

深圳市生态用地景观连通性动态评价*

吴健生 刘洪萌** 黄秀兰 冯 喆

(北京大学深圳研究生院/城市人居环境科学与技术重点实验室, 广东深圳 518055)

摘 要 生态用地是快速城市化地区敏感的土地利用类型,景观连通性是研究景观结构和景观功能互馈关系的重要途径。利用 1996—2008 年深圳市土地利用数据和基于图论的整体连通性指数、可能连通性指数和斑块重要值,对深圳市生态用地的景观连通性进行动态评价,试图从空间上识别出维持整体景观连通性的重要斑块,并结合深圳市基本生态控制线,评价生态控制线内外生态用地景观连通性的变化。结果表明:1996—2008 年,深圳市生态用地全局连通性基本呈下降趋势,维持连通性的重要斑块的重要程度及其分布均发生变化;基本生态控制线对维持线内生态用地的景观连通性发挥了一定作用。

关键词 景观连通性 生态用地 深圳

文章编号 1001-9332(2012)09-2543-07 **中图分类号** P901; Q149 **文献标识码** A

Dynamic evaluation on landscape connectivity of ecological land: A case study of Shenzhen, Guangdong Province of South China. WU Jian-sheng, LIU Hong-meng, HUANG Xiu-lan, FENG Zhe (Key Laboratory for Environmental and Urban Sciences, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055, Guangdong, China). *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2012, 23(9): 2543–2549.

Abstract: Ecological land is the most crucial and sensitive land use type in rapidly urbanizing areas. Landscape connectivity can help us to better understand the interactions between landscape structure and landscape function. By using the land use data of Shenzhen from 1996 to 2008 and the graph theory-based integral index of connectivity (IIC), probability index of connectivity (PC), and importance value of patches (dPC), a dynamic evaluation on the landscape connectivity of ecological land in the City was conducted, and a spatial assessment was made to identify the most important patches for maintaining overall landscape connectivity. In combining with the basic ecological controlling line in Shenzhen, the variations of the landscape connectivity of the ecological land inside and outside the basic ecological controlling line were evaluated. From 1996 to 2008, the overall landscape connectivity of the ecological land in Shenzhen displayed a downward trend, the importance and the spatial distribution of the important patches for maintaining the overall landscape connectivity changed, and the basic ecological controlling line played definite roles in maintaining the landscape connectivity of ecological land inside the line.

Key words: landscape connectivity; ecological land; Shenzhen.

景观连通性指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^[1],可反映景观要素对于某种水平运动过程的抑制程度。根据度量方法的不同,景观连通性可分为结构连通性和功能连通性,前者仅从景观要素的空间连续性出发,后者考虑到了特定的生态过程^[2]。近年来,景观连通性成为景观生态学领域的研究热点。该理论主要应用于生物多样性保护^[3-4]、森林资源管理^[5]、保护区规划和城

市景观规划^[6]。景观连通性的研究多以具体的生物物种为研究对象^[7-10],同时,景观连通性的测度也是重要的研究内容^[11-12],测度方法主要包括实际试验跟踪研究法,景观动态、复合种群、迁移扩散等模型法,基于最小耗费距离模型和图论的景观指数法^[13-14],其中,基于图论的指数方法不但能够很好地反映景观破碎化、识别重要的中间斑块,而且综合考虑了景观中各要素对生态过程的影响,弥补了其其他度量方法在针对性不强、评价识别过程复杂、参数设置主观化等方面的缺点,也能较好地与规划管理

* 国家自然科学基金项目(41130534,41001112,40801066)资助。

** 通讯作者。E-mail: hongmeng1987@126.com

2011-10-28 收稿,2012-06-26 接受。

实践相结合^[1]。

生态用地指对保持良好生态环境质量、维持区域生态平衡直接有益或具有潜在价值的所有土地利用方式,其具有维护生物多样性以及区域或全球生态系统平衡的作用^[8-19]。过去的二三十年中,我国经历了快速的城市化过程,该过程不可避免地导致大量耕地、林地、草地、水域等生态用地类型转化为城市建设用地^[2],导致城市生态用地出现萎缩、破碎化、孤岛化等现象。本文以我国典型的快速城市化城市——深圳为例,利用基于图论的景观连通性评价指数对研究区生态用地的景观连通性进行动态分析,并试图识别出对于维持景观连通性具有重要作用的生境斑块,结合深圳市生态用地相关管理政策,对研究区生态用地保护现状进行评价,为合理开展区域生态环境管理和建设提供科学建议和依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

深圳陆地(22°27′—22°52′N, 113°46′—114°37′E)总面积 1952.84 km²,全境地势东南高、西北低,低山、平缓台地和阶地丘陵为主要地貌形态。在过去 30 年的快速城市化发展过程中,深圳经历了剧烈的土地利用覆被变化,表现最明显的是大量生态用地类型(如林地、耕地等)转变为了硬质化的城市建设用地。深圳市生态用地在空间上受到蚕食和割裂,逐步退缩到以羊台山、梧桐山、排牙山和七娘山等为核心的低山岛状区域内^[21]。1989—2003 年,深圳市城镇建设用地占土地总面积比例由 6.7% 增加到 35.6%,生态用地比例从 88.5% 锐减到 61.4%^[2],

2008 年深圳市生态用地比例为 52.9%。深圳市的城市发展目标是成为经济文化繁荣、生态宜居的国际化城市^[22],为实现该目标,维持和提供良好的生态环境质量、及时保护城市中起关键生态功能的生态用地是深圳市城市建设的重要命题。

1.2 数据准备

本文利用 1996、2000、2004 和 2008 年深圳市土地利用数据(来源于深圳市国土资源局的土地利用详查与土地利用变更调查),结合生态用地的内涵,基于 ArcGIS 9.3 软件,提取 1996、2000、2004 和 2008 年生态用地(图 1)。生态用地类型包括耕地、园地、林地、草地、水域和未利用地(包括荒草地和沼泽地)。

1.3 研究方法

1.3.1 全局景观连通性评价 本文采用整体连通性指数(integral index of connectivity, IIC)和可能连通性指数(probability of connectivity, PC)对景观全局的连通性进行评价。其计算公式如下:

$$IIC = \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{a_i a_j}{1 + nl_{ij}} \right) / A_L^2 \quad (1)$$

式中: n 为景观中斑块总数; a_i 和 a_j 分别为斑块 i 和斑块 j 的面积; nl_{ij} 为斑块 i 与斑块 j 之间的连接数; A_L 为背景景观的面积。 $0 \leq IIC \leq 1$, IIC 为 0 表示各生境斑块之间没有连接, IIC 为 1 表示整个景观都为生境斑块^[23-24]。

$$PC = \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1, i \neq j}^n p_{ij}^* a_i a_j \right) / A_L^2 \quad (2)$$

式中: p_{ij}^* 为物种在斑块 i 和 j 直接扩散的最大可能性。 $0 < PC < 1$ ^[24-25]。

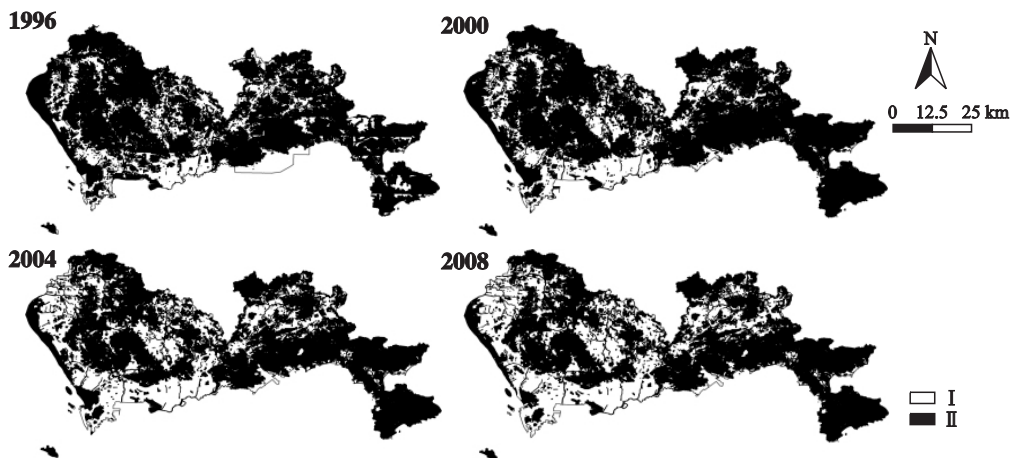


图 1 1996—2008 年深圳市生态用地

Fig. 1 Situation of ecological land of Shenzhen from 1996–2008.

I: 非生态用地 Non-ecological land; II: 生态用地 Ecological land.

1.3.2 景观重要斑块识别 在计算全局连通性指数的基础上,计算出每个斑块的重要值,即每个斑块对于维持景观连通性的重要程度.由于PC比IIC的优势更多,更具有合理性,因此本文采用斑块重要值(dPC)来衡量斑块的重要性.

$$dPC = (PC - PC_{remove}) / PC \times 100\% \quad (3)$$

式中:PC_{remove}为去除单个斑块后剩余斑块的整体指数值^[24];dPC指利用某斑块被移除后PC的变化来衡量该斑块对于维持景观连通性的重要程度.

IIC和PC均是基于图论的景观连通性评价指标,可以综合测度整个景观尺度上生境斑块的连通性程度.IIC基于二元连通性模型,即景观中斑块只有连通和不连通两种情况;PC基于可能性模型,斑块之间连通性的可能性与斑块间距离有关.IIC和PC的计算均需要设置扩散阈值距离,为了使研究结果具有可比性,本文对距离阈值进行统一设定.生态用地作为生境斑块,研究区整体景观作为背景景观.以上指数计算均基于Conefor Sensinode 2.2软件和ArcGIS 9.3软件.

1.3.3 生态用地连通性保护评价 在全球景观连通性动态评价以及重要斑块识别的基础上,结合研究区生态用地保护规划政策——深圳市基本生态控制线,对深圳市生态用地保护现状及合理性进行评价,为生态用地的科学保护和管理提供可行性依据.

2 结果与分析

2.1 深圳市生态用地全局连通性动态评价

由表1可以看出,1996—2008年,深圳市生态用地总量总体呈下降趋势,仅1996—2000年有小幅增长,2000年后的下降趋势尤为明显,2000—2004年间的降幅达7.9%;除园地外,其余5类生态用地的面积比例均呈减少趋势,其中,未利用地和林地的降幅最大,耕地虽然减幅不大,但由于其本身所占比

例较小,导致其相对损失幅度较大.2008年的园地面积比例较1996年增长近2%,主要由于园地具有一定的经济效应,较容易形成规模化经营,自然条件限制少,在城市化进程中,与其他生态用地类型相比,更具竞争力.与整体比例减少趋势不同,1996—2000年间,研究区耕地、林地和水域面积比例有小幅增长.

整体来看,研究期间的IIC值都较小,且呈逐年降低趋势,说明研究区生境斑块之间的连通性很低;与IIC相比,PC值稍有增加,原因在于可能性连通指数考虑了斑块之间的连通可能性,一些中间斑块增加了整个景观的连通性程度.1996—2000年,PC值稍有增加,2000—2008年,PC值呈下降趋势,且降幅较大(表2).总体而言,研究期间深圳市IIC和PC值均不高,表明深圳市生态用地景观整体连通性程度较低.

2.2 深圳市生态用地的重要斑块识别

2.2.1 景观斑块连通性重要值数量特征变化 利用极差标准化方法对斑块重要值(dPC)进行无量纲处理,进而对重要斑块进行分等定级,1~5表征斑块重要程度,数值越大表征斑块重要程度越高.

1996—2008年,5级重要斑块所占比例呈大幅下降,降幅约29%,其中,2000—2004年的下降速率最快;4级重要斑块所占比例有小幅降低,但总体维持在15%左右;3级重要斑块面积比例的变化轨迹较复杂,1996—2000年小幅降低,2000—2004年大幅增加,2004—2008年又小幅降低,但总体呈增加趋势;2级和1级重要斑块面积比例均呈较稳定的增长趋势(图2).

2.2.2 景观连通性重要斑块空间特征变化 研究期间,深圳市重要斑块分布呈现出东南重、西北轻的总体趋势.1996年,5级重要斑块主要分布在深圳市东南部,包括罗湖、盐田以及龙岗的坪山、葵涌、大鹏和南澳地区;2000年,其分布范围减少,主要分布于龙岗的坪山、葵涌、大鹏、南澳以及盐田的小部分地区;

表1 1996—2008年深圳市各生态用地类型的面积比例
Table 1 Area percentage of ecological land types in Shenzhen City from 1996 - 2008 (%)

生态用地类型 Ecological land type	1996	2000	2004	2008
耕地 Cultivated land	3.5	3.9	2.4	2.0
园地 Garden plot	10.7	14.1	14.2	12.8
林地 Forest land	32.3	33.2	30.3	29.3
草地 Grass land	0.2	0.02	0.02	0.1
水域 Water area	10.8	11.6	9.5	8.3
未利用地 Unutilized land	3.4	2.3	0.6	0.4
总计 Total	60.9	65.0	57.1	52.9

表2 1996—2008年深圳市生态用地全局景观连通性
Table 2 Overall connectivity of ecological land of Shenzhen City from 1996 - 2008

年 Year	IIC	PC
1996	0.15	0.32
2000	0.1	0.33
2004	0.07	0.24
2008	0.05	0.18

IIC: 整体连通性指数 Integral index of connectivity; PC: 可能连通性指数 Probability index of connectivity.

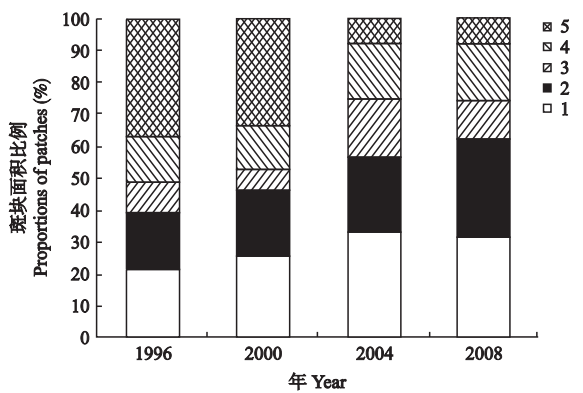


图2 1996—2008 年研究区不同级别重要斑块所占比例
Fig. 2 Proportions of different important level patches from 1996 – 2008 in the study area.
1 ~ 5: 级别 Level. 下同 The same below.

2004 年,其分布范围继续减少,且减幅巨大,仅保留于盐田的部分地区以及龙岗区坪山和葵涌的部分地区;2008 年与 2004 年基本一致. 1996 年,4 级重要斑块主要分布于西北部的宝安区;2000 年分布趋于分散,主要在宝安区西部、南山北部与宝安交界处,以及盐田、罗湖、龙岗三区交界处;2004 年,主要分布于龙岗区的大鹏和南澳部分地区;2008 年与 2004 年基本一致. 3 级重要斑块总体上分布面积最少,2004 年之后分布面积取代了之前较多的 5 级重要斑块并趋于稳定. 2 级和 1 级重要斑块分布较广,且逐渐替代了等级更高的斑块(图 3).

总体而言,深圳市生态用地景观连通性重要斑块主要分布在东南部的低山地区;研究期间,重要性斑块的分布范围缩小,逐渐退化成等级为 2 或 1 的斑块类型.

2.3 深圳市生态用地保护现状评价

结合深圳市生态控制线,对 2004 和 2008 年基本生态控制线内外的生态用地斑块进行分析. 结果表明,2004—2008 年,生态控制线内部 5 级重要斑块基本保持不变,仅有很少部分退化为 1 级斑块;大部分的 4 级和 2 级重要斑块保持不变,仅少数斑块退化为重要等级较低的斑块;3 级重要斑块的变化最大,很大一部分斑块退化为 2 级斑块,极少部分的斑块重要性程度有所提高;部分 1 级斑块的重要程度提高,其中,多数升级为 2 级斑块,仅很少部分升级为 5 级斑块(表 3). 基本生态控制线内部重要斑块的属性没有发生很大变化,尤其是 5 级重要斑块. 斑块重要性程度变化的总体突出趋势是重要程度降低,等级最低的 1 级斑块除外,但 1 级斑块也只有很少比例(0.1%) 转变为重要程度更高的斑块.

2004—2008 年,生态控制线外部各个不同等级的重要斑块的保留程度除 1 级斑块外,均小于生态控制线内部相应重要等级斑块的保留程度(表 4). 生态控制线外部的 5 级斑块,大部分保留,少部分退

表3 2004—2008 年生态控制线内部重要斑块类型转移矩阵
Table 3 Transfer matrix of types of important patches inside of ecological control line (%)

2004 年重要斑块 类型级别 Level of important patches in 2004	2008 年重要斑块类型级别 Level of important patches in 2008				
	1	2	3	4	5
1	87.0	10.2	1.8	1.0	0.1
2	4.0	96.0	0	0	0
3	1.0	39.5	59.6	0.0	0
4	0.8	2.7	0.2	96.3	0
5	0.04	0	0	0	99.9

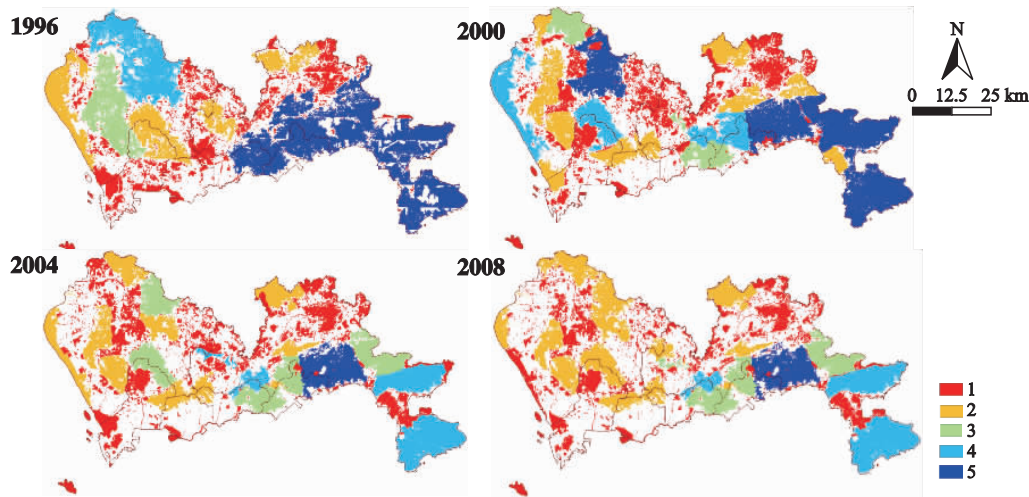


图3 1996—2008 年深圳市景观连通性重要斑块分布
Fig. 3 Distribution of connectivity important patches from 1996 – 2008 in Shenzhen City.

表 4 2004—2008 年生态控制线外部重要斑块类型转移矩阵
Table 4 Transfer matrix of types of important patches outside of ecological control line (%)

2004 年重要斑块 类型级别 Level of important patches in 2004	2008 年重要斑块类型级别 Level of important patches in 2008				
	1	2	3	4	5
1	96.0	1.5	0.2	2.2	0.03
2	39.0	61.0	0	0	0
3	27.3	27.7	45.0	0	0
4	2.8	2.9	5.1	89.2	0
5	11.1	0	0	0	88.9

化为 1 级斑块; 4 级、3 级和 2 级斑块均有不同程度的保留和不同程度的退化, 且均无斑块重要等级升级的情况发生; 1 级斑块保留程度较大, 也有很少部分的斑块升级为较高等级的斑块. 整体上, 基本生态控制线外部的斑块的属性变化较内部剧烈(图 4), 多数斑块的变化趋势是降低为较低等级的斑块, 仅有一部分原有的 1 级斑块升级为较高等级的斑块.

生态控制线外部的重要斑块主要分布于东南部, 且大部分等级较高的斑块位于基本生态控制线以内.

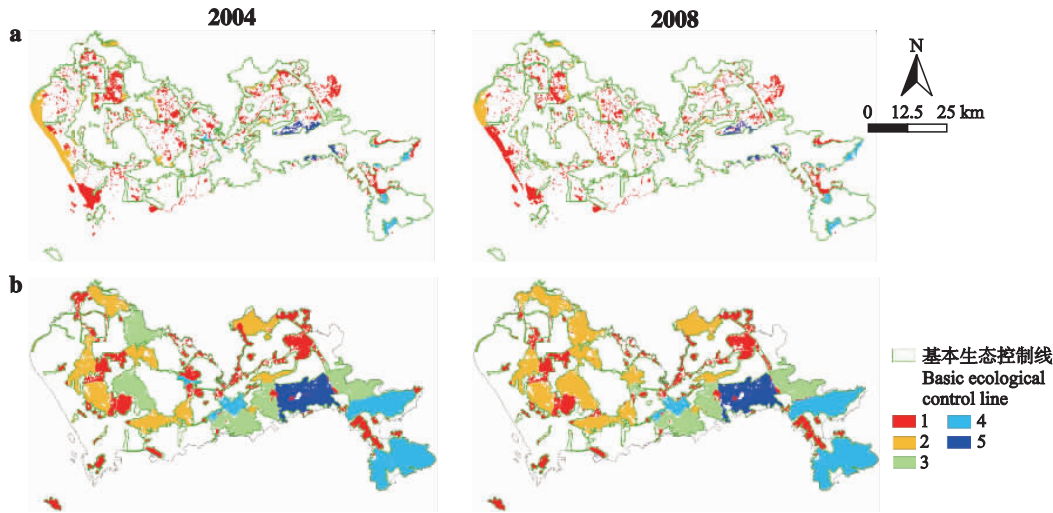


图 4 2004 和 2008 年基本生态控制线内外生态用地重要斑块分布的对比
Fig. 4 Contrast of distribution of important patches inside and outside of ecological line in 2004 and 2008.
a) 生态控制线内 Inside of ecological line; b) 生态控制线外 Outside of ecological line.

3 讨 论

3.1 全局景观连通性动态变化

1996—2008 年, 深圳市生态用地所占比例大幅降低, 这是快速城市化发展过程带来的必然结果. 城市化过程中城市的实体扩张和货币增长都对建设用地有硬性要求, 这是生态用地转变为建设用地的根本驱动力. 本文采用基于图论的景观连通性指数对深圳市全局景观连通性进行评价. 该种评价方法是目前的研究趋势, 国内学者应用该方法开展了一些案例研究^[25-28]. 通过将本研究结果与其他城市在相同扩散阈值下的生态连通性进行横向比较, 结果表明, 深圳市生态用地景观连通性程度较低, 并有继续降低的趋势. 1996—2000 年, 整体连通性指数的降幅很大, 而可能连通性指数却相对稳定. 这并不代表二者存在矛盾, 而是可以体现出生态用地景观自身内部的变化趋势. 由于全局连通性指数是基于二元连接模型的指数, 即超出某阈值范围的斑块则被判断为不连通, 而可能连通性指数在测度过程中考虑

了斑块的垫脚石效应. 1996—2000 年, 深圳市生态用地斑块之间的距离增大, 产生了一定程度的斑块破碎化, 但在破碎化过程中, 保存或产生了一些重要的小型斑块作为中间斑块, 维持着景观的连通性. 2000 年后, 深圳市生态用地整体的景观连通性在不断降低, 在 2005 年基本生态控制线划定之后, 深圳市景观连通性仍在降低. 基本生态控制线的效用不能单凭此就给予结论, 需要更长时序的动态研究. 生态用地景观连通性不断降低的原因与生态用地数量减少的驱动力在一定程度上是一致的. 城市化发展对建设用地的硬性需求, 使生态用地在数量和景观结构上发生变化. 景观连通性的降低还与微观的具体建设行为相关, 即建设开发的无序和混乱是导致景观连通性降低的主要原因. 换言之, 在开发建设过程中考虑景观连通性、注意维护某些重要性斑块, 可以在较破碎化的景观中维持较高的景观连通性, 从而发挥资源斑块的生态功能.

3.2 局部斑块重要性动态变化

斑块连通性的重要程度发生变化, 意味着斑块

在维持景观连通性中所起到的作用发生了变化. 斑块对于整个景观连通性的重要程度不仅取决该斑块自身的面积大小,更多地取决于斑块与其他资源斑块之间的距离和连结程度. 斑块的重要性程度降低,在一定程度上说明该资源斑块的面积减小,或该斑块与其他斑块之间的联系减少,在阈值一定的情况下,说明该景观中资源斑块的破碎化程度增加. 1996—2008 年,深圳市 5 级重要斑块的比例大幅下降,说明重要等级程度较高的资源斑块在快速城市化进程中面积消减,整个生态用地的景观破碎化程度增加. 大面积的重要等级较高的资源斑块的消退,是深圳市城市化 30 年来生态用地景观连通性变化的最突出表现. 高等级重要性斑块多集中在深圳市东南部,这与深圳市地貌特征有重要关系. 东南部多为低山地带,是深圳市海拔较高的地区,大型资源斑块多集中在这些地区. 重要斑块空间分布发生变化,意味着斑块之间产生隔离现象,即大型斑块之间缺乏相应的垫脚石斑块,使大型斑块之间的连结程度降低,造成这些斑块对整体景观连通性的贡献发生变化. 这就对生态规划的相关工作提出挑战,可以通过在大型资源斑块周边维持或重构一些小型垫脚石斑块,以维持整个景观的连通性.

3.3 景观连通性与生态用地保护策略

基于图论的景观连通性评价指数能对景观要素重要程度进行空间识别,可为生态管理政策的效用评价提供途径. 深圳市基本生态控制线在维持控制线内部生态用地斑块属性的稳定性方面具有显著作用. 2004—2008 年,大多数较高等级的重要斑块都维持了自身的属性特征.

从整体生态用地分布范围来看,95% 以上重要的生态用地斑块均落在深圳市基本生态控制线内部,即基本生态控制线的划定范围具备一定程度的合理性. 2008 年,仅位于龙岗坪山、葵涌和南澳的少量重要斑块的边缘位于生态控制线之外,建议可以对基本生态控制线进行微调整. 同时,这些斑块也是未来生态用地保护的重点地区.

受到城市化过程中各种建设活动的影响,生态控制线外部的生态用地斑块变化较剧烈. 可见,基本生态控制线的划定在一定程度上对于保护控制辖区以内的生态用地起到了积极作用,但该策略也是一把双刃剑,基本生态控制线在一定程度上反而促进了生态控制线外部的生态用地的被开发速度. 这种机械的二值化的发展趋势,对于深圳市生态系统安全是不利的.

因此,建议除了对重要性程度较高的基本生态控制线以外的生态用地进行合理保护和规划外,还应该定期对整体生态用地进行规模和质量评估. 生态用地景观是具有生态功能的整体单元,整体评价有益于全面把握其变化趋势,从而采取更合理的维护措施.

参考文献

- [1] Taylor PD, Fahrig L, Henein K, *et al.* Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 1993, **68**: 571 – 573
- [2] Wu C-G (吴昌广), Zhou Z-X (周志翔), Wang P-C (王鹏程), *et al.* The concept and measurement of landscape connectivity and its application. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2010, **30**(7): 1903 – 1910 (in Chinese)
- [3] Lindborg R, Eriksson O. Historical landscape connectivity affects present plant species diversity. *Ecology*, 2004, **85**: 1840 – 1845
- [4] Borthagaray AI, Brazeiro A, Gimenez L. Connectivity and patch area in a coastal marine landscape: Disentangling their influence on local species richness and composition. *Austral Ecology*, 2009, **34**: 641 – 652
- [5] Feced CG, Saura S, Rossell RE. Improving landscape connectivity in forest districts: A two-stage process for prioritizing agricultural patches for reforestation. *Forest Ecology and Management*, 2011, **261**: 154 – 161
- [6] Saura S, Hortal LP. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning*, 2007, **83**: 91 – 103
- [7] Walter WD, Ver Cauteren KC, Campa H, *et al.* Regional assessment on influence of landscape configuration and connectivity on range size of white-tailed deer. *Landscape Ecology*, 2009, **24**: 1405 – 1420
- [8] Stevens VM, Baguette M. Importance of habitat quality and landscape connectivity for the persistence of endangered natterjack toads. *Conservation Biology*, 2008, **22**: 1194 – 1204
- [9] Rabinowitz A, Zeller KA. A range-wide model of landscape connectivity and conservation for the jaguar, *Panthera onca*. *Biological Conservation*, 2010, **143**: 939 – 945
- [10] Olsson MPO, Widen P, Larkin JL. Effectiveness of a highway overpass to promote landscape connectivity and movement of moose and roe deer in Sweden. *Landscape and Urban Planning*, 2008, **85**: 133 – 139
- [11] Belisle M. Measuring landscape connectivity: The challenge of behavioral landscape ecology. *Ecology*, 2005, **86**: 1988 – 1995
- [12] Tischendorf L, Fahrig L. On the usage and measurement of landscape connectivity. *Oikos*, 2000, **90**: 7 – 19
- [13] Saura S, Estreguil C, Mouton C, *et al.* Network analysis to assess landscape connectivity trends: Application

- to European forests (1990 – 2000) . *Ecological Indicators*, 2011, **11**: 407 – 416
- [4] Janin A, Lena JP, Ray N, *et al.* Assessing landscape connectivity with calibrated cost-distance modeling: Predicting common toad distribution in a context of spreading agriculture. *Journal of Applied Ecology*, 2009, **46**: 833 – 841
- [5] Richard Y, Armstrong DP. Cost distance modeling of landscape connectivity and gap-crossing ability using radio-tracking data. *Journal of Applied Ecology*, 2010, **47**: 603 – 610
- [6] Gonzalez JR, Barrio G, Duguy B. Assessing functional landscape connectivity for disturbance propagation on regional scales: A cost-surface model approach applied to surface fire spread. *Ecological Modelling*, 2008, **211**: 121 – 141
- [7] Fu W (富 伟), Liu S-L (刘世梁), Cui B-S (崔保山), *et al.* A review on ecological connectivity in landscape ecology. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2009, **29**(11): 6174 – 6182 (in Chinese)
- [8] Deng X-W (邓小文), Sun Y-C (孙贻超), Han S-J (韩士杰). General principles of urban ecological land classification and planning. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005, **16**(10): 2003 – 2006 (in Chinese)
- [9] Huang X-L (黄秀兰). Research of Urban Ecological Land Growth Based on Multi-agent and CA. Master Thesis. Changsha: Central South University, 2008 (in Chinese)
- [10] Zhang L-B (张林波), Li W-T (李伟涛), Wang W (王 维), *et al.* Research on space modeling for minimum urban ecological land based on GIS: A case in Shenzhen. *Journal of Natural Resources* (自然资源学报), 2008, **23**(1): 69 – 78 (in Chinese)
- [11] Wu J-F (武剑锋), Zeng H (曾 辉), Liu Y-Q (刘雅琴). Landscape ecological connectivity assessment of Shenzhen City. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2008, **28**(4): 1691 – 1700 (in Chinese)
- [2] Urban Planning Land and Resources Commission of Shenzhen Municipality (深圳市规划和国土资源委员会). Shenzhen City Master Plan (2010 – 2020) [EB/OI] . (2010-09-29) [2011-7-30] . http://www.szpl.gov.cn/xxgk/csggh/cszgtgh/201009/t20100929_60694.htm (in Chinese)
- [3] Hortal LP, Saura S. Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: Towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology*, 2006, **21**: 959 – 967
- [4] Saura S, Torne J. Conefor Sensinode 2. 2: A software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. *Environmental Modelling & Software*, 2009, **24**: 135 – 139
- [5] Xiong C-N (熊春妮), Wei H (魏 虹), Lan M-J (兰明娟). Analysis of connectivity on greenland landscape in metropolitan region of Chongqing City. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2008, **28**(5): 2237 – 2244 (in Chinese)
- [6] Liu C-F (刘常富), Zhou B (周 彬), He X-Y (何兴元), *et al.* Selection of distance thresholds of urban forest landscape connectivity in Shenyang City. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2010, **21**(10): 2508 – 2516 (in Chinese)

作者简介 吴健生,男,1965 年生,副教授.主要从事土地利用与景观生态学研究. E-mail: wuj@sypku.edu.cn

责任编辑 杨 弘