

文章编号: 1007-4619 (2002) 03-0233-08

遥感技术在景观生态学研究中的应用

李书娟, 曾辉

(北京大学 城市与环境学系, 北京 100871)

摘要: 景观生态学是一门新兴的宏观生态学分支学科, 自20世纪80年代以来, 其研究内容和方法论的发展与遥感、GIS等现代对地观测技术的发展紧密联系在一起。对近年来遥感技术在景观生态学中的运用, 从景观结构研究、功能研究、动态研究、尺度研究以及景观生态学应用研究五个方面加以总结, 进而分析遥感技术在景观生态学中的应用优势特征和目前存在的主要问题, 并对未来遥感技术在景观生态学中的应用发展方向提出意见和建议。

关键词: 景观生态学, 遥感, GIS

中图分类号: TP79/Q147 **文献标识码:** A

1 引言

景观生态学是以景观结构、功能和动态为主要研究内容的一门新兴宏观生态学分支学科^[1], 其研究对象一般为几平方公里至几百平方公里的中尺度异质地表区域^[2]。对于这种跨度范围较大的宏观生态学研究单元, 由于涉及到复杂的自然和人为过程的影响, 景观组分(element)的数量较多, 时空格局和动态变化过程复杂, 因此在具体研究过程中, 需要采集和处理的数据量非常庞大, 仅仅依靠传统的调查、分析方法进行研究, 往往受到人力、物力和自然条件等多方面的限制。这种限制主要表现在基础资料的收集难度大、覆盖面不全、量化程度不高、管理困难等方面, 这在一定程度上影响了景观生态研究水平的提高。

近年来, 生态学家们越来越多地将大量地面样地调查与遥感和地理信息系统等方法结合起来作为景观生态研究中基础数据获得的重要技术手段。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性技术^[3], 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, 为不同时期上从局域到全球

各种现象的综合分析创造了条件。自八十年代初期以来, 遥感技术迅速成为景观生态学的重要技术支持手段, 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^[4]。本文旨在回顾和分析近年来遥感技术在景观生态学中的应用现状、特征和存在的主要问题, 并就今后的发展提出具体的意见和建议。

2 遥感技术在景观生态学中的应用现状分析

2.1 景观结构研究

景观结构是指景观的组分构成及其空间分布形式, 包括景观的空间特征(如景观组分的大小、形状及构架等)和非空间特征(如景观元素的类型、面积比重等)研究两部分内容; 景观格局一般是指景观组分的空间分布和组合特征。景观结构与格局研究的目的是剖析异质地表不同景观组分的组成情况和构建特点, 总结景观异质性的内在规律, 从表面上无序的景观中发现潜在有意义的有序性, 从而深入了解景观空间结构的基本特点。在景观结构与格局研究中, 需要大量的基础数据来全面描述景观组分的

收稿日期: 2001-03-05; 修订日期: 2001-05-09

基金项目: 国家重大基础科研项目(G2000046807)资助。

作者简介: 李书娟(1978—), 女, 2000年毕业于北京师范大学资源与环境科学系, 获学士学位, 现于北京大学城市与环境学系攻读硕士研究生, 主要从事景观生态学与遥感应用研究。

属性特征,并为进一步的数量分析方法的使用奠定坚实的资料基础,因而成为遥感技术应用最为广泛的一个研究领域。

景观结构、格局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结构和格局模型中,借助数量分析手段进行景观结构或格局规律的探讨^[5]。目前,大多数学者在该领域中沿用着这一思路,只是因研究目的、信息源和分析手段的不同而在具体的研究流程设计上有所差别。

遥感技术的应用极大地促进了景观结构与格局数量分析方法的发展,现有的大多数景观结构与格局描述指数的筛选和完善几乎都与遥感技术的应用联系在一起。大量的景观指数中,蔓延度、优势度以及分形指数为目前应用最为广泛的景观格局分析手段。Frohn 运用指数建立的系统方法对蔓延度和分形指数进行分析评价。鉴于分形指数没有考虑栅格数据结构基础的周长面积关系,对于可预测的几何形状的景观不能给出连续的结果;蔓延度在很大程度上决定于空间分辨率,其结果受景观多样性影响较大等问题,设计了 PPU (Patch-Per-Unit), 和 SqP (Square-Pixel) 两个新的格局指数,分别用于测量景观斑块的碎裂化情况和复杂程度^[6]。大量出现、不断完善数量分析方法,使景观结构与格局的研究完成了由定性描述向定量分析的转化。这种量化分析无疑有助于人们对景观格局的理解,更为重要的是,这种量化分析可以将景观格局与景观过程联系起来^[6],为了解景观结构与格局的发生和发展机制,解释各种复杂的景观现象奠定了基础。

2.2 景观功能研究

景观功能研究目前还主要集中在景观内部和景观之间的能流、物流和物种流研究上。尽管与景观结构与格局研究相比,遥感在景观功能研究中的应用还相对较少,但有限的研究报道表明,遥感技术是景观内各种生态流研究的一个可靠的工具,并且随着遥感技术自身的发展,对于生态流研究寻求新的突破将形成有力的支撑。

从现有的研究报道看,遥感技术在景观能流研究中的应用相对成熟一些,Quattrochi 和 Luvall 探讨了热红外遥感在景观生态过程研究中的方法及其应

用,证明热红外遥感数据对景观流以及景观组分间再分配的了解有着重要的作用,可用于景观表面温度测量、能量交换、景观流的理解,以及地球表面现象能量平衡模型的优化等问题研究^[7]。不过,热红外遥感数据还没有被广泛的运用于景观结构、功能以及变化的研究上,Quattrochi 将其归结于三个原因,首先,在理论以及应用上,景观生态研究人员对热红外遥感数据还不够理解;其次,对于不熟悉这些数据特征和属性的人来说,热红外遥感数据的获取与利用是困难的;最后,从卫星上获取的热红外遥感数据空间分辨率太大,为得到景观热能流而进行数据校准,还没有能够有效消除误差的成熟技术工艺过程^[7]。

在其他生态流研究中,遥感技术同样得到了广泛的应用,Wessman 等的研究表明,结合地面调查,可以利用遥感数据来研究生态系统的 N 循环,并且给出了成功的应用案例^[8]。利用示踪电子设备,结合雷达遥感技术对动物种类的迁移活动进行研究,在国外已成为最新的相关研究手段。但迄今为止,遥感技术在生态系统物质循环和物种流方面的研究报道并不多。比较一致的观点是,物质流与物种流研究虽然多用实验与野外调查的方法获取基线数据,但由于诸如植被、土壤的宏观特征能够用于指示景观功能,因此只要建立起这些指示特征与各种遥感数据源之间的关联分析模式^[9],利用遥感技术全面研究景观功能是完全可能的。

2.3 景观动态研究

作为一个宏观生态学研究单元,景观动态研究的时间跨度通常较长,而景观结构和功能方面的详细历史资料积累很少,因此,以往不少景观动态研究采用地理相关法和经验判断,大致地恢复景观中部分组类型的中长期变化过程,存在着很大程度上的不确定性。遥感技术为景观动态分析工作开辟了一条全新的途径,地表大范围遥感信息的积累已有几十年的历史,各类遥感资料客观地记录了覆盖区域内景观结构的历史特征。利用这些资料,结合各种自然、社会、经济和历史资料,来恢复景观的动态变化过程,可以大大提高分析精度,并有利于进一步发现景观动态变化过程的内在驱动机制和规律性。

国内外关于近、现代的景观动态变化研究,绝大多数都使用了某种类型的遥感资料^[10,11],特别是在近 50 年尺度上的景观动态研究,遥感手段具有其他任何数据采集方法都难以替代的优势。例如,在遥

感影像与GIS结合的基础上, Luque 对新泽西国家森林公园保护区的景观组成与结构的动态变化进行了研究^[12], 并用景观结构指标对人类活动与自然干扰对景观变化的影响进行评价, 结果表明, 在16年研究期间, 自然和人类的干扰导致景观结构(斑块数目、大小和形状)变化及产生的镶嵌景观, 体现了一系列尺度干扰机制作用的特征^[13]。Seixas 根据10年Landsat TM图像, 提取出景观异质性指标——植被和土壤变量, 并将其用于推断荒漠化过程, 结果证明, 从生物量上推算出的景观异质性增加与荒漠化正反馈模型一致^[14]。国内类似的研究起步相对较晚, 其中肖笃宁关于沈阳西郊景观动态变化的研究和曾辉关于珠江三角洲东部地区城市化景观动态变化的研究是国内景观动态遥感应用研究中比较有代表性的工作^[15-17]。

由于现代各种遥感信息的积累只有不足100年的时间, 某些景观动态研究工作通常需要多种不同遥感资料的综合运用方能满足100年以内时间尺度的研究需求。对于一些更长时间尺度(通常超过100年)的动态研究工作而言, 仅靠遥感资料往往无法满足需要。针对这种情况, 目前比较常用的做法是将不同类型的遥感资料结合各种自然、社会、经济和历史资料, 来恢复一些关键时段的景观原貌, 进而为景观动态研究创造必要的资料条件^[18, 19]。

2.4 景观尺度效应研究

尺度效应是景观生态研究的核心问题之一, 也是遥感技术应用比较广泛的一个研究领域。景观现象的尺度差异可以直观地利用时空分辨率水平来表达, 遥感技术的应用无疑可以为这类研究(特别是空间尺度效应)提供了便利的机助实验条件, 因为不同传感器本身的分辨率水平就是空间尺度效应研究的重要素材, 而某些高分辨率遥感资料具有对地表特征的细节覆盖面全的特点, 可以通过合理的重采样实验设计进行连续的尺度变化效应分析。

利用遥感资料进行景观尺度效应研究工作中, 一个比较有特色的研究领域是关于景观分析方法的尺度灵敏性研究, 国内的相关研究表明, 在快速城市化的珠江三角洲地区, 景观格局随分辨率的不断降低出现了显著的变化, 其中斑块数量、周长、景观整体破碎度及斑块形状等景观指数为分辨率敏感指数, 而斑块面积比例、景观多样性、优势度和组分碎裂化指数为分辨率弱敏感指数^[20], 这一分析结果可以作为不同尺度条件下景观分析方法的筛选依据。

Johnson 和 Myers 等对在不同分辨率下的景观熵值进行了研究, 结果得出一个条件熵断面, 用于描绘了当空间分辨率降低时信息损失率^[21], 这项研究又可以作为具体景观问题研究的合理尺度选择, 提供一个判定标准。

由于景观的异质性特征, 基于遥感数据的景观分析方法在不同分辨率条件下的可预测性同样具有重要的意义。只有相关方法对空间分辨率的反应可预测, 不同分辨率的空间格局分析结果才能够进行比较, 否则, 我们将无法判断景观格局指数的变化是因为空间分辨率变化的结果, 还是真实景观格局变化所致。针对这一问题, Frohn 对自己提出的 PPU 指数和 SqP 指数, 在 60m 到 1000m 不同分辨率的基础上进行了对比试验。结果表明, PPU 指数与空间分辨率呈对数负相关, SqP 指数与空间分辨率线性相关^[6]。两个景观指数空间分辨率的可预测性, 使得综合运用各种不同分辨率、不同传感器的数据成为可能, 从而显著扩大了景观分析的基础数据源。

2.5 景观生态学应用研究

应用研究是景观生态学自二十世纪八十年代以来得以迅速发展的重要学科基础之一。在目前景观生态学的诸多应用分支领域中, 遥感技术的普及对于这些应用领域的发展同样起到了巨大的推动和促进作用, 其中, 生物多样性保护研究和景观生态规划是两个具有典型意义的应用研究领域。

2.5.1 景观尺度的生物多样性保护研究

生物多样性保护问题自九十年代初成为一个全球性热点问题后, 生态学家们逐渐认识到人类活动导致生境丧失是对生物多样性的最大威胁, 相关的保护和恢复问题应从更大的尺度上来进行研究^[22], 这就给景观生态学与生物多样性保护问题的结合提供了一个机遇。由于景观结构及其组分与生物多样性(包括景观元多样性、物种多样性和遗传多样性)之间存在着密切的相关关系, 因此, 遥感手段成为最适合于景观尺度的生物多样性监测和物种多样性调查的工具之一^[23]。目前, 遥感数据与地面调查数据结合, 用地理信息系统进行空间模拟与分析, 已成为景观生物多样性保护研究中的主要方法^[24]。

生境质量和景观结构是物种丰度预测的两个重要指标, 也是通过遥感方法获取生物多样性基线状况的基础。Moilanen 和 Hanski 最近的研究证明, 景观破碎化对生物多样性的影响只在特定的空间尺度表现出来, 低于或高于某个临界值时, 生境质量将变

成最重要的决定性因素^[25]。Davenport 和他的同事在英国牛津都用机载光测 DAR 测定作物高度,进而对云雀的生境质量做出了正确的评估。这种大面积作物高度的测定仅仅依据地面调查工作是很难完成的,遥感技术的大面积快速监测能力确保了上述研究工作的顺利完成^[26]。Griffiths 将英国陆地生态协会卫星土地覆盖图与生物信息中心的生物分布数据结合起来,开展植物多样性预测研究,并检验了景观结构影响生物多样性的假说。结果表明,卫星遥感技术完全可以用于区域、国家尺度上的生物多样性监测^[27]。不过,正如 Nagendra 在对卫星影像作为生物多样性管理工具的评价研究中指出的那样,在监督分类的基础上,景观组分的类型可以被确切鉴别,进而组织一个生物多样性的管理程序,而非监督分类的遥感影像不具备高准确性的景观组分类型分类,因此不适合于生物多样性的管理^[28]。这一点至少可以说明,遥感技术应用与生物多样性保护研究需要有严格的技术流程设计予以保障,可惜这方面的研究目前还比较少见。

2.5.2 景观规划研究

景观规划是景观生态学的另一个重要应用研究领域。景观规划的最基础性工作就是将传统调查方法与现代技术(包括航空相片判读、计算机图像处理等)相结合,从微观到宏观的不同层次上充分搜集景观信息,为进一步的问题辨识和规划方案论证提供尽可能多的基线信息^[29]。遥感技术在景观规划中的应用集中体现在景观评价、景观模拟辅助决策等主要环节上,并且通常是与 GIS 或其他数量分析技术共同使用。

景观评价是景观规划中问题辨识的核心环节,也是形成合理景观规划方案的重要基础。遥感技术在景观评价中主要作为基础数据供给环节,并且在与其他数据处理方法和工具的结合中,形成合理的景观评价模式。最近几年来,这方面的应用有了较大的发展,例如 Lee 曾在相关研究中提出了一个在区域尺度上将 GIS 与遥感手段结合,解决景观评价问题的具体方案^[30];He 则发明了一种可以综合几种数据类型(遥感数据为量重要的数据源之一),对大尺度、异质性景观中森林组分进行评价的方法^[31]。上述方法论问题的解决,无疑大大促进了遥感技术在景观评价工作中应用的深度和广度。

遥感技术对于景观预测与决策研究的应用主要体现在促进相关方法论的发展方面,最近几年来,越来越多的景观预测和决策系统建设需要考虑遥感技

术特点和数据特性,进行适宜的系统建设,以顺利完成景观规划的模拟与决策辅助分析环节,并由此产生了一些新的模拟和决策方法。例如 Grabbaum 在景观规划与区域发展策略研究中提出的多目标优化辅助决策方法^[32]和 Nath 在水产业空间决策研究中总结的一系列遥感与 GIS 技术应用方法等^[33]。而 Kohley 建立的土地利用生物多样性专家辅助决策系统,帮助政府部门在土地利用规划时对生物多样性的影响进行预测和评价^[34],并最终将相关考虑结合到规划方案的编制过程中,无疑将这种方法论方面的发展向智能化方向推进了一步。

3 遥感技术应用的优势特征分析

从上述分析中不难发现,遥感技术的应用已经涵盖了现代景观生态学的几乎所有研究领域,并且与其他景观生态学研究方法和技术手段紧密衔接,成为促进景观生态学发展的重要动力来源。从景观生态学自身的发展需求看,推动遥感技术大量应用的主要原因主要有两个方面:一是景观的时空过程研究中,只有定位、定量、定时地描述不同景观组分之间的生态学联系,才能较好地揭示各种景观现象的内在规律性;二是传统生态调查方法无法满足定量分析相关对大量景观特征数据的需求。根据上一节对现有相关工作的总结可以看出,利用遥感方法作为景观生态研究的基本数据获取手段具有以下几个方面的显著优势:

(1) 利用遥感技术,可以方便地获取区域尺度的时空信息资料,大大提高了景观研究中的数据获取能力,特别是某些遥感平台在获取地面资料时,不受天气和地形条件的影响,可以有效地克服地面调查中可能遇到的各种限制。另外遥感数据易于管理、更新周期快、更新费用低的特点也是其他数据获取方法所无法比拟的。

(2) 不同类型、不同分辨率和多时相的遥感资料,可以满足不同研究工作的需要。例如,航空相片具有较高的分辨率,通常被用于进行土地利用结构研究;TM 和 MSS 卫星遥感数据常用于区域性的景观格局和动态研究;而 NOAA - AVHRR 资料虽分辨率低,但重复性好,可以用于大尺度景观动态监测研究。利用遥感信息,还可以在由计算机和各种应用软件构成的实验系统中进行多种时空尺度、多种专题的景观分析,这一点仅仅通过传统调查方法显然难以达到目的。

(3) 在野外景观生态调查和采样方法还没有规范化的今天,利用遥感分析来确定工作区或实验区,辅以必要的地面调查,无疑可以为景观分析建立更加扎实的资料基础。此外,利用遥感资料进行景观调查方法的优化分析,可以建立起更加科学的景观数据采集方法。

(4) 景观生态研究所涉及的现象通常具有较大的空间和时间跨度,要弄清这些现象一方面需要有足够的景观特征数据,另一方面还必须借助各种数量分析方法来描述景观的空间过程和时间过程。遥感数据具有多时相、高密度和区域性特点,为空间分析方法和多种统计学分析方法在景观生态研究中的应用提供了可能。

(5) 随着景观生态学理论和应用问题日趋复杂,区域性景观生态分析对于普适性分析模型和专用分析系统的要求越来越迫切。这些模型和系统的建设、验证和使用环节均需要大量与之相匹配的数据支持。与传统生态调查相比,遥感信息无疑能够更好地满足上述景观生态学方法论发展的需要,因而成为各种景观分析模式和专用分析系统建设研究工作中的主要数据供给来源。

4 遥感技术应用的主要问题与未来的努力方向

尽管在过去二十年的时间里,遥感技术以其他数据获取方法无法比拟的优势成为景观生态学理论、应用和方法论研究不断发展的重要推动因素,但两者之间的组合优势和潜力还远远没有得到充分的发挥。其原因一方面是由于遥感技术本身还有很多缺陷,应用的深度和广度受到自身某些技术性不足的严重约束;另一方面则是由于遥感技术人员和景观生态学工作者之间的固有学科隔阂,使很多景观生态研究人员因不了解遥感技术特点、无法获得遥感数据或缺乏适宜的分析工具而与遥感技术的应用失之交臂。

从遥感技术发展的角度看,尽管其在数据获取方面具有明显的优越性,但是应当看到在目前的景观生态学研究中,地面调查和统计数据的重要性仍然是不可替代的。一些通用遥感数据的宏观性,决定了其误差较大,严重阻碍了该技术在景观生态学的一些细节性研究中的应用。Mack 等曾就遥感解译结果与地面统计的生境面积数据在种-面积模型中进行了比较,结果显示在小面积的林地斑块统计中遥感技术误差较大,而用地面调查统计的数据得

出的种-面积关系在描述鸟的种类数量上要显著好于遥感数据^[35]。由此可见,遥感技术欲在景观生态学研究中得到更广泛的应用,其分辨率、景观特征还原(解译)、误差校正等技术方面还需要不断完善和改进。

景观生态学和遥感技术之间缺乏学科层次的沟通和了解也是阻碍两者之间紧密结合的重要原因之一。Gulinc 曾注意到 1994—1996 年期间国际遥感杂志上发表的文章中,涉及景观生态学研究内容的文章非常少,而景观生态学杂志在 1994 年以前发表的文章中,竟然没有一篇文章直接涉及遥感数据应用研究内容。部分文章在景观格局的数量分析方法中运用了诸如栅格模型等方法,但在具体研究工作中,也仅仅是将遥感技术作为一种普通的数据来源加以利用^[36]。造成这一结果的原因无疑是由于遥感技术与景观生态学之间缺乏沟通所致,一方面遥感技术在学科方向选择和相关技术设计过程中,很少考虑到景观生态学理论和实际应用研究的需求,特别是景观生态学的大尺度时空格局、功能和动态研究需求还几乎没有为遥感领域的研究人员所注意到;另一方面,景观生态学工作者很早就注意到遥感与 GIS 等现代对地观测技术的优越性,但由于技术理解与应用的复杂性限制,加上相关产品的获得渠道不畅,成本较高,在一定程度上也限制了遥感技术的应用^[37]。

值得欣慰的是,遥感技术与景观生态学的结合已经引起越来越多相关研究人员的关注,1997 年召开第二届陆地会议(主题为:理解陆地环境—景观格局和景观变化)上,第一次集聚了一大批遥感领域与景观生态领域研究人员,其目的在于鼓励两者的对话与接触^[38]。本次会议达成的一个重要共识是:景观生态学 with 遥感的结合,需建立一个包含两个领域的不同对象、范例、术语、单元以及技术的框架,并进一步定义,以达到两者的协同发展^[36]。随着遥感图像新技术、新方法的运用,以及新的传感器发射,必将提高重要生态参数的获取机会,遥感数据对景观生态学的贡献无疑将进一步提高。另一方面,景观生态学的发展,也将促进景观生态学工作者遥感图像理解程度的不断提高,进一步拓展遥感技术在景观生态学理论和实践研究中的应用范围。

综上所述,景观生态学和遥感技术工作者的相互了解和密切配合,着力解决目前学科衔接方面的一些关键问题,将成为两个学科共同发展基础。可以预见,以下四个方面的问题将成为双方共同努力

的热点问题:(1) 进一步拓展遥感技术的应用范围,特别是在大尺度景观功能研究中,两个学科应分别从自身的技术创新出发,探讨适宜的方法论衔接方式,弥补目前存在的明显不足;(2) 开展规范化的机助景观调查方法研究,从遥感信息特征和不同景观生态问题研究的需要出发,总结一套合适的机助景观调查方法,在保证高效快速完成景观调查工作的同时,还应使获得的数据能最大限度地反映实际景观的结构、功能和动态特征;(3) 建设智能化的景观专用分析系统,根据景观生态学研究的基本特点,在景观机助调查方法和景观分析模式研究不断成熟的基础上,开展进一步的专家知识库研究,完善智能化景观分析系统的研究与建设;(4) 大力推进景观生态学应用研究,充分利用遥感技术的各种优势,大力开展应用研究,为区域性的环境保护、土地开发和国土整治工作提供科学的依据。

参 考 文 献 (References)

- [1] Chen CD. The theoretical development of landscape ecology and its application progress. Development strategy research of Chinese ecology [C]. Beijing: Chinese Sciences and Technology Publishing House, 1991. [陈昌笃, 景观生态学的理论发展与实际应用, 中国生态学发展战略研究[C], 中国科学技术出版社, 1991.]
- [2] Forman RTT. Land mosaic [M]. London: Cambridge University Press, 1995.
- [3] Xiao DN. Characteristics and methods of macroscopic ecological research [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1994, 5(1): 95-102. [肖笃宁, 宏观生态学研究的特征与方法[J]. 应用生态学报, 1994, 5(1): 95-102.]
- [4] Johnston LB, et al. Quantitative analysis of ecotones using a GIS [J]. 1989, P. E. & R. S., 55: 1643-1647.
- [5] Gulinck H, et al. Landscape structural analysis of central Belgium using SPOT data. Landscape ecology and geographic information systems [C]. London: Taylor & Francis, 1993, 129-139.
- [6] Frohn RC. Remote sensing for landscape ecology [M]. New York: CRC Press, 1998.
- [7] Quattrochi DA, Luvall JC. Thermal infrared remote sensing for analysis of landscape ecological process: methods and application [J]. *Landscape Ecology*, 1999, 14: 577-598.
- [8] Peng SF, Guo ZH, Wang BS. Applications of RS and GIS on terrestrial vegetation ecology [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1999, 18(5): 52-64. [彭少麟, 郭志华, 王伯荪. RS 和 GIS 在植被生态学中的应用及其前景[J]. 生态学杂志, 1999, 18(5): 52-64.]
- [9] Ludwig JA, Bastin GN, Eager RW, et al. Monitoring Australian rangeland sites using landscape function indicators and ground-and remote-based techniques [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2000, 64(1): 167-178.
- [10] Wang XL, Hu YM, Bu RC. Analysis of wetland landscape changes in Liaohé Delta [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1996, 16(3): 260-265. [王兆礼, 胡远满, 布仁仓. 辽河三角洲湿地的景观变化分析[J]. 地理科学, 1996, 16(3): 260-265.] [11] Heggen DT, Edmonds CM, Neale AC, et al. A landscape ecology assessment of the Tensas River Basin [J]. *Environment Monitoring and Assessment*, 2000, 64(1): 41-54.
- [12] Laque SS. Evaluating temporal changes using Multi-Spectral Scanner and Thematic Mapper data on the landscape of a nature reserve: the New Jersey Pine Barrens, a case study [J]. *Int. J. Remote Sensing*, 2000, 21(13-14): 2589-2611.
- [13] Laque SS. The challenge to manage the biological integrity of nature reserves: a landscape ecology perspective [J]. *Int. J. Remote Sensing*, 2000, 21(13-14): 2613-2644.
- [14] Seixas J. Assessing heterogeneity from remote sensing images: the case of desertification in southern Portugal [J]. *Int. J. Remote Sensing*, 2000, 21(13-14): 2645-2663.
- [15] Xiao DN. Study on the variation of landscape pattern in the west suburbs of Shenyang [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1990, 1(1): 75-84. [肖笃宁, 沈阳西郊格局变化的研究[J]. 应用生态学报, 1990, 1(1): 75-84.]
- [16] Zeng H, Jiang ZY. Landscape structure of longhua area in Shenzhen City during fast urbanization process-structure and heterogeneity analysis of urban construction area [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(4): 567-572. [曾辉, 江子瀛. 深圳市龙华地区快速城市化过程中的景观结构研究——城市建设用地结构及异质特征分析[J]. 应用生态学报, 2000, 11(4): 567-572.]
- [17] Zeng H, Yu H, Guo QH. Dynamic model construction and simulation study of town landuse for Longhua area, Shenzhen City [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(4): 545-552. [曾辉, 喻红, 郭庆华. 深圳市龙华地区城镇用地动态模型建设及模拟研究[J]. 生态学报, 2000, 20(4): 545-552.]
- [18] Girel J, Garguet Dupont B, Pautou G. Landscape structure and historical process along dike European valley: A case study of the Arv/Iserre confluence (Savoie, France) [J]. *Environmental Management*, 1997, 21(6): 891-907.
- [19] Peralta P, Mather P. An analysis of deforestation patterns in the extractive reserves of Acre Amazonia from satellite imagery: a landscape ecological approach [J]. *Int. J. Remote Sensing*, 2000, 21(13&14): 2555-2570.
- [20] Zeng H, Guo QH, Liu XD. Experimental research of spatial resolution effects for landscape pattern: A case study of the eastern part in Zhujiang Delta [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 1998, 34(6): 820-826. [曾辉, 郭庆华, 刘晓东. 景观格局空间分辨率效应的实验研究——以珠江三角洲东部地区为例[J]. 北京大学学报, 1998, 34(6): 820-826.]
- [21] Johnson GD, Myers WT, Patil GP, Taillie C. Multiresolution fragmentation profiles for assessing hierarchically structured landscape patterns [J]. *Ecological Modelling*, 1999, 116: 293-301.
- [22] Ji DQ, Song YL. Review on host pot and GAP analysis [J]. *Chinese Biodiversity*, 2000, 8(2): 208-214. [李迪强, 宋延龄. 热点地区与 GAP 分析研究进展[J]. 生物多样性, 2000, 8(2): 208-214.]
- [23] Yue TX. Discussion on studying biodiversity by remote sensing [J]. *Chinese Biodiversity*, 2000, 8(3): 343-346. [岳天祥. 生物多样性遥感

- 研究方法浅议[J].生物多样性,2000,8(3):343—346.]
- [24] Roy PS, Tomar S, Biodiversity characterization at landscape level using geospatial modeling technique[J]. *Biological Conservation*, 2000, **95**(1):95—109.
- [25] Moilanen A, Hanski L. Metapopulation dynamics: effects of habitat quality and landscape structure[J]. *Journal of Ecology*, 1997, **79**: 2503—2515.
- [26] Daveport LJ, Bradbury RB, Anderson GQA, et al. Improving bird population models using airborne remote sensing[J]. *Int. J. Remote Sensing*, 2000, **21**(13-14):2705—2718.
- [27] Griffiths GH, Lee J, Eversham BC. Landscape pattern and species richness: regional scale analysis from remote sensing[J]. *Int. J. Remote Sensing*, 2000, **21**(13-14):2685—2704.
- [28] Nagendra H, Gadgi M. Satellite imagery as a tool for monitoring species diversity: an assessment[J]. *Journal of Applied Ecology*, 1999, **36**(3):388-397.
- [29] Yu KJ. Studies on the theoretical and technological system info of landscape planning and the protection planning of Danxia Scenic Area. Landscape: Culture, Ecology and Induction[C]. Beijing: Science Press, 1998, 180—188. 俞孔坚, 丹霞风景名胜景区景观规划理论与技术体系及保护规划研究, 景观: 文化、生态与感知[C]. 北京: 科学出版社, 1998, 180—188.]
- [30] Lee JT, Elton ML, et al. The role of GIS in landscape assessment: using land-use-based criteria for an area of the Chiltern Hills Area of Outstanding Natural Beauty[J]. *Land Use Policy*, 1999, **16**:23—32.
- [31] He H, Mladenoff DJ, Readehoff VC, Crow TR. Integration of GIS data and classified satellite imagery for regional forest assessment[J]. *Ecological Applications*, 1998, **8**(4):1072—1083.
- [32] Crabaum R, Moyer BC. Multicriteria optimization of landscapes using GIS-based functional assessments[J]. *Landscape and Urban Planning*, 1998, **43**:21—34.
- [33] Nath SS, Bolte JP, Ross LG, Aguilar-Manjarrez J. Applications of geographical information systems (GIS) for spatial decision support in aquaculture[J]. *Aquacultural Engineering*, 2000, **23**:233—278.
- [34] Crist PJ, Kohley TW, Oakleaf J. Assessing land-use impacts on biodiversity using an expert systems tool[J]. *Landscape Ecology*, 2000, **15**(1):47—62.
- [35] Mack EL, Firbank LG, Bellamy PE, et al. The comparison of remotely sensed and ground-based habitat area data using species-area models[J]. *Journal of Applied Ecology*, 1997, **34**(5):1222—1228.
- [36] Gulinc H, Dufourmont H, Coppin P, Heruy M. Landscape research, landscape policy and earth observation. [J]. *Int. J. Remote Sensing*, 2000, **21**(13-14):2541—2554.
- [37] Tischendorf L. Modelling individual movements in heterogeneous landscape: potentials of a new approach [J]. *Ecological Modelling*, 1997, **103**: 33—42.
- [38] Griffiths GH, Mather PM. Remote sensing and landscape ecology: landscape patterns and landscape change [J]. *Int. J. Remote Sensing*, 2000, **21**(13-14):2537—2539.

The Utilities of Remote Sensing Technique in Landscape Study

LI Shu-juan, ZENG Hui

(Dept. of Urban and Environmental Science, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Based on internal and external research literature in recent years, this paper emphatically deal with the utility problems of remote sensing(RS) technique, the new land monitoring technology, in landscape ecological studies. Five research areas were discussed respectively:

Structure and pattern study: The attribute description of landscape structure and the utility of quantitative analysis methods need large amount of basic data, therefore the landscape structure and pattern study is the category that RS technique has been used extensively. Using RS technique has also stimulated the development of quantitative methods for landscape structure and pattern study. Choosing and improvement of most landscape indices often used to describe the characteristics of landscape pattern, are strictly related to the application of RS technique.

Function study: RS data is mainly used in energy flow study of landscape, combined with field survey information, it can also be used for transferring research of nutrient elements in landscape. Although the application of RS technique in landscape function study has not achieved greatly, but a finite number of literature indicates that RS technique is a reliable tool for different ecological flow study on landscape. Along with its further development, RS technique will produce a strong support to achieve new breakthroughs in ecological function study.

Dynamic study: Most of landscape dynamic studies have used RS technique, by integrating the RS data with different kinds of natural, social, economic, and historical information, the landscape changing process can be reconstructed, and the analysis precision can be enhanced greatly. These advantages have contributed a lot to the study of internal driving mechanism of landscape changing.

Scale effect study: Scale effect is also a category that RS technique has been used widely. In the study of scale effect by using RS data, a fruitful study area is the scale sensitive analysis of landscape study methods. Because of the heterogeneous characteristics of landscape, it is very important to study the predictability of landscape analysis methods based on RS data in different resolution status.

Practice study: Biodiversity conservation and landscape planning are the two typical practice areas of landscape ecology. Because the relationship between landscape attributes and biodiversity characteristics is very complicated, RS technique has become the best tool for landscape scale biodiversity monitoring and species survey. Application of RS technique in landscape planning concentrates mainly in the areas of landscape assessment, landscape simulation, and decision-making support, and often be used together with GIS and other quantitative analysis methods.

It can be concluded that the application of RS technique, which has become an important driving force for the development of landscape ecology, has covered almost all landscape study areas. This technique has significant superiority in landscape study, but its advantages and potentials have not been practiced adequately. Tasks needed henceforth include the extending its using scope, standardization computer assistant survey methods, developing intellectualized landscape analysis system, and stimulating landscape practice study.

Key words: landscape ecology; remote sensing; geographic information system