

农村基础设施建设对农业绿色全要素生产率的影响研究

蔡起华, 卢家帆

(郑州大学商学院)

摘要: 农村基础设施建设作为经济增长和社会发展的前提条件, 对农业绿色全要素生产率的提高具有重要作用。为评估农村基础设施建设对农业绿色全要素生产率的影响, 本文以中国 30 个省份 2012-2021 年的面板数据为样本, 测算了中国农村基础设施建设和农业绿色全要素生产率的发展水平, 实证检验了农村基础设施建设和农业绿色全要素生产率的作用效果和机制。结果表明: (1) 农村基础设施建设对农业绿色全要素生产率具有促进作用。(2) 农村基础设施建设对农业绿色全要素生产率的影响具有种类和生产结构异质性。分基础设施种类来看, 农村数字型基础设施建设和非数字型基础设施建设对农业绿色全要素生产率均具有正向促进作用, 但数字型基础设施建设的促进效果更明显; 分生产结构来看, 农村基础设施建设对农业绿色全要素生产率在粮食主销区和产销平衡区具有促进作用, 在粮食主产区具有抑制作用。(3) 农村基础设施建设能够通过提高市场化程度、促进技术进步来推动农业绿色全要素生产率。

关键词: 农村基础设施建设; 农业绿色全要素生产率; 市场化程度; 技术进步

Impact of Rural Infrastructure Development on Agricultural Green Total Factor Productivity

Cai Qihua, Lu Jiafan

(Business School, Zhengzhou University)

Abstract: As a precondition for economic growth and social development, rural infrastructure development plays an important role in the improvement of agricultural green total factor productivity. In order to assess the impact of rural infrastructure development on agricultural green total factor productivity, this paper measures the development level of rural infrastructure development and agricultural green total factor productivity in China using the panel data of 30 provinces in China from 2012 to 2021 as a sample, and empirically examines the effect and mechanism of the role of rural infrastructure development and agricultural green total factor productivity. The results show that: (1) rural infrastructure construction has a promoting effect on agricultural green total factor productivity. (2) The effect of rural infrastructure development on agricultural green total factor productivity is heterogeneous in terms of type and production structure. In terms of infrastructure types, both digital and non-digital infrastructure construction in rural areas have a positive effect on agricultural green total factor productivity, but the effect of digital

infrastructure construction is more obvious; in terms of production structure, rural infrastructure construction has a promotional effect on agricultural green total factor productivity in the main grain marketing area and the balanced production and marketing area, and has an inhibitory effect in the main grain production area. (2) Rural infrastructure construction can promote agricultural green total factor productivity in the main grain marketing areas and balanced production areas, and has a dampening effect in the main grain production areas. (3) Rural infrastructure construction can promote agricultural green total factor productivity by increasing the degree of marketization and promoting technological progress.

Keywords: rural infrastructure development; agricultural green total factor productivity; degree of marketization; technological progress

一、引言

农业作为国民经济命脉，是维系国家物质生产和生活的前提。中国是农业大国，改革开放四十多年的发展，使农业经济呈现平稳、进步的增长态势，农业生产条件改善，农民收入稳定增长。但是，受资源匮乏、生产技术落后等条件的制约，农业生产呈现出高投入、高消耗、低效益的粗放型特征，生态环境和农产品质量受到严重威胁。数据显示，2021年全国农业水污染中的总氮量、总磷量、化学需氧量分别占全国水污染总量的49.3%、73.2%和62.1%。如何在追求农业生产高效率的同时，兼顾生态环境的改善，对于实现农业可持续发展具有重要意义。近年来，党和国家高度重视生态环境和农业绿色发展，农业污染治理政策体系逐步完善。《“十四五”全国农业绿色发展规划》提出要以深化农业供给侧结构性改革为主线，强化科技集成创新，构建绿色低碳循环发展的农业产业体系。二十大报告提出要加快发展方式绿色转型，并指出经济社会发展绿色化、低碳化是实现高质量发展的关键环节。2023年中央一号文件同样将推进农业绿色发展放在明显位置，提倡从农业投入品、耕作制度、绿色发展先行区等渠道强化污染防治，为构建资源节约型、环境友好型农业提供参考。在高污染、低效率的双重压力下，对农业绿色全要素生产率的考察已成为评估农业发展质量的重要依据。农业绿色全要素生产率（Agricultural Green Total Factor Productivity, AGTFP）指考虑了环境污染非期望产出后，表征农业总投入要素的真实生产效率，能够直观反映地区农业绿色发展水平。

已有研究表明，环境规制、财政支持以及人力资本等均是影响农业绿色全要素生产率的重要因素。但是，目前尚未有学者注意到农村基础设施建设这一特殊的农业环境因素，对农业绿色全要素生产率所可能产生的影响。事实上，基础设施建设是农业生产环境的重要组成部分，它的改善有利于实现水、土地、人力等资源更加合理地配置，解决农业资源集约利用率低的难题。其次，农村基础设施具有促进要素流动与知识溢出的扩散效应，有利于跨地域人才、资金和技术的流动，减少地区间农业绿色全要素生产率明显的区域差异。最后，为推

动高质量发展，党的二十大提出加快构建以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局。基础设施建设作为塑造“双循环”格局的重要先手，承载着物流、信息流等多种功能，是国内大循环中提供正常运转的物质保障^[1]。加强基础设施建设，对促进农业高质量发展、提高农业绿色全要素生产率具有重要意义。但是，在边际报酬递减规律的作用下，一个国家或地区所需要的基础设施是有其自然限度的，加之基础设施投资具有挤出效应，会挤占其他更有效率的投资，因此基础设施投资过多也会导致经济效率下降。并且，基础设施投资领域还普遍存在着盲目建设、重复建设和环境污染等问题，严重影响了投资效率。

那么，农村基础设施建设究竟会促进还是抑制农业绿色全要素生产率？其具体的影响渠道有哪些？及时回应上述问题，对各级政府制定合理的农业高质量发展战略，有效发挥农村基础设施的功能效应，具有重要的理论与现实意义。本文采用省级数据，在对2012-2021年中国30个省份的农村基础设施建设水平和农业绿色全要素生产率进行测度的基础上，检验了农村基础设施建设对农业绿色全要素生产率的作用效果。其次，根据地区和基础设施类型，进一步分析农村基础设施建设对农业绿色全要素生产率的异质性影响。最后，从资源配置效率和技术进步视角检验了农村基础设施建设影响农业绿色全要素生产率的渠道，并对相关政策的制定提供建议和参考。

二、文献述评

（一）农村基础设施建设相关研究

1. 农村基础设施建设

农村基础设施建设是指各类以服务“农村、农业、农民”为主要对象的公共产品，是农业经济发展基础，也是增强农民收入、加快农村现代化的重要保障。已有学者对农村基础设施建设现状进行了大量描述，并致力于寻求更加合理的投融资模式，以推动农村基础设施建设的完善。第一方面是对农村基础设施建设的现状研究。杨林等^[2]将农村基础设施划分为生产性基础设施、服务性基础设施、社会性基础设施、流通性基础设施，通过调查发现，四类农村基础设施建设均有明显不足，滞后于现代农业发展需要。苏明^[3]重点关注农村基础设施建设的整体情况，研究发现农村基础设施建设在城乡间、区域间、不同人群间存在差异，落后地区和低收入群体享受到的公共服务数量较少。张秀莲和王凯^[4]则对农村基础设施投资现状进行研究，发现在投入主体方面，东部地区的非农户投资比重高于中西部地区；在投资产业方面，东部地区相较于中西部地区的第一产业投资比重高，第二产业的投资比重低；在投入需求方面，东部地区对社会性基础设施的需求更加强烈，而中西部地区对经济性基础设施的需求更加强烈。第二方面是对农村基础设施建设投融资模式的探究。杨林等^[2]注重政府在公共服务投资中的作用，主张依托公共财政支持、推进二元基础设施基本供给制度改革、融资方式创新、完善农村基础设施经营管理体制的方式，来弥补农村基础设施供给不足的短板。郑春美等则认为依靠政府投入远不能满足建设的需要，提倡吸收民间资金参与农村基础设施建设，并且强调农民个人参与在融资过程中的作用。田祥宇^[5]认为在农村基础设施投资过程

中需要兼顾公平，鼓励建立农村基础设施投资公平性评价体系，进一步对现存的投资方式和投资制度进行完善。

2.农村基础设施建设与经济发展之间的关系

基础设施建设的经济影响已经被广泛学者关注，大部分的研究结论证实了基础设施建设对地区经济发展影响的积极性。农村基础设施建设降低了城乡间的可达性差距，使人们能更加公平地获得基本服务和商品，减少农村地区相对城市地区的经济劣势^[6]；同时，道路和通信等设施的完善可以降低距离的有效成本，增加农村生产者扩大市场的能力，进而提高农村地区企业生产绩效，并吸引新企业入驻^[7]。还有学者关注到基础设施对地区人口迁移、区域创新、财产价值的影响，但由于基础设施效益存在滞后性，对农村减贫和可持续发展的作用只有在长期中才能显现^[8]。中国农村地区面积广阔，农村人口占比为 35.29%，在经济发展中占据重要地位，学界中与农村基础设施建设的经济影响有关的研究成果也较为丰富。总的来看，大多数学者从宏观和微观两个角度展开，刻画了农村基础设施建设对总体经济数量、经济质量的促进作用^[9, 10]，证实了农村基础设施建设对家庭长期多维贫困发生率和返贫率的抑制作用^[11, 12]。但是，也有少量研究发现受地理因素、经济发展状况的影响，基础设施建设对部分地区经济增长的影响是不显著^[13]或者为负^[14]的。

（二）农业绿色全要素生产率相关研究

相比较于传统的农业全要素生产率，考虑生态环境和资源约束的农业绿色全要素生产率更符合农业高质量发展的内涵。根据现有文献，学者对农业绿色全要素生产率的研究可以被归纳为测量方法、指标体系和影响因素三个方面。

1.农业绿色全要素生产率测算方法

农业绿色全要素生产率的测算方法主要分为非前沿方法（Non-frontier Approach）和前沿方法（Frontier Approach），其中非前沿方法不存在技术无效率的假设，主要包含指数法和生产函数法。前沿方法假设存在技术无效率的情况，包括非参数的数据包络分析法（Data Envelopment Analysis, DEA）和参数的随机前沿分析法（Stochastic Frontier Analysis）^[15]。1995 年之前，全要素生产率测算主要基于非前沿方法，之后主要基于前沿方法，并且以非参数的 DEA 方法居多。数据包络分析（DEA）是在决策单元的效率评价基础上发展得来的，首先保持投入、产出不变，运用线性规划和对偶原理确定生产前沿面，再比较决策单元偏离生产前沿面的程度来决定相对有效性。传统的 DEA 方法只能对截面数据进行效率分析，通过引入生产率指数，可以实现对面板数据的生产率分析。因此，目前学界通常将 DEA 方法和生产率指数结合来测度农业绿色全要素生产率的变动，并通过指数分解对变动的来源进行探究。王奇等^[15]基于随机前沿生产函数和 Malmquist 生产率指数方法，对中国 1992-2010 年农业绿色全要素生产率进行测度，发现农业 GTFP 和 TFP 年均增长基本相同，且二者的增长均依靠技术进步推动。鄢曹政^[16]等利用 DEA-Malmquist 模型对中国 31 个省份 2016-2020 年的农业绿色全要素生产率进行测算，结果表明东北部地区 AGTFP 增长幅度最高，东部、中

部和西部地区次之。马国群和谭砚文^[17]运用 SBM 超效率模型和 GML 指数对中国 2000-2017 年的农业绿色全要素生产率进行测算,发现中国农业绿色全要素生产率年均增长为 3.39%,其中农业绿色技术进步的贡献最大,农业绿色技术效率贡献较小。郭海红等^[18]运用 EBM-ML 指数从静态和动态角度对 2005-2015 年省际农业绿色全要素生产率进行测算,结果表明农业绿色全要素生产率呈现“M”型波动,波动幅度较小,在较长时间内难以实现跨界式提升。

2. 农业绿色全要素生产率指标体系研究

在测算农业绿色全要素生产率的过程中,指标选取直接影响到测算结果的准确性。其中,体现“绿色”的关键在于考虑了环境因素的影响,如化肥、机械等生产要素使用过程中产生的环境污染,目前主要将其纳入非期望产出一栏。总的来说,衡量农业绿色全要素生产率的指标体系包括投入和产出指标。对于投入指标,相关文献普遍包含土地、劳动、机械、化肥变量,但在其他投入变量的取舍上有所不同。郭海红和刘新民选择劳动、土地、机械、化肥、农药、柴油、农膜变量作为投入变量^[19],杨骞等^[20]、田云等^[21]在其基础上还加入了农业用水指标,赵文将种子、饲料、役畜要素也增加纳入指标体系^[22],更全面地度量农业生产过程中的投入水平。产出指标包括期望产出和非期望产出,衡量期望产出的指标选取方式较为统一,一般来讲,研究广义农业的学者选取农林牧渔业总产值作为期望产出,研究狭义农业(即种植业)的学者,多以农业总产值作为期望产出。在衡量非期望产出时,学者选择的指标有所不同。虽然大多数学者都采用单元调查法测度农田化肥、畜禽养殖、农田废弃物、农村生活等产生的污染量,但是计算的污染物指标不同。有的学者单独使用二氧化碳排放量^[19, 23, 24]或者氮、磷、COD 指标^[25]表征非期望产出,也有学者同时测度多种污染物的影响,将二氧化碳排放和面源污染^[26, 27]一同计入非期望产出之中。

3. 农业绿色全要素生产率的影响因素

已有文献讨论了受教育程度、劳动力投入、工业化、农业机械化等因素对农业绿色全要素生产率的影响^[28, 29]。潘丹的研究表明提高农村经济发展水平、改善农业基础设施建设能够促进农业绿色生产率的提升;而养殖业比重增加、城乡收入差距扩大以及工业化水平提升均会抑制农业绿色生产率^[30]。另外,减免农业税^[26]、财政支农水平^[31]、农户受教育程度^[32]、农产品贸易^[33]这些因素可以促进农业绿色全要素生产率的提升,而农业贸易条件^[26]、第二三产业发展水平^[31]以及劳动力投入^[32]因素会抑制农业绿色全要素生产率。

(三) 基础设施建设和全要素生产率相关研究

全要素生产率也被称为“技术进步率”。对一个经济体而言,产出增长主要通过增加要素投入、提高产出效率两个途径实现。但因为现实中存在资源数量制约,经济能否维持长期增长主要由生产率水平决定,提高全要素生产率和实现高质量发展的目标不谋而合。逐渐地,一些学者将全要素生产率开始纳入基础设施研究框架,探究完善基础设施建设对提升全要素生产率的作用。刘秉镰等^[34]运用空间计量的方法探究交通基础设施与全要素生产率之间的关系,结果表明二者之间存在显著的正向作用,其中高速公路和二级公路对全要素生产率的

促进作用最明显，区域之间的空间溢出效应比直接效应更明显。张先锋等^[35]研究了公共基础设施资本及其地理溢出效应对区域全要素生产率的影响，结果表明公共资本投资对地区全要素生产率具有促进作用，但溢出效应为负，存在明显的极化现象，并提倡发达地区在投资公共物品时承担更多成本。

根据世界银行^[36]的定义，基础设施可以分为以交通、水利、电力为代表的经济基础设施，和以教育、医疗为代表的社会基础设施。但是以往的学界主要聚焦在经济基础设施，特别是交通基础设施的研究，忽视了对社会性基础设施的关注。目前，随着研究的不断深入，多种类型的基础设施建设被纳入实证模型之中，使得基础设施对全要素生产率的影响效果度量更加准确。谢剑^[37]的研究表明交通和医疗基础设施对当地全要素生产率产生正向影响，而能源和环境基础设施则对当地的全要素生产率产生负向影响。张浩然和衣保中^[38]的研究表明通讯、医疗、人力、交通基础设施均能够对本地区的全要素生产率产生正向影响，并且通讯和医疗基础设施还存在明显的区域溢出效应，而人力和交通基础设施的溢出效应并不显著。

（四）研究述评

1.已有文献讨论过基础设施建设对全要素生产率的影响，但在研究对象、角度的细化和创新方面还有一定的拓展空间。首先，基于农村层面，讨论农村基础设施建设对农业全要素生产率影响的文献较少。其次，在过往研究中学者探究农业全要素生产率的目标产出过度关注 GDP，忽视了经济发展过程中对环境难以修复的破坏和污染，缺乏对农业绿色生产的关注。经过实践的发展，虽然很多学者已经将能源消耗及环境污染纳入投入产出框架，转向对农业绿色全要素生产率的研究，但大多数都是从农业绿色全要素生产率的测算以及其他影响因素展开的，对农村基础设施建设与农业绿色全要素生产率之间的关系研究较为缺乏。

2.农村基础设施建设和农业绿色全要素生产率测度的指标体系尚不完善。一是关于农村基础设施建设，学者们通常选取部分实物指标（如交通、灌溉、电力）构建指标体系，不能体现农村基础设施建设的总体水平。另外，学者在分析基础设施对经济的影响时，较少对农村基础设施按照作用效果进行分类，不利于理论机制的讨论和说明。二是关于农业绿色全要素生产率，现有文献由于研究视角与研究目标的差异，对测量方法和指标选取的界定存在不同，使得相关结论的比较研究出现困难。

3.农村基础设施建设对农业绿色全要素生产率的影响机制研究有待进一步挖掘。回顾已有研究，学者单独研究农村基础设施建设、农业绿色全要素生产率的研究成果较多，但将农村基础设施建设与农业绿色全要素生产率一同研究的文献较少。同时，已有研究中缺乏农村基础设施建设对农业绿色全要素生产率影响机制的探讨，还需要相关的研究进行补充。

三、理论分析与假设提出

农村基础设施建设是农业发展环境的重要组成部分，与农业绿色全要素生产率的变化息息相关。首先，农村基础设施建设能够削弱极端天气和自然灾害对农田的影响，为粮食生产

提供了稳定的发展环境，是保证农业绿色全要素生产率增长的重要手段。其次，农用机械、灌溉等基础设施的功能不断完善，能够使土壤结构发生改变，引导其向更适宜作物种植的方向演变，提高土壤的质量和数量，进而提高农业绿色全要素生产率。同时，农村基础设施建设的完善优化了农作物生长条件，使作物能够按照生长周期快速地获得所需资源和要素。这在一定程度上能够对化肥、农药等投入产生替代效应，减少农业污染物的排放，进而提高农业绿色全要素生产率。另外，农村基础设施建设对形成农业生产经营规模化具有重要作用，并且能够直接影响规模化的程度和生产效率。规模化发展改善了农村的耕地格局，在一定程度上能够降低农业的生产成本、交易成本和污染治理成本，推动农业绿色全要素生产率的增长。综上，本文提出假设 1：

假设 1：农村基础设施建设对农业绿色全要素生产率具有促进作用。

根据学者的研究成果^[39]，考虑到不同种类农村基础设施建设对农业绿色全要素生产率的作用差别，本文将农村基础设施建设分为流通性基础设施建设（如交通基础设施、信息基础设施）、生产性基础设施建设（如电力、水利基础设施）、福利性基础设施建设（如教育基础设施、医疗基础设施、文化基础设施、社会保障基础设施）、生态性基础设施（环保基础设施）四类。其中生态性基础设施可以降低污染排放对环境的负面影响，对农业绿色全要素生产率产生直接作用；流通性基础设施、生产性基础设施、福利性基础设施主要通过影响资源配置效率、技术进步间接影响农业绿色全要素生产率的发展。以下将对农村基础设施建设影响农业绿色全要素生产率的作用机制进行阐述：

（一）资源配置效率。传统农业中资源和产品单一、应用范围窄，农业生产主要围绕着有限的资本、充裕的土地和初级劳动力展开。完善基础设施建设能够优化资源配置水平，提升农业发展基础，助力农业绿色全要素生产率的提高。其中，交易效率基础设施对资源配置的影响最为突出，交通基础设施的升级加强了地区间经济联系，信息基础设施拓展了农户获取经验和知识的途径。基础设施不断完善，加强了资本、人才、技术、管理、信息等要素的流动，有利于农业吸收优质的生产技术和方法，提高农业绿色全要素生产率。另外，灌溉、电力等生产性基础设施的完善会对劳动力产生替代作用，使部分劳动力从直接的农业生产经营活动中分离，促进要素在更高层次、更深领域配置。此时，农村的劳动力减少为土地适度规模和集约化经营创造条件，加强了劳动专业化分工与协作水平，在总体上有利于农业绿色全要素生产率的提高。综上，本文提出假设 2：

假设 2：农村基础设施能够增强资源配置效率进而提高农业绿色全要素生产率。

（二）技术进步。技术进步根植于地区的政治、经济、社会、文化、生态环境，以企业、政府、教育和科研机构、中介和服务机构为主体，包括知识生产、技术孵化、扩散和使用等形式。过去社会主要以交通和能源为主导决定生产、消费，如今信息成为市场运行过程中的关键要素，已然对产品的制造和销售产生深刻影响。对地区而言，推动技术进步需要依赖于四个层次网络：基础层次网络、组织层次网络、文化层次网络以及信息层次网络^[40]。基础层

次网络指基础设施的建设、教育和研究机构的设立和高素质人才培养；信息层次网络服务于知识的储备和信息获取。组织层次网络是政府、企业、科教机构及个人在合作交流中所形成的联系网络；文化层次网络主要包括心理层次、制度层次和物质层次。农村交通基础设施和信息基础设施扩大了服务范围，压缩了农业及其他行业的交易成本，有利于增加对产品的研发和投入，刺激创新和技术进步。福利性基础设施改善了农村居住环境，能够增强对人才和机构入驻的吸引力，进而为技术孵化和发明提供支持。由此可见，农村基础设施为地区构建创新环境、促进技术进步发挥着至关重要的作用，是推动农业绿色全要素生产率重要基础。综上，本文提出假设 3：

假设 3：农村基础设施建设能够促进地区技术进步进而提高农业绿色全要素生产率。

四、农村基础设施建设水平和农业绿色全要素生产率的测算

（一）农村基础设施建设水平测度

1. 指标构建

目前学界主要通过货币和实物两种方式对农村基础设施建设的进行衡量，其中货币形式是将农村公共资本投资通过永续盘存法进行折算，但该结果会受到折旧率、期初存量、价格因素的影响，并且忽视了私人投资在农村基础设施建设中的作用。因此本文采用实物指标表征农村基础设施建设。

农村基础设施建设是助力农村生产、确保农民生活的公共设施的总称，也是农业和农村事业发展的基础、保障。参考学者的分类标准^[41-49]，基于基础设施的作用主体和农业绿色全要素生产率内涵，本文从生产性基础设施建设、流通性基础设施建设、福利性基础设施建设、生态型基础设施建设四个维度构建农村基础设施建设指标体系，并进一步将其细分为 9 方面共 14 项分指标，具体内容如表 1 所示。

表 1 农村基础设施建设指标体系

维度层	方面层	指标层	测度指标
生产性基础设施	电力	农村人均用电量	农村用电量/乡村人口
	水利	农村有效灌溉覆盖率	有效灌溉面积/农作物总播种面积
		水库密度	水库数量/农作物总播种面积
流通性基础设施	交通	公路密度	三四级公路里程/行政区划面积
	信息	农村居民家庭平均每百户移动电话数	农村家庭每百户移动电话数
		农村互联网宽带接入率	农村互联网宽带接入用户数/乡村人口
福利性基础设施	教育	光缆线路密度	光缆线路长度/行政区划面积
		平均受教育年限	小学人口比重*6+初中人口比重*9+高中及中专人口比重*12+大专及大专以上人口比重*16
	医疗	每千人乡村医生数	每千人乡村医生数
		每千人村卫生室数	每千人村卫生室数
文化	每千人乡镇文化站数	乡镇文化站数/千乡村人口	

生态性基础设施	社会保障	农村居民最低生活保障平均标准	农村居民最低生活保障平均标准
	环保	人均农村园林绿化市政公用设施投资额	农村园林绿化市政公用设施投资额/乡村人口
		人均农村环境卫生市政公用设施投资额	农村环境卫生市政公用设施投资额/乡村人口

生产性基础设施建设直接参与农业生产过程，主要包括电力基础设施和水利基础设施，能够提高生产活动效率，并增强农业抵御自然灾害的能力。本文选取农村人均用电量表示农村电力基础设施建设水平，选取农村有效灌溉覆盖率和水库密度衡量水利基础设施建设水平。

流通性基础设施建设是指方便产品运输、人员流动的通道和途径，主要包括交通基础设施和信息基础设施，对农业发展起着支撑作用，间接地服务于农业生产过程。其中，农村道路的改善能够降低运输成本，提高区域整体性，助力于农产品流通和城乡间人员流动。从农村实际情况看，对农业生产和农民生活起重要作用的是沟通村、乡、县级的公路，即《公路工程技术标准》中定义的三级公路、四级公路类型。因此，本文选取公路密度衡量交通基础设施，具体是采用三四级公路里程和行政区划面积的比值表示。信息基础设施能够提升人们知识获取能力，加速农业生产、贸易等讯息传播，缩小知识壁垒，进而推动农业向产业化、标准化方向发展。目前农村覆盖的信息工具主要是移动电话和互联网宽带，鉴于光缆是互联网普及的设备基础，本文又增加了光缆线路密度指标，以期对农村信息基础设施建设水平的评估更加真实、准确。

福利性基础设施建设包括教育、医疗、文化和社会保障的公共投入，是作用于农村生产生活的软性环境。福利性基础设施建设的服务对象是人，它决定了居住环境的便利性、可保障性，进而影响人们的幸福感和获得感。福利性基础设施是吸引人力资本的重要因素，并间接地对农业绿色全要素生产率的变化发挥作用。教育是人力资本最重要的组成部分，也是发展现代化农业和提高农业绿色全要素生产率的关键性因素^[50]。本文使用平均受教育年限衡量教育基础设施建设水平，具体做法是以农村人口为对象，使用公式：平均受教育年限=受教育程度为小学的人口比重*6+受教育程度为初中的人口比重*9+受教育程度为高中及中专的人口比重*12+受教育程度为大专及大专以上的人口比重*16 计算得到。医疗条件改善能够提高人们健康状况，有利于生活环境优化和社会整体稳定。结合现实情况来看，乡村医生和村卫生室是距离农民最近的医疗资源，也是农村医疗条件最直接的体现。因此，本文选取每千人乡村医生数和每千人村卫生室数衡量医疗基础设施建设水平。文化基础设施是居民接受信息、拓展视野、认识世界的有效载体^[51]，是满足人们对美好生活需要的重要工具。由于村级文化站的普及程度总体较低，并且缺乏统计数据，本文选取每千人乡镇文化站数衡量农村文化基础设施建设水平。

生态性基础设施建设是和环境保护有关的公共服务类型，伴随着绿色发展理念的深入而不断受到关注。生态基础设施建设包含园林绿化、垃圾处理等服务内容，能够对二氧化碳数量、农业垃圾数量产生影响，直接作用于农业绿色全要素生产率。本文选取人均农村园林绿

化市政公用设施投资额和人均农村环境卫生市政公用设施投资额衡量生态基础设施建设水平。

2.测度方法

本文使用熵值法测度农村基础设施建设水平。熵值法是根据指标离散程度确定权重的一种客观赋权方法，某指标离散程度越大，则熵值越小，得到的权重越大；若指标离散程度越小，则熵值越大，其得到的权重就越小。针对某一年指标数据，权重计算步骤如下所示：

设 x_{ij} ($i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m$) 为省份 i 中的第 j 个指标的观测数据；

首先，对指标进行无量纲化处理：

$$x_{ij}^* = [x_{ij} - \min(x_{ij})] / [\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})] \quad (1)$$

$$x_{ij}^* = [\max(x_{ij}) - x_{ij}] / [\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})] \quad (2)$$

x_{ij}^* 由原始数据无量纲化得到，公式 (1) 计算正向指标，公式 (2) 计算反向指标。

计算省份 i 在第 j 个评价指标上的指标值比值：

$$p_{ij} = x_{ij}^* / \sum_{i=1}^n x_{ij}^* \quad (3)$$

计算第 j 个评价指标的熵值：

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (4)$$

其中， $0 \leq e_j \leq 1$ 。

计算评价指标 x_j 的差异性系数：

$$g_j = 1 - e_j \quad (5)$$

g_j 越大，数据差异越大，得到的权重越大。

得到指标权重：

$$w_j = g_j / \sum_{j=1}^m g_j, j=1,2,\dots,m \quad (6)$$

此 w_j 即为各指标最终的权重系数。

最后，计算指标综合得分 h_i ：

$$h_i = \sum_{j=1}^m w_j x_{ij}^* \quad (7)$$

利用上述方法，可以测算 2012-2021 年各年农村基础设施建设水平，反映了农村基础设施建设的发展情况。

（二）农业绿色全要素生产率测度

1. 指标构建

农业具有狭义和广义之分，广义农业指农林牧渔业，而狭义农业是指种植业^[52]。在生产过程中，广义农业和狭义农业的投入、产出要素的种类和数量存在明显不同，进而计算得到的农业绿色全要素生产率也会有显著差异。考虑到测度、分析的具体性和准确性，本文将研究视角聚焦在以种植业为代表的狭义农业，有关投入、产出指标数据均具体到种植业范围。参考学者的研究成果^[15-17, 52-55]，本文构建的农业绿色全要素生产率指标体系如表 2 所示。

表 2 农业绿色全要素生产率指标体系

指标类别	指标名称	评价指标
投入指标	土地投入	农作物总播种面积
	劳动力投入	农业从业人员
	机械动力	农业机械总动力
	农业用水	有效灌溉面积
	农药使用量	农药使用量
	农膜使用量	农膜使用量
	化肥施用量	农业化肥折纯施用量
期望产出指标	农业总产值	农业总产值
非期望产出指标	农业面源污染	农业面源污染等标排放量
	农业碳排放	农业碳排放

（1）投入指标的选取

与种植业相关的投入要素主要包括土地、劳动力、机械、用水、农药、农膜六类，本文也由此出发选取农业绿色全要素生产率的投入指标。土地投入用农作物总播种面积衡量；劳动力投入用农业从业人员衡量，由于统计年鉴中只提供了农林牧渔业从业人员总数，本文首先计算农业产值与农林牧渔业产值的比例，然后以比例为权重将农业从业人员从农林牧渔从业人员总数中分离。机械动力用农业机械总动力衡量；农业用水用有效灌溉面积衡量；农药使用量和农膜使用量皆采用统计年鉴中相应指标表示；化肥施用量用农业化肥折纯施用量表示，指包含氮、磷、钾复合肥总的施用量。

（2）期望产出指标的选取

期望产出用农业总产值表示，并采用以 1978 年为基期的价格指数进行平减。

（3）非期望产出指标的选取

针对种植业而言，非期望产出主要包括两方面内容：第一，指农业生产过程中的面源污染量。第二，指农业生产过程中的碳排放数量。

（1）农业面源污染等标排放量的核算。按照是否存在固定排污口，可以将污染分为“点源污染”和“面源污染”两类，前者指工业生产和城市生活中产生的污染，主要通过固定排污口进行排放；后者一般存在于农业生产过程中，化肥和农药中未被降解的氮、磷等元素通过地表径流和农田渗漏等方式进行扩散，进入水体和土壤造成污染。农田面源污染较为分散、

隐蔽，对其的监测量化存在一定难度。根据学者的不断尝试，已经总结出四种核算方式：模拟实验法、替代法、养分平衡法和清单分析法。其中，清单分析法采用分类统计的思路^[56]，通过确定污染物种类、产污强度、排放系数计算最终污染量，具有准确、方便的特点，应用最为广泛。因此，本文采取清单分析法计算农业面源污染量。本文因为聚焦种植业，产污单元包括化肥、农田固体废弃物两类，调查单元如表 3 所示。

表 3 农业面源污染产污单元

污染来源	调查单元	调查指标	排放清单
化肥	氮肥、磷肥、复合肥	施用量	TN、TP
农田固体废弃物	稻谷、小麦、玉米、豆类、薯类、油料、蔬菜	总产量	TN、TP、COD

农业面源污染排放强度公式为：

$$TE = E_{TP} + E_{TN} + E_{COD} \quad (8)$$

$$E = \sum_i^n EU_i \rho_i \theta_i \quad (9)$$

其中， TE 为农业面源污染总排放量， E_{TP} 为总磷（TP）排放量， E_{TN} 为总氮（TP）排放量， E_{COD} 为化学需氧量（COD）排放量， EU_i 为农业污染单元 i 的指标统计数，化肥指氮肥、磷肥和复合肥的折纯量，农田固体废弃物指各类农作物产量、秸秆粮食比、固体废弃物养分含量的乘积； ρ_i 为单元污染物 i 的产污强度系数， θ_i 为排放系数。

(2) 农业碳排放量的计算。根据农业生产实际，并结合文章主题，本文主要考虑受农村基础设施影响最大的 5 类碳排放途径，具体为灌溉、柴油、化肥、农药、农膜引致的碳排放。农业消耗量与碳排放系数相乘得到碳排放量，各类型的碳排放量相加可以得到农业生产活动的碳排放总量。公式表示如下：

$$PC = \sum_j^5 PC_j = \sum_j^5 T_j \cdot S_j \quad (10)$$

其中， PC 指农业碳排放总量， PC_j 指各类生产活动产生的碳排放量， T_j 指各碳源排放数量， S_j 指碳排放系数。参考已有文献，农业生产活动对应的碳排放系数归纳如下：

表 4 农业碳排放源及碳排放系数

碳排放源	碳排放系数
灌溉	266.48kg/hm ²
柴油	0.5927kg/kg
化肥	0.8956kg/kg
农药	4.9341kg/kg
农膜	5.1800kg/kg

2.测度方法

本文采用数据包络分析 (DEA) 测算农业绿色全要素生产率。数据包络分析最开始由 Charnel 等 (1978) 提出, 后经 Banker 等 (1984) 不断拓展, 形成较为完整的效率评价模型。早期的 DEA 模型属于角度、径向的效率评价工具, 不仅需要考虑投入、产出角度, 还要保证投入、产出同比例变动。Tone (2001) 提出 SBM 模型, 实现了 DEA 非径向、非角度测算, 但无法对有效单元进行排序。后来 Tone (2002) 又发展出 SBM 超效率模型, 使测算的效率值能够大于 1, 实现了对有效决策单元进一步排序的需要。但该模型仍有缺陷, 它没有考虑非期望产出对效率测算的影响。因此, 本文借鉴 Tone、马国群和谭砚文^[57]的研究, 利用纳入非期望产出的超效率 SBM 模型, 对农业绿色全要素生产率进行测算。假定第 k 个决策单元 ($j=1,2,\dots,n$) 分别有投入向量 $x \in R^m$, 期望产出向量 $y^g \in R^{s_1}$, 以及非期望产出向量 $y^b \in R^{s_2}$ 。另外, 定义矩阵 $X = [x_1, x_2, \dots, x_n] \in R^m \times n$, $Y^g = [y_1^g, \dots, y_n^g] \in R^{s_1} \times n$, 以及 $Y^b = [y_1^b, \dots, y_n^b] \in R^{s_2} \times n$ 。对决策单元 k 来说, 如下:

$$\min \rho = \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{ik}}}{1 - \frac{1}{s_1 + s_2} (\sum_{r=1}^{s_1} s_r^g / y_{rk}^g + \sum_{t=1}^{s_2} s_t^b / y_{tk}^b)} \quad (11)$$

$$s.t. \quad \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- \leq x_{ik}$$

$$\sum_{j=1, j \neq k}^n y_{rj} \lambda_j + s_r^g \geq y_{rk}^g$$

$$\sum_{j=1, j \neq k}^n y_{tj} \lambda_j - s_t^b \leq y_{tk}^b$$

$$\lambda \geq 0, s^g \geq 0, s^b \geq 0, s^- \geq 0$$

其中, λ 为权重向量, s_i^- 、 s_r^g 和 s_t^b 为松弛变量。 $\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{ik}}$ 代表投入的平均无效率程

度, $\frac{1}{s_1 + s_2} (\sum_{r=1}^{s_1} s_r^g / y_{rk}^g + \sum_{t=1}^{s_2} s_t^b / y_{tk}^b)$ 代表产出的平均无效率程度。 ρ 为决策单元的效率

值, 可以大于 1, 因此能够对有效决策单元进行区分。利用式 (11) 可以衡量决策单元在特定技术条件下的效率水平, 属于静态分析, 却无法满足农业发展过程中的生产率变化动态可比的要求。为此, 学者对 Diewert 等、Fare 等提出的 Malmquist 生产率指数进行改良, 发展出全局参比 Malmquist 指数^[58], 拓展了全要素生产率的分析工具和内容。

全局参比 Malmquist 指数是将全体决策单元视为一个整体, 各期投入产出数据参考同一前沿进行计算, 可分解为全局技术效率变化和前沿面的移动, 即技术效率变动和技术进步变动。传统的 Malmquist 指数和分解仅限于个体和局部计算, 不具备传递性。全局参比 Malmquist 指数具有传递性, 可以通过累乘得到生产率可比变化值, 在问题分析中更具适用性。全局参

比 Malmquist 指数和分解的表述为:

$$\begin{aligned}
 M_g(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) &= \frac{D^g(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^g(x^t, y^t)} \\
 &= \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \left(\frac{D^g(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \frac{D^t(x^t, y^t)}{D^g(x^t, y^t)} \right) \\
 &= EFFCH \times TECH
 \end{aligned} \tag{12}$$

其中, $M_g(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t)$ 是全球参比 Malmquist 指数。 $D^t(x^t, y^t)$ 代表前沿 t 的技术效率水平, $D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})$ 代表前沿 t+1 的技术效率水平, 两者比值代表技术效率的变动情况。 $D^g(x^t, y^t) / D^t(x^t, y^t)$ 表示前沿 t 与全局前沿的接近程度, $D^g(x^{t+1}, y^{t+1}) / D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})$ 表示 t+1 与全局前沿的接近程度, 两者比值代表技术进步的变动。

Malmquist 计算公式中, 技术效率变动为:

$$EFFCH = \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \tag{13}$$

技术变动为:

$$TECH = \frac{D^g(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \frac{D^t(x^t, y^t)}{D^g(x^t, y^t)} \tag{14}$$

五、模型设定与实证分析

(一) 计量模型设定

为研究农村基础设施建设对农业绿色全要素生产率的影响及内在机理, 本文借鉴李谷成等^[59]、周法法等^[60]、邓晓兰和鄢伟波^[61]的研究成果, 构建以下基础回归模型:

$$\ln AGTFP_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln INFRA_{it} + \beta_2 \ln X_{it} + \lambda_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \tag{15}$$

式(15)中, $\ln AGTFP_{it}$ 为地区 i 在时间 t 的农业绿色全要素生产率, $\ln INFRA_{it}$ 为地区 i 在时间 t 的农村基础设施建设水平, $\ln X_{it}$ 代表一系列控制变量, λ_i 表示地区 i 的个体固定效应, μ_t 表示时间固定效应, ε_{it} 表示随机扰动项。为减少误差, 本文使用变量的对数值进行回归。模型中主要变量的描述性统计如表 5 所示。

表 5 主要变量描述性统计

变量类型	变量符号	变量名称	样本量	平均数	标准差	最小值	最大值
被解释变量	lnAGTFP	农业绿色全要素生产率	300	0.331	0.363	-0.164	1.285
核心解释变量	lnINFRA	农村基础设施建设水平	300	-1.976	0.379	-2.629	-1.037
	lnTRA	贸易依存度	300	-1.848	0.951	-4.184	0.0480
	lnDAR	受灾程度	300	-2.319	1.854	-6.453	1.228
	lnIND	工业化程度	300	-1.297	0.295	-2.181	-0.947
控制变量	lnFIN	财政支农水平	300	18.18	0.531	16.93	18.91
	lnURB	城镇化水平	300	4.070	0.187	3.731	4.476
	lnENV	环境规制水平	300	3.736	0.346	2.944	4.344

（二）变量选择与说明

1.被解释变量。本文选取农业绿色全要素生产率作为被解释变量，由前文计算得出的超效率 SBM-全局参比 Malmquist 指数累乘^①并取对数得到。

2.核心解释变量。本文选取农村基础设施建设作为核心解释变量，为减少异方差的影响，将前文中使用熵值法测算的农村基础设施建设综合得分取对数得到。

3.控制变量。为剔除农村基础设施建设以外因素的影响，借鉴已有文献的处理方式，本文在回归过程对以下变量加以控制：1) 贸易依存度 (TRA)，以地区进出口总额与地区生产总值的比值表示；2) 受灾程度 (DAR)，以农作物受灾面积与农作物总播种面积的比值表示；3) 工业化程度 (IND)，以工业增加值与地区生产总值的比值表示；4) 财政支农水平 (FIN)，采用地方财政对农林水事务的支出表示；5) 城镇化水平 (URB)，以城镇人口占常住人口的比重表示；6) 环境规制水平 (ENV)，借鉴陈诗一和陈登科的做法^[62]，由各省份历年政府工作报告，对环境相关的“环境保护”、“环保”、“污染”、“能耗”、“减排”、“排污”、“生态”、“绿色”、“低碳”、“空气”、“化学需氧量”、“二氧化硫”、“二氧化碳”、“PM10”、“PM2.5” 关键词进行词频统计并加总，得出各年度分省份的环境规制水平。最后，为增强参数估计的准确性，将以上变量均做取对数处理再加入回归。

4.中介变量。1) 资源配置效率 (RES)，用《中国市场化指数数据库》中一级指标“市场化总指数”表示，其是对地区政府与市场关系、非国有经济发展、产品市场发育程度、要素市场发育程度、市场中介组织的发育和法律制度环境总体水平的衡量；2) 技术进步 (TEC)，参考周法法等^[60]的做法，采用各省份农业发明专利申请量的自然对数来表示农业技术进步水平。最后，将以上中介变量统一取对数之后纳入回归。

（三）数据来源

本文以中国 30 个省份（港澳台、西藏地区数据缺失严重，予以剔除）为研究区域，时间跨度为 2012-2021 年。农村基础设施测算数据中，三四级公路里程数据来自《中国交通运输统计年鉴》，受教育程度计算的比重数据来自《中国人口和就业统计年鉴》，园林绿化和环境卫生投入数据来自《中国城乡建设统计年鉴》；控制变量测算数据中，进出口贸易数据来自《中国贸易外经统计年鉴》，环境规制数据是对政府工作报告中环境相关词汇进行词频统计得到，数据来源于历年各省份政府工作报告原文；中介变量测算数据中，市场化程度数据来自樊纲、王小鲁、胡李鹏构建的《中国市场化指数数据库》，农业发明专利申请量指 IPC 号中“A01”小类下的有效专利申请量，数据来自国家知识产权局官网。其余数据由《中国统计年鉴》、《中国农村统计年鉴》和各省份统计年鉴整理得到，少量缺失值由线性插值法进行补齐。为增强研究结论的准确性，本文对回归数据进行了缩尾处理，并对产值数据以 1978 年为基期的价格指数进行折算。

^① 令 2012 年农业绿色全要素生产率为 1，其余年份通过将该年份之前的农业绿色全要素生产率指数进行累乘得到。

Standard errors in parentheses, * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

(五) 稳健性检验

为验证研究结论的准确性, 本文借鉴学者的做法, 以替换被解释变量和核心解释变量的方法, 对结论的稳健性进行检验。

1. 替换被解释变量。借鉴郭海红和刘新民的做法^[63], 采用全局 GML (Global Malmquist-Luenberger) 指数对农业绿色全要素生产率重新进行测算, 并对生产率指数进行累乘处理, 之后加入农村基础设施建设、控制变量进行回归, 结果如表 8 列 (1) 所示。根据回归结果, 替换农业绿色全要素生产率的测度方法后, 农村基础设施建设对农业绿色全要素生产率仍然具有显著的正向影响, 说明前文所得出的结论是稳健的。

2. 替换核心解释变量。借鉴蔡保忠和曾福生^[64]的做法, 确定折旧率为 10.1%, 使用永续盘存法对农村居民固定资产投资完成额进行折算, 并将折算后的固定资产投资存量作为农村基础设施建设的代理变量加入模型进行回归, 结果如表 8 列 (2) 所示。回归结果显示农村基础设施建设对农业绿色全要素生产率具有显著的促进作用, 说明前文结论具有较强的稳健性。

表 8 稳健性检验结果

	(1) 替换被解释变量 lnAGTFP	(2) 替换解释变量 lnAGTFP
lnINFRA	0.132** (0.051)	0.883*** (0.208)
lnTRA	-0.010 (0.009)	0.005 (0.022)
lnDAR	-0.005 (0.006)	-0.017 (0.014)
lnIND	-0.022 (0.022)	-0.118** (0.053)
lnFIN	0.007 (0.012)	0.036 (0.030)
lnURB	0.085 (0.056)	0.086 (0.138)
lnENV	-0.008 (0.015)	0.003 (0.038)
_cons	-0.207 (0.383)	-10.511*** (2.344)
N	300.000	300.000
year	Yes	Yes
id	Yes	Yes

Standard errors in parentheses, * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

（六）异质性分析

1. 数字型、非数字型基础设施建设异质性分析

随着网络化和信息化在农业农村社会发展中普及，农民现代信息技能也不断提高，数字化技术在农村生产生活中的作用越来越凸显。近年来，数字基础设施在优化农业资源配置、农产品产销匹配、农村产业转型升级、提高农业经营效益中发挥的作用逐渐受到学者重视，并已经形成了一系列成果^[65]。为了区分数字技术在农村基础设施影响农业绿色全要素生产率发展中的作用，本文将农村基础设施建设进一步划分为数字型基础设施建设（DINF）和非数字型基础设施建设（NDINF）^①，分别检验二者的作用效果，回归结果如表9所示。根据回归结果，数字型基础设施和非数字型基础设施均能够正向促进农业绿色全要素生产率，且均在5%的显著性水平下显著，证明假设1的结论具有一定的稳健性。数字型基础设施建设的回归系数为0.414，即农村基础设施建设每提高1%，能使农业绿色全要素生产率平均提升0.414个百分点，高于非数字型基础设施建设的回归效果。因此，为了提高农业绿色全要素生产率，推动农业高质量发展，应该加大数字型基础设施的建设力度，普及数字技术在农业生产经营中的应用。

表9 分基础设施类别样本检验结果

	(1)	(2)
	lnAGTFP	lnAGTFP
lnDINF	0.414*** (0.077)	
lnNDINF		0.258** (0.100)
lnTRA	0.024 (0.022)	0.014 (0.023)
lnDAR	-0.028** (0.014)	-0.022 (0.014)
lnIND	-0.150*** (0.052)	-0.138** (0.054)
lnFIN	0.029 (0.029)	0.030 (0.031)
lnURB	0.084 (0.135)	0.068 (0.141)
lnENV	0.017 (0.037)	0.013 (0.039)
_cons	0.005 (0.896)	-0.556 (0.944)

^① 参考前述构建的农村基础设施建设指标体系，数字型基础设施建设指信息基础设施建设，非数字型基础设施建设指电力基础设施建设、水利基础设施建设、交通基础设施建设、教育基础设施建设、医疗基础设施建设、文化基础设施建设、社会保障基础设施建设、环保基础设施建设。

N	300.000	300.000
year	Yes	Yes
id	Yes	Yes

Standard errors in parentheses, * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

2.生产结构异质性分析

生产结构不同的地区发展环境存在差异,可能会对农业绿色全要素生产率产生不同的影响效果。本文将中国 30 个省份进一步划分为粮食主产区、粮食主销区、产销平衡区,探究在不同的生产结构下,农村基础设施建设对农业绿色全要素生产率作用的方向和效果,回归结果如表 10 所示。chow test 结果显示不同组的回归系数具有显著的差异性,说明不同生产结构地区的农村基础设施建设对农业绿色全要素生产率的作用效果不同。由列(2)和列(3)可以看出,在粮食主销区和产销平衡区,农村基础设施建设对农业绿色全要素生产率都能够产生显著的正向影响,且在产销平衡区的效果更加明显。究其原因,产销平衡区大部分位于西部,土壤、气候和经济条件欠缺,农村经济发展基础较为薄弱。伴随着西部大开发战略施行和政府的优惠政策,产销平衡区的农村基础设施建设状况拥有明显改善,使得农业绿色全要素生产率获得大幅度提高。在粮食主销区,农村基础设施建设对农业绿色全要素生产率具有正向作用。就建设规模来说,粮食主销区的基础设施投资还未达到最大规模限制,继续增加农村基础设施建设的做法仍然是可行的。根据列(1),粮食主产区的农村基础设施建设对农业绿色全要素生产率具有负向作用,说明加大农村基础设施建设力度,反而会抑制农业绿色全要素生产率。究其原因,粮食主产区具有优良的农业发展优势,因此长期受农业政策的鼓励和支持。在此过程中农村基础设施建设也以较快的速度得到发展,总体保持不断上升的趋势,在数量上已经超越了实际需要的规模量。因此,如果粮食主产区继续盲目地追求基础设施建设数量,忽略质量的提高,反而会由于挤出效应而抑制农业绿色全要素生产率。

表 10 分生产结构样本检验结果

VARIABLES	(1)	(2)	(3)
	粮食主产区 lnAGTFP	粮食主销区 lnAGTFP	产销平衡区 lnAGTFP
lnINFRA	-0.155 (0.435)	0.689*** (0.001)	0.780** (0.034)
lnTRA	0.023 (0.523)	0.089** (0.031)	-0.041 (0.363)
lnDAR	-0.031 (0.227)	-0.047* (0.054)	0.024 (0.381)
lnIND	-0.134 (0.142)	-0.349*** (0.001)	-0.065 (0.506)
lnFIN	0.062 (0.268)	0.061 (0.306)	0.011 (0.830)
lnURB	0.278 (0.210)	-0.208 (0.368)	-0.100 (0.725)

lnENV	0.001 (0.993)	0.044 (0.526)	0.010 (0.908)
Constant	-2.819* (0.079)	0.318 (0.862)	1.923 (0.266)
Chow test	5.07***		
P- Chow test	0.000		
Observations	130	70	100
R-squared	0.741	0.870	0.821
Number of id	13	7	10
year	YES	YES	YES
id	YES	YES	YES

pval in parentheses, *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

(七) 机制分析

基准回归结果表明，农村基础设施建设能够促进农业绿色全要素生产率。那么，农村基础设施建设影响农业绿色全要素生产率的具体机制是什么？上文从理论阐述了农村基础设施建设通过资源配置效率、技术进步作用于农业绿色全要素生产率的机理，下文将对其进行实证检验。由于中介模型存在较严重的内生性^[66]，本文借鉴 BECK^[67]的做法，通过考察核心解释变量对机制变量的作用效果，探究农村基础设施建设由资源配置效率、技术进步两个渠道作用于农业绿色全要素生产率的机制是否成立。

1.资源配置效率

农村基础设施建设拓展了农户的沟通渠道，增加资本、劳动力、信息等要素与外界的互动频率，有利于生产过程优化升级，进而提高农业绿色全要素生产率。表 11 中列（1）显示了农村基础设施建设对资源配置效率的回归结果。lnINFRA 的系数在 1%的水平上显著为正，说明农村基础设施建设会提高资源配置效率，提高农业绿色全要素生产率。本文假设 2 得到验证。

2.技术进步

流通性基础设施建设为知识和技术交流提供环境基础，福利性基础设施建设则为人力资本的培养和引进提供保障，共同激发农业生产的创新力，推广新技术的投入与应用，进而提高农业绿色全要素生产率。表 11 列（2）结果显示，lnINFRA 的系数在 1%的水平上显著为正，说明农村基础设施建设能够推动技术进步进而促进农业绿色全要素生产率提升。本文的假设 3 得到验证。

表 11 作用机制分析

	(1)	(2)
	lnRES	lnTEC
lnINFRA	0.210*** (0.042)	0.994*** (0.251)
lnTRA	-0.018** (0.008)	-0.069 (0.044)

lnDAR	0.006 (0.006)	0.041 (0.028)
lnIND	0.053*** (0.018)	-0.050 (0.106)
lnFIN	0.009 (0.012)	0.072 (0.060)
lnURB	-0.061 (0.054)	0.173 (0.275)
lnENV	-0.051*** (0.017)	-0.039 (0.076)
_cons	2.615*** (0.373)	3.421* (1.880)
N	240.000	300.000
year	No	Yes
id	Yes	Yes

Standard errors in parentheses, * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

六、结论及政策建议

（一）主要结论

本文基于 2012-2021 年中国 30 个省份（除港澳台、西藏）的农业面板数据，采用熵值法、超效率 SBM 模型和全局参比的 Malmquist 生产率指数分别对农村基础设施建设、农业绿色全要素生产率进行测度，并实证检验了农村基础设施建设对农业绿色全要素生产率的影响和作用机制。主要研究结论如下：

（1）农村基础设施建设能够显著促进农业绿色全要素生产率。

（2）农村基础设施建设对农业绿色全要素生产率的影响具有种类和生产结构异质性。具体来说，数字型基础设施建设、非数字型基础设施均对农业绿色全要素生产率产生促进作用，但数字型基础设施的促进效果更明显。在粮食主销区和产销平衡区，农村基础设施建设能够显著提高农业绿色全要素生产率，且产销平衡区的提高效果更明显。但在粮食主产区，农村基础设施建设对农业绿色全要素生产率具有反向抑制作用。

（3）农村基础设施建设能够通过提高市场化程度、技术进步来促进农业绿色全要素生产率。

（二）政策建议

（1）加大对农村基础设施建设的投入。鉴于农村基础设施建设对农业绿色全要素生产率具有促进作用，政府应该继续重视基础设施的功能，加大对基础设施短板、弱项领域的投资，以提高农业绿色全要素生产率。另外，由于数字型基础设施对农业绿色全要素生产率的促进效果更明显，规划者在进行建设时应重视数字技术的引进和应用，为智慧化农业生产和经营提供支撑。

（2）制定区域差异化的基础设施投资策略。不同地区由于自然资源禀赋、经济发展策略不同，会导致基础设施作用效果的差异，需要因地制宜制定投资策略。产销平衡区的农村

基础设施基础薄弱,发展潜力大,应该增加设施建设力度,充分发挥其对农业绿色全要素生产率的促进作用。粮食主销区的基础设施建设条件适中,为进一步提高其对农业绿色全要素生产率的促进效果,应充分利用当地经济发展环境的优势,通过技术引进和设施升级,拓展基础设施的功能,提升农业绿色全要素生产率,助力农业高质量发展。

(3) 健全市场化体系。一方面,政府应加强基础设施建设,通过增强人才、资本、农业技术、能源等要素的流动,提高地区市场化水平,进而提升农业绿色全要素生产率。另一方面,政府应该发挥和协调好有效市场的功能,强调市场在资源配置中的主导地位,为要素的合理配置提供便利,促进农业绿色全要素生产率的提升。

(4) 鼓励技术发明与应用。首先,政府应加强创新,鼓励高校、研究所对农业技术的研究和成果转化,推动农业发展由要素驱动向创新驱动转变;其次,加强对技术专利的保护力度,推广专利标准化,促进标准专利技术的推广与应用。最后,重视技术效率的提高,通过调整规模、优化管理等方式,促进创新型人才、技术、设备充分融合,深化技术的转换与应用,提高农业绿色全要素生产率。

参考文献

- [1] 赵莎莎. 网络基础设施、人力资本与全要素生产率——基于国内大循环中技术循环的经验分析[J]. 现代经济探讨, 2022(10):39-49.
- [2] 杨林, 韩彦平, 孙志敏. 公共财政框架下农村基础设施的有效供给[J]. 宏观经济研究, 2005(10):56-59.
- [3] 苏明. 我国城乡发展一体化与财政政策思路[J]. 当代经济管理, 2014,36(01):1-12.
- [4] 张秀莲, 王凯. 我国农村基础设施投入区域差异分析[J]. 财经科学, 2012(03):77-84.
- [5] 田祥宇, 景香君. 农村基础设施投资公平性研究现状与展望——基于政策保障机制的视角[J]. 经济问题, 2019(04):85-91.
- [6] Gonzalez-Gonzalez E, Nogues S. Long-term differential effects of transport infrastructure investment in rural areas[J]. TRANSPORTATION RESEARCH PART A-POLICY AND PRACTICE, 2019,125:234-247.
- [7] Kandilov I T, Renkow M. Infrastructure Investment and Rural Economic Development: An Evaluation of USDA's Broadband Loan Program[J]. GROWTH AND CHANGE, 2010,41(2):165-191.
- [8] Atack J, Bateman F, Haines M, et al. Did Railroads Induce or Follow Economic Growth? Urbanization and Population Growth in the American Midwest, 1850-1860[J]. SOCIAL SCIENCE HISTORY, 2010,34(2):171-197.
- [9] 秦小迪, 吴海涛, 侯小远. 农村基础设施对包容性绿色增长的影响: 促进还是抑制? [J]. 农林经济管理学报, 2021,20(06):721-729.
- [10] 张亦弛, 代瑞熙. 农村基础设施对农业经济增长的影响——基于全国省级面板数据的实证分析[J]. 农业技术经济, 2018(03):90-99.
- [11] 吕新博, 孟宪勇, 赵伟. 农村基础设施对动态多维减贫效应影响的实证[J]. 统计与决策, 2021,37(22):77-80.
- [12] 谢申祥, 刘生龙, 李强. 基础设施的可获得性与农村减贫——来自中国微观数据的经验分析[J]. 中国农村经济, 2018(05):112-131.

- [13] 杨友才. 引入制度因素的经济增长模型与实证研究[D]. 山东大学, 2009.
- [14] 王芳杰. 我国公共投资支出的经济增长效应实证分析[J]. 金融经济, 2013(04):22-23.
- [15] 王奇, 王会, 陈海丹. 中国农业绿色全要素生产率变化研究:1992-2010年[J]. 经济评论, 2012(05):24-33.
- [16] 鄢曹政, 殷旅江, 何波. 物流业集聚、空间溢出效应与农业绿色全要素生产率——基于省域数据的实证分析[J]. 中国流通经济, 2022,36(09):3-16.
- [17] 马国群, 谭砚文. 环境规制对农业绿色全要素生产率的影响研究——基于面板门槛模型的分析[J]. 农业技术经济, 2021(05):77-92.
- [18] 郭海红, 张在旭, 方丽芬. 中国农业绿色全要素生产率时空分异与演化研究[J]. 现代经济探讨, 2018(06):85-94.
- [19] 郭海红, 刘新民. 中国农业绿色全要素生产率的时空分异及收敛性[J]. 数量经济技术经济研究, 2021,38(10):65-84.
- [20] 杨骞, 王珏, 李超, 等. 中国农业绿色全要素生产率的空间分异及其驱动因素[J]. 数量经济技术经济研究, 2019,36(10):21-37.
- [21] 田云, 张俊飏, 吴贤荣, 等. 碳排放约束下的中国农业生产率增长与分解研究[J]. 干旱区资源与环境, 2015,29(11):7-12.
- [22] 赵文, 程杰. 中国农业全要素生产率的重新考察——对基础数据的修正和两种方法的比较[J]. 中国农村经济, 2011(10):4-15.
- [23] 葛鹏飞, 王颂吉, 黄秀路. 中国农业绿色全要素生产率测算[J]. 中国人口·资源与环境, 2018,28(05):66-74.
- [24] 王兵, 曾志奇, 杜敏哲. 中国农业绿色全要素生产率的要素贡献及产区差异——基于 Meta-SBM-Luenberger 生产率指数分析[J]. 产经评论, 2020,11(06):69-87.
- [25] 王奇, 王会, 陈海丹. 中国农业绿色全要素生产率变化研究:1992-2010年[J]. 经济评论, 2012(05):24-33.
- [26] 梁俊, 龙少波. 农业绿色全要素生产率增长及其影响因素[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2015,14(03):1-12.
- [27] 郑甘甜, 陈池波, 张开华, 等. 中国农业环境全要素生产率动态演进及收敛性分析[J]. 中国农业资源与区划, 2022,43(01):40-49.
- [28] 韩海彬, 赵丽芬, 张莉. 异质型人力资本对农业环境全要素生产率的影响——基于中国农村面板数据的实证研究[J]. 中央财经大学学报, 2014(05):105-112.
- [29] 叶初升, 惠利. 农业生产污染对经济增长绩效的影响程度研究——基于环境全要素生产率的分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2016,26(04):116-125.
- [30] 潘丹. 考虑资源环境因素的中国农业绿色生产率评价及其影响因素分析[J]. 中国科技论坛, 2014(11):149-154.
- [31] 吴传清, 宋子逸. 长江经济带农业绿色全要素生产率测度及影响因素研究[J]. 科技进步与对策, 2018,35(17):35-41.
- [32] 高杨, 牛子恒. 农业信息化、空间溢出效应与农业绿色全要素生产率——基于SBM-ML指数法和空间杜宾模型[J]. 统计与信息论坛, 2018,33(10):66-75.
- [33] 李晓龙, 冉光和, Guang He Ran. 农产品贸易提升了农业绿色全要素生产率吗? ——基于农村金融发展视角的分析[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2021,23(04):82-92.
- [34] 刘秉镰, 武鹏, 刘玉海, 等. 交通基础设施与中国全要素生产率增长——基于省域数据的空间面板计量分析[J]. 中国工业经济, 2010(03):54-64.
- [35] 张先锋, 丁亚娟, 王红, 等. 中国区域全要素生产率的影响因素分析——基于地理溢出效应的视角[J]. 经济地理, 2010,30(12):1955-1960.

- [36] Bank W. Infrastructure for Development[Z]. 1994.
- [37] 谢剑. 基础设施建设与中国区域全要素生产率——基于285个地级市的空间计量分析[J]. 科学决策, 2018(04):71-94.
- [38] 张浩然, 衣保中, Bao Zhong Yi. 基础设施、空间溢出与区域全要素生产率——基于中国266个城市空间面板杜宾模型的经验研究[J]. 经济学家, 2012(02):61-67.
- [39] 骆永民, 骆熙, 汪卢俊. 农村基础设施、工农业劳动生产率差距与非农就业[J]. 管理世界, 2020,36(12):91-121.
- [40] 金凤君. 基础设施与经济社会空间组织[M]. 科学出版社, 2012.
- [41] 程莉, 文传浩. 乡村绿色发展与乡村振兴:内在机理与实证分析[J]. 技术经济, 2018,37(10):98-106.
- [42] 何翔. 农村基础设施投资公平性与脱贫攻坚成果巩固关系研究——基于2010—2019年省级面板数据的实证分析[J]. 宏观经济研究, 2021(03):160-175.
- [43] 江艳军, 黄英. 农村基础设施对农业产业结构升级的影响研究[J]. 资源开发与市场, 2018,34(10):1400-1405.
- [44] 姜博. 基础设施建设能够提升中国制造业产业融合水平吗?[J]. 南京财经大学学报, 2021(06):11-21.
- [45] 罗斯炫, 何可, 张俊飏. 改革开放以来中国农业全要素生产率再探讨——基于生产要素质量与基础设施的视角[J]. 中国农村经济, 2022(02):115-136.
- [46] 吕鹏, 石林. 基础设施、技术创新与产业结构升级[J]. 求是学刊, 2021,48(06):58-70.
- [47] 吕新博, 孟宪勇, 赵伟. 农村基础设施对动态多维减贫效应影响的实证[J]. 统计与决策, 2021,37(22):77-80.
- [48] 王昕宇, 马昱. 农村基础设施建设减贫效应研究——基于面板平滑转换模型的实证分析[J]. 农村经济, 2020(03):47-53.
- [49] 许庆, 刘进, 熊长江. 中国农村基础设施发展水平、区域差异及分布动态演进[J]. 数量经济技术经济研究, 2022,39(02):103-120.
- [50] 李慧泉, 毛世平, 李书峰. 中国基础设施建设对农民增收的空间特征研究[J]. 世界农业, 2019(09):104-111.
- [51] 金慧, 余启军. 精准扶贫背景下驻村工作队文化扶贫作用与机制构建——以湖北通城县H村Z大学驻村工作队为例[J]. 湖北社会科学, 2019(08):52-59.
- [52] 高杨, 牛子恒. 农业信息化、空间溢出效应与农业绿色全要素生产率——基于SBM-ML指数法和空间杜宾模型[J]. 统计与信息论坛, 2018,33(10):66-75.
- [53] 金绍荣, 任赞杰. 乡村数字化对农业绿色全要素生产率的影响[J]. 改革, 2022(12):102-118.
- [54] 吴传清, 宋子逸. 长江经济带农业绿色全要素生产率测度及影响因素研究[J]. 科技进步与对策, 2018,35(17):35-41.
- [55] 银西阳, 贾小娟, 李冬梅. 农业产业集聚对农业绿色全要素生产率的影响——基于空间溢出效应视角[J]. 中国农业资源与区划, 2022,43(10):110-119.
- [56] 涂正革, 甘天琦. 中国农业绿色发展的区域差异及动力研究[J]. 武汉大学学报(哲学社会科学版), 2019,72(03):165-178.
- [57] 马国群, 谭砚文. 环境规制对农业绿色全要素生产率的影响研究——基于面板门槛模型的分析[J]. 农业技术经济, 2021(05):77-92.
- [58] 龙如银, 刘爽, 王佳琪. 环境约束下中国省际能源效率评价——基于博弈交叉效率和Malmquist指数模型[J]. 中国矿业大学学报(社会科学版), 2021,23(01):75-90.
- [59] 李谷成, 尹朝静, 吴清华. 农村基础设施建设与农业全要素生产率[J]. 中南财经政法大学

- 学学报, 2015(01):141-147.
- [60] 周法法, 郑义, 李军龙. 农业保险发展与农业绿色全要素生产率: 内在机制与实证检验[J]. 世界农业, 2022(10):70-82.
- [61] 邓晓兰, 鄢伟波. 农村基础设施对农业全要素生产率的影响研究[J]. 财贸研究, 2018,29(04):36-45.
- [62] 陈诗一, 陈登科. 雾霾污染、政府治理与经济高质量发展[J]. 经济研究, 2018,53(02):20-34.
- [63] 郭海红, 刘新民. 中国农业绿色全要素生产率的时空分异及收敛性[J]. 数量经济技术经济研究, 2021,38(10):65-84.
- [64] 蔡保忠, 曾福生. 中国农业基础设施投资的粮食增产效应分析——基于省级面板数据的实证分析[J]. 农业技术经济, 2017(07):31-40.
- [65] 金绍荣, 任赞杰. 乡村数字化对农业绿色全要素生产率的影响[J]. 改革, 2022(12):102-118.
- [66] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. 中国工业经济, 2022(05):100-120.
- [67] Beck T, Levine R, Levkov A. Big Bad Banks? The Winners and Losers from Bank Deregulation in the United States[J]. JOURNAL OF FINANCE, 2010,65(5):1637-1667.