

## 南京市域绿地格局时空演变特征及其影响因素

许 浩, 李 蔚, 刘 伟, 王成康

(南京林业大学 风景园林学院, 江苏南京 210037)

**摘要:** 【目的】市域绿地不仅是区域生态环境的重要组成部分, 也是城郊游憩的重要承载空间和约束城市无限蔓延的结构性空间。南京是长江三角洲地区的特大城市, 南京市域绿地对于长江三角洲地区的可持续发展具有重要作用。研究南京市域绿地动态景观变化及其影响因素有助于进一步实现南京绿地空间结构优化以及区域可持续发展。【方法】选取2000、2005、2010、2015、2020年5个时间节点的南京市土地覆盖数据, 运用动态度计算和景观格局指数分析南京市域绿地格局时空演变规律, 利用偏最小二乘回归方程(PLSR)模型探究社会经济因素和自然因素对绿地格局演变的影响作用。【结果】2000—2020年, 南京市域绿地面积整体上呈先减后增的状态。2000—2005年, 南京市域绿地斑块趋于整体化, 绿地景观破碎度有所缓和。2005年后市域绿地规模有所增加, 但破碎化趋势明显, 整体景观连接度也持续降低。回归模型显示: 社会经济因素中产业结构比例以及建成区绿化面积和市域绿地格局变化有较大关联性, 自然因素作用力大小存在差异。【结论】南京市域绿地规模总体有所增加, 格局破碎化趋势明显。社会经济影响因子是市域绿地空间格局演变的直接影响力, 自然因素多对绿地格局呈限制作用, 亟需加强针对区域绿地的系统性规划。图5表6参29

关键词: 南京市; 市域绿地; 景观格局; 时空演变; 影响因素

中图分类号: S771.8 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2023)02-0407-10

## Spatio-temporal evolution of Nanjing's urban green space pattern and its influencing factors

XU Hao, LI Wei, LIU Wei, WANG Chengkang

(College of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

**Abstract:** [Objective] The urban green space is not only an important part of the regional ecological environment, but also an important bearing space for suburban recreation and a structural space that restricts the infinite spread of the city. Therefore, this study, with an investigation of the dynamic landscape changes of green space in Nanjing, a mega city in the Yangtze River Delta and its influencing factors, is aimed to help further optimize the spatial structure of green space and regional sustainable development. In Nanjing so as to promote the sustainable development of the Yangtze River Delta region. [Method] With the land cover data of Nanjing City in five time nodes in 2000, 2005, 2010, 2015 and 2020 selected, an analysis was conducted of the spatio-temporal evolution pattern of the green space in Nanjing City employing dynamic degree calculation and landscape pattern index. Then, the partial least squares regression equation (PLSR) model was adopted to explore the impact of socioeconomic factors and natural factors on the evolution of green space pattern. [Result] From 2000 to 2020, there was first a decrease and then an increase in the green space in Nanjing. From 2000 to 2005, the green space patches in Nanjing City tended to be integrated, with the fragmentation of green space landscapes easing up. After 2005, the scale of urban green space has increased, with an obvious

收稿日期: 2022-05-05; 修回日期: 2022-11-20

基金项目: 江苏高校优势学科建设工程资助项目; 江苏省基础研究计划(自然科学基金)项目(BK20190751)

作者简介: 许浩(ORCID: 0000-0002-3572-3271), 教授, 博士生导师, 从事绿地系统研究。E-mail: [hao\\_xu@njfu.edu.cn](mailto:hao_xu@njfu.edu.cn)

fragmentation trend and a steady decrease in the overall landscape connectivity. The regression model showed that among the socioeconomic factors, the proportion of the industrial structure, the green area of the built-up area and the changes in the urban green space pattern had a greater correlation, and there were differences in the force of natural factors. [Conclusion] The overall scale of green space in Nanjing has increased with an obvious trend of pattern fragmentation and the socioeconomic factor being the direct influencing factor in the evolution of urban green space spatial pattern which is subject to the restriction of many natural factors. There is an urgent need to strengthen systematic planning for regional green spaces. [Ch, 5 fig. 6 tab. 29 ref.]

**Key words:** Nanjing; urban green space; landscape pattern; spatio-temporal evolution; influencing factors

中国城镇化进程以中国区域经济发展为主线,其本质是空间层面上要素的流动与资源的配置<sup>[1]</sup>。近年来,长江三角洲地区城镇化水平明显提高,城市人口急剧增长,客观上导致了城市空间无序扩张、土地利用混乱、生态空间啃食严重等问题的出现。在此背景下,认识城市化进程下绿地空间的动态演变规律,系统研究人类活动对绿地空间的作用,构建合理的绿地空间格局和数量结构,对城市可持续发展和健康人居环境建设具有重要意义。

市域绿地指城市行政管辖范围内,以自然和人工植被为主要存在形态的城市用地,具有维护区域生态环境、提供郊野游憩空间、城镇隔离等重要作用。目前针对市域绿地的研究主要包括3个方面:①市域绿地的界定与规划编制问题探讨<sup>[2-3]</sup>。②市域绿地面积与空间结构演变分析。相关研究主要基于地理信息系统数据库以及遥感影像技术,运用土地动态度、景观格局指数、归纳演绎等方法,围绕典型区域展开实证研究<sup>[4-6]</sup>。③绿地演变影响机制研究。目前相关研究主要从定性和定量2个方面探究绿地面积和空间结构产生演变的影响因素<sup>[7-8]</sup>。研究多是围绕着南京绿色空间(包括林地、草地和耕地)的演变<sup>[9-10]</sup>展开,聚焦于南京市域绿地研究较少<sup>[11-12]</sup>,这不利于进一步构建生态安全格局;在研究尺度方面,近年来多聚焦于南京都市圈<sup>[13-14]</sup>或是南京部分城区<sup>[15]</sup>;针对南京市域绿地格局演变影响因素的研究较少,且多受数据限制,研究方法多以定性或简单回归为主<sup>[16-17]</sup>。

2000—2020年,在城市化建设与生态环境建设叠加作用的背景下,南京市域绿地的演变具有复杂性,探究市域绿地面积演变及其影响因素,有利于进一步协调城市经济发展与可持续发展之间的关系。鉴于此,本研究将基于南京市2000—2020年共5期的绿地地理信息数据,分析其动态格局演变过程,探寻演变影响因子及作用机制,以期为南京市域绿地优化与区域可持续发展提供依据与支持,也为其他经济发达地区市域绿地空间构建与管理提供借鉴。

## 1 研究区概况

南京市地处长江三角洲西端( $31^{\circ}14' \sim 32^{\circ}37'N$ ,  $118^{\circ}22' \sim 119^{\circ}14'E$ ),市域总面积为6 586.02 km<sup>2</sup>。气候类型为北亚热带湿润气候,四季分明,雨水充沛。位于宁镇扬丘陵地区,低山缓岗(图1)。栖霞山、牛首山、幕府山、狮子山、清凉山、鸡笼山环峙城区。市域内江河湖泊遍布,长江穿城而过,主要河流有秦淮河、滁河等,玄武湖、石臼湖、金牛湖等湖泊星罗棋布,造就以山、水、城、林为大格局的奇致景观。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

本研究所用遥感影像数据来源于美国地质勘探局[USGS, <https://earthexplorer.usgs.gov/> (Earth Explorer)],采用2000、2005、2010、2015、2020年5个时间节点的Landsat TM/OIL遥感影像,影像分辨率为30 m×30 m,云量皆小于5%。使用中国科学院资源环境科学数据中心(<https://www.resdc.cn/>)提供的2015年中国地市行政边界数据对遥感影像进行裁剪。对通过ENVI 5.3预处理后的数据进行目视解译,参照国际地圈生物圈计划(IGBP)的土地利用及覆盖变化(LUCC)分类系统,结合南京实际和研究目的,将土地利用类型分为河流、湖泊、建设用地、林地、草地、耕地和裸地7类(图2),最终通过总体

分类精度以及混淆矩阵对分类准确度验证(表 1)。

将南京市域绿地演变的影响因子分为自然因素和社会经济要素两大类。首先, 对自然因素的考虑缘于其在大尺度空间上和较长时间范围内对绿地格局变化的影响。其次, 政府在城市化进程当中会通过改变用地性质来指引社会未来发展方向, 故社会经济因素的变化会在较小尺度空间上和短时间范围内引起绿地格局的变化<sup>[18]</sup>。影响机制研究中涉及的数据主要来源于相应年份的《江苏省统计年鉴》和《南京市统计年鉴》。此外, 年份久远的个别缺失数据根据当年各区县统计数据进行计算补充。考虑到数据的可获取性以及可定量化, 具体影响因子选取如表 2 所示。

## 2.2 研究方法

2.2.1 动态度计算 使用动态度表达研究范围内某种类型的绿地数量在一定时间段内的变化速率。其计算公式为:

$$I_R = \frac{S_b - S_a}{S_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%.$$

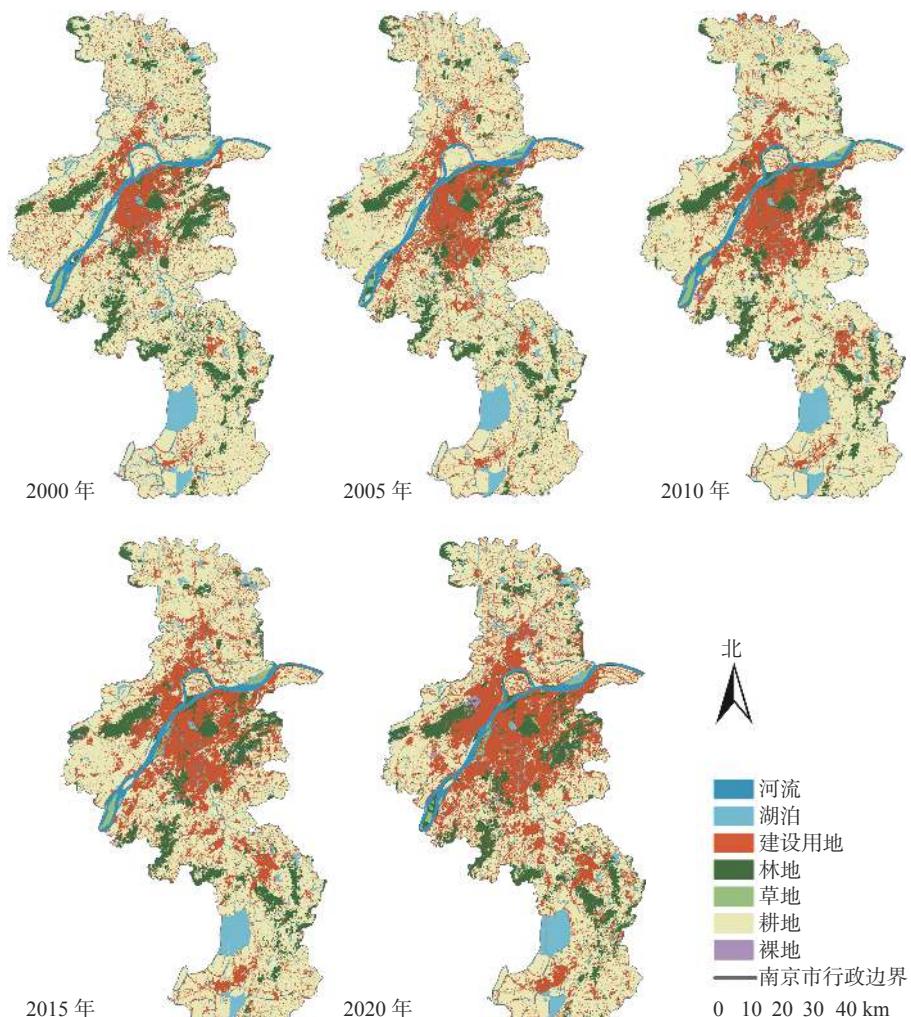


图 2 2000—2020 年南京市土地利用分类示意图

Figure 2 Land use classification map in Nanjing from 2000 to 2020

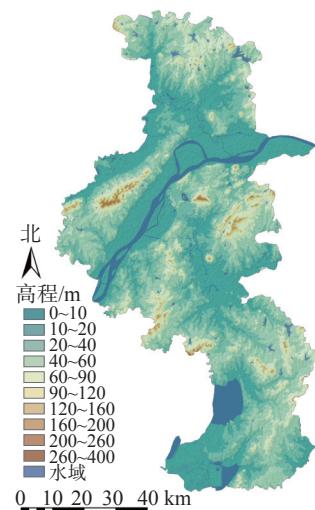


图 1 南京市高程分布示意图

Figure 1 Elevation distribution map of Nanjing City

其中:  $I_R$  表示研究区在该时间段内单一绿地类型的变化速率, 即动态度;  $S_a$  为该类绿地在研究时间段起点的面积;  $S_b$  为该类绿地在研究时间段终点的面积;  $T$  为时间间隔年份。

综合土地动态度反映研究区内绿地总数量在一定时段内的变化速率。其计算公式为:

$$R = \left( \frac{\sum_{i=1}^n \Delta S_{i-j}}{2 \sum_{i=1}^n S_i} \right) \times \frac{1}{T} \times 100\%.$$

其中:  $R$  表示研究区在该时间段内所有绿地类型的变化速率即绿地综合动态度;  $j$  为某种绿地类型,  $S_i$  为研究起始时间第  $i$  类绿地的面积;  $\Delta S_{i-j}$  为研究时段内第  $i$  类绿地转化为第  $j$  类绿地的面积绝对值;  $T$  为时间间隔年份。

**2.2.2 景观格局指数分析** 景观格局指数是能够高度浓缩景观格局信息, 反映其结构组成和空间配置某些方面特征的简单定量指标, 景观格局指数分析方法能够揭示市域绿地格局的时空演变特征<sup>[19-22]</sup>。为了全面系统地对南京市域绿地景观格局结构、特点、动态进行描述, 采用斑块数量(NP)、边缘密度(ED)、景观形状指数(LSI)、连接度指数(CONHESION)以及香农多样性指标(SHDI)表明绿地景观格局的水平。基于 Fragstats 4.2 软件计算各个景观指数, 计算方法见参考文献<sup>[23]</sup>。

**2.2.3 偏最小二乘回归模型(PLSR)** PLSR 作为一种多元统计回归模型, 具有广泛适用性, 近年来被大量运用到土地覆被变化的影响机制研究当中<sup>[18, 24]</sup>。PLSR 模型具有以下优点: 首先, 它可以同时实现主成分分析、相关分析和线性回归分析; 其次, 它能够排除自变量或因变量指标之间的多重共线性问题, 同时适用于样本容量较小的情况。

在 PLSR 模型中, 交叉有效性( $Q^2$ )表示模型的预测能力, 当  $Q^2 > 0.097$  时, 模型具有较强的预测能力。解释能力( $R_Y^2$ )表示模型的稳健性, 当  $R_Y^2 > 0.5$  时, 模型具有较好的稳健性。变量投影重要性( $V_{IP}$ )表示各个解释变量的相对重要性, 当  $V_{IP} < 0.5$  时, 变量对于绿地格局演变不重要; 当  $0.5 < V_{IP} < 1.0$  时, 变量对绿地格局演变比较重要; 当  $V_{IP} > 1.0$  时, 变量对绿地格局演变具有较为明显的解释能力,  $V_{IP}$  越大, 自变量对因变量的解释性越强<sup>[25]</sup>。回归系数( $R_C$ )表示各解释变量与绿地格局演变的正负相关性, 当  $R_C > 0$  时, 变量与绿地格局演变呈正相关; 当  $R_C < 0$  时, 变量与绿地格局演变呈负相关。使用 SIMCA-P 软件进行回归模型的构建以及绿地演变影响机制研究。

### 3 结果与分析

#### 3.1 南京市域绿地演变分析

南京市土地利用类型总体上呈现以耕地、建设用地为主, 河流、湖泊、林地、草地及裸地为辅的格局。2000—2020年, 研究区域内水域及裸地变化较小, 建设用地占比持续大幅度增加, 耕地面积不断

**表 1 2000—2020 年南京市土地利用分类图精度验证统计表**

Table 1 Accuracy verification statistics of Nanjing land use classification map from 2000 to 2020

年份	总体分类精度/%	Kappa系数
2000	93.3	0.88
2005	93.3	0.89
2010	92.0	0.85
2015	89.0	0.83
2020	91.3	0.87

**表 2 南京市域绿地演变的影响因子**

Table 2 Influencing factors on the evolution of Nanjing's urban green space

分类	编号	影响因子	单位
自然因素	1	年降水量	mm
	2	年平均气温	℃
	3	全年日照时长	h
	4	总水资源量	亿m <sup>3</sup>
社会经济要素	5	地区生产总值	亿元
	6	人均国内生产总值(GDP)	万元·人 <sup>-1</sup>
	7	第一产业产值比例	%
	8	第二产业产值比例	%
	9	第三产业产值比例	%
	10	农林牧渔业总产值	亿元
	11	建成区绿化面积	hm <sup>2</sup>
	12	常住人口数量	万人

说明: 自然因素数据来源于《南京市统计年鉴(2001—2021)》《江苏省统计年鉴(2001—2021)》, 社会经济要素数据来源于《江苏省统计年鉴(2001)》《南京市统计年鉴(2006—2021)》

缩减转移, 市域绿地面积变化起伏较为明显(图3)。

2000—2020年, 南京市域绿地面积总体呈先减后增的状态。其中, 作为市域绿地组成部分的林地与草地在面积上呈现出的变化趋势具有一定的差异性(表3)。2000—2005年, 林地和草地的面积均呈减少状态, 分别减少了72.47和86.77 km<sup>2</sup>, 两者的变化动态度分别为-2.10%·a<sup>-1</sup>和-11.46%·a<sup>-1</sup>, 最终市域绿地面积整体减少了159.24 km<sup>2</sup>, 整体面积的变化动态度为-3.78%·a<sup>-1</sup>。2005年之后, 林地面积一直呈现正增长的状态, 但与持续下降的草地面积进行综合计算后发现: 研究期间市域绿地面积仅增加了11.96 km<sup>2</sup>, 变化动态度为0.07%·a<sup>-1</sup>。

### 3.2 南京市域绿地景观格局分析

根据斑块数量指数可知: 在2000—2020年南京市域绿地斑块趋于破碎化。结合边缘密度指数和景观形状指数的变化可以看出: 绿地景观形状复杂度逐步升高。在景观系统中, 土地利用越丰富, 破碎化程度越高, 其不定性的信息含量也越大, 香农多样性指数也就越高。2000—2005年香农多样性指数明显下降, 说明这5a间, 市域绿地各斑块类型减少且并呈不均衡化趋势分布, 绿地破碎化有一定的缓和。2005—2020年, 香农多样性指数稳步上升, 说明后期南京市域内部土地利用类型更加丰富, 景观破碎度也随之升高。另外, 2000—2005年, 连接度指数稍有提高, 但2005年之后, 由于景观破碎度升高, 其连接度也持续降低(表4)。

表3 不同时期南京市域绿地规模变化

Table 3 Changes of green space scale in Nanjing during different periods

土地类型	2000—2005年		2005—2010年		2010—2015年		2015—2020年		2000—2020年	
	变化量/km <sup>2</sup>	动态度/(%·a <sup>-1</sup> )								
林地	-72.47	-2.10	72.78	2.35	12.10	0.35	104.73	2.97	117.14	0.85
草地	-86.77	-11.46	-6.94	-2.15	-1.48	-0.51	-9.99	-3.55	-105.18	-3.47
市域绿地	-159.24	-3.78	62.84	1.93	10.62	0.28	94.74	2.49	11.96	0.07

说明: 正值表示该类用地面积呈正向增长; 负值表示该类用地面积呈负向减少

### 3.3 南京市域绿地演变影响机制分析

3.3.1 市域绿地规模演变的影响因素分析 以8项社会经济指标和4项自然影响因素为自变量, 以南京市域绿地面积为因变量构建回归模型, 对影响市域绿地规模演变的主要因素进行主成分提取。以 $Q^2>0.097$ 和 $R_Y^2>0.5$ 作为PLSR模型主成分提取的终止条件, 市域绿地的总体面积最终以 $R_Y^2=0.808$ 和 $Q^2=0.534$ 在第2主成分处达到模型终止条件。南京市域绿地规模变化的重要解释变量如表5和图4所示。

通过市域绿地面积与各影响因素的PLSR结果分析可知: 社会经济指标的变化与自然环境的演变

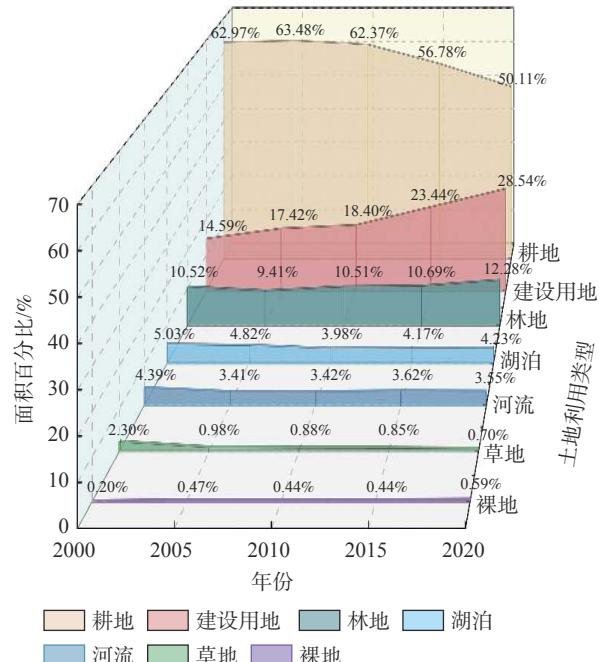


图3 2000—2020年南京市域土地利用面积变化对比图

Figure 3 Comparison of land use area changes in Nanjing City area from 2000 to 2020

表4 市域绿地景观格局指数统计

Table 4 Pattern index statistics of urban green space landscape

年份	斑块数 量/个	边缘密度/ (m·hm <sup>-2</sup> )	景观形 状指数	连接度 指数	香农多样 性指数
2000	2 130	9.012	21.525	99.987	0.385
2005	2 993	8.456	19.984	99.987	0.334
2010	6 635	9.618	22.298	99.986	0.355
2015	5 393	9.160	21.369	99.986	0.358
2020	7 690	11.642	26.405	99.986	0.386

在不同程度上影响着市域绿地面积的演变，其中主要因素( $V_{IP} > 1$ )为年平均气温、总水资源量、第一产业产值比例以及建成区绿化面积。由回归系数可知：与市域绿地面积演变呈正相关( $R_C > 0$ )的因素为年平均气温、年降水量、地区生产总值、人均GDP、第一产业产值比例、第三产业产值比例、农林牧渔业总产值以及常住人口数量。除此之外，其余因素均与市域绿地面积变化呈负相关。

其中，第一产业产值比例为市域绿地面积演变最相关的因子，且为正相关，说明以种植业、林业等自然物为生产对象的第一产业规模与城市绿地规模密不可分。同时，这也体现出产业关系转变在城市绿地格局演变中的重要地位。另外，建成区绿化面积指标作为市域绿地面积演变的次相关因子，反而呈现负相关关系，说明相关城市规划政策的制定仍旧只聚焦于城市建成区内的绿地修复，而在城市扩张区域初始发展阶段并不注重绿化建设，体现出城市生态发展地域间的不平衡问题。除此之外，通过对自然条件相关性的评估可以看出，适宜的温度环境以及水资源环境对植物生长有长期性的影响，因此也是城市绿地发展的重要先决条件。

**3.3.2 市域绿地格局演变的影响因素分析** 将景观格局指数作为因变量，将社会经济指标以及自然影响因素作为自变量进行PLSR分析。以 $Q^2 > 0.097$ 和 $R_Y^2 > 0.5$ 作为PLSR模型主成分提取的终止条件，南京市域绿地总体斑块数量、边缘密度、景观形状指数、连接度指数在第1主成分处已满足模型终止条件， $R_Y^2$ 分别为0.781、0.731、0.687、0.891， $Q^2$ 分别为0.729、0.457、0.380、0.829；香农多样性指数以 $R_Y^2 = 0.796$ 及 $Q^2 = 0.525$ 在第2主成分处达到了模型终止条件(表6和图5)。

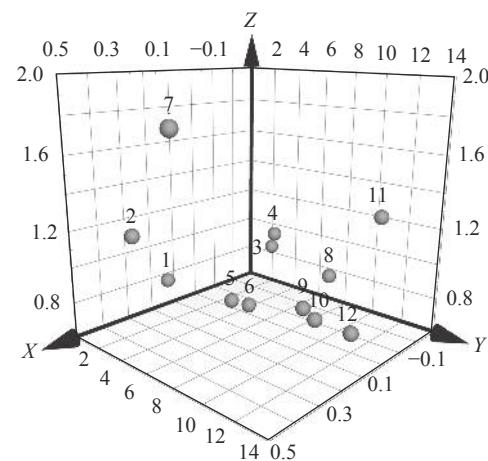
通过南京市域绿地景观格局指数与各影响因素的PLSR结果分析可知：影响南京市域内绿地斑块数量演变的主要影响因子( $V_{IP} > 1$ )为总水资源量、地区生产总值、人均GDP、第三产业产值比例、农林牧渔业总产值、建成区绿化面积以及常住人口数量。大部分的社会经济指标均对绿地斑块数量有重要影响，且除了第一产业产值比例以及第二产业产值比例外，其余因子均与绿地斑块数量呈正相关。其中，常住人口数量具有最大相关性，缘于城市人口增加后必然对于生活环境产生要求，市域内的绿地配置也一定会随人民需求及人口流动产生斑块转移。另外，自然环境条件下的总水资源量有较明显相关性，全年日照时长呈负相关性，可以看出城市的旱涝环境以及日照条件对植物生长存在一定影响，从而导致绿地斑块数量的变化。

影响绿地边缘密度和景观形状指数的主要影响因子( $V_{IP} > 1$ )为年平均气温、年降水量、全年日照时长、地区生产总值、人均GDP、第二产业产值比例、第三产业产值比例以及常住人口数量。由回归系数可知：全年日照时长、第一产业产值比例以及第二产业产值比例等3个影响因子与边缘密度和景观形状指数演变呈负相关( $R_C < 0$ )。值得一提的是，该2项指标均与自然因素有明显相关性，推测为自然环境对植被生长产生影响所致。根据卫星图像识别提取，俯视视角下的树冠形状也是影响市域绿地边缘密度

**表5 市域绿地规模与各影响因素的偏最小二乘回归结果**

Table 5 Results of partial least squares regression of urban green space scale and each influencing factor

影响因子	变量投影重要性( $V_{IP}$ )	回归系数( $R_C$ )
年降水量	0.80	0.17
年平均气温	1.16	0.35
全年日照时长	0.89	-0.23
总水资源量	1.02	-0.18
地区生产总值	0.75	0.10
人均GDP	0.74	0.08
第一产业产值比例	1.79	0.44
第二产业产值比例	0.83	-0.20
第三产业产值比例	0.77	0.02
农林牧渔业总产值	0.74	0.03
建成区绿化面积	1.24	-0.23
常住人口数量	0.71	0.003



图中编号所代表的影响因子见表2。X表示回归系数；Y表示影响因子编号；Z表示变量投影重要性

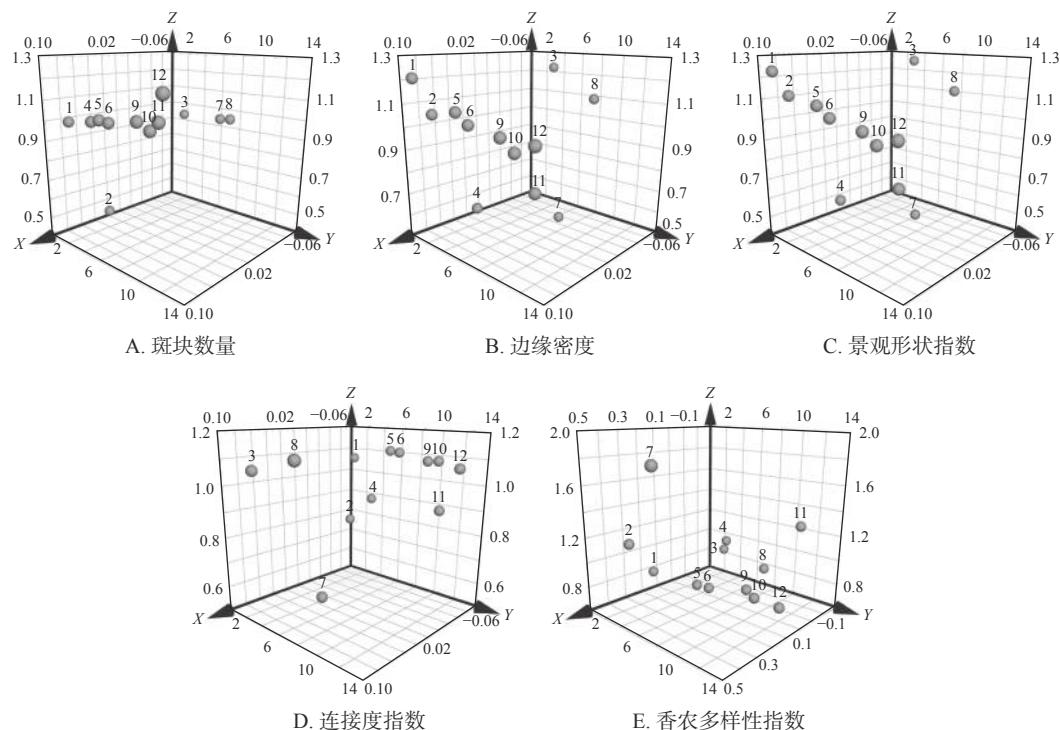
**图4 各影响因素对南京市域绿地面积的PLSR分析**

Figure 4 PLSR analysis of each influencing factor on the green space area of Nanjing

表6 市域绿地景观格局指数与各影响因素的偏最小二乘回归结果

Table 6 Results of partial least squares regression of urban green space landscape pattern index with each influencing factor

影响因子	斑块数量		边缘密度		景观形状指数		连接度指数		香农多样性指数	
	$V_{IP}$	$R_C$								
年降水量	0.99	0.08	1.21	0.10	1.23	0.09	1.06	-0.09	0.80	0.17
年平均气温	0.49	0.04	1.06	0.08	1.12	0.09	0.79	-0.07	1.14	0.35
全年日照时长	0.96	-0.08	1.22	-0.10	1.25	-0.10	1.07	0.09	0.88	-0.23
总水资源量	1.02	0.08	0.64	0.05	0.59	0.05	0.89	-0.08	1.01	-0.18
地区生产总值	1.04	0.08	1.09	0.09	1.10	0.08	1.10	-0.09	0.75	0.10
人均GDP	1.03	0.08	1.05	0.08	1.05	0.08	1.10	-0.09	0.74	0.08
第一产业产值比例	0.96	-0.08	0.53	-0.04	0.45	-0.03	0.61	0.05	1.80	0.45
第二产业产值比例	0.97	-0.08	1.09	-0.09	1.11	-0.09	1.13	0.10	0.83	-0.20
第三产业产值比例	1.07	0.09	1.03	0.08	1.01	0.08	1.08	-0.09	0.78	0.01
农林牧渔业总产值	1.04	0.08	0.98	0.08	0.96	0.07	1.08	-0.09	0.75	0.03
建成区绿化面积	1.08	0.09	0.82	0.06	0.78	0.06	0.89	-0.08	1.25	-0.23
常住人口数量	1.20	0.10	1.03	0.08	1.01	0.08	1.06	-0.09	0.71	0.00

说明:  $V_{IP}$ 为变量投影重要性;  $R_C$ 为回归系数

图中编号所代表的影响因子见表2。X表示回归系数; Y表示影响因子编号; Z表示变量投影重要性

图5 各影响因素对南京市域绿地景观格局指数的PLSR分析

Figure 5 PLSR analysis of each influencing factor on the landscape pattern index of Nanjing's urban green space

和景观形状指数的重要因素。社会经济指标中的地区生产总值和第二产业产值比例为最相关因子,这说明人类的经济建设活动,尤其是工业生产活动,在带来城市飞速发展的同时,所导致的市域绿地边界的啃食是不可忽视的问题。

影响南京市域绿地连接度水平变化的主要影响因子( $V_{IP}>1$ )为年降水量、全年日照时长、地区生产总值、人均GDP、第二产业产值比例、第三产业产值比例、农林牧渔业总产值以及常住人口数量。由回归系数可知:全年日照时长、第一产业产值比例以及第二产业产值比例与南京市域绿地连接度变化呈正相关( $R_C>0$ )。大部分社会经济指标因子均与绿地连接度水平有显著相关性,且多呈负相关,说明人类

发展活动所带来的城市建设会降低绿地连接性,使绿地更趋破碎化,这将启发规划者在城市当中找到重要生态源点,通过城市添绿工程打通生态廊道,提高市域绿地连通性。

影响南京市域绿地香农多样性指数产生演变的主要影响因子( $V_{IP}>1$ )为年平均气温、总水资源量、第一产业产值比例以及建成区绿化面积。由回归系数可知:除了全年日照时长、总水资源量、第二产业产值比例以及建成区绿化面积4项影响因子与南京市域绿地香农多样性指数变化呈负相关( $R_C<0$ )外,其余8项影响因子均与其演变呈正相关。

## 4 结论与讨论

南京市域绿地空间格局受到社会经济因素的影响,产业结构转型、人口流动、交通道路拓展以及城镇空间扩展削弱了市域绿地斑块的整体性。因此,在发展过程中应加强“见缝插针”式的小微绿地建设,加强生态修复治理。同时,亟需重视建成区外围的绿带、绿廊、绿网的构建,整合市域各类绿地的破碎斑块并构成有机网络体系,提升市域绿地的生态效益。

本研究在数据处理阶段采用了IGBP的LUCC分类系统,与《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南(试行)》<sup>[26]</sup>中的土地分类标准相比较,该分类体系中一级类型为耕地、林地、草地、水域、城乡工矿居民用地、未利用土地共6类,其中林地又包含有林地、灌木林、疏林地及其他林地(指未成林造林地、迹地、苗圃及各类园地),使用LUCC分类体系可以很好地识别出以林地为主的城乡绿色空间状态<sup>[27]</sup>。国土空间视角下,城镇化发展与生态空间的矛盾是南京城乡建设的主要矛盾之一<sup>[28]</sup>。本研究所采用的Landsat数据精度为30 m,能够较好地识别市域绿地的变化情况,但是,随着郊区、非建成区的建设行为管控和土地的精细化管理要求不断提高<sup>[3,29]</sup>,今后还需要针对城市外围生态敏感区域提高数据提取精度,对市域绿地的景观连通性与格局优化进行进一步探讨,为城乡生态系统修复、尤其是非建成区生态问题的识别与诊断提出参考性意见。

## 5 参考文献

- [1] 刘秉镰,朱俊丰.新中国70年城镇化发展:历程、问题与展望[J].经济与管理研究,2019,40(11):3-14.  
LIU Binglian, ZHU Junfeng. Development of the People's Republic of China in the past 70 years: process, problems and prospects [J]. *Research on Economics and Management*, 2019, 40(11): 3-14.
- [2] 商振东.市域绿地系统规划研究[D].北京:北京林业大学,2006.  
SHANG Zhendong. *Study on Municipal Administrative Areas' Planning of Green Spaces' System* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2006.
- [3] 殷柏慧.城乡一体化视野下的市域绿地系统规划[J].中国园林,2013,29(11):76-79.  
YIN Baihui. On urban green space system planning from the perspective of urban-rural integration [J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2013, 29(11): 76-79.
- [4] MAHENG D, PATHIRANA A, ZEVENBERGEN C. A preliminary study on the impact of landscape pattern changes due to urbanization: case study of Jakarta, Indonesia [J/OL]. *Land*, 2021, 10(2): 218[2022-04-28]. doi: 10.3390/land10020218.
- [5] 其格乐很,何秉宇,黄玲.基于GIS和Fragstats的城市绿地景观格局动态变化研究——以新疆乌鲁木齐市为例[J].安徽农业科学,2019,47(15):72-77,88.  
QIGELHEN, HE Bingyu, HUANG Ling. Dynamic change of urban greenbelt landscape pattern based on GIS and Fragstats: a case study of Urumqi, Xinjiang [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2019, 47(15): 72-77, 88.
- [6] NOR A N M, AZIZ H A, NAWAWI S A, et al. Evolution of green space under rapid urban expansion in southeast Asian cities [J/OL]. *Sustainability*, 2021, 13(21): 12024[2022-05-01]. doi: 10.3390/su132112024.
- [7] 戴菲,毕世波,陈明,等.基于MSPA与混淆矩阵的绿地系统格局演化及其驱动因子研究——以伦敦为例[J].中国园林,2020,36(11):34-39.  
DAI Fei, BI Shibo, CHEN Ming, et al. Research on green space system pattern evolution and its driving factors based on MSPA and confusion matrix: taking London as an example [J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2020, 36(11): 34-39.
- [8] LIU Song, ZHANG Xinsu, FENG Yongjiu, et al. Spatiotemporal dynamics of urban green space influenced by rapid

- urbanization and land use policies in Shanghai [J/OL]. *Forests*, 2021, **12**(4): 476 [2022-05-01]. doi: 10.3390/f12040476.
- [9] 赵海霞, 王淑芬, 孟菲, 等. 绿色空间格局变化及其驱动机理——以南京都市区为例[J]. 生态学报, 2020, **40**(21): 7861–7872.
- ZHAO Haixia, WANG Shufen, MENG Fei, et al. Green space pattern changes and its driving mechanism: a case study of Nanjing metropolitan area [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, **40**(21): 7861–7872.
- [10] 顾余庆. 绿色空间与生态用地发展模式探讨——以南京市为例[J]. *安徽农业科学*, 2013, **41**(27): 11082–11083.
- GU Yuqing. Investigation of green space and development mode of ecological land in Nanjing [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2013, **41**(27): 11082–11083.
- [11] 胡勇, 赵媛. 南京城市绿地景观格局之初步分析[J]. *中国园林*, 2004, **20**(11): 37–39.
- HU Yong, ZHAO Yuan. Analysis on the pattern of urban green land features in Nanjing [J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2004, **20**(11): 37–39.
- [12] 宗良纲, 刘存丽, 董雅文. 南京市景观空间格局演变及驱动力分析[J]. 南京农业大学学报, 2006, **29**(3): 49–53.
- ZONG Lianggang, LIU Cunli, DONG Yawen. Analysis of landscape spatial evolvement and its driving forces in Nanjing [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2006, **29**(3): 49–53.
- [13] 许浩, 李欢欣, 刘伟. 近 15 年南京都市圈区域绿地变化研究[J]. *西北林学院学报*, 2021, **36**(5): 215–222.
- XU Hao, LI Huanxin, LIU Wei. Evolution of regional green space in Nanjing metropolitan area in the past 15 years [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2021, **36**(5): 215–222.
- [14] LIU Wei, XU Hao, ZHANG Xiaotong, et al. Green infrastructure network identification at a regional scale: the case of Nanjing metropolitan area, China [J/OL]. *Forests*, 2022, **13**(5): 735 [2022-05-01]. doi: 10.3390/f13050735.
- [15] 邵大伟, 吴殿鸣. 基于景观指数的南京主城区绿色空间演变特征研究[J]. *中国园林*, 2016, **32**(2): 103–107.
- SHAO Dawei, WU Dianming. Landscape pattern evolvement of green space: a case study of the central area of Nanjing [J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2016, **32**(2): 103–107.
- [16] 石云峰. 南京城市边缘增长速率空间分异的驱动机制[D]. 南京: 南京大学, 2013.
- SHI Yunfeng. *Driving Mechanisms of Differentiated Urban Growth Rates in the Urban Fringe Area of Nanjing* [D]. Nanjing: Nanjing University, 2013.
- [17] 李发志, 朱高立, 姬超, 等. 基于不透水表面指数的城市扩张趋势及驱动机制分析——以南京市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2021, **30**(3): 575–590.
- LI Fazhi, ZHU Gaoli, JI Chao, et al. Analysis on the trend and driving mechanism of urban growth based on impervious surface index: taking Nanjing City for example [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2021, **30**(3): 575–590.
- [18] 李方正, 解爽, 李雄. 基于 PLSR 模型的北京市中心城绿色空间演变驱动机制研究(1992—2016 年)[J]. *北京林业大学学报*, 2019, **41**(4): 116–126.
- LI Fangzheng, XIE Shuang, LI Xiong. Evolutionary driving mechanism of green space in central Beijing City based on the PLSR model [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2019, **41**(4): 116–126.
- [19] WENG Huayan, GAO Yongchao, SU Xinyi, et al. Spatial-temporal changes and driving force analysis of green space in coastal cities of southeast China over the past 20 years [J/OL]. *Land*, 2021, **10**(5): 537 [2022-05-01]. doi: 10.3390/land10050537.
- [20] AGUILERA F, VALENZUELA L M, BOTEQUILHA-LEITAO A. Landscape metrics in the analysis of urban land use patterns: a case study in a Spanish metropolitan area [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2011, **99**(3/4): 226–238.
- [21] DADASHPOOR H, AZIZI P, MOGHADASI M. Land use change, urbanization, and change in landscape pattern in a metropolitan area [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, **655**: 707–719.
- [22] 付凤杰, 刘珍环, 黄千杜. 深圳市福田区三维城市景观格局变化特征[J]. 生态学报, 2019, **39**(12): 4299–4308.
- FU Fengjie, LIU Zhenhuan, HUANG Qiandu. Three-dimensional urban landscape pattern changes: a case study in the central business district of Futian, Shenzhen [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, **39**(12): 4299–4308.
- [23] 刘宇, 吕一河, 傅伯杰. 景观格局-土壤侵蚀研究中景观指数的意义解释及局限性[J]. 生态学报, 2011, **31**(1): 267–

- 275.
- LIU Yu, LÜ Yihe, FU Bojie. Implication and limitation of landscape metrics in delineating relationship between landscape pattern and soil erosion [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, **31**(1): 267 – 275.
- [24] 马明德, 马学娟, 谢应忠, 等. 宁夏生态足迹影响因子的偏最小二乘回归分析[J]. 生态学报, 2014, **34**(3): 682 – 689.
- MA Mingde, MA Xuejuan, XIE Yingzhong, *et al.* Analysis the relationship between ecological footprint (EF) of Ningxia and influencing factors: Partial Least Squares Regression (PLS) [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, **34**(3): 682 – 689.
- [25] 高惠璇. 两个多重相关变量组的统计分析 (3)(偏最小二乘回归与 PLS 过程)[J]. 数理统计与管理, 2002, **21**(2): 58 – 64.
- GAO Huixuan. Statistical analyses for multiple correlation variables of two sets (3) (Partial least-squares Regression and PLS Procedure) [J]. *Journal of Applied Statistics and Management*, 2002, **21**(2): 58 – 64.
- [26] 自然资源部. 自然资源部办公厅关于印发《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南(试行)》的通知(自然资办发[2020]51号)[EB/OL]. 2020-11-17[2022-11-29]. [http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-11/22/content\\_5563311.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-11/22/content_5563311.htm).
- Ministry of Natural Resources. *Notice of the General Office of the Ministry of Natural Resources on Printing and Distributing the ‘Guidelines for the Classification of Land and Sea Use for Land and Space Survey, Planning, and Use Control (Trial)’ (Natural Resources Office [2020] No. 51)* [EB/OL]. 2020-11-17[2022-11-29]. [http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-11/22/content\\_5563311.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-11/22/content_5563311.htm).
- [27] 于洋. 基于 RS 和 GIS 的区域 LUCC 的景观生态效应研究——以北京市密云为例[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2014.
- YU Yang. *Research on the Landscape Ecological Effects of Regional LUCC based on RS and GIS: A Case Study of Miyun in Beijing* [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2014.
- [28] 赵海霞, 范金鼎, 骆新燎, 等. 绿色基础设施格局变化及其驱动因素——以南京市为例[J]. 生态学报, 2022, **42**(18): 7597 – 7611.
- ZHAO Haixia, FAN Jinding, LUO Xinliao, *et al.* Changes of green infrastructure pattern and its driving factors: taking Nanjing as an example [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, **42**(18): 7597 – 7611.
- [29] 季益文, 张浪, 张青萍, 等. 区域绿地概念形成脉络与深层发展研究[J]. 中国环境管理, 2021, **13**(1): 88 – 95, 34.
- JI Yiwen, ZHANG Lang, ZHANG Qingping, *et al.* Research on the formation and deep development of the concept of regional green space [J]. *Chinese Journal of Environmental Management*, 2021, **13**(1): 88 – 95, 34.