of green production technology based on the background of aging — A case study of biological pesticide and soil testing formula fertilizer[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 42(3): 110–118
- [34] 魏琦, 张斌, 金书秦. 中国农业绿色发展指数构建及区域比较研究[J]. *农业经济问题*, 2018, 39(11): 11–20
- WEI Q, ZHANG B, JIN S Q. A study on construction and regional comparison of agricultural green development index in China[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2018, 39(11): 11–20
- [35] 郝爱民. 农业生产性服务对农业技术进步贡献的影响[J]. *华南农业大学学报(社会科学版)*, 2015, 14(1): 8–15
- HAO A M. Research of agricultural producer services' effect on agricultural technology progress[J]. *Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition)*, 2015, 14(1): 8–15
- [36] 张恒, 郭翔宇. 农业生产性服务业发展与农业全要素生产率提升: 地区差异性与空间效应[J]. *农业技术经济*, 2021(5): 93–107
- ZHANG H, GUO X Y. The promotion effect of agricultural producer services on agricultural total factor productivity: Regional differences and spatial effect[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2021(5): 93–107
- [37] 杜建国, 李波, 杨慧. 人口老龄化下农业人力资本对农业绿色全要素生产率的影响[J]. *中国人口·资源与环境*, 2023, 33(9): 215–228
- DU J G, LI B, YANG H. Impact of agricultural human capital on agricultural green total factor productivity under population aging[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2023, 33(9): 215–228
- [38] XIE W, ZHU A F, ALI T, et al. Crop switching can enhance environmental sustainability and farmer incomes in China[J]. *Nature*, 2023, 616: 300–305