

基于数量和质量视角的大南昌都市圈生态用地 时空演变综合评估研究

危小建^{1,2}, 赵莉^{2*}, 程朋根^{1,2}, 谢名睿², 王慧敏³

(1. 东华理工大学自然资源部环鄱阳湖区域矿山环境监测与治理重点实验室, 江西 南昌 330013; 2. 东华理工大学测绘工程学院, 江西 南昌 330013; 3. 仲恺农业工程学院城乡建设学院, 广东 广州 510225)

摘要:【目的】从数量和质量双重角度分析生态用地的时空演化特征, 探讨生态用地数量与质量变化的耦合关系, 可推动区域生态环境保护及其可持续发展。【方法】引入景观连通性指数, 提出了一种改进的基于数量和质量视角 (QBQ, Quality-based quantity) 的生态用地时空演变综合评估方法, 对研究区生态用地的净变化和改进前、后基于数量和质量生态用地变化进行了探讨。【结果】大南昌都市圈生态用地不断向非生态用地转变, 生态用地净面积共减少 1345.86 km²; 不少县市生态用地出现了不同程度的碎片化现象, 耕地和水域稳定性下降, 二者 QBQ 值均有所减少; 1 km 阈值距离下, 各县市不同类型生态用地的景观连通性存在较大差异, 改进后除水域的 QBQ 值增加外, 其余生态用地 QBQ 值均呈减少趋势。【结论】研究期内大南昌都市圈生态用地数量与质量的变化均呈下降趋势, 通过引入景观连通性指数, 能够深入了解生态用地数量与质量结构的变化, 从而更真实地反映生态用地实际变化特征。

关键词: 生态用地; 时空变化; QBQ; 景观连通性; 大南昌都市圈

中图分类号: Q149; X144 **文献标识码:** A **文章编号:** 0564-3945(2024)01-0001-10

DOI: 10.19336/j.cnki.trtb.2022092501

危小建, 赵莉, 程朋根, 谢名睿, 王慧敏. 基于数量和质量视角的大南昌都市圈生态用地时空演变综合评估研究 [J]. 土壤通报, 2024, 55(1): 1-10

WEI Xiao-jian, ZHAO Li, CHENG Peng-gen, XIE Ming-rui, WANG Hui-min. Comprehensive Assessment of the Spatial and Temporal Evolution of Ecological Land in the Greater Nanchang Metropolitan Area from the Perspective of Quality-based Quantity [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2024, 55(1): 1-10

【研究意义】生态用地是指除生产性和承载性用地以外, 以提供各种生态产品、调节环境和生物保育等生态服务功能的土地利用类型, 它是衡量一个区域生态环境质量好坏的“晴雨表”^[1], 是保障区域生态安全, 建设生态文明的基础^[2]。然而, 随着城市化与工业化进程的不断推进以及人类活动的频繁发生, 生态用地被大量侵占, 生态质量不断退化, 生态系统的稳定遭到严重干扰和破坏^[3-4]。自党的十八大以来, 中国各地区管理部门开始采取相关措施以加大对生态系统的保护与修复^[5]。同时, 我国生态保护正处于战略转型的关键时期^[6], 通过对生态用地开展系列研究, 探讨其变化的特征及原因, 能够更深入了解区域生态环境状况, 对实现国家生态文明建设和可持续发展具有重要的理论和现实意义^[7-8]。

【前人研究进展】近年来, 国内外不少学者从多方面对生态用地进行了广泛研究, 主要聚焦于生态系统服务价值^[9-10]、驱动机制^[11-12]和生态安全格局构建^[13-16]等方面。其中, 生态用地的变化研究在生态用地相关研究中占有重要的基础地位, 学者们大都仅从生态用地数量的时空演变^[17-19]或生态用地质量特征方面^[20-22]进行研究, 而已有研究充分表明, 生态用地的变化需同时考虑生态用地数量和质量变化 2 个方面^[23]。尽管有学者借助生态干扰度和景观格局指数对生态用地的演化特征进行了研究^[24-25], 但仍需要指出的是, 过去的研究较少考虑景观连通性对生态用地质量的影响。【本研究切入点】景观连通性可通过将生态过程和物种行为特征考虑在内, 从功能的角度综合评价生态网络的生态过程影响, 已

收稿日期: 2022-09-25; 修订日期: 2023-05-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (52168010, 41861052)、广州市基础科学研究计划基础与应用基础研究项目 (202102020338) 和东华理工大学研究生创新基金项目 (DHYC202218) 资助

作者简介: 危小建 (1988—), 男, 江西南昌人, 博士研究生, 副教授, 主要从事土地利用规划、评价和土地资源可持续发展研究。E-mail: 631000872@qq.com

*通讯作者: E-mail: z1956hihi@163.com

广泛运用于生态用地质量与其空间连续性的评价过程^[26-27]。随着城市扩张的不断推进,生境斑块破碎化日益加剧,景观连通性随之下降,致使城市生态系统的稳定和可持续发展受到严重威胁。当前,结合景观连通性从质量和数量双重视角开展生态用地变化的研究还未见诸报道,这在一定程度上影响着研究结果的决策参考及其管理实践。自 21 世纪以来,在工业化和经济一体化等多种力量的共同作用下中国城市化发展进程得到进一步加速,都市圈战略已成为提高城市化和区域经济竞争力的重要手段。大南昌都市圈作为江西省重点区域之一,在长江经济带发展建设中具有重要的战略枢纽功能。可以预见的是,大南昌都市圈将迎来新一轮的发展高潮,城市化进程的加快对区域生态环境势必会造成影响。

【拟解决的问题】本研究以大南昌都市圈为研究对象,结合景观连通性指数,对传统的基于数量和质量视角的生态用地变化模型(QBQ)进行改进,以便更全面地分析大南昌都市圈 2000~2020 年生态用地变化情况,为都市圈生态用地的保护与规划提

供理论依据和决策参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

大南昌都市圈位于江西省中北部,主要包括南昌市、九江市、宜春市、上饶市、抚州市和赣江新区五市一区(图 1)。截至 2018 年,大南昌都市圈国土面积 $4.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,总人口 1790 万人,地区生产总值 10506 亿元。依托京九、沪昆“十”字型运输通道,以高速公路为骨干的大南昌都市圈综合交通网络布局不断完善,区位优势明显,在促进全国区域经济发展格局中具有承东启西、沟通南北的重要战略地位。同时,大南昌都市圈北临长江,西依幕阜山和九岭山,东含庐山和鄱阳湖,是推动国家生态文明试验区(江西)建设的核心地带,绿色生态优势显著,且拥有一批世界地质公园、国家级自然保护区和国家湿地公园、森林公园等,生态环境质量居全国前列,是长江经济带绿色发展的示范区。

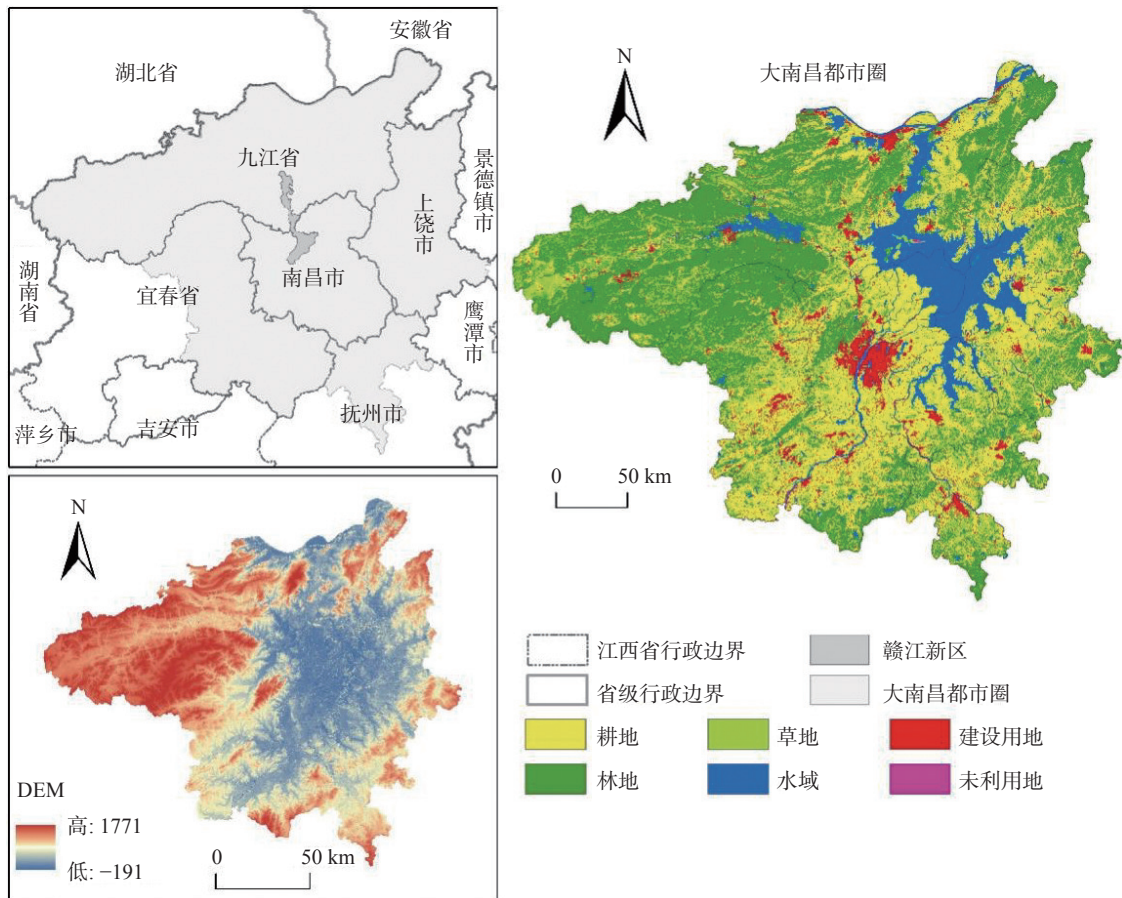


图 1 大南昌都市圈区位图

Fig.1 Location map of the Greater Nanchang Metropolitan Area

1.2 数据来源

本研究涉及的 2000 年和 2020 年 2 期土地利用数据来源于全球地理信息公共产品数据云平台 Globeland 30 (<http://www.globallandcover.com/>), 其空间分辨率为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$, 分类精度高。通过投影转换和拼接后, 结合现有数据和土地利用实际情况, 将大南昌都市圈土地利用类型分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和其他用地 6 类。其中, 园地包含在耕地中, 湿地包含在水域中。本研究中的生态用地主要是指具有生态功能的土地, 即耕地、林地、草地和水域 4 种地表覆盖类型^[28]。

1.3 研究方法

1.3.1 生态用地和其他土地利用类型之间的数量转换

本研究基于空间叠合分析法生成土地利用转移矩阵, 以分析大南昌都市圈生态用地和其他土地利用类型间的数量转换情况。空间叠合分析是指在相同空间坐标系统下, 将同一地区 2 个不同地理特征的空间属性数据叠加, 以产生空间区域的多重性特征, 或建立地理对象之间的空间对应关系^[29-30]。

1.3.2 生态用地变化的 QBQ 模型评价方法

生态用地变化是指在一定时间和空间范围内发生的生态用地数量和质量的变化的情况, 生态用地的数量变化代表着空间容量的变化, 生态用地的质量变化则反映着其可持续性容量的变化, 仅从数量或质量单方面并不能够真实地描述生态用地的变化情况。因此, 本研究从数量和质量的双重视角出发, 探讨大南昌都市圈生态用地的演变特征, 为明确区域生态系统综合发展水平提供重要参考。

生态用地质量变化与景观格局变化之间存在普遍联系^[31], 本研究借鉴文献^[25]设定了“稳定性”和“干扰性”2 个景观指标来反映生态系统质量情况, 即“熵”(H)和平均斑块大小(MPS)。其中, “熵”(H)是描述物质混乱状态的一种度量值, 它可表示生态用地质量的稳定性大小, 熵值越大景观多样性就越大, 以生态用地为基础的生态系统越混乱, 生态系统越不稳定^[32-33]; 平均斑块大小(MPS)可用来评估生态系统干扰性与景观破碎化程度间的关系^[34-35], 即生态系统质量的干扰性越强, 景观破碎化程度就越大。见公式(1)和公式(2)。

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \times \log p_i \quad (1)$$

$$MPS = \frac{\sum_j a_{ij}}{n_i} \quad (2)$$

式中: H 表示熵值, p_i 表示土地利用类型 i 的比例; MPS 表示平均斑块大小, a_{ij} 表示土地利用类型 i 的第 j 块面积, n_i 是土地利用类型 i 的总斑块数量。

将生态用地时空变化的数量、稳定性和干扰性指标统一到一个评估体系中建立 QBQ 模型, 计算见公式(3)。

$$QBQ^t = \sum_{i=1}^l A_{ei}^t \cdot \left[w_a \cdot \left(1 - \frac{H_{ei}^t}{MaxH_{ei}^t} \right) + w_b \cdot \frac{MPS_{ei}^t}{MaxMPS_{ei}^t} \right] \quad (3)$$

式中: QBQ^t 表示在时间 t 内, 大南昌都市圈改进前基于数量与质量的生态用地变化面积, A_{ei}^t 为时间 t 内大南昌都市圈生态用地类型 i 的面积, 且 l 代表大南昌都市圈生态用地的总数, 在本研究中, 大南昌都市圈生态用地有耕地、林地、草地以及水域, 因此 $l=4$ 。 H_{ei}^t 和 MPS_{ei}^t 分别代表在时间 t 内, 生态用地类型 i 的熵值和平均斑块大小。 w_a 和 w_b 分别表示熵值、平均斑块大小的权重, 且满足 w_a 和 w_b 的和为 1 的要求, 其值分别为 0.25 和 0.75, 该权重是采用层次分析法得来, 层次分析法通过在配对、比较中得出比率量表, 是一种多准则决策的方法^[36]。 $MaxH_{ei}^t$ 与 $MaxMPS_{ei}^t$ 分别表示整个研究期间生态用地类型 i 的最大稳定性和扰动性。

1.3.3 引入景观连通性改进的生态用地变化的 QBQ 模型评价方法

景观连通性指数表示景观促进或阻碍生物或某种生态过程在源斑块间运动的程度, 其与生态系统的完整性及其稳定性呈正相关, 是衡量景观格局与功能的重要指标^[26,37-38]。本研究借助 Conefor Inputs for ArcGIS 10.2 插件和 Conefor Sensinode 2.6 软件计算可能连通性等量连接面积指数 ($EC(PC)$), 其中, 阻力距离阈值设定为 1 km, 阻力距离阈值下斑块之间连通的可能性设为 0.5^[39-40]。该指数可将景观连通性与景观内生态用地数量变化联系起来, 以表达景观内栖息地变化与景观连通性之间的相互关系^[41]。计算见公式(4)。

$$EC(PC) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j P_{ij}^*} \quad (4)$$

式中: $EC(PC)$ 为可能连通性等量连接面积指数, a_i 和 a_j 是栖息地斑块 i 和 j 或任何其他斑块的面积与分析相关的属性, P_{ij}^* 是物种在斑块 i 和 j 直接扩散的

最大可能性。

结合熵值 (H) 和平均斑块大小 (MPS) 后, 本研究引入景观连通性指数以改进生态用地变化的 QBQ 模型, 计算见公式 (5)。

$$QBQ_{re}^t = \sum_{i=1}^l A_{ei}^t \cdot \left[w_a \cdot \left(1 - \frac{H_{ei}^t}{MaxH_{ei}} \right) + w_b \cdot \frac{MPS_{ei}^t}{MaxMPS_{ei}} + w_c \cdot \frac{EC(PC)_{ei}^t}{MaxEC(PC)_{ei}} \right] \quad (5)$$

式中: QBQ_{re}^t 表示在引入景观连通性指数后, 时间 t 内大南昌都市圈生态用地基于改进数量和质量的的变化面积; $EC(PC)_{ei}$ 和 $MaxEC(PC)_{ei}$ 分别代表在时间 t 内, 生态用地类型 i 的可能连通性等量连接面积指数大小及其最大值; w_a 、 w_b 和 w_c 值分别为 0.2、0.45 和 0.35, 其权重同样根据层次分析法取得。

从起始时间 t_0 到结束时间 t_p 之间生态用地的数量净变化 NCR 和改进前或改进后基于数量和质量的生态用地变化率 $QBQCR$ 计算见公式 (6) 和公式 (7) [25]。

$$NCR = \frac{A_e^{t_p} - A_e^{t_0}}{A_e^{t_0}} \cdot 100\% \quad (6)$$

$$QBQCR = \frac{QBQ_e^{t_p} - QBQ_e^{t_0}}{QBQ_e^{t_0}} \cdot 100\% \quad (7)$$

式中: $A_e^{t_0}$ 和 $A_e^{t_p}$ 分别指 t_0 和 t_p 时生态用地的面积。同样地, $QBQ_e^{t_0}$ 和 $QBQ_e^{t_p}$ 分别是在 t_0 和 t_p 时改进前或改进后基于数量和质量的生态用地变化面积。

2 结果与分析

2.1 基于数量的大南昌都市圈生态用地时空变化

如表 1 和图 2 所示, 研究期内大南昌都市圈生态用地类型未发生变化, 主要以耕地和林地为主。2000 年和 2020 年生态用地总面积分别为 45631.20 km² 和 44285.34 km², 净损失生态用地面积 1345.86 km²。与此同时, 生态用地向非生态用地转移了 1513.62 km²。其中, 耕地转移面积最多, 达 1082.59 km², 占生态用地减少面积的 71.52%; 林地和草地次之, 林地转为非生态用地的总面积为 186.60 km², 草地转为非生态用地的总面积为 184.07 km²; 水域转为非生态用地转移面积最少, 为 60.36 km²。且这些生态用地向非生态用地转移的范围主要集中于大南昌都市圈中、西部以北, 尤其是南昌区域一带, 这主要是由于南昌市是江西省的省会城市, 城市化发展进程较快, 城市对建设用地的需求越来越大, 使得生态用地逐渐转为建设用地使用。

表 1 2000~2020 年大南昌都市圈各土地利用类型变化情况(km²)

Table 1 Changes of land use types in the Greater Nanchang Metropolitan Area from 2000 to 2020

2000年土地利用指标 Land use indicator in 2000	2020年土地利用指标 Land use indicator in 2020						2000年总计 Total in 2000	2000~2020年减少 Decrease from 2000 to 2020
	耕地 Cultivated land	林地 Forest	草地 Grassland	水域 Water body	建设用地 Construction land	其他土地 Other land		
耕地	16758.06	384.01	131.51	445.31	1081.08	1.51	18801.48	2043.42
林地	416.10	17326.55	340.24	229.51	186.08	0.52	18499.00	1172.45
草地	183.45	308.75	2223.44	180.61	183.30	0.77	3080.32	856.88
水域	179.17	21.53	25.34	4964.00	48.45	11.91	5250.40	286.40
建设用地	43.34	2.97	1.86	7.67	966.00	0.04	1021.88	55.88
其他土地	15.27	0.49	11.83	84.33	3.71	48.39	164.02	115.63
2020年总计	17595.39	18044.30	2734.22	5911.43	2468.62	63.14	46817.10	
2000-2020年增加	837.33	717.75	510.78	947.43	1502.62	14.75		
2000-2020年净变化量	-1206.10	-454.70	-346.10	661.03	1446.74	-100.88		

2.2 改进前基于数量与质量的大南昌都市圈生态用地变化

生态系统的稳定性和干扰性因素是影响生态用地变化的重要因素之一。如表 2 所示, 2000~2020 年期间, 林地的平均斑块大小由 30.47 km² 增加到 32.03 km², 草地的平均斑块大小由 1.31 km² 减少到 1.17 km², 林地和草地的熵值在 2000 年到 2020 年期间均保持不变。耕地和水域的平均斑块大小变化较为显著, 其中, 耕地由 2000 年的 301.57 km² 减少到

2020 年的 138.08 km², 水域则从 2000 年的 28.89 km² 增加到 2020 年的 39.85 km², 耕地和水域熵值有所增加, 二者稳定性在一定程度上有所下降, 这表明自然和人类活动对于生态用地的干扰逐渐加剧。

为此, 本研究将各类生态用地不同时期的熵值和平均斑块大小变化情况纳入考虑, 从数量和质量的双重视角进一步分析大南昌都市圈生态用地的时空变化情况。根据公式 (3) 可以计算出大南昌都市圈 25 个行政单元 2000 年和 2020 年基于数量和质量

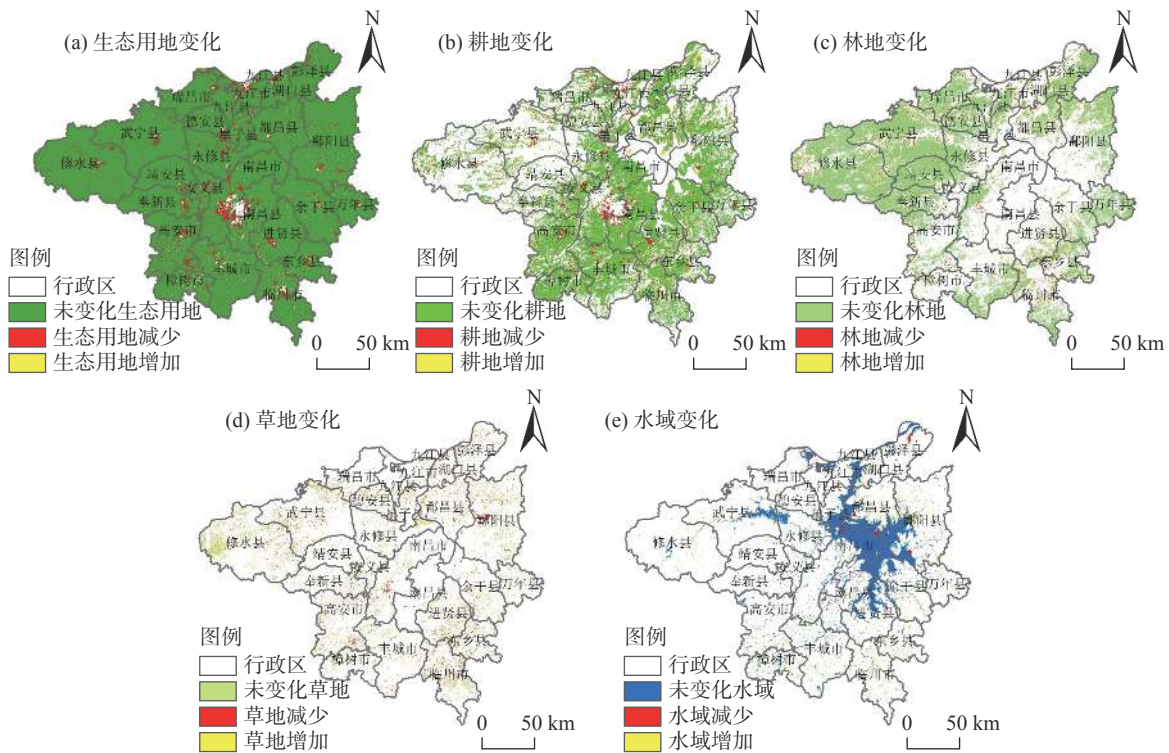


图 2 2000~2020 年大南昌都市圈各生态用地的空间变化
Fig.2 Spatial changes of ecological land in the Greater Nanchang Metropolitan Area from 2000 to 2020

表 2 大南昌都市圈各类生态用地的熵值和平均斑块大小变化情况

Table 2 Changes in entropy and average patch size of various types of ecological land in the Greater Nanchang Metropolitan Area

生态用地类型 Ecological land type	2000年 In 2000				2020年 In 2020			
	熵值 <i>H</i>	<i>H</i> 方差 <i>H</i> variance	平均斑块大小 <i>MPS</i> (km^2)	<i>MPS</i> 方差 <i>H</i> variance	熵值 <i>H</i>	<i>H</i> 方差 <i>H</i> variance	平均斑块大小 <i>MPS</i> (km^2)	<i>MPS</i> 方差 <i>H</i> variance
耕地	0.14	0.0003	301.57	106746.70	0.15	0.0003	138.08	10373.43
林地	0.13	0.0009	30.47	1183.60	0.13	0.0010	32.03	1260.41
草地	0.07	0.0005	1.31	0.23	0.07	0.0004	1.17	0.13
水域	0.09	0.0029	28.89	1091.85	0.10	0.0023	39.85	2075.28

视角的生态用地 QBQ 值。如图 3 和图 4 所示, 研究期内大南昌都市圈 2000 年和 2020 年的 QBQ 值分别为 10943.30 km^2 、9041.49 km^2 。其中, 林地和水域的 QBQ 值有所增加, 分别增加了 5.98 km^2 和 382.38 km^2 ; 耕地和草地均有所减少, 耕地损失尤为严重, 减少了 2055.09 km^2 , 草地减少了 235.09 km^2 。20 年间, 所有生态用地的 QBQ 值净损失 1901.81 km^2 。除九江市、修水县、靖安县、武宁县和彭泽县等 5 个县市 QBQ 值有所增加外, 其他 20 个县市基于数量和质量的生态用地 QBQ 值均呈减少趋势, 特别是南昌县, 南昌县研究期内 QBQ 净面积减少了 784.78 km^2 。因此, 无论是从数量还是质量的角度出发, 大南昌都市圈的生态用地均有所退化, 单纯从数量角度出发无法完全反映生态用地的实际变化, 而从数

量和质量的双重视角来反映大南昌都市圈生态用地的变化情况将更具说服力。

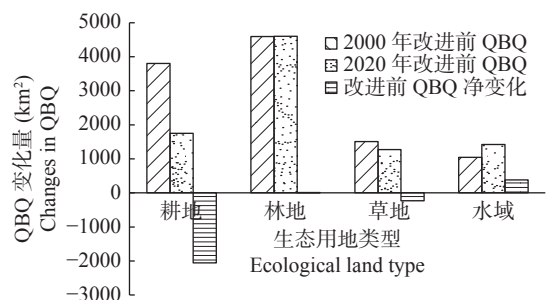


图 3 2000~2020 年大南昌都市圈基于数量与质量的生态用地数量变化
Fig.3 The quantity change of ecological land on quantity-based quality in the Greater Nanchang Metropolitan Area from 2000 to 2020

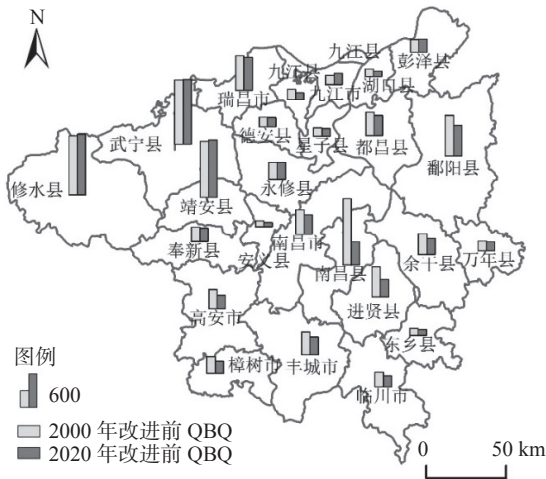


图 4 2000~2020 年大南昌都市圈基于数量与质量的生态用地的空间变化

Fig.4 The spatial change of ecological land on quantity-based quality in the Greater Nanchang Metropolitan Area from 2000 to 2020

2.3 改进后基于数量与质量的大南昌都市圈生态用地变化

本研究以整个南昌市为典型区域，分析了 2000 年和 2020 年安义县、南昌市、南昌县以及进贤县 1 km 阈值内耕地的景观连通性情况（与其他生态用地类型相比，耕地变化尤为明显。同时，由于篇幅原因，本研究仅显示耕地的连通性情况）。由表 3 和图 5 可知，4 个典型区域的景观连通性较为紧密，但对比 2000 年，2020 年 4 个典型区域的景观连通性下降显著，特别是南昌市和南昌县地区，南昌市和南昌县的可能连通性等量连接面积指数 EC (PC) 值分别减少了 439.09 km²和 117.50 km²，进贤县和安义县次之，二者 EC (PC) 值分别减少了 58.54 km²和 41.59 km²，这表明生态用地的内部连通性也在一定程度上改变着生态用地的质量结构。

表 3 2000~2020 年典型县市耕地的可能连通性等量连接面积指数 EC(PC) 值变化情况 (km²)

Table 3 Changes in the EC (PC) value of the possible connectivity of the cultivated land in typical counties and cities from 2000 to 2020

典型研究区域名称 Name of typical study area	2000年EC (PC) 值 EC (PC) in 2000	2020年EC (PC) 值 EC (PC) in 2020	EC (PC) 值净减少面积 Net reduction area of EC (PC) value
安义县	353.10	311.51	41.59
南昌市	1286.35	847.26	439.09
南昌县	1314.39	1196.89	117.50
进贤县	1119.57	1061.03	58.54

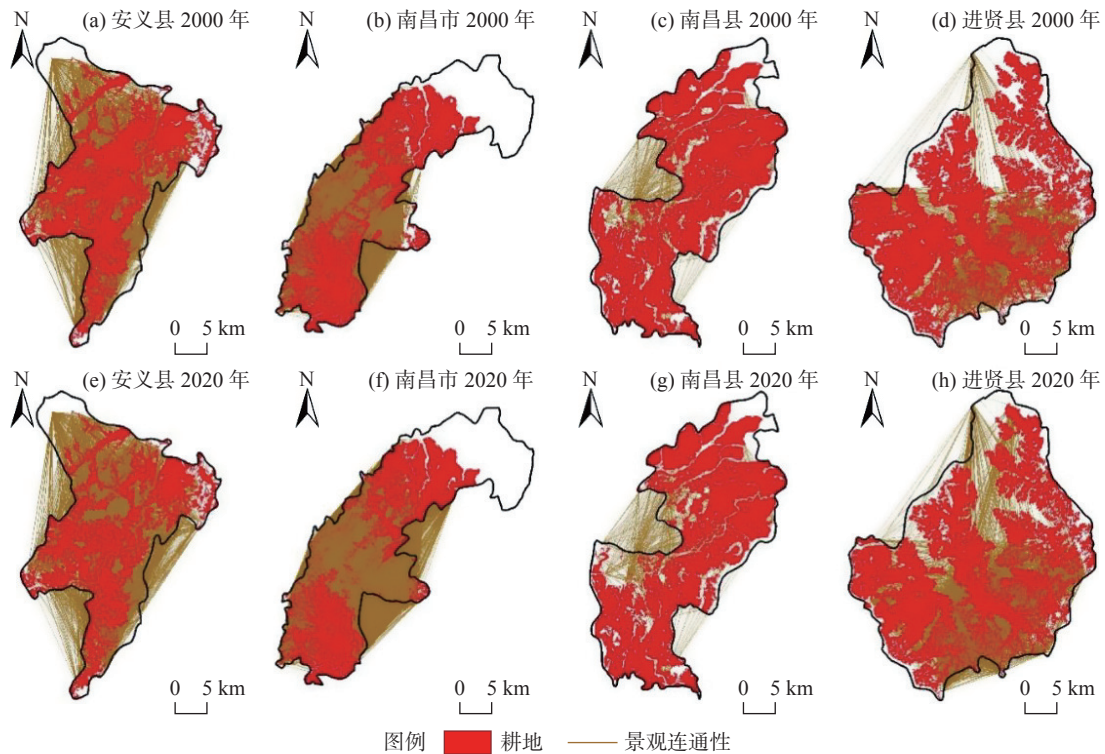


图 5 2000~2020 年典型县市耕地的景观连通性特征分布图

Fig.5 Distribution map of landscape connectivity characteristics of cultivated land in typical counties and cities from 2000 to 2020

本研究将熵值和平均斑块大小指标纳入考虑后, 结合景观连通性指数, 从改进数量和质量的角度对大南昌都市圈生态用地的时空变化特征进行深入研究。根据阻力距离阈值 1 km 下的可能连通性等量连接面积指数 EC (PC) 值及公式 (5) 可以计算出大南昌都市圈 25 个行政单元改进后不同年份的 QBQ 值。如图 6 和图 7 所示, 改进后大南昌都市圈 2000 年和 2020 年的 QBQ 值分别为 14782.65 km²、13030.26 km², 除水域改进后的 QBQ 值增加外, 耕地、林地和草地均呈减少趋势, 三种生态用地类型的 QBQ 值分别减少了 1844.07 km²、137.31 km² 和 182.87 km²。研究期内, 大南昌都市圈改进后的 QBQ 值净减少 1752.39 km²。其中, 九江市和靖安县改进后的 QBQ 值略微增加, 其他 23 个县市均有所减少, 特别是南昌县、南昌市、进贤县、鄱阳县和高安县, 南昌县尤为明显。

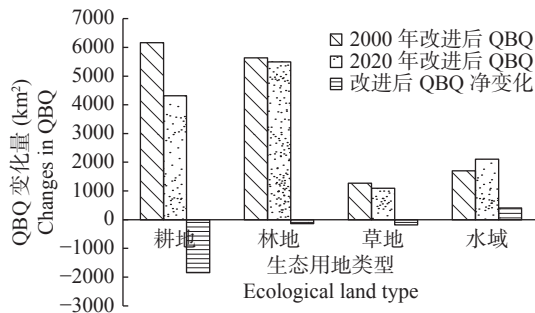


图 6 2000~2020 年大南昌都市圈基于改进数量和质量生态用地 QBQ 变化情况

Fig.6 Changes in QBQ of ecological land on improved quantity-based quality in the Greater Nanchang Metropolitan Area from 2000 to 2020

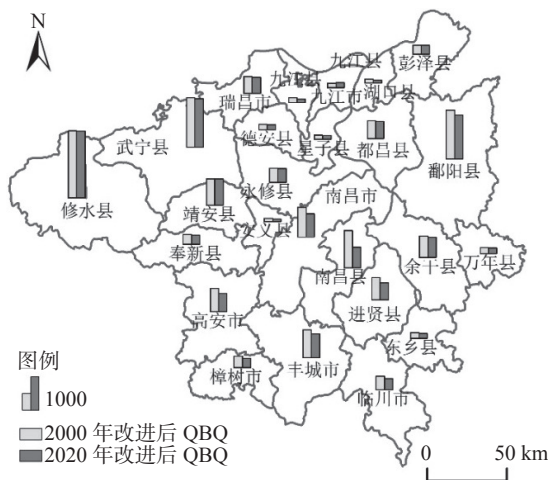


图 7 2000~2020 年大南昌都市圈基于改进数量和质量生态用地 QBQ 空间变化

Fig.7 The QBQ spatial changes of ecological land on improved quantity-based quality in the Greater Nanchang Metropolitan Area from 2000 to 2020

借助皮尔逊相关性方法探讨景观连通性与不同生态用地类型改进后 QBQ 值间的相关性。如表 4 所示, 4 种生态用地的景观连通性与改进后的 QBQ 值在 0.01 水平上呈显著正相关, 这表明景观连通性一定程度上影响着研究区生态用地数量与质量的变化。通过引入景观连通性指标, 从改进的数量与质量视角对大南昌都市圈生态用地的时空变化情况进一步分析, 结果能够更为真实地反映生态用地的变化情况。

表 4 2000~2020 年不同生态用地的景观连通性与改进后 QBQ 值的相关性

Table 4 Correlation between landscape connectivity of different ecological lands and improved QBQ value from 2000 to 2020

年份 (Year)	耕地 (Cultivated land)	林地 (Forest)	草地 (Grassland)	水域 (Water area)
2000 年	0.912**	0.971**	0.992**	0.979**
2020 年	0.965**	0.970**	0.993**	0.975**

注: **表示在 0.01 双侧水平上呈显著相关。

2.4 改进前后生态用地时空变化对比分析

根据公式 (6) 和公式 (7), 计算得出 2000~2020 年大南昌都市圈生态用地的净变化率 NCR 和改进前、后基于数量和质量生态用地变化率 QBQCR (图 8)。结果表明, 生态用地净变化区间均小于改进前和改进后基于数量和质量生态用地变化区间, 部分地区改进前、后基于数量和质量生态用地变化率差异显著, 特别是进贤县、南昌县、鄱阳县和余干县。其中, 在生态用地净变化率 NCR 方面, 研究期内, 大南昌都市圈 25 个县市生态用地的 NCR 值均为负值; 在改进前基于数量和质量生态用地变化率 QBQCR 方面, 九江市、修水县、靖安县、彭泽县和武宁县改进前 QBQCR 大于 0, 其余 20 个县市改进前 QBQCR 均小于 0; 在改进后基于数量和质量生态用地变化率 QBQCR 方面, 九江市和靖安县改进后基于数量和质量生态用地 QBQCR 大于 0, 其他 23 个县市改进后的 QBQCR 为负值。可以看出, 将景观连通性纳入考虑后, 九江市和靖安县的生态用地质量仍呈较好状态, 修水县、彭泽县和武宁县地区景观连通性降低, 生态用地质量有所下降, 其余 20 个县市的生态用地改进前后均为负值, 这些地区生态用地质量始终呈较差状态。

3 讨论

由研究结果可知, 不管是单纯基于数量还是改

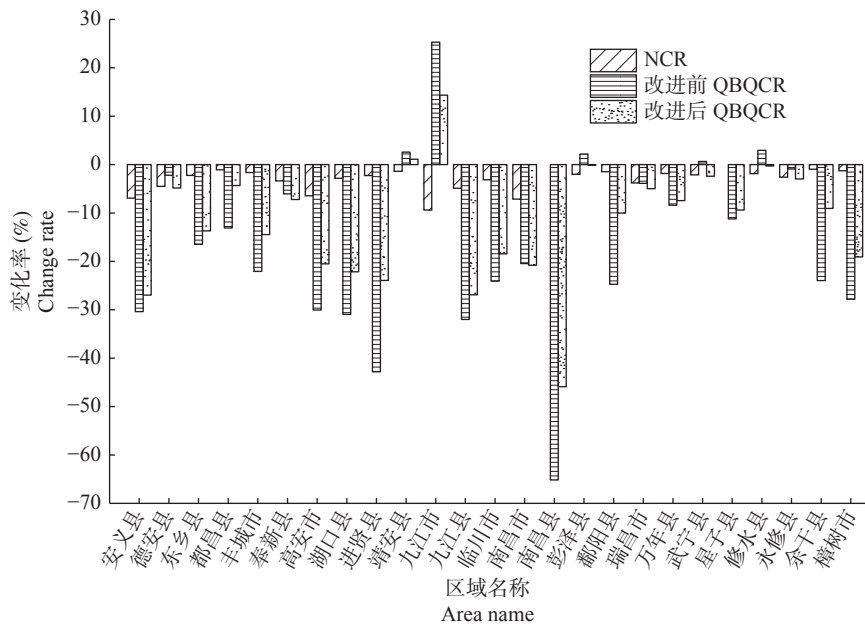


图 8 2000~2020 年大南昌都市圈不同区域生态用地净变化率和改进前、后 QBQ 变化率直方图

Fig.8 The net change rate and the QBQ change rate before and after improvement of ecological land in different regions of the Greater Nanchang from 2000 to 2020

进前、后基于数量和质量的角度的大南昌都市圈生态用地数量与质量情况均呈下降趋势。已有研究表明景观连通性在一定程度上影响着生态系统的稳定,如蒙吉军等分析了 1986~2011 年间黑河中游生态用地景观连通性的动态变化,探究了不同阈值下景观连通性对区域生态系统稳定和健康的的影响情况^[42];孟灵等借助景观连通性评估了城市发展对于森林景观及其生态过程的影响^[43]。同时,生态用地的外部干扰也影响着生态用地景观格局的变化,造成区域自然景观破碎化程度增加,进而导致其内部景观连通性也有所下降^[44-46]。鉴于此,本研究通过引入景观连通性指标对生态用地变化进行测算存在一定合理性。

以数量为导向的生态文明建设侧重于实现短期行为目标,而基于数量和质量的保护则有助于生态用地可持续管理^[25]。通过引入景观连通性指标,能够深层次了解区域生态用地质量结构变化情况,从而更好地识别生态用地的真实变化情况。然而,由于本研究是一种对生态用地变化新方法的探究尝试,还存在一些局限性。首先,研究过程中选取的时间节点较少,跨度较大。其次,本研究在借助 Conefor 软件计算景观连通性时,仅根据相关研究^[40-41]将距离阈值设置为 1 km,而未经科学合理的方法比较探讨以选择合理阈值。此外,由于影响生态用地质量产生变化的因素不只体现在景观格局和景观连通性方面,仅考虑景观格局因子和景观连通性对生

态用地数量与质量的影响有失偏颇。鉴于此,今后仍需在后续研究中进行深层次的机制探讨。

4 结论

(1) 2000~2020 年期间,基于数量的大南昌都市圈生态用地净面积共减少了 1345.86 km²,除水域面积有所增加外,其余生态用地均呈减少趋势,且耕地减少面积最大。

(2) 整个研究期内,林地和草地的熵值变化较为稳定,平均斑块大小变化较不明显。耕地和水域的熵值增加,平均斑块大小变化较显著,二者生态稳定性有所降低。根据熵值和平均斑块大小得到改进前基于数量和质量的生态用地 QBQ 值,结果表明,除林地和水域 QBQ 值有所增加外,耕地和草地均呈减少趋势。

(3) 2000~2020 年期间,大南昌都市圈各县市不同生态用地景观连通性差异明显,特别是耕地。通过引入景观连通性指数对 QBQ 模型进行改进,结果表明,改进后耕地、林地和草地的 QBQ 值有所减少,水域的 QBQ 值则有所增加。

(4) 整个研究期内,大南昌都市圈各县市基于数量的生态用地净变化率均为负值,改进前、后基于数量和质量的生态用地变化率差异明显。改进结果表明,大部分县市生态用地的质量均有所退化,其生态用地变化评估结果更接近真实情况。

参考文献:

- [1] 喻 锋, 李晓波, 张丽君, 等. 中国生态用地研究: 内涵、分类与时空格局[J]. 生态学报, 2015, 35(14): 4931 - 4943.
- [2] 张月朋, 常 青, 郭旭东. 面向实践的生态用地内涵、多维度分类体系[J]. 生态学报, 2016, 36(12): 3655 - 3665.
- [3] Xie H L, Liu Z F, Wang P, et al. Exploring the mechanisms of ecological land change based on the spatial autoregressive model: a case study of the poyang lake eco-economic zone, China[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2014, 11(1): 583 - 599.
- [4] 谭永忠, 赵 越, 曹宇等. 中国区域生态用地分类的研究进展[J]. 中国土地科学, 2016, 30(9): 28 - 36.
- [5] 马彩虹, 阿斯文, 滑雨琪, 等. 宁夏沿黄经济带生态用地格局演变及其驱动机制[J]. 经济地理, 2022, 42(6): 179 - 187.
- [6] 殷嘉迪, 董金玮, 匡文慧, 等. 20 世纪 90 年代以来中国生态空间演化的时空格局和梯度效应[J]. 生态学报, 2020, 40(17): 5904 - 5914.
- [7] 孙东琪, 张京祥, 朱传耿, 等. 中国生态环境质量变化态势及其空间分异分析[J]. 地理学报, 2012, 67(12): 1599 - 1610.
- [8] 党雪薇, 周 亮, 胡凤宁, 等. 关中平原城市群扩张对生态用地的多尺度影响[J]. 生态学报, 2022, 42(7): 3020 - 3032.
- [9] 王鹏涛, 张立伟, 李英杰, 等. 汉江上游生态系统服务权衡与协同关系时空特征[J]. 地理学报, 2017, 72(11): 2064 - 2078.
- [10] 毋兆鹏, 张金燕, 王娟娟, 等. 精河流域绿洲土地利用及生态系统服务价值时空变化研究[J]. 生态与农村环境学报, 2021, 37(9): 1168 - 1175.
- [11] 郑 涛, 陈 爽, 张 童. 城市滨江地区生态用地演变及驱动因素分析——以长江南京段为例[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(5): 1049 - 1058.
- [12] 胡学东, 邹利林. 生态优先导向下长江经济带土地利用景观格局演变及其驱动机制研究——以武汉市为例[J]. 地域研究与开发, 2020, 39(3): 138 - 143, 149.
- [13] 李国煜, 林丽群, 伍世代, 等. 生态源地识别与生态安全格局构建研究——以福建省福清市为例[J]. 地域研究与开发, 2018, 37(3): 120 - 125.
- [14] 黄隆杨, 刘胜华, 方 莹, 等. 基于“质量—风险—需求”框架的武汉市生态安全格局构建[J]. 应用生态学报, 2019, 30(2): 615 - 626.
- [15] 康洁铭, 刘 雨, 朱晓伟, 等. 胶东半岛生态安全格局识别与优化布局[J]. 生态与农村环境学报, 2020, 36(8): 1015 - 1025.
- [16] 杨彦昆, 王 勇, 程 先, 等. 基于连通度指数的生态安全格局构建——以三峡库区重庆段为例[J]. 生态学报, 2020, 40(15): 5124 - 5136.
- [17] 安国强. 基于EKC&Lorenz Curve的山东省生态用地时空演变及保护区划研究[J]. 中国土地科学, 2018, 32(9): 89 - 96.
- [18] 刘子川, 冯险峰, 武 爽, 等. 青藏高原城乡建设用地和生态用地转移时空格局[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(8): 1207 - 1217.
- [19] 张艳娇, 贾宝全, 马明娟, 等. 山东省安丘市生态用地动态变化[J]. 生态学杂志, 2014, 33(7): 1874 - 1881.
- [20] 褚 琳, 黄 翀, 刘庆生, 等. 2000-2010年辽宁省海岸带景观格局与生境质量变化研究[J]. 资源科学, 2015, 37(10): 1962 - 1972.
- [21] 高艺宁, 赵萌莉, 王宏亮, 等. 景观生态视角下草地生态质量的空间差异及其影响因素——以内蒙古四子王旗为例[J]. 生态学报, 2019, 39(14): 5288 - 5300.
- [22] 王 惠, 许月卿, 刘 超, 等. 基于地理加权回归的生境质量对土地利用变化的响应——以河北省张家口市为例[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2019, 55(3): 509 - 518.
- [23] Bajocco S, Ceccarelli T, Smiraglia D, et al. Modeling the Ecological Niche of Long-term Land Use Changes: The Role of Biophysical Factors[J]. *Ecological indicators*, 2016, 60: 231 - 236.
- [24] 张 月, 张 飞, 王 娟, 等. 近40年艾比湖湿地自然保护区生态干扰度时空动态及景观格局变化[J]. 生态学报, 2017, 37(21): 7082 - 7097.
- [25] Yin C H, Kong X S, Liu Y L, et al. Spatiotemporal changes in ecologically functional land in China: a quantity-quality coupled perspective[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 238: 117917.
- [26] Santiago S, Lucia P H. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: comparison with existing indices and application to a case study[J]. *Landscape and urban planning*, 2007, 83(2-3): 91 - 103.
- [27] Liu S L, Yin Y J, Li J R, et al. Using cross-scale landscape connectivity indices to identify key habitat resource patches for asian elephants in xishuangbanna, China[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2018, 171: 80 - 87.
- [28] 王 静, 王 雯, 祁 元, 等. 中国生态用地分类体系及其1996-2012年时空分布[J]. 地理研究, 2017, 36(3): 453 - 470.
- [29] 黄杏元, 马劲松, 汤 勤. 地理信息系统概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [30] 吴琳娜, 杨胜天, 刘晓燕, 等. 1976年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 54 - 63.
- [31] Jérôme D, Joan M, Lluís P, et al. The impacts of urban sprawl on ecological connectivity in the montreal metropolitan region[J]. *Environmental Science & Policy*, 2016, 58: 61 - 73.
- [32] Milan K. S, Abigail M. Y, Christopher G. B, et al. Land fragmentation due to rapid urbanization in the phoenix metropolitan area: analyzing the spatiotemporal patterns and drivers[J]. *Applied Geography*, 2012, 32(2): 522 - 531.
- [33] Iwona C, Karol S, Szymon C. Analysis of the variation of the areas under urbanization pressure using entropy index[J]. *Procedia Engineering*, 2016, 161: 2001 - 2005.
- [34] Forman R T T. Foundations: Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions (1995)[J]. *The Ecological Design and Planning Reader*, 2014: 217-234.
- [35] 陈雅如, 肖文发, 滕明君, 等. 三峡库区景观格局粒度效应及其对土地利用变化过程的响应[J]. 自然资源学报, 2018, 33(4): 588 - 599.
- [36] Aneesa I, Syeda M A, Muhammad A, et al. Landfill sites selection through analytical hierarchy process for twin cities of islamabad

- and rawalpindi, pakistan[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2018, 77(3): 1 – 13.
- [37] 李时雨, 刘艳芳, 孔雪松, 等. 武汉市生态用地景观格局的时空演化特征分析[J]. *测绘地理信息*, 2016, 41(3): 68 – 73.
- [38] Ng C N, Xie Y J, Yu X J. Integrating landscape connectivity into the evaluation of ecosystem services for biodiversity conservation and its implications for landscape planning[J]. *Applied Geography*, 2013, 42: 1 – 12.
- [39] Linehan J, Gross M, Finn J. Greenway planning: developing a landscape ecological network approach[J]. *Landscape and Urban Planning*, 1995, 33(1-3): 179 – 193.
- [40] 于亚平, 尹海伟, 孔繁花, 等. 基于MSPA的南京市绿色基础设施网络格局时空变化分析[J]. *生态学杂志*, 2016, 35(6): 1608 – 1616.
- [41] Santiago S, Christine E, Coralie M, et al. Network analysis to assess landscape connectivity trends: application to wuropean forests (1990–2000)[J]. *Ecological Indicators*, 2011, 11(2): 407 – 416.
- [42] 蒙吉军, 王晓东, 尤南山, 等. 黑河中游生态用地景观连接性动态变化及距离阈值[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(6): 1715 – 1726.
- [43] 孟 灵, 闫淑君, 卢清水, 等. 城市化发展对森林景观连接度的影响——以山东半岛东部地区为例[J]. *福建林学院学报*, 2012, 32(4): 289 – 295.
- [44] 黄 宁, 杨绵海, 林志兰, 等. 厦门市海岸带景观格局变化及其对生态安全的影响[J]. *生态学杂志*, 2012, 31(12): 3193 – 3202.
- [45] 祖悦晴, 魏妍儿, 张曦文, 等. 生态保护区外斑块对景观连接度的影响评价[J]. *生态学报*, 2022, 42(17): 6937 – 6947.
- [46] 冷 仙, 曾 源, 周 键, 等. 基于景观破碎化的西南自然保护区生境保护成效分析[J]. *生态学杂志*, 2022, 41(3): 569 – 579.

Comprehensive Assessment of the Spatial and Temporal Evolution of Ecological Land in the Greater Nanchang Metropolitan Area from the Perspective of Quality-based Quantity

WEI Xiao-jian^{1,2}, ZHAO Li^{2*}, CHENG Peng-gen^{1,2}, XIE Ming-ru², WANG Hui-min³

(1. Key Laboratory of Mine Environmental Monitoring and Improving around Poyang Lake of Ministry of Natural Resources, East China University of Technology, Nanchang 330013, China; 2. School of Geomatics, East China University of Technology, Nanchang 330013, China; 3. School of Urban and Rural Construction, Zhongkai University of Agricultural Engineering, Guangzhou 510225, China)

Abstract: [Objective] The paper aimed to analyze the spatiotemporal evolution characteristics of ecological land from the perspective of quantity-based quality, and to explore the coupling relationship between the quantity and quality of ecological land, which will help to promote regional ecological environment protection and sustainable development. [Method] This paper introduced the landscape connectivity index, and proposed an improved comprehensive evaluation method of ecological land spatial-temporal evolution with quality-based quantity. The net change of ecological land in the study area and the ecological land change on quantity-based quality before and after the improvement were discussed. [Result] The ecological land in the Greater Nanchang metropolitan area has been changing to non-ecological land, and the net area of ecological land has decreased by 1345.86 km². The ecological land in many counties and cities has been fragmented to varying degrees, and the stability of cultivated land and water area has decreased, and both QBQ values have decreased. Under the threshold distance of 1 km, the landscape connectivity of different types of ecological land in different counties and cities was significantly different. After improvement, the QBQ value of other ecological land showed a decreasing trend, except for the increase of the QBQ value of the water area. [Conclusion] During the study period, the changes in the quantity and quality of ecological land in the Greater Nanchang Metropolitan Area showed a downward trend. By introducing the landscape connectivity index, we can deeply understand the changes in the quantity and quality structure of ecological land, so as to more truly reflect the actual change characteristics of ecological land.

Key words: Ecological land; Temporal and spatial changes; QBQ; Landscape connectivity; The Greater Nanchang Metropolitan Area

[责任编辑: 韩春兰]