

分类号: F323

密 级: 保密

学校代码: 10363

学 号: 2220710103



安徽工程大学

Anhui Polytechnic University

硕士学位论文

题 目

人口老龄化、数字基础设施与

农业发展韧性

论 文 作 者

赵英华

指 导 教 师

潘明明 副教授

学 科 (专 业)

产业经济学

研 究 方 向

产业集聚与区域发展

论文提交日期: 2025 年 5 月 14 日

分类号：F323

单位代码：10363

密 级：保密

学 号：2220710103

题 目 人口老龄化、数字基础设施与农业发展韧性

英文并列

题 目 POPULATION AGING, DIGITAL INFRASTRUCTURE

AND AGRICULTURAL DEVELOPMENT RESILIENCE

学生姓名：赵英华

指导教师：潘明明 副教授

专 业：产业经济学

研究方向：产业集聚与区域发展

论文答辩日期：2025 年 05 月 14 日

安徽工程大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：我恪守学术道德，崇尚严谨学风。所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已明确注明和引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品及成果的内容。论文为本人亲自撰写，我对所写的内容负责，并完全意识到本声明的法律后果由本人承担。

学位论文作者签名：赵英华

日期：2025年05月14日

安徽工程大学学位论文版权使用授权书

学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅或借阅。本人授权安徽工程大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保密 ☒，在 5 年解密后适用本版权书。

本学位论文属于

不保密 ☐。

学位论文作者签名：赵英华

日期：2025 年 05 月 14 日

指导教师签名：潘明明

日期：2025 年 05 月 14 日

人口老龄化、数字基础设施与农业发展韧性

摘 要

农业是国家经济体系的重要组成部分，是国家安全的基础。随着全球人口增长和资源环境压力加大，极端天气事件频发，对农业生产构成严重威胁。此外，在全球化背景下，农业系统不仅面临自然风险，还受到国际市场波动、贸易政策变化等经济风险的影响。农业系统需要具备更强的适应能力和恢复能力，以应对各种内外部冲击。因此提高农业系统应对市场波动的能力，增强农业产业链的稳定性，减少外部冲击对农业经济的负面影响，提升农业发展韧性，是促进农业现代化和可持续发展的必然要求，也是锚定联合国可持续发展目标的迫切需求。伴随着我国人口老龄化趋势的加剧，农业劳动力老龄化程度也日益严重。对农业劳动力供给、资本积累和劳动生产率产生了不利影响，农业生产效率下降。阻碍农业经济增长潜力的提升，农业经济在风险抵御和灾后恢复方面的能力预计将显著减弱。对农业系统的稳定性构成挑战。因此，研究人口老龄化对农业发展韧性的影响，是应对当前农业面临的劳动力短缺、技术效率下降和资本投入不足等问题的首要任务。而数字化转型与数字经济的兴起为农业农村发展带来了巨大变革。随着数字基础设施建设不断完善，不断向农村延伸。对农业发展产生了深刻影响。数字基础设施可以改善农业生产条件，通过引入数字技术、智能装备，可以提升农业系统的技术效率和资源利用效率，减少对自然资源的过度依赖，推动农业向绿色、低碳、可持续方

向发展。且数字基础设施建设的发展能对农村老龄劳动力带来影响。因此分析人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性的影响就尤为重要。

本文基于 2010-2022 年全国 31 个省市数据。将人口老龄化、数字基础设施置于同一研究框架，对人口老龄化、数字基础设施和农业发展韧性评价指标体系并对测度结果进行分析。在此基础上，构建人口老龄化、数字基础设施与农业发展韧性的理论框架，探究人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性的影响以及内在机制。同时，论文还系统探讨人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性影响的交互效应。得出以下结论：（1）人口老龄化对农业发展韧性具有显著的负向影响，且在 1% 的显著水平上显著，这一结论在经过一系列稳健性检验后依然成立。人口老龄化主要通过降低农户资本投入、农业技术效率和人力资本水平对农业发展韧性产生负面影响。（2）数字基础设施对农业发展韧性具有显著的正向影响，且在 1% 的显著水平上显著，这一结论同样通过了稳健性检验。数字基础设施通过提高农业技术效率、促进农业产业融合以及推动农业技术进步，对农业发展韧性产生积极影响。（3）人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性存在交互效应，二者共同正向促进农业发展韧性。数字基础设施在人口老龄化负向影响农业发展韧性的过程中起调节作用，可以有效缓解人口老龄化的负向作用。然而，数字基础设施的调节作用存在双门槛效应，只有当其水平达到一定程度时，调节作用才会显著。（4）人口老龄化和数字基础设施对农业发展韧性的影响因市场化水平、地理位

置、财政支持水平等因素的不同而呈现出差异。（5）数字基础设施的建设不仅有助于提升本地区农业发展韧性，还能通过空间溢出效应促进周边地区农业发展韧性水平的提高。

据此提出以下政策建议：（1）提升农业劳动力素质。加强农业劳动力培训，实施农村劳动力转移就业培训和高素质农民培育计划；推动职业教育与农业结合，为农村青年提供系统的农业技术和管理知识培训；吸引年轻人才返乡创业。（2）推动农业技术创新。加大农业科研投入，推动农业技术的突破性创新；完善技术推广体系；推广智慧农业技术，推动农业生产的智能化和精准化。（3）鼓励区域差异化和协同发展，粮食主产区优先保障粮食生产安全，推动农业生产向规模化、集约化、现代化方向发展；非粮食主产区根据当地资源禀赋和产业发展优势，发展特色农业、绿色农业和生态农业。（4）完善财政支农政策。完善农业保险制度，降低农民参保成本；优化财政支农结构；创新金融支持方式，提高财政资金使用效率。（5）发展绿色农业。推广绿色生产技术；完善质量安全监管体系；发展生态农业，实现农业生产的可持续发展。（6）加大对农村地区网络、数据中心等数字基础设施的投入力度；推动数字技术应用，提升农业生产的智能化水平。（7）推进农业产业现代化发展。推动农业产业融合、支持龙头企业技术创新、提升农村人力资本。

关键词：人口老龄化；数字基础设施；农业发展韧性；门槛效应；空间溢出效应

POPULATION AGING, DIGITAL INFRASTRUCTURE AND AGRICULTURAL DEVELOPMENT RESILIENCE

ABSTRACT

Agriculture is an important part of the national economic system and the foundation of national security. With the global population growth and increasing pressure on resources and environment, extreme weather events occur frequently, posing a serious threat to agricultural production. In addition, in the context of globalization, the agricultural system not only faces natural risks, but also is affected by economic risks such as fluctuations in the international market and changes in trade policies. Agricultural systems need to have stronger adaptability and resilience to cope with various internal and external shocks. Therefore, improving the ability of the agricultural system to cope with market fluctuations, enhancing the stability of the agricultural industrial chain, reducing the negative impact of external shocks on the agricultural economy, and enhancing the resilience of agricultural development are the inevitable requirements for promoting agricultural modernization and sustainable development. It is also an urgent need to anchor the sustainable

development goals of the United Nations. With the increasing trend of population aging in China, the aging degree of agricultural labor force is becoming more and more serious. It has a negative impact on agricultural labor supply, capital accumulation and labor productivity, and agricultural production efficiency has declined. Hindering the improvement of agricultural economic growth potential, the ability of agricultural economy to resist risks and recover from disasters is expected to be significantly weakened. It poses a challenge to the stability of agricultural systems. Therefore, studying the impact of population aging on the resilience of agricultural development is the primary task to deal with the current problems of labor shortage, technical efficiency decline and insufficient capital investment in agriculture. The digital transformation and the rise of the digital economy have brought great changes to the development of agriculture and rural areas. With the continuous improvement of digital infrastructure construction, it continues to extend to rural areas. It has a profound impact on agricultural development. Digital infrastructure can improve agricultural production conditions. By introducing digital technology and intelligent equipment, it can improve the technical efficiency and resource utilization efficiency of agricultural systems, reduce excessive dependence on natural resources, and promote the development of agriculture in a green, low-carbon and sustainable direction. And the development of digital infrastructure construction can

have an impact on the rural elderly labor force. Therefore, it is particularly important to analyze the impact of population aging and digital infrastructure on the resilience of agricultural development.

This paper is based on the data of 31 provinces and cities in China from 2010 to 2022. The population aging and digital infrastructure are placed in the same research framework, and the evaluation index system of population aging, digital infrastructure and agricultural resilience is analyzed. On this basis, the theoretical framework of population aging, digital infrastructure and agricultural resilience is constructed to explore the impact of population aging and digital infrastructure on agricultural resilience and its internal mechanism. At the same time, the paper also systematically discusses the interaction effect of population aging and digital infrastructure on agricultural resilience. The following conclusions are drawn. (1) Population aging has a significant negative impact on the resilience of agricultural development, and is significant at the 1 % significance level. This conclusion is still valid after a series of robustness tests. Population aging has a negative impact on agricultural development resilience mainly by reducing farmers' capital investment, agricultural technical efficiency and human capital level. (2) Digital infrastructure has a significant positive impact on agricultural development resilience, and it is significant at a significant level of 1%. This conclusion also passed the robustness test. Digital infrastructure has a positive impact on the

resilience of agricultural development by improving the efficiency of agricultural technology, promoting the integration of agricultural industries and promoting the progress of agricultural technology. (3) Population aging and digital infrastructure have interactive effects on agricultural development resilience, and both of them are positively promoting agricultural development resilience. Digital infrastructure plays a moderating role in the negative impact of population aging on agricultural resilience, which can effectively alleviate the negative impact of population aging. However, the moderating effect of digital infrastructure has a double threshold effect. Only when its level reaches a certain level, the moderating effect will be significant. (4) The impact of population aging and digital infrastructure on agricultural development resilience is different due to factors such as marketization level, geographical location, and financial support level. (5) The construction of digital infrastructure not only helps to improve the resilience of agricultural development in the region, but also promotes the improvement of the resilience of agricultural development in the surrounding areas through spatial spillover effects.

Based on these findings, the following policy recommendations are proposed: (1) Enhance the quality of the agricultural labor force: Strengthen agricultural labor training, implement rural labor transfer employment training programs, and cultivate high-quality farmers;

promote the integration of vocational education with agriculture to provide systematic agricultural technology and management training for rural youth; attract young talent to return to rural areas for entrepreneurship. (2) Promote agricultural technological innovation: Increase investment in agricultural research to drive breakthrough innovations in agricultural technology; improve the technology extension system; promote smart agricultural technologies to advance intelligent and precision agricultural production. (3) Encourage regional differentiation and coordinated development: Prioritize food security in major grain-producing regions and promote large-scale, intensive, and modern agricultural production; in non-grain-producing regions, develop specialty agriculture, green agriculture, and eco-agriculture based on local resource endowments and industrial advantages. (4) Improve fiscal support policies for agriculture: Refine the agricultural insurance system to reduce farmers' insurance costs; optimize the structure of fiscal support for agriculture; innovate financial support mechanisms to improve the efficiency of fiscal fund utilization. (5) Develop green agriculture: Promote green production technologies; enhance the quality and safety regulatory system; develop eco-agriculture to achieve sustainable agricultural production. (6) Increase investment in digital infrastructure in rural areas, such as networks and data centers; promote the application of digital technologies to enhance the intelligent level of agricultural

production. (7) Advance the modernization of the agricultural industry: Promote the integration of agricultural industries, support technological innovation in leading enterprises, and improve rural human capital.

Author: Zhao Yinghua (School of Economic and Management)

Supervised by_Pan Mingming

KEYWORDS: population ageing, digital infrastructure, agricultural development resilience, threshold effect, spatial spillover effect

目录

摘 要	I
ABSTRACT	IV
第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景与研究意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	1
1.2 研究内容、方法与技术路线	2
1.2.1 研究内容	2
1.2.2 研究方法	3
1.2.3 技术路线	4
1.3 文献综述	5
1.3.1 农业发展韧性相关研究	5
1.3.2 人口老龄化与农业发展韧性相关研究	11
1.3.3 数字基础设施与农业发展韧性相关研究	14
1.3.4 人口老龄化与数字基础设施相关研究	16
1.3.5 文献述评	17
1.4 创新之处	17
1.5 不足之处	18
第 2 章 人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性影响理论阐释与假设设定	19
2.1 人口老龄化对农业发展韧性的影响	19
2.1.1 人口老龄化对农业发展韧性的直接影响	19
2.1.2 人口老龄化对农业发展韧性的间接影响	21
2.2 数字基础设施对农业发展韧性的影响	25
2.2.1 数字基础设施对农业发展韧性的直接影响	25
2.2.2 数字基础设施对农业发展韧性的间接影响	26
2.3 人口老龄化、数字基础设施影响农业发展韧性的交互效应	30
第 3 章 人口老龄化、数字基础设施和农业发展韧性水平测度与演进特征刻画	32
3.1 测度方法与数据选取	32
3.1.1 人口老龄化测度方法	32
3.1.2 数字基础设施、农业发展韧性测度评价体系与方法	32
3.1.3 数据来源	37
3.2 人口老龄化水平测度与时空特征	37
3.2.1 人口老龄化的时间序列分析	37
3.2.2 人口老龄化的空间格局分析	45
3.3 数字基础设施水平测度与时空特征	47
3.3.1 数字基础设施的时间序列分析	47
3.3.2 数字基础设施的空间格局分析	50
3.4 农业发展韧性水平测度与时空特征	52
3.4.1 农业发展韧性的时间序列分析	52
3.4.2 农业发展韧性的空间格局分析	55
第 4 章 人口老龄化、数字基础设施影响农业发展韧性实证检验与机制辨析	59
4.1 数据、变量与模型	59

4.1.1 数据来源	59
4.1.2 变量设置及描述性统计分析	59
4.1.3 模型构建	61
4.2 人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性影响的基准回归	61
4.2.1 多重共线性检验	61
4.2.2 平稳性检验	62
4.2.3 人口老龄化对农业发展韧性影响的基准回归分析	63
4.2.4 数字基础设施对农业发展韧性影响的基准回归分析	64
4.3 稳健性检验与内生性检验	65
4.3.1 稳健性检验	65
4.3.1.1 更换解释变量	65
4.3.1.2 剔除异常值影响	66
4.3.1.3 更换模型	66
4.3.2 内生性检验	67
4.4 人口老龄化、数字基础设施影响农业发展韧性的机制分析	67
4.4.1 人口老龄化影响农业发展韧性的机制分析	68
4.4.2 数字基础设施影响农业发展韧性的机制分析	69
第 5 章 人口老龄化、数字基础设施影响农业发展韧性交互效应与进一步讨论	71
5.1 人口老龄化、数字基础设施影响农业发展韧性的交互效应	71
5.1.1 研究方法	71
5.1.2 人口老龄化、数字基础设施影响农业发展韧性交互效应检验 ...	71
5.1.3 稳健性检验	72
5.2 进一步讨论	72
5.2.1 人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性影响的异质性	72
5.2.2 人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性影响的门槛效应 ...	77
5.2.3 数字基础设施对农业发展韧性影响的空间溢出效应	79
第 6 章 研究结论与讨论	81
6.1 主要结论	81
6.2 政策启示	82
6.3 研究展望	84
参考文献	86
攻读硕士学位期间发表或录用的学术论文	95
发表或录用论文	95
参与科研项目	95
学科竞赛	95
致谢	96

第 1 章 绪论

1.1 研究背景与研究意义

1.1.1 研究背景

农业经济不仅关乎粮食安全和经济增长，还涉及农村发展、生态平衡、国际贸易、文化传承和科技创新等多个方面，是国民经济和社会发展的基石。习近平总书记在中央农村会议上强调，要锚定建设农业强国目标，切实抓好农业农村工作。农业是国家安全的基础。农业保的是生命安全、生存安全，是极端重要的国家安全。当今世界，农业发展面临多重挑战。资源约束、气候变化、环境污染、技术落后、市场波动、劳动力短缺、国际贸易挑战、可持续性发展压力等问题突出。一旦农业出问题，国家安全将难以得到保障。提升农业发展韧性，应对气候变化、保障粮食安全、促进农村发展，是实现农业可持续发展的关键。也是我国应对国内外复杂形势的现实选择。

然而，随着社会发展，农村作为农业生产的主阵地人口老龄化形式逐渐加剧。根据《中国乡村振兴综合调查研究报告 2021》，全体人口中 65 岁及以上人口的比重达到了 13.82%，常住人口中 65 岁及以上人口的比重达到了 16.57%，超过了“老龄社会”标准，距离“超老龄社会”的标准只差 3.43 个百分点。和全国老龄化数据相比，农村老龄化程度远超全国情况。农村人口老龄化形势严峻，对农业劳动力供给、资本积累和劳动生产率产生了不利影响，阻碍农业经济增长潜力的提升。对农业发展产生了不利影响。

与此同时，随着数字经济的不断发展，数字基础设施建设日益完善。为农业农村发展带来了巨大变革。数字基础设施不断向农村延伸。对农业发展产生了深刻影响。数字基础设施可以改善农业生产条件、提高农业生产主体效率，对农产品的生产、销售、推广具有重要意义。有助于建立一个标准化的农业生产体系，实现对农产品的实时监测，提高管理效率，降低成本，提升抗风险能力。数字基础设施是数字农业发展的引擎，有助于推动农业现代化进程，实现乡村振兴。

1.1.2 研究意义

（1）理论意义

农业发展韧性是一个新兴概念，目前学术界对其概念和特征的探讨较为广泛，然而尚未形成统一的理论框架。对于农业发展韧性的量化评估以及实证分析的研

究成果相对稀缺。而且已有的农业发展韧性测度多从农业经济韧性角度展开，忽视了生态、恢复等其他维度对农业发展韧性的影响。本文基于国内外相关研究，结合中国农业发展实际情况，从多个维度对农业发展韧性进行了测度，丰富了对韧性相关理论的相关研究。为农业发展韧性水平的测度提供了一种可参考的方法。

已有研究大多从人口老龄化和数字基础设施单一角度探究其对农业发展韧性产生的影响，本文将二者置于同一研究框架，探讨了人口老龄化和数字基础设施在影响农业发展韧性过程中的共同作用，从而进一步拓展了农业发展韧性领域的研究深度。

(2) 实践意义

深入分析了人口老龄化、数字基础设施影响农业发展韧性的作用机制，以全国 31 个省市（不含港、澳、台）数据为例，进行了实证检验。一方面对政府从整体上把握不同省市农业发展韧性发展状况提供事实依据和理论参考，从而推动农业高质量发展，加快农业现代化进程。另一方面为各省市进行相关领域的研究提供了参考经验。

1.2 研究内容、方法与技术路线

1.2.1 研究内容

本文研究人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性的影响。核心内容涉及以下四个层面：一是人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性的影响与作用机制分析。构建人口老龄化、数字基础设施与农业发展韧性的理论框架，探究人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性的直接影响以及间接影响。在此基础上，分析人口老龄化与数字基础设施在影响农业发展韧性过程中的交互效应。二者的综合作用结果如何？并提出假设。

二是人口老龄化、数字基础设施和农业发展韧性评价指标体系构建，测度和现状分析。搜集、整理不同省市人口老龄化、数字基础设施、农业发展韧性相关数据，结合经济韧性等相关理论，构建农业经济韧性指标评价体系和数字基础设施建设评价指标体系，对人口老龄化、数字基础设施与农业发展韧性水平进行测算，分析其现状、时间演进规律以及水平差异动态演进规律。

三是人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性影响与作用机制的实证分析。拟选择样本期间为 2010-2022 年，样本为全国 31 个省市（不含港、澳、台）。

通过实证检验人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性的影响，并进行稳健性检验、内生性检验、异质性分析和机制检验。验证假设。

四是人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性的共同影响。对人口老龄化、数字基础设施影响农业发展韧性的交互效应进行实证检验，并对此进行稳健性检验、内生性检验、门槛分析。论文可以分为以下几章。

第一章：绪论。主要指出本文的研究背景、研究意义、研究思路、研究方法、技术路线图、相关文献研究、以及研究的潜在创新点与局限性。

第二章：人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性影响理论阐述与研究假设。主要包括人口老龄化对农业发展韧性的影响机理、数字基础设施对农业发展韧性的影响机理分析、人口老龄化、数字基础设施影响农业发展韧性的交互效应。

第三章：人口老龄化、数字基础设施与农业发展韧性的测度分析。首先阐明人口老龄化测度指标，构建数字基础设施、农业发展韧性指标体系，其次对人口老龄化、数字基础设施与农业发展韧性进行测度。从总体层面和分区域层面分析测度结果。最后根据测算结果，对数字基础设施、农业发展韧性的水平差异动态演进规律进行阐述。

第四章：人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性影响的实证检验。首先对人口老龄化、数字基础设施和农业发展韧性进行基础回归，并进行一系列稳健性检验、内生性检验。其次对人口老龄化、数字乡村建设对农业发展韧性的影响机理进行检验。

第五章：对人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性影响的交互效应进行检验。并对此进行稳健性检验。在此基础上，分析人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性影响门槛效应。以及数字基础设施对农业发展韧性影响的空间溢出效应。

第六章：结论和政策建议。基于文章 1-5 章研究进行总结，同时为提升我国农业发展韧性、稳步促进农业高质量发展、推动农业现代化建设提出相应的对策与建议。

1.2.2 研究方法

(1) 文献分析法

在广泛阅读国内外相关文献并借鉴前人研究成果的基础上，把握国内外相关

研究的重点,吸收借鉴国内外的相关课题研究,建立起有关人口老龄化、数字基础设施影响农业发展韧性的理论框架,为撰写论文打下理论基础。

(2) 规范分析法。根据人口老龄化、数字基础建设和农业发展韧性的相关理论研究和对农业发展韧性定义,推导出人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性的影响以及作用路径,最后将其进行归纳和总结。

(3) 定性定量结合分析法。

本文基于经济韧性理论等相关理论,对农业发展韧性和数字基础设施的概念做出相应的界定,并结合相关指标建构农业发展韧性与数字基础设施评估体系,测度全国各地区的数字基础设施建设水平与农业发展韧性水平。分析各地区数字基础设施与农业发展韧性在时间上的演进以及在空间上的差异性。最后利用面板回归、稳健性检验、异质性分析以及机制分析等方法对人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性的影响及作用路径进行实证检验。

1.2.3 技术路线

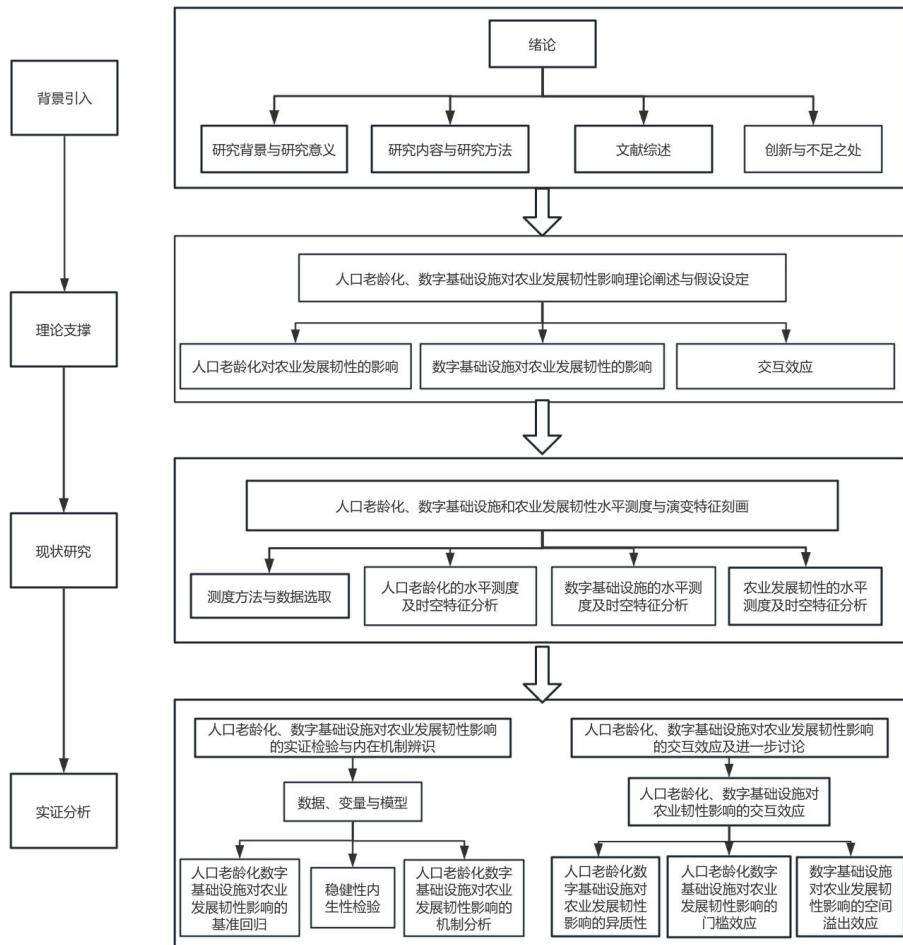


图 1-1 技术路线图

1.3 文献综述

1.3.1 农业发展韧性相关研究

1.3.1.1 经济韧性相关研究

经济韧是一个多维度的概念,近年来在经济学、政策研究及管理学等领域中受到了广泛的关注^[1]。在经济领域,经济韧性被用来描述一个经济体或区域在面临内外部冲击时,通过调整经济结构、政策干预等方式,保持或恢复经济增长的能力^[7]。表现为冲击发生后的复苏能力、吸收冲击的能力、积极的适应能力^[46]。目前学术界对经济韧性已经展开了丰富的研究。

(1) 经济韧性的测度

在经济韧性测度研究领域,学界普遍采用综合评估与核心变量分析两种主流范式。综合评估方法通过构建多维度评价系统实现量化分析,其研究路径通常遵循以下流程:首先基于区域经济特征与研究目标确定分析维度,继而选择适宜的指标赋权方式与综合评价模型,最终形成系统性评估框架。值得注意的是,现有文献在维度解构层面呈现出多元视角:部分学者主张将经济韧性解构为恢复能力、结构调整能力与创新发展能力^[77];另有研究团队提出抵抗力、恢复力、适应力及转型能力的四维框架^{[37][80][84]};谭家银基于演化经济学理论,创新性地构建了包含抗压韧性、复苏韧性、适应韧性及转型韧性的四维分析模型^{[24][85]}。安琳从生产、消费、劳动力市场、对外贸易及创新这五个维度构建“多维韧性变量代理法”指标体系^[81]。这些理论框架的差异既反映了研究对象的复杂性,也体现了不同学派对经济韧性动态演化过程的理解分歧。从权重确定方法来看,一些学者采用熵值赋权法得到城市经济韧性指数^{[24][85][90]};有学者采取主观权重与客观权重相结合方法计算经济韧性^{[37][80][84]};还有学者采用变异系数法进行权重赋值^{[36][78]},对经济韧性水平进行测度。从评价方法来看,学术界主要采取组合动态评价法^[91]和多维韧性变量代理法进行测度^[81]。从研究对象来看,一些学者关注城市经济韧性^[90];有学者结合县域经济发展实际情况,构建了县域经济韧性理论分析框架^{[24][85]};还有学者针对特定地区例如旅游城市、珠三角进行研究^[81]。

核心变量法是选取或构建一个反应经济韧性水平的变量进行测度。大部分学者采取宏观经济指标^{[7][8][11]}(例如 GDP 增长率、失业率、通货膨胀率、财政赤字与公共债务)、金融稳定性指标^{[10][14]}(例如银行资本充足率、不良房贷率、外

汇储备)、产业结构与多样性^{[15][17]}(例如产业多样性、高科技产业比重)、社会与人力资本^{[18][19][22]}(例如,教育水平、社会保障体系)等来衡量经济韧性。其中,丁建军采用地区生产总值与地区生产总值增长率的乘积代表区域经济韧性^[37]。生延超选取进出口总额作为核心变量,运用核心变量法对城市外向型经济的韧性进行了定量分析^[88]。金朝辉采用常见的敏感性指标(Sensitivity Index)衡量地级市经济韧性^[87]。从评价方法来看,唐任伍结合区域经济韧性动态过程,构建反事实函数,通过核心变量在经济收缩期与扩张期的实际变化与预期变化比率计算地区经济系统的抵抗力与恢复力,进而反映经济韧性水平^[43];杨珂凡立足于抵抗力和恢复力两个维度,通过反事实分析测度中国各地区在面临突发卫生事件外部冲击时的经济韧性^[79];吉生保采用 GMM-SL-SAR-RE 方法,利用空间地理模型测算冲击抵御期和恢复调整期的城市韧性^[86];刘宇轩基于 Dixon-Thirlwal 循环因果模型,利用静态凡登定理。得到真实经济条件和反事实的无外部冲击之间的结果差异^[83]。

(2) 经济韧性的时空差异

从经济韧性的时间差异来看,经济韧性指数在时间上呈上升趋势^[85]。杨莎莎对中国城市群旅游经济韧性水平进行了定量测算,在 2010—2018 年间,大多数城市群的旅游经济韧性呈上升趋势^[91]。安琳通过对 2005—2019 年珠三角中部地区经济韧性进行研究,也得到了相同的结论,但珠三角东、西部地区经济韧性在波动中有所下降^[81]。

区域经济韧性测度结果显示,我国不同地理单元的抗风险能力呈现显著异质性特征^[85]。从空间分布格局观察,经济抗压能力呈现明显的东高西低梯度特征。具体而言,东部沿海城市群在韧性综合评估中处于领先地位,中部及西南地区展现出较强的韧性增长潜力,而西北与东北地区则显现出系统性薄弱环节^[91]。在韧性维度分解层面,区域风险抵御能力呈现“内陆高地—流域过渡—沿海次高一东北洼地”的四级递变特征。与之形成对照的是,经济恢复效能的高值区主要集聚于沿海经济带,且抵抗力与恢复力指标间存在显著负向关联^[79]。动态演变视角显示,经济韧性空间格局经历了从中东部“双核驱动”向中部“单极主导”的结构转型^[81]。丁建军等学者通过构建连片特困区经济韧性测度模型,发现其经济韧性水平较非连片区域低,且后者的年均增长率较前者高^[37],这揭示了特殊政策区域

在韧性培育方面的路径依赖特征。

（3）经济韧性的影响因素

经济规模、产业结构等经济体自身的先天禀赋、制度安排、政策指导、科学技术、精神文化积淀等合理外因都会干预经济韧性^[43]。首先，数字经济显著增强黄河流域城市外向型经济韧性。对区域经济抗风险能力具有显著提升效应^{[88][87]}。其作用机理主要体现在三个传导路径：首先通过缓解企业融资约束改善资本配置效率，其次借助技术手段优化融资成本结构，最后依托大数据分析强化信息传导效能，共同构成技术创新的制度性激励框架^[36]。这种三维赋能路径有效增强了城市经济系统的动态稳定性，具体表现为风险冲击下的缓冲能力提升、结构调整中的适应能力优化以及发展转型期的再生能力培育^[84]，最终实现经济韧性体系的系统性强化。其次，区域经济韧性提升的关键驱动要素还括产业多元化与科技创新协同发展，且此类要素存在显著的空间外溢特征^[79]。产业集聚的多样性不仅通过规模效应机制直接提升城市抗风险能力，同时借助人才集聚和技术扩散形成间接增益效应^[82]。研究进一步表明，数据资源整合与服务产业专业化两类新型要素集聚形态，对城市经济系统的稳定性产生显著正向调节作用^{[77][90]}。在全球化维度，对外直接投资的扩展边际与集约边际均对城市韧性形成促进效应，但前者的弹性系数较后者高^[86]，显示出市场广度拓展的战略价值。再次，农业产业链整合还可以通过双重路径增强经济韧性：一方面构建风险缓冲的分布式产业网络，另一方面建立适应性更强的弹性生产体系^[24]。数字化进程与实体经济的深度融合表现出非线性促进作用，其效应值随信息化水平提升呈现阶梯式跃迁，并产生跨区域协同影响^[80]。此外，智慧城市建设作为新型治理范式，通过激发市场主体活力、培育技术扩散生态和构建数字孪生系统三维路径，显著强化了城市经济系统的动态调节能力^[83]。最后，地理禀赋、资本积累强度、开放度水平、财政自主能力、教育投入规模、创新产出密度及税制优化程度等七类要素，均被证实对区域韧性形成具有统计显著性影响^{[37][78]}。

1.3.1.2 农业发展韧性相关研究

（1）农业发展韧性的测度

在农业系统韧性评估体系构建领域，学界已形成多维度研究范式。祝宏辉基于农业系统韧性理论，从抗逆性（Agrd）、复原性（Agrh）和重组性（Agrc）三

个维度设计评估框架^[8]。其中，抗逆性特指农业经济体系应对外部冲击时的损失控制效能；复原性表征系统受损后的功能恢复效率；重组性则体现系统通过自我优化实现结构升级的潜能^[8]。

后续研究者在理论基础层面进行了多维拓展。马聪聪团队选取省级行政单元为研究对象，通过熵权法构建包含抗压复原、适应调节、创新转型的三维评价模型，其指标体系覆盖 31 个省级样本的农业韧性特征^{[19][25]}。戴浩团队创新性引入 PSR 模型框架，按照“压力—状态—响应”的因果链逻辑，构建包含风险防御、动态适应、转型创新的综合评价模型，为韧性发展评估提供新的方法论视角^{[9][18]}。部分学者从生态可持续性、生产稳定性及生活保障三个层面建立乡村经济韧性测度模型，运用标准化处理与变异系数法实现量化分析^[13]。另有研究采用多维数据融合方法，整合农业生产要素、经济指标、社会参数及生态数据进行综合评估，构建农业发展韧性指数测算体系^[11]。此外，还有部分学者运用单一指标对农业发展韧性进行测度，宋敏从农业劳动生产率出发构建反事实变化函数测度农业韧性水平^[16]。颜榕以经济发展层面 GDP 指标出发。评价我国各地区农业经济韧性状况^[17]。

（2）农业发展韧性的时空变化

从农业发展韧性的时间演进来看，中国各省（自治区、直辖市）的农业经济韧性均呈明显上升趋势^[23]。且上升趋势大致相同，西南与西北地区农业发展韧性与农业高质量发展普遍较为落后^[22]。东部地区农业发展韧性水平最高^[31]。地区方面呈梯度效应^[13]。从粮食生产区域来看，粮食主产区相比于非主产区的韧性更加强健^[20]。农业发展韧性整体呈上升趋势^[7]。东北地区表现最好，中部地区有待提升^[11]。

农业发展韧性在空间分布上表现出明显的差异性。从省级层面分析，中国农业发展韧性虽显示出一定的省际关联性，但这种关联的强度并不显著^[19]。在空间网络效应方面，农业发展韧性呈现出“西部高于东部、南部高于北部”的格局，而在各区域内部，各省份之间则表现出较高的一致性^[19]。其中山东农业发展韧性均值最高，西藏最低^[23]。从区域来看，农业发展韧性水平大致呈“东强西弱”的空间分布特征，强韧性省（市）多位于东部沿海地区，弱韧性省（市）多位于西部内陆地区，且空间关联模式主要表现为 H—H 型和 L—L 型^[31]。也有学者持不

同结论，认为中部地区农业发展韧性最高，且高于全国平均水平。西部地区农业发展韧性明显低于其他地区^[23]。

从农业发展韧性的空间演变趋势来看，其发展呈现出逐步均衡化的特点。农业发展韧性的集聚范围不断扩大，而其集聚方向始终保持东北至西南的方位角不变^[16]。同时，农业发展韧性的重心向东南方向迁移^[16]。中国农业发展韧性的整体差异、区域内差异以及区域间差异均呈现逐渐减小的趋势。且主要来源于区域内差异，而区域内差异主要由西部地区省际差异引起^[23]。但各地区的波动情况有所差异^[11]。中部分区和东部分区内部差异明显^{[22][31]}。也有部分学者得出相反结论，全国总体差距呈显著增强态势，省际差异有所扩大。中国农业发展韧性存在显著空间关联特征且冷热点分布不均^[45]。差异来源依次为地区间差距、地区内差距与超变密度；全国总体及三大地区乡村经济韧性都存在 σ 收敛特点，支持 β 收敛机制；乡村经济韧性呈现相对稳定的“L—H”抑或“L—L”地理空间聚集特点^[13]。

（3）农业发展韧性的影响因素

在数字经济与农业现代化协同发展研究领域，学界揭示了技术赋能对农业系统抗风险能力的强化机制。研究表明，数字技术应用通过空间关联网络显著增强区域农业系统的抗冲击效能，形成跨地域的协同发展效应^{[8][14]}。特别值得注意的是，城乡要素双向流动机制作为数字技术渗透的关键路径，通过资源再配置与市场整合，有效提升农业生态的适应能力，这对维持社会经济稳定与实现高质量发展具有战略价值^{[8][29]}。

聚焦农村产业体系变革层面，产业融合作为供给侧改革的核心举措，通过三维度作用机制增强农业发展韧性：抗冲击性、功能恢复效能和结构重组潜能呈现梯度强化特征。该融合模式不仅借助产业链延伸、多业态拓展及技术扩散直接提升系统稳定性，更通过激发农村经济活力与加速人力资本培育形成间接支撑体系^[20]。其作用机理具体表现为：驱动农业经营多元化转型，培育新型职业农民群体，促进智能装备应用创新，以及优化金融资源配置效率，从而构建多维协同的韧性增强框架^[30]。

农业发展韧性受区域市场发育程度、科技创新效能与普惠金融服务水平三大核心要素驱动，三者的协同效应对农产业抗风险能力的解释力呈现显著增强趋势。

数字普惠金融对农业发展韧性具有显著的积极影响，其促进作用在恢复力、抵抗力、转型力和适应力四个维度上依次递减^[36]。然而，有研究指出，数字普惠金融与农业发展韧性之间存在负向空间溢出效应^{[9][12]}，但也有学者持不同观点，认为二者具有显著的正向空间溢出效应^[31]。此外，政府支持力度和环境规制也被视为影响中国农业经济韧性的重要因素。

此外，基础设施水平、产业结构水平以及生态环境建设对农业发展韧性具有一定影响^[7]。农业基础设施的改善能够有效增强农业发展韧性，其促进作用在适应调整能力、创新转型能力和抵抗风险能力三个维度上依次递减。同时，农业基础设施还能通过推动农业产业结构升级来提升农业发展韧性^[15]。

数字技术驱动农业农村现代化进程的实践框架呈现三维驱动机制：农业生产数字化、乡村治理数字化以及居民生活数字化的协同作用^[40]。研究表明，数字乡村建设对农业经济系统抗风险能力的提升存在显著促进作用，其作用路径具体表现为：通过优化生产要素配置效率，使单位劳动力产值提升，从而构建产业发展的动态稳定性^[10]。从技术经济范式视角分析，数字农业在价值创造（生产效率优化）与价值分配（利益主体协同）两个维度产生外溢效应，具体体现在经营主体增收、消费端品质保障及社会福利帕累托改进等方面^[38]。研发投入强度与信息基础设施覆盖率提高可以带动农业韧性指数增长。值得警惕的是，农村人口年龄结构的代际变迁呈现显著制约效应，老年人口占比上升将引致农业系统稳定性下降^[17]。

（4）提升农业发展韧性的策略

加强数字经济建设，发展数字普惠金融。注重农业韧性的波动态势，强化东南部高韧性省份的带头作用。深入挖掘数字技术在农业“生产—经营—产业”体系中的应用场景与突破点^[16]。强化数字经济对农业经济发展的赋能作用^[8]。围绕加强数字化基础建设、推动农村产业转型、消弭数字鸿沟等方面，发挥数字普惠金融对农业发展韧性的提升作用^[9]。

加强人才建设。着重培养农业高素质人才。重视数字经济赋能效果的异质性，统筹协调各区域发展^[16]。高校加快复合型人才的培养，有效降低技术融合的难度性^[30]。加大中西部地区的农业发展支持力度，统筹推进区域现代农业协调发展；打造高端平台，有效集聚农业高层次人才^[19]。

加强政府补贴力度。应加大农业科技要素投入,加大政府支农惠农力度,促进区域间联动效应,完善绿色财政支农体系,推动粮食主产区高质量协同发展^[11]。政府加大产业融合补贴力度,有效降低产业融合的风险性^[30]。

加强数字基础设施建设。提高农业基础设施建设质量,继而推进农业经济高质量发展^[18]。充分发挥农业产业结构升级在农业基础设施韧性治理中的中介作用、因地制宜地发挥农业基础设施的韧性培育作用等方面入手增强农业基础设施对农业经济韧性的提升作用^[15]。分区域强化信息化基础设施建设的载体功能,全面提升农村居民数字素养与数字技能的培育功能,夯实数据互通互联和数据安全的基础性工作的保障功能^[40]。

健全城乡融合发展与农业产业发展。建立健全城乡融合发展体制机制,因地制宜激活各产区农业潜力^[8]。对农业产业空间布局优化,增强农业经济韧性内生发展动力^[18]。促进农村产业结构升级^[45]。企业探索产业融合新型模式,有效提高产业融合的收益性^[30]。发展绿色农业^[17]。强化农业数字赋能,稳步推进数字农业持续健康发展^[19]。各地区应依据乡村社会治理与产业发展的基本需求,因地制宜制定绿色可持续发展策略^[10]。

1.3.2 人口老龄化与农业发展韧性相关研究

(1) 人口老龄化对农业发展韧性的影响

人口老龄化是当前全球面临的共同挑战,其对农业经济的影响引起了学术界的广泛关注。农业劳动力老龄化是全国人口老龄化及农村人口老龄化趋势下的必然结果^[17]。本文搜集了近年来相关文献,从劳动力供给、生产效率、消费结构、农业发展韧性、农业高质量发展等方面,探讨人口老龄化对农业发展的影响。

一方面,人口老龄化导致农业劳动力供给减少。尤其是青壮年劳动力外流,加剧了农业劳动力短缺问题。颜榕通过研究发现,农村老龄化显著降低了农业劳动力的数量和质量,导致农业生产面临“用工荒”问题^[17]。梁雅楠进一步指出,劳动力短缺推高了农业用工成本,削弱了农业的国际竞争力^[60]。

人口老龄化会导致农业生产效率下降。老龄化对农业生产效率的影响主要体现在技术接受度和体力限制方面。彭潇俊指出,老年劳动力对新技术的接受能力较弱,延缓了农业现代化进程^[105]。刘斌通过实证研究发现,老龄化导致农业劳动生产率下降,尤其是在劳动密集型农业领域^[102]。梁庆龙也认为农业劳动力老

龄化迟滞了农业生产效率提升，制约农业发展速度^[101]。

人口老龄化对农村消费结构的影响主要体现在消费需求和社会保障压力方面。张永凯研究发现，老年人口的消费能力较低，导致农村市场活跃度下降^[92]。蒋健指出，老龄化加剧了农村养老和医疗等社会保障负担，可能挤占农业经济发展的资源^[93]。

关于人口老龄化对农业发展韧性的影响，国内相关研究相对较少。颜榕的研究表明，人口老龄化的加剧会显著削弱农业发展韧性^[17]。从具体维度来看，老龄化对农业发展韧性的抵抗力、恢复力和再造力均产生显著的负面影响，其影响程度依次为恢复力>再造力>抵抗力^[66]。高玉婷的研究进一步指出，人口老龄化水平的提升会显著降低农业经济系统的风险抵御能力、适应调整能力和创新重构能力，从而削弱农业发展韧性^[65]。也有部分学者呈不同观点，认为人口老龄化对农业生产无显著影响。彭潇俊指出，生产决策的趋同、机械替代作用的增强以及社会化服务的普及，部分抵消了劳动力老龄化带来的负面影响，使得乡村劳动力老龄化对农业生产的影响并不显著^[105]。另有研究认为，农户劳动力年龄的增长对农业生产的影响呈现出倒“U”形趋势^{[105][97]}。

关于人口老龄化农业高质量发展的影响。有学者认为人口老龄化程度的加深阻碍了农业高质量发展。余永琪研究发现，农村人口老龄化会显著抑制农业绿色发展进而影响农业高质量发展，其抑制效应在低老龄化区域更为突出^[104]。也有学则持不同观点，张永凯发现，短期内农村人口老龄化抑制农业高质量发展水平的提高，长期内农村人口老龄化能够促进农业高质量发展水平的提高^[92]。

（2）人口老龄化对农业发展韧性的影响机制

目前关于人口老龄化对农业发展的影响机制，学术界进行了丰富的研究。主要由以下几种观点，一是人口老龄化对影响农业全要素生产率来影响农业生产，进而影响农业发展韧性。宋雪基于 2002—2021 年中国 23 个水稻主产省（市、自治区）的面板数据得出结果。农村劳动力老龄化显著抑制了农业全要素生产率增长。进而负向影响农业韧性^{[94][102]}。与之形成对比的是，学者叶涛涛在针对省级行政单位开展的实证研究中，从农业全要素生产率指数的动态变化切入，通过将这一指标拆解为技术效率改进与科技进步贡献两个组成部分，揭示了农业劳动力老龄化水平的不断提高对农业生产综合效率具有显著的正向促进作用^[99]。林萍萍

借助 EBM—GML 模型进行研究,认为农村人口老龄化显著地促进了土地规模经营和农产品结构优化,显著地促进了农业绿色全要素生产率的提升^[95]。

二是人口老龄化会影响农业技术效率进而影响农业发展韧性。学者颜榕与高玉婷在其研究中,通过构建中介效应模型证实,农业技术推广程度在劳动力老龄化与农业经济抗风险能力的关联中具有显著的中介传导效应。该研究发现,当农村老龄人口比例超过特定阈值时,会显著抑制新型农业装备的采纳速率,导致机械化系统的升级进程受阻,进而削弱农业生产体系应对外部冲击的适应能力^{[17][65]}。李亚鹏也认为老龄化农业劳动力直接导致了劳动生产率的下降,影响了农业技术效率的提升^[106]。李立辉则认为,人口老龄化下,劳动力大量外流,农业生产所依赖的劳动力资源逐渐减少,导致农业生产效率的下降。其次,老龄化导致农业劳动力数量减少和劳动力结构老化,使得农业生产效率降低^[96]。也有学者持相反观点,张军农业机械化在老龄化对粮食生产的技术效率、土地生产率和劳动生产率的影响中均有显著的正向调节作用,农业机械化缓解了老龄化对农业生产效率的不利影响^[97]。

三是人口老龄化会对人力资本水平产生影响进而作用于农业发展韧性。蒋健认为人口老龄化通过抑制教育人力资本、健康人力资本进而抑制农业经济韧性^[66]。张永凯认为农村人口老龄化在一定程度上通过抑制环境条件改善和人力资本水平,阻碍农业高质量发展的进一步提升^[92]。人口老龄化还会对农户农业资本投入产生影响进而作用于农业韧性^[66]。

人口老龄化对农业发展韧性的影响还会因地区不同而产生差异。蒋健认为人口老龄化在西部、中部地区、对农业经济韧性产生显著的负面影响^[66]。宋雪认为农村劳动力老龄化对农业全要素生产率的抑制作用仅在南方显著,在北方的抑制作用并不明显^[94]。刘斌通过构建区域异质性模型发现,老龄人口结构变迁对农业绿色生产效率产生的空间梯度效应呈现显著差异。其研究结果表明,中部分区域农业生产系统的生态效能所受制约最为突出,西部次之,而东部沿海地区受影响程度相对趋缓^[102]。蒋健基于主产区分类的实证研究表明,在粮食核心保障区与供需调节区,劳动力老龄化趋势会显著降低农业系统的经济适应能力^[66]。与之形成对比的是,高玉婷的计量分析显示,主产区农业经济体系在应对老龄人口压力方面表现出更强的适应性^[65]。

1.3.3 数字基础设施与农业发展韧性相关研究

(1) 数字基础设施对农业发展韧性的影响

数字基础设施是推动农业经济向高质量方向发展的关键物质支撑,其对提升农业发展韧性的作用不容小觑。通过梳理现有研究可以发现,农业发展韧性已逐渐成为农业经济研究领域的热点话题,但相关研究仍处于起步阶段。当前的研究文献主要聚焦于数字基础设施对农业经济和农业发展等方面的影响^{[15][73]}。

数字基础设施会对农业经济产生影响。宋敏以 30 个省区市的面板数据为研究对象,实证分析数字基础设施对农业经济的影响。表明:数字基础设施有效赋能农业经济发展^[16]。赵巍通过分析数字基础设施对农业经济发展的影响效应与作用机制。结果表明数字基础设施对农业经济发展有显著的促进作用^{[14][12]}。周鹏飞本文基于 2011—2021 年中国省际面板数据,利用熵值法分别测度了两者的发展水平,研究发现,推进数字基础设施能显著提升农业经济发展水平^[10]。

此外,还有部分学者针对数字基础设施对农业发展进行了研究。方观富通过研究发现数字基础设施的发展显著提高了农业产出,这主要是由于农作物播种面积的增加和农业机械利用率的提高,而不是农业人口的增加^[28]。张可根据 2011—2019 年的指标数据。构建空间矩阵和空间杜宾模型实证研究指出数字基础设施水平对农业发展有积极作用^[26]。戴浩指出数字基础设施对农业发展不仅具有正向促进作用,且存在负向空间溢出效应^[9]。

在探讨数字基础设施对农业发展韧性影响的研究中,众多学者普遍认同其具有积极推动作用。唐莹研究发现,随着数字基础设施水平的提升,农业发展韧性得到显著增强,其中适应调整能力、创新转型能力和抵抗风险能力的促进作用依次递减^[15]。王志凌从数字基础设施增强农业发展韧性的内在机制出发,构建了省际层面的农业发展韧性评价体系,并探讨了数字基础设施的影响。结果表明,数字基础设施显著提升了农业经济的抵抗力与恢复力^[73]。谭家银同样指出,数字基础设施能够增强县域经济的韧性,不仅提高了抵御和分散风险的能力,还增强了结构调整的适应性和变革能力^[24]。孙聪从静态和动态两个角度分析了数字基础设施对农业发展的影响及其机制。研究发现,无论是短期还是长期,数字基础设施都对农业发展产生了正面影响,短期内主要提升了适应性和抵抗性,长期则对预防性、抵抗性和适应性均有显著贡献^[68]。

（2）数字基础设施对农业发展韧性的影响机制

学术界普遍认为数字基础设施对农业发展韧性具有积极影响，但其具体作用机制尚未形成统一观点。现有研究主要从农业产业结构升级、产业融合、技术进步、人力资本提升以及劳动生产率等角度展开探讨。唐莹指出，数字基础设施能够通过推动产业结构升级来增强农业发展韧性^[15]。戴浩则强调，数字基础设施的发展主要通过促进农村产业高级化来强化农业发展韧性^[9]。赵巍进一步补充，产业结构优化（包括产业结构高级化和合理化）是数字基础设施提升农业发展韧性的重要途径^[14]。这些研究从不同角度揭示了数字基础设施对农业发展韧性的多维度促进作用。

研究表明，数字基础设施对农业经济韧性的提升具有多重作用机制。首先，在产业融合方面，王志凌指出，数字基础设施能够推动农业与其他产业的深度融合，从而增强农业发展韧性^[73]。谭家银进一步补充，随着数字基础设施水平的提升，农村产业融合对县域经济韧性的促进作用显著增强^[24]。赵巍也支持这一观点，认为农村产业融合发展是数字基础设施赋能农业经济韧性的重要中介渠道^[12]。

其次，在人力资本方面，王志凌强调，数字基础设施通过提升农村人力资本水平，为农业发展韧性提供了重要支撑^[73]。宋敏的研究进一步验证了这一机制，发现数字经济不仅增加了高素质人才的供需，还通过人力资本的正外部性和学习效应，为农业韧性注入了新的动力^[16]。

最后，在技术进步与生产效率方面，王志凌认为，数字基础设施能够显著促进农业技术进步，从而助力农业发展韧性的提升^[73]。孙聪的研究表明，农业技术进步在数字基础设施赋能农业韧性的过程中起到了关键作用^[68]。周鹏飞则从劳动生产率的角度进行分析，指出数字基础设施通过提高农业劳动生产率增强了农业发展韧性^[10]。钟真进一步补充，数字基础设施通过推动农业生产方式变革和优化农业产出成效，显著提升了农业生产效率^[35]。这些研究从不同角度揭示了数字基础设施对农业发展韧性的多维度促进作用。

研究表明，数字基础设施对农业韧性的影响呈现出显著的区域差异性。唐莹指出，在粮食主产区，农业基础设施主要增强了农业经济系统的适应调整能力，而在非主产区，其作用则更多体现在创新转型能力的提升上^[15]。谭家银的研究进一步证实了这一观点，发现数字基础设施对粮食主产区县域经济韧性的提升效果

明显优于非主产区^[24]。此外,孙聪的研究表明,在粮食主产区以及数字经济发达地区,数字技术与农业的深度融合对农业发展韧性的赋能效果更为显著^[68]。这些发现揭示了数字基础设施在不同区域对农业发展韧性影响的差异化特征。

从地理位置来看,数字基础设施对农业发展韧性的影响系数由中部向东部递增,在西部不明显^[16]。王志凌也认为数字基础设施对东部地区、“宽带中国”政策试点地区与国家大数据综合试验区的农业经济韧性均具有显著的提升作用^[73]。赵巍认为数字基础设施对农业发展韧性的促进效应在东部省份和小规模种植区表现更为显著^{[12][14]}。周鹏飞认为从区域维度来看,数字基础设施的提升作用的强弱依次为中部地区、西部地区和东部地区^[10]。方观富认为数字基础设施对西部地区、山地地区的农业产出促进作用更大^[28]。从时间维度来看,其提升作用呈现出 2011—2015 年时间阶段要大于 2015—2021 年时间阶段的结果^[10]。

1.3.4 人口老龄化与数字基础设施相关研究

在落实国家老龄化应对战略与数字中国建设顶层战略框架协同推进的宏观背景下^[109],如何系统解构数字化进程与人口结构转型的交互作用机理,已成为实现双重战略协同推进的必然选择^[107]。当前数字化转型浪潮正重构人口老龄化治理的基础支撑要素,使得传统应对机制赖以运行的环境条件发生结构性嬗变,形成机遇窗口与风险变量并存的新型范式。在此战略交汇点上,准确研判数字技术赋能老龄社会治理的传导路径,通过制度创新供给有效激活数字化转型势能,进而转化为应对老龄化挑战的创新驱动效能,已成为实现老龄化治理现代化目标的战略突破口。

我国在互联网普及和基础设施建设方面处于全球领先地位。国家将数字基础设施定位为公共资源,其布局和建设水平超越了许多国家,这不仅为解决互联网普及问题奠定了坚实基础,也为经济社会的可持续发展提供了坚实保障。互联网服务与数字技术能够有效弥合东西部、城乡之间的地理鸿沟,为公众提供更加多元且平等的信息与资源^[109]。与此同时,越来越多的老年人开始融入数字化生活,成为数字时代的积极参与者,智慧助老的实践基础也因此不断夯实^[107]。方俊怡认为数字基础设施能够促进农业机械对人力资本的替代作用^[111]。数字技术的广泛应用为老龄社会治理与银发经济的发展提供了科技支持与数据要素支撑,老龄社会的精准治理和个性化的服务供给成为可能^[107]。胡雯认为数字基础设施赋能

带来了老龄社会治理的三个主要转变：治理逻辑从“权威驱动”向“信息驱动”转变、治理机制从“科层制纵向管理”向“跨部门横向协同”转变、治理结构从“封闭体系”向“包容性参与”转变^[108]。在数字化时代，老年人参与社会活动的途径和形式更加丰富多样。此外，数字基础设施的发展推动了养老服务组织模式的创新，打破了传统养老服务产业的固有格局，为行业注入了新的增长动力^[107]。

1.3.5 文献述评

国内学者关于人口老龄化对农业发展韧性影响的研究结论存在分歧，这主要与研究区域的实际条件、样本数据来源、研究方法及研究尺度等因素的差异有关。目前，针对这一领域的具体研究尚不够系统和全面，缺乏整体性的梳理与归纳^[105]。尽管已有部分文献探讨了数字基础设施对农业经济高质量发展及其韧性等方面的影响，但学术界尚未达成统一的结论。此外，随着数字基础设施水平的提升，数字化与人口老龄化相交叠^[107]。使得应对人口老龄化的环境与基础随之改变。对人口老龄化对农业发展韧性的作用一定会产生影响。但目前鲜少有将两者放在同一个理论分析框架。

因此，本文基于国家统计局、农业农村部等各地区统计部门官方网站，以及历年《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国农业年鉴》《中国信息统计年鉴》，选取 2010-2022 年中国 31 各省份数据（不包含港、澳、台），对人口老龄化水平、数字基础设施建设水平以及农业发展韧性水平进行测度并进行分析。运用固定效应模型，在分析人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性的影响作用下，将人口老龄化与数字基础设施纳入统一理论框架，分析数字基础设施对人口老龄化的作用的影响。并进行一系列稳健性检验、内生性检验与机制分析，并针对人口老龄化、数字基础设施影响的异质性进行分析。在此基础上，分析人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性影响的交互效应。

1.4 创新之处

本文试图在以下方面做出创新。（1）选题视角不同。已有部分文献涉及人口老龄化、数字基础设施影响农业经济高质量发展等农业经济系统的韧性问题，但鲜有研究对人口老龄化、数字基础设施与农业发展韧性直接联系进行探讨。且现有的关于人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性的影响的研究大多只从其中一方面进行研究，忽视了人口老龄化与数字基础设施的内在联系。本文将二者

纳入同一理论分析框架。深入分析人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性的影响以及人口老龄化、数字基础设施在影响农业发展韧性的过程中产生的关联。

(2) 从指标构建上看, 在已有的数字基础设施评价体系、数字普惠金融评价体系, 区域经济韧性评价体系、城市经济韧性评价体系和农村经济韧性评价体系的的基础上, 结合众多评价体系的优点, 构建全新的数字基础设施评价指标体系, 主要包括传统网络终端设施、宽带设施、新型数字基础设施三个维度。构建全新的农业发展韧性评价指标体系, 主要包括风险防御能力、风险抵抗能力适应调整能力三个维度

(3) 研究方法创新。运用 Kernel 核密度估计方法分析中国数字基础设施水平、农业发展韧性水平区域差异及其动态演进趋势。运用面板回归方法、门槛效应模型、空间杜宾模型以及中介机制、调节机制模型等, 充分掌握人口老龄化、数字基础设施与农业发展韧性之间的因果关联性。

1.5 不足之处

本文在分析人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性的影响过程中也存在不足之处。一是由于部分指标数据的缺失, 以及部分数据尚未公布, 本文所使用的数据截至 2022 年, 无法获取更新的数据。二是考虑到时间以及数据获取难度, 选取了省级数据, 没有对市级数据进行分析, 放弃了探究城市或县域层面的具体影响。三是, 考虑到空间交叉相关难以测度, 没有探究数字基础设施对人口老龄化作用农业发展韧性的影响是否存在空间外溢性。

第2章 人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性影响理论阐释与假设设定

2.1 人口老龄化对农业发展韧性的影响

2.1.1 人口老龄化对农业发展韧性的直接影响

农业发展韧性，这一综合性概念，体现了农业系统在面对外部风险和内部灾害冲击时所展现的应对能力^[2]。作为物质资料生产的基石，劳动力的数量与质量对生产发展的轨迹具有决定性影响，因此农村地区的人口老龄化现象无疑将对农业的发展产生深远影响^[1]。伴随着我国人口老龄化趋势的加剧，农业经济在风险抵御和灾后恢复方面的能力预计将显著减弱，这将对农业的可持续发展构成重大障碍^[17]。基于此背景，本研究聚焦于农业发展韧性的三个核心维度，旨在深入分析农村人口老龄化对农业发展韧性产生的直接效应。

首先，人口老龄化对农业经济的风险防御能力产生了显著的负面影响。这一现象主要体现在两个层面：其一，随着老年人口比例的上升，农业劳动力资源日益匮乏，这不仅削弱了农业生产的效率，还导致了劳动力成本的显著增加，进而影响了农业生产的持续性和稳定性。劳动力数量的减少直接加剧了生产成本的上升趋势^[65]。其二，老年农民由于社交圈子的缩小以及对新兴技术和数字工具的不熟悉，其信息收集和处理能力逐渐退化。考虑到外部风险往往具有不可预测性、突发性和快速传播的特点^[66]，老年农民在识别和应对这些风险时显得尤为困难。他们往往难以提前准确预测风险的发生，且在风险突然来临时，也缺乏迅速有效的应对策略^[3]。

其次，人口老龄化对农业经济风险抵抗能力形成多维度冲击效应，具体表现在代际适应差异、人力资源配置失衡、政策驱动效应及生产模式转型四个关键维度，形成系统性风险传导机制^[4]。首要挑战体现在老年务农群体的适应能力层面。从代际差异视角分析，老年从业者在生理机能、知识更新速度及认知水平等方面与新生代劳动者存在显著代际鸿沟^[48]。这种能力代差直接导致风险应对过程中的响应延迟与策略失效，具体表现为风险评估偏差与干预时机错位，最终形成风险传导的放大效应^[66]。第二重压力源自城乡劳动力市场的结构性失衡。受非农产业边际收益率的牵引作用，农业领域优质人力资源呈现单向流失态势^[49]。这种基于

市场效率原则的要素流动虽符合个体理性选择,却引发农业从业群体数量与质量的双重下降,导致产业规模效益递减与抗风险基础弱化的恶性循环^[65]。第三层面涉及政策调控的复合影响。在人口红利消减背景下,非农部门的劳动力成本约束催生政策导向性调整^[11]。政府通过制度设计加速人力资源的城乡再配置,这种干预虽缓解了工业化进程中的要素短缺,却造成第一产业劳动力存量的超常规缩减,客观上削弱了农业生产体系的稳态结构^[18]。最终环节聚焦生产经营模式的适应性转变。当土地经营的技术门槛超越农户能力阈值时,生产经营目标从市场导向转为生计维持^[50]。这种生存理性驱动下的模式退化不仅诱发耕地撂荒、使用权流转等退出行为,更形成农业可持续发展能力的结构性衰减,构成产业安全的长尾风险。

最后,人口老龄化对农业经济的适应与调整能力产生了显著的负面影响。具体表现为资源获取障碍、创新动能不足、代际分配矛盾及技术迭代阻滞四重作用机制,构成产业转型的系统性障碍^[92]。首先,老年农业从业者面临社会资源获取的结构性障碍。相较于年轻群体,高龄务农者在信息渠道通达性与风险预判能力方面存在显著劣势^[92]。这种认知局限直接导致其融资渠道受阻,尤其在应对突发性冲击时,难以通过信贷支持等市场化手段实现生产恢复,形成经济韧性缺口^[93]。其次,传统经验优势与创新需求的矛盾呈现显性化趋势。尽管长期耕作实践赋予老年农户丰富的生产经验,但经验惯性的固化效应可能演变为创新阻滞因素^[92]。具体表现为技术采纳惰性加剧,对新兴农业模式存在认知滞后,形成技术迭代的路径依赖效应^[94]。这种代际知识更新速率的差异,客观上延缓了农业生产方式的现代化转型。更深层次的结构矛盾在于社会保障压力与产业投入的此消彼长。人口结构老化引发的养老医疗支出膨胀,不仅挤占公共财政对农业的投入空间^[96],更通过代际资源分配矛盾形成二次抑制效应。当社会保障负担突破临界阈值时,将导致农业基础设施投资边际递减与技术扩散速率下降的恶性循环^[93]。值得关注的是,经营规模与技术创新存在显著互斥效应。小农经济主导格局下,劳动力老龄化加速了土地细碎化进程^[98]。这种生产要素配置效率的持续衰减,不仅抑制农业机械的规模效益释放,更从投资预期维度削弱技术创新动力。当经营主体普遍缺乏技术更新迭代的能力储备时,最终形成农业全要素生产率提升的瓶颈约束^[103]。根据前文的分析提出以下假设:

H1: 人口老龄化程度的加深会抑制农业发展韧性。

2.1.2 人口老龄化对农业发展韧性的间接影响

(1) 人口老龄化会通过作用于农业技术效率进而对农业发展韧性产生影响。

一方面,人口老龄化对农业技术效率的负面影响不容忽视,这种影响进一步削弱了农业系统的韧性。根据适宜技术理论,经济增长依赖于技术选择与资源禀赋的匹配。然而,当前人口老龄化加速与技术进步并存的背景下,农村老龄劳动力普遍存在教育水平较低、信息获取能力不足等问题,导致其对现代农业机械和新技术的掌握程度有限,从而降低了先进农业科学技术的应用率^[17]。农业人力资本水平滞后与技术进步之间的矛盾日益加剧,这不仅影响了农业生产要素的配置效率,还抑制了农业技术效率的提升,对农业现代化的推进形成了阻碍^[52]。此外,农业现代化的发展要求劳动者具备较强的适应性和创新能力,但老龄人口在农业生产中面临体力下降、创新能力不足、反应速度减慢等多重挑战^[53]。加之基础设施和环境的限制,与年轻劳动力相比,老龄人口更容易受到主客观因素的负面影响,难以适应新技术对传统农业生产方式的变革^[94]。

另一方面,人口老龄化可能通过“倒逼效应”对农业技术效率产生一定影响。根据诱致性技术变迁理论,随着农业劳动力供给数量的减少和有效劳动力的下降^[55],农村地区的劳动力成本上升,导致农业生产的边际成本增加^[42]。由于农业生产要素之间具有较强的替代性,在追求利润最大化的驱动下,农业投资更倾向于技术研发,推动新生产要素和生产技术的应用。这种趋势促使农业生产方式从劳动密集型向资本密集型转变,从而部分抵消老龄化带来的负面影响,并推动农业机械化、自动化和智能化技术的普及与创新^[56]。然而,技术革新进程的时滞性特征使得劳动力结构老龄化对农业部门的影响呈现复杂性特征。尽管技术创新机制中存在部分补偿性调节作用,但老龄化的总体抑制作用依然显著。具体而言,农业技术从研发到应用的完整周期通常具有长期性特征^[57],这导致劳动力年龄结构老化引发的生产效率损失难以及时通过技术创新路径实现完全对冲。因此,本文认为,人口老龄化对农业技术效率的总体影响仍为负。

农业发展韧性水平与农业技术效率呈现显著正向关联。作为农业生产方式革新的核心驱动力,农业技术进步本质上是通过技术迭代升级实现生产模式革新与要素配置优化,进而驱动农业生产力持续提升的动态过程^[39]。农业技术效率的提

高对农业系统稳健性形成多维支撑：其一，构建全周期的风险预警机制可有效强化自然灾害防控能力，通过数字化监测网络实现灾损概率的精准评估与防控资源的优化配置^[30]；其二，新型种质资源开发与农业投入品创新显著增强了作物在生物逆境胁迫下的抗性阈值，为保障农产品稳定供给奠定物质基础^[47]；其三，生态友好型农业技术的推广应用不仅优化了要素配置效率，更通过减少面源污染实现了农业生产与生态保护的协同发展^[46]。此外，技术效率改善还能引发产业升级的乘数效应，既提高了农产品加工转化率与边际收益，又通过技术外溢效应吸引更多创新要素向农业领域集聚^[60]。但当技术效率陷入边际递减区间时，将引致农业生产成本攀升、质量升级阻滞以及抗风险机制弱化等连锁反应^[44]。这种效率损失会通过生产要素黏性传导，导致农业系统在风险缓冲、动态调整及结构优化等维度的功能性衰减，最终削弱其应对外部冲击的弹性恢复能力^[61]。从而严重损害农业发展韧性。据此提出以下假设：

H1a: 人口老龄化通过降低农业技术效率削弱了农业发展韧性。

（2）人口老龄化会通过作用于农业资本投入进而对农业发展韧性产生影响。

农户的农业资本投入指农户在农业生产过程中配置的资本要素，可界定为特定周期内其可支配且具有投资倾向的经济资源总和^[77]。随着人口老龄化趋势的加剧，农业劳动力老龄化问题也日益显著，这给农业生产带来了沉重的成本压力。由于老年农民的劳动效率下降，为了维持原有产量水平，他们需要投入更多的劳动时间；若劳动时间保持不变，则可能导致产量下降。这种矛盾进一步推高了劳动力的相对成本^[106]。

劳动力相对成本的上升对农业资本投入产生了双重影响。一方面，基于生产要素替代弹性视角，人力成本攀升既可能触发资本深化进程，亦可能引发资本积累阻滞效应。当农业从业者生理机能衰退与生产技能适应性降低时，经营主体通常需进行补偿性投资：包括但不限于机械化装备更新、职业安全保障系统升级以及人力资本再培训等适应性投入^[106]。从要素配置决策机制分析，劳动者职业流动性下降引致的非农就业机会缩减，客观上促使生产要素向农业生产领域集聚，这种资源再配置过程显著提升了单位劳动力的资本配给强度^[97]。另一方面，劳动力相对成本的增加也可能抑制农业资本投入。生命周期理论显示，老龄劳动者健康存量衰减与劳动生产率下滑形成恶性循环，叠加社会保障支出刚性增长的压力，

共同压缩了生产要素再投资的可行空间^[97]。这种双重约束机制不仅降低劳动生产效率,更通过资本—劳动替代弹性失衡导致农业全要素生产率增长受限^[63]。社会网络分析表明,老龄经营者受制于代际支持缺失与社会资本弱化^[67],其技术采纳与投资决策呈现显著路径依赖特征。行为经济学视角下,老龄群体普遍存在的风险厌恶倾向与技术认知时滞,使其更倾向于维持低水平生产均衡,这种保守决策模式显著抑制了农业经营中的要素配置优化进程^[70]。成本收益分析表明,尽管技术密集型投入具有潜在效率提升空间,但边际成本递增规律导致资本深化带来的收益增长难以覆盖运营成本增幅^[60]。根据要素配置的帕累托改进理论,当前农业经营体系下,资本要素的净边际产出已呈现递减态势。人力成本上升对农业资本投入的抑制效应显著强于其促进效应,这种非对称影响机制导致农业要素配置陷入低效率陷阱^[61]。

农业资本投入的减少将会对农业经济系统和农户产生多方面的负面影响。显著削弱农业经济系统的抗风险能力和恢复能力,导致农业生产效率下降和农户收入减少,进而对农业经济的可持续发展产生不利影响^[70]。一是抵御自然灾害能力下降。农业资本投入的减少意味着农户无法购置足够的农机设备或改善农业基础设施,这将直接削弱农业抵御自然灾害的能力^[72]。例如,缺乏灌溉系统可能导致干旱时作物减产,缺乏防洪设施可能导致洪水时农田受损。二是应对外部风险的能力减弱。资本投入减少会限制农户在面对外部风险(如市场价格波动、政策变化等)时的应对手段^[73]。农户可能无法采取有效的措施来应对这些风险,导致农业经济系统更容易受到冲击,进而增加经济损失。三是农业经济系统修复困难。农业经济系统在遭受自然灾害或其他外部冲击后,通常需要大量资金来进行修复和重建^[77]。资本投入减少会使得农户和农业经济系统在灾后恢复过程中面临资金短缺,导致修复速度变慢,甚至可能无法完全恢复,进一步加剧经济损失^[80]。四是农业生产效率下降。资本投入减少可能导致农业生产效率下降,因为农户无法更新或维护农机设备,也无法采用新技术来提高产量和质量^[81]。这将直接影响农业的产出和竞争力,进而影响农户的收入和农业经济的整体发展。五是农户收入减少。由于抵御风险能力下降和生产效率降低,农户的收入可能会减少^[82]。这将进一步限制农户的投资能力,形成恶性循环,导致农业经济系统的整体脆弱性增加。从而严重损害农业发展韧性。据此提出以下假设:

H1b: 人口老龄化通过降低农业资本投入削弱了农业发展韧性。

(3)人口老龄化会通过作用于人力资本水平进而对农业发展韧性产生影响。

人力资本作为驱动经济发展的核心要素,在代际维度上呈现显著差异性特征。相较于处于职业黄金期的中青年群体,老龄从业者普遍面临人力资本折旧加速与知识更新滞后的双重约束,这种人力资本存量的代际衰减已成为影响劳动生产率提升的关键阻滞因素^[102]。由人力资本理论可知,人力资本投资可形成人力资本存量^[97]。涵盖农业劳动力的技能、知识、体力等诸多内容。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、认知能力以及学习能力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^[104]。人力资本弱化效应导致农业生产投入的有效劳动发生改变,从而对农业发展产生影响^[102]。

人口老龄化会减少农业劳动力的人力资本水平进而影响农业发展韧性。老龄劳动力在劳动力供给能力、认知能力和学习能力方面的不足,直接影响了农业生产的效率和技术进步^[106]。劳动力供给能力下降导致农村劳动力短缺,认知能力不足限制了农业技术的创新和推广,而学习能力下降则阻碍了农业生产效率的提升^[97]。这些因素共同作用,对农业的可持续发展带来了负面影响。影响了农业发展韧性水平。

首先,劳动力供给能力不足的问题日益凸显。随着老龄劳动力身体机能的衰退,其感知能力和抗病能力也逐渐下降,这使得他们在农业生产中的体力劳动能力显著减弱,难以承担高强度的工作任务^[90]。其次,由于健康问题的限制,老龄劳动力的劳动时间普遍减少,无法像青壮年那样长时间投入农业生产,从而削弱了整体劳动力供给能力^[84]。此外,随着农村青壮年劳动力向城镇转移,老龄劳动力逐渐成为农村的主要劳动力来源,但其供给能力有限,导致农村地区劳动力短缺,进而影响了农业生产的持续性和稳定性^[94]。这些因素共同对农业发展韧性产生了显著的负面影响。

其次,老龄劳动力的认知能力不足也对农业发展构成了挑战。由于长期的生产生活经历,老龄劳动力形成了较为固定的思维模式,面对问题时更倾向于依赖传统经验,缺乏创新与变革的动力^[82]。此外,受认知能力的限制,老龄劳动力对

新技术和新品种的接受度较低，甚至可能产生抵触情绪，导致农业生产技术的更新速度放缓。同时，老龄劳动力在应对外部风险（如气候变化、市场波动等）方面能力不足，难以适应现代农业发展的新要求^[89]。这些因素共同对农业发展韧性产生负向作用。

最后，老龄劳动力的学习能力不足进一步制约了农业的发展。随着年龄的增长，其学习能力逐渐衰退，具体表现为记忆力下降、注意力分散，难以迅速掌握新知识 with 技能^[102]。此外，由于学习新技术和技能所能带来的收益周期较短，老龄劳动力的学习动力普遍不足，对农业生产的创新与改进缺乏积极性^[106]。同时，老龄劳动力普遍缺乏现代学习方法的培训，难以适应新技术和生产方式的要求，从而限制了农业生产技术水平和效率的提升^[102]。这些因素共同对农业发展韧性产生了负面影响。据此提出以下假设：

H1c: 人口老龄化通过降低人力资本水平削弱了农业发展韧性。

2.2 数字基础设施对农业发展韧性的影响

2.2.1 数字基础设施对农业发展韧性的直接影响

数字基础设施是实现农业经济发展的关键物质基础。对农业发展韧性增强具有重要影响^[73]。从农业发展韧性的三个维度来看。数字基础设施通过提升农业经济系统的风险防御能力显著增强了农业发展韧性^[6]。一方面数字基础设施可以进行实时监测与数据收集。比如物联网传感器、无人机和卫星遥感技术可以实时监测农田的气象条件（如温度、湿度、降雨量）、土壤状况（如湿度、肥力）以及作物生长情况^[8]。另一方面可以通过大数据分析和机器学习算法，将历史数据与实时数据结合，构建风险预测模型^[12]。例如，利用气象数据和作物生长模型，预测极端天气事件（如干旱、洪涝）对农业生产的影响。利用市场数据预测农产品价格波动，帮助农民提前调整种植结构。减少风险发生的可能性。

数字基础设施的建设有助于应对自然因素带来的不确定性，稳定农业生产经营的预期收益，从而提升农业经济系统的风险抵御能力，显著增强农业发展韧性^[9]。首先，数字基础设施的完善能够为农业生产经营活动提供有力保障。通过精准农业和供应链协同，农业产业的风险抵御能力得以提升，进而增强农业发展韧性^[12]。精准农业依托传感器数据和算法分析，实现精准施肥与灌溉，减少资源浪费，降低生产成本。同时，区块链技术和物联网技术能够记录从生产到消费的全

过程，实时监控冷链运输，确保农产品在运输过程中的质量，从而减少损耗^[16]。其次，数字基础设施的建设能够优化农业生产经营设备。在劳动力短缺的背景下，智能农机装备的应用可以确保农业生产不受影响^[24]。例如，自动驾驶拖拉机、无人机播种和农药喷洒等技术的使用，不仅提高了生产效率，还减少了对劳动力的依赖，从而增强了农业产业抵御自然灾害的能力，进一步提升了农业发展韧性。最后，数字基础设施有助于分散风险。例如，数字平台简化了农业保险的投保和理赔流程，降低了农民的参与门槛^[26]。电子商务平台为农民提供了直接对接消费者的渠道，减少了中间环节，降低了市场风险。此外，数字技术还支持农民发展特色农业、休闲农业等多元化经营模式，降低了对单一作物或市场的依赖，从而改善了农业经济系统的风险抵御能力^[28]。

在数字基础设施的持续赋能下，农业经济系统能够通过自身的适应性调整，在面对外部风险冲击时迅速恢复到稳定运行状态^[33]。首先，数字基础设施在增强农业系统抗逆能力方面发挥着基础性保障功能。通过构建灾害损失智能评估系统与应急资源精准配置机制，显著缩短了农业价值链的修复周期^[35]。具体而言，面对极端气候事件冲击时，依托灾情数据协同处理机制与生产要素重配效率提升，农业经营主体能够实现受损生产环节的快速定位与资源优化调度，这种技术赋能机制有效加速了农业经济系统的韧性重构进程^[39]。同时，数字平台简化了农业保险的理赔流程，加快了理赔效率。此外，政府可以通过大数据平台快速调配救援物资，企业则能够根据市场需求灵活调整供应链^[40]。这些措施有助于农村地区建立农业细分产业的恢复与重建系统。提升农业产业应对多重气候挑战的能力，降低生产经营成本。从而增强农业经济的韧性^[41]。其次，数字基础设施的建设推动了数字农业的发展，增加了农户的预期收益，进一步提升了农业发展韧性^[42]。社交媒体平台为农民提供了信息共享和经验交流的渠道，加速了数字技术与农业的融合进程。通过推动数字化农业的发展，农业发展韧性得到了显著增强^[60]。据此提出以下假设：

H2：数字基础设施建设会加强农业发展韧性。

2.2.2 数字基础设施对农业发展韧性的间接影响

（1）数字基础设施会作用于农业技术效率进而对农业发展韧性产生影响。

数字基础设施通过提高农业技术效率，显著增强了农业系统的发展韧性，使

农业经济在应对各种冲击和挑战时表现出更强的适应性和应对能力^[8]。具体而言,这种增强作用主要体现在以下几个方面:首先,资源优化与要素重组。数字基础设施通过重新配置和整合农业资源,提升了资源利用效率,推动了土地经营权的流转与集中^[9]。这种规模化、集约化的经营模式不仅提高了单位劳动力的产出,还通过激发投融资需求和技术创新,提升了土地生产效率,从而促进了农业技术效率的提高^[12]。其次,技术创新与智能化服务的推进。数字基础设施推动了数字技术在农业领域的广泛应用,构建了现代化、智能化的农业综合服务体系^[15]。这为农业生产提供了重要的信息和技术支持,通过农产品质量安全追溯和销售渠道的拓展,突破了传统农业经济模式的局限,显著提升了农业技术效率^[20]。再次,替代效应的作用。数字基础设施通过要素替代弹性重构了农业生产函数的技术构成。改变了传统要素配比模式,在降低要素边际成本的同时,实现了资源配置范式的帕累托改进^[21]。在技术扩散层面,数字基础设施的迭代升级加速了智能农机装备的创新扩散进程,这种技术渗透效应通过提升装备可及性与技术采纳效率,形成了新型生产力培育的倍增机制^[24]。农业科技创新,包括机械技术和生物化学技术的进步,对农业技术效率的提升起到了决定性作用^[26]。特别是在要素价格刚性增长与可持续发展诉求强化的硬性约束条件下,交通能源网络等基建系统的提质增效,已成为突破要素报酬递减规律的关键路径。这种系统性优化通过增强要素流动性、提升技术外溢速率等传导机制,持续推动着农业全要素生产率的增长极培育^[28]。最后,数字信息技术的融合。数字基础设施通过推动数字信息技术与生物技术的深度融合,改善了土壤、气候等自然条件,实现了农产品质量和农业技术效率的双重提升^[30]。

农业技术效率的提升对农业发展韧性具有重要影响,主要体现在以下几个方面。一是农业技术效率的提升直接增强了农业生产效率,使农业经济系统在遭受冲击时具有更强的应对能力和适应性调整能力^[32]。高效率的农业生产系统能够更快地恢复和调整,减少外部冲击对农业生产的影响。二是高农业技术效率意味着更优化的资源利用和更低的农业生产成本^[34]。这不仅提高了农业利润,还增强了农业经济系统在面临资源短缺或成本上涨时的韧性。三是农业技术效率的提升依赖于科技创新,包括机械技术和生物化学技术的发展^[41]。这些科技创新不仅提高了农业生产的技术水平,还增强了农业系统的稳定性,使其在面对市场波动和自

然灾害时更具韧性^[69]。四是高农业技术效率促进了种植结构的多样化,这有助于分散农业生产的风险。多样化的种植结构使农民在面对单一作物市场波动或自然灾害时,能够通过其他作物的收益来弥补损失,从而增强农业经济系统的韧性^[73]。五是农业技术效率的提升推动了农业的可持续发展,通过改善土壤、气候等自然条件,增强了农业系统对环境的适应能力。这不仅提高了农产品的产质量,还增强了农业系统在面对环境变化时的韧性^[82]。据此提出以下假设:

H2a: 数字基础设施通过提高农业技术效率增强了农业发展韧性。

(2) 数字基础设施会作用于农业产业融合进而对农业发展韧性产生影响。

数字基础设施通过促进农业产业融合,优化农村产业结构,缩小城乡数字鸿沟,创造良好营商环境,显著增强了农业发展韧性,推动了农业高质量发展和农业农村现代化目标的实现^[87]。一、数字基础设施为农业产业融合提供了技术支持。通过信息共享平台,农业生产、加工、储运、销售等环节能够实现高效协同,减少信息不对称带来的风险。实现信息共享与协同^[63]。二、数字基础设施通过金融科技手段(如区块链、智能合约等)降低了农业产业融合过程中的融资成本,使得更多资本能够流入农产品深加工、仓储管理、品牌打造等环节,提升全产业链的竞争力,支持农业产业链延伸和多功能发挥^[68]。三、数字基础设施为精准农业提供了技术支持。通过物联网、云计算等技术,农业生产者可以实时获取土壤、气候、病虫害等信息,从而优化种植决策,减少自然风险对农业生产的影响^[73]。四、数字基础设施推动了农业产业的数字化转型,使得农村产业结构更加优化^[80]。五、数字基础设施缩小了城乡数字鸿沟,使得农村地区能够更快地应用城市先进技术与设备,加速农业产业融合^[84]。六、数字基础设施加速了数字资源向农村地区的集聚,为农业产业融合创造了良好的营商环境^[42]。

农村产业融合通过产业重塑、产业创造和创新激励效应,显著提升了农业发展韧性。多样化的产业结构、数字化改造和技术溢出增强了农业经济的抗风险能力和适应性调整能力,使其能够更好地应对各种外部冲击,实现可持续发展^[41]。一、农村产业融合通过整合一二三产业,形成多样化的投资组合,增强对生产率冲击和价格波动的抵御能力^[36]。多样化集聚的经济系统具有自动稳定器功能,能够吸收外部冲击,减少农业经济对风险的暴露,提升整体韧性^[34]。二、农村产业融合催生了新模式、新业态、新技术和新产品,推动了农业经济的适应性结构调

整,增强了农业经济系统的创新能力^[33]。高新技术在农业中的渗透带来了技术和知识外溢,推动了融合性创新链的形成,提升了农业经济的创新能力和竞争力^[30]。三、农业产业融合通过信息技术渗透降低了生产成本,扩大了市场需求,推动了农业产业的智能化和数字化转型,增强了农业经济系统的适应能力^[28]。降低了农业经济结构转型的成本,促进了经济结构的优化。

H2b: 数字基础设施通过促进农业产业融合增强了农业发展韧性。

(3) 数字基础设施会作用于农业技术进步进而对农业发展韧性产生影响。

数字基础设施通过促进农业技术进步,显著提升了农业系统的发展韧性,使农业经济在应对各种冲击和挑战时展现出更强的适应性和应对能力^[8]。数字基础设施通过提供高效的信息传输与共享平台,打破了城乡要素流动的壁垒,从而提升了技术进步水平。首先,它促进了农业技术和知识的跨区域流动与扩散^[10]。通过技术扩散,先进的农业技术能够更迅速地传播到农村地区,显著提高了农村地区的技术进步水平^[15]。其次,数字基础设施加速了创新要素资源的流动与共享,为农业技术进步提供了有力支持,使农业技术资源得以更高效地利用^[16]。这种技术进步不仅提升了农业生产效率,还推动了农业产业的现代化与智能化发展。

农业技术进步通过以下方式对农业发展韧性产生显著影响。一是提高生产效率。农业技术进步显著提高了农业生产效率,使农业经济系统在遭受冲击时具有更强的应对能力和适应性调整能力^[20]。高效率的农业生产系统能够更快地恢复和调整,减少外部冲击对农业生产的影响。技术进步不仅提高了农业生产的技术水平,还增强了农业系统的稳定性,使其在面对市场波动和自然灾害时更具韧性^[22]。二是优化资源利用。农业技术进步通过优化资源利用,提高了农业生产的经济效益。这种优化不仅提高了农业利润,还增强了农业经济系统在面临资源短缺或成本上涨时的韧性^[24]。降低了农业生产成本,增强了农业经济系统在面临成本压力时的韧性。三是推动可持续发展。农业技术进步通过改善土壤、气候等自然条件,增强了农业系统对环境的适应能力。这不仅提高了农产品的产质量,还增强了农业系统在面对环境变化时的韧性^[28]。推动了农业的绿色发展,通过引入环保技术和可持续农业实践,增强了农业系统的环境韧性和可持续性。四是推动产业升级。农业技术进步推动了农业产业的升级和转型,使其更加现代化和智能化^[33]。这种升级不仅提高了农业生产效率,还增强了农业经济系统的整体韧性。促进了农业

产业的多元化发展，增强了农业经济系统的多样性和韧性^[41]。

H2c: 数字基础设施通过促进农业技术进步增强了农业发展韧性。

2.3 人口老龄化、数字基础设施影响农业发展韧性的交互效应

数字技术的应用和数字基础设施建设的发展则能有效缓解农村劳动力老龄化对农业产业链韧性的不利影响^[93]。在数字基础设施的影响下，数据作为一种新兴生产要素被引入农业生产活动^[8]。数字基础设施通过提升信息获取、机械化水平、科技支持、社会参与和养老服务，显著缓解了人口老龄化对农业发展韧性的负面影响，增强了农业生产的稳定性、适应性和可持续性^[38]。

数字基础设施通过信息传递和科学决策支持，提升老龄农民的生产适应性和抗风险能力。使老龄人口能够便捷获取农业技术、市场信息等资源，打破了传统信息传递的时空限制^[107]。老龄农民可以通过智能手机、电脑等设备，实时了解农产品价格波动、病虫害防治技术、气候变化等信息，从而做出更科学的生产决策。提升其生产决策能力^[108]。通过互联网和移动设备，通过在线教育平台、农业技术推广网站和社交媒体，老龄人口可以持续学习现代农业知识，掌握新技术和新方法。增强农业生产的适应性和抗风险能力^[109]。

数字基础设施通过农业机械化替代人力资本，缓解劳动力短缺问题。数字基础设施推动了农业机械的智能化发展，如无人驾驶拖拉机、智能收割机等。这些设备可以替代老龄农民的体力劳动，缓解劳动力短缺问题^[110]。农业机械化水平的提升缓解了农村劳动力老龄化对农业全要素生产率的抑制作用，减少了对体力劳动的依赖^[111]。对人力资本进行了替代。提高了农业生产效率，增强了农业的整体竞争力。缓解了劳动力老龄化的负面影响，增强农业发展韧性^[94]。

数字基础设施通过精准农业技术和数据驱动决策，优化生产流程，降低生产成本和市场风险。为老龄人口提供了科技支持和数据要素支持。如物联网、传感器、遥感技术等^[108]。例如，通过土壤传感器，老龄农民可以实时监测土壤养分状况，精准施肥，提高肥料利用率，降低生产成本。优化了生产流程。降低风险，提升农业生产的稳定性和可持续性^[38]。大数据和人工智能技术帮助老龄农民分析市场供需、气象变化等数据，优化生产决策。老龄人口可以更科学地制定生产计划，提高农业生产的精准性和效率。增强农业应对市场波动的能力^[94]。

数字基础设施通过增强社会参与和心理健康支持，提升老龄农民的生活质量

和生产积极性。数字平台为老龄人口提供了更多参与社会活动的机会，通过在线社区和社交网络，老龄人口可以参与多样化的活动，提升生活质量^[38]。增强其社会归属感和幸福感。缓解因农业生产压力带来的心理负担。提升心理健康，间接提高其农业生产积极性。从而更好地投入农业生产。增强应对农业挑战的能力^[110]。

数字基础设施通过创新养老服务模式和新驱动要素，增强老龄农民的独立生活能力和应对挑战的能力^[107]。数字基础设施改变了传统养老服务产业格局，催生了远程医疗、智能养老等新型服务模式，为老龄人口提供了更多支持，增强其独立生活能力^[109]。使其能够更好地应对农业生产的挑战。提升养老服务的质量和效率。催生新的养老服务组织形态。创造新的发展驱动要素。这些路径共同作用，增强了农业生产的稳定性、适应性和可持续性，从而提升了农业发展韧性^[38]。据此提出以下假设：

H3：数字基础设施对人口老龄化的负面影响起反向调节作用。

第3章 人口老龄化、数字基础设施和农业发展韧性水平测度与演进特征刻画

3.1 测度方法与数据选取

3.1.1 人口老龄化测度方法

随着经济的发展社会的进步,以及医疗卫生水平的提升、社会保障制度的健全,人民群众的生活水平得到了极大的改善。人口预期寿命不断延长。加之人们思想观念的转变,以及生育意愿的下降,形成了人口低死亡率和低出生率共存的局面。老年人口在人口年龄构成中的比例不断上升,人口老龄化程度不断加深,将成为当前和今后一段时间我国社会的重要特征,对社会发展产生深远影响。

人口老龄化包含两个层面的含义:首先,它指的是老年人口比例持续上升的动态趋势;其次,它特指某一地区或国家的人口结构已达到老年型状态。在国际上,通常采用老年人口占总人口的比例作为评估老龄化程度的指标,比例越高,表明老龄化程度越深。通常认为,当一个国家或地区 60 岁及以上人口占比超过 10%,或者 65 岁及以上人口占比超过 7%时,即可认定该地区已步入老龄化社会(或称为老年型人口结构)。

考虑到我国人口老龄化呈现出人口规模大、发展速度快、发展不平衡、未富先老等特点。参考蒋健的做法,采用 65 岁以上老年人口比例来衡量人口老龄化程度^[66]。在此基础上为更加直观的展示人口老龄化成因,从总抚养比、少年儿童抚养比、老年人口抚养比变动情况进行进一步分析。

3.1.2 数字基础设施、农业发展韧性测度评价体系与方法

(1) 数字基础设施指标体系构建

数字基础设施是指支撑现代社会信息化、网络化发展的硬件和软件资源的总和,包括但不限于高速宽带网络、数据中心、云计算平台、物联网设备、人工智能系统以及相关的通信技术和协议。这些基础设施为数据的传输、存储、处理和分析提供了必要的物理和技术基础,是推动数字经济发展、实现智能城市、促进社会各行业数字化转型的关键要素。作为推动经济发展的新引擎,对于提升社会服务质量至关重要。是国家安全的重要保障。数字基础设施的完善程度直接关系到一个国家或地区在全球数字经济竞争中的地位和潜力。

本研究基于当前数字基础设施的发展背景，参考王军的研究成果，构建了一个多维度的指标体系^[76]。该体系主要从三个方面展开分析：传统网络终端设备、宽带设施以及新兴数字基础设施。其中，传统网络终端设备作为数字基础设施的关键组成部分，其发展水平通过两个具体指标来评估：每千人域名拥有量和每千人网站拥有量。前者用于衡量个人和企业注册及使用域名的广泛性，后者则用于评估网站创建和网络内容生产的活跃度，二者共同反映了网络资源的普及程度和使用效率。

宽带设施构成了数字基础设施的核心支柱，其关键指标包括互联网宽带接入端口数量和互联网宽带接入用户数量。前者体现了宽带网络基础设施的覆盖广度及其扩展潜力，而后者则揭示了宽带网络在用户中的普及率和实际应用情况，共同描绘了宽带设施的建设进展和用户接入状况。

新兴数字基础设施则涵盖了电子信息产业的固定资产投资、移动通信基站数量以及 IPV4/IPV6 地址数量。其中，电子信息产业的固定资产投资是衡量数字基础设施建设投入的重要指标；移动通信基站数量则展示了移动网络的容量和承载能力；IPV4/IPV6 地址数量则映射了网络的规模、用户基数及数据流量。这些指标从多个维度全面反映了数字基础设施的各个方面，为评估其建设水平提供了合理的依据。具体指标如表 3-1 所示。

表 3-1 数字基础设施建设水平指标体系

指标	变量	单位	属性
数字基础设施	传统网络终端设施	每千人拥有域名数	万个 正向
		每千人拥有网站数	万个 正向
	宽带设施	互联网宽带接入端口数	万个 正向
		互联网宽带接入用户数	万户 正向
		电子信息产业固定资产投资	亿元 正向
	新型数字基础设施	移动电话基站数	万个 正向
		IPV4/IPV6 地址数	万个 正向

（2）农业发展韧性指标体系构建

农业发展韧性是一个综合性概念，指农业在发展过程中应对外部风险与内部灾害冲击的能力。目前学界没有统一的评价标准。为客观全面地分析各省市农业发展韧性水平，借鉴 PSR（pressure-state-response）模型^[19]，按照科学性、系统性、简洁性、数据可得性等原则，从风险预防能力，风险抵抗能力、适应调整能力三个维度选取 35 个指标对农业发展韧性进行评判（见表 3-2）。对各项指标说

明如下。

风险预防能力指农业系统为应对风险所具备的前期预防性。具体包括防御韧性和农产品竞争力。其中防御韧性由农林牧渔从业人数与总人数比值、人均农林牧渔也固定资产投资、农林水事务支出与一般事务支出比值、粮油储备支出占一般预算支出比值四个指标来评价。当农林牧渔从业人数比例越高，人均农林牧渔也固定资产投资越高，农林水事务支出与粮油储备支出越多，农业系统稳定性越强，风险防御能力越强。农产品竞争力是指一国农业能够持续稳定地满足国内经济社会可持续发展对农产品的需求、有效应对国内外各类风险冲击、抵御不利因素损害或威胁的能力，提高农产品竞争力是防御自然风险和市场风险的重要抓手。农产品竞争力可以用土地产出率、农产品加工转换率、农产品出口市场占有率、农产品显示比较优势指数、农产品贸易竞争力指数五个指标来进行衡量。

风险抵抗能力指风险来临时农业生产、经济、生态所表现的抵抗性。即农业系统对外部冲击和内部灾害的抵抗能力。农业系统的风险抵抗能力越高，越能有效应对合欢街外部压力，保持系统的稳定性。风险抵抗能力包生产韧性、生态韧性、经济韧性和社会韧性四个方面。其中生产韧性指农业生产基础设施对农业风险抵抗能力的影响。主要采用有效灌溉面积/农作物播种面积、农业机械总动力/农作物播种面积、粮食产量/农作物播种面积、成灾面积/受灾面积、乡村办水电站五个指标来进行衡量。生态韧性是指农业化学资源投入对风险抵抗能力的影响。主要采用单位播种面积耗水量、单位播种面积农用化肥（提纯）量、单位播种面积农药施用量、单位播种面积农用塑料薄膜施用量四个指标进行衡量。经济韧性指农业经济发展水平、农业生产主体经济状况对风险抵抗能力的影响。主要采用农林牧渔业增加值/农作物播种面积、农产品加工营业收入/农作物播种面积、农村居民人均可支配收入、农村居民人均消费支出四个指标进行衡量。社会韧性指农业生产主体所处社会的外部条件对风险抵抗能力的影响。主要采用教育支持水平（地方财政国土资源气象等事务支出决策数额）、医疗卫生水平（地方财政教育支出）、自然资源环境维护水平（每万人医疗机构床位数）、物流基建水平（等级公路里程/省份面积）四个指标进行衡量。

适应调整能力指风险过后农业系统恢复调整至原状态并获取新价值的适应性。包括恢复韧性和创新韧性两个方面。恢复韧性指农业系统在遭受干扰或损失

后，适应环境、恢复稳定状态的能力。采用复种指数（农作物播种面积/耕地面积）、水土流失治理面积、农业保险收入/农林牧渔总产值、农村用电量四个指标来衡量。创新韧性指农业系统在遭受冲击后灵活调整资源配置、调整结构、并重新构建系统的能力。采用农业科技活动经费投入强度（R&D 经费内部支出×农林牧渔业总产值占地区生产总值比例）、农业气象观测站数、农业产业规模化水平（当年农林牧渔业企业存续数量）、农业科技创新活跃度（农业植物新品种申请数量）、农业机械化作业水平（机械耕种率、播种率、植保率、灌溉率、收割率加权得到）五个指标来衡量。

表 3-2 农业发展韧性指标体系

目标	一级指标	二级指标	三级指标	属性
农业发展韧性	风险防御能力	防御韧性	农林牧渔从业人数/农村总人数	+
			农林牧渔也固定资产投资/农林牧渔也从业人员	+
			农林水事务支出/一般事务支出	+
			粮油储备支出/一般预算支出	+
		农产品市场竞争力	土地产出率	+
			农产品加工转换率	+
			农产品出口市场占有率	+
			农产品显示比较优势指数	+
			农产品贸易竞争力指数	+
			有效灌溉面积/农作物播种面积	+
	风险抵抗能力	生产韧性	农业机械总动力/农作物播种面积	+
			粮食产量/农作物播种面积	+
			成灾面积/受灾面积	-
			乡村办水电站	+
		生态韧性	单位播种面积耗水量	-
			单位播种面积农用化肥（提纯）量	-
			单位播种面积农药施用量	-
			单位播种面积农用塑料薄膜施用量	-
		经济韧性	农林牧渔业增加值/农作物播种面积	+
			农产品加工营业收入/农作物播种面积	+
			农村居民人均可支配收入	+
			农村居民人均消费支出	+
		社会韧性	教育支持水平	+
			医疗卫生水平	+
			自然资源环境维护水平	+
			物流基建水平	+

续表 3-2

适应调 整能力	恢复韧性	复种指数	+
		水土流失治理面积	+
		农业保险收入/农林牧渔总产值	+
	创新韧性	农村用电量	+
		农业科技活动经费投入强度	+
		农业科研基础设施水平/气象站	+
		农业产业规模化水平	+
		农业科技创新活跃度	+
		农业机械化作业水平	+

(3) 数字基础设施、农业发展韧性测度方法

1. 熵值法基本原理及步骤

为避免主观赋权的随机性,保证权重指标的可靠性,本文采用熵值法进行赋权。熵值法是指用来判断某个指标的离散程度的数学方法。离散程度越大,该指标对综合评价的影响越大。熵值法能够深刻反映指标的内在力量,赋权更加客观。

第一,进行数据标准化处理。其中正向指标的处理公式为:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (3-1)$$

负向指标的处理公式为:

$$y_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (3-2)$$

第二,计算第*i*个省份第*j*个指标的比重:

$$X_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^m y_{ij}} \quad (3-3)$$

第三,计算第*j*个指标的信息熵:

$$z_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m X_{ij} \times \ln X_{ij}, 0 \leq z_j \leq 1 \quad (3-4)$$

第四,计算第*j*项指标的冗余度:

$$e_j = 1 - z_j \quad (3-5)$$

第五,计算指标权重:

$$\omega_j = \frac{e_j}{\sum_{j=1}^n e_j} \quad (3-6)$$

第六,计算综合得分:

$$s_j = \sum_{j=1}^n \omega_j \times y_{ij} \quad (3-7)$$

2. Kernel 核密度估计法

核密度估计 (kernel density estimation, KDE) 是将核平滑应用于概率密度估计, 即以核为权重来估计随机变量的概率密度函数的非参数方法。通过 Kernel 密度估计法, 可以更直观地了解中国农业产业韧性水平的动态演进特征, 借鉴田向辉 (2024) 的做法, Kernel 核密度函数的公式为:

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_h(x - x_i) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (3-8)$$

其中, N 代表样本总数, x_i 代表观测值, x 代表观测值的平均值, h 代表宽, K 为核函数, 本文采用的是 Gaussian 核函数, 公示如下:

$$K_x = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \quad (3-9)$$

3.1.3 数据来源

本文数据主要来自国家统计局、农业农村部等各地区统计部门官方网站, 以及历年《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国农业年鉴》《中国信息统计年鉴》, 选取 2010-2022 年中国 31 各省份数据 (不包含港、澳、台), 部分缺失值采用线性插值法进行补充。

3.2 人口老龄化水平测度与时空特征

3.2.1 人口老龄化的时间序列分析

3.2.1.1 基于全国层面人口老龄化的时序演变特征

根据人口老龄化指数测度结果 (见表 3-3), 目前我国人口老龄化呈现出一下特征。人口老龄化规模大。2000 年中国 65 岁及以上人口占比超过 7%, 开始进入老龄化社会。根据 2010-2022 年人口老龄化指数变动情况可以看出, 从 2010-2022 年, 人口老龄化指数不断提高, 中国老龄化程度不断加深。2021 年 65 岁及以上人口占比超 14%, 正式进入深度老龄化社会。预计到 2030 年左右, 中国将进入占比超 20% 的超级老龄化社会。之后持续快速上升至 2060 年的约 37.4%。到 2080 年, 中国预计人口老龄化比率将达到惊人的 46%, 届时中国将有 8 亿老龄人口。占全世界老龄人扣得 1/4。

人口老龄化速度快。从 2010-2022 年人口老龄化指数变动情况来看, 老龄化指数增长的幅度在不断提升, 人口老龄化正在不断加速过程中。2010-2011 年人口老龄化指数增长 0.292 个百分点。2019-2020 年人口老龄化指数增长 0.755 个百分点, 达到最高。2020 年后, 通过一系列综合应对措施的实施, 人口老龄化指

数增速虽有所下降,但仍处于较高水平,且在未来一段时间内不会出现大幅下降。且随着 1962-1975 年第二轮婴儿出生潮人口逐渐衰老并进入生命终点。未来 30 多年中国人口老龄化程度将加速深化。

未富先老问题突出。2000 年,中国进入人口老龄化社会,当时我国人均 GDP 约为 959 美元。而美国早在 20 世纪中期就进入人口老龄化时代,1950 年起,美国 65 岁以上人口占比就已经达到 8.1%,当时美国人均 GDP 约为 2400 美元。日本在 1970 年进入人口老龄化阶段,当时日本人均 GDP 约为 2100 美元。2021 年,我国进入深度老龄化社会,人均 GDP 约为 12168 美元。而美国、日本在深度老龄化阶段时人均 GDP 分别为 5.5 万美元、4 万美元。

表 3-3 2010-2022 中国人口老龄化指数及其变动

年份	老龄化指数 (%)	老龄化指数变动情况	老龄化指数增速 (%)
2010	8.87	—	—
2011	9.13	0.26	2.92
2012	9.40	0.27	2.96
2013	9.68	0.28	2.99
2014	10.06	0.39	3.98
2015	10.47	0.40	3.98
2016	10.85	0.38	3.67
2017	11.39	0.54	4.97
2018	11.94	0.55	4.82
2019	12.57	0.64	5.32
2020	13.52	0.95	7.55
2021	14.22	0.70	5.14
2022	14.88	0.66	4.66

根据表 3-4, 从全国范围来看, 2022 年我国平均人口老龄化指数为 14.39, 已达到深度老龄化程度。其中辽宁、上海、重庆、四川、江苏、黑龙江、吉林、天津人口老龄化程度最深, 均超过 17%。但这几省的人口老龄化成因有所差异。东三省人口老龄化程度高主要是由于人口外流。而上海、重庆、江苏、天津主要由于养老水平高, 医疗条件好, 是多数老年人选择的养老城市。除此之外, 山东、湖北、湖南、安徽、河北、北京人口老龄化程度也相对较高, 也需要给予关注。宁夏、青海、新疆、西藏地处偏远, 且人口老龄化程度最低, 均不超过 10.5, 尤其是西藏地区人口老龄化指数仅为 5.90, 没有达到人口老龄化水平, 目前人口结构状况相对较好。

表 3-4 全国、粮食主销区、粮食主产区、产销平衡区 2010-2022 人口老龄化变化情况

区域	省份	2010	2022	2022 年排名	变动比例 (%)	变动比例排名
粮食主销区	北京	8.72	15.12	14	73.36	11
	天津	8.50	17.01	8	100.06	3
	上海	10.12	18.67	2	84.45	8
	浙江	9.33	14.91	15	59.77	21
	福建	7.89	12.19	9	54.58	24
	广东	6.75	9.60	29	42.16	28
	海南	7.84	11.29	26	43.93	26
	均值	8.45	14.11	—	65.47	—
粮食主产区	河北	8.24	15.64	13	89.79	7
	内蒙古	7.57	14.69	16	94.11	5
	辽宁	10.31	20.02	1	94.14	4
	吉林	8.38	17.75	7	111.97	2
	黑龙江	8.33	17.82	6	114.02	1
	江苏	10.89	17.87	5	64.01	19
	安徽	10.18	15.79	12	55.06	23
	江西	7.61	13.03	22	71.33	13
	山东	9.84	16.72	9	69.87	14
	河南	8.36	14.55	18	74.05	10
	湖北	9.08	16.29	10	79.35	9
	湖南	9.77	16.12	11	64.90	16
	四川	10.95	18.12	4	65.45	15
	均值	9.19	16.49	—	80.62	—
产销平衡区	山西	7.59	14.48	19	90.81	6
	广西	9.23	13.13	21	42.25	27
	重庆	11.54	18.30	3	58.56	22
	贵州	8.58	12.12	24	41.38	29
	云南	7.64	11.67	25	52.80	25
	西藏	5.00	5.90	31	17.96	31
	陕西	8.52	14.68	17	72.33	12
	甘肃	8.25	13.43	20	62.84	20
	青海	6.22	10.22	28	64.45	17
	宁夏	6.35	10.43	27	64.26	18
	新疆	6.19	8.39	30	35.54	30
	均值	7.75	12.07	—	54.83	—
全国均值		8.51	14.39		68.05	

从 2010-2022 年平均人口老龄化指数变动比例来看,我国平均人口老龄化指数变动比例 68.05%。黑龙江、吉林、天津、辽宁、内蒙古、山西、河北人口老龄化变动幅度最大,增速最快,均超过 85%。结合人口老龄化指数排名来看,黑

龙江、辽宁、吉林、天津四省人口老龄化程度最高，增速最快。是目前人口老龄化形式最严峻的地区。上海、湖北、河南、北京、陕西、江西、山东人口老龄化增速也相对较快，超过全国平均水平，也需要引起重视。浙江、重庆、安徽、福建、云南、海南、广西、广东、贵州、新疆、西藏地区人口老龄化指数增速较为一般。

人口老龄化是一个老年人口比重不断提高的动态过程，其诱因主要是人口寿命的延长以及人口出生率的持续下降。为更加直观的展示人口老龄化成因，从总抚养比、少年儿童抚养比、老年人口抚养比变动情况进行进一步分析（见表 3-5）。

表 3-5 全国、粮食主销区、粮食主产区、产销平衡区 2010-2022 抚养比变化情况

区域	省份	2010 总抚养比	2022 总抚养比	总抚养比变动比例 (%)	2010 少年儿童抚养比	2022 少年儿童抚养比	少年儿童抚养比变动比例 (%)	2010 老年人口抚养比	2022 老年人口抚养比	老年人口抚养比变动比例 (%)
粮食主销区	北京	20.95	37.33	78.19	10.41	16.57	59.17	10.54	20.76	96.96
	天津	22.42	42.79	90.86	11.99	18.51	54.38	10.43	24.28	132.79
	上海	23.07	39.74	72.26	10.62	13.66	28.63	12.46	26.09	109.39
	浙江	29.11	38.62	32.67	17.05	17.59	5.29	12.05	20.67	71.53
	福建	30.48	44.03	44.46	20.18	26.47	31.17	10.3	17.56	70.48
	广东	30.96	39.01	26.00	22.12	25.67	16.04	8.84	13.34	50.90
	海南	38.50	43.43	12.81	27.71	27.24	-1.69	10.8	16.19	49.91
	均值	27.93	40.71	51.03	17.15	20.87	27.57	10.77	19.84	83.14
粮食主产区	河北	33.46	51.99	55.38	22.46	28.22	25.65	10.99	23.77	116.29
	内蒙古	27.64	38.85	40.56	17.99	18.45	2.56	9.65	20.40	111.40
	辽宁	27.76	43.74	57.56	14.59	14.97	2.60	13.17	28.77	118.45
	吉林	25.59	39.92	56.00	15.06	15.08	0.13	10.53	24.84	135.90
	黑龙江	25.44	37.14	45.99	15.00	12.71	-15.27	10.44	24.44	134.10
	江苏	31.40	47.11	50.03	17.09	20.82	21.83	14.31	26.29	83.72
	安徽	39.20	51.07	30.28	25.03	27.21	8.71	14.17	23.86	68.38
	江西	41.80	49.01	17.25	31.02	29.59	-4.61	10.77	19.42	80.32
	山东	34.37	52.84	53.74	21.15	27.29	29.03	13.23	25.56	93.20
	河南	41.56	55.83	34.34	29.73	33.16	11.54	11.83	22.67	91.63
	湖北	29.88	46.38	55.22	18.07	22.53	24.68	11.81	23.85	101.95
	湖南	37.74	52.16	38.21	24.27	27.63	13.84	13.47	24.53	82.11
	四川	38.73	49.64	28.17	23.54	22.52	-4.33	15.19	27.12	78.54
	均值	33.43	47.36	43.29	31.15	23.09	8.95	12.27	24.27	99.69

续表 3-5

区 域	省份	2010 总 抚养比	2022 总 抚养比	总抚养 比变动 比例 (%)	2010 少 年儿童 抚养比	2022 少 年儿童 抚养比	少年儿 童抚养 比变动 比例 (%)	2010 老 年人口 抚养比	2022 老 年人口 抚养比	老年人 口抚养 比变动 比例 (%)
产 销 平 衡 区	山西	32.75	42.65	30.23	22.70	21.99	-3.13	10.06	20.66	105.37
	广西	44.82	54.54	21.69	31.44	34.25	8.94	13.38	20.30	51.72
	重庆	39.93	48.96	22.61	23.76	21.70	-8.67	16.17	27.26	68.58
	贵州	51.04	54.30	6.39	38.10	35.60	-6.56	12.94	18.71	44.59
	云南	39.58	43.71	10.43	28.93	26.94	-6.88	10.65	16.77	57.46
	西藏	41.77	44.15	5.70	34.55	35.66	3.21	7.22	8.49	17.59
	陕西	30.27	45.94	51.77	19.16	24.51	27.92	11.11	21.42	92.80
	甘肃	35.85	47.38	32.16	24.67	27.58	11.80	11.19	19.80	76.94
	青海	37.41	43.90	17.35	28.75	29.2	1.57	8.66	14.70	69.75
	宁夏	38.68	42.89	10.88	29.79	27.99	-6.04	8.89	14.9	67.60
	新疆	36.91	41.31	11.92	28.44	29.46	3.59	8.47	11.86	40.02
	均值	39.00	46.34	20.10	28.21	28.63	2.34	10.79	17.72	62.95
全国均值		34.16	45.50	36.81	22.75	24.55	10.81	11.41	20.94	82.92

2010-2022 年,我国各地区总抚养、老年人口抚养比都呈增加态势,且增加幅度较大。全国平均总抚养比由 34.1%增加到 45.5%。其中,河南、广西、贵州、山东、湖南总抚养比最高,均超过 50%,表明每两个劳动力就要抚养超过 1 位的儿童或老年。吉林、上海、广东、内蒙古、浙江、北京、黑龙江的总抚养比最低,低于 40%,但从数值上来看,排名最低省份的总抚养比也相对较高,年轻劳动力的抚养负担过重。平均老年人口抚养比由 11.41%增加到 20.94%,增长幅度将近 100%。其中,辽宁、重庆、四川、江苏、上海、山东的老年人口抚养比最高,超过 25%,表明每四个劳动力需要抚养超过 1 位的老人。天津、吉林、黑龙江、辽宁的老年人口抚养比增速最快,表明目前人口老龄化增速加快的趋势。少年儿童抚养比略有增长,但变动幅度不大,由 22.75%变动到 24.55。其中,西藏、贵州、广西、河南的少年儿童抚养比最高,超过 30%。海南、黑龙江、江西、四川、山西、广西、重庆、贵州、云南、宁夏的少年儿童抚养比变动甚至为负向,表明这些地区已经出现少子化趋势。且结合老年人口抚养比来看,这些地区老年人口抚养比通常较高表明目前人口老龄化加速主要是老年人口增多与少年人口减少的综合作用结果,其中后者需要更加重视。

3.2.1.2 基于区域人口老龄化的时序演变特征

为展现不同省市人口老龄化程度、变动差异，将全国 31 个省（不包含港、澳、台）按粮食生产销售情况分为三大区域，粮食主销区（北京、天津、上海、浙江、福建、广东、海南）、粮食主产区（河北、河南、黑龙江、吉林、辽宁、湖北、湖南、江苏、江西、内蒙古、山东、四川、安徽）、产销平衡区（山西、宁夏、青海、甘肃、西藏、云南、贵州、重庆、广西、陕西、新疆），从总抚养比、少年儿童抚养比、老年人口抚养比、老龄化指数四个方面更加系统直观地展示各个区域人口老龄化状况。

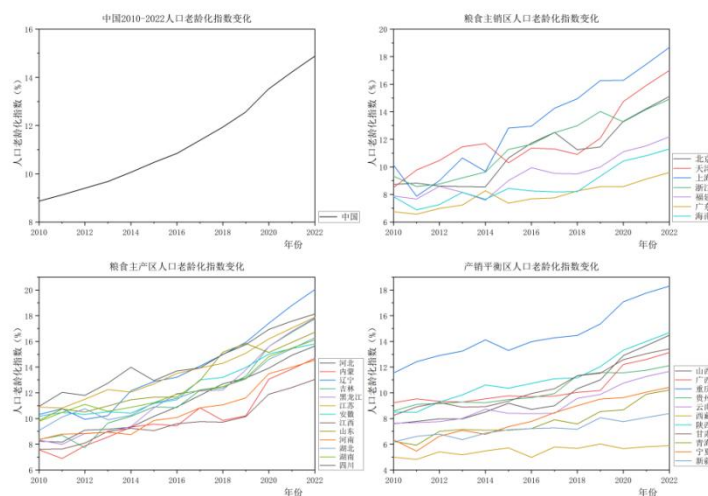


图 3-1 全国、粮食主销区、粮食主产区、产销平衡区 2010-2022 人口老龄化指数变化情况

从人口老龄化指数变动情况来看（见图 3-1、表 3-4），从 2010-2022 年，无论是粮食主销区、粮食主产区还是产销平衡区，人口老龄化指数不断上升。老龄化程度不断加剧。从具体数值来看，2022 年粮食主产区人口老龄化程度最深，增速最大，平均老龄化指数达到 16.49%，平均增速达到 80.62%。这从相当程度上也反映了目前农业生产劳动力老龄化的现状。其中东北三省老龄化程度最为严重，这与东三省人口资源大量流失，青年劳动力大量外流有关。江苏的老龄化程度也较高，且江苏进入老龄化社会的时间较早，但与东三省情况不同，江苏人口老龄化程度高是由于其实施计划生育政策早于计划生育十多年，计划生育政策导致的长期低生育率使得江苏人口老龄化程度更深。其次是粮食主销区，平均老龄化指数达到 14.11%。平均人口老龄化增速达到 65.47%。其中上海、北京、天津的老龄化程度最深，且其人口老龄化指数变动幅度最大，这是由于社会发展以及医疗水平的进步，上海、北京、天津作为经济发展社会发展的带头者，其养老服

务水平最高，人口寿命更长。粮食主产区、粮食主销区已经达到了深度老龄化水平。产销平衡区人口老龄化程度相对较弱，其平均人口老龄化指数为 12.07%，平均增速为 54.83%。但值得注意的是，新疆、西藏地区人口老龄化程度和增速较低，可能拉低了整个区域的老龄化程度。从单个省份来看，山西、陕西、甘肃、青海、宁夏人口老龄化增速较高，也需要特别关注。从总抚养比、少年儿童抚养比、和老年人口抚养比变动情况来看（见表 5，图 2-4）。2010-2022 年中国、粮食主销区、粮食主产区、产销平衡区总抚养比、老年人口抚养比均大幅上升，总抚养比、老年人口抚养比的增加使得养老负担加重，社保压力上升，政府债务加重，社会创新创业活力下降等一系列问题。但少年儿童抚养比变动微小，只有小幅上升。总抚养比的增加主要贡献来自于老年人口抚养比的增加。

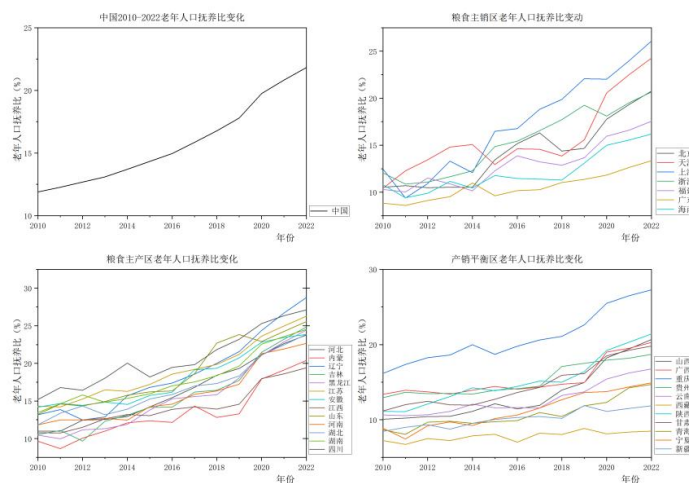


图 3-2 全国、粮食主销区、粮食主产区、产销平衡区 2010-2022 老年人口抚养比变化情况

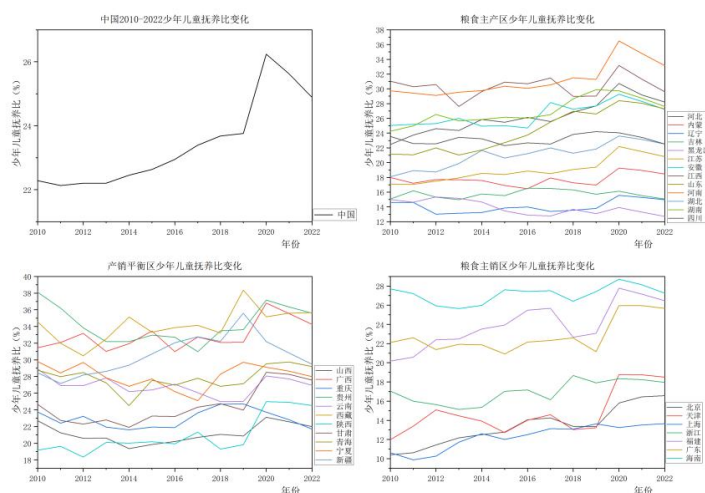


图 3-3 全国、粮食主销区、粮食主产区、产销平衡区 2010-2022 少年儿童抚养比变化情况

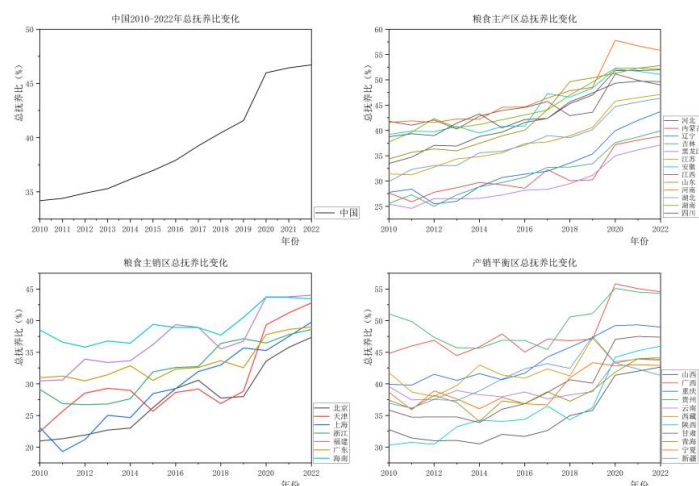


图 3-4 全国、粮食主销区、粮食主产区、产销平衡区 2010-2022 总抚养比变化情况

老年人口抚养比增加主要是由于因长寿因素导致人口老龄化。2010 年我国老年人口抚养比为 11.41%，平均每 100 个劳动年龄人口需要抚养约 11 位老年，到 2022 年，我国老年人口抚养比上升至 20.94%，较 2010 年比上升了 82.92%。劳动力人口的养老负担进一步加重。其中粮食主产区平均老年人口抚养比变动比例最高，为 99.69%，粮食主销区平均老年人口抚养比变动比例次之，为 83.14%，产销平衡区平均老年人口抚养比变动比例最低，为 62.95%。

少年儿童抚养比则反应由于少子化而导致的人口老龄化。2010 年我国少年儿童抚养比为 22.75%，平均每 100 个劳动年龄人口需要抚养约 23 位儿童，到 2022 年，我国老年人口抚养比上升至 24.55%，较 2010 年比上升了 10.81%。少年儿童比上升速度缓慢，也从侧面显示出目前人口的生育意愿下降，少子化趋势正在逐步加强。其中粮食主销区平均少年儿童抚养比变动比例最高，为 27.57%，粮食主销区平均老年人口抚养比变动比例次之，为 8.95%，产销平衡区平均老年人口抚养比变动比例最低，为 2.34%。

结合老年人口抚养比、少年儿童抚养比，从总抚养比来看。粮食主产区总抚养比最高，为 47.36%。其次为产销平衡区，为 46.34%。最后是粮食主销区，为 40.71%。粮食主产区人口老龄化程度更深，形式最为严峻，其中河北、河南、山东、安徽地区总抚养比最高，已经超过 50%，河北、河南、山东、安徽地处中原，都是典型的农业大省，且从事农业生产的多为老年人。年轻劳动力外出务工比例高，人口流失严重。产销平衡区总抚养比虽然较高，但较 2010 年相比，变动幅

度最小最稳定，人口老龄化程度长期变动幅度不大。而粮食主销区虽然总抚养比最低，但总抚养比增加速度最快，也需要给予重视，尤其是北京、天津、上海地区

综上，老龄化的影响因素主要是少子化和长寿趋势。其中长寿带来的老龄化体现了社会的进步和医疗水平的提升，但少子化的加剧使得老龄化明显加速，成为老龄化的“加速器”，未来随着第二、三轮婴儿潮人口逐渐进入老龄，叠加少子化趋势持续的影响，老龄化速度将进一步加快。如何应对老龄化已经成为目前亟待解决的问题。

3.2.2 人口老龄化的空间格局分析

为了分析全国人口老龄化水平的动态演进规律，对 2010-2022 年中国 31 个省份的人口老龄化水平进行分析，得到核密度分布图，通过核密度分析，可以将点或线生成连续表面，从而找出哪些地方比较集中，结果如图 3-5 所示。

根据分布情况，2010-2022 年人口老龄化的核密度曲线逐年向右边移动，且总体偏移幅度偏大，说明我国人口老龄化水平增速较快。根据峰值的变动，从 2010-2022 年峰值逐渐下降，同时波峰宽度增大，表明各省份人口老龄化水平差异程度增大。根据曲线形态，可以看到人口老龄化核密度曲线分布延展性在一定程度存在拓宽趋势，意味着全国范围内人口老龄化水平的空间差距在逐步扩大。

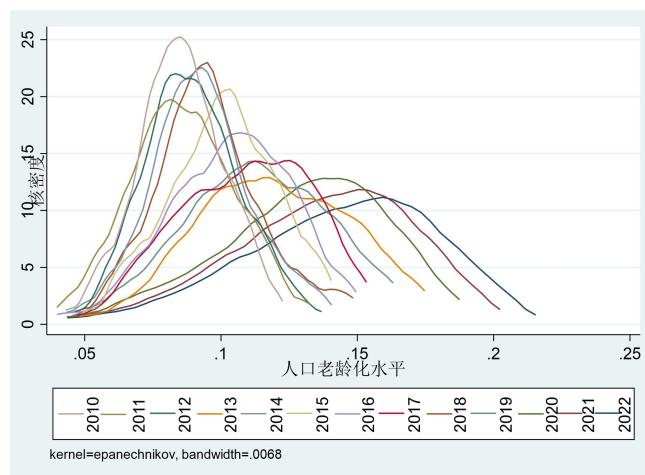


图 3-5 2010-2022 年 31 个省域人口老龄化水平核密度曲线

具体将全国分为粮食主销区、粮食主产区、产销平衡区三大地区，画出三个地区的核密度图（见图 3-6、3-7、3-8），根据图 3-6，粮食主销区 2010-2022 年人口老龄化的核密度曲线逐年向右移动，总体偏移幅度相对较大。根据峰值的变

动，从 2010—2022 年峰值逐渐下降，同时波峰宽度增款，表明粮食主销区人口老龄化差异程度逐年增强。

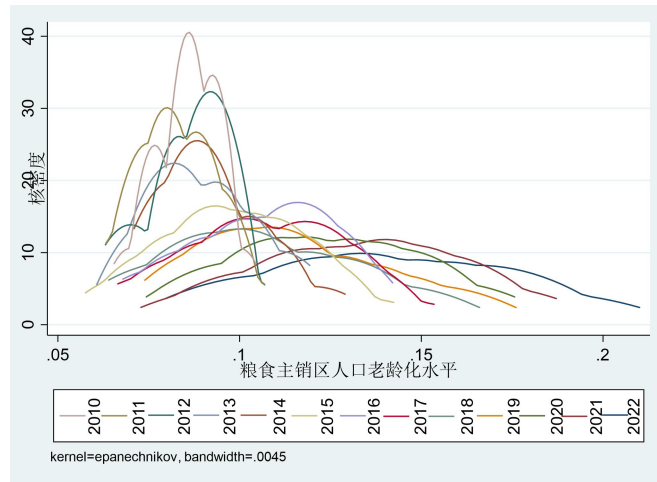


图 3-6 2010-2022 粮食主销区人口老龄化水平核密度曲线

根据图 3-7，粮食主产区 2010-2022 年人口老龄化核密度曲线逐年向右移动，表明粮食主产区的人口老龄化程度日益严峻，总体便宜幅度相对较大，表明粮食主产区人口老龄化水平增长速度较快。根据峰值的变动，从 2010-2022 年粮食主产区人口老龄化水平核密度曲线峰值先上升后下降，幅度偏大。表明粮食主产区人口老龄化差异程度先变小后变大，呈现波动态势。

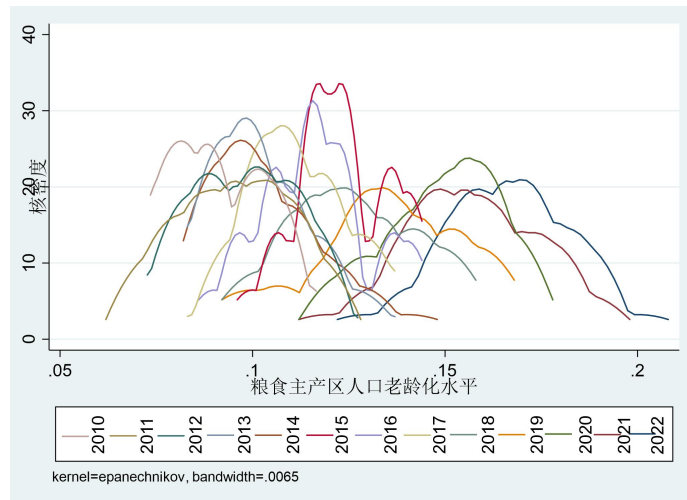


图 3-7 2010-2022 粮食主产区人口老龄化水平核密度曲线

根据图 3-8，产销平衡区 2010-2022 年人口老龄化核密度曲线逐年向右移动，表明粮食主产区的人口老龄化水平也逐年提升，总体便宜幅度相对较大，表明粮食主产区人口老龄化水平增长速度较快。根据峰值的变动，从 2010-2022 年粮食主产区人口老龄化水平核密度曲线峰值线上升后下降。同时波峰宽度显著增大，

表明粮食主产区人口老龄化水平差异程度也逐渐增大。

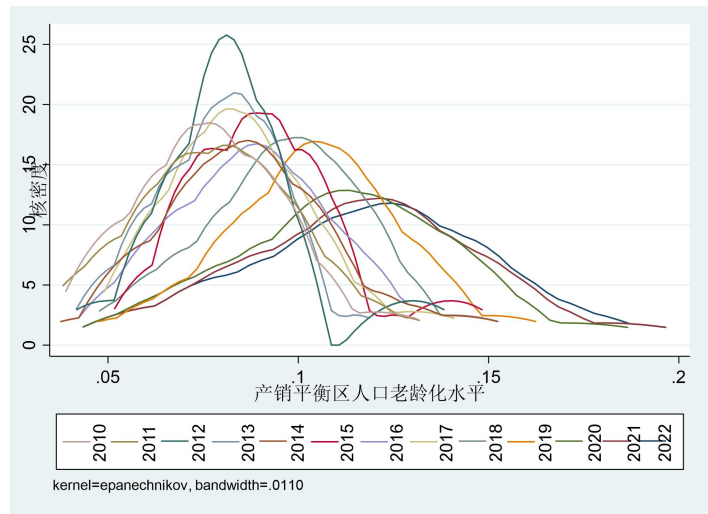


图 3-8 2010-2022 产销平衡区人口老龄化水平核密度曲线

3.3 数字基础设施水平测度与时空特征

3.3.1 数字基础设施的时间序列分析

根据中国 31 各省份 2010-2022 年的数字基础设施建设水平的评价指标体系，运用熵值法测算出 2010-2022 年我国以及各省份的数字基础设施建设水平。结果见表 3-6。

表 3-6 全国、粮食主销区、粮食主产区、产销平衡区数字基础设施建设水平

区域	省份	2010	2022	变动比例（%）	变动倍数
粮食主销区	北京	0.161	0.685	324.635	4.246
	天津	0.027	0.077	179.809	2.798
	上海	0.118	0.216	82.229	1.822
	浙江	0.159	0.452	184.641	2.846
	福建	0.302	0.317	5.163	1.052
	广东	0.259	0.697	169.253	2.693
	海南	0.013	0.054	330.990	4.310
	均值	0.148	0.357	182.388	2.824
粮食主产区	河北	0.079	0.259	227.454	3.275
	内蒙古	0.025	0.084	235.418	3.354
	辽宁	0.063	0.172	172.422	2.724
	吉林	0.031	0.079	158.629	2.586
	黑龙江	0.040	0.107	171.375	2.714
	江苏	0.122	0.438	257.421	3.574
	安徽	0.044	0.231	424.921	5.249
	江西	0.109	0.169	54.438	1.544
	山东	0.098	0.439	348.066	4.481

续表 3-6

区域	省份	2010	2022	变动比例 (%)	变动倍数
	河南	0.064	0.362	462.647	5.626
	湖北	0.057	0.223	295.148	3.951
	湖南	0.059	0.236	298.821	3.988
	四川	0.076	0.353	365.796	4.658
	均值	0.067	0.242	267.120	3.671
产销平衡区	山西	0.042	0.138	226.073	3.261
	广西	0.034	0.177	416.097	5.161
	重庆	0.039	0.140	257.541	3.575
	贵州	0.024	0.162	571.131	6.711
	云南	0.031	0.145	367.408	4.674
	西藏	0.005	0.018	227.868	3.279
	陕西	0.037	0.167	355.029	4.550
	甘肃	0.019	0.085	356.733	4.567
	青海	0.007	0.025	243.739	3.437
	宁夏	0.009	0.032	275.812	3.758
	新疆	0.021	0.093	349.094	4.491
	均值	0.024	0.107	331.502	4.315
全国均值		0.070	0.220	270.832	3.708

根据表 3-6 数据,从 2010-2022 年,无论是粮食主销区、粮食主产区还是产销平衡区数字基础设施建设水平都呈现增长态势。2010 年中国各省市平均数字基础设施建设水平为 0.070,到 2022 年,各省平均数字基础设施建设水平增长到 0.200,是 2010 年的 3.708 倍。表明我国数字基础设施建设正在稳步推进,并已有成效。

从三个分区来看,粮食主销区的数字基础设施建设水平最高,达到 0.357。其中广东、北京数字基础设施建设水平最高,位列第一梯队,此外广东、北京数字基础设施水平也位列全国一、二名。第二梯队包含浙江、福建,其数字基础设施建设水平远高于全国平均水平。最后是上海、天津、海南,其基础设施建设水平低于全国平均水平、尤其是天津、海南,这两省的数字基础设施水平与其他省份差距过大,均不超过 0.1。就数字基础设施建设水平增长速度来看,粮食主销区的数字基础设施建设水平的增长速度最低。低于全国平均水平,为 2.824。其中北京、海南的数字基础设施建设水平增长速度最高。其次为天津、浙江和广东,最后为上海和福建。

粮食主产区各省平均数字基础设施建设水平为 0.243,位列三大区域第二。

其中,江苏、山东的数字基础设施建设水平最高,均超过 0.4。跻身第一梯队。河北、安徽、河南、湖北、湖南、四川数字基础设施建设水平中等,集中在 0.22-0.4 之间,高于全国平均水平。内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江数字基础设施建设水平最低,不足 0.22。就数字基础设施建设水平增长速度来看。除江西外,其余各省份数字基础设施建设水平增长速度均超过 2.5。河南、安徽、湖北、湖南、四川数字基础设施建设水平增长速度最高,超过全国平均水平。河北、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、江苏、江西数字基础设施建设水平增长速度相对较低。

产销平衡区的数字基础设施建设水平最低,为达到 0.093。远远低于全国平均水平,甚至低于粮食主销区 2010 年平均水平。其中山西、广西、重庆、贵州、云南、陕西数字基础设施建设水平相对较高,但在全国范围内看,均处于较低范围,不超过全国平均水平。西藏、甘肃、青海、宁夏、新疆的数字基础设施建设水平极低,均不超过 0.1。尤其是青海、宁夏,在全国范围内位列倒数第一、倒数第二。就数字基础设施建设水平增长速度来看,产销平衡区数字基础设施建设水平增速全国最高,平均增速达到 4.315。其中广西、贵州、云南、陕西、甘肃、宁夏、新疆数字基础设施建设水平增速最大。尤其是贵州,在全国范围内排行第一。山西、重庆、西藏、青海地区增速相对较弱、

结合粮食全国数字基础设施建设水平及其变动速,将粮食主销区内数字基础设施建设水平分为低(0.22 以下)、中(0.22-0.4)、高(0.4 及以上)三个等级,将数字基础设施建设水平增速分为较快(3.708 及以上)、一般(2.5-3.708)、较慢(2.5 以下)。粮食主销区内,北京市数字基础设施建设水平高增速较快,广东省数字基础设施建设水平高但增速一般;浙江省数字基础设施建设水平和增速一般,福建省数字基础设施建设水平一般且增速较慢;海南省数字基础设施建设水平低但增速较快,天津市数字基础设施建设水平低增速一般,上海市数字基础设施建设水平低且增速较慢。粮食主产区,山东省数字基础设施建设水平高增速快,江苏省数字基础设施建设水平高但增速一般;安徽、河南、湖北、湖南、四川数字基础设施建设水平一般但增速较快,河北省数字基础设施建设水平与增速均一般;内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江数字基础设施建设水平低增速一般,江西省数字基础设施建设水平低增速较慢。产销平衡区内,广西、贵州、云南、陕西省数字基础设施建设水平一般但增速较快,陕西、重庆数字基础设施建设水平

和增速均一般；甘肃、宁夏、新疆数字基础设施建设水平低但增速较快，西藏、青海数字基础设施建设水平低且增速一般。

3.3.2 数字基础设施的空间格局分析

为了分析全国数字基础设施建设水平的动态演进规律，对 2010-2022 年中国 31 个省份的数字基础设施建设水平进行分析，得到核密度分布图，通过核密度分析，可以将点或线生成连续表面，从而找出哪些地方比较集中，计算出数字基础设施的聚集状况。如图 3-9 所示。

根据分布情况，2010-2022 年数字基础设施的核密度曲线逐年向右移动，表明我国数字基础设施建设水平逐年提升。但总体偏移幅度偏小，说明我国数字基础设施建设水平增速缓慢。根据峰值的变动，从 2010-2022 年峰值逐渐下降，同时波峰宽度增大，表明各省份数字基础设施建设水平差异程度变大。根据曲线形态，可以看到数字基础设施建设水平的核密度曲线存在明显的右拖尾现象，而右拖尾逐年拉长，分布延展性在一定程度存在拓宽趋势，意味着全国范围内数字基础设施建设水平的空间差距在逐步扩大。

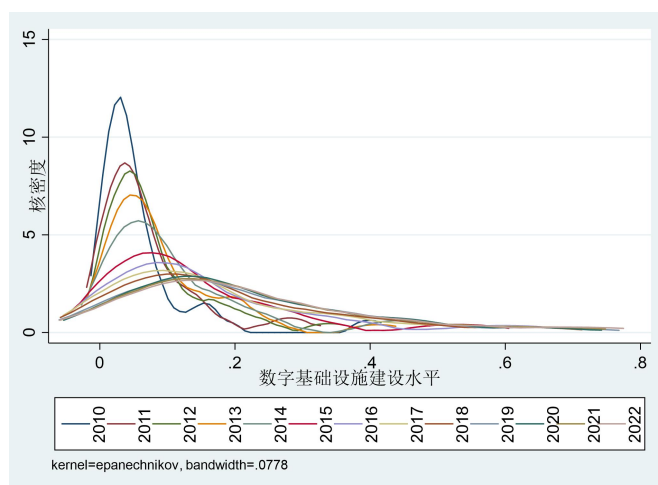


图 3-9 2010-2022 年 31 个省域数字基础设施建设水平核密度曲线

具体将全国分为粮食主销区、粮食主产区、产销平衡区三大地区，画出三个地区的核密度图（见图 3-10、3-11、3-12），根据图 3-10，粮食主销区 2010-2022 年数字基础设施的核密度曲线逐年向右移动，表明粮食主销区数字基础设施水平逐年提升，总体偏移幅度相对较大，表明粮食主销区数字基础设施建设水平增速快。根据峰值的变动，从 2010—2022 年峰值逐渐下降，且由双峰逐渐向双峰过度，表明粮食主销区数字基础设施建设水平两极分化现象在逐年减弱。同时波峰

宽度增大，表明粮食主销区内各省份数字基础设施建设水平差异程度变大。

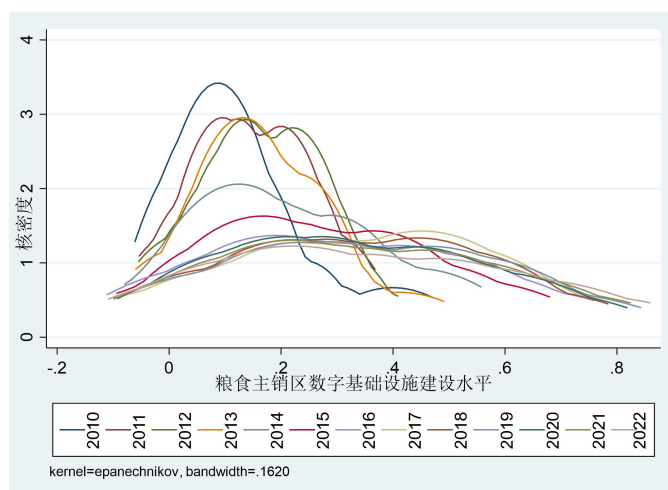


图 3-10 2010-2022 粮食主销区数字基础设施建设水平核密度曲线

根据图 3-11，粮食主产区 2010-2022 年数字基础设施核密度曲线逐年向右移动，表明粮食主产区的数字基础设施水平也逐年提升，总体便宜幅度相对较小，表明粮食主产区数字基础设施建设水平增长速度一般。根据峰值的变动，从 2010-2022 年粮食主产区数字基础设施建设水平核密度曲线峰值下降明显，幅度偏大。同时波峰宽度显著增大，表明粮食主产区数字基础设施建设水平差异程度变大。

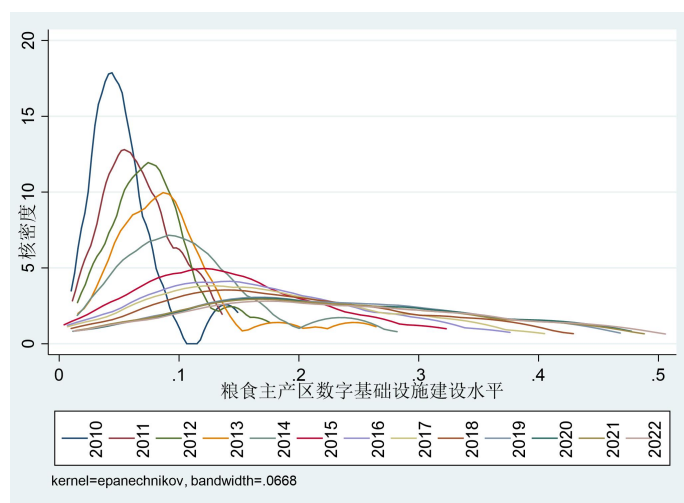


图 3-11 2010-2022 粮食主产区数字基础设施建设水平核密度曲线

根据图 3-12，产销平衡区 2010-2022 年数字基础设施核密度曲线逐年向右移动，表明粮食主产区的数字基础设施水平也逐年提升，总体便宜幅度相对最小，表明粮食主产区数字基础设施建设水平增长速度缓慢。根据峰值的变动，从 2010-2022 年粮食主产区数字基础设施建设水平核密度曲线峰值下降明显，幅度

最大。同时波峰宽度显著增大，表明粮食主产区数字基础设施建设水平差异程度变大。

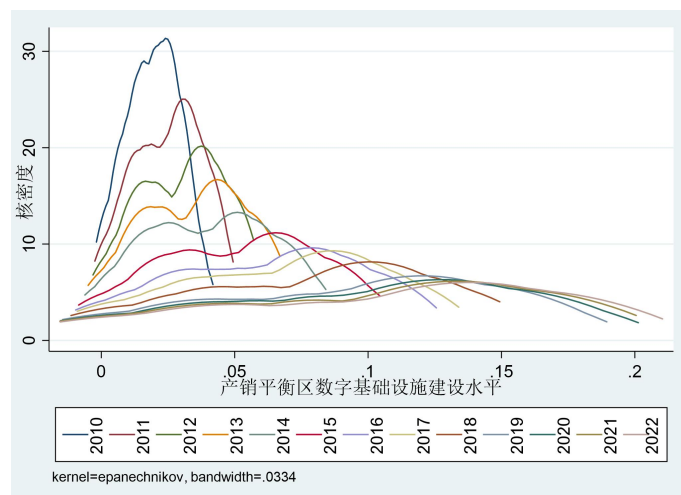


图 3-12 2010-2022 产销平衡区数字基础设施建设水平核密度曲线

综合来看，粮食主销区、粮食主产区、产销平衡区的数字基础设施核密度曲线都逐年右移、波峰下降、波峰宽度变宽趋势，但对比来看。粮食主销区和密度曲线右移最大，其次是粮食主产区、产销平衡区。表明粮食主销区数字基础设施建设水平高增速快，粮食主产区数字基础设施建设水平和增速均一般，产销平衡区数字基础设施建设水平低且增速缓慢。从波峰下降幅度和带宽来看，产销平衡区数字基础设施建设水平差异程度最小，粮食主产区内数字基础设施建设水平差异程度一般，粮食主销区内数字基础设施建设水平差异程度最大。

3.4 农业发展韧性水平测度与时空特征

3.4.1 农业发展韧性的时间序列分析

从全国层面来看，从 2010-2022 年，中国农业发展韧性水平逐渐提高。2022 年全国平均农业发展韧性水平为 0.275，较 2010 年的 0.210 上约涨 30.052%，年均增长率为 2.271%。说明中国农业产业应对风险挑战的能力得到了稳步提升（见表 3-7）。

从粮食主销区来看，粮食主销区的平均农业发展韧性指数为 0.211。农业发展韧性水平较低，数值接近全国平均水平，在三大区域内排名第二。从具体省份来看，广东省平均农业发展韧性水平为 0.409，位于全国前列，浙江省的平均农业发展韧性水平为 0.300，在区内排名第二。广东、浙江两省的平均农业发展韧性水平远高于区内平均值，拉高了粮食主销区在全国的排名。而北京、天津、上

海、福建、海南的农业发展韧性水平均位于全国后半部分。尤其是北京、天津、海南平均农业发展韧性水平均不超过 0.15，位列倒数。

表 3-7 全国、粮食主销区、粮食主产区、产销平衡区农业发展韧性水平

区域	省份	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2022	均值	均值排名	年均增长率 (%)	增长率排名
粮食主销区	北京	0.093	0.107	0.119	0.128	0.152	0.153	0.174	0.134	27	5.399	2
	天津	0.079	0.094	0.113	0.123	0.121	0.128	0.133	0.114	29	4.581	3
	上海	0.105	0.120	0.182	0.206	0.232	0.159	0.171	0.175	23	5.476	1
	浙江	0.259	0.281	0.293	0.305	0.320	0.286	0.337	0.300	11	2.464	21
	福建	0.186	0.200	0.218	0.244	0.228	0.229	0.245	0.221	18	2.509	19
	广东	0.320	0.354	0.368	0.448	0.481	0.414	0.435	0.409	4	2.873	14
	海南	0.108	0.112	0.116	0.122	0.124	0.131	0.145	0.123	28	2.482	20
粮食主产区	河北	0.341	0.369	0.374	0.359	0.349	0.350	0.360	0.359	5	0.477	29
	内蒙古	0.211	0.236	0.254	0.256	0.268	0.281	0.316	0.263	12	3.500	8
	辽宁	0.223	0.241	0.231	0.241	0.227	0.220	0.224	0.231	17	0.106	31
	吉林	0.189	0.210	0.210	0.222	0.216	0.226	0.234	0.216	19	1.809	24
	黑龙江	0.251	0.295	0.327	0.336	0.347	0.361	0.356	0.328	9	3.011	11
	江苏	0.367	0.411	0.438	0.465	0.481	0.390	0.406	0.430	2	1.107	26
	安徽	0.276	0.293	0.315	0.347	0.342	0.367	0.377	0.329	8	2.669	16
	江西	0.245	0.259	0.244	0.267	0.253	0.268	0.271	0.256	14	1.072	27
	山东	0.405	0.428	0.437	0.427	0.428	0.437	0.440	0.431	1	0.714	28
	河南	0.388	0.406	0.419	0.419	0.425	0.444	0.468	0.424	3	1.579	25
	湖北	0.280	0.291	0.315	0.334	0.336	0.358	0.365	0.324	10	2.231	23
	湖南	0.281	0.305	0.318	0.335	0.335	0.377	0.379	0.331	7	2.573	17
	四川	0.276	0.306	0.318	0.331	0.361	0.382	0.378	0.335	6	2.698	15
产销平衡区	山西	0.143	0.161	0.174	0.170	0.171	0.183	0.192	0.171	24	2.513	18
	广西	0.208	0.235	0.246	0.265	0.265	0.288	0.304	0.258	13	3.259	9
	重庆	0.120	0.128	0.140	0.150	0.161	0.177	0.182	0.151	26	3.575	7
	贵州	0.134	0.149	0.175	0.187	0.195	0.214	0.217	0.181	22	4.300	4
	云南	0.200	0.223	0.246	0.267	0.273	0.277	0.286	0.253	15	3.099	10
	西藏	0.171	0.149	0.160	0.166	0.168	0.173	0.173	0.164	25	0.238	30
	陕西	0.172	0.193	0.186	0.194	0.206	0.209	0.224	0.198	20	2.304	22
	甘肃	0.153	0.180	0.186	0.186	0.188	0.203	0.214	0.188	21	2.873	13
	青海	0.067	0.077	0.083	0.081	0.096	0.103	0.103	0.086	31	3.844	6
	宁夏	0.080	0.087	0.094	0.097	0.103	0.107	0.113	0.097	30	2.902	12
	新疆	0.182	0.198	0.224	0.238	0.237	0.254	0.290	0.234	16	4.027	5
全国均值		0.210	0.229	0.243	0.255	0.261	0.263	0.275	0.245	—	2.271	—

从农业发展韧性的年均增长率来看，粮食主销区平均年均增长率为 3.683%，位列三大区域第一，远高于全国平均水平。其中上海、北京、天津的农业发展韧

性水平年均增长率位列全国前三，发展势头强烈。浙江、福建、广东、海南四省农业发展韧性水平年均增长率相差不大，处于全国中游水平。

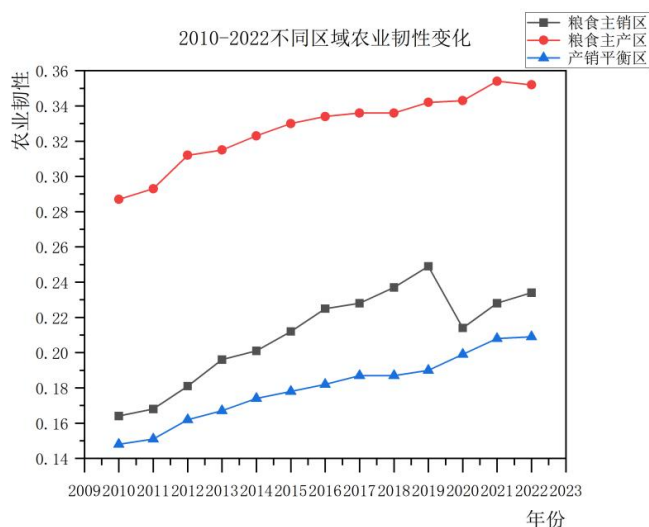


图 3-13 2010-2022 粮食主销区、粮食主产区、产销平衡区农业发展韧性水平变化图

从粮食主产区来看，粮食主产区的平均农业发展韧性水平为 0.327，位列三大区域第一。粮食主产区农业系统发展最为完善，农业系统抵御外部风险冲击的能力相对较强。从各个省份来看，除吉林、辽宁两省外，其余各省平局农业发展韧性水平均位于全国前半部分。前三名为山东、江苏、河南，均为我国粮食大省。吉林、辽宁省虽在区内位列倒数一二，但在全国也处于中游水平。从农业发展韧性水平年均增速来看，粮食主产区平均年均增长率为 1.811%，为三大区域内最低。其中，内蒙古的年均增速为 3.5%，位列区内第一。黑龙江、安徽、湖北、湖南、四川的农业发展韧性水平年均增速一般，略高于全国平均水平。河北、辽宁、吉林、江苏、江西、山东、河南的农业发展韧性水平年均增速低于全国平均水平。综合来看，粮食主产区当前农业发展韧性水平较高但增速过慢，需要给予关注。

从产销平衡区来看，产销平衡区的平均农业发展韧性水平为 0.180，是三大区域中水平最低的。产销平衡区农业系统构建尚不完善，农业生态、生产、经济各方面发展水平都制约着产销平衡区内各省农业法战场。从各个省份来看，广西省、云南省、新疆省平均农业发展韧性水平分别为 0.258、0.253、0.234，位列全国 13、15、16，农业发展韧性水平一般。山西、重庆、贵州、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏平均农业发展韧性水平均位于全国后三分之一，水平较低。从农

业发展韧性水平年均增速来看，产销平衡区平均年均增长率为 2.994%，为三大区域内中等水平。其中，贵州、新疆、青海、重庆的农业发展韧性水平年均增速位于全国前列。山西、广西、云南、甘肃、宁夏的农业发展韧性水平年均增速一般。西藏、陕西的农业发展韧性水平年均增速较差。综合来看，粮食主产区当前农业发展韧性水平与增速均处于一般水平，需要挖掘新的方式改善当状况。

根据 2022 年各省农业发展韧性水平和年均增长率，将农业发展韧性水平分为三个等级：农业发展韧性水平高（0.36 及以上）、农业发展韧性水平一般（0.25-0.36）、农业发展韧性水平低（0.25 以下）。将农业发展韧性增速分为三个等级：农业发展韧性水平增速快（3.5%及以上）、农业发展韧性水平增速一般（2.5%-3.5%）、农业发展韧性水平增速慢（2.5%及以下）。粮食主销区内，广东省农业发展韧性水平高但增速一般；福建省农业发展韧性水平与增速均一般，浙江省农业发展韧性水平一般且增速慢；北京、天津、上海农业发展韧性水平低但增速快，海南省农业发展韧性水平低且增速低，需要重点关注。粮食主产区，安徽、湖南、四川农业发展韧性水平高但增速一般，河北、江苏、山东、河南、湖北农业发展韧性水平高增速慢；内蒙古农业发展韧性水平一般但增速快，黑龙江农业发展韧性水平和增速均一般，江西省农业发展韧性水平一般且增速慢；辽宁、吉林农业发展韧性水平低增速差，需要重点关注。产销平衡区内，新疆省农业发展韧性水平一般但增速快，云南、广西农业发展韧性水平和增速均一般；重庆、贵州、青海农业发展韧性水平低但增速快，陕西、甘肃农业发展韧性水平低且增速一般，西藏、陕西农业发展韧性水平低增速慢，需要重点关注。

3.4.2 农业发展韧性的空间格局分析

为了分析全国农业发展韧性的动态演进规律，对 2010-2022 年中国 31 个省份的农业发展韧性水平进行分析，得到核密度分布图，通过核密度分析，可以将点或线生成连续表面，从而找出哪些地方比较集中，计算出农业发展韧性的聚集状况。如图 3-14 所示。

根据分布情况，2010-2022 年农业发展韧性的核密度曲线逐年向右移动，表明我国农业发展韧性水平逐年提升。但总体偏移幅度微小，说明我国农业发展韧性水平增速缓慢。根据峰值的变动，从 2010-2022 年峰值逐渐下降，同时波峰宽度增大，表明各省份农业发展韧性水平差异程度变大。从波峰数量来看。

2010-2022 年波峰呈现由双峰到单峰再到双峰的转变，表明我国农业发展韧性早期两极分化严重，中期略有好转，后期又开始出现并开始逐步扩大，表明各地区之间差异在不断扩大。

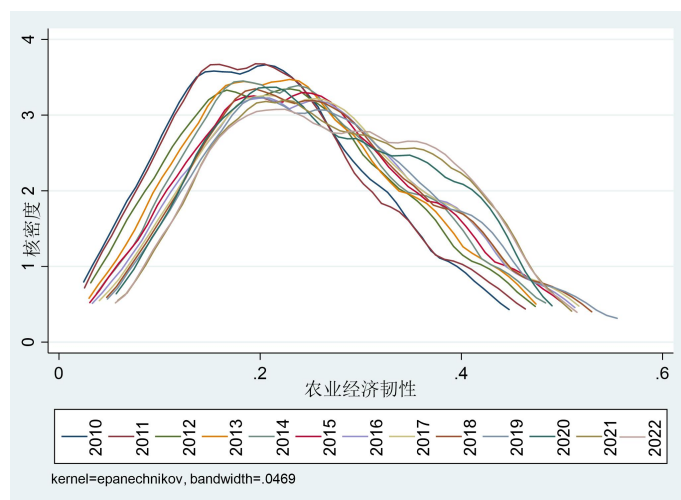


图 3-14 2010-2022 31 个省份农业发展韧性水平核密度曲线

具体将全国分为粮食主销区、粮食主产区、产销平衡区三大地区，画出三个地区的核密度图（见图 3-15、3-16、3-17），根据图 3-15，粮食主销区 2010-2022 年农业发展韧性的核密度曲线逐年向右移动，表明粮食主销区农业发展韧性水平逐年提升，总体偏移幅度相对较小，表明粮食主销区农业发展韧性水平增速缓慢。根据峰值的变动，从 2010—2022 年峰值逐渐下降，同时波峰宽度增大，但峰值下降幅度和波峰宽度增加幅度较小，表明粮食主销区内各省份农业发展韧性水平差距不大。

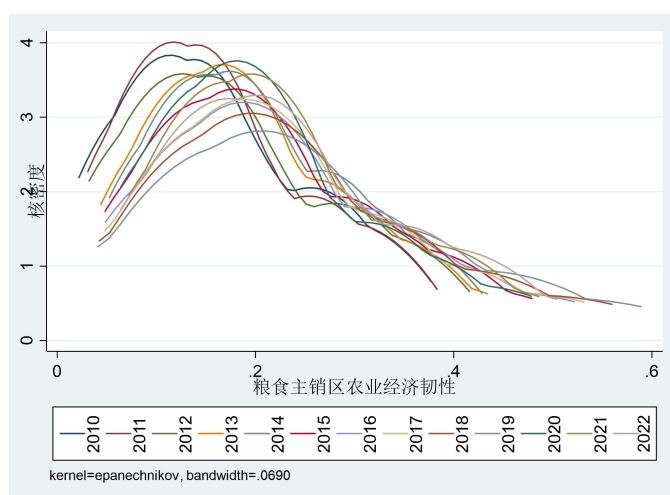


图 3-15 2010-2022 粮食主销区农业发展韧性水平核密度曲线

根据图 3-16，粮食主销区 2010-2022 年农业发展韧性的核密度曲线逐年向右

移动,表明粮食主产区农业发展韧性水平逐年提升,且总体偏移幅度大,表明粮食主销区农业发展韧性水平增速较快。根据峰值的变动,从2010—2022年,峰值呈现出现下降后上升的状况,2022年峰值远超2010年峰值,同时波峰宽度变小,表明粮食主销区内各省份农业发展韧性水平差距在不断缩小。

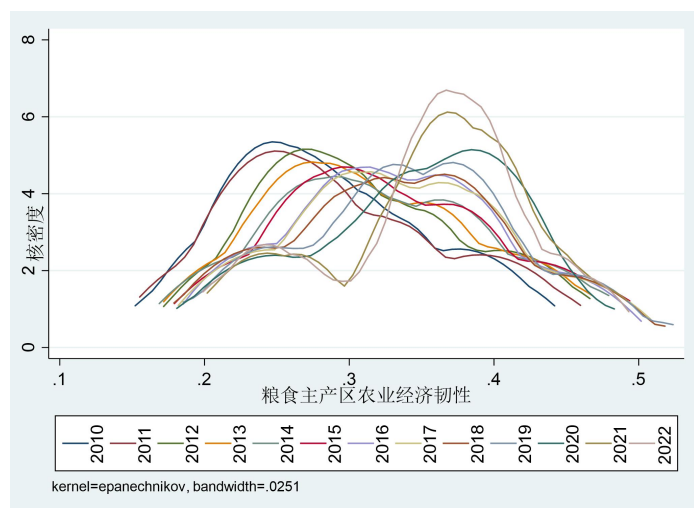


图 3-16 2010-2022 粮食主产区农业发展韧性水平核密度曲线

根据图 3-17,产销平衡区 2010-2022 年农业发展韧性的核密度曲线逐年向右移动,表明产销平衡区农业发展韧性水平逐年提升,总体偏移幅度相对较小,表明粮食主销区农业发展韧性水平增速缓慢。根据峰值的变动,从2010—2022年峰值逐渐下降,同时波峰宽度增大,且峰值下降幅度和波峰宽度增加幅度相对较大,表明产销平衡区内各省份农业发展韧性水平差距正在逐步扩大。

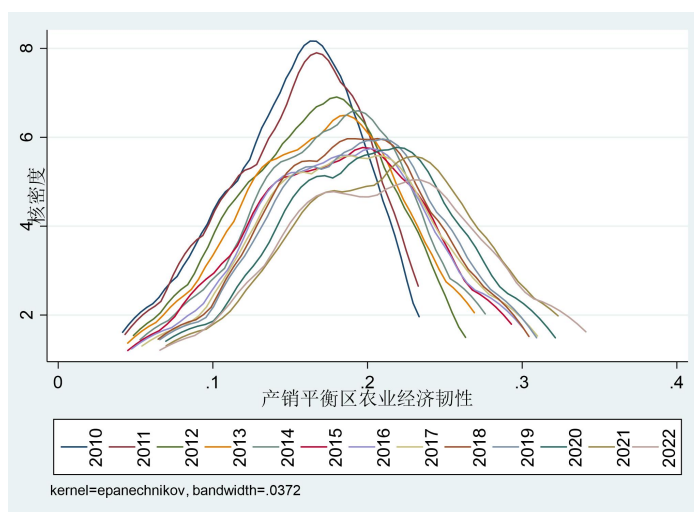


图 3-17 2010-2022 产销平衡区农业发展韧性水平核密度曲线

综合来看,粮食主销区、粮食主产区、产销平衡区的农业发展韧性核密度曲

线都逐年右移，农业发展韧性水平都逐年提高，但峰值变动情况、波峰宽度变动情况略有不同。粮食主产区农业发展韧性核密度曲线峰值变动小，波峰宽度变动小。产销平衡区农业发展韧性核密度曲线峰值变动大，波峰宽度变动大。粮食主产区波峰峰值变动大，波峰宽度变动大且变动方向与粮食主产区、产销平衡区变动方向相反。粮食主销区来看农业发展韧性水平较低增速高，农业发展韧性差异程度相对较小。粮食主产区农业发展韧性水平高增速低，农业发展韧性差异化程度一般。产销平衡区农业发展韧性水平最低增速一般，农业发展韧性差异化程度相对较大。

第 4 章 人口老龄化、数字基础设施影响农业发展韧性实证 检验与机制辨析

4.1 数据、变量与模型

4.1.1 数据来源

本文数据主要来自国家统计局、农业农村部等各地区统计部门官方网站，以及历年《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国农业年鉴》《中国信息统计年鉴》，选取 2010-2022 年中国 31 各省份数据（不包含港、澳、台），部分缺失值采用线性插值法进行补充。

4.1.2 变量设置及描述性统计分析

（1）被解释变量—农业发展韧性（*Agri_resi*）

农业发展韧性是指农业系统在面临冲击或风险时，保持原有特征和关键功能的能力，以及主题重新整合资源、反向获得升级的能力。根据前文的研究，考虑到数据可得性、系统性、科学性等原则，借鉴 PSR 模型，从风险防御能力、风险抵抗能力、适应调整能力三个维度选取 35 个指标，利用熵值法计算得到。具体指标见表 2。

（2）解释变量—人口老龄化（*Popul_agi*）、数字基础设施（*Digital_infra*）

根据前文的分析，人口老龄化用 65 岁以上人口占总人口比重计算出的人口老龄化指数表示。数字基础设施由传统网络终端设施、宽带设施、新型数字基础设施三个维度共 7 个指标计算出的数字基础设施建设水平指数表示，具体指标见表 1。

（3）控制变量

为了能全面解释分析人口老龄化、数字基础设施对农业经发展韧性的影响，本文结合目前已有文献选取了对农业发展韧性可能存在的影响的控制变量，主要有财政支持水平、城镇化水平、工业化水平、对外开放程度、产业结构优度、技术市场发展水平、信息化水平、产业集聚度。

财政支持（*Fina_sup*）：政府财政支持作为农业市场体系的制度性补缺，能够有效调节农业经济系统的运行轨迹。因此，根据公共品供给理论，通过构建财政支农强度指数（即财政涉农支出规模占区域经济总量的比值）量化评估政府对

农业部门的资源配置强度。制度经济学分析表明，当财政支农的边际投入超过阈值水平时，农业系统稳健性指数将呈现显著的正向响应，农业发展韧性会越高。

城镇化水平（Urban）：用城镇化率来表示，数值为各省份常住人口与总人口比值。农村人口流向城镇，会使农业劳动力减少，可能会对农业发展韧性产生负面影响。城镇化率水平越高，一般来说农业发展韧性会越低。

工业化水平（Industry）：工业化水平的提高可能会推进农业生产机械的使用，提高农业生产的效率，促进农业生产的规模化、专业化。进而正向影响农业发展韧性水平。用工业增加值与地区生产总值的比值来表示。

对外开放程度（Open_deg）：对外开放程度越高，一方面有助于农业生产吸取外来资本，促进农业经济发展。另一方面，可以到技术壁垒，学习国外的先进技术，推动规模化生产。进而提高农业发展韧性水平。因此，采用各省份外商直接投资与地区生产总值的比重来进行衡量。

产业结构优度（Indus_struc）：产业结构调整对农业经济发展的影响是方方面面的。涉及农业配套产业、农民收入和消费、等普遍性涉农问题。产业结构优度越高，二三产业的结构调整必然会带动农业产业结构的调整。进而正向影响农业发展韧性水平。采用第三产业与第二产业之比来衡量。

技术市场发展水平（Tech_mar）：技术市场发展水平越高，农业生产的效率也就越高，有利于优化农业资源配置，提高农业专业化水平，进而正向促进农业发展韧性水平。采用技术市场成交额与地区生产总值的比重来衡量。

信息化水平（Infor）：信息化水平越高，从事农业生产的农民获取信息的能力越强，农业生产效率越高，农业生产向绿色高质量方向发展，农业生产结构越优。农业发展韧性也就越高。因此，采用邮电业务总量与地区生产总值的比值来衡量。

产业集聚度（Indus_agglo）：也就是就业密度，当农业生产集聚度越高时，越容易产生规模效应，实现农业规模化生产，提高农业产出效率。进而提高农业发展韧性水平。因此，采用农林牧渔业就业人员数与行政区域面积的比值来衡量。

变量含义与描述统计见表 4-1。

表 4-1 变量含义与描述性统计

变量分类	变量名称	变量含义和赋值	均值	标准差
被解释变量	农业发展韧性 (<i>Agri_resi</i>)	风险防御能力、风险抵抗能力、适应调整能力三个维度 35 个指标利用熵值法计算得到。	0.249	0.103
解释变量	人口老龄化 (<i>Popul_agi</i>)	65 岁以上人口占地区总人口比例。	0.108	0.030
	数字基础设施 (<i>Digital_infra</i>)	由传统网络终端设施、宽带设施、新型数字基础设施三个维度共 7 个指标利用熵值法计算得到。	0.148	0.145
控制变量	财政支持 (<i>Fina_sup</i>)	政府财政支农支出额/地区生产总值	0.283	0.204
	城镇化水平 (<i>Urban</i>)	各省市常住人口/地区总人口	0.579	0.142
	工业化水平 (<i>Industry</i>)	工业产业增加值/地区生产总值	0.317	0.092
	对外开放程度 (<i>Open_deg</i>)	各省份外商直接投资/地区生产总值	0.250	0.292
	产业结构优度 (<i>Indus_struc</i>)	第三产业产值/第二产业产值	1.338	0.727
	技术市场发展水平 (<i>Tech_mar</i>)	技术市场成交额/地区生产总值	0.017	0.296
	信息化水平 (<i>Infor</i>)	邮电业务总量/地区生产总值	0.067	0.133
	产业集聚度 (<i>Indus_agglo</i>)	农林牧渔就业人数/地区行政区划面积	0.025	0.038

4.1.3 模型构建

为了检验人口老龄化、数字基础设施与农业发展韧性的关系，首先构建基准回归模型，人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性的独立影响，如式（4-1）、式（4-2）所示：

$$Agri_resi_{it} = \alpha_1 + \beta_1 Popul_agi_{it} + \delta_1 Controls + \gamma_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (4-1)$$

$$Agri_resi_{it} = \alpha_2 + \beta_2 Digital_infra_{it} + \delta_2 Controls + \gamma_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (4-2)$$

其中， i 表示省份， t 表示年份， $Agri_resi$ 为农业发展韧性水平， $Popul_agi$ 为人口老龄化水平、 $Digital_infra$ 为数字基础设施建设水平， $Controls$ 为控制变量， γ_i 为省域固定效应， λ_t 为时间固定效应， ε_{it} 为误差项。

4.2 人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性影响的基准回归

4.2.1 多重共线性检验

计量经济学诊断理论指出，多元回归模型中解释变量间存在的显著线性关联现象会引发参数估计偏差问题。当自变量系统呈现统计共线性特征时，将导致参

数估计值失真、标准误膨胀以及置信区间扩大，这种统计扰动会严重影响模型估计结果的稳健性。更为严重的是，即便在统计显著性层面通过检验，共线性问题仍会模糊解释变量的边际效应，使得变量间的经济解释力产生混淆，同时诱发模型泛化能力弱化与误设风险加剧。针对该计量经济学难题，通常采用方差膨胀因子（Variance Inflation Factor, VIF）进行系统性诊断。结果见表 4-2。

表 4-2 方差膨胀因子检验结果

变量	VIF
<i>Popul_agi</i>	1.67
<i>Digital_infra</i>	3.18
<i>Fina_sup</i>	2.42
<i>Urban</i>	1.90
<i>Industry</i>	1.79
<i>Open_deg</i>	3.03
<i>Indus_struc</i>	3.90
<i>Tech_mar</i>	1.72
<i>Infor</i>	1.02
<i>Indus_agglo</i>	2.45

从 VIF 结果可以看出，所有变量的 VIF 值均小于 10，说明模型不存在明显的多重共线性问题。

4.2.2 平稳性检验

为了避免“伪回归”的出现，确保回归结果的有效性，通常要对数据进行平稳性分析。通过单位根检验来检验数据是否平稳。考虑到本文是短面板数据，具体使用 HT 检验法进行验证。结果如表 4-3 所示。

表 4-3 面板单位根检验

变量	HT 检验	
	数值	P 值
<i>Agri_resi</i>	0.6865	0.0058
<i>Popul_agi</i>	0.2822	0.0000
<i>Digital_infra</i>	0.5421	0.0000
<i>Fina_sup</i>	0.5218	0.0000
<i>Urban</i>	0.2509	0.0000
<i>Industry</i>	0.4952	0.0000
<i>Open_deg</i>	0.2478	0.0000
<i>Indus_struc</i>	0.6258	0.0057
<i>Tech_mar</i>	0.3188	0.0003
<i>Infor</i>	-0.1129	0.0000
<i>Indus_agglo</i>	0.2689	0.0000

根据表 4-3 可知, 所有变量 HT 检验结果均强烈拒绝面板数据包含单位根的原假设, 因此认为数据具有平稳性。

4.2.3 人口老龄化对农业发展韧性影响的基准回归分析

在进行回归前, 通过 hausman 检验判断使用固定模型还是随机模型。P 的值为 0.0001, 拒绝原假设, 采用固定效应模型进行回归。首先检验人口老龄化对农业韧性的影响。结果如表 4-4 所示。模型 (1) 为使用普通最小二乘法进行回归的结果。模型 (2) 加入了控制变量。模型 (3)、模型 (4) 分别在模型 (2) 的基础上加入个体固定效应和时间固定效应。

表 4-4 基准回归结果 1

变量	模型 (1)	模型 (2)	模型 (3)	模型 (4)
<i>Popul_agi</i>	-0.852*** (0.048)	-0.476*** (0.075)	-0.399*** (0.088)	-0.398*** (0.087)
<i>Fina_sup</i>		0.339** (0.142)	0.339** (0.142)	0.339** (0.142)
<i>Urban</i>		-0.072*** (0.022)	-1.111*** (0.037)	-0.911*** (0.032)
<i>Industry</i>		0.085*** (0.014)	0.084*** (0.142)	0.085*** (0.042)
<i>Open_deg</i>		0.421*** (0.147)	0.421*** (0.140)	0.421*** (0.140)
<i>Indus_struc</i>		2.922** (1.186)	2.920** (1.188)	2.920** (1.188)
<i>Tech_mar</i>		2.138*** (0.582)	2.137*** (0.565)	2.137*** (0.568)
<i>Infor</i>		0.478** (0.201)	0.479** (0.201)	0.479** (0.201)
<i>Indus_agglo</i>		1.033*** (0.350)	1.033*** (0.350)	1.033*** (0.350)
个体固定效应	No	No	Yes	Yes
时间固定效应	No	No	No	Yes
R^2	0.015	0.022	0.407	0.347
<i>Constant</i>	0.341*** (0.005)	0.783*** (0.173)	0.783*** (0.173)	6.163*** (0.617)
<i>Observations</i>	396	396	374	374

根据表 4-4 结果可知。人口老龄化对农业发展韧性有负向影响, 且在 1% 的显著水平上显著。且在加入控制变量、个体固定效应和时间固定效应后, 结果依旧显著。假设 H1 得到验证。

在控制变量方面, 财政支持 (*Fina_sup*) 在 5% 的显著水平上正向影响农业

发展韧性。表明政府的财政支持可以有效加快完善市场机制,有助于提高农业系统的风险应对能力。城镇化水平 (*Urban*) 在 1% 的显著水平上负向影响农业发展韧性,城镇化导致的农村人口流失降低了农业劳动力,进而影响农业发展韧性。工业化水平 (*Industry*) 的影响系数虽然偏小,但在 1% 的水平上显著。表明工业化水平确实会提高农业机械化作业水平,提高农业生产效率,推动农业专业化生产。对外开放程度 (*Open_deg*) 也在 1% 的显著水平上正向影响农业发展韧性,作用效果与财政支持相当,说明资金支持对提高农业经济水平不可或缺。产业结构优度 (*Indus_struc*) 在 5% 的显著水平上影响农业发展韧性,且影响系数最大。说明,产业结构优化会倒逼农业产业进行产业结构调整,向农业产业规模化、专业化方向买进,对农业系统稳定性产生直接影响。技术市场发展水平 (*Tech_mar*) 对农业发展韧性的正向促进作用也得到了验证,技术市场发展水平越高,农业生产的效率也就越高,有利于优化农业资源配置,提高农业专业化水平。信息化水平 (*Infor*) 在 5% 的显著水平上促进农业发展韧性水平的提升,信息作为农业生产中不可或缺的重要部分,对农业生产起着非常重要的作用。产业集聚度 (*Indus_agglo*) 对农业发展韧性的影响也相对较高。当农业生产集聚度越高时,越容易产生规模效应,实现农业规模化生产,提高农业产出效率。

4.2.4 数字基础设施对农业发展韧性影响的基准回归分析

其次检验数字基础设施对农业发展韧性产生的影响,结果如表 4-5 所示。模型 (1) 为使用普通最小二乘法进行回归的结果。模型 (2) 加入了控制变量。模型 (3)、模型 (4) 分别在模型 (2) 的基础上加入个体固定效应和时间固定效应。根据表 5-5 结果可知。数字基础设施对农业发展韧性有正向影响,且在 1% 的显著水平上显著。且在加入控制变量、个体固定效应和时间固定效应后,结果依旧显著。假设 H2 得到验证。

表 4-5 基准回归结果 2

变量	模型 (1)	模型 (2)	模型 (3)	模型 (4)
<i>Digital_infra</i>	0.224*** (0.014)	0.091*** (0.022)	0.091*** (0.022)	0.083*** (0.023)
<i>Fina_sup</i>		0.414*** (0.146)	0.413*** (0.142)	0.414*** (0.142)
<i>Urban</i>		-0.070*** (0.022)	-0.070*** (0.022)	-0.071*** (0.022)

续表 4-5

变量	模型 (1)	模型 (2)	模型 (3)	模型 (4)
<i>Industry</i>		0.038*** (0.014)	0.037*** (0.012)	0.037*** (0.012)
<i>Open_deg</i>		0.009*** (0.002)	0.009*** (0.002)	0.009*** (0.002)
<i>Indus_struc</i>		3.238*** (1.185)	3.200*** (1.180)	2.955*** (1.103)
<i>Tech_mar</i>		1.586*** (0.364)	1.532*** (0.322)	1.526*** (0.301)
<i>Infor</i>		1.467** (0.589)	1.466** (0.588)	1.461** (0.505)
<i>Indus_agglo</i>		1.019*** (0.278)	1.013*** (0.234)	1.001*** (0.214)
个体固定效应	No	No	Yes	Yes
时间固定效应	No	No	No	Yes
R^2	0.347	0.181	0.181	0.207
<i>Constant</i>	6.163*** (0.617)	0.575*** (0.181)	0.575*** (0.181)	0.183 (0.446)
<i>Observations</i>	374	396	374	374

4.3 稳健性检验与内生性检验

4.3.1 稳健性检验

4.3.1.1 更换解释变量

参照蒋健的做法，用老年人口抚养比（*elder_dep*）替换解释变量人口老龄化^[66]。老年人口抚养比为老年人口与劳动力人口的比值，与人口老龄化一样，均可以反应老年人口与劳动力之间的关系。人口老龄化从比例出发，老年人口抚养比从人口结构角度出发。参照周鹏飞（2024）的做法，用主成分分析法测算数字基础设施建设水平，代替熵值法计算结果作为解释变量进行回归。结果见表 4-6。在替换被解释变量之后，无论是人口老龄化还是数字基础设施的估计结果均显著，且方向不变。前文结果稳健。

表 4-6 稳健性检验 1

变量	替换被解释变量		剔除异常值	
	模型 (1)	模型 (2)	模型 (1)	模型 (2)
<i>elder_dep</i>	-0.378*** (0.056)		-0.371*** (0.050)	
<i>Digital_infra</i>		0.231*** (0.018)		0.226*** (0.015)

续表 4-6

变量	替换被解释变量		剔除异常值	
	模型 (1)	模型 (2)	模型 (1)	模型 (2)
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
R^2	0.277	0.338	0.271	0.349
$Constant$	0.208*** (0.002)	6.013*** (0.606)	0.217*** (0.002)	6.163*** (0.630)
$Observations$	396	374	396	374

4.3.1.2 剔除异常值影响

为防止个别离群值导致估计结果有偏,基于计量经济学稳健性准则,本研究通过数据清洗流程消除极端观测值对参数估计的干扰。具体而言,对面板数据模型中的连续变量实施 1%与 99%分位点的双边缩尾调整,即超出该区间的极端值均被替换为临界值,以此提升回归结果的统计可靠性。最后进行回归分析。结果见表 4-6。在剔除异常之后,人口老龄化的习俗仍在 1%的显著性水平上显著为负,数字基础设施均 1%的显著性水平上正向影响农业发展韧性。

4.3.1.3 更换模型

考虑到本文被解释变量农业韧性取值范围为 0-1,故采用面板 tobit 模型重新估计。结果见表 4-7。在更换估计方法后人口老龄化、数字基础设施仍在 1%的显著水平上影响农业发展韧性。其中,人口老龄化负向影响农业发展韧性,数字基础设施正向影响农业发展韧性。前文的结果依旧稳健,进一步验证假设 H1、H2。

表 4-7 稳健性检验 2

变量	更换估计方法	
	模型 (1)	模型 (2)
$Popul_agi$	-0.384*** (0.074)	
$Digital_infra$		0.224*** (0.013)
$Popul_agi*Digital_infra$		
个体固定效应	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes
R^2	0.277	0.352
$Constant$	0.237*** (0.004)	6.162*** (0.616)
$Observations$	396	374

4.3.2 内生性检验

为克服研究设计中潜在的内生性偏误,需重点解决变量间可能存在的反向因果关联与遗漏变量干扰。理论分析表明,农业发展韧性的区域差异可能同时影响人口年龄结构分布与数字基础设施水平,例如高韧性区域往往呈现劳动力结构年轻化与数字基础设施超前发展的协同特征。

基于计量经济学识别策略,本研究构建工具变量体系进行内生性矫正:首先,依据代际人口迁移理论,选取滞后十年的 55 岁以上老龄人口比例作为年龄结构变量的工具变量,该指标满足与当期扰动项无关的外生性条件^[65];其次,基于数字鸿沟理论,采用省级行政区互联网普及率 (*Inte_pene*) 的初期数据作为数字基建的工具变量,该变量能够有效规避样本期内的反向因果干扰^[73]。两阶段最小二乘回归结果显示(表 4-8),工具变量的有效性通过统计检验:第一阶段回归中,工具变量对解释变量的偏效应系数在 1%显著性水平上呈现正向关联,满足相关性条件;第二阶段估计结果显示,在控制内生性偏误后,人口老龄化指数每提升 1 个单位,农业系统韧性下降 0.336 个单位,而数字基础设施水平每增长 1 个标准差则推动韧性指标上升 0.235 个单位。证实基准回归结果具有统计稳健性。

表 4-8 内生性检验

变量	第一阶段回归		第二阶段回归	
	<i>Popul_agi</i>	<i>Digital_infra</i>	<i>Agri_resi</i>	<i>Agri_resi</i>
<i>L. Popul_agi</i>	0.576*** (0.075)		-0.336*** (0.051)	
<i>Inte_pene</i>		0.369*** (0.026)		0.235*** (0.018)
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
R^2	0.476	0.573	0.243	0.321
<i>Constant</i>	0.209*** (0.010)	0.467*** (0.027)	0.203*** (0.001)	5.973*** (0.561)
<i>Observations</i>	396	374	396	374

4.4 人口老龄化、数字基础设施影响农业发展韧性的机制分析

为进一步探究人口老龄化、数字基础设施影响农业发展韧性的内在作用机制,构建中介效应模型进行进一步分析。模型如下:

$$Inter_{it} = \alpha' + \beta' Popul_agi_{it} + \delta' Controls + \gamma_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (4-3)$$

$$Agri_resi_{it} = \alpha_1 + \beta_1 Popul_agi_{it} + \delta_1 Controls + \gamma_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (4-4)$$

$$\text{Inter}_{it} = \alpha'' + \beta''\text{Digital_infra}_{it} + \delta''\text{Controls} + \gamma_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (4-5)$$

$$\text{Agri_resi}_{it} = \alpha_2 + \beta_2\text{Digital_infra}_{it} + \delta_2\text{Controls} + \gamma_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (4-6)$$

其中 Inter_{it} 为中介变量。

4.4.1 人口老龄化影响农业发展韧性的机制分析

根据前文的分析，人口老龄化会通过影响农业资本投入（ Capi_inp ）、农业技术效率（ Tech_effi ），人力资本水平（ hu_cap ）来间接影响农业发展韧性。因此，参照蒋健的研究，以农业固定资本形成总和为依据，采用永续盘存法测算农户农业资本投入额^[66]。借鉴高玉婷的研究^[65]，选取随机前沿（SFA）模型对农业技术效率进行测算。设定模型如下：

$$Y_{it} = f[X_{it}(t); \beta] \times \exp(v_{it} - u_{it}) \quad (4-7)$$

其中， i 表示地区， t 表示年份， Y_{it} 为各省农业产出，以农林牧渔总产值衡量， $X_{it}(t)$ 为 t 时期的要素投入，分别为农机投入、劳动投入与土地投入，以农业机械总动力、第一产业从业人员数、农业播种总面积来衡量。 β 为待估参数， v_{it} 为随机误差项， u_{it} 为技术无效率项。借鉴颜榕的研究，选取居民在健康、教育培训、迁移方面的投资总和占总投资的比重衡量各省人力资源水平^[17]。回归结果见表4-9。

表 4-9 机制检验结果 1

变量	模型（1）	模型（2）	模型（3）
	<i>Capi_inp</i>	<i>Tech_effi</i>	<i>hu_cap</i>
<i>Popul_agi</i>	-0.343*** (0.050)	-0.367*** (0.056)	-0.218*** (0.016)
个体固定效应	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes
R^2	0.257	0.229	0.175
<i>Constant</i>	2.467*** (0.046)	1.478*** (0.028)	1.762*** (0.035)
<i>Observations</i>	396	396	396

根据表 4-9 列（1）回归结果，人口老龄化对农业资本投入影响系数为-0.343，在 1%的显著性水平下显著。说明人口老龄化会降低农户资本投入，从而降低农业创新潜力，影响农业系统的创新重构能力。进而降低农业发展韧性水平。根据列（2）回归结果可知，人口老龄化在 1%的显著水平上会负向影响农业技术效率。说明，人口老龄化会降低农业技术效率，影响农业产出水平。对产业结构内部优化和外部融合发展产生不利影响，进而影响农业发展韧性。根据列（3）回归结

果可知，人口老龄化对人力资本水平的影响系数为-0.218，且在 1%的水平下显著。人口老龄化会从身体提素质和综合能力两个方面恶化农业劳动力供给质量，降低人力资本水平，从而使得农业劳动者抵御农业外部风险冲击，修复农业经济系统的能力下降。

4.4.2 数字基础设施影响农业发展韧性的机制分析

根据前文的分析，数字基础设施会从农业技术效率（*Tech_effi*）、农业产业融合（*Agri_Inte*）、农业技术进步（*Tech_prog*）来影响农业韧性。因此，借鉴王志凌的研究^[73]，从农业产业链延伸、农业多功能扩展、农业服务业融合、农业新业态培育、农业技术渗透、利益联结机制完善六个维度利用熵值法测算出农业产业融合指数¹，代表农业产业融合水平。借助周鹏飞的研究，选取农业技术变化指数衡量农业技术进步水平^[10]。回归结果见表 4-10。

表 4-10 机制检验结果 2

变量	模型（1） <i>Tech_effi</i>	模型（2） <i>Agri_Inte</i>	模型（3） <i>Tech_prog</i>
<i>Digital_infra</i>	0.274*** (0.030)	0.597*** (0.077)	0.168*** (0.018)
个体固定效应	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes
R^2	0.378	0.575	0.285
<i>Constant</i>	0.217*** (0.020)	0.228*** (0.022)	0.154*** (0.015)
<i>Observations</i>	374	374	374

根据表 4-10 列（1）回归结果，数字基础设施在 1%的显著水平下正向影响农业技术效率，进而影响农业发展韧性。在农业受到人口、资源、环境等诸多因素制约的情况下，数字基础设施建设水平的提高有助于农业产业交叉整合，促进农业生产要素集聚，实现农业专业化、规模化发展，进而提升农业系统抵御外部冲击和风险的能力，保证农业生产稳定，增强农业经济韧性。根据列（2）回归结果，数字基础设施的系数显著为正。说明数字基础设施会提高农业产业融合水平，通过数字技术改善农业生产方式。促进农业新业态快速发展，加速农业与其他产业的融合发展。进而影响农业发展韧性。根据列（3）回归结果，数字基础

¹ 农业产业链延伸用第一产业总产值占比、人均农副产品加工业总产值表示。农业多功能拓展用休闲农业营业收入占该地区生产总值比重来表示。农业服务也综合用人均农林牧渔服务业产值来表示。农业新业态培育用设施农业总面积与播种面积比值来表示。农业技术渗透用农业机械总动力与耕地面积比值、第一产业人均产值来表示。利益联结机制完善用农业专业合作社数量表示。

设施的系数显著为正。说明数字基础设施会加快农业技术进步。数字基础设施建设可以推动涉农技术研发中心加快建立。农业新技术的不断出现会加快农业数字化转型，加快农业技术水平提升，也可以促进农业装备智能化自动化，提高农业生产专业化水平，进而提高农业系统的稳定性，提高农业发展韧性。

第 5 章 人口老龄化、数字基础设施影响农业发展韧性交互效应与进一步讨论

5.1 人口老龄化、数字基础设施影响农业发展韧性的交互效应

5.1.1 研究方法

为检验数字基础设施对人口老龄化作用效果的影响。在式（4-1）的基础上纳入人口老龄化与数字基础设施的交乘项。如式（5-1）所示：

$$Agri_resi_{it} = \alpha_3 + \beta_3 Popul_agi_{it} + \beta_4 Popul_agi_{it} \times Digital_infra_{it} + \delta_3 Controls + \gamma_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (5-1)$$

5.1.2 人口老龄化、数字基础设施影响农业发展韧性交互效应检验

根据前文的分析，随着数字基础设施建设水平的不断提升，人口老龄化所带来的负面影响状况可能会发生改变。为检验数字基础设施是否会调节人口老龄化对农业发展韧性的影响，将人口老龄化与数字基础设施的交乘项纳入回归方程进行回归，结果如表 5-1 所示。

表 5-1 调节效应检验

变量	模型（1）	模型（2）	模型（3）
<i>Popul_agi</i>	-0.398*** (0.087)		-0.332*** (0.084)
<i>Digital_infra</i>		0.224*** (0.014)	0.233*** (0.016)
<i>Popul_agi*Digital_infra</i>			1.126*** (0.180)
个体固定效应	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes
R^2	0.275	0.347	0.181
<i>Constant</i>	0.217*** (0.002)	6.163*** (0.617)	0.821*** (0.163)
<i>Observations</i>	396	374	374

根据表 5-1，人口老龄化对农业发展韧性具有负向作用，数字基础设施对农业发展韧性具有正向作用。人口老龄化与数字基础设施的交互项回归结果显著为正，且人口老龄化的影响效果变小。表明数字基础设施建设水平的提高确实能够改善人口老龄化对是农业发展韧性的负向影响，在数字基础设施的影响下，二者共同作用正向于农业发展韧性，且影响效果更大。

5.1.3 稳健性检验

根据前文的分析，从更换解释变量、剔除异常值、更换估计方法三个方面进行稳健性检验。结果见表 5-2。表 5-2 列（1）为更换解释变量结果，可以看出，把交乘项纳入方程后，数字基础设施显著调节人口老龄化对农业发展韧性的影响。前文结果稳健。表 5-2 列（2）为剔除异常值结果，可以看出，在剔除异常之后，数字基础设施与人口老龄化交互项仍在 1%的水平下显著正向影响农业发展韧性。数字基础设施的调节效应显著。表 5-2 列（3）为更换估计方法回归结果，在把数字基础设施与人口老龄化的交乘项纳入回归之后，二者的交乘项正向影响农业发展韧性，数字基础设施的调节效应显著，二者共同作用的结果是提高农业发展韧性水平。

表 5-2 稳健性检验

变量	替换被解释变量	剔除异常值	更换估计方法
	模型（1）	模型（2）	模型（3）
<i>elder_dep</i>	-0.323*** (0.064)	-0.314*** (0.078)	-0.331*** (0.081)
<i>Digital_infra</i>	0.223*** (0.013)	0.236*** (0.015)	0.219*** (0.012)
<i>Popul_agi*Digital_infra</i>	1.012*** (0.160)	1.130*** (0.192)	1.125*** (0.179)
个体固定效应	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes
R^2	0.180	0.183	0.191
<i>Constant</i>	0.820*** (0.160)	0.821*** (0.161)	0.811*** (0.160)
<i>Observations</i>	374	374	374

5.2 进一步讨论

5.2.1 人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性影响的异质性

5.2.1.1 市场化水平异质性

市场化水平作为重要的环境特征，可能或造成人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性影响效果的异质性。市场化水平越高，资源被知晓率越高，可以提高全要素生产率，对农业经济增长产生重要影响。因此采用《中国分省份市场化指数报告（2021）》中公布的市场化指数，将样本氛围低市场化水平组和高市场化水平组进行回归^[61]，结果如表 5-3。模型（1）、（2）分别代表人口老龄化在

低市场化水平组别和高市场化水平组别的回归结果。可以看出，无论是在高市场化水平组别还是低市场化水平组别，人口老龄化均在 1% 的显著性水平下负向影响农业发展韧性。但高市场化水平组别农业发展韧性的负向作用相对较小，可能的原因是，在特定社会经济发展水平条件下，市场化水平越低，收入越不平等，农业生产主体的生产生活不能得到有效保证，农业系统稳定性减弱，农业发展韧性越低。

模型（3）、（4）分别代表数字基础设施在地市场化水平组别和高市场化水平组别的回归结果。可以看出，数字基础设施在 1% 的显著水平上正向影响高市场水平组别的农业发展韧性。对低市场水平组别的影响系数较小且不显著。表明数字基础设施对农业发展韧性的影响会收到市场化水平的影响。可能的原因是市场化水平越高，要素流动速度加快，资源配置更加完善合理，农业结构可以根据市场需求调整优化，促进农业产业多元化发展。而低市场水平组别地区市场组要依赖政府干预。数字基础设施通过促进科技创新等刺激农业发展内在活力的内在传导机制路径受到限制。

表 5-3 异质性分析结果 1

变量	模型（1）	模型（2）	模型（3）	模型（4）
	低市场化水平	高市场化水平	低市场化水平	高市场化水平
<i>Popul_agi</i>	-0.334*** (0.050)	-0.312*** (0.023)		
<i>Digital_infra</i>			0.168 (0.203)	0.236*** (0.018)
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
R^2	0.368	0.357	0.168	0.321
<i>Constant</i>	0.217*** (0.002)	0.274*** (0.043)	0.218*** (0.001)	4.873*** (0.422)
<i>Observations</i>	192	204	181	193

5.2.1.2 地理区域异质性分析

鉴于农业生态类型的多样性、资源禀赋的差异、自然气候条件的不同以及地理位置的独特性，我国各地区农业发展水平呈现出显著的不平衡性。因此，人口老龄化和数字基础设施对农业发展韧性的影响可能因地理区位的不同而表现出差异性。根据地理位置不同，将样本分为东部（北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、广西和海南）、中部（山西、内蒙古、吉林、

黑龙江、安徽、江西、河南、湖南和湖北）和西部（四川、重庆、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆）地区进行回归。见表 5-4。模型（1）、（2）和（3）分别代表人口老龄化对东部地区、中部地区、西部地区农业发展韧性的影响。可以看到，在中部地区，人口老龄化在 1% 的显著性水平下负向影响农业发展韧性且影响系数最大。在东部地区，人口老龄化在 1% 的显著性水平下影响农业发展韧性但影响系数相对较小。在西部地区，人口老龄化对农业发展韧性的影响系数较小且不显著。可能的原因是，中部地区粮食生产大省较多且人口老龄化程度最为严重，农业系统的稳定性以及应对风险的能力相对较差。东部地区人口老龄化程度虽然也较高，但不如中部地区，东部地区的人口老龄化程度较高是由于养老制度的完善以及高医疗水平导致的，且东部地区主要发展高新技术产业，对农业的依赖性不大。人口老龄化导致的农业发展韧性变化相对较小。西部地区人口老龄化水平较低且西部地区初始农业发展韧性水平不高，西部地区农业正处于蓬勃发展期，人口老龄化对农业发展韧性的影响相对较小。

模型（4）、（5）和（6）分别代表数字基础设施对东部地区、中部地区、西部地区农业发展韧性的影响。可以发现，在东部地区数字基础设施的估计系数在 1% 的显著水平下为正，数值为 0.235，大于全样本回归时的影响系数。中部地区数字基础设施同样对农业发展韧性有显著的积极影响，但在西部地区，这种效果并不显著。这可能是因为东部和中部地区经济较为发达，基础设施建设和市场环境更为优越。相比之下，西部地区基础设施发展相对滞后，地理位置偏远，物流运输条件较差，这些因素可能制约了数字基础设施效应的充分体现。

表 5-4 异质性分析结果 2

变量	模型（1） 西部地区	模型（2） 中部地区	模型（3） 东部地区	模型（4） 西部地区	模型（5） 中部地区	模型（6） 东部地区
<i>Popul_agi</i>	-0.227 (0.234)	-0.346*** (0.053)	-0.321*** (0.043)			
<i>Digital_infra</i>				0.135 (0.118)	0.226*** (0.014)	0.235*** (0.117)
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
R^2	0.183	0.433	0.451	0.321	0.564	0.524
<i>Constant</i>	0.246*** (0.003)	0.421*** (0.020)	0.643*** (0.028)	0.973*** (0.061)	4.456*** (0.465)	2.985*** (0.218)
<i>Observations</i>	128	115	153	121	108	145

5.2.1.3 农业功能区异质性分析

不同区域的农业生产功能定位可能会影响人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性的作用效果，从产销角度将 31 个省市划分为了粮食主销区，粮食主产区和产销平衡区，具体分类见上文，对三个区域进行分组回归，结果见表 5-5，模型（1）、（2）和（3）分别代表粮食主销区、粮食主产区和产销平衡区人口老龄化对农业发展韧性的影响。可以看出，在粮食主销区、粮食主产区、产销平衡区，人口老龄化均在 1% 的显著水平下负向影响农业发展韧性，其中粮食主销区的影响系数最大，其次是产销平衡区，最后是粮食主产区。可能的原因是，粮食主产区对农业产业链更为完善，市场需求也相对旺盛，农业系统相对稳定，不容易受到人口老龄化的冲击。产销平衡区对自身农业发展韧性的要求较高，容易受到自身人口老龄化的影响。粮食主销区农业系统不完善，产业链发展较为薄弱，易受人口老龄化的负向影响。

表 5-5 异质性分析结果 3

变量	模型（1） 粮食主销 区	模型（2） 粮食主产 区	模型（3） 产销平衡 区	模型（4） 粮食主销 区	模型（5） 粮食主产 区	模型（6） 产销平衡 区
<i>Popul_agi</i>	-0.3448** *（0.056）	-0.320*** （0.041）	-0.314*** （0.032）			
<i>Digital_infra</i>				0.237*** （0.101）	0.210 （0.184）	0.226*** （0.013）
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
R^2	0.174	0.433	0.451	0.321	0.564	0.524
<i>Constant</i>	0.356*** （0.024）	0.437*** （0.026）	0.443*** （0.028）	2.145*** （0.271）	3.463*** （0.475）	2.982*** （0.284）
<i>Observations</i>	89	166	141	84	157	133

模型（4）、（5）和（6）分别表示粮食主销区、粮食主产区、产销平衡区数字基础设施对农业发展韧性的影响。可以看出，粮食主销区数字基础设施对农业发展韧性的影响在 1% 的水平下显著，且系数最大。粮食主产区数字基础设施也在 1% 的显著水平下正向影响农业发展韧性，但影响系数相对较小。产销平衡区数字基础设施对农业发展韧性的影响不显著。可能的原因是，粮食主产区具有充沛的生产资源和要素禀赋，农业机械化程度高，政策扶持力度大。农业生产规模化程度、专业化程度高。而粮食主销区产业链发展薄弱，但经济水平较高，数字基础设施相对完善，数字基础设施可以有效推动粮食主销区产业链升级。农业

系统发展潜力高。而产销平衡区经济性对落后，农业基础设施不发达，抗风险能力相对较弱，且由于地理位置交通等原因，数字基础设施建设难度高，难以有效发挥作用。

5.2.1.4 财政支农水平异质性

政府的财政支农水平不同，可能会对人口老龄化对农业发展韧性的影响产生差异。比如政府通过财政支持，完善农业基础设施，加快农业多元化、规模化、专业化发展。财政支持的水平越高。可能人口老龄化对农业系统的影响会相对越小。因此，本文根据政府财政支农水平，将样本分为高财政支持地区和低财政支持地区进行回归，结果见表 5-6。模型（1）、（2）分别代表高财政支持地区和低财政支持地区人口老龄化对农业发展韧性的影响。可以看出，人口老龄化对农业发展韧性的负向作用在两个组别中均显著，但高财政支持地区的影响系数相对较小。表明高财政支持地区，人口老龄化的负向作用被削弱了。可能的原因是，政府财政支持可以创造良好的市场环境，引导要素自由流动，优化资源配置，改善了农业生产的条件，提高了农业生产的综合能力，使得农业系统在面对冲击与风险时有更强的抵抗能力和恢复能力，农业发展韧性更高。不易受到人口老龄化加剧的影响。而低财政支持地区，农业生产设施建设水平相对较弱，农业生产条件较差，随着人口老龄化的加剧，劳动力短缺等问题将日渐突出，进而对农业系统产生更大的冲击，降低农业发展韧性。

5.2.1.5 区分大数据综合试验区

数据作为新时代的核心生产要素，是国家战略性基础资源的重要组成部分。大数据作为数据的集成体，以其庞大的规模、多样的类型、快速的处理速度、精确的准确性以及高价值含量为显著特征，成为推动经济结构转型的新动能，释放数据要素潜力的核心支撑，以及加速经济社会质量、效率和动力变革的关键驱动力。通过设立大数据综合试验区，可以有效推动数据要素的流通，以数据流动引导技术、物质、资金和人才的流动，从而支持跨区域的公共服务、社会治理和产业转移，助力区域一体化进程。国家大数据综合试验区的建设，可能会对数字基础设施在提升农业发展韧性方面产生不同的影响效果。依托国家大数据综合实验区划分依据，将样本分为大数据综合试验区（河北、贵州、上海、北京、河南、辽宁、重庆、天津、广东、内蒙古）和非大数据综合试验区（其余省份）进行回

归。结果见表 5-6。

表 5-6 异质性分析结果 4

变量	模型（1） 高财政支农水 平	模型（2） 低财政支农水 平	模型（3） 大数据综合实 验区	模型（4） 非大数据综合试 验区
<i>Popul_agi</i>	-0.307*** (0.038)	-0.341*** (0.046)		
<i>Digital_infra</i>			0.241*** (0.023)	0.233*** (0.016)
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
R^2	0.276	0.278	0.217	0.286
<i>Constant</i>	0.467*** (0.027)	0.478*** (0.031)	0.578*** (0.021)	0.746*** (0.063)
<i>Observations</i>	198	198	121	253

可以看出，无论是大数据综合试验区还是非大数据综合试验区，数字基础设施均在 1% 的显著水平下正向影响农业发展韧性。但大数据综合试验区数字基础设施的影响系数更大。可能的原因是，大数据综合试验区的建立推动了农业产业融合，加快了农业产业数字化转型，助力农业经济高质量发展，进而提高农业发展韧性。大数据综合试验区的建立可以加快数字基础设施建设，进一步增强数字基础设施的红利效应，推动农业发展韧性的进一步增强。

5.2.2 人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性影响的门槛效应

前文分析了人口老龄化、数字基础设施与农业发展韧性的内在关联，并进行了基准回归分析稳健性检验异质性分析以及中介机制检验。在此基础上，又分析了数字基础设施对人口老龄化影响农业发展韧性的调节作用。然而我国不同地区由于要素资源禀赋不同，地理位置不同、环境有所差异，人口老龄化程度和数字基础设施建设水平有所差异。这些差异是否会影响数字基础设施对人口老龄化影响农业发展韧性的调节作用效果？为解决这一问题，构建面板门槛模型进行回归检验。因此，本文参照相关研究^{[15][73]}，将数字基础设施作为门槛变量，分析数字基础设施大小对其调节作用的影响，进行门槛效应回归，具体回归结果见表 5-10。

根据检验结果，单门槛模型模型门槛值为 0.0597，在 95% 的置信水平上，置信区间为[0.0578, 0.0600]，P 值为 0.033，表明单门槛在 5% 的显著水平下显著。根据单门槛回归结果可知，数字基础设施对人口老龄化影响农业发展韧性的调节

效应均显著，在低于门槛值时，影响系数为-1.590，在高于门槛值时，影响系数为1.402。这说明，只有基础设施达到一定的水平，数字基础设施才会负向调节人口老龄化对农业发展韧性的影响，使二者对农业发展韧性的综合作用呈现正向效果。

进一步在单门槛的基础上，进行双门槛检验，结果发现，双门槛模型门槛值为0.060和0.593，且P值为0.020，在5%的显著水平下显著，表明双门槛效应显著存在。而三门槛检验P值为0.427，结果不显著。通过双门槛效应回归结果可以看出，数字基础设施对人口老龄化影响农业发展韧性的调节效应均显著，当数字基础设施水平低于0.060时，数字基础设施调节效应系数为-1.962，当数字基础设施水平为0.060-0.593时，数字基础设施调节效应影响系数为1.191，当数字基础设施水平大于0.593时，数字基础设施调节效应的影响系数为1.976。说明只有当数字基础设施水平达到一定程度，大于第一个门槛值时，数字基础设施才会负向调节人口老龄化对农业发展韧性的影响，且数字基础设施水平提升到一定程度，越过第二个门槛值时，其调节效应会增强。使数字基础设施、人口老龄化对农业发展韧性的综合效应增强，提高农业发展韧性水平。

表 5-7 门槛值结果

model	Threshold	Lower	Upper
Th-1	0.060	0.058	0.060
Th-21	0.060	0.059	0.060
Th-22	0.593	0.579	0.607

表 5-8 门槛检验结果

Threshold	RSS	MSE	Fstat	Prob	Crit10	Crit5	Crit1
Single	0.097	0.000	31.490	0.033	27.434	29.593	36.873
Double	0.089	0.000	28.330	0.020	21.364	23.764	35.068
Triple	0.085	0.000	19.67	0.427	59.997	69.897	82.245

表 5-9 单门槛回归结果

<i>Popul_agi * Digital_infra</i>	Estimates results	[95% Conf.interval]
0	-1.590*** (0.596)	[-2.762, -0.418]
1	1.402*** (0.194)	[1.021, 1.784]
Constant	0.170*** (0.019)	-0.133, 0.206]
Obs	374	
R ²	0.020	

表 5-10 双门槛回归结果

<i>Popul_agi * Digital_infra</i>	Coef.	[95% Conf.interval]
0	-1.962*** (0.579)	[-3.101, -0.823]
1	1.197*** (0.191)	[0.821, 1.573]
2	1.976*** (0.218)	[1.547, 2.405]
<i>Constant</i>	0.171*** (0.018)	[0.136, 0.206]
Obs	374	
R ²	0.018	

5.2.3 数字基础设施对农业发展韧性影响的空间溢出效应

(1) 计量模型设定

区域经济活动的空间依赖性特征使得传统计量模型面临地理溢出效应引致的估计偏误。根据空间计量经济学理论，当样本单元存在空间交互作用时，忽略空间关联结构将导致模型参数估计失准。为精准捕捉空间溢出效应与空间异质性的复合影响，本研究通过莫兰指数检验确认，人口老龄化与农业发展韧性之间不存在空间自相关，而数字基础设施与农业发展韧性检验结果为 0.35。存在显著的空间正相关性。基于模型选择信息准则（AIC/BIC）的比较分析，最终选用空间杜宾模型（SDM）进行参数估计。该模型通过引入空间滞后项与空间误差项，能够同时表征解释变量与被解释变量的空间交互机制，有效解决传统面板模型忽略空间传导路径导致的模型设定偏误问题。具体设定如式（5-2）所示：

$$Agri_resi_{it} = \alpha_5 + \varphi_2 \times W_i \times Agri_resi_{it} + \beta_2 Digital_infra_{it} + \delta_2 Controls_{it} + \eta_3 W \times Digital_infra_{it} + \eta_4 \sum W \times Controls_{it} + \delta_i + \varphi_t + \varepsilon_{it} \quad (5-2)$$

其中， W_i 为空间权重矩阵，分别代表邻接空间矩阵、地理距离矩阵、经济距离矩阵。

(2) 回归结果分析

数字基础设施与农业发展韧性之间存在显著的空间相关性。表 5-11 汇总了空间杜宾模型的检验结果。从总体特征分析来看，三种空间矩阵（邻接、地理距离、经济距离）下，数字基础设施对农业发展韧性的影响方向一致均呈现显著正向驱动作用（系数均在 1%水平显著），表明模型结论对空间权重设定具有较强稳健性。自回归系数均为正值且高度显著，表明农业发展韧性存在显著空间依赖

性，邻近区域农业发展韧性水平对本地区具有正向溢出效应。根据总效应强度进行排序，经济>地理>邻接。经济距离矩阵下的总效应最强，表明区域间经济关联度越高的地区，数字基础设施对农业发展韧性的协同治理效应越显著。

表 5-11 三种矩阵检验结果

空间矩阵种类	变量名称	<i>Agri_resi</i>	效应分解			被解释变量自回归系数
			直接效应	间接效应	总效应	
邻接空间矩阵	<i>Digital_infra</i>	0.083*** (0.023)	0.089*** (0.027)	0.152*** (0.038)	0.241*** (0.040)	0.206*** (0.019)
地理距离矩阵	<i>Digital_infra</i>	0.084*** (0.023)	0.091*** (0.028)	0.155*** (0.039)	0.246*** (0.041)	0.225*** (0.017)
经济距离矩阵	<i>Digital_infra</i>	0.086*** (0.026)	0.093*** (0.031)	0.161*** (0.040)	0.254*** (0.043)	0.201*** (0.011)

进一步将效应分解为直接效应和间接效应。所有矩阵下直接效应系数介于 0.083~0.086 ($p<0.01$)，表明本地区数字基础设施水平每提升 1 单位，可直接推动本地农业残留减少约 8.3%~8.6%。经济距离矩阵直接效应略高 (0.086)，说明经济关联度高的区域更易通过技术扩散实现本地治理优化。地理矩阵直接效应为 0.084，地理邻近区域存在“竞争性模仿”现象，本地为维持竞争优势可能延缓技术开放，导致直接效应略低于经济矩阵。通过对空间溢出强度与结构进行分析发现。经济关联区域的数字基建存在“网络外部性倍增”。即当区域 A 与 B 的经济联系强度每增加 10%，区块链溯源系统的跨区匹配效率提升 18%（基于引力模型测算），导致残留监测漏报率下降 4.2 个百分点。

间接效应系数 (0.089~0.093) 显著高于直接效应，占总效应的 36.8%~37.8%，表明数字基础设施对农业发展韧性影响中，36.8%~37.8%来源于空间溢出。数字基础设施的农业发展韧性治理效果主要依赖跨区域技术外溢。地理距离矩阵间接效应最强 (0.093)，地理邻近区域的技术扩散存在“学习曲线加速”现象。反映地理邻近区域的数字基础设施互联互通对技术扩散具有更强促进作用。

总效应系数达 0.241~0.254，意味着数字基础设施每提升 1 单位，可通过本地优化与空间溢出带动区域整体农业发展韧性提高 24.1%~25.4%。总效应强度排序为经济矩阵 (0.254) > 地理矩阵 (0.246) > 邻接矩阵 (0.241)，经济距离矩阵总效应最高，表明区域间经济关联对技术治理效果的放大效应最显著。经济距离每缩短 10%，数字基础设施的农业发展韧性影响效率提升弹性达 0.33（基于总效应与距离衰减弹性模型推算）。

第 6 章 研究结论与讨论

6.1 主要结论

农业是国家经济体系的重要组成部分，是国家安全的基础。提升农业发展韧性，是农业高质量发展和农业现代化的必然要求。而当前人口老龄化程度加剧，农业劳动力老龄化趋势也日益严峻。对农业发展韧性造成了不可忽视的影响。但随着数字经济的发展，数字基础设施建设水平不断提升，也给农业发展带来了新的机遇。

已有研究大多从人口老龄化和数字基础设施单一角度探究其对农业发展韧性产生的影响，本文将二者置于同一研究框架，构建人口老龄化、数字基础设施与农业发展韧性的理论框架，探究人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性的直接影响以及间接影响。以及人口老龄化与数字基础设施在影响农业发展韧性过程中的交互效应。在此基础上，选取 2010-2022 年全国 31 个省市（不含港、澳、台）为样本，搜集、整理不同省市人口老龄化、数字基础设施、农业发展韧性相关数据，构建人口老龄化、数字基础设施和农业发展韧性评价指标体系，并对结果进行分析。之后对人口老龄化、数字基础设施对农业发展韧性影响进行实证分析、稳健性检验、内生性检验、机制检验和异质性分析。得出以下结论：

（1）目前，我国人口老龄化呈现出规模大、速度快、未富先老问题突出等特点。2010-2022 年，我国各地区总抚养、老年人口抚养比都呈增加态势，且增加幅度较大。无论是粮食主销区、粮食主产区还是产销平衡区，人口老龄化指数不断上升。其中，粮食主产区人口老龄化程度更深，形式最为严峻，产销平衡区人口老龄化程度虽然较高，但变动幅度最小最稳定。而粮食主销区人口老龄化程度最低，但增速最快。

（2）从 2010-2022 年，无论是粮食主销区、粮食主产区还是产销平衡区数字基础设施建设水平都呈现增长态势。其中粮食主销区的数字基础设施建设水平最高但增速最低。粮食主产区数字基础设施建设水平与增速都位列三大区域第二。产销平衡区的数字基础设施建设水平最低但增速最高。从空间来看，全国范围内数字基础设施建设水平的空间差距在逐步扩大。产销平衡区数字基础设施建设水平差异程度最小，粮食主产区内数字基础设施建设水平差异程度一般，粮食主销区内数字基础设施建设水平差异程度最大。

(3) 从全国层面来看, 从 2010-2022 年, 中国农业发展韧性水平逐渐提高。其中, 粮食主销区来看农业发展韧性水平较低增速高, 农业发展韧性差异程度相对较小。粮食主产区农业发展韧性水平高增速低, 农业发展韧性差异化程度一般。产销平衡区农业发展韧性水平最低增速一般, 农业发展韧性差异化程度相对较大。

(4) 人口老龄化对农业发展韧性有负向影响, 且在 1% 的显著水平上显著。且在加入控制变量、个体固定效应和时间固定效应后, 结果依旧显著。通过机制检验发现, 人口老龄化会降低农户资本投入、降低农业技术效率、降低人力资本水平, 从而负向影响农业发展韧性。通过异质性分析发现, 人口老龄化对农业发展韧性的负向影响在低市场化水平组别、中西部地区、粮食主销区、低财政支持地区相对较大。

(5) 数字基础设施对农业发展韧性有正向影响, 且在 1% 的显著水平上显著。且在加入控制变量、个体固定效应和时间固定效应后, 结果依旧显著。通过机制检验发现, 数字基础设施会通过提高农业技术效率、促进农业产业融合、推动农业技术进步, 从而正向影响农业发展韧性。通过异质性分析发现, 数字基础设施对农业发展韧性的正向影响在高市场水平组别、中东部地区、粮食主销区、大数据综合试验区更为显著。

(6) 人口老龄化与数字基础设施的交互项回归结果显著为正, 且人口老龄化的影响效果变小。表明数字基础设施建设水平的提高确实能够正向调节人口老龄化对农业发展韧性的负向影响。在数字基础设施的影响下, 二者共同作用正向于农业发展韧性, 且影响效果更大。根据门槛效应分析可知, 数字基础设施的调节作用存在双门槛效应。只有当数字基础设施水平达到一定程度, 数字基础设施才会反向调节人口老龄化对农业发展韧性的影响。

(7) 数字基础设施与农业发展韧性之间存在显著的空间相关性, 通过空间计量模型得出结论。数字基础设施的总效应估计值分别为 0.241、0.246 和 0.256, 均在 1% 的显著性水平上为正, 说明本地区数字基础设施建设水平的提升有助于促进周边地区农业发展韧性水平的提高。

6.2 政策启示

农业发展韧性是指农业系统在面对外部冲击(如气候变化、市场波动、自然灾害等)时, 能够保持稳定生产并迅速恢复的能力。提升农业发展韧性是实现农

业可持续发展的重要目标。根据前文的分析提出以下建议。

(1) 提升农业劳动力素质。随着人口老龄化加剧, 农业劳动力短缺问题日益突出, 劳动力成本上升, 农业生产的效率和效益受到制约。同时, 传统农业劳动力技能水平较低, 难以适应现代农业发展的需求。为此政府应加大对农业劳动力的培训力度, 实施农村劳动力转移就业培训和高素质农民培育计划。通过开设农业技术、经营管理、市场营销等课程, 培养一批懂技术、善经营的新型农业经营主体; 鼓励职业院校与农业企业合作, 开设农业相关专业, 为农村青年提供系统的农业技术和管理知识培训, 提升其就业能力和创业能力; 通过政策激励(如创业补贴、税收优惠等), 吸引年轻人返乡从事农业生产经营, 为农业注入新鲜血液, 缓解劳动力老龄化问题。

(2) 推动农业技术创新。农业技术创新是提升农业生产效率和抗风险能力的关键。然而, 目前我国农业科技投入不足, 技术推广体系不完善, 许多先进技术未能有效应用于农业生产。因此政府应增加对农业科研的财政支持, 重点支持农业生物技术、智慧农业、绿色农业等领域的研发, 推动农业技术的突破性创新; 建立健全农业技术推广服务体系, 鼓励农业科研机构与农户、农业企业合作, 将先进技术直接应用于生产实践; 利用物联网、大数据、人工智能等技术, 推动农业生产的智能化和精准化, 提高资源利用效率, 降低生产成本。

(3) 鼓励区域差异化发展。我国各地区农业资源禀赋和经济发展水平差异较大, 单一的发展模式难以满足不同地区的需求。粮食主产区优先保障粮食生产安全, 推动农业生产向规模化、集约化、现代化方向发展。加大对高标准农田建设的投入, 提高粮食生产的机械化水平和抗风险能力; 非粮食主产区根据当地资源禀赋和产业发展优势, 发展特色农业、绿色农业和生态农业; 加强区域间的农业合作, 推动资源、技术、市场的共享, 形成优势互补、协同发展的格局。

(4) 完善农业保险和财政支农政策。农业面临自然灾害、市场波动等多重风险, 农民的抗风险能力较弱。同时, 财政支农资金使用效率有待提高。应完善农业保险制度。提高农业保险补贴比例, 降低农民参保成本。优化保险产品设计, 推出针对不同地区、不同作物的差异化保险产品, 提高理赔效率, 增强农民对农业保险的信任度; 优化财政支农结构。加大对农业基础设施建设的投入力度, 改善农业生产条件。同时, 提高财政资金使用效率, 确保资金用于农业生产的关键

环节；创新金融支持方式。鼓励金融机构开发适合农业发展的金融产品，如农业信贷、农业投资基金等，为农业生产经营提供资金支持。

（5）发展绿色农业。传统农业生产方式对资源环境造成较大压力，农产品质量安全问题日益突出。应该推广绿色生产技术。鼓励农民使用有机肥、生物农药等绿色投入品，减少化肥和农药的使用量，降低农业生产对环境的污染；完善质量安全监管体系。建立健全农产品质量安全追溯体系，实现从生产到销售的全过程监管，严厉打击食品安全犯罪，保障农产品质量安全；发展生态农业。推广种养结合、循环农业等生态农业模式，提高资源利用效率，实现农业生产的可持续发展。

（6）加强数字基础设施建设。数字基础设施是现代农业发展的重要支撑，但目前农村地区数字基础设施较为薄弱，制约了农业数字化转型。应加快数字基础设施建设。加大对农村地区网络、数据中心等数字基础设施的投入力度，补齐农村数字基础设施短板，为农业生产提供良好的技术支撑；推动数字技术应用。利用大数据、物联网、区块链等技术，提升农业生产的智能化水平。例如，通过数据监控实现灾害预警、病虫害防治等功能，提高农业生产的抗风险能力；完善政策支持体系。建立数农融合发展的支持与激励政策体系，鼓励社会资本参与农业农村数字基础设施建设，推动农业数字化转型。

（7）推进农业产业现代化发展。推动农业产业融合。推进“一产后延、二产两头连、三产走高端”的农业产业融合发展模式，延长农业产业链，提高农产品附加值；支持龙头企业技术创新。鼓励农业龙头企业开展关键核心技术攻关，推动智慧农业、精准农业等领域的创新，抢占农业技术制高点；提升农村人力资本。完善农村数字基础设施建设，打造城乡农业知识交流平台，为农户学习先进技术提供支持，提高农村人力资本水平。

6.3 研究展望

基于本文的研究不足，未来研究可以从以下几个方面进一步深化和拓展：

（1）数据更新与扩展。随着统计数据的不断完善，未来研究可采用更新的数据（如 2023 年及以后的数据），以更准确地反映人口老龄化、数字基础设施与农业发展韧性的动态关系。探索使用更高频（如季度或月度）的面板数据，以捕捉短期冲击（如政策调整、突发事件）对农业韧性的影响。

（2）多尺度与精细化分析。在数据可得的情况下，未来研究可聚焦于市级或县域层面的分析，以揭示不同区域（如粮食主产区、经济发达地区、偏远山区等）的异质性影响。结合微观调研数据（如农户调查、企业数据），探究个体或社区层面的作用机制，弥补宏观数据的局限性。

（3）空间溢出效应的深入探讨。引入空间计量经济学方法（如空间杜宾模型、空间滞后模型），考察数字基础设施和人口老龄化对农业韧性的空间溢出效应，分析邻近地区的交互影响。结合地理信息系统（GIS）技术，可视化空间分布特征，识别高溢出效应区域，为区域协同政策提供依据。

（4）多维度指标构建。构建更全面的农业发展韧性指标体系，纳入社会韧性等维度，以更全面地评估农业系统的可持续性。

（5）政策模拟与情景预测。采用动态模拟方法（如系统动力学、Agent-Based Modeling），预测不同政策情景（如数字基建投资增加、老龄化加速）下农业韧性的变化趋势。结合机器学习方法，挖掘潜在非线性关系或阈值效应，为精准政策干预提供科学依据。

通过以上方向的拓展，未来研究可以更系统地揭示人口老龄化与数字基础设施对农业发展韧性的影响机制，并为制定差异化的区域农业政策提供更有力的理论支撑。

参考文献

- [1] Gai M, Yang QF. Synergistic study of the green efficiency and economic resilience of agriculture from a sustainable development perspective: evidence from Northeast China[J]. Environmental Science and Pollution Research. 2023;30(31):77568-92.
- [2] Yang QF, Zhang PY, Ma ZP, Liu DQ, Guo YJ. Agricultural Economic Resilience in the Context of International Food Price Fluctuation-An Empirical Analysis on the Main Grain-Producing Areas in Northeast China[J]. Sustainability. 2022;14(21).
- [3] Ye YM, Zou P, Zhang WH, Liu XQH, Liu B, Kang XL. Spatial-Temporal Evolution Characteristics of Agricultural Economic Resilience: Evidence from Jiangxi Province, China[J]. Agronomy-Basel. 2022;12(12).
- [4] Zhang H, Li J, Quan TS. Strengthening or Weakening: The Impact of an Aging Rural Workforce on Agricultural Economic Resilience in China[J]. Agriculture-Basel. 2023;13(7).
- [5] Zhou J, Chen HP, Bai QY, Liu LX, Li GH, Shen QL. Can the Integration of Rural Industries Help Strengthen China's Agricultural Economic Resilience[J]? Agriculture-Basel. 2023;13(9).
- [6] 刘战伟.数字农业发展水平、区域差异及时空演变特征研究[J/OL].统计与决策,2023,(20):94-99[2023-11-08]
- [7] 董亚妮,祁春节,谭明交等.粮食主产区农业韧性的空间差异及影响因素[J/OL].中国农业资源与区划,1-15[2023-11-08]
- [8] 祝宏辉,郑新.数字经济、城乡融合与农业经济韧性[J].统计与决策,2023,39(18):22-27.
- [9] 戴浩,魏君英,陈银娥.数字普惠金融对我国农业经济韧性的影响研究[J].价格理论与实践,2023,(08):144-148.
- [10] 周鹏飞,李美宏.数字乡村建设赋能农业经济韧性:影响机理与实证考察[J].调研世界,2023,(09):15-24.

- [11] 王瑞雪,陈建成,方宜亮等.中国粮食主产区农业韧性的空间分异、演化特征与驱动力[J].农业经济与管理,2023,(04):23-36.
- [12] 赵巍,赵恬婧,马婧.数字普惠金融、农村产业融合与农业经济韧性[J].农林经济管理学报,2023,22(05):555-565.
- [13] 霍松涛.中国乡村经济韧性测度及时空演变特征研究[J].云南财经大学学报,2023,39(06):1-17.
- [14] 赵巍,徐筱雯.数字经济对农业经济韧性的影响效应与作用机制[J].华南农业大学学报(社会科学版),2023,22(02):87-96.
- [15] 唐莹,陈梦涵.农业基础设施对农业经济韧性的作用机制与效应研究[J].农林经济管理学报,2023,22(03):292-300.
- [16] 宋敏,刘欣雨.数字经济赋能农业韧性机制研究——基于人力资本的中介效应分析[J].江苏社会科学,2023,(01):103-112.
- [17] 颜榕,姚型浩,米红.人口老龄化对农业经济韧性的影响研究——基于农业科技应用的中介效应[J].浙江海洋大学学报(人文科学版),2022,39(06):71-81.
- [18] 李久林,滕璐,马昊楠等.安徽省农业经济韧性的空间异质性及影响因素[J].华东经济管理,2022,36(11):75-84.
- [19] 蒋辉.中国农业经济韧性的空间网络效应分析[J].贵州社会科学,2022,(08):151-159.
- [20] 郝爱民,谭家银.农村产业融合赋能农业韧性的机理及效应测度[J].农业技术经济,2023,(07):88-107.
- [21] 张东玲,焦宇新.农业保险、农业全要素生产率与农户家庭经济韧性[J].华南农业大学学报(社会科学版),2022,21(02):82-97.
- [22] 蒋辉,张驰,蒋和平.中国农业经济韧性对农业高质量发展的影响效应与机制研究[J].农业经济与管理,2022,(01):20-32.
- [23] 张明斗,惠利伟.中国农业经济韧性的空间差异与影响因素识别[J].世界农业,2022,(01):36-50.
- [24] 谭家银.农村产业融合、数字普惠金融与县域经济韧性研究[D].郑州航空工业管理学院,2023.
- [25] 马聪聪.中国农业经济韧性时空分异特征与影响因素研究[D].浙江海洋大

- 学,2023.
- [26] 张可.数字普惠金融对农村经济韧性的影响研究[D].安徽财经大学, 2023.
- [27] 陈少华.区域灾害系统视域下农村经济韧性及影响因素研究[D].吉首大学, 2022.
- [28] 方观富,蔡莉.数字普惠金融如何影响农业产出:事实、机制和政策含义[J].农业经济问题,2022(10):97-112.
- [29] 黄永春,宫尚俊,邹晨等.数字经济、要素配置效率与城乡融合发展[J].中国人口·资源与环境,2022,32(10):77-87.
- [30] 吴越,刘娜娜.产业融合视角下振兴农业经济的机遇、挑战与现实路径[J].农业经济,2022(09):12-14.
- [31] 高粼彤,孟霏,田启波.中国经济韧性时空演化及影响因素研究——基于数字金融视角[J].经济问题探索,2022(08):57-74.
- [32] 张英男,龙花楼.农业生产转型及其环境效应的研究进展与展望[J].自然资源学报,2022,37(07):1691-1706.
- [33] 方观富,蔡莉.数字普惠金融如何影响农业产出:事实、机制和政策含义[J].农业经济问题,2022(10):97-112.
- [34] 吴越,刘娜娜.产业融合视角下振兴农业经济的机遇、挑战与现实路径[J].农业经济,2022(09):12-14.
- [35] 钟真,刘育权.数据生产要素何以赋能农业现代化[J].教学与研究,2021(12):53-67.
- [36] 崔耕瑞.数字金融能否提升中国经济韧性[J].山西财经大学学报,2021,43(12):29-41.
- [37] 丁建军,王璋,柳艳红等.中国连片特困区经济韧性测度及影响因素分析[J].地理科学进展,2020,39(06):924-937.
- [38] 马述忠,贺歌,郭继文.数字农业的福利效应——基于价值再创造与再分配视角的解构[J].农业经济问题,2022(05):10-26.
- [39] 谢康,易法敏,古飞婷.大数据驱动的农业数字化转型与创新[J].农业经济问题,2022(05):37-48.
- [40] 唐文浩.数字技术驱动农业农村高质量发展:理论阐释与实践路径[J].南京农

- 业大学学报(社会科学版),2022,22(02):1-9.
- [41] 郝爱民,谭家银.数字乡村建设对我国粮食体系韧性的影响[J].华南农业大学学报(社会科学版),2022,21(03):10-24.
- [42] 谢璐,韩文龙.数字技术和数字经济助力城乡融合发展的理论逻辑与实现路径[J].农业经济问题,2022,(11):96-105.
- [43] 唐任伍,李楚翘.中国经济韧性的现实表征、动态演化与决定因素[J].北京师范大学学报(社会科学版),2022,(01):23-35.
- [44] 李晋,戴旭宏.脱贫摘帽后原深贫山区乡村的经济韧性建构——以四川省凉山州卢家营盘村为例[J].农村经济,2021,(11):45-52.
- [45] 于伟,张鹏.中国农业发展韧性时空分异特征及影响因素研究[J].地理与地理信息科学,2019,35(01):102-108.
- [46] 苏杭.经济韧性问题研究进展[J].经济学动态,2015,(08):144-151.
- [47] 何亚莉,杨肃昌.“双循环”场景下农业产业链韧性锻铸研究[J].农业经济问题,2021(10):78-89.
- [48] Wang P. An urban system perspective on urban flood resilience using SEM: evidence from Nanjing city, China[J]. Natural Hazards. 2021;109(3):2575-99.
- [49] He D. Can industrial diversification help strengthen regional economic resilience[J]? Frontiers in Environmental Science. 2022;10.
- [50] Wang WL. The Effect of Innovative Entrepreneurial Vitality on Economic Resilience Based on a Spatial Perspective: Economic Policy Uncertainty as a Moderating Variable[J]. Sustainability. 2021;13(19).
- [51] Song GD. Spatial Pattern Evolution Characteristics and Influencing Factors in County Economic Resilience in China[J]. Sustainability. 2022;14(14).
- [52] Huang J. Spatial and temporal variation of economic resilience and its drivers: Evidence from Chinese cities[J]. Frontiers in Environmental Science. 2023;11.
- [53] Li Q. Regional Economic Resilience in the Central-Cities and Outer-Suburbs of Northeast China[J]. Sustainability. 2022;14(5).
- [54] Li LG. What Affects the Economic Resilience of China's Yellow River Basin Amid Economic Crisis-From the Perspective of Spatial Heterogeneity[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health.

- 2022;19(15).
- [55] Zhang JF. Does Digital Infrastructure Improve Urban Economic Resilience? Evidence from the Yangtze River Economic Belt in China[J]. Sustainability. 2023;15(19).
- [56] Ye SS. The Impact of Industrial Linkage Structures on Urban Economic Resilience in China in the Context of the COVID-19 Shock[J]. Sustainability. 2023;15(6).
- [57] Man S. An Assessment Approach to Urban Economic Resilience of the Rust Belt in China[J]. Complexity. 2021;2021.
- [58] Li GZ. Spatiotemporal Evolution and Influencing Factors of Economic Resilience: Evidence from Resource-Based Cities in China[J]. Sustainability. 2022;14(16).
- [59] 徐文洋,俞世伟.治理现代化视域下老年群体的数字社会排斥与消解[J/OL].重庆大学学报(社会科学版), 1-14[2023-11-28]
- [60] 梁雅楠,张成.人口老龄化、数字经济与我国产业结构优化[J].经济问题探索,2022, (12):114-131.
- [61] 张晨霞,李荣林.人口老龄化、数字经济与经济高质量发展[J].经济经纬,2022,39(05):3-13.
- [62] 朱荟.数字老龄化的中国优势:释放数字红利[J].中国特色社会主义研究,2022,(02): 79-88.
- [63] 马玥.推进数字经济与银发经济融合发展[J].宏观经济管理,2022,(03):56-62.
- [64] 田相辉,黄子勇.中国农业产业韧性水平的区域差异与时空演变[J/OL].统计与决策,2024,(15):104-109[2024-08-26].
- [65] 高玉婷,李波,甘天琦.人口老龄化、农业技术效率与农业经济韧性——基于人口普查与抽样调查数据的分析[J].世界农业,2024,(08):115-127.
- [66] 蒋健,吴海涛,李双双,等.农村人口老龄化对农业经济韧性的影响——基于生产要素视角的分析[J].华东经济管理,2024,38(08):94-105.
- [67] 朱迪,叶林祥.中国农业绿色韧性: 水平测度与时空演变[J].统计与决策,2024,40(13):118-123.

- [68] 孙聪,夏恩君,黄洁萍,等.数农融合发展对农业韧性的影响[J].经济与管理研究,2024,45(06):76-94.
- [69] 梁坤丽,刘维奇.农业绿色生产效率与经济韧性耦合协调度的时空演变特征[J].统计与决策,2024,40(09):90-94.
- [70] 令涛,赵桂芹.农业保险与农业生产韧性:内在逻辑及实证检验[J].华南农业大学学报(社会科学版),2024,23(02):94-106.
- [71] 李萍,何瑞石,宋晓松.有效提升我国农业产业链供应链韧性[J].宏观经济管理,2024,(02):61-69.
- [72] 明红,朱再清,李小康.电子商务进农村能增强农业经济韧性吗?——基于电子商务进农村综合示范政策的实证研究[J].世界农业,2024,(02):85-98.
- [73] 王志凌,曾洪,罗蓉.数字基础设施建设是否增强了农业经济韧性? [J].学习与实践,2023,(12):33-44.
- [74] 董亚妮,祁春节,谭明交,等.粮食主产区农业韧性的空间差异及影响因素[J].中国农业资源与区划,2024,45(03):14-25.
- [75] 习近平.坚持把解决好“三农”问题作为全党工作重中之重举全党全社会之力推动乡村振兴[J].乡村振兴,2022,(04):8-15.
- [76] 王军,朱杰,罗茜.中国数字经济发展水平及演变测度[J].数量经济技术经济研究,2021,38(07):26-42.
- [77] 郑梦泽,李富强.生产性服务业集聚与城市经济韧性:理论依据与经验事实[J].统计与决策,2024,40(17):126-131.
- [78] 郑威,罗润风,杜剑.税制结构优化对城市经济韧性的提升效应研究:基于资本与劳动力配置效率的分析[J].现代财经(天津财经大学学报),2024,44(09):86-102.
- [79] 杨珂凡,李亭,王志章.产业多样化、技术创新与区域经济韧性[J].科学管理研究,2024,42(04):53-63.
- [80] 罗公利,袁月凡,王璐.数实融合对经济韧性的影响研究[J].调研世界,2024,(08):60-72.
- [81] 安琳,夏丽丽,张佳钰,等.珠三角区域经济韧性的空间演化及影响因素研究——基于知识基础的分析视角[J].世界地理研究,2024,33(08):132-147.

- [82] 陈奕玮,郭丛斌.产业多样化集聚、人力资本与城市经济韧性[J].统计与决策,2024,40(15):93-97.
- [83] 刘宇轩,王宇航,邓文逸.智慧城市建设对中国市域经济韧性的影响[J].经济地理,2024,44(07):135-143+185.
- [84] 周春喜,陶莺,王威.绿色金融能否提升城市经济韧性?[J].财经论丛,2024,(07):70-80.
- [85] 张玉玲,方玉婷.中国文旅融合与经济韧性时空特征及互动关系研究[J].热带地理,2024,44(07):1329-1340.
- [86] 吉生保,魏姗姗,王丁玄.对外直接投资对中国城市韧性的影响[J/OL].中国人口·资源与环境,2024,(05):175-185[2024-09-26].
- [87] 金朝辉,朱孟楠.数字经济对经济韧性的影响与机制分析——基于地级市城市的实证研究[J].经济问题探索,2024,(07):154-171.
- [88] 生延超,陈昕,徐珊,等.数字经济对黄河流域城市外向型经济韧性的影响研究——兼论要素升级的中介效应[J].管理学报,2024,37(03):112-127.
- [89] 孙铁山.中国城市经济韧性和人口收缩——基于相关多样性和城际联系的解释[J].同济大学学报(社会科学版),2024,35(03):63-74.
- [90] 张朝华,徐鹏杰.数据要素集聚能提升城市经济韧性吗——来自大数据综合试验区建设的经验证据[J].宏观经济研究,2024,(06):59-76.
- [91] 杨莎莎,黄丽露,段至诚,等.中国城市群旅游经济韧性的动态变化及障碍因子分析[J].自然资源学报,2024,39(06):1262-1277.
- [92] 张永凯,许帆.农村人口老龄化对农业高质量发展的影响效应[J/OL].河北农业大学学报(社会科学版),1-11[2025-02-18].
- [93] 蒋健,吴海涛.农村劳动力老龄化对农业产业链韧性的影响——基于数字技术和数字普惠金融视角下的分析[J].南京农业大学学报(社会科学版),2025,25(01):168-181.
- [94] 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(03):272-285.
- [95] 林萍萍,彭山桂,郭春梅.人口老龄化对农业绿色全要素生产率的影响机制与门槛效应[J].山东农业大学学报(社会科学版),2024,26(04):28-37+53.

- [96] 李立辉.人口老龄化对黑龙江省农业可持续发展的影响浅析[J].对外经贸,2024,(12):66-69.DOI:10.20216/j.cnki.fert1987.2024.12.007.
- [97] 张军.劳动力老龄化对粮食生产效率的影响及其缓解路径[J].华南农业大学学报(社会科学版),2024,23(06):36-49.
- [98] 穆怀中,张冬雪.农村人口老龄化与粮食安全:影响机制与实证检验[J].华南农业大学学报(社会科学版),2024,23(06):61-75.
- [99] 叶涛涛,华彦玲.农村人口老龄化对农业全要素生产率的影响研究[J].农业与技术,2024,44(20):159-164.
- [100] 陈虹语,朱胜.重庆人口老龄化对农村经济的影响[J].农村经济与科技,2024,35(19):133-136.
- [101] 梁庆龙.农业劳动力资源变化对农业发展的影响及对策研究[J].中国国情国力,2024,(10):24-28.
- [102] 刘斌,黄承石,裴潇.农村人口老龄化对农业绿色全要素生产率的影响——基于农机服务的中介效应[J].中国农机化学报,2024,45(12):337-343.
- [103] 于帅,马书琴.黑龙江农村人口老龄化对农业发展的影响[J].现代农业研究,2024,30(09):115-117.
- [104] 余永琦,池泽新,黄微,等.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.
- [105] 彭潇俊.乡村劳动力老龄化对农业生产的影响分析——基于 CiteSpace 知识图谱[J].智慧农业导刊,2024,4(16):27-31.
- [106] 李亚鹏.河南省农业劳动力老龄化对粮食生产的影响研究[J].山西农经,2024,(13):100-102+106.
- [107] 杜鹏,罗叶圣.数字时代的老龄社会:特征、机遇与挑战[J].江西师范大学学报(哲学社会科学版),2024,57(02):17-25.
- [108] 胡雯,原珂.高质量发展目标下的数字技术赋能与老龄社会治理[J].决策科学,2024,(04):34-44.
- [109] 杜鹏,韩文婷.数字包容的老龄社会:内涵、意义与实现路径[J].北京行政学院学报,2023,(02):40-47.
- [110] 杨菊华,刘轶锋.数字时代的长寿红利:老年人数字生活中的可行能力与内生

动力[J].行政管理改革,2022,(01):26-36.

- [111] 方俊怡,柯珍堂.数字普惠金融发展对农业机械使用的影响研究——基于要素替代和人口老龄化的视角[J/OL].安徽农业科学,1-5[2025-02-20].

攻读硕士学位期间发表或录用的学术论文

发表或录用论文

潘明明,赵英华.互联网使用何以影响农村家庭相对贫困?——农户信贷约束缓解视角[J].武汉金融,2024,(08):70-79.

潘明明,赵英华.中国农村家庭贫困脆弱性测度、动态变化与影响因素研究——基于 CFPS 数据库的实证分析[J].安徽农业大学学报(社会科学版),2023,32(06):106-113.

参与科研项目

安徽省创新发展课题：乡村振兴战略下安徽省农村“大托管”推进路径激励机制研究。

安徽省高校人文社科杰青项目：共同富裕背景下大别山革命老区振兴发展研究。

学科竞赛

正大杯第十三届市场调查与分析大赛总决赛三等奖，第一作者；

第九届全国大学生统计建模大赛安徽赛区研究生组三等奖，第一作者；

“互联网+”创新创业大赛安徽省赛铜奖，第一作者；

第十届全国大学生统计建模大赛安徽赛区研究生组二等奖，第一作者；

致谢

时光荏苒，三年的研究生求学生涯即将画上句号。回首这段充实的旅程，心中充满感激与不舍。在这片充满智慧与活力的校园里，我不仅收获了知识的硕果，更收获了成长的喜悦和珍贵的友谊。值此论文完成之际，我谨向所有关心、帮助和支持我的人致以最诚挚的谢意。

首先，我要向我的导师潘明明教授致以最崇高的敬意和最衷心的感谢。潘老师学识渊博，治学严谨，在学术道路上给予我悉心指导和无私帮助。从论文选题到最终定稿，潘老师始终耐心细致地为我答疑解惑，指引方向。潘老师严谨的治学态度和精益求精的学术精神将永远激励着我前行。还记得在论文写作过程中，每当我遇到瓶颈和困惑时，潘老师总是耐心倾听我的想法，并给予我建设性的意见和建议，帮助我开拓思路，找到解决问题的办法。潘老师不仅是我学术上的引路人，更是我人生道路上的良师益友，他的言传身教将使我受益终身。

其次，我要感谢我的父母。你们无私的爱与支持是我前进的动力源泉。无论我身处顺境还是逆境，你们始终是我最强有力的后盾，给予我无条件的理解与鼓励。你们的辛勤付出和殷切期望，我将铭记于心，并以实际行动回报你们的养育之恩。还记得在备考研究生的那段日子里，是你们的鼓励和支持让我坚持了下来；在研究生学习期间，是你们的关心和安慰让我克服了种种困难，最终完成了学业。你们是我温暖的港湾，无论我走多远，飞多高，家永远是我心灵的归宿。

此外，我要感谢我的室友们。三年的同窗生活，我们共同学习，互相鼓励，分享快乐，分担忧愁。你们的陪伴让我的研究生生活更加丰富多彩，也让我收获了珍贵的友谊。还记得我们一起熬夜赶论文，一起讨论学术问题，一起分享生活中的点点滴滴。你们的陪伴和支持，让我在异乡求学的生活不再孤单，也让我感受到了家的温暖。我们之间的友谊将是我一生中最宝贵的财富。

三年的研究生学习，我不仅收获了专业知识，更提升了独立思考、解决问题的和团队合作的能力。这段宝贵的经历将为我未来的职业发展奠定坚实的基础。在课堂上，我系统学习了产业经济学的理论知识，并积极参与课堂讨论，与老师和同学们交流思想，碰撞出智慧的火花。在课外，我积极参与科研项目，将理论知识应用于实践，提升了自己的科研能力和实践能力。展望未来，我满怀期待，将以更加饱满的热情和坚定的信念迎接新的挑战，为实现自己的人生目标而努力奋

斗！

最后，再次感谢所有关心、帮助和支持我的人！感谢我的母校，为我提供了良好的学习环境和丰富的学习资源。我将永远铭记这段美好的回忆，并将这份感恩之情化作前进的动力，在未来的道路上不断前行，创造更加美好的未来！