

利用RS与GIS研究气候变化对植被的影响(综述)

张炜银¹ 彭少麟² 王伯荪¹ 梁士楚¹

(1. 中山大学生命科学学院, 广东 广州 510275; 2. 中国科学院广州分院, 广东 广州 510070)

摘要: 对气候变化及其对植被的影响进行综述和分析。微观方面主要研究生理生态,而在大尺度上,则利用遥感(RS)和地理信息系统(GIS)进行研究;并论述了研究气候变化对南亚热带植被影响的重要意义。

关键词: 气候变化; 植被; 遥感; 地理信息系统

中图分类号: Q948.112

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2001)03-0269-08

A REVIEW IN THE STUDIES OF THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON VEGETATION USING RS AND GIS

ZHANG Wei-yin¹ PENG Shao-lin² WANG Bo-sun¹ LIANG Shi-chu¹

(1. *School of life Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China;*

2. *Guangzhou Branch, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510070, China)*

Abstract: The application of remote sensing (RS) and geographical information system (GIS) technologies in the study of the effects of climatic change on vegetation is reviewed. Literatures and the brief contents of ecological studies using RS and GIS is presented. More attention to the study of south subtropical vegetation in China is recommended.

Key words: Climate change; Vegetation; Remote sensing; Geographical information system

1 气候变化及其对植被影响的研究

1.1 研究气候变化的意义及方法

近年来,由于自然和人类活动的干扰,特别是工业化进程的加速,引起了CO₂等大气温室气体浓度升高,加剧了气候变化的速度。全球气候变化影响着人类赖以生存和发展的基础,威胁着人类社会的持续发展,全球气候变化研究已成为目前国际科学的热点之一^[1]。全球气候变化研究的目的在于研究其对生态系统的影响及生态系统对其的反应,寻找应对策略,最大限度减少全球气候变化带来的不利影响,使得地球向着可持续发展的方向发展^[2,3]。植被作为重要的生态因子,既是气候变化的承受者,同时又对气候变化产生积极的反馈作用,是反映生态环境变化的敏感指示器。植被-气候相互作用的研究是国际地圈-生物圈计划(International Geosphere-Biosphere Programme, IGBP)的核心内容之一^[4]。

收稿日期: 2000-09-21

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(39899370); 中国科学院“九·五”重大资助项目(KZ951-B1-110); 广东省自然科学基金重大项目(980952)资助。

全球变化研究的方法极其多样,在大气与地面生态系统追踪监测的基础上,主要通过四个方面来研究:1)在时间尺度上通过古生物、古气象、古地质等研究,揭示历史上全球变化的进程与规律;2)在空间尺度上通过驱动力沿梯度变化的样带研究,揭示全球变化对空间格局的影响;3)在机理研究上,通过实验生态学研究,揭示全球变化对生态系统过程的影响;4)通过建模与仿真模拟,揭示全球变化的过程量与趋势预测^[2]。

目前,全球气候变化对植被影响的研究,不论在宏观方面或微观方面,主要都是围绕CO₂含量增高、气候变暖变干等因素对植被的影响。

1.2 植被的微观响应

微观方面主要是以生理生态为基础的实验研究^[5]。由于条件所限,主要是以草本植物,木本植物仅限于苗木为研究对象。研究结果表明,大气CO₂浓度的增加直接影响植物的生理活动和生化反应。植物的生理生态、形态结构及化学组成发生变化,光合作用加强,呼吸作用受抑制,气孔密度减少,水分利用效率提高,生物量和产量增加,关键蛋白质和酶及非结构性碳水化合物含量增加,组织中N、S含量减少,根系和花的发育提前^[5]。

在CO₂含量保持在一定范围时,随着其浓度加大,光合作用增强,直径和高度都增加^[6]。CO₂浓度倍增条件下大豆的叶片外部形态无明显变化,但气孔密度减少^[7],谷子和紫花苜蓿叶绿体超微结构发生明显变化,最为显著的是淀粉粒积累^[8]。CO₂浓度升高后,紫花苜蓿地下部分碳氮比降低,而地上部分的碳氮比升高^[9]。在大多数实验中,CO₂浓度增加时,气孔的水分传导率降低,在一定程度上降低植物的蒸腾作用,从而提高了植物的水分利用率^[10]。

CO₂含量增加,加强了温室效应,大部分地区气候将变得干燥,给植物带来负面影响。至于正面与负面影响哪一方面因素占优势,尚不能作出结论,应进行多因子对比的综合研究。因此,就CO₂浓度增加,气候变暖对植物的影响,也应从生理生态的微观方面着手,进行长期定位的综合研究,以便取得可靠的结论。

1.3 植被的宏观响应

宏观方面主要包括地球上各个生物组织层次(个体、种群、群落、生态系统和生物圈)对CO₂浓度升高和气候变暖的反应^[11]。一般来说,低组织层次(个体、种群)较易研究,而对于高组织层次(群落、生态系统和生物圈)的问题(尤其是在较大的时空尺度上)就难于处理。同时气候变化的生态效应通常要过一段时间以后才能显示出来,即有所谓的时滞现象,而且时滞的长短可能不一,给宏观方面的研究带来更多的困难。在宏观方面的研究文献较多^[12-18],但在各生物组织层次中,研究多集中于气候变化对植被生产力和树种分布影响的研究,且大多数都应用现有的某一全球气候环流模型^[18]。如Hulme等用一组气候参数与中国特征性植被类型的现实分布状况相联系,根据7个全球大气环流模型(GCM)预测合成的气候变化情景,从而预测2050年中国植被的可能变化^[19],Leverenz和Lev研究了未来气候变化对美国6个重要用材树种分布区的影响^[20],Miller等研究了气候变化对火炬松分布、存活率和生产力的影响^[21]。因各种树种和森林植被带对气候反应的机制不一,所以上述研究又往往和具体的树种和具体的植被类型有关,带有明显的地域性特征。

在植被与气候相互关系研究方面,张新时和周广胜等人做了大量的工作,将Holdridge生命地带系统和自然植被的净第一性生产力模型—Chikugo模型引入我国^[22],分析植被与气候的关系,对

中国气候植被分类进行定量研究^[23-27],并建立各种生产力模型^[28]。

利用Holdridge生命地带分类系统预测了CO₂浓度倍增条件下中国亚热带常绿阔叶林植被地带及优势种和常见种分布的可能变化:在CO₂浓度倍增,气温升高后,原来分布范围窄的变得更窄,而分布范围较宽的种则分布区越来越大^[29]。唐海萍等将室内模拟与野外调查相结合,对中国东北森林草原样带上的生物群区及其过渡带的位置与面积进行了判定,并预测了未来全球变化条件下生物群区及过渡带可能的变化趋势^[30]。

虽然关于全球气候变化对植被的影响已有许多研究,但是目前人们还并不太了解气候变化对植被究竟将产生什么样的长期影响。由于不同生物组分的生理生态特性和环境条件的不同,使其对气候变化的反应有所不同。此外,由于各组分动态变化的相互影响和反馈的复杂性,也造成了预测结果的不可靠性和不确定性。尽管如此,CO₂等温室气体含量增加和气候变暖这一事实是不容置疑的,也不能否认这种变化将会影响生态系统的结构和功能,影响植被在生物圈中所起的作用。因此对这一问题进行深入研究是十分必要和迫切的。

2 RS和GIS的应用特点和生态学研究

目前生态学研究朝着微观和宏观两个方向发展。宏观生态学研究的尺度一般为一个地区、一个国家乃至全球。如果仅靠人力,要及时并准确地在大尺度范围内收集数据是极其困难甚至是不可能的,而最有效的解决方法,就是借助周期性的航空、航天遥感摄影进行定时跟踪和监测,即利用遥感技术可以较好地解决数据收集的困难^[31]。遥感技术(Remote sensing, RS)是通过测量电磁波辐射能量的细度实现对地物的探测。根据绿色植物吸收光谱特征,人们发展了植被指数来描述植被的特征。也就奠定了植被遥感技术应用的理论基础。至今,人们已建立了几十种植被指数来提取植被信息,并减少地面土壤的干扰^[32]。在宏观生态学研究中,遥感技术提供了最重要的信息数据,对土地覆盖、土地利用的研究已达到了很细的程度,对植被变化和作物估产的研究也趋于成熟^[33]。

地理信息系统(Geographical information system, GIS)是一个以具有地理位置的空间数据为研究对象,以空间数据库为核心,采取空间分析方法和空间建模方法,适时提供多种空间和动态资源环境信息,为科研、管理与决策服务的计算机技术系统。GIS能对地图数据进行输入、分析及显示,GIS软件具有量测、叠加分析、空间数据与属性数据的联合操作及缓冲区建立等基本操作。除此之外还可针对不同问题开发不同模块,增加GIS功能^[34]。80年代末,由于GIS强大的信息处理功能,尤其是对空间信息的处理分析,引起了许多生态学家的广泛关注,他们将其引入各自的研究领域。现在GIS已经成为生态学尤其是宏观生态学研究的重要工具,1992年美国国家科学基金会将GIS作为其资助的长期生态学研究计划的关键支持工具^[35]。Aspinall讨论了GIS在全球、国家和地区等各空间尺度上的生态学中的应用^[36]。在宏观生态学的研究中,尺度问题是一个非常有趣而棘手的问题,尺度的改变不仅意味着空间大小的改变,还能伴随生态关系的变化和生态组合的变化。尺度转换问题成为限制宏观生态学发展的一个因素,而GIS在将点上研究同面上预测相连接的过程中显示出很强的能力,而且已有用GIS作尺度变换的研究。

遥感技术由于其大尺度的处理对象,扫描宽,地球曲率、目标的方向反射特征以及传感器扫描角和太阳高度的差异,均对数据影响较大,存在分辨率低、数据变形较大、几何畸变较严重等问题。因此,在处理遥感数据时,如何提高精度是一个重要的问题。随着GIS的发展,人们认识到虽然RS与

GIS是两个相对独立的技术系统,但地学研究的共同对象使两个系统有机地联系在一起。用GIS技术实现包括遥感信息在内的许多数据的复合,不仅可以提高对遥感信息解译的精度,GIS也将在参与系统分析的数据方面,受益于遥感系统。由于GIS不仅具有一般计算机制图功能,而且还具有叠加分析等空间分析功能,使它在分析植被与生态因子的相互关系以及分析植被与生态因子随着时间变化方面具独特的作用。目前GIS软件正不断完善并与遥感系统结合,已成为资源开发与环境保护的决策系统,在植被生态学的各个方面,如生物量生产力的估测、群落结构和动态、植被分布、植被分类和制图、植被资源的动态监测和管理等被广泛应用^[37-47]。

3 应用RS和GIS研究气候变化对植被的影响

植被作为生产者,在地面覆盖类型中占有重要的位置,是全球气候变化和生物地球化学循环等大尺度生态学问题研究的重点,而且植被变化本身就是全球变化研究的一个重要方面。植被动态研究在全球变化研究中占有相当的比例,遥感和GIS技术在这个区域乃至全球尺度的生态学研究中起着至关重要的作用。结合一定的植被模型或遥感信息,实现对现存植被的监测和对未来的植被变化的预测。

Hobbs等讨论了遥感在植被时空动态监测中的应用,提出了3种变化模式:季节响应(response)、年际间变动(variability)和定向的(directional)植被变化,并就植被监测中的几个问题进行了总结^[48]。而Frederiksen等则将植被多元分析与NOAA-AVHRR数据结合起来,探讨了塞内加尔植被类型和分布格局^[49]。Catt等介绍了使用几种绿度指数(greenness index)监测植被变化和植物生长状况,展现了AVHRR数据监测生态变化的潜力^[50]。Goel和Norman在综述了生物圈模型的类型、建模过程等方面后,提出了结合植被遥感建模的几个方面,即利用遥感技术能度量:植冠结构和构建气候因素、物质流和能流,植被要素的特征、土壤特性及植冠在可见光和热红外区域的辐射^[51]。

孙红雨等利用NOAA时间序列数据,进行中国植被覆盖变化的空间以及时间序列分析,并进行植被覆盖变化与气候因子相关性分析^[52]。齐晔根据归一化植被指数探讨了植被功能的地带特征及其与温度的关系^[53]。池宏康对几种植被指数进行评价,选出了适于黄土高原地区植被信息提取的最佳植被指数和方法^[54]。符淙斌等利用改进的AVHRR资料,求取了我国大陆全年52个星期的归一化植被指数的遥感图像,分析了四季植被状况的基本特征^[55]。

在地理信息应用方面,Davis和Goetz以GIS为工具,将一些环境因子如地理、地形和晴天的太阳辐射的数字图象进行加权和叠加操作,预测了加利福尼亚72 km²的*Quercus agrifolia*森林的分布,并将预测结果同利用遥感获得的实际分布进行了比较,符合率为40%^[56]。Lathrop等人利用基于栅格数据的GIS结合一个森林生态系统模拟模型预测了美国东北部森林对气候因子变化的反应,提供了一种将点尺度上的研究扩展到区域尺度上的方法^[57]。Miller将植被处理模型与GIS和植被动态演替知识系统相结合来分析植被变化^[58,59]。

在国内,陈育峰以地理信息系统为主要手段,根据Holdridge气候-植被生命地带的分类体系,研究了在目前条件下中国Holdridge生命地带空间分布的基本格局,并揭示了在CO₂倍增的情况下这一地带在空间分布、面积及海拔等方面的变化^[60]。借助GIS采用9个综合性气候参数并将土壤作为气候-植被响应关系的限制因素、地形作为影响因素,建立了中国气候-植被模式,以克服Holdridge生命地带模型在中国应用过程中的不足。结果表明新建立的模式精度较前人研究有显著提高^[61]。在

GIS支持下,结合植被地带类型图和多年的气候资料,分析了内蒙古植被地带与区域大气候的相互关系,提取出主要植被地带的水、热及综合指标的具体范围^[62]。利用景观生态学的原理和方法,研究了锡林河流域植被多样性的空间分布规律及其与气候因子的关系,得到了植被丰富度和多样性指数的空间分布图,并对两个指标以及年均降雨量和年均积温进行趋势面分析^[63]。对中国东北样带植被生物量的时空变化进行计算机模拟,以12种植被类型的绿色和非绿色生物量以及3层土壤水分为其状态变量,模拟绿色生物量被转化成AVHRR归一化植被指数(NDVI),并与1986-1990年观测到的植被指数进行了比较^[64]。根据中国不同地理区森林生产力和气候环境变量的数据构建中国森林气候生产力模型,研究了气候变化对中国森林生产力的影响,认为气候变化并没有改变中国森林第一性生产力的地理分布格局,但不同地域的森林生产力有不同程度的增加^[65]。郭泉水等在GIS和生态信息系统(GREEN)支持下,确定了几种主要造林树种的适宜分布区,根据GCM模型预测气候变化的结果及其对几种主要造林树种地理分布的可能影响^[66-68]。

在研究气候变化对植被景观影响时,也有许多应用GIS的实例。邵国凡等将地理信息系统与森林动态模型有机地结合,实现对森林景观动态的模拟和预测^[69]。高琼等运用空间仿真的方法,对东北松嫩平原碱化草地景观动态进行了模拟,试图通过对碱化草地景观动态过程与群落多样性和空间格局的关系分析探讨利用景观多样性指数和空间格局指数来解释和预测景观发展动态及其对气候变化的响应的可能性^[70]。此外,应用地理信息系统和生态信息系统技术,将我国主要森林群落的植物生活型谱进行划分,并展示了其在各植被区域的分布格局^[71]。全球气候变化在时间上的大跨度和空间上的大尺度,加上植被分布的区域性,使得全球气候变化对植被影响的研究更加复杂,借助RS和GIS技术,建立合理的模型,预测气候变化对植被的影响是一条有效的途径。

4 全球气候变化对南亚热带植被影响的研究

从北纬22°到25°30',东经111°到119°,是我国的南亚热带地区,它是热带到亚热带的过渡地带。世界上的南亚热带地区多为干旱地带,这一纬度的大部分地区缺乏有代表性的森林,我国南亚热带地区由于特殊的地理位置,位于亚洲大陆的东南部,面临太平洋,气候比世界上同纬度的其它地区湿润,大部分地区的年降雨量都在1 500 mm以上,而且季节分配比较均匀,覆盖着世界上独一无二的大面积的南亚热带常绿阔叶林,其中的植物区系成分十分丰富,地理成分复杂,富有起源古老的孑遗植物,系统进化上原始和孤立的科属以及众多的特有植物^[72]。这个森林生态系统成为全球生态学研究关注的焦点。

由于位置靠近热带,因此无论在外貌、结构以及组成种类上都和我国其它地区的常绿阔叶林有所区别,它是带有热带森林的特征。气温变化的梯度明显,对于植物来说是一个敏感带,在植物区系成分方面表现出过渡带的许多特点。随着纬度往北移,热带与亚热带成分随着气温的变化梯度而消长。从五十年代开始,以鼎湖山生态定位站为基础,进行了许多的研究^[73,74]。南亚热带作为植物分布的一个敏感带,在全球气候变化研究中具有重要的地位。至今,已有了一些关于气候变化对南亚热带植被影响的研究。如郭志华等在GIS和RS的支持下,估计了广东省植被吸收的PAR(光合有效辐射),并分析了其时空分布特征以及不同类型植被对PAR的吸收特性^[75],估计了植被的光利用率及其时空分布^[76]。此外,对第一性生产力、树木年轮对气候变化的响应等也有研究^[77,78]。随着全球变化研究进程的加快,关于全球变化对南亚热带植被影响的研究也将不断深入。

参考文献:

- [1] 陈泮勤, 郭裕福. 全球气候变化的研究与进展 [J]. 环境科学, 1993, 14 (4): 16-23.
- [2] 彭少麟. 全球变化与可持续发展 [J]. 生态学杂志, 1998, 7 (2): 32-37.
- [3] 彭少麟. 全球变化现象及其效应 [J]. 生态科学, 1997, 16 (2): 1-8.
- [4] 陈育峰. 自然植被对气候变化响应的研究: 综述 [J]. 地理科学进展, 1997, 16 (2): 70-77.
- [5] 蒋高明, 韩兴国. 大气CO₂浓度升高对植物的直接影响—国外十余年来模拟实验研究之主要手段及基本结论 [J]. 植物生态学报, 1997, 21 (6): 489-502.
- [6] 张其德, 卢从明, 冯丽洁, 等. CO₂加富对紫花苜蓿光合作用原初光能转换的影响 [J]. 植物学报, 1996, 38 (1): 77-82.
- [7] 林金星, 胡玉熹. 大豆叶片结构对CO₂浓度升高的反应 (英) [J]. 植物学报, 1996, 38 (1): 31-34.
- [8] 左宝玉, 姜桂珍, 白克智, 等. CO₂浓度倍增对谷子和紫花苜蓿叶绿体超微结构的效应 [J]. 植物学报, 1996, 38 (1): 72-76.
- [9] 丁莉, 钟泽璞, 李世仪, 等. CO₂倍增对紫花苜蓿碳氮同化与分配的影响 [J]. 植物学报, 1996, 38 (1): 83-86.
- [10] 李吉跃. 全球 (CO₂) 变化与植物水分关系 [J]. 世界林业研究, 1997, 10 (5): 16-25.
- [11] 刘建国. 全球二氧化碳浓度升高和气候变暖对六个生物组织层次的影响 [A]. 当代生态学博论 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992.
- [12] 林光辉. 全球变化研究进展与新方向 [A]. 李博. 现代生态学讲座 [M]. 北京: 科学出版社, 1995, 142-160.
- [13] 邓西民. 大气CO₂浓度上升和全球气候变化对我国农业生产的影响 [J]. 科技导报 (北京), 1995, (7): 33-35, 19.
- [14] 徐德应. 大气CO₂增长和气候变化对森林的影响研究进展 [J]. 世界林业研究, 1994, 7 (2): 26-32.
- [15] 王兵, 阎洪, 温远光, 等. 气候变化对我国森林降水截留规律的可能影响 [J]. 林业科学, 1997, 33 (4): 299-306.
- [16] Vose J M, 石培礼. 潜在气候变化对美国南部数州火炬松林生产力和排水量的影响 [J]. 人类环境杂志, 1996, 25 (7): 449.
- [17] 齐晔, Charles A S Hall. 全球变化研究中的生物圈模型I—初级生产力模拟 [A]. 李博. 现代生态学讲座 [M]. 北京: 科学出版社, 1995, 129-141.
- [18] 周广胜, 张新时, 高素华, 等. 中国植被对全球变化反应的研究 [J]. 植物学报, 1997, 39 (9): 879-888.
- [19] Hulme M, Wigley T, Jiang T, et al. Climate Change due to the Greenhouse Effect and Its Implications for China [M]. WWF, Gland, Switzerland, 1992, 57.
- [20] Leverenz J W, Lev D J. Effects of carbon dioxide climate changes on the natural ranges of six major commercial tree species in the Western U S [A]. In: Shands W E, et al. The Greenhouse Effect, Climate Change, and U.S. Forests [M]. 1987, 123-155.
- [21] Miller W F, et al. Effect of rising carbon dioxide and potential climate on loblolly pine distribution, growth, survival and productivity [A]. In: Shands W E, et al. The Greenhouse Effect, Climate Change, and U.S. Forests [M]. 1987, 157-187.
- [22] 张新时, 杨奠安, 倪文革. 植被的PE (可能蒸散) 指标与植被-气候分类 (三): 几种主要方法与PEP程序介绍 [J]. 植物生态学与地植物学学报, 1993, 17 (2): 97-109.
- [23] 张新时. 植被的PE (可能蒸散) 指标与植被-气候分类 (一): 几种主要方法与PEP程序介绍 [J]. 植物生态学与地植物学学报, 1989, 13 (1): 1-9.
- [24] 张新时. 研究全球变化的植被-气候分类系统 [J]. 第四纪研究, 1993, (2): 157-169.
- [25] 张新时. 植被的PE (可能蒸散) 指标与植被-气候分类 (二): 几种主要方法与PEP程序介绍 [J]. 植物生态学与地植物学学报, 1989, 13 (3): 197-207.
- [26] 周广胜, 张新时. 植被对于气候变化的反馈作用 [J]. 植物生态学报, 1996, 38 (1): 1-7.
- [27] 周广胜, 张新时. 全球变化的中国气候-植被分类研究 [J]. 植物学报, 1996, 38 (1): 8-17.
- [28] 周广胜, 张新时. 自然植被净第一性生产力模型初探 [J]. 植物生态学报, 1995, 19 (3): 193-200.
- [29] 倪健. CO₂倍增条件下中国亚热带常绿阔叶林优势种及常见种分布区的可能变迁 [J]. 植物生态学报, 1997, 21 (5): 455-467.
- [30] 唐海萍, 陈旭东, 张新时. 中国东北样带生物群区及其对全球气候变化响应的初步探讨 [J]. 植物生态学报, 1998, 22 (5): 428-433.
- [31] 肖笃宁. 宏观生态变化的观测与研究 [J]. 生态学进展, 1989, 6 (3): 149-155.
- [32] 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.
- [33] 肖笃宁. 宏观生态学研究的特点与方法 [J]. 应用生态学报, 1994, 5 (1): 95-102.

- [34] 朱光, 季晓燕, 戎兵. 地理信息系统基本原理及应用 [M]. 北京: 测绘出版社, 1997, 1-13.
- [35] Michener M K. GIS support vital to long-term ecological research program [J]. GIS WORLD, 1992, 5(1):58-63.
- [36] Aspinnall R J. Exploratory spatial analysis in GIS: generating geographical hypotheses from spatial data [A]. In: Michael F Worboys. Innovations in GIS [M]. Taylor & Francis, 1994, 139-147.
- [37] 刘湘南, 黄方, 周占鳌. 吉林省玉米带遥感估产信息系统实验研究 [J]. 东北师范大学学报, 1995, (3):93-97.
- [38] 浦瑞良, 宫鹏, Miller J R. 用CASI遥感数据估计横跨美国俄勒冈州针叶林叶面积指数 [J]. 南京林业大学学报, 1993, 17(1):41-48.
- [39] 许鹏, 朱进忠, 安沙舟. 利用遥感图象解译草地类型的探讨 [J]. 中国草地, 1988, 6:61-66.
- [40] 王铮, 梅安新, 刘树人, 等. 利用计算机从遥感图象识别植被类型的理论研究 [J]. 植物生态学与地植物学学报, 1989, 13(2):184-189.
- [41] 吴炳方, 黄绚, 田志刚. 应用遥感及地理信息系统进行植被制图 [J]. 环境遥感, 1995, 10(1):30-37.
- [42] 郑小贤. 美国、加拿大和日本多目的森林资源监测的现状与展望 [J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(1):53-58.
- [43] 张延敏. 地理信息系统在全球变化和生态环境研究中的应用 [J]. 资源生态环境网络研究动态, 1998, 9(2):40-42.
- [44] 徐冠华. 遥感信息科学的进展和展望 [J]. 中国科学院院刊, 1997, 12(1):4-14.
- [45] 何隆华, 杨宏伟. 应用GIS进行生态系统对酸雨的相对敏感性分析 [J]. 地理科学, 1996, 16(4):317-322.
- [46] 史培军, 陈晋. RS与GIS支持下的草地雪灾监测试验研究 [J]. 地理学报, 1996, 51(4):296-305.
- [47] 全志杰, 褚泓阳, 李云科, 等. 六盘山森林资源动态遥感与GIS监测及其马尔可夫链预估 [J]. 国土资源遥感, 1996, (3):40-44.
- [48] Hobbs R J, Mooney H A. Remote Sensing of Biosphere Functioning [M]. New York: Springer-Verlag, 1990.
- [49] Peter F, Lawesson J E. Vegetation Types and Patterns in Senegal Based on Multivariate Analysis of Field and NOAA-AVHRR Satellite Data [J]. J Vegetation Sci, 1992, 3:535-544.
- [50] Pauline C. NOAA-AVHRR data for monitoring environmental change: a case study of the Lake Eyre Region [A]. Paper presented to The 5th Australian Remote Sensing Conference [C]. Perth, 1990.
- [51] Goel N S, Norman J M. Biospheric Models, Measurements and Remote Sensing of Vegetation ISPRS [J]. J Photogram Remote Sensing, 1992, 47:163-188.
- [52] 孙红雨, 王长耀, 牛铮, 等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系—基于NOAA时间序列数据分析 [J]. 遥感学报, 1998, 2(3):204-209.
- [53] 齐晔. 北半球高纬度地区气候变化对植被的影响途径和机制 [J]. 生态学报, 1999, 19(4):474-478.
- [54] 池宏康. 黄土高原地区提取植被信息方法研究 [J]. 植物学报, 1996, 38(1):40-44.
- [55] 符淙斌, 温刚, 周嗣松, 等. 我国大陆植被变化的气象卫星遥感 [J]. 科学通报, 1992, 37(16):1486-1488.
- [56] Davis F W, Goetz S. Modeling Vegetation Pattern Using Digital Terrain Data [J]. Landscape Ecology, 1990, 4(1):69-80.
- [57] Lathrop R G Jr, Aber J D. GIS development to support regional simulation modeling of north-eastern (USA) forest ecosystems [A]. In: Micheler W K, et al. Environmental Information Management and Analysis [M]. Taylor & Francis, 1994, 431-451.
- [58] Miller D. Coupling of process-based vegetation models to GIS and knowledge-based systems with reference to vegetation change [A]. In: Michael F Worboys. Innovations in GIS [M]. Taylor & Francis, 1994, 241-250.
- [59] Miller D. Coupling of process-based vegetation models to GIS and knowledge-based systems for analysis of vegetation change [A]. In: Michener W K, et al. Environment Information and Analysis [M]. Taylor & Francis, 1994, 497-509.
- [60] 陈育峰. GIS支持的全球气候变化对中国Holdridge生命地带的可能影响研究 [J]. 遥感学报, 1997, 1(1):74-79.
- [61] 陈育峰, 李克让. 地理信息系统支持下全球气候变化对中国植被分布的可能影响研究 [J]. 地理学报, 1996, 51(增刊):26-39.
- [62] 牛建明, 吕桂芬. GIS支持的内蒙古植物被地带与气候关系的定量分析 [J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 1998, 29(3):419-424.
- [63] 刘先华, 李凌浩, 陈佐忠. 内蒙古锡林河流域植被多样性特点及其与气候因子的关系 [J]. 植物生态学报, 1998, 22(5):466-471.
- [64] 高琼, 喻梅, 张新时, 等. 中国东北样带对全球变化响应的动态模拟—一个遥感信息驱动的区域植被模型 [J]. 植物学报, 1997, 39(9):800-810.

- [65] 刘世荣, 郭泉水, 王兵. 中国森林生产力对气候变化响应的预测研究 [J]. 生态学报, 1998, 18 (5): 478-483.
- [66] 郭泉水, 阎洪, 徐德应, 等. 气候变化对我国红松林地分布影响的研究 [J]. 生态学报, 1998, 18 (5): 484-488.
- [67] 郭泉水, 阎洪, 徐德应, 等. 气候变化对油松地理分布影响的研究 [J]. 林业科学, 1995, 31 (5): 393-402.
- [68] 郭泉水, 阎洪, 徐德应, 等. 气候变化对马尾松地理分布影响的研究 [A]. 中国科学技术协会第二届青年学术年会论文集 (资源与环境科学分册) [C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995, 310-318.
- [69] 邵国凡, 赵士洞, 赵光. 应用地理信息系统模拟森林景观动态的研究 [J]. 应用生态学报, 1991, 2 (2): 103-107.
- [70] 高琼, 李建东, 郑慧莹. 碱化草地景观动态及其对气候变化的响应与多样性和空间格局的关系 [J]. 植物学报, 1996, 38 (1): 18-30.
- [71] 郭泉水, 江洪, 王兵, 等. 中国主要森林群落植物生活型谱的数量分类及空间分布格局的研究 [J]. 生态学报, 1999, 19 (4): 573-577.
- [72] 王伯荪, 彭少麟. 植被生态学—群落与生态系统 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1997, 101-107.
- [73] 彭少麟. 南亚热带森林群落动态学 [M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [74] 陈章和, 王伯荪, 张宏达. 南亚热带常绿阔叶林的生产力 [M]. 广州: 广东高等教育出版社, 1996.
- [75] 郭志华, 彭少麟, 王伯荪, 等. GIS和RS支持下广东省植被吸收PAR的估算及其时空分布 [J]. 生态学报, 1999, 19 (4): 442-447.
- [76] 彭少麟, 郭志华, 王伯荪. 利用GIS和RS估算广东植被光利用率 [J]. 生态学报, 2000, 20 (6): 903-909.
- [77] 彭少麟. 中国东部主要农业生态系统与全球变化作用机理研究 [J]. 中国科学基金, 1999, 13 (4): 204-207.
- [78] 侯爱敏, 彭少麟, 周国逸. 树木年轮对气候变化的响应研究及其应用 [J]. 生态科学, 1999, 18 (3): 16-24.

欢迎订阅 欢迎投稿

《热带亚热带植物学报》(季刊)

《热带亚热带植物学报》是中国科学院主管、中国科学院华南植物研究和广东省植物学会联合主办、科学出版社出版的国家级学术性期刊。主要刊载热带亚热带地区植物学研究的论文报告、科研简报、综述述评等;介绍植物学研究领域中各分支学科的新发现、新理论、新方法和新技术等,为推动植物学研究和开发热带亚热带植物资源,为国民经济建设和科学技术进步做出贡献。主要读者对象为本学科的研究人员、大专院校师生等。

本刊创刊于1993年,刊号为CN 44-1374/Q,是中国自然科学核心期刊。本刊多年来被美国《生物学文摘》(BA)、美国《化学文摘》(CA)、英国《CAB International》的多种专业文摘以及《中国科学引文数据库》、《中国生物学文摘》等收录。

本刊为季刊,16开,96页,2002年每册10.00元,全年订价46元(包括邮费)。可直接汇款到本刊编辑部或通过天津“联合征订服务部”订购,地址为:天津市大寺泉集北里别墅17号,邮编:300385,电话:(022)23973378。

编辑部地址:广州市乐意居华南植物研究所内,邮编:510650

电话:(020)85232414 传真:(020)85231711

E-mail: jtsb@scib.ac.cn 网址: http://xuebao.scib.ac.cn