

3S 技术在现代景观格局中的应用

卜耀军¹, 温仲明², 焦 峰², 焦菊英²

(1. 西北农林科技大学资源环境学院; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: “3S”技术即遥感(RS)、地理信息系统(GIS)和全球定位系统(GPS)。由于具有快速、实时(或准时)地采集存储、管理、更新、分析和应用与地球空间分布有关数据的能力, 它的应用非常广泛, 已经渗透到了环境、经济、社会等各个领域。主要论述 3S 技术在现代景观格局中如何应用以及目前存在的几点问题和未来展望。

关键词: 景观格局; 3S 技术; 问题; 展望

中图分类号: TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)01-0034-05

3S Technology and Its Application in Modern Landscape Pattern

BU Yao-jun¹, WEN Zhong-ming², JIAO Feng², JIAO Ju-ying²

(1. College of Resources and Environment of Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and
Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 3S technology (Remote Sensing, Geographic Information System, Global Positioning System) can acquire information quickly, moreover can manage, renew and analyze the spatial data. Its application is very extensive, has already penetrated each fields, such as environment, economy, society, etc. How to apply 3S technology in modern landscape patterns is discussed, as well as some existing questions at present and its prospect.

Key words: landscape pattern; 3S technology; question; prospect

1 3S 技术在景观格局分析中的应用现状

目前, 一种常见的景观生态学研究方法是以遥感为数据源, 使用图像处理系统对其进行分类, 获取景观类型图, 再以地理信息系统如 ARC/INFO 等为手段, 计算斑块的数目、面积、周长等斑块特征, 并在此基础上计算各种景观指数, 并进行景观格局分析^[1~3]。

1.1 GIS 在景观格局分析中的应用

在景观生态研究中, 地理信息系统不仅被用来采集、处理、存储、管理和输出景观数据, 还用来进行景观空间格局的分析与描述、景观时空变化动态分析与模拟、景观优化设计与管理, 以及结合遥感技术进行景观信息的自动采集、分析, 进行景观图及各类专题图的绘制等^[4]。Sigrid 运用 GIS 技术, 增加新的景观要素到那些具有很好的生态和观赏价值的景观中, 以某种动物作为指示物, 进行模拟, 将增加了新的景观要素的地区与原来的地区进行比较, 得出前者的景观格局更合理^[5]。为了保护汉城正在退化的古老的地质景观,

Kyushik 运用 GIS 和计算机图像模拟技术, 建立了景观信息系统, 来管理城市景观^[6]。Turner 对于 GIS 在景观数据分析、格局与过程的中性模型、通过不同空间尺度分析景观格局等方面的应用进行了探讨^[7]。

在森林景观格局分析方面: 钱乐祥等以地理信息系统为支撑手段, 开发了空间信息数据库以记录分析福建植被景观的斑块、不规则性及景观总体特征。研究表明, 地形复杂性与人类干扰是控制景观生态系统功能(如水土运动、降雨、温度)、生物多样性和土壤水有效性性的主要物理参数。计算的景观综合特征概括反映了这两种物理参数的影响。人工植被(特别是水田)的结构形状也较为合理地与地形条件特征概括反映了这两种物理参数的影响。人工植被(特别是水田)的结构形状也较为合理地与地形条件相适应, 从分维和伸长指数看, 南亚热带雨林和中亚热带常绿阔叶林都只有低的分维数和简单的几何形状, 两者与地形条件和其它景观类型格局的形状复杂性明显不同, 由此表明人类活动产生的环境破坏对这两类地带性景观格局产生了深刻的影响^[8]。郭晋平等在

收稿日期: 2004-10-08

基金项目: 中国科学院“西部之光” (B22012900) 人才培养计划项目; 中国科学院知识创新工程重要方向 (KZCX3-SW-421); 国家自然科学基金项目 (40301029) 资助

作者简介: 卜耀军(1978-), 男, 陕西绥德人, 在读硕士, 主要研究方向: 环境生物学与生态环境工程。

ARC/INFO 支持下,应用 GIS 技术结合景观生态学原理,从一个侧面对关帝山林区森林景观空间分布格局进行了分析研究,提出了一套适用于森林景观空间格局分析的方法和指标,揭示了研究地区森林景观空间分布动态的一些基本规律^[9]。臧淑英等以大兴安岭林区塔源林场的森林资源为对象,采用 GIS 技术对该地区森林资源现状结构进行了分析,生成森林资源保护作业区划图,同时绘制了分别与采伐、抚育更新造林等信息相对应的多层专题图。将这些专题图与保护作业区划图进行叠加分析,显示 1996~1998 年该地区森林资源可持续利用的空间格局,为森林资源保护与管理提供科学依据^[10]。李明阳以森林资源调查的森林分布图和固定样地资料作为主要信息源,以 ARC/INFO 作为空间信息处理工具,采用平均斑块面积、形状指数、连接度、分数维、积聚系数、稳定度 6 个评价指标分析了 1983~1994 年浙江临安森林景观格局的变化。研究表明,以森林资源调查得到的成果作为主要信息源进行森林景观格局分析,能为景观生态学的理论应用于林业生产实践开辟一条崭新的途径^[11,12]。贾宝全等以新疆石河子莫索湾垦区为例,用 ARC/INFO GIS 软件进行数字化,再经编辑作为分析用图件,从景观多样性、优势度、均匀度、分离度、分维数、嵌块体伸长指数等 9 个方面,对其景观格局进行了分析^[13~15]。

在国土整治及生态建设方面,GIS 被用于国土资源调查、国土开发、国土规划,在景观生态结构、生态演替模拟、生态评价等景观生态管理方面发挥着较好的作用^[16~18]。王铁成等以无锡市马山区和山东省无棣县为例,基于 GIS 进行了土地质量综合评价,为优化土地配置提供了科学依据,并为进一步构建集成的土地评价信息系统原型奠定了基础^[19,20]。李云梅以仙居风景名胜区内 1:50 000 土地利用现状图为基础分析图,应用 GIS 软件数字化输入土地利用现状图,根据研究目的,将土地利用现状分为农田、果园、林地、竹林地、灌木林地、疏林、居住用地、水面、荒地九种类型,初步探讨了风景区的景观格局分析及其与景观旅游价值之间的关系^[21]。李晓文等以辽河三角洲滨海湿地为实例,以 GIS 为平台,运用景观生态决策与评价支持系统(LEDESS)确定实现各预案所需措施并对其涉及的空间范围进行了模拟、定位和评估^[22~24]。肖寒等以海南岛 1:200 000 土地利用现状图作为基本分析图件,运用景观生态学原理,借助 GIS 技术,选取斑块密度、边缘密度、分维数、景观多样性、景观优势度和平均接近指数等指标,分析了海南岛不同景观类型的空间分布和空间格局特征,探讨了该地区人类活动与景观结构之间的关系^[25]。

利用 GIS 进行景观格局变化分析明显只有以下几个优点: (1) 将各类地图(空间资料)和有关图中内容的文字和数字记录(特征资料)通过计算机高效地联系起来,从而使这两种形式的资料完善地融合在一起; (2) 为不断地、长期地储存和更新空间资料及其相关信息提供了一个有效工具; (3) 处理数据速度快,操作过程简便易行,并大大增加了资料的存取速度和分析能力; (4) 输出形式灵活,可以把景观格局分析结果明了、直接地从各种角度表示出来。

仅运用 GIS 进行景观格局分析,存在以下问题: (1) 数据来源与数据质量难以保证。景观生态学涉及土壤学、环境学与地理学等各个学科领域,其影响因素复杂,需要数据量大且要求质量高。然而由于仪器设备以及人力物力的限制,许多数据难以获取。而且现有数据也往往由于数据来源不一,数据格式各异,年代不同等原因造成数据质量难以保证,特别是数据格式不一,使各地区的数据难以共享,严重影响了 GIS 的应用。 (2) GIS 最基本的特点是每一个数据项都有空间坐标,即首先定位,才能使定性定量的属性数据与空间数据相连,而传统的人工采集与野外调查数据空间定位能力差,并且往往以点代面,不可避免的带来了各种误差。因此,数据来源与数据精度一直是 GIS 技术真正解决景观格局分析的一个“瓶颈”。而 RS 和 GPS 技术的出现为解决数据来源与数据精度问题提供了可能。

在把地理信息系统应用于景观生态学研究进行景观空间格局分析与景观时空变化模拟时,应注意以下几点: (1) 时空尺度的正确选择; (2) 景观信息机理的研究; (3) 重视小区域研究; (4) 专业景观模型与通用地理信息系统的接口以及数据融合问题; (5) 从点源数据到区域面的外推及精度分析。可以预见,随着地理信息系统技术,尤其是在时空分析与模拟、数据集成、数据误差分析及质量控制、智能化等方面技术的日趋成熟,将在景观生态学研究中得到越来越多的应用。

1.2 RS 在景观格局分析中的应用

遥感是一种以物理手段、数学方法和地学分析为基础的综合应用技术,其最大优势在于强大的数据获取能力。通过该方法可以及时获得大范围、多时相、多波段的地表信息,为不同时序上从局域到全球各种现象的综合分析创造了条件^[26]。

景观格局的遥感研究首先需要根据研究目的,结合各种地面调查数据或其它历史资料,对获得的遥感数据进行影像合成与分析处理;然后把经过分类处理的影像数据进行结构简化,将其转换成可用于具体分析过程的基础数据或图件;最后以面向用户的原则将其引入景观格局模型中,借助数量分析手段进行景观格局规律的探讨^[27]。其具体运用: Margareta 以监测和管理瑞典的原始草原和牧场为例,以遥感影像为数据源,运用这种全盘模型对原始草原和牧场进行研究,提出了自然保护和生物多样性研究的新方法^[28]。曾辉等利用多时段景观遥感制图信息和景观格局方法,对深圳市龙华地区快速城市化过程中林地组分的结构特征进行了动态分析,重点研究了该组分在 1988~1996 年期间的一般结构特征和空间分布差异的动态变化情况^[29]。彭如燕等在对 NOAA/AVHRR 数据进行灰度拉伸、直方图均衡化、多通道合成等方法处理后,应用 DRISI 软件的空间分析功能,对塔里木河流域进行了景观格局的宏观分析,结果表明在塔里木河干流区域景观类型相对简单,各景观自身破碎度低,连通性较好,景观间的均匀度差,是一种典型的脆弱的干旱区内陆河流域生态环境景观^[30]。

然而,纵观我国几十年来从遥感影像中提取土地利用现状信息方法主要分两大类:传统的人工目视解译是在处理过

的遥感影像产品上覆盖透明薄膜进行人工目视判读,并将结果以人工数字化或扫描数字化的方式进入到计算机中。遥感数字图像的计算机分类虽然自动化程度高,但理论和技术市场的限制使它的分类精度较低,很难满足实际需要。另一类就是近年来兴起的在计算机上进行遥感影像的人工目视判读,即遥感影像的屏幕数字化。通过遥感影像的缩放和平移等操作,能够提高定位和定性的精度,同时解译的结果可以直接记入到地理信息系统中,使工作效率大大提高。林文鹏结合福州市城门镇人机交互式数字影像判读的实际情况,建立影像地物判读标志,阐述了遥感影像屏幕数字化土地利用现状信息提取方法的优点和应用前景。

自 80 年代初期以来,遥感技术迅速成为景观生态学研究的重要技术支撑手段,极大地促进了景观定量研究的发展和景观结构格局及动态分析的不断深入,为各种景观模型的建立与发展提供了坚实的资料基础。如果将其与 GIS 和 RS 相结合,则更能发挥其作用。

1.3 GPS 在景观格局分析中的应用

在传统的路线中,用遥感技术发现了变化区域之后,对变化区域的定量确定仅靠对遥感判译图上的区域界限进行量测。由于遥感图像的成像机理、图像分类方法自身固有误差和其它误差(如绘图误差),使得遥感判译图上的区域界限仅具有示意性和相当模糊的界限,而全球定位系统具有提供全天候、连续、实时、高精度的三维位置以及时间数据的功能。其不仅能准确地量测明显地物的精确地理坐标,为遥感图像的几何校正提供准确的地面控制点坐标,而且能提供各地类的精确经纬度坐标,为遥感图像分类提供准确数据。

1.4 RS 和 GIS 在景观格局分析中的应用

RS 图像是综合程度很高的地理信息源,包括各种地理要素;同时又是一种空间信息源,为各种地理现象提供空间定位和属性数据。RS 图像也是一种动态数据载体,为资源环境的研究提供了由静态到动态,由定性到定量,由宏观到微观的综合技术手段。GIS 是管理空间信息的计算机系统,包括空间数据的输入、存储、检索、运算、显示、分析和输出,具有独特的区域综合、空间分析、动态预测和提供决策支持的功能。RS 为 GIS 提供了详实、现势的地理信息和数据;GIS 管理和应用这些信息和数据,有针对性的解决问题。二者的集成为景观格局分析提供了强有力的工具。

通常地理信息系统与遥感结合有两条途径,一是地理信息系统作为遥感技术系统或资源卫星系统的子系统,可增强遥感信息的处理和分析能力,提高遥感数据的分类精度,同时也有利于地理信息系统数据库的更新。GIS 和 RS 给予了地理学家和生态学家前所未有的能力来量化土地格局,了解空间异质性与景观结构^[31~33]。Jerry 等以美国堪萨斯州为例,运用 RS 和 GIS 技术,以及时下流行的 FRAGSTATS 软件包进行景观格局指数计算,对其景观结构进行分析^[34,35]。Di Maio Mantovani 等利用 GIS 整合 AVHRR 和 TM 图像处理分析了亚马逊河流域森林砍伐的情况^[36]。全志杰等应用不同时期的航空遥感图像,编制各期景观单元图,在 ARC/INFO 系统的支持下,建立空间信息库,选取斑块大

小、分维数、优势度、多样性指数、破碎度等指标,对杨陵农村城景观空间格局的动态变迁进行了分析。结果显示,从 1968 ~ 1995 年,杨陵正在由一个乡村小镇演变成一个农业科技城,城市化指数逐步增大,景观空间格局发生了较大的变化,变得更加复杂化^[37]。

二是地理信息系统作为独立的应用实体。遥感作为其重要信息源。如 Skole 等利用 GIS 对 200 多景卫星遥感数据进行了准确的融合和地理编码,从而实现了 Amazon 地区森林砍伐面积的估计,以及对生境破碎化和边缘效应的空间分析。森林斑块和廊道被看作是城市森林和相邻森林景观中的林地的过渡带。由于在卢布尔雅那和斯洛文尼亚修建了高速公路,破坏了当地的森林斑块和廊道,Janez 等运用遥感技术收集所属的数据资料,再运用 GIS 进行模拟,提出了建立新的森林斑块来连接被破坏的森林斑块的建议。卢玲等以 TM 影像图为数据源,使用 GIS 技术和景观结构分析软件 FRAGSTATS,分析了黑河流域近 20 年间景观结构的变化。结果表明,该地区的各类景观元素在近 20 年间发生了十分复杂的结构变化和相互转换,但整体景观仍保持荒漠化景观与绿洲景观强烈分异的鲜明格局^[38~40]。应用多时相遥感图像采集信息,在 GIS 的支持下,建立空间信息库,全志杰等对黄土高原沟壑区泥河沟流域土地景观空间格局的动态演变进行了分析^[41]。

由此可见,应用多时相遥感图像采集信息,在 GIS 支持下,建立空间信息库,可简捷、准确、快速地进行景观空间格局指标、参数特征的定量分析,模拟计算研究和图像图形显示等,这一研究方法及其结果对景观格局分析具有重要意义。

1.5 3S 在景观格局分析中的应用

RS 作为一种获取和更新空间数据的强有力的手段,能够提供实效性强、准确度高、监测范围大、具有综合性的定位定量信息,于是 RS 信息便成了地理信息系统十分重要的数据源,它有助于 GIS 数据库的及时更新,确保现实性,特别是在进行景观格局动态分析中,具有其它类型数据所无法代替的优越性。GPS 为 RS 影像数据和 GIS 数据提供精确定位信息^[42],因此,在景观格局分析中,3S 集成技术将为其提供更加准确、实时的基础数据。

GPS 与 RS、GIS 的结合方式是:GPS 为遥感实况数据提供空间坐标,用以建立实况数据及在图像图形数据库的图像上显示载运工具和传感器的位置与观测值,供操作人员观察和进行系统分析,由 GPS 定位的数据方可建成实况数据库或进入其它系统。在进行景观格局分析中,获取准确的景观基础数据是非常重要的,而在传统的实地调查方法的基础上运用 GPS,将会使调查结果更为准确^[43,44]。曾安全等在简述 GIS、RS 和 GPS 的概念和特点的基础上,介绍了 3S 技术在安徽省林业系统的发展过程和应用现状,并指出作为一种崭新的现代管理手段,3S 技术将在森林资源监测、营林规划设计、森林灾害预警、科学宏观决策等方面带来巨人的变革和深远的影响^[45,46]。

运用遥感、全球定位系统、地理信息系统准确地把握土地利用及其变化状况具有重大意义。结合国家九五重点课题

—包头市郊区土地利用动态监测技术系统示范工程, 王晓栋等介绍了基于 3S 技术的县级土地利用动态监测中的遥感数据处理方法、GPS 数据采集和内业处理方法以及 GIS 数据处理的关键过程。为在县级土地利用动态监测中综合运用 3S 技术作了有益的探索。董仁才介绍了 3S 技术在农业及相关领域的应用, 包括在管理资源、环境保护、农业、林业、地质水文、精细农业、生态环境保护等方面的应用。分析了 3S 集成系统, 并认为它将是“数字宁夏”的主体。展示了 3S 技术在产业化基地发展、节水农业、林网建设、自然保护区管理等方面的应用前景^[47]。

2 问题与展望

2.1 存在问题

尽管 3S 技术已成功运用于景观格局分析当中, 但还存在着一些有待改进的方面。就 3S 技术自身来说, 存在如下问题:

各个子系统有待于改进: (1) 遥感数据昂贵。由于我国资源卫星的研制和应用的发展不同步, 导致国家每年要花费大量的资金用来租用或购买国外的资源卫星数据, 使得国外拥有资源卫星的国家一方面看好我们国内的市场, 另一方面又在技术和价格上加以遏制, 制约了我国遥感技术应用水平的深入发展^[48]。(2) 从以往的经验发现, GPS 在地形开阔的地方观测到卫星多、分布良好、信号清晰, 定位速度快且精度高; 而在沟壑等地形狭窄区域, GPS 观测到的卫星少、信号不稳定, 且容易发生卫星失锁现象, 定位速度慢且精度低; 在

参考文献:

- [1] Turner M G, Garder R H. Quantitative Methods in Landscape Ecology [M]. New York: Springer-Verlag, 1992
- [2] Turner M G, et al Methods to evaluate the performance of spatial simulation models[J]. *Ecol Model*, 1989, 48(1): 1-18
- [3] Blackburn G A, Milton E J. An ecological survey of Deciduous woodlands using air borne remote sensing and Geographical Information System [J]. *Int J Remote Sensing*, 1997, 18(9): 919- 935
- [4] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [5] Singrid Heih- Lange. Structural elements of the visual landscape and their ecological functions[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2001, (54): 105- 113
- [6] Kyushik O. Landscape Information System: a GIS approach to managing urban development [J]. *Landscape and Urban planning*, 2001, (54): 79- 89
- [7] Turner M G. Spatial and temporal analysis of landscape patterns [J]. *Landscape Ecology*, 1990, (4): 21- 30
- [8] 钱乐祥, 陈云增. 福建植被景观空间格局及其环境响应特征[J]. *河南大学学报(自然科学版)*, 2000, (4): 66- 73
- [9] 郭晋平, 阳含熙, 张芸香. 关帝山林区景观要素空间分布及其动态研究[J]. *生态学报*, 1999, (4): 468- 473
- [10] 臧淑英, 祖元刚, 倪红伟. 森林资源可持续利用空间格局分析[J]. *生态学报*, 2000, (1): 73- 79
- [11] 李明阳. 浙江临安森林景观格局变化的研究[J]. *南京林业大学学报*, 1999, (3): 71- 74
- [12] 马克明, 傅伯杰. 北京东灵山地区景观格局及破碎化评价[J]. *植物生态学报*, 2000, 24(3): 320- 326
- [13] 贾宝全, 等. 石河子莫垦区绿洲景观格局变化分析[J]. *生态学报*, 2001, (1): 34- 40
- [14] 贾宝全, 等. 人工绿洲潜在景观格局及其现实格局的比较分析[J]. *应用生态学报*, 2000, (6): 912- 916
- [15] 贾宝全, 慈龙骏, 任一萍. 绿洲景观动态变化分析[J]. *生态学报*, 2001, (11): 1947- 1951
- [16] 于完成. 地理信息系统(GIS)在林业上应用及发展趋势[J]. *吉林农业科技*, 2000, (3): 1- 4
- [17] 党安荣, 等. 基于 GIS 的中国土地生产潜力的研究[J]. *生态学报*, 2000, (6): 910- 915
- [18] 郭旭东, 等. 基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异特征研究—以河北省遵化市为例[J]. *应用生态学报*, 2000, (4): 557- 563

一些陡坡地方, 难以进行作业, 使 GPS 测量在这些地方的应用受到限制^[49, 50]。

日前应用 3S 的集成是肤浅的, 只能做到表面上无缝的集成, 功能互补而已, 还没有实现 3S 的真正集成。3S 的真正集成还需要解决数据存储、数据处理、数据传输以及数据可视化等问题。就 3S 技术在景观格局分析中的应用来说, 由于 3S 技术和景观生态学还是两个相对独立的研究领域, 两个领域存在学科隔阂, 使很多的景观生态学的研究人员因不了解 3S 技术的特点, 而不能很好地利用 3S 技术。

2.2 未来展望

就日前来看, 从事 3S 技术和景观格局分析两个领域的研究人员已认识到应该相互了解和密切配合, 着力解决日前学科衔接方面的一些关键问题, 两方面的相互了解和合作不仅可以很好地完成科研任务, 还可以共同发展, 共同提高。以下几方面将会成为双方共同努力的方向:

(1) RS、GIS、GPS 技术各自不断完善, 遥感技术应在监测数据的准确度和图像处理方面不断改进; GIS 技术应在空间数据的分析功能上不断改进; GPS 技术应突破在天气不好状况下和沟壑等地形狭窄区域信号弱的技术难关。

(2) RS、GIS、GPS 三个子系统集成为一个系统, 这将是 3S 技术未来发展的趋势;

(3) 结合景观格局分析的要求, 开发出专门适用于景观格局分析的智能系统, 并在景观调查方法和景观格局分析研究不断成熟的基础上, 开展进一步的专家知识库研究, 完善智能化景观格局分析系统的研究与建设。

- [19] 王铁成, 等. 基于 GIS 的农用地质量综合评价方法研究——以无锡市马山区为例[J]. 干旱区地理, 2001, (2): 118-121.
- [20] 郑新奇, 阎弘文, 徐宗波. 基于 GIS 的无棣县耕地优化配置[J]. 国地资源遥感, 2001, (2): 53-56.
- [21] 李云梅. 景观多样性与景观旅游价值——浙江仙居风景名胜景观格局分析[J]. 生态经济, 2000, (10): 11-13.
- [22] 李晓文, 肖笃宁, 胡远满. 辽河三角洲滨海湿地景观规划预案设计及其实施措施的确定[J]. 生态学报, 2001, (3): 353-364.
- [23] 李晓文, 肖笃宁, 胡远满. 辽宁三角洲滨海湿地景观规划各预案对指示物种生态承载力的影响[J]. 生态学报, 2001, (4): 550-560.
- [24] 李晓文, 肖笃宁, 胡远满. 辽河三角洲滨海湿地景观规划预案对指示物种生态承载力的影响[J]. 生态学报, 2001, (5): 709-715.
- [25] 肖寒, 等. 海南岛景观空间结构分析[J]. 生态学报, 2001, (1): 20-27.
- [26] 王延, 乔高峻. 城市绿化遥感信息快速提取及其景观格局分析[J]. 中国园林, 2002, (1): 8-11.
- [27] 李书娟, 曾辉. 遥感技术在景观生态学研究中的应用[J]. 中国园林, 2002, (1): 8-11.
- [28] Margaretal, Christina L. A holistic model of landscape ecology in practice: the Swedish survey and management of ancient meadows and pastures[J]. Landscape and Urban Planning, 2000, (50): 59-84.
- [29] 曾辉, 姜传明. 深圳市龙华区快速城市化过程中的景观结构研究——林地的结构和异质性特征分析[J]. 生态学报, 2000, (3): 378-384.
- [30] 彭茹燕, 王让会, 孙宝生. 基于 NOAA/AVHRR 数据的景观格局分析——以塔里木河干流区域为例[J]. 遥感技术与应用, 2001, (1): 28-31.
- [31] Turner M., Carpenter S. At last: a journal devoted to ecosystems [J]. Ecosystems, 1998, 11: 1-4.
- [32] Troll, C. Landschaftsökologie als geographisch-synoptische Naturbrachung [J]. Forschung Erdkundliches Wissen, Schriftenreihe für Forschung und Praxis, Estener Verlag, Wiesbaden, Heft, 1963, (11): 1-13.
- [33] Joaquim Garrbou, Joan Riera, Mikel Zabala. Landscape pattern indices applied to Mediterranean subtidal rocky benthic communities[J]. Landscape Ecology, 1998, (13): 225-247.
- [34] Jerry A. G., Edward A. M., Kevin P. P. Landscape structure analysis of Kansas at three scales[J]. Landscape and Urban Planning, 2000, (52): 45-61.
- [35] McGarigal K., Marks B. J. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure[M]. Gen. Tech. Rep. PNW - GTR - 351. Pacific Northwest Research Station, USDA - Forest Service, Portland, Oregon, USA, 1995.
- [36] DiMantovani a C., Setzer, A. W. Deforestation detection in the Amazon with an AVHRR-based system [J]. Int Remote Sense, 1997, 18(2): 273-286.
- [38] 卢玲, 等. 黑河流域景观结构分析[J]. 生态学报, 2001, (8): 1217-1224.
- [39] 卢玲, 程国栋, 李新. 黑河流域中游地区景观变化研究[J]. 应用生态学报, 2001, (1): 67-74.
- [40] 王根绪, 程国栋. 干旱荒漠绿洲景观空间格局及其受水资源条件的影响分析[J]. 生态学报, 2000, (3): 363-368.
- [41] 全志杰, 黄林, 毛晓利, 等. 基于 GIS 支持下土地景观空间格局动态遥感研究[J]. 干旱地区农业研究, 1997, 15(4): 93-98.
- [42] 邱炳文, 周勇, 李学垣. GIS 在土地资源和生态环境研究中的应用、问题与展望[M]. 华中农业大学学报, 1999, 18(4): 348-351.
- [43] 高瑞莲, 吴健平. 3S 技术在生物多样性研究中的应用[J]. 遥感技术与应用, 2000, 15(3): 205-209.
- [44] Turner M. G., Gardner R. H., ed. Quantitative Methods in Landscape Ecology: The Analysis and Interpretation of Landscape heterogeneity [M]. New York: Springer-Verlag, 1991.
- [45] 曾安全, 等. 3S 系统在安徽省林业上的应用现状及发展前景[J]. 安徽农业科学, 2000, 28(5): 683-685.
- [46] Fotheringham A. S., Rogerson P. A. GIS and spatial analytical problems [J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1993, (7): 3-9.
- [47] 黄仁才. 浅谈“3S”技术在农业上的应用[J]. 宁夏农林科技, 2000, (3): 45-47.
- [48] 徐冠华, 田国良, 王超, 等. 遥感信息科学的进展和展望[J]. 地理学报, 1996, 51(5): 385-397.
- [49] 陈世杰, 等. 航空遥感在编制广州植被图中的应用[J]. 广州师范学院学报, 1990, (2): 67-74.
- [50] 何志浩, 等. 航空遥感用于广州经济林调查[J]. 遥感信息, 1988, (3): 24-26.