

DOI: 10.5846/stxb202001120096

邢龙, 王志泰, 涂燕茹. 黔中喀斯特城市遗存自然山体景观格局时空演变——以安顺市为例. 生态学报, 2021, 41(4): 1291-1302.

Xing L, Wang Z T, Tu Y R. Spatial and temporal evolution of landscape pattern of urban natural remnant mountains in karst region of central Guizhou: a case study of Anshun City. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(4): 1291-1302.

黔中喀斯特城市遗存自然山体景观格局时空演变 ——以安顺市为例

邢 龙^{1,2}, 王志泰^{1,3,*}, 涂燕茹^{1,2}

1 贵州大学 林学院, 贵阳 550025

2 安徽信息工程学院, 芜湖 241000

3 贵州大学 风景园林规划设计研究中心, 贵阳 550025

摘要:城市遗存自然山体是山地城市中珍贵而脆弱的生态资源,对于维持城市生态系统稳定发挥着不可替代的作用,然而近年来高强度的城市建设对其产生严重的干扰和胁迫。以安顺市建成区为研究区域,在空间信息技术支持下,综合运用景观格局指数法和缓冲区分析法,分别从城市景观格局动态、城市遗存自然山体景观动态及城-山交互作用 3 个方面,对近 10 年快速城市化背景下,安顺市城市遗存自然山体景观格局时空演变进行定量化研究,旨在揭示其对城市扩张的响应规律。结果表明:1)城市整体景观破碎度递增,斑块丰富度密度递减,景观多样性、均匀度、优势度呈波动性变化;2)城市遗存自然山体斑块数量、类型面积、景观优势度递增,斑块形状趋于规则化,连通性递减,聚集度先减后增;3)城-山交互作用明显,主要表现为城市遗存自然山体因城市建设持续受侵蚀及其吸引城市建设;4)城市遗存自然山体 500 m 缓冲区内平均城市建设用地占比及其平均城市人工园林绿地占比均与山体缓冲区距离呈显著负相关,且不同等级城市遗存自然山体斑块与缓冲区内城市建设用地相关程度表现为小型斑块>中型斑块>较大型斑块>大型斑块,与缓冲区内城市人工绿化相关程度表现为中型斑块最高、较大型斑块最低,城市遗存自然山体对城市建设及其人工绿化明显具有吸引作用。解析快速城市化背景下城市遗存自然山体景观动态变化规律及其与城市建设之间的交互作用关系,为城市遗存自然山体后续科学规划管理提供决策支持与理论依据,也可为今后进一步深入开展以其为研究对象的科研活动提供前期基础。

关键词:城市遗存自然山体;景观格局;时空演变;交互作用

Spatial and temporal evolution of landscape pattern of urban natural remnant mountains in karst region of central Guizhou: a case study of Anshun City

XING Long^{1,2}, WANG Zhitai^{1,3,*}, TU Yanru^{1,2}

1 College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China

2 Anhui Institute of Information Technology, Wuhu 241000, China

3 Landscape Architecture Planning and Design Research Center, Guizhou University, Guiyang 550025, China

Abstract: Urban natural remnant mountains are precious and fragile ecological resources in mountainous city, which play an irreplaceable role in maintaining the stability of urban ecosystem. However, in recent years, the high-intensity of urban construction had caused serious interference and stress on them. In this study, we selected the built-up area of Anshun City as the research area, with the support of spatial information technology, landscape pattern index and buffer zone analysis method were comprehensive applied. The spatial and temporal evolution of landscape pattern of urban natural remnant mountains of Anshun City was quantitatively studied from three aspects of the urban landscape pattern dynamics, urban

基金项目:国家自然科学基金项目(32060367);贵州省科学技术基金重点项目(黔科合基础[2020]1Z011)

收稿日期:2020-01-12; **网络出版日期:**2020-12-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ztwang@gzu.edu.cn

natural remnant mountains landscape dynamics, and the interaction between urban construction and urban natural remnant mountains, in order to reveal its response law to urban expansion under the background of rapid urbanization in recent 10 years. The results showed that 1) the fragmentation index of urban landscape increased, the patch richness density decreased, and the shannon's density index, shannon's evenness index and dominance index showed change of upper and lower volatility. 2) The number of patches, classl area, and landscape dominance index of the urban natural remnant mountains patches increased. The patch shape tended to be regular, connectivity index decreased, and the aggregation index decreased first and then increased. 3) In the process of rapid urbanization, the interaction between urban construction and urban natural remnant mountains was obvious, which mainly performed as the continuous damage and reduction of urban natural remnant mountains due to urban construction and its attraction to urban construction. 4) Within the 500 m buffer zone of urban natural remnant mountains, Average proportion of urban construction land and average proportion of urban artificial garden green space in buffer zone were significantly negatively correlated with the buffer distance of urban natural remnant mountains. The correlation degree between urban natural remnant mountains with the urban construction land in buffer zone showed as small patch > medium patch > relatively large patch > large patch. The correlation degree with the urban artificial greening in buffer zone showed as the highest for medium patch and the lowest for relatively large patch. The urban natural remnant mountains were obviously attractive to the urban construction and its artificial greening. Analysis on the dynamic change law of urban natural remnant mountains landscape and its interaction with urban construction under the background of rapid urbanization. It can not only provide decision support and theoretical basis for the follow-up scientific planning and management of urban natural remnant mountains, but also provide early basis for further research activities with it as the research object in the future.

Key Words: urban natural remnant mountains; landscape pattern; spatio-temporal evolution; interaction

快速城市化促进社会经济发展和文明进步的同时,伴随着人口急剧增长和城市快速扩张,引发环境污染、生境破碎化、生态功能退化、生物多样性减退、暴雨洪涝、热岛效应等一系列城市问题,导致城市人居环境质量下降,成为制约城市健康发展的重要因素,也是当前我国建设小康社会和高质量发展所面临的重大挑战^[1]。城市生态环境问题的实质是高强度人为干扰对城市景观格局的改变,在城市扩张过程中,自然、半自然状态景观被改造为不透水硬质景观,城市水文过程被阻断,既影响了城市地表热环境^[2],也导致了城市生态系统功能退化,自我调节能力衰退^[3]。并且,随着城市化的持续快速发展,城市景观格局还将受到强烈的干扰,所带来的城市土地利用/覆盖剧变,生态用地大量流失,对城市生态环境造成巨大冲击,严重影响城市生态安全和可持续发展。大量研究表明,城市生态空间是提供生态系统服务、维持城市生态平衡的物质基础,对于缓解各类“城市病”、维护城市生态安全、改善城市人居环境及促进城市的健康可持续发展有重大意义^[4-5]。而城市内残存自然生境作为城市生态空间的重要组成部分,为城市带来的诸如固碳释氧、净化空气、调节城市小气候、涵养水源、增加城市吸引力以及为城市生物提供栖息地等多种生态服务功能优于人工绿地^[6-7],且在构建城市生态网络系统中发挥着“源-汇”关键节点及廊道连通的重要作用^[8],具有不可替代的生态价值、社会价值、历史价值和美学价值。目前,在“创新、协调、绿色、开放、共享”的精明化城市发展理念下,如何对城市残余自然生境进行有效保护及合理利用,实现城市中人工环境子系统和自然环境系统的有机融合,构建一个健康的城市生态系统,已成为城市管理决策和空间规划亟待解决的关键问题。

中国山地面积占国土面积的2/3,地域辽阔,不同区域山地城市形态各异^[9]。黔中山地城市在岩溶地区扩展过程中,很多喀斯特小山丘逐渐被割裂入城,建成区内遗存大量自然山体,形成具有黔中地域特色的喀斯特山地城市景观格局^[10]。城市遗存自然山体是喀斯特山地城市得天独厚的生态资源,但其生态系统脆弱、稳定性差,易受外界干扰且遭到破坏极难恢复^[11],规划管理更需要严谨缜密的考量。但在已有的城市景观格局动态变化研究中,研究对象多是城市整体土地利用/覆盖或人工绿地系统^[12-13],少有以城市遗存自然山体等

残余自然生境作为城市特殊景观类型的针对性研究,喀斯特城市遗存自然山体的相关基础理论研究十分薄弱。近年来,在快速向外扩展及内部致密的城市化建设过程中,对于城市遗存自然山体侵占和破坏依然严重,围绕山体进行的各种城市建设和低效的公园化利用严重破坏了山体生态斑块,导致城市遗存自然山体景观格局发生剧烈变化,其生态系统受到强烈的干扰和胁迫,严重影响了其生态过程及生态系统服务^[14]。为全面了解近十年来黔中地区城市建设对先后被包围入城的城市遗存自然山体造成的影响,本文以典型的黔中喀斯特城市——安顺市为研究对象,在空间信息技术平台上,综合运用景观格局指数法和缓冲区分析法,解析快速城市化背景下城市遗存自然山体景观动态变化规律及其与城市建设之间的交互作用关系,为后期规划管理提供决策支持与理论依据,同时也为进一步深入开展以城市遗存自然山体为对象的科学研究提供前期基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

安顺市,素有“黔之腹、滇之喉、蜀粤之唇齿”之称,具有重要的战略地位,是贵州历史上开发最早的区域。位于东经 105°13′—106°33′,北纬 25°21′—26°37′之间。地处长江水系乌江流域和珠江水系北盘江流域的分水岭地带,是世界上典型的喀斯特地貌集中地区,属于典型喀斯特山地城市。东邻省会贵阳市,西靠六盘水市,南连黔西南布依族苗族自治州,北接毕节地区。地势呈北高南低,海拔在 1200—1400 m 之间,属典型的高原型湿润亚热带季风气候,雨量充沛,年平均降雨量 1360 mm,年平均气温 14℃,冬无严寒,夏无酷暑,气候温和宜人。城市坐落于大量锥状喀斯特山丘分布的黔中盆地,建成区内及周边山体多以孤峰和峰丛形式为主,随着建成区不断外扩,城市内遗存了大量大小不等的喀斯特自然山体,尤其是近十年来,快速城市化使得自然生境不断被建设用地侵占,周边山体不断被隔离入城,城-山镶嵌型景观结构愈发明显,城市遗存自然山体景观格局发生剧烈变化,因此安顺市是开展本研究的理想区域。研究区位置示意如图 1。

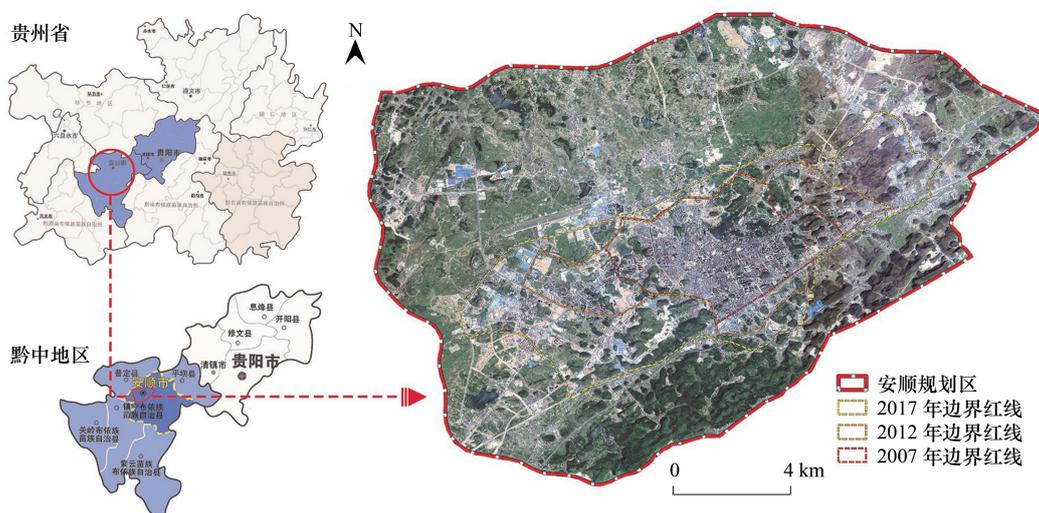


图 1 区位示意

Fig. 1 Location of the study area

1.2 数据来源及处理

以 2017 年安顺市中心城区建成区范围为主要研究区域,选用 2007 年、2012 年、2017 年 3 期 Pleiades 高分辨率历史遥感影像图(0.5 m 空间分辨率)作为基础数据源。参照《土地利用现状分类标准(GB/T 21010—2017)》《城市用地分类与规划建设用地标准(GB 50137—2011)》等相应的国家标准,根据研究区实际情况及研究需要,将土地利用分为不透水建设用地(非绿化建设用地)、城市人工园林绿地(绿化建设用地)、在建用地、待建用地、自然水域、城市遗存自然山体 6 个景观类型。参照安顺市中心城区规划区土地利用现状图

(2015)、安顺市城市总体规划(2015—2030)等规划资料,在 ArcMap 10.2 平台上对 3 期遥感影像进行人工目视解译,结合实地调查,对各景观斑块进行复查和修正,建立城市土地利用空间数据库。

1.3 研究方法

1.3.1 城市遗存自然山体分期与分级

根据自然山体入城时间顺序,将城市遗存自然山体分为 2007 年前期入城、2007—2012 年入城和 2012—2017 年入城 3 个不同时间段,根据各时间界面不同时期入城自然山体斑块特征变化情况,分析城市化发展建设对城市遗存自然山体造成的影响;参照有关城市绿地景观格局的研究内容及划分标准^[15],结合安顺市自然山体绿地的实际规模,将每个时间段入城的自然山体斑块按面积划分为:小型斑块(小于 3 hm²)、中型斑块(3—10 hm²)、较大型斑块(10—20 hm²)和大型斑块(大于 20 hm²) 4 个等级,分析不同等级城市遗存自然山体数量、面积占比情况及空间分布特征。

1.3.2 景观格局分析

将各期的城市土地利用空间数据库进行矢量化与栅格化处理,根据研究区特点,参照前人研究,景观水平上选择景观面积(TA, Total Landscape Area)、景观破碎度指数(FI, Fragmentation Index)、斑块丰富度密度(PRD, Patch Richness Density)、Shannon 多样性指数(SHDI, Shannon's Density Index)、Shannon 均匀度指数(SHEI, Shannon's Evenness Index)和景观优势度指数(DI, Dominance Index)等景观格局指数,分析近 10 年来城市景观格局变化规律及其对城市遗存自然山体的影响;类型水平上选择斑块数量(NP, Number of Patches)、类型面积(CA, Class Area)、平均斑块面积(MPS, Mean Patch Size)、斑块面积标准差(PSSD, Patch Size Standard Deviation)、平均斑块形状指数(MSI, Mean Shape Index)、平均最邻近距离(MNN, Mean Nearest Neighbor Distance)、聚集度指数(AI, Aggregation Index)等景观格局指数,分析城市遗存自然山体格局对城市建设的响应规律;对不同时期入城的自然山体,分别统计和测算其在各时间界面的斑块数量、面积、形状等指标。上述景观格局指数计算公式及含义参见软件 Fragstats 4.2 及文献《景观生态学—格局、过程、尺度与等级》^[16]。

1.3.3 城市遗存自然山体周边缓冲区城-山交互作用分析

对 2007 年、2012 年和 2017 年 3 个时间界面的每个城市遗存自然山体,以边界为基准,按 50 m 步长向外设置空间梯度缓冲区,分别统计各梯度缓冲区内的城市建设用地占比、城市人工园林绿地占比,并计算出各时期自然山体不同梯度缓冲区内平均城市建设用地占比和平均城市人工园林绿地占比。统计山体各缓冲区城市建设用地占比和城市人工园林绿地占比发现,在第 9—10 级缓冲区后,基本趋于稳定,因此本研究将山体缓冲区设置到总宽度为 500 m,共 10 个空间梯度缓冲区,分析城-山交互作用。随后在 SPSS 21.0 软件中分别对各时期自然山体不同距离缓冲区与缓冲区内建设用地占比进行相关分析和多元线性回归分析。

城市建设用地占比(%) = (缓冲区内不透水建设用地 + 城市人工园林绿地 + 在建用地面积) / 缓冲区总面积 × 100% ;

城市人工园林绿地占比(%) = 缓冲区内城市人工园林绿地 / 缓冲区总面积 × 100% 。

2 结果与分析

2.1 城市景观格局动态

统计分析不同时期安顺市建成区 6 类景观类型斑块面积占比时空变化特征,可以看出(图 2):不透水建设用地是研究区的优势斑块类型,始终占据优势地位;其次为城市遗存山体类型,且面积占比持续增大。具体而言,2012 年,由于老城区更新改建和城市向外扩张建设,不透水建设用地斑块面积占比下降了 3.75%,城市人工园林绿地斑块面积占比下降 2.21%,在建用地、待建用地及城市遗存自然山体斑块面积占比均不同程度增大;2017 年不透水建设用地斑块面积占比与 2012 年基本持平,同时,城市人工园林绿地斑块面积占比增长 3.43%,说明在城市更新和扩展过程中逐渐认识到城市生态环境的重要性,加强了城市园林绿化建设,但由于山地城市用地极为紧张,城市人工园林绿化水平相对偏低,斑块面积占比均不足 15%。10 年间,城市遗存自

然山体斑块面积持续增长,斑块面积占比由 2007 年的 16.49% 递增至 2017 年的 21.20%, 高于同时期城市人工园林绿地面积占比, 并且 2012—2017 年增长幅度明显高于 2007—2012 年, 这一方面反映出喀斯特丘陵地形地貌背景下的山地城市景观格局特征, 也表现出研究区建成环境绿地生态系统主要以城市遗存自然山体为主的特点。而在空间分布方面(图 3), 安顺市近 10 年城市扩展方向以“东北—西南”向为主要扩展轴, 并且在该扩展方向上分布有大量的喀斯特锥状山体丘陵^[17], 反映出随着城市建成区规模增大, 城-山互嵌的喀斯特山地城市特征愈加明显的趋势。

进一步分析不同时期安顺市城市景观格局指数变化特征, 可以发现(表 1): 10 年间, 安顺市建成区面积呈 2007—2012 年“温和增加”和 2012—2017 年“急剧增加”的持续扩大趋势, 至 2017 年建成区规模是 2007 年的 3.2 倍, 是 2012 年的 2.2 倍。同时, FI 指数递增, PRD 指数递减, 说明在快速城市化发展过程中, 城市内部景观整体趋于破碎化, 单位面积上的景观类型单元减少, 景观斑块丰富度降低; 而 SHEI 指数和 SHEI 指数呈“先增后减”, 但 DI 指数呈“先减后增”的变化趋势, 表明在前后两个时期, 向外扩张及内部致密耦合的城市化建设不断改变着安顺市景观类型组成情况, 导致城市景观格局发生波动性变化特征; 并且在建成区规模扩张较温和的时期(2007—2012 年)景观格局呈良性变化, 而随着建成区规模剧增(2012—2017 年)景观同质化现象突出。总体来说, 城市景观格局在不同速率的城市扩张影响下会发生不定向的变化, 但整体始终处于极不稳定的状态。

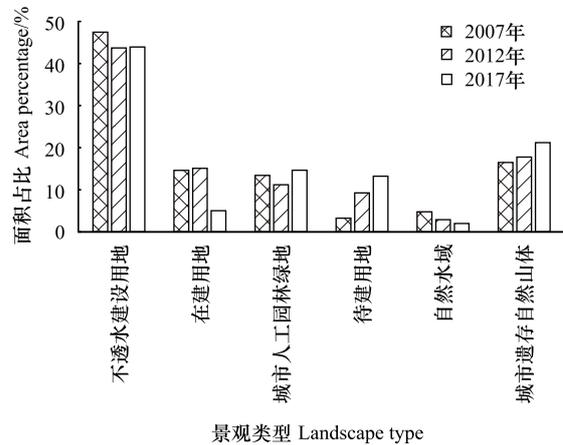


图 2 城市景观类型组成

Fig. 2 Composition of landscape types in Anshun City

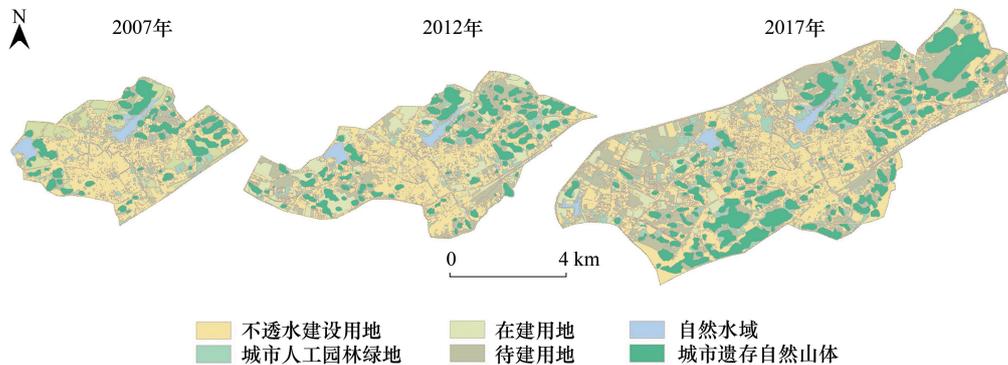


图 3 城市规模及景观类型空间分布

Fig. 3 Urban size and spatial distribution of landscape type

表 1 景观格局指数

Table 1 Landscape pattern index

| 年份 Year | TA/hm ² | FI | PRD/(个/hm ²) | SHDI | SHEI | DI |
|---------|--------------------|--------|--------------------------|--------|--------|--------|
| 2007 | 2176.02 | 1.1999 | 0.2757 | 1.4373 | 0.8022 | 0.3544 |
| 2012 | 3523.97 | 1.2719 | 0.1703 | 1.5231 | 0.8501 | 0.2686 |
| 2017 | 7021.03 | 1.4854 | 0.0855 | 1.4653 | 0.8178 | 0.3265 |

TA: 景观面积, Total landscape area; FI: 景观破碎度指数, Fragmentation index; PRD: 斑块丰富度密度, Patch richness density; SHDI: Shannon 多样性指数, Shannon's density index; SHEI: Shannon 均匀度指数, Shannon's evenness index; DI: 景观优势度指数, Dominance index

2.2 城市遗存自然山体景观动态

2.2.1 城市遗存自然山体斑块类型景观指数

由不同时间界面城市遗存自然山体斑块类型水平上景观指数测算结果可知(表2),2007—2012年城市遗存自然山体斑块数量增长2.2倍,总面积增长1.7倍,平均斑块面积、PSSD减小,景观趋于破碎化,斑块面积离散程度降低;2012—2017年城市遗存自然山体斑块数量增加1.6倍,总面积增加2.4倍,平均斑块面积、PSSD大幅增大。表明安顺市为解决城市建设受周边山体限制和用地需求不断增加的矛盾,城市采取跳跃模式开拓发展空间,将以前阻碍城市空间扩张的大型山体也包围入城,使得城市遗存自然山体景观破碎化程度降低,斑块面积离散程度升高;此外,从景观斑块形状、连通性和聚散性指标变化趋势来看,2007—2017年安顺市城市遗存自然山体,MSI低且微弱递减、MNN递增明显、AI高但变化不明显。反映出城市快速扩展对城市遗存自然山体景观格局的塑造作用,主要表现在斑块数量和面积激增,斑块形状趋于规则化,连通性降低,空间集群分布,景观格局稳定性降低。在研究期前5年城市内部的致密化建设不断对山体进行侵占,对外扩张主要沿阻力较小的小型山体方向发展,山体平均斑块面积呈下降趋势,且PSSD也随之下降,后5年城市化促进城市扩展力度加大,受基本农田保护和城市建设用地紧张约束,“向山要地”成为城市扩展的主要途径,较大规模的山体峰丛被割裂镶嵌入城,导致山体平均斑块面积跃增、PSSD也成倍数增大。

表2 不同时间界面城市遗存自然山体斑块类型景观指数

Table 2 Characteristics of urban natural remnant mountain patches

| 年份 Year | NP/个 | CA/hm ² | MPS/hm ² | PSSD/hm ² | MSI | MNN/m | AI |
|---------|------|--------------------|---------------------|----------------------|------|--------|-------|
| 2007 | 42 | 358.87 | 8.54 | 10.17 | 1.44 | 83.91 | 99.59 |
| 2012 | 92 | 626.59 | 6.81 | 7.75 | 1.41 | 92.05 | 99.55 |
| 2017 | 146 | 1488.37 | 10.19 | 17.84 | 1.40 | 112.99 | 99.65 |

NP:斑块数量, Number of patches; CA:类型面积, Class area; MPS:平均斑块面积, Mean patch size; PSSD:斑块面积标准差, Patch size standard deviation; MSI:平均斑块形状指数, Mean shape index; MNN:平均最邻近距离, Mean nearest neighbor distance; AI:聚集度指数, Aggregation Index

2.2.2 不同等级城市遗存自然山体斑块

2007年、2012年和2017年研究区不同等级城市遗存自然山体斑块的分布特征表现为斑块面积和数量分布极不平衡且空间分布不均(图4,图5)。在斑块数量方面,10年间城市遗存自然山体斑块均以中型和小型斑块为主,二者之和占各时期山体斑块数量的76%—79%,且以中型斑块占绝对数量优势(数量占比均超过45%);而不同等级的城市遗存自然山体斑块面积占比则以大型和中型斑块为主,二者面积占比之和超过山体斑块总面积的65%,尤其是斑块数量最少的大型斑块(斑块数量占比6.5%—11.6%),其斑块面积占比达28.89%—52.24%。不同等级山体斑块的空间分布,主要表现出大型和较大型斑块“东西两翼多,中心少”、中型和小型斑块“环老城区分布,边缘较少”的特征,老城区中部缺少可作为“源-汇”关键节点的大型自然山体斑块存在。

2.3 城-山交互作用

城市遗存自然山体与城市建设用地空间交互作用主要表现为城市建设对遗存自然山体持续的侵占破坏及自然山体能够对城市建设产生一定的吸引力。

由表3可知,2007年前期入城及2012—2017年入城自然山体斑块数量、总面积、平均斑块面积、平均斑块形状指数减小,2007年前期入城自然山体,斑块面积受损度先后分别达12.08%、4.03%,总受损度达16.11%,有2个自然山体斑块完全消失;2007—2012年入城自然山体斑块面积受损度达16.07%,近20%的自然山体斑块完全消失,表明入城后自然山体仍持续遭到城市建设用地的蚕食、侵占,直接造成其斑块规模不断变小,斑块形状趋于规则化,且越来越多的城市遗存自然山体斑块完全消失;相较于2007年前入城的自然山体,2007—2012年及2012—2017年后期入城的自然山体平均斑块形状指数相对较低,表明随着城市发展重心由中心老城区逐渐向外围新城区转移,后期入城的自然山体受到了更高强度的人工干扰,其山体受损情况也更

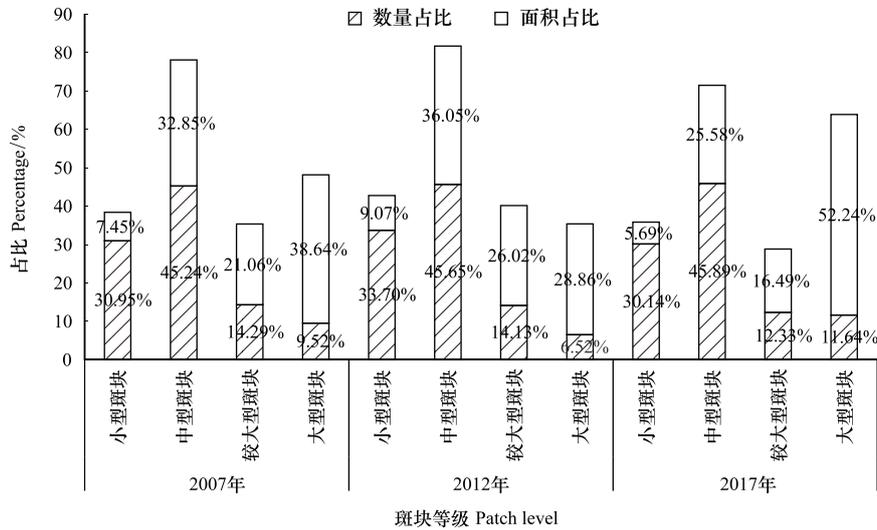


图 4 不同等级城市遗存自然山体斑块分配

Fig. 4 Distribution of urban natural remnant mountain patches at different levels

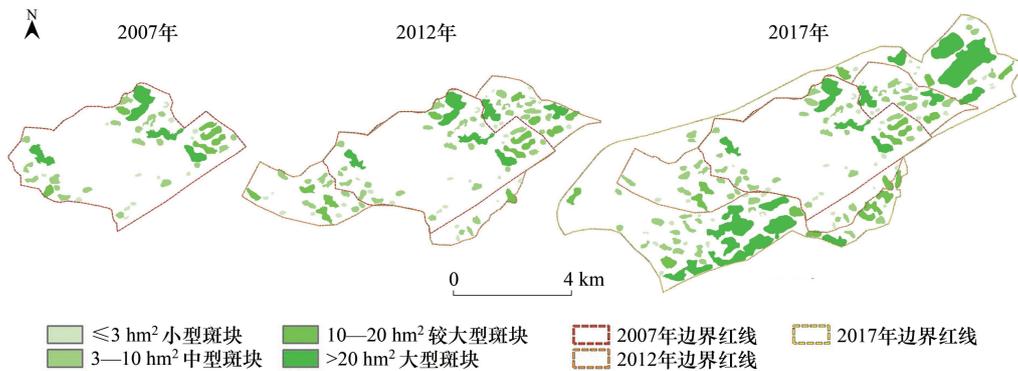


图 5 不同等级城市遗存自然山体空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of natural mountains of different grades

为严重;2012—2017 年入城自然山体平均斑块面积、斑块面积标准差明显较高,说明其斑块规模相对较大,斑块面积离散程度较高,斑块面积差异较大,存在部分大面积的自然山体斑块。结合图 6 可以看出,近 5 年原本阻碍城市向外扩张的大型山体被城市以跳跃式的空间拓展模式圈入城中,建成区范围大幅扩大的同时,城市遗存自然山体景观优势也大幅增大,城-山互嵌的山地城市景观格局特征愈发明显。

表 3 不同时期入城自然山体斑块特征

Table 3 Characteristics of natural mountain patches entering the city at different times

| 入城时间 Entered city time | 年份 Year | NP/个 | CA/ hm ² | MPS/ hm ² | PSSD/ hm ² | MSI |
|------------------------|---------------|------|---------------------|----------------------|-----------------------|------|
| 2007 年前期入城 | 2007 | 42 | 358.87 | 8.54 | 10.17 | 1.44 |
| Entered city by 2007 | 2012 | 41 | 315.53 | 7.70 | 9.42 | 1.43 |
| | 2017 | 40 | 301.07 | 7.53 | 9.37 | 1.42 |
| | 2012—2017 年入城 | 2012 | 51 | 311.06 | 6.10 | 5.99 |
| Entered city 2007—2012 | 2017 | 42 | 264.81 | 6.31 | 5.95 | 1.36 |
| 2012—2017 年入城 | 2017 | 64 | 922.49 | 14.41 | 24.82 | 1.43 |
| Entered city 2012—2017 | | | | | | |

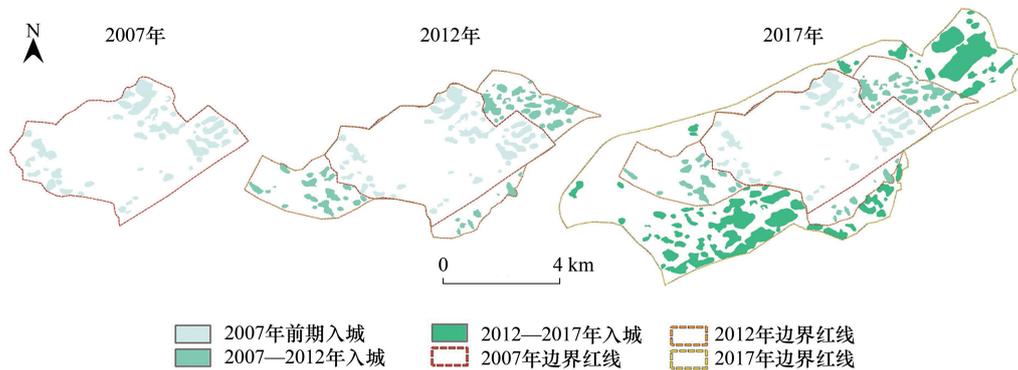


图6 不同时期入城自然山体空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of natural mountains entering the city at different times

缓冲区距离与缓冲区内平均城市建设用地占比及平均城市人工园林绿地占比进行相关性分析结果(表4)表明:1—10级缓冲区(即500 m总宽缓冲区内),各时期平均城市建设用地占比和平均城市人工园林绿地占比与缓冲区离山体距离显著负相关($P < 0.01$),超过500 m后平均城市建设用地占比与平均城市人工园林绿地占比变化不明显(图7)。说明城市遗存自然山体周边500 m范围内城-山交互作用明显,主要表现为城市遗存自然山体周边多为居住用地,而按相关标准规定居住用地附属绿地绿地率不低于30%,因此自然山体周边缓冲区人工绿地占比也较高,所以对城市建设及其人工绿化都产生了一定的吸引力。

由SPSS 21.0多元线性回归分析结果可知(图7),各时期城市遗存自然山体缓冲区内平均城市建设用地占比与山体距离最佳拟合回归方程均为一元二次多项式方程($R^2 > 0.99$),分别为:

$$Y_{2007} = 0.0024X^2 - 0.0521X + 0.8775 \quad (R^2 = 0.9988);$$

$$Y_{2012} = 0.0015X^2 - 0.034X + 0.746 \quad (R^2 = 0.9984);$$

$$Y_{2017} = 0.0022X^2 - 0.0433X + 0.8106 \quad (R^2 = 0.9968);$$

式中,自变量 X 为山体不同距离缓冲区,因变量 Y 为缓冲区内平均城市建设用地占比。

各时期城市遗存自然山体缓冲区内平均城市人工园林绿地占比与山体距离最佳拟合回归方程为对数或乘幂方程($R^2 > 0.99$),分别为:

$$Y_{2007} = 0.1478X^{-0.134} \quad (R^2 = 0.9929);$$

$$Y_{2012} = -0.013\ln(X) + 0.1326 \quad (R^2 = 0.9916);$$

$$Y_{2017} = 0.222X^{-0.214} \quad (R^2 = 0.9953);$$

式中,自变量 X 为山体不同距离缓冲区,因变量 Y 为缓冲区内平均城市人工园林绿地占比。

由SPSS 21.0多元线性回归分析结果可知(图7),2007、2012、2017年不同等级城市遗存自然山体各梯度缓冲区与缓冲区内平均城市建设用地占比最佳拟合回归方程均为一元二次多项式方程($R^2 > 0.99$),与缓冲区内平均城市人工园林绿地占比最佳拟合回归方程为对数或乘幂方程($R^2 > 0.97$)。各时期不同等级城市遗存自然山体缓冲区内平均城市建设用地占比均表现为小型斑块>中型斑块>大中型斑块>大型斑块,说明由于城市遗存自然山体面积越小对于城市建设阻力越小,与城市建设用地相关程度表现为小型斑块>中型斑块>较大型斑块>大型斑块,即城市遗存自然山体斑块规模等级越小,对周边城市建设用地产生的吸引作用越强(本研究中规模最小的城市遗存自然山体斑块面积为 0.61 hm^2 ,仍能起到吸引作用);各时期不同等级城市遗存自然山体缓冲区内平均城市人工园林绿地占比分别表现为中型斑块>小型斑块>大型斑块>较大型斑块(2007年)、中型斑块>大型斑块>小型斑块>较大型斑块(2012年)、中型斑块>大型斑块>小型斑块>较大型斑块(2017年),主要由于小型城市遗存自然山体斑块多位于绿化水平极其有限的老城区周边,中型斑块多位于建

设完善的新建成区域,较大斑块多位于建成区边缘,大型斑块多位于绿化水平较高的开发新区,总的来说,不同等级自然山体所在空间位置差异使得其与城市人工绿化相关程度表现为中型斑块最高、较大型斑块最低。

表 4 相关性分析

Table 4 Correlation Analysis

| 相关性 Correlation | | 缓冲区内平均城市 建设用地占比 Average proportion of urban construction land in buffer zone | | | 缓冲区内平均城市 人工园林绿地占比 Average proportion of urban construction land in buffer zone | | |
|--------------------|-----|---|-------------|-----------|---|-----------|-----------|
| | | 2007 年 | 2012 年 | 2017 年 | 2007 年 | 2012 年 | 2017 年 |
| | | 缓冲区距离 Buffer distance | Pearson 相关性 | -0.968 ** | -0.972 ** | -0.966 ** | -0.898 ** |
| | 显著性 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 |
| | N | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |

** 在 0.01 水平显著相关

3 讨论

3.1 “城-山镶嵌体”是黔中喀斯特山地城市景观格局演变的主要特征

城市化是人类驱动的最激烈的土地利用变化过程之一^[18],对自然生境的影响主要以周边生境的破碎化和丧失为主^[19]。城市景观格局的时空动态分析,可以很直观地反应城市扩展过程对周边和内部自然生境的空间格局塑造作用^[20]。我国是多山国家,山地城镇约占全国城镇总数的一半以上,但我国幅员辽阔,不同地貌类型的山地城市表现出不同的城市空间形态^[9]。黔中地区地貌类型主要为以大量喀斯特锥峰和塔峰集中连片分布的浅碟型峰丛洼地^[17],历史上由于发展滞后,城镇聚落规模较小、主要分布于峰丛平地之间。随着西部大开发战略和城市化战略的实施,城市快速扩展,黔中山地城市由“城在山间”演变为“城在山间,山在城中”的城-山镶嵌体景观格局特征。安顺市城市扩张过程中景观格局出现了同质化倾向,这与大多数学者的研究成果基本一致^[21-22],然而不同之处在于,城市内部景观格局随着城市的发展出现了破碎化程度增加的情况,这也反映了黔中喀斯特山地城市景观格局演变的特征,由于用地紧张,在向山要地思想下,城市在山地峰丛间扩展,尽管不透水建设用地面积在增加,但镶嵌其中的自然山体却影响了其空间延展性,说明建设用地景观格局受到自然山体的塑造作用。

3.2 城市遗存自然山体景观格局时空演变剧烈

一般情况下,大多数城市土地利用方式改变,自然生境转化为城市建设用地,在城市扩张的同时导致城市生境质量下降、生态功能失衡^[23]。安顺市城市扩张过程中,周边生境破碎化,不宜开发建设的自然山体镶嵌于城市之中,成为城市内部绿地生态系统的重要组成部分,其面积规模甚至超过了人工园林绿地。但研究表明,城市遗存自然山体持续受到城市建设的干扰,一方面城市扩张使原生境破碎化,增加了遗存山体的斑块数量和面积,2007—2017 年 10 年间,城市遗存自然山体斑块数量与面积同步增加 3.5 倍,另一方面,入城的自然山体随时间推移斑块数量、总面积、平均斑块面积等都在减小,有些自然山体完全消失,表明入城后自然山体仍持续遭到城市建设用地的蚕食、侵占,直接造成其斑块规模不断变小,斑块形状趋于规则化,且越来越多的城市遗存自然山体斑块完全消失。大量研究表明城市自然或近自然遗存能够向城市提供多种生态系统服务功能^[24],尤其在缓解城市热岛效应^[25-26]和维持城市生物多样性^[27]等方面,然而,城市自然遗存能否长期提供生态服务,取决于它们是否有能力维持其自身的稳定性^[6]。本研究结果反映出安顺市城市遗存自然山体并未受到应有的重视和保护,在高度人工环境中,能否维持其生态过程、发挥其生态服务功能优势亟需进一步深入研究。

3.3 “城-山”交互作用明显

山地城市形态结构较大程度受自然地形的制约^[28],大多数山地城市周围的山体是阻碍城市空间扩展的主要因素^[9],本研究结果表明在城市遗存自然山体周围 500 m 范围内“城-山”交互作用明显,这反映出黔中喀

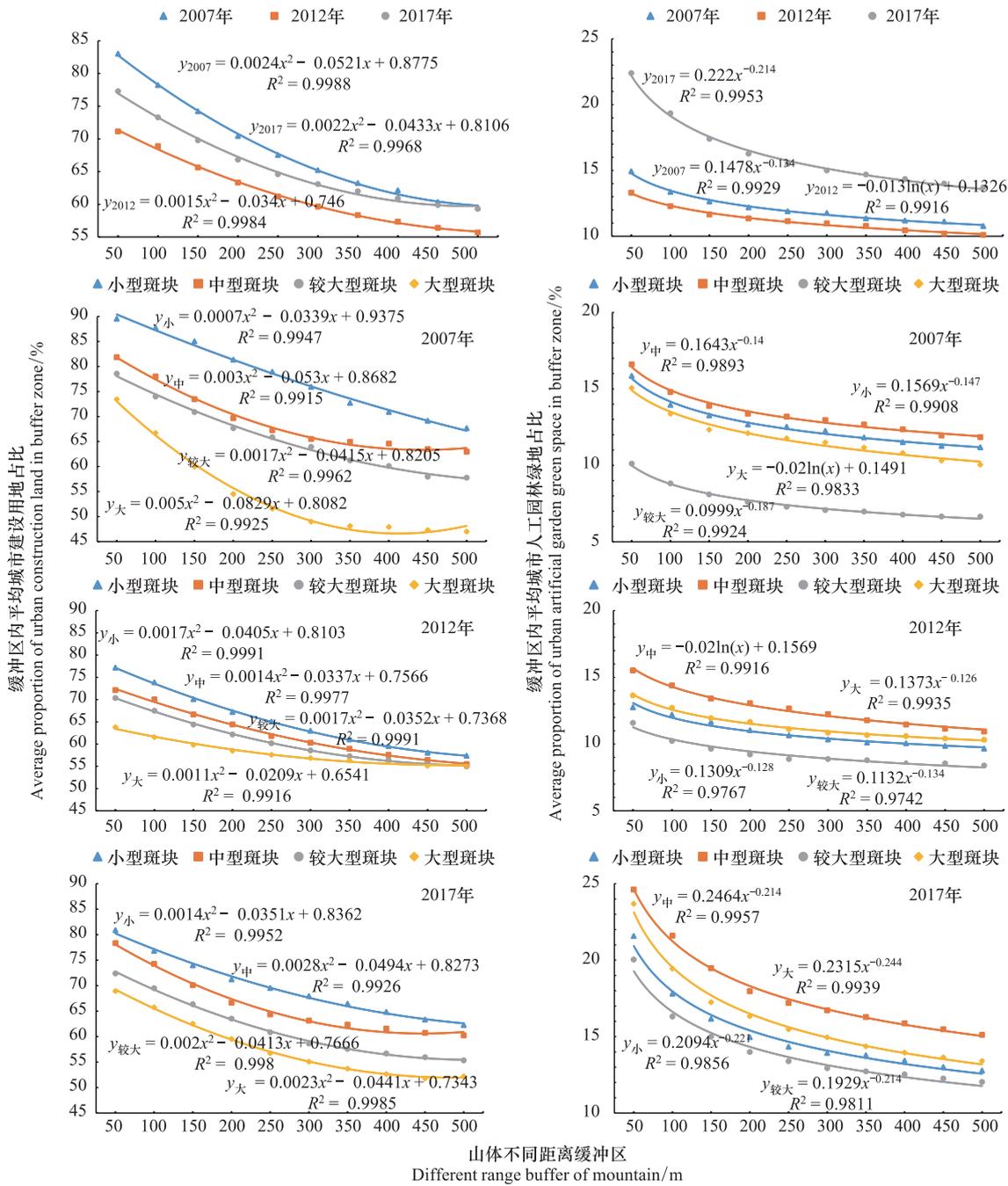


图7 多元线性回归分析

Fig. 7 Multiple linear regression analysis

斯特山地城市空间扩展的特殊性。贵州是我国唯一没有平原支撑的山地省份,境内 92.5% 的面积为山地和丘陵^[29],基本农田资源和适宜开发建设的城市用地都十分紧张,因此快速城市化背景下的城市扩展主要以“向山要地”为主要途径,而且黔中地区山体多为峰丛和峰林,因此城市扩展反而向山体方向发展。另外,从安顺市中心城区规划区土地利用现状图(2015)、安顺市城市总体规划(2015—2030)等规划资料中可以看出其城市扩展思路为“东联西促”,向东融入贵阳 1.0 小时经济圈,向西连接黄果树景区促进西部县域经济发展。可以看出这种“城-山”交互作用虽然是由人为主导城市规划产生的,但从当地的用地条件和黔中锥状、塔状喀斯特峰丛山丘集中连片分布的自然地形背景来看,这种城市发展方向也是其必然的选择。近年来,城市

遗存自然山体的生态服务价值越来越受到重视,尤其在改善城市人居环境、方便居民亲近自然,有益于城市居民的身心健康,因此在城市规划中,将用地需求相对灵活的居住用地布置于城市遗存自然山体周边也具有一定的合理性。

4 结论与展望

本研究通过分析 2007—2017 年黔中喀斯特山地城市安顺市景观水平和城市遗存自然山体类型水平的景观格局变化情况,揭示城市扩张及其景观格局对遗存自然山体的影响,得到以下几点结论:

(1)2007—2017 年安顺市城市扩张迅速,建成区面积扩大了 3.2 倍,城市内部景观整体趋于破碎化,单位面积上的景观类型单元减少,景观斑块丰富度降低,景观同质化现象突出,“城在山间,山在城中”的城市景观格局特征愈加明显。

(2)从 2007 年到 2017 年,城市遗存自然山体的斑块数量和总面积均增加了 3.5 倍,增速超过了建成区面积的扩大速度;平均斑块形状指数递减,斑块形状趋于规则化、简单化,山体斑块空间分布表现为集群分布,但各斑块间连通性不断降低。

(3)城-山之间具有明显的交互作用,一方面为城市建设对自然山体持续侵占破坏,大多数山体斑块面积发生不同程度受损缩减,部分山体更是直接消失,另一方面城市遗存自然山体对城市建设及其人工绿化均明显具有吸引作用,城-山交互作用的有效范围为山体周边 500 m 范围内,城市建设用地占比及其人工园林绿地占比均与山体距离呈显著负相关。

随着全球城市化的进程,至 2050 年,全球约 70% 的人口将居住于城市中^[30],人类与自然之间的联系正在急剧减弱,给人类自身的健康和福祉带来负面影响^[31]。城市遗存自然山体不仅成为连接人与自然的重要纽带,而且能够向城市提供多种生态服务功能,是城市中非常珍贵的生态资源^[6]。作为自然或近自然遗存在城市生态系统中的作用已引起了广泛关注,但由于基础理论研究滞后且薄弱,其作用和应用在当前开展的城市生态修复和城市国土空间规划中还缺乏科学依据和理论支撑。如何在城市发展过程中避免对入城自然山体的破坏,能否建立自然山体生态过程稳定性与空间格局之间的关系,找到维持山体生态过程的最小空间需求阈值,并通过合理配置城市人工绿地,构建生态网络,增加遗存自然山体之间的景观连接度,指导城市建设和山体管理实践,这些问题值得进行更深入的研究和探讨。今后计划在研究区深入分析城市景观格局演变对残余自然或近自然生态系统过程影响的生态效应,如斑块面积效应、边缘效应、形状效应、廊道效应、基质效应等方面的研究^[32],并进一步开展城市遗存自然山体的生态过程及其维持机理,探讨城市遗存自然山体生态资源保护,以及黔中喀斯特山地城市生态空间优化模式和调控方法。

参考文献 (References):

- [1] 邱国玉, 张晓楠. 21 世纪中国的城市化特点及其生态环境挑战. 地球科学进展, 2019, 34(6): 640-649.
- [2] 巨鑫慧, 高肖, 李伟峰, 韩立建, 毛劲乔. 京津冀城市群土地利用变化对地表径流的影响. 生态学报, 2020, 40(4): 1413-1423.
- [3] 欧阳晓, 贺清云, 朱翔. 多情景下模拟城市群土地利用变化对生态系统服务价值的影响——以长株潭城市群为例. 经济地理, 2020, 40(1): 93-102.
- [4] Wang Z B, Liang L W, Sun Z, Wang X M. Spatiotemporal differentiation and the factors influencing urbanization and ecological environment synergistic effects within the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. Journal of Environmental Management, 2019, 243: 227-239.
- [5] 陈利顶, 景永才, 孙然好. 城市生态安全格局构建: 目标、原则和基本框架. 生态学报, 2018, 38(12): 4101-4108.
- [6] Fernández I C, Wu J G, Simonetti J A. The urban matrix matters: quantifying the effects of surrounding urban vegetation on natural habitat remnants in Santiago de Chile. Landscape and Urban Planning, 2019, 187: 181-190.
- [7] 李奇, 朱建华, 肖文发. 生物多样性与生态系统服务——关系、权衡与管理. 生态学报, 2019, 39(8): 2655-2666.
- [8] 田雅楠, 张梦晗, 许荡飞, 张圣微. 基于“源-汇”理论的生态型市域景观生态安全格局构建. 生态学报, 2019, 39(7): 2311-2321.
- [9] 黄光宇. 山地城市学原理. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006: 1-35.
- [10] 任梅, 王志杰, 王志泰, 曾雨静, 何立影. 黔中喀斯特山地城市景观格局指数粒度效应——以安顺市为例. 生态学杂志, 2018, 37(10):

- 3137-3145.
- [11] 牛潜, 周旭, 张继, 杨江州, 黄雪勇. 喀斯特山地城市生态系统弹性变化分析——以贵阳市区为例. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(3): 722-730.
- [12] 胡昕利, 易扬, 康宏樟, 王彬, 史明昌, 刘春江. 近 25 年长江中游地区土地利用时空变化格局与驱动因素. *生态学报*, 2019, 39(6): 1877-1886.
- [13] 高扬, 李加林, 刘瑞清, 王中义, 汪海峰, 刘永强. 长江三角洲核心区绿地系统时空演变特征及生态服务价值评估. *生态学杂志*, 2020, 39(3): 956-968.
- [14] Han Y W, Kang W M, Thorne J, Song Y. Modeling the effects of landscape patterns of current forests on the habitat quality of historical remnants in a highly urbanized area. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2019, 41: 354-363.
- [15] 魏绪英, 蔡军火, 叶英聪, 周洋, 刘纯青. 基于 GIS 的南昌市公园绿地景观格局分析与优化设计. *应用生态学报*, 2018, 29(9): 2852-2860.
- [16] 邬建国. *景观生态学——格局、过程、尺度与等级* (第二版). 北京: 高等教育出版社, 2007: 107-115.
- [17] 王世杰, 张信宝, 白晓永. 中国南方喀斯特地貌分区纲要. *山地学报*, 2015, 33(6): 641-648.
- [18] Gibb H, Hochuli D F. Habitat fragmentation in an urban environment: large and small fragments support different arthropod assemblages. *Biological Conservation*, 2002, 106(1): 91-100.
- [19] 宋世雄, 刘志锋, 何春阳, 赵瑞, 任强. 城市扩展过程对自然生境影响评价的研究进展. *地球科学进展*, 2018, 33(10): 1094-1104.
- [20] Nowak D J, Greenfield E J. Tree and impervious cover change in U. S. cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2012, 11(1): 21-30.
- [21] 冯舒, 孙然好, 陈利顶. 基于土地利用格局变化的北京市生境质量时空演变研究. *生态学报*, 2018, 38(12): 4167-4179.
- [22] 车通, 李成, 罗云建. 城市扩张过程中建设用地景观格局及其驱动力的演变特征. *生态学报*, 2020, 40(10): 3283-3294.
- [23] 吴健生, 曹祺文, 石淑芹, 黄秀兰, 卢志强. 基于土地利用变化的京津冀生境质量时空演变. *应用生态学报*, 2015, 26(11): 3457-3466.
- [24] De Araújo M L V S, Bernard E. Green remnants are hotspots for bat activity in a large Brazilian urban area. *Urban Ecosystems*, 2016, 19(1): 287-296.
- [25] 王剑强, 王志泰. 基于缓解热岛效应的山地城市生态斑块研究——以贵州省贞丰县为例. *西北林学院学报*, 2014, 29(2): 232-236.
- [26] Chen A L, Yao L, Sun R H, Chen L D. How many metrics are required to identify the effects of the landscape pattern on land surface temperature? *Ecological Indicators*, 2014, 45: 424-433.
- [27] Brunbjerg A K, Hale J D, Bates A J, Fowler R E, Rosenfeld E J, Sadler J P. Can patterns of urban biodiversity be predicted using simple measures of green infrastructure? *Urban Forestry & Urban Greening*, 2018, 32: 143-153.
- [28] 储金龙, 王佩, 顾康康, 汪勇政. 山水型城市生态安全格局构建与建设用地开发策略. *生态学报*, 2016, 36(23): 7804-7813.
- [29] 王震洪. 云贵高原典型陆地生态系统研究(三)-喀斯特植物生态、景观格局与水土流失. 北京: 科学技术出版社, 2014: 3-25.
- [30] Müller A, Bøcher P K, Svenning J C. Where are the wilder parts of anthropogenic landscapes? a mapping case study for Denmark. *Landscape and Urban Planning*, 2015, 144: 90-102.
- [31] 曹越, 万斯·马丁, 杨锐. 城市野境: 城市区域中野性自然的保护与营造. *风景园林*, 2019, 26(8): 20-24.
- [32] Fahrig L. Ecological responses to habitat fragmentation Per Se. *Annual Reviews*, 2017, 48: 1-23.