



宋雪, 刘奥, 何玉成. 农村劳动力老龄化对水稻全要素生产率的影响——基于中国水稻主产区的实证分析[J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(3): 272-285.

SONG Xue, LIU Ao, HE Yucheng. Impact of aging rural labor on total factor productivity of rice: Empirical analysis based on the main rice production areas of China[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(3): 272-285.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.03.24

农村劳动力老龄化对水稻全要素生产率的影响 ——基于中国水稻主产区的实证分析

宋雪 刘奥 何玉成*

(华中农业大学 经济管理学院, 武汉 430070)

摘要 为探究农村劳动力老龄化对水稻全要素生产率的影响。基于2002—2021年中国23个水稻主产省(市、自治区)的面板数据,采用DEA-Malmquist指数法测算水稻全要素生产率,利用基准回归模型、调节效应模型和分组回归模型,系统分析了农村劳动力老龄化对水稻全要素生产率的影响及机理。结果表明:1)农村劳动力老龄化显著抑制了水稻全要素生产率增长;2)农村劳动力老龄化主要通过阻碍技术进步抑制水稻全要素生产率增长;3)机械化水平缓解了农村劳动力老龄化对水稻全要素生产率的抑制作用,但受地形约束,机械化水平的缓解作用仅在平原地区显著,在丘陵地区不显著。化肥施用强度在农村劳动力老龄化与水稻全要素生产率的关系中具有“倒u型”调节作用;4)异质性分析发现,农村劳动力老龄化对水稻全要素生产率的抑制作用仅在南方稻作区显著,在北方稻作区的抑制作用并不明显。为此,提出重视农村人才振兴、加大农业技术学习培训投入、加快农业机械化发展和引导农户科学合理施用化肥等建议。

关键词 农村劳动力; 老龄化; 全要素生产率; 机械化水平; 化肥施用强度

中图分类号 F322

文章编号 1007-4333(2025)03-0272-14

文献标志码 A

Impact of aging rural labor on total factor productivity of rice: Empirical analysis based on the main rice production areas of China

SONG Xue, LIU Ao, HE Yucheng*

(Huazhong Agricultural University, School of Economics and Management, Wuhan 430070, China)

Abstract To investigate the impact of rural labor aging on rice total factor productivity, based on the panel data of 23 major rice-producing provinces (municipalities and autonomous regions) in China from 2002 to 2021, the DEA-Malmquist index method was used to measure the total factor productivity of rice. The baseline regression model, mediating effect model and moderating effect model were used to systematically analyze the impact and the mechanism of rural labor aging on the total factor productivity of rice. The results show that: 1) Rural labor aging significantly inhibits the growth of rice total factor productivity; 2) Rural labor aging inhibits the growth of rice total factor productivity by hindering technological progress; 3) The mechanization level mitigates the inhibition of rice total factor productivity by rural labor aging, but the moderating effect of the mechanization level is only significant in the plains and not in the hilly areas due to the constraints of the terrain. Fertiliser application intensity has an

收稿日期: 2024-03-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(71573098);现代农业产业技术体系建设专项(CAR-21);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2662024YT009)

第一作者: 宋雪(ORCID:0009-0008-2468-8483),博士研究生, E-mail: augustluck@163.com

通讯作者: 何玉成(ORCID:0009-0004-7080-9451),教授,主要从事农业经济管理研究, E-mail: hych@mail.hzau.edu

"inverted u-shaped" moderating effect in the relationship between rural labor aging and rice total factor productivity; 4) Heterogeneity analysis found that the inhibitory effect of rural labor ageing on rice total factor productivity is only significant in the southern rice cropping area, and not obvious in the northern rice cropping area. In this regard, suggestions are put forward, which are paying attention to the revitalization of rural talents, increasing the input of learning and training for the elderly labour force, accelerating the development of agricultural mechanization and guiding farmers to use fertilizers in a scientific and rational manner.

Keywords rural labor; ageing; total factor productivity; mechanisation level; fertiliser application intensity

党的二十大报告中指出,要以推动高质量发展为主题,着力提高全要素生产率,加快农业强国建设。2023年中央一号文件再次强调,强国必先强农,农强方能国强,要全方位夯实粮食安全根基,确保中国人的饭碗牢牢端在自己手中,提高粮食全要素生产率。可见,保障粮食安全、加快农业强国建设的关键在于提高粮食全要素生产率^[1]。

农民作为农业生产的决策者和执行者,直接影响粮食全要素生产率。当前,农业生产中两大典型特征是小农经营和劳动力老龄化。根据第三次农业普查数据,我国小农户数量占到农业经营主体98%以上,小农户从业人员占农业从业人员90%,小农户经营耕地面积占总耕地面积的70%。在小农经营背景下,劳动力是农业生产中最为依赖的生产要素^[2]。但随着城镇化和工业化的发展,农村大量青壮年涌入城市和非农部门,农村劳动力老龄化问题日益凸显,导致农村劳动力的供给数量和质量下降,引发了“未富先老”“未来谁来种地”等一系列问题。农村劳动力老龄化是否会危及粮食安全这一话题日益突出。截止到2023年底,我国粮食产量达6.95亿t,其中水稻产量达2.06亿t,分别是2002年的1.52倍和1.18倍。作为我国的第一大口粮作物,水稻对保障我国粮食安全的重要性不言而喻。当前,我国水稻分为早稻、中稻、粳稻和晚稻等多个品种,主要分布在23个水稻主产省(市、自治区)。相比小麦和玉米,水稻生产环节多,难度大,对劳动投入需求更多。因此,在劳动力老龄化的背景下,研究水稻的全要素生产率对农民增产增收、保障粮食安全有重要的现实意义。

现有研究主要探讨了农村劳动力老龄化对农业生产以及粮食产量的影响,研究结论存在明显的分歧。有学者认为,农村劳动力老龄化不利于农业生产和粮食增产。考虑到老年劳动力体力衰退势必会导致劳动力供给强度减弱,造成务农质量下

降^[3],同时,老龄劳动力思想保守、风险规避性强,可能会阻碍农业新技术和新型生产方式的推广和采纳^[4]。也有学者认为,农村劳动力老龄化具有积极影响。一方面,劳动力供给质量和数量下降,会倒逼农业技术进步^[5],并促使农户有效调整要素配置和粮食种植结构^[6]。另一方面,老龄劳动力具有更高的生产专注度和丰富的农业生产经验,在农业生产经营过程中,会做出更优的经济决策。还有学者认为,随着农业机械化和社会化服务的普及,老龄和青壮年劳动力在粮食种植决策、要素投入配置和粮食单产水平上没有明显差别^[7]。

通过以上分析发现已有文献还存在一些值得改进和探讨的空间。首先,关于农村劳动力老龄化对农业生产、粮食产量的研究较为丰富,但对粮食全要素生产率的研究关注度不足,尤其缺少对水稻全要素生产率的研究;其次,农业生产要素之间的替代关系势必会影响农村劳动力老龄化与粮食全要素生产率的强弱关系。而农业机械和化肥作为粮食生产中至关重要的生产要素,却鲜有研究分析机械和化肥对农村劳动力的替代作用关系;最后,水稻主产区涵盖全国23个省(市、自治区),忽视区域自然禀赋条件差异难以全方面解释农村劳动力老龄化对水稻全要素生产率的影响。

鉴于此,本研究以2002—2021年我国23个水稻主产省份为样本,拟从以下几个方面展开研究:第一,实证检验农村劳动力老龄化对水稻全要素生产率的影响及机制效应;第二,验证机械化水平和化肥施用强度在农村劳动力老龄化和水稻全要素生产率影响中的调节效应;第三,探究农村劳动力老龄化对不同稻作区水稻全要素生产率的异质性作用。通过研究上述问题,尝试厘清农村劳动力老龄化对水稻全要素生产率的因果逻辑和内在机制,以期为保障粮食安全、推动农业强国建设提供一定决策依据。

1 理论分析和研究假说

1.1 农村劳动力老龄化对水稻全要素生产率的影响分析

1.1.1 直接效应

参考已有研究的做法^[4,7],采用劳动增强型的Cobb-Douglas(C-D)生产函数从理论上验证农村劳动力老龄化对水稻TFP(水稻全要素生产率, Total Factor Productivity)的影响。具体形式设定如下:

$$Y_{it} = K_{it}^{\alpha_i} [L_{it} A_{it} \psi(l_{it})]^{\beta_i} \quad (1)$$

式中: Y_{it} 为省份 i 在 t 年份的水稻产量; K_{it} 为所投入的资本数量; L_{it} 为劳动投入; A_{it} 为技术因子; α_i 和 β_i 分别为资本和劳动的弹性系数; $\psi(l_{it})$ 为考虑了劳动力年龄因素后农业劳动力的综合劳动能力。

根据本研究内容,采用 y 表示青壮年群体, o 表示老龄群体,下同,将劳动投入细分为青壮年劳动力 L_{it}^y 和老龄劳动力 L_{it}^o ,可得:

$$L_{it} = L_{it}^y + L_{it}^o \quad (2)$$

由于青壮年劳动力和老龄劳动力在健康状况和劳动能力等方面存在差异,且一般认为老龄劳动力的生产效率低于青壮年劳动力,引入老龄劳动力相对青壮年劳动力的生产率 η , 则 $0 < \eta < 1$ 。本研究采用线性加总来表示水稻生产中农业综合劳动能力 $\psi(l_{it})$:

$$\psi(l_{it}) = l_{it}^y + \eta l_{it}^o \quad (3)$$

式中: l_{it}^y 和 l_{it}^o 分别为青壮年劳动力和老龄劳动力占总劳动力的比重,有 $l_{it}^y + l_{it}^o = \frac{L_{it}^y}{L_{it}} + \frac{L_{it}^o}{L_{it}} = 1$, 水稻生产中农业综合劳动能力 $\psi(l_{it})$ 可进一步表示为:

$$\psi(l_{it}) = 1 + (\eta - 1) l_{it}^o \quad (4)$$

结合式(1)和(4),并对两边取对数得到式(5):

$$\begin{aligned} \ln Y_{it} &= \alpha_i \ln K_{it} + \beta_i \ln L_{it} + \beta_i \ln A_{it} + \beta_i \ln [1 + (\eta - 1) l_{it}^o] \\ &\approx \alpha_i \ln K_{it} + \beta_i \ln L_{it} + \beta_i \ln A_{it} + \beta_i (\eta - 1) l_{it}^o \end{aligned} \quad (5)$$

因此,可以得到水稻TFP表达式如下:

$$\begin{aligned} \ln TFP_{it} &= \ln Y_{it} - \alpha_i \ln K_{it} - \beta_i \ln L_{it} = \beta_i \ln A_{it} + \\ &\quad \beta_i (\eta - 1) l_{it}^o \end{aligned} \quad (6)$$

用差分形式表示水稻TFP,可得:

$$\begin{aligned} \Delta \ln TFP_{it} &= \Delta \ln Y_{it} - \alpha_i \Delta \ln K_{it} - \beta_i \Delta \ln L_{it} = \\ &\quad \beta_i \Delta \ln A_{it} + \beta_i (\eta - 1) \Delta l_{it}^o \end{aligned} \quad (7)$$

基于式(7),用 Δl_{it}^o 对 $\Delta \ln TFP_{it}$ 求导可得:

$$\frac{\partial \Delta \ln TFP_{it}}{\partial \Delta l_{it}^o} = \beta_i (\eta - 1) \quad (8)$$

由前述可知, $0 < \eta < 1$ 且 $\beta_i > 0$ 。因此, $\beta_i (\eta - 1) < 0$, 即农村劳动力老龄化程度加剧不利于水稻TFP增长。

基于此,提出假说1:农村劳动力老龄化抑制了水稻TFP增长。

1.1.2 间接效应

在规模报酬不变的情况下,全要素生产率可分解为技术进步和技术效率。技术进步是指不同时期生产前沿面向外移动,即在生产技术的不断创新下,同样一组投入要素不变情况下实现更多的产出。技术效率强调既有生产资源的合理配置,反映不同农业投入物的利用效率。本研究从技术进步和技术效率2个机制出发,分析农村劳动力老龄化对水稻TFP的影响。

农村老龄劳动力具有认知能力和学习能力低、传统农业路径依赖、风险规避性强的特征,不利于新技术采纳,进而阻碍技术进步。首先,老龄劳动力的认知能力和学习能力相对不足,对各类新技术的采纳意愿不高。老龄劳动力人力资本水平弱化,接受新事物和新技术的能力明显不足,学习和采纳新技术的成本更高,可能对新技术和新品种采纳产生抗拒心理^[8-9]。诸如秸秆还田、测土配方施肥等农业绿色技术,老龄农户采纳意愿和采纳程度较低。其次,老龄劳动力对传统农业生产方式具有路径依赖。老龄劳动力的劳动技能和知识体系基本固化,难以在短时间内转变生产思维,通常基于过往的经验判断和生产习惯进行水稻生产^[3],不利于新型农业技术的采纳运用^[10-11]。最后,老龄劳动力的风险规避性较强,思想较为保守。在劳动力市场上,老龄劳动力不具备竞争优势,兼业机会较少,收入主要来源于农业生产,促使其风险规避性增强,在农业生产过程中不敢贸然改变,而新技术的采用过程往往具有一定的风险,因此老龄劳动力对新技术采用更加谨慎,不利于农业技术进步^[12]。

农村劳动力老龄化降低了劳动力有效供给,引发劳动生产率和农业要素配置效率下降,进而抑制技术效率。首先,农村劳动力老龄化导致劳动生产率下降,降低水稻作业质量,进而抑制技术效率。劳动力老龄化程度加剧,造成劳动力的健康状况和劳动能力不断衰退,降低了劳动力供给的质量。相比于小麦和玉米等旱地作物,水稻生产环节多、难度大,对劳动力质量要求较高^[13]。老龄劳动力的劳

动生产率下滑,降低水稻种植的劳动投工比和精细化耕作水平,对农户水稻生产技术效率产生负面影响。其次,农村劳动力老龄化会引发农业要素配置效率下降,进而降低技术效率。一方面,劳动力老龄化会导致农户进行粗放式生产,造成生产要素投入过量进而抑制技术效率。在水稻实际生产过程中,要素投入过量现象层出不穷,过度施用化肥、农药等化学用品引起耕地地力下降和面源污染,但为了增加水稻产量,农户会继续增加要素投入,进一步加重技术效率损失^[14]。另一方面,老龄劳动力经营能力不足可能会约束土地经营规模,农户会放弃土地质量差、灌溉条件差的土地,导致土地弃耕概率增加,造成土地资源浪费和农业生产效率下降^[15]。

基于此,提出假说2:农村劳动力老龄化通过阻碍技术进步和技术效率抑制了水稻TFP增长。

1.2 机械化水平和化肥施用强度的调节作用分析

农村劳动力老龄化导致劳动力供给下降,农业生产要素的丰富程度发生变化,进而影响要素的相对价格变化。根据诱致性技术变迁理论,要素禀赋变化会诱发微观主体实现相对低廉的丰裕要素对昂贵的稀缺性要素的替代^[16]。随着农村老龄劳动力不断加重,农村劳动力相对机械和化肥等要素的稀缺程度和价格逐渐上升,老龄劳动力倾向于选择机械和化肥等要素替代劳动^[17]。具体分析如下。

在农村劳动力老龄化过程中,伴随劳动力供给数量下降变化的是劳动力成本上升,农户会倾向使用充裕和相对便宜的农业机械,以缓解劳动力供给不足的不利影响^[18]。作为劳动节约型技术,农业机械化可以有效替代劳动力,降低农业生产过程中的劳动力需求,在农业劳动力不断老龄化的过程中保障农业生产,减弱劳动力供给下降的负面影响。一方面,水稻生产需要经历收割、捆绑和清洗等多道工序,相较于人工,农业机械更具有统一性、专业性和及时性,不仅能节约作业时间,还能减少因劳动力质量差异造成的损耗^[19]。另一方面,农业机械化水平的提高意味着更多的机械应用于农业生产^[15],促进农业分工,使农业生产者和机械技术提供者更专注相对禀赋优势,提高了农业生产管理水平,进而促进生产效率提升。

作为现代农业生产要素,化肥在农业增产增效方面发挥重要作用。合理施用化肥不仅能有效替

代劳动力,提高耕地生产率,也能提高农业生产效率。但老龄农户为应对劳动供给质量下降,往往倾向于增加化肥用量而减少劳动力投入,以保证水稻稳增稳产^[20]。有学者研究发现,农业生产中化肥施用量增加,但增产效率却下降^[21-22]。这表明适量施用化肥可以补充土壤养分,有利于作物生长,但过量的化肥施用强度既增加生产成本,又造成耕地质量下降、面源污染等问题,对作物生产构成威胁^[23]。因此,化肥施用量并非越多越好,科学合理地施用化肥才能有效替代劳动力不足的负面影响。

基于此,提出假说3:机械化水平缓解了农村劳动力老龄化对水稻TFP增长的抑制作用。

假说4:化肥施用强度在农村劳动力老龄化与水稻TFP的关系中具有“倒U型”的调节作用,即在化肥施用强度较小时,随着化肥施用强度增大,农村劳动力老龄化对水稻TFP增长的抑制作用会减小;当化肥施用强度达到一定水平时,继续增加化肥施用量会加剧农村劳动力老龄化对水稻TFP增长的抑制作用。

2 研究方法

2.1 数据来源

本研究采用2002—2021年23个水稻主产省份的平衡面板数据检验农村劳动力老龄化对水稻TFP增长的影响。具体省份包括:浙江、安徽、福建、江西、湖北、湖南、广东、广西、海南、江苏、河南、重庆、四川、贵州、云南、陕西、河北、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、宁夏和山东,以上省份2021年的水稻产量达到全国水稻总产量的99.1%以上,具有较强的代表性。相关数据来源于《中国人口和就业统计年鉴》^[24]《中国统计年鉴》^[25]《中国农村统计年鉴》^[26]和《全国农产品成本收益资料汇编》^[27]。涉及到价格的数据,均采用相应指数进行平减。对于个别缺失值,采用线性插值法进行补充。

2.2 变量选取

被解释变量。测算水稻TFP通常需要两类指标,即投入变量和产出变量。参考朱满德等^[28],本研究以各省份的水稻单位面积产量作为产出指标,以水稻单位面积用工数量、单位面积种子使用量、单位面积化肥施用量和单位面积机械作业费分别作为水稻的劳动投入和资本投入等投入指标。基于以上投入产出指标,本研究使用产出导向规模报

酬不变的DEA-Malmquist指数法测算出水稻TFP,并将其转化为累积增长指数,作为实证模型的被解释变量。

核心解释变量。本研究的核心解释变量为农村劳动力老龄化。考虑到农村地区的实际情况,已有研究大多用15~64岁的农户反映农村青壮年劳动力,用65岁以上的农户反映老龄劳动力。借鉴已有研究^[13,29],本研究采用农村65岁以上人数占农村15~64岁人数比重来反映农村劳动力老龄化。该指标体现了老龄劳动力与青壮年劳动力的相对比例,更好的反映了农村劳动力老龄化程度。

控制变量。本研究选取了农业受灾率、财政支农力度和城镇化率等5个控制变量。农业受灾率为农作物受灾面积与农作物总播种面积的比重,水稻生产具有弱质性,生产过程易受自然环境的制约,可能对水稻TFP产生影响。财政支农力度采用农

林水事务支出占总财政支出的比重衡量,财政支农力度增加有助于水稻生产条件的改善,推动水稻TFP增长。城镇化率采用城镇人口与总人口的比重表示,城镇化进程加快农村劳动力转移,加剧农村劳动力老龄化,不利于水稻生产。有效灌溉率用有效灌溉面积与农作物总播种面积的比重计算,有效灌溉率越高,土壤储水和保水能力越强,能促进水稻TFP增长。农村人力资本水平采用农村居民人均受教育年限衡量,具体测度公式如下,人均受教育年限=(样本含小学文化程度人口数×6+初中文化程度人口数×9+高中文化程度人口数×12+大专及以前文化程度人口数×16)/六岁以上抽样总人口,农村居民受教育水平越高,导致非农就业增加,加剧农村劳动力流失,可能阻碍水稻TFP增长。

表1为本研究主要变量的描述性统计结果。

表1 变量定义与描述性统计
Table 1 Variable definition and descriptive statistics

变量 Variable	符号 Symbol	平均值 Mean	标准差 SD	最大值 Max	最小值 Min
全要素生产率 Total factor productivity	TFP	1.181	0.415	2.562	0.013
技术进步 Technological progress	Te	1.144	0.345	2.009	0.015
技术效率 Technological efficiency	Eff	1.025	0.142	1.454	0.678
农村劳动力老龄化 Rural labor aging	Old	0.168	0.065	0.458	0.066
农业受灾率 Agricultural disaster rate	Disa	0.209	0.146	0.936	0.006
财政支农力度 Agriculture support of financial	Gov	0.104	0.030	0.190	0.045
城镇化率 Urbanization rate	Urb	0.508	0.121	0.746	0.199
有效灌溉率 Effective irrigation rate	Irr	0.372	0.118	0.743	0.145
农村居民人均受教育水平,年 Level of education per rural resident	Edu	7.493	0.583	8.920	5.512
人均农业机械动力,(kW/人) Power of agricultural machinery per capita	Mac	3.780	2.249	13.396	0.517
人均化肥折纯量,(t/人) Fertilizers per capita	Che	0.231	0.101	0.573	0.054

2.3 模型设定

水稻TFP测算模型设定。本研究采用数据包络分析(DEA)对水稻TFP进行测算。数据包络法无需设定具体的生产函数,避免了生产函数设定不当导致的偏误;无需考虑投入产出量纲的问题;以

及能对TFP进行分解。其中数据包络法中最常用的方法是DEA-Malmquist指数法,该指数基于两期投入和产出的距离函数来测算TFP,适用于面板数据。

借鉴林青宁等^[30]的做法,本研究选择产出导向

规模报酬不变的 DEA-Malmquist 指数法来测算和分解水稻 TFP。在规模报酬不变下,全要素生产率可分解为技术进步(Te)和技术效率变化(Eff),计算和分解如下。

M^{t,t+1}_0 = \left[\frac{D^t_0(x^{t+1},y^{t+1})}{D^t_0(x^t,y^t)} \times \frac{D^{t+1}_0(x^t,y^t)}{D^{t+1}_0(x^{t+1},y^{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{D^{t+1}_0(x^{t+1},y^{t+1})}{D^t_0(x^t,y^t)} \times \left[\frac{D^t_0(x^{t+1},y^{t+1})}{D^{t+1}_0(x^{t+1},y^{t+1})} \times \frac{D^t_0(x^t,y^t)}{D^{t+1}_0(x^t,y^t)} \right]^{\frac{1}{2}} = \text{Eff} \times \text{Te} \tag{9}

式中： $M^{t,t+1}_0$ 为水稻 TFP 指数,表示从 t 到 $(t+1)$ 时期水稻 TFP 的增减变化情况。若 $M^{t,t+1}_0 > 1$,则表示水稻 TFP 相对上一年增长,反之则下降。

基本模型设定。首先,构建如下双向固定效应模型检验农村劳动力老龄化对水稻 TFP、技术进步和技术效率的影响,具体模型如下。

\ln Y_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \ln Old_{i,t} + \beta_2 X_{i,t} + \mu_i + \eta_t + \epsilon_{i,t} \tag{10}

式中：下标 i 和 t 分别为省份 i 和年份 t ； Y 为水稻 TFP、技术进步和技术效率；Old 为核心解释变量农村劳动力老龄化程度。 $X_{i,t}$ 为控制变量, μ_i 和 η_t 分别为省份固定效应和时间固定效应, $\epsilon_{i,t}$ 为随机扰动项, $\ln$ 为取自然对数。

在此基础上,进一步检验机械化水平和化肥施用强度在农村劳动力老龄化对水稻 TFP 影响关系

中的调节作用,具体模型设定如下。

\ln TFP_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \ln Old_{i,t} + \beta_2 Mac_{i,t} + \beta_3 \ln Old_{i,t} \times Mac_{i,t} + \beta_4 X_{i,t} + \mu_i + \eta_t + \epsilon_{i,t} \tag{11}

\ln TFP_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \ln Old_{i,t} + \beta_2 Che_{i,t} + \beta_3 Che^2_{i,t} + \beta_4 \ln Old_{i,t} \times Che_{i,t} + \beta_5 \ln Old_{i,t} \times Che^2_{i,t} + \beta_6 X_{i,t} + \mu_i + \eta_t + \epsilon_{i,t} \tag{12}

式(11)和(12)中:Mac 为机械化水平,参考吴海霞等^[19],该指标采用机械化总动力与第一产业就业人数的比重来衡量;Che 为化肥施用强度,采用化肥折纯量与第一产业就业人数的比重来衡量。其余变量解释与前述一致。同时,将农村劳动力老龄化、机械化水平和化肥施用强度分别做中心化变换。

3 实证结果与分析

3.1 水稻 TFP 及其分解项的统计分布分析

基于前述选取的投入产出指标,采用 DEA-Malmquist 指数模型对水稻 TFP 进行测算和分解。DEA-Malmquist 指数测算的水稻 TFP 是本年相对于上年的变化率,为从长时期反映水稻 TFP 及其分解项的演变趋势,参考已有研究^[31-32],本研究将 DEA-Malmquist 指数换算为 2001 年为基期的累积增长率进行分析汇报。

表 2 为 2002—2021 年水稻 TFP 累积增长指数及其分解项情况。样本期内,水稻 TFP 整体上呈现

表 2 2002—2021 年水稻 TFP 增长及其分解项结果
Table 2 Rice TFP growth and its decomposition term results from 2002 to 2021

年份 Year	全要素生产率 TFP	技术进步 TE	技术效率 EFF	年份 Year	全要素生产率 TFP	技术进步 TE	技术效率 EFF
2002	0.980	0.965	1.015	2013	1.174	1.172	0.993
2003	0.986	0.949	1.039	2014	1.270	1.211	1.042
2004	1.060	1.044	1.012	2015	1.278	1.233	1.023
2005	1.016	1.016	0.998	2016	1.282	1.244	1.021
2006	1.031	1.004	1.020	2017	1.267	1.232	1.026
2007	1.081	1.048	1.018	2018	1.304	1.255	1.036
2008	1.121	1.105	1.010	2019	1.345	1.265	1.062
2009	1.129	1.095	1.025	2020	1.345	1.297	1.032
2010	1.120	1.112	1.001	2021	1.412	1.338	1.046
2011	1.190	1.134	1.030	均值 Mean	1.181	1.144	1.025
2012	1.219	1.154	1.047				

出快速增长的态势,累积增长率为1.181,即2021年相对于2001年提高了18.1%;水稻技术进步经历了波动增长到平稳增长的变化轨迹,技术进步累计率为1.144;水稻技术效率以波动增长形式缓慢上升,累积增长率为1.046。通过对比水稻TFP增长和水稻技术进步的变化趋势可以发现,二者变化趋势基本一致;可以发现,水稻TFP增长由技术进步和技术效率共同驱动,且主要动力是技术进步,这与李谷成等^[32]的研究一致。

3.2 水稻 TFP 及其分解项的时空特征分析

根据水稻种植区域自然资源、气候条件等特征,将中国稻作区以秦岭淮河一线为界分为南北两大稻作区。其中,北方稻作区包括陕西、河北、河南、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、宁夏和山东等9个省份,其余14省为南方稻作区。

图1为我国稻作区水稻TFP增长时空演变趋势

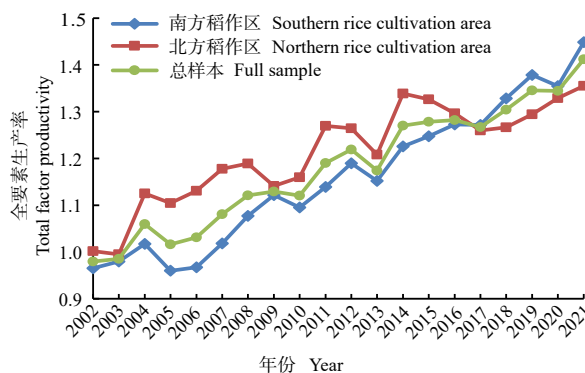


图1 水稻 TFP 增长时空演变趋势

Fig.1 Trends in spatial and temporal evolution of TFP growth in rice

图2汇报了我国稻作区水稻TFP增长分解项时空演变趋势。图2(a)显示,南方稻作区的技术进步上升趋势最快,其次是总样本,最后是北方稻作区。可以发现,2002—2008年,北方稻作区技术进步高于南方稻作区,2009年开始,南方稻作区技术进步水平超过北方稻作区,且二者之间的差异逐渐增大,其中从2017年开始,南北稻作区技术进步上升速度差距更为明显。可能是因为南方经济发展水平的逐步提高拉大了与北方的经济差距,经济增长为区域技术发展提供资金和物质基础,提高了技术创新水平,从而带动了农业技术进步。图2(b)显示,南北稻作区的技术效率在波动中略有提升,其中北方稻作区技术效率基本上均高于南方稻作区。北方稻作区多为平原地区,地势平坦,耕作条件较

好,机械化作业面临的约束少,适宜大规模集约化生产,提高了技术效率。对比图2(a)和(b)可以发现,技术效率水平均明显低于技术进步,再次验证水稻TFP增长主要是由技术进步驱动的。

势。可知,水稻TFP整体上可以分为2个阶段。第一阶段为2002—2016年,北方稻作区的水稻TFP高于总样本均值,而南方稻作区的水稻TFP低于总样本均值。第二阶段为2017—2021年,南方稻作区的水稻TFP超过总样本均值和北方稻作区。出现这一现象的原因可能是,一方面,2017年国务院颁布了《关于建立粮食生产功能区和重要农产品生产保护区的指导意见》,意见中指出以水稻优势区为重点,划定水稻生产功能区,其中南方稻作区水稻种植面积占水稻优势区90%以上,这表明南方稻作区作为重点发展区域,为实行水稻精准化生产奠定基础,提高了水稻TFP;另一方面,2017年后,相比于北方稻作区,南方稻作区技术进步水平增长较快,驱动南方稻作区水稻TFP增长,这一点在图2(a)中也得到验证,即从2017年,南方稻作区技术进步上升趋势明显高于北方稻作区。

3.3 基准回归

主效应回归结果见表3模型(1),核心解释变量的系数为-0.474,在1%水平上显著为负,表明农村劳动力老龄化程度每增加1%,水稻TFP会下降0.474%,因此劳动力老龄化对水稻TFP增长具有显著负向影响。假说1得到验证。从控制变量的估计系数来看,农业受灾率系数在5%水平上显著为负,表明自然灾害对水稻生产产生了负面作用,抑制了水稻TFP增长。有效灌溉率对水稻TFP增长的影响显著为正,伴随农村水利设施不断完善,耕

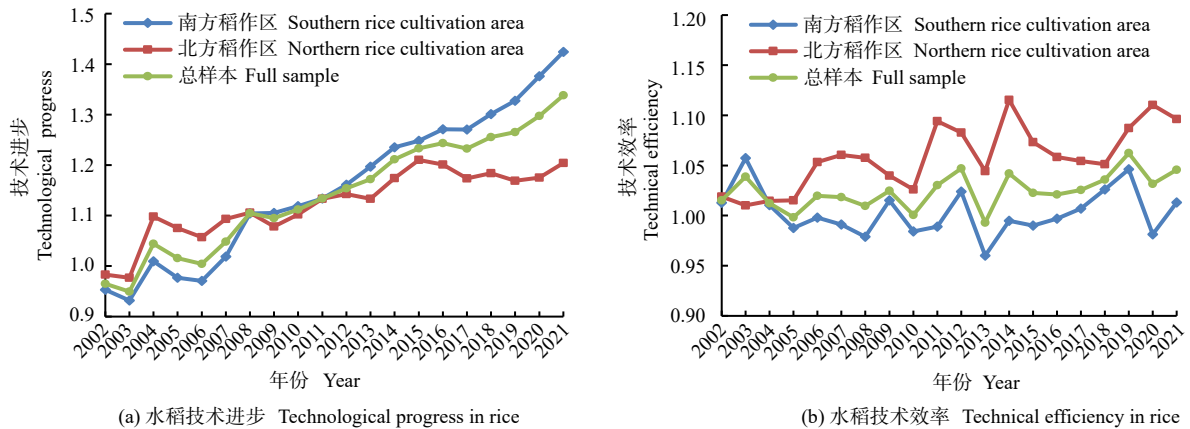


图2 水稻技术进步和技术效率时空演变趋势

Fig.2 Trends in the spatial and temporal evolution of technological progress and technical efficiency in rice

表3 基准回归结果

Table 3 Benchmark regression results

变量 Variable	模型(1) Model (1)	模型(2) Model (2)	模型(3) Model (3)
	lnTFP	lnTe	lnEff
农村劳动力老龄化	-0.474**	-0.527***	0.051
lnOld	(0.195)	(0.188)	(0.036)
农业受灾率	-0.256**	-0.184*	-0.073**
Disa	(0.120)	(0.111)	(0.034)
财政支农	-0.200	-0.390	0.197
Gov	(1.378)	(1.318)	(0.323)
有效灌溉率	0.805***	0.842***	-0.038
Irr	(0.262)	(0.253)	(0.096)
农村居民人均受教育水平	-0.286***	-0.354***	0.068***
Edu	(0.087)	(0.085)	(0.020)
城镇化率	0.116	0.110	0.008
Urb	(0.399)	(0.411)	(0.134)
常数项	0.924*	1.195**	-0.272*
Cons	(0.483)	(0.471)	(0.146)
时间固定 Time fixed	YES	YES	YES
省份固定 Province fixed	YES	YES	YES
观测值 N	460	460	460
R ²	0.845	0.845	0.719

注:括号内数值是稳健标准误;***、**和*分别表示1%、5%和10%的显著性水平。下同。

Note: Values in parentheses are robust standard errors; ***, ** and * denote significance levels of 1%, 5% and 10%, respectively. The same below.

地质量提升,促进了水稻 TFP 增长。农村居民人均受教育年限显著为负,农村劳动力受教育程度提高,非农就业增加,加剧农村劳动力流失,导致水稻 TFP 下降。

机制效应回归结果见表3模型(2)和(3)。以水稻技术进步为被解释变量进行估计,由模型(2)可知农村劳动力老龄化对水稻生产的技术进步产生显著的负面影响,这一结论与部分学者的研究一

致^[5]。可能的原因是,老龄劳动力的学习能力、认知能力大有下降,需要消耗更多的精力和时间去学习新技术,降低了新技术使用可能性^[11]。同时,老龄劳动力对传统农业生产方式具有路径依赖,对新知识新技术接受程度较低,以及其风险规避性强,对新技术采用更加谨慎,不利于技术进步。

以水稻技术效率作为被解释变量进行回归,模型(3)显示农村劳动力老龄化未对水稻技术效率产生显著影响。可能的原因在于,随着机械化和社会化服务水平的提高,降低了水稻生产中的劳动投入需求,有效缓解老龄劳动力能力下降带来的技术效率下降;另一方面,老龄劳动力拥有长期的务农经验,相较于青壮年更具有技术效率优势,有利于水稻投入要素的集约使用和成本节约^[3],有利于技术效率提升。因此,农村劳动力老龄化并未对技术效率产生明显的负面影响。

因此,农村劳动力老龄化是通过阻碍技术进步抑制水稻 TFP 增长,而非通过技术效率,假说2部分得到验证。

3.4 稳健性检验

3.4.1 替换核心解释变量

采用农村65岁以上人数与15岁以上人数的比重(lnDep)替换核心解释变量。表4模型(1)~(3)的回归结果显示,替换核心解释变量后,农村劳动力老龄化对水稻 TFP 增长和技术进步依然在1%水平上显著为负,对技术效率仍不显著,这表明农村劳动力老龄化水平越高,越不利于水稻全要素生产率,且是通过抑制技术进步实现的,与基准回归结果基本一致,验证了农村劳动力老龄化对水稻 TFP 影响及其机制的稳健性。

3.4.2 截尾处理

为削弱极端异常值对回归结果的影响,本研究对所有变量进行1%以下和99%以上分位数截尾处理,表4模型(4)和(5)的回归结果表明,在考虑了极端异常值影响后,农村劳动力老龄化对水稻 TFP 和技术进步的系数的显著性和方向基本没有发生变化,技术效率依然未通过检验,与基准回归结果一致,进一步证明了估计结果的稳健性。

3.4.3 增加控制变量

考虑到可能存在的遗漏变量对估计结果产生偏误,本研究尝试通过增加控制变量的方式进行稳健性检验。朱超等^[33]指出,老龄劳动力增多造成农

村居民健康总体水平下降。农村居民健康状况是劳动力质量的重要体现,农村居民健康水平下滑,会造成劳动投入质量下降,不利于水稻生产。鉴于此,本研究增加农村居民健康水平为控制变量,采用农村居民人均医疗保健支出与农村居民人均消费支出的比值衡量。表4模型(7)~(9)的回归结果显示,在增加农村居民健康水平后,农村劳动力老龄化对水稻 TFP 和技术进步仍然在1%水平上为负,且对技术效率不显著,与基准回归结果一致,再次验证了结果的稳健性。

3.5 调节作用

表5为调节作用的回归结果。模型(1)中,农村劳动力老龄化与机械化水平的交互项系数为0.110,并在1%水平下显著,表明机械化水平的提高在一定程度上缓解了农村劳动力老龄化对水稻 TFP 的负面影响。这与前述预期一致,农业机械化有效替代劳动力,减弱劳动力供给下降的负面影响。相较于劳动力,农业机械的价格相对便宜且作业质量更高;同时,机械化水平的提高促进了农业分工,有益于水稻生产效率提高。假说3得到了验证。

在实际农业生产中,机械对劳动力的替代不仅受要素相对价格变化的影响,还受到要素替代难易程度这一因素的制约。其中,地形条件决定了机械化作业的难易程度,机械化作业的调节作用可能会受到地形地貌的约束。参考黎星池等^[34]的研究,本研究将黑龙江、吉林、辽宁、河北、山东、安徽、江苏、河南和内蒙古9个省份作为平原地区,其余14个省份为丘陵地区。估计结果见模型(2)和(3)。

模型(2)表明,在平原地区,农村劳动力老龄化与机械化水平的交互项系数在1%水平显著为正,意味着农业机械化在平原地区能具有显著的正向调节作用。平原地区地势平坦适宜机械化作业,机械能充分发挥作用,有效缓解农村劳动力老龄化带来的负面作用^[16]。进一步发现,加入农村劳动力老龄化与机械化水平的交互项系数后,劳动力老龄化的系数为负但不显著,再次验证机械化能替代劳动耕作,缓解劳动力老龄化对水稻 TFP 的抑制作用。模型(3)为丘陵地区的回归结果,丘陵地区系数为正但不显著。可能的原因是丘陵和山区的田块细碎化程度普遍较高、多分散且分布不均,高度落差大等,机械作业面临的约束多,作业难度大有增加,难以替代劳动力^[17]。

表 4 稳健性检验
Table 4 Robustness test

变量 Variable	替换核心解释变量 Replacement of core explanatory variable			截尾处理 Trimming		增加控制变量 Adding control variable			
	模型(1) Model (1) lnTFP	模型(2) Model (2) lnTe	模型(3) Model (3) lnEff	模型(4) Model (4) lnTFP	模型(5) Model (5) lnTe	模型(6) Model (6) lnEff	模型(7) Model (7) lnTFP	模型(8) Model (8) lnTe	模型(9) Model (9) lnEff
农村劳动力 老龄化 lnOld				-0.268*** (0.087)	-0.269*** (0.084)	0.015 (0.040)	-0.464** (0.193)	-0.516*** (0.186)	0.050 (0.036)
农村劳动力 老龄化替换 lnDep	-0.629*** (0.241)	-0.699*** (0.232)	0.069 (0.043)						
常数项	0.698 (0.470)	0.944** (0.457)	-0.247* (0.148)	0.765* (0.405)	1.048** (0.417)	-0.344** (0.168)	1.166** (0.512)	1.466*** (0.496)	-0.300* (0.156)
Cons									
控制变量 Control variables	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
时间固定 Time fixed	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
省份固定 Province fixed	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
观测值 <i>N</i>	460	460	460	412	410	413	460	460	460
<i>R</i> ²	0.846	0.846	0.719	0.960	0.963	0.738	0.845	0.845	0.719

表5 调节效应回归结果
Table 5 Moderated effects regression results

变量 Variable	模型(1):全样本 Model (1): Full sample	模型(2):平原地区 Model (2): Plains area	模型(3):丘陵地区 Model (3): Hilly area	模型(4):全样本 Model (4): Full sample
农村劳动力老龄化	−0.714***	−0.101	−0.906**	−0.430**
lnOld	(0.250)	(0.259)	(0.355)	(0.175)
机械化水平	0.031	0.017	0.052	
Mac	(0.020)	(0.020)	(0.036)	
农村劳动力老龄化×机械化水平	0.110***	0.151***	0.088	
lnOld×Mac	(0.036)	(0.031)	(0.056)	
化肥施用强度				0.389
Che				(0.423)
化肥施用强度平方				3.410*
Che ²				(1.810)
农村劳动力老龄化×化肥施用强度				6.167***
lnOld×Che				(1.913)
农村劳动力老龄化×化肥施用强度平方				−29.377***
lnOld×Che ²				(10.089)
常数项	2.096***	0.795	2.333**	1.226**
Cons	(0.720)	(0.603)	(0.941)	(0.542)
控制变量 Control variables	YES	YES	YES	YES
时间固定 Time fixed	YES	YES	YES	YES
省份固定 Province fixed	YES	YES	YES	YES
观测值 N	460	180	280	460
R ²	0.854	0.764	0.866	0.874

模型(4)中,化肥施用强度的二阶调节项显著为负,验证了农村劳动力老龄化对水稻 TFP 增长的影响具有“倒 u 型”调节作用。当化肥施用强度较小时,可以缓解农村劳动力老龄化对水稻 TFP 增长的负面影响;当化肥施用量到达一定水平后,若继续增加化肥施用量,会增加生产成本,造成耕地质量下降、面源污染等问题,造成技术效率损失,进而加剧农村劳动力老龄化对水稻 TFP 增长的抑制作用,验证了假说 4。

3.6 异质性分析

由前述可知,南北稻作区在资源禀赋、气候条件等方面各不相同,且南北稻作区的水稻 TFP 存在区域差异。根据前述的南北稻作区分组,进一步检验农村劳动力老龄化对水稻 TFP 增长的影响是否具有区域异质性。回归结果如表 6,模型(1)估计结果显示,南方稻作区农村劳动力老龄化对水稻

TFP 的估计系数在 5% 水平下显著为负,模型(2)北方稻作区的估计系数为负但不显著,费舍尔组合检验表明二者之间的系数差异在 5% 的水平上显著。因此,农村劳动力老龄化对水稻 TFP 的抑制作用仅在南方稻作区显著,在北方稻作区并不明显。可能的原因是,一方面,南方稻作区丘陵山区地带较多,机械作业难度大,难以有效替代农业劳动力,无法缓解丘陵地区老龄化的不利影响^[16-17]。2021 年,全国农作物耕种收综合机械化率达 72.03%,而丘陵地区农作物耕种收综合机械化率仅约为 54%,远低于全国平均水平。南方稻作区机械化水平较低,对农业劳动力依赖较强,劳动力老龄化对其水稻生产的负面影响较大。北方稻作区平原地区较多,适宜机械化作业,受到农村劳动力老龄化的负外部性较小^[35],农村劳动力老龄化的抑制效应并不显著。

表6 异质性回归结果
Table 6 Results of heterogeneity regression

变量 Variable	模型(1):南方稻作区 Model (1): Southern rice cultivation area	模型(2):北方稻作区 Model (2): Northern rice cultivation area
农村劳动力老龄化	-0.702**	-0.065
lnOld	(0.328)	(0.283)
常数项	-0.139	1.163
Cons	(0.813)	(0.966)
费舍尔组合检验 Fisher's permutation test	P<0.05**	
控制变量 Control variables	YES	YES
时间固定 Time fixed	YES	YES
省份固定 Province fixed	YES	YES
观测值 N	280	180
R ²	0.857	0.795

4 结论与讨论

本研究基于2002—2021年中国23个水稻主产省(市、自治区)数据,运用双向固定效应模型,实证检验了农村劳动力老龄化对水稻TFP的影响。研究发现:第一,农村劳动力老龄化抑制了水稻TFP,且这种抑制作用是通过阻碍技术进步实现的。第二,机械化水平在农村劳动力老龄化与水稻TFP的关系中具有正向调节作用,受地形约束,机械化水平的调节作用在平原地区显著,在丘陵地区不显著。第三,化肥施用强度起到“倒U型”调节作用,即化肥施用量在一定范围内增加,能缓解农村劳动力老龄化带来的负面影响,超出这一范围则会加剧农村劳动力老龄化对水稻TFP的负面影响。第四,农村劳动力老龄化对不同稻作区的水稻TFP存在显著的异质性影响,即农村劳动力老龄化对水稻TFP的抑制作用仅在南方稻作区显著,在北方稻作区并不明显。

为应对农村劳动力老龄化带来的威胁,保障国家粮食安全,提出以下政策建议。第一,重视农村人才振兴。引导青壮年劳动力回流,给予技术和资金支持,积极鼓励青壮年劳动力、返乡大学生等扎根农村;打造高素质新型职业农民,以缓解农村劳动力老龄化导致的劳动力供给约束。第二,加大老年劳动力的培训投入。开展农业技术培训,加大现代农业技术的宣传和推广,着力提高农村劳动力的

知识水平和技术水平,从而提高他们采用新技术、新品种的可能性。第三,加快农业机械化发展。大力推广农业机械,加大农机具购置补贴,推进农业现代化进程,实现机械对劳动力的有效替代。此外,加快推进农业机械适应丘陵的进程。根据不同的地形特征,解决丘陵等非平原地区的机械化痛点,缩小地区间的机械化差异。第四,引导农户科学合理施用化肥。改变农户化肥施用量“越多越好”的传统观念;不断优化施肥结构,提高化肥的增产效率。

参考文献 References

[1] 顾晟景,周宏.生产性服务业对农业全要素生产率的影响研究:基于中介效应的影响路径分析[J].中国农业资源与区划,2022,43(3):106-116
Gu S J, Zhou H. Study of the impact of producer agriculture services on total factor productivity: Analysis of the impact pathway based on mediating effects [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2022, 43(3): 106-116 (in Chinese)

[2] 田红宇,付玮琼.农户务农劳动力质量与水稻生产技术效率:基于土地流转和农业社会化服务调节视角[J].商业研究,2021(2):88-98
Tian H Y, Fu W Q. The quality of rural labor force and rice production technical efficiency: Based on the perspective of land transfer and regulation of agricultural socialisation services[J]. Commercial Research, 2021(2): 88-98 (in Chinese)

[3] 马玉婷,高强,杨旭丹.农村劳动力老龄化与农业产业结构升级:理论机制与实证检验[J].华中农业大学学报:社会科学版,2023(2):69-79
Ma Y T, Gao Q, Yang X D. Aging of rural labor force and the upgrading of agricultural industrial structure: Theoretical mechanism and empirical test [J] Journal of Hua zhong Agricultural University: Social Sciences

- Edition*, 2023(2):69-79 (in Chinese)
- [4] 魏佳翔, 高鸣. 农业劳动力老龄化如何影响小麦全要素生产率增长[J]. 中国农村经济, 2023(2):109-128
Wei J S, Gao M. How does the aging of agricultural labor force affect the growth of total factor productivity of wheat[J]. *Chinese rural economy*, 2023(2):109-128 (in Chinese)
- [5] 陈冲, 吴炜聪. 人口老龄化对农业技术进步的影响机制分析: 基于DEA-Malmquist的技术评价与动态面板模型[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(1):231-238
Chen C, Wu W C. Analysis of the mechanism of the impact of population ageing on agriculture technological progress: DEA-Malmquist based technology evaluation and dynamic panel modelling[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 42(1): 231-238 (in Chinese)
- [6] 田红宇, 祝志勇. 农村劳动力转移、经营规模与粮食生产环境技术效率[J]. 华南农业大学学报: 社会科学版, 2018, 17(5):69-81
Tian H Y, Zhu Z Y. Rural labor migration, scale of operation and environmental technical efficiency of grain production [J]. *Journal of South China Agricultural University: Social Science Edition*, 2018, 17 (5):69-81 (in Chinese)
- [7] 李俊鹏, 冯中朝, 吴清华. 农业劳动力老龄化与中国粮食生产: 基于劳动增强型生产函数分析[J]. 农业技术经济, 2018(8):26-34
Li J P, Feng Z C, Wu Q H. The aging effect of agriculture labor force on grain production in China: An empirical study based on the labor-augmenting production function [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2018(8):26-34 (in Chinese)
- [8] 胡雪枝, 钟甫宁. 农村人口老龄化对粮食生产的影响: 基于农村固定观察点数据的分析[J]. 中国农村经济, 2012(7):29-39
Hu X Z, Zhong F N. Impact of rural population ageing on food production: Analysis based on data from fixed rural observation points [J]. *Chinese Rural Economy*, 2012(7):29-39(in Chinese)
- [9] 周宏, 王全忠, 张倩. 农村劳动力老龄化与水稻生产效率缺失: 基于社会化服务的视角[J]. 中国人口科学, 2014(3):53-65
Zhou H, Wang Q Z, Zhang Q. Research on ageing of rural labour force and efficiency loss of rice production: Based on the perspectives of social service [J]. *Chinese Journal of Population Science*, 2014(3): 53-65 (in Chinese)
- [10] Verhaeghen P, Salthouse T A. Meta-analyses of age-cognition relations in adulthood: Estimates of linear and nonlinear age effects and structural models. [J]. *Psychological Bulletin*, 1997, 122(3):231-249
- [11] 杨志海. 老龄化、社会网络与农户绿色生产技术采纳行为: 来自长江流域六省农户数据的验证[J]. 中国农村观察, 2018(4):44-58
Yang Z H. Aging, social 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 (in Chinese)
- [12] De Brauw A, Huang J K, Zhang L X, Rozelle S. The feminization of agriculture with Chinese characteristics[J]. *The Journal of Development Studies*, 2013, 49(5):689-704
- [13] 彭代彦, 文乐. 农村劳动力老龄化、女性化降低了粮食生产效率吗: 基于随机前沿的南北方比较分析[J]. 农业技术经济, 2016(2):32-44
Peng D Y, Wen L. Does the ageing and feminisation of the rural labour force reduce food productivity: A comparative south-north analysis based on stochastic frontiers [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2016 (2):32-44 (in Chinese)
- [14] 闵锐, 胡卓辉. 粮食直接补贴的全要素生产率效应: 以水稻为例[J]. 中南民族大学学报: 人文社会科学版, 2024, 44(3):140-147, 187
Min R, Hu Z H. Effect of direct grain subsidies on total factor productivity: A case study of rice [J]. *Journal of South-Central Minzu University: Humanities and Social Sciences*, 2024, 44(3): 140-147, 187 (in Chinese)
- [15] 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 (in Chinese)
- [16] 郑旭媛, 徐志刚. 资源禀赋约束、要素替代与诱致性技术变迁: 以中国粮食生产的机械化为例[J]. 经济学(季刊), 2017, 16(1):45-66
Zheng X Y, Xu Z G. Endowment restriction, factor substitution and induced technological innovation: A case research on the grain producing mechanization in China [J]. *China Economic Quarterly*, 2017, 16(1):45-66 (in Chinese)
- [17] 张淑雯, 田旭, 王善高. 农业劳动力老龄化对小麦生产机械化与技术效率的影响: 基于地形特征的分析[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(10):174-182
Zhang S W, Tian X, Wang S G. Impact of aging agricultural labor on mechanization and technical efficiency in wheat production: A perspective analysis based on landforms [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2018, 23(10): 174-182 (in Chinese)
- [18] 耿宇宁, 刘婧. 劳动力转移与技术进步对粮食产量的门槛效应分析[J]. 经济问题, 2019(12):96-103
Geng Y N, Liu J. The Threshold effect of labor migration and technological progress on grain yields[J]. *On Economic Problems*, 2019 (12):96-103 (in Chinese)
- [19] 吴海霞, 郝含涛, 史恒通, 葛岩. 农业机械化对小麦全要素生产率的影响及其空间溢出效应[J]. 农业技术经济, 2022(8):50-68
Wu H X, Hao H T, Shi H T, Ge Y. Effect of agricultural mechanization on total factor productivity of wheat and its spatial spillover effect [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2022(8):50-68 (in Chinese)
- [20] 王宏宇, 温红梅, 杜磊. 化肥投入量对粮食产量的空间溢出效应分析: 基于1978~2016年省级面板数据[J]. 农业经济与管理, 2020(4):52-64
Wang H Y, Wen H M, Du L. Analysis of spatial spillover effect of fertilizer input on grain yield: Based on provincial panel data from 1978 to 2016 [J]. *Agricultural Economics and Management*, 2020(4): 52-64 (in Chinese)
- [21] Fougère M, Mérette M. Population ageing and economic growth in seven OECD countries[J]. *Economic Modelling*, 1999, 16(3):411-427
- [22] 李红莉, 张卫峰, 张福锁, 杜芬, 李亮科. 中国主要粮食作物化肥施用量与效率变化分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(5):1136-1143
Li H L, Zhang W F, Zhang F S, Du F, Li L K. Chemical fertilizer use and efficiency change of main grain crops in China [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2010, 16(5):1136-1143 (in Chinese)
- [23] 李露, 徐维祥. 农村人口老龄化效应下农业生态效率的变化[J]. 华南农业大学学报: 社会科学版, 2021, 20(2):14-29
Li L, Xu W X. Change of agricultural ecological efficiency under effect of rural population aging [J]. *Journal of South China Agricultural University: Social Science Edition*, 2021, 20(2):14-29 (in Chinese)
- [24] 国家统计局人口和就业统计司. 中国人口和就业统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2003—2022
Population and Employment Statistics Division of National Bureau of Statistics. *China Population and Employment Statistics Yearbook* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2003-2022 (in Chinese)

- [25] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2003—2022
- National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. *China Statistical Yearbook* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2002-2022 (in Chinese)
- [26] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2003—2022
- Rural Social and Economic Survey Department of National Bureau of Statistics. *China Rural Statistical Yearbook* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2003-2022 (in Chinese)
- [27] 国家发展和改革委员会价格司. 全国农产品成本收益资料汇编[M]. 北京:中国统计出版社, 2002-2022
- Price Division of the National Development and Reform Commission. *National Agricultural Product Cost-benefit Data Compilation* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2002-2022 (in Chinese)
- [28] 朱满德, 李辛一, 程国强. 综合性收入补贴对中国玉米全要素生产率的影响分析: 基于省级面板数据的DEA-Tobit两阶段法[J]. 中国农村经济, 2015(11): 4-14
- Zhu M D, Li X Y, Cheng G Q. Analysing the impact of comprehensive income subsidies on total factor productivity of maize in China: A two-stage DEA-Tobit approach based on provincial panel data [J]. *Chinese Rural Economy*, 2015(11): 4-14 (in Chinese)
- [29] 张志新, 李成, 靳玥. 农村劳动力老龄化、女性化与粮食供给安全[J]. 华东经济管理, 2021, 35(1): 86-96
- Zhang Z X, Li C, Jin Y. Aging and feminization of rural labor force and food supply security [J]. *East China Economic Management*, 2021, 35(1): 86-96 (in Chinese)
- [30] 林青宁, 毛世平. 农业全要素生产率的演化过程、测算方法与未来展望[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(4): 248-256
- Ling Q N, Mao S P. Agricultural total factor productivity: Evolution process, calculation method and specific practice [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(4): 248-256 (in Chinese)
- [31] 高帆. 我国区域农业全要素生产率的演变趋势与影响因素: 基于省际面板数据的实证分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2015, 32(5): 3-19, 53
- Gao F. Evolution trend and internal mechanism of region total factor productivity in Chinese agriculture [J]. *Journal of Quantitative & Technological Economics*, 2015, 32(5): 3-19, 53 (in Chinese)
- [32] 李谷成, 蔡慕宁, 叶锋. 互联网、人力资本和农业全要素生产率增长[J]. 湖南农业大学学报: 社会科学版, 2021, 22(4): 16-23
- Li G C, Cai M N, Ye F. Internet, human capital and the agricultural tfp growth [J]. *Journal of Hunan Agricultural University: Social Sciences*, 2021, 22(4): 16-23 (in Chinese)
- [33] 朱超, 王戎. 健康冲击下的劳动力供给: 基于人口老龄化视角[J]. 现代经济探讨, 2022(3): 1-13
- Zhu C, Wang R. Labour supply under health shocks: A population ageing perspective [J]. *Modern Economic Research*, 2022(3): 1-13 (in Chinese)
- [34] 黎星池, 朱满德. 农业机械化对种植结构“趋粮化”的空间溢出效应分析[J]. 农业现代化研究, 2021, 42(4): 684-693
- Li X C, Zhu M D. Analysis on the spatial spillover effect of agricultural mechanization on the “tendency to grain production” in planting structure [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2021, 42(4): 684-693 (in Chinese)
- [35] 王平, 孙鲁云, 王力. 劳动力成本上升倒逼棉花全要素生产率增长了吗: 基于要素投入结构的中介效应检验[J]. 农业技术经济, 2020(12): 122-132
- Wang P, Sun L Y, Wang L. Has the rise of labor cost forced cotton to upgrade its total factor productivity in China: Based on the mediating effect of factor input structure [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2020(12): 122-132 (in Chinese)

责任编辑: 王岩



第一作者简介: 宋雪, 华中农业大学经济管理学院农业经济管理专业博士研究生, 专业方向为农业经济管理与农村发展。本科期间, 获得2018—2019学年国家奖学金, 2019年获社会实践“优秀调研报告奖”, 2021年获安徽省优秀毕业生; 攻读硕士研究生期间, 2021—2024年获华中农业大学甲等学业奖学金2次、乙等学业奖学金1次, 2023年获院三好研究生和优秀学生干部。曾参加2023年第十三届中国农村发展研究博士生论坛和中国农业风险管理研究会2023年学术年会等学术会议暨第三届中国农业风险管理发展论坛并做会议报告。



通讯作者简介: 何玉成, 华中农业大学经济管理学院教授, 博士生导师。研究方向为企业战略管理、商业模式、产业组织和农业经济管理。国家中药材产业技术体系产业经济研究室主任、中国农学会农业产业化分会理事、湖北省开发区协会专家委员会委员、湖北省外国经济研究会理事、湖北省经济学会理事和湖北农村软科学研究会理事。主持国家自然科学基金2项(71573098, 71173085)、国家哲学社会科学基金1项(06CJY028)、省部级课题科研项目6项, 参加国家级和省部级科研项目10项。研究成果获得“湖北省政府社会科学优秀成果二等奖”“湖北省科技进步二等奖”“武汉市科技进步二等奖”“湖北省第九届自然科学优秀学术论文三等奖”“湖北省第十五届自然科学优秀学术论文二等奖”。在国外SCI期刊及国内期刊上发表论文68篇, 出版专著2部。