

基于 GIS 的城市绿地景观引力场研究

——以宁波市为例

周廷刚¹, 郭达志²

(1. 西南师范大学资源环境科学学院, 重庆 400715; 2. 中国矿业大学测绘与空间信息工程研究所, 徐州 221008)

摘要:城市绿地是城市用地的重要组成部分,也是城市生态系统的一个子系统。城市绿地景观的评价是城市生态系统研究的重要课题之一。在 GIS 技术支持下,对城市绿地景观进行了研究。在研究过程中,将物理学中“场”的相关理论引入城市绿地景观的研究,提出绿地景观引力场的概念及评价方法。绿地景观引力场是城市绿地系统为城市居民提供服务能力的大小或潜力,其主要影响因素有绿地景观本身的质量、城市人口分布状况、城市土地利用现状、城市主要交通设施等。在研究中需要建立以下相关模型:城市阻力的空间分布模型、城市人口的空间分布模型、城市公共绿地的空间分布模型、城市绿地景观引力场的空间分布评价模型。研究结果得出以下结论:(1)景观引力场用于城市绿地系统的评价,能够更好地反映城市绿地的空间分布格局;(2)丰富了城市绿地系统评价的指标内容和评价方法;(3)该方法从景观设计上提供了一个可供决策参考的依据;(4)景观引力场还可用于城市其它服务设施的合理性与有效性的评价与研究。

关键词:GIS; 绿地景观; 引力场; 城市生态系统

GIS-based researches on urban green space on landscape gravity field with Ningbo city as an example

ZHOU Ting-Gang¹, GUO Da-Zhi² (1. School of Environment and Resources, Southwest China Normal University, Chongqing 400715, China; 2. Institute of Survey and Spatial Information Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(6): 1157~1163.

Abstract: Urban green space is an important part for the city, and a branch system of the urban ecosystem. The evaluation of the urban green space landscape is one of the important tasks about urban ecosystems. Other methods emphasize particularly the characteristics of the green space. During the construction of the eco-city, these methods do not reflect the idea of taking man as the chief role, for people are the urban main body and the end of the green space landscape which can eventually serve for and benefit people. Therefore, it is necessary to take the factor of man into account when the urban green space is evaluated. Man, the main body of the city, taken as a factor in the evaluated system on spatial distribution of the urban green space. The aim is to estimate more efficaciously the effect of the urban green space to people.

The theory of field in physics has been applied, and at the same time, we put forward the conception and the valuating method of the green space landscape gravity field. The green space landscape gravity field is the gravity value, which is formed by one unit of green space landscape or the whole green space system to urban people, or the serving capability or potential that is provided by the urban green space system to urban people. The main factors affect green space landscape gravity field including the quality of the green space landscape, the distribution of the urban population, the actuality of the urban land use,

基金项目:国家自然科学基金资助项目(59478013);西南师范大学自然科学基金及自然地理学博士学科基金资助项目

收稿日期:2003-05-30; **修订日期:**2003-11-08

作者简介:周廷刚(1971~),男,四川省南部县人,博士,副教授,主要从事遥感与地理信息系统及其应用、城市生态环境研究。E-mail: zhoutg@swnu.edu.cn

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 59478013), Natural Science and Physical Geography Doctor Discipline Foundation of Southwest Normal University

Received date: 2003-05-30; **Accepted date:** 2003-11-08

Biography: ZHOU Ting-Gang, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in the application of remote sensing & GIS and urban ecological environment studying. E-mail: zhoutg@swnu.edu.cn

the main traffic establishment and so on.

Based on the GIS, some models must be constructed for the study of the urban green space landscape, which include the spatial distributing model of the urban resistance related to the urban land use and the type of traffic, the spatial distributing model of the urban population, the spatial distributing model of the urban public green space and the spatial distributing assessment model of green space landscape gravity field.

Taking Ningbo city as an example, based on established models, we have not only assessed the actuality of urban green space landscape gravity field, but also the validity of the green space landscape gravity field about the plan of Ningbo city. The results indicate that the green space gravity field increases for plan. The area has been improved more than one time for the public within 20 minutes.

The results indicate: (1) The method reflects more efficaciously the spatial distribution character of the urban green space and has actualized the aim of the urban green space for the citizen's life, giving expression to the policy of taking man as the chief role in the urban green space. (2) A new index and assessed method have been put forward for the urban green space system. (3) The method provides a scientific basis for landscape design. (4) The landscape gravity field may be applied for the assessment and to the study of the rationality and validity of other serving establishment in urban areas.

Key words: GIS; green space landscape; gravity field; urban ecosystem

文章编号:1000-0933(2004)06-1157-07 中图分类号:Q149 文献标识码:A

城市绿地是城市用地的重要组成部分,兼有生态、游憩、美学等多种功能^[1],也是城市可持续发展的重要内容之一^[2]。城市绿地是城市生态系统的一个子系统,是城市的主要自然因素,其中的绿色植物是氧气的唯一源泉,它相当于自然调节器,通过一系列的生态效应,综合调节城市环境。随着经济的发展、工业的进步和人民生活水平的提高,城市环境日益恶化,城市绿地作为城市环境的调节器,也受到普遍关注。20 世纪 90 年代以后,在遥感(RS)和地理信息系统(GIS)技术的支持下,城市景观生态研究逐步开展,对城市景观格局及演化进行分析^[3~8],城市绿化空间格局的研究有了新的突破,对城市绿化的分析与度量有了量的认识^[9,10],从原来的定性描述发展到定量分析的模型预测,通过运用各种定量指标,分析城市绿地景观的空间分布格局,并对景观单元做出生态学评价,使人们能够对城市景观空间结构进行综合的、多层次的分析^[11~21],并取得了丰硕成果。

在进行城市绿地系统建设的同时,城市绿地系统的评价也成为城市生态系统研究的重要课题之一^[16]。城市绿地系统的评价指标一直未能圆满解决。人们仍然习惯于用人均绿地面积、绿地率、绿化覆盖率等指标来衡量城市的绿化水平,这些指标在实际应用中存在较多缺陷,因为绿地在城市中设置位置的重要性比绿化覆盖率的指标更重要^[22]。主要表现在以下几方面,①它们因为建成区界线划分的方式或面积基数的大小变化而有很大的差异(图 1)^[23]。②因为人口计算方式的不同而人均绿地面积会有不同的结果(图 2)。仅以城市常住人口为基数研究人均绿地面积明显是不合理的。因为大量的暂住人口(流动人口)在为城市创造精神文明和物质文明的同时,也在分享城市的绿色环境。③未能较好地反映城市绿地本身的空间格局和分布情况(图 3),而城市绿地这一景观元素在空间上的分布和空间格局将会极大地影响其功能^[23]。

以往研究主要侧重于城市绿地自身特点的评价研究^[14,23]。然而,在“以人为本”的生态城市建设过程中,这些评价方法是不够全面的,未能充分体现“以人为本”的思想。人与城市绿地之间的出行机会主要受两个因素的影响:一是城市绿地对人的吸引力,二是交通成本。在人文地理学和交通领域,这种同时考虑出行目的和交通成本因素的最常用的计算模型就是引力模型(Gravity Model)。鉴于此,笔者以航空遥感图像为主要信息源,在 ARC/INFO GIS 软件支持下,将“人”这一城市的主体纳入城市绿地的空间分布评价体系之中,对城市绿地景观进行研究。

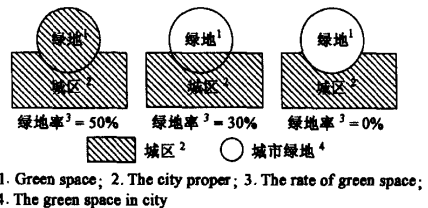


图 1 城市建成区划分方式与城市绿地率关系示意图

Fig. 1 The relationship between city region and green space ratio

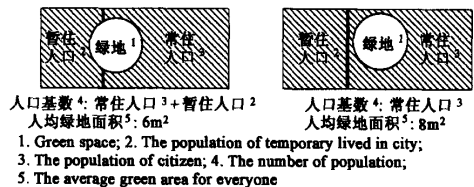


图 2 城市人口计算方式与人均绿地面积关系示意图

Fig. 2 The relationship between city population and average green area for everyone

1 城市绿地景观引力场

1.1 绿地景观引力场的概念

引力场是物理学、数学、空间科学以及力学中最常见概念之一,最早将其引用于地理等领域的应用研究是在 19 世纪 30 年代,由 Reilly 将牛顿力学中万有引力定律引用到地理、交通等问题的研究,提出了并于零售商业出行的引力模型(Retail Shopping Model),后来被人们发展为势能模型(Potential Model,也称潜能模型)。其后,Greertman 等人^[24]将经典引力模型进行了改进,并用于城市交通的评价与规划。城市绿地系统的重要目的是为民服务,而城市某一绿地与某一居民点之间的关系的评价,

也可以用引力场来解决。因此,笔者认为,绿地景观引力场是城市中某一绿地景观单元或整个绿地系统对城市居民所产生的引力大小,或者说是城市绿地系统为城市居民提供服务能力的大小或潜力。景观引力场实际上也反映了景观克服某种水平运动过程的景观阻力,主要用来研究物种在穿越异质景观时所克服的累计阻力^[25,26]。人在城市中的运动需要克服空间阻力来完成,而克服这种空间阻力可用可穿越性^[27]、费用距离^[28]以及可达性^[23]来表述。

1.2 城市绿地景观引力场的影响因素

影响城市绿地景观引力场的主要因素有绿地景观本身的质量、城市人口分布状况、城市土地利用现状、城市主要交通设施等。城市土地利用现状与主要交通设施直接影响到城市居民对城市绿地的使用,每个市民到任一绿地的路径可能有许多条,但各条路径所克服的阻力并不相同^[23]。某一源地到达某一绿地(目的地)的最小代价,作为该绿地相对于该源地的景观引力场大小的衡量指标之一。由于受多种因素的影响,城市人口的空间分布并不均匀。对某一绿地景观而言,在克服相同空间阻力的情况下,对于不同的人口空间分布,其产生的服务效益不一样。人口的空间分布极大地影响着城市绿地景观引力场的大小,因此,城市绿地系统的景观引力场与城市人口的空间分布密切相关。城市绿地景观引力场与绿地景观的面积是有相关性的。城市绿地景观本身的质量是绿地景观的面积、游憩设施、景观布局、收费标准等的综合反映。由于游憩设施、景观布局、收费标准等因素没有较好的综合评价指标,难以量化,因而本文仅以绿地景观面积来衡量其质量。因为当绿地面积较大时,一般其游憩设施相对较多,景观的内容也较丰富,当然收费也相对较高,对城市居民的吸引力也就较大。

2 城市绿地景观引力场评价方法

由于景观引力场是空间中任意一景观对其它景观所产生引力的相对大小,因此,如果不考虑阻力和其它景观在空间上的分布差异,则平面上两点间直线距离最短,到达的代价最小,即所产生的引力最大。为了在具有普遍性的情况下进行城市绿地景观引力场的空间分析,即考虑城市阻力和人口的实际分布情况,必需建立以下模型:

- ① 城市阻力的空间分布 $Rsis = [r_{ij}]_{m \times n}$, r_{ij} 表示第 ij 单元的空间阻力值^[23];
- ② 源地即城市居民人口的空间分布 $Popu = [p_{ij}]_{m \times n}$, p_{ij} 表示第 ij 单元的人口数量;
- ③ 目的地即城市公共绿地的空间分布 $Green = [g_{ij}]_{m \times n}$, g_{ij} 表示第 ij 单元的城市绿地^[23];
- ④ 城市绿地景观引力场的空间分布 $Attrac = [a_{ij}]_{m \times n}$, a_{ij} 表示第 ij 单元的绿地景观引力值。

通过前面的分析可知,城市绿地景观引力场是与城市人口的空间分布密度呈正相关,即 $a_{ij} \propto p_{ij}$; 与源地(居民分布地)到达目的地(绿地)所克服的累计阻力的呈反相关,即 $a_{ij} \propto 1/r_{ij}$; 与某一绿地景观单元的规模(面积)成正相关,即 $a_{ij} \propto S (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n)$ 。

根据源地(城市人口)分布矩阵 $Popu$ 、阻力分布矩阵 $Rsis$ 和目的地(城市绿地)分布矩阵 $Green$,通过空间路径搜索及比较算法,求出每一绿地单元(景观单元)对每一个源地分布矩阵单元的景观引力场大小,对城市绿地景观引力场进行分析评价。

由矩阵 $Rsis$ 和 $Green$,通过空间路径搜索及比较算法,分别求取每一源地(城市居民居住地)到达每一目的地(绿地)的最小累计阻力 g' 。某一个绿地景观对某一个源地的景观引力场大小 a ,即:

$$a = S \times p \times \frac{1}{g'}$$

式中, g' 为某一源地(城市居民居住地)到达某一目的地(绿地)的最小累计阻力值; p 为该源地的城市人口数; S 为该绿地的面积。

3 宁波市城市公共绿地系统景观引力场分析

3.1 城市公共绿地系统景观引力场计算

宁波市的城市公共绿地单元及公共绿地系统的景观引力场进行计算和分析的基本步骤和内容包括:城市居民使用绿地阻

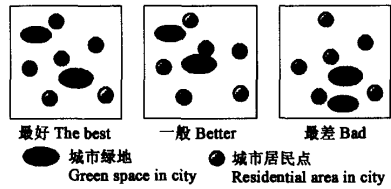


图 3 城市绿地空间分布格局与服务有效性关系示意图

Fig. 3 The relationship between city green space distribution and service effective

力的空间分布、目的地(公共绿地)空间分布、居民人口分布的确定和宁波市城市公共绿地系统的景观引力场的计算。各种模型的建立方法是在建成区范围内以 10m 的间距网格,在 GIS 软件 ARC/INFO7. 2. 1 支持下对各网格赋予各自的属性值。

3. 1. 1 城市居民使用绿地阻力的空间分布 宁波市城市居民使用绿地的阻力以城市土地利用现状及主要道路分布状况为计算依据。阻力的计算以一般人借助某种交通工具或通行方式,通过空间某一点(像元)的相对难易程度来衡量(表 1)。交通工具以宁波市交通结构为计算依据(表 2),并设每个人利用每一种交通工具的机会均等。本研究的景观引力场是一个相对概念,只要不同用地阻力的相对关系正确,并不影响不同绿地空间格局的效用分析和讨论^[23]。

表 1 不同土地利用类型的空间阻力相对值

Table 1 Relative spatial resistance for difference land use			
土地利用类型 Classification of land use	相对阻力 Relative resistance	土地利用类型 Classification of land use	相对阻力 Relative resistance
道路、广场 Road and square	1	仓储用地 Land for store	100
居住用地 Land for residential area	3	工业用地 Land for industry	100
公共绿地 The public green space	12	公共设施用地 Land for public establishment	100
市政设施用地 Land for municipal establishment	5	河流 River	999

3. 1. 2 目的地(绿地)的空间分布 目的地是指宁波市城市公共绿地(主要指公园和大型广场)(图 4)。在建成区范围内,宁波市已建成了多个面积较大的公园绿地,包括姚江公园、儿童公园、月湖公园、江夏公园、南郊公园、儿童乐园、海曙公园、杉杉公园、动物园等。这些公共绿地构成了宁波市城市的主要绿地系统。主要研究这些城市公共绿地对城市居民提供服务能力的大小或潜力,以便为城市绿地规划提供依据。景观引力场以单一绿地单元和整体绿地系统作为目的地进行计算。

3. 1. 3 城市人口的空间分布 城市人口的空间分布直接影响城市绿地景观引力场的大小和方向。本研究获得的人口统计资料是以街道办事处为区域的人口分布数据。这种区域单位的人口资料,能够大致地反映城市人口的分布状况。然而,在这一区域范围内,人口的分布也不是均匀分布,而是直接受土地利用类型的影响。因此,综合土地利用类型,对每一街道办事处范围内的人口进行重新分配,使之更能合理地体现其分布特征。一个街道办事处范围内的某一矩阵单元的人口分配模型为:

$$P = \frac{N_{人口}}{S_{街} - S_{道} - S_{绿} - S_{水} - S_{工}} \times 100$$

式中,P 为单元人口数,N_{人口}为街道办事处范围内总人口数,S_街为街道办事处范围内总面积,S_道为街道办事处范围内主要道路所占面积,S_绿为街道办事处范围内绿化用地面积,S_水为街道办事处范围内水体面积,S_工为街道办事处范围内工业用地面积。宁波市城市人口分布状况见图 5。

3. 1. 4 城市绿地景观引力场的计算 根据上述模型,分别对宁波市主要公共绿地单元的景观引力场进行计算和分析,在对单个公共绿地的绿地景观引力场计算的基础上,将所得的单个结果进行叠加,得到宁波市公共绿地系统的绿地景观引力场分布状况(图 6)。

3. 2 绿地系统景观规划方案有效性评价

基于对城市绿地系统景观格局连续性和完整性的考虑,提出了改进的宁波市城市绿地系统景观规划方案^[29]。改进后的城市绿地景观系统是否有利于提高绿地对城市居民的享用,对此,在 GIS 的空间分析功能的支持下,并以公共绿地系统的景观引力场作为城市绿化衡量标准,对城市公共绿地系统改进方案进行分析评价。对规划方案的公共绿地系统景观进行了景观引力场分析,图 7 是改进后的城市公共绿地景观引力场。以宁波市交通结构(表 2)为计算依据,设每个人利用每一种交通工具的机会均等,对改进后的城市公共绿地景观引力场与现状公共绿地景观引力场进行比较(表 3)。结果表明,改进后的城市公共绿地景

表 2 宁波市交通结构表

Table 2 Traffic feature in Ningbo city						
类别 Type	自行车 Bicycle	步行 Walk	公交 Public transit	小汽车 Car	摩托车 (助动车) Monocycle	其它 Others
比例(%) Ratio	32	25	23	12	5	3
速度(km/h) Speed	15	5	20	35	35	10

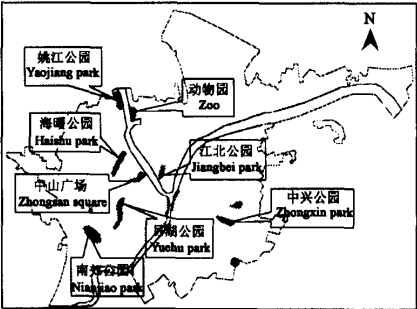


图 4 宁波市主要公共绿地分布图

Fig. 4 Distribution of main public green space

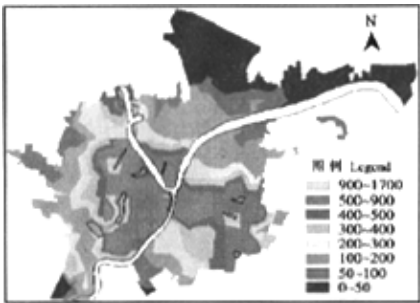


图 5 宁波市区人口密度图(人/km²)
Fig.5 Population density in Ningbo city

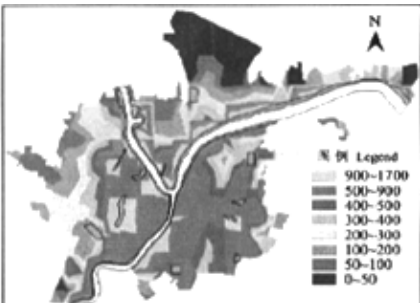


图 6 宁波市区公共绿地景观引力场
Fig.6 Attraction field of landscape for main public green space

景观引力场将大大提高,按文献[23]的方法来划分人到绿地景观所需时间来划分不同等级,20 分钟内到达绿地城市人口分布面积增加了一倍多,使城市居民能够更加充分地享用自然生态系统提供的服务功能。

4 结束语

提出了绿地景观引力场的评价指标和方法,并以宁波市为例,对城市绿地景观的空间格局以及城市绿地的有效性进行了评价研究。城市绿地景观引力场评价方法和指标既强调城市绿地的空间分布格局的重要性,又强调城市绿地为民服务的主要宗旨。它丰富了城市绿地生态系统评价的指标和方法,对评价城市环境质量及城市生态系统的服务功能有重要的潜在价值。同时,为城市绿地系统的规划与建设提供了科学的参考依据。

景观引力场的概念和评价方法不仅可以用于城市绿地系统的评价,而且还可以用于城市其它服务设施的合理性与有效性的评价与研究,如学校、银行、商业网点等服务设施的评价与研究,同时,还可更加广泛地应用于自然生态系统的评价,如动物的栖息地等。

景观引力场影响因素很多,各种因素之间的关系还需深入探讨,特别是一些指标的量化和一些假设条件仍待深入研究。

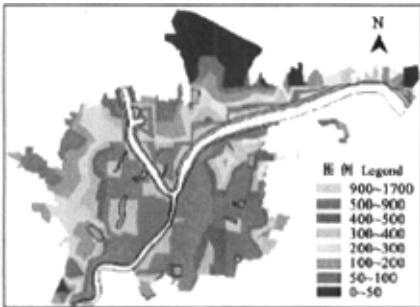


图 7 改进后的宁波市区公共绿地景观引力场
Fig.7 Attraction field of landscape for main public green space of update

表 3 现状公共绿地与改进公共绿地景观引力场比较表

Table3 Compare of gravity field of landscape for main public green space between actuality and update

景观引力场等级 The grade of gravity field of landscape (min)	对应的景观引力场等级区面积(hm ²) The area of grade region for gravity field of landscape		规划方案景观引力场改变面积(hm ²) The change areas for gravity field of landscape about planning project
	现状绿地系统 Actuality of green space system	规划方案 Planning project	
0~10	354	1107	753
10~20	865	1595	730
20~30	1458	567	-891
>30	1083	491	-592

References:

[1] Tongji University. *The principle of city planning*. Beijing: China Building Industry Press, 1999. 205.
[2] Onishi T. A capacity approach for sustainable urban development; an empirical study. *Regional studies*,1994,**28**(1):39~51.
[3] Xiao D N, et al. Study on the variation of landscape pattern in the west suburbs of Shenyang. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1990, **1**(1):78~84.
[4] Zhao Y, Wu Y M. Linear study on landscape heterogeneity of Dongling district of Shenyang. *Scenetia Geograpica Sinica*, 1994,**14**(2):

177~185.

- [5] Li X Z, Xiao D N. Study on the urban landscape ecology. *Urban environment & urban ecology*, 1995, **8**(2):26~29.
- [6] Xie Z X, Xiao D N. Dynamic models of suburban landscape: a case study on Dongling District of Shengyang. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1996, **7**(1):77~82.
- [7] Li Z, *et al.* Ecoevolutionary analysis of Guangzhou suburban landscape. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1997, **8**(6):633~638.
- [8] Zeng H, Jiang C M. Landscape structure study on Longhua Area in Shenzhen City during the fast urbanization process——Structure and heterogeneity analysis of forest land. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, **20**(3):378~383.
- [9] Yan L, Liu J J, Lin Z J. Urban virescence overlay investigation by digital Color Infrared Aerial Image. *Remote Sensing Information*, 1999, (3):24~26.
- [10] Che S Q, Song Y C. Extract of the remote sensing message of urban green space landscape-Shanghai city as the case study. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2001, **14**(2): 10~12.
- [11] Qiu Y, Zhang J T. The function of GIS in landscape ecology study. *Environment & Exploitation*, 1998, **13**(1):1~4.
- [12] Wang Y L, Fu B J. Landscape ecology: the theoretical foundation of sustainable agrolandscape planning and design. *Journal of Environmental Science*, 1995, **7**(3): 289~296.
- [13] Wang Y L, Zhao Y B, Han D. The spatial structure of landscape eco-system: concept, indices and case study. *Advance in Earth Science*, 1999, **14**(3): 235~240.
- [14] Zhou T G, Guo D Z. GIS-based Study on Spatial Structure of Urban Green space Landscapes; Taking Ningbo City as an example. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(5):901~907.
- [15] Xiao D N, Zhong L S. Ecological principles of landscape classification and assessment. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, **9**(2): 217~221.
- [16] Li H B, Wu Y G. Quantitative research methods in landscape ecology. In: Liu J G, *et al.* eds. *Disquisition of up-to-date ecology*. Beijing: Chinese Science Press, 1992. 209~233.
- [17] Chen Y H, Li X B, Shi P J. Landscape spatial-temporal pattern analysis on change in the fraction of green vegetation based on remotely sensed data: a case study in Haidian district, Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(10):1581~1586.
- [18] Tian G J, Zhang Z X, Zhang G P, *et al.* Landscape dynamic change pattern of Haikou city by TM imagery and GIS. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(7):1028~1034.
- [19] Gao J, Shong Y C. Landscapedynamics of two side lands along main urban roads in south western Shanghai. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, **12**(4):605~609.
- [20] Zeng H, Guo Q H, Yu H. Spatial analysis of artificial landscape transform in Fenggang torn, Dongguan city. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**(3):298~303.
- [21] Xu J H, Fang C L, Yue W Z. An analysis of the mosaic structure of regional landscape using GIS and remote sensing. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(2):366~375.
- [22] Suo K L. Area, location and efficiency——the tree mainstay of ecological benefit for green space in city. *Chinese Landscape Architecture*, 1999, **15**(3):52~53.
- [23] Yu K J, Duan T W, Li D H, *et al.* Estimate method and case for function index of green space system in city by landscape accessibility. *City Planning Review*, 1999, **23**(8):8~11.
- [24] Geertman S C M and Titsema Van Eck J R. GIS and model of accessibility potential: an application in planning. *International Journal of Geographical Information System*, 1995, **9**(1):67~80.
- [25] Yu K J. Ecological pattern in landscape and GIS application. *Geographic information Science*, 1996, **1**(2):88~102.
- [26] Yu K J. Landscape ecological security patterns in biological conservation. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**(1):8~15.
- [27] Boone R B and Hunter M L J. using diffusion models to simulate the effects of land use on grizzly bear dispersal in the Rocky Mountains. *Landscape Ecology*, 1996, **11**(1): 51~64.
- [28] ESRI. Environmental Systems Research Institute, INC, Cell-based Modeling with GRID, 1991.
- [29] Zhou T G, Tao K H. Construction of Urban Green space System in NingBo City. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2003, **16**(2): 4~6.

参考文献:

- [1] 同济大学. 城市规划原理. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999. 205.
- [3] 肖笃宁, 等. 沈阳西郊景观格局变化研究. *应用生态学报*, 1990, **1**(1):78~84.

- [4] 赵羿. 沈阳市东陵区景观异质性研究. 地理科学, 1994, 14(2): 177~185.
- [5] 李秀珍, 肖笃宁. 城市的景观生态学探讨. 城市环境与城市生态, 1995, 8(2): 26~29.
- [6] 谢志霄, 肖笃宁. 城市景观动态模型研究——以沈阳市东陵区为例. 应用生态学报, 1996, 7(1): 77~82.
- [7] 李贞, 等. 广州市城市景观的生态演化分析. 应用生态学报, 1997, 8(6): 633~638.
- [8] 曾辉, 姜传明. 深圳市龙华地区快速城市化过程中的景观结构研究——林地的结构与异质性特征分析. 生态学报, 2000, 20(3): 378~383.
- [9] 闫利, 刘继坚, 林宗坚. 利用数字化红外航空影像进行城市绿化覆盖调查. 遥感信息, 1999, (3): 24~26.
- [10] 车生泉, 宋永昌. 城市绿地景观卫星遥感信息解译. 城市环境与城市生态, 2001, 14(2): 10~12.
- [11] 邱扬, 张金屯. 地理信息系统(GIS)在景观生态研究中的作用. 环境与开发, 1998, 13(1): 1~4.
- [13] 王仰麟, 赵一斌, 韩荡. 景观生态系统的空间结构: 概念、指标与案例. 地球科学进展, 1999, 14(3): 235~240.
- [14] 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.
- [15] 肖笃宁, 钟林生. 景观分类与评价的生态原则. 应用生态学报, 1989, 9(2): 217~221.
- [16] 李哈滨, 伍业钢. 景观生态学的数量研究方法. 见: 刘建国主编. 当代生态学博论. 北京: 科学出版社, 1992, 209~233.
- [17] 陈云浩, 李晓兵, 史培军. 基于遥感的植被覆盖变化景观分析——以北京海淀区为例. 生态学报, 2002, 22(10): 1581~1586.
- [18] 田光进, 张增祥, 张国平, 等. 基于遥感与 GIS 的海口市景观格局动态演化. 生态学报, 2002, 22(7): 1028~1034.
- [19] 高峻, 宋永昌. 上海西南城市干道两侧地带景观动态研究. 应用生态学报, 2001, 12(4): 605~609.
- [20] 曾辉, 郭庆华, 喻红. 东莞市凤岗镇景观人工改造活动的空间分析. 生态学报, 1999, 19(3): 298~303.
- [21] 徐建华, 方创琳, 岳文泽. 基于 RS 与 GIS 的区域景观镶嵌结构研究. 生态学报, 2003, 23(2): 366~375.
- [22] 索奎霖. 面积·位置·效率——城市绿地生态效益的三大柱石. 中国园林, 1999, 15(3): 52~53.
- [23] 俞孔坚, 段铁武, 李迪华, 等. 景观可达性作为衡量城市绿地系统功能指标的评价方法与案例. 城市规划, 1999, 23(8): 8~11.
- [26] 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.
- [29] 周廷刚, 陶康华. 宁波市城市绿地系统建设. 城市环境与城市生态, 2003, 16(2): 4~6.