

上海城郊嘉定区自然景观格局时空演变特征及驱动因素分析

Spatial-Temporal Evolution and Driving Factors of Natural Landscape Pattern in Jiading District, Shanghai Suburb

龚苏宁^{1,2} 张琳^{2*}
GONG Suning^{1,2} ZHANG Lin^{2*}

(1.上海工艺美术职业学院城市设计学院, 上海 201808; 2.同济大学建筑与城市规划学院, 上海 200092)
(1. College of Urban Design, Shanghai Art & Design Academy, Shanghai, China, 201808; 2. College of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai, China, 200092)

文章编号: 1000-0283(2025)10-095-11
DOI: 10. 12193 / j. laing. 2025. 10. 095. 012
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2025-02-23
修回日期: 2025-04-06

摘要

快速城市化进程下上海城郊“水林田湖草”自然景观的格局正经历着巨大嬗变, 揭示其时空演变规律能为新形势下国土空间规划、生态专项规划及风貌规划提供科学依据。以上海城郊嘉定区自然景观为研究对象, 借助GIS技术、土地利用转移矩阵及地理探测器分析法, 选取2000–2020年间的三个时间节点探析自然景观格局时空演变的特征和驱动因素。研究表明:(1)嘉定区耕地、草地、森林流失加剧, 转向建设用地的转移量较大。(2)自然景观的多样性逐渐减少、破碎度增强、复杂性上升。(3)影响自然景观格局的主导驱动力逐渐由自然环境因子转向以建设活动为代表的人为干预因子, 尤其是政策调控与植被状况之间的交互效应在三个时期中持续增强, 表明区域生态格局受城市扩张与政策导向共同作用的影响日益显著。主导驱动力演变趋势的识别可为城郊过渡区生态保护边界划定、保育优先区识别与分区分类生态管控策略制定提供理论支撑, 推动区域精细化管理与可持续发展, 为类似地区的研究与规划实践提供参考。

关键词

自然景观格局; 时空演变特征; 驱动因素; 地理探测器; 城郊

Abstract

Under the influence of China's rapid urbanization process, the landscape pattern of the natural landscape, such as "rivers, forests, fields, lakes, and grass" in the suburbs of Shanghai, has undergone significant changes. Revealing the rule of their spatial-temporal evolution can provide a scientific basis for the preparation of territorial spatial planning, ecological special planning, and urban and rural landscape planning under the new situation. Taking the natural landscape of Jiading District in suburban Shanghai as the research object, this paper selects three time nodes from 2000 to 2020 to explore the characteristics and driving factors of the spatial-temporal evolution of natural landscape pattern with the help of GIS technology, land use transfer matrix, and geographical detector analysis. The results show that: (1) The loss of cultivated land, grassland, and forest in Jiading is intensified, and the transfer of land to construction is large. (2) The diversity of natural landscape gradually decreased, the fragmentation degree increased, and the complexity increased. (3) The primary driving force influencing the natural landscape pattern has gradually transitioned from natural environmental factors to human intervention, particularly construction activities. Notably, the interaction between policy regulation and vegetation status has progressively intensified across the three periods, suggesting that the synergistic effects of urban expansion and policy direction increasingly shape the regional ecological pattern. The identification of the evolutionary trend of the dominant driving force can provide theoretical support for the delineation of the ecological protection boundary of the suburban transition zone, the identification of the conservation priority area and the formulation of the ecological control strategy of zoning classification, which can promote the fine management and sustainable development of the region, and provide a reference for the research and planning practice of similar areas.

Keywords

natural landscape pattern; spatial-temporal evolution characteristic; driving factor; geographical detector; suburb

龚苏宁

1976年生/男/江苏连云港人/在读博士研究生/正高级工艺美术师/研究方向为风景园林及旅游规划

张琳

1979年生/女/辽宁沈阳人/博士/副教授、博士生导师/研究方向为风景园林及旅游规划

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: tongjizhanglin@163.com

基金项目:
上海市哲学社会科学规划课题“长三角一体化发展背景下乡村地方性景观评价及优化研究”(编号: 2023BCK011)

处于城市与乡村二元结构交接地带的城郊在用地功能、景观风貌、经济结构等方面融合了城乡两种功能和特征^[1]。随着全球化和城市化进程的快速推进,城郊承接了城市更多外溢功能,近期其空间格局、土地利用类型、产业结构、开发程度等都发生了较大变化,大量耕地转为建设用地,原有的地方自然肌理和景观格局逐步被蚕食,自然生态空间正遭受不断扩展的生产和生活空间的挤压,导致生态系统退化及其服务功能下降,城郊已成为城乡生态维护与发展建设矛盾尤为突出的地区。为应对日益严峻的自然生态环境问题,加速中国生态文明建设的步伐,确保生态系统功能的完整性和可持续性发展,中国共产党第二十次全国代表大会明确指出:坚持绿水青山就是金山银山的理念,坚持山水林田湖草沙一体化保护和系统治理,全方位、全地域、全过程加强生态环境保护^[2]。各地相关部门纷纷致力于生态保护和修复工程的实施,但尚未产生显著效果。

面对以上问题,国内外学者积极探索城郊景观的改善模式和提升路径,提出自然解决方案^[3]、遗产廊道景观^[4]、城乡优势互补^[5]、弹性规划^[6]、分散城市^[7]等策略和理念。近年来不少学者运用景观格局指数分析法对土地利用^[8]、生境质量^[9]、乡村景观^[10]等进行研究,针对水网景观^[11]、基塘景观^[12]、森林景观^[13]等自然景观格局进行专项研究,并探讨自然、风水、人为、地形、经济等因素的驱动作用^[14],认识到自然环境与人工环境、社会环境耦合适应过程中形成的阶段性及稳定性特征,具有强烈的多样性、动态性、复合性、差异性^[15]。已有研究在研究内容上,有研究注重“山水林田湖草沙”单一类型自然景观的格局变化,缺少针对多类型自然景观的系统化格局联动演变分析;在地理空

间上大多针对城市^[10]、乡村^[14]和单一村镇^[11]等景观格局研究,很少有研究专门探究“城郊”这一特殊地理空间的自然景观格局;在驱动因素研究上,多采用单因子的驱动作用排序方法,未考虑时空演变过程中多因子交互作用的影响力。因此,本研究以上海城郊嘉定区的自然景观为研究对象,通过土地利用转移矩阵和景观格局指数比较分析,探析2000–2020年间自然景观格局动态演变特征。景观格局指数作为量化空间格局特征的核心工具,能够从多维度分析自然景观在形状、分布、聚集程度及多样性等方面的变化特征,有助于揭示生态系统结构演化趋势,为深入理解景观过程与生态功能的关联提供基础支撑。同时,运用地理探测器分析不同时期演变驱动因子对自然景观格局的交互作用机制,推导城市建设快速发展下优化城郊自然景观格局的策略,为城郊环境高质量建设提供理论参考。

1 研究设计

1.1 研究区域

上海西北郊嘉定区面积为463.55 km²,下辖三个街道、7个镇,另设一个管委会、一个工业区,境内地势较为平坦,河流纵横交错。对嘉定区进行研究的原因:(1)嘉定区近期以建设世界级汽车产业中心为目标,集成电路与物联网技术、新能源汽车及智能制造等产业逐步成为区域经济快速发展的新引擎,近20年GDP一直位居上海市前列。(2)嘉定城市建设活动与自然生态环境相互博弈权衡,近20年建设用地增加了140.13 km²,而水域和耕地面积分别减少了257 km²和138.56 km²。(3)为了应对自然环境骤变问题,规划管理部门编制的《上海市生态空间专项规划(2018–2035)》《上海市嘉定区总体规划暨土地利用总体规

划(2017–2035)》等提出将嘉定区建设成“以水为源、以绿为脉”的“绿色乐活示范型城区”^[16]。因此,嘉定区已成为经济和城市建设加速增长下城郊自然景观格局突变的典型代表,近期相关法定规划和政策在注重城郊快速建设的同时,也关注自然生态环境建设,深入剖析嘉定区自然景观格局演变特征及其驱动机制,能为类似城郊的规划和研究提供可借鉴经验和参考。

1.2 自然景观用地分类

自然景观是指受自然环境影响而非源自人类活动干预形成的水域、森林、草原及裸地等,至今尚未形成统一分类标准。联合国粮食及农业组织将其划分为陆地、水域及周期性被水淹没的区域^[16]。联邦地理数据委员会构建多层分类体系,首层为水体、陆地与冰雪,其次植被覆盖情况分为8类,后续层依据实际需求调整^[17]。中国《土地利用现状分类》^[18]将土地利用分为:耕地、林地、草地、园地、商服用地、住宅用地、水域和水利设施用地等73类用地^[19]。全国遥感监测土地利用覆盖数据分为:耕地、水域、草地、林地、未利用土地及城乡工矿居民用地等^[20]。随着人类活动不断扩展,自然景观面临耕地向建设用地转化的趋势,这两种用地类型对自然景观演变及生态服务功能产生深刻影响。因此,本文借鉴以上分类方法和相关文献指标^[6,14],聚焦于嘉定区耕地、水域、森林、草地、裸地及建设用地等要素,综合分析自然景观格局的演变特性与内在规律。

1.3 数据来源

表1介绍了本研究涉及的数据来源及详细说明。运用ArcGIS Pro 3.2对研究区内所有栅格数据进行按掩膜提取和裁剪,并收集相关

表1 数据及详细描述
Tab. 1 Data source and detailed description

数据 Data	数据来源 Data source	应用指标 Application index
中国 30 m 的年度土地覆盖数据 ^[20]	Landsat 的年度中国 Google Earth Engine (GEE) 平台上的土地覆盖数据集, 分辨率为 30 m	土地利用转移矩阵、景观格局指数计算、耕地开发强度计算
降水量 ^[21]	WorldClim 2.0 (https://worldclim.org/) 下载分辨率为 1 km 数据集, 通过 IDW 插值至 30 m	年平均降水量
平均气温 ^[21]	WorldClim 2.0 (https://worldclim.org/) 下载分辨率为 1 km 数据集, 通过 IDW 插值至 30 m	年平均气温
GDP (Gross Domestic Product)	中国 GDP 空间分布公里网格数据集数据来源于资源环境科学数据注册与出版系统 (https://www.resdc.cn/)	GDP
人口密度 ^[22]	中国 1 km 人口密度数据集下载于 WorldPop (https://hub.worldpop.org/), 通过 IDW 插值至 30 m	人口密度
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	30 m 分辨率 Landsat 7 以及 Landsat 8 影像下载于 National Aeronautics and Space Administration (NASA), 在 ArcGIS Pro 中进行 NDVI 指标计算	植被指数
行政区边界数据	底图源于自然资源部标准地图服务系统, 审图号 GS(2023)2767	—
道路数据	下载于 open street map (https://www.openstreetmap.org/)	道路密度
嘉定区 2001 年、2011 年、2021 年统计年鉴	嘉定区统计局 (http://www.jiading.gov.cn/tongji)	农业收益、商业活力、工业产值
市级美丽乡村示范村、乡村振兴示范村、中国传统村落名录等官方统计数据	嘉定区人民政府 (http://www.jiading.gov.cn/s)、上海市农业农村委员会 (https://nyncw.sh.gov.cn/)	相关政策

文本或数据, 链接到矢量数据中。

1.4 研究方法

1.4.1 景观格局指数

根据 30 m 土地利用栅格数据, 基于 ArcGIS Pro 3.2 以及 Fragstats 4.2 软件对嘉定 2000 年、2010 年、2020 年三个时间节点的景观格局指数进行计算, 从自然景观及斑块类型层面进行景观格局分析。本研究根据嘉定区城乡交错特征, 兼顾自然景观复杂性与斑块层级特征, 构建多维度、多层次的评价体系, 并引入聚集度指数 (Cohesion Index) 增强对景观连通性和空间聚集特征的表征, 提升了对城市边缘区域景观演化特征的适应性。具体指标及相关描述如表 2 所示。

1.4.2 NDVI

利用 NDVI 指数评估地表植被覆盖密度与

生长活力, 选取 2000 年 8 月、2010 年 8 月及 2020 年 8 月的近红外与可见光波段数据。8 月处于上海地区植被生长的旺季, 气候温暖湿润、光照充足, 能更准确反映地表植被的覆盖密度与生长活力。因此, 选取该时期的 NDVI 数据可有效规避季节性差异对分析结果的干扰, 提升评价结果的代表性和稳定性。利用公式 (1) 计算 NDVI 值, 数值范围设定在 -1 ~ 1, 正值趋近于 1 表明植被覆盖茂密、生长良好, 而接近 -1 或低于 0 的值则表示植被稀疏、覆盖不足。

$$N_V = \frac{N_R - R}{N_R + R} \quad (1)$$

式中, N_V 代表 NDVI 值, N_R 表近红外波段的反射值, R 代表红色波段的反射值。

1.4.3 土地利用转移矩阵

通过对比不同时段土地利用转移矩阵,

分析某种土地利用类型在研究始末期内转化向其他土地利用类型的转出方向和转出数量, 以及某种土地利用类型在研究始末期内由其他土地利用类型转变而来的转入方向和转入数量^[23], 计算见公式 (2)。

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & \cdots & S_{2n} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & \cdots & S_{3n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{n1} & S_{n2} & S_{n3} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, S_{ij} 表示从研究初期到末期从第 i 种土地利用类型转移到第 j 种土地利用类型的面积, n 为土地利用类型数。

1.4.4 地理探测器

运用地理探测器挖掘地理空间内的差异性特征, 使用 500 m × 500 m 渔网划分对相关

表2 景观格局指数选择
Tab. 2 Landscape pattern index selection

层面 Level	用途 Use	指数 Index	描述 Description
自然景观层面	自然景观复杂性	景观分离度指数 (Landscape Division Index, DIVISION)	衡量景观中斑块的分离程度, 值越大表示景观中斑块越分散
		蔓延度指数 (Contagion Index, CONTAG)	反映景观斑块的分布模式和相邻斑块类型的混合度
		景观形状指数 (Landscape Shape Index, LSI)	整体评价景观的形状复杂性, 考虑所有斑块的形状
	自然景观多样性	香农多样性指数 (Shannon's Diversity Index, SHDI)	基于信息论, 考虑景观中斑块类型的丰富度和相对丰度, 是常用的多样性指数之一
		辛普森多样性指数 (Simpson's Diversity Index, SIDI)	反映景观中某一斑块类型占主导地位的概率, 考虑丰富度和丰度的组合
		斑块丰富度指数 (Patch Richness Index, PR)	计算景观中斑块类型的数量, 不考虑各类型斑块的面积大小
		香农均匀度指数 (Shannon's Evenness Index, SHEI)	描述景观中不同斑块类型的相对丰度分布的均匀程度
斑块类型层面	斑块破碎化程度	斑块密度 (Patch Density, PD)	每单位面积内斑块的数量, 用于描述景观的破碎化程度
		平均斑块面积 (Mean Patch Size, MPS)	衡量景观中斑块的平均大小, 较小的 MPS 值通常表明景观破碎化程度高
	斑块复杂程度分析	景观形状指数 (Landscape Shape Index, LSI)	整体评价景观的形状复杂性, 考虑所有斑块的形状
	斑块聚集程度分析	聚集度指数 (Cohesion Index, COHENSION)	反映斑块之间的物理连接及景观中斑块的整体连贯性, 较高的聚集度指数表明景观中的斑块更加紧密地连接在一起

数据进行离散处理, 并归类为1-5等级。该网格尺度的选取主要依据嘉定区研究区域的空间尺度以及数据分辨率(30 m)进行匹配, 兼顾空间细节表达能力与分析效率的平衡。本研究设置了100 m×100 m与1 km×1 km两个尺度的网格进行对比实验, 分析不同尺度下*q*值的变化趋势, 并运用因子探测和交互作用探测功能。

(1) 空间分异及因子探测主要探测Y (LSI) 的空间分异特性和各因子解释LSI的程度, 见公式(3)。

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2}$$

(3)

式中, *h*=1, 2, …, *L*表示LSI变量或因子X的分层, *N*代表整个数据集的总单元数, *N_h*特指第*h*层的单元数, *σ_h²*和*σ²*分别表示层*h*与全区的方差。*q*值范围为0~1, 值越接近

1说明LSI的空间分异性越明显, 如果分层由自变量X生成, *q*值越大反映自变量X对LSI的解释力越强。

(2) 交互作用探测技术用于揭示不同自变量(如X1和X2)之间相互作用时对因变量Y产生的影响, 首先计算单一因子X1和X2各自对Y的*q*值: *q*(X1)和*q*(X2), 以及它们共同作用时对Y的*q*值: *q*(X1∩X2), 再比较这三个*q*值, 判断X1和X2的交互是否增强了或减弱了对Y的解释能力。

2 结果与分析

2.1 自然景观类型面积演变特征

(1) 从图1中发现2000–2010年的建设用地面积大幅度增加, 并呈现从嘉定区中心往南部扩散的趋势。虽然2010–2020年景观用地转移面积有所增加, 但是扩张幅度远小于前一阶段, 这说明该时期嘉定区城市化进

程有所减缓, 这一定程度上说明2010年之后嘉定南部地区城市化建设相对饱和。结合表3“流入”数据可见, 2010年建设用地的流入量达到109.1169 km², 而2020年则下降至32.4144 km², 进一步证明了城市化速度的减缓以及土地开发强度的降低。

(2) 从表3中发现2000–2010年间有108.1287 km²的耕地转为建设用地, 占耕地总流出量(111.1266 km²)的绝大部分, 0.4131 km²的耕地转为草地, 0.0009 km²的森林转为建设用地, 说明该时期城市扩张以耕地为主要来源, 耕地“流出”量在各类用地中显著领先, 而对森林的占用相对较小; 此外, 部分耕地转为草地, 也显示出一定程度的“撂耕”趋势, 反映农业生产活动在逐步弱化。2010–2020年, 有0.3996 km²草地转为建设用地, 31.7484 km²耕地转为建设用地, 草地的“流出”比例显著提升

(草地总流出为0.4194 km²，其中流向建设用地占比高达95%以上)，说明草地在城市扩张中的生态缓冲功能逐渐削弱，生态空间进一步被压缩，自然景观资源面临更大压力。

2.2 自然景观格局时空演变特征

2.2.1 自然景观层面

2.2.1.1 自然景观复杂性分析

(1) 嘉定区的LS值(图2-a)呈现，2000–2010年从18.41上升到23.98，2010–2020年下降到13.87，总体下降了4.54。这表明在2000–2010年间由于城市化扩张导致了自然景观趋于复杂，而在2010–2020年间由于上海自然环境保护政策的实施，LSI值有所下降，但总体上2000–2020年景观复杂性有所降低。

(2) 嘉定区的CONTAG值(图2-b)显示，2000–2020年呈现稳步上升趋势，从75.57上升至83.88，表明在2000–2020年间嘉定区的景观格局逐渐向连通的布局演变。

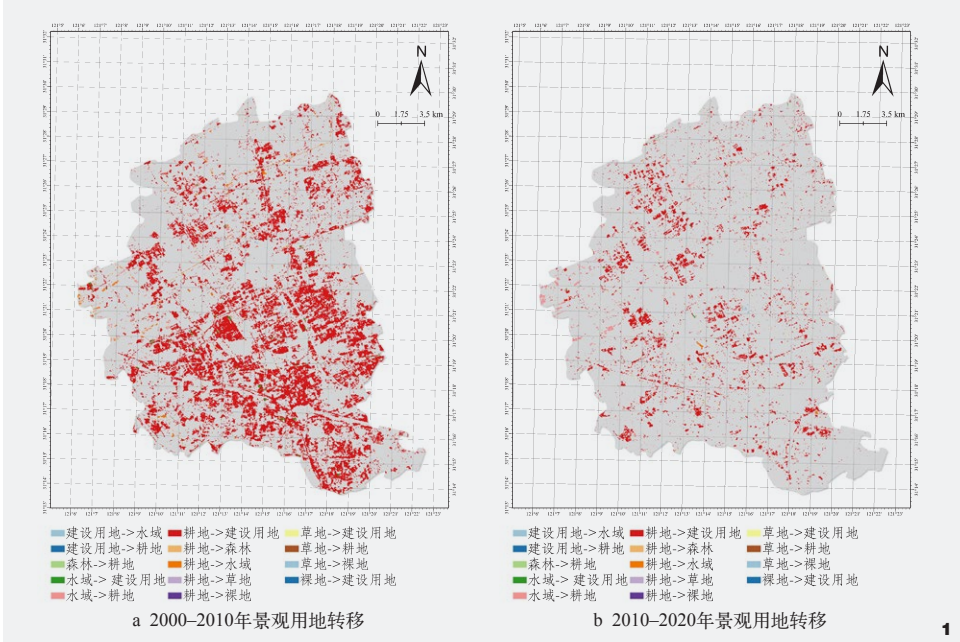


图1 两个时间段景观用地转移演变
Fig.1 Distribution of landscape land transfer during two time periods

(3) 嘉定区的DIVISION值(图2-c)表明，从2000年的0.40微弱上升到2010年的0.41，在2010–2020年间快速下降至0.24。这表明

2000–2010年嘉定区自然景观有分散的倾向，但是程度非常微弱，2010–2020年自然景观的集中程度大幅度增加。

表3 不同时期景观用地转移矩阵表(单位: km²)
Tab. 3 Landscape land transfer matrixes for different periods

2010年 2000年	2010年	建设用地	草地	耕地	裸地	森林	水域	2000年合计	流出合计
		Built area	Grassland	Cultivated land	Bare land	Forest	Water area	2000 total	Total outflow
水域		0.9873	0.0081	1.9539	0.0018	0	3.9564	6.9075	2.9511
森林		0.0009	0	0.0135	0	0.0036	0	0.018	0.0144
耕地		108.1287	0.4131	241.9029	0	0.0486	2.5362	353.0295	111.1266
建设用地		101.8305	0.0009	0.009	0	0	0.2574	102.0978	0.2673
2010年合计		210.9474	0.4221	243.8793	0.0018	0.0522	6.75	462.0528	—
流入合计		109.1169	0.4221	1.9764	0.0018	0.0486	2.7936	—	—
2020年 2010年	2020年	建设用地	草地	耕地	裸地	森林	水域	2010年合计	流出合计
		Built area	Grassland	Cultivated land	Bare land	Forest	Water area	2010 total	Total outflow
水域		0.2646	0	2.6073	0	0	3.8781	6.75	2.8719
森林		0	0	0.0468	0	0.0054	0	0.0522	0.0468
耕地		31.7484	0.0018	211.8591	0.0027	0.0279	0.2394	243.8793	32.0202
草地		0.3996	0.0027	0.0117	0.0081	0	0	0.4221	0.4194
裸地		0.0018	0	0	0	0	0	0.0018	0.0018
建设用地		210.717	0	0.0144	0	0	0.216	210.9474	—
2020年合计		243.1314	0.0045	214.5393	0.0108	0.0333	4.3335	462.0528	—
流入合计		32.4144	0.0018	2.6802	0.0108	0.0279	0.4554	—	—



图2 2000—2020年自然景观复杂性演变
Fig. 2 Evolution of natural landscape complexity from 2000 to 2020

图3 2000—2020年自然景观多样性演变
Fig. 3 Evolution of natural landscape diversity from 2000 to 2020

2.2.1.2 自然景观多样性分析

(1) 在2000—2010年间，嘉定区PR值(图3-a)从5上升至7，SIDI值(图3-b)从0.39上升至0.40，均呈现轻微上升趋势，而在2010—2020年间却出现了下降，PR值从7又降回至5，SIDI值从0.39快速下降至0.24。这一趋势表明嘉定区自然景观丰富度正逐渐减少。

(2) 在2000—2020年间SHDI值(图3-c)和

SHDI值(图3-d)总体呈下降趋势，SHDI值从0.44下降至0.29，SHDI值从0.7下降至0.47，这表明嘉定区自然景观多样性逐渐降低，且分布趋于非均匀的地理格局。

2.2.2 斑块类型层面

2.2.2.1 斑块破碎化程度分析

通过分析三个时期的PD值、MPS值演

变图(图4)，得出以下结论：

(1) 建设用地PD值在2000—2020年间呈现逐年减少趋势，由2000年的2.10下降至2020年的1.15，MPS值演变呈现“低—高一低”的模式，反映2010年左右建设用地的集中开发或规划调整导致最大斑块面积变化。

(2) 水域类型景观PD值在2000—2020年间呈现逐年减少趋势，由2000年的0.49下降至2020年的0.27，表明城市化、土地利用变化、环境污染等因素对水体造成一定负面影响；MPS值在2000—2020年一直维持在0.7~0.8，虽然PD值一直在下降，但是MPS值相对稳定，表明水域的分布没有发生显著变化。

(3) 嘉定区近20年间自然景观类型中草地和森林的破碎化程度非常小，其PD值较小，MPS值较大。但是在2010年森林和草地的MPS值分别为5.06和0.29，表明在2000—2010年间，自然景观破碎化程度上升。2010—2020年受多项生态网络专项规划^[24]的影响，该类自然景观破碎化程度变低，嘉定区城市化建设逐步转向自然景观同都市格局的耦合协同发展趋势。

(4) 耕地类型景观PD值在2000—2010年由0.812快速上升至2.53，最后于2020年下降至0.45，最大斑块面积MPS值也同PD值呈现出相同的“低—高一低”演变模式，这表明在2000—2010年间由于农业发展或土地利用政策的影响，耕地类型PD值和MPS值都有所增加。随着时间的推移，受到城市化、土地转换或环境因素的影响，指标开始下降。

2.2.2.2 斑块复杂程度分析

三个时间段的LSI时空演变图(图5)显示，在2000—2010年间嘉定区LSI显著增加，最大值从2.25上升至2.2917。在2010—2020年期间LSI逐渐减小，从2.2917下降至2.2333，

反映嘉定区相关自然保护政策的有效实施,推进嘉定区各领域绿色转型发展,形成了嘉定特有的空间格局、产业结构、生活方式、自然景观格局。

2.2.2.3 斑块聚集程度分析

从COHENSION的时空演变图(图6)中可以发现,2010年嘉定区整体的COHESION较低,最小值从2000年的72.3659下降为2010年的71.2604,而在2020年回升至74.1632。这表明2000-2010年嘉定区城市扩张导致的森林破坏、砍伐,使自然景观受到破坏,在2010-2020年间逐渐得到修复。由于区域内建设用地面积较大,且相对集中,总体聚集度略微有所提升。

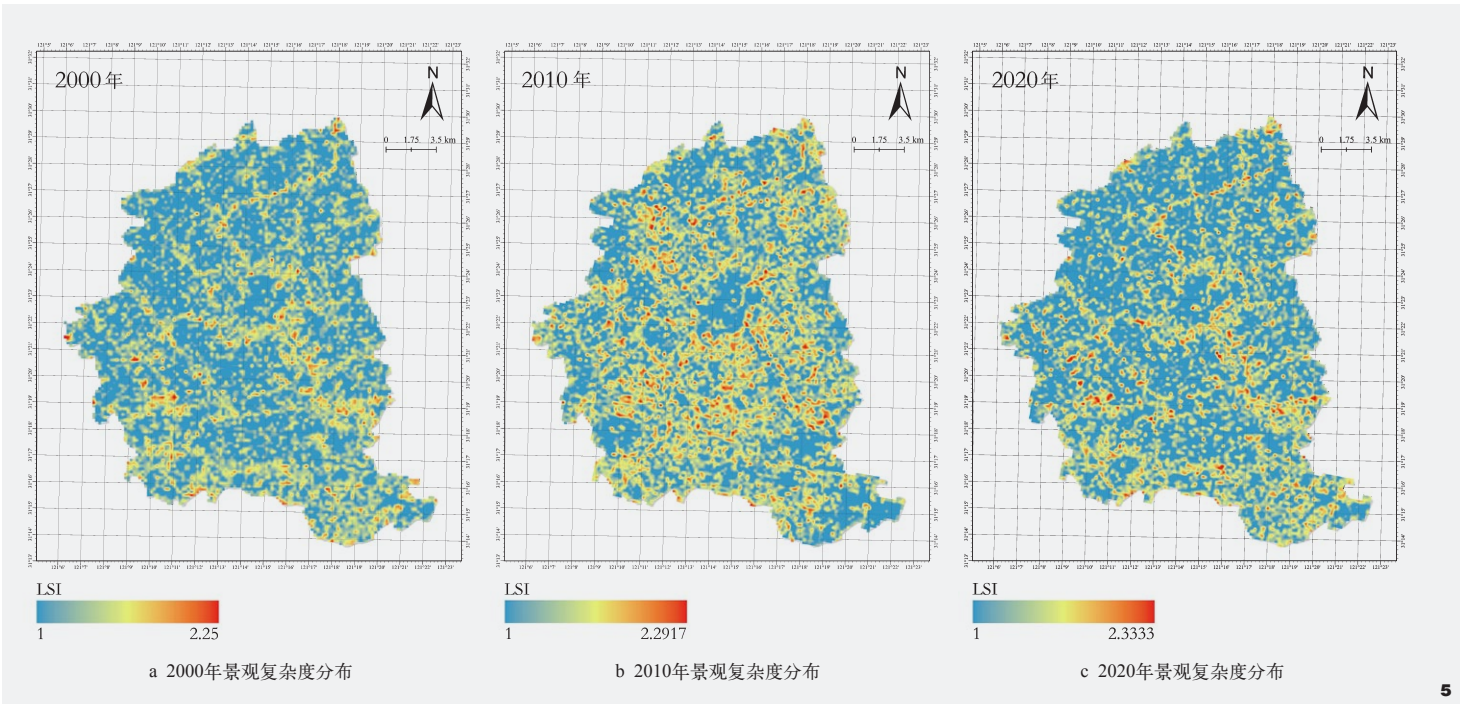
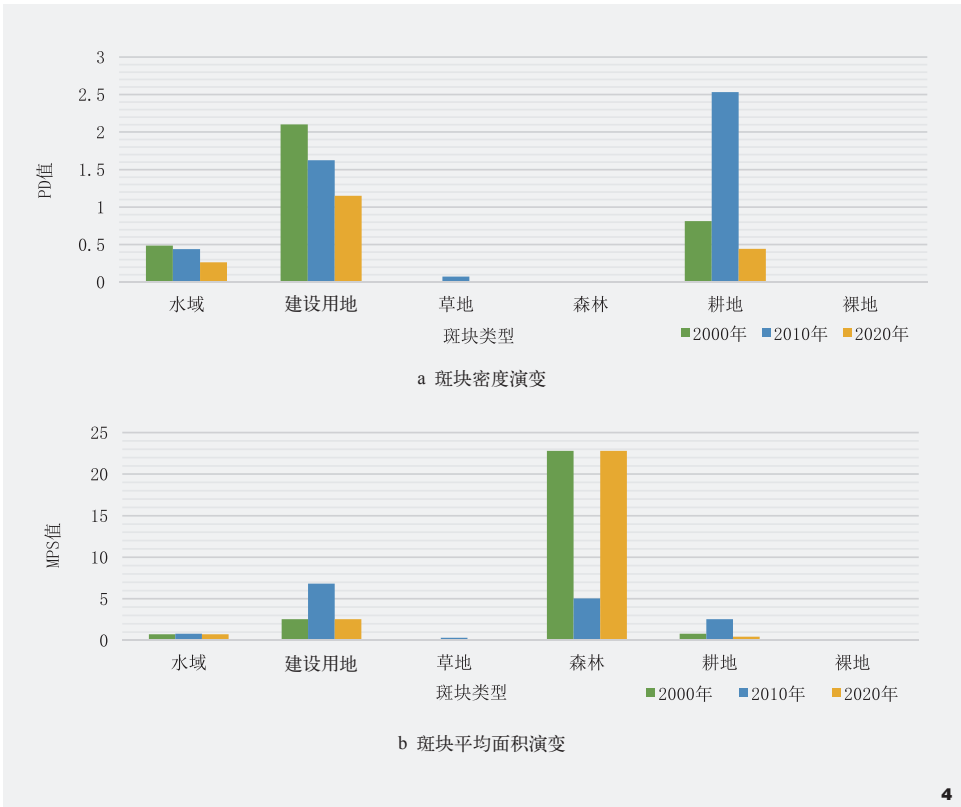


图4 2000-2020年斑块破碎化程度演变
Fig. 4 Evolution of patch fragmentation degree from 2000 to 2020

图5 2000-2020年斑块复杂度时空演变
Fig. 5 Spatio-temporal evolution of patch complexity degree from 2000 to 2020

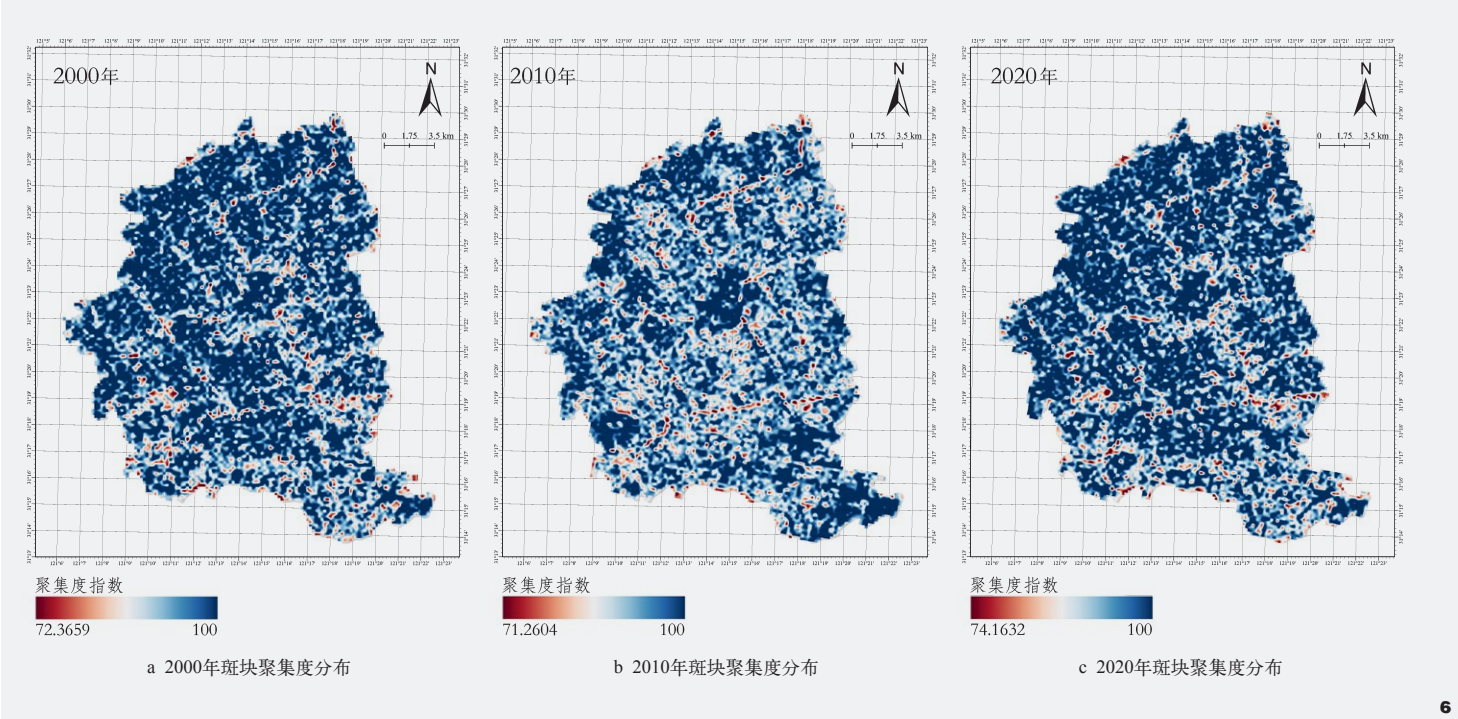


图6 2000–2020年斑块聚集程度时空演变
Fig. 6 Temporal and spatial evolution of patch cohesion degree from 2000 to 2020

2.3 自然景观格局时空演变驱动因素

结合相关研究成果^[10-11]和上述分析，本研究梳理出与该地区自然景观格局演变高度相关的自然环境、城郊产业、城郊建设三个维度11项二级影响因素（表4）作为自变量，并选择LSI作为因变量反映综合的景观指数。每个因子的具体数据来源见表1。

2.3.1 主导驱动因素分析

为检验地理探测器在不同空间尺度下分析结果的稳定性，选取100 m×100 m、500 m×500 m与1 km×1 km三种网格尺度对11个驱动因子的 q 值进行了敏感性测试，尽管部分因子（如NDVI）在尺度变化下的 q 值波动较大，但整体趋势一致，主导因子的排序基本稳定，验证了当前500 m尺度的适用性与结果的稳健性。然后，借鉴相关文献^[11,13]的计算方法，

表4 自然景观格局演变驱动因素选择
Tab. 4 Selection of driving factors of natural landscape pattern evolution

一级影响因素 Primary influencing factor	二级影响因素 Secondary influencing factor
自然环境维度驱动因素	年平均降水量（X1）
	年平均气温（X2）
	NDVI（X3）
	GDP（X4）
城郊产业维度驱动因素	农业收益（X5）
	工业产值（X6）
	商业活力（X7）
城郊建设维度驱动因素	耕地开发强度（X8）
	道路密度（X9）
	人口密度（X10）
	相关政策（X11）
因变量	LSI

将一级影响因素所对应的各二级影响因素的因子探测 q 值相加，作为一级影响因素的 q 值，用于分析各级影响因素的 q 值演化特征

（图7），得出以下结论：
（1）自然环境维度驱动因素影响作用能力一直保持首位，但总体呈现下降趋势。2000

年的0.1382逐渐下降至2010年的0.0752, 2020年逐渐上升至0.0966, 总体数值有所下降。自然环境维度驱动因素中NDVI在2000–2020年间对于景观格局的影响力占据主导位置, 在2000–2010年飞速下降, 在2010–2020年略微下降。由于城市建设和农业开发, 植被覆盖率降低, NDVI下降, 反映人为活动对自然景观的破坏程度。各时期降雨量以及气温则对景观格局的影响较低, 说明气候条件相对稳定, 波动幅度较小, 其变化不足以对景观格局产生显著影响。

(2) 城郊建设维度驱动因素作用能力波动中有所上升, 总体保持第二位。在2000–2010年小幅度下降, 2020年飞速上升至0.0926, 总体呈现上升趋势。其中耕地开发强度在2000年对于景观格局的影响占主导能力, 说明该地区的土地利用情况和农业发展对自然景观格局的影响较大。在2010年以及2020年人口密度对于自然景观格局的影响占据主导能力, 表明伴随城郊地区的城市化步伐加快, 大量人口从农村或中心城区迁入城郊, 带来了新的住宅区、商业区和基础设施建设, 对自然景观造成显著影响。虽然相关政策对于景观格局的影响不高, 但是在2000–2020年间还是呈现上升趋势, 并在2020年保持在第二位的影响力, 政策推动城郊经济的发展和基础设施的改善, 影响城郊地区的自然景观格局。

(3) 城郊产业维度驱动因素作用能力波动上升, 总体保持第三位。从2000年0.0558小幅度下降至2010年0.0229, 2020年快速上升至0.0843。城郊产业维度驱动因素中GDP在2000年对于自然景观格局的影响占据主导能力, 说明快速的经济增长推动城郊基础设施和房地产的开发, 带来土地利用方式显著变化, 彻底改变自然景观格局。在2010年工业

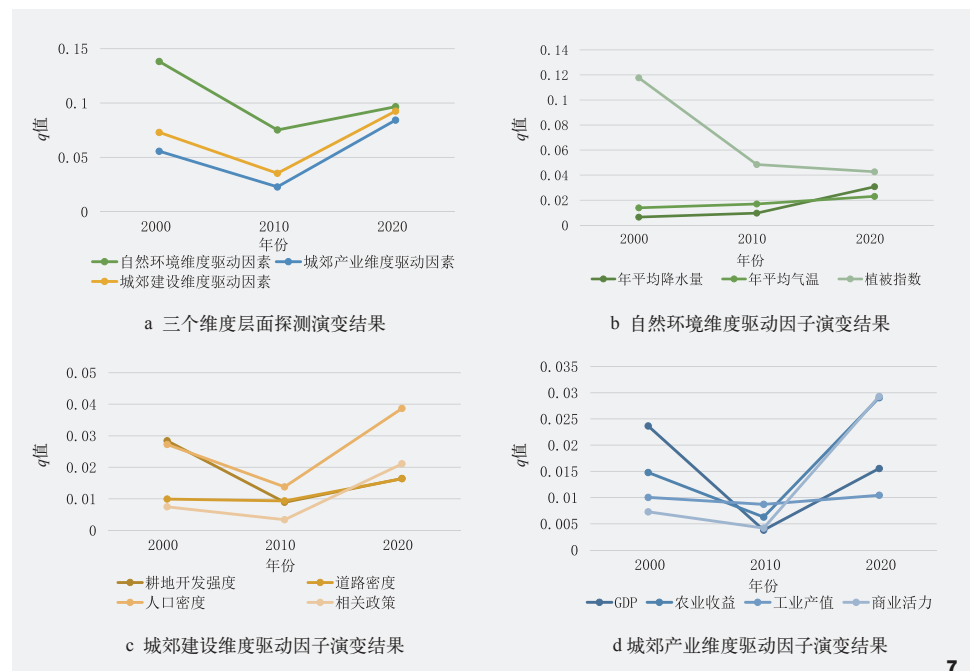


图7 不同维度及其驱动因子演变过程分析结果
Fig. 7 Evolution of multiple dimensions and their driving factors

产值占据主导能力, 工业企业大量迁移或新建至城郊, 对生态环境和景观格局带来较大影响和破坏。在2010–2020年农业收益与商业活力因素对于自然景观格局的作用值飞速上升, 特色农业、生态农业的发展导致土地利用和景观结构发生变化。

2.3.2 驱动因素交互作用分析

通过交互探测器对影响因子之间的交互作用进行探测, 形成三个时期的结果(图8), 得出以下结论:

(1) 交互作用增强解释力。11个影响因子之间的交互探测所得到的解释力值结果均大于单一影响因子所得到的解释力值, 表明两个影响因子的结合能更有效地解释景观格局的变化。

(2) 交互解释力逐年减小。就因子交互q值最大值来看, 其解释力呈现逐年减小的

情况, 分别为0.1730、0.1160及0.1070, 反映了影响因子之间关系的演变或者其他未知因素的影响, 比如环境条件、政策变化等因素发生变化, 导致原有的因子交互模式逐渐失效或减弱。

(3) 主导交互因子的变化。由于不同时期外界条件的变化, 导致交互作用最强的因子在不断变化, 三个时间节点分别为: $X_3 \cap X_8$ 、 $X_2 \cap X_3$ 、 $X_3 \cap X_{10}$, 这种变化反映了不同时期不同因子组合在景观格局演变中的主导地位。首先, NDVI一直是重要的交互因子, 其次, 年度平均温度和人口密度也逐渐成为关键因子, 反映了城郊地区在不同发展阶段主要影响因素的变化。

(4) 政策因子的渐次增强。在数据中发现相关政策(X_{11})同其他因子的交互解释力在2000–2020年间呈现稳步增长模式(图9), X_{11} 在2020年同所有因子的交互解释力显著增

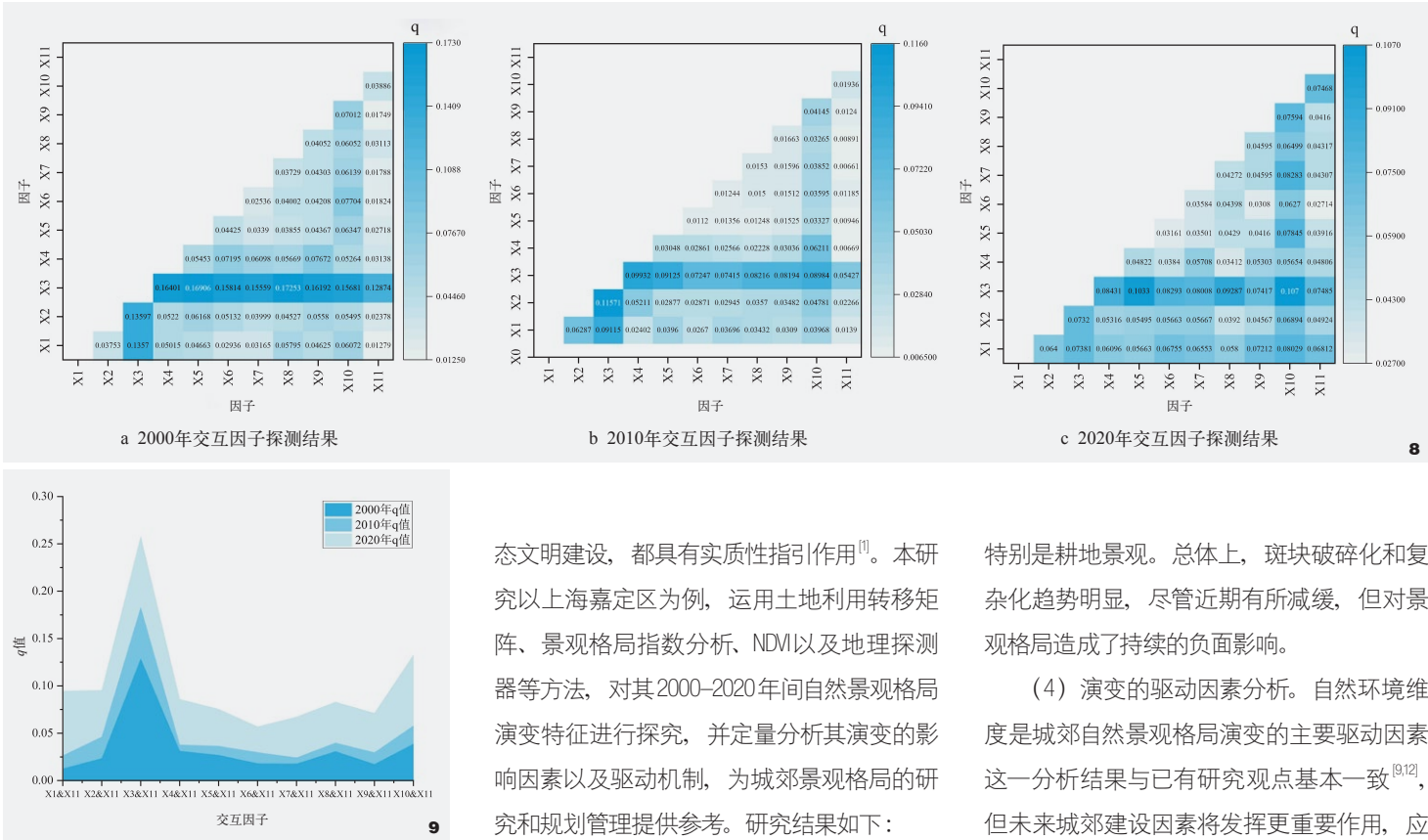


图8 2000–2020年交互因子探测结果
Fig. 8 Results of interaction factor detection from 2000 to 2020

图9 相关政策因子交互变化分析
Fig. 9 Analysis of interactive changes in related policy factors

强，表明由于很多政策在2010年之后才在嘉定区全面铺开，即政策的效应具有一定的滞后性；同时，X3与X11交互后对景观格局影响力在每个年份都处于较高位置，虽然在2010年有所下降，但是在2020年又持续回温，这表示相关政策与NDM之间的交互作用对嘉定区自然景观格局具有重要影响。

3 结论和讨论

3.1 结论

城郊自然景观是极为复杂的生态系统，不仅对保护地方自然资源和彰显地域风貌特色，而且对优化地方国土空间格局、推进生

态文明建设，都具有实质性指引作用^[1]。本研究以上海嘉定区为例，运用土地利用转移矩阵、景观格局指数分析、NDMI以及地理探测器等方法，对其2000–2020年间自然景观格局演变特征进行探究，并定量分析其演变的影响因素以及驱动机制，为城郊景观格局的研究和规划管理提供参考。研究结果如下：

(1) 自然景观类型面积演变特征。研究期内嘉定区城市扩张显著，侵占耕地、水域、草地和森林面积。2000–2010年间各类景观用地转为建设用地的占比中，耕地占99.09%，2010–2020年该转出量有所减少，总体自然景观格局产生新的变化。

(2) 自然景观层面景观格局时空演变特征。2000–2010年LSI、CONTAG、DIVISION上升，PR、SIDI稍有增加，但SHEI和SHDI指数下降。2010–2020年CONTAG持续上升，但其他指数显著下降。总体而言，自然景观LSI下降了24.66%，CONTAG上升11%，DIVISION降低40%，丰富性和多样性明显减少，呈不均衡分布。

(3) 斑块类型层面景观格局时空演变特征。2000–2010年自然景观破碎度和复杂程度上升，斑块COHENSION下降。2010–2020年这些趋势有所逆转，但仍表现出显著的波动，

特别是耕地景观。总体上，斑块破碎化和复杂化趋势明显，尽管近期有所减缓，但对景观格局造成了持续的负面影响。

(4) 演变的驱动因素分析。自然环境维度是城郊自然景观格局演变的主要驱动因素这一分析结果与已有研究观点基本一致^[9,12]，但未来城郊建设因素将发挥更重要作用，应重点关注人口密度、政策效应、商业活力和农业收益的影响。政策和NDMI的协同效应尤为关键，需通过制定和实施各类生态保护政策，促进景观格局的积极演变。

3.2 优化建议

(1) 秉持自然生态优先原则，加强生态系统的完整性。自然环境维度在单因子驱动作用分析中起到首位主导作用，因此应强化NDMI的作用，主要通过构建集田园、水域、林地、湖泊于一体的新型生态格局，稳固嘉北生态涵养区，重点塑造以连续森林带与农田水系网络为核心的“环城生态绿环”与“沿沈海高速城镇绿色发展轴”，将其纳入上海总体生态空间规划体系中，提升区域自然景观格局的系统性和完整性。

(2) 在维持自然环境主导作用的同时，

关注城乡建设、产业调整对自然景观格局的影响。以嘉定新城为中心构建“一核四区”的功能布局^[15]，推动“千米一湖、百米一林”生态景观带与产业园区嵌套布局，发展低空经济、新型储能等未来产业，构建远香湖周边集聚智能网联汽车测试场景，实现生产与生活空间共生，适度开发城郊旅游，充分发挥自然景观的生态和产业功能，实现生态维护与经济发展的“双赢”。

(3) 发挥生态方面政策的作用，强化自然景观及斑块的丰富性和连贯性。驱动因子交互作用中NDM与相关政策的交互作用最强，因此应以《山水林田湖草生态保护修复工程指南(试行)》《2023年上海市自然生态和农业农村生态环境保护工作要点》《嘉定区推动低空经济产业高质量发展行动方案》等相关政策为基础，重点建设横沥文化水脉、嘉北绿道、嘉宝生态走廊、嘉青生态走廊，提升自然景观资源的丰富度、连通性，保障生态斑块的连贯性、边界融合度，优化区域整体自然景观格局。

3.3 研究展望

(1) 在精细度层面，增加研究的时间节点。研究的时间序列实验选择了三个节点，难以全面反映每十年间的细微变化和要素效能的精细差异。未来研究将增加节点密度，更多关注短期内自然景观格局以及影响因素的变化情况，以增强研究结果的连续性和精细度。

(2) 在驱动因素层面，构建更综合的指标体系。自然景观格局的演变受到众多内外因素的影响，同时各类因素的作用机制非常复杂，虽然选取与研究区域相关度较高的关键驱动因素，但是未能全面覆盖各类型影响因素，如特殊自然灾害、主体意愿、风俗习

惯等因素。后期将在相关研究中对其他主要关联因子进行验证，形成更为综合的指标体系，提升评价结果的全面性。

(3) 在应用层面，拓展研究的普适性。本研究主要以嘉定区为例，但不同省市的城郊的地理、经济、政治、文化情况存在较大差异，后续将持续开展多区域对比研究，提升量化指标的综合性，验证方法的普适性和适用性。

注：文中图表均由作者绘制。

参考文献

- [1] 彭耕, 金可, 邱建维, 等. 公园城市背景下城郊乡村地区转型路径研究——以成都新都区香城乡村片区为例[J]. 规划师, 2023, 39(01): 142-148.
- [2] 习近平. 高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告[N]. 人民日报, 2022-10-26(1).
- [3] 蔡嘉瑜, 张雪葳, 吝涛, 等. 多圈层城郊农田特征差异与绿色基础设施化潜力[J]. 生态学报, 2024, 44(24): 11188-11205.
- [4] 钟翀. 遗产廊道的深刻鉴别与再发现——日本线性历史景观研究中的历史地理学先发现探析[J]. 风景园林, 2021, 28(11): 10-14.
- [5] 王佳红, 袁媛, 杨洪波, 等. 城郊生态旅游流网络结构特征与集聚联动模式研究——以北京市为例[J]. 地理科学进展, 2024, 43(10): 2052-2066.
- [6] DENG W, JIANG, Z Y, ZHANG S Y. Dynamic Identification and Evolution of Urban-Suburban-Rural Transition Zones Based on the Blender of Natural and Humanistic Factors: A Case Study of Chengdu, China[J]. Chinese Geographical Sciences, 2024, 34(05): 791-809.
- [7] WDOWIARZ-BILSKA M, CIEPIELA A, LABUZ R. The Transformation of Countryside into a Dispersed City: A Critical Local-scale Analysis of Selected Polish Suburbs[J]. Bulletin of Geographic-Socio-Economic Series, 2025, 66(66): 27-46.
- [8] 李明珍, 李阳兵, 冉彩虹. 土地利用转型背景下的乡村景观格局演变响应——基于草堂溪流域的样带分析[J]. 自然资源学报, 2020, 35(09): 2283-2298.
- [9] 刘书雅, 张安兵, 王贺封, 等. 华北平原生境质量与景观格局时空演变及预测[J]. 西北林学院学报, 2025, 40(02): 236-250.
- [10] 林琳, 边振兴, 王淑敏. 大中城市周边乡村景观格局分析——以沈阳市为例[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(05): 223-230.
- [11] 丁金华, 吴忻. 苏南水网地区景观格局演变分析及其驱动因素探究——以七都镇为例[J]. 西北林学院学报, 2023, 38(02): 257-264.
- [12] WANG F, PROMINSKI M. Landscapes with Locality in Urban or Rural Areas[J]. Indoor and Built Environment, 2020, 29(08): 1047-1052.
- [13] 白金明, 王继山, 许莹, 等. 三江并流区林地与草地景观格局变化及其驱动因子[J]. 东北林业大学学报, 2025, 53(03): 46-57.
- [14] 龚苏宁, 张琳. 公园城市建设背景下上海嘉定乡村景观地方特征与优化策略研究[J]. 园林, 2025, 42(04): 44-54.
- [15] 上海市嘉定区人民政府. 上海市嘉定区总体规划暨土地利用总体规划(2017-2035)[EB/OL]. (2022-12-31)[2025-02-23]. <http://www.jiading.gov.cn/publicity/jcgk/ghjh/zxgh/159491>.
- [16] 孙艺惠, 陈田, 王云才. 传统乡村地域文化景观研究进展[J]. 地理科学进展, 2008(06): 90-96.
- [17] Federal Geographic Data Commission. Anderson Land Cover Classification Description[S]. Pakistan: Swatara Creek Watershed Assioation, 2004.
- [18] 国家标准化管理委员会. 土地利用现状分类:GB/T 21010-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [19] 王霞, 仓龙, 王玉军. 不同土地利用方式下的场地土壤环境容量评价[J]. 中国环境科学, 2024, 44(05): 2893-2904.
- [20] YANG J, HUANG X. The 30 m Annual Land Cover Dataset and its Dynamics in China from 1990 to 2019[J]. Earth System Science Data, 2021, 13(08): 3907-3925.
- [21] FICK S E, HIJMANS R J. WorldClim 2: New 1 - km Spatial Resolution Climate Surfaces for Global Land Areas[J]. International Journal of Climatology, 2017, 37(12): 4302-4315.
- [22] University of Southampton. Population Density (2000-2020)[DB/OL]. (2023-1-19) [2025-02-06]. <https://hub.worldpop.org/doi/10.5258/SOTON/WP00675>
- [23] 吴佩佩, 常献伟, 张杨, 等. 黄河滩区河南段土地利用演变及驱动力研究[J]. 国土与自然资源研究, 2024(04): 18-23.
- [24] 上海市嘉定区人民政府. 关于印发《嘉定区2018-2020年环境保护和建设三年行动计划》的通知[EB/OL]. (2018-10-18)[2025-02-23]. http://www.jiading.gov.cn/huanbao/ztlm/hbsnhdjh/content_531157