



长江经济带农业绿色发展水平的时空分异及驱动因子研究

高 群, 王雨萱, 窦亚文

Spatial-temporal differentiation and driving factors of agricultural green development level in the Yangtze Economic Belt

GAO Qun, WANG Yuxuan, and DOU Yawen

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12357/cjea.20240170>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

长江经济带农业绿色增长的时空格局及影响因素研究

Spatio-temporal patterns and impact factors of green economic growth of agriculture in the Yangtze River Economic Belt

中国生态农业学报(中英文). 2020, 28(5): 764–774

县域视角下黄河流域农业绿色发展时空分异特征及驱动因素研究

Spatiotemporal differentiation characteristics and driving factors of agricultural green development in the Yellow River Basin from a county perspective

中国生态农业学报(中英文). 2024, 32(7): 1251–1263

长江经济带稻田耕作制度绿色发展探讨

Green development of paddy field farming systems in the Yangtze River Economic Belt

中国生态农业学报(中英文). 2020, 28(1): 1–7

长江经济带农田生态价值时空变化及影响因素分析

Spatial-temporal variation and influencing factors of farmland ecological value in the Yangtze River Economic Belt

中国生态农业学报(中英文). 2024, 32(3): 505–517

基于三阶段DEA模型的农业生产效率及其时空特征研究——以长江经济带为例

Calculation of agricultural production efficiency based on a three-stage Data Envelopment Analysis model and analysis of the spatial-temporal characteristics: An example from the Yangtze River Economic Belt

中国生态农业学报(中英文). 2021, 29(7): 1243–1252

长江经济带粮食生态全要素生产率的时空特征

Spatial and temporal characteristics of ecological total factor productivity of grain in the Yangtze River Economic Belt

中国生态农业学报(中英文). 2024, 32(2): 344–354



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.12357/cjea.20240170

CSTR: 32371.14.cjea.20240170

高群, 王雨萱, 窦亚文. 长江经济带农业绿色发展水平的时空分异及驱动因子研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2024, 32(0): 1-13

GAO Q, WANG Y X, DOU Y W. Spatial-temporal differentiation and driving factors of agricultural green development level in the Yangtze Economic Belt[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2024, 32(0): 1-13

长江经济带农业绿色发展水平的时空分异及驱动因子研究*

高群, 王雨萱, 窦亚文

(南昌大学公共政策与管理学院/南昌大学中国乡村振兴研究院 南昌 330031)

摘要: 农业绿色化关乎现代农业转型升级, 是高质量可持续发展的重要议题。以中国农业绿色发展典型示范区——长江经济带为研究对象, 基于 2001—2021 面板数据, 采用熵值法、核密度估计、莫兰指数检验及地理探测器方法展开长江经济带农业绿色发展水平的时空演变特征及关键驱动因子识别。研究发现, 长江经济带农业绿色发展呈稳定提升但区域差距增大的演变格局。长江经济带农业绿色发展全局呈现空间正相关性且集聚程度较高的特征, 局部集聚模式以高-高型、低-高型、低-低型集聚为主。社会、政策和经济因素是长江经济带农业绿色发展时空分异形成的核心驱动因子, 细化子项指标的贡献程度依次为人口密度、人均 GDP、城镇化水平、财政支农政策和工业化水平, 并且指标发生交互之后的作用力更强。为全面推动长江经济带农业绿色发展, 建议: 因地制宜促进上游农业绿色产业发展, 特别是贵州、云南等山地、林地较多的滞后地区; 充分发挥下游优势省份在农业绿色发展中的示范引领作用, 强化其空间溢出效应; 充分运用政策支持与经济激励的交互作用, 促进农业新质生产力在绿色可持续发展领域的拓展。

关键词: 长江经济带; 农业; 绿色发展; 时空分异; 驱动因子

中图分类号: F124.5

Spatial-temporal differentiation and driving factors of agricultural green development level in the Yangtze Economic Belt*

GAO Qun, WANG Yuxuan, DOU Yawen

(School of Public Policy and Management, Nanchang University / China Rural Revitalization Institute, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract: Greening of agriculture is related to the transformation and upgradation of modern agriculture, and it is important for high-quality sustainable development. In this study, the Yangtze River Economic Belt, a typical demonstration zone for agricultural green development in China, was used as the research object. Based on panel data from 2001 to 2021, the entropy method, kernel density estimation, Moran's index test, and geographic detector methods were used to evaluate the quality and spatial-temporal evolution characteristics of agricultural green development in the Yangtze River Economic Belt and identify the key driving factors. The find-

* 江西省教育科学“十四五”规划项目(23QN001)、江西省学位与研究生教改项目(JXYJG-2022-013)和国家自然科学基金项目(71763018)资助高群, 主要从事农业资源与环境经济研究。E-mail: gaoqun3602@126.com

收稿日期: 2024-04-02 接受日期: 2024-06-27

* This study was supported by the Jiangxi Province the “the 14th Five Year Plan” for Education Science Project (23QN001), the Jiangxi Province Degree and Graduate Education Reform Project (JXYJG-2022-013), and the National Natural Science Foundation of China Project (71763018).

** Corresponding author, E-mail: gaoqun3602@126.com
Received Apr. 2, 2024; accepted Jun. 27, 2024

ings are as follows. 1) Agricultural green development in the Yangtze River Economic Belt showed a stable and improving pattern, but the regional gap has increased. 2) Agricultural green development in the Yangtze River Economic Belt has a positive overall spatial correlation and a high degree of agglomeration, and the local agglomeration modes consist mainly of high-high, low-high, and low-low clusters. 3) Social, policy, and economic factors are the core driving factors affecting the spatial-temporal differentiation of agricultural green development in the Yangtze River Economic Belt. The contribution levels of the sub-indices are in the order of population density, per capita GDP, urbanization level, fiscal support policy for agriculture, and industrialization level, but the interaction of the indicators has a stronger impact. To promote the development of upstream agricultural green industry according to local conditions, especially in Guizhou, Yunnan, and other lagging areas with more mountainous and forest land, full play needs to be given to the demonstration and leading role of downstream superior provinces in agricultural green development, and their spatial spillover effect needs to be strengthened. In addition, the interaction between policy support and economic incentives need to be put to full use to promote the expansion of new quality agricultural productivity in the field of green and sustainable development.

Keywords: Yangtze Economic Belt; Agriculture; Green development; Spatial-temporal differentiation; Driving factor

农业绿色发展是现代农业转型升级的重要内容,也是全面推进乡村振兴、实现农业经济高质量发展的重要途径。2022年党的二十大报告明确指出农业绿色发展是引领乡村振兴的着力点;2024年中央一号文件进一步强调推进农业绿色发展是全面乡村振兴的重要工作。农业绿色发展是一种更加注重资源利用、环境保护以及产出高效的高质量发展模式,是新质生产力在农业领域的具体表现,不仅提升了农业生产效率与产品品质,还推动了农业现代化与可持续发展。

随着全球对环境问题的日益关注,农业绿色发展成为可持续发展的重要议题,也是学术界关注的研究热点。国内外学者围绕农业绿色发展的研究主要聚焦3个维度。1)农业绿色发展内涵研究。农业绿色发展是农业全方面的绿色化发展,不仅涵盖生产方式的绿色化,还涵盖农业生态修复等相关内容^[1]。农业绿色发展是调和农业发展与生态保护冲突的重要途径^[2]。农业绿色发展并非降低农业发展速度去保护生态环境,而是寻求更高层次的保护^[3],有利于促进农业绿色全要素生产率增长^[4]。2)农业绿色发展水平评价指标构建。国内外学者基于绿色发展内涵、乡村振兴战略、可持续发展等视角展开了探索性研究,选取的指标维度不尽相同,维度数量以3个或4个居多。例如,低碳生产、经济增收和安全供给3个维度^[5];水资源利用、环境质量和农业增长质量3个维度^[6];经济可持续性、环境可持续性、资源可持续性和生产可持续性4个维度^[7];资源利用、环境友好、生态保护和农村发展4个维度^[8]。在农业绿色发展水平评价方法上,以层次分析法^[9]、熵权法^[10]等方法计算权重与得分为主。3)农业绿色发展驱动因子研究。双碳背景下机械化生产^[11]、环境规制与农业财政支持^[12]、工业化进程^[13]对农业绿色发展具

有显著促进作用;经济水平也是影响农业数字化与绿色化协调发展的关键性因素^[14];此外,数字乡村建设、降水、温度^[15]及湿度^[16]对农业绿色全要素生产率也具有重要影响。

综上,国内外已有关于农业绿色发展内涵、评价指标及驱动因素的研究为本研究奠定了良好基础。立足新发展阶段,我们需要意识到绿色农业在不同区域之间存在发展不平衡的客观现实^[17],给全面推进农业绿色转型升级与高质量发展带来了巨大挑战。为实现农业绿色可持续发展,选取农业绿色发展的先进典型区域——长江经济带,进行农业绿色发展水平测度、时空分异及驱动因子研究具有很强的必要性,这不仅可以为全国各地粮食安全保障、农产品质量提高、减少对自然资源的过度开发提供借鉴,也可以为各地增强农业新质生产力提供标杆。然而,已有文献中,从地理经济学角度对长江经济带农业绿色发展的研究相对较少,且针对区域层面的农业绿色发展水平测度、时空分异及驱动因子的系统性研究同样处于起步阶段。那么,从产业整体和区域细分视角来看,长江经济带农业绿色发展水平如何?从时间推演来看,新世纪以来长江经济带农业绿色发展经历了怎样的时间演变历程并呈现何种阶段特性?从空间分异特征来看,长江经济带农业绿色发展又经历了怎样的演变并呈现何种特征?在时空分异背后存在哪些关键驱动因子,因子影响力及交互作用程度如何?这些均是现有研究尚未深入挖掘的重要问题。鉴于此,以中国农业绿色发展典型区域——长江经济带为研究对象,基于2001—2021年长江经济带11省(市)数据,首先,运用熵值法展开长江经济带农业绿色发展的水平测算;随后,运用核密度估计与莫兰指数,从空间地理经济学视角研究长江经济带农业绿色发展的时空演变特征;最后,利用地理

探测器方法展开关键驱动因子识别并提出优化建议,以期助力长江经济带绿色农业实现高质量发展,并为国家绿色农业可持续发展提供思路与借鉴。

1 研究方法与研究区域

1.1 计算方法

1.1.1 熵值法

基于熵值法为农业绿色发展水平各项指标赋权并测算得分。该方法的显著优势在于可消除人为赋值所带来的结果偏差,使最终得分更具客观性与准确性。首先,假设每个样本集由 m 个评价单元和 n 个评价指标构成, $0 < i \leq m$, $0 < j \leq n$, 详见公式 (1)。随后,进行指标标准化处理,正向指标如公式 (2), 负向指标如公式 (3)。最后,基于公式 (4) 和公式 (5) 测算各项指标的权重 W_j 与得分 S_i , 其中, d_j 为差异性系数。

$$X = (X_{ij})_{m \times n} \quad (1)$$

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min\{X_{1j}, \dots, X_{nj}\}}{\max\{X_{1j}, \dots, X_{nj}\} - \min\{X_{1j}, \dots, X_{nj}\}} \quad (2)$$

$$X'_{ij} = \frac{\max\{X_{1j}, \dots, X_{nj}\} - X_{ij}}{\max\{X_{1j}, \dots, X_{nj}\} - \min\{X_{1j}, \dots, X_{nj}\}} \quad (3)$$

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j}, j = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^m W_j X_{ij}, i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

1.1.2 核密度分析

运用核密度分析估计长江经济带农业绿色发展水平于时间维度的动态分布。核密度是一种重要的非参数估计方法,无需设定具体模型,即能运用连续的密度曲线描述随机变量的分布形态。假定某年长江经济带各省的农业绿色发展水平 x_1, x_2, \dots, x_n 来自同一主体,任意省份的总体密度为函数 $f_h(x)$ 。随机变量 X 的核密度函数详见公式 (6)。 $f_h(x)$ 值越大代表集聚程度越高。其中, h 表示带宽, n 表示地区个数, $x - X_i$ 代表估计点 x 至样本 X_i 的距离。

$$f_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - X_i}{h}\right) \quad (6)$$

1.1.3 莫兰指数

运用莫兰指数 (Moran's I) 检验长江经济带农业绿色发展水平在全球与局部的相互依赖性。其中,全局 Moran's I 主要用于检验整个空间序列的集聚情况, Moran's I 指数值为 $-1.0 \sim 1.0$ 。若 Moran's I 指数为

正,表示全局呈正自相关,即存在聚类趋势;若 Moran's I 指数为负,表示全局呈负自相关,即存在离散趋势。 Z 得分与 P 值表示统计显著性,详见公式 (7)。局部 Moran's I 主要用于检验某局部附近空间序列的集聚情况,详见公式 (8)。

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (7)$$

$$I = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (8)$$

1.1.4 地理探测器

基于地理探测器的因子探测和交互作用探测,可揭示长江经济带农业绿色发展背后的驱动因素及其交互作用。其中,因子探测器主要用于探测因变量的空间分异性以及某自变量在多大程度上解释了因变量的空间分异特征;而交互作用探测器主要用于评估某自变量与另一自变量共同作用会在多大程度上解释因变量的空间分异特征。详见公式 (9)。 q 为长江经济带农业绿色发展水平影响因素探测指标,取值范围为 $[0, 1]$, 该值越大则因变量的空间分异性越明显,表示自变量对因变量的解释力越强,反之越弱。

$$q = 1 - \frac{1}{N\sigma^2} \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2 \quad (9)$$

1.2 指标选取

1.2.1 农业绿色发展水平指标选取

实现农业绿色发展对于促进农业的转型升级与可持续发展具有深远意义。2023 年《新时代的中国绿色发展》白皮书强调,长江经济带应成为生态优先、绿色发展的主战场。同年,《关于进一步推动长江经济带高质量发展若干政策措施的意见》(以下简称《意见》)提出“持续推进长江经济带高质量发展,坚持生态优先、绿色发展与创新引领”。鉴于长江经济带是国家重要产粮基地的特点^[18],构建了一套针对种植业的农业绿色发展指标体系。该体系包括资源利用、环境友好、产出高效、绿色技术支撑 4 个一级指标,并细化为 13 项二级指标。其中,资源节约与环境友好是实现长江经济带农业绿色发展的基石与基本要求^[19],也是发展过程中亟待解决的关键问题;产出高效是农业绿色发展的基本目标^[20],绿色技术则是实现农业绿色发展的重要手段^[21],这 4 个方面相互支撑,共同促进绿色农业实现高水平发展。

1) 资源利用。耕地资源是影响农业生产的基础性生态要素,保护耕地资源不退化是新时代农业绿

色发展的核心要务^[22]。水利是农业的命脉,提升有效灌溉面积和复种指数是促进粮食增产稳产的重要手段^[23]。鉴于此,以耕地保有率、有效灌溉率和复种率3项二级指标衡量资源利用效率。

2) 环境友好。在推动农业绿色生产过程中,化肥、农药减量化使用以及提升地膜回收利用率是降低环境污染的关键措施^[24]。农业生产中化学品的过度使用会对水土资源造成负面影响,而水土资源是耕地质量的直接影响因素^[25],水土保持是农业绿色发展的一项重要任务。鉴于此,以化肥利用强度、农药利用强度、地膜利用强度以及水土流失治理水平衡量环境友好水平。

3) 产出高效。产出高效的关键首先在于追求农业生产经济效益,随后逐渐转向对农业生产质量的关注^[26]。提升粮食生产能力是实现“藏粮于地”战略目标的核心^[27]。而农业生产提质增效最终目的在于提高农民的收入^[28]。鉴于此,以单位面积农业总产值、粮食单产能力、农村居民人均可支配收入3项二级指标衡量产出高效水平。

4) 绿色技术支撑。技术创新能够提高农业绿色发展的自身能力,是农业绿色发展的重要组成^[29]。在农业生产的全过程中,生产前期的机械化耕作技术、生产中期的节水灌溉技术及生产后期的秸秆还田技术是应用最广泛的典型绿色技术^[30]。鉴于此,以机耕技术、节水灌溉技术与秸秆还田技术3项二级指标衡量绿色技术支撑。

1.2.2 关键驱动因子指标选取

根据指标选取的可行性、科学性及相关性原则,选取政策因素(X_1)、经济因素(X_2)、社会因素(X_3)、自然因素(X_4)4个维度、9项子指标展开时空分异关键驱动因子判别。

1) 政策因素。农业绿色发展具有高投入、低收益的特点,与市场逐利性相悖,需财政支农政策的大力支持^[31]。故选用农林水务支出占财政支出的比例来衡量政策因素对农业绿色发展的影响。

2) 经济因素。人均GDP是衡量经济发展水平的重要指标,高人均GDP地区更易吸引外来人才、集聚先进力量,从而推动地区生产技术进步并扩大市场需求^[32]。工业化水平的提升能够带动农业绿色产业转型升级^[33]。同时,城镇化水平提升为农业绿色发展提供了市场、人力资源和技术支持^[34]。鉴于此,依次选用人均GDP、工业化水平及城镇化水平3项指标衡量经济因素对农业绿色发展的影响。

3) 社会因素。发达的网络信息技术能够降低信

息沟通成本,促进农业产业集聚,推动农业向着绿色化方向迈进,选用人均邮电业务量来衡量^[35]。同时,人口密度对农业绿色发展的作用是双向的,适度的人口密度对农业绿色发展具有积极作用^[36]。鉴于此,依次选用信息沟通与人口密度两项指标衡量社会因素对农业绿色发展的影响。

4) 自然因素。农业自然灾害频发不利于农业绿色发展,选用各省受灾面积占农作物播种总面积的比重来衡量^[37]。年均降水量是农业生产的关键所在^[38]。年均气温变化不仅影响农业产能,还可能改变地区种植结构^[39]。鉴于此,依次选用农业自然灾害、年均降水量及年均气温3项指标综合衡量自然因素对农业绿色发展的影响。

1.3 研究区域概况

长江经济带横跨东、中、西部,面积约205万 km^2 ,占全国总面积的21.4%,人口与经济总量均超过全国的40%,是中国经济发展的重要引擎。2023年,长江经济带农业总产值占全国的41.5%、粮食总产量占全国总产量的35.3%,不仅是国家农业绿色发展典型区域,也是国家重点农业生产区。更为重要的是,长江经济带是国家战略发展的核心区域,根据《意见》要求,需要“聚焦绿色发展、推动区域协调”,故选取长江经济带绿色农业作为研究对象具有强代表性。将区域细分为上游、中游、下游3个子区域,其中,上游覆盖云南、贵州、重庆、四川4个省(市);中游覆盖湖北、湖南、江西3个省份;下游覆盖安徽、江苏、浙江、上海4个省(市)。

1.4 数据来源

基于2001—2021年长江经济带11个省(市)数据展开农业绿色发展时空分异及驱动因子研究。初始数据源自2002—2022年《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国环境统计年鉴》及长江经济带11个省(市)统计年鉴,其中年均气温来自中国气象数据网,并经过ArcGIS 10.8软件进行提取和处理。部分缺失值采用面板插补法进行处理。

2 结果与分析

2.1 长江经济带农业绿色发展水平评价

2.1.1 指标体系构建结果

表1报告了基于熵值法的长江经济带农业绿色发展水平指标体系构建结果。首先,从指标的方向性来看,在13项二级指标中,化肥利用强度、农药利用强度及地膜利用强度为负向指标,其他指标均为正向。在资源利用方面,耕地保有率、有效灌溉率

表 1 农业绿色发展水平测算指标及其权重
Table 1 Measurement indicators and weights of agricultural green development level

一级指标(权重) Primary indicator (weight)	二级指标 Secondary indicator	指标说明 Indicator Description	方向 Direction	权重 Weight
资源利用 Resource utilization (0.1899)	耕地保有率 Farmland retention rate	本年末耕地总面积/上年末耕地总面积 Total cultivated land area at the end of this year / total cultivated land area at the end of last year	+	0.0131
	有效灌溉率 Effective irrigation rate	有效灌溉面积/总播种面积 Effective irrigation area / cultivated land area	+	0.0901
	复种率 Multiple cropping rate	农作物播种面积/耕地面积 Crop sowing area / cultivated land area	+	0.0867
环境友好 Environmentally friendly (0.2264)	化肥利用强度 Fertilizer utilization intensity	化肥施用量/农作物播种面积 Fertilizer application amount / crop sowing area	-	0.0636
	农药利用强度 Pesticide utilization intensity	农药施用量/农作物播种面积 Pesticide application amount / crop sowing area	-	0.0369
	地膜利用强度 Film utilization intensity	地膜施用量/农作物播种面积 Application amount of plastic film / crop sowing area	-	0.0294
产出高效 Efficient output (0.3617)	水土流失治理水平 Water and soil loss control level	水土流失治理面积/土地面积 Water and soil loss control area / land area	+	0.0965
	单位面积农业总产值 Gross agricultural output value per unit area	农业总产值/农作物播种面积 Total agricultural output value / crop sowing area	+	0.0960
	粮食单产能力 Grain yield per unit area	粮食产量/粮食播种面积 Grain yield / grain sowing area	+	0.0406
绿色技术支撑 Green technology support (0.2672)	农村居民人均可支配收入 Per capita disposable income of rural residents	农村居民人均可支配收入 Per capita disposable income of rural residents	+	0.1801
	机耕技术 Machine tillage technology	机耕种植面积/农作物播种面积 Machine cultivated planting area / crop sowing area	+	0.0712
	节水灌溉技术 Water-saving irrigation technology	节水灌溉面积/农作物播种面积 Water-saving irrigation area / crop sowing area	+	0.0125
	秸秆还田技术 Straw returning technology	机械化秸秆还田面积/农作物总播种面积 Mechanized straw returning area / crop sowing area	+	0.1835

以及复种率越高,意味着资源利用越高效,与农业绿色发展水平呈正相关。在环境友好方面,化肥、农药、地膜的过量施用会对环境构成负面影响,施用强度越高则意味着“环境友好”水平越低,与农业绿色发展水平呈现负相关;而水土流失治理水平越高则表明生态环境治理力度越强,与农业绿色发展水平呈正相关关系。在产出高效方面,单位面积农业总产值、粮食单产能力与农村居民人均可支配收入均为衡量农业产出的正向指标,与农业绿色发展水平呈正相关。在绿色技术支撑方面,机耕技术、节水灌溉技术与秸秆还田技术的广泛应用与农业绿色发展水平呈正相关。

其次,就指标权重而言,一级指标排序为资源利用<环境友好<绿色技术支撑<产出高效,权重占比分别为 0.1899、0.2264、0.2672 和 0.3167。在所有二级指标中,秸秆还田技术与农村居民人均可支配收入权重最高,分别为 0.1835 与 0.1801;有效灌溉率、复种率、水土流失治理水平、单位面积农业总产值的权重次之,均在 0.1 左右;随后是化肥利用强度、农药利用强度、地膜利用强度、粮食单产能力以及机耕技术,权重为 0.02~0.08;而耕地保有率与节水灌溉技术所占的权重最低,分别为 0.0131 与 0.0125。

2.1.2 绿色发展水平得分

图 1 从整体及区域细分视角报告了长江经济带农业绿色发展水平过去 20 年的增长变化。图 2 选取关键节点年份并基于自然断点法对 11 省(市)农业绿色发展水平进行分级,等级越高表明农业绿色发展水平越高。首先,从整体视角来看,长江经济带农业绿色发展水平 2001—2021 年间始终呈现稳定增长态势。2001 年长江经济带农业绿色发展水平整体得分约为 0.27,显示出较低的初始水平。然而随着时间的推移这一水平逐步提升,尤其是自 2005 年起其增长速度不断加快并在 2013 年后进入稳定增长期,至 2021 年整体得分已攀升至约 0.55,这一持续且稳定的增长轨迹不仅体现出长江经济带农业绿色发展的显著进步与发展,也彰显了其长期发展的可持续性。

其次,从区域细分视角来看,上游、中游、下游农业绿色发展共性与差异性特征共存。1) 共性主要体现在农业绿色发展水平均呈现扩增态势。2001—2021 年,上、中、下游地区农业绿色发展水平均以先慢后快的增速演进。以 2013 年为时间节点,可以细分为前后两个不同发展阶段:2013 年之前,探索与发展阶段;2013 年之后,迅猛发展阶段。2001—2013 年,各地区农业绿色发展水平发展缓慢,增速稳定。

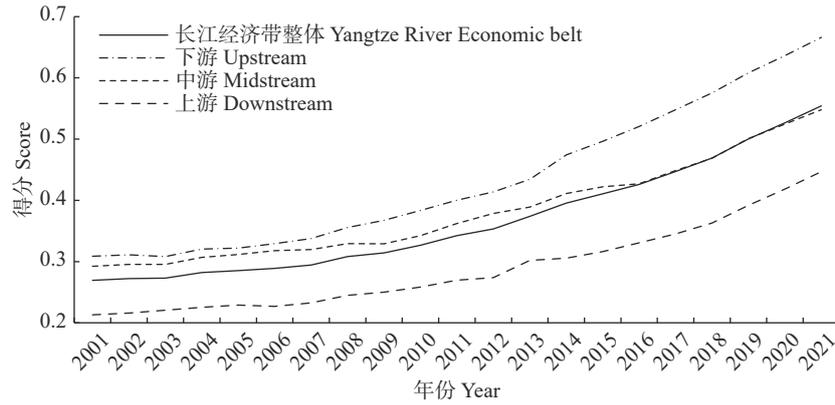


图 1 长江经济带地区农业绿色发展水平得分折线图 (2001—2021 年)

Fig. 1 Line chart of agricultural green development level scores in various regions of the Yangtze Economic Belt (2001–2021)

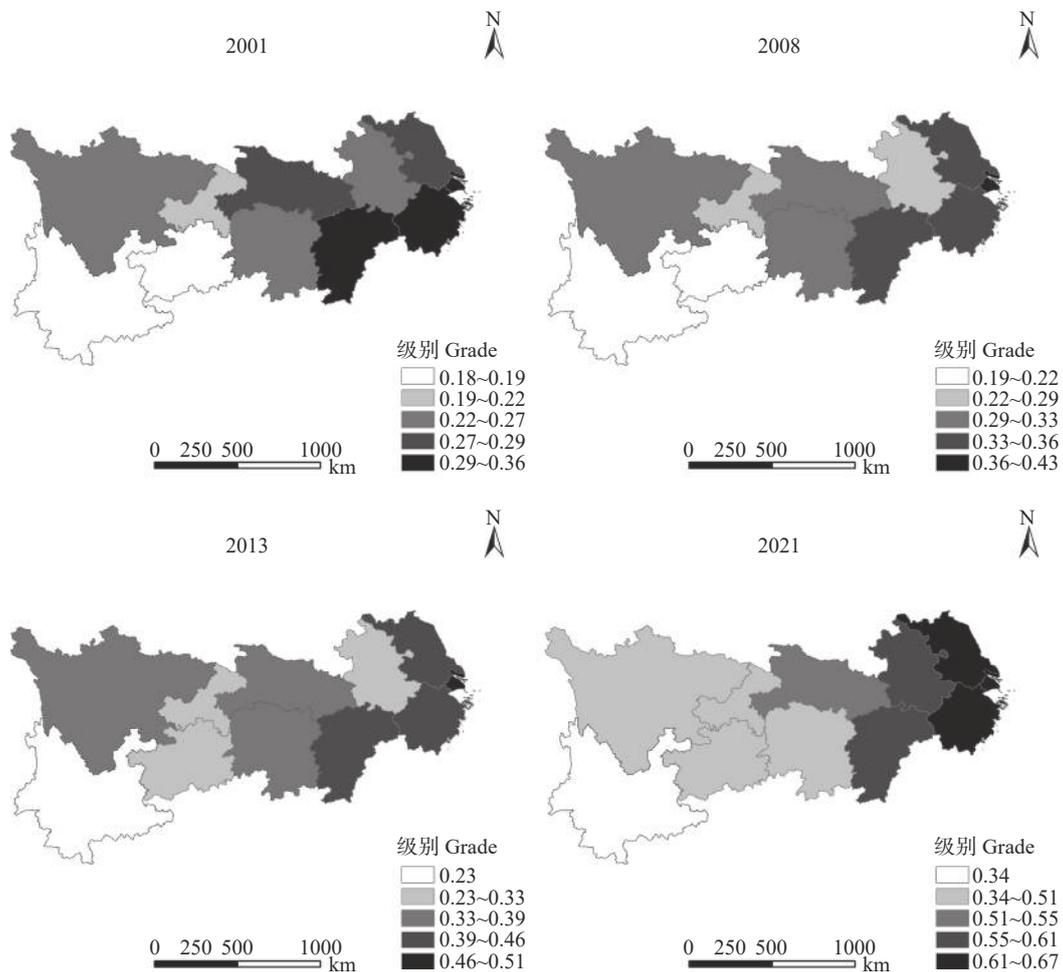


图 2 长江经济带地区关键节点年份农业绿色发展水平分级分布图 (2001—2021 年)

Fig. 2 Grading distribution map of agricultural green development level in the key years in the Yangtze River Economic Belt (2001–2021)

这可能是由于在此阶段, 长江经济带农业绿色发展尚未形成体系化的政策文本^[40]。2013 年之后, 长江经济带发展上升为国家战略并处于全面推动阶段, 有关政策文本数量剧增, 农业绿色发展速度不断提

升。2) 差异性主要体现在: 长江经济带农业绿色发展势头呈下游>中上游的区域差异。其中, 下游发展势头最猛, 在 2001—2008 年与中上游地区不相上下, 在 2008 年之后超越中上游地区并保持领先水平; 中

游发展水平大于上游, 发展势头与上游相似。

最后, 从省域视角来看, 农业绿色发展较好的分别是上海市、江苏省、江西省与浙江省。在选取的 4 个关键节点年份中, 上海市始终位于最高水平区域, 其农业绿色发展得分持续上升, 显示出强劲发展势头。江苏省的发展轨迹同样显著, 从较高水平稳步向最高水平区域演进, 展现了其在农业绿色发展领域中的持续进步。江西省与浙江省的发展模式相似, 即均在初期展现出较高的水平, 并在后续时期保持稳定或有所提升。相比之下, 贵州省和云南省的农业绿色发展水平则相对滞后, 长期徘徊于低水平或较低水平区域, 存在显著的提升空间。

2.2 长江经济带农业绿色发展水平时间演进及特征

图 3 基于核密度分析依次报告了长江经济带整体及上、中、下游三大区域农业绿色发展水平的动态分布。首先, 无论是整体还是上、中、下游子区域的核密度曲线中心均不断右移, 这意味着长江经济整体及三大子区域的农业绿色发展水平不断提高。其次, 从波峰的数量上看, 长江经济带整体呈现单峰分布, 表明长江经济带内部发展较为均衡, 并无明显

的极化现象; 长江上、中、下游均出现双峰现象。具体来看, 上游区域 2001—2017 年间仅存一个主峰, 而在 2007—2021 年间转变为双峰, 且主峰位于高分位区, 揭示出上游地区农业绿色发展水平出现两极分化趋势; 中游区域 2001—2012 年间为双峰, 而在 2013—2021 年间则变为单峰, 揭示出中游地区两极分化趋势得到了削弱; 下游区域 2020—2021 年间出现双峰现象, 且主峰出现在高分位区, 揭示出下游地区开始出现两极分化。最后, 从波峰的形态与数值来看, 长江经济带整体的波峰数值呈下降趋势, 波峰形状亦逐渐变宽, 表明长江经济带整体内部农业绿色发展水平存在较大差异且差距略有扩增趋势; 上游与下游核密度曲线波峰数值总体呈上升趋势, 上游波峰形状由宽向宽尖交替特征转变、下游地区波峰形状呈现“尖-宽-尖”特征, 表明上游与下游地区内部差距不断减小。综上, 长江经济带农业绿色发展水平呈现不断提高且区域之间差距增大的动态演变趋势。

2.3 长江经济带农业绿色发展的空间分异特征

表 2 报告了全局自相关分析结果。2001—2021

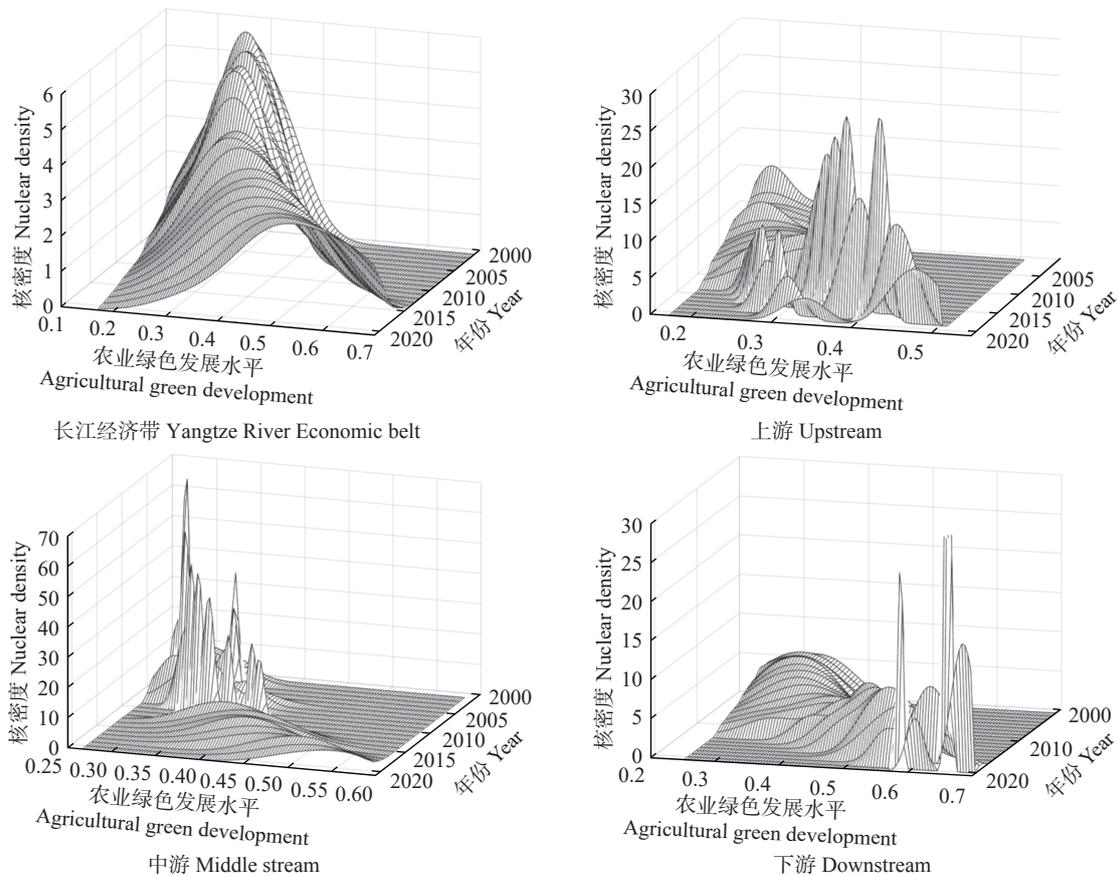


图 3 长江经济带及其上游、中游、下游农业绿色发展核密度分析结果 (2001—2021 年)

Fig. 3 Analysis results of nuclear density of agricultural green development in the Yangtze River Economic Belt, and its' upstream, midstream, and downstream (2001–2021)

年 Z 得分均大于 1.65, P 值均小于 0.05, 通过了显著性检验。Moran's I 指数均为正值, 2014—2021 年 Moran's I 指数值相较于 2001—2013 年 Moran's I 指数值明显上升, 该阶段长江经济带整体层面农业绿色发展水平空间正相关性较高。

图 4 局部自相关分析结果表明: 2001—2021 年长江经济带农业绿色发展集聚区类型以高高值集聚(H-H)、低高异常值集聚(L-H)与低低值集聚(L-L)为主, 未出现高低异常值集聚类地区(H-L)。空间显著性结果显示: 2001—2021 年均呈现空间集聚现象。1) H-H 型集聚区。2001—2013 年, 该集聚区主要集中在浙江省与上海市; 2014—2021 年, 其范围扩大至浙江省、上海市、江苏省和安徽省。浙江省具有优越的地理位置和资源禀赋优势, 在农业绿色发展方面具有显著优势, 此外, 2016 年 8 月《国

家农业可持续发展试验示范区建设方案》出台, 浙江省被选为全国首批绿色农业改革试点省份之一, 这一政策有效促进了该省农业绿色发展水平的提升; 加之数字化水平的不断提高, 浙江省依托其强劲的科技实力研发出新型机械以及新型化肥和农药, 进一步增强其农业绿色发展优势并呈现良好的溢出效应。而上海市作为中国经济最发达的城市之一, 拥有充足的资金与技术支持, 能够更好地推动农业绿色化发展; 并且上海市在科技和技术创新方面拥有较强的优势, 有助于推广先进的农业生产技术, 降低对化肥和农药等的使用, 从而共同促进农业绿色发展。江苏省作为农业强省始终积极贯彻落实国家农业绿色发展政策, 将优化农业功能布局作为绿色发展的首要工作, 加大农业科技投入和补贴、创建国家农业可持续发展试验示范区等, 积极优化

表 2 长江经济带农业绿色发展全局自相关分析(2001—2021 年)

Table 2 Global autocorrelation analysis of agricultural green development in the Yangtze River Economic Belt (2001—2021)

年份 Year	P 值 P value	Z 值 Z value	Moran's I 指数 Moran's I index	年份 Year	P 值 P value	Z 值 Z value	Moran's I 指数 Moran's I index
2001	0.0125	2.4967	0.3880	2012	0.0247	2.2454	0.3319
2002	0.0125	2.4981	0.3816	2013	0.0180	2.3648	0.3532
2003	0.0223	2.2853	0.3380	2014	0.0008	3.3375	0.5476
2004	0.0135	2.4692	0.3735	2015	0.0003	3.5985	0.5983
2005	0.0163	2.4012	0.3597	2016	0.0002	3.7917	0.6321
2006	0.0164	2.3994	0.3669	2017	0.0001	3.8767	0.6512
2007	0.0142	2.4525	0.3732	2018	0.0002	3.7909	0.6330
2008	0.0215	2.2984	0.3316	2019	0.0001	3.7921	0.6283
2009	0.0151	2.4300	0.3524	2020	0.0002	3.7698	0.6199
2010	0.0193	2.3398	0.3385	2021	0.0002	3.7075	0.6094
2011	0.0214	2.3012	0.3409				

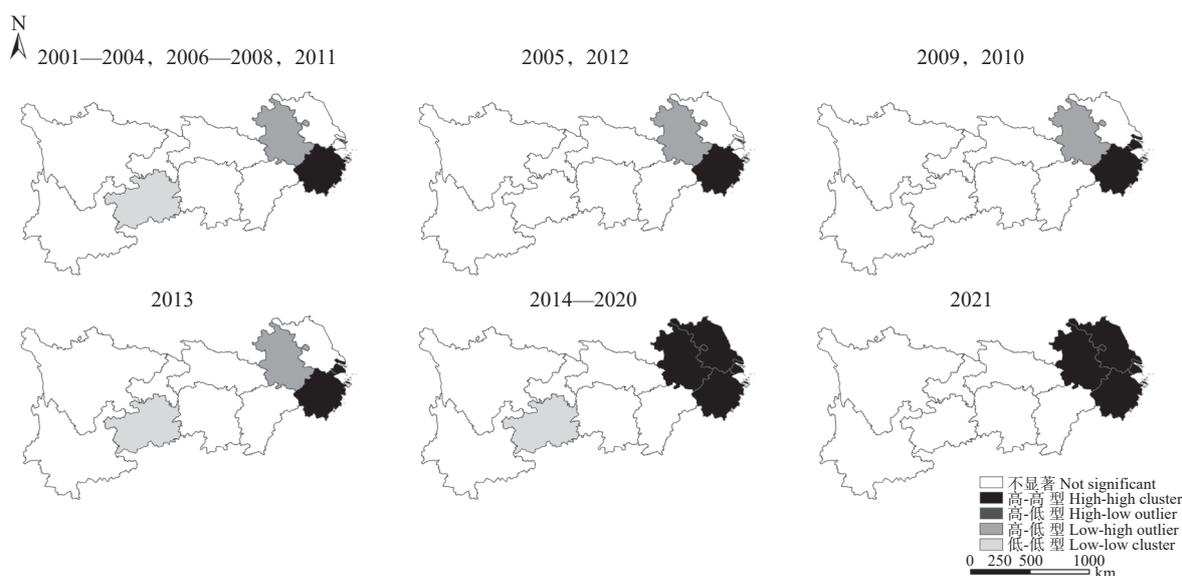


图 4 长江经济带农业绿色发展局部自相关分析(2001—2021 年)

Fig. 4 Local auto-correlation analysis of agricultural green development in the Yangtze River Economic Belt (2001—2021)

农业生产布局, 大大提升农业绿色发展水平。2) L-H 型集聚区主要分布在安徽省。揭示出该省在农业绿色发展方面存在一定程度的不稳定性, 这可能是多重因素诱发的: 首先, 安徽省粮食生产效益偏低, 化肥、地膜和农药等农资价格一直偏高, 农产品价格上升空间逐渐被压缩; 其次, 相较于其他省份, 安徽省科技水平较低, 限制了农民收入的增长; 最后, 安徽省人均耕地面积也相对较少, 土地流转率不高, 农户普遍从事小规模经营, 导致机械化水平的提升较为缓慢。2014 年是安徽省农业绿色发展的关键节点, 该省成功转型为高价值集聚区, 表明其农业绿色发展具有较大发展潜力。2014 年, 安徽省根据《中共中央、国务院关于全面深化农村改革加快推进农业现代化的若干意见》并结合本省实际, 明确了农村改革的总体思路。通过加强农产品市场体系建设、积极推进农业科技创新、规范土地承包经营权流转、扶持新型农业经营主体等措施, 有效推动了农业绿色发展水平的提升。3) L-L 型集聚区集中在贵州省。贵州省农业产业化发展基础不牢, 生产过程过于分散, 不利于产业化发展, 加之科技水平相对滞后, 严重阻碍了农业绿色发展。

2.4 关键因子判别

2.4.1 因子解释力

表 3 基于因子探测得出了 9 个指标的解释度与显著度水平。其中, 政策和经济因素对长江经济带农业绿色发展时空分异的形成发挥着关键作用。按照指标影响力 (q 值) 的大小排序, 依次为人口密度、人均 GDP、城镇化水平、财政支农政策和工业化水平。

1) 长江经济带农业绿色发展时空分异首要关键驱动因素包括人口密度、人均 GDP 和城镇化水平。人均 GDP 高的地区不仅具备丰富的资金、技术、设

备与人力资源, 而且其强劲的经济增长吸引人口集聚, 从而提升人口密度。适度的人口密度增长促进了城镇化进程、减少了农村地区对土地等自然资源的依赖, 形成了规模效应并推动了农业产业化发展。随着城镇化进程的推进, 公众对农产品质量、安全和环保要求不断提升, 不仅拓宽了农产品消费市场, 还激励了农业生产者采用绿色、有机种植养殖等可持续生产方式以适应市场新需求。上海市和浙江省均为典型案例, 凭借其高人口密度、领先的人均 GDP 以及较高城镇化水平, 在经济规模、产业结构和创新能力方面展现出显著优势, 这些因素共同作用, 强有力推动了农业绿色发展水平的提升。

2) 长江经济带农业绿色发展时空分异第二类关键驱动因素为财政支农政策和工业化水平。财政支农政策是政府支持三农工作的重要手段, 主要体现在直接投入资金支持农业生产及与农业生产紧密相关的领域。近年来, 国家财政部将国家绿色发展基金重点投资方向定位于长江经济带, 通过农业科技推广、农业产业化与土地治理等方式积极推进农业结构调整与生态系统的修复, 以推动农业绿色发展转型。伴随工业化水平的提升, 更多先进技术得以应用于农业相关领域, 这有助于推广精准农业与生态农业, 进而推动传统农业逐步向现代化农业转型。

3) 信息沟通、年均降水量、农业自然灾害和年均气温 4 项子指标均未通过显著性检验, 未成为影响长江经济带各省域农业绿色发展时空分异的关键因素。可能的解释是信息沟通作为单一因素, 其对农业发展的影响相对有限; 而且长江经济带历年降水量与气温变化幅度较小。更为重要的是, 在数字化时代, 科技的进步与应用可提前有效预测各类气候灾害的发生, 从而显著降低自然因素对农业绿色发展的制约作用, 这也从侧面印证出科技及数字化

表 3 长江经济带农业绿色发展驱动因素探测结果

Table 3 Detection results of driving factors for green agricultural development in the Yangtze River Economic Belt

维度 Dimension	探测指标 Detection index	q 统计量 q statistic	P 值 P value
政策因素 Policy factor (X_1)	财政支农政策 Fiscal support for agriculture policy (X_{11})	0.5712	0.0254
经济因素 Economic factor (X_2)	人均GDP GDP per capita (X_{21})	0.6220	0.0000
	工业化水平 Industrialization level (X_{22})	0.3626	0.0408
	城镇化水平 Urbanization level (X_{23})	0.6027	0.0152
社会因素 Social factor (X_3)	人口密度 Population density (X_{31})	0.6894	0.0192
	信息沟通 Information communication (X_{32})	0.1505	0.8655
自然因素 Natural factor (X_4)	年均降水量 Average annual precipitation (X_{41})	0.1901	0.7961
	农业自然灾害 Agricultural natural disasters (X_{42})	0.0635	0.8842
	年均气温 Annual average temperature (X_{43})	0.0519	0.9372

信息手段有利于促进农业转型升级,与金绍荣等^[41]的研究结果一致。

2.4.2 因子交互作用

表 4 报告了因子交互作用结果:所有影响因素之

间均存在交互作用,并且当指标发生交互作用时会进一步强化因子解释力,作用类型涵盖非线性增强与双因子增强 2 种。综上,长江经济带农业绿色发展水平的提升是所有因素综合作用的结果。

表 4 长江经济带农业绿色发展驱动因素交互作用探测结果

Table 4 Detection results of the interaction between driving factors for green agricultural development in the Yangtze River Economic Belt

因子 Factor	X_{11}	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{31}	X_{32}	X_{41}	X_{42}	X_{43}
X_{11}	0.5712								
X_{21}	0.6901	0.6220							
X_{22}	0.9094	0.9018	0.3626						
X_{23}	0.6263	0.6937	0.9046	0.6027					
X_{31}	0.7989	0.8063	0.9339	0.8111	0.6894				
X_{32}	0.6965	0.8248	0.6308	0.7241	0.9136	0.1505			
X_{41}	0.7514	0.8534	0.9176	0.8043	0.8588	0.4650	0.1901		
X_{42}	0.7521	0.8344	0.5681	0.7402	0.8974	0.4429	0.8526	0.0635	
X_{43}	0.8756	0.8993	0.6562	0.9595	0.9111	0.3108	0.5833	0.5736	0.0519

各因子的解释见表3。加粗表示非线性增强,未加粗表示双因子增强。Explanation of each factor is shown in Table 3. Bold indicates non-linear enhancement, while non bold indicates dual factor enhancement.

1) 在政策和经济因素层面,财政支农政策、人均 GDP、工业化水平及城镇化水平 4 项因素均对长江经济带农业绿色发展水平具有显著驱动作用,且各项因子发生交互后因子解释力均有所提升。其中,工业化水平与财政支农政策、人均 GDP 及城镇化水平交互后因子解释力均在 0.9 左右,证明这 4 项因子交互能够发挥更大的作用。

2) 在社会因素层面,人口密度对长江经济带农业绿色发展水平具有显著驱动作用,且与其他因子发生交互后因子解释力均有所提升。信息沟通单独出现对长江经济带农业绿色发展水平影响并不显著,但与其他因子交互后因子解释力有所提升且大部分为非线性增强,证明信息沟通仍能够对农业绿色发展产生重要影响。

3) 在自然因素层面,农业自然灾害、年均降水量与年均气温单独出现对长江经济带农业绿色发展水平影响均不显著,但这 3 项与其他因子交互后达到的因子解释力显著提升且大部分均为非线性增强,证明农业自然灾害、年均降水量与年均气温也是影响长江经济带农业绿色发展的关键要素。

综上,财政支农政策、人均 GDP、工业化水平、城镇化水平与人口密度这 5 项因素对长江经济带农业绿色发展水平具有显著驱动作用,且与其他因子发生交互时产生的驱动力更强;信息沟通这项社会因素也能够一定程度上增强其他因子的因子解释力,但是并不构成影响长江经济带农业绿色发展水平的关键驱动因素;而年均降水量、农业自然灾害

与年均气温这 3 项自然因素各自均未通过因子探测器显著性检验,但是其与其他因子交互所产生的因子解释力显著提升,同样也是影响长江经济带农业绿色发展的关键要素。

3 讨论

鉴于长江经济带在全国农业领域中发挥着“压舱石”的重要作用,在国家倡导长江经济带高质量发展的背景下,有关如何促进农业高质量发展的议题受到学术界的广泛关注。尽管相关研究^[42-43]考察了区域性农业绿色发展水平的空间特征以及驱动因素,但是对于长江经济带区域农业绿色发展水平研究较少,且研究的纵向时间跨度较短,对于时间分布特征、时空动态分布以及空间相关性与聚集性的研究均未深入,也并未将社会因素与自然因素纳入影响因素展开系统化研究。绿色兴农、质量兴农,既是促进长江经济带高质量发展的内在要求,也是促进长江经济带各区域绿色发展协调的迫切任务。从地理经济学视角研究农业绿色发展时空演变及驱动因子能够融合多学科的知识和方法为农业绿色发展提供更全面的研究视角与工具;深入研究农业绿色发展的地域性、空间相关性等问题,有助于为促进各地区农业绿色发展提供更为精确的数据与建议,具有重要的理论与现实价值。

区别于以往研究,本研究以中国农业绿色发展典型示范区——长江经济带作为研究对象,在整体维度以及区域、省域细分的基础上,深入开展农业

绿色发展水平的时空分异格局及驱动因子识别, 探究长江经济带 11 个省(市)发展的共性、差异性特征及空间关联性, 极大丰富了地理经济学视角下长江经济带农业绿色发展水平研究。与此同时, 综合运用熵值法、核密度、莫兰指数以及地理探测器等多种方法, 更加系统性地研究了长江经济带地区农业绿色发展水平的时空分异格局及驱动因子, 为长江经济带农业绿色发展的统筹协调提供决策依据。可能的边际贡献在于: 第一, 有助于深度拓展绿色农业研究领域与深度。长江经济带作为中国重要的农业区域, 其特殊的地理位置、气候条件、土壤特点、农业产业结构、经济结构使得该研究具有一定的代表性和示范意义, 通过深入探讨长江经济带农业绿色化发展的特点和规律, 总结经验和教训, 可以为其他地区的农业绿色化转型提供可借鉴的标杆经验, 促进全国范围内农业可持续发展的推进。第二, 有效提升相关部门制定具体针对性政策的指导性。通过运用科学准确的研究方法和数据分析工具, 综合考察农业绿色发展水平在时间和空间上的差异变化以及导致这些差异的驱动因子, 这种更全面、更综合性的分析有助于深化对农业绿色发展路径的认识, 有效提高研究结论的可靠性和说服力, 为未来制定更为精准的农业绿色发展政策和实践应用提供科学依据。

特别说明的是, 鉴于数据获取的限制及部分指标难以科学量化并嵌入模型, 目前在长江经济带农业绿色发展水平的测度和研究过程中, 暂未纳入农业低碳化发展指标。在未来的研究中, 我们将不断完善农业绿色发展评价体系, 探寻更多影响农业绿色发展的因素, 尝试整合更为广泛、更为全面的多维要素, 并力争细化研究尺度, 从省份细化至地市尺度, 进一步反映区域间的差异性和特点, 以提升研究的实用性和精确度。

4 结论与建议

4.1 结论

第一, 从时间推演来看, 长江经济带农业绿色发展呈现稳定提升但区域差距增大的演变格局。从整体发展来看, 长江经济带农业绿色发展水平呈稳定增长趋势。从子区域发展势头看, 下游地区发展势头最强, 其次是中游与上游地区。从动态演变上看, 上、中、下游区域农业绿色发展均呈两极分化趋势, 内部差距不断缩小; 长江经济带整体未出现极化现象, 但内部差距在不断增大。

第二, 从空间分异特征来看, 长江经济带农业绿

色发展水平展现出整体空间正相关性及较高的集聚特征, 局部集聚模式以 H-H 型、L-H 型、L-L 型为主。其中, H-H 模式主要集聚在浙江省、上海市、江苏省和安徽省, 并且存在空间溢出效应能够辐射带动邻近地区。L-H 集聚区仅出现在安徽省, 但其相邻地区均处于较高水平, 预示着该省发展存在巨大提升潜力。L-L 集聚区则集中在贵州省, 其农业绿色发展水平相对滞后。

第三, 从关键驱动因子来看, 社会、政策和经济因素是长江经济带农业绿色发展时空分异形成的核心驱动因子, 细化子项指标的贡献程度依次为人口密度、人均 GDP、城镇化水平、财政支农政策和工业化水平。当这 5 项因子与信息沟通发生交互作用时, 对长江经济带农业绿色发展水平的影响会有所强化; 当与年均降水量、农业自然灾害及年均气温发生交互时, 各因子影响力也得到显著提升。而信息沟通、年均降水量、农业自然灾害及年均气温均不构成长江经济带农业绿色发展的重要驱动因素。

4.2 建议

第一, 因地制宜促进上游农业绿色产业发展, 特别是贵州、云南等山地、林地较多的滞后地区。应加强科研院所与企业合作共同推进生态农业和特色产业, 倡导有机农业和绿色种植等环保农业方式; 同时, 政府部门应设立农业绿色专项资金并优化转移支付机制, 确保资金精准、有效用于农业绿色可持续转型。

第二, 充分发挥下游优势省份在农业绿色发展中的示范引领作用, 强化其空间溢出效应。具体而言, 上海、浙江、江苏等下游农业重点区域应利用其“领头羊”地位, 通过跨区合作项目、共建示范基地等方式, 促进其发挥标杆示范作用; 同时, 建立跨省农业绿色发展帮扶平台, 发挥其标杆溢出效应带动其他滞后地区实现区域协调发展。

第三, 充分运用政策支持与经济激励的交互作用, 促进农业新质生产力在绿色可持续发展领域的拓展。首先, 政府可通过资金投入、科研项目支持、优惠政策等手段, 加大对数字化农业技术、精准农业技术、生态农业技术等农业科技创新与转化的支持力度, 促进农业新型生产力的培育和推广。其次, 建立激励机制与市场导向, 通过提供奖励、补贴、减税等经济激励措施鼓励农户和企业采用绿色生产方式, 积极引导并规范绿色品牌农产品的销售与消费形成可持续的市场机制, 为农业新质生产力提供持续发展动力。

参考文献 References

- [1] 李周. 农业强国的含义、度量和进路[J]. 江西社会科学, 2023, 43(11): 5-15
LI Z. The meaning, measurement and pathway of building a strong agricultural nation[J]. Jiangxi Social Sciences, 2023, 43(11): 5-15
- [2] ZHOU F, WEN C H. Research on the level of agricultural green development, regional disparities, and dynamic distribution evolution in China from the perspective of sustainable development[J]. *Agriculture*, 2023, 13(7): 1441
- [3] 刘香玲, 孙斌. 农业绿色发展理念的三维论析[J]. 江西社会科学, 2023, 43(4): 24-31
LIU X L, SUN B. Three-dimensional analysis of the concept of agricultural green development[J]. Jiangxi Social Sciences, 2023, 43(4): 24-31
- [4] HAN B B, YANG D Y. Spatial spillover effects of agricultural industrial agglomeration on the growth of agricultural green total factor productivity[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2023, 37(6): 29-37
- [5] 巩前文, 李学敏. 农业绿色发展指数构建与测度: 2005—2018年[J]. 改革, 2020(1): 133-145
GONG Q W, LI X M. Construction and measurement of agricultural green development index: 2005-2018[J]. *Reform*, 2020(1): 133-145
- [6] HAO J N, CANG G Y, ZHANG X, et al. Evaluation of the green agricultural development before and after a comprehensive management in the Shiyang River Basin[J]. *Journal of Lanzhou University. Natural Science*, 2021, 57(1): 109-116
- [7] YAN J L, TANG Z Y, GUAN Y N, et al. Analysis of measurement, regional differences, convergence and dynamic evolutionary trends of the green production level in Chinese agriculture[J]. *Agriculture*, 2023, 13(10): 2016
- [8] 许烜, 宋微. 乡村振兴视域下农业绿色发展评价研究[J]. *学习与探索*, 2021(3): 130-136
XU X, SONG W. Research on the evaluation of agricultural green development from the perspective of rural revitalization[J]. *Study & Exploration*, 2021(3): 130-136
- [9] 郭强, 杨湘君. 中国省域发展软环境评价及其区域差异[J]. *经济地理*, 2023, 43(9): 10-19
GUO Q, YANG X J. Evaluation and regional disparity of the soft environment development at the provincial level[J]. *Economic Geography*, 2023, 43(9): 10-19
- [10] RUI Y, YANG H, YANG K. Spatio-temporal evolution characteristics and impact mechanism of high-quality agricultural development of the Yellow River Basin in Shanxi Province[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2021, 26(5): 141-152.
- [11] 王翌秋, 徐丽, 曹蕾. “双碳”目标下农业机械化与农业绿色发展——基于绿色全要素生产率的视角[J]. *华中农业大学学报(社会科学版)*, 2023(6): 56-69
WANG Y Q, XU L, CAO L. Agricultural mechanization and agricultural green development under the “dual carbon” goal — A perspective based on green total factor productivity[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition)*, 2023(6): 56-69
- [12] XU L Y, JIANG J, DU J G. How do environmental regulations and financial support for agriculture affect agricultural green development? The mediating role of agricultural infrastructure[J]. *Journal of Environmental Planning and Management*, 2023: 1-28
- [13] LI E L, ZHANG M Z, LI R L, et al. Influencing factors and improvement suggestions for agricultural green development performance: empirical insights from China[J]. *Chinese Geographical Science*, 2023, 33(5): 917-933
- [14] 王恒, 方兰. 中国农业数字化与绿色化时空耦合协调关系及驱动力分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2023, 32(4): 868-882
WANG H, FANG L. Analysis of the spatio-temporal coupling and coordination relationship and the driving forces of the digitalization and greening of Chinese agriculture[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2023, 32(4): 868-882
- [15] 郭海红. 数字乡村建设、资源要素错配与农业绿色全要素生产率[J]. *中国地质大学学报(社会科学版)*, 2024, 24(1): 102-116
GUO H H. Digital rural construction, misallocation of resource elements, and agricultural green total factor productivity[J]. *Journal of China University of Geosciences (Social Sciences Edition)*, 2024, 24(1): 102-116
- [16] SONG Y G, ZHANG B C, WANG J H, et al. The impact of climate change on China's agricultural green total factor productivity[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2022, 185: 122054
- [17] 周静. 长江经济带农业绿色发展评价、区域差异分析及优化路径[J]. *农村经济*, 2021(12): 99-108
ZHOU J. Evaluation, regional difference analysis and optimization path of agricultural green development in Yangtze River Economic Belt[J]. *Rural Economy*, 2021(12): 99-108
- [18] 丘雯文, 钟涨宝, 田文文. 长江经济带农业绿色增长的时空格局及影响因素研究[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2020, 28(5): 764-774
QIU W W, ZHONG Z B, TIAN W W. Spatio-temporal patterns and impact factors of green economic growth of agriculture in the Yangtze River Economic Belt[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2020, 28(5): 764-774
- [19] 苏凯, 孟海波, 张辉. 中国农业绿色发展指标体系构建及其“十四五”趋势预判[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(20): 287-294
SU K, MENG H B, ZHANG H. Construction of the green development indicators for agriculture and its prediction in the 14th Five-Year Plan in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, 37(20): 287-294
- [20] 刘惠良, 刘红峰, 尹少华. 基于乡村振兴视域下农业绿色发展水平测度研究[J]. *经济地理*, 2024: 1-17
LIU H L, LIU H F, YIN S H. Research on the measurement of agricultural green development level based on the perspective of Rural Revitalization[J]. *Economic Geography*, 2024: 1-17
- [21] 李周. 中国农业绿色发展: 创新与演化[J]. *中国农村经济*, 2023(2): 2-16
LI Z. The green development of agriculture in China: innovation and evolution[J]. *Chinese Rural Economy*, 2023(2): 2-16
- [22] 于法稳. 新时代农业绿色发展动因、核心及对策研究[J]. *中国农村经济*, 2018(5): 19-34
YU F W. An analysis of the reasons, core and countermeasures of agricultural green development in the new era[J]. *Chinese Rural Economy*, 2018(5): 19-34
- [23] 梅新育. 确保、扩大有效灌溉面积对粮食安全的重要意义[J]. *人民论坛·学术前沿*, 2022(8): 87-95
MEI X Y. The importance of ensuring and expanding the effective irrigation area for food security[J]. *Frontiers*, 2022(8):

- 87–95
- [24] 马晓冬, 胡颖, 黄彪. 江苏省乡村绿色发展的时空特征及影响因素[J]. 经济地理, 2022, 42(4): 159–167
MA X D, HU Y, HUANG B. Spatial-temporal characteristics and influencing factors of rural green development in Jiangsu Province[J]. *Economic Geography*, 2022, 42(4): 159–167
- [25] 阿布都热合曼·阿布迪克然木, 饶芳萍, 马贤磊, 等. 协同型基层治理对农户参与水土保持设施集体管护的影响[J]. 资源科学, 2022, 44(10): 1949–1963
ABUDUREHEMAN·A, RAO F P, MA X L, et al. Effect of primary-level collaborative governance on farmers' participation in cooperative maintenance on soil and water conservation facilities[J]. *Resources Science*, 2022, 44(10): 1949–1963
- [26] 赵会杰, 于法稳. 基于熵值法的粮食主产区农业绿色发展水平评价[J]. 改革, 2019(11): 136–146
ZHAO H J, YU F W. Evaluation of agricultural green development level in main grain producing areas based on entropy method[J]. *Reform*, 2019(11): 136–146
- [27] 陈莉莉, 彭继权. 中国高标准农田建设政策对粮食生产能力的影响及其机制[J]. 资源科学, 2024, 46(1): 145–159
CHEN L L, PENG J Q. Influence of high-standard farmland construction policy on grain production capacity and mechanism[J]. *Resources Science*, 2024, 46(1): 145–159
- [28] 辛岭, 安晓宁. 我国农业高质量发展评价体系构建与测度分析[J]. 经济纵横, 2019(5): 109–118
XIN L, AN X N. Construction and empirical analysis of agricultural high-quality development evaluation system in China[J]. *Economic Review Journal*, 2019(5): 109–118
- [29] LI E L, ZHANG M Z, LI R L, et al. Influencing factors and improvement suggestions for agricultural green development performance: empirical insights from China[J]. *Chinese Geographical Science*, 2023, 33(5): 917–933
- [30] GUO Z D, ZHANG X N. Carbon reduction effect of agricultural green production technology: a new evidence from China[J]. *The Science of the Total Environment*, 2023, 874: 162483
- [31] 郭海红, 盖凌云. 山东省农业绿色低碳转型评价及驱动因素分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2024, 32(2): 240–251
GUO H H, GAI L Y. Evaluation and driving factor analysis of agricultural green and low-carbon transformation in Shandong Province[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2024, 32(2): 240–251
- [32] 刘涛, 李继霞, 霍静娟. 中国农业高质量发展的时空格局与影响因素[J]. 干旱区资源与环境, 2020, 34(10): 1–8
LIU T, LI J X, HUO J J. Spatial-temporal pattern and influencing factors of high-quality agricultural development in China[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2020, 34(10): 1–8
- [33] 欧沙, 成思婕, 罗晓霞, 等. 湖南省“五化”协同发展评价及对策[J]. 经济地理, 2019, 39(8): 44–50, 58
OU S, CHENG S J, LUO X X, et al. Evaluation and countermeasures of “Five-Oriented” coordinated development in Hunan Province[J]. *Economic Geography*, 2019, 39(8): 44–50, 58
- [34] 季永月, 张丽君, 秦耀辰, 等. 中国地级及以上城市“四化”水平对绿色发展的空间计量分析[J]. 经济地理, 2020, 40(4): 184–194
JI Y Y, ZHANG L J, QIN Y C, et al. The impact of “Four Modernizations” on green development in Chinese prefecture-level cities: a spatial econometric analysis[J]. *Economic Geography*, 2020, 40(4): 184–194
- [35] 刘涛, 李继霞, 霍静娟. 中国农业高质量发展的时空格局与影响因素[J]. 干旱区资源与环境, 2020, 34(10): 1–8
LIU T, LI J X, HUO J J. Spatial-temporal pattern and influencing factors of high-quality agricultural development in China[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2020, 34(10): 1–8
- [36] 盖美, 杨尚菲, 何亚宁. 东北粮食主产区农业绿色发展水平时空演化及其影响因素[J]. 资源科学, 2022, 44(5): 927–942
GAI M, YANG Q F, HE Y N. Spatiotemporal changes and influencing factors of agricultural green development level in main grain-producing areas in Northeast China[J]. *Resources Science*, 2022, 44(5): 927–942
- [37] 张利国, 谭笑, 肖晴川, 等. 基于气候资源投入的中国农业生态效率测度与区域差异[J]. 经济地理, 2023, 43(4): 154–163
ZHANG L G, TAN X, XIAO Q C, et al. Agricultural eco-efficiency measurement and regional difference in China based on the climate resource input[J]. *Economic Geography*, 2023, 43(4): 154–163
- [38] 郭付友, 佟连军, 仇方道, 等. 黄河流域生态经济走廊绿色发展时空分异特征与影响因素识别[J]. 地理学报, 2021, 76(3): 726–739
GUO F Y, TONG L J, QIU F D, et al. Spatio-temporal differentiation characteristics and influencing factors of green development in the eco-economic corridor of the Yellow River Basin[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(3): 726–739
- [39] 代明慧, 于法稳. 气候变化背景下农业绿色发展能力提升研究[J]. 中州学刊, 2024(4): 49–56
DAI M H, YU F W. Research on enhancing agricultural green development capability under the background of climate change[J]. *Academic Journal of Zhongzhou*, 2024(4): 49–56
- [40] 高群, 陈衡洋, 张新亮. 中国农业绿色发展政策的历史演变与焦点特征——基于注意力视角的文本分析[J]. 资源科学, 2023, 45(12): 2433–2448
GAO Q, CHEN H Y, ZHANG X L. Evolution and focal features of China's agricultural green development policies: text analysis based on attention perspective[J]. *Resources Science*, 2023, 45(12): 2433–2448
- [41] 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
JIN S R, REN Z J. The impact of rural digitalization on agricultural green total factor productivity[J]. *Reform*, 2022(12): 102–118
- [42] 苟兴朝, 张斌儒. 长江经济带农业绿色发展: 水平评价、空间相关性及其影响因素[J]. 长江大学学报(社会科学版), 2023, 46(1): 68–77
GOU X C, ZHANG B R. Green development of agriculture in the Yangtze River economic belt: level evaluation, spatial correlation and its influencing factors[J]. *Journal of Yangtze University (Social Sciences Edition)*, 2023, 46(1): 68–77
- [43] 韩叙, 王英, 刘文婷, 等. 县域视角下黄河流域农业绿色发展时空分异特征及驱动因素研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2024, 32(7): 1251–1263
HAN X, WANG Y, LIU W T, et al. Study on the spatiotemporal differentiation characteristics and driving factors of agricultural green development in the Yellow River Basin from a county perspective[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2024, 32(7): 1251–1263