

重庆市都市区绿地景观的连通性

熊春妮, 魏 虹*, 兰明娟

(西南大学生命科学学院, 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆市三峡库区植物生态与资源重点实验室, 重庆 400715)

摘要:城市绿地具有重要的生态功能和社会经济价值,是衡量城市生态可持续发展的重要标准。其中,连通性是维持景观功能的关键因素之一。以重庆市都市区为研究对象,结合 TM 遥感影像图,通过整体连通性指数(IIC)、可能连通性指数(PC)和景观中斑块对连通性的重要值对该区绿地景观的连通性进行了分析。研究结果表明,都市区绿地景观主要由少数巨型斑块和大量小型斑块组成。绿地景观整体连通性较差,这与绿地景观组成密切相关。对于绿地景观的连通性而言,巨型斑块的重要值最大,但小型斑块的重要性也不容忽视。对绿地景观连通性重要值最大的一些斑块主要分布于都市区的几大山脉上,这些斑块是城市绿地规划和保护的首要考虑的对象。基于研究结果,建议在重庆市都市区进行绿地规划时,优先考虑对重要斑块的保护,同时要考虑在巨型斑块之间构建小斑块,使其形成连通性廊道,提高绿地景观的连通性。

关键词:绿地景观; 连通性; 整体连通性指数(IIC); 可能连通性指数(PC); 斑块重要值

文章编号:1000-0933(2008)05-2237-08 中图分类号:Q149 文献标识码:A

Analysis of connectivity on greenland landscape in metropolitan region of Chongqing City

XIONG Chun-Ni, WEI Hong*, LAN Ming-Juan

Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region (Ministry of Education), Chongqing Key Laboratory of Plant Ecology and Resources Research in Three Gorges Reservoir Region, School of Life Science, Southwest University, Chongqing 400715, China
Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(5): 2237 ~ 2244.

Abstract: Urban greenland provides important socio-economic value and performs ecological functions, and it also is an important measurement of the sustainable development of cities in ecology. Connectivity is one of major indicator for maintenance of ecological functions in landscape. The connectivity of greenland landscape in metropolitan region of Chongqing City was studied based on the theory and method of landscape ecology, combined with Landsat TM remote sensing image. The integral index of connectivity (IIC), probability of connectivity (PC) and the important values of patches in greenland landscape were computed by different distance thresholds. The most important patches were found from the greenland landscape used Geographic Information System (GIS). The results showed that the greenland landscape is consisted of few large patches and many small patches. The connectivity of greenland landscape in Chongqing City is not so well, which was directly related to the construction of the greenland landscape. The most important patches located in the main mountains in the research region. The values of large patches for Connectivity of greenland landscape are more than others size patches, we suggest that it will make great contribution to establish large patches in planning of greenland landscape. However, protecting small patches should be addressed. The better way, which to increase the greenland value in urban ecological and environment management is to increase the connectivity of patches, both small and large patches when planning greenland landscape in metropolitan region of Chongqing City.

收稿日期:2007-11-27; 修订日期:2008-02-26

作者简介:熊春妮(1984~),女,湖南人,硕士生,主要从事景观生态和城市生态研究. E-mail: xiongchunni@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: weihong@swu.edu.cn

Received date: 2007-11-27; Accepted date: 2008-02-26

Biography: XIONG Chun-Ni, Master candidate, mainly engaged in landscape ecology and urban ecology. E-mail: xiongchunni@163.com

Key Words: greenland landscape; connectivity; Integral Index of Connectivity (IIC); probability of connectivity (PC); important value of patch

城市化是全球变化的一个重要趋势,预计 2025 年全世界将有 65% 的人口生活在城市^[1]。越来越多的自然景观正在快速的被城市景观取代,城市绿地是自然景观在城市景观中的残留部分^[2]。可以将城市绿地定义为具有一定数量植被,主要以半自然状态存在的户外空间^[3]。其具有重要的生态功能和社会经济价值,如保护生物多样性,防治水土流失,减轻城市热岛效应,提供休闲娱乐场所,减轻城市人的工作压力,影响房屋价格等^[4~6]。城市绿地规划对协调城市人口、资源与环境的矛盾具有重要意义。

城市绿地的重要性很早就引起了生态学者的关注。许多研究者从生态学的角度探讨了如何进行城市绿地规划^[7,8],以及城市绿地的格局和变化^[9~12],但更多的是关注于城市绿地的功能^[13~18]。连通性是指景观对生态流的便利或阻碍程度^[19],是衡量景观格局与功能的一个重要指标。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^[20]。因此,连通性良好的城市绿地可以更有效的实现其生态功能。用于衡量连通性的指标很多,但这些指数均存在这样或那样的缺陷。针对这些指数的缺陷,基于生境可利用性的观点,Pascual-Hortal 和 Saura 提出了整体连通性指数 (IIC) 和可能连通性指数 (PC)。IIC 和 PC 能对景观的连通性做出有效的评价,且结果可以在景观规划中实际应用^[21]。

山地城市由于用地复杂多变,其绿地景观大异于平原城市^[22]。重庆市是举世闻名的山城,地貌以丘陵、山地为主。其都市区保留了较大面积的自然景观,以人工或次生的森林、草地为主。这些绿地景观基本保留了其自然生态系统的特性,能够提供良好的生态系统服务。只要维持生态系统的稳定性,就可以廉价而有效的实现可持续性利用。因此,在重庆市都市区进行绿地景观连通性的研究十分必要。目前重庆市都市区的绿地景观连通性状况如何?对于绿地景观而言,哪些斑块是维持其连通性的敏感区域?这是本研究中需要解决的问题。

1 研究地概况

重庆市位于 105°17' ~ 110°11'E、28°10' ~ 32°13' N。东西长 470km,南北宽 450km,面积 8.24 万 km²。属于中亚热带季风性湿润气候区,全年平均气温 18.3℃。重庆多山,地貌以丘陵、山地为主,坡地面积较大。其都市区位于重庆市西南部,包括渝中区、大渡口区、江北区、沙坪坝区、九龙坡区、南岸区、北碚区、渝北区、巴南区,是重庆市的核心部分,面积 0.549 万 km²。华蓥山的几大支脉自北向南从都市区穿过,条带状的山脉将主城区分割成几个长条形区域。从西往东分别是缙云山山脉,华蓥山-中梁山山脉,铜锣山脉,明月山脉,子荡山脉,东温泉山脉。这些山脉包括缙云山国家森林公园、华蓥山国家森林公园以及其它一些风景区,是都市区绿地的主要组成部分。

2 研究方法

2.1 数据处理

以 2002 年假彩色合成 TM (分辨率为 30m) 遥感影像图为基础数据源,首先对影像进行几何纠正,结合实地调查,在地理信息系统的支持下,对遥感影像进行人机交互解译,得到重庆市都市区 1:100 000 的土地利用图。按照不同景观功能,在 Arcview3.3 中重新分类,将其分为建筑用地、农业用地、水体、绿地、未利用地 5 种类型,图 1(A)。利用 ArcGIS 9.0 从中提取出绿地这一类型,作为绿地景观,图 1(B)。绿地景观是本文的研究对象,包括森林和草地两大类型,其中森林占 95.3%,草地占 4.7%。

2.2 绿地景观连通性指标

(1) 整体连通性指数 Integral Index of Connectivity (IIC)

$$IIC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{a_i \cdot a_j}{1 + nl_{ij}}}{A_L^2}$$

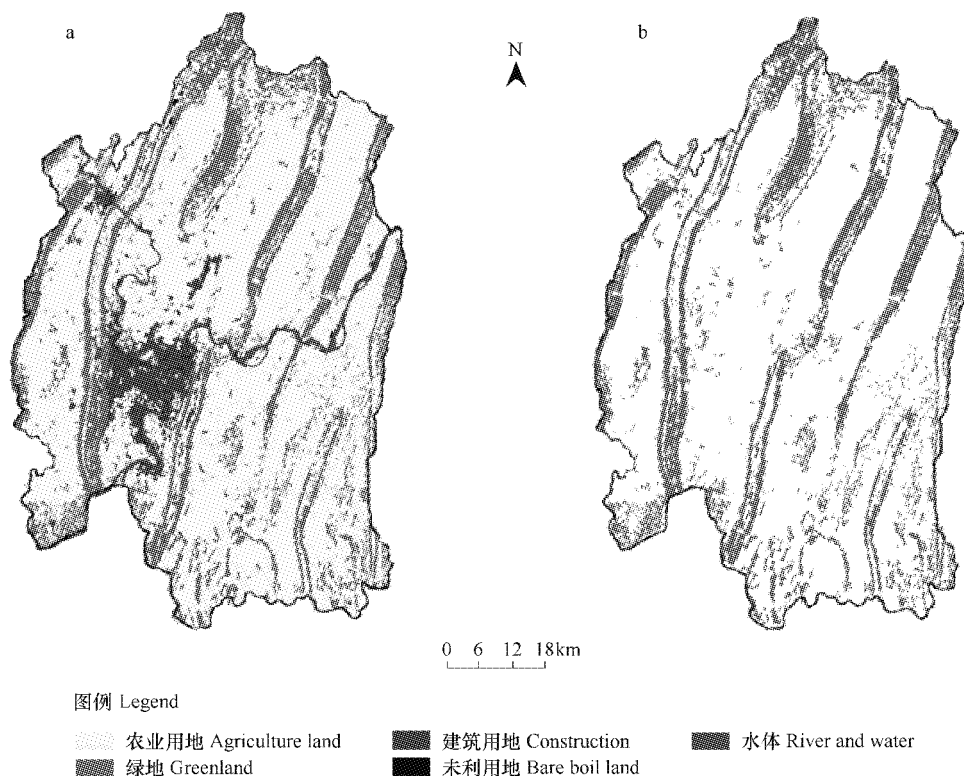


图 1 重庆市都市区景观类型图(A) 重庆市都市区绿地景观图(B)

Fig. 1 The types of landscape in metropolitan region of Chongqing (A) Greenland landscape in metropolitan region of Chongqing (B)

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, nl_{ij} 表示斑块 i 和斑块 j 之间的连接数, A_L 是景观的面积。 $0 \leq IIC \leq 1$, IIC 的值为 0, 表示各生境斑块之间没有连接。 IIC 等于 1, 表示整个景观都为生境斑块。

(2) 可能连通性指数 Probability of Connectivity (PC)

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1, i \neq j}^n p_{ij}^* \cdot a_i \cdot a_j}{A_L^2}$$

式中, n 表示景观中斑块总数, P_{ij}^* 是物种在斑块 i 和 j 直接扩散的最大可能性, a_i 和 a_j 分别表示斑块 i 和斑块 j 的面积, A_L 是景观的面积。 $0 < PC < 1$ 。

指数的计算在软件 Conefor Sensinode2.2 中进行^[21], 以整个绿地景观作为生境斑块, 而都市区景观作为环境背景。指数的计算需要指定景观中生境斑块连通的距离阈值。当斑块之间的距离大于阈值, 认为这两个斑块不连通; 小于或等于阈值, 则认为它们是连通的。斑块连通与否与不同生态过程发生的尺度相关, 譬如生物的迁移扩散过程。因此, 在计算中设定不同的梯度。参考相关文献, 本研究设定 0.5, 1, 2, 4, 8, 12km 等 6 个距离阈值^[23]。因为 IIC 是基于二位连接模型, 即景观中的两个斑块只有连接或不连接两种情况。因此, 在距离阈值内, 斑块连通, 距离阈值外, 斑块不连通。 PC 是基于可能性模型, 可能性就是生境斑块之间连通的可能性, 这种可能性与斑块之间的距离有负相关的函数关系。为了与 IIC 计算的结果具有可比性, 将距离阈值时斑块之间连通的可能性设为 0.5^[24,25]。

2.3 重要斑块的选取

整体连通性指数 (IIC) 和可能连通性指数 (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^[24,25]。斑块的重要值, 这里指斑块对景观保持连通的重要性。根据不同的指数计算得到各斑块的重要值是不同的。计算结果取决于选择的指数。

斑块的重要值(dI):

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

式中, I 表示景观中所有斑块的整体指数值, I_{remove} 是去除单个斑块后剩下的斑块的整体指数值。重要值的计算在 Conefor Sensinode2.2 中进行。根据计算得到每个斑块的重要值,结合 GIS 软件,可以找出对景观连通性重要值最大的斑块,把它们从景观斑块图中提取出来。

3 结果

3.1 研究区绿地景观的斑块构成

研究区绿地景观由 1362 个斑块组成。从城市绿地角度出发,面积大小可以作为绿地斑块分类的一个标准^[10]。这里把它们分成四个等级,小型斑块(1km^2 以下),中型斑块($1 \sim 5\text{km}^2$),大型斑块($5 \sim 10\text{km}^2$),巨型斑块(10km^2 以上)。研究区的绿地景观数目以小型斑块最多,占总数的 88.8%,但面积仅占绿地景观 21%。巨型斑块数目只占 1.6%,但是面积占 47%,见表 1。说明在该景观中,斑块大小分布极不均匀,由少量的大面积斑块和大量的小斑块组成。

3.2 研究区绿地景观的连通性分析

从整体上看,整体连通性指数 IIC 的值很低,在 6 种距离阈值下的平均值仅 0.15,在小的距离阈值上尤其低。可能连通性指数 PC 的值也比较低,平均值为 0.42。考虑这两个指数的阈值,研究区绿地景观的连通性较差。随着距离阈值的增大,连通性指数的值也逐渐增大,见表 2。 PC 的变化尤其明显,在 12km 的距离阈值下已经达到较大的值。这说明了生态过程在越大的尺度上进行,同一景观的连通性就越高。

表 1 重庆市都市区绿地景观斑块类型

Table 1 The types of Greenland landscape in metropolitan region of Chongqing City

斑块类型 Types of patches	斑块数 Number of patches	所占比例 Rate(%)	斑块面积 Area of Patches (km^2)	所占比例 Rate(%)
小型斑块 Small patches	1209	88.8	236.69	21
中型斑块 Middle patches	115	8.4	258.54	23
大型斑块 Large patches	16	1.2	112.97	10
巨型斑块 Huge patches	22	1.6	529.61	47

表 2 绿地景观连通性指数值

Table 2 The values of connectivity indices of greenland landscape

指数 Indices	距离阈值 threshold of distance(km)					
	0.5	1	2	4	8	12
整体连通性指数 Integral of Connectivity Index(IIC)	0.05	0.07	0.11	0.16	0.23	0.27
可能连通性指数 Probability of Connectivity Index(PC)	0.14	0.22	0.33	0.47	0.63	0.70

3.3 研究区绿地景观的斑块对连通性的重要值

3.3.1 各斑块类型的重要值

根据分析结果,巨型斑块对绿地景观连通性重要值最大,中型斑块和小型斑块次之,而大型斑块最低。主要原因是大型斑块数量很少,而单个小型斑块虽然重要值低,但是数量众多,所以整体重要值较大型斑块高,见图 2。在 $dIIC$ 的结果中,距离阈值 0.5km 时小型斑块的重要值低于它在其它距离阈值下的重要值,说明在该距离阈值,小型斑块的重要值十分低。对比 dPC 和 $dIIC$ 的结果可以发现,根据 PC 计算的小型斑块的重要值要大大高于根据 IIC 计算的值。可以说, dPC 比 $dIIC$ 更能突出小型斑块的重要性。

表 3 和表 4 列出了对景观连通性的重要值前 100 的斑块的在 4 个斑块类型中的分布。可以看出,巨型斑块全部位于 100 位以内,大型斑块绝大部分位于 100 位之内。而中型斑块也有接近一半左右位于 100 以内。总体趋势是,随扩散距离增大,位于前 100 位的小型斑块数量减少,而中型斑块的数目增大。但在距离阈值为

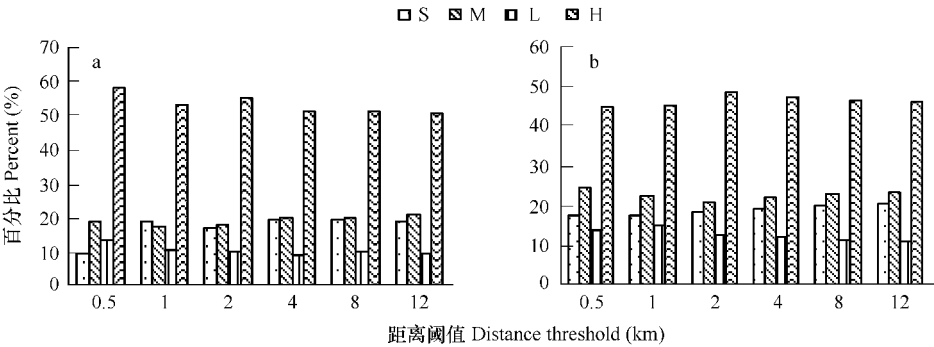


图2 绿地景观四类斑块对景观连通性重要值的比例图

Fig.2 The percent of the important values of four types of patches for connectivity of landscape in greenland landscape
(a)四类斑块 dIIC 的比例图;(b)四类斑块 dPC 的比例图;S 代表小型斑块;M 代表中型斑块;L 代表大型斑块;H 代表巨型斑块
(a)The important values of of patches for dIIC;(b) The important values of patches for dPC. S: small patches; M: middle patches; L: large patches; H: Huge patches

0.5km 时,dIIC 结果中的小型斑块数低于距离阈值为 1km 时的数目,这与整体趋势相反。dPC 与 dIIC 的值相比,位于前 100 位的小型斑块数量更多,中型斑块更少。可以说,dPC 的结果反映出小型斑块的重要值比 dIIC 高。

表3 不同距离阈值下 dIIC 前 100 位的斑块类型数目 (Number)

斑块类型 Types of patches	距离阈值 Distance threshold(km)					
	0.5	1	2	4	8	12
小型斑块 Small patches	9	16	7	4	2	0
中型斑块 Middle patches	54	47	53	56	58	60
大型斑块 Large patches	15	15	16	16	16	16
巨型斑块 Huge patches	22	22	22	22	22	22

表4 不同距离阈值下 dPC 前 100 位的斑块类型数目 (Number)

斑块类型 Types of patches	距离阈值 Distance threshold(km)					
	0.5	1	2	4	8	12
小型斑块 Small patches	20	20	22	20	14	13
中型斑块 Middle patches	44	44	38	40	46	47
大型斑块 Large patches	14	14	16	16	16	16
巨型斑块 Huge patches	22	22	22	22	22	22

3.3.2 重要值最大的斑块的在研究区绿地景观中的分布

利用 GIS 软件,查找出对连通性重要值最大的斑块,并将不同距离阈值下重要值前 10 位的斑块叠加在一起。在图 3 中列出了在 2km 的扩散距离下,dIIC 和 dPC 前 10 位的斑块分布图。从图中可以看出,这些斑块具有较大面积,且大多是长条形,起着连接性廊道的作用。dPC 与 dIIC 的结果相比,有更多的小斑块,也说明 PC 更能表现出小斑块的重要性。

研究发现这些重要斑块几乎都位于都市区的几大山脉上,尤其是 dIIC 的结果,十个最重要的斑块都分布在几大山脉中心,见图 3(A)。dPC 的结果有一定的差异,在山脉附近也有一些重要斑块分布,山脉旁边的两个小斑块重要性也较高,见图 3(B)。

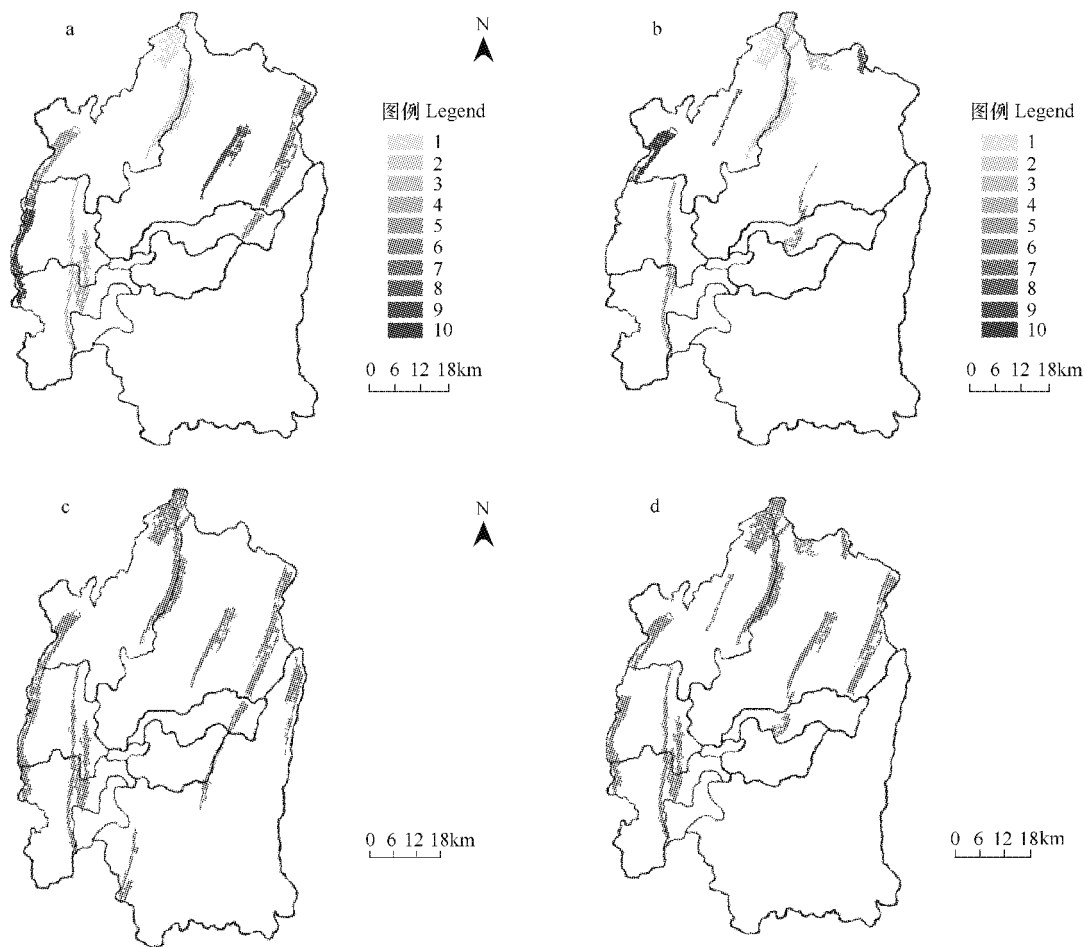


图3 不同距离阈值下的 *dIIC* 与 *dPC* 前 10 位的斑块图

Fig.3 The distribution of patches which the important value lie in the top 10 ber under different distance threshold

(A)距离阈值 2km 下 *dIIC* 前 10 位的斑块;(B)距离阈值 2km 下 *dPC* 前 10 位的斑块;(C)6 种距离阈值下 *dIIC* 前 10 位的斑块图;(D)6 种距离阈值下 *dPC* 前 10 位的斑块图;(A)、(B)中,图例 1~10 表示斑块重要值第 1 位到第 10 位 (A) the patches which *dIIC* lies in top 10 when distance threshold is 2km; (B) the patches which *dPC* lies in top 10 when distance threshold is 2km; (C) all patches which *dIIC* lies in top 10 under the six kinds of distance threshold; (D) all patches which *dPC* lies in top 10 under the six kinds of distance threshold; (A)~(B), legend 1~10 display the important value of this patches from 1 to 10

4 讨论

4.1 重庆市都市区绿地景观的连通性现状

重庆是典型的山地城市,绿地面积 1138 hm^2 ,占都市区面积的 20.74%。基于基础数据源分辨率的限制,面积小于一个像元大小的绿地无法分辨。在绿地景观图中无法反映小片的街头绿地、道路绿地等。但都市区的绿地绝大部分分布于各大山脉及其周边,在图中有清楚的反映。因此,不影响本研究中的连通性分析。研究区域绿地景观主要由森林和少量草地组成。分析结果显示,绿地景观由少数大型、巨型斑块和大量小型斑块构成,且巨型斑块分布于贯穿都市区的各大山脉之上。

当绿地比例低于 40%,绿地景观格局对功能影响很大^[26]。国内外已有较多研究者探讨了城市绿地格局与过程的关系^[13~18]。研究发现城市绿地可以维持较高水平的生物多样性^[27,28],保护城市绿地中生物多样性的观点逐渐得到认同^[29~32]。这为城市生态的研究提出了新的课题和方向。连通性是维持景观功能的关键格局特征之一^[20],除对生物多样性保护具有重要意义外,城市绿地的景观连通性还与减轻城市热岛效应,提供休闲娱乐场所,减轻城市人的工作压力等生态服务功能紧密相关。但关于城市绿地的连通性却鲜有研究。一

方面是因为对连通性在城市绿地中的重要性认识不够,另一方面是因为研究方法不成熟。

本文采用整体连通性指数(*IIC*)和可能连通性指数(*PC*)对重庆市都市区的绿地景观的连通性进行度量。*IIC*在6个距离阈值下的平均值为0.15,*PC*的平均值为0.42,这表明,重庆都市区绿地景观的连通性较差,这与绿地景观的斑块组成密切相关。由于大型、巨型绿地斑块沿各大山脉分布,山脉之间相互隔离(图1B)。而在山脉之间的小型斑块分布零散,没有起到连接巨型斑块的作用。根据研究结果,可以得出在重庆市都市区绿地规划中应优先考虑构建巨型斑块之间的小斑块,使之成为巨型斑块连通的廊道。

4.2 各斑块类型的重要性和重要斑块的保护

在研究区内,巨型斑块对绿地景观连通性重要值最大,中型斑块和小型斑块次之,大型斑块最低。巨型斑块的重要值要远远超过其它,达到一半左右。在城市景观中,大型的绿地斑块不仅有多种生态功能,同时也为景观带来许多益处^[10]。因此,巨型斑块是绿地景观规划和保护必须首要考虑的对象。就单个斑块而言,大型斑块的重要值比小型斑块高。可是小型斑块由于数量众多,对整个景观的连通性贡献仍然很大。小斑块可以带来大型斑块所不具备的好处^[12],作为大型绿色斑块的补充,在绿地景观的规划中也不容忽视。

结果中列出了四类斑块在重要值前100位中的比例。巨型斑块和大型斑块几乎全部位于100位内。整体趋势是,随着距离阈值的增加,小型斑块的重要值减少,中型斑块的重要值增加。*IIC*和*PC*是基于生境可利用性的观点而提出的。生境可利用性是基于考虑斑块与其它斑块的连通性的同时,也考虑斑块作为生境的作用,是把生境斑块的面积、质量和它与其它斑块的连接在一个指数中整体考虑^[21]。在较小的距离阈值内,可以认为许多斑块之间是互相隔离的,斑块起连通作用显得更重要,即斑块在景观中分布的位置更重要。而随着距离阈值的增大,斑块之间的连通性增强,而大斑块可以提供更大的生态过程进行的场所,斑块的面积较斑块位置影响更大,大斑块对连通性的重要性相对更高。但是在*dIIC*的结果中,在0.5km距离阈值时,位于前100位的小型斑块比1km下数目要低。从绿地景观图中可以看出小型斑块分布零散,0.5km的距离阈值下,大部分的斑块无法起到连通的作用,而它们面积又较小,所以对景观连通性的重要性很低。

研究结果中列出了对景观连通性重要值最大的一些斑块。这些斑块是都市区绿地景观的敏感区域,是绿地规划的首要保护的对象。*dIIC*的结果显示,这些重要斑块几乎都位于都市区的几大山脉上。其中有些就是自然保护区或国家森林公园,生态系统状态良好。只要加以维护,就能够提供优质的生态系统服务。*dPC*的结果显示,除了分布在山脉之上的斑块,其周围分布的一些斑块也很重要。结合前面的分析,重庆市都市区的绿地规划应该首先保护这些重要斑块,同时在这些斑块之间构建小斑块组成的连通廊道。

References:

- [1] Schell L M, Ulijaszek S J. Urbanism, Health and Human Biology in industrialized Countries. Cambridge University Press, Cambridge. 1999.
- [2] Timothy B. Green Urbanism: Learning from European cities. Washington, D C. Island Press, 2000.
- [3] Jim C Y, Chen S S. Comprehensive greenspace planning based on landscape ecology principles in compact Nanjing City, China. Landscape and Urban Planning, 2003, 65: 95—116.
- [4] Kong F H, Nakagoshi N. Spatial-temporal gradient analysis of urban green spaces in Jinan, China. Landscape and Urban Planning, 2006, 78: 147—164.
- [5] Gobster P H, Westphal L M. The human dimensions of urban greenways: planning for recreation and related experiences. Landscape and Urban Planning, 2004, 68: 147—165.
- [6] Kong F H, Yin H W, Nakagoshi N. Using GIS and landscape metrics in the hedonic price modeling of the amenity value of urban green space: A case study in Jinan City, China. Landscape and Urban Planning, 2007, 79: 240—252.
- [7] Li F, Wang R S, Paulussen J, et al. Comprehensive concept planning of urban greening based on ecological principles: a case study in Beijing, China. Landscape and Urban Planning, 2005, 72: 325—336.
- [8] Sandström U G, Angelstam P, Khakee A. Urban comprehensive planning-identifying barriers for the maintenance of functional habitat networks. Landscape and Urban Planning, 2006, 75: 43—57.
- [9] Zhou Z X, Shao T Y, Wang P C. The Spatial Structures and the Dust Retention Effects of Greenland Types in the Workshop District of Wuhan Iron and Steel Company. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22 (12): 2036—2040.
- [10] Zhou T G, Guo D Z. GIS-based study on spatial structure of urban greenbelt landscapes: Taking Ningbo City as an example. Acta Ecologica

- Sinica, 2003, 23(5): 901—907.
- [11] Yin H W, Kong F H. Spatio-temporal gradient analysis of urban green space in Jinan City. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11): 3010—3018.
- [12] Wei Z, Xue L, Zhang L L. Urban forest in Jinan City: Distribution, classification and ecological significance. *Catena*, 2007, 69: 44—50.
- [13] Li F, Wang R S. Evaluation, planning and prediction of ecosystem services of urban green space: A case study of Yangzhou City. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(9): 1929—1936.
- [14] Zhou Z X, Shao T Y, Tan G W P, *et al.* The different urban greenland spatial patterns and their environmental effects: A case of the central district of Yichang city, Hubei Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(2): 186—192.
- [15] Xiao R B, Zhou Z X, Wang P C. Landscape pattern analysis and comprehensive assessment of greenbelt in Wuhan steel & iron industrial district. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9): 1924—1930.
- [16] Zhou T G, Guo D Z. GIS-based researches on urban green space on landscape gravity field with Ningbo city as an example. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(6): 1157—1163.
- [17] Chen F, Zhou Z X, Xiao R B. Estimation of ecosystem services of urban greenland in industrial areas: A case study on greenland in the workshop area of the Wuhan Iron and Steel Company. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7): 2229—2236.
- [18] Chang C R, Li M H, Chang S D. Preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city Parks. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 80: 386—395.
- [19] Taylor P, Fahrig L, Henein K, *et al.* Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 1993, 68(3): 571—573.
- [20] Philippe C, Burel F. The role of spatio-temporal patch connectivity at the landscape level: an example in a bird distribution. *Landscape Urban Planning*, 1997, 38: 37—43.
- [21] Lucla P H, 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.
- [22] Sun C H. Discussion about urban green system in mountainous region based on ecology. *Journal of Southeast University (natural science edition)*, 2005, 35(sup(1)): 201—204.
- [23] Sutherland G D, Harestad A S, Price K, *et al.* Scaling of natal dispersal Distance in Terrestrial birds and mammals. *Conservation Ecology* 4(1): 16. [online] URL: <http://www.consecol.org/vol4/iss1/art16>
- [24] Lucla P H, Saura S. Impact of spatial scale on the identification of critical habitat patches for the maintenance of landscape connectivity. *Landscape Urban Planning*, 2007, doi:10.1016/j.landurbplan.2007.04.003
- [25] Lucla P H, Saura S. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape Urban Planning*, 2007, doi:10.1016/j.landurbplan.2007.03.005
- [26] Wei B, Wang J X, Zhang T. Improvement of assessment methods for ecological effect of urban Greenland. *Urban Environment & Urban Ecology*, 1997, 10(4): 54—55.
- [27] Balmford A, Moore J L, Brooks T, *et al.* Conservation conflicts across Africa. *Science*, 2001, 291: 2616—2619.
- [28] Cornelis J, Hermy M. Biodiversity relationship in urban and suburban parks in Flanders. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 69: 385—401.
- [29] Jim C Y. A planning strategy to augment the diversity and biomass of roadside trees in urban Hong Kong. *Landscape and Urban Planning*, 1998, 44: 13—32.
- [30] Moërtberg U, Wallentinus H G. Red-listed forest bird species in an urban environment assessment of green space corridors. *Landscape and Urban Planning*, 2000, 50: 215—226.
- [31] Jim C Y, Liu H T. Species diversity of three major urban forest types in Guangzhou City, China. *Forest Ecology and Management*, 2001, 146: 99—114.
- [32] Alvey A A. Promoting and preserving biodiversity in the urban forest. *Urban Forest & Urban Greening*, 2006, 5: 195—201.

参考文献:

- [9] 周志翔, 邵天一, 王鹏程. 武钢厂区绿地景观类型空间结构及滞尘效应. *生态学报*, 2002, 22(12): 2036—2040.
- [10] 周廷刚, 郭达志. 基于 GIS 的城市绿地景观空间结构研究——以宁波市为例. *生态学报*, 2003, 23(5): 901—907.
- [11] 尹海伟, 孔繁花. 济南市城市绿地时空梯度分析. *生态学报*, 2005, 25(11): 3010—3018.
- [12] 李锋, 王如松. 城市绿地系统的生态服务功能评价、规划与预测研究——以扬州市为例. *生态学报*, 2003, 23(9): 1929—1936.
- [13] 周志翔, 邵天一, 唐万鹏, 等. 城市绿地空间格局及其环境效应——以宜昌市中心城区为例. *生态学报*, 2004, 24(2): 186—182.
- [14] 肖荣波, 周志翔, 王鹏程. 武钢工业区绿地景观格局分析及综合评价. *生态学报*, 2004, 24(9): 1924—1930.
- [15] 周廷刚, 郭达志. 基于 GIS 的城市绿地景观引力场研究——以宁波市为例. *生态学报*, 2004, 24(6): 1157—1163.
- [16] 陈芳, 周志翔, 肖荣波, 等. 城市工业区绿地生态服务功能的计量评价——以武汉钢铁公司厂区绿地为例. *生态学报*, 2006, 26(7): 2229—2236.
- [22] 孙春红. 从生态学角度思考山地城市绿地系统. *东南大学学报(自)*, 2005, 增刊(I): 201—204.
- [23] 魏斌, 王景旭, 张涛. 城市绿地生态效果评价方法的改进. *城市环境与城市生态*, 1997, 10(4): 54—55.

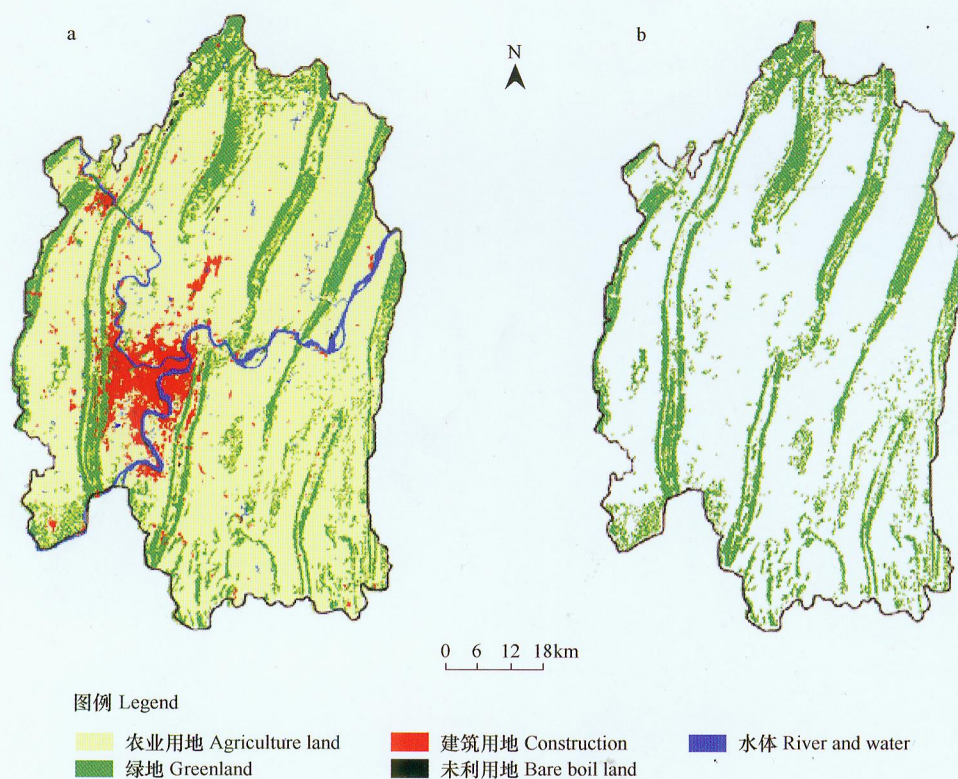


图1 重庆市都市区景观类型图(A) 重庆市都市区绿地景观图(B)

Fig.1 The types of landscape in metropolitan region of Chongqing (A) Greenland landscape in metropolitan region of Chongqing (B).

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, nl_{ij} 表示斑块 i 和斑块 j 之间的连接数, A_L 是景观的面积。 $0 \leq IIC \leq 1$, IIC 的值为 0, 表示各生境斑块之间没有连接。 IIC 等于 1, 表示整个景观都为生境斑块。

(2) 可能连通性指数 Probability of Connectivity (PC)

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1, i \neq j}^n p_{ij}^* \cdot a_i \cdot a_j}{A_L^2}$$

式中, n 表示景观中斑块总数, P_{ij}^* 是物种在斑块 i 和 j 直接扩散的最大可能性, a_i 和 a_j 分别表示斑块 i 和斑块 j 的面积, A_L 是景观的面积。 $0 < PC < 1$ 。

指数的计算在软件 Conefor Sensinode2.2 中进行^[21], 以整个绿地景观作为生境斑块, 而都市区景观作为环境背景。指数的计算需要指定景观中生境斑块连通的距离阈值。当斑块之间的距离大于阈值, 认为这两个斑块不连通; 小于或等于阈值, 则认为它们是连通的。斑块连通与否与不同生态过程发生的尺度相关, 譬如生物的迁移扩散过程。因此, 在计算中设定不同的梯度。参考相关文献, 本研究设定 0.5, 1, 2, 4, 8, 12km 等 6 个距离阈值^[23]。因为 IIC 是基于二位连接模型, 即景观中的两个斑块只有连接或不连接两种情况。因此, 在距离阈值内, 斑块连通, 距离阈值外, 斑块不连通。 PC 是基于可能性模型, 可能性就是生境斑块之间连通的可能性, 这种可能性与斑块之间的距离有负相关的函数关系。为了与 IIC 计算的结果具有可比性, 将距离阈值时斑块之间连通的可能性设为 0.5^[24, 25]。

2.3 重要斑块的选取

整体连通性指数 (IIC) 和可能连通性指数 (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^[24, 25]。斑块的重要值, 这里指斑块对景观保持连通的重要性。根据不同的指数计算得到各斑块的重要值是不同的。计算结果取决于选择的指数。

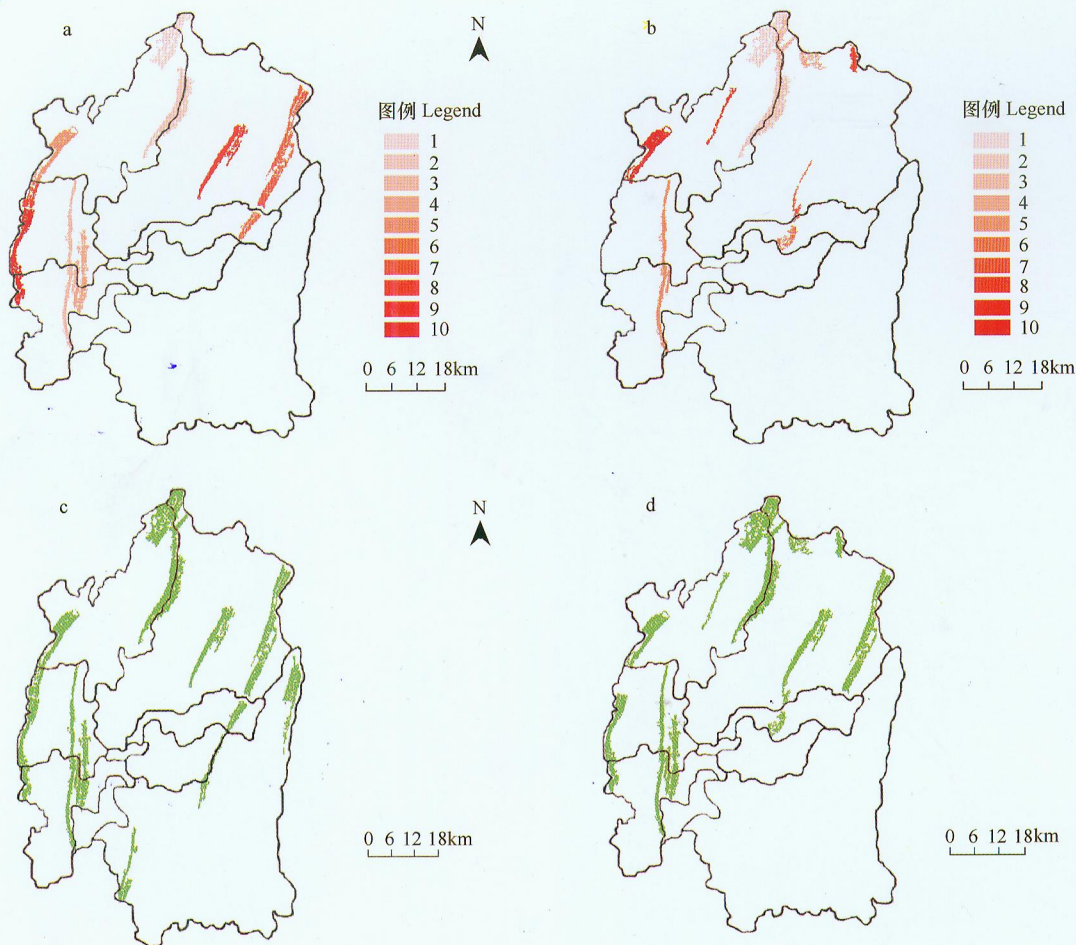


图3 不同距离阈值下的 $dIIC$ 与 dPC 前 10 位的斑块图

Fig.3 The distribution of patches which the important value lie in the top 10 ber under different distance threshold

(A)距离阈值2km下 $dIIC$ 前 10 位的斑块;(B)距离阈值2km下 dPC 前 10 位的斑块;(C)6 种距离阈值下 $dIIC$ 前 10 位的斑块图;(D)6 种距离阈值下 dPC 前 10 位的斑块图;(A)、(B)中,图例 1~10 表示斑块重要值第 1 位到第 10 位 (A) the patches which $dIIC$ lies in top 10 when distance threshold is 2km; (B) the patches which dPC lies in top 10 when distance threshold is 2km; (C) all patches which $dIIC$ lies in top 10 under the six kinds of distance threshold; (D) all patches which dPC lies in top 10 under the six kinds of distance threshold; (A) ~ (B), legend 1 ~ 10 display the important value of this patches from 1 to 10

4 讨论

4.1 重庆市都市区绿地景观的连通性现状

重庆是典型的山地城市,绿地面积 1138hm^2 ,占都市区面积的 20.74%。基于基础数据源分辨率的限制,面积小于一个像元大小的绿地无法分辨。在绿地景观图中无法反映小片的街头绿地、道路绿地等。但都市区的绿地绝大部分分布于各大山脉及其周边,在图中有清楚的反映。因此,不影响本研究中的连通性分析。研究区域绿地景观主要由森林和少量草地组成。分析结果显示,绿地景观由少数大型、巨型斑块和大量小型斑块构成,且巨型斑块分布于贯穿都市区的各大山脉之上。

当绿地比例低于 40%,绿地景观格局对功能影响很大^[26]。国内外已有较多研究者探讨了城市绿地格局与过程的关系^[13~18]。研究发现城市绿地可以维持较高水平的生物多样性^[27,28],保护城市绿地中生物多样性的观点逐渐得到认同^[29~32]。这为城市生态的研究提出了新的课题和方向。连通性是维持景观功能的关键格局特征之一^[20],除对生物多样性保护具有重要意义外,城市绿地的景观连通性还与减轻城市热岛效应,提供休闲娱乐场所,减轻城市人的工作压力等生态服务功能紧密相关。但关于城市绿地的连通性却鲜有研究。一