

地理信息系统(GIS)在动物多样性研究中的应用*

周立志 李迪强** 马勇 叶晓堤

(中国科学院动物研究所 北京 100080)

关键词 GIS 空间分析能力 动物多样性 分布格局 动态变化 保护对策

生物多样性保护是当今世界关注的热点问题。动物多样性不仅是生物多样性极为重要的一部分,动物还常作为生物多样性的指示物,为生物多样性的研究提供了客观可测的依据^[1-4],因此,动物多样性研究意义重大。然而,传统的动物地理学和生态学的研究手段在动物多样性的研究中有许多局限性,难以适应生物多样性研究的新形势。在动物的物种分布方面,传统的分布图是依靠收藏的标本和野外观察地点的记录手工绘制成的,通过多幅分布图叠置获得物种分布格局的信息^[2,5-6]。在动物分布图中,由于经验数据体现不了目前分布区所受到的人类活动影响,点分布图上的空白区并不能意味着没有分布,分布范围中往往还包含着不适宜的生境,等等^[2],这种分布图实质上只能看作对某一地区物种出现可能性的预测,因此,往往带有一定程度的主观性^[7]。此外,绘图工作量大,分布图的用途也很有限。在空间分析方面,传统的分析动物多样性空间格局、动态变化及分异规律与环境因子之间关系的方法和手段多局限在一维和二维空间上,难以体现出动物多样性和环境因子在多维空间上

的内在联系。在热点地区分析方面,缺乏对就地保护系统(保护区)规划、设置、布局的科学性与合理性进行有效评估的手段,难以实现对生物多样性的有效保护。

近年来,国外发展起来一种由图像系统、地图数字化系统、数据处理系统、数据库管理系统和空间分析系统组成的,可提供多维空间数据管理和分析的计算机程序—地理信息系统(GIS),并日益普遍地应用于生物资源的管理中,为生物多样性的研究和保护提供了有效的手段。本文扼要介绍GIS的组成和空间分析功能,GIS技术在动物多样性研究中的应用,以及在我国相应领域的应用现状和前景。

1 GIS的组成和应用功能

GIS是在计算机软件和硬件支持下,应用

* 国家自然科学基金资助项目 No. 39670123“亚洲中部干旱区啮齿动物多样性空间格局的GIS应用分析”的部分工作;

** 中国林业科学院;

第一作者介绍:周立志,男,35岁,讲师,硕士;

收稿日期:1998-03-30,修回日期:1998-11-04

系统工程和信息科学理论,科学管理和综合分析具有空间内涵的地理数据,以提供规划、管理、决策和研究所需信息的技术系统^[8]。GIS由4部分组成^[9],即①数据输入系统:收集和来自地图、遥感仪等途径的空间和属性数据,②数据库管理系统;包括数据的贮存和提取系统,③数据操作和分析系统:由函数式、动态模型等组成,④数据报告系统:显示数据库中的各类数据以及处理和结果。四个功能子系统中,数据库管理系统和数据的操作和分析系统是GIS的重要组成部分。

GIS最突出的功能是综合分析空间和属性数据的功能,包括分类、提取、测量、图形处理、分层、叠加、数据地形分析、多边形叠置分析、统计分析和决策支持等。它将现实世界转化为信息世界,在计算机支持下,实现对各种数据信息进行精确而快速的综合处理与分析。

GIS的功能特点决定其与生物资源管理的必然性。世界上第一个GIS是加拿大地理信息系统(CGIS),诞生于20世纪60年代中期,用于资源管理和土地规划。由于动物本来就是自然资源的组成部分,GIS与动物管理的联系也就势在必行了。70年代以后,野生动物管理者逐渐将GIS用于规划和管理野生动物的生境,例如,利用GIS最基本的功能解决与地图有关的面积、周长计算及距离测量等问题。GIS真正在动物多样性研究中显示作用是在80年代以后,由于其具有强有力的空间分析能力,普遍应用于野生动物的保护与管理,诸如预测动物的丰富度、多度和密度^[10~11],分析动物物种的空间分布格局和生境^[12~14],确定生境丢失最终对动物产生的影响^[15],设计动物的保护体系^[16],研究生物多样性的保护对策^[1~2,5]等。GIS的高度智能化形成的智能地理信息系统(IGIS)^[5]以及近年来遥感(Remote Sensing,简称RS)、地球定位系统(Global Position System,简称GPS)和GIS日益紧密地结合形成的集成3S技术极大地增强了GIS的空间分析能力。目前,GIS正成为动物资源调查、监测、规划和管理中辅助决策最有力的现代技术。

2 GIS在动物多样性研究中的应用

2.1 研究动物多样性的空间分布格局

绘制动物物种分布图、确定物种丰富度以及预测动物的物种分布区和丰富度是研究动物多样性空间分布格局最基本的内容,为进一步研究动物的区域分布特征、分布规律、分布型组划分,探讨区系形成规律,制订生物多样性的保护对策提供科学依据。

GIS可以自动绘制动物的分布图和确定物种的丰富度。按动物采集记录的地理位置、生境、海拔高度、经纬度进行编码的GIS数据库管理系统可以对物种分布的数据随时进行提取和修改,能及时体现物种分布的动态变化,并能迅速、准确地自动绘制出物种分布图,还可以任意叠加处理,迅速得到物种丰富度信息。所得的结果可用各种形式,如统计图、彩色地图等输出。并能通过数据库为众多研究者共享信息资源。GIS自动绘图功能的应用甚为普遍,如Kepler等(1985)^[2]通过GIS得到了夏威夷岛几种雀形目濒危鸟类的分布图和丰富度;Palmeirim(1988)^[7]将GIS和遥感技术结合得到英格兰的Strathclyde地区的普通鹭巢区的分布图;Smith等^[13]在马达加斯加西部狐猴区系调查的基础上用GIS获得物种的分布图,并通过叠加得到狐猴的物种丰富度。但GIS技术所得到动物分布和丰富度图都只是作为进一步研究多样性基础。

GIS还可以较为准确地预测动物的空间分布格局。70年代以来,人们对动物的物种分布与环境的关系产生浓厚的兴趣,出现了许多动物与生境关系(WHR)的模型^[11],对预测动物的分布和丰富度起了一定的作用。利用GIS独特的空间分析能力,能使预测的过程客观、细致、迅速、准确。预测物种分布的基本过程是:首先,确定生境的特征因子与物种分布的关系,然后,在这些信息的基础上,利用数量化的动物与生境关系模型,建立物种与特定植被的联系,再根据已知物种的GIS图和植被图,产生物种分布的适宜生境图,最后得到动物物种分布图。

预测的分布结果可用多种形式逐个地显示出来,或将多个物种同时显示。通过计算地理单元中的物种数,可以得到物种在地理单元中的分布梯度信息。由于GIS在预测物种分布时,剔除了不适宜的物种生境,预测的物种分布图往往比从经验数据得到的物种分布图更准确。因此,对于那些较为偏僻的、很少有人去调查的地区,预测物种分布具有重要的意义。预测动物物种分布的例子很多^[7,10-13],例如,Palmeirim^[7]利用GIS的分类、叠加、面积计算、统计分析等功能,根据遥感(TM)图像将生境分为7类(与森林鸟类有关的有5类);并依据遥感图像获得的生境类型确定研究的取样调查地点,获得鸟类的区系组成和多度;产生研究区的生境类型图;将调查结果与生境图叠加,并结合个体的生境利用特征,进行生境适宜性分析,获得物种分布的丰富度图;根据抽样调查统计的鸟类数量,得到生境中的各种鸟类的数量和密度,并能推测出研究区各种鸟的种群大小。Palmeirim的工作不只是停留在预测物种在生境中的有无以及丰富程度,而且向预测物种分布的多度迈进了一步,是将GIS技术用于解决生态学基本问题的尝试。

GIS技术由于具有地理坐标定位的特点,可将物种、生境以及时空变化纳入地理坐标体系,通过计算机程序,大大地增强了解决空间问题的能力。结合遥感技术,利用物种分布及植被、气候等的GIS数据库,很容易解决地理单元中物种数量变化趋势的分布格局问题,并能建立物种分布和生境因子之间的联系。这种在宏观尺度上研究动物多样性的空间格局的手段在动物地理学、动物生态学以及保护生物学上都具有十分重要的意义。

2.2 研究动物多样性的动态变化

GIS能够综合自然环境(如地貌、降雨、湿度、土壤、植被)、生物环境(如竞争者、捕食者和资源的时空分布)以及历史背景(如过去的气候、区系变化、物种意外灭绝和散布)等信息,建立物种变化的动态分析模型,或与专家系统结合,提供决策和判断的依据。

生态学的模型常被用来研究生态系统中各组成部分的时空动态,GIS与生态模型结合,成为用来模拟生物多样性动态变化的强有力的手段。Koeln等将GIS与种群动态模拟模型结合,获得保护、增加或改变生境引起的美国北达科他州绿头鸭种群的动态变化。他们通过对比过去和现在的土地面积及利用情况的卫星数据,评价景观变化对水禽生境的影响。Liu等(1995)^[16]将GIS与种群动态模拟模型结合,论证森林管理计划实施对美国南卡罗来纳州松林猛雀鹀(*Aimophila aestivalis*)种群动态的影响。该地的保护对象还有红冠啄木鸟(*Picoides borealis*)等许多鸟类。由于有利于濒危鸟类红冠啄木鸟的管理措施恰好构成对松林猛雀鹀的威胁,致使松林猛雀鹀50年内灭绝的可能性大于5%。由此,他们提出了“仅着眼于一种或少数濒危物种的管理措施有可能对其他种类构成威胁”的重要结论。

自然资源管理中,在专家系统基础发展起来的智能地理信息系统(IGIS)由GIS、模型及函数式、人工智能环境的控制程序及监测目标三个子系统组成,通过追踪目标的程序,可按规则在各类专题数据间进行信息查询,即使不具备专业知识的人员也能在用户界面上顺利查询到所需的信息。Coulson等^[9]为了验证美国南部的树皮甲虫(Coleoptera: Scolytidae)暴发点的分布、多度以及规模与森林中落雷区的分布、景观结构、林相分布、气候状况、种群规模等因素相关,建立了IGIS。该系统不仅能对他的假设进行了检验,而且还能查询树皮甲虫暴发对景观的影响,进行暴发中心的分布和多度的预测。

2.3 研究动物多样性及生物多样性的保护对策

物种灭绝是一个严峻的问题,迫切需要采取有效的保护措施。据估计全球物种数约为200万到1亿^[7],随着人类活动的加剧,物种灭绝的速度不断加快,目前,人为因素造成的物种灭绝速度是自然灭绝速度的1000倍^[18]。Myers(1979)估计世界上每年约有1000个物种灭绝,不久的将来灭绝的速度可能会达到每年

5000种,有些目前仍较丰富的物种都可能很快灭绝(旅鸽的灭绝就是一个很好的例子^[1]),有些物种甚至在我们发现和认识它们之前就灭绝了。人们积极地探索生物多样性保护的途径,保护行动已在景观、生态系统、群落、物种、种群和个体六个水平上展开^[19]。但普遍认为越低水平上的保护(如保护濒危珍稀动物),代价越高,收效越小,且易产生偏颇^[5,16-17]。在群落、生态系统、以及景观和地理区域水平上保护多物种生境的多物种保护体系已被普遍接受^[1]。

GIS在制定动物及生物多样性保护对策方面发挥了重要的作用。多物种保护体系在设计保护区时需要确定物种丰富的热点地区,以便采取有效的就地保护措施。基于GIS的多物种保护的思路是通过生物多样性的指示物(如脊椎动物和蝶类等)的分布图与植被及土地利用状况图的叠加,筛选出保护区。在应用GIS评价动物保护区设置方面较为流行的是Scott(1988)提出的漏洞(Gap)分析模型。该模型借助由卫星图像获得的实际植被分布类型,以脊椎动物和蝶类等作为生物多样性的指示物,利用GIS的数据化地图的叠加功能来确定目前还没有纳入自然保护系统的物种和植被类型,以及指出物种丰富的热点地区。在生物多样性保护区的评价、规化和设计中,以GIS为基础的Gap分析能迅速而全面地对生物多样性多种成份的分布和保护状况进行评价。在加拿大、美、英等国这一模型现已普遍地用于动物多样性保护与管理的规划和评估^[2,5,20]。此外,在地理区域水平上保护生物多样性的有效模型当推Davis等(1990)^[5]提出的生物多样性信息系统。它利用GIS技术组织生物多样性的空间数据,将空间模型以及Gap分析模型用于数据的处理和分析,最后通过决策支持系统为生物多样性保护提供依据。目前,这一系统已被许多国家接受,并应用于生物多样性的保护。

3 GIS在我国动物多样性研究中的应用现状及前景展望

我国的GIS在动物多样性研究中的应用

起步较晚,但GIS在生物多样性保护、生物资源管理方面已呈现良好的应用势头,并取得较好的效果。如评价卧龙自然保护区大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)的生境^[21],规划丹顶鹤(*Crus japonensis*)^[22]和福建梅花山自然保护区华南虎^[23](*Panthera tigris amoyensis*)的栖息地,以及制定生物资源管理对策*。此外,GIS还与遥感、全球定位系统(3S)结合,通过Gap分析,对青海湖地区的普氏原羚(*Procapra przewalskii*)的生境进行评价**。我国已在着手研究和设计生物多样性信息系统(CBIS),并提出了生物多样性信息系统的概念模型,地理信息子系统(GISS)是其重要的结构组成***。我国目前已初步建成了生态系统多样性的地理信息系统,能对物种、气候、植被等因素叠加分析***。中国环境与发展国际合作委员会(CCICED)生物多样性工作组(BWG)正在建立生物多样性信息管理系统(BIMS)^[24]。该系统由于按照地理单元、生境类型及其所在的海拔高度对物种进行编码,因此,应用GIS可以确定原有及目前的生境数量,了解保护现状。

我国的生物多样性丰富度排名世界第三^[24],生物多样性保护任重道远。应用GIS研究动物多样性在我国具有广阔的前景。50年代以来,我国组织了多次大型的野生动物资源调查,积累了丰富的研究动物多样性的资料。因此,以动物作为生物多样性的指示物,应用GIS技术,在较短的时间内可预测出我国生物多样性的空间格局,并在预测的基础上辅以抽样调查,即可迅速查清家底;以脊椎动物等作为生物多样性指示物,以GIS技术和Gap分析模型的分析结果为决策依据,对目前的动物保护区进行全面评价,寻找漏洞和热点地区,合理调整和规划保护区,并制订出就地保护和易地保

* 周立阳. 地理信息系统在生物资源管理中的应用. 中国科学院动物研究所博士后研究报告, 1997.

** 李迪强. 普氏原羚的生境分析. 中国科学院动物研究所博士后研究报告, 1997.

*** 汪松、傅立国、李典谟. 生物多样性信息系统的初步建立. 中科院“八五”重大科研项目总结报告.

**** 李典谟、郭中伟、伍玉明. 生物多样性研究进展. 首届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集摘要汇编, 1994.127.

护的措施;应用 GIS 制定资源保护和利用对策,例如,评价珍稀濒危动物在生境中的地位及其与其它物种的关系,制定合理的保护措施,以及正确评价引进的经济物种对动物生境造成的生态侵入的程度,制定合理的引进方案等;应用 GIS 的数据库,建立动物(尤其是脊椎动物)的物种档案,开展长期的动态监测,以便使动物资源得到有效的保护和合理的利用。

为了发挥 GIS 在我国生物多样性保护中的潜能,目前,除了应增加在资金、设备、人员上的投入,以及广范收集生物多样性各水平的空间数据外,还应在技术规范上和国际惯例接轨,如采用统一的空间定位框架、统一的数据分类标准、统一的数据编码系统、统一的数据记录格式等,以实现全国乃至世界范围的数据共享。

参 考 文 献

- 1 Scott, J. M., B. Csuti, J. D. Jacobs *et al.* Species richness: a geographical approach to protecting biological diversity. *Bioscience*, 1987, 27:782~788
- 2 Scott, J. M., F. Davis, B. Csuti *et al.* Gap analysis: a geographical approach to protection of biological diversity. *Wildlife Monographs*, 1993, 123:1~41
- 3 Kremen, C. Assessing the indicator properties of species assemblages for natural areas monitoring. *Ecol. Applic.*, 1992, 2:203~217
- 4 Launer, A. E., D. D. Murphy. Umbrella species and the conservation of habitat fragments: a case of a threatened butterfly and a vanishing grassland ecosystem. *Biological conservation*, 1994, 69:145~153
- 5 Davis, F. W., D. M. Stoms, J. E. Estes, *et al.* An information systems approach to the preservation of biological diversity. *Inter. J. Geographical Information Systems*, 1990, 4(1):55~78
- 6 马勇,王逢桂,金善科等.新疆北部地区啮齿动物的分布和分类.北京:科学出版社,1987,19~26
- 7 Palmeirim, J. M. Automatic mapping of avian species habitat using satellite imagery. *Oikos*, 1988, 52:59~68
- 8 黄杏元,汤勤.地理信息系统.北京:高等教育出版社,1989.3
- 9 Coulson, R. N., L. J. Folse, D. K. Loh. Artificial intelligence and natural resource management. *Science*, 1987, 237:262~267

- 10 Braaschart, M. R., C. A. Johnston, R. J. Nantian. Predicting beaver colony density in boreal landscapes. *J. Wildl. Manage.*, 1989, 53(4):929~934
- 11 Bolger, D. T., T. A. Scott, J. T. Rotenberry. Breeding bird abundance in a urbanizing landscape in coastal southern California. *Conservation Biology*, 1997, 11(2):406~421
- 12 Austin, G. E., C. J. Thomas, D. C. Houston *et al.* Predicting the spatial distribution of buzzard *Buteo buteo* nesting areas using a Geographical Information System and Remote Sensing. *Journal of Applied Ecology*, 1996, 33:1541~1550
- 13 Smith, A. P., N. Horning, D. Moore. Regional biodiversity planning and lemur conservation with GIS in West Madagascar. *Conservation Biology* 1997, 11(2):498~512
- 14 Cannon, R. W., F. L. Knopf, L. R. Pettinger. Use of land-sat data to evaluate lesser prairie chicken habitats in western Oklahoma. *J. Wildl. Manage.*, 1982, 46(4):915~922
- 15 Johnston, C. A., N. E. Detenbeck, J. P. Bonde *et al.* Geographic information systems for cumulative impact assessment. *Photogram. Eng. Remote Sens.*, 1988, 54:1069~1615
- 16 Liu, J., J. B. Dunning Jr., H. R. Pulliam. Potential effects of a forest management plan on Bachman's Sparrows (*Aimophila aestivalis*): linking a spatially explicit model with GIS. *Conservation Biology*, 1995, 9(1):62~75
- 17 世界资源研究所,国际自然与自然资源保护联盟,联合国环境规划署.全球生物多样性策略.北京:中国标准出版社,1993.93,108
- 18 中国科学院生物多样性委员会.生物多样性研究的原理与方法.北京:中国科学技术出版社,1991.1
- 19 Noss, R. F. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology*, 1990, 4(4):355~364
- 20 Edwards, T. C. Jr., E. T. Deshler, D. Foster *et al.* Adequacy of wildlife habitat relation models for estimating spatial distribution of terrestrial vertebrates. *Conservation Biology*, 1996, 10:263~270
- 21 欧阳志云,张和民,谭迎春等.地理信息系统在卧龙自然保护区大熊猫生境评价中的应用研究.中国生物圈保护区,1995,3:13~18
- 22 王岐山.‘地理信息系统(GIS)支持下丹顶鹤栖息地’项目启动.中国鸟类研究简报,1997,6(2):8
- 23 黄兆锋,廖春民,常禹.应用地理信息系统(GIS)规划华南虎栖息地.野生动物,1998,11:18~19
- 24 中国环境与发展国际合作委员会.保护中国的生物多样性.北京:中国环境出版社,1997.15,33,54~56,91