

乡村振兴背景下基于熵权法对农业现代化的统计测度研究

摘要

农业现代化的区域间发展不平衡是我国全面实现农业现代化的重大阻碍，因此在全面推进乡村振兴的背景下研究构建我国农村现代化水平评价指标体系，从时空维度定量评价我国各地农村现代化进程与水平，研究我国农业现代化发展的时空特征与短板，是一项具有深远意义的基础性工作。本文从农业生产体系、农业规模化水平、农民生活、生态宜居和信息技术五大维度、选取 16 个二级指标构建农业现代化发展评价体系，运用层次分析法和基于熵权法修正的 topsis 模型确定权重，测度 2012~2021 年全国 30 个省市农业现代化水平指数，再抽取北京、天津和上海这三个典型城市在这 10 年间各大维度体系的得分绘制雷达图对比分析我国农业现代化各维度特征的发展状况，然后通过 K-means 聚类方法对 2012、2017 和 2021 这三年中 30 个地区的农业现代化水平指数做聚类分析，并从聚类结果中抽取各类别内具有代表性的地区做描述统计分析，最后基于灰色预测 GM (1,1) 模型和时间序列分析预测了全国 30 个省市未来 10 年农村现代化水平可能的趋势。研究表明：1) “信息技术”与“农民生活”两大维度是我国农业现代化发展的短板；2) 农业现代化发展具有明显地理空间聚集特性，东、西部发展存在显著差异；3) 乡村振兴战略正向影响着农业现代化进程。文章最后对此提出建议：1) 提升农业科技创新水平，重视农民生活幸福感；2) 实施差异化农业发展战略，加强各地强农经验交流；3) 大力促进乡村数字化发展，全面坚持乡村振兴战略。

关键词：农业现代化；评价指标体系；熵权法；K-means 聚类；时空特征

目录

摘要.....	I
表格与插图清单.....	IV
一、问题描述.....	1
（一）研究背景.....	1
（二）研究目的和意义.....	2
二、研究现状与研究内容.....	2
（一）研究现状.....	2
（二）研究问题.....	3
（三）研究框架.....	3
（四）研究视角的创新.....	4
三、研究方法与数据概述.....	4
（一）农业现代化内涵界定.....	4
（二）农业现代化评价指标体系构建.....	5
（三）数据来源.....	7
（四）研究方法概述.....	7
1.数据预处理.....	8
2.层次分析法.....	9
3.基于熵权法修正的 topsis 模型.....	12
4.K-means 聚类.....	14
5.灰色预测与时间序列分析.....	18
四、我国农业现代化水平现状分析.....	25
（一）我国农业现代化发展的短板分析.....	25
（二）我国农业现代化水平的区域差异分析.....	26
（三）我国农业现代化发展的动态演进分析.....	28
五、结论与建议.....	30
（一）主要结论.....	30
（二）建议.....	30
参考文献.....	32

附录.....	34
---------	----

表格与插图清单

表 1	农业现代化水平指标.....	7
表 2	预处理后的北京地区部分数据.....	9
表 3	5 个一级指标对于农业现代化影响程度的判断矩阵.....	10
表 4	RI-n 对应关系	11
表 5	一级指标的权重向量求解.....	11
表 6	北京地区根据熵权法计算得到的各二级指标相对权重与绝对权重...	13
表 7	农业现代化未归一化得分.....	14
表 8	农业现代化水平归一化得分结果.....	14
表 9	2012 年城市聚类结果.....	16
表 10	2017 年城市聚类结果.....	16
表 11	2021 年城市聚类结果.....	16
图 1	党中央关于农业现代化工作的指导意见.....	1
图 2	研究框架.....	3
图 3	“农业现代化”相关的词云图	4
图 4	层次分析法的大致步骤.....	9
图 5	农业现代化水平层次结构图.....	10
图 6	熵权法算法流图.....	12
图 7	K-means 聚类算法流程图	15
图 8	2012 年聚类分析图.....	17
图 9	2017 年聚类分析图.....	17
图 10	2021 年聚类分析图.....	17
图 11	以北京为例对 2012-2021 进行数据检验结果	19
图 12	以北京为例的三种模型预测结果与实际结果比较.....	21
图 13	以北京为例预测未来十年的曲线图.....	22
图 14	以北京为例预测结果的相对残差、级比偏差.....	23

图 15	以黑龙江为例的时间序列预测结果图.....	24
图 16	以黑龙江为例的时间序列分析残差检验图.....	24
图 17	北京 2012~2021 五大指标体系得分雷达图	25
图 18	天津 2012~2021 五大指标体系得分雷达图	26
图 19	上海 2012~2021 五大指标体系得分雷达图	26
图 20	2012 年农业现代化水平地区分布图.....	27
图 21	2017 年农业现代化水平地区分布图.....	27
图 22	2021 年农业现代化水平地区分布图.....	28
图 23	以北京为例灰色预测结果.....	29
图 24	以黑龙江为例时间序列分析预测结果.....	29

乡村振兴背景下基于熵权法对农业现代化的统计测度研究

一、问题描述

（一）研究背景

农为邦本，本固邦宁。农业问题是关系国家稳定、人民幸福的关键问题，加快农业现代化是实现国家现代化的基础和保障。^[1]新中国成立以来，我党在各重大会议中对农业现代化的推进工作给出重要指导，如下图 1 所示。

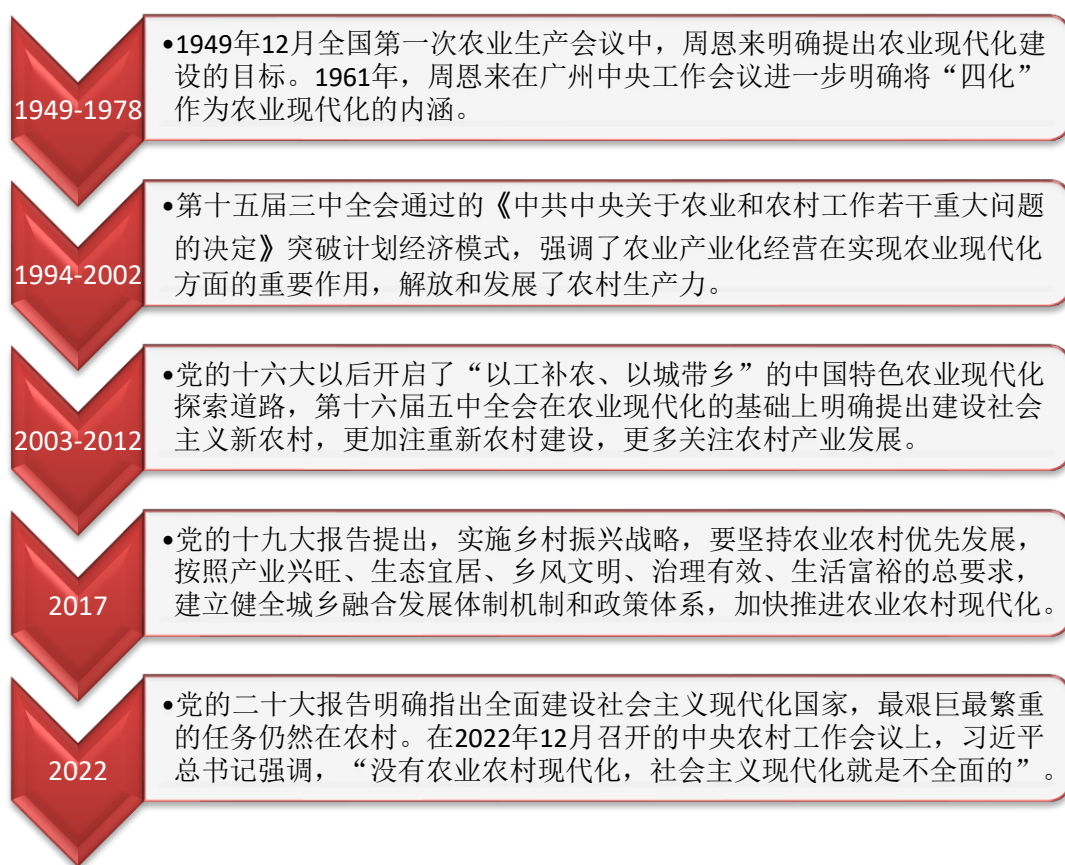


图 1 党中央关于农业现代化工作的指导意见

从 1949 年全国第一次农业生产会议周恩来明确提出“农业现代化建设”的目标到 2022 年习总书记强调“没有农业强国就没有整个现代化强国，没有农业农村现代化，社会主义现代化就是不全面的”。^[2]党和政府始终将实现农业现代化作为重要工作目标。农业现代化的要求也经历了由 20 世纪中期的“增产增收”到 21 世纪“高产、优质和低耗”的转变。在不同的时代背景下，客观评价我国

各地区农业现代化的发展状况，对把握农业发展短板、全面实现农业现代化有重要意义。^[3]

在乡村振兴背景下，我国在农业科技创新、农业产业升级、乡村基础设施建设、农业供给侧结构性改革和农村金融支持等方面取得显著进展，但同时也面临着诸如农业资源利用效率不高、农村劳动力流失、农产品加工技术有待提升等挑战。未来还需进一步加强农业科技创新、加大农业产业投入、推进农业绿色可持续发展以实现更高水平的现代化。

（二）研究目的和意义

随着乡村振兴战略的深入推进，我国农业现代化将迎来更广阔的发展空间，因此测量农业现代化的成效和短板具有深刻意义。农业现代化是现代农业经营的重要形式，其本质是要提高农业生产效率，改善农村经济条件，推动农民增收致富。但要测度农业现代化是否成功，需要从多个角度入手，考虑到许多因素对农业现代化的影响。因此，如何进行合理的统计测度是本文研究的重点。

本文主要从理论层面和实践层面两个方面来探讨农业现代化测度的方法和意义。在理论层面，深入挖掘农业现代化的本质和特点，找出影响农业现代化的因素；通过分析现有的农业现代化理论体系，研究和总结不同测度方法的优缺点来探讨如何建立一套科学合理的农业现代化测度体系。在实践层面，针对不同地区、农业现代化的不同阶段进行数据分析，找出问题所在，为制定农业现代化发展的策略提供科学依据。

本文的研究旨在为我国为农村现代化发展提供理论支撑，同时也为制定科学合理的农业政策和决策提供参考依据。

二、研究现状与研究内容

（一）研究现状

农业现代化测度的研究是一个活跃且不断发展的领域。目前的研究关注点主要包括以下几个方面：指标体系构建、测度方法与模型、区域差异研究、可持续发展与农业现代化。^[4]

当前关于中国农业现代化，既有文献主要从全国^[5]、区域^[6]、省域^[7]等不同研究尺度，采用变异系数、熵权法、基尼系数、马尔科夫链等研究方法开展对中

国农业现代化的时空特征、发展水平、对策路径等方面的研究探索。也有少数学者基于乡村振兴的战略对省域农业现代化的影响因素^[8]、综合水平^[9]进行了研究。

（二）研究问题

目前少有学者基于乡村振兴背景从国家层面对我国农业现代化进行测度分析，因此本文首次从乡村振兴背景出发，在指标选取时考虑与乡村振兴有关的生态宜居和信息技术维度，就不同指标特征维度 10 年来的发展情况研究我国农业现代化的短板、就空间维度对我国农业现代化水平区域差异展开分析、时间维度对我国农业现代化动态演进进行论述，希望结论可以为我国农业结构调整优化、进一步缩小农业发展区域水平差异、推进我国农业现代化提供理论依据。

（三）研究框架

本文的研究框架如下图 2 所示。

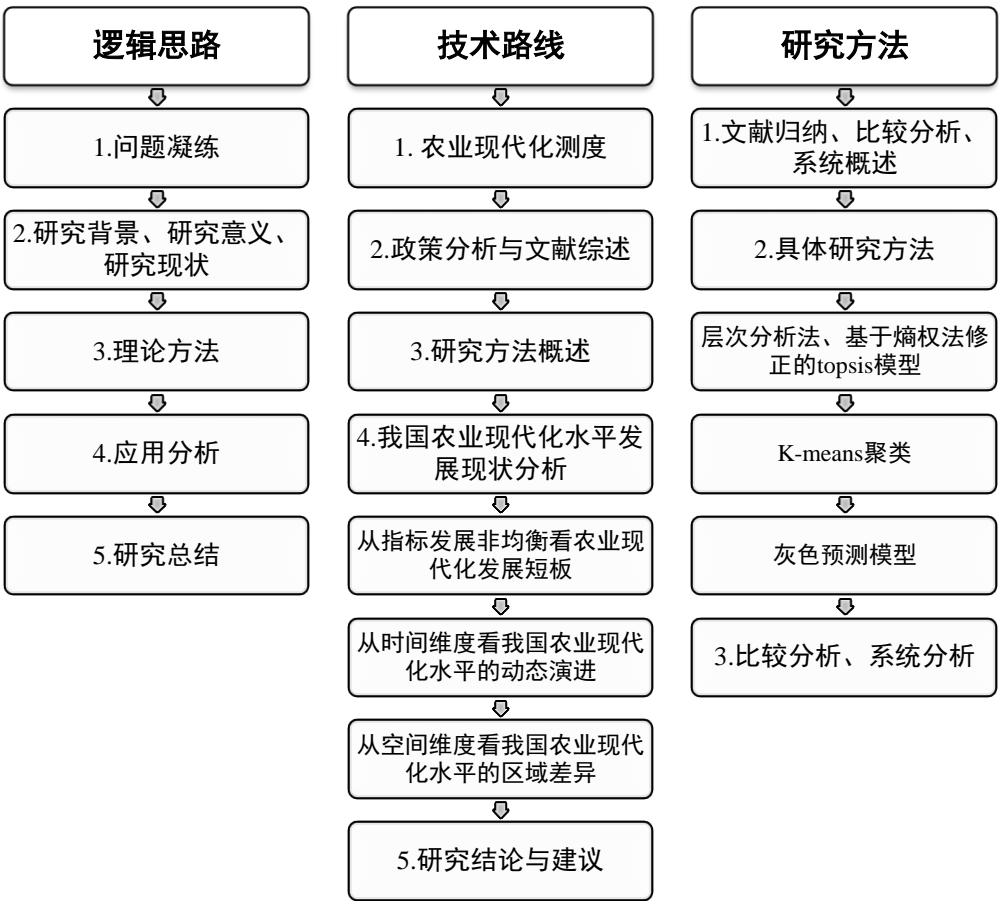


图 2 研究框架

（四）研究视角的创新

经查阅大量相关文献,可知目前对我国农业现代化测度的研究大多未考虑乡村振兴的背景,而少数基于乡村振兴战略对农业现代化测度的研究也是以我国某一地区为例,且目前较少有文献对农业现代化做分维度的特征评价。本文基于对乡村振兴背景的考虑,在选取指标时加入生态宜居、信息技术两个维度,同时从不同指标的维度特征分析我国农业现代化水平的短板,从各省份对比角度研究我国农业现代化发展水平的区域差异,从时间角度分析我国农业现代化发展的动态演进历程,最后对我国农业现代化水平在未来 10 年的发展情况做预测。

三、研究方法与数据概述

（一）农业现代化内涵界定

农业现代化是一个动态的、综合性、历史性和世界性的概念，其内涵随着时代变化、生产力发展、社会进步而不断丰富完善。

词频是指在一个语料库中的某个特定词汇出现的频率，我们利用 python 爬虫技术获取了微博上截止目前为止所有关于“农业现代化”相关的词条，将文章做分词处理并提取词频最高且长度大于等于 2 的词。当某个关键词多次出现时，则说明该词与“农业现代化”相关度高，将这些关键词按照词频大小排序，并绘制词云图如下图 3 所示。



图3 “农业现代化”相关的词云图

“农业”和“农村”作为农业现代化的重要主体，因此在词条中出现最多，而“科技”、“发展”、“乡村”、“振兴”、“实现”等作为农业现代化的重要推手与目的频繁出现在词条中，“智能”和“强农”体现着新时代农业现代化的特点，因而出现频率也较高。

目前已经有学者对农业现代化的内涵进行了详细界定：“农业现代化就是用现代科学技术和生产手段装备农业，以先进的科学方法组织和管理农业，提高农业生产者的文化、技术素质。”^[10]在黄祖辉主编的《农业现代化：理论、进程与途径》一书中，对农业现代化的概念也作出了解读和界定：“农业现代化是指从传统农业向现代农业转化的过程和手段。在这个过程中，农业日益用现代工业、现代科学技术和现代经济管理方法武装起来，使农业生产力的由落后的传统农业日益转化为当代世界先进水平的农业。实现了这个转化过程的农业就叫做农业现代化的农业。”^[11]

综上所述，农业现代化就是指由传统农业向现代农业转化的过程。^[12]以现代科学为基础发展农业，借助科学的力量来创造一个全面的、绿色的、优质的农业生态系统。由此，农业现代化是一个综合性很强的历史发展过程，它既是一个历史性概念，也是一个世界性概念；即是一种过程，也是一种手段。

（二）农业现代化评价指标体系构建

农业现代化具有内涵丰富性、特征多样性等特征。因此，对农业现代化水平测算需要科学的指标系统。根据 2015 年党的十八届五中全会中关于建设现代化农业的论述，本文遵循“大力推进农业现代化，走产出高效、产品安全、资源节约、环境友好的农业现代化道路”的建设要求，参考国内相关文献对农业现代化评价指标体系的选择，在综合考虑指标的系统性、代表性、可比性和可获得性的条件下，选取农业生产体系、农业规模化水平、农民生活、生态宜居和信息技术 5 大维度，并拓展细化至二级，共选取 16 个指标来评价各地区的农业现代化水平，如表 1 所示。

下面给出选取维度的基础释义。

（1）农业生产体系。本文选择全国 30 个地区的土地生产水平、口粮稳定度、养殖业产值占比来测算农业生产效率，考虑有效灌溉率来反映灌溉水的利用率，

用复种指数来测算土地的利用率，并将口粮稳定性和养殖业结构也纳入二级指标考虑范围

（2）规模化水平。随着现代科技的发展和农业生产方式的转变，农业生产逐渐向规模化生产转型。本文选择规模化水平，并以机械化水平与人均耕地面积为具体指标进行测算。

（3）农民生活。农民作为农业的主要从事者和参与者，对农业有着直接而重要的影响。其一，农民在农业生产中参与重要的生产决策，对农产品的产量、质量和效益产生直接影响；其二，农民作为农业劳动力的主要来源，其工作投入、劳动力的质量与数量直接影响着农田的耕种、农作物的管理和养殖活动的进行；其三，农民的土地管理决策和实践对农业的可持续发展与环境保护具有重要意义。因此提高农民生活水平，实现农民群众物质和文化生活水平的提高，增强农民获得感和幸福感，对推动农村现代化进程有着重要意义。本文基于城市人口占比、农村居民家庭恩格尔系数及收入水平、娱乐生活来反映该指标。

（4）生态宜居。从乡村振兴角度来看，生态宜居是乡村振兴战略的重要内容，关系到农村环境的整治和治理，是乡村振兴战略得以顺利实施的必要条件。本文以自然生态宜居和能源消耗水平为细化反映该指标。

（5）信息技术。作为国民经济的基础，农业未来的发展需要科技提供赋能，信息技术对于现代农业的管理、生产和市场开拓等具有重要作用。因此，本文用网络普及程度和网络基础设施以及数字化设施来近似衡量信息技术。

下表 1 为我们建立的农业现代化指标体系，其中一级指标的权重为层次分析法计算所得，二级指标是通过熵权法修正的 topsis 模型计算所得，所以不同省市的二级指标权重不同，这里是以北京地区计算所得二级指标权重为例。

表 1 农业现代化水平指标

一级指标	权重	二级指标	计算方法	属性	权重
农业生产体系	0.3962	土地生产水平 X1	粮食总产量/耕地面积	+	0.078485
		有效灌溉率 X2	有效灌溉面积/耕地面积	+	0.082828
		复种指数 X3	播种面积/耕地面积	+	0.058558
		口粮稳定度 X4	粮食作物耕地面积/耕地总面积	+	0.082778
		养殖业产值占比 X5	牧业、渔业产值/农林牧渔总产值	+	0.093551
规模化水平	0.2530	机械化水平 X6	农业机械总动力/耕地面积	+	0.081268
		人均耕地面积 X7	耕地面积/总人口	+	0.171699
农民生活	0.1002	城市人口占比 X8	城镇人口/总人口	+	2.75e-06
		恩格尔系数 X9	农村居民人均食品消费支出/总支出	-	0.089478
		收入水平 X10	农村居民家庭人均可支配收入	+	0.006297
		娱乐生活 X11	农村居民人均教育文化娱乐消费性支出	+	0.004389
生态宜居	0.1784	自然生态宜居 X12	森林覆盖率	+	0.002102
		能源消耗水平 X13	农用柴油使用量	-	0.176331
信息技术	0.0722	网络普及程度 X14	互联网普及率	+	0.010972
		网络基础设施 X15	长途光缆线路长度	+	0.009375
		数字化设施 X16	农村居民平均每百户年末计算机拥有量	+	0.051886

注：属性“+”表示正向指标，“-”表示负向指标。

（三）数据来源

综合考虑数据的可获得性与近期年份对于当前中国农业发展更具借鉴价值，本文将关注 2012~2021 这 10 个研究时点全国除西藏、澳门、台湾、香港外的 30 个省市的相关指标数据。主要数据来源包括《中国统计年鉴》、《中国科技统计年鉴》以及国家统计局、RESSET 锐思数据库，其中有个别指标缺失个别年份数据。我们对收集整理的数据进行统一预处理，填充缺失值和清理异常值。

（四）研究方法概述

本文首先通过层次分析法求出一级指标的权重，再基于通过熵权法修正的 topsis 模型对各个二级指标赋权并由此测度我国 2012~2021 年间 30 个地区的农业现代化水平；然后选择 2012、2017、2021 这三个时间点，使用 K-means 聚类分别对 30 个地区的农业现代化水平按 k=3 聚类，以便更好地对我国农业现代化

的区域差异展开动态分析；并抽取其中典型城市绘制其五大特征维度 2012~2021 年间得分的雷达图来探究我国农业现代化发展的短板；最后用灰色预测和时间序列分析对全国 30 个地区未来 10 年的农业现代化水平做预测。

1.数据预处理

本文首先采用线性插值的方法对数据缺失值进行处理。这是一种基于已有数据点之间的线性关系来推测缺失值的方法，通常可以在缺失值较少且数据点分布较为连续的情况下使用。

其次将原始矩阵正向化，也即将所有的指标类型统一转化为极大型指标。这里 X9 和 X13 两个指标属于极小型，这意味着它们的数据值越小（少）越好，因此在正向化处理中，将这两项指标的数据通过公式 $\max-x$ 进行了正向化处理转换为极大型指标。

此外由于评价指标体系中各项指标量纲不同，不能直接比较其差别程度。为了消除不同指标量纲的影响，需对已经正向化的数据矩阵进行标准化处理，计算公式如下。

假设由 n 个要评价的对象， m 个已正向化的评价指标构成的正向化矩阵 X ：

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

对其标准化的矩阵记为 Z ， Z 中的每一个元素：

$$z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n x_{kj}^2}} \quad (2)$$

综上所述，数据预处理方面本文采用线性插值方法对缺失数据进行了处理，对极小型指标进行了的正向化处理，然后对正向化矩阵进行标准化处理。其中正向化与标准化处理的实际操作包含在 topsis 模型相关代码中。据以北京地区为例，经预处理后得到的部分数据如下表 2 所示，完整表格见数据包：总数据表.xlsx。

表 2 预处理后的北京地区部分数据

年份	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8
2012	0.48	0.34	0.42	0.49	0.40	0.34	0.40	0.31
2013	0.41	0.25	0.36	0.40	0.38	0.29	0.39	0.31
2014	0.27	0.24	0.29	0.31	0.37	0.28	0.38	0.31

2.层次分析法

层次分析法（AHP）是一种将与决策相关的元素分解为目标、准则、方案等层次，并在此基础上进行定性和定量分析的决策方法。^[13]该方法具有系统、灵活、简洁等优点。^[14]

如下图 4 所示，层次分析法的大致步骤为：首先确立目标层、准则层和方案层，然后构建判断矩阵、经过一致性检验后通过判断矩阵确定各种因素的权重，最后根据权重矩阵计算得分并排序以进行综合评价^[15]。

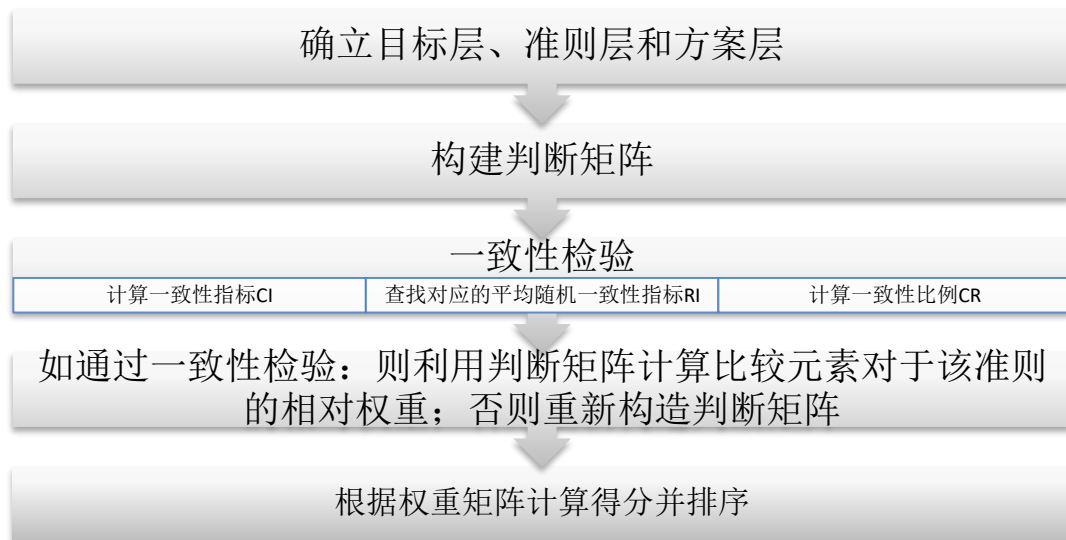


图 4 层次分析法的大致步骤

经过大量参考文献查阅，坚持系统性、综合性、重点性、代表性和可比性等原则，^[16]本文选取农业生产体系、农业规模化水平、农民生活、生态宜居和信息技术这 5 个一级评价指标来测度农业现代化水平。并设置土地生产水平、口粮稳定度、养殖业产值占比等 16 个二级指标来对这 5 个一级指标进行细化分析评价，详见后文 topsis 模型。综上所述，如下图 5 所示，我们确定目标层为农业现代化水平，准则层为上述 5 个一级评价指标，方案层为北京、天津、河北、山西等 30 个具有代表性的省市。

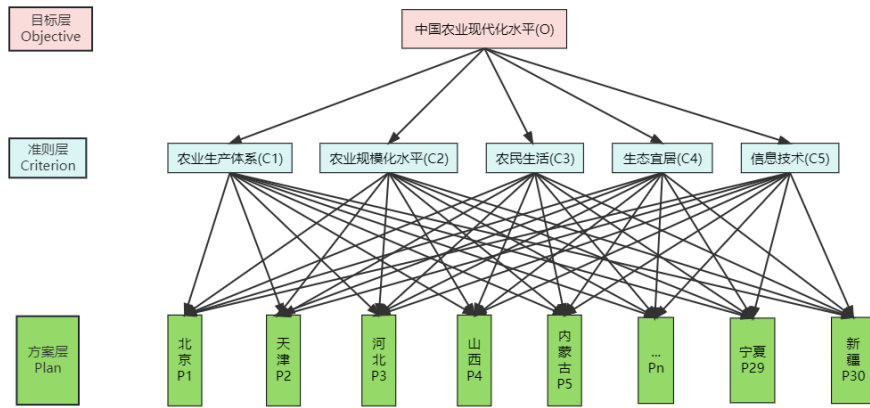


图 5 农业现代化水平层次结构图

对准则层相邻的两个指标进行对比，采用 1-9 标度法^[17]进行赋值，可以得到判断矩阵如下：

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

上式中：R 为层次分析判断矩阵，n 为判断矩阵的阶数， r_{ij} ($i,j=1,2,\dots,n$) 为相邻 2 个指标对比的重要程度。

这里 n 的值取 5，因为共有 5 个一级指标，得到的判断矩阵如下表 3 所示。

表 3 5 个一级指标对于农业现代化影响程度的判断矩阵

	农业生产体系	规模化水平	农民生活	生态宜居	信息技术
农业生产体系	1	3	4	2	3
规模化水平	0.33	1	3	2	4
农民生活	0.25	0.33	1	0.5	2
生态宜居	0.5	0.5	2	1	3
信息技术	0.33	0.25	0.5	0.33	1

对判断矩阵进行一致性检验：

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

式中： λ_{\max} 为判断矩阵的最大特征值，n 为判断矩阵的维数，CI 为一致性指标，RI 为随机一次性指标，查阅资料可得 RI 与 n 的对应关系^[18]如下表 4 所示，

CR 为一致性比例。经计算得 CR=0.0531，满足 CR≤0.1，通过一致性检验，可以通过此判断矩阵求解权重。

表 4 RI-n 对应关系

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.0	0.0	0.58	0.96	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

用和积法计算该判断矩阵的权重向量，公式如下。

$$\bar{a} = \frac{r_{ij}}{\sum_{k=1}^n r_{kj}}, i, j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$\tilde{\omega} = \sum_{j=1}^n \bar{a}_{ij}, i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$\omega_i = \frac{\tilde{\omega}_i}{n} \quad (8)$$

用方根法计算该判断矩阵的权重向量，公式如下。

$$m_i = \prod_{j=1}^n r_{ij}, i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

$$\bar{\omega} = \sqrt[n]{m_i}, i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

$$\omega_i = \frac{\bar{\omega}_i}{\sum_{k=1}^n \bar{\omega}_k}, i = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

用特征值法计算该判断矩阵的权重向量的步骤为：先求出矩阵的最大特征值以及对应的特征向量，再将特征向量归一化即可求得权重。

将三种方法计算所得的权重向量求平均值即可得到最终的一级指标的权重向量 W，具体如下表 5 所示。

表 5 一级指标的权重向量求解

	算术平均	几何平均	特征值	权重 w
农业生产效率	0.3917	0.393	0.4039	0.3962
规模化水平	0.2542	0.2532	0.2515	0.252966667
农民生活	0.1008	0.1016	0.0981	0.100166667
生态宜居	0.1796	0.1812	0.1745	0.178433333
信息技术	0.0738	0.071	0.0719	0.072233333

3.基于熵权法修正的 topsis 模型

本文所构建的评价指标体系中的二级指标数据是已知的，因此使用熵权法修正的 topsis 模型来对各一级指标下的二级指标进行客观赋权，从而使评价更加准确。

熵权法的原理是：指标的变异程度越小，所反映的信息量也越少，其对应的权值也应该越低。算法流程图如下图 6 所示，

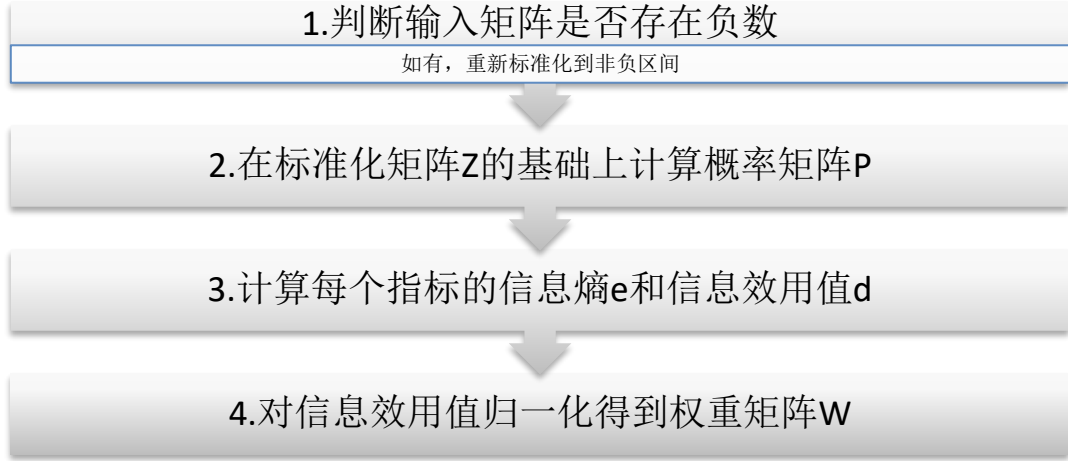


图 6 熵权法算法流程图

计算步骤如下。

首先，判断输入的矩阵中是否存在负数，如果有则需要重新标准化到非负区间，本文所用数据不存在负数，故可以跳过这一步；

其次，计算第 j 项指标下第 i 个样本所占的比重，并将其看作相对熵计算用到的概率。我们经过预处理后得到了正向化与标准化后的非负矩阵 Z ，我们在此基础上计算概率矩阵 P ，其中 P 中的每一个元素 P_{ij} 的计算公式如下：

$$P_{ij} = \frac{z_{ij}}{\sum_{i=1}^n z_{ij}} \quad (12)$$

容易验证，每一个指标所对应的概率和为 1。

然后计算每个指标的信息熵，并计算信息效用值，并归一化得到每个二级指标相对于相应一级指标的熵权。

对于第 j 个指标而言，其信息熵的计算公式为：

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (13)$$

信息效用值的定义为：

$$d_j = 1 - e_j \quad (14)$$

信息效用值越大，其对应的信息就越多，将信息效用值进行归一化，我们就能够得到每个二级指标的相对赋权：

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} (j = 1, 2, \dots, m) \quad (15)$$

这里以北京地区为例给出熵权法计算所得各一级指标下的二级指标相对权重结果，如下表 6 所示。完整表格见数据包：总数据表.xlsx。

表 6 北京地区根据熵权法计算得到的各二级指标相对权重与绝对权重

一级指标	农业生产体系 A1					信息技术 A5		
二级指标	X1	X2	X3	X4	X5	X14	X15	X16
相对权重	0.1981	0.2091	0.1478	0.2089	0.2361	0.1519	0.1298	0.7183
绝对权重	0.0785	0.0828	0.0586	0.0828	0.0936	0.0110	0.0094	0.0519

续表：

一级指标	规模化水平 A2		农民生活 A3				生态宜居 A4	
二级指标	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13
相对权重	0.3213	0.6787	0.0000	0.8933	0.0629	0.0438	0.0118	0.9882
绝对权重	0.0813	0.1717	0.0000	0.0895	0.0063	0.0044	0.0021	0.1763

topsis 模型是有限方案多目标决策分析中常用的一种客观评价方法^[19]。其基本原理是以多目标决策问题中的正理想解和负理想解的距离为条件来评判并进行排序，主要是借助评判对象与理想化目标的接近程度来排序，对现有对象进行相对优劣的评价，如果评判对象最靠近正理想解则为最优值，否则就为最差值。^[20]

由于在数据预处理部分已经对原始数据进行了正向化、标准化处理的说明，这里即在此基础上简述 topsis 模型的步骤：

对于标准化后的矩阵 Z，我们定义最大值向量和最小值向量：

$$Z^+ = (\max\{z_{11}, z_{21}, \dots, z_{n1}\}, \max\{z_{21}, z_{22}, \dots, z_{n2}\}, \dots, \max\{z_{n1}, z_{n2}, \dots, z_{nm}\}) \quad (16)$$

$$Z^- = (\min\{z_{11}, z_{21}, \dots, z_{n1}\}, \min\{z_{21}, z_{22}, \dots, z_{n2}\}, \dots, \min\{z_{n1}, z_{n2}, \dots, z_{nm}\}) \quad (17)$$

利用熵权法求得的权重向量 W，计算得出第 i 个评价对象的未归一化的评分向量 S，对于向量 S 中的每一个元素 Si：

$$S_i = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^m \omega_j (Z_j^+ - z_{ij})}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m \omega_j (Z_j^+ - z_{ij})} + \sqrt{\sum_{j=1}^m \omega_j (Z_j^- - z_{ij})}} \quad (18)$$

下表 7 给出全国 30 个地区 2012~2021 年期间农业现代化水平的未归一化得分的部分情况，我们将使用未归一化的得分进行 30 个城市在 2012、2017 和 2021 这三个时间点农业现代化水平的聚类分析以及未来十年农业现代化水平的预测。完整表格见数据包：总数据表.xlsx。

表 7 农业现代化未归一化得分

A/Y	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
北京	0.5908	0.5062	0.4520	0.4875	0.4818	0.5151	0.4810	0.5410	0.5040	0.5522
天津	0.2687	0.2766	0.2845	0.3433	0.3180	0.3796	0.5137	0.5337	0.5689	0.7541
河北	0.2694	0.3054	0.3534	0.3963	0.3578	0.3917	0.4409	0.5741	0.6652	0.7706

将得分 S 归一化即可求出全国 30 个地区 10 年的农业现代化水平指数：

$$\tilde{S}_i = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (19)$$

这里给出全国 30 个地区 2012~2021 年期间农业现代化水平的归一化得分的部分情况，如下表 8 所示，完整表格见数据包：总数据表.xlsx。

表 8 农业现代化水平归一化得分结果

A/Y	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
北京	0.1200	0.0999	0.0873	0.0932	0.0923	0.1010	0.0968	0.1073	0.0959	0.1065
天津	0.0505	0.0521	0.0542	0.0649	0.0643	0.0770	0.1167	0.1341	0.1598	0.2265
河北	0.0537	0.0604	0.0707	0.0801	0.0817	0.0888	0.0998	0.1313	0.1544	0.1792

4.K-means 聚类

聚类是将样本划分为由类似的对象组成的多个类的过程，是无监督学习中应用最广泛的一种方法之一。聚类可以更加准确的在每个类中单独使用统计模型进行估计、分析或预测；也可以探究不同类之间的相关性和主要差异。本文主要采用 K-means 聚类方法对 2012、2017 和 2021 这三年间中国 30 个地区的农业现代化水平指数做聚类分析。

K-means 聚类的算法一般流程：

- (1) 指定需要划分的簇的个数 K；

- (2) 随机地选择 K 个数据对象作为初始的聚类中心；
- (3) 计算其余的各个数据对象到这 K 个初始聚类中心的距离，把数据对象划归到距离它最近的那个中心所处着的簇类中；
- (4) 调整新类并且重新计算出新类的中心；
- (5) 循环步骤 (3) 和 (4)，看中心是否收敛，如果收敛或达到迭代次数则停止循环；

本文中采用 K-means 聚类算法的流程图如下图 7 所示。

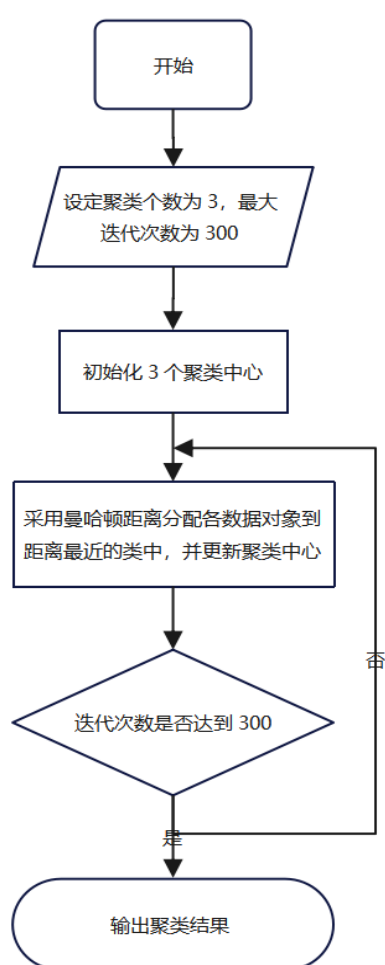


图 7 K-means 聚类算法流程图

由于具有 10 年间 30 个城市的面板数据，为了使聚类分析结果更具有代表性，本文以五年为间隔分别选择 2012 年、2017 年、2021 年的 30 个城市数据，

根据上文中对指标进行赋权后得出的每个城市的得分进行聚类分析。

2012 年、2017 年、2021 年 30 个城市农业现代化水平的聚类结果分别如表 9、表 10、表 11 所示，聚类结果图分别如图 8、图 9、图 10 所示。

表 9 2012 年城市聚类结果

水平	组别	城市							
高	第二组	北京	内蒙古	辽宁	上海	江西	青海	新疆	
中等	第三组	天津	河北	山西	吉林	江苏	安徽	河南	湖南
		广东	重庆	四川	贵州	陕西	甘肃	宁夏	
低	第一组	黑龙江	浙江	山东	湖北	广西	海南	云南	福建

表 10 2017 年城市聚类结果

水平	组别	城市							
高	第一组	北京	内蒙古	辽宁	吉林	黑龙江	青海		
中等	第二组	天津	河北	上海	安徽	云南	甘肃	宁夏	山东
		河南	湖北	湖南	广东	广西			
低	第三组	山西	江苏	浙江	福建	江西	海南	重庆	四川
		陕西	贵州						

表 11 2021 年城市聚类结果

水平	组别	城市							
高	第二组	天津	河北	浙江	安徽	福建	江西	山东	河南
		湖北	湖南	广东	广西	海南	重庆	云南	甘肃
		宁夏							
中等	第一组	北京	山西	辽宁	吉林	黑龙江	上海	江苏	四川
		贵州	陕西	青海					
低	第三组	内蒙古	新疆						

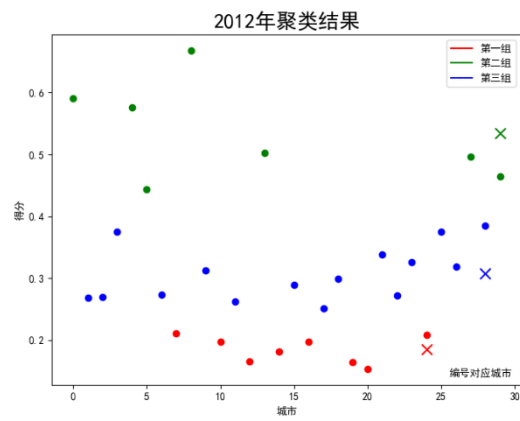


图 8 2012 年聚类分析图

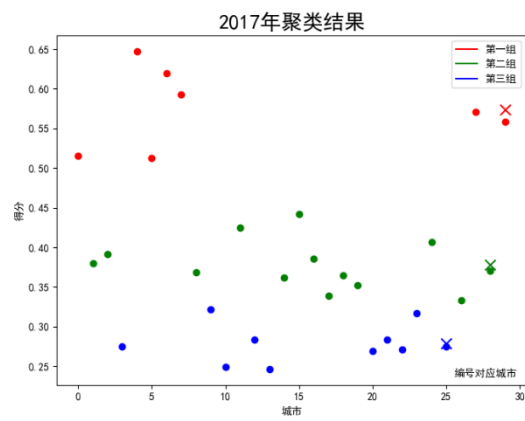


图 9 2017 年聚类分析图

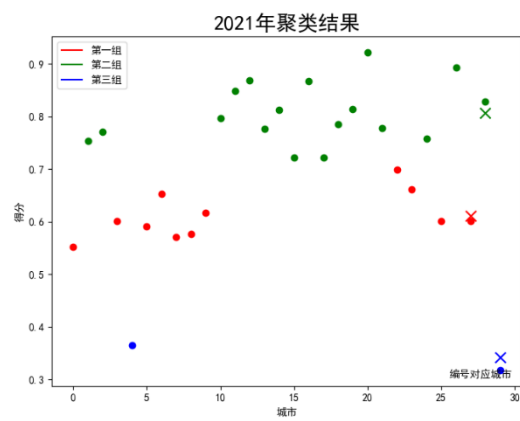


图 10 2021 年聚类分析图

聚类结果中，我们将得分较低的城市聚为一类标记为低水平，得分居中的城市聚为一类标记为中等水平，得分较高的城市聚为一类标记为高水平。

5.灰色预测与时间序列分析

① 灰色预测

灰色预测是对既含有已知信息又含有不确定信息的系统进行预测，即对在一定范围内变化的、与时间有关的灰色过程进行预测。灰色预测对原始数据进行生成处理来寻找系统变动的规律，并生成有较强规律性的数据序列，然后建立相应的微分方程模型，从而预测事物未来发展趋势的状况。^[21]本文采用灰色预测 GM(1,1) 模型分析预测全国 30 个省市未来 10 年农村现代化水平可能的趋势。

GM(1,1)模型是使用原始的离散非负的数据序列，通过一次累加生成削弱随机性的较有规律的新的离散数据序列，再通过建立微分方程求解和累减，进而预测原始数据的后续发展。

假设原始的离散非负数据序列为：

$$x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)) \quad (20)$$

对原始数据进行累加，可以得到新的数据序列：

$$x^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)) = (\sum_{i=1}^1 x^{(0)}(i), \sum_{i=1}^2 x^{(0)}(i), \dots, \sum_{i=1}^n x^{(0)}(i)) \quad (21)$$

累加后的数据具有准指数规律是使用 GM(1,1)建模的理论基础，因此要先对累加数据进行准指数规律检验。定义级比：

$$\sigma(k) = \frac{x^{(r)}(k)}{x^{(r)}(k-1)}, k = 2, 3, \dots, n. \quad (22)$$

如果 $\forall k, \sigma(k) \in [a, b]$, 且区间长度 $\delta = b - a < 0.5$ ，则称累加 r 次后的序列具有准指数规律。具体到 GM(1,1)模型中，r=1，根据上述公式可得：

$$\sigma(k) = \frac{x^{(1)}(k)}{x^{(1)}(k-1)} = \frac{x^{(0)}(k) + x^{(1)}(k-1)}{x^{(1)}(k-1)} = \frac{x^{(0)}(k)}{x^{(1)}(k-1)} + 1 \quad (23)$$

若想累加一次后序列具有准指数规律，只需要原始序列光滑比：

$$\rho(k) = \frac{x^{(0)}(k)}{x^{(1)}(k-1)} \in (0, 0.5) \quad (24)$$

对 30 个城市 2012-2021 年数据依次进行检验，部分城市以北京为例的数据检验结果如图 11 所示，原始序列光滑比小于 0.5 的占比均为 88.89%，由于一般情况下第一期数据光滑比偏高，因此考虑除去第一期数据之后光滑比小于 0.5 的占比后计算结果为 100%，可以使用灰色预测模型进行预测。但也有部分城市如黑龙江、山西等不通过灰色预测数据检验，不适于用该模型，因此选用时间序列分析进行预测。

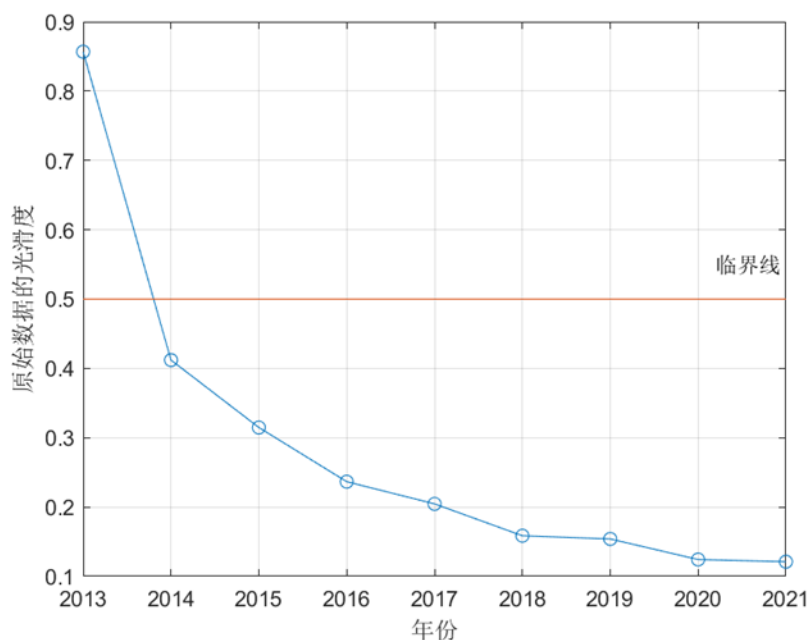


图 11 以北京为例对 2012-2021 进行数据检验结果

接下来用累加数据序列构建一阶常微分方程：

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u \quad (25)$$

经过变形可得如下方程：

$$x^{(0)}(t) = -ax^{(1)}(t) + b \quad (26)$$

取新数据序列前后两时刻均值：

$$z^{(1)}(t) = \frac{1}{2}x^{(1)}(t) + \frac{1}{2}x^{(1)}(t-1) \quad (27)$$

将原方程改写为：

$$x^{(0)}(t) = -az^{(1)}(t) + b \quad (28)$$

写为矩阵表达式：

$$\begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(1)], 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(3) + x^{(1)}(2)], 1 \\ \vdots \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(N) + x^{(1)}(N-1)], 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \quad (29)$$

令：

$$y = (x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(N))^T \quad (30)$$

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(1)], 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(3) + x^{(1)}(2)], 1 \\ \vdots \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(N) + x^{(1)}(N-1)], 1 \end{bmatrix} \quad (31)$$

$$U = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \quad (32)$$

其中，T 表示转置，用最小二乘法求解出：

$$\hat{U} = \begin{bmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (33)$$

将求出的系数代入后得到新数列的预测值：

$$\hat{x}^{(1)}(t+1) = [x^{(0)}(1) - \frac{\hat{b}}{\hat{a}}]e^{-\hat{a}t} + \frac{\hat{b}}{\hat{a}} \quad (34)$$

对数据进行累减可得到原始数列的预测值：

$$\hat{x}^{(0)}(t+1) = \hat{x}^{(1)}(t+1) - \hat{x}^{(1)}(t) \quad (35)$$

在基本 GM(1,1)模型原理的基础上使用两种方法加以改进：

法一：设 $x^{(0)}(n+1)$ 为最新信息，将 $x^{(0)}(n+1)$ 置入 $x^{(0)}$ ，称用新的数据序列 $x^{(0)}$ 建立的模型为新信息 GM(1,1)；

法二：置入最新信息 $x^{(0)}(n+1)$ 的同时，去掉最老的信息 $x^{(0)}(1)$ ，称用新的数据序列 $x^{(0)}$ 建立的模型为新陈代谢 GM(1,1)。

使用 matlab 程序，将前七年数据作为训练集，对这三种 GM(1,1)模型分别进行建模，将 2019-2021 三年数据作为测试集，画出三种模型预测结果与实际数据的趋势线进行比较，如图 12 所示，并分别计算这三种模型的 SSE。

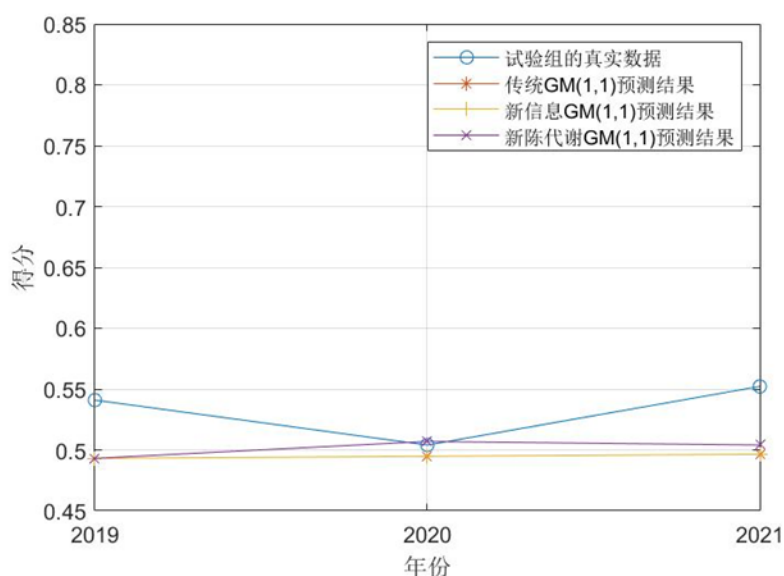


图 12 以北京为例的三种模型预测结果与实际结果比较

根据 matlab 程序处理结果得出：传统 GM(1,1)对于试验组预测结果的误差平方和是 0.00015587，新信息 GM(1,1)对于试验组预测结果的误差平方和是 0.00015588，新陈代谢 GM(1,1)对于试验组预测结果的误差平方和是 0.00014403，

显然选择误差平方和最小的新陈代谢 GM(1,1)模型进行预测，结果如图 13。

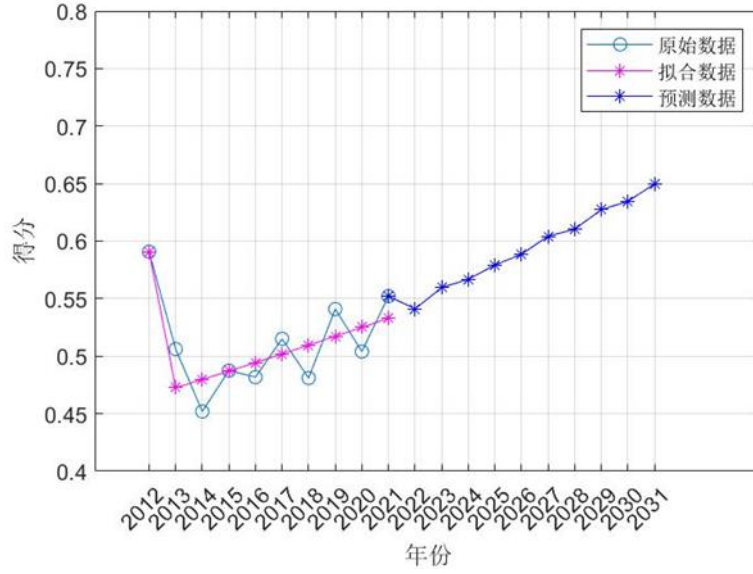


图 13 以北京为例预测未来十年的曲线图

由图 13 得，尽管趋势上大体类似，但仍有部分年份预测结果与实际结果之间有较大偏差，因此我们对模型进行了检验，检验结果如图 14 所示。

(1) 残差检验：

相对残差：

$$\varepsilon_r(k) = \frac{|x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)|}{x^{(0)}(k)} \times 100\%, k = 2, 3, \dots, n \quad (36)$$

平均相对残差：

$$\bar{\varepsilon}_r(k) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n |\varepsilon_r(k)| \quad (37)$$

通常认为，平均相对残差小于 10% 时达到较高要求。

(2) 级比偏差检验：

级比偏差：

$$\eta(k) = \left| 1 - \frac{1 - 0.5\hat{a}}{1 + 0.5\hat{a}} \frac{1}{\sigma(k)} \right| \quad (38)$$

平均级比偏差

$$\bar{\eta} = \sum_{k=2}^n \frac{\eta(k)}{n-1} \quad (39)$$

通常认为，平均级比偏差小于 0.1 时达到较高要求。

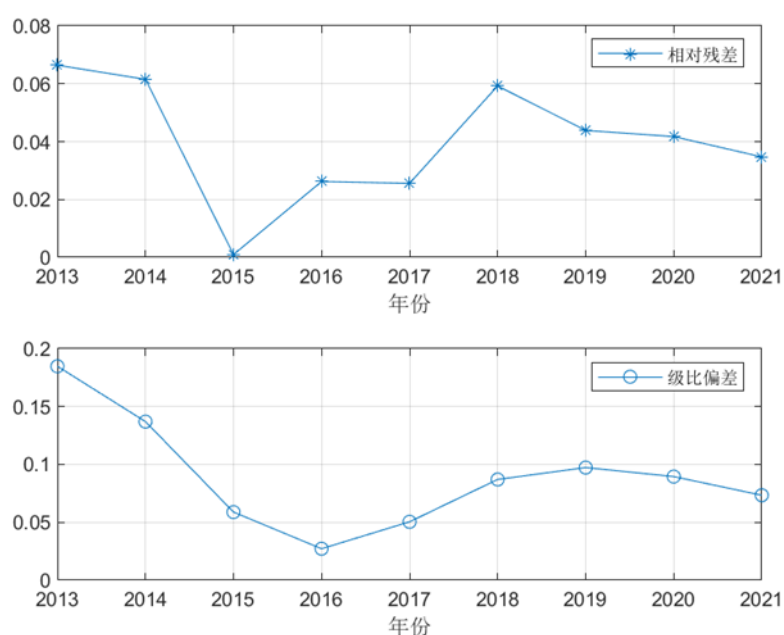


图 14 以北京为例预测结果的相对残差、级比偏差

由检验结果可以得到平均相对残差为 0.040026，平均级比偏差为 0.089518，说明该模型对原数据的拟合程度达到较高要求，拟合程度很好。

② 时间序列分析

时间序列也称动态序列，是指将某种现象的指标数值按照时间顺序排列而成的数值序列。时间序列分析大致可分成三大部分，分别是描述过去、分析规律和预测未来。本文将不通过灰色预测数据检验的城市如黑龙江、山西等采用 SPSS 软件的专家模拟器进行时间序列分析。

以黑龙江为例，借助 SPSS 软件的专家模拟器进行时间序列分析的预测结果如图 15 所示。

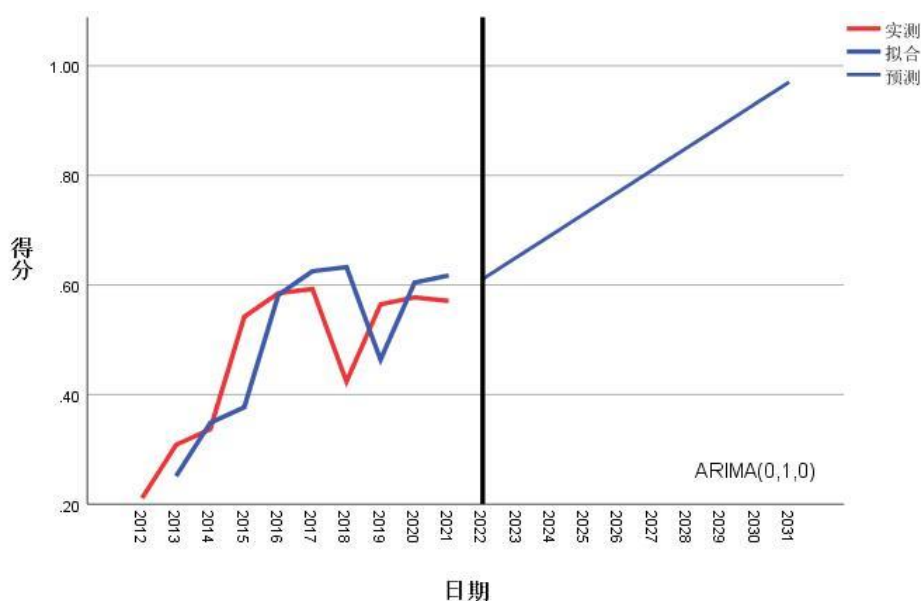


图 15 以黑龙江为例的时间序列预测结果图

从图中可以看出，实测数据和拟合数据的时序图几乎重合，这说明时间序列模型对原数据拟合的效果很好；另外预测数据保留了原始序列向上的趋势，说明本模型能很好的对未来 10 年数据进行预测。

对数据进行残差检验如图 16 所示。

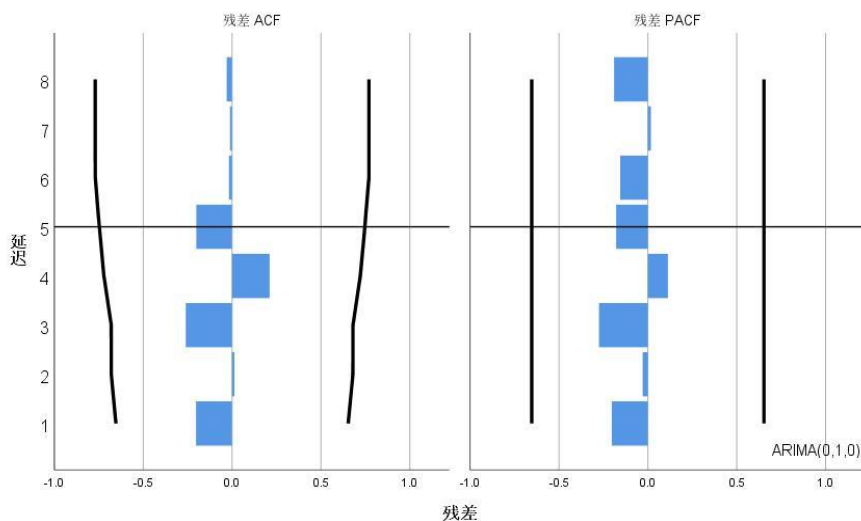


图 16 以黑龙江为例的时间序列分析残差检验图

从上述残差的 ACF 和 PACF 图形中可看出，所有滞后阶数的自相关系数和偏自相关系数均与 0 没有显著的差异，故采用本模型来预测未来十年的数据是合理的。

四、我国农业现代化水平现状分析

（一）我国农业现代化发展的短板分析

我们选取北京、天津和上海这三个典型城市，分别就其 2012~2021 年间在五大维度的得分绘制雷达图，并就此对我国农业现代化发展的短板展开分析。

如下图 16、图 17、图 18 所示，与其他特征维度相比，信息技术和农民生活这两个领域的雷达图形状普遍偏小，一方面说明信息技术领域农业科技创新不足仍是我国农业现代化发展的短板之一，另一方面说明农民群众生活水平仍然有待提高；但就时间动态演进来看，从 2012 到 2021 年，这两个领域的得分总体都是趋于远离中心点的方向，既表明我国近年来逐渐重视农业方面的科技发展，正在努力提升农业科技水平，又说明我国农民生活水平正在不断提高，农民群众的获得感与幸福感在不断加强。

就生态宜居维度而言，该维度的雷达图规模大小相对居中，分布较不对称，但整体表现为自 2015 年之后趋于远离中心点的趋势，说明我国越来越重视生态农业、绿色农业的发展，也印证了乡村振兴战略下我国对绿色发展理念的逐渐贯彻落实。

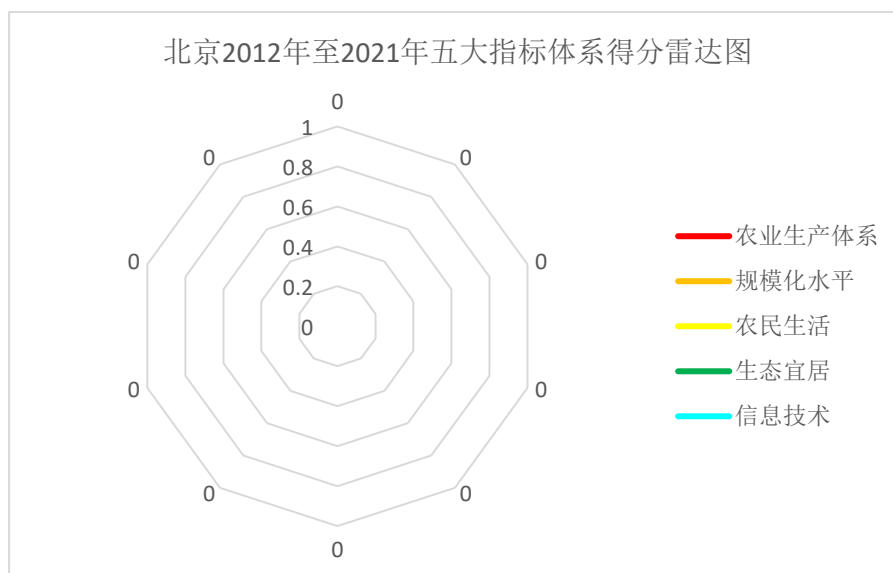


图 17 北京 2012~2021 五大指标体系得分雷达图

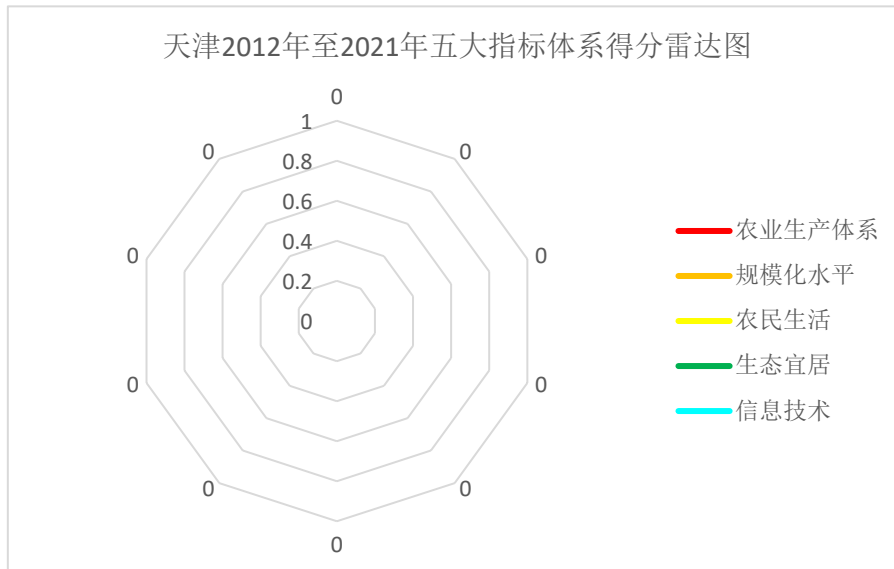


图 18 天津 2012~2021 五大指标体系得分雷达图

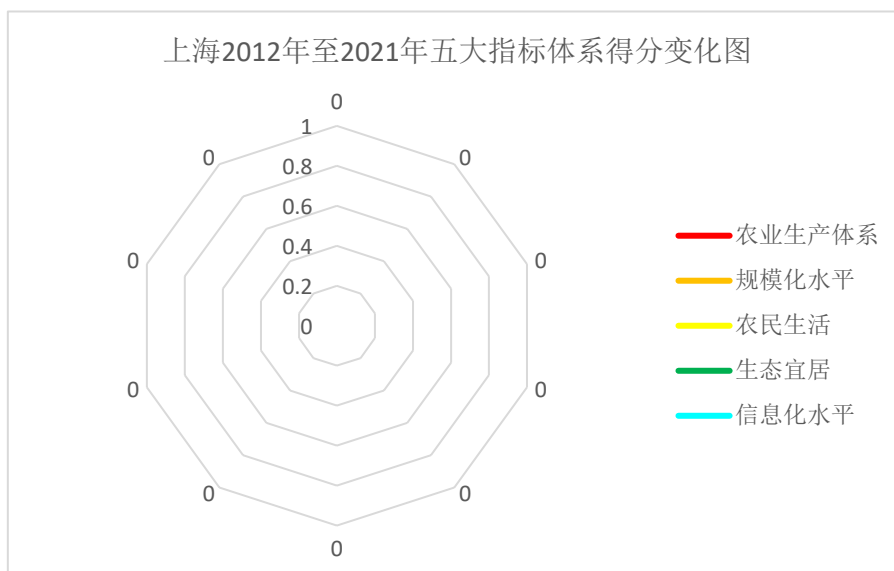


图 19 上海 2012~2021 五大指标体系得分雷达图

（二）我国农业现代化水平的区域差异分析

以地区为维度，选取全国 30 个地区 2012、2017、2021 年的面板数据，根据各地区得分进行聚类并将结果可视化。因为不考虑西藏、香港、澳门，所以将其的得分设为 0。由于所有得分均在 0-1 之间，为使结果对比更加清晰，将得分均扩大一百倍，得到可视化结果如下图 20、图 21、图 22 所示。

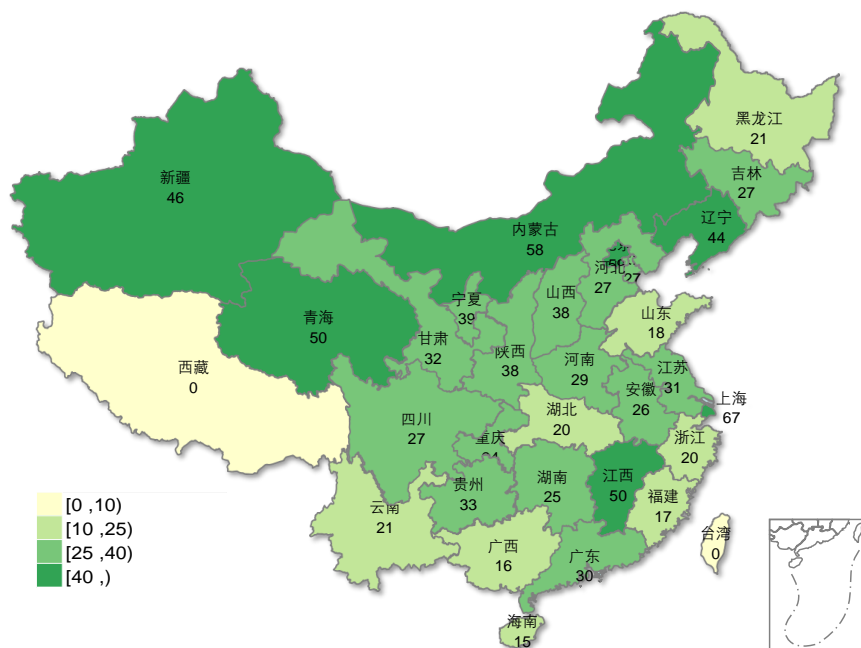


图 20 2012 年农业现代化水平地区分布图

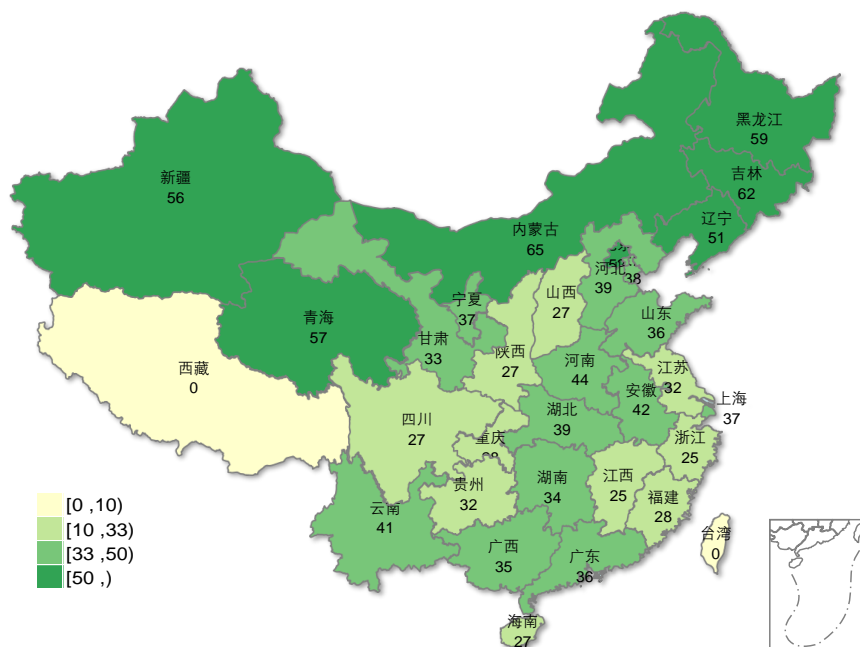


图 21 2017 年农业现代化水平地区分布图

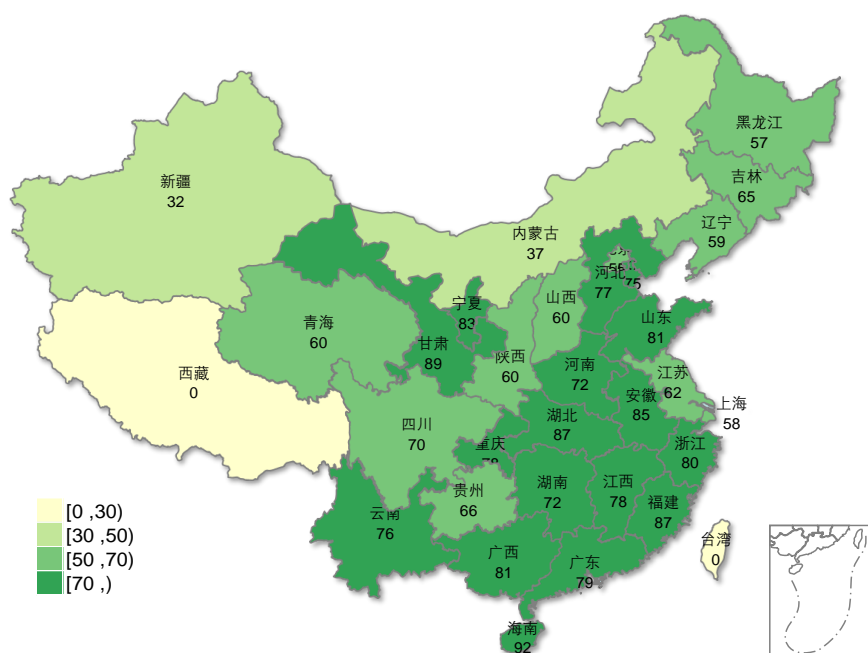


图 22 2021 年农业现代化水平地区分布图

由三年的地区分布水平图可以看出，进行聚类的分类阈值在不断提高，说明我国的农业现代化水平有明显提高，而在 2017 年党的十九大报告提出实施乡村振兴战略之后，我国农业现代化水平地区分布发生改变，由 2021 年地区分布图可以看到东部及沿海地区较之前有明显增长，并与西部地区差异化程度明显。原因在于西部地区经济条件不足，自然环境限制导致生产水平较为落后，但西部地区大部分城市较前几年相比得分呈现上升趋势，说明农业现代化水平整体有提高，但存在区域差异化和空间集聚特性。

（三）我国农业现代化发展的动态演进分析

以时间为维度，选取全国 30 个地区 2012 年-2021 年十年间的面板数据，根据各地区得分进行拟合，用灰色预测方法和时间序列分析预测未来十年的发展程度。采用灰色预测 GM(1,1)模型对能通过数据检验的城市（以北京为例）进行预测的结果如图 23、图 24 所示，通过 Spss 软件采用时间序列分析模型对其他城市（以黑龙江为例）进行未来十年预测的结果如图 24 所示。

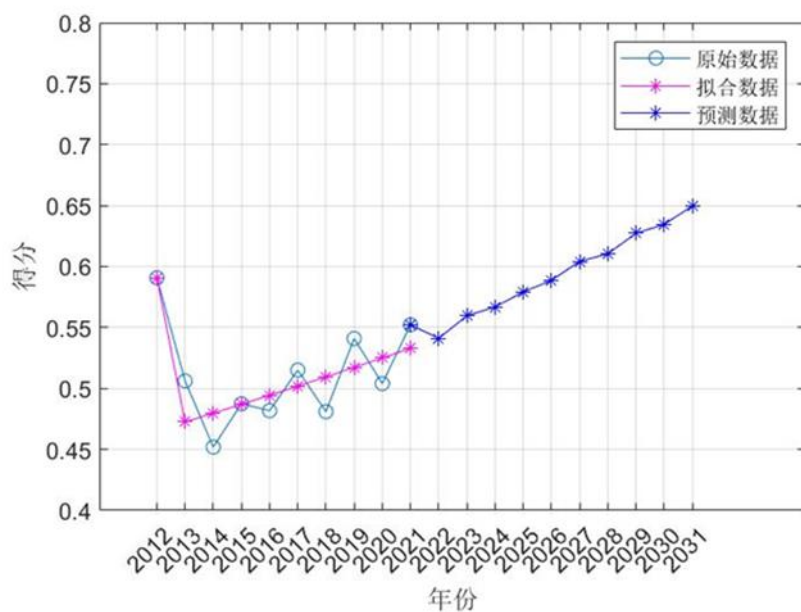


图 23 以北京为例灰色预测结果

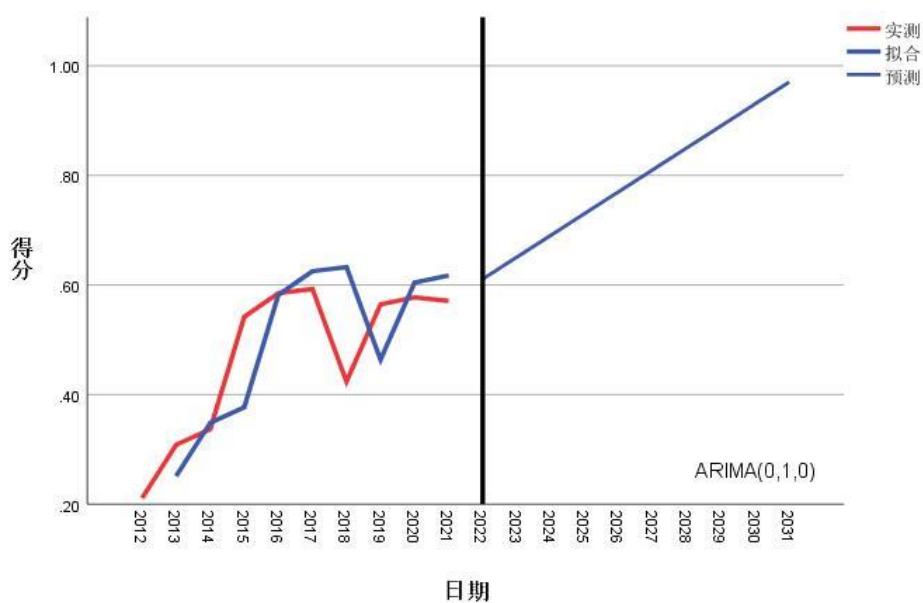


图 24 以黑龙江为例时间序列分析预测结果

由预测结果图知，从时间演进特征看，根据现有十年的数据进行拟合，观测期内所选城市农业现代化发展水平整体上处于上升过程，预测未来十年的得分将稳步增长，说明在乡村振兴战略背景下，农业现代化逐步向高水平方向演进。

五、结论与建议

（一）主要结论

1. “信息技术”与“农民生活”两大维度是我国农业现代化发展的短板

从雷达图分布来看，“信息技术”与“农民生活”两大维度的雷达图形状普遍较小，说明这两大维度是我国农业现代化发展的短板。信息科技能够为农业生产管理提供更高效率的劳动工具和生产方法，充分发挥“信息科技”在农业现代化发展中的作用对我国农业现代化发展具有深远广泛的意义。农民作为农业的直接参与者与经营者，其获得感与幸福感的提高对农业有着直接而重要的影响。

2. 农业现代化发展具有明显地理空间聚集特性，东、西部发展存在显著差异

针对我国农业现代化区域差异方面的分析，主要有以下两点结论。

（1）从空间关联特征看，中国各省份农业农村现代化发展具有明显的地理空间集聚特性。

（2）从差异程度上看，全国农业农村现代化发展水平不平衡的态势有所缓解，但在区域差异方面，东部区域和西部区域的区域内差异较为明显。

3. 乡村振兴战略正向影响着农业现代化进程

从时间演进特征看，观测期内全国农业现代化发展水平整体处于上升过程，且东部区域发展水平增长迅速，差异略有减小。根据未来十年的预测结果，我国农业现代化水平整体将呈现持续上升态势，说明在乡村振兴战略背景的加持下，我国将实现全面农业现代化水平的提高。

（二）建议

1. 提升农业科技创新水平，重视农民生活幸福感

鉴于我国农业现代化短板方面的分析，我们给出如下两点建议。

一方面，尽管目前我国在农业科技方面取得了一些成就，但与发达国家相比仍存在一定差距。因此为实现我国农业现代化，在农业科技创新方面，我们还需要加大投入和支持，提高研发水平，推动科技成果的转化和应用。特别是在种植业和养殖业领域，需要进一步改进品种选育、病虫害防控和高效管理等方面的技术。另一方面，要推动农业现代化发展，必须重视提高农民生活水平，加强农村地区娱乐设施建设、切实关注农民需求、聆听农民心声、提升农民生活幸福感。

2.实施差异化农业发展战略，加强各地强农经验交流

针对我国农业现代化区域差异性和非均衡性特征分析，给出如下两点建议。

（1）要合理布局推动农业农村现代化，因地制宜地实施差异化农业发展战略，使得全国农业现代化均衡发展。

（2）要加强各地区强农经验的交流，互相借鉴、优势互补，增强发展水平较高的东部区域农业农村现代化先行区的示范带头作用。

3.大力促进乡村数字化发展，全面坚持乡村振兴战略

一方面通过发展农村数字基础实施、农村公共服务、娱乐项目、智慧农业等来提高农村数字化程度，借助数字化转型实现农业农村现代化进程的加速。另一方面要继续坚持乡村振兴战略，推动绿色发展理念的贯彻落实，注重生态农业、绿色农业的发展。

参考文献

- [1] 汪昊,张俊飏,王志娜.中国农业现代化水平的测算与俱乐部收敛分析[J/OL].中国农业资源与区划:1-14[2023-05-24].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20220823.1144.002.html>
- [2] 习近平.加快建设农业强国推进农业农村现代化[J].求是,2023(6):4-17
- [3] 蒋和平,黄德林,郝利.中国农业现代化发展水平的定量综合评价[J].农业经济问题,2005(S1):52-60+69.
- [4] 程美秀, 陈秧分. 国际比较视角下中国农业现代化成效评估与影响因素分析[J]. 资源科学, 2022, 44(10):12.
- [5] 安晓宁, 辛岭. 中国农业现代化发展的时空特征与区域非均衡性[J].资源科学, 2020, 42(9):15.
- [6] 姚成胜, 胡宇, 黄琳. 粮食主产区农业现代化水平评价及其空间非均衡性演变[J]. 农业现代化研究, 2020, 41(1):11.
- [7] 李天笑. 基于 SPSS 的江苏省现代农业影响因素探究[D]. 浙江海洋大学.
- [8] 蔡锐锋.乡村振兴战略下贵州省农村金融与农业现代化研究[J].生产力研究,2023(01):124-128.DOI:10.19374/j.cnki.14-1145/f.2023.01.010.
- [9] 李瑾,聂春霞.以物元模型构建乡村振兴背景下新疆农业现代化水平综合评价分析[J].现代农业研究,2023, 29(03):13-19.DOI:10.19704/j.cnki.xdnyyj.2023.03.019.
- [10] 王雅鹏. 现代农业经济学[M]. 中国农业出版社, 2008.
- [11] 黄祖辉, 林坚, 张冬平. 农业现代化:理论,进程与途径[M]. 中国农业出版社, 2003.
- [12] 刘晓越.中国农业现代化进程研究与实证分析[J].统计研究,2004(02): 10-16.DOI:10.19343/j.cnki.11-1302/c.2004.02.002
- [13] 邓雪,李家铭,曾浩健等.层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J].数学的实践与认识,2012,42(07):93-100.
- [14] 系统工程[M]. 汪应洛主编.机械工业出版社.2003
- [15] 郭金玉,张忠彬,孙庆云.层次分析法的研究与应用[J].中国安全科学学

报,2008(05):148-153.DOI:10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2008.05.018.

- [16] 基于灰色关联分析的区域主导产业选择研究[J]. 徐建中;王莉静;赵忠伟.科技进步与对策,2010(09)
- [17] 徐格宁,江凡.基于模糊层次综合法的起重机安全性评价[J].安全与环境学报,2010,10(02):196-200.
- [18] 孟令玲,冯新刚.层次分析法和模糊综合评价法在煤矿安全生产评价中的应用研究[J].煤炭工程,2012(08):114-116.
- [19] 虞晓芬,傅玳.多指标综合评价方法综述[J].统计与决策,2004(11):119-121.
- [20] 张毅,刘勇,江成玉,王沉,金云灿.基于 AHP-TOPSIS 法综合评判的保护层开采选择[J].中国安全生产科学技术,2021,17(06):65-71.
- [21] 田宜君. 基于灰色系统理论预测方法的研究及其应用[D]. 华南理工大学, 2009.

附录

本文中所用的完整数据及数据分析程序及结果表详见数据包，现对数据包内容做如下简述。

名称	简介
总数据表.xlsx	本数据表中包含： 1.层次分析法中的判断矩阵、一致性检验结果以及一级指标的权重矩阵； 2.以北京为例的预处理后数据； 3.熵权法求二级指标权重的过程数据与结果； 4.30 个省市在 2012~2021 年间农业现代化水平得分整理； 5.2012、2017、2021 年 30 个省市农业现代化非归一化得分聚类的结果； 6.预处理数据分析表格； 7.经过缺失值填充、异常值处理以及指标正向化、标准化后的全部数据； 8.各地区 10 年间农业现代化水平归一化得分的描述性统计； 9.非归一化得分对未来十年农业现代化水平的预测； 10.基于归一化得分的典型城市五大指标体系得分图。
灰色预测	本文件夹中包含进行灰色预测所用的程序以及 30 个城市的预测结果图。
K-means	本文件夹中包含进行 K-means 将 30 个城市聚类的分析程序。
熵权法 topsis 模型	本文件夹中包含基于熵权法对 topsis 模型的修正得出评价指标体系赋权值。