

分类号 _____
U D C _____

密级 _____
编号 10741



硕士学位论文

论文题目 中国农业绿色全要素生产率的区域差异及
影响因素研究

研究生姓名: 柳梦姣

指导教师姓名、职称: 胡莉莉 副教授

学科、专业名称: 应用经济学 区域经济学

研究方向: 欠发达地区经济开发

提交日期: 2024年6月5日

独创性声明

本人声明所提交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名： 柳梦姣 签字日期： 2024.6.5

导师签名： 胡莉莉 签字日期： 2024.6.5

关于论文使用授权的说明

本人完全了解学校关于保留、使用学位论文的各项规定， 同意（选择“同意” / “不同意”）以下事项：

1.学校有权保留本论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文；

2.学校有权将本人的学位论文提交至清华大学“中国学术期刊（光盘版）电子杂志社”用于出版和编入 CNKI《中国知识资源总库》或其他同类数据库，传播本学位论文的全部或部分内容。

学位论文作者签名： 柳梦姣 签字日期： 2024.6.5

导师签名： 胡莉莉 签字日期： 2024.6.5

**The study on regional differences and
influencing factors of the agricultural green
total factor productivity in China**

Candidate : Liu Mengjiao

Supervisor: Hu Lili

摘要

作为一个农业大国，现代农业建设的持续推进使我国农业经济得到了迅猛发展，但也产生了大量的碳排放，目前我国农业发展与保护环境之间的矛盾仍然存在。此外我国各区域的农业资源禀赋、生产特点等方面存在着很大的差距，区域经济发展不平衡问题明显，不利于我国农业经济的协调发展。所以从依赖要素投入的粗放型农业经济增长模式向以绿色全要素生产率为驱动的增长模式转换是我国实现农业绿色协调发展、建设农业强国的重要关键点。

基于此，本文以狭义农业为研究对象，利用 SBM—GML 模型对我国的农业绿色全要素生产率进行测算，其次运用 Dagum 基尼系数法测度我国的区域差异，并进一步探索差异的来源，利用 σ 收敛和空间 β 收敛模型从时间和空间两个视角下研究农业绿色全要素生产率的收敛性特征，最后建立空间杜宾模型探究影响我国农业绿色全要素生产率的主要因素及其效应。

研究发现：（1）在研究期内我国农业绿色全要素生产率的平均值为 1.046，可以分为“波动上升—轻微下降—稳步上升”三个阶段，除了西藏小于 1 之外其他省份都大于 1，但高于全国整体水平的省份只有 9 个。东部地区的年均农业绿色全要素生产率为 1.037，技术进步是决定其发展的关键因素。中部地区的年均农业绿色全要素生产率为 1.048，前期主要由农业技术进步驱动，后面由农业技术效率驱动。西部地区的年均农业绿色全要素生产率为 1.044，主要依靠农业技术进步驱动，农业技术效率只在研究早期起正向驱动作用。东北地区的年均农业绿色全要素生产率为 1.04，整体呈现着“平稳-下降-上升”的变化趋势。（2）我国农业绿色全要素生产率的总体基尼系数呈现波动的先下降后上升变化趋势，中部地区的区内差异最大，东部和东北地区次之，西部地区最小。东北和东部地区之间的平均差异程度最大，中部和西部地区的差异程度最小。区间差异是造成我国农业绿色发展不平衡的主要原因，区内差异是造成总体差异的第二来源，超变密度的贡献率最小。我国不存在 σ 收敛，各地区存在着明显的区域差异并且差异呈现扩大趋势。全国和各区域都存在 β 收敛特征，不同区域的收敛速度不同。（3）经济发展水平、城镇化水平、农业财政支出和农业技术水平对我国的农业绿色全要素生产率有正向推动作用，而对外依存度起抑制作用。经济

发展水平、农业财政支出对农业绿色全要素生产率增长具有显著的直接效应，城镇化水平有显著的间接效应，对外依存度和农业技术水平的直接、间接效应都显著。在对不同区域的分析时发现各影响因素对农业绿色全要素生产率增长有着明显的空间异质性。

本文根据研究结论得出以下对策建议：（1）积极鼓励农业技术创新，提升技术效率水平。（2）破解要素流动障碍，加强区域间的交流合作。（3）建立绿色导向财政支出体系，引导农民绿色生产。（4）因地制宜，统筹规划区域农业发展。

关键词：农业绿色全要素生产率 区域差异 空间收敛性 影响因素

Abstract

As a major agricultural country, China has made rapid progress in modern agricultural construction. However, this progress has also resulted in a large amount of carbon emissions. Currently, the contradiction between China's agricultural development and environmental protection still exists. Therefore, it is crucial for China to shift from a growth model that relies on factor inputs to one driven by GTFP in order to achieve sustainable development of its agriculture and build itself into a strong agricultural nation. In addition, China has a vast territory with significant differences in agricultural production resources and characteristics among different regions. This regional imbalance in agricultural economic development is not conducive to coordinated development of China's agriculture.

Based on above, this paper takes narrow agriculture as the research object, uses SBM-GML model to measure China's agricultural GTFP, and then uses Dagum Gini coefficient to measure China's regional differences, and further discusses the sources of regional differences. The σ convergence and spatial β convergence models were used to study the convergence characteristics of agricultural GTFP from the perspectives of time and space. Finally, the spatial Durbin model was established to explore the main factors affecting agricultural GTFP in China and their effects.

The findings are as follows: (1) During the study period, the average value of agricultural GTFP in China was 1.046, which could be divided into three stages of "fluctuating rise - slight decline - steady rise". Except Tibet, the average value of agricultural GTFP was less than 1 in all other provinces, but only 9 provinces were higher than the overall level of the country. The average annual agricultural GTFP in eastern China is 1.037, and technological progress is the key factor to determine agricultural GTFP. The average annual agricultural GTFP in the central region is 1.048, which is mainly driven by the progress of agricultural technology in the early stage and the efficiency of agricultural technology in the later stage. The average annual agricultural GTFP in western China was 1.044, which was mainly driven by agricultural technology progress, while agricultural technology efficiency only played a positive driving role in the early stage of the study. The average annual agricultural GTFP in Northeast China is 1.04, showing a trend of "stable - declining - rising". (2) The overall Gini coefficient of agricultural GTFP in China showed a fluctuating trend of first decreasing and then increasing, and the regional difference was the largest in the central region, followed by the eastern region and the northeast region, and the western region was the least. The average difference degree between eastern region and Northeast region is the largest, and the interval difference level between central region and western region is the smallest. The regional difference is the main cause of the

imbalance of agricultural green development in China, the regional difference is the second source of the overall difference, and the contribution rate of supervariable density is the least. There is no σ convergence in our country. There are obvious regional differences in various regions and the differences present a larger trend. There are obvious β convergence characteristics in the whole country and the four regions, and the convergence speed is different in different regions. (3) By analyzing the results of the spatial Durbin model, it is found that economic development level, urbanization level, agricultural financial expenditure and agricultural technology level have a positive promoting effect on China's agricultural GTFP, while the external dependence degree has an inhibitory effect. The level of economic development and agricultural fiscal expenditure have significant direct effects on the growth of agricultural GTFP, the level of urbanization has significant indirect effects, and the degree of external dependence and the level of agricultural technology have significant direct and indirect effects. In the analysis of different regions, it is found that the influencing factors have obvious spatial heterogeneity on the growth of agricultural GTFP.

Based on the research conclusions, this paper proposes the following countermeasures and suggestions: (1) Actively encourage technological innovation in agriculture and improve technical efficiency levels. (2) Break down barriers to factor flow and strengthen exchanges and cooperation

among regions. (3) Establish a green-oriented fiscal expenditure system to guide farmers in producing in an environmentally friendly manner. (4) Plan regional agricultural development according to local conditions and make overall plans accordingly.

Keywords: agricultural green total factor productivity; regional difference; Spatial convergence; influencing factors

目 录

1 引言	1
1.1 研究背景及意义.....	1
1.1.1 研究背景.....	1
1.1.2 研究意义.....	1
1.2 国内外文献综述.....	2
1.2.1 农业绿色全要素生产率的 概念研究.....	2
1.2.2 农业绿色全要素生产率的 测算研究.....	3
1.2.3 农业绿色全要素生产率的 区域差异研究.....	4
1.2.4 农业绿色全要素生产率的 收敛性研究.....	5
1.2.5 农业绿色全要素生产率的 影响因素研究.....	6
1.2.6 研究述评.....	6
1.3 研究内容及方法.....	7
1.3.1 研究内容.....	7
1.3.2 研究方法.....	8
1.4 可能的创新点及技术路线图.....	8
1.4.1 可能的创新点.....	8
1.4.2 技术路线图.....	10
2 相关概念和理论基础	11
2.1 相关概念.....	11
2.1.1 全要素生产率.....	11
2.1.2 绿色全要素生产率.....	11
2.2 理论基础.....	12
2.2.1 经济增长理论.....	12
2.2.2 区域经济理论.....	13
3 农业绿色全要素生产率的测度分析	14
3.1 测算方法.....	14
3.2 指标选择和数据来源.....	16

3.2.1 指标选择	16
3.2.2 数据来源	17
3.3 农业绿色发展现状分析	17
3.3.1 农业投入现状分析	17
3.3.2 农业产出现状分析	18
3.4 农业绿色全要素生产率测算结果分析	19
3.4.1 全国层面分析	19
3.4.2 区域层面分析	22
4 农业绿色全要素生产率的区域差异分析	27
4.1 研究方法	27
4.1.1 Dagum 基尼系数	27
4.1.2 σ 收敛	28
4.1.2 空间 β 收敛	29
4.2 变量选取和数据来源	30
4.3 结果分析	30
4.3.1 农业绿色全要素生产率的区域差异分析	30
4.3.2 农业绿色全要素生产率的时序收敛分析	34
4.3.3 农业绿色全要素生产率的区域收敛分析	36
5 农业绿色全要素生产率的影响因素分析	39
5.1 农业绿色全要素生产率的影响因素分析	39
5.2 变量选取和数据来源	40
5.2.1 变量选取	40
5.2.2 数据来源	41
5.3 模型设定	41
5.4 结果分析	42
5.4.1 基准回归结果分析	42
5.4.2 影响效应分析	43
6 结论、建议与展望	47
6.1 研究结论	47

6.2 政策建议.....	48
6.3 研究不足及展望.....	50
参考文献.....	51
致谢.....	57

1 引言

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

我国是一个农业大国，农业发展对于我国的可持续发展至关重要。2004 年至今，中央一号文件连续多年锁定“三农”问题。2023 年中央“一号文件”提出“要立足国情农情，体现中国特色，建设供给保障强、科技装备强、经营体系强、产业韧性强、竞争能力强的农业强国”。

随着社会经济的快速发展，我国现代农业建设持续推进，现代农业使我国农业经济得到了迅猛发展，但发展却是以高碳排为代价。作为一个非常重要的碳排放源，农业生产活动产生的温室气体排放量约占全球碳排放量的四分之一^[1]。而在中国，农业生产造成的碳排放占总排放量的 17%^[2]，并以每年 5% 的速度增长^[3]。农业是最易遭受气候变化影响的产业，碳排放导致的温室效应会引起气候变化，继而严重影响到农业。目前我国农业发展与保护环境之间的矛盾仍然存在，以要素驱动的粗放型农业经济增长模式亟需改变。

此外，我国幅员辽阔，各地区的资源禀赋和农业生产特点等方面有着较明显的差异，农业发展的区域不平衡问题明显，不利于我国农业的协调发展。基于此背景，将我国农业经济发展过程中的碳排放污染问题一同纳入分析框架，对我国农业绿色全要素生产率进行测算，探究其区域差异和收敛性特征并研究其主要影响因素及其效应，并提出相关政策建议，对推动我国建设农业强国具有重要的理论和现实意义。

1.1.2 研究意义

(1) 理论意义

现有相关研究多使用传统的方法对我国的农业全要素生产率进行研究，几乎都是从时间维度去研究，忽略了空间因素的作用，从而缺少空间维度的研究。

本文在对我国农业绿色全要素生产率的区域差异、影响因素研究中将空间因素考虑进去，为我国农业绿色全要素生产率研究中增加了新的视角，扩充了研究内容，丰富了相关研究体系。

（2）现实意义

随着社会经济的快速发展，我国作为一个农业大国，农业发展进入了由传统农业向现代农业转型的新阶段。现代农业建设的持续推进使我国农业经济得到了迅猛发展的同时产生了大量的碳排放，农业发展与保护环境之间的矛盾仍然存在，所以从依赖要素投入的粗放型农业经济增长模式向以绿色全要素生产率为驱动的经济增长模式转换是实现我国农业绿色可持续发展，建设农业强国的重要关键点。本文将农业碳排放纳入到我国各地区农业绿色全要素生产率的测算研究中，根据研究结论提出相关的对策建议，对推动我国农业绿色协调发展和建设农业强国具有一定的借鉴意义。

1.2 国内外文献综述

1.2.1 农业绿色全要素生产率的概念研究

全要素生产率（TFP）是用来衡量经济发展质量的一个重要指标^[4]，索洛（1957）首次将劳动、资本之外的投入要素对经济增长的贡献值定义为全要素生产率，因此全要素生产率也被称为索洛余值^[5]，索洛提出的余值概念为后续众多学者对全要素生产率的研究提供了思路。Fan（1997）使用新的衡量标准测算我国农业全要素生产率，结果发现农村改革会提高农业全要素生产率，并提出政府需要增加对农业的投资来提高长期的农业全要素生产率增长^[6]。McMillan J 等（1984）通过测算对比分析改革开放前后的农业全要素生产率，得出改革后的农业全要素生产率的增长中超过四分之三的部分是由于价格系统的改革^[7]。周端明（2009）通过 DEA 法测算了我国改革开放后至 2005 年间的农业全要素生产率并分析了其时空变化特征，研究表明我国农业全要素生产率有快速且健康的生长特征，但各区域出现了发展不平衡的现象，我国农业发展已

从由要素投入模式转向全要素生产率驱动模式了^[8]。

农业绿色全要素生产率（农业 GTFP）常常被用于评价一个区域的农业绿色生产效率。相比较于单要素生产率，它包括了对许多无法量化的非显性要素考虑，如区域的制度、技术、经济结构以及文化等因素。农业 GTFP 是在农业 TFP 的测算基础上加入了环境污染的约束^{[9][10]}，而在农业方面其非期望产出的测算指标一般选取的是农业面源污染或者是农业碳排放这两个指标来进行测算。王奇等（2012）在测算我国农业绿色全要素生产率时选择氮磷流失率作为面源污染的指标，并与不加面源污染的农业全要素生产率做了对比，发现我国农业全要素生产率和绿色全要素生产率的增长率是基本相同的，技术进步是两者的增长的主要原因^[11]。杜江(2016)在测算环境全要素生产率和农业增长的关系时，在非期望产出所选择的指标为农业面源污染，发现技术进步是我国农业环境全要素生产率增长的主要原因，且其具有显著的地区差异^[12]。葛鹏飞(2018)选取碳排放作为我国 GTFP 的非期望产出指标进行研究^[13]。另外也有学者同时考虑面源污染和农业碳排放作为非期望产出^[14]。严先锋等（2017）基于对农业绿色全要素生产率的分析来研究其绿色转型的干预机制，选择农业碳排放和 TD、TN 排放作为非期望产出，结果发现我国农业 GTFP 在 2000 年后实现了快速发展，但仍然处于一个较低的水平上^[15]。郭海红和刘新民（2021）使用全局 GML 指数法测算了 1996-2019 年间我国的农业 GTFP，选择了面源污染和碳排放都作为农业生产的非期望产出，结果发现我国三大粮食产区的农业绿色生产效率存在差异且是非均衡状态的^[16]。

1.2.2 农业绿色全要素生产率的测算研究

如何处理碳排放这一类在农业生产中产生的污染物是农业绿色全要素生产率的测算的研究重点，整体可以主要分为两类，一类是将产生的环境污染放入投入要素中，认为造成的环境污染也是一种特殊形式的投入。其中 Thijssen G（1998）在测算荷兰奶牛场的环境效率时就将氮过剩量作为投入要素，发现以产出为导向的效率值要远高于以投入为导向的效率^[17]。Murty（2012）将环境污染作为投入要素创建了新的测算环境和技术效率的模型，并分解出了生产预期和环境效率指数^[18]。薛建良和李秉龙（2011）通过将农业污染物作为投入要

素纳入到测算框架中来分析环境的外部性，研究发现环境污染会降低农业全要素生产率的增长率，并且有着较为突出的时期变化特征^[19]。李兆亮等（2017）在计算我国农业绿色生产效率时考虑了农业面源污染，选择将其作为投入要素纳入测算体系，结果发现我国的农业绿色生产效率整体水平偏低，但是在缓慢上升的，有着较为明显的区域差异且整体差异呈现缩小的特点^[20]。

将环境污染作为非期望产出测算是另外一种主流做法，Ball 等（2001）在研究 1972-1993 年美国农业部门的全要素生产率时将化肥和农药的残留物作为非期望产出，测算后的结果显示非期望产出越少的州农业全要素生产率越高^[21]。Rezek 等（2004）在研究 1960-1996 年美国大平原州的农业生产率时考虑了农药和氮废水的污染问题，将其作为非期望产出，研究结果发现环境调整后的农业全要素生产率的增长率出现了 0.27% 的下降^[22]。Marthin（2007）在研究 1953-1994 年澳大利亚农业部门的环境生产率时，将水土流失作为非期望产出对农业生产率进行调整，结果发现调整过后的农业生产率出现了提高和降低的现象^[23]。Shen Z 等（2017）在研究经合组织 30 个国家的绿色全要素生产率时将农业碳排放作为非期望产出，结果发现传统的全要素生产率低估了绿色增长^[24]。

在测算方法上，学界采用的多是非参数 DEA 数据包络分析法。如葛鹏飞等（2018）采用 SBM-DDF 方法的 Luenberger 指数测算^[13]，吴国松等（2021）基于 SBM 方法的 Malmquist 指数对我国农业 GTFP 进行研究^[25]。郭海红等（2020）通过利用改进 EBM—ML 指数测算农业 GTFP 增长源泉，发现其呈小幅波动上升趋势，区域差异明显^[26]。张华和王礼力（2018）利用 SBM-GML 指数法测算了陕西省的农业 GTFP 并进行了分解分析，结果发现技术进步是 GTFP 提高的重要影响因素^[27]。许标文等（2021）在测算 2003-2018 年福建省的农业 TFP 时选择了 Luenberger-Hicks-Moorsteen(LHM)指数法，研究发现该省的农业 TFP 呈现着不断增长的特征^[28]。

1.2.3 农业绿色全要素生产率的区域差异研究

不同的地区有着不同的气候、地理条件、经济社会发展水平等客观条件，所以不同地区的农业全要素生产率是具有差异性的，已有国内外的大量学者对农业绿色全要素生产率的区域差异进行了相关研究。国外有 Rezitis（2005）对

比研究了美国和 9 个欧洲国家的 GTFP，结果发现美国与欧洲国家之间的农业经济发展存在趋同性^[29]。Le 等（2019）测算了东亚 9 个国家的农业 GTFP 来评价其环境效率^[30]。

国内有杨骞等（2019）利用 Dagum 基尼系数考察农业 GTFP 的区域差异及来源，发现我国农业 GTFP 呈现先扩大后缩小的空间分异特征^[31]。张毅（2021）使用泰尔指数分析了长三角地区的农业绿色全要素生产率的区域差异，结果发现该地区的农业绿色全要素生产率的整体差异在不断波动下降，区间差异呈现递减的趋势，区内差异则是倒“N”型波动^[32]。郑甘甜等（2022）测算了 1995-2018 年我国四大地区的农业绿色全要素生产率并分析了其收敛性，结果发现我国各地区都存在 β 条件收敛，而东、中、西地区存在 β 绝对收敛^[33]。刘帅等（2022）对 2004-2017 年间黄河流域的农业 GTFP 进行测算并对其进行时空演变分析，结果发现黄河流域的农业绿色全要素生产率水平不高且在上游、中游、下游存在明显的区域差异，该流域各地区的空间关联性弱，高值区和低值区各自集聚^[34]。杨锦琦和左腾达（2022）结合静态和动态角度测算分析了长江经济带的农业绿色全要素生产率，结果发现上游省份的绿色全要素生产率增长率最高，但效率水平要低于中游和下游的^[35]。王亚飞等（2022）基于泰尔指数和核密度法分析了我国三大地区和八大综合经济区的农业 GTFP，发现我国农业 GTFP 具有明显的区域差异，各地区的组内差异贡献率最高，各地区的差距呈现先减小再拉大的特点^[36]。

1.2.4 农业绿色全要素生产率的收敛性研究

收敛的思想来源于新古典经济增长理论中索洛对经济发展差异缩小的思考，索罗（1956）认为在资本边际报酬递减的前提下，经济发展较差的地区的增长率要比发展较好的地区高，并在技术进步的推动下各地区的经济差距减小最后实现均衡发展^[37]。在众多研究中常见的收敛研究方法有 σ 收敛、 β 收敛、俱乐部收敛。Alexiadis 等（2010）研究了 1995-2004 年欧盟地区 26 个国家之间的农业生产效率的趋同性，结果发现在研究期内绝对收敛很低，但俱乐部收敛很明显^[38]。BaráthL（2016）研究了 2004-2013 年欧盟成员国之间的农业全要素生产率收敛性问题，结果发现在研究期内欧盟成员国的农业全要素生产率总体

上呈现速度很慢的趋同性^[39]。

国内关于农业绿色全要素生产率的研究很丰富。潘丹和孔凡斌（2013）对我国各地区之间的农业 GTFP 进行分析，发现各地区不存在绝对收敛和随机收敛但出现明显的条件收敛^[40]。李文华等（2019）对 1999-2015 年我国的农业 GTFP 的收敛性进行研究，结果发现全国不存在明显的 σ 收敛但存在着条件 β 收敛以及绝对 β 收敛特征^[41]。杨佳利（2020）采用非参数 HMB 指数模型测算了我国的农业全要素生产率并通过收敛回归模型探究影响全要素生产率收敛的因素，结果发现市场化和人口城镇化能够促进其收敛，但农业产业结构和人均 GDP 不利于其收敛^[42]。沈洋和周鹏飞（2022）基于碳汇和碳排放双视角下测算并探究了我国农业 GTFP 的空间收敛性，结果发现我国农业 GTFP 具有正向的空间关联性，生产率低的地区相比于高的地区拥有更高的增长率，所以区域差异在缩小^[43]。

1.2.5 农业绿色全要素生产率的影响因素研究

已有众多学者在农业 GTFP 的影响因素研究上做出了大量的研究。Kumar(2006)发现对外贸易能够显著促进绿色全要素生产率的增长^[44]。梁俊(2015)发现减免农业税能够提高农业绿色全要素生产率，工业化、城市化和农业贸易条件起阻碍作用，农业财政支出的影响并不明显^[45]。杨秀玉(2017)研究发现农产品贸易对农业 GTFP 和农业技术进步有显著的倒“U”型影响^[46]。陈燕翎(2021)研究发现农产品进出口能够促进东西部地区的农业 GTFP，但是对中部地区的影响不显著^[47]。何晓霞等（2021）研究发现农业科技创新显著促进了农业 GTFP 的提升，而其辐射作用阻碍了周边省的农业绿色全要素生产率的提高^[48]。马国群等（2021）通过面板门槛模型考察了环境规制对于农业 GTFP 的非线性效应^[49]。

1.2.6 研究述评

通过对相关文献的梳理，已有文献为农业绿色全要素生产率的研究奠定了一定基础，但大多研究集中在测算模型、指标体系、结果分解分析等方面，仍

然存在一些不足与可拓展空间。大多学者使用传统的收敛检验方法对我国的农业全要素生产率进行研究，几乎都是从时间维度去分析各区域差异的收敛性。在研究对农业 GTFP 的影响因素方面也大多采用普通的方法，忽略了空间因素的作用，缺少从空间维度的研究。基于此，本文将从这几个方面进行拓展，首先将碳排放纳入测算指标体系，其次使用 σ 收敛和空间 β 收敛模型一同研究农业绿色全要素生产率的收敛性特征，最后构建空间杜宾模型探究影响农业绿色全要素生产率的影响因素，补充空间维度的研究。

1.3 研究内容及方法

1.3.1 研究内容

本文以狭义农业为研究对象，主要从六个部分来对我国农业 GTFP 的区域差异、收敛性及影响因素进行研究，具体包括以下内容：

第一部分，绪论部分。主要介绍研究背景、意义、整理国内外研究进展、研究内容和研究方法、创新点和技术路线图。

第二部分，理论基础部分。界定了全要素生产率、绿色全要素生产率的概念，并介绍了与本文相关的理论，如：经济增长理论、区域经济理论。

第三部分，我国农业绿色全要素生产率的测算分析。通过构建相关指标体系，利用 SBM—GML 模型对我国各地区的农业 GTFP 进行测算分析。

第四部分，我国农业绿色全要素生产率的区域差异分析部分。运用 Dagum 基尼系数对我国农业 GTFP 的区域差异进行测度，并进一步分解探讨区域差异的来源。利用 σ 收敛和空间 β 收敛从时间和空间两个视角研究我国农业 GTFP 的收敛性特征。

第五部分，我国农业绿色全要素生产率的影响因素分析部分。采用空间杜宾模型研究我国农业 GTFP 的主要影响因素，并进一步分解空间效应具体分析其作用机理、方向和大小。

第六部分，结论、政策建议及展望部分。此部分对前面的研究进行总结得出结论，在此基础上对我国农业绿色发展、建设农业强国提出有针对性的相关

政策建议，并对未来的研究提出展望。

1.3.2 研究方法

(1) 文献分析法

查阅国内外关于农业绿色全要素生产率的文献和理论，掌握如今该领域的最新研究进展，为本文对我国农业 GTFP 的区域差异及影响因素研究奠定一定理论基础。

(2) 对比分析法

在对我国各地区的农业绿色全要素生产率的研究中需要对各个省份以及四大区域之间进行对比分析，也需要对不同时期的农业 GTFP 进行对比分析，为提高我国的农业 GTFP 提出有针对性的建议。

(3) 实证分析法

本文在测算我国的农业绿色全要素生产率时运用了 SBM-GML 计量模型，在分析农业绿色全要素生产率的区域差异及其来源时运用了 Dagum 基尼系数法，结合 σ 收敛和空间 β 收敛研究了我国农业绿色全要素生产率的收敛性特征，在研究我国农业绿色全要素生产率的主要影响因素时采用了空间杜宾模型。

1.4 可能的创新点及技术路线图

1.4.1 可能的创新点

如前面文献综述部分所述，已有文献为农业绿色全要素生产率的研究奠定了一定基础，但仍然存在一些不足与可拓展空间。

(一) 目前我国农业发展与保护环境之间的矛盾仍然存在，现代农业建设的持续推进的同时产生了大量的碳排放。所以从依赖要素投入的粗放型农业经济增长模式向以绿色全要素生产率为驱动的经济增长模式转换是重要关键点。本文考虑环境约束，将农业碳排放纳入到我国农业绿色全要素生产率的测算研究中。

（二）大多学者使用传统的收敛检验方法对我国的农业全要素生产率进行研究，几乎都是从时间维度去分析各区域差异的收敛性，缺少从空间维度的研究。本文选择结合 σ 收敛和空间 β 收敛一同研究我国农业绿色全要素生产率的收敛性特征，增加了空间维度研究视角。

（三）众多学者在研究对农业绿色全要素生产率的影响因素方面大多采用普通的方法，如 Tobit 回归、最小二乘法回归等，忽略了空间因素的作用，因此本文采用了空间杜宾模型研究其主要影响因素，并进一步将影响因素的空间效应进行分解为直接效应、间接效应和总效应，更加全面地研究我国的农业绿色全要素生产率的影响因素及其效应。

1.4.2 技术路线图

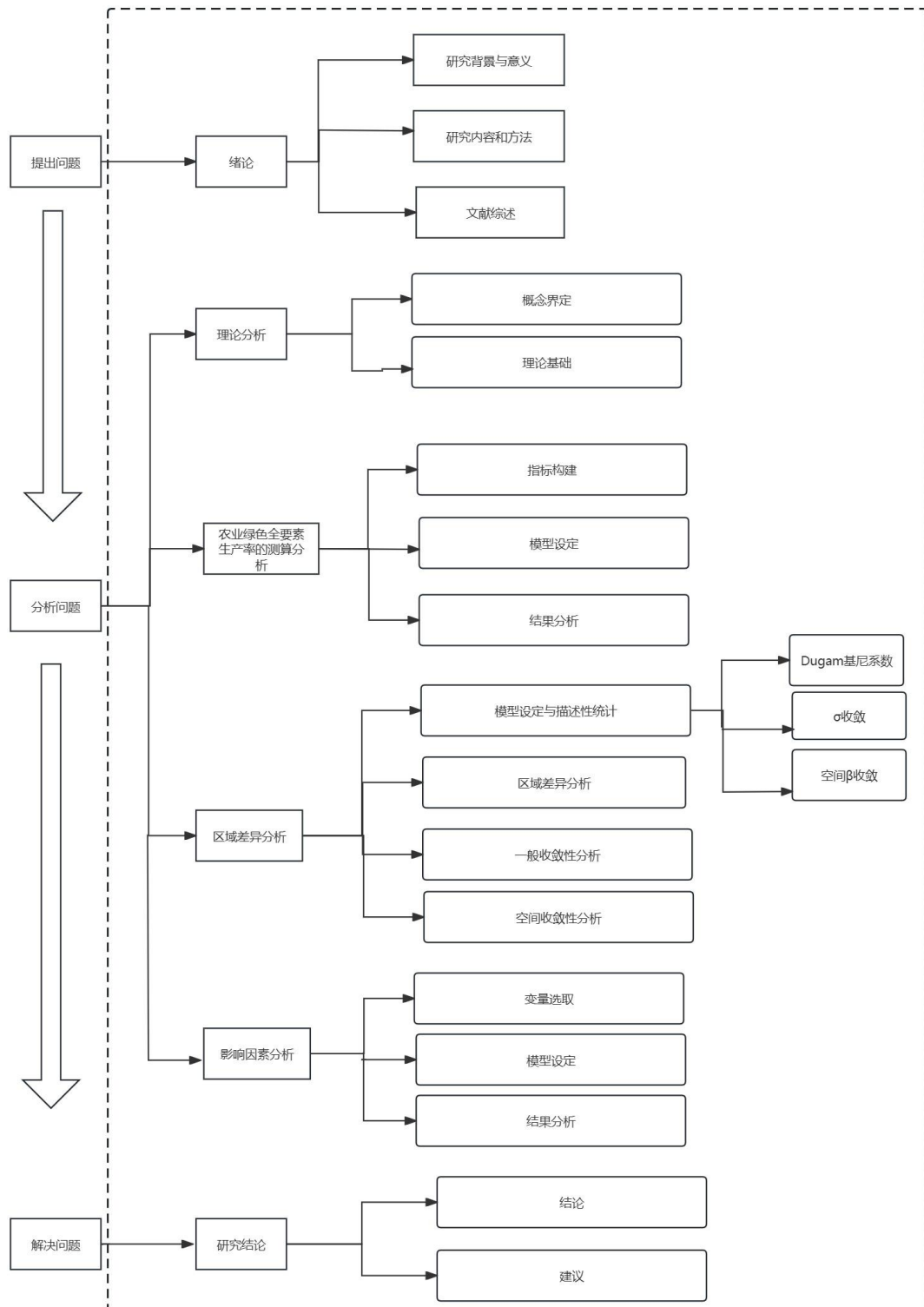


图 1-1 技术路线图

2 相关概念和理论基础

2.1 相关概念

2.1.1 全要素生产率

全要素生产率（TFP）是在单要素生产率的概念基础上提出的，是一个用来衡量经济发展质量的重要指标，能够解释单要素生产率无法解释的传统生产要素之外对经济增长的贡献，如技术进步、制度因素等。索洛（1957）首次将劳动和资本之外对经济增长的贡献值定义为全要素生产率，这个余值概念为后续众多学者对全要素生产率的研究提供了思路^[37]。农业全要素生产率则是以农业部门为研究对象，在农业经济增长中减去传统生产要素所带来的贡献即是农业全要素生产率，其能够体现农业经济发展的质量。

2.1.2 绿色全要素生产率

现代经济的快速发展同时也产生了环境污染、资源枯竭等不容忽视的问题，绿色可持续发展的理论逐渐被提出。在全要素生产率的基础上增加对环境问题的考虑就是绿色全要素生产率（GTFP），将环境约束同经济增长一同纳入到研究体系内，增加了“绿色”的内涵。1998年在联合国研讨会中的《国际清洁生产宣言》上第一次提出了绿色全要素生产率的概念，随后越来越多的学者将环境问题考虑在研究内容中，一般的做法有三种：第一，将治理环境污染的费用作为投入。第二，直接将环境污染作为投入变量纳入计算。第三，将环境污染视作非期望产出。

农业绿色全要素生产率是以农业部门为研究对象，在农业全要素生产率的研究框架中增加资源环境约束，如农业生产中的碳排放、面源污染、资源消耗等问题。农业的绿色可持续发展也是政府和众多学者的关注重点，传统的以要素投入驱动的发展模式不再适用，农业 GTFP 是更符合现代农业发展的重要驱动力。

2.2 理论基础

为了对我国农业绿色全要素生产率的区域差异及其影响因素进行深入研究, 本文对经济增长理论和区域经济理论进行梳理, 为后续的研究提供一定的理论基础。

2.2.1 经济增长理论

经济增长理论是关于经济增长源泉的研究集合起来的理论体系, 经过了几个世纪的发展, 经济增长理论主要分为古典经济增长理论、新古典经济增长理论、内生经济增长理论和可持续增长理论。古典经济增长理论中, 一些著名的经济学家提出了自己对经济增长的认识^[52]。在新古典经济增长理论中, 哈罗德和多马在凯恩斯理论基础上使用动态分析法探讨长时间内经济增长的源泉, 所以学界将他们的模型命名为“哈罗德-多马”模型^{[56][57]}。因为“哈罗德-多马”模型的前提条件过于理想, 在现实生活中难以实现。索洛和斯旺在它的基础上继续改进, 认为技术进步是推动经济长期增长的动力, 将技术不变的假设改为技术进步作为外生变量加入了经济增长的分析体系, 构建了“索洛-斯旺”模型, 全要素生产率最初就是索洛提出对技术进步对经济增长的贡献率^[58]。新古典经济学简单地将技术进步作为外生变量进行研究, 仍不符合现实经济发展情况, 一些经济学家将技术进步、人力资本等作为影响经济增长的内生因素建立并丰富了内生经济增长理论^[52]。

古典经济学、新古典经济学以及内生经济学都是围绕着经济增长为核心的理论, 但随着工业化、现代化经济的不断推进, 资源枯竭、环境破坏、人口激增等问题逐渐激烈, 引起了社会各界的关注, 可持续经济增长理论在此背景下应运而生。可持续经济增长是指在满足当代人发展需求的同时也不影响后代人需求的能够长期可持续的经济增长方式, 实现经济和环境和谐共进的发展。Meadows 在其《增长的极限》中将经济发展所带来的资源、环境、人口等问题进行了一个综合研究, 提出如果不能有效解决这些问题会对我们人类发展产生严重的威胁^[62], 此后越来越多的学者将资源环境规制纳入到经济内生增长模型内研究^{[63][64]}。本文研究的农业绿色全要素生产率就是将环境因素和农业经济增

长一同纳入到研究体系内，以期为我国农业经济与环境和谐共进、推动经济可持续发展做出一定的理论和现实参考。

2.2.2 区域经济理论

我国幅员辽阔，不同区域都有着不同的自然资源禀赋和社会经济发展水平，我国农业发展存在着区域不平衡的问题，但区域协调发展是我国高质量发展的一个重要条件。

区域经济理论中有均衡发展理论和非均衡发展理论，区域均衡发展理论追求的是资本、劳动、技术这些生产要素不断流动，最终使得各个区域的发展都趋向均衡，主要以低水平陷阱理论、大推进理论等为代表性。区域均衡发展强调各区域都是均衡同步发展的，但在现实生活中因自然条件等限制缺少实操可能性，区域非均衡发展理论的应用现实生活中更多一些。区域非均衡理论认为因为资源禀赋的不同，应该因地制宜优先发展一些地区后再带动其它地区，如增长极理论、核心边缘理论、极化—涓滴效应理论、循环累积因果理论等。我国在发展初期就选择非均衡发展的方式，优先发展沿海城市，体现了“先富带动后富”思想。协调是发展平衡和不平衡的统一，即是发展手段也是发展目标^[65]。区域协调发展兼顾了公平和效率双重含义，吸收了均衡发展理论中的生产要素自由流动，也吸收了非均衡发展思想中的发挥区域比较优势，实现各地区之间统筹协调发展^[66]。

3 农业绿色全要素生产率的测度分析

产出增长一般有两条途径，其一是增加投入要素，其二则是提高要素生产率。基于发展的可持续性要求以及资源环境的约束性，当前提倡的是在既定的投入下，如何尽可能地增加产出，即提高生产效率。目前学者对农业全要素生产率的研究较多，并且也取得了许多成果，但传统的要素测度方法没有将环境污染纳入，因而不能合理并全面的反映农业发展的质量。随着环境污染越来越严重，环境压力对农业生产提出了更高的绿色理念约束，将在生产过程中的污染排放纳入考虑范围的农业绿色全要素生产率则能更加衡量农业经济发展的质量。

3.1 测算方法

当前在全要素生产率（TFP）进行测量和评价的方法选择中，由于不用事先设置参数以及具体的生产函数形式，DEA（数据包络法）被众多研究者所使用，并且在生产可能性集合以及效率指标的选择等维度上得到了很大的扩展。其先根据各个决策单元的投入产出数据构造除生产可能性集和生产前沿，再计算出每一个决策单元与生产前沿面的距离，进而计算出 TFP，并在此基础上，通过 Malmquist 指数法来测算 TFP 在 t 期到 t+1 期的变化率。随着农业的不断发展和对发展质量要求的提高，传统的 DEA 方法已经不完全适用于以劳动、机械、灌溉、农药等多种投入以及农业产出和污染排放等多种产出的现代农业生产中，即在我们用 DEA 和 Malmquist 指数来测算包含农业污染产出的农业 GTFP 时，要考虑到对于生产者而言，农业产出是好的，在既定的要素投入条件下，农业产值越多越好，而如碳排放等污染物的产出是不好的，既有的要素投入条件下越少越好。

本文采用基于投入导向的 VRS 非期望产出的超效率 SBM 模型对我国各地区农业 GTFP 进行测算，进而构造 Global—Malmquist—Luenberger 指数，并将 GML 指数分解为技术进步和技术效率以对 GTFP 进行分析描述。参考 Tone 的研究^[67]，假定第 k 个决策单元的投入向量 $X = [x_1, x_2, \dots, x_{1n}]$ ，期望产出向量 $Y^g =$

$[y_1^g, y_2^g, \dots, y_n^g]$, 非期望产出向量 $Y^b = [y_1^b, y_2^b, \dots, y_n^b]$, 则模型构建如下:

$$\begin{aligned} \min \theta &= \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{ik}}}{1 - \frac{1}{q_1 + q_2} (\sum_{t=1}^{q_1} s_r^g / y_{rk}^g + \sum_{t=1}^{q_2} s_t^b / y_{tk}^b)} \quad (3-1) \\ \text{s. t. } &\sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- \leq x_{ik} \\ &\sum_{j=1, j \neq k}^n y_{rj} \lambda_j + s_r^g \geq y_{rk}^g \\ &\sum_{j=1, j \neq k}^n y_{tj} \lambda_j - s_t^b \leq y_{tk}^b \\ &\sum_{j=1, j \neq k}^n \lambda_j = 1 \\ &\lambda, s^g, s^b, s^- \geq 0 \end{aligned}$$

其中, λ 为权重向量, s^g 、 s^b 、 s^- 为松弛变量。 θ 为第 k 个决策单元的绿色全要素生产率 (GTFP), 可以大于 1。

为动态考察 GTFP 的变化情况, 参考 Oh 的研究^[68], Global-Malmquist-Luenberger(GML)指数模型构建如下:

$$\begin{aligned} GML(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; x^t, y^t, b^t) &= \frac{1 + D_G^T(x^t, y^t, b^t)}{1 + D_G^T(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} \\ &= \frac{1 + D_c^t(x^t, y^t, b^t)}{1 + D_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} \times \left[\frac{(1 + \frac{D_G^T(x^t, y^t, b^t)}{1 + D_c^t(x^t, y^t, b^t)})}{\frac{1 + D_G^T(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}{1 + D_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}} \right] \\ &= GEC^{t,t+1} \times GTC^{t,t+1} \quad (3-2) \end{aligned}$$

GML>1 表明该地区的农业 GTFP 是提高的, GML<1 则表明该地区农业 GTFP 下降; GEC>1 表明技术效率改善, GEC<1 表明技术效率恶化; GTC>1 表明技术进步, GTC<1 表明技术退步。

3.2 指标选择和数据来源

3.2.1 指标选择

农业绿色全要素生产率的测算指标分为投入指标和产出指标两部分，具体如下所示。

(1) 农业投入指标

①劳动力投入：本文参考赵佶（2021）的做法^[69]，劳动力投入=农林牧渔业从业人数*（农业产值/农林牧渔业总产值）来表示狭义农业劳动力投入。

②土地投入：用总播种面积表示，以每年的统计年鉴为准。

③机械总动力：以每年的统计年鉴为准。

④有效灌溉面积：用以表示水资源的利用程度，其数据以每年的统计年鉴为准。

⑤化肥投入：以统计年鉴中的“农用化肥（折纯量）”来代替，表示每年实际农业生产中使用的化肥量。

⑥农药投入：以统计年鉴中的“农药使用量”来代替，表示每年实际农业生产中使用的农药投入量。

⑦农膜投入：以统计年鉴中的“农用塑料薄膜使用量”来代替，表示每年实际农业生产中使用的农膜投入量。

(2) 农业产出指标

①农业总产值：以每年统计年鉴中的农业总产值（以2000年为基期，剔除价格影响）代替，表示期望产出。

②碳排放总量：采用本文计算的碳排放量作为非期望产出。

农业碳排放是指由于农业生产活动造成的碳排放，主要由三部分组成：农业生产投入品造成的、农业灌溉消耗电能所造成的、农业翻耕破坏土壤有机碳所带来的。关于农业碳排放量的测算，采用较多的是系数法，即用碳源的使用量与其相应的碳排放转换系数相乘，公式为：

$$C = \sum X_i \beta_i \quad i=1,2,\dots,n \quad (3-3)$$

其中C代表碳排放总量， X_i 、 β_i 分别代表碳源物资使用量以及相应的碳排

放转化系数。根据相关学者的研究^{[70][71]}，结合 IPCC 的报告，本文选择化肥（0.8956 kgC/kg）、农药（4.9341 kgC/kg）、农膜（5.1800 kgC/kg）、机械（0.18 kgC/kw）、灌溉（266.4800 kgC/hm²）、耕地（16.4700 kgC/hm²）、柴油（0.5927 kgC/kg）作为碳排放源。具体指标选择如表 3.1 所示：

表 3.1 农业绿色全要素生产率测算指标体系

	变量类型	指标
投入	化肥	化肥（万吨）
	机械	机械动力(万千瓦)
	灌溉	有效灌溉面积（万公顷）
	土地	总播种面积（千公顷）
	劳动力	劳动力（万人）
	燃油	农用柴油（万吨）
	农膜	农用塑料薄膜使用量（千吨）
	农药	农药使用量（万吨）
	产出	期望产出
非期望产出		碳排放（万吨）

3.2.2 数据来源

由于数据的可得性，本文选取中国 31 个省级行政区作为研究单元（不含香港、澳门、台湾），研究时间段为 2001-2021 年。研究数据来源于《中国统计年鉴》、《中国农村统计年鉴》以及全国各省统计年鉴。为了消除价格波动的影响，对农业产值进行以 2000 年为基期的平减处理，个别缺失数据使用 Stata16 软件进行插值法处理。

3.3 农业绿色发展现状分析

3.3.1 农业投入现状分析

2000-2021 年我国各农业生产要素投入现状如图 3.1 所示，机械总动力、电力和土地在研究期内整体呈现着上升的变化特征，电力的增长速度最大，机械总动力在 2014 年之前的增长速度较高，2015 年后增速下降，土地呈现着缓慢增

长的特征。劳动力和灌溉在研究期内整体呈现着下降的变化特征，下降速度逐渐减小，但灌溉在 2021 年出现了回升的现象。化肥、农药、农膜、柴油在研究期内呈现着先上升后下降的特征，且都在 2015 年达到峰值，这可能是因为在 2015 年开始各地注重农业的绿色生产，开始实施对化肥、农药这些现代生产要素的“减量增效”活动，因此在 2015 年后这些现代生产要素的投入逐渐减少。

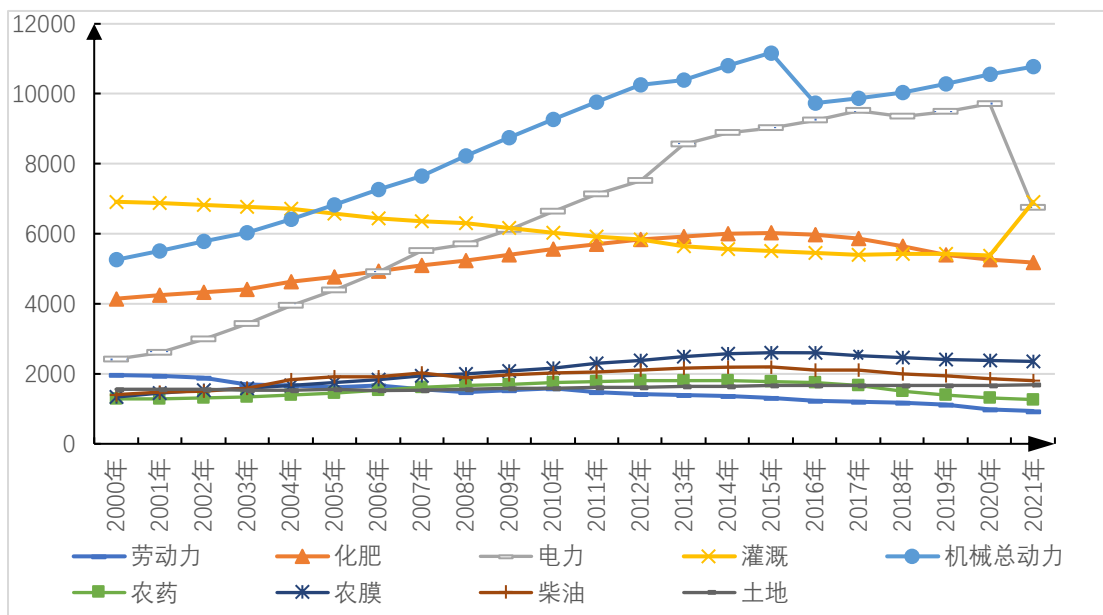


图 3.1 2000-2021 年中国农业生产要素投入现状

3.3.2 农业产出现状分析

2000-2021 年我国农业期望产出和非期望产出的变化如图 3.2 所示，在研究期内我国农业产值呈现稳步上升的态势，从 9013 亿元增长到 20534 亿元，增长了一倍多，年均增长率为 3.81%。在 2010 年前增长率也不断提高，增长速度较快，2010 年后增长速度虽然下降了但整体仍保持着不断提高的趋势。农业非期望产出碳排在研究期内则呈现着先上升后下降的态势，在 2015 年达到峰值 5888 万吨，在此之前以较快的速度上升，后面下降速度较慢。

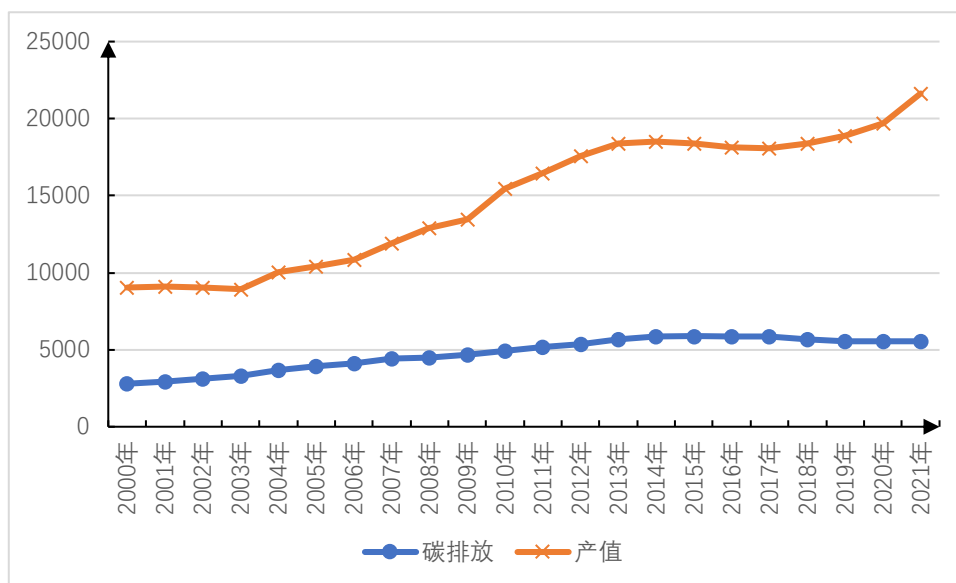


图 3.2 2000-2021 年中国农业产出现状

3.4 农业绿色全要素生产率测算结果分析

本文通过 MaxDEA 软件，运用 SBM-GML 指数法对我国 2001-2021 年各地区的农业绿色全要素生产率进行计算，并将得到的结果分为全国层面、四大区域层面以及省级层面三个层面来对我国整体及各地区的农业发展情况进行一个评价分析。

3.4.1 全国层面分析

农业绿色全要素生产率 (GTFP) 可以进一步分解为技术效率变化指数 (GEC) 和技术进步变化指数 (GTC)，我国 2001-2021 年农业绿色全要素生产率及其分解结果如表 3.2 所示。在研究期内我国农业 GTFP 的均值为 1.046，整体呈现着一个上升的态势。其中，2001 年、2002 年、2005 年、2009 年、2015 年这 5 个年份的 GTFP 是小于 1，除了这五年我国农业绿色发展水平出现了短暂的恶化之外，其他年份的农业发展都表现出了向好的趋势。根据农业 GTFP 的时序变化特征可以大致将研究期分为三个阶段，第一阶段是 2001-2010 年，第二阶段是 2011-2017 年，第三阶段是 2018-2021 年。在第一阶段内，我国农业绿色全要素生产率呈现了一种波动上升的态势，2001 年我国加入了世贸组织，国家

也实行减免农业税等一系列惠农政策，在这个时期我国农业处于一个快速发展的阶段，但发展水平并不稳定。这个阶段我国农业 GTFP 的提高前半期主要依靠技术效率的提高，后半期技术效率恶化，主要依靠技术进步的不不断提升。

经历了第一阶段的波动增长，在第二阶段我国农业 GTFP 表现出了稳定且轻微下降的特征，除了 2015 年小于 1 表现出恶化的现象外，其他年份虽然呈现下降的趋势但仍大于 1。在这个阶段我国农业 GTFP 的下降主要是因为技术效率变动指数在这阶段全部小于 1，技术效率一直在恶化，说明在这个时期因管理水平低等原因导致技术的利用效率较差。技术进步变动指数在这个时期一直保持在 1 以上，使得我国农业绿色全要素生产率整体还在不断提高。第三阶段 2018 年至今，我国农业 GTFP 呈现了稳步上升的特征，这一阶段的增长速度高于整个研究期和其他阶段。在这个阶段技术进步变动指数的平均值为 1.128，技术效率变动指数除了 2019 年小于 1 之外其他年份也是大于 1 的，两者共同带动我国农业 GTFP 的不断提升。

表 3.2 2001-2021 年中国农业绿色全要素生产率及其分解结果

时间	GTFP	GEC	GTC
2001	0.981	1.018	0.979
2002	0.963	1.133	0.864
2003	1.001	1.035	0.979
2004	1.067	1.079	1.001
2005	0.990	1.007	0.993
2006	1.024	1.009	1.016
2007	1.095	1.011	1.092
2008	1.052	0.980	1.084
2009	0.999	0.987	1.025
2010	1.133	1.030	1.125
2011	1.039	0.982	1.078
2012	1.053	0.987	1.073
2013	1.047	0.996	1.050
2014	1.001	0.988	1.016
2015	0.989	0.926	1.093
2016	1.026	0.957	1.075
2017	1.005	0.993	1.022
2018	1.063	1.011	1.067
2019	1.079	0.960	1.124
2020	1.180	1.005	1.195
2021	1.181	1.049	1.125
均值	1.046	1.007	1.051

我国 31 个省市的农业绿色全要素生产率平均值及其分解结果如表 3.3 所示,除了西藏的农业 GTFP 均值小于 1 之外其他省份都大于 1,说明我国大多省份都实现了农业绿色生产的进步。所有省份的年均技术进步变动指数都大于 1,而年均技术效率变动指数大于 1 的省份只有 19 个,占比只有 61%,这表明,所有省份的农业技术进步是增长的,但一些省份的技术效率却在恶化降低绿色全要素生产率的水平。那些年均农业绿色全要素生产率大于 1 的省份主要依靠技术进步来带动,而农业技术效率水平却不高。

其中高于全国整体的农业绿色全要素生产率的省份只有 9 个,分别是新疆、黑龙江、湖南、陕西、天津、广西、贵州、浙江和江苏。这些省份中除了新疆的年均技术效率变动指数小于 1,由技术进步单方面驱动之外,其他省份的农业 GTFP 的增长都是由技术进步和技术效率共同驱动的。全国排名后 10 位的省份有江西、河北、甘肃、内蒙古、辽宁、安徽、上海、吉林、海南、西藏,这些省份虽然排名靠后但除了西藏之外农业绿色全要素生产率都是大于 1 的,说明它们农业绿色发展水平还是在提高的。而西藏农业经济发展面临的自然环境和技术创新环境较差,生产规模小,难以实现规模经济,资源利用率低和生产经营理念落后,这些使得该地区的农业 GTFP 较低。

表 3.3 2001-2021 年各省份农业绿色全要素生产率平均值及其分解结果

地区	GTFP	GEC	GTC
安徽	1.022	0.988	1.039
北京	1.030	0.994	1.037
福建	1.041	1.034	1.022
甘肃	1.027	0.978	1.054
广东	1.033	1.031	1.010
广西	1.060	1.046	1.026
贵州	1.056	1.021	1.055
海南	1.004	0.979	1.025
河北	1.028	1.008	1.034
河南	1.045	1.012	1.042
黑龙江	1.079	1.051	1.047
湖北	1.045	1.023	1.035
湖南	1.078	1.023	1.066
吉林	1.007	0.970	1.049
江苏	1.051	1.029	1.036
江西	1.029	0.973	1.058

续表 3.3

地区	GTFP	GEC	GTC
辽宁	1.024	0.989	1.038
内蒙古	1.024	0.970	1.084
宁夏	1.043	1.026	1.071
青海	1.035	1.027	1.025
山东	1.035	1.005	1.034
山西	1.039	1.002	1.043
陕西	1.068	1.004	1.065
上海	1.017	0.978	1.047
四川	1.031	0.982	1.054
天津	1.061	1.008	1.071
西藏	0.974	0.953	1.095
新疆	1.100	0.998	1.093
云南	1.037	1.000	1.043
浙江	1.052	1.041	1.034
重庆	1.042	1.006	1.046
全国	1.046	1.007	1.051

3.4.2 区域层面分析

不同地区的自然资源禀赋、生产特点等方面有着较大差异，农业经济发展的区域不平衡问题明显，不利于我国农业经济的协调发展。前面已经对我国整体以及各个省份的农业 GTFP 及其分解结果进行了分析，那么不同地区的水平如何？其增长源泉是什么？本文进一步对四大地区的农业 GTFP 及其分解结果进行分析。

2001-2021 年东部地区的农业绿色全要素生产率及其分解趋势如图 3.3 所示。在研究期内东部地区的年均农业 GTFP 为 1.037，年均技术效率变动指数为 1.008，年均技术进步变动指数为 1.039。东部地区的省份大多是经济发达但农业资源禀赋较差的地区，在现代农业设施和人力资本等方面有一定的优势，但农业技术的进步推动机械化生产，一方面带来了相对较高的农业产出，另一方面柴油、电力等能源的大量使用产生了较多的二氧化碳，且由于生产规模扩大时，非期望产出碳排放的增长速度更快。

东部地区的农业绿色全要素生产率曲线与技术进步变动指数曲线变化趋势是一致的，都有着先上升后下降再上升的变化趋势。而技术效率变动指数曲线整体呈现着下降趋势，在 2008 年后大多年份是小于 1 的，这表明东部地区的农

业 GTFP 的增长主要依靠农业技术进步驱动, 而农业技术效率在 2008 年后阻碍了 GTFP 的提高, 且在近些年有继续恶化趋势。另外东部地区的农业 GTFP 小于 1 的年份技术进步变动指数也是小于 1 的, 部分年份技术效率变动指数是大于 1 的, 这说明在东部地区技术进步是决定农业 GTFP 的关键因素。

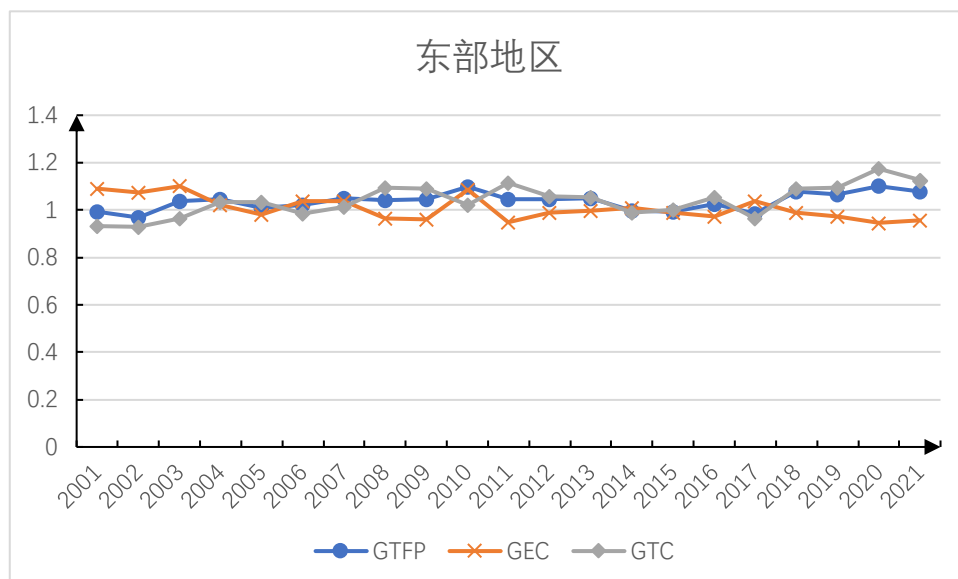


图 3.3 2001-2021 年东部地区的农业绿色全要素生产率及其分解趋势图

2001-2021 年中部地区的农业绿色全要素生产率及其分解趋势图如图 3.4 所示。在研究期内中部地区的年均农业绿色全要素生产率为 1.048, 年均技术效率变动指数为 1.006, 年均技术进步变动指数为 1.05。这个区域所包含的省份如河南、安徽、湖北等地形平坦, 土地面积相对广阔, 便于农业规模化种植, 但种植结构以粮食作物为主, 价值实现不充分的同时也带来巨大的碳排放。

可以看出中部地区的农业绿色全要素生产率曲线在 2013 年之前技术进步变动指数曲线变化趋势是较为一致, 在之后和技术效率变动指数曲线一致, 这表明中部地区的农业 GTFP 前期主要由农业技术进步驱动, 后面主要由农业技术效率驱动的。中部地区的农业 GTFP 在研究期内波动幅度较小, 但有 6 年是小于 1 的, 集中分布在研究初期和 2014-2015 年这两个时期, 说明这些时期中部地区的农业绿色发展水平处于恶化状态。2001 年我国加入世贸组织, 农产品能够在世界范围内自由流动, 农产品的自由贸易以及国内的配额采购政策取消对中部地区的农业发展产生了冲击。在 2014 和 2015 年中部地区面临着从简单的要素

投入驱动不能有效带动农业发展的问題，各种农用物资的使用量较大，但资源利用效率不高；农业产业结构单一，粮食作物占比较大，整体农业生产回报率偏低，且农机、化肥、农药农膜等物资的不合理使用产生了大量的碳排放。因此这两个阶段中部地区的农业 GTFP 出现了恶化倒退的现象。

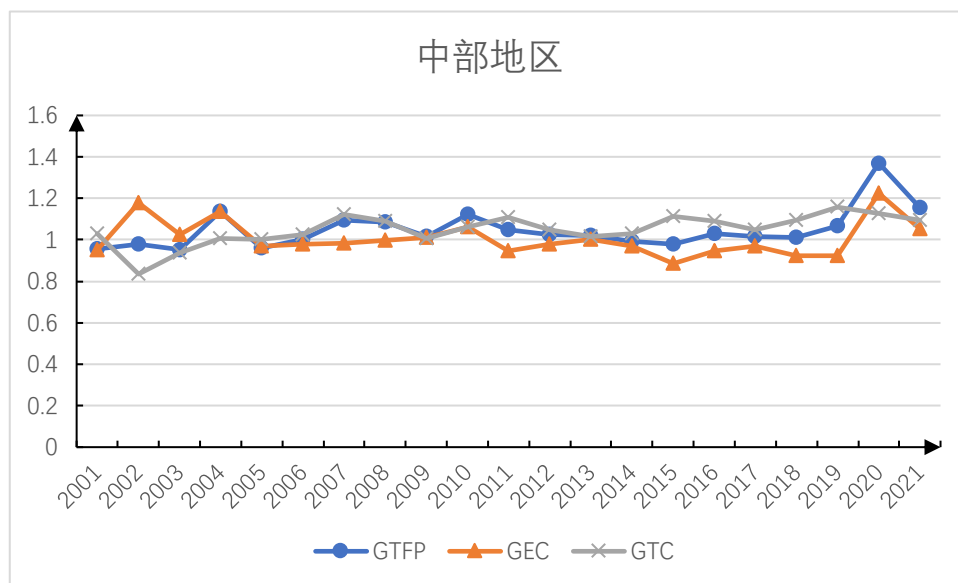


图 3.4 2001-2021 年中部地区的农业绿色全要素生产率及其分解趋势图

2001-2021 年西部地区的农业绿色全要素生产率及其分解趋势图如图 3.5 所示。在研究期内西部地区的年均农业绿色全要素生产率为 1.044，年均技术效率变动指数为 0.999，年均技术进步变动指数为 1.063。这个产区所包含的省份如青海、宁夏等省份由于自然条件限制农业生产规模较小，要素投入和农业产出都处于一个较低的水平。

西部地区的农业绿色全要素生产率曲线与技术进步变动指数曲线变化趋势是一致的，技术效率变动指数有 14 年是小于 1 的，且呈现着不断下降的趋势，这表明西部地区的农业 GTFP 主要依靠农业技术进步驱动，而农业技术效率除了在研究早期能够驱动 GTFP 的提高之外，其他年份都在抵消技术进步的贡献阻碍当地的农业绿色发展。西部地区的农业 GTFP 在研究期内整体呈现着一个逐渐上升的趋势，根据变动特征可以分为两个阶段，第一阶段是 2001-2010 年，这个阶段的农业绿色全要素生产率波动幅度较大，且有 5 个年份小于 1。第二阶段是 2012 年至今，西部地区的农业绿色全要素生产率表现为稳步上升的特征，

除了 2015 年小于 1 其他年份都大于 1，说明西部地区在第二阶段实现了农业绿色发展水平的快速提升。

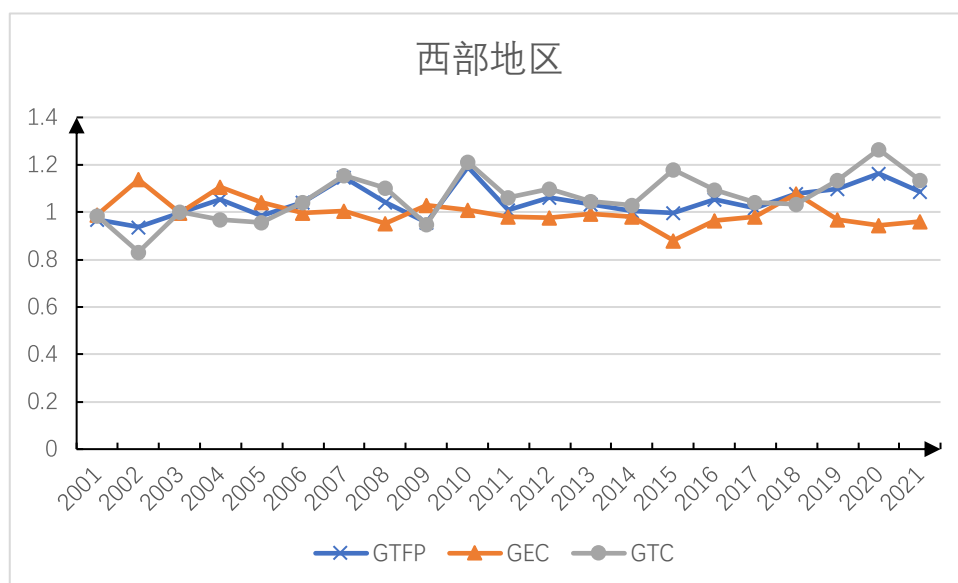


图 3.5 2001-2021 年西部地区的农业绿色全要素生产率及其分解趋势图

2001-2021 年东北地区的农业绿色全要素生产率及其分解趋势图如图 3.6 所示。在研究期内东北地区的年均农业绿色全要素生产率为 1.04，年均技术效率变动指数为 1.003，年均技术进步变动指数为 1.048。这个产区所包含的省份黑龙江、吉林和辽宁是我国重要的农业大省，自然禀赋优越，农业生产机械化水平较高。

东北地区的农业 GTFP 在研究期内整体呈现着“平稳-下降-上升”的变化趋势，在 2001-2008 年期间变动幅度较小但都大于 1，说明在这个阶段东北地区的农业发展平稳且向好。在 2008-2016 年期间，农业绿色全要素生产率不断下降且有三年小于 1，说明这几年东北地区的农业绿色发展水平处于倒退状态，这与罕见的自然灾害以及现代生产投入要素过量，造成大量污染等原因有关。2016-2021 年期间东北地区的农业绿色全要素生产率不断提高，可以看出是由农业技术效率和农业技术进步共同推进的，农业绿色发展良好。

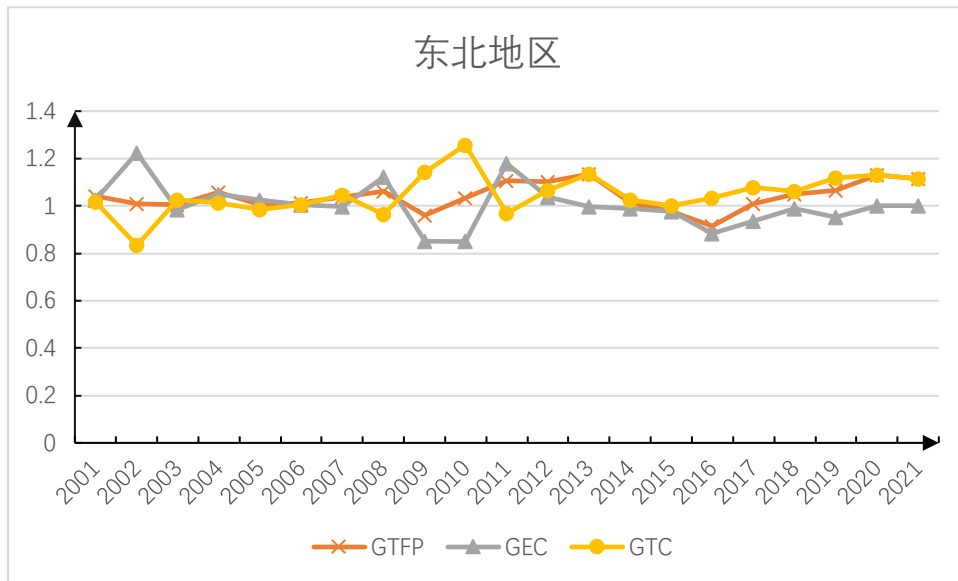


图 3.6 2001-2021 年东北地区的农业绿色全要素生产率及其分解趋势图

4 农业绿色全要素生产率的区域差异分析

农业 GTFP 反应的是在考虑环境效益前提下, 农业生产要素的投入所带来的经济效率。而在不同的空间维度上, 四大地区的自然禀赋、技术水平以及资源的利用程度存在差异, 因而其最终产生的结果即农业绿色全要素生产率也呈现出空间上的差异。我国农业绿色全要素生产率是否存在明显的区域差异? 这种差异能否随着时间的发展而改变呢? 本章节运用 Dagum 基尼系数法来对 2001-2021 年我国农业绿色全要素生产率的区域差异及其来源进行进一步研究, 并采用 σ 收敛分析其时序收敛特征, 构建空间收敛模型对其空间收敛性进行实证分析, 从时间维度和空间维度结合起来对我国农业绿色全要素生产率的收敛性进行分析。

4.1 研究方法

4.1.1 Dagum 基尼系数

关于区域差异的相关研究方法有很多, 如泰尔指数法、赫芬达尔系数法、艾克森指数法、基尼系数等。传统的基尼系数和其他的方法一样无法分解总体差异也无法识别出差异的来源, 因此 1997 年 Dagum 在传统的基尼系数基础上进行进一步改进, 新的 Dagum 基尼系数能够将总体差异分解为区间差异、区内差异和超变密度三个部分, 并能得出这三部分分别对总体差异的贡献率^[72]。其中, 区内差异是指区域内不同单元之间的差异, 在本文中具体指各区域内省市之间的农业 GTFP 的差异; 区间差异是指不同划分地区之间的差异, 在本文中具体指不同区域的农业 GTFP 的差异; 超变密度是分析不同区域存在的样本交叉重叠现象, 这也是 Dagum 基尼系数与其他方法相比的优势之一, 能够降低计算的误差, 提高了结果的科学性和合理性。

本文采用 Dagum 基尼系数法来对我国农业 GTFP 的区域差异以及差异来源进行研究, 具体公式如下:

$$G = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}|}{2n^2 \bar{y}} \quad (4-1)$$

4-1 式中，G 表示我国农业 GTFP 的总体基尼系数，k 表示划分地区的数量，在本文中选为 4；n 表示省市的数量，在本文中即为 31； n_j 和 n_h 分别表示 j 和 h 地区的省市数量， y_{ji} 和 y_{hr} 表示 j 地区 i 省和 h 地区 r 省的农业 GTFP； \bar{y} 表示全国农业 GTFP 的平均值。

$$G_{jj} = \frac{\frac{1}{2\bar{y}} \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_j} |y_{ji} - y_{jr}|}{n_j^2} \quad (4-2)$$

$$G_{jh} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}|}{n_j n_h (\bar{y}_j + \bar{y}_h)} \quad (4-3)$$

$$G_w = \sum_{j=1}^k G_{jj} p_j s_j \quad (4-4)$$

$$G_{nb} = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j s_h + p_h s_j) D_{jh} \quad (4-5)$$

$$G_t = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j s_h + p_h s_j) (1 - D_{jh}) \quad (4-6)$$

式中， G_{jj} 表示地区 j 的基尼系数， G_{jh} 表示地区 j 和地区 h 之间的基尼系数， G_w 表示区内差异的贡献， G_{nb} 表示区间差异的贡献， G_t 表示超变密度的贡献，其中 $G = G_w + G_{nb} + G_t$ ，基尼系数越大说明区域之间的差异越大。

4.1.2 σ 收敛

σ 收敛能够检验我国整体以及不同区域的农业 GTFP 的区域差异是否随着时间的变化而减小，若存在 σ 收敛则说明我国农业绿色全要素生产率的区域差异在减小。具体公式如下所示：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (\ln y_{it} - \overline{\ln y_t})^2}{N}} \quad (4-7)$$

式中，i 表示省份，t 表示年份，N 为省份的个数， y_{it} 表示第 t 年第 i 个地区的农业 GTFP， $\overline{\ln y_t}$ 表示第 t 年时所有省份的农业 GTFP 均值。若第 t+1 年的 σ 值小于第 t 年的 σ 值说明农业 GTFP 趋于 σ 收敛，反之则趋于 σ 发散。

4.1.2 空间 β 收敛

(1) 空间相关性检验

我国各地区的农业 GTFP 可能存在空间相关性, 进行空间相关性检验既可以对我国农业 GTFP 的空间状态进行分析, 也是后续空间模型构建的前提条件。常见的空间相关性检验法有 Moran's I 指数法、Getis'G 指数法等方法, 其中 Moran's I 指数更侧重于地区与相邻地区的相似程度^[73], 本文选用 Moran's I 指数对我国农业 GTFP 的空间相关性进行检验, 其具体的计算公式如下所示:

$$Moran's I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (4-8)$$

式中, n 表示省份的个数, i 和 j 表示省份, y_i 和 y_j 表示第 i 和第 j 地区的农业 GTFP, \bar{y} 表示我国农业 GTFP 的平均值, W_{ij} 是空间权重矩阵, 若两地区相邻则 W_{ij} 等于 1, 不相邻 W_{ij} 等于 0。 S^2 表示我国农业 GTFP 的方差, $S^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 / n$ 。

Moran's I 指数在 $[-1,1]$ 之间取值, 若指数大于 0 时说明存在空间正相关关系, 越大则正相关关系越强烈, 若指数小于 0 时说明存在空间负相关关系, 越小则负相关关系越强烈, 若指数等于 0 时说明不存在空间相关关系。

(2) 空间收敛模型

空间相关性检验中结果显示我国农业 GTFP 存在空间相关性的, 空间因素对农业 GTFP 的收敛性也具有影响, 因此本文将传统的 β 收敛模型与空间面板模型进行结合, 加入空间分析视角, 构建空间收敛模型来对我国农业 GTFP 的收敛性进行研究。传统的 β 收敛模型分为绝对 β 收敛模型和条件 β 收敛模型, 条件 β 收敛模型是在绝对 β 收敛模型的基础上考虑了其他影响农业 GTFP 的相关因素, 将其作为控制变量。本文选取空间滞后模型与传统的 β 收敛模型进行结合, 具体模型如下所示:

$$\ln \left(\frac{y_{i,t+1}}{y_{i,t}} \right) = \alpha + \beta \ln y_{i,t} + \rho \sum_{j=1}^N W_{ij} \ln \left(\frac{y_{j,t+1}}{y_{j,t}} \right) + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{i,t} \quad (4-9)$$

$$\ln\left(\frac{y_{i,t+1}}{y_{i,t}}\right) = \alpha + \beta \ln y_{i,t} + \rho \sum_{j=1}^N W_{ij} \ln\left(\frac{y_{j,t+1}}{y_{j,t}}\right) + \gamma \ln X_{i,t} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{i,t} \quad (4-10)$$

式 4-9 表示绝对 β 收敛的空间滞后模型，式 4-10 表示条件 β 收敛的空间滞后模型。其中， $y_{i,t}$ 和 $y_{i,t+1}$ 表示 i 省份在第 t 年和第 $t+1$ 年时的农业 GTFP， β 为收敛系数， ρ 为空间回归系数， W 为空间权重矩阵， μ 和 η 分别表示空间效应和时间效应， ε 表示随机扰动项， γ 表示控制变量的系数， X 为控制变量。

4.2 变量选取和数据来源

在条件 β 收敛模型中，本文参考已有相关文献^{[74][75]}选取环境污染治理力度、对外开放水平、城镇化水平、创新水平作为控制变量。环境污染治理力度选用各地区的环境污染治理投资额与生产总值的比值表示，对外开放水平选用各地区进出口总额与生产总值的比值表示，城镇化水平采用各地区的城镇人口与总人口之间的比值表示，创新水平选用各地区的国内发明专利申请受理量来表示。

研究数据来源于《中国农业年鉴》、《中国农村统计年鉴》以及全国各省统计年鉴。个别缺失数据使用 Stata16 软件进行插值法处理。

4.3 结果分析

4.3.1 农业绿色全要素生产率的区域差异分析

(一) 全国农业绿色全要素生产率总体差异分析

我国农业绿色全要素生产率的总体差异变化趋势如图 4.1 所示，可以看出我国农业绿色全要素生产率的总体基尼系数呈现波动的先下降后上升的变化趋势，下降速度较平缓但上升时的波动幅度较大，说明我国农业绿色发展水平的区域差异先小幅度地缩小后较快速地扩大。整体来看总体基尼系数在 0.02 至 0.1 之间波动，在研究初期时的 0.036 上升到 2021 年的 0.056，其中在 2008 年达到最低值 0.028，在 2020 年达到最高值 0.092，平均值为 0.046。根据总体基尼系数的波动特征将研究期分为两阶段，第一阶段为 2001 年至 2008 年，第二阶段为

2009年至2021年。第一阶段总体基尼系数较为平缓且呈现出下降的趋势，2008年比2001年下降了22.2%，这个阶段我国农业绿色全要素生产率的总体差异在减小。在第二阶段总体基尼系数波动幅度较强烈且呈现上升的态势，2021年相比2008年增加了一倍，说明这个阶段我国农业GTFP的总体差异在不断增大，农业经济发展区域不平衡问题逐渐显著且有扩大的趋势。

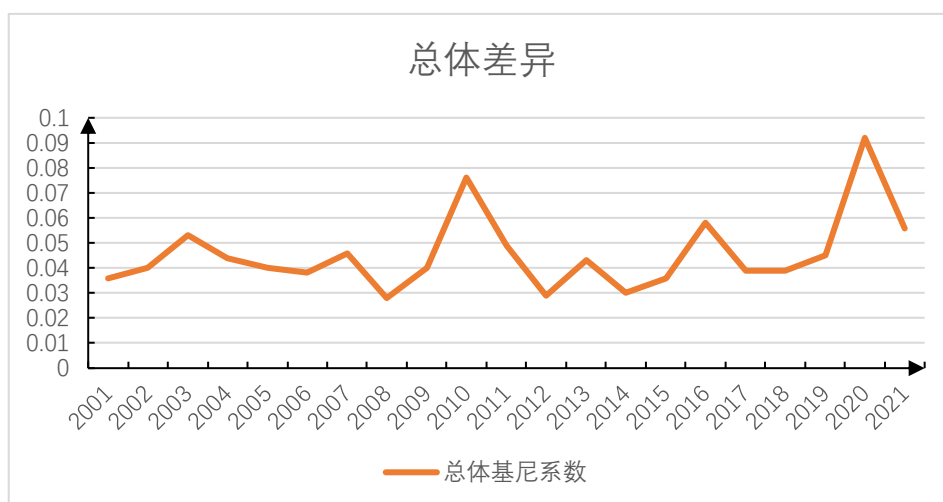


图 4.1 2001-2021 年我国农业绿色全要素生产率的总体差异变化趋势

(二) 农业绿色全要素生产率的区内差异分析

2001-2021 年我国农业绿色全要素生产率的区内差异变化趋势如图 4.2 所示。在研究期内各区域的区内差异平均值分别为:中部地区 (0.076)，东部地区 (0.068)，东北地区 (0.056)，西部地区 (0.043)，这说明中部的农业绿色全要素生产率水平平均差异最大，东部地区次之，西部地区的区内差异最小。在中部地区中湖南、湖北和河南的农业绿色全要素生产率较高，其他省份都在全国排名的后半段，空间非均衡发展现象较为突出。另外中部地区的区内差异在 2015 年前较为稳定，在经过前期的缓慢下降后有平稳上升，但在 2015 年后呈现了波动上升的特征，说明中部地区的区内差异在近些年在不断扩大，发展不平衡现象较为明显。东部地区的区内差异仅次于中部地区，在研究期整体呈现着波动上升的趋势，说明东部地区农业 GTFP 的区域差异在不断扩大，不同省份之间的农业绿色发展水平差距在拉大。东北地区在 2012-2019 年的区内差异要小

于 2001-2011 年的，但在 2019 年后东北地区的区内差异又持续提高。西部地区的区内差异水平是最小的，其变化趋势也较为平缓，说明西部地区大多省份的农业 GTFP 水平较为均衡。

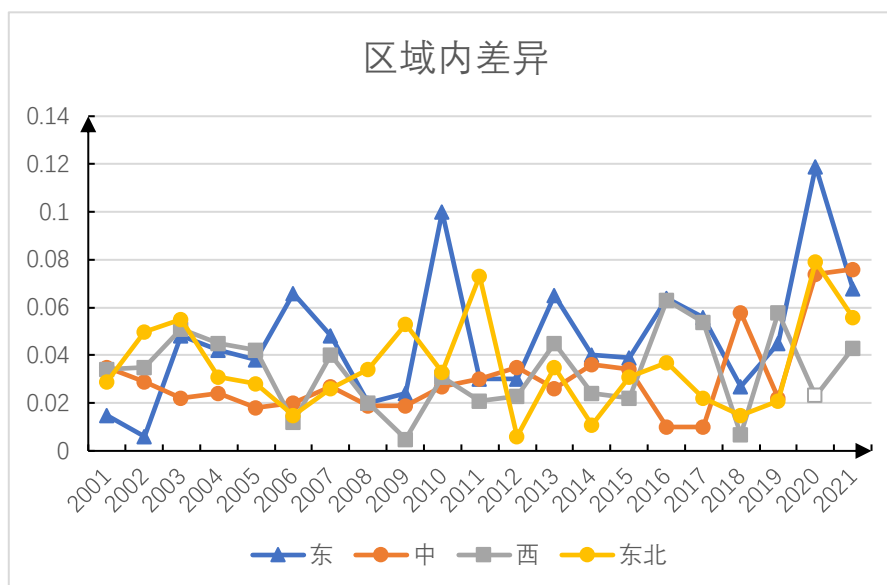


图 4.2 2001-2021 年中国农业绿色全要素生产率的区域内差异变化趋势

(三) 农业绿色全要素生产率的区间差异分析

2001-2021 年我四大区域农业绿色全要素生产率的区间差异如表 4.1 所示。在研究期内四大区域的区间差异平均值分别为：东部-东北（0.051），东部-西部（0.050），东部-中部（0.045），西部-东北（0.041），中部-东北（0.038），中部-西部（0.034），说明东部地区和东北地区之间的农业 GTFP 的平均差异程度最大，其次是东部地区和西部地区之间的差异。中部和东北、中部和西部之间的平均差异水平较近，他们的区间差异水平最小。其中东部-中部和中部-西部之间的差异在研究期内有着上升的特征，说明它们的农业绿色发展水平差异在不断拉大，且有持续拉大的可能。东部-西部、东部-东北、西部-东北之间的差异水平较高并且变化幅度较大，说明这些地区之间的农业 GTFP 存在较大的差异，区域之间的发展不均衡现象比较加突出。而中部与东北地区的区间差异水平较低并且变化幅度较小，中部地区和东北地区中大多省份都是农业大省，他们之间的农业绿色发展水平差异较小。

表 4.1 2001-2021 年中国农业绿色全要素生产率的区域间差异

年份	区间差异					
	东-中	东-西	东-东北	中-西	中-东北	西-东北
2001	0.035	0.046	0.043	0.037	0.035	0.033
2002	0.031	0.029	0.039	0.034	0.044	0.045
2003	0.041	0.056	0.063	0.042	0.05	0.058
2004	0.047	0.053	0.052	0.038	0.031	0.042
2005	0.031	0.042	0.046	0.033	0.033	0.042
2006	0.047	0.043	0.044	0.018	0.02	0.014
2007	0.044	0.057	0.056	0.04	0.038	0.036
2008	0.022	0.026	0.033	0.022	0.029	0.028
2009	0.027	0.044	0.05	0.029	0.042	0.039
2010	0.089	0.089	0.099	0.031	0.048	0.042
2011	0.038	0.034	0.064	0.027	0.056	0.054
2012	0.037	0.035	0.037	0.03	0.028	0.018
2013	0.058	0.069	0.067	0.038	0.035	0.044
2014	0.044	0.041	0.036	0.032	0.026	0.02
2015	0.038	0.033	0.039	0.033	0.039	0.03
2016	0.041	0.065	0.082	0.044	0.059	0.075
2017	0.036	0.063	0.042	0.047	0.019	0.049
2018	0.046	0.021	0.035	0.042	0.052	0.021
2019	0.039	0.053	0.038	0.044	0.023	0.044
2020	0.078	0.083	0.058	0.055	0.048	0.063
2021	0.067	0.067	0.039	0.048	0.043	0.057

(四) 农业绿色全要素生产率的差异来源及其贡献率分析

2001-2021 年我国农业绿色全要素生产率的差异来源及其贡献率如图 4.3 所示。在研究期内我国农业 GTFP 差异的年均贡献率分别为：区内差异（32.03%）、区间差异（42.41%）、超变密度（25.55%）。可以看出区间差异是造成我国农业绿色发展不平衡的主要原因，其贡献率在研究期内呈现为“下降-上升-下降”的变化特征，有 7 年贡献率超过 50%，在 2015 年时甚至达到了 60%。区内差异是造成总体差异的第二来源，其变化幅度不大较为稳定，维持在 25%-35%之间。超变密度的贡献率最小，在研究期内波动幅度较大，整体呈现为“上升-下降-上升”变化趋势，说明样本交叉重叠对总体差异的贡献较小，为了推动我国农业绿色均衡发展，区间差异和区内差异是要重点解决的问题。

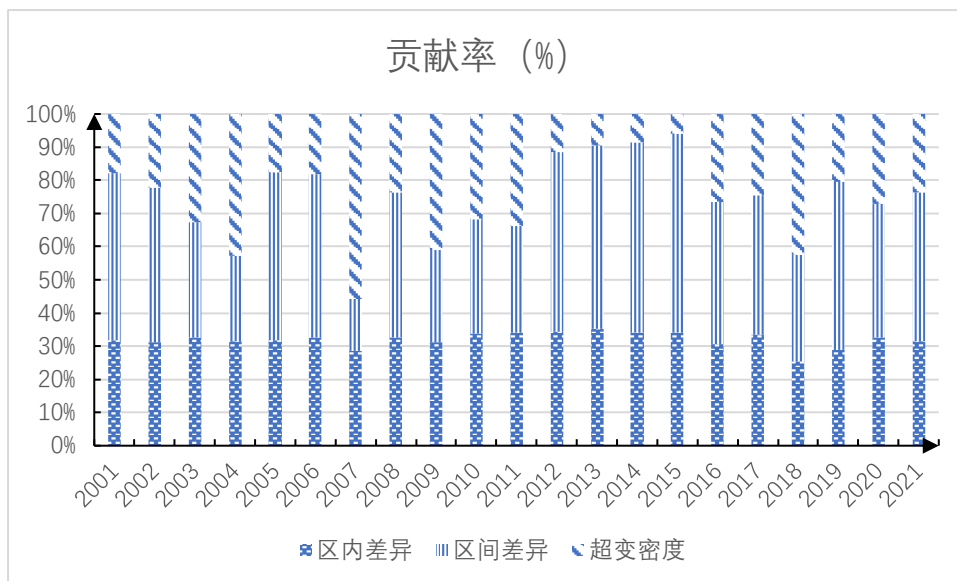


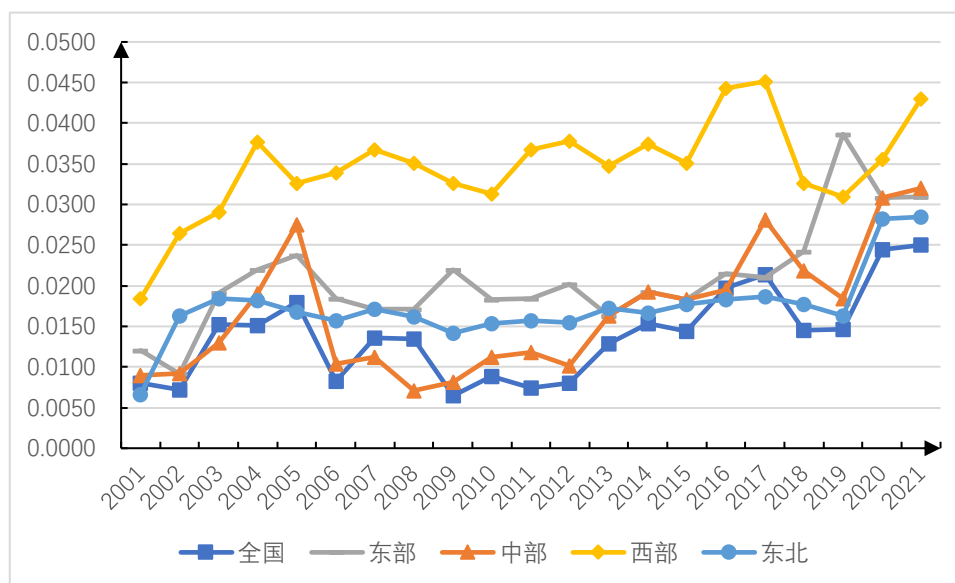
图 4.3 2001-2021 年农业绿色全要素生产率的基尼系数贡献率

4.3.2 农业绿色全要素生产率的时序收敛分析

2001-2021 年我国的农业绿色全要素生产率的 σ 收敛系数结果如表 4.2 所示，从图 4.4 可以更直观地发现全国整体和中部地区的绿色全要素生产率 σ 收敛系数变化趋势在研究期内是相似的，从整体上看它们都呈现着波动上升的态势，除了 2006、2008、2012、2015、2018 年这几个年份的 σ 收敛系数是下降的之外其他年份都是上升的，说明全国整体和中部地区的农业 GTFP 是 σ 发散的。东部和东北地区的农业 GTFP σ 收敛系数在研究期内较为稳定，仅在研究初期和末期较为明显地增长，长期来看是有着上升的趋势，这两个地区的农业 GTFP 没有明显的敛散特征，不存在 σ 收敛。而西部地区的绿色全要素生产率 σ 收敛系数变化趋势在研究期内整体呈现出不断波动的特征，并且波动幅度较大，说明西部地区的农业绿色全要素生产率不存在显著的 σ 收敛趋势。 σ 收敛检验结果说明我国以及四大区域都不存在 σ 收敛，各地区的农业绿色全要素生产率存在着明显的区域差异并且差异没有逐渐缩小反而在扩大，这也与前面的 dagum 基尼系数分析得出的结果相同。

表 4.2 我国各地区农业绿色全要素生产率的 σ 收敛系数

年份	全国	东部	中部	西部	东北
2001	0.0080	0.0120	0.0090	0.0184	0.0066
2002	0.0072	0.0092	0.0092	0.0264	0.0162
2003	0.0152	0.0191	0.0130	0.0290	0.0184
2004	0.0152	0.0220	0.0191	0.0377	0.0181
2005	0.0180	0.0238	0.0276	0.0326	0.0167
2006	0.0082	0.0184	0.0104	0.0339	0.0156
2007	0.0136	0.0172	0.0112	0.0368	0.0170
2008	0.0135	0.0171	0.0071	0.0351	0.0162
2009	0.0065	0.0219	0.0082	0.0326	0.0141
2010	0.0089	0.0182	0.0112	0.0313	0.0153
2011	0.0075	0.0185	0.0118	0.0367	0.0157
2012	0.0081	0.0202	0.0102	0.0378	0.0154
2013	0.0129	0.0162	0.0162	0.0347	0.0172
2014	0.0153	0.0193	0.0193	0.0375	0.0166
2015	0.0144	0.0183	0.0183	0.0351	0.0177
2016	0.0197	0.0214	0.0194	0.0443	0.0183
2017	0.0213	0.0211	0.0281	0.0451	0.0186
2018	0.0145	0.0242	0.0218	0.0326	0.0176
2019	0.0146	0.0386	0.0184	0.0310	0.0162
2020	0.0245	0.0309	0.0309	0.0356	0.0282
2021	0.0250	0.0310	0.0320	0.0430	0.0284

图 4.4 我国各地区农业绿色全要素生产率 σ 收敛系数变化趋势

4.3.3 农业绿色全要素生产率的空間收敛分析

(1) 空間自相关分析

2001-2021 年我国农业 GTFP 的莫兰指数结果如表 4.3 所示, 可以发现除了 2009 年、2013 年和 2015 年的莫兰指数不显著之外, 其他年份的莫兰指数都分别在 10%和 5%的显著性水平下显著并且都大于 0, 说明农业绿色全要素生产率高的地区相互临近, 全要素生产率较低的地区也与同样低的地区相邻, 整体上来看我国农业绿色全要素生产率是存在显著的空间正相关关系的。从时间趋势来看, 我国农业绿色全要素生产率的莫兰指数呈现了不断波动的特点, 在 2015 年前波动幅度强烈, 之后波动幅度减缓并且呈现不断攀升的态势, 说明在 2015 年后我国各地区的农业 GTFP 的空间相关性不断提升。

表 4.3 2001-2021 年我国农业绿色全要素生产率的莫兰指数结果

年份	Moran's I	Z 值	P 值
2001	0.096	0.512	0.03
2002	0.01	0.206	0.041
2003	0.043	0.069	0.047
2004	0.121	0.705	0.024
2005	0.006	0.243	0.04
2006	0.178	1.246	0.01
2007	0.14	1.03	0.015
2008	0.041	0.058	0.047
2009	0.029	0.671	0.251
2010	0.043	0.169	0.033
2011	0.194	1.638	0.051
2012	0.011	0.192	0.024
2013	0.055	0.181	0.428
2014	0.118	0.739	0.023
2015	-0.005	0.347	0.364
2016	0.03	0.039	0.048
2017	0.003	0.285	0.088
2018	0.065	0.837	0.02
2019	0.041	0.053	0.047
2020	0.063	0.278	0.039
2021	0.133	0.149	0.03

(2) 空間 β 收敛分析

在前面对我国农业 GTFP 进行空间相关性检验时发现是存在显著的空间相关性的, 所以在分析其收敛特征时需要将空间因素考虑进去, 否则收敛的实证

结果会出现误差，准确性不够。

我国农业绿色全要素生产率的 β 收敛模型结果如表 4.4 所示，从结果上看我国农业绿色全要素生产率的 β 收敛系数都在 1%的置信水平下显著为负，即在考虑了空间因素后我国农业绿色全要素生产率存在了显著的 β 收敛特征。说明我国农业绿色全要素生产率的区域差异在研究期内是在减小的，农业绿色全要素生产率较低的省份存在“追赶效应”，相比之下具有更快的增速，各地区的农业 GTFP 呈现了趋同化发展。此外，空间相关系数 ρ 在 1%的置信水平下显著为正，说明空间因素对我国农业绿色发展是存在正向的促进效应的，即当某一省份的农业绿色全要素生产率具有优势时，对周边省份的农业 GTFP 的发展是有带动作用的。原因可能是绿色创新技术的应用、农业基础设施等在临近的省份之间进行了共享，从而推动了各省份间农业 GTFP 的协同发展。通过绝对收敛模型和条件收敛模型的结果可以发现，在加入了环境污染治理力度、对外开放水平、城镇化水平和创新水平这些控制变量后，空间条件 β 收敛系数的绝对值比空间绝对 β 收敛系数的绝对值更大，说明在考虑了社会、经济、制度等方面的因素后我国农业绿色全要素生产率的收敛速度加快了。

我国各区域农业绿色全要素生产率空间绝对 β 收敛结果显示四大区域的 β 系数都为负，东部、中部、西部地区的系数在 1%的置信水平下显著，说明这三个区域的农业 GTFP 存在显著的 β 收敛特征，这些区域中农业绿 GTFP 较低的省份具有较快的增速追赶全要素生产率高的省份。东北地区的 β 系数虽然为负值，但是没有通过显著性水平检验，说明东北地区农业绿色全要素生产率较低的省份的追赶现象并不明显。四大区域的空间相关系数 ρ 在不同的置信水平下显著为正，说明空间因素对所有区域的农业绿色发展是有正向促进效应的。

各区域农业绿色全要素生产率空间条件 β 收敛结果显示四大地区的 β 系数都在 1%的置信水平下显著为负，说明四个区域的农业 GTFP 存在条件 β 收敛。相比于绝对 β 收敛系数，中部地区和东北地区的空间条件 β 收敛系数的绝对值更大，说明社会、经济等方面的因素能够加快中部和东北地区的农业 GTFP 的收敛速度。而东部和西部地区的空间条件 β 收敛系数的绝对值更小，说明社会、经济等方面的因素并不利于加快这两个区域的农业 GTFP 的收敛速度，反而会影响各省份之间的农业绿色发展协同化。

表 4.4 2001-2021 我国农业绿色全要素生产率空间绝对 β 收敛结果

变量	全国	东	中	西	东北
β	-1.014*** (-21.21)	-0.752*** (-7.63)	-0.849*** (-8.75)	-1.132*** (-15.16)	-0.895 (-2.86)
ρ	0.163*** (-3.63)	0.201* (-1.78)	0.158*** (-3.51)	0.063** (-2.34)	0.056* (-1.96)
sigma2	0.014***	0.007***	0.006***	0.007***	0.006***
Observations	600	200	120	220	60
R-squared	0.426	0.366	0.442	0.547	0.284
Number of id	30	10	6	11	3

Standard errors in brackets * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

表 4.5 2001-2021 我国农业绿色全要素生产率空间条件 β 收敛结果

变量	全国	东	中	西	东北
β	-1.031*** (-21.54)	-0.701*** (-7.14)	-0.859*** (-8.86)	-1.040*** (-13.29)	-1.144*** (-15.31)
ρ	0.158*** (-3.51)	0.096** (0.041)	0.058 (0.012)	0.045** (-0.34)	0.019* (-0.096)
sigma2	0.014***	0.008***	0.006***	0.018***	0.007***
Observations	600	200	120	220	60
R-squared	0.359	0.397	0.465	0.564	0.346
Number of id	30	10	6	11	3

Standard errors in brackets * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

通过空间 β 收敛分析可以发现我国各区域的农业绿色全要素生产率都存在 β 收敛特征，说明不同区域的农业绿色全要素生产率会随着时间的推移不断呈现出趋同化的发展，另外社会、经济、空间因素等也会对各区域的农业协调绿色发展起到一定作用，为实现我国农业区域协调绿色发展提供一定思路。

5 农业绿色全要素生产率的影响因素分析

在前面章节对我国农业绿色 GTFP 的区域差异进行了分析，我们得出我国农业绿色全要素生产率是存在区域差异的，并且社会、经济等方面的因素是会影响我国农业绿色全要素生产率长期发展的结论，但主要的影响因素以及它们的影响作用方向、大小如何需要进一步深入讨论。因此本章节在相关文献的基础上选取影响因素并建立空间面板模型进行研究，为推动我国农业 GTFP 提高提供一定的理论参考。

5.1 农业绿色全要素生产率的影响因素分析

绿色全要素生产率是涵盖经济效率和环境约束双重含义的一个指标，所以在选择影响因素时要从这两方面进行筛选，在已有文献的基础上，本文认为农业 GTFP 主要受以下几个因素影响：

(1) 经济发展水平

经济发展水平是农业发展的基础，随着经济发展水平的不断提高，一定会更多的资金流向农业发展中，如农业生产技术水平提高，完善基础设施等方面，这些都将带动农业生产效率的提高，减少污染的排放，即会正向影响农业 GTFP。但经济发展水平提高也会提高农业现代化水平，而农业现代化水平提高意味着农业机械化投入和化学投入的增加，环境污染随之而来，因此经济发展水平对农业绿色全要素生产率的影响方向和大小还需要检验。

(2) 对外依存度

一个国家的对外开放水平越高，资源配置水平越高。在与其他国家的贸易往来中，通过输出本国生产过剩的产品，刺激本国产品的扩大再生产，推动经济发展；在输入比较劣势的产品过程中，增加了学习先进生产技术和和管理经验的契机，都会推动本国的农业绿色全要素生产率的提高。但高的对外开放水平也会导致“污染避难所”的现象产生，本国的农业生产规模扩大的同时也会消耗更多的生产资源，导致更多的环境污染，因此对外开放水平对农业 GTFP 的影响无法确定。

（3）城镇化水平

城镇化能够聚集生产要素，深化分工合作，继而减少生产成本，提高农业生产的效率。城镇化水平的提高也会带动经济的发展，提升居民的生活品质，拉动对绿色农产品的需求，从而倒逼农业的绿色生产水平。但城镇化不断发展也会导致农村劳动力大量流失，耕地面积也会在城镇化进程中被挤占，出现耕地非粮化的现象，这些都会降低农业绿色全要素生产率，因此城镇化水平对农业绿色全要素生产率的影响作用也尚需考证。

（4）农业财政支出

我国是一个农业大国，农业发展和粮食安全问题一直是国家发展的重点关注领域，一个地区越重视农业的绿色发展，该地区的农业财政支出越多。农业财政支出有利于农业基础设施的完善，农业科技水平的提高，生产资料的购买，对当地的农业绿色全要素生产率的提高具有正向推动作用。但是农业财政支出也会影响农户的生产行为，可能存在对农业生产的干预和误导作用，如农民大量购买化肥、农药等生产材料，增加了污染物的排放，并不利于农业绿色全要素生产率的提高。

（5）农业技术水平

农业技术水平是影响农业 GTFP 的重要因素，农业技术水平能够推动农业生产效率的提高，但在早期技术研发时需要投入大量的人力物力，但应用到实际生产时，其带来的产出是否能够与投入水平所匹配对并对农业 GTFP 产生正向作用需要进一步的研究。

5.2 变量选取和数据来源

5.2.1 变量选取

参考已有文献，本文选择人均 GDP 作为衡量经济发展水平的指标，并进一步以 2000 年不变价为基期进行平减调整，记为 Rgdp。参考郭海红的方法用各地区农业进出口总额与农业总产值之间的比值表示对外依存度^[16]，并进行指数平减，记为 OP。采用各地区的城镇人口与总人口之间的比值表示城镇化水平，记为

Urb。选用农业财政支出与财政总支出之间的比值来表示，记为 Fis。选用农业机械总动力与农业从业人员数之间的比值来表示，记为 AT。

5.2.2 数据来源

被解释变量农业绿色全要素生产率由前面章节测算得出，解释变量来源于《中国统计年鉴》、《中国农村统计年鉴》以及全国各省统计年鉴。个别缺失数据使用 Stata16 软件进行插值法处理。

通过以上分析，相关指标的描述性统计结果如表 5.1 所示。

表 5.1 描述性统计结果

变量	指标	平均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	Agtfp	1.046	0.453	0.963	1.181
	Rgdp	0.998	0.655	0.245	3.973
	OP	0.283	0.326	0.031	1.563
解释变量	Urb	0.587	0.158	0.312	0.985
	Fis	0.125	0.061	0.006	0.334
	AT	0.045	0.03	0.011	0.237

5.3 模型设定

常见的空间模型有空间杜宾模型、空间误差模型、空间滞后模型，他们各有各的特征和适用性。在建立空间面板模型之前需要分别进行 LM 检验、LR 检验、Wald 检验等相关检验来选择合适的模型。

本章节选择了 LM 检验、LR 检验、Wald 检验、Hausman 检验来对具体模型选择进行检验，检验结果如表 5.2 所示。LM 检验、LR 检验和 Wald 检验结果显著，说明要拒绝原假设即存在空间滞后项和空间误差效应，应该选择空间杜宾模型。Hausman 检验结果显示应选择固定效应模型，因此本文构建如下模型：

$$Agtfp_{it} = \rho \sum_{j=1}^N W_{ij} \times Agtfp_{jt} + \beta X_{it} + \theta \sum_{j=1}^N W_{ij} \times X_{jt} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{jt}$$

$$\varepsilon_{it} = \delta \sum_{j=1}^N W_{ij} \varepsilon_{jt} + \xi_{it} \quad (5-1)$$

其中, $Agtfp_{it}$ 表示 i 省份在第 t 年的农业 GTFP, ρ 为空间自回归系数, W 为空间权重矩阵, β 表示解释变量的系数即对 $Agtfp$ 的影响系数, X 为解释变量, μ 和 λ 分别表示空间效应和时间效应, ε 表示随机扰动项。

表 5.2 相关模型检验结果

统计量	数值	p 值
LM-spatial lag	2.01**	0.05
LM-spatial error	1.697*	0.091
LR-spatial lag	14.98***	0.001
LR-spatial error	15.8***	0.008
Wald-spatial lag	10.7***	0.001
Wald-spatial error	8.2**	0.07
Hausman	15.35***	0.001

Standard errors in brackets * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

5.4 结果分析

5.4.1 基准回归结果分析

模型的回归结果如表 5.3 所示, 模型 1-3 都显示人均生产总值的系数显著为正, 说明经济发展对农业生产技术的提高、基础设施的完善等方面正向作用更大, 即经济发展水平的提高能够有效带动我国农业 GTFP 的提高。模型 2 和 3 显示对外依存度的系数显著为负, 说明我国的对外开放水平程度越高, 反而不利于农业 GTFP 的提高, 这可能是因为对外贸易推动了我国农业生产规模扩大, 但并没有大幅度提高农业绿色生产技术水平, 导致污染大量增加抑制农业 GTFP 的提高。模型 1-3 结果显示城镇化水平的系数为正, 因为城镇化水平提高一方面能够更好地配置生产要素, 降低生产成本, 一方面能够推动经济的发展, 改变居民的观念, 增加对绿色产品的需求, 从而带动农业 GTFP 的增加。模型 1-3 结果都显示农业财政支出的系数显著为正, 说明国家对农业越重视, 扶持力度越大越有利于农业绿色全要素生产率的提高。模型 1 和 3 结果显示农业技术水平的系数显著为正, 说明农业技术水平通过提高农业生产效率, 降低生产投入减少污染物的排放, 推动着农业 GTFP 的增加。三个模型的空间自回归系数都通

过了显著性检验，也说明我国农业 GTFP 存在显著的空间效应。

表 5.3 空间杜宾模型的回归结果

var	SDM 时间固定 (1)	SDM 空间固定 (2)	SDM 双向固定 (3)
Rgdp	0.069*** (3.67)	0.063*** (3.88)	0.073*** (3.71)
OP	0.012 (-0.44)	-0.124** (-1.86)	-0.152*** (-1.54)
Urb	0.155 (-3.83)	0.263* (-1.11)	0.371** (-1.61)
Fis	0.386** (-2.71)	0.363*** (-2.37)	0.443** (-0.269)
AT	0.017 (-0.55)	0.035** (-2.09)	0.028* (-0.39)
rho	0.59*** (6.87)	0.66*** (9.65)	0.62*** (8.55)
Sigma2	0.169*** (1.55)	0.058*** (2.77)	0.179*** (0.023)
R-squared	0.372	0.446	0.586
Log-L	368	504	577

Standard errors in brackets * p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

5.4.2 影响效应分析

上述的回归模型结果不能全面解释影响因素对农业绿色全要素生产率的作用关系，因此本文将进一步将影响因素的空间效应进行分解为直接效应、间接效应和总效应，结果如 5.4 所示。

经济发展水平的直接效应系数为 0.079，间接效应的系数为-0.063，总效应系数为 0.016 通过了显著性检验，说明当地的经济水平提高对本地的农业 GTFP 有正向促进作用，但对其他地区则有着负向作用。因为经济发展水平高的地区对本地的农业绿色发展更加重视并投入更多资本、技术等，同时也会产生极化作用，吸收临近地区的人力、资金等，对他们的农业绿色发展带来压力。对外依存度的直接效应显著为负，系数为-0.157，间接效应显著为正，系数为 0.284，总效应为正，系数为 0.127，说明对外开放水平的提高所带来的知识、技术正向溢出效应并不能抵消所带来的资源消耗、污染增加的负面效应，从而对本地区的农业绿色全要素生产率起到抑制作用，而对其他地区有着正向推动

作用。城镇化对农业 GTFP 的间接效应和总效应都显著为正，系数为 0.372 和 0.307，直接效应并不显著且系数为负。城镇化水平提高能够更有效地配置要素和资源，完善基础设施建设，推动农业的发展。但由于户籍制度的原因，城镇化的发展和扩张也会导致农村劳动力大量外流，土地非粮化现象丛生，削弱其带来的积极作用。农业财政支出的直接效应和总效应显著为正，系数为 0.376 和 0.299，间接效应为负但不显著，说明农业财政支出通过对农业生产等方面进行资金上的扶持是能够提高当地的农业 GTFP。农业技术水平的直接效应、间接效应和总效应是显著为正的，系数分别是 0.019、0.055 和 0.074，说明农业技术水平的提高不仅会促进本地的农业 GTFP 也会对其他地区有正向的溢出作用。

表 5.4 全国的空间杜宾模型空间效应分解结果

var	直接效应	间接效应	总效应
Rgdp	0.079*** (-1.67)	-0.063** (-1.88)	0.016** (-1.71)
OP	-0.157*** (-1.44)	0.284** (-1.86)	0.127** (-1.54)
Urb	-0.055 (-0.83)	0.372** (-1.51)	0.307** (-1.71)
Fis	0.376* (-1.71)	-0.077 (-0.37)	0.299* (-2.69)
AT	0.019* (-1.55)	0.055*** (-2.57)	0.074* (-1.93)

Standard errors in brackets * p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

为了更近一步探究影响因素在不同的区域是如何影响农业绿色全要素生产率的，本文对四大区域分别进行了空间效应估计，结果如表 5.5 和 5.6 所示。

经济发展水平对四大区域的直接效应和总效应的系数不同但都显著为正，间接效应并不显著，其中东部地区的直接效应和总效应最大，西部地区最小。说明经济发展水平的提高对不同区域的农业 GTFP 有着不同程度的正向促进作用，但对邻近地区的溢出效应并不明显。对外依存度对东部地区和西部地区的直接效应显著为负，中部地区和东北地区的直接效应为负但不显著，对所有区域的间接效应都显著，其中东部、西部和东北地区的系数为正，中部地区系数为负。说明对外开放水平越高会抑制各区域农业绿色全要素生产率的提高，在

东部、西部和东北地区的对外开放水平提高会带动周边地区的农业绿色全要素生产率的提高，中部地区则没有对周边地区的拉动性。城镇化水平在中部地区的效应都不显著，对东部地区有显著为正的间接效应和总效应，对西部地区的有显著的负向直接效应，对东北地区有显著为正的直接效应和总效应。这说明城镇化水平对农业 GTFP 的影响具有明显的区域异质性，也是造成区域差异的重要原因，为我们农业绿色协调发展规划提供一定的现实参考。

农业财政支出对四个区域的直接效应都显著为负，其中西部地区的直接效应最大，中部地区的最小，说明农业财政支出虽然加大了对农业发展的资金支持，但可能存在对农业生产的干预和误导作用，如农民大量购买化肥、农药等化学材料，增加了污染物的排放，并不利于农业绿色全要素生产率的提高。对东部地区的间接效应显著为正，其他地区的间接效应不显著，说明东部地区的财政支出对邻近地区农业 GTFP 的提高有拉动作用，但其他地区的间接效应不明显。农业技术水平对所有区域的直接效应和间接效应都显著为正，其中西部地区的直接效应最大，东部地区的最小，西部地区的间接效应最大，东北地区的最小，说明农业技术水平的提高能够带动所有地区以及临近地区的农业绿色全要素生产率的增加。

表 5.5 各区域的空间杜宾模型空间效应分解结果

var	东			中		
	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应
Rgdp	0.163*** (-1.38)	-0.02 (-0.29)	0.161* (-1.97)	0.155*** (-1.17)	0.02 (-0.38)	0.157*** (-1.59)
OP	-0.054* (-1.36)	0.385** (-1.23)	0.231** (-1.18)	-0.057 (-1.34)	-0.048* (-0.55)	-0.105 (-1.37)
Urb	-0.143 (-1.41)	0.973*** (-1.57)	0.83** (-1.13)	0.045 (-0.58)	0.135 (-0.94)	0.18 (-1.85)
Fis	-0.607*** (-1.17)	0.178** (-1.38)	-0.429** (-2.34)	-0.246* (-1.61)	-0.574 (-2.26)	-0.82** (-3.63)
AT	0.045* (-1.52)	0.057* (-1.58)	0.102 (-0.39)	0.049*** (-1.18)	0.029* (-1.09)	0.078* (-0.96)

Standard errors in brackets * p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

表 5.6 各区域的空间杜宾模型空间效应分解结果

var	西			东北		
	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应
Rgdp	0.084*** (-1.71)	-0.015 (-0.32)	0.069* (-1.79)	0.146*** (-1.39)	0.03 (-0.46)	0.149*** (-1.47)
OP	-0.197** (-1.54)	0.285* (-2.29)	0.088 (-0.56)	0.055 (-1.34)	0.048* (0.55)	0.103 (-0.37)
Urb	-0.078* (-1.51)	0.065 (-1.22)	-0.013 (-0.37)	0.047*** (-0.46)	0.038 (-0.98)	0.085** (-2.71)
Fis	-0.893*** (-1.49)	0.301 (-0.70)	-0.592 (-1.78)	-0.32*** (-1.36)	-0.019 (-0.09)	-0.339* (-1.93)
AT	0.084** (-1.13)	0.075* (-2.03)	0.159 (-0.51)	0.022** (-1.18)	0.019* (-0.52)	0.041* (-0.09)

Standard errors in brackets * p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

6 结论、建议与展望

6.1 研究结论

本文使用多种研究方法对 2001-2021 年我国农业绿色全要素生产率的区域差异及其影响因素进行研究，首先构建相关指标体系，利用 SBM—GML 模型对我国各地区的农业 GTFP 进行测算分析，其次运用 Dagum 基尼系数对我国的区域差异进行测度，并进一步来探讨区域差异的来源。采用 σ 收敛和空间 β 收敛模型从时间和空间两个视角下研究我国农业 GTFP 的收敛性特征，最后通过建立空间杜宾模型探究影响我国农业 GTFP 的主要因素及其效应。根据以上研究，本文可以得出以下主要结论：

(1) 在研究期内我国农业绿色全要素生产率的平均值为 1.046，年平均增长率为 1.078%，根据变化特征可以将研究期分为“波动上升-稳定且轻微下降-稳步上升”三个阶段。除了西藏小于 1 之外其他省份都大于 1，但高于全国整体水平的省份只有 9 个。东部地区的年均农业 GTFP 为 1.037，技术进步是主要决定因素。中部地区的年均农业 GTFP 为 1.048，其前期主要由农业技术进步驱动，后面由农业技术效率驱动。西部地区的年均农业 GTFP 为 1.044，主要依靠农业技术进步驱动，而农业技术效率只在研究早期驱动绿色全要素生产率的提高。东北地区的年均农业 GTFP 为 1.04，整体呈现着“平稳-下降-上升”的变化趋势。

(2) 我国农业绿色全要素生产率的总体基尼系数呈现波动的先下降后上升变化趋势，下降速度较平缓但上升时的波动幅度较大，说明我国农业绿色发展水平的区域差异先小幅度地缩小后较快速地扩大。中部地区的农业绿色全要素生产率水平平均差异最大，东部和东北地区次之，西部地区的区内差异最小。东部地区和东北地区之间的差异程度最大，其次是东部地区和西部地区之间的差异。中部和东北、中部和西部之间的平均差异水平较近，他们的区间差异水平最小。区间差异是造成我国农业绿色发展不平衡的主要原因，区内差异是造成总体差异的第二来源。 σ 收敛检验结果说明我国以及四大区域都不存在 σ 收敛，各地区存在着明显的区域差异并且差异呈现扩大趋势。我国农业 GTFP 是存在空间相关性的，空间因素也对农业 GTFP 的收敛性具有影响作用。全国和各区

域都存在明显的 β 收敛特征，但不同区域的收敛速度不同。

(3) 通过分析空间杜宾模型结果,发现经济发展水平、城镇化水平、农业财政支出和农业技术水平对我国的农业绿色全要素生产率有着正向推动作用,而对外依存度起抑制作用。经济发展水平、农业财政支出对我国农业绿色全要素生产率具有显著的直接效应,城镇化水平有显著的间接效应,对外依存度和农业技术水平的直接效应和间接效应都显著。在对不同区域的分析时发现各影响因素对农业绿色全要素生产率增长有着明显的空间异质性。

6.2 政策建议

随着农业生产的现代化程度也在不断提高,其产生的环境污染也逐渐严重。此外我国幅员辽阔,各地区的农业生产资源禀赋和社会经济条件等方面存在着较大的差异,农业经济发展的区域不平衡问题明显,不利于我国农业经济的协调发展。因此本文在研究后提出以下几个政策建议:

(1) 积极鼓励农业技术创新,提升技术效率水平

技术进步是驱动农业 GTFP 增长的主要动力,也是农业增产增收的重要保障。一方面既要传统农业生产技术进行改造升级,使其符合当前生产需要,还要创新农业绿色生产技术,如绿色育种技术、精准灌溉、无人机施肥药、有机肥培育技术、农业废料回收等,减少农业污染。另一方面既要优化传统农业生产模式,还要积极探索更加新进科学的农业生产模式,如智慧农业、“光伏+农业”、“新能源+农业”等模式可以极大促进农业绿色生产。在鼓励农业技术创新的同时提升技术效率水平。由研究结论可知,技术效率阻碍了农业 GTFP 的提高,因而要积极推广农业绿色育种技术和科学的耕作方式,提高农业管理水平,优化各种农业生产要素的配置组合以提高要素的利用效率,促进技术效率的提升。

(2) 破解要素流动障碍,加强区域间的交流合作

我国各省际间、不同区域间的农业 GTFP 存在着明显的空间差异,并且空间因素对农业 GTFP 的增长以及收敛性都有着显著的影响作用。而目前我国各地区因户籍制度、行政区划壁垒等因素形成了影响资本、劳动力、土地等生产

要素自由流动的障碍，从而使得生产成本增加、正向的空间溢出效应减弱，无法推动区域间的农业绿色发展协同化。因此首先完善土地流转制度、提高农业现代化基础设施水平，推动农业现代化、规模化生产，提高要素配置效率，降低生产成本。其次加强各地区的农业绿色技术、高级人才等的交流和合作，弱化行政边界，破解高级技术、人才的流动壁垒，推动各地区协同合作、优势互补，充分发挥农业绿色全要素生产率较高地区的溢出效应，促进全要素生产率较低地区的追赶效应。最终提高各地区的农业绿色全要素生产率水平，缩小各地区之间的差异，共同实现我国农业绿色发展、区域协调发展的目标。

（3）建立绿色导向财政支出体系，引导农民绿色生产

农业财政支出虽然加大了对农业发展的资金支持，但可能存在对农业生产的干预和误导作用，如农民大量购买化肥、农药等化学材料，增加了污染物的排放，不利于农业 GTFP 的提高。因此需要建立合理、以绿色为导向的财政支农体系，引导农民进行绿色生产。传统的生产模式是以提高产出为目标，大量投入现代生产资料，并不考虑农业生产行为的负外部性。但低碳化的生产方式比传统生产方式的生产成本高，如有机化肥的价格就比普通化肥高，农业废弃物的合理回收处理等费用支出，因此农户向绿色低碳的生产方式转换需要相应的财政激励来促进。对生产低碳化的农户进行补贴，能够提高农户的保护环境意识，激励他们进行绿色生产。

（4）因地制宜发挥比较优势，统筹规划区域农业发展

不同因素对我国的农业 GTFP 的影响作用具有明显的区域异质性，不同功能区的产业结构、资源禀赋、发展定位以及区域分工角色不同，因此在提高农业 GTFP 的路径选择上充分考虑区域特殊性，因地制宜地发挥各区域的比较优势，提高各地区的农业 GTFP。如中部地区和东北地区大多地势平坦，自然条件较适宜农业发展，应积极推动其大面积的规模化生产提高当地的经济水平。不断增加高新技术的应用，采用各类绿色能源替代化石能源，保障农业发展的质和量。东部地区土地非农化、劳动力成本高、大量投入化石能源等问题严重。应注重农业绿色科技的创新和应用，积极推动数字农业、智慧农业的发展，提高农业能源生产效率，主动向高效绿色的生产模式转变。西部地区的农业财政支出是主要阻碍其农业 GTFP 增长的因素，应将绿色发展理念纳入，调整财政

支出方向，把资金投入转向绿色技术的研发和应用上，积极开展农业知识培训，提升当地农业从业者的素质水平和生产技能。

6.3 研究不足及展望

本文使用 SBM-GML 模型、Daugm 基尼系数、空间收敛模型、空间杜宾模型等方法对 2001-2021 年我国的农业绿色全要素生产率的测算、区域差异、收敛性及影响因素进行了研究，得到了一些研究成果，但仍然存在了一些不足和未能解决的问题需要未来进一步进行研究。首先本文研究的仅是以种植业为代表的狭义农业，不包括林业、牧业以及渔业，而它们也有着重要研究意义，所以期望在未来的研究中对广义农业进行进一步的扩充研究。其次在农业发展过程中产生的非期望产出不仅有碳排放，还包括面源污染、水资源污染等问题，而本文仅考虑了碳排放问题，因此有待进一步扩充分析。

参考文献

- [1] 高鸣, 张哲晰.碳达峰、碳中和目标下我国农业绿色发展的定位和政策建议[J].华中农业大学学报(社会科学版),2022,(01):24-31.
- [2] 董红敏, 李玉娥, 陶秀萍等.中国农业源温室气体排放与减排技术对策[J].农业工程学报, 2008, 24 (10): 269-273.
- [3] 张晓萱,秦耀辰,吴乐英,马晓哲.农业温室气体排放研究进展[J].河南大学学报(自然科学版),2019,49(06):649-662+713.
- [4] Hall E R,Jones I C. Why Do Some Countries Produce So Much More Output Per Worker Than Others?[J]. The Quarterly Journal of Economics,1999,114(1).
- [5] Solow R M.Technical Change and Aggregate Production Function[J].Review of Economics&Statistics,1957,(3): 312-320.
- [6] Fan S. Production and productivity growth in Chinese agriculture: new measurement and evidence[J]. Food Policy,1997,22(3).
- [7] McMillan J,Whalley J,Zhu L. The Impact of China's Economic Reforms on Agricultural Productivity Growth[J]. Journal of Political Economy,1989,97(4).
- [8] 周端明.技术进步、技术效率与中国农业生产率增长——基于 DEA 的实证分析[J].数量经济技术经济研究,2009,26(12):70-82.
- [9] Battese E G,Coelli J T. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data[J]. Empirical Economics,1995,20(2).
- [10] Kumbhakar C S,Denny M,Fuss M. Estimation and decomposition of productivity change when production is not efficient: a panel data approach[J]. Econometric Reviews,2000,19(4).
- [11] 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,No.177(05):24-33.
- [12] 杜江,王锐,王新华.环境全要素生产率与农业增长:基于 DEA-GML 指数与面板 Tobit 模型的两阶段分析[J].中国农村经济,2016(03):65-81.
- [13] 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.
- [14] 王宝义,张卫国.中国农业生态效率的省际差异和影响因素——基于1996~2015年31个省份的面板数据分析[J].中国农村经济,2018,No.397(01):46-62.
- [15] 严先锋,王辉,黄靖.绿色转型视角下地区农业发展与干预机制研究——基于农业绿色全要素生产率的分析[J].科技管理研究,2017,37(21):253-260.
- [16] 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.
- [17] Thijssen G. Econometric Estimation of Technical and Environmental Efficiency: An Application to Dutch Dairy Farms[J]. American Journal of Agricultural Economics,1999,81(1).
- [18] Murty S,Russell R R,Levkoff B S. On modeling pollution-generating technologies[J]. Journal of Environmental Economics and Management,2012,64(1).
- [19] 薛建良,李秉龙.基于环境修正的中国农业全要素生产率度量[J].中国人口·资源与环境,2011,21(05):113-118.
- [20] 李兆亮,罗小锋,薛龙飞等.中国农业绿色生产效率的区域差异及其影响因素分析[J].中国农业大学学报,2017,22(10):203-212.
- [21] Ball V E,Fare R,Grosskopf S,et al.Productivity of the U.S.Agricultural Sector:The Case of Undesirable Outputs[M].Chicago,S.A.:University of Chicago Press,2001:41-585.
- [22] Rezek P J,Perrin K R. Environmentally Adjusted Agricultural Productivity in the Great Plains[J]. Journal of Agricultural and Resource Economics,2004,29(2).
- [23] Marthin N,Iain F,Ali Q, et al. Environmentally adjusted productivity measurement: an Australian case study.[J]. Journal of environmental management,2007,85(2).
- [24] Shen Z,Boussemart J,Leleu H. Aggregate green productivity growth in OECD's countries[J]. International Journal of Production Economics,2017,189.

- [25] 吴国松, 姚升.要素市场扭曲下农业绿色全要素生产率测度及效应研究[J].生态经济,2021,37(01):96-102+115.
- [26] 郭海红, 刘新民.中国农业绿色全要素生产率时空演变[J].中国管理科学,2020,28(09):66-75.
- [27] 张华,王礼力.技术进步、技术效率与陕西省农业全要素生产率增长[J].科学管理研究,2018,36(03):84-86.
- [28] 许标文,陈雪丽,段园园等.基于 Luenberger-Hicks-Moorsteen 指标的福建省农业全要素生产率测度及收敛性分析[J].南方农业学报,2021,52(01):253-260.
- [29] Rezitis N A. Agricultural productivity convergence across Europe and the United States of America[J]. Applied Economics Letters,2005,12(7).
- [30] Le L T, Lee P, Peng C K, et al. Evaluation of total factor productivity and environmental efficiency of agriculture in nine East Asian countries[J]. Agricultural Economics,2019,65.
- [31] 杨骞, 王珏;李超;刘鑫鹏.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,(10):21-37.
- [32] 张毅.长三角绿色全要素生产率的时空演变与驱动力分析[J].西南林业大学学报(社会科学),2021,5(05):1-10.
- [33] 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.
- [34] 刘帅,张航宇,蔡文静.黄河流域农业绿色全要素生产率的空间格局与动态演进[J].生态与农村环境学报,2022,38(12):1557-1566.
- [35] 杨锦琦,左腾达.长江经济带农业绿色全要素生产率评价及时空演化分析[J].企业经济,2022,41(11):152-160.
- [36] 王亚飞,张齐家,柏颖.我国农业绿色全要素生产率及其时空演变[J].统计与决策,2022,38(20):98-102.
- [37] Solow R M. Contribution to the theory of economic growth. [J]. Quarterly journal of economics, 1956, 70(1): 65-94.
- [38] Alexiadis, Stilianos. Convergence in Agriculture: Evidence from the European

- Regions[J]. *Agricultural Economics Review*,2010,11(2).
- [39] Baráth L, I F. Productivity and Convergence in European Agriculture[J]. *Journal of Agricultural Economics*.2016.
- [40] 潘丹,孔凡斌.我国农业全要素生产率差异与收敛分析——基于环境污染视角[J]. *江西社会科学*,2013,33(09):43-47.
- [41] 李文华,郭丰,陈永强.中国区域农业绿色全要素生产率分解及收敛性分析[J]. *重庆工商大学学报(社会科学版)*,2019,36(02):29-39.
- [42] 杨佳利.中国农业全要素生产率变动趋势、驱动力及收敛性——基于非参数 HMB 生产率指数和 2003-2019 年省级面板数据分析[J]. *湖南农业大学学报(社会科学版)*,2020,21(06):20-28.
- [43] 沈洋,周鹏飞.农业绿色全要素生产率测度及收敛性分析——基于碳汇和碳排放双重视角[J]. *调研世界*,2022(04):58-68.
- [44] Kumar S. Environmentally sensitive productivity growth: A global analysis using Malmquist-Luenberger index [J]. *Ecological Economics*, 2006, 56(2): 280-293.
- [45] 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.
- [46] 杨秀玉,全锦涛.农产品贸易对农业绿色全要素生产率的空间溢出效应——基于农业产业集聚的调节作用[J/OL]. *中国农业资源与区划*:1-15[2023-01-28].
- [47] 陈燕翎,庄佩芬,彭建平.贸易开放对农业经济高质量发展的影响——基于农业绿色全要素生产率的视角[J]. *生态经济*,2021,37(12):105-114.
- [48] 何晓霞,毛伟.农业科技创新对农业绿色全要素生产率的空间效应分析[J]. *安徽行政学院学报*,2021,(01):58-64.
- [49] 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.
- [50] 亢霞.粮食主产区、主销区、产销平衡区的发展历程和主要成效[J]. *中国粮食经济*,2022,No.372(08):70-72.
- [51] 华树春,钟钰.我国粮食区域供需平衡以及引发的政策启示[J]. *经济问*

- 题,2021,No.499(03):100-107.
- [52] Smith A. An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations[J]. 1776.
- [53] 大卫·李嘉图.政治经济学及赋税原理[M].南京:译林出版社,2014.
- [54] Malthus T R. An essay on the principle of population. 1798. London, Pickering & Chatto Publishers, 1986.
- [55] 马思克.资本论.第一卷[M].北京:人民出版社,2004.
- [56] Harrod R F. An essay in dynamic theory[J]. The Economic Journal, 1939, 49(193): 14-33.
- [57] Domar E D. Capital Expansion, Rate of Growth, and Employment[J]. Econometrica, 1946, 14(2):137-147.
- [58] Swan T W. Economic growth and capital accumulation[J]. The Economic Record, 1956, 3(63):334-361.
- [59] Arrow K J. The economic implication of learning by doing[J]. Review of economic studies, 1962, 29, 155-173.
- [60] Romer P M. Growth based on increasing returns due to specialization[J]. The American Economic Review, 1987, 77(2):56-62.
- [61] Lucas Jr R E. On the mechanics of economic development[J]. Journal of Monetary Economics, 1988, 22(1):3-42.
- [62] Meadows DH. The Limits to Growth[M]. New American Library, 1972.
- [63] Becker R A. Intergenerational equity: The capital-environment trade-off[J]. Journal of Environmental Economics & Management, 1982, 9(2):165-185.
- [64] Stokey NL. Are There Limits to Growth?[J]. International Economic Review, 1998, 39(1):1-31.
- [65] 习近平.中共中央关于坚持和完善中国特色社会主义制度,推进国家治理体系和治理能力现代化若干重大问题的决定[M].北京:人民出版社,2019.
- [66] 何立峰,宁吉喆,胡祖才,等.实施区域发展战略[M].北京:中国计划出版社,2020.
- [67] Tone, K. Dealing with Undesirable Outputs in DEA: A Slacks-based Measure

(SBM)Approach.GRIPS research report Series, 2003

- [68] Oh, D.A Global Malmquist—Luenberger Productivity Index.Journal of Productivity Analysis, 2010, 34(3):183~197
- [69] 赵佶.四川省农业生态效率评价研究——以 21 个地市州为例[J].农业与技术, 2021 (11): 1-2.
- [70] 郭险峰, 艾静静.农业碳排放的时空演变、影响因素及脱钩效应研究——基于 31 省 2000—2019 年面板数据[J].西昌学院学报(自然科学版),2022,36(01):9-15+22
- [71] 伍芬琳, 李琳, 张海林, 等.保护性耕作对农田生态系统净碳释放量的影响[J].生态学杂志,2007,(12):2035-2039
- [72] DAGUM C. A new approach to the decomposition of the Gini income inequality ratio [J] . Empirical Economics, 1997, 22 (4): 515-531.
- [73] Moran,Patrick A P. Notes on Continuous Stochastic Phenomena[J]. Biometrika,1950,37 (1/2):17-23.
- [74] 李海鹏,罗丽,张雄等.中国农业能源效率动态演变及其影响因素[J].中国人口·资源与环境,2020,30(12):105-115.
- [75] 刘亦文,欧阳莹,蔡宏宇.中国农业绿色全要素生产率测度及时空演化特征研究[J].数量经济技术经济研究,2021,38(05):39-56.

致 谢

时光如梭，仿佛昨天我还是刚踏入校园的新生，一晃眼就到了毕业季。在这三年经历了许多，有快乐，有悲伤，有成长，有失败，有互相支撑，有独立前行，它们交织在我的研究生生活中，让我的时光不虚度，收获新的成长。谨以此机会，让我向所有帮助过我的老师、同学、朋友、家人致以最诚挚的感谢和祝福。

衷心感谢我的导师胡老师在研究生学习期间，让我在学业知识和人生道理上都受益匪浅，成长了许多。也感谢学院的各位老师在我的专业学习和学位论文完成过程中的耐心指导，在这里向老师们表达我最诚挚的谢意。

感谢我的挚友周雅洁，无论是物理距离还是心理距离你都陪在我左右。感谢韩忠强等同门们，在你们的帮助下我顺利地解决了许多困难，也在你们的陪伴下度过了许多开心的时刻。感谢我的室友李蓉、刘宏敏、蒲若馨，朝夕相处三年里以最大的限度包容我，关心我。感谢所有在生活中向我释放善意的朋友、同学、亲人，向你们表示深深的谢意。

最后深深地感谢我的父母，每当我遇到困难的时候，父母总是无条件支持我的人。回顾 20 多年来走过的路，每一个脚印都浸满着他们无私的关爱和谆谆教诲，他们在精神和物质上的无私支持，是我不断向外探索的安全基地。父母的爱是天下最无私的最宽厚的爱，期待踏出校门之后通过我的努力让我成为父母的依靠。