

中国农业农村现代化的统计测度和时空演变特征

周靖洁, 林婉荧, 旷开金*

福建江夏学院 金融学院, 福建 福州 350108

DOI:10.61369/ASDS.2026070012

摘 要 : 本文围绕“农业生产—农村社会—农民生活”三维框架,运用投影寻踪与 Critic 法测算 2015—2024 年中国 30 个省份的农业农村现代化水平,并基于 MGWR 与 fsQCA 探讨其时空演变特征与驱动机制,研究表明:(1)全国农业农村现代化水平呈上升态势,投影寻踪与 CRITIC 法测度结果显著相关且呈现稳健性。(2)中部地区农业农村现代化水平最高,西部地区增速最快,东北地区发展相对滞后;核密度分布主峰向右移动,马尔可夫链揭示长期保持稳态时,高水平省份占比将达到 80.4%,整体发展向高水平方向收敛。(3)fsQCA 共识别出 7 条组态路径,其中“高生产效率·高节水水平”组态覆盖范围最广,在全国范围内均表现出稳健的正向促进效应,“高生产效率·高交通便利”组态在东部地区边际贡献已饱和,在西部地区仍有发展潜力,数字融入可有效弥补交通条件或收入水平的不足。为此,提出分区分类精准施策,全域推广绿色高效生产模式,加快数字赋能乡村建设等政策建议。

关 键 词 : 农业农村现代化;投影寻踪模型;Critic 法;MGWR;fsQCA

Statistical Measurement and Spatiotemporal Evolution Characteristics of Agricultural and Rural Modernization in China

Zhou Jingjie, Lin Wanying, Kuang Kaijin*

School of Finance, Fujian Jiangxia University, Fuzhou, Fujian 350108

Abstract : This study develops a three-dimensional analytical framework encompassing "agricultural production—rural society—farmers' livelihoods," and employs the Projection Pursuit method and the CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) method to measure the level of agricultural and rural modernization across 30 provinces in China over the period 2015–2024. Furthermore, Multiscale Geographically Weighted Regression (MGWR) and fuzzy-set Qualitative Comparative Analysis (fsQCA) are applied to examine the spatiotemporal evolution patterns and underlying driving mechanisms. The principal findings are as follows: (1) The overall level of agricultural and rural modernization in China exhibits a sustained upward trajectory, with the measurement results derived from the Projection Pursuit and CRITIC methods demonstrating statistically significant correlation and cross-validation robustness. (2) The central region attains the highest level of agricultural and rural modernization, the western region registers the fastest growth rate, whereas the northeastern region remains relatively lagging. Kernel density estimation reveals a progressive rightward shift of the primary peak, and Markov chain analysis indicates that under long-run steady-state conditions, the proportion of provinces classified at high modernization levels will reach 80.4%, suggesting an overall convergence toward higher development stages. (3) The fsQCA identifies seven configurational pathways leading to high agricultural and rural modernization. Among these, the configuration combining "high production efficiency and high water-saving capacity" exhibits the broadest coverage and demonstrates a robust positive effect across all regions nationwide. The configuration of "high production efficiency and high transportation accessibility" displays saturated marginal returns in eastern regions but retains considerable developmental potential in western regions. Notably, digital integration can effectively compensate for deficiencies in transportation infrastructure or income levels. Based on these findings, this study proposes targeted policy recommendations, including region-specific and category-differentiated precision strategies, nationwide promotion of green and high-efficiency production models, and acceleration of digital empowerment in rural construction.

Keywords : agricultural and rural modernization; projection pursuit model; Critic method; MGWR; fsQCA

基金项目: 福建省自然科学基金项目《基于资源环境承载力监测预警的闽江流域空间功能格局演变和调控机理研究》(2023J011116); 福建省教育科学规划课题《应用型高校“本科导师制”模式下学生自主学习能力模型构建与成效测度研究》(FJJKBK24-045)。

作者简介:

周靖洁, 福建江夏学院金融学院, 本科生, 研究方向为资源与环境统计;

林婉荧, 福建江夏学院金融学院, 本科生, 研究方向为资源与环境统计。

通讯作者: 旷开金, 福建江夏学院金融学院, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为环境经济、资源与环境统计。

引言

“十五五”是我国全面建设社会主义现代化国家的关键阶段。中央在“十五五”规划建议里明确提出，要“加快农业农村现代化，全面推进乡村振兴”，还要系统打造现代农业产业体系、推进乡村建设行动，进一步深化农村改革。这些顶层设计，既为科学评估、稳步推进农业农村现代化明确了政策方向与实践路径，也凸显出农业农村现代化在中国式现代化整体布局中的基础性与战略性地位。然而，我国地域广阔，不同地区的资源条件、经济基础和社会环境差别较大，农业农村现代化进程呈现出显著的区域异质性与阶段性特征，其内部结构与驱动机制较为复杂。

关于农业农村现代化的评价、测度以及时空分析，现有文献积累了丰富的研究成果。如在评价指标体系方面，张小允等（2022）^[1]、刘战伟（2023）^[2]、郭豪杰等（2019）^[3]主要从农业、农村或乡村振兴的总要求出发来构建指标体系；而张俊婕（2022）^[4]、李佩雯等（2025）^[5]则进一步将研究视角拓展到农业生产、农村社会、农民生活等多个维度。在发展水平测度领域，曹连海等（2023）^[6]采用了Critic-Topsis方法进行研究，侯立颖（2018）^[7]和田振中（2025）^[8]引入投影寻踪模型处理高维数据，王森培等（2024）^[9]将熵值法与层次分析法结合应用，朱雪莲等（2025）^[10]还对比了Critic法与熵权法的适用场景；董晓芳等（2025）^[11]使用非参数DEA-Malmquist方法结合Kruskal-Wallis检验测算效率、分析差异。针对时空特征与驱动机制，刘彦随等（2017）^[12]借助地理探测器探究农村贫困的空间分异特征，胡敬（2021）^[13]描绘了农业农村现代化的时空分布格局，辛岭等（2019）^[14]、许润达等（2024）^[15]、李潇等（2025）^[16]对驱动因素的时空效应展开分析，赵静等（2026）^[17]则利用多尺度地理加权回归（MGWR）模型展现了影响因素的空间异质性。组态分析领域，杜运周等（2017）^[18]系统讲解了QCA方法的方法论基础，池易真等（2022）^[19]借助fsQCA分析乡村绿色发展的多条实现路径；周利平等（2026）^[20]通过动态QCA识别出数字乡村建设的五条组态路径，李雪等（2025）^[21]利用动态fsQCA展现了资源型城市城乡协调发展的多元驱动模式。

以上研究在评价体系、测度方法和时空分析等方面积累了坚实基础，但依然存在一些不足：如单一方法存在局限性、部分指标相互重叠，对驱动机制时空异质性挖掘不够深入，从组态视角展开的研究较少。为此，本文构建“农业生产现代化—农村社会现代化—农民生活现代化”评价体系，基于投影寻踪模型与Critic模型测度农业农村现代化水平，运用MGWR与fsQCA方法深入分析驱动因素的时空异质性与多元组态路径，揭示中国省域农业农村现代化水平的时空演变格局与驱动机制，研究结果为区域差异化政策制定提供参考依据。

一、研究区及研究方法

（一）指标体系构建

1. 数据来源

本文以2015—2024年中国30个省份（不含西藏和港澳台）为研究对象，从农业生产、农村社会、农民生活三维度测度农业农村现代化水平。数据源于国家统计局及各省统计年鉴，缺失值采用插值法或均值填补。

2. 指标选取

党的二十大报告明确提出“全面推进乡村振兴”和“加快建设农业强国”的战略部署，将农业农村现代化置于中国式现代化全局的突出位置。基于上述政策导向，本文在系统梳理农业农村现代化内涵与核心特征的基础上，参考相关文献^[22]，围绕“农业、农村、农民”三个维度，遵循系统性、代表性与数据可得性原则选取评价指标，构建中国农业农村现代化综合评价指标体系，见表1。

表1：中国农业农村现代化评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	说明	指标属性
农业生产现代化	生产效率	农业劳动生产率	第一产业增加值 / 亿元	+
		粮食生产能力	粮食产量 / 万吨	+
		农业机械化密度	人均农业机械总动力 / 万千瓦	+
	绿色可持续发展	节水农业	农业用水量 / 亿立方米	-
		化肥施用强度	化肥施用量 / 万吨	-
		农药使用强度	农药使用量 / 万吨	-
		农村产业结构	农业总产值 / 农林牧渔业总产值	+
	产业融合与市场化	农产品零售额占比	农产品零售市场成交额 / 社会消费品零售总额	+
		农村耕地使用状况	耕地面积 / 土地总面积	+
		出行便利程度	每百户农户汽车拥有量	+
农村社会现代化	基础设施与公共服务	农村用电量	农村用电量	+
		卫生技术人员	农村每千人拥有卫生技术人员数	+

农村社会 现代化	治理与乡风文明	教育文化娱乐支出	农村居民教育文化娱乐支出占比	+
		农村绿化	农用地肥施用折纯量(万吨)	-
		乡村文化站建设	乡村文化站数量	+
		有线广播电视普及率	农村有线电视覆盖率	+
农民生活 现代化	收入水平与结构	农村居民人均可支配收入	农村居民人均可支配收入	+
		农村居民工资性收入占比	工资性收入占人均可支配收入的比重	+
		城乡居民收入水平差距	城乡居民消费支出比	-
		农村居民生活水平	居民消费价格指数(上年=100)	-
	生活品质与保障	农村居民最低生活保障	农村居民最低生活保障人数(万人)	+
		农村居民互联网普及率	农村宽带接入用户(万户)	+
		行政村5G网络通达率	光缆线路长度(公里)	+

注：+、- 分别表示正向指标、负向指标。

(二) 研究方法

1. 投影寻踪模型

投影寻踪模型^[8]是一种处理高维数据分析与降维的统计方法,主要思路是把高维数据投影到低维空间当中,寻找体现原始数据结构和特征的最优投影方向,实现对高维数据的分析与处理。与主成分分析法、熵值法等传统评价方法相比,投影寻踪模型可更稳定、客观、准确地反映被评价对象的综合水平,具体操作步骤如下:

第一步,对数据做标准化处理。为消除量级和量纲带来的影响,要先对各指标数据做标准化处理。数据标准化的公式为。

正向指标:

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

负向指标:

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

其中 $i=1,2,\dots,j=1,2,\dots,n$, x_{ij} 为变换前的指标数值; x_{ij}^* 为标准化后的指标数值; $\max(x_{ij})$ 、 $\min(x_{ij})$ 分别为第 j 项指标的最大值和最小值。

第二步,构建一维投影指标函数 $Q(a)$ 。假设向量 $a=(a_1, a_2, \dots, a_n)$ 投影方向,则 i 个样本的投影值 $z(i)$ 为:

$$Z(i) = \sum_{j=1}^n a(j)x(i,j), i=1,2,\dots,n \quad (3)$$

将投影指标函数定义为 $Q(a)$,类间距离用 $S(a)$ 表示, $D(a)$ 表征类内密度,构建投影指标函数为:

$$Q(a) = S(a)D(a) \quad (4)$$

$$S(a) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z(i) - E(z))^2}{n-1}} \quad (5)$$

$$D(a) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [R - r(i,j)]u[R - r(i,j)] \quad (6)$$

式中, $E(z)$ 为投影值 $z(i)$ 的均值; R 为局部密度的窗口半径,一般取值为 $0.1S(a)$; $r(i,j)$ 为样本之间的距离; $u(t)$ 为单位阶跃函数,当 $R \geq r(i,j)$ 时,其值为1,否则为0。

第三步,优化投影指标函数 $Q(a)$ 。将投影指标函数最大化以求解最佳投影方向,即:

$$\begin{cases} \max Q(a) = S(a)D(a) \\ s.t. \sum_{j=1}^m a^2(j) = 1, a(j) \geq 0 \end{cases} \quad (7)$$

公式(7)是一个求解复杂非线性优化的问题,用常规优化方法难以解决,本文采用加速遗传算法进行求解。

第四步,农业农村现代化水平综合评价。将公式(7)得到的最佳投影方向向量 a^* 代入公式(3),求得农业农村现代化水平的投影值 $z^*(i)$,即农业农村现代化水平综合评价。 $z^*(i)$ 值越大,农业农村现代化越高;反之,农业农村现代化水平就越低。

2.CRTCIC 客观赋权法

CRTCIC 法用到变异性、冲突性两项指标,同时兼顾了评估指标数据的波动情况与相互关联关系^[10]。该方法的基本原理与操作步骤如下:

(1) 变异性计算

$$\begin{cases} \bar{y}_j = \frac{\sum_{i=1}^n y_{ij}}{n} \\ S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_j)^2}{n-1}} \end{cases} \quad (8)$$

式中: $\bar{y}_j$ 为第 j 个指标在所有待测样本下的均值; S_j 为标准差即所求的指标变异性。

(2) 冲突性计算

$$\begin{cases} r_{kj} = \frac{\text{cov}(Y_k, Y_j)}{(S_k, S_j)}, k, j = 1, 2, 3, \dots, m \\ S_j = \sum_{j=1}^m (1 - r_{kj}) \end{cases} \quad (9)$$

式中: r_{kj} 表示第 k 个指标和第 j 个指标的相关性; R_j 表示第 j 个指标的冲突性; $\text{cov}(Y_k, Y_j)$ 表示第 k 个指标和第 j 个指标的协方差; S_k, S_j 分别为第 k 个指标和第 j 个指标的标准差。

(3) 信息量计算

$$H_j = R_j \times S_j, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (10)$$

(4) 权重计算

ω_{gj} = C_j / (Σ_{j=1}ⁿ C_j)

(11)

可得由 Critic 法计算的客观权重为：

W_c = (ω_{c1}, ω_{c2}, ..., ω_{cm})

(12)

3.MGWR 模型

MGWR 模型^[17]考虑了空间特性对全局回归分析的影响，利用自身最优带宽对每个自变量进行回归分析^[19]，探索影响因素的空间异质性，计算公式如下：

Y_i = Σ_{j=1}^k β_{bj} x_j + ε

(13)

式中：Y_i 为因变量；k 为解释变量个数；β_{bj} 为带宽 b 的第 j 个回归系数；x_j 为第 j 个协变量；ε 为回归残差。

4.fsQCA

fsQCA 即模糊集定性比较分析^[19]，属于集合分析方法的一种，该方法以组态理论为基础，可用来判断条件变量和结果变量之间是否存在充分或必要关联，以此找出多因素共同作用时形成的复杂因果路径。与传统回归分析相比，fsQCA 可较好地处理变量间的非线性关系和多重共线性问题，适合用于研究多因素组合对农业农村现代化的影响机制。

5. 马尔可夫链

马尔可夫链^[22]是用来分析系统状态随时间变化转移概率的一种方法。为了揭示农业农村现代化水平的动态演变以及长期收敛趋势，本文把各个省份的现代化发展水平按照四分位数划分为低（L）、中低（ML）、中高（MH）、高（H）四类状态，构建状态转移概率矩阵，探究不同水平之间的转移路径以及稳态分布，转移概率的计算公式为^[23]：

P_{ij} = n_{ij} / n_i

(14)

其中，n_{ij} 表示从状态 i 转移到状态 j 的样本数，n_i 为状态 i 的总样本数。

二、基于投影寻踪和 Critic 的综合测度和稳健性检验

(一) 指标权重计算结果

从表2可知，投影寻踪权重分布较不均匀，部分指标权重较高，如卫生技术人员权重为0.1227、农村居民互联网普及率权重为0.1226、农业机械化密度权重为0.1197，而农村绿化、农药使用强度等指标权重较低，分别为0.0011、0.0015。Critic 权重分布相对均匀，大部分指标权重在0.04~0.06之间，最高为农村居民生活水平0.0630，最低为农村居民工资性收入占比0.0185，整体波动较小，体现了 Critic 法平衡变异性和冲突性的特点。

表2：三级指标权重计算结果

三级指标	投影寻踪模型	Critic
农业劳动生产率	0.1047	0.0458
粮食生产能力	0.1124	0.0503

农业机械化密度	0.1197	0.0413
节水农业	0.0092	0.0434
化肥施用强度	0.0012	0.0367
农药使用强度	0.0015	0.0586
农村产业结构	0.0124	0.0365
农产品零售额占比	0.0018	0.0503
农村耕地使用状况	0.0103	0.0628
出行便利程度	0.0070	0.0433
农村用电量	0.0302	0.0433
卫生技术人员	0.1227	0.0557
教育文化娱乐支出	0.0118	0.0442
农村绿化	0.0011	0.0367
乡村文化站建设	0.0626	0.0252
有线广播电视普及率	0.0566	0.0425
农村居民人均可支配收入	0.0069	0.0417
农村居民工资性收入占比	0.0181	0.0185
城乡居民收入水平差距	0.0060	0.0275
农村居民生活水平	0.0007	0.0630
农村居民最低生活保障标准	0.0946	0.0474
农村居民互联网普及率	0.1226	0.0470
行政村 5G 网络通达率	0.0860	0.0385

(二) 综合测度水平计算结果

由表3可知，两种方法对农业农村现代化水平测度结果排序基本一致，表明评价结果不受单一方法局限，具有较强的科学性与可靠性。2015年到2024年间，投影寻踪的测度结果从0.781升高到1.016，Critic 的测度结果则从0.344升高到0.463。这说明中国农业农村现代化水平综合测度结果呈持续上升态势，表明过去十年我国农业农村发展取得了显著成效，这与国家大力促进乡村振兴、农业供给侧结构性改革、农村基础设施建设以及数字乡村建设等政策导向高度契合。

表3：中国农业农村现代化水平计算结果

年份	投影寻踪模型		Critic	
	测度结果	排序	测度结果	排序
2015	0.7811	10	0.3436	10
2016	0.7883	9	0.3442	9
2017	0.8066	8	0.3546	8
2018	0.8285	7	0.3570	7
2019	0.8628	6	0.3583	6
2020	0.8951	5	0.3702	5
2021	0.9343	4	0.4319	3
2022	0.9850	2	0.4142	4
2023	0.9829	3	0.4485	2
2024	1.0158	1	0.4634	1

(三) 稳健性检验

进一步运用 Spearman 相关系数衡量两种方法综合得分排序的一致性，以及 Wilcoxon 秩和检验两种方法综合得分分布是否存在系统性差异（表4）。Spearman 相关系数为0.8367（P<0.001），说明两种方法综合得分排序高度正相关且相关性显著，投影寻踪模型与 Critic 法对各省份各年度农业农村现代化水平的排序结果高度一致。Wilcoxon 秩和检验 P 值为0.084，表明两种方法的得分分布无显著差异，测度结果具有很强的稳健性。

表4：稳健性检验结果

检验方法	统计量	P 值	显著性
Spearman 相关系数	0.8367	<0.001	显著
Wilcoxon 秩和检验	43192	0.084	不显著

三、农业农村现代化的时空特征及驱动因素分析

（一）时序演变特征分析

1. 全国层面趋势分析

基于投影寻踪方法测算结果表明，2015年到2024年，全国农业农村现代化水平始终保持上升走势，得分从0.781升高至1.016，年均复合增长率为2.96%。增长过程可划分为三个阶段：2015—2017年属于平稳增长阶段，得分从0.781逐步升高到0.807，平均每年增长约2.3%；2018到2022年进入加速增长阶段，得分从0.828快速升至0.985，年均增速达到4.5%，这主要得益于乡村振兴战略、脱贫攻坚及数字乡村建设等政策红利的持续释放。2023—2024年进入波动调整阶段，2023年小幅下降0.22%，但2024年很快反弹回1.016，环比增长3.35%，表明发展仍具较强韧性。

表5：2015—2024年全国农业农村现代化水平综合得分及增长率

年份	全国平均投影寻踪得分	环比增长率	年均增长率
2015	0.7811	—	0.0296
2016	0.7883	0.92%	
2017	0.8066	2.33%	
2018	0.8285	2.71%	
2019	0.8628	4.14%	
2020	0.8951	3.75%	
2021	0.9343	4.38%	
2022	0.9851	5.43%	
2023	0.9829	-0.22%	
2024	1.0158	3.35%	

2. 区域层面差异分析

为进一步揭示中国农业农村现代化水平的空间分异特征，本文将30个省份（不含西藏和港澳台）划分为东部、中部、西部和东北四大区域。其中，东部区域包含北京、天津、河北、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南；中部区域包含山西、安徽、江西、河南、湖北、湖南；西部区域包含内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆；东北区域包含辽宁、吉林、黑龙江。计算各区域历年的投影寻踪得分均值，并据此计算年均增长率，结果见表6。

表6：2015—2024年四大区域农业农村现代化水平综合得分及年均增长率

年份	东北	东部	西部	中部
2015	0.7213	0.7778	0.6411	1.0730
2016	0.7500	0.7748	0.6489	1.0855
2017	0.7637	0.8010	0.6655	1.0963
2018	0.7710	0.8230	0.6830	1.1331
2019	0.7851	0.8643	0.7165	1.1671
2020	0.7985	0.8819	0.7529	1.2262

2021	0.8362	0.9121	0.7954	1.2751
2022	0.8517	0.9512	0.8534	1.3496
2023	0.8641	0.9632	0.8478	1.3227
2024	0.8797	0.9928	0.8812	1.3687
年均增长率	0.0223	0.0275	0.0360	0.0274

各区域农业农村现代化得分表明，中部地区在整个研究阶段始终处于第一位，得分从2015年的1.073上升至2024年的1.369，累计增幅达到27.6%。排在第二位为东部地区，得分从0.778增长到0.993，涨幅为27.7%。西部地区初始得分最低，但增长势头最为强劲，年均增速达到3.60%，十年间累计增长37.4%，与东部、中部之间的差距明显缩小。东北地区的表现相对偏弱，得分从0.721增加到0.880，年均增速仅2.23%，在2019年之后出现小幅波动。

四大区域发展路径不同，未来需要结合各地实际情况制定差异化政策，推动区域农业农村现代化水平高质量协调发展。

（二）空间格局与动态演化特征

1. 空间格局分布特征

为进一步厘清各省份农业农村现代化水平时空分布差异，绘制2015—2024年全国30个省份投影寻踪得分的热力图（图1）。

由热力图中可知，中国农业农村现代化水平呈现“东高西低、中部隆起、东北滞后”空间分布特点，东部的山东、江苏、河北等省份颜色偏深红，得分长期处于较高水平。北京、上海、天津等直辖市颜色偏浅，中部省份整体表现较好，河南、湖南、湖北颜色较深，其中河南在2022年得分达到峰值2.26，得分是全国最高，这说明农业大省拥有较强的发展动力。西部省份内部差异明显，四川、广西增长速度较快。甘肃、新疆、内蒙古整体水平偏低，青海、宁夏农业农村现代化处于较低水平，现代化发展进程比较缓慢。东北三省整体颜色偏浅，且变化幅度小，辽宁、吉林、黑龙江得分提高幅度较小，部分年份甚至出现得分下降的情况。

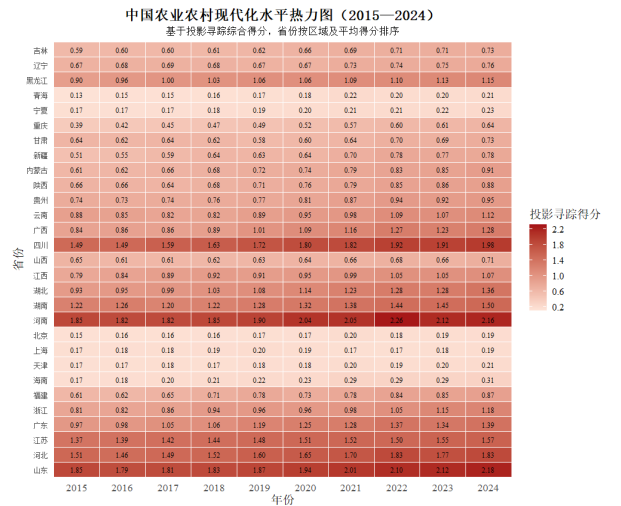


图1：中国农业农村现代化水平热力图（2015—2024）

2. 整体动态分布特征

核密度等高线图能够直观呈现分布的主峰位置、形态变化以及延伸特征，该方法已在区域差异的动态演进研究中得到使

用^[24]。为了探究全国农业农村现代化发展水平的分布形态、位置以及极化特征的动态变化，绘制2015—2024年全国农业农村现代化水平的核密度等高线图，见图2。

从分布位置看，核密度等高线的主峰区整体呈显著右移趋势，2015—2018年高值区集中在0.5—1.0的中低得分区间，2018年后逐步向1.0—2.0的中高得分区间迁移，表明全国农业农村现代化发展水平随时间推移稳步提升，各省份发展质量持续改善。从分布形态看，等高线主峰高度呈“先升后稳”特征，2015—2018年主峰高度快速抬升，曲线集中紧凑，反映低水平省份的得分集聚性较强；2018年后主峰高度趋于稳定，等高线宽度小幅扩大，说明省份间发展差异缓慢扩大，尚未出现明显收敛迹象。从分布延展性与极化特征看，核密度分布始终以单峰为主，右侧高分区间未形成显著多峰分化，整体呈单峰集聚格局。

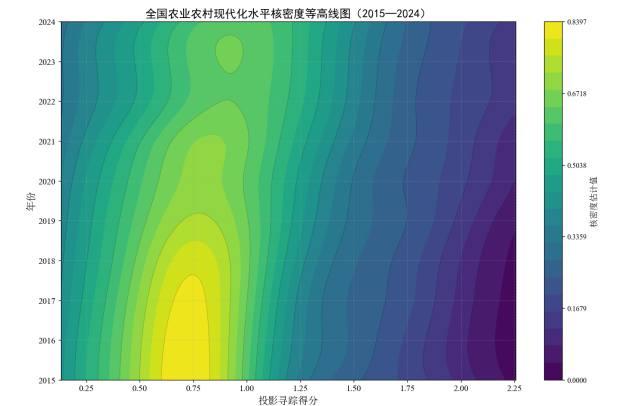


图2：中国农业农村现代化水平核密度等高线图

3. 分区域核密度估计的区域异质性动态

按照四大区域划分绘制核密度等高线图（见图3），由图3可知，我国农业农村现代化发展存在明显的区域差异，不同区域的发展演进路径区别较大。

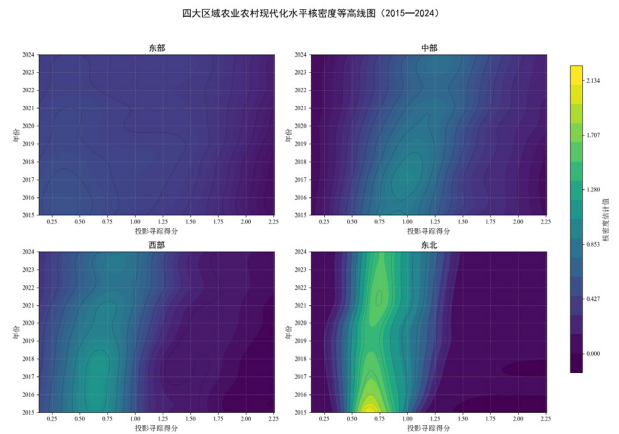


图3：中国四大区域核密度等高线图

东部地区的等高线主峰长期稳定在1.5—2.25的高得分区间，随着年份增加持续向右移动，主峰高度更高、等高线分布更紧凑，呈现出“高水平、低离散”的均衡发展特点，区域内各省份之间差距较小。中部地区的主峰右移幅度最大，2015—2024年高值区从0.5—1.0区间逐步扩展到1.0—1.75区间，是促进全国整体水平提高的核心动力。发展后期主峰形态逐渐稳定，右侧等高线

略有延伸，区域内的梯度差异慢慢显现出来。西部地区的主峰长期集中在0.5—1.25的中低得分区间，右移幅度比东部、中部地区更小，发展前期主峰高度下降、等高线宽度变大，区域内差异有所扩大，到后期差异逐渐收缩，出现轻微的多峰分化，反映出区域内省份发展不均衡的特点。东北地区的主峰右移趋势不明显，高值区集中在0.5—1.0的中低得分区间，整体发展速度放缓，该区域等高线在四大区域中最为紧凑，说明内部省份间差异较小，但长期处于较低水平。

4. 基于马尔可夫链的空间动态转移特征

为揭示农业农村现代化水平的动态演化与长期收敛趋势，运用马尔可夫链模型，按四分位数将发展水平划分为低（L）、中低（ML）、中高（MH）、高（H）四类状态，各状态样本量均为75，均衡分布，转移概率与长期稳态结果整合见表7。

表7：农业农村现代化水平马尔可夫链转移概率与稳态分布

状态	L（低）	ML（中低）	MH（中高）	H（高）	稳态概率
L	0.942	0.058	0.000	0.000	0.006
ML	0.014	0.884	0.101	0.000	0.024
MH	0.000	0.015	0.910	0.075	0.166
H	0.000	0.000	0.015	0.985	0.804

注：行表示t期状态，列表示t+1期状态；数值为概率值。

由表7可知，各类状态的对角线概率明显偏高，呈现出强路径依赖与等级锁定的特点，低水平状态仅以较低概率向中低水平转移，中高水平是向高水平突破的关键阶段。从长期稳定状态来看，未来高水平占比将达到80.4%，低水平与中低水平状态发生概率趋于零，整体呈现向高水平均衡收敛的趋势。

（三）基于fsQCA与MGWR的驱动路径时空异分析

1. 变量选择

由于农业农村现代化受多因素交互影响，引入fsQCA方法揭示多重叠加的复杂因果路径。基于投影寻踪权重，选取6个核心条件变量，包含生产效率以农业劳动生产率衡量，节水水平以农业用水量倒数衡量，交通便利以每百户农户汽车拥有量衡量，收入水平以农村居民人均可支配收入衡量，数字融入以农村宽带接入用户衡量，社会保障以农村低保人数倒数衡量。结果变量为投影寻踪综合得分。采用直接法校准，以75%、50%、25%分位数为完全隶属、交叉点与完全不隶属的阈值。

2.fsQCA 组态分析结果

基于fsQCA对2015—2024年30个省份面板数据组态分析，得到高水平农业农村现代化的组态结果（表8）。除组态2外，其余组态的一致性均高于0.90，组态2一致性为0.871，说明每组组态都是该结果的充分条件，覆盖度数据表明，这些组态一共能解释约90%的样本。

表8：高水平农业农村现代化的组态路径

组态	条件组合	一致性	原始覆盖度	唯一覆盖度
1	高生产效率·高交通便利	0.929	0.518	0.051
2	高生产效率·高社会保障	0.871	0.304	0.007
3	高生产效率·高节水水平	0.956	0.744	0.025
4	低交通便利·高数字融入	0.936	0.444	0.006
5	低收入·高数字融入	0.913	0.395	0.008

6	低节水水平·低交通便利·低社会保障	0.948	0.371	0.000
7	低节水水平·低收入·低社会保障	0.917	0.329	0.002

注：“·”表示条件同时存在（逻辑“与”）；“高”表示该条件隶属度高于交叉点，“低”表示隶属度低于交叉点。

组态解读：

（1）第一种组态：生产效率高叠加交通条件优良，是实现高水平农业农村现代化的典型路径，覆盖超过一半的样本。生产效率和交通条件需要互相配合，二者的协同作用十分关键。

（2）第二种组态：生产效率高叠加社会保障水平良好，这种“生产+保障”双轮驱动的模式表明，发展生产的同时提高民生保障水平。

（3）第三种组态：生产效率高且节水农业发展较好，这说明绿色可持续发展和生产效率并不矛盾，二者可以同步推进，共同助力农业农村现代化。

（4）第四种组态：若交通条件欠佳，提高数字化水平就能起到替代作用，成为替代性的驱动因素，为交通发展落后的地区提供了补齐短板的新方向。

（5）第五种组态：收入水平偏低时，数字融入依然可以促进现代化发展，这也体现出数字技术具备普惠性。

（6）第六和第七种组态：这两种组态涉及多个负向条件，组合形式比较复杂，覆盖度较低。这表明，即使处于不利条件下，借助特定路径也能达成高水平现代化，但路径较为特殊，可能与特定区域的政策扶持或自然资源禀赋有关。

3. 组态效应的 MGWR 空间异质性分析

为探究上述组态路径对农业农村现代化水平的影响强度在不同区域是否存在显著差异，将组态1、组态2、组态3作为解释变量，以农业农村现代化水平（ANM）为因变量，构建 MGWR 模型。模型诊断结果显示（见表9），MGWR 的全局 R^2 达0.951，调整 R^2 为0.937，AICc 为-289.34，模型拟合效果良好。

表9：MGWR 模型诊断

指标	数值
全局 R^2	0.951
调整 R^2	0.937
AICc	-289.34
残差平方和	3.96

各组态系数的描述性统计结果如表10所示。组态1和组态2的系数平均值为负，说明在大多数样本里，这两个组态对农业农村现代化水平存在负向影响，并且空间变异程度较大；组态3的系数平均值为正数，且四分位区间均为正数，说明该组态对农业农村现代化水平的正向促进作用普遍存在，效果也比较稳定。

表10：各组态回归系数描述性统计

组态 路径	均值	标准差	最小值	25分位	中位数	75分位	最大值
组态1	-0.314	0.524	-2.182	-0.505	-0.251	-0.048	0.828
组态2	-0.371	1.040	-5.383	-0.588	-0.167	0.173	0.473
组态3	0.863	0.868	-0.553	0.237	0.666	1.417	2.726

4. 综合讨论

结合 fsQCA 与 MGWR 的分析结果，农业农村现代化的达成路径有着多元共同作用的特征，高生产效率是核心条件，它和绿色可持续发展、数字融入、社会保障等条件能够形成多种互补组合。不同条件组合的效果呈现出明显的空间差异（表11），“高生产效率·高节水水平”在全域都表现出稳定的正向促进作用，“高生产效率·高交通便利”在东部地区的边际贡献已经接近饱和，在西部地区存在提高空间。数字融入在交通或者收入条件不够完善时，能发挥重要的替代作用，为欠发达地区创造了“弯道超车”的机会。

表11：不同组态路径下各省份 MGWR 回归系数平均值

省份	区域	组态1	组态2	组态3
北京	东部	-0.2109	-0.5880	1.6471
天津	东部	-0.0908	-0.6151	2.2081
河北	东部	-0.1304	-0.2258	1.1040
上海	东部	-0.9048	-0.6409	2.7264
江苏	东部	-0.3154	-0.5488	-0.0658
浙江	东部	-1.2656	-0.8686	2.1619
福建	东部	-0.2207	-0.1098	0.3767
山东	东部	-2.1816	-5.3834	1.8520
广东	东部	0.2426	-1.6273	-0.4565
海南	东部	-0.0483	-0.8666	0.1547
	东部均值	-0.56	-1.26	1.24
山西	中部	0.1158	-0.1490	1.3879
安徽	中部	-0.8851	-0.0601	-0.1264
江西	中部	-0.5631	-0.1933	-0.4804
河南	中部	0.8281	-0.7321	1.1156
湖北	中部	-0.5608	-0.3785	-0.5532
湖南	中部	-0.4899	-0.1956	-0.0965
	中部均值	0.01	-0.28	1.00
内蒙古	西部	0.0854	-0.1855	0.6681
广西	西部	-0.3651	-0.1348	0.5156
重庆	西部	-0.3278	0.1686	1.2346
四川	西部	0.0349	-0.2152	1.4175
贵州	西部	-0.4322	0.4729	0.5276
云南	西部	-0.1551	0.0054	0.2370
陕西	西部	0.3247	-0.1367	1.8372
甘肃	西部	-0.0564	0.4161	1.1418
青海	西部	-0.0917	0.4218	1.1655
宁夏	西部	-0.0414	0.1735	1.2157
新疆	西部	-0.2813	0.2840	0.4627
	西部均值	-0.16	0.08	0.90
辽宁	东北	-0.3536	0.1886	0.2580
吉林	东北	-0.5054	0.3005	0.5819
黑龙江	东北	-0.5176	0.3073	0.6631
	东北均值	-0.46	0.27	0.50

四、结论与建议

（一）结论

1. 农业农村水平稳步提升，测度结果稳健且可靠

农业农村现代化投影寻踪和 CRITIC 测度排序结果高度一致，

测度结果呈现稳健性，并且现代化水平呈现增长趋势。从发展阶段看，2015—2017年为平稳增长期，2018—2022年为加速提升期，2023—2024年进入波动调整期。从空间格局看，中部地区得分最高，东部地区长期领先，西部地区增速最快，东中部差距不断缩小。

2. 东北地区发展相对滞后，全国整体向高水平收敛

东北地区年均增速偏低，发展动力不足，在四大区域中表现最为滞后。核密度估计显示，全国主峰持续右移，分布由单峰集聚向中高得分区间迁移，但西部区域内部存在轻微多峰分化。马尔可夫链分析表明，低水平状态向高水平转移的概率极低，高水平状态稳定性最强；长期稳态下，高水平省份占比将达到80.4%，低水平和中低水平省份基本消失，整体呈现向高水平均衡方向收敛的特征。

3. 驱动路径呈现多元特征，时空异质性表现明显

fsQCA 共识别出7条组态路径，其中“高生产效率·高节水水平”这条路径覆盖范围最广、一致性最高，同时 MGWR 结果进一步表明该组态在全域均具有正向且稳定的效果，可以作为通用推广路径。另一条“高生产效率·高交通便利”在东部地区的边际贡献已趋于饱和，在西部地区仍有发展空间。数字融入在交通条件或者收入水平不足的时候，能发挥重要的替代作用。

（二）建议

1. 分区分类精准施策，统筹推动缩小区域差距

坚持因地制宜、分类指导，针对东、中、西、东北四大区域实际，实行差异化推进策略。中部地区巩固粮食生产与机械化优势，加快三产融合，提升农业产业效益。东部地区聚焦绿色提质

与公共服务优化，率先探索农业农村现代化先行路径。西部地区加快基础设施和数字设施建设，以数字技术弥补区位短板，培育农业新业态。东北地区调整农业结构与经营模式，健全社会保障体系，缓解人口外流趋势，全面激活内生动力。

2. 全域推广绿色高效生产模式，有力支撑整体向高水平收敛

紧盯东北地区发展滞后短板，以黑土地保护和高标准农田建设为重点，实施新一轮千亿斤粮食产能提升行动，夯实国家粮食安全根基。在全国范围内系统推广“高生产效率·高节水水平”生产模式，加大节水灌溉和水肥一体化技术应用力度，建立化肥农药减量激励约束机制，推动农业绿色低碳转型。将“十五五”时期作为高水平收敛的关键窗口期，强化政策协同与资源整合，确保长期稳态下高水平省份占比稳步提升，加快形成全国农业农村现代化均衡发展新格局。

3. 加快数字赋能乡村建设，以技术普惠突破资源局限

发挥数字技术对农业农村现代化的放大、叠加、倍增作用，着力破解欠发达地区交通不便、收入偏低等制约。将农村宽带和5G网络全覆盖纳入硬性指标，中央财政转移支付向中西部及东北偏远地区倾斜。在交通不便和收入偏低区域，重点布局农村电商平台和冷链物流设施，常态化开展数字技能培训。积极推广智慧农业和数字化治理平台，拓展“互联网+”普惠服务覆盖范围，让数字红利更多惠及低收入群体，为欠发达地区创造“弯道超车”条件。东部地区率先推进数字农业与城乡数字治理一体化，中西部地区以电商新业态和数字人才培育为主攻方向，形成各具特色的数字赋能路径。

参考文献

[1] 张小允, 许世卫. 我国农业农村现代化评价指标体系研究 [J]. 农业现代化研究, 2022, 43(5): 759-768.

[2] 刘战伟. 乡村振兴水平的区域差异、动态演进及空间收敛性研究 [J]. 统计与决策, 2023, 39(12): 73-78.

[3] 郭豪杰, 龙蔚, 张德亮. 基于投影寻踪模型对乡村振兴的评价 [J]. 世界农业, 2019, (12): 44-52.

[4] 张俊婕. 中国农业农村现代化发展水平的时空特征及障碍因子分析 [J]. 经济体制改革, 2022, (2): 87-94.

[5] 李佩雯, 覃诚, 汪宝, 等. 中国农业农村现代化发展水平与动态演进特征——基于沿海-内陆-边疆地区的分析 [J]. 地域研究与开发, 2025, 44(4): 154-160.

[6] 曹连海, 刘硕博, 张志强, 等. 基于 CRITIC-TOPSIS 的许昌市农业水土资源评价 [J]. 华北水利水电大学学报 (自然科学版), 2023, 44(1): 56-61.

[7] 侯立颖. 基于遗传投影寻踪模型的辽宁省水资源利用效率评估 [J]. 水资源开发与管理, 2018, (8): 68-72.

[8] 田振中. 我国道路交通安全水平时空演化及其影响因素研究 [J]. 中国人民公安大学学报 (自然科学版), 2025, 31(4): 32-39.

[9] 王森培, 陈沧桑, 赵颖文, 等. 全面推进乡村振兴指标体系构建及实证测评研究 [J]. 四川农业科技, 2024, (6): 19-25.

[10] 朱雪莲, 高俊吉, 薛婕, 等. 磁防护能力评估的客观赋权方法研究 [J]. 船舶, 2025, 36(6): 84-92.

[11] 董晓芳, 宋彩凤, 张良勇. 河北省数字农业发展效率的非参数统计研究 [J]. 高师理科学刊, 2025, 45(10): 20-26.

[12] 刘彦随, 李进涛. 中国县域农村贫困化分异机制的地理探测与优化决策 [J]. 地理学报, 2017, 72(1): 161-173.

[13] 胡敬. 长三角地区农业农村现代化发展水平比较分析 [J]. 市场周刊, 2021, 34(7): 1-3+33.

[14] 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.

[15] 许润达, 张建平, 葛扬. 中国乡村振兴水平的指标构建、测度评价及时空演变 [J]. 规划师, 2024, 40(8): 43-49.

[16] 李潇, 李新妍. 中国乡村“产业-生态”耦合协调振兴的区域差异、动态演进及影响因素研究 [J]. 地域研究与开发, 2025, 44(5): 128-137.

[17] 赵静, 王永瑜, 史小英. 基于 MGWR 模型的中国人均碳足迹时空演变及影响因素研究 [J/OL]. 干旱区地理, 1-15[2026-01-27].

[18] 杜运周, 贾良定. 组态视角与定性比较分析 (QCA): 管理学研究的一条新道路 [J]. 管理世界, 2017, (6): 155-167.

[19] 池易真, 李凌汉. 新乡贤视角下乡村绿色发展的影响因素及路径选择——基于模糊集的定性比较分析 (fsQCA)[J]. 农学报, 2022, 12(12): 87-92.

[20] 周利平, 魏思琪, 胡思涵. 数字乡村建设水平的驱动路径及其效应研究——基于省域面板数据的动态 QCA 分析 [J]. 沈阳农业大学学报, 2026, 57(1): 143-152.

[21] 李雪, 袁春燕, 刘樾. 资源型城市乡村振兴与新型城镇化协调发展提升路径研究——基于动态 fsQCA 的分析 [J]. 河南工业大学学报 (社会科学版), 2025, 41(4): 57-65.

[22] 程静, 陈佳睿. 中国农业农村现代化的区域差异、时空演化及趋势预测 [J]. 河南牧业经济学院学报, 2024, 37(6): 29-36.

[23] 赵景辉, 李廷智, 张华, 等. 土地流转马尔科夫概率矩阵的设定及应用——以福建省泰宁县为例 [J]. 中国农业资源与区划, 2012, 33(2): 23-27.

[24] 沈丽, 张好圆, 李文君. 中国普惠金融的区域差异及分布动态演进 [J]. 数量经济技术经济研究, 2019, 36(7): 62-80.