

设施农业服务设施空间分布特征研究

王 慧^{1,2}, 李泽唐^{1,2}

¹山东建筑大学建筑城规学院, 山东 济南

²山东建筑大学黄河流域生态保护与城乡高质量发展研究中心, 山东 济南

收稿日期: 2025年10月27日; 录用日期: 2025年12月9日; 发布日期: 2025年12月19日

摘 要

为探析寿光市孙家集街道设施农业服务设施的空间分布特征, 推动设施农业向更高层次转型, 借助设施农业服务设施兴趣点(POI), 运用Ripley' K函数、核密度估算法、局部空间莫兰指数(Anselin Local Moran' I)等方法对孙家集街道的设施农业空间分布特征进行探析。结果表明: (1) 设施农业服务设施空间分布不均衡特征显著, 育苗基地呈现出“核心-边缘”的空间特征, 合作社呈现出“多核心-组团化”的空间特征。(2) 设施农业服务设施聚类和异常值分析显示, 育苗基地中部和西部“高-高聚类”, 南部和中部存在“低-低聚类”; 合作社北部存在较多“高-低异常值”。(3) 公共服务设施空间特征受到自然历史、经济发展、社会需求、政策规划等多种因素的共同作用。

关键词

设施农业, 空间分布, 影响因素

Research on the Spatial Distribution Characteristics of Facility Agriculture Service Facilities

Hui Wang^{1,2}, Zetang Li^{1,2}

¹School of Architecture and Urban Planning, Shandong Jianzhu University, Jinan Shandong

²Yellow River Institute, Shandong Jianzhu University, Jinan Shandong

Received: October 27, 2025; accepted: December 9, 2025; published: December 19, 2025

Abstract

To explore the spatial distribution characteristics of service facilities for facility agriculture in Sun-jiaji Street, Shouguang City, and promote the transformation of facility agriculture to a higher level,

this study utilized point of interest (POI) data of service facilities for facility agriculture and employed methods such as Ripley's K-function, kernel density estimation, and Anselin Local Moran's I to analyze the spatial distribution characteristics of facility agriculture in Sunjiaji Street. The results show that: (1) The spatial distribution of service facilities for facility agriculture is significantly unbalanced. The seedling bases exhibit a "core-periphery" spatial feature, while cooperatives show a "multi-core-clustered" spatial feature. (2) The cluster and outlier analysis of service facilities for facility agriculture reveals that there is a "high-high cluster" in the middle and west of the seedling bases, and a "low-low cluster" in the south and middle. There are many "high-low outliers" in the north of the cooperatives. (3) The spatial characteristics of public service facilities are jointly influenced by multiple factors such as natural history, economic development, social demand, and policy planning.

Keywords

Facility Agriculture, Spatial Distribution, Influencing Factors

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

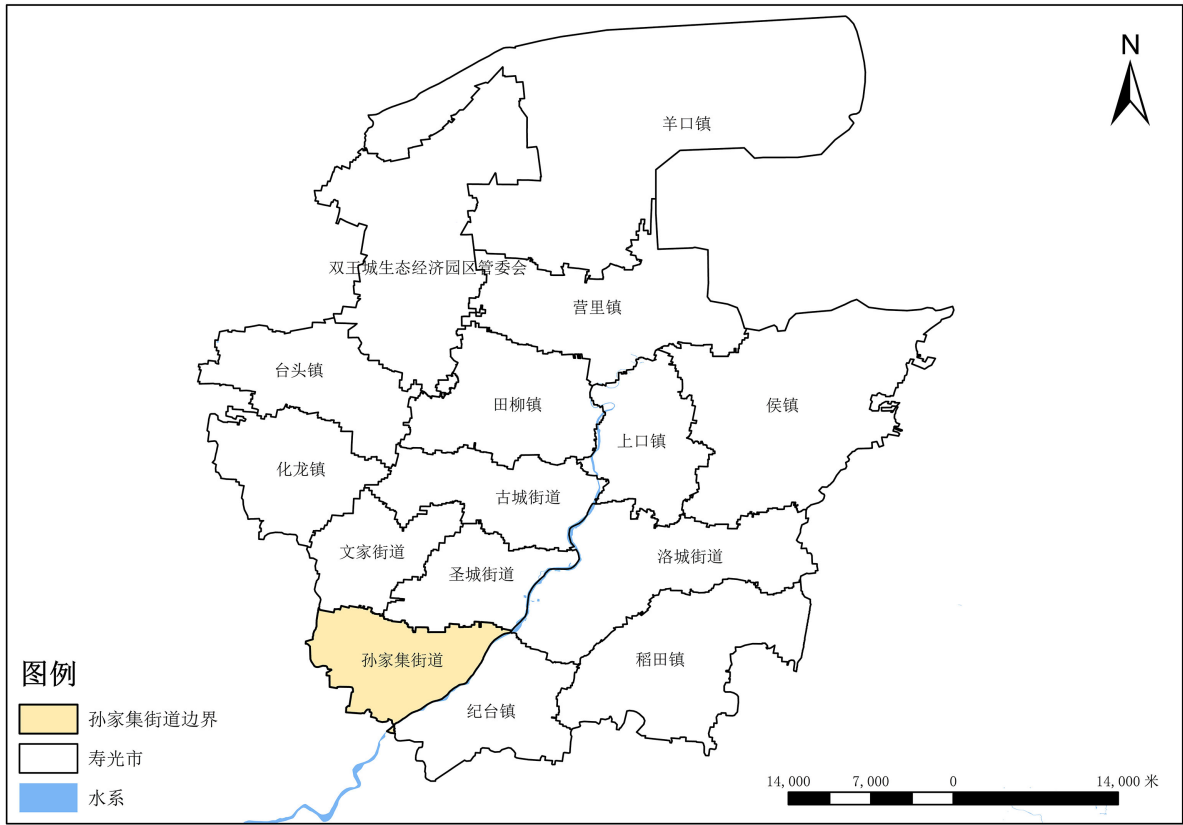
1. 引言

设施农业, 指利用人工技术手段和辅助措施, 通过改变自然光热等条件, 进行动植物高效生产的一种现代农业生产方式[1]。自然资源部农业农村部关于设施农业用地管理有关问题的通知中, 设施农业用地包括农业生产中直接用于作物种植和禽畜水产养殖的设施用地。其中, 作物种植设施用地包括作物生产以及与生产直接关联的分拣包装等设施用地[2]。随着现代农业的快速发展, 设施农业作为一种高效、集约化的农业生产模式, 已成为推动农业现代化进程的重要力量[3]。设施农业不仅能够有效抵御自然灾害, 提高农业生产效率, 还能满足市场对农产品多样化和周年供应的需求[4]。既往研究主要集中在设施农业的定义、创新模式[5]、发展思路[6], 叶夏等[7]利用增长极等理论合理规划三明市设施农业布局, 王歌潇等[8]采用层次分析法对山东省河店镇设施农业秸秆收储运现状进行适宜性评估及优化。寿光市孙家集街道作为设施农业发展的典型区域, 其设施农业服务设施的空间分布特征对于优化资源配置、提升设施农业整体效益具有重要意义。然而, 当前关于设施农业服务设施空间分布的研究尚显不足, 特别是对于如何科学、系统地分析设施农业服务设施的空间特征, 以推动设施农业向更高层次转型的问题, 仍需深入探讨。本研究旨在通过揭示设施农业服务设施的空间分布规律, 为优化设施农业布局、提升设施农业服务效率提供科学依据。

2. 数据及研究方法

2.1. 研究区概括

孙家集街道位于山东省潍坊市寿光市西南部(见图 1), 行政区域总面积 79.5 平方千米, 辖 78 个行政村, 东隔弥河与纪台镇隔河相望, 南、西与青州市口埠镇接壤, 北邻文家街道、圣城街道。截至 2022 年末, 孙家集街道的总人口数为 63864 人。孙家集街道所在寿光市, 为山东省政府认定的全国蔬菜生产研发重镇和质量标准高地, 被誉为县域高质量发展的典范城市。寿光市不仅被选定为全国农民专业合作社质量提升整县推进试点的重点县, 更荣膺全省首批现代农业强县称号, 在农业现代化进程中呈领先地位。



注：该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为鲁 SG (2024) 035 号的标准地图制作。

Figure 1. Overview of the study area
图 1. 研究区概况

2.2. 数据来源

育苗基地和合作社 POI 在高德网站上爬取，大棚数据通过网络遥感影像识别大棚影像，将孙家集街道大棚进行矢量化处理，通过 ARCGIS 转化为统一的地理坐标。路网数据获取自 Open Street Map 网站 (<http://www.openstreetmap.org>)，研究区范围内，提取高架及快速路、城市主干路、城市次干路、城市支路、郊区乡村道路五级道路对各级道路进行矢量化处理，用于后续网络分析处理，行政区划数据来源为统计网站的行政区划数据。

2.3. 研究方法

2.3.1. Ripley’ K 函数

空间点要素的分布模式可能会随着空间观测尺度的变化而发生改变，运用 Ripley’ K 函数统计公共服务设施在空间尺度范围和多尺度范围内的集聚特征[9]。

计算公式：
$$K(d) = A \sum_i^n \sum_j^n \quad (1)$$

式中： n 为公共服务设施的数量； d 为搜索距离； $w_{ij}(d)$ 为在距离 d 范围内的设施点 i 与设施点 j 之间的距离； A 为研究区域面积。 $L(d)$ 可以检验在距离 d 范围内各类设施的空间分布格局， $L(d) = 0$ 表示设施点完全随机分布； $L(d) > 0$ 表示设施点呈集聚分布； $L(d) < 0$ 表示设施点呈离散分布。偏离置信区间内的最大

值代表最大集聚强度, 其所对应的 d 值可以说明集聚规模的大小。

2.3.2. 核密度估计

核密度估计法是一种顾及空间位置的差异性的分析方法, 在 POI 数据空间分布分析中应用广泛, 在具体应用中核密度中心强度随着距离衰减, 带宽的选择是关键, 它表征着空间影响域[10]。计算公式为:

$$\hat{\lambda}_r(d) = \sum_{i=1}^n \frac{3}{\pi r^4} \left(1 - \frac{(d-d_i)^2}{r^2} \right)^2 \quad (2)$$

式中: r 为带宽, d 为待估值点位置, d_i 为第 i 个育苗基地/合作社的位置。

2.3.3. 空间自相关

空间自相关分析最初可能是由生物计量学研究使用, 如今地理学利用此方法研究地理点状事物与相邻点的属性值是否存在相关。本研究分别采用聚类 and 异常值分析 Anselin Local Moran's I 指数测度合作社和育苗基地 POI 局部空间自相关, 可识别出高值聚类、低值聚类以及异常值区域[11]。

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j} (x_j - \bar{x}) \quad (3)$$

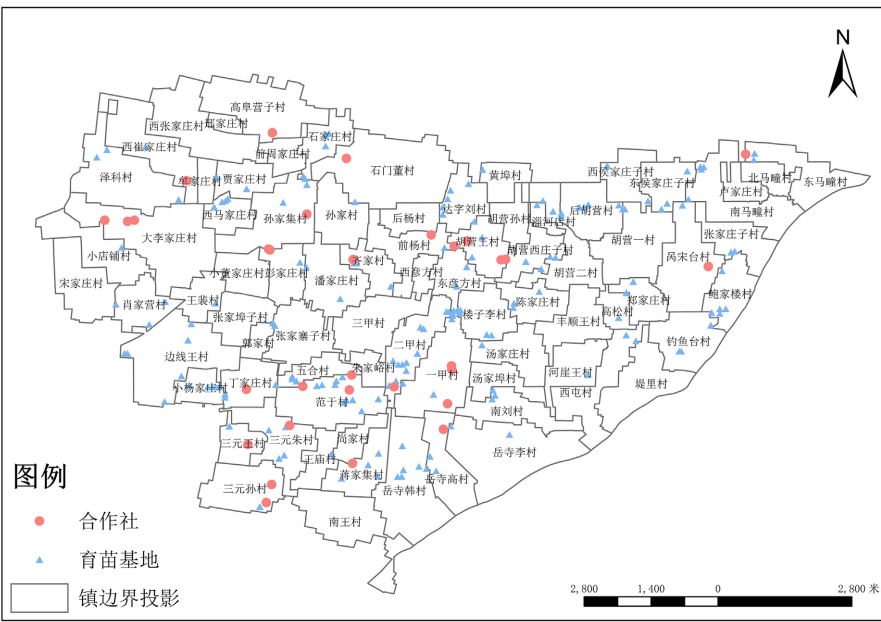
其中, x_i 是要素 i 的属性、 \bar{x} 是对应属性的平均值、 w_{ij} 是要素 i 和 j 之间的空间权重, 并且:

$$S_i^2 = \sum_{j=1, j \neq i}^n \frac{(x_j - \bar{x})^2}{n-1} \quad (4)$$

n 等于要素的总项目。

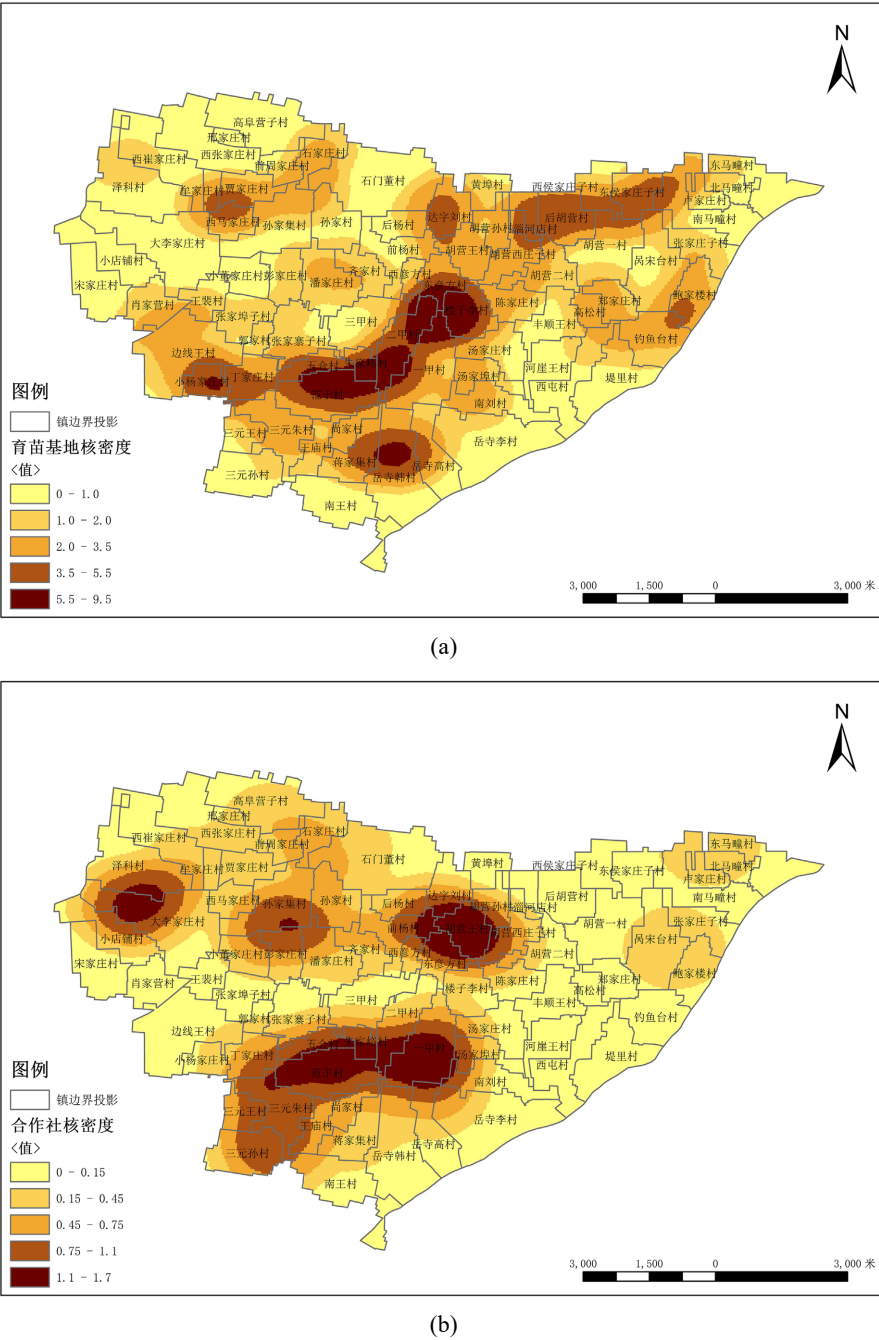
3. 结论

3.1. 空间分布总体特征



注: 该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为鲁 SG (2024) 035 号的标准地图制作。

Figure 2. Distribution of cooperative societies and seedling bases in Sunjiacai Street
图 2. 孙家集街道合作社、育苗基地分布



注：该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为鲁 SG (2024) 035 号的标准地图制作。

Figure 3. Kernel density analysis. (a) Seedling cultivation base; (b) cooperative
图 3. 核密度分析。(a) 育苗基地；(b) 合作社

通过高德 POI 爬取, 获取共计 166 处育苗基地, 34 处合作社(见图 2)。核密度分析显示设施农业服务在空间集中度上呈现显著的区域差异(见图 3)。育苗基地呈现“核心 - 边缘”的空间分布特征, 孙家集街道育苗基地数量可观, 育苗基地基本沿主要道路分布。育苗基地“核心”区域分布在二甲村、范于村、岳寺韩村, 其余孙家集街道村镇设施核密度值整体相对偏低, 集聚效果不明显, 以零星分布为主, 西北是公共服务设施分布的“边缘”地带。孙家集街道合作社数量较少, 分布较为稀疏, 主要分布在孙家集

街道的北侧及南侧,中部及东部合作社数量较少。合作社基本成组团分布,沿主要道路分布。合作社“核心”区域分布在胡营王村、范于村和一甲村。空间集中度上呈现“多核心”空间分布特征核心区域分布在范于村及其周边村落,其余合作社围绕大李家庄、胡营王村和彭家庄村呈现3个小聚集区。

3.2. 空间分布均衡性

根据 Ripley’ K 函数可知(见图 4),育苗基地的 $L(d)$ 值大于对应置信区间的最大值,说明有显著的空间集聚性,合作社在 200 米范围内呈空间集聚性。

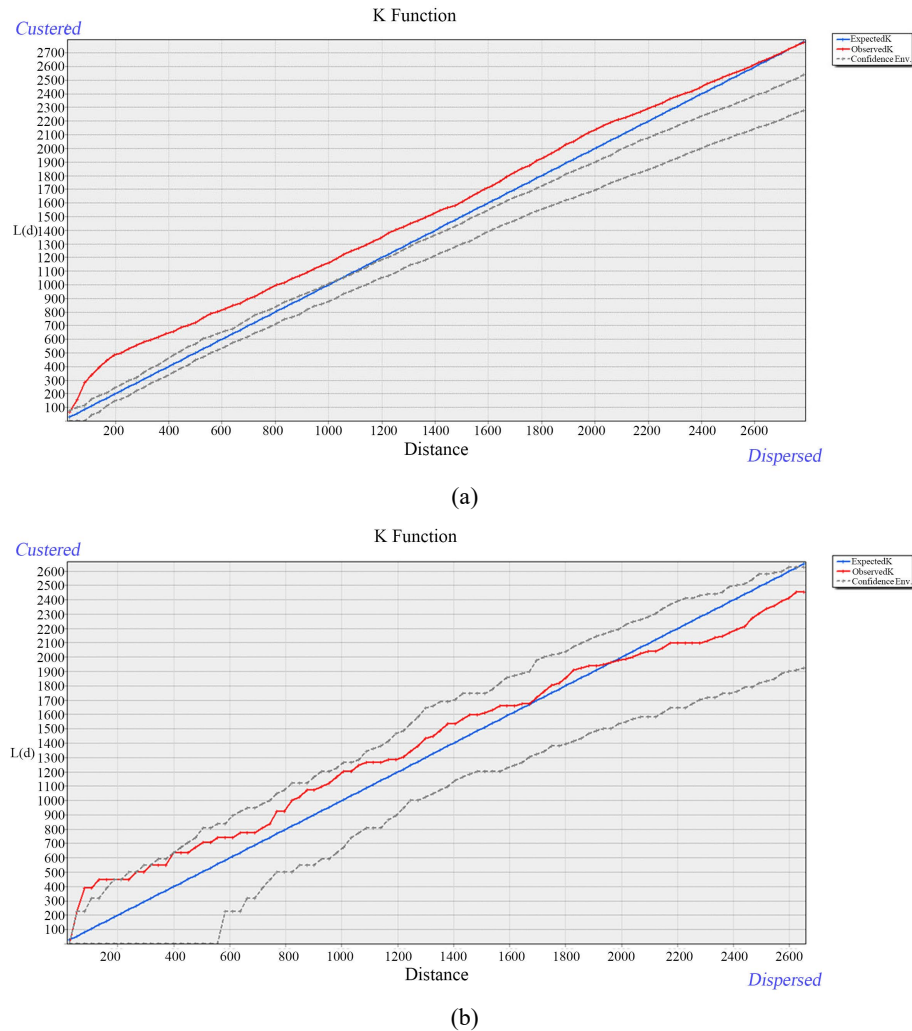


Figure 4. Analysis of Ripley’s K function. (a) Seedling cultivation base; (b) Cooperative
图 4. Ripley’ K 函数分析。(a) 育苗基地; (b) 合作社

(1) 育苗基地

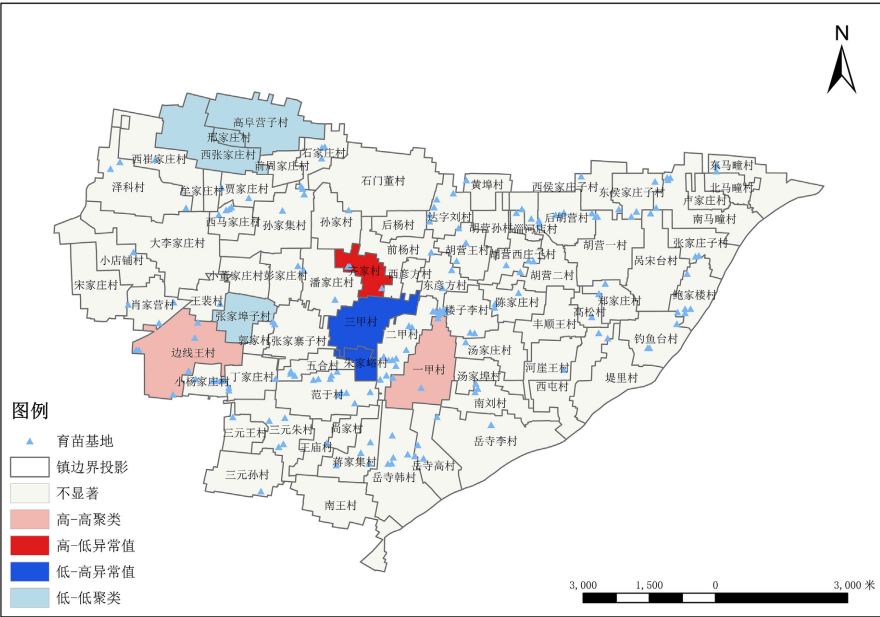
育苗基地“聚类 and 空间异常值”分析中(见图 5),育苗基地的高-高聚类区域,边线王村、中岭村等一带表现为区域自身与邻域育苗基地密度均处于高值区间,呈现强烈的空间正相关,是育苗产业的空间集聚热点,该区域在育苗产业发展中可能具备资源整合、技术扩散的优势条件。

高-低异常值区域集中于街道中部,属于空间负相关的异常高值区——自身育苗基地密度高,而邻域密度显著偏低,其空间异质性特征可能源于区域内特殊的产业政策倾斜、资源禀赋优势或技术创新能

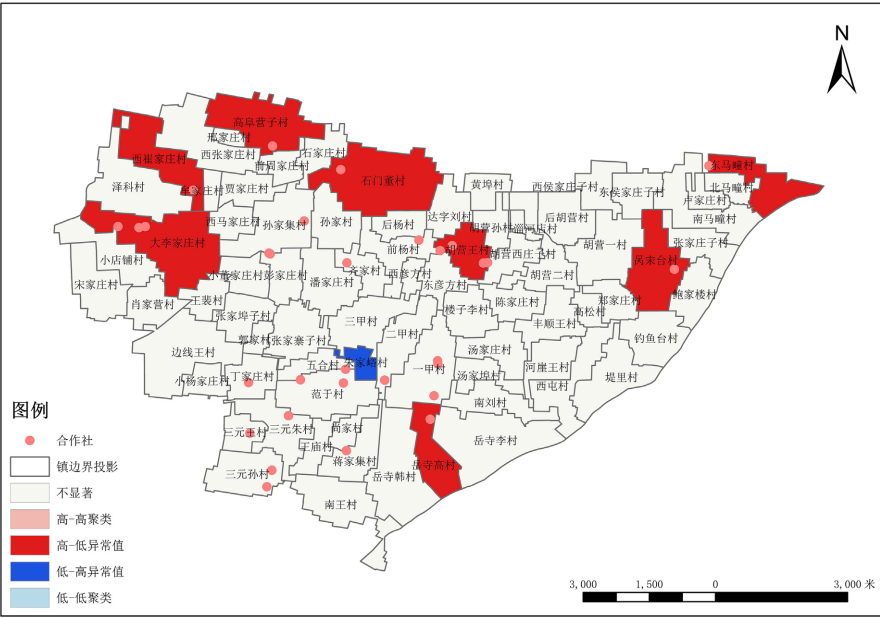
力, 使其在周边低密度环境中形成产业“极化点”。

低 - 高异常值区域位于街道中心附近, 为空间负相关的异常低值区——自身育苗基地密度低, 邻域却呈高密度集聚, 在高集聚邻域的对比下形成产业“洼地”, 显示出空间结构的非均衡性。

低 - 低聚类区域, 英庄店子村、秦立庄村等片区, 自身与邻域育苗基地密度均处于低值, 是空间正相关的集聚冷点, 这些区域育苗产业发展的空间滞后性, 可能存在产业基础薄弱、要素供给不足等制约机制。



(a)



(b)

注: 该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为鲁 SG (2024) 035 号的标准地图制作。

Figure 5. Local spatial autocorrelation analysis. (a) Seedling cultivation base; (b) Cooperative
图 5. 局部空间自相关分析。(a) 育苗基地; (b) 合作社

(2) 合作社

合作社“聚类 and 空间异常值”分析中(见图 5), 存在 8 处高 - 低异常区, 为孙家集街道中线以北的 7 处村落和南部一处村落, 合作社总体数量较少, 从高 - 低异常区占大多数可知合作社的分布不均衡, 分布呈现多中心化、组团化发展特征, 合作社数量较多的地区可能意味该地区具有较好的经济基础或资源优势, 能够吸引更多的合作社设立, 相反合作社数量较少的地区可能面临经济发展滞后或资源匮乏的问题, 同时也可能存在政策扶持和该设施农业服务设施特性的影响。存在一处低 - 高异常值区, 为朱家裕村, 其南部村落均设有合作社, 可能存在经济、政策上的影响。

高 - 高聚类区域广泛分布于街道西部, 位于大李家村、韩家村、戚家芥子村等片区、中部部分区域及东部局部, 区域自身与邻域的合作社密度均处于高值区间, 呈现强烈的空间正相关, 是合作社发展的空间集聚热点。

高 - 低异常值区域呈零散分布, 属于空间负相关的异常高值区——自身合作社密度高, 而邻域密度显著偏低。可能受限于空间辐射能力或邻域发展条件, 未形成规模化集聚效应。

低 - 高异常值区域位于街道中部偏南区域, 为空间负相关的异常低值区——自身合作社密度低, 邻域却呈高密度集聚。在高集聚邻域的对比下形成合作经济“洼地”, 体现了空间结构的非均衡性。

低 - 低聚类区域虽未大面积呈现, 但其自身与邻域合作社密度均处于低值, 是合作社发展的空间集聚冷点。

总体来看, 育苗基地存在的高 - 高聚集区和低 - 低聚集区, 分布存在不均衡, 南部数量高于北部; 合作社存在多处高 - 低异常值区, 存在空间上的差异性。

3.3. 影响因素分析

设施农业服务设施中涉及多种因素的共同作用。主要从以下方面解析孙家集街道设施农业服务设施空间分布空间特征的影响因素^[12]:

(1) 自然历史因素

孙家集街道依托寿光市的自然本底与改革开放政策, 从贫困小农经济蜕变为蔬菜育种强镇。寿光引领蔬菜育种创新, 孙家集街道育苗基地众多, 数量众多且分布均衡, 其地理位置邻近弥河, 虽略限东侧大棚与育苗基地扩展, 但整体产业已稳居市场前沿。孙家集街道中的三元朱村, 是我国冬暖式蔬菜大棚的发源地, 是寿光数一数二的蔬菜种植富裕村, 成为中国最大的蔬菜生产、研发、销售基地, 被誉为“中国蔬菜第一村”。育苗基地基于三元朱村向外发散, 育苗基地数量较多。

(2) 交通区位因素

寿光市总体规划(2015~2030 年)文本中将孙家集街道城镇建设用地区集中布置在南环路以北、西环路两侧, 因此孙家集街道主要道路两侧设施农业服务设施发展良好, 沿路的育苗基地可服务的大棚点数众多, 且服务速度快。合作社运输货物通常采取电动车的运输方式, 因交通便捷的因素, 孙家集街道的合作社大部分沿主要道路分布, 其他部分分布稀疏且不均衡。

(3) 产业链价值分配因素

微笑曲线(Smiling Curve)是由宏碁集团创始人施振荣提出的理论模型, 用于描述产业链中不同环节的附加值分布。其核心思想是: 在全球化分工的产业链中, 附加值更多集中在两端的研发设计和品牌营销环节, 而中间的生产制造环节附加值最低, 形成类似“微笑”的 U 型曲线。在设施农业产业链中, 育苗基地属于生产前端, 产业附加值较高, 且成本不高, 所以影响孙家集街道的育苗基地数量较高; 而合作社处于生产的后端, 农户单独对接市场的成本较高, 集中销售可降低交易成本, 所以合作社在数量上并未很多。

(4) 规划政策因素

习近平总书记高度重视设施农业发展, 党的二十大报告在全面推进乡村振兴部分提出“树立大食物观, 发展设施农业”。寿光市城市总体规划(2015~2030 年)中, 孙家集街道职能为特色农业城镇, 且位于寿光市主城区较近位置, 得益于总体规划及政策规划因素, 孙家集街道发展农业迅速, 育苗基地数量丰富, 通过机动车出行到达速度极快, 便利当地大力发展设施农业。

4. 结论与讨论

4.1. 结论

文中以设施农业服务设施(育苗基地、合作社)和设施农业(大棚)数据为基础, 运用 Ripley' K 函数、局部空间莫兰指数(Anselin Local Moran' L)等方法分析设施空间分布情况, 主要结论如下:

(1) 设施农业服务设施空间分布不均衡特征显著, 育苗基地呈现出“核心-边缘”的空间特征, 合作社呈现出“多核心-组团化”的空间特征。在城市中心区域为“多点集聚”“轴向发展”“连片分布”的分布形态, 城乡结合区域设施分布规模较小, 以零星分布为主; 从集聚程度来看, 育苗基地的集聚程度要高于合作社。

(2) 设施农业服务设施聚类分析显示, 育苗基地中部和西部“高-高聚类”, 南部和中部存在“低-低聚类”; 合作社北部存在较多“高-低异常值”。育苗基地存在明显的产业集聚效应, 而合作社虽然呈多中心化, 但整体来看更表现出产业的垄断效应。

(3) 设施农业服务设施空间特征形成的影响因素较多且作用过程复杂, 主要包括自然历史的约束作用、交通区位的影响作用、经济发展的主导作用及政策规划的推动作用。

4.2. 讨论

(1) 孙家集街道育苗基地因属产业链上游, 需求量大, 但其在东部和北部分布较少, 应在密度较低部分增设育苗基地, 满足区域内农户的要求, 但本文只考虑了 poi 点, 并未考虑设施实际的面积和辐射范围, 所以也可通过提升辐射范围达到区域内全覆盖的目的; 部分育苗基地位置较近, 也可考虑就近合并, 打造育苗的服务合作社。

(2) 孙家集街道合作社数量较少, 东部密度较低, 可在东部主干、次干路沿路增设新的合作社, 也可考虑在现有的育苗基地基础上, 增设“育苗+收菜”一体合作社, 整合前端生产链; 或对偏远地区, 采取“移动合作社”的方式, 从当前合作社中定期前往偏远乡村进行收购, 也可降低固定设施的成本。

本文系统分析了孙家集街道设施农业服务设施的空间分布特征及其影响因素, 一定程度上对现有设施农业领域的研究进行了补充, 也为设施农业服务设施布局优化提供了更多参考。然而, 由于数据采取 POI 点位, 并没有参考的实际设施的设施面积和辐射面积。因此, 未来研究可探讨其他潜在影响因素, 进一步丰富对设施农业服务设施资源的理解与分析。

参考文献

- [1] 何芳, 马承伟. 中国设施农业发展现状与对策分析[J]. 农业工程科学, 2007, 27(3): 462-465.
- [2] 顾竹屹, 程剑敏. 乡村振兴背景下设施农业产业用地管理的若干思考[C]//中国城市规划学会. 人民城市, 规划赋能——2023 中国城市规划年会论文集(16 乡村规划). 2023: 2081-2091.
- [3] 刘亚楠, 邓灿辉. 河南省现代设施农业发展存在的问题及应对策略[J]. 乡村科技, 2025, 16(20): 87-91.
- [4] 彭澎, 梁龙, 李海龙, 等. 我国设施农业现状、问题与发展建议[J]. 北方园艺, 2019(5): 161-168.
- [5] 丁玉芹, 王保锋, 李彦红. 设施农业现状和发展对策研究——以莘县为例[J]. 河北农机, 2025(13): 70-72.

- [6] 李中华, 王国占, 齐飞. 我国设施农业发展现状及发展思路[J]. 中国农机化, 2012(1): 7-10.
- [7] 叶夏, 白丽月, 黄曦, 等. 三明市设施农业发展布局研究[J]. 中国农业资源与区划, 2015, 36(4): 134-139.
- [8] 王歌潇, 张津菡, 李泽唐. 设施农业秸秆收储运格局优化探讨[J]. 中国农业综合开发, 2025(4): 61-65.
- [9] 湛东升, 张文忠, 党云晓, 等. 北京市公共服务设施空间集聚特征分析[J]. 经济地理, 2018, 38(12): 76-82.
- [10] 戢晓峰, 李晓娟, 杨晓泉, 等. 基于 POI 数据的城市交通设施空间分布特征提取——以昆明市主城区为例[J]. 地域研究与开发, 2020, 39(3): 76-82.
- [11] 刘洋, 余建新, 向冬蕾, 等. 基于局部空间自相关的思茅区耕地利用保护综合分区[J]. 水土保持研究, 2020, 27(1): 183-188, 196.
- [12] 李化英, 张志斌, 陈龙, 等. 基于可达性的兰州新区公共服务设施空间配置研究[J]. 干旱区资源与环境, 2024, 38(7): 125-134.