

安徽省森林村庄空间分布特征及影响因素¹

花玉莲 李冬花 蒋伟峰 陆林

(安徽师范大学 地理与旅游学院, 安徽 芜湖 241000)

【摘要】：森林村庄是中国未来乡村发展建设的重要载体，“双碳”政策的提出为我国乡村地区的生态文明建设与林业转型发展提供了重要政策导向。基于 ArcGIS10.8 空间分析工具及数理统计方法，对 2021 年安徽省 639 个森林村庄空间分布特征及影响因素进行分析。结果发现：①总体分布上，安徽省森林村庄呈现“大分散、小集聚”的分布格局，具有西多东少、北多南少的显著特征；②安徽省森林村庄在不同空间尺度呈现差异化的分布特征。区域尺度上，皖中地区数量最多，皖北地区次之，皖南地区数量最少，仅占总数的 22.69%；市域尺度上，高密度集聚区呈现近似倾斜的“V”字型结构，南北对称的空间格局显著；县域尺度上呈分散分布；③整体密度上，安徽省森林村庄的空间格局形成两条近似平行的高密度集聚带，5 个显著的核心区和 5 个次级密度核心；④空间关联上，安徽省森林村庄空间分布具有较强的空间自相关性，县域尺度上空间关联以正相关类型为主；⑤影响因素上，地形、水源是安徽省森林村庄形成发展的自然环境基础，人口、交通和经济等社会发展状况是森林村庄保护发展的重要条件。

【关键词】：森林村庄；“双碳”目标；空间分布；影响因素；安徽省

【中图分类号】：K901 **【文献标志码】**：A

【文章编号】：1005 - 8141(2023)03 - 0309 - 10

0 引言

“人类世”的到来带来了全球范围内生态环境问题的加剧，区域生态环境系统平衡受到越来越多的关注^[1]。党的十八大以来，国家高度重视生态文明建设，高质量的资源条件和生态环境是高质量发展的首要基础与重要构成^[2]。2021 年 10 月，中共中央国务院印发了《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》^[3]，“双碳”目标作为未来中国经济健康发展的重要指南，是党中央面对统筹国际国内两个大局做出的重大战略决策，为我国以森林资源为代表的生态资源可持续利用与保护性开发提供了重要指导^[4,5]。当前，气候变暖成为全球十大生态环境问题之首，而人类活动产生的碳排放是造成全球气候变暖的根源^[6]。森林资源具有固碳释氧、水源涵养、净化空气等显著生态价值，《京都议定书》将林业列为合理应对气候变暖、固碳减排的重要手段，林业碳汇可产生经济、生态、社会等多重效益，是实现碳达峰与碳中和的重要一环^[7]。新发展阶段，建设生态文明、坚定不移走绿色低碳循环的可持续发展之路，不仅能够满足人民群众对优良生态环境的需要，而且是推动社会经济高质量发展的重要路径。乡村地区是生态文明建设中的有机整体和重要单元，乡村空间是城乡融合发展的根基，生态文明及城市的健康发展离不开乡村地区生态系统的保护与建设^[8]。其中，森林村庄作为乡村生态系统可持续发展、高质量发展的重要载体，在增强生态系统碳汇能力、保障生态环境、实现“双碳”目标中具有重要促进意义。

¹ **【收稿日期】**：2022 - 08 - 20；**【修订日期】**：2022 - 10 - 20

【基金项目】：安徽省社科规划重大项目(编号：AHSKZD2019D03)。

【第一作者简介】：花玉莲(1998 -)，女，安徽省芜湖人，硕士研究生，主要研究方向为旅游地理学。

【通讯作者简介】：陆林(1962 -)，男，安徽省芜湖人，博士，教授，博士生导师，主要从事旅游地理教学与科研工作。

森林村庄从广义来说是指具备森林生态环境的村庄，其生态系统以森林植被为主体，强调城乡绿色协调发展，生态功能稳定且结构完善，注重森林多功能利用和多效益发挥，是乡村地区的重要环境载体^[9]。乡村森林生态系统建设日益受到国内外学者的关注，研究成果逐渐丰富。国外学者针对乡村森林景观方面的研究集中于景观空间分布及影响因素^[10]、景观的塑造及风险评价^[11,12]、景观土地利用状况^[13,14]。此外，乡村森林生态系统服务价值也引起相关学者的关注。Kumar 等以吉姆科贝特国家公园为例探究森林生态系统对当地生计安全及可持续发展的影响，结果表明森林生态系统有助于改善农村居民生计活动^[15]；Mikusiński 等分析了空间距离对乡村森林生态系统服务价值的影响^[16]。乡村森林与社区经济和可持续发展的关系方面。Kalonga 等基于变革理论(Theory of Change)比较不同森林管理方法对改善地方生计条件的影响，发现具有森林管理委员会的村庄可有效促进森林治理，改善农户的生计环境^[17]；Mbuvi 等从替代性生计战略视角出发，基于非木材森林产品对乡村可持续发展的潜在贡献进行研究^[18]。乡村森林管理与整治方面。Flora 等以孟加拉国孙德尔班红树林为例，探究多利益主体对森林资源共同管理的看法^[19]；Badano 等认为墨西哥的森林区域在国际碳市场上具有重要作用，保护和恢复墨西哥森林是一个潜在的商业机会^[20]。国内学者对森林村庄研究相对较少，主要围绕乡村生态文明建设展开了系列研究。研究内容主要集中在乡村生态旅游资源开发与可持续发展^[21,22,23]、生态空间转型重构及内在机理^[24,25]、生态系统服务与生态补偿^[26,27,28]、生态保护与空间治理^[29]等方面。总体来说，生态乡村的相关成果已十分丰富，但当前国内外的相关研究较少涉及森林村庄，有待进一步深化。

综上所述，国内外相关研究为我国森林村庄的发展提供了有益借鉴。新发展阶段下，生态文明建设被提升至前所未有的战略高度，森林村庄作为乡村可持续发展的有效模式在其中具有重要意义。因此，本研究基于 ArcGIS10.8 空间分析工具及数理统计方法，对 2021 年安徽省 639 个森林村庄的空间分布特征及影响因素展开研究，以期为促进乡村生态系统高质量发展，以及未来村庄发展建设提供决策参考。

1 研究区概况

安徽省地处中国东南部，长江中下游地区，地貌类型复杂多样，境内河网密布，水系发达，受季风影响四季分明，植被类型呈现明显过渡性，由北向南依次为落叶阔叶林、常绿阔叶混交林、常绿阔叶林。安徽省位于我国长三角地区和中原地区空间战略发展的连接点上，同时也是长三角一体化、长江经济带等国家战略的空间聚合区，具有显著的战略叠加优势。2020 年 8 月，习近平总书记在省合会合肥市主持召开扎实推进长三角一体化发展座谈会，明确指示要“夯实长三角地区绿色发展基础，长三角地区不仅要在经济发展上走在前列，也要在生态保护和建设上带好头”^[30]。作为长三角区域生态战略后备大区，安徽省贯彻落实生态文明建设理念，于 2012 年启动“千万亩森林增长行动工程”，实施“打造生态强省，建设美好安徽”的战略决策，林业资源储量稳步提升。截止 2020 年底，安徽省森林总面积为 6 262 万亩，森林蓄积量超过了 2.7×108m³，森林覆盖率达 30.22%。2021 年，安徽省先后有 639 个村庄被评为生态环境良好、生态资源丰富的森林村庄^[31]。森林村庄的建设是构建美丽乡村，改善农村人居环境，更好服务城市的重要工程，安徽省优越的地理环境及其在长三角地区的生态战略定位，为保护与发展森林村庄提供了良好基础。

2 研究方法数据来源

2.1 研究方法

地理集中指数：地理集中指数是用以衡量研究对象地理空间分布集中性的重要指标，取值范围为 0—100^[32]，本研究用以反映安徽省森林村庄的集聚程度。计算公式为：

$$G = 100 \times \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{T}\right)^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：Xi 为第 i 个市级行政区的森林村庄数量；T 为安徽省森林村庄总量。G 值越接近 100, 表明安徽省森林村庄空间分布越集中；反之则表明越离散。

核密度估计：核密度估计是用于测量空间密度分布状况、探求集聚区及分散区的有效技术手段^[33]。计算公式为：

$$\lambda_h(s) = \sum_{i=1}^n \frac{3}{\pi h^4} \left[1 - \frac{(s - s_i)^2}{h^2} \lambda \right]^2 \dots\dots\dots (2)$$

式中：h 表示半径空间范围内第 i 个安徽省森林村庄的位置；s 表示待估计森林村庄的位置；si 表示位于以 s 为圆心的森林村庄。

空间自相关：空间自相关用于衡量点要素属性值与周围相邻点要素的相关程度，包括全局自相关和局部自相关^[34]。全局自相关可测度安徽省森林村庄的空间关联性与空间差异性，局部空间自相关通常用于反映在局部研究区上地理要素观测值的空间分布异质性。计算公式分别为：

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \dots\dots\dots (3)$$

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S^2} \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_j - \bar{x}) \dots\dots\dots (4)$$

式中：xi 和 xj 分别表示 i 和 j 空间单元内森林村庄的数量；Wij 为空间权重矩阵，表示空间单元之间的拓扑关系；n 为安徽省森林村庄总数。

缓冲区分析：缓冲区分析是指以点、线、面空间实体为基础，在周围建立所需宽度范围的缓冲区多边形图层，将缓冲区图层与目标图层叠加，分析后得出结果，建立多个宽度范围的缓冲区被称为多环缓冲区。缓冲区分析是解决邻近度问题的空间分析工具^[35]，可用以描述安徽省森林村庄与相关影响因素间的关联程度。本文将安徽省河流水系及主要交通道路进行多环缓冲区分析，与安徽省森林村庄点状数据的矢量图层相叠加，分析地理空间中河流水系、交通区位等自然社会要素对安徽省森林村庄的作用程度。

相关分析：相关分析可反映地理要素间的相互关联程度^[36]。本文用以测算安徽省森林村庄与经济状况间的相关关系及解释力大小。计算公式为：

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \dots\dots\dots (5)$$

式中：x 和 y 分别表示安徽省地级市森林村庄数量与人均 GDP 值。相关系数 r_{xy} 介于[-1,1]区间，若 $r_{xy}>0$ ，相关关系呈正相关，反之则为负相关， r_{xy} 的绝对值越接近于 1，表明地理要素间关系越密切，越接近于 0，表明地理要素间关系越疏远。

2.2 数据来源

安徽省森林村庄数据来源于安徽省林业局官方网站(<https://lyj.ah.gov.cn/>)发布的 2021 年度森林村庄名单，森林村庄坐标数据运用百度地图中的 API 坐标拾取器获取，并结合 Google Earth 进行地理坐标数据的检验与修正。安徽省行政区划、行政边界、水系等基础地理信息数据来源于全国地理信息资源目录服务系统(<https://www.webmap.cn/>)的 1:25 万全国基础地理信息数据库，高程数据来源于中国科学院地理科学与资源所资源环境科学数据中心(<https://www.resdc.cn/>)。安徽省各市、县的社会经济数据来源于安徽省统计局官方网站公布的《2021 安徽统计年鉴》。

3 森林村庄空间分布特征

3.1 总体空间分布特征

运用公式(1)测算安徽省森林村庄空间分布的地域集中程度，结果显示安徽省森林村庄整体呈分散分布态势；当其均匀分布于各地级市时，实际地理集中指数大于均匀分布的地理集中指数，表明安徽省森林村庄总体分布均衡程度不高。基于 ArcGIS10.8 空间分析工具对安徽省森林村庄空间分布进行可视化处理(图 1)，总体空间分布差异明显。主要体现在以下两个方面：一，安徽省森林村庄在空间分布态势上呈现“西多东少、北多南少”的显著特征。具体来看，西部大别山、淮北平原地区森林村庄空间分布数量最多，密度较大，集聚于市域内部；皖南丘陵山地、沿江平原区森林村庄空间分布数量较少，密度较低，集聚于市域交界。二，在空间集聚特征上，安徽省森林村庄整体呈现“大分散、小集聚”的分布格局，在以六安、阜阳、安庆等为代表的安徽省西部城市森林村庄呈团块状分布，皖西大别山地地形条件复杂，相对封闭的生态环境有利于其森林资源的保育；以池州、芜湖为代表的皖江城市带及滁州、蚌埠、淮南等地区的森林村庄在空间上呈“东北—西南”条带状分布，这可能是受到长江、淮河流域流向的影响，河网密集状况对森林村庄空间分布产生一定的影响。综合两方面来看，安徽省森林村庄空间分布不均匀，局部集聚特征明显，且呈现由西北部向东南部递减的显著特征。



图 1 安徽省森林村庄空间分布

Figure 1 Spatial distribution map of forest villages in Anhui Province

3.2 不同尺度分布特征

地理学格外注重空间尺度研究，不同尺度上地理要素的空间联系与空间特征不同^[37]。因此，本文将 2021 年安徽省 639 个森林村庄进行区域、市域、县域 3 个空间尺度上的可视化处理，从多尺度空间视角探究安徽省森林村庄的空间联系和空间分布特征。

区域间差异。安徽省以长江、淮河为界可分为三大区域，长江以南为皖南，淮河以北为皖北，位于长江与淮河中间区域的为皖中^[38]。不同区域具有自然资源的空间异质性和生态环境的特征差异性，对森林生态空间规划布局及协调发展产生重要影响^[39]。从三大区域看，安徽省森林村庄空间分布具有典型的非均衡性特征，且区域间差异较大(表 1)。其中森林村庄集中分布于皖中地区，数量最多，仅合肥、六安、滁州、安庆 4 市森林村庄数量高达 285 个，占全省比重的 44.60%;皖北地区次之，6 市共有森林村庄 209 个，占比 32.71%;皖南地区密集程度最低，数量最少，与皖中、皖北地区相比有较大差距。安徽省森林村庄的区域数量分布差异，反映出安徽省森林村庄趋向于经济大市和人口大市集聚分布。

表 1 安徽省不同地区森林村庄分布数量

地区	森林村庄数量(个)	占比(%)
皖南地区	145	22.69
皖中地区	285	44.60
皖北地区	209	32.71

市域尺度差异。将安徽省森林村庄在 16 个地级市上进行可视化表达(图 2)。市域尺度上,安徽省森林村庄高密度集聚区沿皖中地区各城市及皖北地区阜阳市呈现近似倾斜的“V”字型结构特征,整体市域分布形成以安庆、合肥、滁州 3 市为轴线南北较对称的空间格局。安徽省 16 个市级行政区共有 639 个森林村庄,其中六安、阜阳、滁州、安庆 4 个地级市拥有 310 个,占比达 48.51%;5 个地级市拥有 181 个,占比 28.33%;7 个地级市仅拥有森林村庄 148 个,占比 23.16%。从具体地级市来看,六安市是占据安徽省森林村庄数量最多的地级市,总数达 105 个,占比 16.43%;数量最少的为铜陵市,仅有 5 个,占比 0.78%。究其原因,六安市位于皖西大别山地区,相对稳定的生态环境及较为闭塞的交通状况使之易保留丰富的森林资源,森林村庄分布广泛;铜陵市作为矿产资源型城市,工业经济的发展给森林资源造成一定损耗,导致森林村庄占比较少。总的来说,市域尺度上安徽省森林村庄具有多个高密度核心区,且呈连片分布格局,空间分布数量差异受到各地区自然环境及社会经济的多重影响。

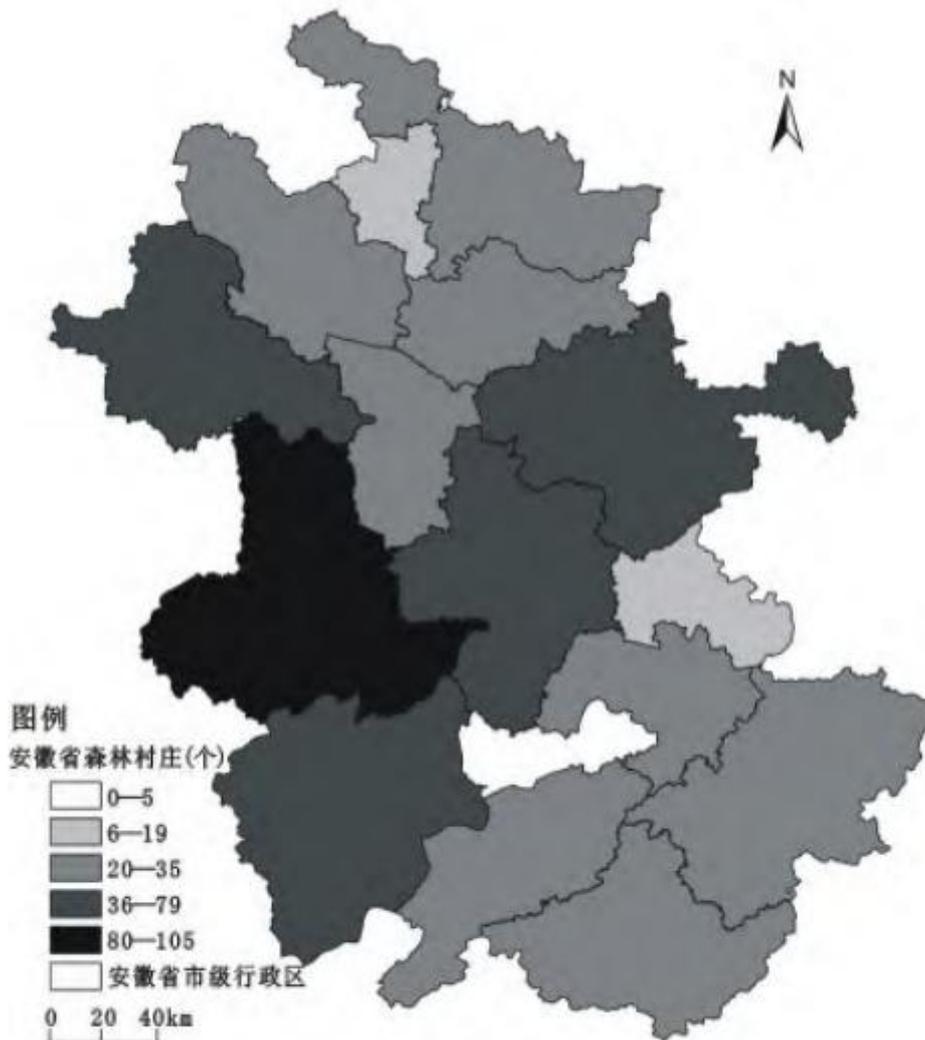


图2 安徽省森林村庄市域分布

Figure 2 Urban distribution of forest villages in Anhui Province

县域尺度差异。将安徽省9个县级市、44个区和52个县的639个森林村庄通过可视化表达，进一步探究县域尺度上安徽省森林村庄的空间分布特征(图3)。从县域尺度上看，安徽省森林村庄总体呈现星罗棋布的分布格局，在中、西部地区形成散点状高密度集聚区。与市域尺度相比，安徽省森林村庄的空间集聚区在县域空间尺度上数量少且呈分散分布，集聚中心主要分布在六安中西部、阜阳西部及合肥、滁州境内；皖南丘陵山区因发展定位的特殊性，空间凝聚程度低且整体分布趋于均衡发展。从具体区县来看，安徽省森林村庄集中分布于六安市金寨县、裕安区、舒城县及阜阳市临泉县4个区县，总数达75个，占全省比重的11.74%，其中六安市金寨县数量最多，占比4.38%，以原始森林为资源发展旅游的金寨县，将第一产业与第三产业较好融合，使之生态系统保存完好，加上复杂的地域条件，村庄景观受外界扰动较小，森林村庄广泛分布。总体而言，全省森林村庄在县域尺度上空间分布差异较大，无明显空白窗口，说明各地区均有一定规模的森林资源基础，但空间分布不均。

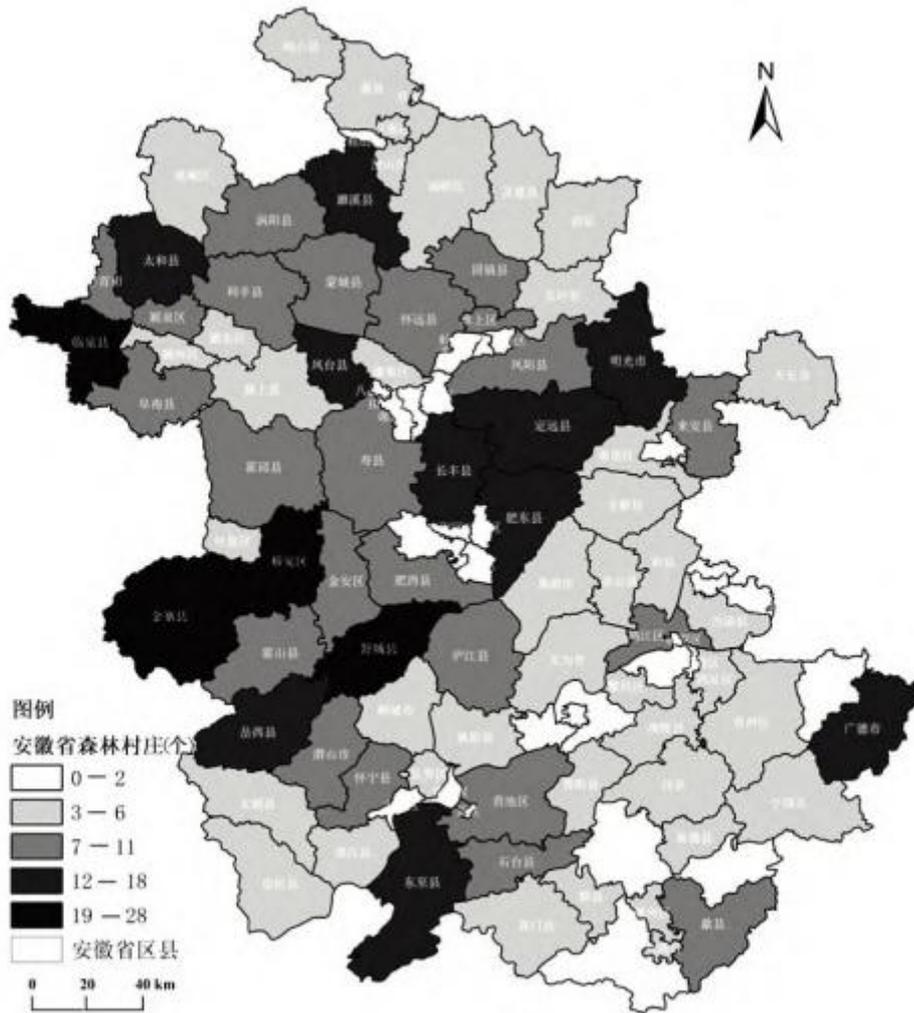


图3 安徽省森林村庄县域分布

Figure 3 County distribution of forest villages in Anhui Province

3.3 空间密度分布特征

基于 ArcGIS10.8 中的密度分析工具对安徽省森林村庄空间分布进行核密度分析,采用自然断点法分为 6 类,生成安徽省森林村庄空间分布密度图(图 4),结果表明森林村庄在空间上呈现不平衡发展状态,形成多核心分布态势。安徽省森林村庄空间分布上呈现两条高密度集聚带,5 个显著核心区和 5 个次级密度核心。高密度集聚带呈现出阜阳—六安—池州一线与淮南—合滁交界—芜湖一线两条近似平行状南北延伸的带状分布,且形成全包围式空间结构;5 个显著核心区分别是以阜阳市为核心的西部核心和北部核心,以六安市为核心的中部核心和东南部核心及合滁交界核心,团块状连片式分布结构明显;5 个次级密度核心即宿淮交界次核心,淮亳交界次核心,以芜湖市为核心的东部次核心,以安庆市为核心的东南部次核心和以宣城市为核心的东部次核心,在地理空间上呈散点式随机分布。从空间分布结构看,安徽省森林村庄的显著核心区与次级核心区多分布于市域内部,说明森林村庄在市域内部发展稳定,应注重市内保护与建设,这主要是由于森林资源的保护与开发受行政边界效应影响较大。总体上看,安徽省森林村庄空间密度分布经向地带性差异显著,折射出自然资源与人文要素的经向地带性。安徽省森林村庄的整体密度分布特征,不仅是对区域资源禀赋的印证,也在一定程度上反映了森林村庄的保护实践与发展行动。

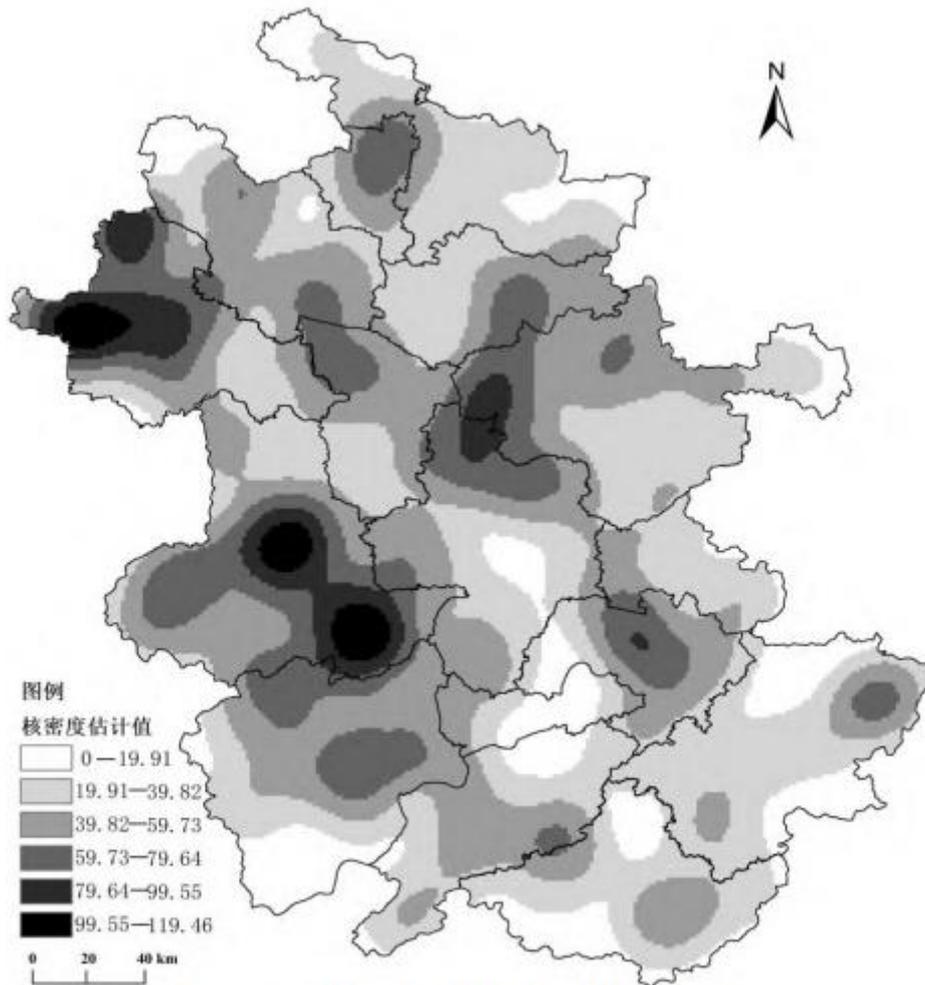


图4 安徽省森林村庄核密度空间分布

Figure 4 Spatial distribution of nuclear density in forest villages in Anhui Province

3.4 空间关联分布特征

以安徽省16个地级市为基本空间单元，运用ArcGIS10.8空间自相关工具，对安徽省森林村庄分布的全局自相关进行测算，结果得出安徽省森林村庄空间分布的全局Moran's I指数=0.1823>0, Z-Score=2.9147>1.96, P-Score=0.0036<0.05, 表明安徽省森林村庄的空间分布存在较强的空间自相关性，且省内不同地区呈现各自的显著集聚特征。为更加直观分析安徽省森林村庄局部集聚特征，基于ArcGIS10.8软件对森林村庄局部自相关特征进行县域尺度分析(图5)，发现森林村庄的空间分布存在高高集聚、高低集聚、低高集聚和低低集聚4种类型的集聚区域。其中，高高集聚呈现镰刀型半包围状分布形态，在六安市形成大规模片区集聚，主要分布于金安区和霍山县，表明六安市金安区与霍山县森林村庄发展水平高，在空间关联中呈扩散效应。高低集聚呈小规模散点状分布，主要分布在蚌埠市怀远县、合肥市长丰县、芜湖市鸠江区等区域内，说明这些区域内森林村庄发展水平高，但其周围区域森林村庄发展水平低。低高集聚主要分布在六安市叶集区和阜阳市界首市，该类型分布范围最小且在空间上呈分散分布。低低集聚集中分布在长江流域安徽段下游地区，并在蚌埠市禹会区和淮南市大通区交界处形成小规模集聚，在马鞍山市雨山区、当涂县和博望区内部形成较大规模集聚，最大规模集聚区域分布在铜陵市、芜湖市和池州市的交界地带，以铜陵市义安区和南陵县为中心向其周围繁昌区、铜官区与青阳县等毗邻县区辐射形成。整体而言，安徽省森林村庄空间关联以正相关类型为主，低低集聚占局部空间自相关区域的38.67%，且形成三大集聚片区，空间集聚性较强；高高集聚在六安市形成

镰刀型分布形态，占局部空间自相关区域的 23.18%。负相关类型集聚空间分布密度低，高低型与低高型集聚分别占局部空间自相关区域的 38.15%，空间异质性特征较弱。

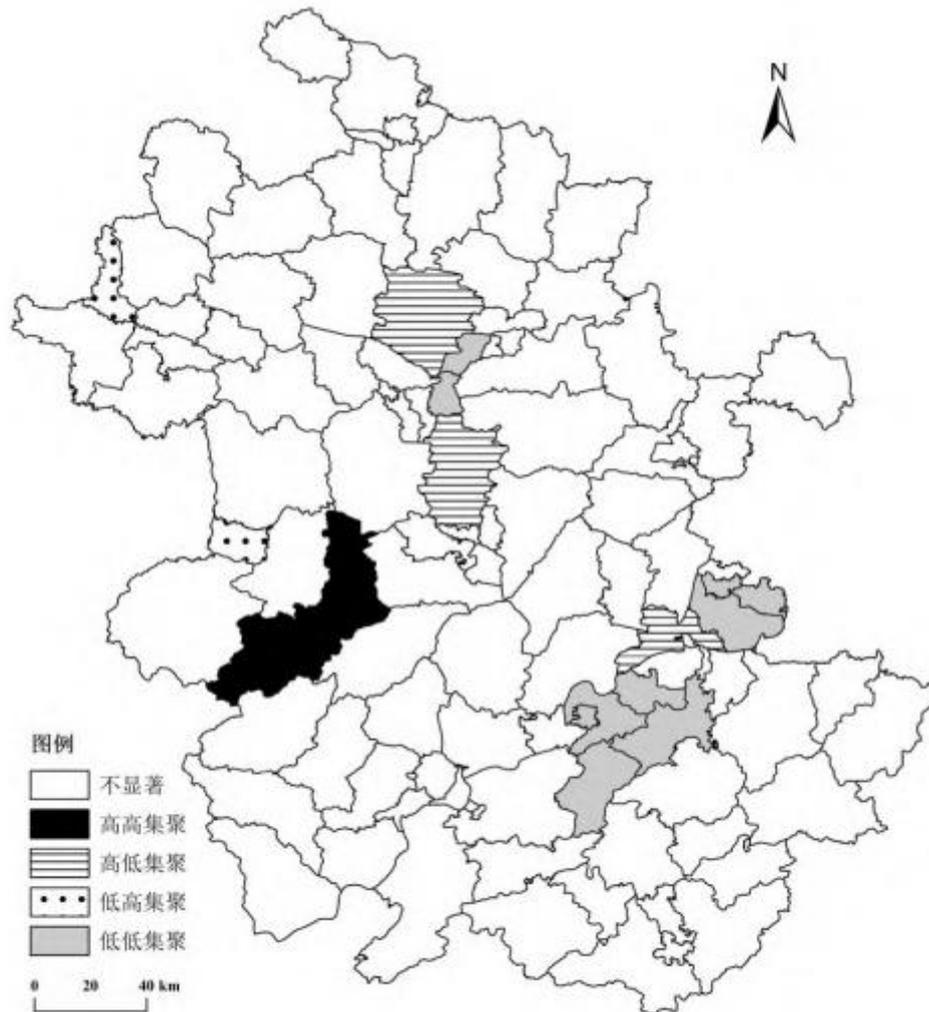


图 5 安徽省森林村庄局部自相关分析结果

Figure 5 Local autocorrelation analysis results of forest villages in Anhui Province

4 森林村庄空间分布的影响因素

4.1 地形地貌

地形通过影响坡度、土壤湿度及物质组成等对森林村庄的空间分布产生影响[40]。将安徽省森林村庄点矢量分布图与安徽省 DEM 数字高程图叠置(图 6a)，计算不同海拔高程上森林村庄的数量分布情况，结果显示安徽省 639 个森林村庄中有 575 个森林村庄位于海拔高度 200m 以下(表 2)，占比 89.99%；仅有 16 个森林村庄位于海拔高度 500m 以上，占比 2.50%，表明安徽省森林村庄集中分布于地势低平的平原丘陵地带。

从区域环境上看，安徽省北部森林村庄形成多核心密度集聚区，主要分布于以阜阳市为核心向四周扩散的淮河平原区，广阔的冲积平原不仅塑造了肥沃的土壤，而且形成了水源充足的良好生态环境，为森林村庄的形成与发展提供了优良的物质基础；

中部地区地形分布以江淮台地丘陵区为主，地势平坦开阔，森林村庄形成部分密集区；南部地区地形分布以皖南山地丘陵为主，森林村庄主要分散分布于九华山山系、黄山山系及天目山山系三条平行山系间的谷地及盆地中，整体分布密度低且数量较少。相比之下，安徽省森林村庄多沿低地、平原、河谷等地势低平地区分布，并在淮北平原与沿江平原等地势条件相对优越的地形区形成多核心集聚片区。

表 2 安徽省森林村庄与地形地貌的近邻分析

海拔高程范围 (m)	森林村庄数量 (个)	占比 (%)
<100	512	80.13
100—200	63	9.86
200—500	48	7.51
>500	16	2.50

4.2 河流水系

森林村庄的形成和发展与河流水系密切相关，地区内森林资源量的丰富程度与该地水资源质量、数量有直接关联[41]。将安徽省主要水系进行 5km、10km、20km 的多环缓冲区分析，并将其与安徽省森林村庄的点状矢量图进行叠合(图 6b)。结果表明，安徽省森林村庄距主要水系 20km、10km、5km 缓冲区范围内分别有森林村庄 484 个、324 个、193 个，依次占总量的 75.74%、50.7%、30.02%(表 3)，说明安徽省森林村庄空间分布与河流水系间具有显著正相关关系。

但不同流域间森林村庄分布特征有所差异，淮河流域以阜南、凤台、明光等县域地区为凝聚中心的空间分布形态突出，境内数量分布最多，呈散点状零散分布；长江流域内空间分布具有不均衡态势，长江自西向东先后流经安庆、池州、铜陵、芜湖至马鞍山市和县附近流入江苏省境，森林村庄自西向东数量分别为 57 个、33 个、5 个、29 个、15 个，呈自西向东逐渐递减的态势；新安江流域内森林村庄集聚区呈西南—东北向条带状走势与新安江水系流向较为一致，境内数量分布最少，空间异质性较弱。总体来说，安徽省森林村庄在三大流域内均沿河流走势呈现条带状密集型分布，发达的河网水系不仅能够为农民生产生活提供基本自然物质基础，充沛的水资源更是为森林资源的健康性发展与保护性开发创建平稳发展条件和良好生态环境。

表 3 安徽省森林村庄与河流水系的近邻分析

与最近河流垂直距离 (m)	森林村庄数量 (个)	占比 (%)
<5 000	193	30.20
5 000—10 000	131	20.50
10 000—20 000	160	25.04
>20 000	155	24.26

4.3 交通区位

人类活动是短时空尺度内乡村森林景观变化的主要动力，而交通路网作为连接乡村内部及城乡间最重要的基础设施，是人类活动的主要扩展通道，促使生态资源的要素流动^[42]。借助 ArcGIS10.8 中的空间分析工具，将安徽省主要道路进行 1km、3km、5km 的多环缓冲区分析，并与安徽省森林村庄的点状矢量图进行叠加(图 6c)，发现森林村庄主要沿着省域交通干线分布，并于交通线路密集区产生集聚。经分析得出，安徽省森林村庄距主要道路 3km 缓冲区范围内的森林村庄数量达 490 个，占全省比重的 76.68%(表 4)，且呈远距离衰减的显著态势。便利的交通条件可加强乡村内外部人流、物质流、信息流、资金流等网络流动，为森林资源保护、森林景观整治、乡村人居环境改善和新农村建设提供基本条件，进而促进森林村庄的高质量保护与可持续发展。由此可见，交通区位是影响安徽省森林村庄空间分布的重要因子。距离交通线越近，路网密集，森林村庄相对较多；距离交通线越远，路网稀疏，森林村庄相对较少。

表 4 安徽省森林村庄与交通区位的近邻分析

与最近道路垂直距离 (m)	森林村庄数量 (个)	占比 (%)
<1 000	268	41.94
1 000—3 000	222	34.74
3 000—5 000	89	13.93
>5 000	60	9.39

4.4 人口密度

人既是乡村生态环境的建设者也是生态环境的消费者^[43]，以人为本是森林村庄建设的基本原则，森林资源的保护与发展亦离不开乡村居民环境保护意识的提高及节能低碳行动的实施。本文选取安徽省各地级市常住人口作为衡量安徽省各地区人口密度的指标，并将安徽省市域人口数量分布图与安徽省森林村庄点状矢量图叠置(图 6d)，可以看出安徽省森林村庄集中分布于人口大市，并在人口密集区产生集聚。

进一步对比分析安徽省各地级市常住人口与森林村庄数量，发现安徽省市域常住人口数与森林村庄数量间存在高度耦合关系，人口越密集的地区，森林村庄数量相对较多。值得注意的是，宿州市、亳州市人口密度相对较高，但森林村庄数量较少；池州市人口密度相对较低，但其森林村庄数量较多，可能是受到自然地理环境差异、经济发展水平与发展方式的多重影响。人口集聚伴随丰富的人力资源，有助于地区开展以水土保持和人工林工程建造为主的生态环境建设，且森林村庄与人口密度间形成高度耦合协调关系，说明人口密度是影响安徽省森林村庄空间分布的又一重要因素。

4.5 经济基础

经济发展阶段及发展方式对森林村庄的保护与建设产生深刻影响^[44]。以各地级市人均 GDP 作为衡量安徽省经济发展状况指标，将安徽省森林村庄点状矢量图与安徽省市域经济发展状况进行叠合(图 6f)，安徽省经济上空间分异呈现南高北低、东高西低的明显特征，经济发展整体呈不均衡状态，与安徽省市域尺度上森林村庄的空间分布特征大体呈相反态势。

为进一步量化上述结论，运用公式(5)，将安徽省森林村庄与安徽省市域地区进行相关分析，计算结果为 $r_{xy}=-0.28$ ，表明安徽省各地区村庄数与经济状况之间呈异向相关。对比分析安徽省各地级市人均 GDP 与森林村庄数量，发现经济发展状况与森林村庄呈现反向变化特征，但仍有突出异常值存在，主要表现为两大类型：一是以合肥市为代表的“高一高”型地区，该类型地

区经济发展水平高，森林村庄数量相对较多。近年来，合肥市的科技创新优势日益突出，不断加快高新技术产业转型与产品结构优化升级，通过土地资源的集约节约、空间组织的创新发展，不断增强对绿色空间的保护与利用，全面推进以优化产业结构为核心的绿色低碳经济发展和以林业工程建设为核心的生态环境建设，使经济增长、资源建设及能源消费间得以协调发展；二是以宿州市为代表的“低—低”型地区，该类型地区经济水平相对落后，森林村庄数量少。由于宿州等地以集聚性木材加工业为主的第一产业消耗了大量森林资源，加之其在地理区位上受中心城市辐射带动效应较弱，科技引领及产业转型相对缺乏，从而导致该类地区经济发展与资源保护间相对失衡。总体而言，经济发展结构及发展方式对森林村庄空间分布产生重要影响，稳定的经济环境易于森林村庄的保留，但在高质量发展阶段，以“双碳”目标为指引，贯彻创新、绿色、协调的新发展理念，构建以优化产业结构、能源结构为核心的绿色低碳新经济发展格局才能实现经济—生态系统协调发展。

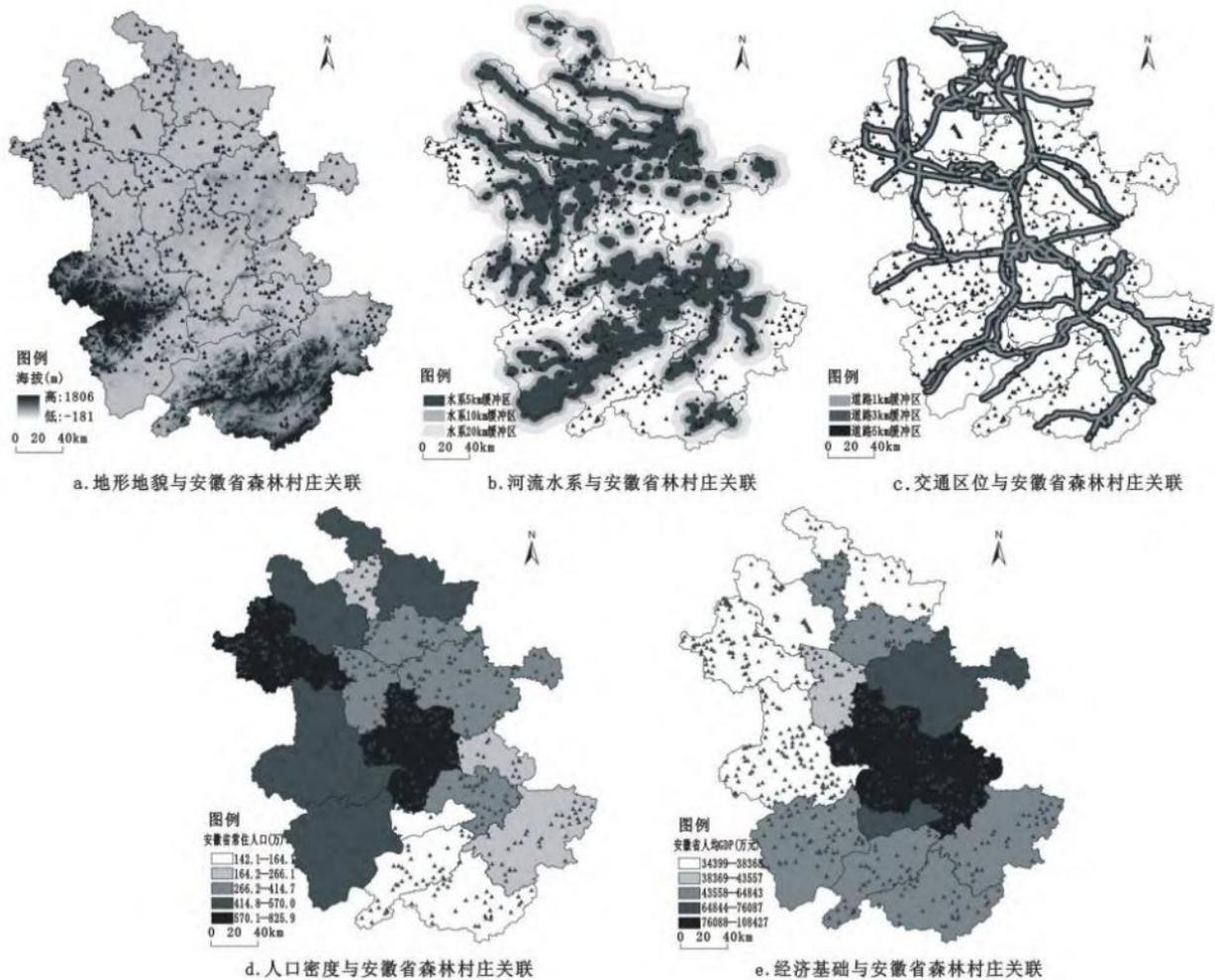


图6 安徽省森林村庄分布的影响因素
Figure 6 Influencing factors of forest village distribution in Anhui Province

5 结论与讨论

5.1 结论

为促进乡村生态系统高质量发展，本文基于 ArcGIS10.8 空间分析工具及数理统计方法，对 2021 年安徽省 639 个森林村庄的空间分布特征进行了研究，并分析其影响因素。主要结论如下：①总体分布上，安徽省森林村庄空间分布差异明显，呈现西多东少、北多南少的明显特征；在空间集聚上呈现“大分散、小集聚”的分布格局，在六安、阜阳、安庆等为代表的安徽省西部城市森林村庄呈团块状分布，中南部地区具有“东北—西南”条带状分布特征。②区域特征上，安徽省森林村庄在区域、市

域和县域尺度上均存在显著差异。区域尺度上,安徽省中部地区森林村庄数量最多,集聚特征明显,北部地区次之,南部地区数量最少,仅占全省比重的22.69%;市域尺度上,安徽省森林村庄高密度集聚区沿皖中地区各城市及皖北地区阜阳市呈现近似倾斜的“V”字型结构特征,总体市域分布形成以安庆、合肥、滁州4市为轴线南北较对称的空间格局;县域尺度上安徽省森林村庄呈分散分布,在中、西部地区形成散点状高密度集聚区。③整体密度上,安徽省森林村庄高密度集聚带呈现阜阳—六安—安庆—池州一线与亳州—淮南—合滁交界—芜湖一线两条近似平行状南北延伸的带状分布,且形成5个显著核心区和5个次级密度核心。④空间关联上,安徽省森林村庄空间分布呈现较强的空间自相关性,县域尺度上空间关联以正相关类型为主,且空间集聚性强,在六安市形成镰刀型集聚分布形态;负相关类型集聚空间分布密度低,空间异质性特征较弱。⑤影响因素上,安徽省森林村庄主要受自然及社会经济要素的综合影响。具体来看,平坦的地形、充足的水源是安徽省森林村庄形成的自然环境基础;较高的人口密度、发达的交通通达度等社会发展状况为森林村庄的保护发展提供了重要条件;区域间的经济状况也对森林村庄产生一定的影响,整体上呈现显著负相关关系,但仍有突出异常值出现,主要表现为以合肥市为代表的“高一高”型地区和以宿州市为代表的“低—低”型地区。

5.2 讨论

安徽省森林村庄是推动农业农村现代化、乡村生活空间优化、生态空间宜居的重要载体,是保障乡村及城市生态系统健康稳定发展的重要举措,是对国家“双碳”目标的积极响应,其空间分布情况可揭示森林村庄发展水平的差异,在某种程度上间接反映了安徽省乡村生态环境及森林资源分布状况。“双碳”目标的提出对我国经济—生态系统协调发展将产生变革性影响,是应对全球气候变暖、绿色低碳发展及生态文明建设的重要指南,而森林资源的建设与保护是实现碳达峰碳中和目标的关键一环和重要手段,对贯彻创新、绿色、协调的新发展理念、构建绿色低碳新发展格局、推动生态文明高质量发展具有重大意义。安徽省作为长三角区域生态环境保护的后备区,以高质量发展与生态资源建设为导向积极落实生态文明发展理念,以森林资源为主体的生态文明建设日渐成效。因此本文以安徽省为案例地,从多个维度并运用多尺度空间分析对森林村庄空间分布特征进行剖析,一方面有利于丰富森林村庄相关研究,另一方面也有助于明晰安徽省以森林资源为代表的乡村生态资源状况,为未来村庄建设提供决策性参考。

由于受数据获取及论文篇幅影响,本文在对安徽省森林村庄空间联系及空间分布的影响因素及其相互作用上仍有待完善。值得注意的是,安徽省对长三角地区具有重要的生态保障作用,是长三角地区生态文明战略的大后方,探究安徽省以森林资源为主体的生态村庄在长三角地区发挥的生态功能,不仅有利于突出安徽省生态文明建设的战略地位,而且是长三角地区低碳转型与高质量发展的必然要求。因此,安徽省森林村庄生态系统服务价值及其对长三角地区的生态环境影响是后续研究应深化的命题。

参考文献

- [1] 周婷,陈万旭,李江风,等.神农架林区人类活动与生境质量的空间关系[J].生态学报,2021,41(15):6134-6145.
- [2] 张旭,魏福丽,袁旭梅.中国省域高质量绿色发展水平评价与演化[J].经济地理,2020,40(2):108-116.
- [3] 中华人民共和国中央人民政府.中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见[EB/OL].http://gov.cn/xinwen/202110/25/content_5644687.htm.
- [4] 刘燕华,李宇航,王文涛.中国实现“双碳”目标的挑战、机遇与行动[J].中国人口·资源与环境,2021,31(9):1-5.
- [5] 冯丹娃,曹玉昆.“双碳”战略目标视域下我国林业经济的转型发展[J].求是学刊,2021,48(6):91-100.

-
- [6] 徐北瑶,王体健,李树,等.“双碳”目标对我国未来空气污染和气候变化的影响评估[J].科学通报,2022,67(8):784-794.
- [7] 孙贤斌,傅先兰,倪建华,等.安徽省会经济圈碳排放强度与生态补偿研究[J].地域研究与开发,2012,31(1):135-138.
- [8] 陆林,任以胜,朱道才,等.乡村旅游引导乡村振兴的研究框架与展望[J].地理研究,2019,38(1):102-118.
- [9] 安徽省林业局.安徽省森林村庄申报命名和考核验收办法[EB/OL].[2013-06-17].<https://lyj.ah.gov.cn/xwzx/gsgg/39132147.htm>.
- [10] Kim G W,Kang W,Park C R,et al.Factors of spatial distribution of Korean village groves and relevance to landscape conservation[J].Landscape & Urban Planning,2018,176(8):30-37.
- [11] Liisa T,Ismo N.Effect of afforestation on the scenic value of rural landscape[J].Scandinavian Journal of Forest Research,1996,11(4):397-405.
- [12] Sulaiman M B,Salawu K,Barambu A U.Assessment of concentrations and ecological risk of heavy metals at resident and remediated soils of uncontrolled mining site at Dareta Village,Zamfara,Nigeria[J].Journal of Applied Sciences and Environmental Management,2019,23(1):187-193.
- [13] Alexander S M,Norman C M.The dynamics of rural land use change:The case of private sector afforestation in Scotland[J].Land Use Policy,1988,5(1):103-120.
- [14] Muller D,Munroe D K.Changing rural landscapes in Albania:Cropland abandonment and forest clearing in the postsocialist transition[J].Annals of the Association of American Geographers,2008,98(4):855-876.
- [15] Kumar H,Pandey B W,Anand S.Analyzing the impacts of forest ecosystem services on livelihood security and sustainability:A case study of Jim Corbett National Park in Uttarakhand[J].International Journal of Geoheritage and Parks,2019,7(2):45-55.
- [16] Mikusiński G,Niedziakowski K.Perceived importance of ecosystem services in the Biaowiea Forest for local communities—Does proximity matter?[J].Land Use Policy,2020,97(9):104-113.
- [17] Kalonga S K,Kulindwa K A.Does forest certification enhance livelihood conditions?Empirical evidence from forest management in Kilwa District,Tanzania[J].Forest Policy and Economics,2017,74(1):49-61.
- [18] Mbuvi D,Boon E.The livelihood potential of non-wood forest products:The case of Mbooni Division in Makueni District,Kenya[J].Environment Development & Sustainability,2009,11(5):989-1004.
- [19] Flora B,Lisa L B,Paul K,et al.Institutionalising co-management activities for conservation of forest resources:Evidence from the Sundarban mangrove forest management of Bangladesh[J].Journal of Environmental Management.2021,298(15):113-124.
- [20] Badano E I.Conservation and restoration of Mexican forests in the global change scenario:A shared

responsibility with multiple benefits[J].Madera Bosques,2011,17(2) :7-18.

[21] 孙志远.生态旅游视角下的乡村景观开发与保护研究——以广西为例[J].中国农业资源与区划,2017,38(8) :209-213.

[22] 王震,庞赞,张建国.乡村生态养生旅游景区开发适宜性评价研究[J].中国农业资源与区划,2018,39(11) :225-233.

[23] 席建超,赵美风,葛全胜.乡村旅游诱导下农户能源消费模式的演变——基于六盘山生态旅游区的农户调查分析[J].自然资源学报,2011,26(6) :981-991.

[24] 傅丽华,谢美,彭耀辉,等.旅游型乡村生态空间演化与重构——以茶陵县卧龙村为例[J].生态学报,2021,41(20) :8052-8062.

[25] 王飞,叶长盛.鄱阳湖生态经济区乡村转型与土地利用变化的耦合关系[J].水土保持研究,2018,25(6) :284-291.

[26] 任以胜,陆林,虞虎,等.尺度政治视角下的新安江流域生态补偿政府主体博弈[J].地理学报,2020,75(8) :1667-1679.

[27] 徐秀美,郑言.基于旅游生态足迹的拉萨乡村旅游地生态补偿标准——以次角林村为例[J].经济地理,2017,37(4) :218-224.

[28] 熊鹰,孙维筠,魏晓,等.南方丘陵山地生态系统服务与农村社区协同发展模式研究——以广东乐昌市8个乡村为例[J].生态学报,2020,40(18) :6505-6521.

[29] 杨浩勃,黄斌欢,姚茂华.乡村环境的协同治理:生态政治学与社会的生产[J].农业现代化研究,2015,36(1) :28-33.

[30] 房逸靖,张治栋.要素流动、技术扩散与地区间经济差距——基于长三角城市群的经验证据[J].区域经济评论,2021,(3) :66-75.

[31] 安徽省林业局.关于2021年度拟命名安徽省森林城市、森林城镇和森林村庄名单的公示[EB/OL].<https://lyj.ah.gov.cn/xwzx/gsgg/40507657.html>.

[32] 谢志华,吴必虎.中国资源型景区旅游空间结构研究[J].地理科学,2008,28(6) :748-753.

[33] Berke O.Exploratory disease mapping:Kriging the spatial risk function from regional count data[J].International Journal of Health Geographics,2004,3(1) :18.

[34] Sridharan S,Tunstall H,Lawder R,et al.An exploratory spatial data analysis approach to understanding the relationship between deprivation and mortality in Scotland[J].Social Science & Medicine,2007,65(9) :1942-1952.

[35] 刘勇,井文涌.地理信息系统技术及其在环境科学中的应用[J].环境科学,1997,(2) :64-67.

[36] 汤国安,杨昕.地理信息系统空间分析实验教程[M].北京:科学出版社,2012.

[37] 何小芊,龚胜生,胡娟,等.基于不同尺度的湘鄂赣地区传统村落空间分异及影响因素[J].长江流域资源与环境,

2019, 28(12) : 2857-2866.

[38] 胡文海, 孙建平, 余菲菲. 安徽省区域旅游经济发展的时空格局演变[J]. 地理研究, 2015, 34(9) : 1795-1806.

[39] 尚正永, 张小林, 卢晓旭, 等. 安徽省区域城市化格局时空演变研究[J]. 经济地理, 2011, 31(4) : 584-590.

[40] 丛俊霞, 郑晓, 朱教君, 等. 沙地樟子松天然林地上碳储量估算及其空间分布特征[J]. 生态学杂志, 2017, 36(11) : 2997-3007.

[41] 刘民士, 刘晓双, 侯兰功. 基于水足迹理论的安徽省水资源评价[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(2) : 220-224.

[42] 曹飞, 邵景安, 马雪莹, 等. 三峡库区社区水平乡村路网对森林景观变化的影响[J]. 自然资源学报, 2018, 33(8) : 1363-1375.

[43] 戈大专, 陆玉麒, 孙攀. 论乡村空间治理与乡村振兴战略[J]. 地理学报, 2022, 77(4) : 777-794.

[44] 陈刚, 吴清, 杨俭波, 等. 中国国家森林乡村的空间分布特征与影响因素[J]. 经济地理, 2021, 41(6) : 196-204.