

基于 GIS 的城市绿地景观空间结构研究 ——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:城市绿地景观的空间结构分析是城市景观生态系统研究的重要内容和基本特色之一。分析了城市绿地景观生态系统的空间结构元素及其特征, 运用景观生态学的原理, 在 GIS 支持下对宁波市城市绿地景观缀块的等级与分布、空间结构的度量进行了研究和分析, 并对该市的城市绿地景观按行政单元进行了综合评价。研究结果表明, 宁波市城市绿地缀块个数以面积小于 500m² 的小型缀块为主(95.32%), 而缀块面积大于 3000m² 的大中型和大型缀块虽然个数较少(仅 0.75%), 却是构成该市城市绿地景观的主体(面积占 35.99%)。宁波市城市绿地景观多样性指数为 0.717, 均匀度为 0.629, 景观优势度为 0.669, 聚集度为 0.870, 破碎度为 0.292, 总分离度为 1.456, 绿地廊道密度为 2.237, 分维数为 1.373。城市绿地景观总体表现为类型分布不均, 各种类型相差较大, 破碎度较小, 多样性程度不高。综合评价结果为江东区最佳, 景观结构最为合理, 海曙区次之, 江北区较差, 全市总体上较好。研究结果为宁波市城市绿地景观生态系统的规划、设计提供了生态学依据, 为“生态园林城市”建设提供了理论依据。

关键词:GIS; 城市绿地; 景观生态; 空间结构; 宁波市

GIS-based study on spatial structure of urban greenbelt landscapes: Taking Ningbo City as an example

ZHOU Ting-Gang¹, GUO Da-Zhi² (1. School of the Environment and Resources Southwest China Normal University, Chongqing 400715; 2. The Institute of Survey and Spatial Information Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(5): 901~907.

Abstract: Urban greenbelt landscapes, including park, street, road, and courtyard greenbelts, are an important component of urban ecosystems. The study of urban greenbelt landscapes is essential for quantifying and improving the quality a city's environment. In this paper, based on the spatial characteristics of urban greenbelt landscape, an index system and content were put forward for urban greenbelt landscape evaluation. The classification and distribution of urban greenbelt landscape patches, and their spatial characteristics, in Ningbo City were examined based on GIS and the theory of landscape ecology. Finally, a comprehensive evaluation was conducted for the urban greenbelt landscapes for each of the administrative areas of Ningbo City.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(59478013);西南师范大学 2001 年自然科学基金资助项目

收稿日期:2002-07-18; **修订日期:**2003-01-15

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、城市生态环境的研究。E-mail: zhoutg@swnu.edu.cn

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 59478013) and Natural Science Foundation of Southwest China Normal University(2001)

Received date:2002-07-18; **Accepted date:**2003-01-15

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

The results indicate: (1) the urban greenbelt landscape is an important component of an urban ecosystem. An urban greenbelt landscape can consist of four structural elements: patch, corridor, matrix and edge. Urban greenbelt landscapes are characterized by fragmentation, instability, gradient, and patchiness. They are fragmented by other urban landscape structure associated with traffic and energy infrastructure, unstable due to changes from old city rebuilding and new city expansion, characterized by a gradient of increasing green cover from city center to outskirt, and patchy in structure. (2) In urban ecosystems, large patches may be more important in ecological function than small patches. Small patches supplement the large ones in function. Urban greenbelt patches were divided into four size groups: small patches ($<500\text{m}^2$ in area), medium ($500\sim3000\text{m}^2$), medium-large size patches ($3000\sim10000\text{m}^2$) and large size patches ($>10000\text{m}^2$). Small and medium size patches covered 28.40% and 35.61% of the areas in the urban greenbelt landscape, respectively. They were affinitive to the inhabitation in the city and consisted of domestic greenbelt, street greenbelt in residential areas and along roads. The medium-large and large patches constituted 0.75% of the patches but 1/3 of the urban greenbelt landscape. They mostly belonged to public greenbelt park, zoo, hotel, enterprise, and institutions. (3) The landscape diversity was 0.717 (maximum diversity = 1.386). The diversity of Jiangdong and Haishu district (0.907 and 0.816) was higher than Jiangbei district (0.295) and the dominance of Jiangbei district was the highest among the three administrative areas, which indicates one kind of greenbelt type was preponderant in this district, and the greenbelt types of Jiangdong and Haishu district was comparatively proportional. The evenness for the city was low (0.629), which indicated the landscape types were not even in abundance and the whole ecosystem was controlled by the few greenbelt landscape types. The landscape fragmentation was 0.292 for the city as a whole. It was 0.383 and 0.652 in Jiangdong and Haishu district where the building speed was high. The fragmentation in Jiangbei district was small because its speed of city building is slower than the other districts. The total isolation in Jiangbei district was the highest in the city (2.636), indicating that greenbelts were relatively concentrated; it was smaller in Jiangdong and Haishu districts (1.209 and 0.778). The greenbelt line corridor density was $2.237\text{km}/\text{km}^2$ in Ningbo City. The greenbelt line corridor density in Haishu district was greater than those in Jiangdong and Jiangbei districts, as the road density in old urban areas was greater than those in new urban areas. The fractal dimension was small for the city as a whole (1.373), indicating the planning principle for city development and building was linier. (4) Fuzzy comprehensive assessment method was used to evaluate greenbelt landscape with indices of urban greenbelt landscape structure and green overlay; the results indicates that the spatial structure of the greenbelt landscape in Ningbo City was good, and the greenbelt landscape in Jiangdong district has the most desirable and that in the Jiangbei district has the least desirable structure. (5) The urban greenbelt landscape not only reflects the structure character of greenbelt landscape but also presents the development of the city.

The main factors affecting urban greenbelt landscape are function, development, as well as planning. The aim of this paper was to provide an ecological basis for planning of urban greenbelt landscape and a theoretic basis for building *Ecological Garden City*.

Key words: GIS; urban greenbelt; landscape ecosystem; spatial structure; Ningbo City

文章编号: 1000-0933(2003)05-0901-07 中图分类号: Q143.X22 文献标识码: A

景观生态学是地理学与生态学的一个交叉边缘学科,以整个景观为研究对象,着重研究景观中各自然组成的异质**景观数据**镶嵌性、相互作用的规律性及其与生物活动、尤其是人类活动之间的相互影响^[1~6]。景观生态学作为一门与人类密切相关的学科,引起越来越多的学者将景观用于生态学的研究^[5,7,8]。随着景

观生态学的发展,人们逐渐把研究的目光转向城市,从景观生态学的角度,对城市这一人类活动的中心进行研究^[9~11]。在遥感技术和地理信息系统(GIS)技术的支持下,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定量的认识^[12,13],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^[14~16]。特别是将生态过程模型与 GIS 空间分析工具相融合而形成 SEM(Spatial Explicit Model,空间直观模型),并系统地运用有关空间信息和生态学知识,将计算结果予以空间直观表达,从而强化过程模型的预测能力以及 GIS 的空间分析能力^[17]。同时,借助景观生态学可以对城市绿化的现状做出理论上的阐述,为全面进行城市绿地景观空间的动态研究以及建立城市绿地景观数据库提供生态学的依据。

1 景观、城市景观与城市绿地景观及其特征

1.1 景观

景观是由景观要素有机联系组成的复杂系统,含有等级结构,具有独立的功能特性和明显的视觉特征,是具有明确边界、可辩识的地理实体。在地理学中,对景观的理解是①某一区域的综合特征,包括自然、人文、经济诸方面;②一般自然综合体;③区域单位,相当于综合自然区划等级系统中的最小一级的自然区(中国大百科全书·地理卷)。而在生态学中使用的景观概念有两种方式:一种是直觉的,认为景观是基于人类尺度上的一个具体区域,具有数千米的生态系统综合体,包括森林、灌丛、村落等可视要素。另一种是抽象的,代表任意尺度上的空间异质性,即景观是一个对任何生态系统进行空间研究的生态学标志^[8]。

1.2 城市景观

城市景观是一种人工景观,完全由人类活动所创造。城市景观在区域尺度上,往往只被当作斑块来研究,其镶嵌、分布格局具有一定的重复性和规律性。城市景观是一种典型的以人类干扰为主的景观,主要特点在于自然景观的破坏和人工景观要素的扩大。具体表现为工业斑块数量增多,环境污染源增多、扩大;内部绿化和水域等环境资源锐减;城市建筑急剧膨胀,向郊区扩展,取代农田和绿地斑块。城市景观的质量问题比较突出,如何治理城市环境,提高景观生态质量,对城市的持续发展具有重要意义。

1.3 城市绿地景观

城市绿地景观是人工与自然耦合的城市景观之一,是城市景观的重要组成部分,是人类改善城市环境的重要手段。城市绿地景观包括公园绿地、街头绿地、道路绿地、庭院绿地、河湖绿地等。这些绿地保留了城市一定的非市场价值空间,改善着城市环境质量。公园绿地是在自然残存斑块的基础上引进新的人工斑块,并长时间人为干扰而形成的人工景观。道路绿地和河湖绿地属于人类塑造的一种特殊的绿色廊道。绿色廊道交织构成的网络为实现城市生态景观性质的再次转换、城市环境的彻底改变,以及“园林城市”、“生态城市”的逐步实现提供了可能。

1.4 城市绿地景观的空间结构元素及其特征

城市绿地景观的空间结构,在很大程度上控制着城市绿地景观的功能及其生态作用的发挥,影响着城市中物质流、能量流和信息流的正常运转。在研究城市绿地景观空间结构时,首先是考察个体单元空间形态。依据绿地景观的空间形态、轮廓、分布和功能等基本特征,可将绿地景观区分为斑块(斑块 Patch)、廊道(Corridor)、基质(Matrix)和边缘(Edge)4种空间类型。这四种空间类型反映了城市绿地景观系统个体单元的基本空间特性,因而被称为城市绿地景观的空间结构元素。

(1)城市绿地景观的破碎性 由于城市对交通和能源的依赖,城市景观单元将城市绿地景观切割成许多大小不等的嵌块体,与大面积连续分布的农田、森林等自然景观形成鲜明对比。为了适应人们工作、生活需要,城市各功能区更加离散化,从而导致城市绿地景观的高度破碎性。

(2)城市绿地景观的不稳定性 随着社会、经济、文化等因素的发展,城市绿地景观变化很快。旧城区的改造、新城区的扩展,至使城市的绿地景观随时都在发生变化。城市绿地景观的不稳定性在其边缘区表现得尤为明显。在数据范围内,城市具有动态扩展的特征,城市外围的绿地景观不断地被“蚕食”,城市扩展区又增加了许多人工绿地斑块。

(3)城市绿地景观的梯度性 城市是人为影响相对集中的区域,市中心区地价比较昂贵,远离城市中心区域的地方地价比较低廉。因此,市中心区公共绿地相对较少,一般仅布置一部分小型公园,在远离市中心区的城市边缘部位布局较大的公园、动物园、风景区等。同时,市中心区的绿化覆盖率一般较低,而在远离市中心区的城市边缘部位的绿化覆盖率一般较高,表现为明显的梯度性。

(4)城市绿地景观的缀块性 缀块性是城市绿地景观格局中最为普遍也是最为重要的现象之一。城市绿地景观的空间格局(Spatial pattern)和生态过程由相应的缀块性和缀块动态来决定。缀块的空间格局及其变异,通常表现在缀块大小、内容、密度、多样性、排列状况、结构和边界特征等方面^[18]。

2 城市绿地景观空间结构度量的主要指标

城市绿地景观的等级、形状、大小、质量和空间结构的组合是反映城市生态系统的重要因素之一,它对城市自身的功能结构、生态平衡、生活适宜度、城市局地气候具有重大影响。对城市绿地景观生态系统空间特征的度量是城市绿地景观空间结构研究的深化方向。

多样性(Diversity) $H = - \sum_{i=1}^m P_i \times \ln P_i$, 式中 H 为绿地景观多样性指数, m 为绿地景观类型总数, P_i 为第 i 类绿地景观类型所占的面积比例^[19]。

均匀度(Evenness) $E = - \ln \left[\sum_{i=1}^m (P_i)^2 \right] / \ln(m)$, 式中 E 为均匀度指数, m 为绿地景观类型的总数, H_{\max} 为给定丰富度条件下景观最大可能均匀度。

景观优势度(Dominance) $D = H_{\max} + \sum_{i=1}^m P_i \cdot \ln(P_i)$, 式中 P_i 为第 i 类绿地景观类型所占面积比例, m 为绿地景观类型总数, $H_{\max} = \ln m$ 。

聚集度(Contagion) $RC = 1 - C/C_{\max}$, $C_{\max} = m \ln(m)$, $C = - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m P(i,j) \ln[P(i,j)]$, 式中 $P(i,j)$ 表示同 j 类型元素相邻的 i 类型元素所占的比例(用相邻元素个数占第 i 类元素总数比来代替), m 为绿地景观类型总数, C 为复杂性指数, C_{\max} 为 C 的最大可能值。 RC 为相对聚集度指数, 取值大表明绿地景观由少数团聚的大斑块组成, 取值小表明绿地景观由许多分散的小斑块组成^[20]。

分离度(Isolation) $F_i = \frac{A_i}{A} \cdot \sqrt{\frac{S}{N_i}}$, 其中 F_i 为绿地景观类型 i 的分离度, N_i 表示绿地景观类型中第 i 类绿化缀块的个数, A_i 为第 i 类绿地景观类型的总面积, A 为研究区绿地景观总面积, S 为研究区域总面积^[21]。对每一缀块类型的分离度值 F_i 用该类型绿地景观的标准差进行标准化处理, 得到标准化后的分离度值 F'_i , 即 $F'_i = F_i / \sigma_i$, 最后确定研究区域绿地的总分离度 $F = \sum_{i=1}^n F'_i$, 其中, n 为绿地景观类型数。

破碎度(Fragmentation) $C = \frac{\sum N_i}{A}$, 其中 C 为绿地景观的破碎度, $\sum N_i$ 为景观中所有缀块类型的总个数, A 为绿地景观的总面积。

绿地廊道密度(Line Corridor Density) $LC = \frac{L}{A} (\text{km}/\text{km}^2)$, 其中 L 为研究区的廊道长度(即道路绿地的长度), A 为研究区的面积。

分形维数(Fractal dimension) $FD = 2 \frac{\ln(L/4) - C}{\ln(S)}$, 式中 FD 为分形维数, L 为周长, S 为面积, C 为截矩, k 为回归方程中自变量的系数。

3 宁波市城市绿地景观评价研究

3.1 城市绿地景观缀块的等级与分布

从城市绿地景观角度出发, 面积大小可以作为绿地缀块分类的一个标准。在城市生态系统中, 大型的绿色缀块不仅具有生态功能, 同时也为景观带来许多益处。小缀块可以为景观带来大缀块所不具备的一些好处, 应当看作是大型绿色缀块的补充, 但不能取而代之。

基于这些认识,对宁波市城市绿色缀块进行了统计研究。研究方法是以宁波市比例尺为 1 : 10000 的彩红外航空遥感图像为主要信息源,在遥感图像处理软件 ERDAS 支持下,提取研究区的绿化信息,并按面积大小加以分类,划分出宁波市城市绿地缀块的 4 种类型(表 1)。

表 1 宁波市城市绿地缀块类型

Table 1 The types of the urban greenbelt patch in Ningbo city				
绿地缀块类型 Type of patch	缀块面积 Area of patch(hm ²)	所占比例 Rate(%)	缀块个数 Numbers of patch	所占比例 Rate(%)
小型缀块 Small patch(<500m ²)	321.25	28.40	75712	95.32
中型缀块 Medium patch(500~3000m ²)	402.78	35.61	3124	3.93
大中型缀块 Medium-large patch(3000~10000m ²)	197.64	17.47	482	0.61
大型缀块 Large patch(>10000m ²)	209.45	18.52	107	0.14
合计 Total	1131.12	100	79425	100

从表中可以看出,面积在 500 m² 以下的小型缀块占宁波市城市绿化面积的 28.40%,但其数量却达 95.32%,占绝大多数。中型缀块所占面积最大,达到 35.61%。这些中小型绿地缀块占到全市绿化面积总数的一半以上,它们数量多而且分布广,多分布于居住区及道路的两侧,主要为老城区住宅绿地和行道树,与居民日常生活有着密切关系。面积在 3000m² 以上的大中型及大型绿色缀块仅占总缀块数量的 0.75%,但其面积却将占 1/3,主要分布于公园、动物园、宾馆、企事业单位等地,属公共绿地和单位附属绿地。从大中型绿地缀块的区域分布上看,公园、动物园等缀块的分布在市区范围内没有明显的规律性,而其它大型绿地缀块主要分布在市区的边缘部位,即主要分布于城市扩展部位。大型和大中型缀块在宁波市城市绿地景观生态系统中起着十分重要的作用,是城市生态系统的重要组成部分,对于维持城市生态系统的正常运转具有重要意义。

3.2 城市绿地景观空间结构度量结果及分析

根据上述度量指标及计算公式,在 ARC/INFO NT7.2.1 的支持下,提取研究区 1998 年 6 月彩红外航空遥感图像各绿地景观类型数据,并进行各景观格局指数的运算,其结果见表 2。

表 2 宁波市城市绿地景观的景观格局指数

Table 2 The spatial structural indices of urban greenbelt landscape in Ningbo city				
	江北区 Jiangbei district	江东区 Jiangdong district	海曙区 Haishu district	宁波市 Ningbo city
多样性指数 Diversity	0.295	0.907	0.816	0.717
均匀度指数 Evenness	0.523	0.650	0.646	0.629
景观优势度 Dominance	1.09	0.480	0.570	0.669
聚集度 Contagion	0.894	0.766	0.712	0.870
分离度 Isolation	公共绿地 Public green	0.361	0.316	0.649
	道路绿地 Rode green	0.467	1.178	1.650
	居住区绿地 Habitation green	0.534	2.164	1.587
	单位附属绿地 Unit attach green	6.541	3.209	2.842
	总分离度 Total isolation	2.636	1.209	0.778
破碎度 Fragmentation	0.104	0.383	0.652	0.292
绿地廊道密度 Line corridor density	1.425	2.142	2.657	2.237
分维数 Fractal dimension	1.398	1.544	1.488	1.373

计算结果表明,全市多样性指数为 0.717,同最大多样性指数(1.386)相差较大,其它各区的多样性指数均小于 1。在全市绿地景观类型确定的情况下,这一结果表明各种景观类型所占比例相差较大,景观多样性整体程度并不高。整体而言,江东区和海曙区的绿地景观多样性相对较高,而江北区的绿地景观多样性较低。景观优势度与景观多样性刚好相反,江北区景观优势度最大,表明该区绿化以某一种绿化类型占绝对优势,而江东区和海曙区各绿化类型相对均衡。绿地景观均匀度较低(全市为 0.629),说明景观分配不均,存在少数绿地景观控制着整个绿地景观的现象。从聚集度上看,不论是各区还是全市,其聚集度都较大,表明绿地景观由少数团聚的大斑块组成。不难发现,上述几个景观多样性指标的计算结果一致。这充分

说明本研究区绿地景观类型分布不均匀,各种类型相差较大,总体多样性程度不高。

景观的破碎度反映了单位面积上斑块个数的多少。随着人类活动的加强,原来较大的自然景观斑块被改造为许多弱小的斑块。研究区景观整体破碎度为 0.292,江东区和海曙区城市建设较快,道路的修建、用地的紧张,使斑块更趋于细碎,增加了景观的破碎度,其破碎度分别为 0.383 和 0.652。而江北区城市建设步伐相对较慢,绿地景观破碎度较低(0.104)。整体而言,全市绿地景观破碎度不太大,说明绿地景观整体较好,表现为绿地斑块较大。从分离度上看,江北区分离度最大,而江东区和海曙区分离度相对较小,表明江北区主要绿地相互较分散,而江东区和海曙区绿地相对较集中。从绿地廊道密度上看,宁波市全市的绿地廊道密度为 2.237km/km²,老城区海曙区的绿地廊道密度高于江东区 and 江北区,这主要是由于老城区的道路密度一般高于新城区。整体而言,全市绿地在地域上还是比较分散的。而分形维数都较低,表明城市开发建设基本上还是按照一定的规划原则进行,所以其形状比较规则。

3.3 宁波市城市绿地景观综合评价

作为人类改造最彻底的景观——城市绿地景观而言,由于它具有高度的异质性及景观要素的流动复杂性,因此迫切需要对城市绿地景观进行综合评价。

城市绿地景观综合评价属宏观评价范畴。选择城市绿地景观空间结构度量的 12 个指标,即:多样性指数、均匀度指数、景观优势度、聚集度、分离度(公共绿地分离度、道路绿地分离度、居住区绿地分离度、单位附属绿地分离度、总分离度)、破碎度、绿地廊道密度、分维数和城市绿化覆盖率共 13 个评价指标,采用文献的模糊综合评价方法^[22],对宁波市各区及全市的城市绿地景观进行综合评价。绿地景观空间结构度量见表 2,绿化覆盖率为江北区 30.44%、江东区 21.53%、海曙区 16.16%、全市 23.12%,评语集 $V = \{ \text{优,良,中,差} \}$,综合评价结果见表 3。评价结果表明,江东区绿化布局结构合理,绿地景观综合状况最佳。海曙区的绿化覆盖率最低,但其布局结构比较合理,绿地景观综合状况较好。江北区虽然绿化覆盖率最高,但绿化布局结构不合理,因而其综合评价结果仅一般。从宁波市整体情况上看,城市绿化覆盖率较好,绿地布局结构比较合理,绿地景观综合状况比较好。

表 3 宁波市绿地景观综合评价结果

Table 3 The results of greenbelt landscape comprehensive evaluation

综合评价等级 Grade of evaluation	优 High class	良 Good	中 General
行政区 Administrative area	江东区 Jiangdong	海曙区、宁波市 Haishu, Ningbo city	江北区 Jiangbei

4 结束语

在 GIS 支持下,对城市绿地景观生态系统的空间结构进行研究,是城市景观生态研究的重要内容之一。研究结果表明,城市绿地景观空间结构特征主要受城市功能布局、人口分布、城市开发建设等多因素综合影响。海曙区主要是大型购物中心以及文教、司法、行政等部门,人为影响相对集中,绿地斑块破碎而且细小;江北区主要为工业区,旧城改造比较缓慢,且处于城市边缘部位,以个别大型缀块为主;江东区为城市新扩展区,城市建设速度比较快,且按照一定的规划原则进行开发,城市绿地分布比较合理,城市绿地景观效果最佳。城市绿地景观的研究有助于对城市绿地景观的特征、分布等进行定量评价,以指导城市绿地景观建设,改善人居环境,提高城市居民生活质量。城市绿地景观的生态效益、服务价值等方面的定量研究,将在后续文章中陆续发表,以期共同促进我国城市景观生态学的研究。

References:

[1] Pickett STA, Cadenasso ML. Landscape ecology: spatial heterogeneity in ecological system. *Science*, 1995, **269** (21):331~334.

[2] O'Neill RV, et al. A heterogeneity framework for the analysis of scale. *Landscape Ecology*, 1989, (3): 193~205.

[3] O'Neill RV, et al. Multiple landscape scales: An intersite comparison. *Landscape Ecology*, 1991, **5**(30): 137~144.

[4] Rroman RTT. *Landscape mosaics. The ecology of landscape and region*. Cambridge University Press, 1995.

- [5] Turner MG. Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annual Review of Ecological System*, 1989, **20**: 171~197.
- [6] Nassauer JI. Cultural principle of landscape ecology. *Landscape Ecology*, 1995, **10**(4): 229~237.
- [7] Ruman RTT. Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology*, 1995, **10**: 133~142.
- [8] Xiao D N, Zhong L S. Ecological principles of landscape classification and assessment. *Chinese J. of Applied Ecology*, 1998, **9**(2): 217~221.
- [9] Li X Z, Xiao D N. Study on the urban landscape ecology. *Urban Environment & Urban Ecology*, 1995, **8**(2): 26~29.
- [10] Xiao D N, Gao J, Shi T M. Application of landscape ecology in urban planning and management. *Advance in Earth Science*, 2001, **16**(6): 813~820.
- [11] Qin H Z. Landscape of Nanning city and the way to ameliorate it. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2001, **14**(1): 44~46.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Qiu Y, Zhang J T. The function of GIS in landscape ecology study. *Environment & Exploitation*, 1998, **13**(1): 1~4.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] Su W G. Landscape ecology study and geographic information system. In: Xiao D N, eds. *The Theory, Method and Application of Landscape Ecology*. Beijing: China Forestry Press, 1991. 106~110.
- [18] Wu J G, Li B L, Wu Y G. Patchiness and patch dynamics I. Concepts and mechanisms. *Chinese J. of Ecology*, 1992, **11**(4): 41~45.
- [19] Wang X L, Xiao D N, Burencang, et al. Analysis on landscape patterns of Liaohe delta wetland. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, **17**(3): 317~323.
- [20] Turner M. G. Spatial and Temporal Analysis of Landscape Patterns. *Landscape Ecology*, 1990, **4**(1): 21~23.
- [21] Chen L D, Fu B J. Analysis of impact of human activity on landscape structure in yellow river —— a case study of Dongying region. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, **16**(4): 337~344.
- [22] Zhou T G, Chen Y H, Guo D Z, et al. Fuzzy comprehensive method and its application in landscape ecological comprehensive assessment of urban Greenland system —— taking Shanghai as an example. *Urban Environment & Urban Ecology*, 1999, **12**(4): 23~25.

参考文献:

- [8] 肖笃宁, 钟林生. 景观分类与评价的生态原则. *应用生态学报*, 1998, **9**(2): 217~221.
- [9] 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.
- [10] 肖笃宁, 高峻, 石铁矛. 景观生态学在城市规范和管理中的应用. *地球科学进展*, 2001, **16**(6): 813~820.
- [11] 覃浩展. 南宁市景观生态格局与改善途径. *城市环境与城市生态*, 2001, **14**(1): 44~46.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [16] 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.
- [17] 苏文贵. 景观生态研究与地理信息系统. 见: 肖笃宁主编. *景观生态学——理论、方法及应用*. 北京: 中国林业出版社, 1991. 106~110.
- [18] 郭建国, 李百炼, 伍业钢. 缀块性和缀块动态 I. 概念与机制. *生态学杂志*, 1992, **11**(4): 41~45.
- [19] 王宪礼, 肖笃宁, 布仁仓等. 辽河三角洲湿地的景观格局分析. *生态学报*, 1997, **17**(3): 317~323.
- [21] 陈利顶, 傅杰伯. 黄河三角洲地区人类活动对景观结构的影响分析——以山东省东营市为例. *生态学报*, 1996, **16**(4): 337~344.
- [22] 周廷刚, 陈云浩, 郭达志, 等. 模糊综合法在城市绿地系统景观生态综合评价中的应用——以上海市为例. *城市环境与城市生态*, 1999, **12**(4): 23~25.