云南农业大学学报（社会科学），2022，16（6）：110－119 http: //xb.ynau.edu.cn
Journal of Yunnan Agricultural University（Social Science） E-mail: ynndxbsk@qq.com

引文格式：巨芬, 范树平, 宋晓娜, 等. 粮食主产区设施农用地的时空演变及格局优化研究——基于安徽省 105 个区（县）面板数据的实证分析 [J]. 云南农业大学学报 (社会科学), 2022, 16(6): 110−119. DOI: 10.12371/j.ynau(s).202204124.

粮食主产区设施农用地的时空演变及格局优化研究

——基于安徽省 105 个区（县）面板数据的实证分析

巨　芬[1]，范树平[1*]，宋晓娜[1]，李　鹏[1]，邹金浪[2]，王　斌[3]

（1. 安徽农业大学 经济管理学院，安徽 合肥 230036；
2. 江西财经大学 生态文明研究院，江西 南昌 330000；
3. 安徽省农业科学院 农业工程研究所，安徽 合肥 230031）

摘要：选取粮食主产区安徽省的 105 个区（县）作为研究区域，综合运用空间分析技术，剖析设施农用地空间上的规模变化和时间上的强度变化，探索设施农用地时空演变规律与集聚模式，进一步分区分类及对应提出空间布局差异优化策略。结果显示：（1）2005 年尤其是 2010 年后，安徽省设施农用地在空间上由中部向两侧扩散，并逐渐呈现北方多、南方少的分布情况且主要集中在北部，设施农用地的面积亦逐年稳步增长；（2）2005—2020 年，安徽省设施农用地占国土调查总面积的比率呈快速增长趋势，大部分区（县）的设施农用地变化强度指数不断提高，这与设施农用地的规模变化趋势是大体一致的；（3）2010 年后，安徽省的设施农用地呈现显著的聚集特征，其空间自相关状态的演变与设施农用地规模演变状况大致相同；（4）根据 105 个区（县）的设施农用地的时空分异特征及聚集模式的可视化表达，将安徽省分为皖北平原畜禽养殖区域、皖中岗丘现代农业区域、沿江平原综合农业区域、皖西南山区农旅综合区域，以此优化安徽省设施农用地格局，积极落实和完善设施农用地差异化管控措施，有效保障粮食生产及安全，为满足粮食主产区设施农业用地需求营造优良的环境。

关键词：设施农用地；空间自相关；时空演变；格局优化；粮食主产区

中图分类号：F 301.24　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1004－390X (2022) 06－0110－10

The Spatio-temporal Evolution and Pattern Optimization of Facility Agricultural Land in the Main Grain-producing Areas: Empirical Analysis Based on Panel Data from 105 Districts and Counties in Anhui Province

JU Fen[1]，FAN Shuping[1]，SONG Xiaona[1]，LI Peng[1]，ZOU Jinlang[2]，WANG Bin[3]

（1. College of Economics and Management, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China;
2. Institute of Ecological Civilization, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330000, China;
3. Institute of Agricultural Engineering, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, China）

收稿日期：2022－04－26　　修回日期：2022－05－18

基金项目：安徽高校人文社会科学研究重点项目“乡村振兴视域下设施农用地时空演化、驱动机理及政策设计研究”（SK2021A0155）；国家自然科学基金面上项目“面对多重不确定性的森林生态系统服务价值评估模型构建与优化研究”（71873003）；安徽省自然科学基金项目“产业结构优化与土地利用效益提升——共生测度、驱动机理与政策设计”（1908085QG310）；国家级大学生创新创业训练计划项目“合肥都市圈设施农用地时空演化及优化策略研究”（202110364031）。

作者简介：巨芬（1999—），女，山东德州人，硕士研究生，主要从事土地利用评价与空间规划研究。

* 通信作者：范树平（1984—），男，安徽芜湖人，博士，主要从事土地利用管理与空间规划研究。

Abstract: 105 districts and counties in Anhui Province, the main grain-producing area, were selected as the research areas, and the spatial analysis technology was comprehensively used to analyze the spatial scale changes and temporal intensity changes of facility agricultural land, explore the spatio-temporal evolution law and agglomeration mode of facility agricultural land, and further classify and propose spatial layout difference optimization strategies accordingly. The results show that：（1）In 2005, especially after 2010, the facility agricultural land in Anhui Province spread from the middle to the two sides in space, and gradually showed the distribution of more in the north and less in the south and was mainly concentrated in the north, and the area of facility agricultural land also increased steadily year by year. （2）From 2005 to 2020, the proportion of facility agricultural land in the total area of the land survey in the province showed a rapid growth trend, and the intensity index of change of facility agricultural land in most districts and counties continued to increase, which is generally consistent with the trend of change in the scale of facility agricultural land.（3）After 2010, the facility agricultural land in Anhui Province showed a significant agglomeration characteristic, and the evolution of its spatial autocorrelation state was roughly the same as the evolution of the scale of facility agricultural land.（4）According to the spatial and temporal differentiation characteristics and aggregation mode of facility agricultural land in 105 districts and counties, the province is divided into livestock and poultry breeding areas in the northern Anhui Plain, modern agricultural areas in central Anhui Gangqiu, comprehensive agricultural areas along the yangtze river plain, and comprehensive agricultural tourism areas in the mountainous areas of southwest Anhui, so as to optimize the pattern of facility agricultural land in the province, actively implement and improve the differentiated control measures for facility agricultural land, effectively ensure grain production and safety, and create an excellent environment to meet the needs of facility agricultural land in the main grain-producing areas.

Keywords: facility agricultural land；spatial autocorrelation；spatio-temporal evolution；pattern optimization；main grain producing areas

农业是国民经济的基础，粮食保障是国家和人民赖以生存和发展的前提条件。近年来，由于农业现代化水平的不断提高，设施农业得到快速发展，极大地避免了传统农业受自然条件的影响，有效提高了农产品的产量和质量，成为实现乡村振兴和农业高质量发展的重要途径[1]。系统梳理关于设施农用地相关政策脉络，中国已构成了相对比较完善的设施农用地利用体系、监管体系[2]。特别是国家、部分省市关于设施农用地管理诸多政策文件陆续颁布，更加明确界定了设施农用地的概念、类型、规模及选址等关键环节，不断加大对设施农用地的工作重视及扶持力度。目前，仍然面临着设施农业用地可能导致“非粮化”、甚至“非农化”的风险倾向，特别是擅自扩大用地规模及超出用地标准，利用设施农用地的名义从事非农建设、商业经营等用地乱象时有发生，进一步威胁永久基本农田保护底线及国家粮食安全。特别是在新冠肺炎全球大流行及国际形势持续动荡的严峻背景下，稳定国内的粮食、蔬菜生产以应对市场的不确定因素已成为重中之重，有序规范设施农用地利用与管理，显得尤为重要。

设施农业相对发达的国家主要是荷兰、美国、日本、以色列，其研究集中于设施农业[3−4]、温室大棚[5−6]方面。Eleni G. Symeonaki 等[7]强调物联网技术在设施农业中的应用，尤其对气候智能型的设施农业的发展趋势做出了评价。中国在土地适度规模经营后，学者开始关注设施农用地。纵观当前研究动态，特别是针对“大棚房”治理，设施农用地研究越来越多，集中于设施工程[8−9]、利用形态[10−11]、存在问题[12−13]、影响因素[14−15]以及设施农用地监管治理[16−17]、政策解读[18−19]等视角，定性化研究目前居多，定量化应进一步加强，针对设施农用地空间格局优化维度，深入研究颇为少见。安徽省是我国重要的粮食主产区域，2021 年

粮食总量居全国第 4 位，随着工业化、城镇化加速推进，农业生产相关要素发生不同程度的转变。在此，以 105 个区（县）面板数据探究设施农用地时空分异及演变规律，探析区域设施农用地之间存在的集聚模式，划分设施农用地区域类型及其空间布局优化，进一步针对性提出分区管控措施，为粮食主产区设施农用地精准保障有效落地，全面监管耕地“非粮化”及实现农业现代化提供理论参考及实践基础。

一、数据来源与研究方法

（一）研究区概况

安徽省位于华东地区，地处长江、淮河中下游，长江三角洲腹地；属于亚热带季风气候类型，四季分明，年平均气温 14 ~ 17℃，年平均无霜期为 200 ~ 250 d；光照资源丰富，年均日照时数为 1 800 ~ 2 500 h，满足多种动植物生长繁殖所需要的条件；年均降水量为 770 ~ 1 700 mm，集中在春季和夏季；土壤类型丰富，呈现水平化和垂直化差异。2020 年，安徽省国土总面积 140 139.85 km^2，约占全国总面积的 1.46%，设施农用地面积为 3.52 万 hm^2；安徽省作为粮食主产区，其粮食作物总播种面积为 728.95 万 hm^2，粮食总产量为 4 019.22 万 t，居全国前列；农林牧渔业总产值 5 680.92 亿元，较 2005 年增长约 3.41 倍，农业产值占总产值的 44.45%，农业就业人员年平均工资为 5.24 万元。设施农用地面积规模增长及空间布局拓展，对农业产值、农民收入具有积极正向作用，但仍可能对全省稳定及扩大粮食综合生产能力产生一定冲击，亟须进一步发现、解决设施农用地的发展困境。

（二）研究方法

1. 土地利用变化强度指数

土地利用变化强度指数LT_i是指某一空间单元i内，单位面积上地类j从e时段到f时段发生的变化，计算公式如下：

$$LT_i = \frac{U_{jf} - U_{je}}{L_i} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式（1）中，U_{jf}、U_{je}分别表示研究初期e、研究末期f地类j在空间单元i内的面积，L_i表示空间单元i的土地面积，T表示研究的时间长度。

2. 设施农用地动态度

设施农用地动态度是某研究区一定时间范围内设施农用地的数量变化情况，计算公式如下：

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式（2）中，U_a与U_b分别表示研究初期和研究末期设施农用地的面积；T为研究时段；K为T时段的设施农用地的动态变化程度。

3. 空间自相关

空间自相关是同时根据要素位置和要素值来度量空间自相关，通过对研究区域的整体上的空间自相关性和局部小区域间的分布格局和集聚模式进行分析。全局空间自相关是从宏观层面判断设施农用地变化在整个研究区的集聚性，评估所表达的模式是聚类模式、离散模式、随机模式[20]，是对地理要素属性值在整个区域的空间特征的描述，可以用 *Global Moran's I* 来表示。其公式为：

$$Global\ Moran's I = \frac{n}{s_0} \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij} z_i z_j}{\sum_{i=1}^{n} z_i^2} \quad (3)$$

式（3）中，z_i是要素i的属性与其平均值$(x_i - \bar{x})$的偏差，w_{ij}是要素i和j之间的空间权重，n等于要素总数，s_0是所有空间权重的聚合：

$$s_0 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij} \quad (4)$$

统计的z_i得分按以下形式计算：

$$z_i = \frac{I - E[I]}{\sqrt{V[I]}} \quad (5)$$

Moran's I 在−1.0 与 1.0 之间，当 *Moran's I*>0 时，表示数据呈现空间正相关，值越大，空间相关性越明显；*Moran's I*<0 时，表示数据呈现空间负相关，值越小，空间差异越大；*Moran's I*=0 时，空间呈现随机性特征。

而局部自相关是研究区域范围内用来判断各空间位置与周围相邻空间位置的同一属性是否具有相关性的一种工具，可以衡量局部集聚及空间异质性，用I_i来表示。当I_i>0 时，表示第i单元的观测值与周围单元的差异显著性小，一般表现为高值被高值包围，呈现高—高状态，或者低值被低值包围，呈现低—低状态；I_i<0 时，表示第i单元的观测值与周围单元差异性显著大，一般表现为低值被高值包围，呈现出低—高状态，或者高值被低值包围，呈现出高—低状态[21]。

$$Local\ Moran's I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s_i^2} \sum_{j=1, j\neq i}^{n} w_{ij}(x_j - \bar{x}) \quad (6)$$

式（6）中，x_i是要素i的属性，$\bar{x}$对应属性的平均值。w_{ij}是要素i和j之间的空间权重。

$$s_i^2 = \frac{\sum_{j=1,j\neq i}^{n}(x_j-\bar{x})^2}{n-1} \quad (7)$$

（三）数据来源及技术处理

本文的数据来源是 2005 年、2010 年、2015 年、2020 年 4 期的土地利用数据和《安徽省统计年鉴》中相关数据，本文设施农用地均指的是农用地中的其他用地，不包含农村道路，属于三级类。2005 年由于界定原因，采用 2002 年试用地类①。2010 年、2015 年、2020 年均统一采用《土地利用现状分类》（GB/T 21010—2017）中设施农用地类型，地类编码为 1202，包括生产设施用地、附属设施用地、配套设施用地。本文以 2020 年安徽省区（县）行政边界矢量图为基准，辖有的 105 个区（县）的设施农用地作为本文的研究对象，以此获得各区（县）设施农用地的时空变化与集聚模式，利用 Arcgis10.2、Geoda、SPSS 等专业处理软件对其进行统计和分析，最后得到设施农用地相关统计数据。

二、结果与分析

（一）设施农用地的规模变化

颜色的深浅表示设施农用地在该区域面积多与少的程度（图 1）。2005 年，安徽省设施农用地总面积为 15 149.61 hm^2，各区（县）的设施农用地规模大都在 200 hm^2 以下，200 hm^2 以上的区（县）零星分布。500 hm^2 以上的区（县）只有 5 个，分别为芜湖县、全椒县、含山县、潘集区、宣州区，其中含山县、潘集区、宣州区所拥有的设施农用地面积超过 1 000 hm^2，分别为 3 756.52 hm^2、2 724.93 hm^2、1 397.43 hm^2。

2010 年，设施农用地大多集中于皖中岗丘及沿江平原地区，设施农用地分布大体呈现东北—西南走向，各区（县）的设施农用地面积显著增加，其中面积超过 500 hm^2 的区（县）增加至 12 个，埇桥区、明光市、肥东县的设施农用地面积超过 1 000 hm^2。

2015 年，设施农用地超过 500 hm^2 的区（县）增加为 14 个，并在 2010 年基础上逐渐向皖北平原地区蔓延，皖南山区设施农用地面积变化较小，肥东县、埇桥区的设施农用地面积仍然在 1 000 hm^2 以上。

2020 年，安徽省设施农用地总面积为 35 230.34 hm^2，占安徽省农用地面积的 3.02‰，占安徽省国土调查总面积的 2.51‰。有 26 个区（县）的设施农用地面积超过 500 hm^2，埇桥区的设施农用地面积仍在 1 000 hm^2 以上，是安徽省设施农用地面积最大的区，占宿州市域设施农用地总面积的 1/3 左右，在安徽省设施农用地中占 4.26 个百分点。与 2005 年相比，安徽省设施农用地总面积增加了 20 080.63 hm^2，增长约 2.33 倍，且普遍集中于皖北平原，其次为皖中岗丘、沿江平原地区，皖南山区的设施农用地规模仍较小。

2005—2020 年，15 年间安徽省设施农用地的规模呈现逐步上升的趋势且主要集中在北部。安徽省中部的设施农用地优先发展，主要以合肥市为中心逐渐向南北两侧蔓延，设施农用地总面积较大的区域大多集中在皖北，尤其是淮北平原地区，总体呈现北方多、南方少，由北向南呈现逐步递减的趋势。其中，自然因素是限制设施农业发展的关键因素，安徽省南部大多为丘陵山地，北部主要为平原地区，地势平坦开阔，更加适合设施农业的发展。

（二）设施农用地的变化强度

通过强度指数表现出不同时段设施农用地占土地总面积的变化程度（图 2）。2005—2010 年，变化强度指数的波动幅度较大，其变化幅度为 −8.78‰ ~ 3.28‰。此阶段，有 75 个区（县）的设施农用地的变化指数呈正向变化，有 30 个区（县）的设施农用地的变化指数呈负向变化，且分布不均。安徽省设施农用地初步发展，处于萌芽状态。

2010—2015 年，大部分区（县）设施农用地的面积变化强度指数趋于稳定，介于−0.23‰ ~ 0.47‰之间，相较于其他时段总体变化强度较小。其中，皖北平原设施农用地的变化强度指数相对较高，尤其是八公山区、萧县、龙子湖区，分别达到了 0.47‰、0.35‰、0.31‰。皖南山区相较于 2005—2010 年而言，强度指数具有明显的正向变

① 其设施农用地采用畜禽饲养用地（151）、设施农业用地（152）、养殖水面（155）、晒谷场等用地（158）面积之和。

化。此外，有 89 个区（县）的设施农用地的变化强度指数呈正向连片分布，设施农用地的变化强度指数呈负向变化的区（县）较少，仅有 16 个。安徽省设施农用地变化趋于稳定。

2015—2020 年，安徽省各区（县）的设施农用地的变化强度指数变化较大，介于−2.91‰ ~ 1.08‰，总体仍呈现增长趋势。其中，皖北平原的颍泉区、固镇县的设施农用地变化强度指数相对较高，分别为 1.02‰、1.08‰。此阶段，有 76 个区（县）的设施农用地的变化强度指数呈正向变化，尤其是皖北平原地区的设施农用地正向变化最显著；有 29 个区（县）设施农用地的变化强度指数呈负向变化，且大都集中在沿江平原与皖中地区。

总体来说，2005—2020 年，设施农用地面积增长极为迅速，安徽省设施农用地占国土调查总面积的比率呈快速增长趋势，绝大部分的区（县）设施农用地变化强度呈现正向变化，这与人口因素也是息息相关的，安徽省人口密度大，对新鲜的瓜果蔬菜的需求量大，设施农业作为一种新型农业，不仅可以有效避免恶劣天气带来的影响，而且也可以为广大农民带来巨大收益，因此对设施农用地的需求也在不断扩大。

安徽省设施农用地总规模逐步上升的同时，占农用地的比率也是逐步上升，2005 年安徽省设施农用地面积仅占农用地的 1.35‰，2020 年安徽省设施农用地面积约占农用地总面积的 3.02‰。以 5 年为一时间段，通过设施农用地动态度表示在该时间段内设施农用地的面积变化情况。2005—2010 年，安徽省设施农用地的动态变化程度最大，为 0.0852，显著高于其他时期。2010—2015 年，设施农用地动态度与各区（县）的变化程度指数的变化情况相似，明显小于其他时期，该时间段内设施农用地的变化趋于稳定（表 1）。2015—2020 年的设施农用地动态变化较大，设施农用地面积仍持续增长。

（三）设施农用地的空间自相关分析

1. 全局空间自相关

将安徽省内的 105 个区（县）设施农用地的面积作为观测变量，利用 Geoda 软件里的分析工具计算整个安徽省设施农用地的全局 *Global Moran's I* 值，判断设施农用地的空间总体特征（表 2）。2005—2020 年，安徽省设施农用地的 *Moran's I* 值均大于 0，在 2005 年、2010 年、2015 年、2020 年，4 个年份的 *Z* 统计值在 0.78 ~ 7.19 之间。2005 年，设施农用地空间自相关中 *P* 值为 0.44，*Z* 值为 0.78，该模式与随机模式之间的差异并不显著，并不存在明显的空间集聚性。2010 年、2015 年、2020 年设施农用地的空间自相关 *P* 值<0.001，通过了显著性检验，安徽省设施农用地在空间上具有显著的、正向的空间集聚特征。

2. 局部空间自相关

引入 *Local Moran's I* 进行局部自相关分析，划分高—高聚集区、低—低聚集区、低—高聚集区、高—低聚集区（图 3）。全局自相关结果中，2010 年、2015 年、2020 年安徽省设施农用地类型与周围互邻的同一属性用地在空间上是集聚且正相关的，2005 年安徽省设施农用地并不存在明显的空间集聚特征，因此对 2005 年安徽省设施农用地的局部自相关不予分析。

2010 年，高—高聚集区有灵璧县、固镇县等 12 个区（县）且集中在皖北平原及皖中岗丘，因与重点开展淮北平原与江淮丘陵的大棚高效经济作物种植促进设施农用地的发展关联较大；低—低聚集区有歙县、徽州区等 6 个区（县）且集中在皖南山区，地形起伏较大，土地破碎零散，交通条件受到限制，农业生产与工业所占比重较低；低—高聚集区有 2 个分别为烈山区、瑶海区，城市化进程的加快，城市规模扩张蚕食了部分设施农用地，伴随周围区（县）现代农业示范区的建立出现低—高聚集区域；高—低聚集区仅有 1 个为东至县，相比周边各县，毗邻长江沿岸的东至县菌类、水产、畜禽等资源丰富。

2015 年相较于 2010 年，高—高聚集区有灵璧

表 1 安徽省设施农用地动态度

年份	2005—2010	2010—2015	2015—2020
动态度	0.0852	0.0399	0.0719

表 2 安徽省设施农用地的 *Global Moran's I*

年份	*Moran's I*	*Z*	*P*
2005	0.028335	0.777794	0.436691
2010	0.326651	5.485631	***
2015	0.299950	5.048981	***
2020	0.436731	7.190696	***

注：*P<0.05，**P<0.01，***P<0.001。

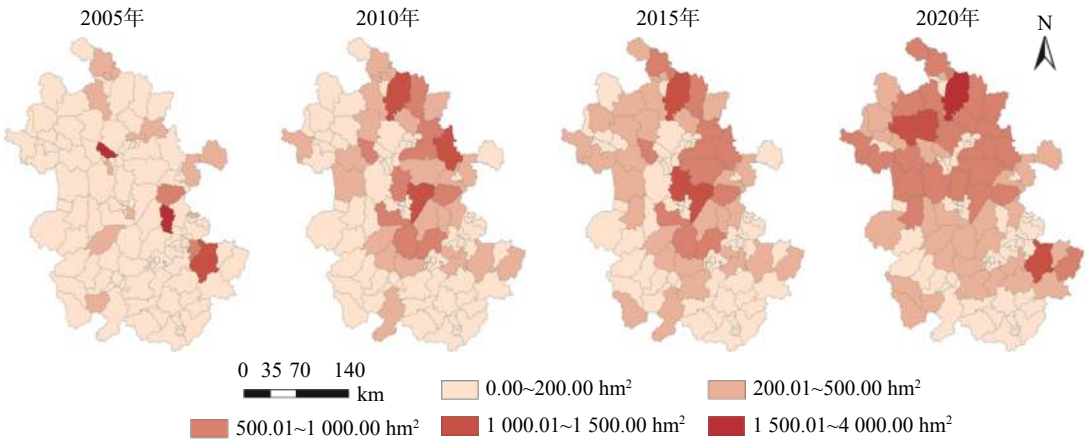

图 1　安徽省 2005—2020 年设施农用地面积变化图

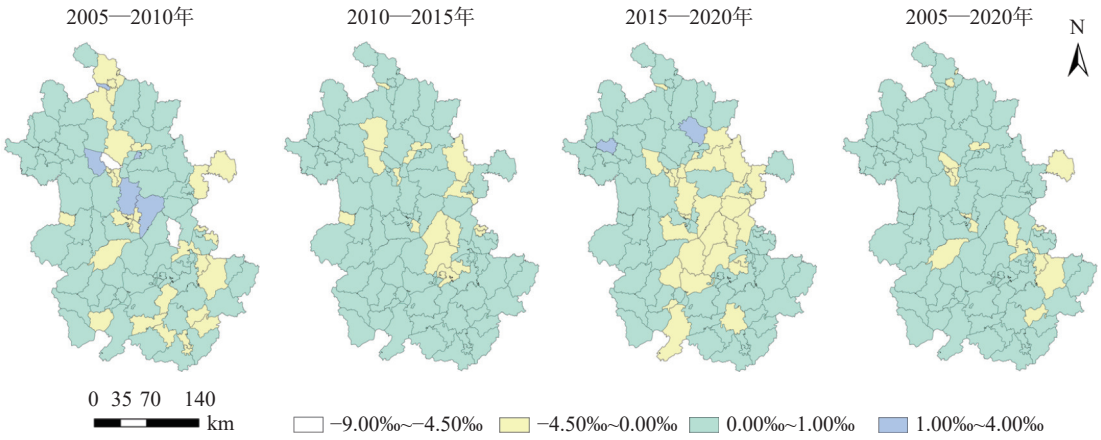

图 2　安徽省 2005—2020 年设施农用地变化强度图

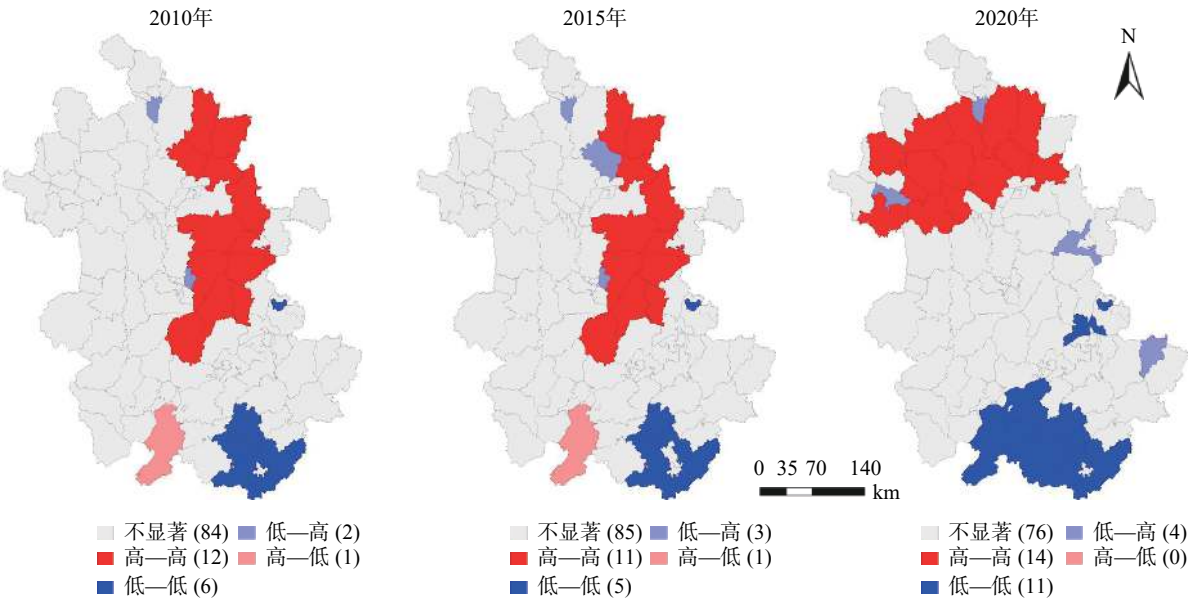

图 3　安徽省设施农用地局部空间自相关 LISA 聚类图

县、五河县等 11 个区（县），变化不明显；低—低聚集区降至 5 个，徽州区转为不显著区域，徽州区古村落风景文化的快速发展、农旅结合战略的实施是产生该变化的原因之一；低—高聚集区新增固镇县增加至 3 个，在其他区（县）现代农牧业快速发展的现实情况下，固镇县畜禽养殖

规模仍远低于其环境承载力[22]；高—低聚集区仍仅有东至县 1 个。

2020 年相较于 2015 年，高—高聚集区有埇桥区、灵璧县等 14 个区（县）且集中在皖北平原，主产杂粮且饲料作物便于就近取材，畜禽养殖业发展较快，加之重点发展皖北平原设施蔬菜及农村公路建设为设施农用地发展提供了便利的条件；低—低聚集区增加至 11 个，工业集聚效应及皖南国际旅游文化示范区的建设使低—低聚集区数量增多；低—高聚集区有烈山区、颍州区等 4 个，各区（县）农业规模化经营快速发展，但该聚集区长期零散经营、配套设施不完善造成农业附加值不高的弊端日益明显；2020 年已无高—低聚集类型的区（县），空间异质性持续降低。

安徽省设施农用地集聚状态的演变与设施农用地规模变化相似度颇高，中部优先发展，后向两侧蔓延，最后聚集于皖北地区。该结果呈现的聚集分布格局，不仅与自然因素有关，亦与社会经济需求和宏观调控政策环境存在紧密联系。

三、设施农用地空间格局优化

（一）空间格局划分过程

土地资源禀赋是农业产业布局和经济发展的基础[23]。设施农用地的布局是实施藏粮于地、藏粮于技战略的重要组成部分[24]。通过分析设施农用地的演变、布局规律与集聚模式，从现有的设施农用地资源禀赋出发，合理完善分区与布局。运用 SPSS 软件，采用平均距离法，以 2020 年的设施农用地总量、占地面积、设施农用地变化强度指数作为聚类因子进行分层聚类分析，结合安徽省的地形地貌条件以及各个行政单元的区位优势进行设施农用地的功能分区（表 3，图 4），将安徽省分为皖北平原畜禽养殖区域、皖中岗丘现代农业区域、沿江平原综合农业区域、皖西南山区农旅综合区域，以此提出设施农用地空间优化布局措施保证粮食主产区的可持续发展。

（二）空间管控差异化策略

1. 皖北平原畜禽养殖区域

皖北地区位于安徽省北部，拥有广阔的淮北平原，包括埇桥区、烈山区、利辛县、临泉县、禹会区等。皖北平原区设施农用地面积较多，2020 年的设施农用地面积达到 17 471.09hm^2，约占设施农用地总面积的 49.59%，比 2005 年增长近 3 倍；该区域内太阳能资源丰富，年日照时数高达 2 300 h，光热条件好，适合农作物生存；地形平坦、土壤肥沃、水资源充足，满足畜禽养殖发展所需要的条件；同时，与山东省、河南省、江苏省接壤，市场客需求量大，交通方便。对于该区域而言，一是严格遵守土地用途管制，防止耕地“非粮化”和农地“非农化”，细化粮食分区，明确设施农用地附属设施标准，保证各区（县）的联动配合。二是保障“菜篮子”食品供给，构建现代畜牧养殖示范园，建立畜禽、粮棉油和农产品生产基地，发挥其带动作用。三是重点围绕畜禽、奶业、牧业等资源，严格划定禁养区、限养区、可养区，聚焦“绿色产业”，打造粪污资源化利用项目，提高畜禽资源的综合利用效率。四是落实畜禽养殖政策，对于生猪养殖等采取不同的奖补措施，保障设施农业的循环发展。

2. 皖中岗丘现代农业区域

皖中岗丘位于北亚热带向暖温带的过渡带上，地处江淮分水岭，气候、土壤有明显的过渡型特征，包括明光市、裕安区、肥西县、琅琊区、天长市等，2010—2020 年，该区域设施农用

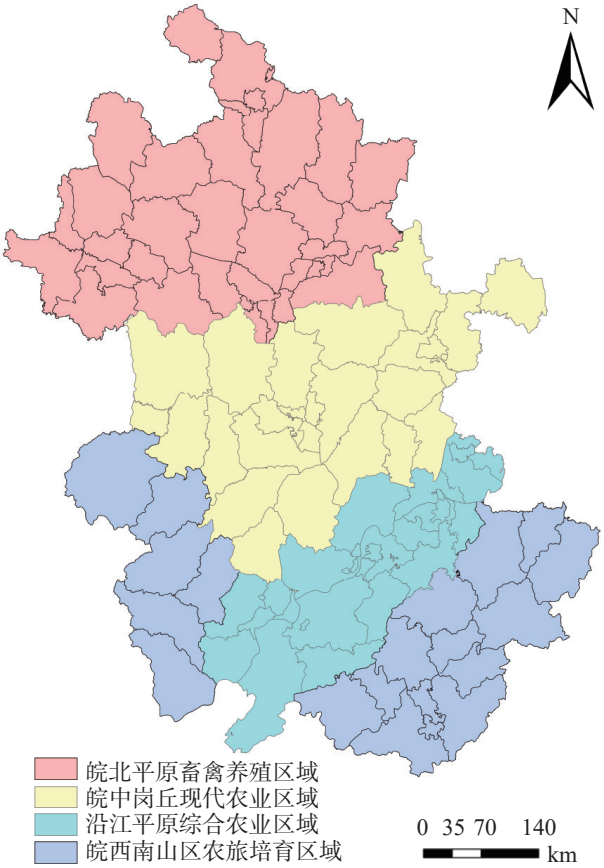

图 4 安徽省设施农用地分区类型图

表 3　安徽省设施农用地分区汇总表

聚类结果	设施农用地面积/hm²				行政单元
	2005年	2010年	2015年	2020年	
皖北平原畜禽养殖区域（35个）	5908.63	8221.29	10453.3	17471.09	烈山区、利辛县、谯城区、颍泉区、相山区、固镇县、谢家集区、八公山区、颍上县、凤阳县、临泉县、凤台县、颍州区、禹会区、阜南县、怀远县、潘集区、埇桥区、蚌山区、砀山县、界首市、泗县、萧县、田家庵区、杜集区、颍东区、太和县、五河县、龙子湖区、涡阳县、蒙城县、濉溪县、淮上区、大通区、灵璧县
皖中岗丘现代农业区域（25个）	6028.45	9176.42	9878.84	9830.89	明光市、裕安区、肥西县、琅琊区、瑶海区、全椒县、叶集区、庐江县、和县、含山县、肥东县、金安区、蜀山区、长丰县、来安县、包河区、定远县、舒城县、寿县、巢湖市、桐城市、天长市、霍邱县、庐阳区、南谯区
沿江平原综合农业区域（25个）	1482.89	2774.65	3394.78	4713.74	无为市、怀宁县、石台县、望江县、弋江区、镜湖区、枞阳县、郊区、芜湖县、博望区、义安区、三山区、大观区、雨山区、东至县、贵池区、青阳县、鸠江区、当涂县、迎江区、铜官区、繁昌县、宜秀区、花山区、南陵县
皖西南山区农旅综合区域（20个）	1729.65	1433.89	2190.60	3214.62	黟县、岳西县、休宁县、旌德县、太湖县、金寨县、屯溪区、歙县、祁门县、宿松县、徽州区、宣州区、宁国市、潜山市、泾县、广德市、霍山县、绩溪县、郎溪县、黄山区

注：本行政单元采用2020年初安徽省县级行政区划。

地面积集中在 9000 hm² 左右，且变动较稳定。对于该区域而言，一是提高江淮分水岭地区的耕地质量等级，加强对耕地质量水平的调查，健全设施农用地管理制度，严格整治用地乱象，坚决守住政策底线，深入挖掘存量土地，注重集约节约用地，防止“大棚房”卷土重来，促进土地资源的合理配置和利用。二是鼓励发展家庭农场，量化农场的土地使用面积、粮食产量等，促进规模经营，实现小农户与现代农业发展有效衔接，突破小农户的生产弱势，组织弱势等。三是提高蔬菜的供给能力，规定设施农用地蔬菜种植规模标准，提高粮食自给率、单产和品质，保障粮食安全，促进农业现代化发展。四是借力合肥作为国家综合性科学中心的优势，利用“互联网+”发展智慧农业，将互联网与农业有机结合，将技术成果运用于农副产品的产供销环节，加强农业科技成果的推广和应用，提高农产品产量。

3. 沿江平原综合农业区域

沿江平原地区主要位于长江沿线，在安徽省经济中起着重要的“引擎”作用，包括无为市、怀宁县、弋江区、镜湖区、博望区等，2020 年该区域设施农用地总面积为 4713.74 hm²，15 年间其面积年增长率为 4.57%，且呈现逐年稳定增加的趋势。对于该区域而言，一是明确土地用途，加强备案监管，坚守 1.2 亿 hm² 耕地保护红线，落实耕地占卜平衡，构建多维动态预警监测机制。二是凭借丰富的水资源，重点发展稻虾养殖、水生态旅游等，控制水产养殖辅助设施用地规模，履行备案登记手续，推进产业链条化，促进链条主体集聚发展。三是优先建设设施蔬菜标准园、粮油生产基地，推动以采摘体验、亲子研学、科教等主题的蔬菜园建设，将体验、消费、科教、休闲有机结合，打造全国都市现代农业示范区，促进农业加工业、休闲农业观光和设施农业服务业的创新发展。四是鼓励农产品加工企业与生产基地联合发展，促进优质农产品就地加工转化，统筹做好农产品调控机制，落实粮食减损方案。

4. 皖西南山区农旅培育区域

皖西南地区大多为山区，位于安徽省西部和南部，是安徽省重要的茶生产基地，包括岳西县、休宁县、旌德县、黄山区、宣州区等，2005、2010、2015、2020 年的设施农用地总面积分别为 1729.65 hm²、1433.89 hm²、2190.60 hm²、3214.62 hm²，相对于其他区域而言，设施农用地总面积变化幅度较小，设施农业发展规模不大。对于该区域而言，一是合理利用土地，保护耕地，稳定粮食生产，落实耕地保护的主体责任机制。二是因地制宜发展茶等特色产业，培育优良品种，落实

农产品质量安全，壮大茶叶龙头企业，拓宽茶企的融资渠道。三是促进三产联合，开发旅游观光、乡村休闲、民宿体验等多种功能，发展山野乡村旅游，打造特色农产品优势，促进商品流通，打造三产融合发展新格局。四是努力寻找适合本身的品牌文化和旅游特色，发展绿色旅游，努力打造国际化品牌，开拓国内外市场，提升区域形象与影响力。

四、 结论与讨论

（一）结论

本研究以粮食主产区安徽省 105 个区（县）2005 年、2010 年、2015 年、2020 年 4 期的面板数据为基础，利用 Arcgis、Geoda 软件对设施农用地的时空演变及其集聚模式进行系统分析，根据其特征进行布局优化，提出空间管控差异化战略，以保障粮食安全及经济发展。主要得出以下结论。

（1）在空间变化上，105 个区（县）设施农用地面积在 Arcgis 中的可视化表达显示，设施农用地总规模不断增加，相较于 2005 年增长近 2.33 倍，且大多集中在皖北地区。2010 年后，安徽省设施农用地规模以中部为中心向两侧蔓延，总体呈现北多南少的差距。

（2）在时间变化上，通过变化强度指数来表示设施农用地面积占该区域国土调查总面积的程度。安徽省大部分区（县），尤其是皖北地区的设施农用地变化强度指数呈正向变化，2005—2010 年、2010—2015 年、2015—2020 年安徽省设施农用地的动态变化程度分别为 8.52%、3.99%、7.19%，与规模变化大体相似。

（3）通过空间自相关，分析安徽省设施农用地不同时期分布的集聚模式，2005 年，P 值为 0.44，安徽省的设施农用地集聚模式是分散分布的；2010、2015、2020 年，P 值为 0.0000，并不是随机和离散分布，而是在相互邻近的设施农用地类型中集聚分布的且呈现显著的、正向的空间自相关性。局部空间自相关上，高—高聚集区逐步增多，其演变态势与设施农用地面积、变化强度也是相类似的。

（4）以 2020 年的设施农用地总量、占地面积、设施农用地变化强度指数作为聚类因子进行 SPSS 软件的分层聚类分析，结合安徽省的地形地貌条件分为 4 类功能区，分别为皖北平原畜禽养殖区域、皖中岗丘现代农业区域、沿江平原综合农业区域、皖西南山区农旅综合区域，因地制宜，发挥优势，提出差异化管控措施，促进设施农业发展，满足设施农用地的合理需求，控制其规模盲目扩张，促进设施农用地的集约利用，有助于坚决遏制耕地“非粮化”和防止农地“非农化”，协调设施农用地与粮食生产的关系，保障粮食安全以及提高农业现代化水平。

（二）讨论

安徽省各区（县）设施农用地布局状况是在资源禀赋的驱动下形成的，农业是我国的基础产业之一，随着传统农业向现代农业转变，粗放型农业向集约型农业转变，设施农用地的使用规模不断扩大。本文创新性的讨论、协调安徽省设施农用地发展与粮食质量安全之间的关系，从区（县）层面探索性分析设施农用地的时空分异规律，提出分区管控策略，利于深层次保障粮食供给及设施农用地的供需平衡，对提高安徽省粮食综合生产能力具有重要的借鉴意义。随着农业现代化发展，农村设施农业生产日益增多，结合农村设施农用地发展状况，解决农村设施农用地使用及分配、管理中存在的问题，促进其健康有序的发展，将是下一步研究的重点。

[参考文献]

[1] 徐小峰, 胡银根, 王恒. 设施农用地现状分析 [J]. 国土资源情报, 2011(1): 54.

[2] 孔祥天, 邵战林. 乡村振兴背景下我国设施农用地变化趋势探究 [J]. 南方农业, 2020, 14(8): 91. DOI: 10.19415/j.cnki.1673-890x.2020.08.049.

[3] VILLAGRÁN EDWIN, RODRIGUEZ ANDREA. Analysis of the Thermal Behavior of a New Structure of Protected Agriculture Established in a Region of Tropical Climate Conditions [J]. Fluids, 2021(6): 223. DOI:10.3390/FLUIDS6060223.

[4] MCCARTNEY LUCAS, LEFSRUD MARK. Protected Agriculture in Extreme Environments: A Review of Controlled Environment Agriculture in Tropical, Arid, Polar, and Urban Locations [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2018, 34(2): 455. DOI: 10.13031/aea.12590.

[5] PARADA FELIPE, GABARRELL XAVIER, RUFÍ-

SALÍS MARTÍ, et al. Optimizing irrigation in urban agriculture for tomato crops in rooftop greenhouses [J]. Science of the Total Environment, 2021(794): 148689. DOI: 10.1016/J.SCITOTENV.2021.148689.

[6] YU HONG, ZHANG ZHENG, ZHANG YING, et al. Effects of microplastics on soil organic carbon and greenhouse gas emissions in the context of straw incorporation: A comparison with different types of soil [J]. Environmental Pollution, 2021(288): 117733. DOI: 10.1016/J.ENVPOL.2021.117733.

[7] ELENI G SYMEONAKI, KONSTANTINOS G ARVANITIS, DIMITRIOS D PIROMALIS. Current trends and challenges in the deployment of IoT technologies for climate smart facility agriculture [J]. International Journal of Sustainable Agricultural Management and Informatics, 2019, 5(2-3): 181. DOI: 10.1504/IJSAMI.2019.101673.

[8] 于克垚, 韩琳, 尹余升, 等. 设施农业工程与我国农业现代化建设的思考 [J]. 新农业, 2020(3): 88.

[9] 杨亚杰. 设施农业工程与我国农业现代化 [J]. 江西农业, 2017(7): 78. DOI: 10.19394/j.cnki.issn1674-4179.2017.07.069.

[10] 李美珺, 张燕霞, 胡文霞. 闵行区设施农用地现状调查及管理对策分析 [J]. 上海农业科技, 2019(2): 15. DOI: 10.3969/j.issn.1001-0106.2019.02.007.

[11] 牛学军, 赵瑞茂. 沂水县设施农用地发展现状与对策建议 [J]. 上海农业科技, 2020(2): 5.

[12] 俞凤华. 设施农用地管理现状研究及对策建议: 以福建省清流县为例 [J]. 农村实用技术, 2020(9): 55.

[13] 杨海滨, 王超杰, 高雅. 基于 RS 和 GIS 的莱西市设施农业用地现状分析 [J]. 湖北农业科学, 2020, 59(19):78. DOI:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2020.19.016.

[14] 侯琴, 孙鸿睿, 舒瑞. 基于灰色关联度的宁夏设施农用地变化及影响因素研究 [J]. 农业科学研究, 2020, 41(4): 1. DOI: 10.13907/j.cnki.nykxyj.2020.04.001.

[15] 王秀丽, 郑亚楠, 李玲, 等. 河南省襄城县设施农用地发展影响因素研究 [J]. 平顶山学院学报, 2018, 33(2):71. DOI: 10.3969/j.issn.1673-1670.2018.02.015.

[16] 陈晓. 新形势下重庆市设施农用地管理完善路径探讨 [J]. 农村经济与科技, 2020, 31(11): 35. DOI: 10.3969/j.issn.1007-7103.2020.11.012.

[17] 金小琳. 巴中市巴州区设施农业用地备案管理困境及流程重构 [D]. 北京: 中国地质大学, 2020.

[18] 许祥云. 略谈当前设施农用地存在的突出问题 [J]. 中国土地, 2019(12): 53. DOI: 10.13816/j.cnki.ISSN1002-9729.2019.12.18.

[19] 张俊. 宜宾市翠屏区设施农用地政策执行存在问题及对策建议 [D]. 成都: 电子科技大学, 2020.

[20] 戴娜敏, 包亮. 1995—2019 年内蒙古清水河县土地利用空间格局变化分析 [J]. 内蒙古科技与经济, 2021(13): 67.

[21] 陈浮, 刘俊娜, 常媛媛, 等. 中国耕地非粮化空间格局分异及驱动机制 [J]. 中国土地科学, 2021, 35(9): 33. DOI: 10.11994/zgtdkx.20210903.093613.

[22] 孙超, 潘瑜春, 刘玉. 畜禽粪便资源现状及替代化肥潜力研究: 以安徽省固镇县为例 [J]. 生态与农村环境学报, 2017, 33(4): 324. DOI: 10.11934/j.issn.1673-4831.2017.04.005.

[23] 郭佳君, 李茜. 耕地资源禀赋与农业产业空间布局优化: 以山西省榆社县为例 [J]. 湖北农业科学, 2021,60(16):70. DOI:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2021.16.013.

[24] 郑英杰. 三江平原水田区设施农用地布局及优化研究 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019.