

# 自然植被对气候变化响应 的研究: 建模

陈育峰

中国科学院  
(国家计划委员会 地理研究所, 北京 100101)

**摘 要** 预测性植被制图 (PVM) 是自然植被对气候变化响应建模的重要思想和方法, 已为国外的许多生态学家、地理学家在开展全球变化的影响研究中所采用。本文在简述了 PVM 发展过程的基础上, 对其方法进行了归纳, 并探讨了 PVM 对气候-植被响应模型研究的作用。在文中作者特别强调地理信息系统 (GIS) 在自然植被对气候变化响应建模中的重要性, 并对 GIS 支持下的构模方法和步骤进行了总结。

**关键词** 预测性植被制图 气候-植被响应建模 地理信息系统

近 20 年来随着地理信息系统 (GIS) 软硬件的飞速发展, 人们对空间数据的使用和操作也迅速地增加。从植被制图的角度大致可以分为两个层次, 较低的层次是将用传统的影像解译或地理制图所形成的植被图数字化, 然后将其与 GIS 中的其它数据融合, 用于森林植被及土地覆盖管理的辅助决策, 这种方法象似在对植被资料进行分析, 其实则不然<sup>[1]</sup>; 较高的层次则是通过一些可制图的环境变量 (如气温、降水、土壤类型等) 与典型调查所得的植被类型资料之间的某种数学关系来认识更大范围空间内的植被分布状况, 也就是说, 景观内植被空间特征的获得并非是简单地利用已有资料加以数字化的结果, 而是利用了植被生物空间属性与对其有影响的环境变量之间统计的或机制的数学关系的结果。后一层次即是国外从 70 年代中期日渐发展起来的所谓预测性植被制图 (Predictive Vegetation Mapping, PVM)。目前, PVM 已广泛地用于生物多样性保护规划<sup>[2]</sup>、生态规划<sup>[3]</sup>以及全球变化对植被的影响评价<sup>[4]</sup>。

气候-植被响应宏观静态模型仅仅是 PVM 中的一个内容, 当然也是非常重要的内容。它的建立方法和流程与 PVM 的发展有着深刻的渊源。

## 1 PVM 的发展

PVM 最早始于 Kessell<sup>[5~7]</sup>在美国冰川国家公园所进行的一系列工作。当时 Kessell 将其方法称之为“梯度建模 (Gradient Modeling)”, 并认为“梯度建模是通过 GIS 将真实的空间实体与抽象的空间模型联系起来”。与此同时代的 Roger Hoffer<sup>[8]</sup>和 Alan Strahler<sup>[9, 10]</sup>对 PVM 也作了较深入的工作。

1981 年, Elgene Box<sup>[11]</sup>利用全球植物群落与宏观气候变量之间的经验模型编制了世界植被分布图。这一工作对全球气候变化对植被影响研究起到了积极的推动作用。此后的十几年时间, 大量的 PVM 工作发表出来, 表 1 分别是近 10 年来有关 PVM 的部分总结和方法的归纳。

表 1 PVM 方法的归纳  
Tab. 1 The summary of methods on predictive vegetation mapping

因变量性质	自 变 量 性 质		
	定量型	定性型	混合型
定 量 型	回归模型	方差分析	协方差分析
	回归树	多元方差分析	多元协方差分析
	通用线性模型	回归树	回归树
		通用线性模型	通用线性模型
定 性 型	最大似然分类(MLC)	一致表法	具有优先概率的MLC
	Logit 回归模型	Logit 回归模型	Logit 回归模型
	判别分析	通用加法模型	通用加法模型
	通用加法模型	分类树	分类树
	分类树	神经网络	神经网络
		基因算法	基因算法
		专家系统	专家系统

2 PVM 与气候-植被响应模型

气候-植被响应关系的研究有着很长的历史。传统的方法如 Kppen 和 Holdridge 的世界植被分类方案等。而现代的研究则是由于全球气候快速增暖导致的人们急切地欲知气候变化对生物圈的影响这种渴望所刺激的结果, 并成为全球变化研究的国际性热点<sup>[12~ 14]</sup>。在这一问题的研究中, 众多研究者便将 PVM 的方法以及生态系统建模的方法应用其中, 取得了显著的成绩。例如, Box<sup>[11]</sup>用 100 种植物功能型与 6 个气候变量之间的相关关系所建立的全球植被模型, Woodward<sup>[15]</sup>、Woodward 和 Williams<sup>[16]</sup>建立的利用基本气候变量估算植被生物量的生理性机制模型; Neilson 等<sup>[17]</sup>、Lenihan 和 Neilson<sup>[18]</sup>建立的预测大陆尺度生命类型及生物量的生理性规则模型, 等等。

从生态系统模型分类学(Taxonomy)上严格地讲, PVM 模型基本上属于静态模型<sup>[19]</sup>。其静态的涵义在于 PVM 总是基于植被分布与环境变量之间存在着“平衡”或“准平衡”的关系这样一种假设<sup>[18]</sup>, 而从较大空间尺度和较长时间尺度上看, 这种假设是可以接受的<sup>[20]</sup>。

从研究的空间范围上看, PVM 可简单地分为两个层次, 一个是以全球、洲际、大国(俄罗斯、加拿大、中国、美国等)作为研究的空间范围, PVM 所选择的环境变量主要是气候因子, 如上述提到的Box<sup>[11]</sup>、Neilson 等<sup>[17]</sup>的工作。这时 PVM 型与气候-植被响应的宏观静态模型是等同的。另一个层次是以较小的空间范围为研究区域, PVM 所选取的变量, 除气候因子外还包括地形、坡度、坡向、土壤等环境变化。如陈育峰<sup>[21]</sup>在研究中国云南省腾冲地区香果树(*Lindera communis*)的分布时采用了年平均气温、年降水量、海拔高程、坡度、限制坡向、薄层火山灰土、饱和火山灰土、溶岩台地、盾形火山等 9 个环境变量。

同样,从研究的尺度看,气候-植被响应模型也可简单地将其分为两个层次。一个是以较大的空间为研究区域,目前采用的多是静态的构模方法,即遵循气候变化与植被响应之间存在着“平衡”或“准平衡”关系的假设,另一层次是以较小的空间为研究区域,其构模方法除采用“静态”思路外,现在正兴起动态构模的热潮,即通过动态地模拟植物个体出生、生长、死亡的全过程来预测和认识植被对“瞬间”(Transient)气候变化的每一点响应<sup>[22]</sup>。

### 3 GIS 支持下的构模方法

#### 3.1 在构模中的作用

关于 GIS 的传统定义可以表述为:一个对空间及其属性数据进行存贮、操作、更新和显示的计算机软件系统。从中可以看出 GIS 在构建数学模型中的两个基本功能:对空间特征的存贮;对空间特征的可视化表达。换句话说就是 GIS 为模型提供了可供操作的一系列数据集,并将模型运算后所产生的另一系列数据集形象地以图形、表格或其它形式在计算机屏幕上表现出来,使人们对这些结果产生清晰、直观的感觉,从而加深对问题的理解。而仅仅这两点就足以使气候-植被响应关系的研究产生质的飞跃,而成为倍受关注的研究内容之一<sup>[23]</sup>。

#### 3.2 气候-植被响应宏观静态模型的数学方法

有关的数学方法大致上可以分为三类:布尔(Boolean)模型法;参数模型法和机器学习模型法。所谓布尔法就是利用布尔逻辑或集合理论,来确定反映某一空间位置(即数据库中的某栅格)上植被类型特征的各个环境变量的阈值,各环境变量阈值的组合表示而且是唯一地表示某一植被类型的特征。植被气候分类可视为研究气候-植被响应关系布尔模型法的典范。参数模型法是利用植被类型特征与各环境变量之间的概率关系来确定植被特征的一种统计方法,其概率的判别主要是基于最大似然理论、贝叶斯理论等。最大似然分类、差别分析等经常使用的方法<sup>[24]</sup>。机器学习模型法包括分类树法(或谓决策树法)、基因算法、人工神经网络法和专家系统等。这些方法基本是无参数的(这里所指的参数是指用于研究的空间数据所应遵循的数学分布)。总的讲,它们都是基于一定的知识规则而将植被特征与环境变量联系起来<sup>[25~28]</sup>。

#### 3.3 气候-植被响应宏观静态模型的建立

气候-植被响应宏观静态模型是将 GIS 与数学模型有机融合于一体的产物。建立这一模型的目的除了根据气候等环境变量对陆地表面的植被类型加以分类之外,更重要的是能够用此模型对全球气候变化所导致的植被类型在水平与垂直三维空间上的变化作出预测。因此, GIS 支持下的模型构造可概略地分为三个步骤。

首先是空间数据库的建立。在收集整理有关植被类型特征及其气候等环境变量资料的基础上,将这些资料通过数字化或键盘输入的方式送入计算机中,使其成为数据信息。

第二是选择适当的数学方法,并通过对数学模型的不间断调试,确定植被类型特征与环境变量之间最佳的数学关系,并将计算机结果与现实状态加以比较。

最后,通过数学模型与 GIS 之间的接口将模型输出结果送回到 GIS 中,利用 GIS 的可视化功能对其进行形象地表达。

## 4 结语

(1) 随着全球变化研究的深入开展, 预测性植被制图 (PVM) 的思想及其方法已越来越为国外的植被生态学家、植被地理学家等所青睐, 并逐渐成为全球变化对森林、农业、自然生态系统等影响研究的重要手段<sup>[29]</sup>, 这一趋势应引起我国有关研究人员的高度关注。

(2) 地理信息系统 (GIS) 作为现代地理学、生态学、环境学以及全球变化影响研究的重要技术支撑, 它在地理空间数据的获取与存贮、地理对象的空间分析和地理现象的可视化表达等方面的集成式功能, 将对建立自然植被对气候变化的响应模型发挥重要作用。

## 参 考 文 献

- 1 Franklin J. Predictive vegetation mapping: Geographic modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. *Progress in Physical Geography*, 1994, **19**(4): 474~ 499
- 2 Haines-Young P. Biogeography, *Progress in Physical Geography*, 1991, **15**(1): 101~ 113
- 3 Martinez-Taberner A et al. Prediction of potential submerged vegetation in a silted coastal marsh. A lbufera of Mallorca, Balearic Islands, *Journal of Environmental Management*, 1992, **35**: 1~ 12
- 4 Plamer A R, Van Staden J M. Predicting the distribution of plant communities using annual rainfall and elevation: an example from southern Africa. *Journal of Vegetation Science*, 1992, **3**: 261~ 266
- 5 Kessell S R. Gradient modeling: a new approach to fire modeling and wilderness resource management. *Environmental Management*, 1976, **1**: 39~ 48
- 6 Kessell S R. Forum: perspective in fire research. *Environmental Management*, 1978, **2**: 291~ 312
- 7 Kessell S R. Gradient Modeling: Resource and Fire Management. New York, Springer-verlag, 1979
- 8 Hoffer R M et al. Naturel resource mapping in mountainous terrain by computer analysis of ERTS- 1 satellite data. *Agricultural Experiment Station Research Bulletin* 919, Purdue University, 1975: 124
- 9 Strahler A H et al. Improving forest cover classification accuracy from Landsat by incorporating topographic information. In proceedings of the 12th International symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, MI. Environmental Research Institute of Michigan, 1978: 927~ 942
- 10 Strahler A H. Stratification of natural vegetation for forest and rangeland inventory using Landsat digital imagery and collateral data. *International Journal of Remote Sensing*, 1981, **2**: 15~ 41
- 11 Box E O. Macroclimate and plant form. The Hague: Junk Publishers, 1981
- 12 Solomon A M. Transient response of forests of CO<sub>2</sub>- induces climate change: simulation modeling experiments in Eastern North America. *Oecologia*, 1986, **68**: 567~ 579
- 13 Prentice I C, Solomon A M. Vegetation models and global change. In Bradley R S (ed.). *Global Changes of the Past*. Boulder CO: NCAR/Office for Interdisciplinary Earth Studies, 1991: 365~ 384
- 14 Henderson-Seller A. Global terrestrial vegetation 'prediction': the use and abuse of climate and application models. *Progress in Physical Geography*, 1994, **18**: 209~ 246
- 15 Woodward F I. *Climate and Plant Distribution*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987
- 16 Woodward F I, Williams B G. Climate and plant distribution and global and local scales. *Vegetatio*, 1987, **69**: 189~ 197
- 17 Neilson R P et al. Toward a rule-based biome model. *Landscape Ecology*, 1992, **7**: 27~ 43
- 18 Lenihan J M, Neilson R P. A rule-based vegetation formation model for Canada, *Journal of Biogeography*, 1993, **20**: 615~ 628
- 19 Lowell K E. Utilizing discriminant function analysis with a geographical information system to model ecological succession spatially. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1991, **5**: 175~ 191
- 20 Cramer W P, Leemans R. Assessing impacts of climate change on vegetation using climate classification systems. In Solomon A M, Shugart H H (ed.). *Vegetation Dynamics and Global Change*. New York: Chapman & Hall, 1993:

190~ 217.

- 21 陈育峰 气候变化对森林植被的可能影响——GIS 支持下的方法研究 地理学报, 1995, **50**(增刊): 85~ 94
- 22 Urban D L et al Spatial applications of gap models Forest Ecology and Management, 1991, **42**: 95~ 110
- 23 Fischer P F Visualization of the reliability in classified remotely Sensed images Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1994, **60**: 905~ 910
- 24 Strahler A H The use of prior probabilities in maximum likelihood classification of remotely sensed data Remote Sensing of Environment, 1980, **10**: 135~ 163
- 25 Skidmore A An expert system classifies eucalypt forest types using Thematic Mapper data and a digital terrain model Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1989, **55**: 1449~ 1464
- 26 Lees B G, Riman K Decision-tree and rule-induction approach to integration of remote sensed and GIS data in mapping vegetation in disturbed or hilly environments Environmental Management, 1991, **15**: 923~ 931
- 27 Fitzgerald R W, Lees B G The application of neural networks to the floristic classification of remote sensing and GIS data in complex terrain, in Proceeding of the XV II Congress ISPRS, Bethesda, MD: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, 1992: 570~ 573
- 28 Srinivasan A, Richards J A Knowledge-based techniques for multi-source classification International Journal of Remote Sensing, 1990, **11**: 505~ 525
- 29 Watson R T et al Climate Change 1995—Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses Cambridge: Cambridge University Press, 1996: 95~ 130

## RESEARCH ON THE RESPONSE OF VEGETATION TO CLIMATE CHANGE: MODELING

Chen Yufeng

(Institute Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

### Abstract

As an important idea and methodology on modeling of the response of vegetation to climate change, predictive vegetation mapping (PVM) has been attracted for the studies on the impacts of global climate change by many foreign ecologists and geographers. This paper introduces briefly the processes of PVM studies, summarizes the methodology of PVM, and then discusses the role of PVM to model the response of vegetation to climate change. Especially, in this paper, the role of geo-information system (GIS) to model the response of vegetation to climate change is emphasized, and the methodology and process of vegetation-climate modeling by GIS are induced.

**Key words** Predictive vegetation mapping, Climate-vegetation modeling, Geo-information system

### 作者简介

陈育峰, 男, 1968 年 1 月生, 副研究员。1990 年毕业于北京师范大学地理系, 1996 年于中国科学院地理研究所资源与环境信息系统国家重点实验室获博士学位, 现主要从事 GIS 支持下的全球变化影响的区域模式研究。已出版专著 1 本, 在《地理学报》等刊物发表论文 20 多篇。