

2010—2022年中国农业温室设施空间格局及变化趋势

孙燕^{1,2}, 袁一心², 葛恒军², 蒋非非², 邹铭², 陈浮^{2*}

(1. 南京农业大学公共管理学院, 南京 210095; 2. 河海大学公共管理学院, 南京 211100)

摘要: 设施农业是农业现代化的重要支柱, 温室作为核心载体, 对提升产业效益、优化区域布局和调节作物茬口等方面作用显著。针对国家尺度的温室设施多时相空间格局研究存在空白, 该研究运用空间自相关、标准差椭圆等方法揭示2010—2022年中国农业温室设施时空格局、特征及变化趋势与时空变化。结果表明: 1) 2010—2022年全国农业温室设施呈“总量翻番、高等级倍增、西部崛起、多极并进”的新格局。农业温室设施面积从555 460 hm²跃升至1 295 480 hm², >17 000 hm²的大规模县级单元由3个增至8个, 无农业温室设施的县级单元从1 620个减至985个。2) 2010—2022年全局莫兰指数由0.27缓降至0.23, 温室设施空间上仍呈轻度集聚, 但整体趋于离散。高一高集聚区单元数先减后增, 低—低集聚区单元数则持续扩大。3) 2010—2022年全国农业温室设施总体呈扩张态势, 但不同时段差异明显。2010—2016年呈现普遍快速增加, 2016—2022年快速增加单元减少, 部分单元呈现适度减少。2010—2022年全国农业温室设施空间重心从山东平原移至河南卫辉, 农业温室设施的海拔和坡度分布总体基本不变, 但趋于变大。该研究结果深化了全国农业温室设施时空格局动态演变认识, 可为设施农业发展规划及管理决策提供科学依据。

关键词: 温室设施; 空间格局; 设施农业; 标准差椭圆; 空间自相关

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202502077

中图分类号: S127

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2025)-18-0291-09

孙燕, 袁一心, 葛恒军, 等. 2010—2022年中国农业温室设施空间格局及变化趋势[J]. 农业工程学报, 2025, 41(18): 291-299. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202502077 <http://www.tcsae.org>

SUN Yan, YUAN Yixin, GE Hengjun, et al. Spatial pattern and evolutionary trends of agricultural greenhouse facilities in China from 2010 to 2022[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2025, 41(18): 291-299. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202502077 <http://www.tcsae.org>

0 引言

近20年中国经济社会取得了长足发展, 人民群众生活水平不断提高, 膳食结构已从相对单一的粮菜型向谷、蔬、肉、蛋、奶、油等多元化结构转变。多样化食物需求带动了设施农业迅猛发展, 温室设施是其最主要的类型, 它不仅为农作物提供舒适、可控的生长环境, 减少季节、气候等自然因素对生产的限制^[1], 还能为用户带来更高的种植收益, 优化农业产业结构, 促进乡村振兴和共同富裕^[2]。2023年6月9日, 农业农村部等四部委联合公布《全国现代设施农业建设规划(2023—2030年)》, 国家计划进一步扩大设施种植规模, 2030年设施蔬菜产量提升至40%, 设施渔业养殖水产品产量提升至60%。然而, 一些地区涌现以发展农业温室设施名义大搞“大棚房”建设, 破坏耕地, 甚至非法占用永久基本农田。2018年农业农村部与自然资源部印发《关于开展“大棚房”问题专项清理整治行动坚决遏制农地非农化的方案》的通知, 坚决遏制农地非农化。因此,

精准掌握全国农业温室设施(greenhouse facilities, FGH)空间格局及变化可为管理部门提供技术支持, 有效推进中国式农业现代化和高质量发展, 切实加强耕地保护。

农业温室设施利用透光、保温材料或结构调控温度、通风、灌溉等作物生产环境, 实现高效生产的多季连续种植农业设施或建筑, 包括日光温室、单体大棚、连栋大棚等形式。不同于结构简单、塑料覆盖的普通棚或塑料小拱棚, 其环境调控能力弱, 主要用于季节性作物种植的临时性设施。目前, 国内外关于农业温室设施的研究主要包括温室设施的识别提取^[3-6]、生态及经济效益^[7-9]、工程建设与环境控制等^[10-13]。传统农业温室设施占地面积主要依靠抽样调查、统计上报等传统方法获得, 工作流程复杂, 调查周期长, 人为干预多, 导致数据生产效率低、主观性强、实时性差^[14]。随着对地观测技术发展, 精准、快捷地取得农业温室设施的空间分布及动态变化成为可能。李宗南等^[1]基于Landsat-8影像分别提取了云南省陆良县设施种植区和江苏省常州市塑料大棚的空间分布信息; 于津伟^[15]基于Sentinel-2影像提取了辽宁处省庄河市塑料大棚的分布信息。然而, 中低分辨率影像中“同物异谱”和“同谱异物”现象较为普遍, 导致判读错误或遗漏, 可能影响分类精度。高分辨率影像具有更多的地物细节信息, 便于捕获更细小的目标和边界的优势。黄振国等^[16]基于HJ-1遥感影像目视解译提取山东省寿光市塑料大棚信息; 吴锦玉等^[17]基于GF-2影像

收稿日期: 2025-02-17 修订日期: 2025-06-27

基金项目: 国家社科基金重大项目(23&ZD141); 中央高校基本科研业务费专项(B230207001)

作者简介: 孙燕, 博士生, 副教授, 研究方向为地理信息技术应用。

Email: suny@hhu.edu.cn

*通信作者: 陈浮, 博士, 教授, 研究方向为耕地保护转型与创新。

Email: chenfu@hhu.edu.cn

验证不同纹理提取算法对塑料大棚识别的适用性。然而,目前农业温室设施遥感识别与提取在空间尺度上集中于市级或县级的小尺度研究^[18-19],国家尺度上仅有基于 Sentinel-2 遥感影像的 2019 年中国农业塑料大棚遥感分类^[20],缺少长时间序列数据集,难以满足学术研究和管理决策的需求。鉴于此,目前关于温室设施空间分布特征、时空动态变化特征的研究局限于市级或县级尺度,全国尺度的相关研究较少。陆笑舒等^[21]基于 GEE 云平台和 Landsat 影像探索了 2000—2020 年天山北坡经济带农业大棚时空动态变化特征。TAN 等^[22]基于 2019 年中国农业塑料大棚遥感分类数据集^[20]探讨了中国县级单元温室设施发展的空间适宜性及潜力。ZHANG 等^[23]利用 2019 年中国农业塑料大棚遥感分类数据集^[20]进行驱动因素分析,发现中国县级尺度下温室设施空间分布主要受社会经济因素的影响,省级尺度下温室设施空间分布受自然因素影响更大。SUN 等^[24]基于 Landsat 7 系列遥感影像,利用随机森林算法提取 2010、2016、2022 年全国农业温室设施信息,填补了多时相、大范围农业温室设施遥感信息分类方法和公开数据集研究的空白,为研究温室设施空间格局及变化趋势提供了数据基础。

农业温室设施已被广泛应用于蔬菜、甜瓜、葡萄、油桃等农产品生产。2021 年末,全国农业温室设施等各类设施达 2 800 多万座,设施农业种植面积超过 253.3 万 hm^2 ^[25]。然而,目前缺少对全国农业温室设施空间分布、变化及分异特征的长时序研究,限制了设施农业发展、规划与治理等管理决策。为此,本研究基于空间自相关及标准差椭圆等分析方法,探究农业温室设施空间格局及时空演变特征,为设施农业发展规划与政策完善提供科学数据支撑。

1 材料与方法

1.1 数据源及预处理

本研究基于文献^[24]提取的中国农业温室设施数据,具体包括 2010、2016、2022 年中国温室设施栅格数据。该数据集基于 Google Earth Engine (GEE) 云平台中存档的 Landsat 7 表面反射率产品,构建一个包含缨帽变换、光谱指数、纹理特征及时间序列的分析框架,利用随机森林算法识别提取农业温室设施空间信息。该数据集的空间分辨率为 30 m,平均分类精度 97%,是目前唯一的多时相中高分辨率温室设施空间信息数据。高程数据来源于资源环境科学数据平台 (<https://www.resdc.cn>),分辨率为 1 km;坡度数据基于高程数据利用 Arcgis10.2 功能模块计算。

1.2 空间自相关分析

空间自相关分析被广泛应用于变量的空间集聚与分异描述^[26-27],本研究采用全局莫兰指数 (Global Moran's I) 描述和评估全国农业温室设施空间分布的离散、集聚或随机格局,采用局部莫兰指数 (Local Moran's I) 度量局部范围农业温室设施空间分布的相关程度,具体计算式如下:

$$M_{\text{Moran's I}} = \frac{\sum_{l=1}^m \sum_{s=1}^m W_{ls} \cdot (D_l - \bar{D}) \cdot (D_s - \bar{D})}{S^2 \cdot \sum_{l=1}^m \sum_{s=1}^m W_{ls}} \quad (1)$$

$$L_{\text{Local Moran's I}} = \frac{(D_l - \bar{D}) \cdot \sum_{l \neq s} W_{ls} \cdot (D_s - \bar{D})}{S^2} \quad (2)$$

式中 $M_{\text{Moran's I}}$ 为全局莫兰指数, $L_{\text{Local Moran's I}}$ 为局部莫兰指数, W_{ls} 为第 l 、 s 个县空间权重; S 代表样本方差; D_l 、 D_s 、 \bar{D} 分别表示第 l 、 s 个县农业温室设施面积及平均值, hm^2 ; m 表示县级单元数量。 $M_{\text{Moran's I}}$ 取值范围为 $[-1, 1]$, 当数值大于 0 时,表示温室设施面积呈现空间正相关,反之则呈现空间负相关。当数值为 0 时,表示温室设施空间随机分布,不存在空间相关关系。

1.3 标准差椭圆

标准差椭圆是一种用于刻画地理要素空间分布特征的统计分析方法^[28-29]。该方法通过计算样本点的标准差和协方差,确定其空间分布的中心位置、离散程度和主轴方向,从而揭示地理现象在空间上的集中趋势与方向性特征^[30]。其中,重心移动方向反映中国温室设施分布变化的空间轨迹;方位角反映温室设施分布的主趋势方向;长、短半轴反映温室设施的分布方向和范围,具体计算式如下:

$$\begin{aligned} \bar{x}_i &= \frac{\sum_{i=1}^m w_i x_i}{\sum_{i=1}^m w_i} \\ \bar{y}_i &= \frac{\sum_{i=1}^m w_i y_i}{\sum_{i=1}^m w_i} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (w_i \bar{x}_i \cos \theta - w_i \bar{y}_i \sin \theta)^2}{\sum_{i=1}^m w_i^2}} \quad (4)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (w_i \bar{x}_i \sin \theta - w_i \bar{y}_i \cos \theta)^2}{\sum_{i=1}^m w_i^2}} \quad (5)$$

式中 m 为县级单元数量, w_i 为权重,即温室设施面积; x_i 、 y_i 分别为第 i 个县级单元空间中心坐标; \bar{x}_m 、 \bar{y}_m 分别为研究对象的加权平均中心,即全国农业温室设施面积的重心横、纵坐标, t 为年份; σ_x 、 σ_y 分别为椭圆长轴与短轴的标准偏差; \bar{x}_i 、 \bar{y}_i 分别表示第 i 个县级单元空间中心至平均中心的横、纵坐标偏差; θ 为椭圆方位角, ($^\circ$)。

2 结果与分析

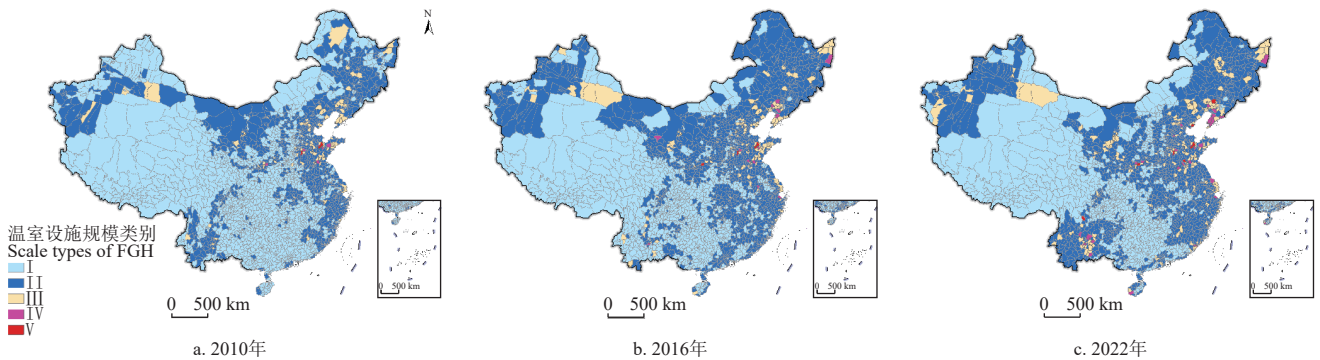
2.1 全国农业温室设施空间格局

2010、2016、2022 年全国农业温室设施面积分别为 555 459.78、835 922.58、1 295 479.91 hm^2 , 主要分布于山东、辽宁及云南等地。为直观显示农业温室设施的

间格局，基于自然断点法将全国县级单元温室设施规模划为 5 类，分别为 I 类（无温室设施）、II 类（ $>0\sim 1\,200\text{ hm}^2$ ）、III 类（ $>1\,200\sim 6\,300\text{ hm}^2$ ）、IV 类（ $>6\,300\sim 17\,000\text{ hm}^2$ ）、V 类（ $>17\,000\text{ hm}^2$ ）（图 1）。

2010 年全国县级单元农业温室设施主要以 I 类为主，共 1 620 个县级单元，占全国县级单元 56.78%，集中于四川（139 个）、河南（130 个）等省，山东最少，仅 7 个县级单元属于 I 类。II 类共 1 131 个县级单元（39.64%），集中分布于东部地区，如河北（100 个）、山东（96 个）、浙江（82 个）等。III 类共 93 个县级单元（3.26%），集中分布于山东（26 个）及辽宁（14 个），如莱西（ $6\,257.28\text{ hm}^2$ ）、北镇（ $6\,090.46\text{ hm}^2$ ）、海城（ $6\,017.21\text{ hm}^2$ ）。IV 类共 6 个县级单元（0.21%），主要分布在山东（5 个），如兰陵（ $16\,821.11\text{ hm}^2$ ）、平度（ $14\,172.40\text{ hm}^2$ ）等。V 类共 3 个县级单元（0.11%），分布于山东，分别为寿光（ $43\,011.23\text{ hm}^2$ ）、青州（ $33\,167.88\text{ hm}^2$ ）和莘县（ $32\,540.29\text{ hm}^2$ ）。

2016 年全国农业温室设施以 II 类单元为主。I 类共 1 121 个县级单元，占全国县级单元 39.29%，较 2010 年减少 499 个县级单元，集中于四川（134 个）、云南（99 个）等，东部地区 I 类较少，山东、浙江等仅有 4 个 I 类单元。与 2010 年相比，II 类增加了 455 个，共 1 586 个县级单元（55.59%），集中分布于东部地区，如河北（100 个）、黑龙江（101 个）、山东（100 个）等。III 类较 2010 年增加 36 个，共 129 个县级单元（4.52%），集中分布于山东（26 个）、辽宁（18 个）、河北（12 个），该类最大的 3 个单元为浦东新区、乐亭和同江，对应的面积分别为 $6\,233.25$ 、 $6\,129.75$ 、 $6\,036.64\text{ hm}^2$ 。IV 类较 2010 年增加 7 个，共 13 个县级单元（0.46%），主要分布于山东和辽宁，如山东滕州（ $15\,771.94\text{ hm}^2$ ）、昌乐（ $13\,706.17\text{ hm}^2$ ）、兰陵（ $12\,108.97\text{ hm}^2$ ）等。V 类较 2010 年增加 1 个，共 4 个县级单元（0.14%），除了山东寿光（ $50\,303.25\text{ hm}^2$ ）、青州（ $37\,076.30\text{ hm}^2$ ）、莘县（ $26\,649.70\text{ hm}^2$ ）外，新增加了陕西大荔（ $19\,454.22\text{ hm}^2$ ）。



注：基于自然资源部标准地图服务网站 GS (2023) 2767 号标准地图制作，底图边界无修改。香港、澳门、台湾暂缺数据，下同。

Note: The map is produced based on the standard map with the approval number GS (2023)2767 downloaded from the standard map service website of the Ministry of Natural Resources of China, and the base map has not been modified. Data in Hong Kong, Macao and Taiwan are temporarily unavailable. The same below.

图 1 2010—2022 年全国县级农业温室设施规模空间分布

Fig.1 Spatial distribution of agricultural greenhouse facilities (FGH) scale types in county-level units across China from 2010 to 2022

2022 年全国农业温室设施仍以 II 类单元为主。I 类共 985 个县级单元，占全国县级单元 34.53%，较 2016 年减少 136 个县级单元，主要集中于四川（130 个）、湖南（106 个）等省份。II 类较 2016 年增加了 60 个，共 1 646 个县级单元（57.69%），集中分布于东部地区，如河北（142 个）、河南（114 个），黑龙江（101 个）等省。III 类较 2016 年增加 55 个，共 184 个县级单元（6.45%），集中分布于山东（25 个）、云南（19 个）、辽宁（18 个）。IV 类较 2016 年增加 17 个，共 30 个县级单元（1.05%），主要分布在辽宁（7 个）、云南（6 个）、山东（5 个），如山东兰陵（ $16\,846.29\text{ hm}^2$ ）、平度（ $14\,670.77\text{ hm}^2$ ）以及云南元谋（ $14\,220.30\text{ hm}^2$ ）、陆良（ $13\,572.30\text{ hm}^2$ ）等。V 类较 2016 年增加 4 个，共 8 个县级单元（0.28%），主要分布于山东，面积最大的单元仍为山东寿光（ $42\,992.75\text{ hm}^2$ ）、莘县（ $33\,195.49\text{ hm}^2$ ）和青州（ $33\,145.16\text{ hm}^2$ ）。

2.2 全国农业温室设施空间特征

利用全局莫兰指数衡量温室设施在全国范围内集聚或离散程度。2010、2016、2022 年全国温室设施规模的

全局莫兰指数分别为 0.27、0.27 和 0.23（表 1），显示轻度正空间自相关关系，表明温室设施在全国空间分布呈现一定的集聚趋势。2010—2022 年全国莫兰指数有所下降，表明农业温室设施空间分布的离散程度上升，2016 年后农业温室设施发展格局有所改变，从东部的山东、辽宁“两强独大”变成为与云南“三驱并驾”，这与农业政策支持、市场需求变化、自然资源优势等因素叠加有关。2010 年全国农业温室设施主要集聚于山东、辽宁等地，反映传统设施农业区受政策扶持、产业链成熟所形成的集中分布格局；与 2010 年相比，2016 年全国农业温室设施在中西部一些地区开始扩展，但新增区域尚未形成稳定、高密度的集聚核心，对原有集聚格局的稀释效应尚不明显。传统温室设施核心区仍占主导，如山东、辽宁、江苏等传统温室设施集中区至 2016 年仍然保持高速发展，全局空间自相关计算中权重较高，掩盖了边缘区域的变化，导致莫兰指数变化不明显。2016—2022 年在乡村振兴、农业现代化等政策推动下，农业温室设施呈现从东部向中西部及南方地区扩展的趋势，如四川、云南、甘肃、广西等地温室设施面积明显

增长。但新增温室设施分布相对零散、规模较小、未形成明显的空间集聚特征。受2018年“大棚房”专项整治行动的影响,东部北方一些地区温室设施面积明显减少。传统温室设施区增长趋缓,而新兴区域稳步增长,导致高值区与低值区之间的差距缩小,空间集聚效应减弱,最终导致全局莫兰指数下降。

表1 2010—2022年全国县级单元农业温室设施面积全局莫兰指数

Table 1 The global Moran's I of agricultural greenhouse facilities (FGH) area in county level from 2010 to 2022

年份 Year	全局莫兰指数 Global Moran's I	P 值 P value	z 值 z-value
2010	0.27	0.001	27.68
2016	0.27	0.001	25.85
2022	0.23	0.001	20.58

图2显示了2010、2016、2022年全国温室设施规模局部自相关结果,温室设施规模空间集聚性有所提高,集聚方式主要为低—低、高一高集聚。1) 2010年高一高集聚单元有125个,主要集中于山东(52个)、辽宁(26),包含山东临淄、峰城、广饶和辽宁台安、海城、黑山等单元;低—低集聚单元有526个,集中于广西、

四川、湖南等地,包含广西横县、四川田林、湖南茶陵等单元;低—高、高一低集聚单元分别有76个和2个,数量少、分布散,主要分布于山东,包含莱芜、城阳、淄川等。2) 2016年高一高集聚单元有105个,较2010年减少20个,主要集中于山东(38个)、辽宁(23个),如山东寿光、青州、莘县以及辽宁海城、新民、盖州等单元,表明该区域温室设施持续扩张、集聚效应进一步增强;低—低集聚单元共718个,较2010年增加192个,主要集中于四川、广西、贵州等西南地区,如贵州桐梓、凤冈、湄潭等;低—高集聚单元上升至86个,高一低集聚单元减少至1个,数量较少,分布也相对分散。3) 2022年高一高集聚单元有127个,较2016年增加22个,主要集中于山东(32个)、云南(26个)、辽宁(25个),山东、辽宁高一高集聚单元有所减少,分别减少6和2个,云南高一高集聚单元较2016年迅速增加,增加25个;低—低集聚单元有761个,较2016年增加433个,主要分布于四川、湖南、广西等中部地区,如湖南新邵、邵阳、隆回;低—高、高一低集聚单元分别有59和2个,主要集中于辽宁振兴、振安、义县及山东淄川、张店、市中等地。

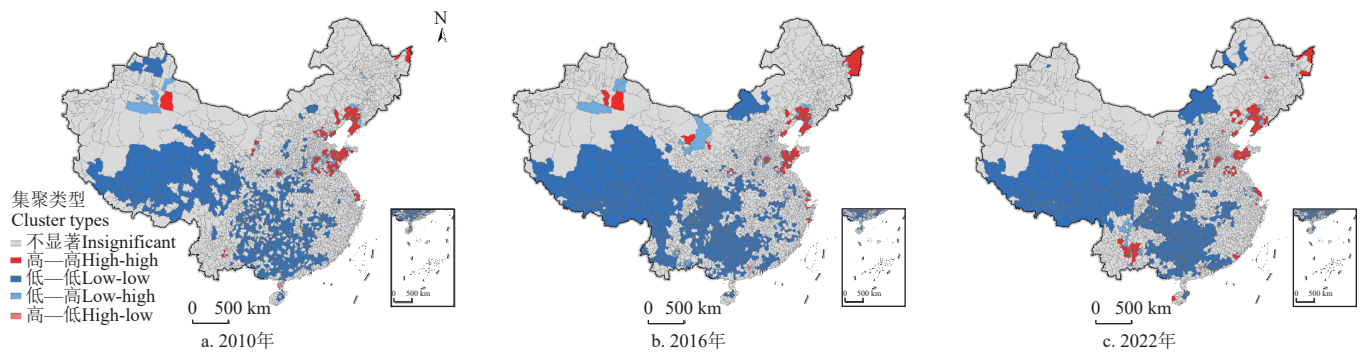


图2 全国县级农业温室设施面积局部自相关结果

Fig.2 Local Moran's I results of agricultural facilities of greenhouse area (FGH) in county-level units across China

2.3 全国农业温室设施空间变化趋势

为揭示2010—2016年、2016—2022年农业温室设施的变化趋势,对不同阶段农业温室设施变化速率依据自然断点法进行分级划分,共分为5类,分别为快速减少($\leq -80\%$)、适度减少($> -80\% \sim -20\%$)、基本不变($> -20\% \sim 20\%$)、适度增加($> 20\% \sim 80\%$)、快速增加($> 80\%$) (图3a~3c)。2010—2016年全国共1179个(41.32%)县级单元农业温室设施面积快速增加,主要分布于东部地区,35.54%快速增加的县级单元位于河北、山西、河南、黑龙江、广东,如河北大名、鸡泽、馆陶等地。基本不变的共1115个县级单元,占39.08%,主要位于西南地区和西部地区,如贵州黎平、湖南耒阳等地;快速减少的共230个县级单元,占8.06%,分布于云南、安徽、江苏、福建,如云南墨江、江苏兴化;适度减少的共194个县级单元,占比6.80%;适度增加的共135个县级单元,占比4.73%。2016—2022年农业温室设施面积减少趋势明显。

基本不变与快速增加的单元数量均有所减少,但仍占主要,分别为964、970个,较2010—2016年分别减少151、209个。快速增加的单元主要分布于东部及西南地区,分布相对零散,如福建建瓯、云南宣威等地。适度增加的共168个县级单元,占比5.89%,较2010—2016增加33个,分布分散。快速减少、适度减少的县级单元数量基本一致,均有所增加,分别为375、376个,共占全国县级单元26.32%,较2010—2016年分别增加145、182个。35.20%的快速减少单元位于山西、广东、内蒙古,适度减少的单元主要位于东部地区,25.27%位于山东和河北,如山东莱州、莱阳、乐陵等。2010—2022年农业温室设施面积总体呈增长趋势。农业温室设施面积快速增加的共1363个县级单元,占比47.37%,中部地区的河南、湖北、陕西、东部地区的河北、福建、江苏以及西部地区的云南、甘肃、宁夏均有分布。适度增加的共102个县级单元,占3.58%,主要分布于快速增加的单元周边,包含黑龙江密山、

辽宁北票等。快速减少的共 171 个县级单元，占 5.99%，主要位于内蒙古，如鄂托克旗、达尔罕茂明安联合旗

等；适度减少的共 139 个县级单元，占 4.87%，主要位于东北地区，如黑龙江五常、庆安等地。

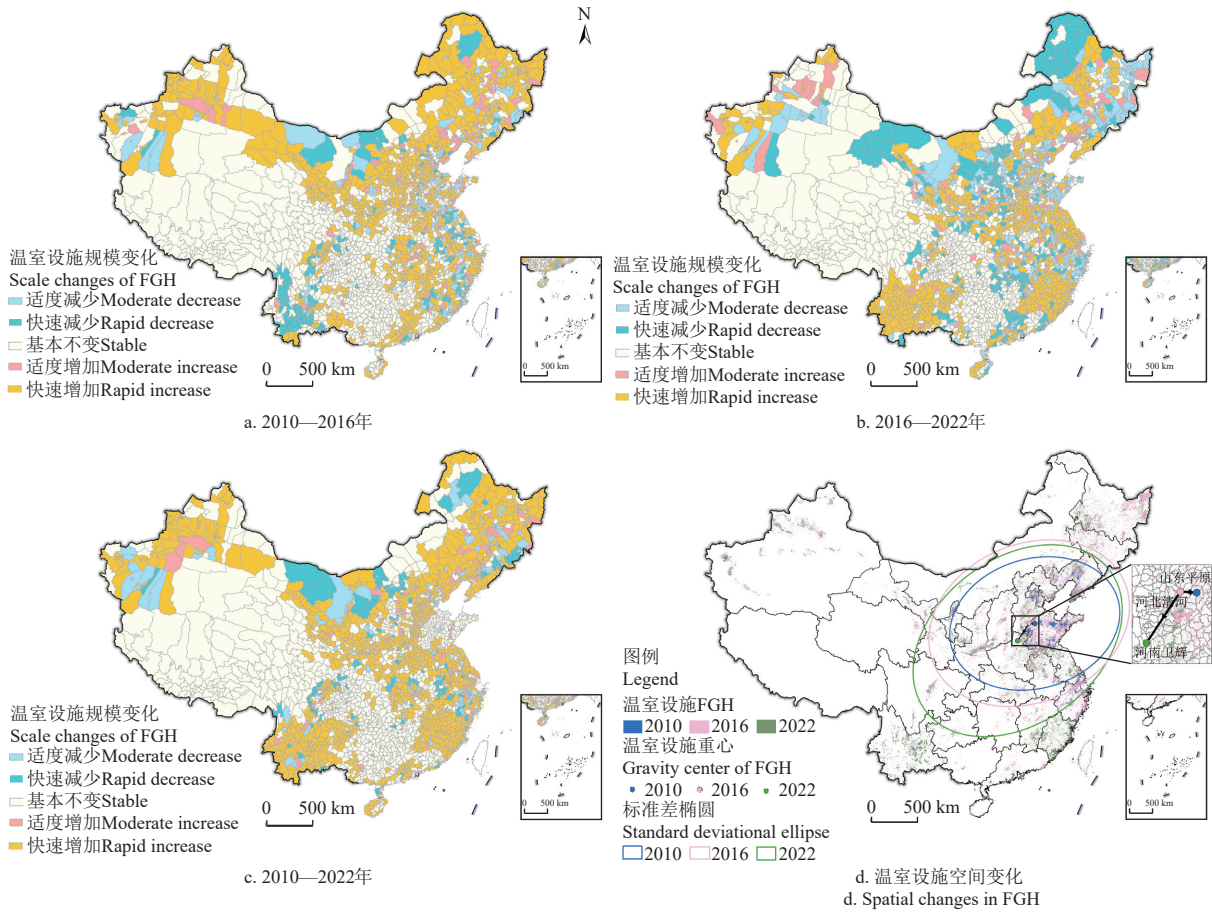


图 3 全国县级农业温室设施规模及重心变化

Fig.3 Spatial changes in area and center of gravity of agricultural facilities of greenhouse (FGH) in County-level units across China

基于标准差椭圆模型对全国农业温室设施空间分布进行计算，2010—2022 年中国温室设施空间分布变化如图 3d 所示，其标准差参数及变化情况如表 2 所示。从图 3d 可以看出，中国农业温室设施空间分布呈现“东北—西南”方向的格局。2010 年，中国农业温室设施的重心位于山东平原（116.46°E，37.04°N），2016 年农业温室设施的空间重心向西偏移，位于河北清河（115.76°E，37.10°N），2022 年农业温室设施的空间重心进一步向西南偏移，位于河南卫辉（114.23°E，35.47°N）。2010—2016 年中国农业温室设施的空间重心位移了 61.56 km，向北偏移 0.061 km，总体呈向西移动趋势。2016—2022 年，中国农业温室设施的空间重心位移了 228.27 km，向西移动 115.50 km，向南移动 196.90 km，呈西南方向移动趋势。2010—2016 年中国农业温室设施分布标准差椭圆短轴和长轴均呈现增长趋势，其中短轴增长 154.14 km，长轴增长 188.22 km。由此可知，中国农业温室设施在“东—西”和“南—北”方向上呈扩张趋势，并且长轴扩张速度快于短轴扩张速度。2016—2022 年中国农业温室设施分布标准差椭圆短轴和长轴仍均呈现增长趋势，其中短轴增长 35.64 km，长轴增长 130.58 km，但短轴和长轴扩张速度明显小于 2010—2016 年。

表 2 2010—2022 年全国农业温室设施标准差椭圆参数
Table 2 Standard deviational ellipse parameters of China's greenhouses facilities(FGH) from 2010 to 2022

年份 Year	中心坐标 Central coordinate	短轴 Minor axis/km	长轴 Major axis/km
2010	116.46°E, 37.04°N	705.67	944.47
2016	115.76°E, 37.10°N	859.81	1 132.69
2022	114.23°E, 35.47°N	895.45	1 263.27

2010—2022 年中国农业温室设施分布的海拔和坡度总体基本不变，但趋于变大（图 4）。1）99.47% 的农业温室设施分布在海拔 2000 m 以下，且相对集中于海拔 100 m 以下（67.06%），随着海拔升高，农业温室设施面积逐渐减少（图 4a）。具体而言，2010、2016、2022 年海拔 100 m 以下温室设施占比呈现减少趋势，分别为 72.46%、67.87%、60.87%；海拔 >100~500 m 之间为温室设施次要分布区间，分别占 16.39%、15.24%、15.06%；海拔 >1 000~1 500 m 温室设施占比逐渐上升，分别为 6.20%、7.43%、9.22%；海拔 >1 500~2000 m 温室设施占比较少，但增长迅速，分别为 1.83%、3.88%、9.25%。2）97.38% 的温室设施分布于坡度 4° 以下，且主要分布于 2° 以下（94.06%）。随着坡度升高，温室设施面积逐渐减少（图 4b）。具体变化为：2010、2016、2022 年

2°以下温室设施占比呈现减少趋势,分别为96.17%、94.58%、91.42%; >2°~4°温室设施占比呈增加趋势,分别为2.15%、3.10%、4.71%; 4°以上温室设施占比呈增加趋势,但总量仍较小,分别为1.68%、2.32%、3.86%。

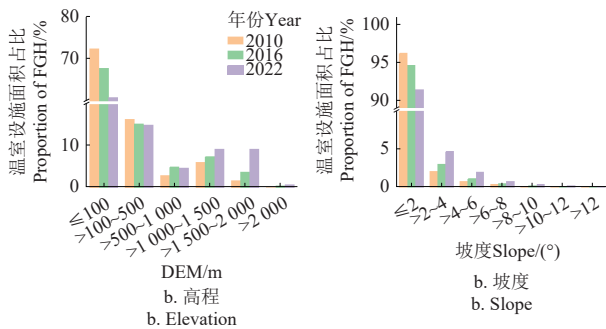


图4 不同高程及坡度下农业温室设施面积比例

Fig.4 The proportion of greenhouse facilities(FGH) area under different elevations and slope

3 讨论

3.1 中国农业温室设施空间演化特征

2010—2022年中国温室设施的空间演化可以概括为“规模持续扩张、重心明显西移、集聚多极分化、地形适应性扩大”的基本特征,且四者之间并不孤立,而是互为因果、层层递进。1) 规模扩张引发了空间重构。农业温室设施总量由2010年555 460 hm²到2016年835 923 hm²,再到2022年的1 295 480 hm²,累计增长了133.3%,温室设施规模快速扩张。结合农业普查数据及冯权泷等^[20]的研究,2006年第二次农业普查数据的温室设施面积为465 086 hm²,2016年第三次农业普查的温室设施面积为981 000 hm²,2018年王牧野^[31]统计的温室设施面积为1 262 400 hm²,2019年冯权泷等^[20]提取的温室设施面积为1 032 980 hm²,整体呈现持续增长态势,2018年后下降趋势显现,与本文研究结果一致。与此同时,其空间格局从2010年“山东—辽宁”双核主导,到2022年转向“东部稳进、西部崛起”,如2010年IV类单元以上单元全部位于山东和辽宁,而2022年西部地区迅猛增长,仅云南IV类单元已有6个,改变了农业温室设施的空间分布格局。这也与TAN等^[22]提出的设施农业气候适宜区主要分布位置(东北南部、华北、华中、西南南部和华东北方)基本一致。2) 重心迁移带动了方向扩散。2010—2022年,农业温室设施的空间重心自山东平原,经河北清河,一路迁移至河南卫辉,累计西移177.07 km、南移196.96 km;标准差椭圆显示,2010—2016年主要沿东西向扩张,2016—2022年则转为南北向拓展,这种“先东西、后南北”的扩散路径进一步稀释了传统集聚中心的优势。3) 扩散过程导致集聚弱化与多极分化。全局莫兰指数由0.27降至0.23,空间关联性持续减弱;传统高一高集聚区(山东、辽宁)单元数量先降后升,而云南高一高集聚单元则从3个猛增至26个;低—低集聚区不断扩大,中西部离散化加剧。这

一现象源于双重动力:一方面,东部受“大棚房”整治影响,2016—2022年山东、河北快速减少、适度减少单元增加了70个;另一方面,中西部地区受政策、市场需求等驱动呈现零散增长,最终形成“东西并进、高低并存”的多极格局。4) 在规模扩张、重心西移和多极分化的共同作用下,农业温室设施扩张逐渐打破地形的约束。虽然99.47%的温室设施仍分布于海拔2 000 m以下,但高海拔拓展趋势明显:海拔100 m以下占比由72.46%降至60.87%,而>1 000~2 000 m区间由8.03%升至18.47%,其中1 500~2 000 m增速最快,增加7.42个百分点;坡度2°以下占比由96.17%降至91.42%,>2°~4°和4°以上分别提升2.56和2.18个百分点。地形适应性扩大,反过来又为西部崛起和多极分化提供了新的空间载体。

3.2 全国农业温室设施空间格局的形成机制

农业温室设施空间格局形成是多种因素交织作用的结果,主要受气候条件、农业政策、生产习惯和资源禀赋等影响。1) 气候条件。温室设施的重要功能是调节温度和湿度,改变作物生长物候,因此温室设施多在气温相对严寒或昼夜温差大的地区得到广泛应用。东部地区的山东、江苏、辽宁等地气候适宜温室设施种植、农业经济发达、市场成熟度高,温室设施面积大、分布集中。然而,中、西部地区尽管气候条件等也适宜部分作物生长,但其他资源条件相对匮乏,温室设施规模和密度普遍较低。2) 农业政策。国家、地方政府对设施农业的补贴政策、税收优惠、技术培训等扶持政策推动了设施农业的发展。随着农业现代化强国建设,水平的提高,国家和地方财政对温室设施建设的补贴力度持续加大,导致近十多年东部经济发达地区温室设施规模扩张显著,并逐渐向中、西部广大地区扩展,云南、四川、新疆等省份温室设施规模也有显著增加。2018年农业农村部、自然资源部联合发布的《关于开展“大棚房”问题专项清理整治行动方案》明确要求“对占用耕地特别是永久基本农田建设非农设施,改变土地性质和用途的违法违规建设行为,依法依规进行全面清理整治。”受2018年“大棚房”专项清理整治行动的影响,2016—2022年全国设施农业大棚面积减少量较2010—2016年期间激增136 997.42 hm²。3) 生产习惯。一些地区农户长期以来形成了水果和蔬菜种植为主的生产习惯和种植模式,对温室设施需求则比较高^[32],如山东、海南、云南等,从而推动促进了温室设施的集聚建设。另一些地方农民生产观念较为传统,尤其是农村劳动力不足或技术条件较差的地区,温室设施等设施农业发展则受到严重的限制。4) 资源禀赋。东部一些地区土地资源紧张,农户期望加大投入获取更优的回报,通常选择在相对优越的自然条件和市场需求的区域建设瓜果蔬菜生产基地,从而形成了温室设施大面积集中区,如山东寿光。西部、东北的一些地区土地资源丰富,人少地多,机械化种植更利于粮食等大宗农产品种植,温室设施等反而相对规模小且分散。

综上所述, 农业温室设施空间格局形成是一个多因素相互作用的过程。不同因素组合的共同作用决定了温室设施的空间分布和集聚效应。未来, 随着农业现代化强国建设和设施农业政策完善, 温室设施可能会进一步向其他区域适度扩展。尤其在温室技术和市场需求的双重推动下, 温室设施空间格局可能会呈现更加多样化的发展趋势, 亟待深入开展农田“温室化”利用的环境影响等研究。

4 结 论

基于空间自相关与标准差椭圆等分析方法, 刻画 2010、2016、2022 年中国农业温室设施空间格局及特征, 并探究不同时段的变化趋势, 取得如下结论:

1) 2010—2022 年农业温室设施呈现“总量翻番、高等级倍增、西部崛起、多极并进”的新格局。全国农业温室设施面积从 555 460 hm^2 跃升至 1 295 480 hm^2 , 增幅 133.3%; >17 000 hm^2 的大规模县级单元 (V 类) 由 3 个增至 8 个, >6 300 ~ 17 000 hm^2 的县级单元 (IV 类) 由 6 个增至 30 个, >1 200 ~ 6 300 hm^2 (III 类) 和 >0 ~ 1 200 hm^2 (II 类) 的县级单元均增加, 无农业温室设施的县级单元 (I 类) 则从 1 620 个减至 985 个。

2) 2010—2022 年, 全局莫兰指数由 0.27 缓降至 0.23, 表明全国农业温室设施仍呈轻度集聚, 但整体趋于离散。高一高集聚区单元数先减后增, 2010 年 125 个主要位于山东和辽宁, 2016 年降至 105 个, 2022 年回升至 127 个, 增量集中于云南; 低—低集聚区则持续扩大, 由 526 个增至 761 个, 集中分布于四川、湖南、广西等中西部省份。政策引导、市场需求与资源禀赋叠加, 推动农业温室设施由“东部双核”向“东稳西进、多极分化”的新格局变化。

3) 2010—2022 年, 全国农业温室设施总体呈扩张态势, 但不同阶段差异明显。2010—2016 年呈现普遍快速增加, 41.32% 的单元增速超过 80%, 集中分布于河北、山西; 仅 8.06% 的单元快速减少, 主要位于云南、安徽。2016—2022 年快速增加单元有所减少, 主要位于云南、河南; 快速减少与适度减少单元分别增至 375、376 个, 主要位于山西、广东。农业温室设施空间重心由山东平原西移 177.07 km、南移 196.96 km 至河南卫辉。与此同时, 99.47% 农业温室设施分布于海拔 2 000 m 以下, 97.38% 的农业温室设施分布于坡度 4° 以下。海拔 1 500 ~ 2 000 m 区占比由 1.83% 升至 9.25%, 坡度 4° 以上由 1.68% 升至 3.86%, 农业温室设施不断突破地形约束, 向高海拔、复杂地貌渗透。

[参 考 文 献]

- [1] 李宗南, 蒋怡, 王昕, 等. 基于遥感的陆良县设施种植区域时空变化监测[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(12): 21-25, 33.
LI Zongnan, JIANG Yi, WANG Xin, et al. Remote sensing spatial-temporal changes of facility planting region in Luliang county[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(12): 21-25,33. (in Chinese with English abstract)
- [2] 陈俊, 沈润平, 李博伦, 等. 基于 Logistic 回归分析的塑料大棚遥感指数构建[J]. 国土资源遥感, 2019, 31(3): 43-50.
CHEN Jun, SHEN Runping, LI Bolun, et al. The development of plastic greenhouse index based on logistic regression analysis[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2019, 31(3): 43-50. (in Chinese with English abstract)
- [3] AGUILAR M A, BIANCONI F, AGUILAR F J, et al. Object-Based greenhouse classification from GeoEye-1 and WorldView-2 stereo imagery[J]. Remote Sensing, 2014, 6(5): 3554-3582.
- [4] WU C F, DENG J S, WANG K, et al. Object-based classification approach for greenhouse mapping using Landsat-8 imagery[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2016, 9(1): 79-88.
- [5] 张廷龙, 韩晓乐, 包懿, 等. 基于 Sentinel-1/2 数据融合的县域农业大棚提取[J]. 农业工程学报, 2024, 40(19): 135-145.
ZHANG Tinglong, HAN Xiaole, BAO Yi, et al. Extracting county-level agricultural greenhouses using Sentinel-1/2 data fusion[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2024, 40(19): 135-145. (in Chinese with English abstract)
- [6] AGARWAL S, NAGENDRA H. Classification of Indian cities using Google Earth Engine[J]. Journal of Land Use Science, 2019, 14(4): 425-439.
- [7] LIU X Y, XIN L J. Spatial and temporal evolution and greenhouse gas emissions of China's agricultural plastic greenhouses[J]. Science of the Total Environment, 2022, 863: 160810.
- [8] PANAH I, AHMED A N, SINGH V P, et al. Predicting freshwater production in seawater greenhouses using hybrid artificial neural network models[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 329: 129721.
- [9] AHAMED M S, GUO H, TAYLOR L, et al. Heating demand and economic feasibility analysis for year-round vegetable production in Canadian Prairies greenhouses[J]. Information Processing in Agriculture, 2019, 6(1): 81-90.
- [10] MOSHARI A, ASLANI A, ENTEZARI A, et al. Performance assessment of the integration of semitransparent solar cells with different geometry of greenhouses under different climate regions[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2023, 30(22): 62281-62294.
- [11] 廖建尚. 基于物联网的温室大棚环境监控系统设计方法[J]. 农业工程学报, 2016, 32(11): 233-243.
LIAO Jianshang. Design of agricultural greenhouse environment monitoring system based on internet of things[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(11): 233-243. (in Chinese with English abstract)
- [12] 杨飞, 谢涛, 伍英, 等. 基于 WIFI 的农业物联网温室大棚环境监测系统的设计[J]. 计算机测量与控制, 2017, 25(2): 50-53.
YANG Fei, XIE Tao, WU Ying, et al. Design of monitoring

- system for greenhouse environment of agricultural internet of things based on WIFI[J]. *Computer Measurement & Control*, 2017, 25(2): 50-53. (in Chinese with English abstract)
- [13] ISMAIL M M, DINCER I, BICER Y, et al. Effect of using phase change materials on thermal performance of passive solar greenhouses in cold climates[J]. *International Journal of Thermofluids*, 2023, 19: 100380.
- [14] 朱德海, 刘逸铭, 冯权泷, 等. 基于 GEE 的山东省近 30 年农业大棚时空动态变化研究[J]. *农业机械学报*, 2020, 51(1): 168-175.
ZHU Dehai, LIU Yiming, FENG Quanlong, et al. Spatial-temporal dynamic changes of agricultural greenhouses in Shandong province in recent 30 years based on Google Earth Engine[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2020, 51(1): 168-175. (in Chinese with English abstract)
- [15] 于津伟. 基于 Sentinel 的 CART 决策树农业大棚信息提取研究[D]. 辽宁: 辽宁师范大学, 2021.
YU Jingwei. Study on Agricultural Greenhouse Extraction using CART Decision Tree Based on Sentinel[D]. Liaoning: Liaoning Normal University, 2021. (in Chinese with English abstract)
- [16] 黄振国, 陈仲新, 刘芳清, 等. 基于 HJ-1 影像的大棚菜地遥感监测技术研究——以山东寿光市为例[J]. *中国农业资源与区划*, 2013, 34(5): 102-106.
HUANG Zhenguo, CHEN Zhongxin, LIU Fangqing, et al. Monitoring of greenhouse vegetables land using HJ-1 remotely-sensed imagery[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2013, 34(5): 102-106. (in Chinese with English abstract)
- [17] 吴锦玉, 刘晓龙, 柏延臣, 等. 基于 GF-2 数据结合多纹理特征的塑料大棚识别[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(12): 173-183.
WU Jinyu, LIU Xiaolong, BAI Yanchen, et al. Plastic greenhouse recognition based on GF-2 data and multi-texture features[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2019, 35(12): 173-183. (in Chinese with English abstract)
- [18] LIN J, JIN X, REN J, et al. Rapid mapping of large-scale greenhouse based on integrated learning algorithm and Google Earth Engine[J]. *Remote Sensing*, 2021, 13(7): 1245.
- [19] 高梦婕, 姜群鸥, 赵一阳, 等. 基于 GF-2 遥感影像的塑料大棚提取方法对比[J]. *中国农业大学学报*, 2018, 23(8): 125-134.
GAO Mengjie, JIANG Qun'ou, ZHAO Yiyang, et al. Comparison of plastic greenhouse extraction method based on GF-2 remote-sensing imagery[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2018, 23(8): 125-134. (in Chinese with English abstract)
- [20] 冯权泷, 牛博文, 朱德海, 等. 2019 年全国农业塑料大棚遥感分类数据集[J]. *中国科学数据 (中英文网络版)*, 2021, 6(4): 153-170.
FENG Quanlong, NIU Bowen, ZHU Dehai, et al. A dataset of remote sensing-based classification for agricultural plastic greenhouses in China in 2019[J]. *China Scientific Data*, 2021, 6(4): 153-170. (in Chinese with English abstract)
- [21] 陆笑舒, 林芬芳, 缪钱龙, 等. 基于 GEE 云平台 and Landsat 影像的天山北坡经济带 2000—2020 年农业大棚时空动态变化研究[J]. *地理科学*, 2025, 45(7): 1590-1600.
LU Xiaoshu, LIN Fenfang, MIAO Qianlong, et al. Spatial and temporal dynamics of agricultural greenhouses in the north slope economic zone of the Tianshan Mountains in 2000—2020 based on GEE Cloud Platform and landsat images[J]. *Geographical Science*, 2025, 45(7): 1590-1600. (in Chinese with English abstract)
- [22] TAN F, ZHANG L, ZHAO Y, et al. Climatic suitability and development potential of facility agriculture at county-level in China[J]. *Science of The Total Environment*, 2024, 955: 177108.
- [23] ZHANG Y N, LI Y, LI W B, et al. Yield more and feed more: unraveling the multi - Scale determinants of the spatial variation in plastic - mulched farmland across China[J]. *Land Degradation & Development*, 2024, 36(2): 569-584.
- [24] SUN Y, ZHANG Y Y, HAO J, et al. Agricultural greenhouses datasets of 2010, 2016, and 2022 in China[J], *Scientific Data*, 2025, 12: 1107.
- [25] 人民网. 这十年, 中国饭碗端得更稳、成色更足[EB/OL]. 2022-09-14[2025-02-14]. <http://finance.people.com.cn/n1/2022/0914/c1004-32526022.html>.
- [26] 翁钢民, 李凌雁. 中国旅游与文化产业融合发展的耦合协调度及空间相关分析[J]. *经济地理*, 2016, 36(1): 178-185.
WONG Gangmin, LI Lingyan. The coupling coordination degree and spatial correlation analysis on integrational development of tourism industry and cultural industry in China[J]. *Economic Geography*, 2016, 36(1): 178-185. (in Chinese with English abstract)
- [27] 张可艺, 肖佳, 方建. 长江经济带三大城市群 PM2.5 时空演变及其影响因素异质性分析[J]. *地球信息科学学报*, 2025, 27(6): 1478-1498.
ZHANG Keyi, XIAO Jia, FANG Jian. Spatio-temporal evolution of PM2.5 and heterogeneity analysis of influencing factors in three urban agglomerations of the Yangtze River Economic Belt[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2025, 27(6): 1478-1498. (in Chinese with English abstract)
- [28] 白冰, 赵作权. 基于多椭圆模型的中国制造业空间集中度计量[J]. *地理科学*, 2024, 44(1): 50-58.
BAI Bing, ZHAO Zuoquan. Measuring the spatial concentration in China's manufacturing: A multi-elliptical model[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2024, 44(1): 50-58. (in Chinese with English abstract)
- [29] 李颖, 郑步云, 王劲峰. 2008—2018 年中国手足口病时空分异特征[J]. *地球信息科学学报*, 2021, 23(3): 419-430.
LI Jie, ZHENG Buyun, WANG Jinfeng. Spatial-temporal heterogeneity of Hand, Foot and Mouth Disease in China from 2008 to 2018[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2021, 23(3): 419-430. (in Chinese with English abstract)
- [30] 叶士琳, 曹有挥, 王佳韡, 等. 长江沿岸港口物流发展格局演化及其机制[J]. *地理研究*, 2018, 37(5): 925-936.
YE Shilin, CAO Youhui, WANG Jiawei, et al. Spatio-temporal evolution characteristics and mechanism of the port logistics system along the Yangtze River[J]. *Geographical Research*,

2018, 37(5): 925-936. (in Chinese with English abstract)

[31] 王牧野. 中国设施蔬菜生产效率研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020: 13-15.

WANG Muye. Research on the Production Efficiency of China's Facility Vegetables[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2020: 13-15. (in Chinese with English abstract)

[32] 马丽, 刘思含, 施利锋, 等. “菜篮子”工程对南京市大棚扩张的影响[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(2): 288-296.

MA Li, LIU Sihan, SHI Lifeng, et al. Influence of Vegetable Basket Project on greenhouse expansion of Nanjing City, China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2021, 37(2): 288-296. (in Chinese with English abstract)

Spatial pattern and evolutionary trends of agricultural greenhouse facilities in China from 2010 to 2022

SUN Yan^{1,2}, YUAN Yixin², GE Hengjun², JIANG Feifei², ZOU Ming², CHEN Fu^{2*}

(1. School of Public Policy & Management, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. School of Public Administration, Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: Facility agriculture, with greenhouse facilities as its cornerstone, serves as a critical driver of agricultural modernization by enhancing productivity, optimizing spatial allocation, and mitigating phenological constraints. Despite its strategic importance, systematic analyses of the spatiotemporal evolution of greenhouse facilities distributions at the national scale remain limited, hindering evidence-based policymaking. This study employs spatial autocorrelation and standard deviation ellipse methods to analyze the distribution dynamics of China's agricultural greenhouse facilities from 2010 to 2022, to provide data support for national-level facility agriculture planning, management, and policy formulation. The results show that: 1) From 2010 to 2022, China's agricultural greenhouse facilities exhibited a new pattern characterized by "doubled total coverage, multiplied high-density clusters, western expansion, and multi-polar development". The greenhouse facilities are asurged from 555 460 hm² to 1 295 480 hm², with an increase of 133%. The number of Class V counties increased from 3 to 8, Class IV counties increased from 6 to 30, and Class III and Class II counties also increased, while the number of Class I counties without greenhouse facilities decreased from 1 620 to 985. 2) The global Moran's I index declined from 0.27 to 0.23 during 2010 to 2022, indicating that although greenhouse facilities still show a mild clustering trend, the overall distribution was becoming more dispersed. The number of high-high clustering units initially decreased and then rebounded. There were 125 high-high clustering units in 2010 (mainly were located in Shandong and Liaoning), decreased to 105 in 2016, and increased to 127 in 2022, with the increase concentrated in Yunnan. The number of low-low clustering units continued to expand from 526 to 761, mainly were located in the central and western provinces such as Sichuan, Hunan, and Guangxi. Policy guidance, market demand, and resource endowment together drove the shift of the pattern of agricultural greenhouse facilities from "the dual-core pattern in the east" to "stable in the east, rising in the west, and multi-polar development." 3) From 2010 to 2022, China's agricultural greenhouse facilities showed an overall expansion trend, though with notable variations across different time periods. From 2010 to 2016, the dominant trend was "rapid increase" with 41.32% of counties experienced growth rates exceeding 80%, mainly distributed in Hebei and Shanxi. Only 8.06% of counties experienced rapid decreases, mainly in Yunnan and Anhui. From 2016 to 2022, due to the stricter policies, the number of counties with trend of "rapid increase" decreased, and the hotspot was shifted to Yunnan and Henan. The number of counties with trend of "rapid/moderate decrease" increased to 751, mainly in Shanxi and Guangdong, with contraction were observed in Shandong and Hebei. The spatial centroid shifted from Pingyuan County, Shandong Province, to Weihui City, Henan Province, with a movement of 177.07 km to the west and 196.96 km to the south. The long axis of the standard deviation ellipse increased by 188.21 km from 2010 to 2016 and by 130.59 km from 2016 to 2022, indicating a slowdown in the speed of expansion. Meanwhile, 99.47% of greenhouse facilities were distributed below an altitude of 2 000 meters, and 97.38% of greenhouse facilities were distributed on slopes below 4°. The proportion of greenhouse facilities in the altitude range of 1 500-2 000 meters had increased from 1.83% to 9.25%, and those on slopes above 4° increased from 1.68% to 3.86%, indicating that greenhouse facilities were steadily penetrating higher gradients and more complex terrains. These findings deepen the understanding of the dynamic of the spatial and temporal patterns of China's agricultural greenhouse facilities and can provide scientific support for the planning and management decision-making.

Keywords: greenhouse facilities; spatiotemporal pattern; facility agriculture; standard deviational ellipse; spatial autocorrelation