

国外末次冰期极盛期以来 陆地植物花粉研究主要进展

任国玉

(北京师范大学地理系 100875)

提 要 近20年来,国外对晚冰期和全新世陆地植物花粉的研究取得了一系列重要进展,主要体现在方法的改进,时间分辨能力的提高,植物对气候响应敏感性的研究,以及区域古环境复原等几个方面。对此做了初步介绍和评述。

关键词 末次盛冰期 晚冰期 全新世 植物花粉

70年代以来,国外第四纪工作者在末次冰期极盛期(LGM)以来陆地植物孢粉研究方面取得了大量新成果。由于现代孢粉与植物群落关系的深入调查、时间分辨率的加细和断代技术的提高、多元统计方法等定量分析技术的应用,以及空间制图工作的开展,使植物花粉分析在陆地古环境复原研究中的作用日益增强。

1 研究方法的改进

由于不同的植物花粉在生产、传播和保存等方面存在着显著差异,一种植物花粉在沉积物中全部植物花粉内所占比例与该种植物在群落中的优势度并不一致。为了真实地复原过去的植被组成和面貌,必须理解沉积物中植物花粉组成和当时植被构成之间的关系。显然,只有通过分析现代层沉积物花粉及调查现代植物群结构才能达到这一目的。自从70年代以来,欧美学者十分重视现代花粉的分析和研究,其缘由即在于此。

现代花粉研究可以通过捕捉林内空中降落花粉、采集土壤表层花粉和湖沼沉积表层花粉等方法进行研究。因为大部分根据孢粉资料复原古环境的工作都利用湖泊沉积物和泥炭堆积物,所以现代花粉研究以分析表层湖泥和沼泽地表土为最适宜。尽管由于人类活动已经干扰了陆地植被面貌,来自北美、欧洲和原苏联的工作仍表明,现代花粉谱系与宏观自然植被带内的植物构成有着较好的关系^[1,2]。现在,欧洲和北美已经建立了现代花粉数据库,分别包含1100和2500个以上样品的孢粉谱系^[3]。这些工作为解释和重建LGM以来古植被和古气候环境奠定了基础。

方法改进的另一个方面是花粉沉积速率这一概念的重新强调。花粉沉积速率(pollen ac-

收稿日期:1992-07-24,修改稿:1992-11-21

cumulation rate)又叫绝对花粉数、花粉浓度或花粉通量(pollen influx),是指单位时间内沉积在单位面积上的花粉粒数。花粉沉积速率不仅可以提供有关植被类型和盖度方面的信息,而且还能够澄清由于片面强调不同孢粉百分比值变化所引起的解释上的错误。例如,在美国康涅狄克州 Rogers 湖沉积岩芯的孢粉分析中,单独从孢粉百分比图上看,栎属花粉在 10500~10000 aB. P. 之间有明显的减少,但在沉积速率图上可以发现,这个阶段栎属花粉沉积数量保持不变,百分比图上的减少实际上是由针叶树花粉在该时段的增加引起的。这样,百分比图上栎属花粉的相对减少就不能作为气候变化的指示^[3]。目前,在精确年代测定的基础上,国外学者已经广泛地采用了孢粉沉积速率这一分析方法。

根据花粉组合资料定量估计过去气候变量的技术也得到了很快发展,如指示种方法、类比方法、转换函数或校准函数方法(calibration function)以及气候—花粉响应面方法(climate-pollen response surface)等都陆续得到研究和应用^[1,4,5]。其中目前应用比较多的是 Webb 和 Bryson 在 1972 年首先使用、后来又经过改进的校准函数方法^[4,5]。它的一般形式是:

$$C_k = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i Q_i^a + e_k$$

其中 C_k 为地点 k 的气候变量(气温、降水等), Q_i 是 n 个孢粉类型中第 i 种的百分比, b_0 、 b_i 和 a_i 都是根据现代花粉与气候资料估计的参数, e_k 是随机误差项。指数 a_i 的采用是为了在回归之前使现代气候和现代花粉百分比之间的关系线性化^[6]。因此,校准函数方法实际上就是通过多元统计分析技术,根据现代花粉和气候变量在空间分布上的关系建立回归方程,再应用这些方程式把随时间变化的化石花粉相对含量转换成相应的气候变量。

近几年发展起来的气候—花粉响应面分析技术也有很好的应用前景。它将某一类植物花粉丰度值同两个或更多的气候变量联系起来,然后依据这种关系和化石孢粉资料估算过去气候变量^[3,7]。这种方法因为也可以根据气候变量值计算过去化石孢粉百分比数值,已经在检验全新世古气候模拟结果方面发挥了重要作用^[3]。

2 植物对气候变化的响应

在气候和植物之间的相互作用中,前者处于支配地位。植被一般随着变化了的气候而改变。由于植物生长周期和传播途径等因素的影响,植被对气候迅速变化的响应存在着时间滞后问题。研究不同种植物对气候变化响应敏感性的差异已经成为近年国外研究的一个重要方面。这是因为它不仅对利用孢粉手段恢复古气候环境,而且对全球变化研究中建立地球系统综合模式均有重要意义。

在欧洲和北美进行的研究表明,LGM 阶段以来植物都有显著的向北迁移过程。但这种迁移是滞后于气候增暖过程的^[8,9]。各个种的迁移滞后时间不一样,如欧洲松属向北迁移速率可达 1500m/a,而落叶栎树只有 75~500m/a^[8]。在北美洲东部,山毛榉由东南部迁至圣劳伦斯河(St. Lawrence R.)大约用了 10000 年时间^[8],云杉从阿巴拉契亚山地扩散到现在针叶林南部花费了约 4000a 时间^[9]。这种迁移滞后效应问题给用花粉解释过去气候带来困难,因为它表明,至少在晚冰期和全新世初,植被与气候可能不是处于平衡状态,即当时植被并未达到顶极阶段。

Gear 和 Huntley(1991)根据树木年轮和细分辨率孢粉资料研究认为,*Pinus Sylvestris* 在

4000 a B. P. 左右约有 4 个世纪曾存在于苏格兰北部。这种松树林后来的迅速收缩同北欧其它地区该种松树林的南退也是同时的,因而证明和大范围气候变化有关系。分析表明,松树林边界移动速率为 375~800m/a。这和晚冰期森林植被的大规模迁移速率基本相当,并且可能代表了这类长生命周期植物的最大迁移速率^[10]。尽管当时植物对气候变化的响应比较迅速,同预测的未来全球增暖情况下为维持气候与植被平衡所需要的植物迁移速率相比较,它仍慢一个数量级^[10]。

Spaulding(1990)分析了美国西部大盆地树木和沙漠灌木的迁移差异,发现乔木组成的森林在冰后期向山上迁移很快就完成了。到 11700aB. P. 山地森林已和现在没有什么差别,而喜干热的沙漠灌木则推迟到 9500a B. P. 以后才到达那个地区。这是因为,树木在 LGM 阶段就生长在山地下部和附近低地,而沙漠灌木却移到了很南的地方。这两种类型植物在“现代化”方面的前后差异正好反映了它们扩散或迁移距离的明显不同^[11]。

植物对气候变化的响应可能还受到土壤因子的影响。美国上密执安地区全新世森林组成的演变说明了这个问题。在同一个地区,土壤质地的不同已经使森林成份发生了不同的改变,其中变化最显著的是那些生长在壤质土上的植物,而长在砂质土上的植物变化比较少。因此,在一个小区域内,根据两个邻近地点的植物孢粉资料恢复过去气候变量可能会得出不一致的结论。砂性土壤可能已经削弱了植物对气候变化响应的敏感程度^[12]。

利用模式模拟森林对迅速气候变化的响应过程表明,当生长度日减少 600(相当于年平均气温下降 2℃)时,红云杉可以取代糖槭,但这个变化发生在降温以后 100~200a。这项工作表明,化石乔木花粉记录可能难以分辨 100~200a 尺度以下的气候变化,因为在这种短时间尺度上植物种的组成与变化的气候难以获得平衡。孢粉记录可能主要指示世纪以上时间尺度的相当于滑动平均过滤的气候变化过程^[13]。

3 空间分布图式研究

在大量单点分析工作的基础上,欧美学者已经开展了对空间分布图式的研究^[3,14]。这种化石孢粉资料空间分布图式的研究对于了解过去植被的迁移响应和动态,对于分析宏观环境演变的机制等均具有十分重要的意义。按照 Webb(1985)的意见,目前比较重要的几种孢粉图形式有孢粉等值线图(isopolls map)、差值图(difference map)和等时线图(isochrone map)等。孢粉等值线图表示特定时刻某类花粉百分比含量的水平分布差异;差值图显示后一时刻相对前一时刻某类花粉百分比的变化;等时线图则反映某类花粉确定百分比等值线随时间的移动特征^[15]。

Bernabo 和 Webb(1977)绘制了美国中西部地区 11000aB. P. 以来的孢粉图^[14]。这些图清楚地显示了该区全新世各主要植物种类化石孢粉百分比含量的时空变化过程。例如,在云杉等时线图上,5%云杉花粉等值线随时间有明显的空间变动,指示这种植物在 10000~8000aB. P. 向北迁移到加拿大安大略省,后来在 4000aB. P. 又向南方移动,密执安州和明尼苏达州云杉在那个时候重新增多。这种移动的方向与中西部温度分布的现代梯度一致,因而表明气候变化是云杉孢粉含量变化的基本原因。同样,栎属花粉 20%等值线在早全新世向北迁移,但 6000a B. P. 以后又向南退缩。普列利亚草原(高草草原)种类花粉等时线图则再现了降水量从 10000 aB. P. 到 6000 a B. P. 是相对低的,6000 a B. P. 以后降水量开始增

加^[15]。

Huntley(1990)利用多元分类方法绘出了欧洲 13000 a B. P. 以来每隔 1000a 的植被地带单元图^[16]。总结这些绘图研究结果, Huntley 认为, 很多过去的植物群落缺乏现代的相似类型, 这可能是种群响应上的个体行为与气候变量随时间独立变化联合作用的结果。这些图中植被单元基本分布图式的变化反映了过去环境条件以及环境梯度方向的改变, 而从宏观的空间尺度看, 人类对植被演化历史的影响仍然比较微弱^[16]。

4 高分辨率环境演变信息提取

尽管由于植物对气候变化的响应具有平滑和滞后效应, 使得采用孢粉手段提高古环境序列时间分辨能力的工作受到了限制, 仍有一些研究人员在这方面进行了富有成效的探索。80 年代以来对大气 CO₂ 增加导致未来迅速变暖的担心进一步激起了人们对过去短尺度变化或突变事件的兴趣。孢粉分析仍不失为这种短时间尺度研究的主要手段之一。

新仙女木波动是发生在晚冰期或全新世初的一次重要突变事件, 在格陵兰冰岩芯和北大西洋海底岩芯研究中都反映得很清楚。在北大西洋两侧的陆地上, 高分辨率的孢粉研究最早发现了这个波动, 后来又陆续证实它出现的大致空间范围, 即主要发生在西欧、北欧和加拿大东部沿海^[17]。在欧亚大陆和北美大陆的其它地区以及别的大陆上是否也存在新仙女木事件信号? 这个问题的解决对于理解气候或环境演变的成因和机制至关重要, 因此吸引了不少研究人员在美国本土、阿拉斯加和南美大陆南部等地进行了一系列高分辨率孢粉分析工作。遗憾的是, 到目前为止, 这些地区有无新仙女木事件却仍处在争论之中^[17, 18, 19]。但这一事实本身至少也说明了, 在欧洲、北大西洋、格陵兰和加拿大东部以外的地区, 这种晚冰期气候突然变化信号即使存在, 可能也是比较微弱的。

晚全新世高分辨率孢粉研究现在也受到重视。Andrews 等(1981)利用转换函数和孢粉资料计算了加拿大北部 7 月平均气温的变化, 表明 4000~3500 aB. P. 气温较暖, 可能指示了加拿大北极地区中东部的区域性全新世温度适宜期。近 2000 年来 7 月气温较低, 尤以 600~200a B. P. 阶段为甚。目前的气候是近 2000a 以来最暖的^[20]。

在美国威斯康星州中北部 Hell's Kitchen 湖进行的花粉、种子和碳屑(Charcoal)研究表明, 自从 2000 a B. P. 以来, 那里至少有两次相对湿润时期, 分别在 2000~1700 aB. P. 和 600~100 aB. P., 当时白松、铁杉和黄桦花粉增多, 碳屑减少。1700~1150 a B. P. 阶段较干燥, 表现为纸桦种子、栎属和白杨花粉增加, 碳屑也较多。这种变化同美国西部树木年轮研究结果的对比有助于反映大气环流长波图式的改变^[21]。

从上边的讨论可以看到, 国外化石孢粉研究已经在前述几个方面取得了长足的发展。由于孢粉分析具有应用区域广泛、指示意义明确和实验方法简单等特点, 不仅在过去和现在, 而且在将来它仍将是重建大陆地区晚更新世和全新世古环境的最重要手段。在环境演变研究已经从单点建立序列转向空间分布图式复原的今天, 化石孢粉研究资料尤其具有其它代用资料所无法取代的重要作用。目前, 各大陆已经积累了大量 LGM 以来植物花粉分析资料, 其中不乏经过可靠测年和严格校准的定量数据, 这些资料的科学价值将会在今后的研究中进一步显示出来。

参 考 文 献

- [1] Bradley R S. Quaternary paleoclimatology. Allen & Unwin, Boston, 1985. 289—317.
- [2] Peterson G M. Recent pollen spectra and zonal vegetation in the Western USSR. *Quaternary Science Reviews*, 1983, 2; 281—321.
- [3] Huntley B. Studying global change; the contribution of quaternary palynology. *Global and Planetary Change*, 1990, 2; 53—61.
- [4] Webb T and Bryson R A. Late — and post — glacial climatic change in the Northern Midwest, USA; quantitative Estimates derived from fossil pollen spectra by multivariate statistical analysis. *Quaternary Research*, 1972, 2; 70—115.
- [5] Howe S and Webb T. Calibrating pollen data climatic Terms; Improving the methods. *Quaternary Science Reviews*, 1983, 2; 17—51.
- [6] Mac Donald G M et al. Holocene palynology; I principles, population and community ecology, palaeoclimatology. *Progress in Physical Geography*, 1991, 15; 261—289.
- [7] Kelly M G and Huntley B. An 11000—year Record of vegetation and environment from Lago di Martignano, Latium, Italy. *Journal of Quaternary Science*, 1991, (6); 209—224.
- [8] Shugart H H et al. CO₂, climatic change and forest ecosystems, In: Bolin et al(eds). *The greenhouse effect, Climatic change and ecosystems*. John Wiley & Sons, 1986. 475—521.
- [9] Davis M B. Holocene vegetational history of the eastern United States. In: Wrigyt H. E(ed.), *Late—quaternary environments of the United States Vol. 2. The Holocene*. Univer of Minnesota Press, 1983. 166—181.
- [10] Gear A J and Huntley B. Rapid changes in the range limits of scots pine 4000 years ago. *Science*, 1991, 251; 544—547.
- [11] Spaulding W G. Vegetation dynamics during the last deglaciation, southeastern Great Basin, USA. *Quater Research*, 1990, 33; 188—203.
- [12] Bernabo J C. Estimates of temperature changes over the last 2700 years in michigan based on pollen data quater. *Quater Research*, 1981, 15; 113—159.
- [13] Davis M B and Botkin D B. Sensitivity of cool—temperature forests and their fossil pollen record to rapid temperature change. *Quaternary Research*, 1985, 23; 327—340.
- [14] Bernabo J C and Webb T. Changing patterns in the Holocene pollen record of northwestern North America; A mapped summary. *Quater Resear.*, 1977, 8; 61—96.
- [15] Webb T. Holocene palynology and climate. In: Hecht A D (ed.). *Paleoclimate Analysis and Modeling*. John Wiley & Sons, 1985. 163—195.
- [16] Huntley B. European vegetation history; paleovegetation maps from pollen data — 13000yr. B. P. to Present. *Jour of Quater Science*, 1990, 5; 103—122.
- [17] Petect D M. Younger dryas climatic reversal in northeastern USA? *Quater Resear*, 1990, 33; 219—230.
- [18] Heusser C J. Late—glacial and Holocene vegetation and climate of subantarctic South America. *Review of Paleobotany and Palynology*, 1990, 65; 9—15.
- [19] Markgraf V. Younger dryas in southern South America? *Boreas*, 1991, 20; 63—69.
- [20] Andrews J T et al. Relative departures in July temperatures in northern canada for the past 6000yr. *Nature*, 1981, 289; 164—167.
- [21] Swain A M. Environmental changes during the past 2000 yr North—Central Wisconsin. *Quaternary Research*, 1978, 10; 56—68.

SOME MAJOR DEVELOPMENTS FROM ABROAD IN THE STUDIES OF FOSSIL POLLEN DURING THE LAST 18000 YEARS

Ren Guoyu

(Department of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875)

Abstract

Analyses of the fossil pollen, especially those from peat and lake sediments, has been one of the most important means for the reconstructions of paleoenvironments in the global continents. A few of major current developments in the fossil pollen studies in the countries other than China have been reviewed in the present paper. The late developments mainly include the improvements of analysing methods, the investigating of the plant responses to climatic change, the mapping of the space distribution for fossil pollen and paleoclimate, and the extracting of the paleoenvironment information with higher resolution. The author believes that it may be very helpful for Chinese scientists to know these research progresses in the other countries.

Key words: Last glacial maximum, Late Glacial, Holocene, Fossil pollen.

下 期 要 目

- Biomarkers from Recent Salt-lake Sediments Fan Pu, Zhang Baisheng et al.
 堆积的地球及其初始不均一性 欧阳自远 王世杰等
 有机岩石学的研究现状与进展 刘大锰
 论生态地层学的理论模式 肖传桃 姜衍文等
 流体与构造运动 陶玉祥 谢鸿森
 沙漠化研究的现状与进展 董玉祥
 国外资源研究及其进展 秦耀辰
 地质流体研究进展——'93 国际地质流体会议剖析 沈照理 钟佐良等
 深部物质运动的地球化学特征——地幔脱气 杜建国 王先彬等
 国际全球变化研究计划综览 孙成权 张志强
 不平衡铀系定年的新技术突破 李献华