

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2024.01.017.

丁孝媛, 叶长盛. 环鄱阳湖城市群“三生”用地转型的生态环境效应及其地形梯度分析[J]. 水土保持研究, 2024, 31(1): 315-326.

Ding Xiaoyuan, Ye Changsheng. Eco-environmental Effects of ‘Production-Ecology-Living’ Land Use Transformation and the Analysis of Terrain Gradient in Poyang Lake City Cluster [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(1): 315-326.

# 环鄱阳湖城市群“三生”用地转型的生态环境效应及其地形梯度分析

丁孝媛, 叶长盛

(东华理工大学 地球科学学院, 南昌 330013)

**摘要:** [目的] 准确评估“三生”用地转型对生态环境质量的影响, 可为国土空间优化和区域高质量发展提供科学依据。[方法] 基于环鄱阳湖城市群 2000 年、2010 年、2020 年的土地利用数据, 使用土地转移矩阵、生态环境质量指数、地形分布指数等方法, 分析了“三生”用地转型过程、生态环境效应及其梯度分异特征。[结果] (1) 2000—2020 年环鄱阳湖城市群生活用地大幅增长 ( $1\,063.45\text{ km}^2$ ), 生态用地持续减少 ( $997.41\text{ km}^2$ ), 生产用地总体上保持稳定, 主要的用地转型模式为城镇生活用地和工矿生产用地对农业生产用地和林地生态用地的侵占。(2) 时序变化上, 2000—2010 年, 随着工矿生产用地和城乡生活用地的扩张, 生态环境质量指数由 1.428 下降至 1.424; 2010—2020 年, 伴随着生态用地的恢复以及城镇生活用地和工矿生产用地内部格局的不断优化, 生态环境质量指数由 1.424 升至 1.447。(3) 空间分布上, 整体上呈现“东西高、中部低”的空间分布格局, 形成了以南昌大都市圈为中心的中部生态环境质量低值区和以宜春市、景德镇市、上饶市为中心的东部生态环境质量高值区。(4) 随着地形梯度的上升, 低质量区的分布指数下降, 高等级质量区逐渐呈优势分布; 2000—2020 年, 低质量区趋向于向高地形梯度转移, 较高质量区和高质量区的下移趋势明显。[结论] 20 年间研究区的生态环境质量整体向好, 空间分布差异较大。土地利用转型导致了用地属性及其空间格局的双重变化, 建议在布局各类用地时, 既要注重对生产、生活用地的“总量控制”, 又要保证生态用地的完整性和连通性。

**关键词:** 土地利用转型; 生态环境质量; 梯度分异; 环鄱阳湖城市群

中图分类号: F301.2; X321

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2024)01-0315-12

## Eco-environmental Effects of ‘Production-Ecology-Living’ Land Use Transformation and the Analysis of Terrain Gradient in Poyang Lake City Cluster

Ding Xiaoyuan, Ye Changsheng

(School of Earth Sciences, East China University of Technology, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** [Objective] Accurate evaluation of the impact of ‘production-ecology-living’ land use transformation on eco-environmental quality can provide a scientific foundation for national land optimization and regional high-quality development. [Methods] Based on the land use data of Poyang Lake city cluster in 2000, 2010 and 2020, the analysis of land use transformation, eco-environmental effects and its gradient divergence characteristics was carried out through land transfer matrix, eco-environmental quality index and terrain distribution index. [Results] (1) From 2000 to 2010, the living land had grown significantly ( $1\,063.45\text{ km}^2$ ), the ecological land continued to shrink ( $997.41\text{ km}^2$ ), the productive land was generally stable. The main land transformation pattern was the encroachment of urban living land and industrial and mining productive land on agricultural productive land and forest ecological land. (2) From 2000 to 2010, with the expansion of

收稿日期: 2022-11-01

修回日期: 2022-11-26

资助项目: 国家自然科学基金“环鄱阳湖城市群城镇化生态风险综合评价与预警研究”(42061041)

第一作者: 丁孝媛(1997—), 女, 河南信阳人, 硕士研究生, 主要从事土地利用变化与规划。E-mail: dingxy1118@163.com

通信作者: 叶长盛(1977—), 男, 江西临川人, 博士, 教授, 研究方向为城乡发展、土地资源利用与保护。E-mail: ycs519@163.com

<http://stbcj.paperonce.org>

industrial and mining productive land and urban and rural living land, the eco-environmental quality index fell from 1.428 to 1.424. from 2010 to 2020, along with the restoration of ecological land and the optimization of the pattern of urban living land and industrial and mining productive land, the eco-environmental quality index rose from 1.424 to 1.447. (3) The overall spatial distribution pattern was ‘high in the east and west and low in the middle’, forming the central eco-environmental quality low value area centered on Nanchang metropolitan area, and the east and west high value area centered on Yichun, Jingdezhen and Shangrao. (4) With the rise of topographic gradient, the distribution index of low-quality area declined, and the high-quality area showed a dominant distribution. From 2000 to 2020, low-quality area tended to shift to higher topographic gradients, and the downward trend of higher-quality area and high-quality area was evident. [Conclusion] The overall ecological quality of the study area had improved over the twenty years, with large differences in spatial distribution. The land use transformation had led to a double change in land use attribute and their spatial pattern. It is recommended that when laying out various types of land, it is necessary to pay attention to the ‘total control’ of production and living land, but also to ensure the integrity and connectivity of ecological space.

**Keywords:** land use transition; eco-environment effects; gradient divergence; Poyang Lake Urban Cluster

生态环境问题是当前全人类共同面临的重大问题之一,气候变暖、森林退化、生态系统退化等诸多负面生态环境问题严重影响着人类的生存与发展<sup>[1-2]</sup>。土地利用变化是诱发区域生态环境发生改变的重要因素之一,土地利用功能的转变会对区域的生态环境产生正向或负向的影响,并以积累的方式影响全球的生态环境质量<sup>[3-4]</sup>。随着中国工业化、城镇化战略的深入发展,土地利用空间经历了深刻转型与空间重构,进而引发了区域土地生产力水平低下、环境恶化等一系列问题<sup>[5-6]</sup>。因此,准确评估土地利用转型的生态环境效应,探讨土地资源管理实践中存在的问题,是进行国土空间治理和生态文明建设的重要基础。

土地利用转型是指一定地域内的土地利用形态与社会经济发展阶段相对应而发生的趋势性转折的过程<sup>[7]</sup>。作为土地利用/覆被变化研究的新途径<sup>[8]</sup>,众多学者在土地利用转型的理论<sup>[9]</sup>、研究框架<sup>[10]</sup>、特殊地类如耕地、宅基地的转型<sup>[11-12]</sup>、土地利用转型与乡村振兴等<sup>[13-14]</sup>方面开展了大量的研究工作。自党的十八大提出国土“三生空间”的发展目标以来,基于土地利用的主导功能视角,将“三生空间”转型与社会经济转型相衔接,成为研究土地利用转型的重要切入点<sup>[15]</sup>。土地利用转型的主要表现形式之一就是“三生空间”功能的转变,即土地资源在生产、生活、生态(简称“三生”)空间进行动态再配置的过程<sup>[16-17]</sup>,土地利用转型带来的生态环境问题从根本上来说是由于“三生”用地的数量和结构失调所导致的<sup>[18]</sup>。“三生”用地转型对区域生态环境的影响是多元化的,既会对单一的环境要素如碳储量<sup>[19]</sup>、水生态安全<sup>[20]</sup>、土壤质量等<sup>[21]</sup>产生影响,也会影响区域的景观格局<sup>[22]</sup>、生境质量<sup>[23]</sup>、生态系统服务价值等<sup>[24]</sup>

综合的环境要素。当前研究的热点区域主要为省域<sup>[25-26]</sup>、流域<sup>[27]</sup>、海岸带<sup>[28]</sup>、河口三角洲等<sup>[6]</sup>地,利用土地利用转型图谱<sup>[3]</sup>、景观格局指数<sup>[29]</sup>、生态环境质量指数<sup>[25]</sup>、空间计量模型等<sup>[2]</sup>方法来分析研究区的“三生”用地转型特征、生态环境质量的时空分异、驱动机制等内容。总体而言,现阶段的研究区域多集中于经济发达地区和生态脆弱区,较少关注中部正处于高速发展的城市群地区;研究方法多为以专家打分为基础的生态环境质量指数法,计算方法单一,有待改进。此外,地形是影响土地利用格局和生态环境质量的重要因子<sup>[30]</sup>,但是已有的研究较少考虑地形复杂区域生态环境质量的梯度分异状况。

环鄱阳湖城市群以中国第一大淡水湖—鄱阳湖为核心,是江西省城镇化、工业化水平最高的区域,土地利用活动剧烈,同时兼具平原—丘陵—山地的复合地形,适宜从地形尺度开展研究,尤其是在地形的过渡区,人口、产业的发展与生态保护之间存在着复杂的冲突,亟需用新工具和新视角对区域的生态环境质量变化进行研究。鉴于此,选取环鄱阳湖城市群为案例区,定量分析 2000—2020 年研究区“三生”用地转型的特征,构建生态环境质量指数,分析其生态环境质量的时空分异规律,同时借助地形位指数探究该区域的生态环境质量在地形梯度上的分布状况,以期为实现研究区的高质量发展和国土空间优化提供理论支撑。

## 1 研究区概况

环鄱阳湖城市群位于江西省北部,地处北纬 26°57′—30°04′,东经 113°34′—118°28′,包括南昌、九江、景德镇、上饶、宜春等地级市全部行政辖区以及抚州市临川区、东

乡区、金溪县、崇仁县，吉安市的新干县、峡江县(图 1)。由于在研究时段内，江西省的行政区划有所变化，因此根据研究的需要，对原有的区县单元进行重新整理划分，最终得到了 57 个区县单位(包括县、区、县级市)，总面积为 9.23 万 km<sup>2</sup>。研究区属亚热带温暖湿润气候，光照条件和降雨充足，主要地形为平原和丘陵，河网稠密，湖泊众多，自然条件良好。到 2020 年年末，环鄱阳湖城市群地区生产总值为 19 459.89 亿元，占全省生产总值的 75.74%，区域内总人口达 3 072.19 万人，其中城镇人口为 1 939.01 万人，城镇化水平达到 63.12%，是江西省最具经济活力的地区。

## 2 数据来源及研究方法

### 2.1 数据来源与处理

土地利用数据来源于 Landsat TM/ETM+ 遥感影像，空间分辨率为 30 m×30 m，经过辐射纠正、几何校正、图像配准和人工解译等处理后得到研究区 2000 年、2010 年和 2020 年 3 个年份的土地利用现状数据。依据中国科学院土地利用遥感监测分类系统<sup>[31]</sup>，将研究区的土地利用数据分为 6 个一级地类(耕地、林地、牧草地、水域、建设用地以及未利用地)和 19 个二级地类。DEM 数据来源于地理空间数据云

平台的 ASTER GDEM5 数据集，空间分辨率为 30 m×30 m，利用 ArcGIS 10.5 提取出坡向和坡度因子。此外，根据已有的研究<sup>[32]</sup>，基于“三生”用地主导功能的划分标准，对基础数据的二级地类进行归并，构建“三生”用地分类体系<sup>[15]</sup>。同时，为了表征“三生”用地转型对生态环境的影响，借鉴李晓文等<sup>[33]</sup>制定的二级地类的生态环境质量值，采用面积加权法求得“三生”空间各地类的生态环境属性因子  $R_i$ (表 1)。

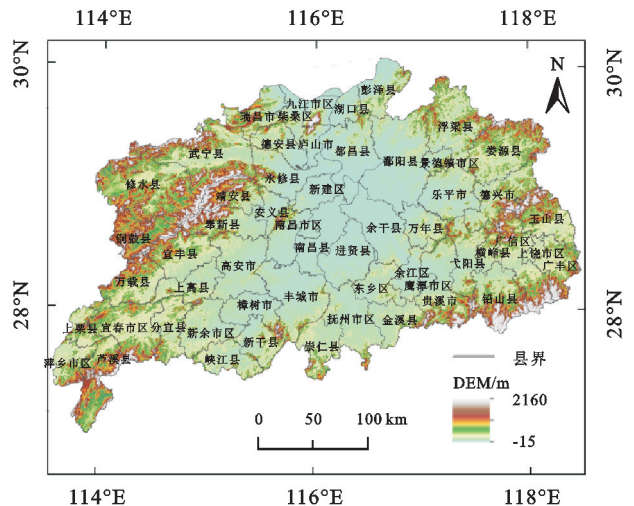


图 1 研究区地理位置及研究单元

Fig. 1 Geographical location of the study area and study units

表 1 土地利用主导功能分类及其生态环境属性因子值

Table 1 Land use classification based on dominant functions and eco-environmental quality index

| “三生空间”主导功能分类 |         | 土地利用分类系统的            | 生态功能          |
|--------------|---------|----------------------|---------------|
| 一级地类         | 二级地类    | 二级分类                 | 属性因子( $R_i$ ) |
| 生产用地         | 农业生产用地  | 水田、旱地                | 0.288         |
|              | 工矿生产用地  | 工矿建设用地               | 0.150         |
|              | 林地生态用地  | 有林地、灌木林地、疏林地、其他林地    | 0.819         |
| 生态用地         | 牧草地生态用地 | 高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地 | 0.589         |
|              | 水域生态用地  | 河渠、湖泊、水库坑塘、滩地        | 0.641         |
|              | 其他生态用地  | 沼泽地、裸土地、裸岩石砾地        | 0.621         |
| 生活用地         | 城镇生活用地  | 城镇用地                 | 0.200         |
|              | 农村生活用地  | 农村居民点用地              | 0.200         |

### 2.2 研究方法

2.2.1 土地利用转移矩阵 土地利用转移矩阵可对研究区的各用地类型相互转化的数量和方向进行动态呈现<sup>[34]</sup>。其表达式为：

$$S_{ij} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中： $S$  为面积； $i, j$  分别为研究初期和末期的土地利用类型； $n$  为土地利用的类型数。

#### 2.2.2 区域生态环境质量分析

(1) 生态环境质量指数构建。研究结果具有尺度

依赖性，本文选取网格作为研究尺度，将各用地斑块视为采样点。为了获得合适的尺度，网格的大小根据经验公式来确定<sup>[35]</sup>，即网格的数量约为采样点的 1/2。研究区 2000 年、2010 年和 2020 年的土地利用斑块数均约为 5.2 万个，经过多次试验，确定以 2 km×2 km 的正方形网格对环鄱阳湖城市群地区进行等距离采样，生成近 2.4 万个样区。基于土地利用类型的生态环境差异性以及空间分布的异质性，综合考虑了用地类型的景观格局属性和生态功能属性两个方面<sup>[28]</sup>，来构建区域的生态环境质量指数，其表达式为：

$$EV_i = \sum_{k=1}^n \frac{A_{ki}}{A_k} (R_i + F_i) \quad (2)$$



式中:  $EV_i$  为第  $i$  个网格的生态环境质量指数;  $A_{ki}$  和  $A_k$  分别为第  $k$  个网格单元内各用地类型  $i$  的面积和第  $k$  个网格单元的面积;  $R_i$  为用地类型  $i$  的生态功能属性因子,  $F_i$  为用地类型  $i$  的景观格局属性因子, 其值均进行了归一化处理。

其中, 生态环境的景观格局属性因子  $F_i$  的计算方法借鉴了景观干扰度指数的算法, 以景观格局的空间变化来表示区域“三生”用地转型对生态环境

质量的影响<sup>[36]</sup>, 选取了景观破碎度  $C_i$ 、景观分离度  $N_i$  和景观优势度  $D_i$  等 3 个指标, 对其进行加权计算并取倒数来求得区域的景观格局属性因子  $F_i$  (表 2)。参考现有的研究<sup>[37]</sup>, 并结合研究区的实际情况, 确定三者的权重分别为  $a=0.6, b=0.3, c=0.1$ , 具体的表达式为:

$$S_i = \frac{1}{a \times C_i + b \times N_i + c D_i}$$

(3)

表 2 景观指数计算方法  
Table 2 Calculation methods of landscape pattern index

| 景观格局指数         | 计算方法   | 生态学涵义                                |
|----------------|--|--------------------------------------|
| 景观破碎度( $C_i$ ) | $C_i = \frac{n_i}{A_i}$ ; $n_i$ 为评价单元内用地类型 $i$ 的斑块数目; $A_i$ 为用地类型 $i$ 的面积  | 反映了景观的破碎化程度, 值越大, 表明景观越破碎            |
| 景观分离度( $N_i$ ) | $N_i = \sqrt{\frac{n_i}{A} \times \frac{A}{2A_i}}$ ; $A$ 为区域总面积  | 反映了不同斑块个体之间的分离程度, 值越大, 表明斑块在地域分布上越分散 |
| 景观优势度( $D_i$ ) | $D_i = \frac{1}{4} \left( \frac{n_i}{N} + \frac{m_i}{M} \right) + \frac{A_i}{2A}$ ; $m_i$ 为景观类型 $i$ 斑块出现的样方数; $N$ 和 $M$ 分别为斑块总数和总样方数 | 反映了某种地类的斑块在景观中的重要程度, 值越大, 表明景观类型越单一  |

(2) 地统计分析。生态环境质量指数作为区域化变量, 存在空间异质性的规律, 采用半变异函数来实现空间插值的最优拟合<sup>[38]</sup>, 其表达式为:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} + \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i+h) - Z(x_i)]^2$$

(4)

式中:  $\gamma(h)$  是半变异函数;  $h$  是样本间距;  $Z(x_i)$ ,  $Z(x_i+h)$  分别为在  $x_i$  和  $x_i+h$  处的生态环境质量指数值,  $n(h)$  为间距为  $h$  的样本对的总个数。

(3) “三生”用地转型的生态环境贡献率。“三生”用地转型的生态环境贡献率是用于量化由于各“三生”用地相互转化所引发的区域生态环境质量的变化<sup>[25]</sup>:

$$LEI = (LE_t - LE_0) \times LA / TA$$

(5)

式中:  $LEI$  为“三生”用地转型的生态环境贡献率;  $LE_t, LE_0$  分别为某种“三生”用地类型在变化末期和初期的生态环境质量指数;  $LA$  为该种“三生”用地类型变化的面积;  $TA$  为研究区的总面积。

2.2.3 地形梯度分级

(1) 地形位指数。地形因素影响土地利用类型的分布, 单一的地形因子不能全面地展现区域的地形特征, 而地形位指数则可以通过对海拔和坡度因子的综合描述来展现某点的地形情况<sup>[24]</sup>, 计算公式为:

$$T = \ln \left[ \left( \frac{E}{E_0} + 1 \right) \times \left( \frac{S}{S_0} + 1 \right) \right]$$

(6)

式中:  $T$  为地形位指数;  $E$  为某地的海拔,  $S$  为某地的坡度;  $E_0$  和  $S_0$  分别为研究区的平均海拔和平均坡度。

(2) 分布指数。分布指数可以表示地形位梯度上各等级生态环境质量区出现的频率, 可用于消除面

积比重差异的影响<sup>[28]</sup>, 计算公式为:

$$P = (S_{ie} / S_i) / (S_e / S)$$

(7)

式中:  $P$  为分布指数;  $S_{ie}$  为第  $e$  种地形梯度下第  $i$  级生态环境质量区的面积;  $S_i$  为研究区第  $i$  级生态环境质量区的总面积;  $S_e$  为第  $e$  种地形梯度的总面积;  $S$  为研究区总面积。

3 结果与分析

3.1 环鄱阳湖城市群“三生”用地转型模式分析  
3.1.1 “三生”用地变化分析 研究区“三生”用地结构以生态用地为主(平均面积占比达 64.51%), 生产用地次之, 生活用地最少。2000—2020 年, 生活用地面积大幅增加, 20 a 间共增加了 1 063.45 km<sup>2</sup>, 主要表现为城镇生活用地的大量增加, 共增加了 967.46 km<sup>2</sup>, 增长率达到 214.89%, 农村生活用地的面积变化较小; 生态用地的面积减少, 共减少了 997.41 km<sup>2</sup>, 其中, 林地、牧草地和其他生态用地的面积均呈持续下降的趋势, 共减少了 1 279.26 km<sup>2</sup>, 仅有水域生态用地的面积有所增加; 生产用地的面积总体上保持稳定, 但其内部二者间的比重却并非一成不变, 具体表现为农业生产用地的不断萎缩(2000—2020 年共减少了 887.66 km<sup>2</sup>) 和工矿生产用地的持续扩张(2000—2020 年面积增长了近 6 倍, 共增加了 821.22 km<sup>2</sup>)。

从土地利用的空间分布来看(图 2), 生产和生活用地主要分布于研究区的中部地区, 其中生活用地主要分布在南昌大都市圈、九江大都市区、信江河谷一

线的城镇群等城市建成区,生产用地主要分布于鄱阳湖湖积平原区,区内有面积广阔的河湖冲积平原,地势低平,具有十分优越的工农业发展和城市建设条

件。研究区东西两侧地形起伏大,多山地丘陵,加之鄱阳湖湖区周边分布着稠密的水网,发育了大量的湖田洲地,是生态用地的主要分布区域。

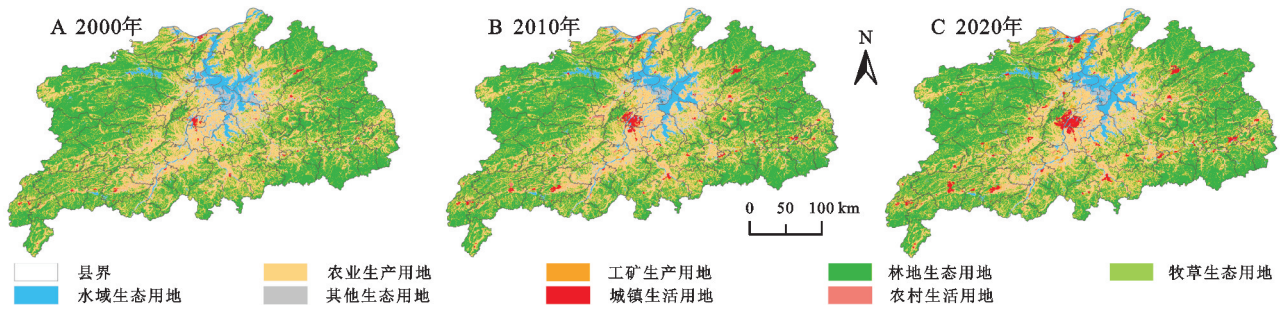


图2 2000—2020年环鄱阳湖城市群“三生”用地空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of “production-living-ecological” space in Poyang Lake city cluster during 2000–2020

3.1.2 “三生”用地转型模式 研究期内,环鄱阳湖城市群土地利用转型呈现出不断加快的趋势,转型的主要模式是城镇生活用地和工矿生产用地的逐渐扩张、农业生产用地和林地生态用地不断萎缩的过程。

2000—2010年,发生转型的“三生”用地的面积共计2 619.51 km<sup>2</sup>,占区域总面积的2.84%。该时期内用地转型主要表现在3个方面(图3), (1) 城乡生活用地侵占农业生产用地、工矿生产用地向农业生产用地和林地生态用地蔓延,扩张面积分别达458.81 km<sup>2</sup>, 289.91 km<sup>2</sup>。主要分布在南昌市区、南昌县和安义县,少量分布于九江市区和南部的小城镇群,在空间上呈现出以大城市为中心向外扩张的趋势; (2) 水域生态用地的面积明显增加,主要是由农业生产用地和其他生态用地转化而来,共计增加276.63 km<sup>2</sup>, 累计转化率达10.56%,多分布在鄱阳湖的南部地区; (3) 生态用地内部的转化,如林地、牧草地生态用地间的相互转化等。总的来说,该时期内城乡生活用地和工矿生产用地的面积增幅较为明显,主要原因在于随着环鄱阳湖城市群地区城镇化的加速推进,人口大量涌入到南昌、九江等大城市,城市内部居住用地、产业用地的扩张以及交通等基础设施的建设占用了周边的农业生产用地和林地生态用地,这与中国近几十年来经济的高速发展相吻合<sup>[39]</sup>。与此同时,由于早期对农村宅基地的管控不严,致使区内农村人口虽流出,但农村生活用地的面积却不降反升,普遍存在着“建新不拆旧”的现象,城乡生活用地同步增长,占用大量耕地,土地利用效率低下。水域生态用地的面积的增加得益于退耕还湖政策的推行,1998年大洪水后,国家在长江中游地区启动了“退田还湖”工程,随着工程项目的实施,研究区内的水域生态空间得到了恢复。

2010—2020年,“三生”用地的转型相对于前一个时期来说更为剧烈,发生转型的面积共计4 488.81 km<sup>2</sup>,

占研究区总面积的4.87%。用地转型主要表现为以下3个方面: (1) 农业生产用地和林地生态用地经历了较为剧烈的转化过程,但是农业生产用地向林地生态用地的转入(1 000.11 km<sup>2</sup>)和转出(971.97 km<sup>2</sup>)面积基本持平,二者发生转化的区域主要分布于平原和山区的地形过渡区,具体表现为农业生产用地向着更宜耕的低海拔地区发展,位于较高海拔上的农业生产用地则逐步恢复为林地生态用地; (2) 工矿生产用地侵占农业生产用地(289.11 km<sup>2</sup>)和林地生态用地(265.06 km<sup>2</sup>)的进程进一步加快,累计转入率达12.35%,城镇生活用地也继续扩张,主要转入类型为农业生产用地(269.03 km<sup>2</sup>)和农村生活用地(62.23 km<sup>2</sup>)。工矿生产用地和城镇生活用地仍以建成区为核心向外蔓延,空间扩张极为分散,其中以南昌大都市圈、九江大都市区和新宜萍城镇群三地的扩张最为显著; (3) 农村生活用地的面积开始有所下降,主要转化为城市生活用地(62.23 km<sup>2</sup>)和农业生产用地(172.83 km<sup>2</sup>)。这一时期农业生产用地和林地生态用地往复转化的主要原因在于一方面在退耕还林、还草等生态政策的有效实施下,推动了耕地向林地的转化,另一方面,人们对粮食需求量的增加驱使部分地区出现了毁林开荒的现象,说明环鄱阳湖城市群地区在实施退耕还林工程的过程中出现了“边治理、边复发”的问题。与前一时期相比,这一时期城镇生活用地的增速有所放缓,而工矿生产用地的面积则急剧上升,在空间上呈现出“遍地开花”态势,这与区域内的中小城镇群迅速发展有关,随着中小城镇产业的快速发展、基础设施的不断完善,工矿生产用地挤占了大量的耕地和林地。农村生活用地在耕地占补平衡等政策的支持下,通过土地整理等手段复垦为耕地,表明其利用效率不断提升。

### 3.2 “三生”用地转型的生态环境效应

3.2.1 生态环境质量的时序变化 生态环境质量指数的计算结果表明,环鄱阳湖城市群的生态环境质量

指数呈先下降后上升的“U”型演化过程,整体上表现出向好的趋势。2000—2010 年,由于发生“三生”用地转型的面积相对较少,研究区的生态环境质量整体上变动不大,生态环境质量指数略微下降,从 1.428 下降至 1.424,下降了 0.004。伴随着“三生”用地转型的过程,该时期内生态环境的响应机制主要表现在两个方面,一方面是由于各用地类型相互转化,导致了生态环境的退化,如表 3 所示。这一时期虽然以林地和水域为主的生态用地的面积有所增加,使得生态环境质量有着一定程度上的优化,但工矿生产用地和城乡生活用地的

高速扩张作为主导因素导致了 2000—2010 年内生态环境的恶化,生态环境负效应的累计贡献率达到了 83.84%。另一方面则是由于用地类型转化导致生态环境格局的退化,呈现出破碎化、复杂化的趋势,如牧草地生态用地的景观分离度从 0.326 上升到 0.358,其他生态用地的景观分离度从 0.287 上升到 0.449,上升幅度达 56.45%,牧草地和其他生态用地景观干扰度指数明显上升(表 4),表明这两类用地对外界的干扰更为敏感,容易受到人类活动的影响而发生用地类型的转换,在后续的环境保护中更应该被重视。

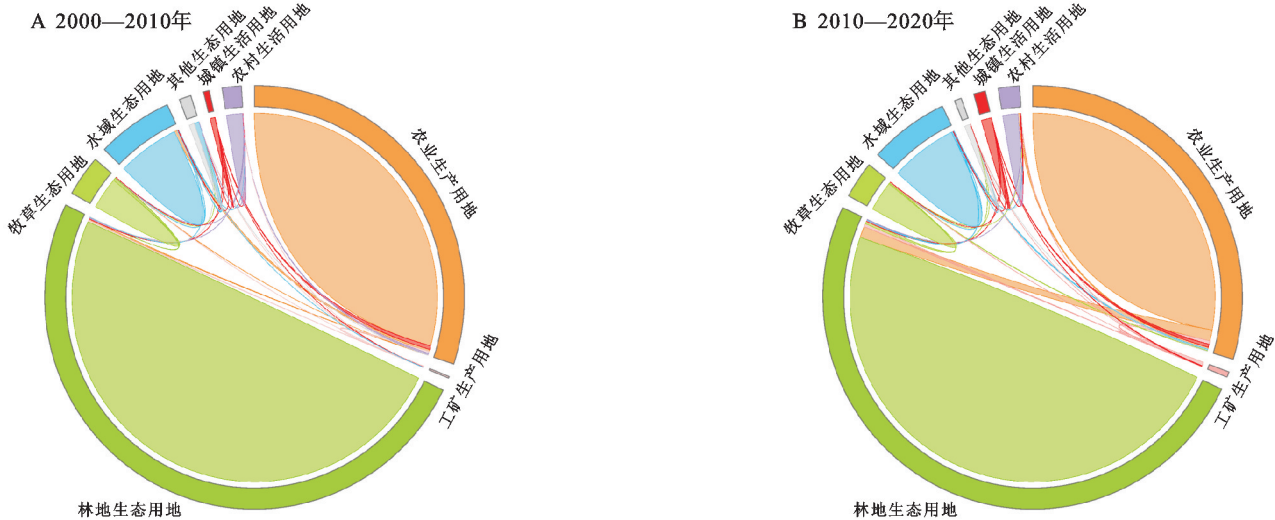


图 3 2000—2020 年环鄱阳湖城市群土地利用转移情况

Fig. 3 Land use transition in Poyang Lake city cluster during 2000—2020

2010—2020 年,由于研究区的土地利用经历了较为剧烈的转型,生态环境质量指数有了较大幅度的提升,从 1.424 上升到 1.447,上升幅度达 1.59%。这一阶段生态环境质量明显好转的原因有两个方面,一是农业生产用地、农村生活用地、其他生态用地转为林地生态用地、农业生产用地、水域生态用地是研究区生态环境好转的主导因素,生态环境正效应的累计贡献率达 77.80%,与此同时,农业生产用地向林地生态用地的扩张在一定程度上又导致了生态环境的恶化,但恶化的趋势明显要小于生态环境改善的趋势。二是城镇生活用地和工矿建设用地的集中连片发展使得研究区的景观格局得到优化,随着城镇化进程的加快,其分离度和破碎度指数明显下降,城镇建设用地的分离度指数从 0.333 下降至 0.218,工矿生产用地的分离度指数从 1.021 下降到 0.668,下降幅度为 34.57%,二者的景观优势度指数分别上升了 26.32%, 116.67%,景观干扰度指数均呈下降趋势。表明这两类用地扩张较快,尤其是工矿生产用地,在区域景观中的优势度明显提升,景观斑块经历了扩张—融合的过程,景观类型内部更具稳定性,建设用地朝着集中

连片的城市群方向发展,进而使得其内部的生态环境格局呈现出一定的好转趋势。

3.2.2 生态环境质量的空间分布 为了更好地表征环鄱阳湖城市群的生态环境质量状况,本文运用半变异函数来对其空间分异特征进行拟合,结果显示球状模型的拟合效果最好,并得到了相关参数(表 5)。2000—2020 年,基台值持续增加,表明随着时间的推移,生态环境质量指数在空间分布中的不均匀性在持续增强,空间分布的差异性逐渐扩大;变程值有了明显的减小,说明由空间相关性导致的空间异质性的作用范围缩短,其空间相关性在增强;块金基台比的值总体上都接近 0.5,且在缓慢地下降,说明其空间变异程度是在自然随机因素(地形、水文等自然因素)和空间自相关的共同作用下形成的,但随机因素的影响在减小,其自身的相关性在不断的增强。

基于拟合结果,对研究区的生态环境质量指数进行空间插值,得到生态环境质量的空间分布图,利用自然断点法将其分为 5 级,即低质量区( $EV \leq 1.31$ )、较低质量区( $1.31 < EV \leq 1.43$ )、一般质量区( $1.43 < EV \leq 1.55$ )、较高质量区( $1.55 < EV \leq 1.65$ )、高质量



区( $EV>1.65$ )。结果显示:环鄱阳湖城市群生态环境质量指数整体上呈现“东西高、中部低”的分布格局(图 4)。高质量区和较高质量区主要位于宜春市北部、九江市西部、景德镇市北部以及上饶市的西北部 and 南部,两者的面积占比接近 50%,构成了研究区生态环境的主体,主要的土地利用类型为林草生态用地,受地形因素的限制,人类活动的干扰小,保持了生态系统的稳定性,生态环境质量较高。一般质量区在

空间上的分布较为离散,主要的功能类型为水域生态用地以及农业生产用地,平均面积占比为 20.18%。低质量区和较低质量区主要分布于中部的南昌大都市区、北部的九江市区以及南部呈条带状分布的新宜萍城镇群和信江河谷城镇群等城镇建成区,形成了以工矿生产用地、城乡生活用地为主的土地利用格局,土地利用变动剧烈,空间格局趋于破碎化,呈现出较低的生态环境质量。

表 3 影响生态环境质量的主要用地转型及贡献率

| Table 3 The main land use transformation types affecting eco-environmental quality |               |          |       |               |          |       |
|--|---------------|----------|-------|---------------|----------|-------|
| 模式   | 2000—2010 年   |          |       | 2010—2020 年   |          |       |
|  | 用地功能转型        | 指数变化     | 贡献率/% | 用地功能转型        | 指数变化     | 贡献率/% |
| 导致生态环境改善   | 其他生态用地—水域生态用地 | 0.00323  | 48.01 | 农业生产用地—林地生态用地 | 0.00560  | 47.13 |
|  | 牧草生态用地—林地生态用地 | 0.00183  | 27.28 | 农村生活用地—农业生产用地 | 0.00203  | 17.12 |
|  | 农业生产用地—水域生态用地 | 0.00022  | 3.27  | 牧草生态用地—林地生态用地 | 0.00080  | 6.70  |
|  | 农业生产用地—林地生态用地 | 0.00019  | 2.83  | 农村生活用地—城镇生活用地 | 0.00066  | 5.57  |
|  | 工矿生产用地—水域生态用地 | 0.00017  | 2.51  | 工矿生产用地—城镇生活用地 | 0.00063  | 5.29  |
|  | 农村生活用地—农业生产用地 | 0.00016  | 2.32  | 农村生活用地—林地生态用地 | 0.00041  | 3.46  |
|  | 工矿生产用地—农业生产用地 | 0.00015  | 2.18  | 其他生态用地—水域生态用地 | 0.00040  | 3.39  |
|  | 总计            | 0.00595  | 88.39 | 总计            | 0.01054  | 88.65 |
| 导致生态环境恶化   | 林地生态用地—工矿生产用地 | −0.00214 | 17.82 | 林地生态用地—农业生产用地 | −0.00534 | 26.76 |
|  | 农业生产用地—工矿生产用地 | −0.00186 | 15.53 | 林地生态用地—工矿生产用地 | −0.00468 | 23.46 |
|  | 农业生产用地—城镇生活用地 | −0.00182 | 15.21 | 农业生产用地—工矿生产用地 | −0.00357 | 17.90 |
|  | 农业生产用地—农村生活用地 | −0.00161 | 13.39 | 农业生产用地—农村生活用地 | −0.00169 | 8.47  |
|  | 林地生态用地—农村生活用地 | −0.00110 | 9.15  | 林地生态用地—牧草生态用地 | −0.00155 | 7.75  |
|  | 林地生态用地—城镇生活用地 | −0.00086 | 7.21  | 林地生态用地—城镇生活用地 | −0.00064 | 3.21  |
|  | 林地生态用地—城镇生活用地 | −0.00066 | 5.52  | 林地生态用地—农村生活用地 | −0.00049 | 2.45  |
|  | 水域生态用地—其他生态用地 | −0.00060 | 5.02  | 水域生态用地—工矿生产用地 | −0.00035 | 1.75  |
|  | 总计            | −0.01066 | 88.86 | 总计            | −0.01830 | 91.76 |

表 4 部分地类的景观指数

| Table 4 Landscape index of some land types |      |           |           |           |           |
|--|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 地类   | 年份   | 景观<br>破碎度 | 景观<br>分离度 | 景观<br>优势度 | 景观<br>干扰度 |
| 工矿生产用地                                     | 2000 | 0.025     | 2.107     | 0.008     | 0.648     |
|  | 2010 | 0.019     | 1.021     | 0.018     | 0.319     |
|  | 2020 | 0.018     | 0.668     | 0.039     | 0.215     |
| 牧草地生态用地                                    | 2000 | 0.014     | 0.326     | 0.109     | 0.117     |
|  | 2010 | 0.016     | 0.358     | 0.104     | 0.127     |
|  | 2020 | 0.018     | 0.374     | 0.111     | 0.134     |
| 其他生态用地                                     | 2000 | 0.003     | 0.287     | 0.015     | 0.090     |
|  | 2010 | 0.005     | 0.449     | 0.010     | 0.139     |
|  | 2020 | 0.005     | 0.458     | 0.010     | 0.141     |
| 城镇生活用地                                     | 2000 | 0.008     | 0.633     | 0.013     | 0.196     |
|  | 2010 | 0.004     | 0.333     | 0.019     | 0.105     |
|  | 2020 | 0.003     | 0.218     | 0.024     | 0.069     |

根据插值结果,研究计算了各等级生态环境质量区的面积(表 6)。2000—2020 年,城乡生活用地和工矿生

产用地增长较快,共计增加 1 884.67 km<sup>2</sup>,增长率达 92.06%,但后期其内部的景观格局有所优化,使得低质量区的面积呈先增加后下降的趋势;随着城镇化进程的加快,研究区南部河谷地区的中小城镇群向外扩张,挤占了生态空间,导致较高质量区的面积有所下降;一般质量区和较低质量区的面积持续减少,高质量区面积增加较快,增加了 5 759.53 km<sup>2</sup>,表明生态环境质量正不断得到改善,其中生态环境质量好转的区域主要分布在鄱阳湖湖区和偏远的山区,随着 1998 年长江洪水后鄱阳湖地区退耕还湖政策的推进以及山区退耕还林工程的有效实施,水域生态用地的面积有所增加,部分农业生产用地恢复为林地生态用地,使得这些区域的生态环境质量得到了不同程度的优化。

### 3.3 “三生”用地转型生态环境质量的地形梯度分异特征

地形控制着地表物质的迁移和水热资源的分配,影响人类活动的范围和强度,从而使得区域的生态环

境质量分布具有显著的地形梯度效应<sup>[40]</sup>,因此,探究不同生态环境质量区的地形分布特征,可为针对性的制定生态环境保护政策提供了理论支持根据。依据公式(6)计算出地形位指数,运用自然断点法将其划分为 5 个地形梯度等级:梯度 1(0~0.24)、梯度 2(0.24~0.49)、

梯度 3(0.49~0.75)、梯度 4(0.75~1.05)、梯度 5(1.05~1.83)。据公式(7)计算出各个等级的生态环境质量区的分布指数,当分布指数  $P>1$  时,表示该类生态环境质量区在该级地形梯度上处于优势分布, $P$  值越大,优势度越高,反之,则优势度越低。

表 5 半变异函数拟合参数

| Table 5 Semi-variogram model and parameters of ERI |      |       |       |        |         |       |       |
|--|------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|
| 年份   | 模型   | 块金值   | 基台值   | 变程     | 块金值/基台值 | 可决系数  | 残差    |
| 2000   | 球状模型 | 0.019 | 0.044 | 159700 | 0.568   | 0.995 | 0.001 |
| 2010   | 球状模型 | 0.023 | 0.050 | 152300 | 0.541   | 0.991 | 0.001 |
| 2020   | 球状模型 | 0.038 | 0.075 | 125200 | 0.501   | 0.961 | 0.003 |

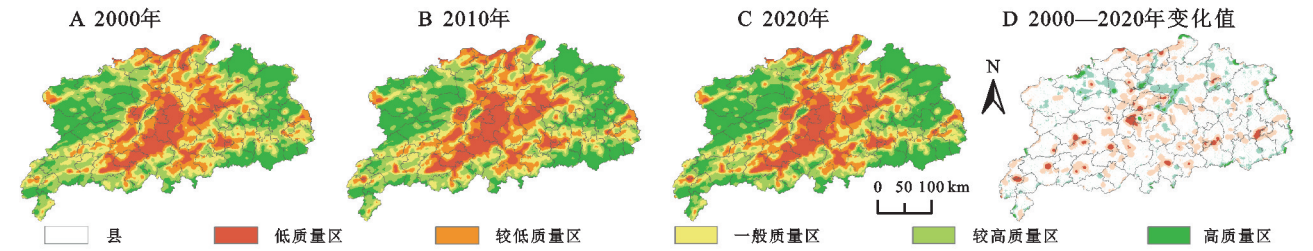


图 4 2000—2020 环鄱阳湖城市群生态环境质量指数及指数变化的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of eco-environmental quality index and index changes in Poyang Lake city cluster during 2000—2020

表 6 2000—2020 年环鄱阳湖城市群生态环境质量分区面积及比重

| Table 6 Distribution of eco-environmental quality grades of Poyang Lake city cluster |                    |       |                    |       |                    |       |
|--|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|
| 质量分区   | 2000 年             |       | 2010 年             |       | 2020 年             |       |
|  | 面积/km <sup>2</sup> | 比例/%  | 面积/km <sup>2</sup> | 比例/%  | 面积/km <sup>2</sup> | 比例/%  |
| 低质量区   | 11634.21           | 12.61 | 13187.17           | 14.29 | 12766.47           | 13.83 |
| 较低质量区  | 15247.99           | 16.52 | 14733.63           | 15.96 | 13689.50           | 14.83 |
| 一般质量区  | 19805.85           | 21.46 | 18834.82           | 20.41 | 17228.98           | 18.67 |
| 较高质量区  | 22159.64           | 24.01 | 21017.34           | 22.77 | 19401.71           | 21.02 |
| 高质量区   | 23447.26           | 25.40 | 24520.31           | 26.57 | 29206.79           | 31.65 |

研究区的生态环境质量与地形梯度的关系如表 7 所示,不同等级的生态环境质量区呈现出显著的梯度差异性。从单个年份的分布指数上来看,随着地形梯度的上升,生态环境质量区的分布大体上表现为 3 种类型:一是持续减少型,为低质量区和较低质量区,低质量区集中分布于 1 级地形梯度上,较低质量区在 1~2 级地形梯度上呈优势分布,较低的地势意味着较好的农耕适宜性和可达性,是研究区人口、城镇的集中区,主要的用地类型是生产、生活用地以及水域、其他生态用地;二是呈倒 U 型,为一般质量区和较高质量区,分别于 1~2,2~4 级地形梯度上呈优势分布,这与研究区水域生态用地和农业生产用地的广泛分布有关;三是持续增加型,为高质量区,在 3~5 级地形梯度上呈优势分布,较高的地形梯度意味着较差的生产生活适宜性,主要的用地类型为林草生态用地,植被覆盖率高,生态环境质量高。

从不同年份的分布指数来看,研究区南部的新宜

萍城镇群和信江河谷城镇群位于较高的地形梯度上,2000—2020 年随着其城镇生活用地的蔓延,低质量区在 2~4 级梯度上的分布指数上升,低质量区趋向于向高地形梯度转移;相比于低质量区,较低质量区在空间上的分布略微分散,变化幅度较小,主要是由于农业生产用地在较低的地形梯度上整体保持稳定;研究期内的后十年间,鄱阳湖水域面积的明显回升以及在地形过渡区农业生产用地的减少,导致一般质量区在梯度 1 上的分布指数先降后升,在 3~5 级梯度上呈先升后降的趋势,经历了先向高梯度转移后又发生下移的过程;较高质量区和高质量区的分布指数呈现出相同的趋势,下移趋势明显,在高地形梯度(3~5 级)上的分布指数降低,但在低地形梯度(1~2 级)上的分布指数上升,究其原因,得益于低地形梯度上水域生态环境的改善以及湿地的保护,说明随着经济社会的发展,对生态环境的重视使得低地形梯度上的生态环境质量逐渐改善,呈现缓慢好转的态势。



表 7 生态环境质量指数在各地形梯度上的分布情况

Table 7 Spatial distribution relationship between eco-environmental quality and topographic gradients

| 质量分区  | 年份   | 分布指数(P)   |              |              |              |              |
|-------|------|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|       |      | 1(0~0.24) | 2(0.24~0.49) | 3(0.49~0.75) | 4(0.75~1.05) | 5(1.05~1.83) |
| 低质量区  | 2000 | 2.97      | 0.54         | 0.04         | 0.01         | 0.00         |
|       | 2010 | 2.90      | 0.60         | 0.06         | 0.01         | 0.00         |
|       | 2020 | 2.85      | 0.64         | 0.06         | 0.02         | 0.00         |
| 较低质量区 | 2000 | 2.11      | 1.21         | 0.30         | 0.09         | 0.02         |
|       | 2010 | 2.00      | 1.28         | 0.34         | 0.10         | 0.02         |
|       | 2020 | 2.03      | 1.28         | 0.32         | 0.09         | 0.01         |
| 一般质量区 | 2000 | 1.00      | 1.67         | 0.96         | 0.43         | 0.14         |
|       | 2010 | 0.92      | 1.66         | 1.02         | 0.47         | 0.17         |
|       | 2020 | 1.16      | 1.61         | 0.86         | 0.36         | 0.09         |
| 较高质量区 | 2000 | 0.24      | 1.23         | 1.70         | 1.24         | 0.82         |
|       | 2010 | 0.23      | 1.18         | 1.73         | 1.30         | 0.85         |
|       | 2020 | 0.36      | 1.38         | 1.61         | 1.03         | 0.58         |
| 高质量区  | 2000 | 0.02      | 0.31         | 1.31         | 2.34         | 3.03         |
|       | 2010 | 0.02      | 0.30         | 1.28         | 2.36         | 3.10         |
|       | 2020 | 0.04      | 0.41         | 1.40         | 2.22         | 2.71         |

注:表中数字 1~5 表示地形位指数,基于自然断点法进行分级。

4 讨论与结论

(1) 整体上,环鄱阳湖城市群“三生”用地结构以生态用地为主,平均面积占比达 64.5%,生产用地次之,生活用地最少。2000—2020 年,生活用地面积大幅增加,增长面积为 1 063.45 km<sup>2</sup>,生态用地的面积减少,共减少了 997.41 km<sup>2</sup>,生产用地的面积总体上保持稳定。转型的主要模式是城镇生活用地和工矿生产用地的逐渐扩张、农业生产用地和林地生态用地不断萎缩的过程。

(2) 时序变化上,2000—2010 年,由于工矿生产用地和城乡生活用地的扩张及其导致的牧草地、其他生态用地被分割破碎化,生态环境质量指数由 1.428 下降至 1.424;2010—2020 年,伴随着生态用地的恢复以及城镇生活用地和工矿生产用地内部格局的不断优化,生态环境质量指数由 1.424 升至 1.447,生态环境质量整体上呈现好转的趋势。

(3) 空间分布上,整体上呈现“东西高、中部低”的空间分布格局。南昌大都市圈、九江大都市区和新宜萍、信江河谷城镇群等城镇建成区以生产和生活用地为主,土地利用强度大,景观格局趋于破碎化,呈现出较低的生态环境质量;宜春市北部、九江市西部、景德镇市北部以及上饶市的西北部和南部的土地利用类型以林草生态用地为主,受地形因素的限制,较好

地保持了生态系统的稳定性,生态环境质量高。

(4) 生态环境质量分布呈现出显著的地形梯度差异性,随着地形梯度的上升,一般质量区和较高质量区呈倒 U 型,低质量区和较低质量区持续减少,高质量区持续增加;2000—2020 年,低质量区向高梯度转移的趋势明显,一般质量区经历了先向高梯度转移后又发生下移的过程,较高质量区 and 高质量区下移趋势明显。

基于“三生”用地转型的分析模型,从土地的用地属性和空间格局属性两个方面构建生态环境质量指数,来探讨环鄱阳湖城市群生态环境效应的时空变化规律。通过分析可知,在研究时段内,随着城市建设用地的迅速扩张,引发了一定的生态环境质量问题,但是随着政府的适时管控和用地的优化,研究区的生态环境质量有了明显的好转,表明环鄱阳湖城市群地区的“三生”用地转型及其生态环境变化与区域的城镇化水平密切相关,在快速城市化的背景下,建设用地的扩张会引起区域生态系统退化等<sup>[23]</sup>问题,但随着鄱阳湖地区一系列的生态调控措施的实行,生态环境质量与经济社会发展的矛盾有所缓和<sup>[28]</sup>,这与前人的研究结果具有一致性<sup>[6,15,25]</sup>。各种用地之间的转化不仅会影响土地的功能属性,还会导致土地整体空间格局的改变,因此,未来在布局各类用地时,建议既要注重对生产、生活用地的“总量控制”,又要保证生态用地的完整性和连通性,尽可能地减少人类活动

对生态空间产生的不利影响。具体而言,中部的鄱阳湖平原地区一方面要控制建设用地总量的增长,提高建设用地的集约利用效率,同时要保证耕地的数量、质量,合理规划各类用地。另一方面,由于鄱阳湖对于研究区来说生态意义重大,因此要不断完善鄱阳湖自然保护区的建设,加强对水源地、生态湿地等重点生态保育区的保护力度,以全面提升其生态功能。东西两侧的地形梯度高,是林地的主要分布区,要分区域、有重点地推动退耕还林还草工程,保证幕阜山、九岭山、怀玉山等山区的林草地面积。基于生态移民、生态修复等支持政策,通过对偏远地区的农村进行异地搬迁、对农村废弃、低效的生活用地进行再开发等措施来优化用地结构,改善人居环境,以实现区域国土空间的科学管控和生态环境质量的持续好转。

本文参考的生态环境质量指数的赋值多采用专家打分法,结果略带主观性,目前有关生态环境质量指数的赋值方法尚未统一,且缺乏针对不同区域的赋值研究,值得进一步探讨。另外,导致生态环境质量变化的因素仅考虑了“三生”用地转型,没有对经济、社会等因素进行定量分析,也没有对土地利用转型的驱动机制进行研究,在未来的研究中,还需要进一步深入。

#### 参考文献:

- [1] Lambin E F, Meyfroidt P. Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change [J]. *Land Use Policy*, 2010, 27(2): 108-118.
- [2] 陈万旭, 李江风, 曾杰, 等. 中国土地利用变化生态环境效应的空间分异性与形成机理[J]. *地理研究*, 2019, 38(9): 2173-2187.  
Chen W X, Li J F, Zeng J, et al. Spatial heterogeneity and formation mechanism of eco-environmental effect of land use change in China [J]. *Geographic Research*, 2019, 38(9): 2173-2187.
- [3] 翟玉鑫, 张飞云, 马丽娜. 近40年新疆三生用地转型及其生态环境效应演变[J]. *土壤通报*, 2022, 53(3): 514-523.  
Zhai Y X, Zhang F Y, Ma L N. Changes of production-living-ecology land transformation and eco-environmental effects in Xinjiang in last 40 years [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2022, 53(3): 514-523.
- [4] Grainger A. National land use morphology [J]. *Geography*, 1995, 80(3): 235-245.
- [5] 金贵, 吴锋, 李兆华, 等. 快速城镇化地区土地利用及生态效率测算与分析[J]. *生态学报*, 2017, 37(23): 8048-8057.  
Jin G, Wu F, Li Z H, et al. Estimation and analysis of land use and ecological efficiency in rapid urbanization area [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(23): 8048-8057.
- [6] 韩美, 孔祥伦, 李云龙, 等. 黄河三角洲“三生”用地转型的生态环境效应及其空间分异机制[J]. *地理科学*, 2021, 41(6): 1009-1018.  
Han M, Kong X L, Li Y L, et al. Eco-environmental effects and its spatial heterogeneity of “ecological-production-living” land use transformation in the Yellow River Delta [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(6): 1009-1018.
- [7] 龙花楼. 论土地利用转型与乡村转型发展[J]. *地理科学进展*, 2012, 31(2): 131-138.  
Long H L. Land use transition and rural transformation development [J]. *Progress in Geography*, 2012, 31(2): 131-138.
- [8] 龙花楼, 李秀彬. 区域土地利用转型分析: 以长江沿线样带为例[J]. *自然资源学报*, 2002, 17(2): 144-149.  
Long H L, Li X B. Analysis on regional land use transition: A case study in transect of the Yangtze River [J]. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(2): 144-149.
- [9] 李秀彬. 农地利用变化假说与相关的环境效应命题[J]. *地球科学进展*, 2008, 23(11): 1124-1129.  
Li X B. Theoretical hypotheses about agricultural land use change and the related proposition about environmental impacts [J]. *Advances in Earth Sciences*, 2008, 23(11): 1124-1129.
- [10] 宋小青. 论土地利用转型的研究框架[J]. *地理学报*, 2017, 72(3): 471-487.  
Song X Q. Discussion on land use transition research framework [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(3): 471-487.
- [11] 宋小青, 吴志峰, 欧阳竹. 耕地转型的研究路径探讨[J]. *地理研究*, 2014, 33(3): 403-413.  
Song X Q, Wu Z F, Ou Yang Z. Route of cultivated land transition research [J]. *Geographic Research*, 2014, 33(3): 403-413.
- [12] 高金龙, 刘彦随, 陈江龙. 苏南地区农村宅基地转型研究: 基于利用状态的视角[J]. *自然资源学报*, 2021, 36(11): 2878-2891.  
Gao J L, Liu Y S, Chen J L. Transition of rural housing land in southern Jiangsu, China: Evidences from the utilization status perspective [J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(11): 2878-2891.
- [13] 龙花楼, 张英男, 屠爽爽. 论土地整治与乡村振兴[J]. *地理学报*, 2018, 73(10): 1837-1849.  
Long H L, Zhang Y N, Tu S S. Land consolidation and rural vitalization [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(10): 1837-1849.
- [14] 谭林, 陈岚. 乡村空间重构与土地利用转型耦合机制及

- 路径分析[J].自然资源学报,2022,37(7):1829-1847.
- Tan L, Chen L. The driving mechanism and path analysis of the coupling development of rural spatial reconstruction and land use transformation[J]. Journal of Natural Resources, 2022,37(7):1829-1847.
- [15] 杨清可,段学军,王磊,等.基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应:以长江三角洲核心区为例[J].地理科学,2018,38(1):97-106.
- Yang Q K, Duan X J, Wang L, et al. Land use transformation based on ecological-production-living spaces and associated eco-environment effects: A case study in the Yangtze River Delta[J]. Scientia Geographica Sinica, 2018,38(1):97-106.
- [16] 刘继来,刘彦随,李裕瑞.中国“三生空间”分类评价与时空格局分析[J].地理学报,2017,72(7):1290-1304.
- Liu J L, Liu Y S, Li Y R. Classification evaluation and spatial-temporal analysis of “production-living-ecological” spaces in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2017,72(7):1290-1304.
- [17] 金贵,郭柏枢,成金华,等.基于资源效率的国土空间布局及支撑体系框架[J].地理学报,2022,77(3):534-546.
- Jin G, Guo B S, Cheng J H, et al. Layout optimization and support system of territorial space: An analysis framework based on resource efficiency[J]. Acta Geographica Sinica, 2022,77(3):534-546.
- [18] 勾蒙蒙,刘常富,李乐,等.“三生空间”视角下三峡库区土地利用转型的生态系统服务价值效应[J].应用生态学报,2021,32(11):3933-3941.
- Gou M M, Liu C F, Li L, et al. Ecosystem service value effects of the Three Gorges Reservoir Area land use transformation under the perspective of “production-living-ecological” space [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021,32(11):3933-3941.
- [19] 陈美景,王庆日,白中科,等.碳中和愿景下“三生空间”转型及其碳储量效应:以贵州省为例[J].中国土地科学,2021,35(11):101-111.
- Chen M J, Wang Q R, Bai Z K, et al. Transition of “production-living-ecological” space and its carbon storage effect under the vision of carbon neutralization: A case study of Guizhou Province [J]. China Land Science, 2021,35(11):101-111.
- [20] 岳思羽,李怀恩,赵丽.气候和土地利用变化对渭河流域水资源短缺的影响[J].水土保持研究,2021,28(5):95-101.
- Yue S Y, Li H E, Zhao L. Impact of climate and land use change on water scarcity in the Wei River Basin [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(5):95-101.
- [21] 张静,刘任涛,赵娟,等.宁夏农牧交错带土地利用变化对土壤质量的影响[J].生态科学,2019,38(2):94-104.
- Zhang J, Liu R T, Zhao J, et al. Effects of land use changes on soil quality in agro-pastoral transitional zone in Ningxia, Northern China [J]. Ecological Science, 2019,38(2):94-104.
- [22] 冯朝晖,李宣瑾,胡健,等.基于景观格局的青藏高原东部典型区生态安全分析[J].生态学杂志,2022,41(6):1188-1196.
- Feng Z H, Li X J, Hu J, et al. Analysis on the ecological security of the typical area in the eastern Qinghai-Tibet Plateau based on landscape pattern [J]. Chinese Journal of Ecology, 2022,41(6):1188-1196.
- [23] 路亚方,李红波.2000—2020年基于土地利用变化的生境质量时空动态演变:以武汉城市圈为例[J].水土保持研究,2022,29(6):391-398.
- Lu Y F, Li H B. Temporal and spatial dynamic evolution of habitat quality based on land use change from 2000 to 2020: Taking Wuhan metropolitan region as an example [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022,29(6):391-398.
- [24] 刘迪,陈海,荔童,等.黄土丘陵沟壑区村域生态系统服务簇的时空分异及其地形梯度分析[J].地理科学进展,2022,41(4):670-681.
- Liu D, Chen H, Li T, et al. Spatiotemporal differentiation of village ecosystem service bundles in the loess hilly and gully region and terrain gradient analysis [J]. Progress in Geography, 2022,41(4):670-681.
- [25] 吕立刚,周生路,周兵兵,等.区域发展过程中土地利用转型及其生态环境响应研究:以江苏省为例[J].地理科学,2013,33(12):1442-1449.
- Lv L G, Zhou S L, Zhou B B, et al. Land use transformation and its Eco-environmental response in process of the regional development: A case study of Jiangsu Province [J]. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(12):1442-1449.
- [26] Song X Q, Wu Z F. Modelling and mapping trends in grain production growth in China [J]. Outlook on Agriculture, 2013,42(4):255-263.
- [27] 畅田颖,张仲伍,乔旭宁,等.黄河流域 2000—2020 年“三生”空间土地利用转型及其生态环境效应[J].水土保持通报,2021,41(4):268-275.
- Chang T Y, Zhang Z W, Qiao X N, et al. Land use transition and its eco-environment effects of ecological-production-living spaces in Yellow River Basin [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41



- (4):268-275.
- [28] 王永洵,王亚飞,张静文,等.海岸带土地利用转型及其生态环境效应:以福建海岸带为例[J].环境科学学报,2021,41(10):3927-3937.
- Wang Y X, Wang Y F, Zhang J W, et al. Land use transition in coastal area and its associated eco-environmental effect: A case study of coastal area in Fujian Province[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2021, 41(10):3927-3937.
- [29] 颜瑜严,杨辽,王伟胜,等.伊犁河谷景观生态风险时空变化及其地形梯度分析[J].生态科学,2020,39(4):125-136.
- Yan Y Y, Yang L, Wang W S, et al. Analysis of spatial-temporal variation of landscape ecological risk and its terrain gradient in Ili valley[J]. Ecological Science, 2020, 39(4):125-136.
- [30] 张学斌,罗君,石培基,等.格网尺度下张掖生态系统服务价值时空演变及地形梯度分异特征[J].应用生态学报,2020,31(2):543-553.
- Zhang X B, Luo J, Shi P J, et al. Spatial-temporal evolution pattern and terrain gradient differentiation of ecosystem service value in Zhangye, Northwest China at the grid scale[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(2):543-553.
- [31] 李玉霞,李丽,郑泽忠. CBERS-02 图像在土地利用/覆盖动态监测中的应用[J].四川师范大学学报:自然科学版,2006,29(5):627-630.
- Li Y X, Li L, Zheng Z Z. The Application of CBERS-02 remote sensing image in the land use change dynamic monitoring[J]. Journal of Sichuan Normal University(Natural Science), 2006, 29(5):627-630.
- [32] Nelson E, Mendoza G, Regetz J, et al. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales[J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2009, 7(1):4-11.
- [33] 李晓文,方创琳,黄金川,等.西北干旱区城市土地利用变化及其区域生态环境效应[J].第四纪研究,2003,23(3):280-290.
- Li X W, Fang C L, Huang J C, et al. The Urban land use transformations and associated effects on eco-environmental in northwest China arid region:a case study in Hexi region, Gansu Province [J]. Quaternary Sciences, 2003, 23(3):280-290.
- [34] 朱会义,李秀彬.关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J].地理学报,2003,58(5):643-650.
- Zhu H Y, Li X B. Discussion on the index model of regional land use change[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(5):643-650.
- [35] Sudhira H S, Ramachandra T V, Jagadish K S. Urban sprawl: metrics, dynamics and modelling using GIS [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2004, 5(1):29-39.
- [36] 谢花林.基于景观结构和空间统计学的区域生态风险分析[J].生态学报,2008,28(10):5020-5026.
- Xie H L. Regional eco-risk analysis of based on landscape structure and spatial statistics[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10):5020-5026.
- [37] 周汝佳,张永战,何华春.基于土地利用变化的盐城海岸带生态风险评价[J].地理研究,2016,35(6):1017-1028.
- Zhou R J, Zhang Y Z, He H C. Ecological risk assessment based on land use changes in the coastal area in Yancheng city[J]. Geographic Research, 2016, 35(6):1017-1028.
- [38] 苏海民,何爱霞.基于 RS 和地统计学的福州市土地利用分析[J].自然资源学报,2010,25(1):91-99.
- Su H M, He A X. Analysis of land use based on RS and geostatistics in Fuzhou City[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(1):91-99.
- [39] 孔冬艳,陈会广,吴孔森.中国“三生空间”演变特征、生态环境效应及其影响因素[J].自然资源学报,2021,36(5):1116-1135.
- Kong D Y, Chen H G, Wu K S. Characteristics of the evolution of the “production-ecological-living” space in China, its eco-environmental effects and their influencing factors[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(5):1116-1135.
- [40] 贾磊,姚顺波,邓元杰,等.2000—2020 年陕西秦巴山区生境质量时空演变及其地形梯度效应[J].长江流域资源与环境,2022,31(2):398-413.
- Jia L, Yao S B, Deng Y J. Temporal and spatial evolution of habitat quality and its topographic gradient effect in Qinling-Daba mountain area, Shaanxi province, 2000—2020[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2022, 31(2):398-413.