

DOI: 10.5846/stxb201208081123

吴健生, 张理卿, 彭建, 冯喆, 刘洪萌, 赫胜彬. 深圳市景观生态安全格局源地综合识别. 生态学报, 2013, 33(13): 4125-4133.

Wu J S, Zhang L Q, Peng J, Feng Z, Liu H M, He S B. The integrated recognition of the source area of the urban ecological security pattern in Shenzhen. Acta Ecologica Sinica 2013, 33(13): 4125-4133.

## 深圳市景观生态安全格局源地综合识别

吴健生<sup>1</sup>, 张理卿<sup>1,2,\*</sup>, 彭建<sup>2</sup>, 冯喆<sup>2</sup>, 刘洪萌<sup>1</sup>, 赫胜彬<sup>1,3</sup>

(1. 北京大学城市规划与设计学院, 深圳 518055; 2. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871;

3. 北京大学政府管理学院, 北京 100871)

**摘要:** 城市生态安全格局是景观生态研究的热点和重点之一, 识别源地是构建生态安全格局的首要环节。在总结已有研究中重要斑块识别方法的基础上, 提出了结合景观连通性分析、生物多样性服务评估和生境质量评估来提取重要斑块的方法。以深圳市为研究区, 采用基于图论的景观连通性指数、生物多样性服务当量、InVEST 模型生境质量评估模块和 GIS 技术相结合的方法识别生态用地重要斑块。结果表明: 深圳市生态斑块依照连通性、生物多样性和生境质量的综合评估分为五级, 其中最重要斑块主要分布在龙岗区、盐田区和罗湖区; 现行基本生态控制线政策可以保护大部分重要斑块。

**关键词:** 生态安全格局; 源地的识别; 景观连通性; 生物多样性; 生境质量; InVEST 模型

## The integrated recognition of the source area of the urban ecological security pattern in Shenzhen

WU Jiansheng<sup>1</sup>, ZHANG Liqing<sup>1,2,\*</sup>, PENG Jian<sup>2</sup>, FENG Zhe<sup>2</sup>, LIU Hongmeng<sup>1</sup>, HE Shengbin<sup>1,3</sup>

1 School of Urban Planning and Design, Peking University Shenzhen, Guangdong 518055, China

2 College of Urban and Environment Sciences, Peking University Beijing 100871, China

3 School of Government, Peking University Beijing 100871, China

**Abstract:** Urban ecological security pattern is the focus and emphasis of the landscape ecology research, and identifying the source area is the first link to build the ecological security pattern. This paper summarized the existing researches on the recognition methods of the important patches overall, the commonly used method is relatively simple, which based on the biodiversity as well as the importance of ecosystem services. However, these methods are biased towards considering the structure and function of the patch itself, while ignoring the importance of patches in the entire matrix structure, as well as the relationship with the surrounding environment. Therefore, this paper attempted to propose a comprehensive recognition method of connectivity analysis, biodiversity service evaluation and habitat quality evaluation to recognize the source area of the ecological security pattern.

The research area of this paper is Shenzhen City which as China's opening up window in the south of Guangdong province. With the unconventional high-speed development, Shenzhen has accumulated a large number of ecological and environmental problems, which have threatened the ecological safety in Shenzhen and has become major restrictive conditions to achieving sustainable urban development. Therefore, the ecological protection is urgent. In this paper, both the functions of the ecological patch itself and the structure importance in the landscape pattern were incorporated when recognizing the important patches. Furthermore, as an integrated approach, the landscape connectivity index, the biodiversity service equivalent and the habitat quality evaluation module of the InVEST model were employed to recognize

基金项目: 国家自然科学基金项目(41271195)

收稿日期: 2012-08-08; 修订日期: 2013-03-15

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: landscapelq@163.com

<http://www.ecologica.cn>

the important ecological patches. The results are as follows:

(1) The total area of the source area of the ecological security pattern is 312.10 km<sup>2</sup>, accounting for 15.9% of the total area of the city. The ecological land was divided into five grades in accordance with the landscape connectivity, biodiversity service and habitat quality, the former three grades constituted the source area, in which the most important patches are mainly located in Longgang District, Yantian District and Luohu District. It can be seen from the distribution characteristics of the important patches that they are mainly distributed on the mountains. It is suggested that different intensity of management measures should be taken for different levels of source region patches to maximize the efficiency of protection.

(2) Superimpose the recognition results with the present ecological control line to analyse the potential ecological security risk. The results shows that more than 95% of the important patches falls within the ecological control line, in this way, this recognition method is feasible to some extent. The small amount of patches exposed outside the control line is ecological risk areas, which mainly distribute in the Kuichong town and Nan'aotown, Longgang District, where we should strengthen the protection.

(3) Contrast to the existing research on the recognition of the source area, the method proposed in this paper has a certain degree of improvement, which considered not only the natural factors but also the human factors. It provided a reference for the theory development of landscape pattern and urban ecological conservation practices. However, this paper has some shortcomings, only the scope of Shenzhen City was considered when assessed the habitat quality, making the evaluation of the patches on the edge inaccurate. In addition, dynamic research can be considered in the future work, through the recognition of the source area for the different years to explore the characteristics and change, thus the recognition will be more credible. At last, the rationality and universality of this method needs more practices to verify and validate.

**Key Words:** ecological security pattern; the recognition of the source area; landscape connectivity; biodiversity; habitat quality; InVEST model

近几年来,由于生态系统的严重退化,生态安全问题已成为国内外学者和组织共同关注的热点<sup>[1-2]</sup>。俞孔坚提出了构建生态安全格局三步骤的方法框架:首先确定物种扩散源的现有自然栖息地(源地);其次,建立阻力面;最后根据阻力面来判别安全格局<sup>[3-4]</sup>。这个方法框架已经成为国内外学者研究生态安全格局构建的基本模式<sup>[5-11]</sup>。根据国内已有的相关研究显示,大部分文献多集中于对后两个步骤具体方法的研究,而对于源地的识别方法的阐述较为简单。源是指现存的乡土物种栖息地,它们是物种扩散和维持的源点。因此,源地的识别作为整个景观生态安全格局构建过程的基础,其准确性极其关键。总体来看,常用的方法多基于对生物多样性丰富以及生态系统服务重要性的考虑<sup>[6-8,12-14]</sup>,大致可以分为两种:第一种为直接识别,主要选取自然保护区和风景名胜区的核心区<sup>[6]</sup>;第二种为构建综合指标体系评估斑块重要性<sup>[7-9,12-14]</sup>。但是,这些方法都偏重于考虑生态用地斑块自身功能属性,而忽略了斑块在整个基质景观中的空间结构重要性以及与周围环境间的关系。

深圳市作为我国对外开放的窗口城市,其高速发展的模式在给深圳带来辉煌成就的同时,也给深圳带来了各种生态和环境等问题,这使得在深圳开展城市景观生态安全格局的构建工作越来越迫切。因此,本文尝试在吸收以往考虑生物多样性服务方法的基础上,结合斑块的连通性和生境质量分析,构建生态安全格局源地的识别方法。以快速城市化地区深圳市为研究区,在识别重要斑块过程中兼顾生态斑块自身功能与在景观格局中的结构重要性,为景观生态安全格局理论发展和城市生态保护实践提供参考。

## 1 研究区与数据

### 1.1 研究区概况

深圳市位于广东省南部,陆域位置是 E113°46′—114°37′, N22°27′—22°52′,全市总面积 1952.84 km<sup>2</sup>。深

圳市地处南亚热带海洋性季风区,全年温和湿润、雨量充沛。在人类经济活动的作用下,深圳市原始的森林植被已荡然无存,只在局部山谷地段或村边残留小片次生林;广大丘陵山地除小面积的人工林外,均以稀树(散生马尾松)灌丛或灌草丛为主;沿海的红树林由于围垦造田、挖塘及砍伐,由之前的 0.667 万多  $\text{hm}^2$  减为 467 多  $\text{hm}^2$ 。这些问题的累积已经威胁到深圳的生态安全并已成为实现城市可持续发展的主要障碍。

## 1.2 数据来源

本研究基于 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),主要对陆域生态系统进行生态安全格局分析,因此提取林地、园地、耕地、草地作为本次研究的生态用地。利用 ArcGIS 9.3 提取生态用地,得到图 1 所示的土地类型分类图。其中,由林地、园地、耕地、草地组成的生态用地斑块总面积占总研究区的 46.1%,其他用地斑块总面积占 53.9%。

## 2 研究方法

根据生态安全的涵义,源地至少要实现 3 个层次的目标:维护现有景观过程的完整性;保证生态系统服务的可持续性;防止生态系统退化带来的各种生态问题<sup>[15]</sup>。由此可见,可以从这 3 个属性来综合识别生态安全格局的源地:

(1) 源地在景观连通性中应具有重要地位。景观连通性是指景观对生态流的便利或阻碍程度,是衡量景观生态过程的重要指标<sup>[16]</sup>。维持良好的连通性是保护生物多样性和维持生态系统稳定性和整体性的关键因素之一<sup>[17]</sup>,因此,连通性良好的斑块可以更有效的实现其生态功能<sup>[18]</sup>;

(2) 源地在提供生态系统服务方面应具有重要地位。一般而言,生态系统生物多样性服务功能高的地方都能为物种提供良好生境<sup>[19]</sup>;

(3) 源地本身应具有较高的生境质量,生境质量取决于与栖息地靠近的人类土地利用及其强度<sup>[20-21]</sup>。一般来说,生境质量随着附近土地使用强度的加大而降低<sup>[22-24]</sup>。生境质量的评估可以通过分析生境斑块在所处基质中受到的各种威胁的综合影响来进行。

连通性重要值的高低反映斑块对维持整个基质景观生态流畅通的能力,生物多样性服务价值的高低反映斑块生物多样性的丰富度,而生境质量的高低反映斑块本身受周围环境中人类活动的干扰程度,三者对于保护生物多样性和维持生态系统稳定性和整体性都具有重要作用,均可以反映斑块的重要性。因此,本文认为这三者在衡量斑块重要性时处于同等重要的位置,将三者等权重叠加对斑块重要性进行分级。一般来说,重要性分级的方法有人为设定阈值法和 GIS 平台中的自然断点法,考虑到设定阈值的不确定性和主观性以及自然断点法的单要素适用性,因此综合考虑这两种方法,本文采用的具体方法为:3 种评价方法综合,选取三者结果都在前 20% 的栅格作为第 5 级,即最重要斑块;选取其中两个结果在前 20% 另一个在 20%—40% 的栅格作为第 4 级,即次重要斑块;选取一个结果在前 20% 另两个在前 20%—40% 的栅格作为第 3 级,即重要斑块;选取三者结果都在 20%—40% 的栅格作为第 2 级,即一般斑块;其余为第 1 级,即不重要斑块;将重要性前三级设定为景观生态安全格局的源地。

### 2.1 生态用地斑块连通性分析

Pascual Hortal 和 Saura 提出了整体连通性指数(IIC)和可能连通性指数(PC)是衡量景观格局与功能的重要指标。IIC 和 PC 既可反映景观的连通性,又可计算景观中各斑块对景观连通性的重要值<sup>[16]</sup>,以此作为斑块对景观连通性的影响和效应分析。对比 IIC 和 PC 指数,两者均是基于图论的景观连通性评价指数,但是,IIC 指数是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;而 PC 基于可能性模型,斑块

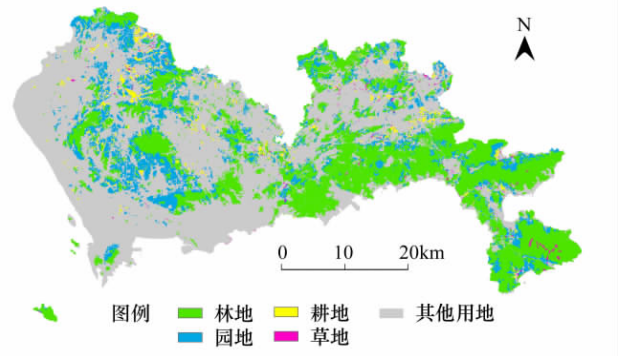


图 1 2008 年深圳市土地利用类型分布  
Fig. 1 The distribution of the land in Shenzhen 2008

之间的连通性的可能性与斑块之间的距离有关。由此可见,PC 指数相比 IIC 指数优势更多,更具有合理性<sup>[25]</sup>,PC 指数的公式如下:

$$I_{PC} = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n a_i \cdot a_j \cdot P_{ij}^*}{A_L^2} \quad (1)$$

式中  $n$  表示景观中斑块总数,  $a_i$  和  $a_j$  分别表示斑块  $i$  和斑块  $j$  的面积,  $A_L$  是研究区的总面积,  $P_{ij}^*$  是物种在斑块  $i$  和斑块  $j$  直接扩散的概率,  $0 < I_{PC} < 1$ <sup>[26-27]</sup>。

斑块的重要值( $dI$ )指斑块对景观保持连通的重要性,即在此点处断裂(或者移除后)整个区域湿地景观连通性的变化量。将 PC 指数按照公式(2)计算每个斑块在整个景观中的重要值( $dI$ ),记为  $dPC$ ,分析研究区内斑块的重要性程度:

$$dI(\%) = 100 \times \frac{I - I_{\text{remove}}}{I} \quad (2)$$

式中  $I$  表示景观中所有斑块的指数值,  $I_{\text{remove}}$  是去除单个斑块后剩余斑块的指数值。 $dI$  值越高,表示该斑块在景观连通中的重要性越高,也意味着  $dI$  值越高的斑块,在城市中的核心地位越明显。本文采用  $dPC$  来评价斑块的结构重要性。通过 ArcGIS 9.3、插件模块 Conefor Inputs for ArcGIS 9.x 和 Conefor Sensinode 2.5.8,以生态用地作为生境斑块,研究区整体作为背景景观,进行生态用地斑块的连通性分析<sup>[28]</sup>。

## 2.2 生态用地生物多样性服务评估

不同的土地利用类型保持生物资源的能力不同,根据谢高地<sup>[29]</sup>制定的生物多样性服务当量来进行评估。其中,园地的生物多样性当量因子取森林和草地的平均值,计算出林地、园地、耕地、草地的生物多样性服务价值分别为 4.51、3.19、1.02、1.87,因此从维持生物多样性服务功能的重要性来看,林地最重要,园地次重要,草地重要,耕地一般,而其他用地则不重要。

## 2.3 生态用地生境质量评估

由美国斯坦福大学、世界自然基金会和大自然保护协会联合开发的生态系统服务功能评估工具: InVEST 模型为生境质量的评估提供了便利<sup>[30-31]</sup>。该模型对于生境质量的评价是通过分析生境斑块在所处基质中受到的各种威胁的综合影响来进行的,衡量生境质量有四个要素:每种威胁的相对影响、每种生境类型对于每种威胁源的相对敏感性、自然栖息地(生境斑块)与威胁来源的距离以及土地受法律保护的程度,具体原理、公式详见 InVEST 模型操作指南<sup>[32]</sup>。本文假定土地的法律保护是有效的,因此主要考虑上述四个要素的前三个。根据上述说明,按照 InVEST 模型的操作指南进行研究区生境质量的判别。首先,进行生境与威胁源的确定:生境数据通过将分为林地、园地、耕地、草地和其他用地的土地覆被图以 30×30m 为单元栅格化得到,林地、园地、耕地、草地为生境,其他用地为非生境;威胁源数据则通过参考国内外相关研究<sup>[20,33]</sup>,选取高速公路、铁路、主要公路、其他建设用地、独立工矿用地作为危险要素,通过对 2008 年深圳市土地利用变更数据的提取获得这五类要素。接着,进行各衡量要素的威胁数据的设置,参考 InVEST 模型的说明书并结合对相关专家的访谈,确定危险要素的权重、4 种类型的生态用地对这五种危险要素的敏感性以及各威胁源对生态用地最大的影响距离,如表 1 所示。最后,通过在 ArcGIS9.3 中加载 InVEST 模块,导入所设置的威胁数据对威胁源、生境进行分析,评估生境质量的高低。

## 3 结果与分析

根据上述研究方法,首先得到每种要素评估的结果,通过自然断点法均分为 5 个等级,等级值越高,重要性越高,如图 2—图 4 所示。综合三者分析结果,按照本文研究方法所述,将生态用地斑块划分为五类(图 5),并对各等级斑块所占的面积百分比进行统计,结果如图 6 所示。从斑块面积来看,最重要斑块面积为 74.12km<sup>2</sup>,次重要斑块面积为 142.71 km<sup>2</sup>,重要斑块面积为 95.27km<sup>2</sup>,所有重要斑块也即生态安全格局源地的面积总和为 312.10km<sup>2</sup>,约占全市总面积的 15.9%。从空间上看,最重要斑块主要分布在深圳市东部,

62.3% 都位于龙岗区; 次重要斑块在深圳市东西部均有分布; 重要和一般斑块则主要沿着次重要斑块外围分布。从各行政区来看, 盐田区最重要斑块所占比例最大, 接近 2/5。由此可见, 龙岗区和盐田区应作为重点区来进行保护管理。

表 1 威胁数据

Table 1 The threat data

| 威胁源<br>Threat          | 高速公路<br>Highway | 铁路<br>Railway | 主要公路<br>Mainroad | 其他建设用地<br>Other construction<br>land | 独立工矿用地<br>Independent<br>mining land |
|------------------------|-----------------|---------------|------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 权重 Weight              | 0.5             | 0.4           | 0.6              | 0.7                                  | 1                                    |
| 林地 Forest land         | 0.7             | 0.6           | 0.8              | 1                                    | 0.9                                  |
| 园地 Orchard land        | 0.5             | 0.4           | 0.6              | 0.8                                  | 0.7                                  |
| 耕地 Cultivated land     | 0.6             | 0.5           | 0.7              | 0.9                                  | 0.8                                  |
| 草地 Grass land          | 0.8             | 0.7           | 0.8              | 1                                    | 0.9                                  |
| 最大影响范围 Max-distance/km | 0.5             | 0.5           | 0.5              | 1                                    | 3                                    |

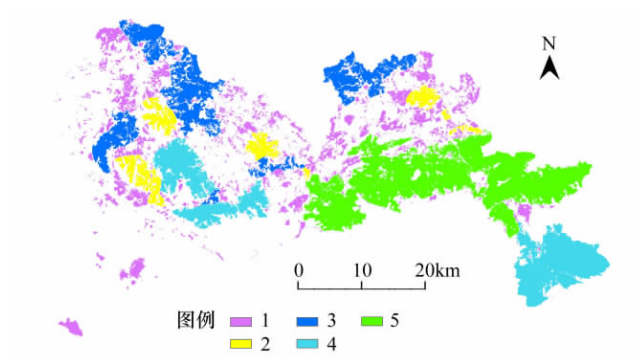


图 2 2008 年深圳市生态用地维持景观连通性的重要程度  
Fig. 2 The importance grade of maintaining landscape connectivity of the ecological land in Shenzhen 2008

图中 1—5 表征斑块重要程度, 数值越大斑块重要程度越高

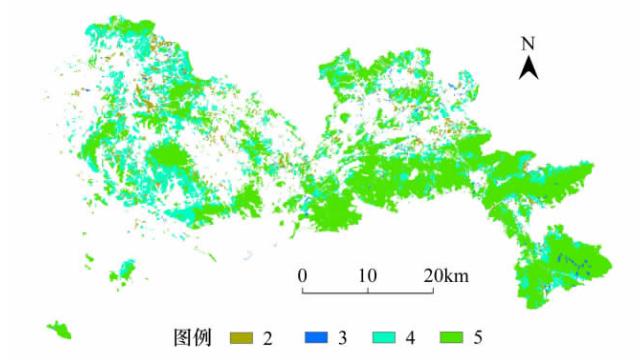


图 3 2008 年深圳市生态用地生物多样性服务重要程度  
Fig. 3 The importance grade of biodiversity service of the ecological land in Shenzhen 2008

图中 1—5 表征斑块重要程度, 数值越大斑块重要程度越高

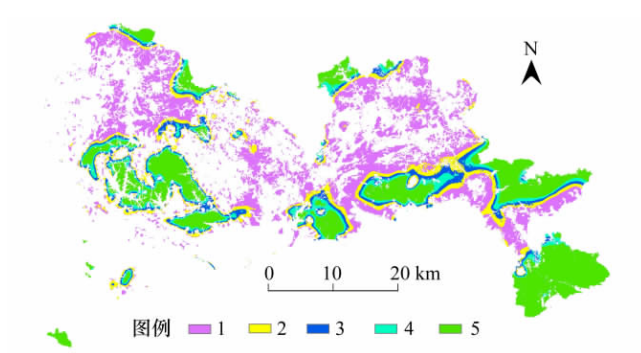


图 4 2008 年深圳市生态用地生境质量等级  
Fig. 4 The habitat quality grade of the ecological land in Shenzhen 2008

图中 1—5 表征斑块重要程度, 数值越大斑块重要程度越高

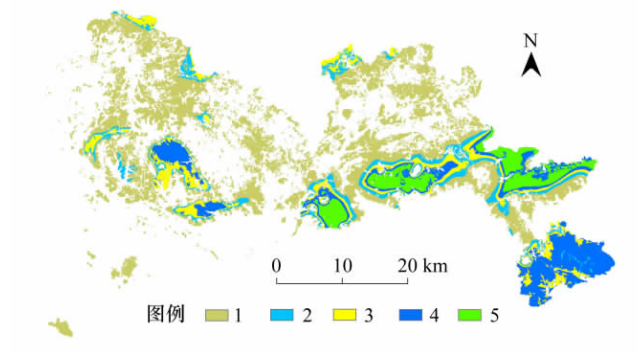


图 5 2008 年深圳市生态安全格局重要斑块识别与分级  
Fig. 5 The identification and classification of the important patches of the ecological security pattern in Shenzhen 2008

图中 1—5 表征斑块重要程度, 数值越大斑块重要程度越高

最重要斑块主要分布在东部的 3 个区域, 分别位于坝光和马峦山区域以及深圳最高峰梧桐山脉, 其中马峦山地区是深圳自然植被保存最为完整的山地之一, 植被类型多样, 植物资源较丰富, 既有保存较好的南亚热带

带沟谷常绿阔叶林,也有较大面积的南亚热带低地常绿阔叶林,而梧桐山则是深圳市唯一的省级风景名胜区,植物保护完好,拥有大面积的南亚热带常绿阔叶林、部分南亚热带针阔混交林和季相变化明显的山顶灌丛,同时保存有多种国家重点保护植物和珍稀濒危植物。次重要斑块在深圳市东西部均有分布,东部主要位于南澳镇的西冲-七娘山为主要山脉的东南部沿海地带,深圳市第二高峰的七娘山较好地保存了亚热带季雨林森林的植被特征,其他主要沿着最重要斑块外围分布,西部主要位于羊台山和塘朗山区域,羊台山内保存结构稳定的天然次生林,塘朗山中植被以阔叶林为主。重要斑块则主要沿着次重要斑块外围分布。总体看来,生态安全格局源地基本分布在海拔较高的山地,并呈现出海拔越高植物群落结构越复杂,斑块的重要性就越高的趋势。

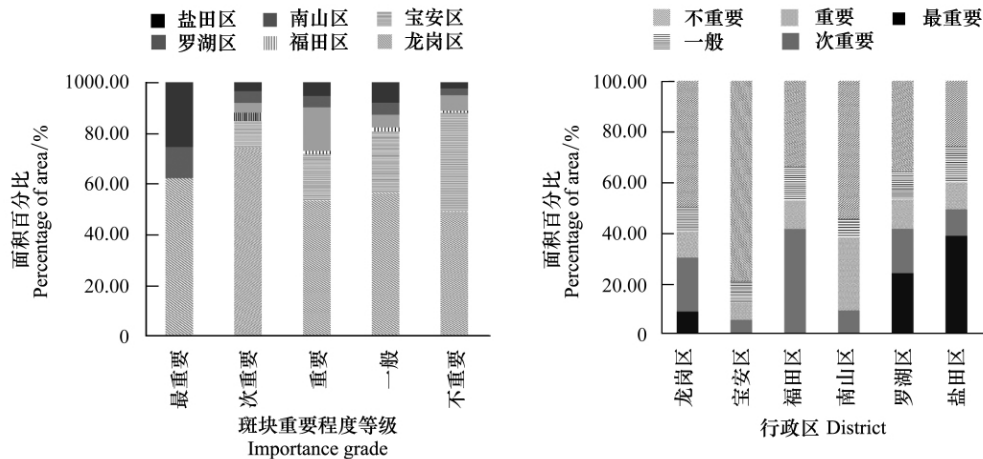


图6 重要板块各等级面积百分比统计结果

Fig. 6 The area percentage of each grade of the important patches

对生态用地斑块的土地利用类型进行统计,整体看来,源地主要由林地组成,其中最重要斑块中的林地斑块接近99%,次重要斑块中的林地斑块超过了88%。从各土地利用类型的各等级斑块比例情况来看,源地所占面积比例最高的是林地,其次是园地和草地,最低为耕地,由此可见,这三种土地利用类型更有利于生物多样性的保护,因此要对之进行重点保护,尤其是林地。

## 4 讨论

### 4.1 基本生态控制线合理性

为保护生态环境,深圳市人民政府于2005年11月颁布了《深圳市基本生态控制线管理规定》,提出基本生态控制线是指深圳市人民政府批准公布的生态保护范围界线。与本文识别重要斑块所用的方法不同,深圳市基本生态控制线的制定方法为碳氧平衡法,因此,通过将生成的重要斑块与深圳市基本生态控制范围进行空间叠加,对比共同点和差异点,可以评估分析控制线的合理性,并对生态用地的保护提出合理建议。

将生成的重要斑块与基本生态控制线范围进行空间叠加(图7),并统计各级别生态斑块位于生态控制线之外的面积比例(表2),结果表明:总体上,重要斑块与基本生态控制范围冲突不大,超过95%面积的重要斑块都落在基本控制线以内,且最重要斑块中接近98%都在控制线以内,可见现行基本生态控制线政策可以保护绝大部分重要斑块,同时也在一定程度上表明本文提出的生态安全格局源地的识别方法是可行的。冲突主要体现在斑块外边缘,只占总面积的4.60%。具体表现为:最重要斑块基本都位于基本生态控制线以内,是3个级别斑块中冲突最小的一级,仅位于龙岗区大鹏镇和葵涌镇行政边界边缘的少量斑块有被人类活动影响的风险,应进行重点保护;次重要斑块有2.71%面积不在基本生态控制线范围内,这些斑块都位于深圳市东南部,西部的次重要斑块都位于控制线内;重要斑块中除了宝安区松岗镇的东北部和龙岗区南澳镇部分斑块不在控制线范围以内外其余大部分都得到保护。

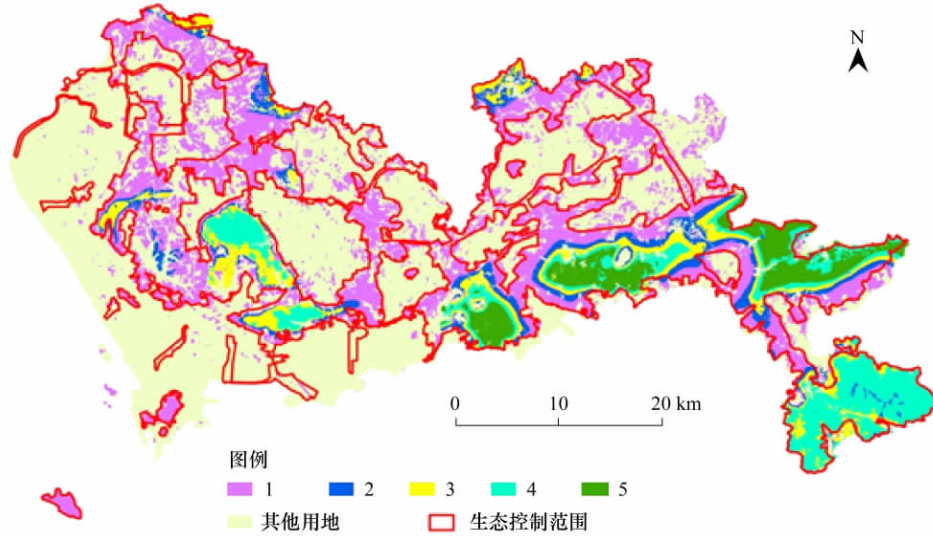


图7 2008年深圳市生态安全风险区分布

Fig. 7 The ecological security risk distribution in Shenzhen 2008

1—5 表征斑块重要程度,数值越大表征斑块重要程度越高

表2 重要斑块与基本生态控制线冲突统计表

Table 2 The area conflict between the important patches and the ecological control line

| 重要斑块等级<br>Importance level | 面积/km <sup>2</sup><br>Area | 占各级斑块总面积百分比/%<br>Percentage of total area |
|----------------------------|----------------------------|---|
| 最重要 First                  | 1.62                       | 2.19                                      |
| 次重要 Second                 | 3.86                       | 2.71                                      |
| 重要 Third                   | 8.86                       | 9.30                                      |
| 总和 Sum                     | 14.34                      | 4.60                                      |

目前的管理工作主要是将基本生态控制线视作一个相对均质的区域来看待,控制管理手段相对宏观笼统,因此,有必要构建基本生态线的等级类型体系,并分级分类制定管理原则、管理策略和管理标准。根据本文对提取出的生态安全格局源地的分级,建议对各等级重要斑块采取不同强度的管理措施,从而节约保护成本,提高效率。另外,对于那些落在控制线之外的重要斑块应纳入到保护范围内进行严格控制;对于位于控制线之内的重要斑块应着重保护;对于在控制线范围内不属于生态安全格局源地的区域可以结合土地使用现状、空间资源条件等因素考虑进行适度开发。

#### 4.2 研究意义与不足

生态安全是21世纪人类社会可持续发展所面临的一个新主题,也是现代景观生态学最前沿的应用问题之一。生态安全通过优化景观生态格局来实现,生态安全格局为平衡各方利益,维护各自安全和发展水平达到总体最高效率提供战略,而源地的识别设定直接影响生态安全格局构建的结果,因此其重要性不言而喻。本文在研究方法上,除了继承前人常用的生物多样性服务评估方法外,还从斑块本身的功能以及结构入手,不仅考虑了自然因素也将人为因素考虑在内,从一个综合全面的角度进行核心斑块的识别,是对传统定性描述和整体评价为主的常规研究方法的重要拓展;同时,在实践应用上,将生态安全格局理论与特定区域以深圳市相结合,对深圳市生态安全现状提出建议,将理论应用于实践,对快速城市化城市的生态安全研究具有一定的指引作用。

但由于本文的案例探究是一种新方法的尝试,因此还存在一些不足:在具体方法操作上,进行生境质量评估时仅考虑深圳市范围,对于深圳市边缘部分的斑块受威胁的评估会有误差,在之后的研究中可以将研究区外围一定距离的用地都考虑进来;本文仅做了一年景观生态安全格局源地识别研究,可以考虑做多个时间序

列的景观生态安全格局源地识别,通过动态研究深入探讨源地的变化情况以及特征属性,从而遴选出最应该保护的斑块;此外,对于该方法的合理性与普适性还有待以更多的实地考察和案例研究来进一步验证。

## 5 结论

本文以深圳市为研究区,以识别生态安全格局的重要斑块为目的,从斑块在整个基质景观中的空间结构重要性、自身生态系统服务重要性及其与周围环境间的关系出发,采用基于图论的景观连通性指数、生物多样性服务当量、InVEST 模型生境质量评估模块和 GIS 技术相结合的方法对研究区进行了识别。结果表明:

(1) 深圳市生态安全格局源地的总面积为 312.10km<sup>2</sup>,约占全市总面积的 15.9%;依照连通性、生态系统服务和生境质量将生态用地斑块分为五级,最高三级构成源地,其中最重要斑块主要分布在龙岗区、盐田区和罗湖区;从空间分布特征可以看出重要斑块基本分布在地;源地主要由林地构成。针对不同等级的重要斑块建议采取不同强度的管理措施以达到保护效率最大化。

(2) 将识别结果与现行基本生态控制线进行空间叠加,分析潜在的生态安全威胁。结果表明:源地超过 95% 面积都落在基本生态控制线以内,在一定程度上说明这种识别方法是可行的;暴露在控制线之外的少量斑块为生态风险区,主要分布在龙岗区的葵涌镇、大鹏镇、南澳镇,建议对其加强保护。

今后,在关于具体某种物种保护的研究中,识别生态安全格局的源地时,除了考虑斑块本身作为物种的栖息地应具备的属性(斑块面积和生物多样性服务等)外,还应结合本文所提到的景观连通性和生境质量评估进行综合识别。

## References:

- [1] Su S L. Integrative fuzzy set pair model for land ecological security assessment: a case study of Xiaolangdi Reservoir Region, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2010, 24(5): 639–647.
- [2] Gong J Z, Liu Y S, Xia B C, Zhao G W. Urban ecological security assessment and forecasting, based on a cellular automata model: a case study of Guangzhou, China. *Ecological Modelling*, 2009, 220(24): 3612–3620.
- [3] Yu K J. Landscape ecological security patterns in biological conservation. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(1): 8–15.
- [4] Yu K J. Security patterns and surface model in landscape ecological planning. *Landscape and Urban Planning*, 1996, 36(1): 1–17.
- [5] Luo X, Li S J. Recognition and optimization of ecological security pattern in Shijiazhuang. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, 39(27): 16730–16733, 16752–16752.
- [6] Li H, Yi N, Yao W J, Wang S Q, Li Z Y, Yang S H. Shangri-La county ecological land use planning based on landscape security pattern. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(20): 5928–5936.
- [7] Sun X B, Liu H Y. Optimization of wetland landscape patterns based on ecological function evaluation: a case study on the coastal wetlands of Yancheng, Jiangsu Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(5): 1157–1166.
- [8] Zhao X Q, Wang H B, Yang S H, Xu X Y. GIS-based ecological optimization of spatial patterns of land resources. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(9): 4892–4901.
- [9] Teng M J, Wu C G, Zhou Z X, Lord E, Zheng Z M. Multipurpose greenway planning for changing cities: A framework integrating priorities and a least-cost path model. *Landscape and Urban Planning*, 2011, 103(1): 1–14.
- [10] Klar N, Herrmann M, Henning-Hahn M, Pott-Dörfer B, Hofer H, Kramer-Schadt S. Between ecological theory and planning practice: (Re-) Connecting forest patches for the wildcat in Lower Saxony, Germany. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 105(4): 376–384.
- [11] Li H L, Li D H, Li T, Qiao Q, Yang J, Zhang H. Application of least-cost path model to identify a giant panda dispersal corridor network after the Wenchuan earthquake—Case study of Wolong Nature Reserve in China. *Ecological Modelling*, 2010, 221(6): 944–952.
- [12] Chen W B, Sun H F, Xiao D N. A preliminary study on resistance model of forest hydrological ability security. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2004, 26(3): 385–389.
- [13] Liu J P, Lv X G, Yang Q, Wang H X. Wetland landscape ecological security patterns analysis and plan in Northeast of Sanjiang Plain. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1083–1090.
- [14] Li Z Y, Yang G S, Dong Y W. Establishing the ecological security pattern in rapidly developing regions — A Case in the AYRAP. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(1): 106–113.
- [15] Yu K J, Qiao Q, Li D H, Yuan H, Wang S S. Ecological land use in three towns of eastern Beijing: A case study based on landscape security pattern analysis. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(8): 1932–1939.
- [16] Xiong C N, Wei H, Lan M J. Analysis of connectivity on greenland landscape in metropolitan region of Chongqing City. *Acta Ecologica Sinica*,



- 2008, 28(5): 2237-2244.
- [17] Taylor P D, Fahrig L, Henein K, Merriam G. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 1993, 68(3): 571-573.
- [18] Matlack G R, Monde J. Consequences of low mobility in spatially and temporally heterogeneous ecosystems. *Journal of Ecology*, 2004, 92(6): 1025-1035.
- [19] Xie H L, Li X B. Spatial assessment and zoning regulations of ecological importance based on GIS for rural habitation in Changgang Town, Xinguo county. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(1): 230-238.
- [20] Petrosillo I, Zaccarelli N, Semeraro T, Zurlini G. The effectiveness of different conservation policies on the security of natural capital. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 89(1/2): 49-56.
- [21] Müller F, Jones K B, Krauze K, Li B L, Victorov S, Petrosillo I, Zurlini G, Kepner W G. Contributions of landscape sciences to the development of environmental security // Petrosillo I, Müller F, Jones K B, Zurlini G, Krauze K, Victorov S, Li B L, Kepner W G, eds. *Use of Landscape Sciences for the Assessment of Environmental Security*. Dordrecht: Springer, 2007: 1-17.
- [22] UNEP. Nellemann C, Kullerud L, Vistnes I, Forbes B C, Husby E, Kofinas G P, Kaltenborn B P, Rouaud J, Magomedova M, Bobiwash R, Lambrechts C, Schei P J, Tveitdal S, Grøn O & Larsen T S. GLOBIO. Global Methodology for Mapping Human Impacts on the Biosphere. UNEP/DEWA/TR.01-3. 2001.
- [23] Mckinney M L. Urbanization, biodiversity and conservation. *BioScience*, 2002, 52(10): 883-890.
- [24] Forman R L, Goldman C R, Heanue K, Jones J, Swanson F, Turrentine T, Winter T C. *Road Ecology: Science and Solutions*. New York: Island Press, 2003.
- [25] Wu J S, Liu H M, Huang X L, Feng Z. Dynamic evaluation on landscape connectivity of ecological land: A case study of Shenzhen, Guangdong Province of South China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(9): 2543-2549.
- [26] Pascual-Hortal L, 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(7): 959-967.
- [27] Saura S, Torné J. Conefor Sensinode 2.2: A software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. *Environmental Modeling and Software*, 2009, 24(1): 135-139.
- [28] Saura S, Pascual-Hortal L. Conefor Sensinode 2.2 User's Manual: Software for Quantifying the Importance of Habitat Patches for Maintaining Landscape Connectivity through Graphs and Habitat Availability Indices. Lleida: University of Lleida, 2007: 23-24.
- [29] Xie G D, Zhen L, Lu C X, Xiao Y, Chen C. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(5): 911-919.
- [30] Nelson E, Mendoza G, Regetz J, Polasky S, Tallis H, Cameron D, Chan K M, Daily G C, Goldstein J, Kareiva P M, Lonsdorf E, Naidoo R, Ricketts T H, Shaw M. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7(1): 4-11.
- [31] Zhou B, Yu X X, Chen L H, Zhang Z M, Lü X Z, Fan M R. Soil erosion simulation in mountain areas of Beijing based on InVEST model. *Research of Soil and Water Conservation*, 2010, 17(6): 19-19.
- [32] Tallis H, Ricketts T, Guerry A. InVEST User Guide, Release 2.1.0.
- [33] Theobalda D M, Crools K R, Norman J B. Assessing effects of land use on landscape connectivity: loss and fragmentation of western U. S. Forests *Ecological Applications*, 2011, 21(7): 2445-2458.

#### 参考文献:

- [3] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局. *生态学报*, 1999, 19(1): 8-15.
- [5] 罗晓, 李双江. 石家庄市生态安全格局的识别与优化. *安徽农业科学*, 2011, 39(27): 16730-16733, 16752-16752.
- [6] 李晖, 易娜, 姚文璟, 王思琪, 李志英, 杨树华. 基于景观安全格局的香格里拉县生态用地规划. *生态学报*, 2011, 31(20): 5928-5936.
- [7] 孙贤斌, 刘红玉. 基于生态功能评价的湿地景观格局优化及其效应——以江苏盐城海滨湿地为例. *生态学报*, 2010, 30(5): 1157-1166.
- [8] 赵筱青, 王海波, 杨树华, 徐晓雅. 基于 GIS 支持下的土地资源空间格局生态优化. *生态学报*, 2009, 29(9): 4892-4901.
- [12] 陈文波, 孙海放, 肖笃宁. 森林水文功能安全阻力面模型初探. *江西农业大学学报*, 2004, 26(3): 385-389.
- [13] 刘吉平, 吕宪国, 杨青, 王海霞. 三江平原东北部湿地生态安全格局设计. *生态学报*, 2009, 29(3): 1083-1090.
- [14] 李宗尧, 杨桂山, 董雅文. 经济快速发展地区生态安全格局的构建——以安徽沿江地区为例. *自然资源学报*, 2007, 22(1): 106-113.
- [15] 俞孔坚, 乔青, 李迪华, 袁弘, 王思思. 基于景观安全格局分析的生态用地研究——以北京市东三乡为例. *应用生态学报*, 2009, 20(8): 1932-1939.
- [16] 熊春泥, 魏虹, 兰明娟. 重庆市都市区绿地景观的连通性. *生态学报*, 2008, 28(5): 2237-2244.
- [19] 谢花林, 李秀彬. 基于 GIS 的农村住区生态重要性空间评价及其分区管制——以兴国县长冈乡为例. *生态学报*, 2011, 31(1): 230-238.
- [25] 吴健生, 刘洪萌, 黄秀兰, 冯喆. 深圳市生态用地景观连通性动态评价. *应用生态学报*, 2012, 23(9): 2543-2549.
- [29] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 肖玉, 陈操. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法. *自然资源学报*, 2008, 23(5): 911-919.
- [31] 周彬, 余新晓, 陈丽华, 张振明, 吕锡芝, 范敏锐. 基于 InVEST 模型的北京山区土壤侵蚀模拟. *水土保持研究*, 2010, 17(6): 19-19.