

中国低空经济现代化与农业高质量发展水平的区域差异性与动态演进轨迹

赵端男, 钱颖

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2025年5月22日; 录用日期: 2025年6月20日; 发布日期: 2025年6月27日

摘要

低空经济和农业高质量发展是一项紧迫而艰巨的任务。本文运用了熵权法、Dagum基尼系数、Kernel密度估计法定量评估2010年~2023年中国低空经济现代化与农业高质量发展水平的区域差异性和动态演进趋势。研究发现: 低空经济与农业高质量发展在总体差异上分别呈现“先显著均衡化、后期微分化”、“强波动性收敛”的特征; 两者的区域内差异主导全局差异, 区域间差异形成时序反转与竞争的格局: 低空经济区域间“反超式收敛”, 农业高质量发展区域间差异形成“M形博弈”; 由核密度图可知: 2010年~2023年三个不同区域的低空经济经历了从“依赖少数顶尖主体拉动”转向“多数主体共同提升”; 在农业高质量发展方面, 多数地区的发展水平仍呈现上升趋势, 多数地区摆脱了低水平阶段, 向中高端水平迈进; 然而, 峰值频繁变化也凸显了不同地区农业可持续发展过程的复杂性。未来, 我们应引入动态空间面板模型, 揭示低空经济与农业高质量发展的空间交互效应。

关键词

熵权法, Dagum基尼系数, Kernel密度估计, 低空经济, 农业高质量发展水平

Regional Differences and Dynamic Evolution Trajectories of China's Low-Altitude Economy Modernization and High-Quality Agricultural Development Levels

Duannan Zhao, Ying Qian

Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: May 22nd, 2025; accepted: Jun. 20th, 2025; published: Jun. 27th, 2025

文章引用: 赵端男, 钱颖. 中国低空经济现代化与农业高质量发展水平的区域差异性与动态演进轨迹[J]. 运筹与模糊学, 2025, 15(3): 580-593. DOI: 10.12677/orf.2025.153186

Abstract

The modernization of the low-altitude economy and the high-quality development of agriculture are urgent and arduous tasks. This paper employs the Entropy Weight Method, the Dagum Gini coefficient, and Kernel density estimation to quantitatively assess the regional differences and dynamic evolution trends of China's low-altitude economy modernization and high-quality agricultural development from 2010 to 2023. The study finds that: in terms of overall differences, the low-altitude economy and high-quality agricultural development exhibit the characteristics of "significant initial equalization followed by slight differentiation" and "strongly fluctuating convergence," respectively. The intra-regional differences of both dominate the overall disparities, while the inter-regional differences form a pattern of temporal reversal and competition. Specifically, there is an "anti-overtaking convergence" among regions in the low-altitude economy, and an "M-shaped game" in inter-regional differences of high-quality agricultural development. According to the Kernel density maps, from 2010 to 2023, the low-altitude economy in three different regions has shifted from "being driven by a few top players" to "the collective improvement of multiple players". In the context of high-quality agricultural development, the development levels of most regions have been on the rise, with many areas emerging from the low-level stage and advancing towards the mid-to-high-end. However, the frequent changes in peak values highlight the complexity of the sustainable development process in different regions. In the future, we should introduce a dynamic spatial panel model to reveal the spatial interaction effects between the low-altitude economy and high-quality agricultural development.

Keywords

Entropy Weight Method, Dagum Gini Coefficient, Kernel Density Estimation, Low-Altitude Economy, High-Quality Agricultural Development Levels

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在全球经济格局深刻调整、我国经济转向高质量发展阶段的大背景下,低空经济作为新兴经济形态,正成为推动经济增长、促进产业升级的重要力量。低空经济以低空空域为依托,涵盖通用航空、低空旅游、航空物流等多个领域,具有高附加值、强带动性、广辐射性等特点。同时,农业作为国民经济的基础产业,其高质量发展是保障国家粮食安全、实现乡村振兴的关键所在。低空经济现代化与农业高质量发展相互关联、相互促进,低空经济的发展可为农业提供先进的技术手段(如无人机植保、农业遥感监测等)、高效的物流运输(如农产品航空冷链物流)以及创新的发展模式(如低空农业观光旅游),而农业高质量发展则为低空经济提供了广阔的应用场景和丰富的资源支撑。

然而,我国地域辽阔,各地区在自然条件、经济基础、产业结构、政策环境等方面存在显著差异,这必然导致低空经济现代化与农业高质量发展水平呈现出区域异质性。深入研究这种区域异质性及其动态演进轨迹,对于精准制定区域发展政策、促进低空经济与农业的协同发展、实现区域经济均衡发展具有重要的理论和现实意义。从理论层面来看,有助于丰富低空经济与农业经济交叉领域的研究,拓展区域经济差异理论的应用范围;从实践层面来看,能够为各地因地制宜发展低空经济和推进农业高质量发展提供科学依据,助力形成优势互补、协调发展的区域格局。

目前, 关于低空经济的研究主要集中在低空经济的概念内涵、产业体系、发展路径、政策支持等方面, 而针对低空经济与农业融合发展的研究相对较少。在农业高质量发展的研究中, 学者们大多从农业产业结构优化、科技创新、绿色发展、农村基础设施建设等方面展开, 虽然也涉及区域差异分析, 但较少将低空经济这一新兴因素纳入研究框架。

已有的研究虽然取得了一定的成果, 但仍存在以下不足: 一是缺乏对低空经济现代化与农业高质量发展水平区域差异性的系统分析, 未能全面揭示不同区域在两者发展水平上的差异特征和形成原因; 二是对两者动态演进轨迹的研究不够深入, 没有清晰描绘出区域发展水平随时间变化的趋势和规律; 三是在研究方法上, 现有文献多依赖传统统计分析方法(如描述性统计、回归分析等), 对数据分布特征分析、基尼系数以及核密度估计等能够精细刻画区域差异动态演变的方法综合运用不足, 尚未形成多维度的区域差异性测度体系, 难以精准捕捉发展水平的时空分布特征与演进规律。

2. 文献综述

2.1. 低空经济

近年来, 低空经济作为国家战略新兴产业, 其发展模式和路径成为研究焦点。覃睿[1]将其定义为依托低空空域和航空技术整合资源的新型经济形态, 为后续研究奠定基础。刘松林等[2]通过评价体系揭示出我国低空经济发展存在明显区域差异——东部地区凭借技术积累和政策支持形成优势, 而中西部受限于基础设施和产业配套。这与宋丹[3]指出的技术创新驱动产业升级但受制于政策滞后的观点相互印证。廖小罕等[4]提出的低空公共航路建设与 Pern 团队[5]的云端管理系统形成互补, 前者构建三维交通网络, 后者解决数字化监管问题, 共同构成发展的基础设施支撑。但王宝义[6]警示的顶层设计缺失, 与李晓华等[7]强调的政策弹性需求, 共同指向制度创新滞后于技术发展的矛盾。Xiao 等[8]从适航标准角度补充了安全规范体系的重要性, 凸显低空经济涉及技术、政策和安全的复杂性。

2.2. 农业高质量发展

自农业高质量发展理念提出以来, 学界围绕其内涵与实践路径展开了持续探讨。作为农业生产的基础性要素, 耕地与水资源的保护利用被视作这一发展模式的核心要义[9]。研究显示, 该理念既延续了可持续发展的过程导向[10], 更蕴含着经济生态协同发展的系统性变革特征。尽管学界在农业可持续发展、现代化转型等领域取得显著进展, 但对发展水平的量化测度与动态分析仍存在明显短板, 这构成了当前研究亟待突破的关键领域。

在测度方法层面, 现有研究主要呈现两大路径: 其一是通过绿色全要素生产率[11]、环境技术效率[12]等间接指标进行表征; 其二是构建包含资源效率、生态保护等维度的综合评价体系。后者虽能直观反映发展动态, 但指标体系的构建标准尚未统一——既有研究从低碳生产、经济增收与安全供给构建三维框架[13], 也有学者强调资源节约与质量高效的协同机制[14]。

区域差异研究同样面临双重挑战。既有成果多聚焦特定区域分析, 全国层面的系统性研究尚待加强。值得注意的是, 政策调整与技术进步等动态要素正持续塑造着农业高质量发展的演进轨迹。现有研究虽揭示了特定指标的时空特征, 但对长期动态规律的深度解析仍显不足。未来研究需要在完善测度体系的基础上, 着力阐释区域异质性的形成机理, 为构建差异化政策体系提供理论支撑, 这或将推动该领域研究从静态描述向动态解析的范式转变。

3. 研究框架

研究以低空经济与农业高质量发展的区域关联为核心, 基于东、中、西部的差异特征展开分析。首

先通过基尼系数方法量化区域差异, 结合核密度估计分析空间分布动态, 从形态演变视角揭示低空经济与农业发展的不平衡性; 本文流程框架见图 1。

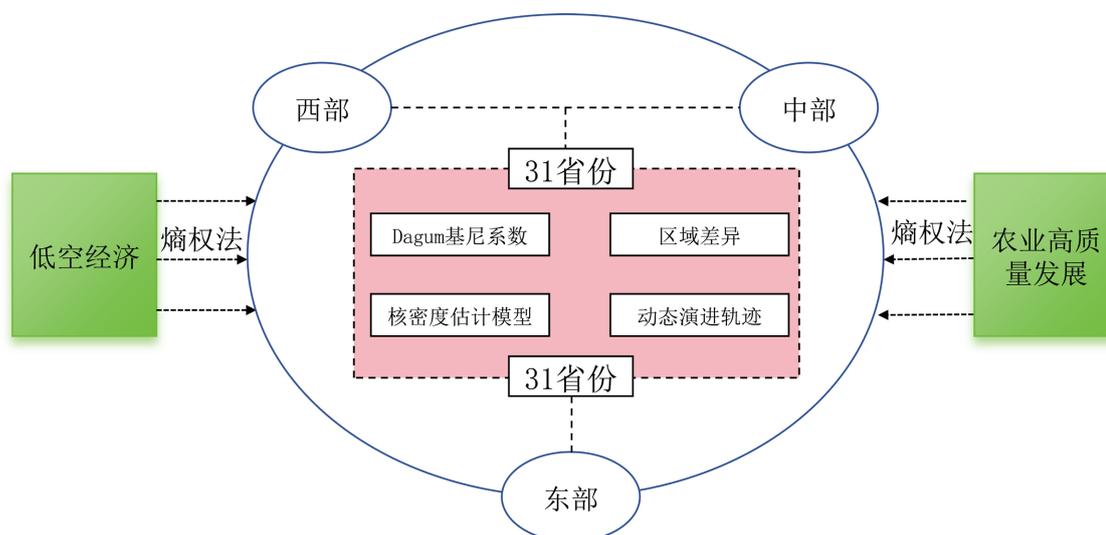


Figure 1. Process framework diagram

图 1. 流程框架图

4. 低空经济与农业高质量发展指标体系构建

4.1. 指标体系构建

依照文献综述及过往学者的研究成果, 对于低空经济发展水平而言, 本文采用创新生态、基础建设、产业体量、市场驱动和经济基础这五个维度, 并选取 15 个一级指标和 25 个二级指标; 对于农业高质量发展水平, 我们选取了 5 个一级指标和 19 个二级指标。据此, 我们构建了低空经济与农业高质量发展水平指标体系, 其中研究对象为中国 31 个省份(不含港澳台地区), 数据选取的时间范围为 2010~2023 年。具体的指标见表 1 和表 2, 其中指标属性中的“+”和“-”分别表示正向与负向影响。

Table 1. Indicator system for low-altitude economy development level

表 1. 低空经济发展水平指标体系

维度	一级指标	二级指标	单位	指标属性
创新生态	研发环境	科学技术公共预算	万元	+
		教育公共预算	万元	+
	研发投入	R&D 经费投入	万元	+
		R&D 人员全时当量	人年	+
	研发成果	专利申请授权数	件	+
		技术市场成交额	万元	+
基础建设	通信设施	光缆线路长度	公里	+
		电话普及率	部/百人	+
	航空设施	航空邮路总长度	公里	+
	卫星导航	卫星云图接收业务站点个数	个	+

续表

产业体量	企业规模	规模以上工业企业主营业务收入	亿元	+
		高科技产业主营业务收入	亿元	+
	企业数量	经营无人机的企业数量	个	+
		高技术产业企业数量	个	+
	生产效能	汽车生产量	万辆	+
	从业人数	航空运输业就业人员数	人	+
市场驱动	交通需求	等级公路里程	万/公里	+
		铁路公路里程	万/公里	+
		私人汽车拥有量	万辆	+
	物流需求	货物周转量	万元	+
经济基础	经济发展水平	人均 GDP	亿元	+
	财政支出	一般公共预算支出	亿元	+
		产业结构合理化	无	+
	产业成熟度	产业结构高级化	无	+
		银行等金融机构各项贷款余额	亿元	+

Table 2. Indicator system for agricultural high-quality development leve

表 2. 农业高质量发展水平指标体系

维度	一级指标	二级指标	计算方法	指标属性
农业高质量发展水平测度	发展条件	土地产出效率	第一产业增加值/农作物播种面积	+
		单位面积农机总动力	农业机械总动力/农作物播种面积	+
		农业保险渗透率	农业保险保费收入/第一产业增加值	+
		惠农投入力度	农林水事务支出/一般公共预算支出	+
	资源集约	耕地轮作指数	全年农作物播种面积/耕地面积	+
		耕地保存率	年末耕地总面积/上年末耕地总面积	+
		灌溉水利用系数	水利部数据	+
	农作碳效	农药使用密度	农药使用量/农作物播种面积	-
		化肥使用密度	化肥施用纯度量/农作物播种面积	-
		农膜应用强度	农膜使用量/农作物播种面积	-
		碳排放密度	农业碳排放量/农林牧渔总产值	-
	保育效能	林木覆盖度	森林面积/辖区国土面积	+
		水土涵养能力	水土流失治理面积/辖区国土面积	+
		农业灾损率	农业自然灾害受灾面积/总受灾面积	-
		绿色食品产出密度	有效用标绿色食品产品数/耕地面积	+
		有机农产品认证率	有机农产品认证面积/耕地面积	+
	实施成效	农业结构升级	农林牧渔服务业总产值/农林牧渔总产值	+
		农民生活水平	农村居民人均可支配收入	+
		粮食安全保障率	人均粮食占有量/400	+

4.2. 基于熵权法下低空经济与农业高质量发展的测度分析

本研究运用熵权法, 对低空经济与农业高质量发展水平的二级指标进行标准化处理确定指标权重, 并通过线性加权来计算低空经济与农业高质量发展的指标得分。

首先, 对选取的变量标准化处理, 消除每个变量量纲和单位的影响。由于选取的变量中夹杂着效益型和成本型两种指标, 因此需要进行不同的处理:

对于效益型指标:

$$z'_{ij} = \frac{z_{ij} - \min z_j}{\max z_j - \min z_j} \quad (1)$$

对于成本型指标:

$$z'_{ij} = \frac{\max z_j - z_j}{\max z_j - \min z_j} \quad (2)$$

其中, z_{ij} 为第 i 个样本在第 j 项指标的数值, z'_{ij} 为 z_{ij} 进行标准化处理过后的值。

为了避免标准化后的数据在求熵值时没有意义, 我们进行平移处理, 避免出现零值, 即对于效益型指标:

$$z'_{ij} = \frac{z_{ij} - \min z_j}{\max z_j - \min z_j} + 0.001 \quad (3)$$

对于成本型指标:

$$z'_{ij} = \frac{\max z_j - z_j}{\max z_j - \min z_j} + 0.001 \quad (4)$$

接下来, 我们计算第 j 项指标下第 i 个指标值所占有的比重:

$$P_{ij} = \frac{z'_{ij}}{\sum_{i=1}^m z'_{ij}} \quad (5)$$

其中, m 为评价年份, $m = 14$ 。

紧接着, 我们利用比重 P_{ij} , 计算出第 j 项指标的信息熵, 即:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \cdot \ln(P_{ij}) \quad (6)$$

其中, k 称为调节系数, $k = \frac{1}{\ln m}$, $0 \leq e_j \leq 1$ 。

然后, 我们信息熵冗余度 d_j 与第 j 项指标的权重 w_j :

$$d_j = 1 - e_j \quad (7)$$

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j} \quad (8)$$

最后, 我们得到对应变量的指标得分:

$$\xi_j = \sum w_j \cdot x'_{ij} \quad (9)$$

以上, 我们利用熵权法得到了低空经济与农业高质量发展的指标得分, 部分具体结果见表 3 和表 4。

由表 3 可知, 2010~2023 年全国低空经济发展水平从 0.161 增至 0.695, 平均增速为 11.79%, 整体上

呈现稳步提升的趋势。从平均水平上看, 低空经济发展水平的均值为 0.410, 超过均值且排名前五的省市有广东(0.469)、上海(0.468)、四川(0.460)、浙江(0.458)、北京(0.452), 可以发现排名前列的省市多数位于东部地区, 由于其经济基础的优势导致低空经济的发展水平较好。从平均增速上看, 大部分省份都突破 10% 大关, 各省份发展速度稳步提升, 可能的原因是中国先后陆续在各个省份试点并推广低空经济的管理与应用, 在推动低空经济的现代化发展取得一定的成果。结合国务院发展研究中心 2023 年专题报告指出, 通过构建“试点验证 - 政策迭代 - 全域应用”的渐进式改革路径, 我国已形成涵盖空域管理、飞行审批、产业培育的完整政策体系。因此, 总体来看, 目前我国各省份的低空经济的发展基础扎实、势头良好, 这深刻地归功于国家对低空经济领域的制度创新实践。

Table 3. Partial results of the measurement of low-altitude economy development level (2010~2023)

表 3. 2010~2023 年低空经济发展水平测算部分结果

	2010	2011	...	2022	2023	均值	平均增速
广东	0.156	0.190	...	0.702	0.745	0.469	12.08%
上海	0.259	0.279	...	0.571	0.636	0.468	7.06%
四川	0.127	0.139	...	0.741	0.768	0.460	14.44%
浙江	0.265	0.334	...	0.537	0.595	0.458	6.46%
北京	0.207	0.226	...	0.675	0.733	0.452	9.85%
贵州	0.148	0.175	...	0.700	0.717	0.449	12.50%
山东	0.226	0.267	...	0.619	0.676	0.447	8.65%
江苏	0.156	0.199	...	0.655	0.614	0.445	11.16%
黑龙江	0.334	0.326	...	0.532	0.555	0.443	3.87%
吉林	0.138	0.197	...	0.487	0.600	0.441	12.45%
湖北	0.160	0.124	...	0.753	0.806	0.435	13.36%
陕西	0.215	0.194	...	0.627	0.704	0.434	9.58%
青海	0.157	0.197	...	0.674	0.798	0.433	12.73%
云南	0.182	0.192	...	0.694	0.770	0.420	11.19%
安徽	0.185	0.236	...	0.619	0.676	0.420	10.18%
河北	0.113	0.140	...	0.605	0.598	0.413	13.72%
河南	0.142	0.193	...	0.648	0.720	0.407	13.76%
湖南	0.096	0.137	...	0.709	0.694	0.401	15.92%
辽宁	0.184	0.184	...	0.616	0.718	0.398	10.87%
江西	0.086	0.109	...	0.683	0.782	0.392	17.57%
天津	0.169	0.189	...	0.612	0.738	0.390	12.10%
新疆	0.139	0.167	...	0.580	0.702	0.389	12.74%
宁夏	0.074	0.115	...	0.649	0.698	0.389	10.38%
福建	0.158	0.167	...	0.580	0.710	0.380	12.09%
山西	0.143	0.152	...	0.655	0.773	0.379	13.17%
内蒙古	0.127	0.186	...	0.559	0.766	0.374	14.61%
海南	0.137	0.160	...	0.607	0.799	0.369	13.78%

续表

重庆	0.091	0.110	...	0.611	0.691	0.366	17.30%
广西	0.138	0.149	...	0.505	0.509	0.358	11.13%
甘肃	0.209	0.159	...	0.614	0.701	0.357	10.04%
西藏	0.060	0.061	...	0.697	0.552	0.278	11.27%
全国	0.161	0.182	...	0.630	0.695	0.410	11.79%

Table 4. Measurement results of the high-quality development level of agriculture (2010~2023)

表 4. 2010~2023 年农业高质量发展水平测算结果

年份	综合得分		分指标得分			
	农业高质量发展	发展条件 (0.226)	资源集约 (0.117)	低碳农作 (0.105)	保育效能 (0.159)	实施成效 (0.393)
2010	0.231	0.049	0.073	0.039	0.031	0.038
2011	0.247	0.035	0.093	0.046	0.039	0.034
2012	0.249	0.051	0.066	0.046	0.049	0.037
2013	0.257	0.059	0.066	0.046	0.049	0.037
2014	0.234	0.063	0.036	0.051	0.046	0.039
2015	0.353	0.077	0.041	0.053	0.066	0.116
2016	0.351	0.068	0.044	0.057	0.060	0.121
2017	0.365	0.078	0.055	0.057	0.053	0.122
2018	0.459	0.087	0.070	0.072	0.072	0.159
2019	0.538	0.100	0.085	0.083	0.103	0.168
2020	0.572	0.112	0.088	0.094	0.110	0.168
2021	0.630	0.114	0.087	0.101	0.113	0.215
2022	0.648	0.121	0.082	0.111	0.094	0.241
2023	0.681	0.134	0.086	0.114	0.085	0.262

注：括号里为 2010~2023 年权重的均值。

基于农业高质量发展水平测算结果可以发现：第一，实践成效始终处于核心地位，其战略作用逐年强化。该指标权重在 2015 年后呈现加速增长态势，显著高于其他评价指标，印证实效已成为驱动农业绿色转型的关键因素，反映出我国绿色农业生产体系已形成良性发展态势；第二，发展条件指标呈现螺旋上升趋势。虽在 2011 年经历短暂调整，但整体保持稳定增长，为农业绿色发展奠定要素保障基础；第三，低碳农作指标实现突破性进展。其权重自 2011 年启动持续攀升，尤其在 2018 年后增速显著，这与农业面源污染治理体系完善及“零增长行动”等政策实施存在显著关联；第四，资源集约与生态保护指标仍存提升空间，二者权重长期处于低位，揭示资源利用效率与生态补偿机制亟待优化。

从阶段演进视角观察可以发现：2011~2015 年属于基础建设期，重点在低碳农作与实践成效领域取得突破，农业可持续发展理念开始落地生根；2016~2020 年进入快速发展期，实践成效指标贡献度大幅提升，绿色技术应用产生规模效应；2021 年后迈入提质增效阶段，整体综合得分突破 0.65 大关，低碳农作与实践成效形成协同驱动格局，标志着农业绿色发展进入制度成熟期。

4.3. 数据说明

本文以我国 2010~2023 年的数据作为研究样本进行分析。数据主要来源于《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国高技术产业统计年鉴》《中国金融年鉴》《中国保险年鉴》、生态环境统计年报、第二次全国污染源普查公报、国家统计局官网、中国绿色食品发展中心官网和马克数据库等。需要说明的是,在统计数据的过程中,对于缺失的数据,我们采用了线性插值法、增长率预测等方法进行填补。

5. 中国低空经济现代化与农业高质量发展水平的区域差异性

参照伊朝静等[15]的研究方法,本研究采用 Dagum 基尼系数,对 2010~2023 年中国低空经济现代化与农业绿色发展水平的区域异质性展开量化分析,通过区域间、区域内及超变密度分解,精准识别差异形成的关键因素与贡献占比。

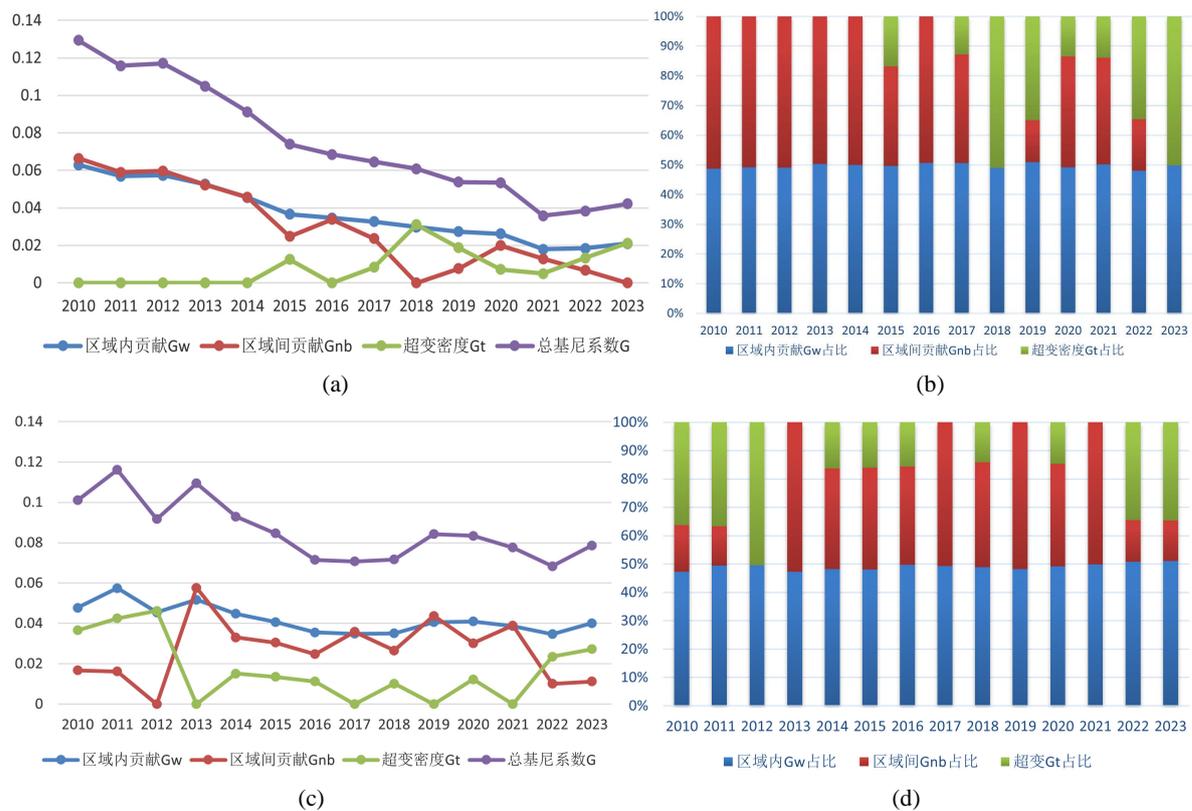


Figure 2. Overall differences, sources of variation, and contributions between the modernization of the low-altitude economy and the level of agricultural green development

图 2. 低空经济现代化与农业绿色发展水平的总体差异、差异来源及贡献

总体差异。见图 2(a), 图 2(c), 低空经济现代化与农业高质量发展水平的总基尼系数呈现不同的变化趋势。2010~2023 年, 低空经济现代化发展水平的总基尼系数整体呈现“先大幅下降, 期间小幅波动, 后期略有回升”的趋势。具体而言, 2010 年总基尼系数为 0.129, 至 2021 年显著下降至 0.035, 其间 2011~2012 年有小幅提升, 但未改变总体下降态势; 2021~2023 年, 总基尼系数由 0.035 上升至 0.042, 出现一定程度的回升。对于, 农业高质量发展水平的总基尼系数在整体上呈现出“波动下降”的趋势, 且波动幅度相对较大。具体变化情况如下: 自 2010 年起, 该系数从 0.101 上升至 2011 年的 0.116, 随后在 2012 年

回落至 0.092; 至 2013 年, 又回升至 0.109。从 2013 年至 2018 年期间, 总基尼系数持续走低, 降至 0.072, 其中 2016 至 2018 年间的变化尤为平稳。此后, 2018 年至 2019 年, 系数小幅反弹至 0.084; 但从 2019 年至 2022 年, 再次进入下降通道, 最终降至 0.068。而 2022 年至 2023 年, 则出现上升趋势, 由 0.068 升至 0.079。分析结果表明低空经济现代化的均衡发展成效显著, 但需防范技术鸿沟; 农业高质量发展的波动性凸显可持续发展的复杂性, 需构建“政策 - 技术 - 生态”协同机制。

差异来源与贡献。见图 2(b), 图 2(d), 从贡献率大小来看, 低空经济现代化发展水平的区域内、区域间、超变密度年均贡献率分别为 49.63%、34.09%、16.29%, 农业高质量发展水平为 49.05%、31.73%、19.22%, 区域内贡献概率最高, 区域内差异是差异的主要来源。因此缩小区域内低空经济现代化与农业高质量发展水平差距是促进区域协调发展战略实质性落地和全国统一大市场高效运转的关键。

从贡献率时变趋势看, 低空经济的区域内差异呈“减 - 平”的特点, 2010~2021 年区域内差异明显缩小, 2021~2023 年区域内差异变化保持稳定; 超变密度贡献率变化趋势呈“增 - 减”的特点, 2010~2018 年、2018~2023 年分别出现了明显上升和下降, 表明区域间存在两类动态交叉现象: 1) 欠发达区域“局部突破”与发达区域“内部塌陷”。2) 区域“计划重组”与“均值收敛”。这两类现象揭示了中国低空经济发展的“差异化突破 - 极化重组”循环现象。农业高质量发展的区域内差异呈现“增 - 减”的特点, 2011 年区域内差异达到最高值 0.057, 2011 年~2023 年区域内差异明显缩小; 超变密度贡献率变化趋势, 由 2010 年的 0.037 上升至 2012 年的 0.046, 到 2023 年超变密度贡献率变为 0.027, 其中, 2012~2022 年期间, 超变密度贡献率的变化呈现波动性。低空经济发展水平区域间贡献率呈现“波动下降”的趋势, 而农业高质量发展的区域间贡献率呈现“先上升, 后波动下降”的趋势。

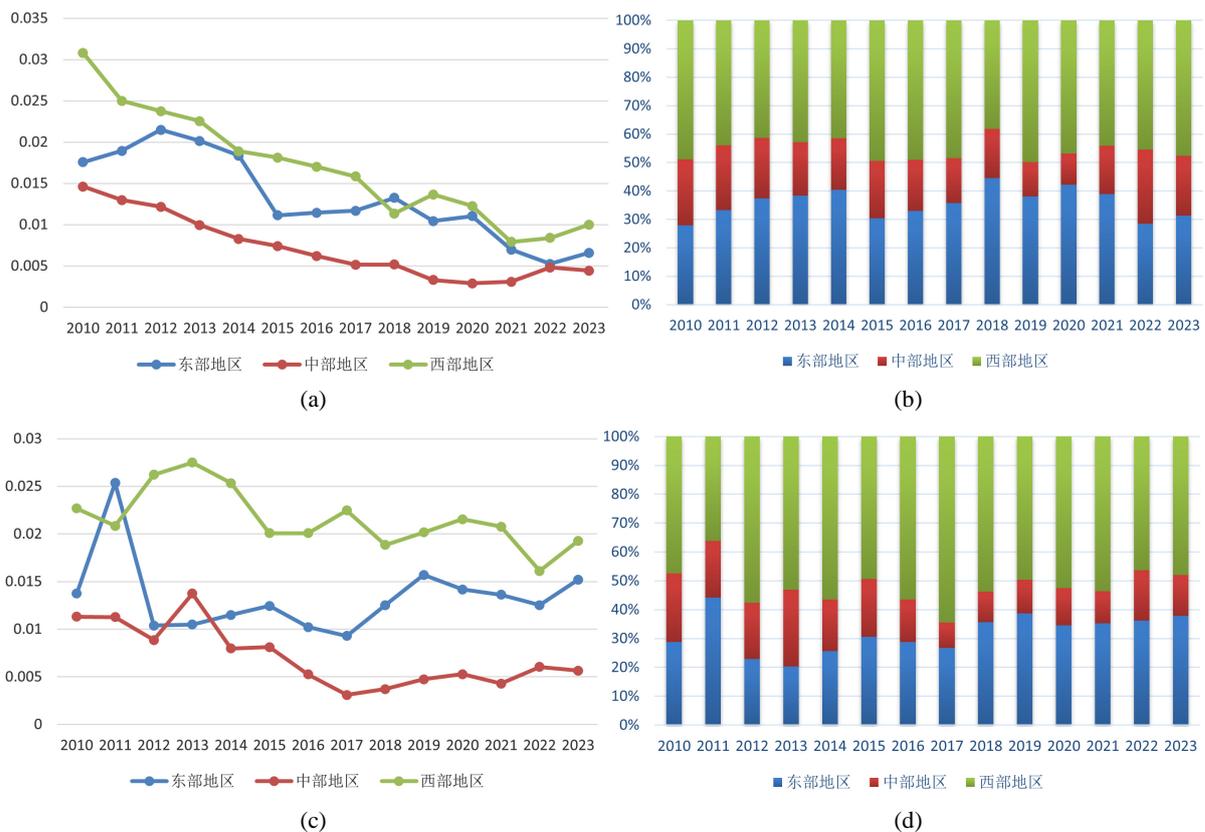


Figure 3. Intra-regional differences across different regions
图 3. 不同地区的区域内差异

区域内差异。见图 3(a), 图 3(c), 不同地区低空经济与农业高质量发展水平呈现不同的变化趋势。2010~2023 年低空经济与农业高质量发展水平的区域内差异: 西部地区内部差异 > 东部地区 > 中部地区, 在此期间, 存在个别情况, 比如在 2011 年和 2018 年, 农业高质量发展水平和低空经济发展水平的区域内差异, 东部地区内部差异 > 西部地区。对于西部地区, 低空经济发展水平的区域内差异呈持续显著下降趋势, 在 2021~2023 年略微回升。对于东部地区, 整体呈下降趋势, 在 2010~2015 年东部地区呈现先增后降, 2015 年东部地区内部差异达到最大在 2015~2023 年出现波动下降的趋势; 中部地区与西部地区的变化较为相似农业高质量发展水平的区域内差异: 西部地区内部差异由 2010 年的 0.023 下降至 2012 年的 0.021, 再上升至 2013 年的 0.028, 在 2013~2023 年期间, 内部差异变化呈现波动下降的趋势; 东部地区内部差异在 2010~2012 年期间, 出先明显先上升后下降的趋势, 往后 10 年内部差异变化呈现波动特点; 中部地区内部差异与东部地区内部差异的变化具有一定的相似性。从以上分析表明: 在 2010~2023 年期间, 低空经济现代化发展水平, 西部地区与中部地区的各省之间发展水平差异在逐渐缩小。2023 年与 2010 年相比较, 虽然东部地区各省之间发展水平差异缩小, 但发展水平差异变化存在不稳定性; 在这期间, 农业高质量发展水平, 不同地区的各省发展水平差异变化也存在不稳定的现象。



Figure 4. Inter-regional differences across different regions
图 4. 不同地区的区域间差异

区域间差异。见图 4, 在 2010~2014 年期间, 低空经济现代化发展水平的地区间差异由大到小为: 东 - 西 > 中 - 西 > 东 - 中; 在其它年份, 出现了地区反超的现象, 比如在 2018 年西部地区的低空经济发展水平反超东部和中部地区, 在 2017~2023 年, 中部地区发展水平一直领先于东部地区, 2022~2023 年, 西部地区发展水平领先东部地区。整体上来看, 从 2010~2023 年地区之间的发展水平在缩小。如图 3(c) 所示, 从时变趋势来看, 在 2012~2013 年期间东 - 中、东 - 西、中 - 西地区间的农业高质量发展水平差

异整体扩大,东-中、东-西、中-西地区间的差异整体缩小,呈“三升三降”特征。从2013~2022年,东-中、东-西地区间的基尼系数大致呈“M”形变化趋势,2013~2016年,中部、西部地区,发展迅猛,缩小与东部地区之间的差距,2013年~2021年,东部地区你追我赶,拉大了西部地区和中部的差距,在2016~2021期间,西部地区与中部地区出现“交替反超”的现象。

6. 中国低空经济现代化与农业高质量发展水平的动态演进轨迹

Kernel方法擅长捕捉发展水平随时间演变的动态轨迹特征。本文借鉴田云等[15]的研究框架构建核密度估计模型,该非参数统计技术无需预设总体分布形态,通过局部加权平滑算法对随机变量的概率密度函数进行渐进逼近,最终可视化呈现数据分布的几何特征(表5)。

Table 5. Dynamic evolution characteristics of low-altitude economy modernization development level

表 5. 低空经济现代化发展水平动态演进特征

区域	分布位置	分布形态	分布延展性	极化程度
东部	右移	峰值频繁变动,波动下降,宽度扩大	不存在明显拖尾	无极化
中部	右移	峰值频繁变动,波动式缓降,宽度扩大	不存在明显拖尾	无极化
西部	右移	峰值频繁变动,整体下降,宽度扩大	不存在明显拖尾	无极化

见图5,分布位置方面,样本期间核密度估计曲线中心和变化区间明显右移,说明东部、中部、西部地区低空经济现代化发展水平持续提升。东部、西部、中部地区峰值升降频繁,整体呈下降趋势,曲线宽度变宽,主峰形态由尖而窄变为扁而宽,再结合分布位置向低空经济指标增大的方向移动情况来看,表明2010年~2023年三个不同区域的低空经济经历了从“依赖少数顶尖主体拉动”转向“多数主体共同提升”,尽管顶尖优势弱化,但整体“中等水平”群体扩大,推动了低空经济现代化发展水平持续增长,缩小了不同区域内部各省之间低空经济现代化发展水平的差距,且不存在多峰现象。在整体上东部、西部、中部地区峰值都出现了先降后升再降的现象。

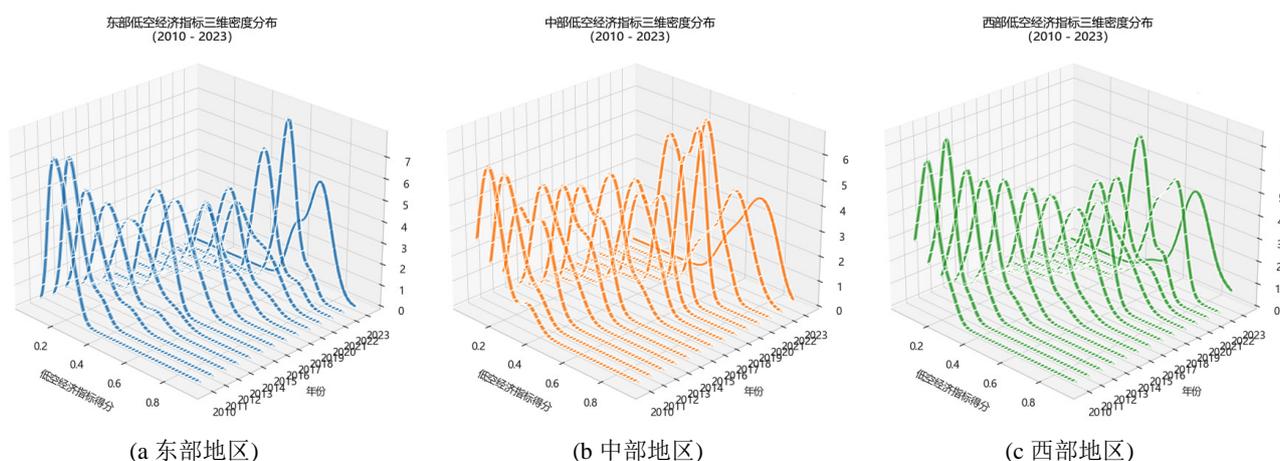


Figure 5. Three-dimensional kernel density of low-altitude economy modernization development levels across different regions

图 5. 不同区域低空经济现代化发展水平三维核密度

见图6,不同区域农业高质量发展水平。见表6,分布位置方面,样本期间核密度估计曲线中心和变化区间明显右移,说明,东部、中部、西部地区农业高质量发展水平持续提升。东部、中部地区峰值呈现波动变化的特点,但整体呈下降趋势,主峰形态由尖而窄变为扁而宽,结合分布位置移动的情况来看,

2010年~2023年三个不同区域农业高质量发展水平整体进步显著, 尽管分布变分散(扁峰), 但曲线整体向右移动, 说明各地区内部各省农业高质量发展的“基准水平”在逐年提高, 即: 低水平区间(左侧)的地区数量减少, 中高水平区间(右侧)的地区数量增加。即使存在区域差异, 多数地区的发展水平仍呈现“阶梯式”上升, 多数地区摆脱了低水平阶段, 向中高端水平迈进; 然而, 峰值频繁变化也凸显了不同地区农业可持续发展过程的复杂性, 然而, 相较于东部、中部地区, 西部地区峰值持续下降, 不存在明显的波动下降的特征, 表明西部地区在农业可持续发展过程的复杂程度低。因此, 在东部和中部地区, 我们需增强政策连续性和抗风险能力。

Table 6. Dynamic evolution trajectory of agricultural high-quality development level
表 6. 农业高质量发展水平动态演进轨迹

区域	分布位置	分布形态	分布延展性	极化程度
东部	右移	峰值频繁变动, 整体下降, 宽度扩大	不存在明显拖尾	无极化
中部	右移	峰值频繁变动, 整体下降, 宽度扩大	不存在明显拖尾	无极化
西部	右移	峰值持续下降, 宽度扩大	不存在明显拖尾	无极化

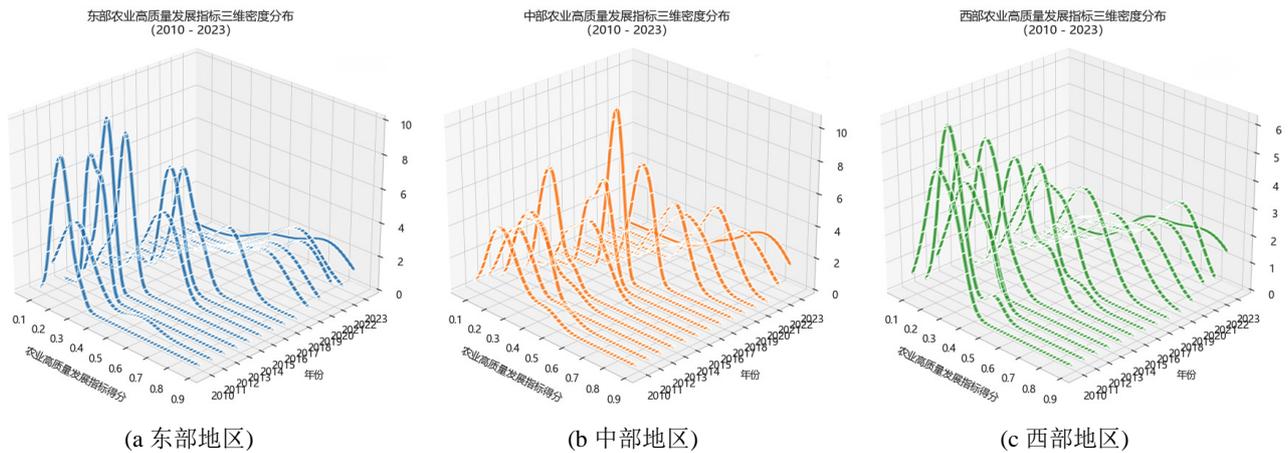


Figure 6. Three-dimensional kernel density of high-quality agricultural development levels across different regions
图 6. 不同区域农业高质量发展水平三维核密度

7. 结论与启示

低空经济与农业高质量发展在总体差异上分别呈现“先显著均衡化、后期微分化”、“强波动性收敛”的特征, 两者的区域内差异主导全局差异, 表明缩小省内/市内发展差距是促进整体协调的关键。区域间差异形成时序反转与竞争的格局: 低空经济区域间“反超式收敛”, 农业高质量发展区域间形成“M形博弈”。在三维核密度图中, 我们可以得出: 低空经济现代化发展水平概率密度总体高于农业高质量发展水平, 这一现象反映了两者在发展机制上存在显著差异: 在技术扩散与政策驱动下, 低空经济初期能快速推动区域间均衡化, 更多区域集中于相对较高水平(如 2010~2021 年总基尼系数骤降), 形成高密度集聚。这种集中性体现了新兴产业依托技术创新和政策红利, 可在短期内实现区域发展水平的快速趋同。农业作为传统产业, 均衡化进程易受自然条件、产业基础和政策周期干扰(如“多极震荡”的区域内差异), 难以在某一区间形成稳定的高密度集聚, 凸显其发展的波动性与复杂性。

本文仍存在一些不足, 我们未能解释低空经济发展与农业高质量发展的交互机制, 在未来的研究中, 可构建多维度空间权重矩阵, 引入动态空间面板模型, 并结合技术分类与区域功能分区开展分层回归,

以更精准地揭示低空经济与农业发展的空间交互效应。

参考文献

- [1] 覃睿. 再论低空经济: 概念定义与构成解析[J]. 中国民航大学学报, 2023, 41(6): 59-64.
- [2] 刘松林, 张虹, 杨青龙, 王菲. 低空经济现代化水平的统计测度与时空特征[J]. 统计与决策, 2025, 41(5): 109-115.
- [3] 宋丹, 徐政. 低空经济赋能高质量发展的内在逻辑与实践路径[J]. 湖南社会科学, 2024(5): 65-75.
- [4] 廖小罕, 屈文秋, 徐晨晨, 等. 城市空中交通及其新型基础设施低空公共航路研究综述[J]. 航空学报, 2023, 44(24): 6-34.
- [5] Pern, J., et al. (2024) Developing a Low Altitude Economy Service Cloud Platform for Urban Air Mobility in China. Worcester Polytechnic Institute.
- [6] 王宝义. 我国低空经济的技术经济范式分析与发展对策[J]. 中国流通经济, 2024, 38(9): 14-26.
- [7] 李晓华, 王怡帆. 未来产业的演化机制与产业政策选择[J]. 改革, 2021(2): 54-68.
- [8] Xiao, J. and Li, W. (2024) Analysis of Airworthiness Requirements for Commercial Aircraft Avionics System Design in Low Altitude Economy. *Engineering Proceedings*, **80**, Article 6. <https://doi.org/10.3390/engproc2024080006>
- [9] 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.
- [10] 魏琦, 张斌, 金书秦. 中国农业绿色发展指数构建及区域比较研究[J]. 农业经济问题, 2018(11): 11-20.
- [11] 李谷成. 中国农业的绿色生产率革命: 1978-2008 年[J]. 经济学(季刊), 2014, 13(2): 537-558.
- [12] 孟祥海, 周海川, 杜丽永, 沈贵银. 中国农业环境技术效率与绿色全要素生产率增长变迁——基于种养结合视角的再考察[J]. 农业经济问题, 2019(6): 9-22.
- [13] 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.
- [14] 柳映潇, 林震. 农业绿色发展评价指标体系的构建及测度分析[J]. 北京林业大学学报(社会科学版), 2023, 22(2): 36-43.
- [15] 田云, 尹恣昊. 中国农业碳排放再测算: 基本现状、动态演进及空间溢出效应[J]. 中国农村经济, 2022(3): 104-127.