

景观格局视域下昆明市生态韧性评估及优化提升研究

黄玉

云南师范大学 云南 昆明 650500

【摘要】：城市生态韧性评估是城市可持续发展与生态文明建设的重要工具。本文基于昆明近30年遥感影像，从景观格局视角分析其土地利用变化特征，构建PSR模型测度生态韧性水平并提出优化策略。结果显示：（1）昆明建设用地近30年激增145%，草地等生态用地显著缩减，大量耕地（近半）与水体转为建设用地，人地矛盾加剧。（2）林地等仍为优势景观，但建设用地扩张导致景观连通性下降、多样性上升，自然景观连续性受损。（3）2000—2020年生态韧性整体处于低水平（均值0.295—0.300），低韧性区集中于平坦地带，与建设用地、耕地密集区高度重叠。本研究为昆明生态保护与可持续发展提供科学参考。

【关键词】：生态韧性；景观格局；时空分异；韧性优化；昆明市

DOI:10.12417/3083-5526.25.05.008

1 引言

随着城市化进程的加快和人类活动的不断影响，生态环境的稳定性和可持续性受到越来越多的关注。生态韧性作为一种衡量生态系统在面对干扰和变化时保持功能和结构的能力，已成为当前生态学和环境科学研究的热点^[1]。昆明市因其独特的地理位置、丰富的生态资源和多样的景观格局，成为研究生态韧性的重要城市。然而，随着城市化、工业化和旅游业的发展，昆明市面临着生态环境压力增大、生态功能退化等问题，这使得昆明市生态韧性的评估和优化提升显得尤为重要^[2]。

城市韧性研究源于拉丁语“resilio”，意为“逆境中的恢复力”^[3]。其概念自20世纪90年代以来不断演变，从工程韧性、生态韧性发展到演进韧性，逐渐形成复杂适应性系统的理论框架^[4]。相关研究广泛开展：Kuenzer等人评估了多个大型三角洲的韧性及影响因素^[5]；Jatin等人利用生态网络分析与结构方程模型对中国沿海城市生态韧性进行了量化评估^[6]；白立敏从多维度分析了中国城市韧性时空分异特征^[7]；战金艳则基于县域案例探讨了韧性能力分布^[8]。同时，随着景观生态学与空间技术的发展，景观格局分析成为生态评估的重要手段。例如Estoque、Kahara等学者通过景观指数研究区域生态风险变化^[9,10]；国内学者郑杰、于婧、燕守广等也分别运用景观指标开展生态风险评估、土地生态质量评价和生态系统健康研究，为生态保护与空间治理提供了科学依据^[11,12,13]。

当前生态韧性定量研究已取得进展，但仍存在不足：评估方法未能充分融合理论基础与景观生态学视角，指标体系较为单一，对时空分异和微观空间异质性的探讨不足，韧性理念与生态安全格局结合不够。为此，本研究基于景观格局视角，以昆明市为例，通过分析景观类型作用，从抵抗力、适应力与恢复力构建评估模型，量化其生态韧性水平并揭示空间特征，进而提出针对性提升建议。研究旨在促进昆明景观格局与生态功能协调，提升生态系统稳定与可持续性，并为同类城市提供参考。

2 研究区概况

昆明市，位于中国西南部、云南省中部，以其山地高原地形和显著的海拔差异而闻名。该市气候属于亚热带高原季风气候，水资源和生物多样性丰富，是东南亚生物多样性的关键发源地之一，城镇化率达到82.32%，GDP7864.76亿元。人口增长和工业化进程对昆明市的生态环境构成了压力，导致城市绿地被侵占、湿地面积缩减和自然景观破碎化等生态系统退化问题。因此，尽管昆明市拥有较强的生态韧性基础，但也面临着自然生态系统退化和社会经济发展对生态环境的压力等挑战^[14]。

3 数据处理与研究方法

3.1 数据来源及处理

昆明市2000-2020年3期的土地利用数据均来自于中国科学院资源环境科学数据中心，空间分辨率为30 m。根据昆明市的地域特征，将土地类型划分为耕地、林地、草地、水体、建设用地和未利用地6大类。DEM来源于地理空间数据云。并利用Fragstats 4.2软件计算得到本文研究所需的景观格局指数。

3.2 主要研究方法

3.2.1 土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵指同一地区在不同时期土地利用类型之间的相互转化关系，可以定量测度某研究区在一定时期内各土地利用类型发生的动态变化特征，包括转换类型、去向以及面积大小等信息用矩阵的形式来表达^[15]。

3.2.2 景观指数分析法

景观格局指数能高度浓缩景观格局信息，是有效反映景观功能和动态的有效指标^[16]。本文所选取指数原则既能全面反映城市景观格局特征，又能为后文生态韧性提供研究基础。因而，在斑块类型水平上选取斑块面积(AREA)；景观类型水平上选取斑块类型占景观面积比(PLAND)、平均斑块面积(AREA_MN)、边缘密度(ED)、斑块内聚力指数(COHESION)、聚集指数(AI)；景观水平上选取斑块个数(NP)、斑块密度(PD)、周长面积分维数

(PAFRAC)、斑块内聚力指数(COHESION)、香浓多样性(SHDI)、蔓延度(CONTAG),以上指数均通过 Fragstats 4.2 软件计算得到。

4 昆明市土地利用变化

4.1 数量结构变化

昆明市 2000-2020 年土地利用结构变化显著, 建设用地持续扩张, 生态用地相应减少。林地始终是主导类型, 占比保持在 45%以上; 建设用地面积由 485.44km² 增至 1190.97km², 增幅达 145%, 占比从 2.31%升至 5.67%。同期, 草地面积减少 343.97km², 林地小幅减少 135.147km²。整体上, 城市建设用地的快速扩张伴随耕地、林地、草地等生态用地的缩减, 深刻改变了土地利用结构, 反映出人地关系随城市化与经济增长而日趋紧张。

4.2 空间结构变化

昆明市 2000-2020 年土地利用变化特征显著, 各类土地空间分布与地形密切相关。林地、耕地与草地分布最广: 耕地集中于地势平坦、土壤肥沃的盆地与河谷地带, 如东川区、五华区等; 林地多分布于滇池周边、西山及海拔较高的山区, 生态功能突出; 草地主要位于禄劝、寻甸等高海拔区域; 水体以滇池为核心, 包括周边河流、水库; 未利用地占比低, 空间分布不明显。

建设用地面积总体大幅增加, 主要由城市扩张、工业用地增长及基础设施建设推动。相应地, 耕地、林地、草地等生态用地面积出现缩减, 尤以草地减少最为明显。研究期间内, 水域面积呈波动增加趋势, 未利用地面积则因“用地上山”等规划政策导向有所增长, 体现出坝区耕地保护与城镇建设向丘陵转移的思路。整体来看, 昆明市土地利用变化受到政策引导、经济发展、城市化进程与生态保护等多重因素的综合影响, 反映了其在推动经济社会发展的同时, 对自然资源保护与可持续发展的积极探索与平衡。

4.3 土地利用转移分析

2000-2010 年间, 昆明市土地利用转移以林地转草地为主 (312.109 km²), 同时水体、耕地也较多转化为建设用地。2010-2020 年, 耕地转出面积最大 (557.743 km²), 主要转为建设用地 (277.604 km²) 和林地 (136.295 km²), 反映出城镇化快速发展及生态修复政策的影响。整体上, 2010-2020 年间土地利用转移更为频繁。

5 昆明市景观格局动态变化分析

5.1 景观构成特征

利用 Fragstats 4.0 分析 2000-2020 年昆明市景观格局动态 (CA 与 PLAND)。林地和草地始终是主要景观类型。变化最显著的是建设用地与耕地, 前者面积增加 70,553.07 km², 后者减少 27,797.13 km², 反映出非自然景观优势度持续增强。林地

面积虽逐年减少, 但其景观占比始终高于 45%, 体现了生态保护的基础。未利用地作为生态缓冲区已近耗尽, 草地面积亦在缩减, 表明未来需加强对自然景观的重视与保护。

5.2 景观类型变化特征

在景观类型水平上, 选取斑块个数 (NP)、边缘密度 (ED)、斑块内聚力指数 (COHESION) 及聚集指数 (AI) 分析昆明市不同景观斑块特征、边缘特征、连通性与聚集性。2000-2020 年间, 林地、耕地和草地平均面积、斑块凝聚力和聚集度保持较高水平, 为区域主要景观类型, 但其平均斑块面积增加、聚集度和凝聚力下降, 表明人类活动加剧了景观破碎化, 降低了其规模和自然连通性; 同时边缘密度总体减小, 斑块形状趋于简化。建设用地则呈现平均斑块面积、边缘密度、凝聚力和聚集度持续上升趋势, 反映其不断扩张并侵占自然景观, 斑块形状趋于复杂、团聚程度提高。景观格局变化在 2000-2010 年间最为显著, 尤其林地、耕地和建设用地指数值变化明显, 主因是 21 世纪后人类对非自然景观的需求日益迫切。

5.3 区域景观水平变化特征

在区域景观水平上, 通过 AREA_MN、PD、COHESION、SHDI、PAFRAC 及 CONTAG 指数分析, 2000-2020 年昆明市景观格局呈现以下演变特征: 建设用地扩张导致景观凝聚力减弱、多样性上升, 优势景观 (如林地、耕地) 连通性受损; 斑块形状趋于复杂 (PAFRAC 微增), 蔓延度下降尤其 2010 年后显著, 表明景观团聚性降低。整体而言, 城市扩张与人类活动显著改变了昆明市自然景观的结构与空间格局。

6 生态韧性综合评估

6.1 生态韧性水平

基于压力-状态-响应模型评估, 昆明市 2000-2020 年生态韧性平均值分别为 0.295、0.300、0.293, 整体处于较低水平且呈下降趋势。该区域生态系统结构单一、物种多样性低、自然资本较少, 面对干扰恢复力差。人类活动过度开发进一步加剧了生态压力, 影响水源涵养、土壤保持等服务功能。2010 年初韧性略有回升, 主要得益于退耕还林、污染控制等生态修复措施的实施。

6.2 空间格局特征

昆明市生态韧性的空间分布呈现明显差异。低韧性区集中于地势平坦的建设用地与耕地集中区, 频繁的人类活动导致生态压力剧增, 系统结构受损, 抗风险能力下降, 且其范围呈波动扩大趋势。高韧性区主要分布在东北部山地丘陵, 以团聚集林的林地主导, 因地势较高、受人类干扰较少, 斑块内聚力强, 生态系统结构与自组织能力稳定, 能提供更优质的服务功能, 韧性水平突出。中等韧性区位于二者过渡带, 同样易受人类活动影响。

7 结论与讨论

昆明市作为典型低纬高原湖滨城市，城镇化导致人地矛盾日益凸显。本研究主要结论包括：（1）土地利用结构演变：林地始终为主导（占比 $\geq 45\%$ ），建设用地大幅扩张（增幅145%），与生态用地形成消长关系，草地退化尤为突出。（2）土地类型转移：2000-2010年间，林地向草地退化转移312.109km²，同时水体空间受建设用地侵占明显。2010-2020年，耕地成为主要转出类型，其中49.8%转为建设用地，24.4%经生态修复转为林地。（3）景观格局演变：林、耕、草地维持较高优势度，但建设用地扩张加剧了景观破碎化（凝聚度下降6.74%），并削弱了林耕系统的景观连通性。（4）生态韧性时空分异：近三十年生态韧性均值较低（0.295-0.300），呈现

地形依赖性。低值区（ < 0.28 ）集中于海拔 $\leq 1900\text{m}$ 的坝区，与建设用地（占78.6%）和集约化耕地（占21.2%）高度重合，反映人类活动强度与生态质量呈负相关。

8 昆明市生态韧性优化提升策略

为提升昆明市生态韧性，需构建多尺度、多主体协同的治理机制。重点措施包括：划定45%林地生态红线，严格管控建设用地侵占；优化城乡用地布局，提升平坦区绿化率并建立生态廊道；增强生态系统服务功能，推广智慧监测与碳汇交易；完善制度保障，将生态指标纳入考核并推动社区共治。建议以滇池流域等为试点，通过“宏观—中观—微观”系统治理，形成山地城市生态韧性提升的“昆明模式”，促进生态连通与景观多样性协调发展。

参考文献：

- [1] 毕军.新时期我国环境风险防控面临的多元化挑战[J].中国环境管理,2020,12(02):42-43.
- [2] 任家豪.昆明市域生态系统供需关系量化研究[D].云南大学,2019.
- [3] Holling, Crawford Stanley. "Engineering Resilience vs. Ecological Resilience." *Works under Ecological Constraints* 31.1996 (1996): 32.
- [4] 王祥荣,谢玉静,徐艺扬,等.气候变化与韧性城市发展对策研究[J].上海城市规划,2016,(01):26-31.
- [5] Kuenzer, Claudia, et al. “分析巨型三角洲的弹性和适应能力：湄公河三角洲、黄河、长江三角洲和莱茵河三角洲的比较评估。” *海洋与沿海管理* 198 (2020) : 105362.
- [6] 毕云龙,兰井志,赵国君.城市生态恢复力综合评价体系构建——以上海、香港、高雄、新加坡为实证[J].中国国土资源经济,2015,28(05):47-52+57.
- [7] 白立敏,修春亮,冯兴华,等.中国城市韧性综合评估及其时空分异特征[J].世界地理研究,2019,28(06):77-87.
- [8] 战金艳,闫海明,邓祥征,等.森林生态系统恢复力评价——以江西省莲花县为例[J].自然资源学报,2012,27(08):1304-1315.
- [9] 王芳,谢小平,陈芝聪.太湖流域景观空间格局动态演变[J].应用生态学报,2017,28(11):3720-3730.
- [10] 谢小平,陈芝聪,王芳,等.基于景观格局的太湖流域生态风险评估[J].应用生态学报,2017,28(10):3369-3377.
- [11] 郑杰,王志杰,喻理飞,等.基于景观格局的草海流域生态风险评估[J].环境化学,2019,38(04):784-792.
- [12] 于婧,陈艳红,彭婕,等.基于 GIS 和 Fragstats 的土地生态质量综合评价——以湖北省仙桃市为例[J].生态学报,2020,40(09):2932-2943.
- [13] 燕守广,李辉,李海东,等.基于土地利用与景观格局的生态保护红线生态系统健康评价方法——以南京市为例[J].自然资源学报,2020,35(05):1109-1118.
- [14] 张祖林,刘光富,尤建新.昆明市和谐发展的问题与对策研究[J].云南师范大学学报(哲学社会科学版),2009,41(04):55-61.
- [15] 王兴丹,刘普幸,耿梦蝶,等.土地利用时空变化的关键驱动因子及其影响趋势——以武威市为例[J].中国环境科学,2023,43(12):6583-6591.
- [16] 袁利.基于景观格局的城市生态韧性评估及优化提升研究[D].广州大学,2021.