

文章编号: 1671 - 1505 (2009) 05 - 0534 - 08

# 天山北坡玛纳斯河流域晚冰期以来植被垂直带推移\*

纪中奎 刘鸿雁

北京大学城市与环境学院, 北京 100871

**摘 要** 建立了反映天山北坡玛纳斯河流域典型花粉类型与气候指标 (湿润指数和温暖指数) 的统计函数。基于前人研究得出的玛纳斯湖沉积剖面中不同花粉的百分含量复原了晚冰期以来玛纳斯河流域古气候的变化, 并基于山地植被—气候—地形关系推断了玛纳斯河流域的植被演变过程。研究表明: 该区晚冰期以来经历了暖干—冷湿—暖干—偏冷偏湿—暖干—冷湿—暖干的气候变化过程, 植被垂直带基带相应为荒漠—荒漠草原 (在局部低洼地段发育有草原和低湿地草甸)—极旱荒漠—荒漠化草原—荒漠—荒漠草原 (局部发育低湿地草甸和草原)—荒漠的演化过程。当气候由暖干转为冷湿时, 玛纳斯河流域所有的植被界限均向下移, 此时荒漠化草原面积增大, 针叶林的下限可以到达今天的禾草草原, 同时森林带的面积有所增加。当气候由冷湿转为暖干时, 玛纳斯河流域所有的植被界限均向上移, 荒漠的面积大增, 禾草草原和森林的面积均有所减小。

**关键词** 天山 玛纳斯河流域 全新世 植被垂直带 表土花粉

**第一作者简介** 纪中奎, 男, 1980年生, 2005年北京大学生态学专业研究生毕业并获硕士学位, 现从事遥感应应用研究。

**通讯作者简介** 刘鸿雁, 北京大学教授。010 - 62759319; lhy@urban.pku.edu.cn。

**中图分类号**: Q914.1 **文献标识码**: A

## Shifting of vertical vegetation zones in Manas River drainage on northern slope of Tianshan Mountains since the Late Glacier

Ji Zhongkui Liu Hongyan

College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871

**Abstract** The statistical relationships between climate indexes (moisture index and warmth index) and typical pollen taxa were established with linear regression method on the Manas River drainage on the northern slope of the Tianshan Mountains. Climate and vegetation developments in this region were reconstructed based on the different pollen taxa content of a previously published sediment sequence from the Manas Lake, a desiccated end lake of the Manas River, as well as modern climate, vegetation and landform relationships. Since 13 000 a BP, the palaeoclimate change in this area has experienced several important stages: warm-dry, cold-moist, warm-dry, cold-moist, warm-dry, cold-moist and warm-dry, in correspondance with the climate change, ancient vertical vegetation change around the area has experienced a series of succession processes: desert, desert steppe (to develop lowland meadow and stepped locally), extreme arid desert, desert steppe, desert, desert steppe, desert. When the climate in the Manas River drainage changed from warm-dry to cold-moist, all vegetation boundaries in the area moved downward,

\*国家自然科学基金项目资助 (编号: 90102016, 40771208)

收稿日期: 2009 - 04 - 01 改回日期: 2009 - 06 - 22

hence the area of desert and forest was enlarged and the lower limit of conifer may get to current steppe. When the palaeoclimate changed from cold-moist to warm-dry, all vegetation boundaries moved upward, the area of desert was enlarged, while the area of steppe and forest was decreased, and the lower limit of conifer may get to current alpine and sub alpine meadow.

**Key words** Tianshan Mountains, Manas River drainage, Holocene, vertical vegetation zones, surface pollen

**About the first author** Ji Zhongkui, born in 1980, graduated from Peking University in 2005 with a M. S. degree. Now he is mainly engaged in research of remote sensing application.

**About the corresponding author** Liu Hongyan is a professor of Peking University. E-mail: lhy@urban.pku.edu.cn

近 30 年来, 在中国新疆干旱区有大量关于气候变化和植被演化方面的研究成果 (王开发等, 1981; 周昆叔等, 1981; 阎顺和许英勤, 1989; 韩淑媵和翟章, 1992; 潘安定, 1993; 翁成郁等, 1993; 孙湘君等, 1994; 吴敬禄等, 2003; 阎顺, 2004; Zhang *et al.*, 2008)。随着干旱区研究工作的不断深入, 一些学者认为干旱区、特别是新疆有变暖变湿的趋势 (施雅风等, 2002)。利用孢粉证据准确恢复干旱区的古气候和古植被对于预测干旱区未来气候变化及其生态响应有着十分重要的意义。

中国干旱区由一系列内陆河流域组成。每一个流域内, 山地、荒漠与绿洲构成一个完整的生态系统, 在该系统内, 山地植被垂直带分异规律明显。源于高山冰川的河流在荒漠带形成尾间湖, 因此, 尾间湖的孢粉组合情况异常复杂, 有可能反映整个流域的植被分布规律, 也有可能只反映尾间湖周边的植被状况 (朱艳等, 2001)。因此, 开展植被垂直带上表土花粉分布规律的研究对准确复原干旱区气候和植被带演化过程非常必要。

作者在分析天山北坡玛纳斯河流域植被垂直带表土花粉分布规律的基础上, 根据植被—气候关系和孢粉传播规律, 建立了现代花粉与植被、气候以及地形之间的关系, 并用这种关系推断玛纳斯河流域全新世以来的古气候和古植被变化。

## 1 研究区概况

玛纳斯河流域位于新疆昌吉回族自治州境内, 地处天山山脉北麓中段、准噶尔盆地南缘, 范围为东经 84.91°~86.52°, 北纬 43.63°~45.92° (图 1)。研究区属温带大陆性干旱、半干旱气候, 冬季寒冷, 夏季炎热, 春秋短暂, 季温差、月温差较大。

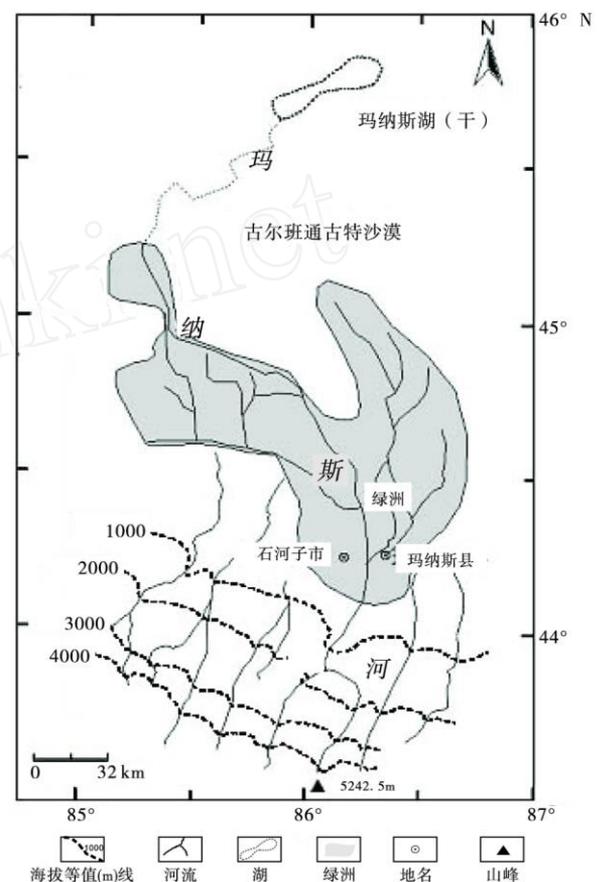


图 1 天山北坡玛纳斯河流域地理图

Fig. 1 Geography map of Manas River drainage on northern slope of Tianshan Mountains

区内主要水系是玛纳斯河, 它发源于北天山中段喀拉乌成山和依连哈比尔尕山、比依达克山 (为新疆第 2 大冰川集结地), 顺山地北坡向北流入干旱的内陆盆地—准噶尔盆地, 最后注入玛纳斯湖 (现已干枯) (图 1)。

在地貌和气候条件的控制下, 该区天然植被存

在明显的地带性分异, 从天山北坡由上而下依次是: 3400,m以上的高山区分布着稀疏低矮的垫状植被; 海拔 2700~3400,m的山区分布着高山、亚高山草甸; 1700~2700,m的中山带阴坡分布着以雪岭云杉 (*Picea schrenkiana*) 为建群种的针叶林, 阳坡则是杂类草草甸; 海拔 700~1700,m的前山带是典型草原到荒漠草原的过渡带; 低山以下的平原区以荒漠植被为主, 其类型包括了北疆地区的主要荒漠植物群系; 北部的固定、半固定沙漠中分布着主要以梭梭 (*Haloxylon ammodendron*)—白梭梭 (*H. persicum*) 为建群种的小乔木、灌木荒漠植被 (中国科学院新疆综合考察队和中国科学院植物研究所, 1978)。

## 2 研究方法

### 2.1 植被调查与表土花粉样品采集

根据研究区这种由南向北依次更替的带状自然地理格局, 利用 GPS在每个植被带选择典型的、能够代表植被带特征的样方。在海拔 700~3400,m的山地, 海拔每隔 100,m做 1个样方, 在绿洲及下游荒漠区, 由于地形平坦, 每隔 50,km做 1个样方, 共做样方 71个。森林群落样方面积为 10 m ×10,m, 灌丛群落样方面积 4 m ×4,m, 草原或者草甸群落样方面积为 2 m ×2 m。记录生境条件、种类组成和覆盖度等信息。每个样方同时采用梅花式布点, 主要采集地表的枯落物和苔藓、地衣。缺少枯落物和苔藓、地衣的样地采集少量表土。另外, 在尾间湖周边和表层沉积物采集了 20个表土花粉样品。

### 2.2 孢粉分析

采用重液浮选法提取样品中的孢粉。71个表土花粉样品经过上述方法处理后, 在显微镜下观察并统计花粉的种类和数量, 对于破损和无法识别的花粉不作统计, 表土花粉每号样品至少鉴定 400粒以上, 沉积物每号样品至少统计 250粒以上。统计后计算该样品中不同种类花粉的百分比浓度, 并将所需的表土花粉样品的花粉浓度绘制成表土花粉图谱进行分析。

对表土花粉和沉积物样品均计算百分比含量, 公式为:

$$PA(i, j) = P(i, j) / A(i) \times 100\%$$

式中,  $i$ 为样品编号,  $j$ 为孢粉编号;  $P(i, j)$ 为第  $i$ 号样品中第  $j$ 类孢粉的数量;  $PA(i, j)$ 为第  $i$ 号中第  $j$ 类孢粉占第  $i$ 号样品中陆生孢粉总数的百分数;  $A(i)$ 为第  $i$ 号样品中陆生孢粉总数。

### 2.3 气候资料分析

为了说明研究区水热组合状况的分布及其与地形和植被的关系, 结合研究区地形、植被分布状况、气象台站等特点, 选择温暖指数、湿润指数进行分析。

温暖指数由 Kira (1945) 提出, 其计算公式如下:

$$WI = \sum(t - 5)$$

式中,  $t$ 为大于 5 的月平均气温。

湿润指数由李文华 (1983) 提出, 其计算公式为:

$$MI = \sum(p/2 - t)$$

式中,  $p$ 为月均温大于 5 的各月降雨量,  $t$ 为相应月份的月平均气温。

在计算每个台站气候指标的基础上, 运用克里格法进行空间插值。

### 2.4 区域表土花粉—气候—植被转化关系及其应用

通过垂直带上不同海拔高度表土花粉组合和相应的气候指标之间的多元统计分析, 建立了表土花粉—气候转化函数。将孙湘君等 (1994) 玛纳斯湖剖面全新世沉积物孢粉组合代入转化函数, 推断这一地区全新世气候变化过程, 并根据植被—气候关系推断植被垂直带的推移。

## 3 结果

### 3.1 主要花粉类型及比值随海拔高度的分布规律

研究区主要表土花粉类型有云杉属 (*Picea*)、藜科 (*Chenopodiaceae*)、蒿属 (*Asteraceae*)、麻黄属 (*Ephedra*) 和禾本科 (*Gramineae*), 其分布规律如图 2所示。

1) 云杉属。云杉属花粉百分含量与雪岭云杉林的分布一致。海拔为 1700~2800,m时, 云杉属

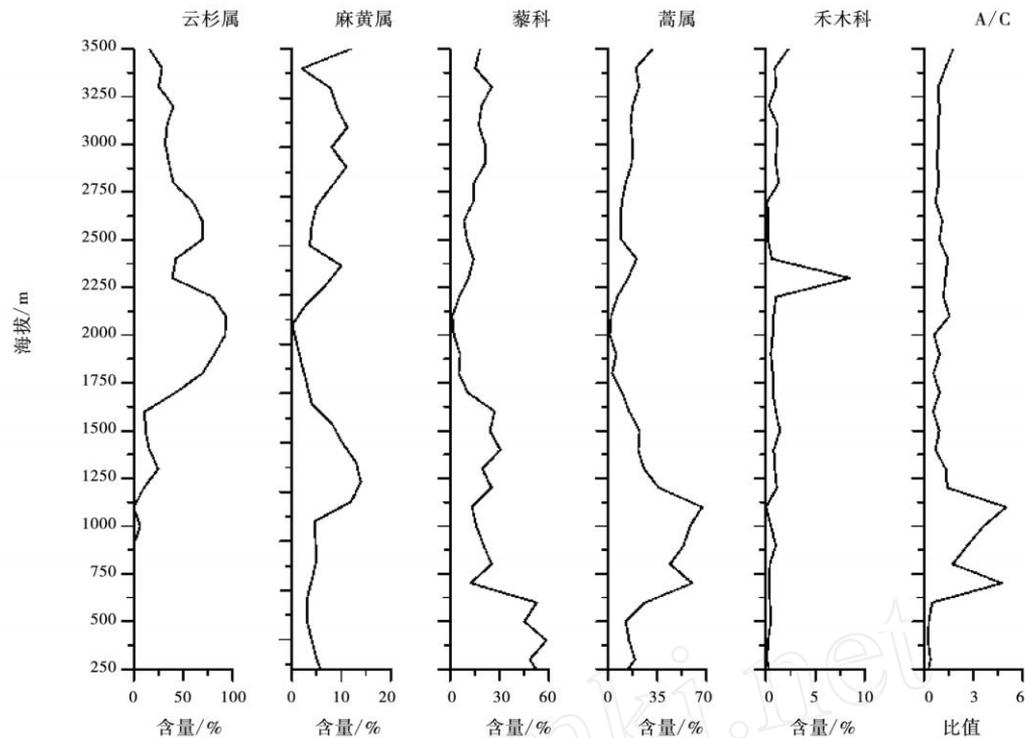


图 2 主要孢粉类型及比值随海拔高度的变化

Fig. 2 Changes of major pollen taxa and ratio corresponding to changes of altitude

花粉含量超过 40%; 2100 ~ 2200,m 时, 则达 90% 左右; 而在远离森林带的平原地区, 云杉花粉含量在 5% 以下。

2) 蒿属。蒿属花粉是表土花粉的主要组成成分, 呈现超代表性, 在海拔 700 ~ 1200,m, 蒿属花粉的含量高达 40% 左右, 根据地面植被样方资料, 该海拔段的植被为荒漠化草原。在高海拔地区和低海拔地区, 蒿属花粉的含量相对于荒漠化草原带而言较低, 但是含量维持在 20% 左右, 这说明蒿属花粉存在两个分布的高值区, 即低温高湿区和半干旱高温区。

3) 藜科。藜科花粉除在海拔 1700 ~ 2600,m 和 600 ~ 1100,m 含量较低外, 其余海拔段含量都较高, 根据野外植被样方调查结果, 1700 ~ 2600,m 是山地针叶林带, 而云杉花粉在这个带具有更高的含量, 600 ~ 1100,m 对应的是山地草原带。在上述海拔范围外, 藜科花粉含量很高, 尤其是在海拔 700,m 以下, 花粉浓度高达 50% 左右, 充分反映藜科植物耐旱喜干的特点。在针叶林带以

上, 藜科花粉含量也较高, 海拔 3300,m 时含量为 25%, 一方面由于藜科花粉产量较大, 另一个方面可能由于大量放牧, 导致藜科植物盖度相对增大。

4) 麻黄属。麻黄属花粉在干旱区也属于常见种类, 相对于蒿属和藜科, 其花粉含量较低, 但是在干旱区麻黄花粉具有代表性意义。由图 2 可知, 麻黄花粉除了在海拔 1700 ~ 2300,m 内含量偏低外, 其余海拔段花粉含量都较高, 尤其是在海拔 1100 ~ 1600,m 范围内, 含量高达 14%。

5) 禾本科。研究区禾本科花粉含量都不是很高, 维持在 1% 左右, 只有在海拔 2200 ~ 2400,m 时, 含量突然增加, 这可能与取样点的禾本科植物偏多有关, 但并不能代表该带的实际植被情况。

6) 蒿藜 (A/C)。海拔 700 ~ 1100,m 范围内, A/C 值很高, 均大于 1.5, 而在 700,m 以下, A/C 值很小, 均小于 0.5, 而 700 ~ 1100,m 的范围属于荒漠草原带, 700,m 以下主要是荒漠, 这说明 A/C 值可以区分荒漠和荒漠草原带, 其数值变化规律在一定程度上反映了区域的干湿情况。而在其

他海拔高度, A/C值规律并不明显,这主要是与蒿属和藜科植物的生态地理特征有关,也就是说A/C值只能在一定范围内反映环境的干湿程度。

### 3.2 表土花粉—气候—植被的关系分析

花粉指标的选取遵循以下原则:(1)尽可能多地利用表土花粉的信息;(2)选择现代植被优势植物的花粉;(3)选取表土花粉百分含量中占优势的花粉;(4)选取具有较好空间分布规律的表土花粉及其组合。基于上述原则,选择云杉属(*Picea*)、蒿属(*Artemisia*)、藜科(*Chenopodiaceae*)、麻黄属(*Ephedra*)、柽柳属(*Tamarix*)、蒿藜(A/C)和乔木/非乔木7个指标。气候指标采用温暖指数(WI)和湿润指数(MI),根据表土花粉取样位置,获得每个样点对应的温暖指数和湿润指数值。

利用多元逐步线性回归方法分别建立云杉属、蒿属、藜科、麻黄属、柽柳属、蒿藜和乔木/非乔木(自变量)与温暖指数和湿润指数(因变量)的统计关系,将置信区间设置为95%。由于研究区表土花粉的垂直分异明显,森林带以云杉属花粉占绝对优势,而湖区周围几乎没有云杉花粉。考虑

到尾间湖一般分布在荒漠带,故剔除非云杉属花粉。进一步利用多元逐步线性回归方法分析湿润指数和花粉指标之间的关系时,只有藜科、麻黄属、蒿藜比值通过检验,回归模型为:

$$MI = 251.281 - 6.237C - 36.689A/C$$

$$WI = 77.057 + 0.378C - 1.759E$$

其中,MI为湿润指数,WI为温暖指数,C、A、E分别为藜科、蒿属和麻黄属花粉百分含量。

### 3.3 玛纳斯湖剖面反映的晚冰期以来温暖指数与湿润指数的变化

自晚冰期以来玛纳斯湖地区气候总体表现为冷湿、暖干的组合特征,并在全新世中期经历了1次典型的干旱事件(图3)。

### 3.4 玛纳斯河流域全新世植被垂直带的推移

基于研究区植被分布与气候条件的关系,可以定性推断区域不同植被界限的变化与气候变化之间的关系,进而推断植被垂直带位置变化与气候变化之间的关系。气候朝暖干方向变化时,各植被界限上移;而气候朝冷湿方向变化时,各植被界限下移。由于山地地形效应的影响,在植被带上移的过

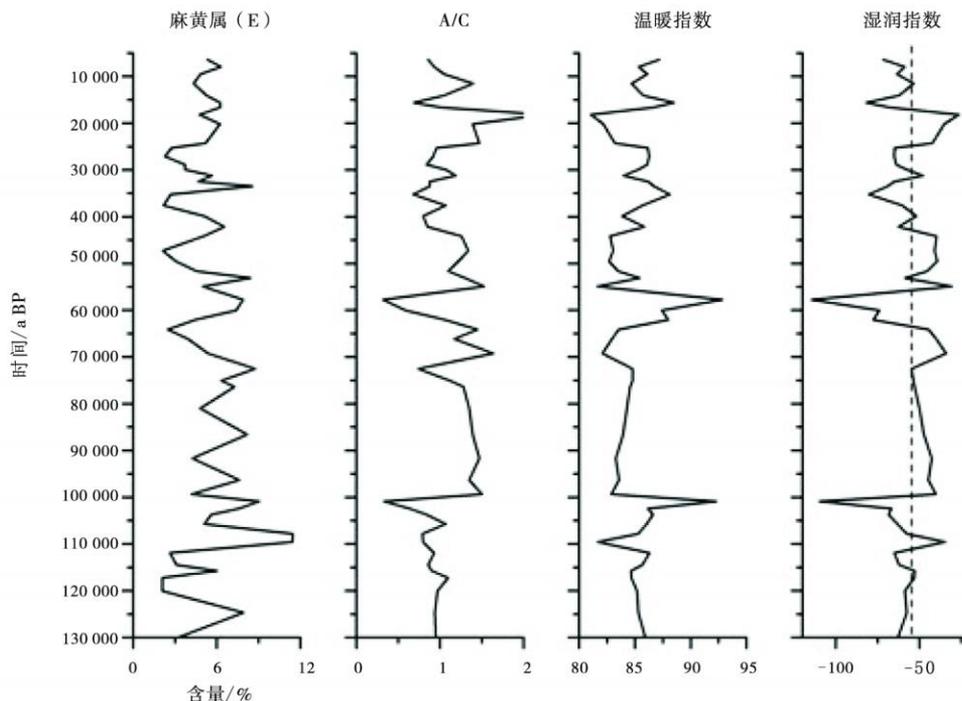


图3 玛纳斯湖剖面主要孢粉指标及复原的温暖指数和湿润指数(孢粉指标引自孙湘君等,1994)

Fig.3 Major pollen taxa and reconstructed Warmth Index (WI) and Moisture Index (MI) in Manas Lake Profile (Pollen data cited from Sun *et al.*, 1994)

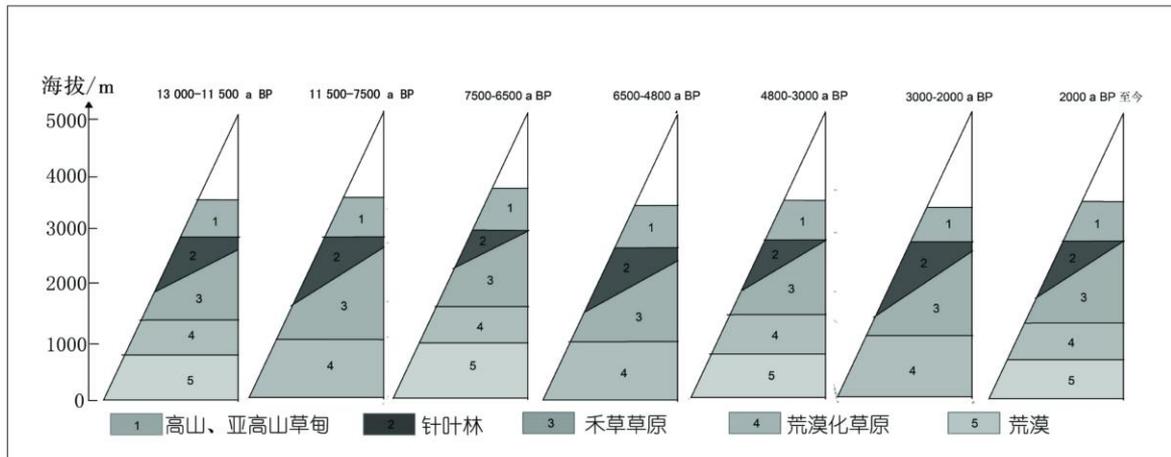


图 4 全新世以来玛纳斯河流域植被垂直带的推移

Fig. 4 Shifting of vertical vegetation zone on the Manas River drainage since the Holocene

程中，荒漠化草原、草原、针叶林以及亚高山、高山草甸的面积缩小，而处于基带的荒漠面积扩大。在植被带下移过程中会出现相反的变化。

根据图 3 中研究区晚冰期以来气候变化过程和前文关于气候变化对植被垂直带动态影响的分析，可以推断区域植被垂直带推移过程如图 4 所示。

第 1 阶段：大约在 13,000—11,500 a BP。玛纳斯湖区气候暖干，湖区周围为荒漠。当时湖区的温暖指数高于现在的温暖指数，所以在全新世初期，玛纳斯河流域的所有植被分带界限均上移，荒漠带的面积扩大，森林带移至当前的高山、亚高山草甸带附近。

第 2 阶段：大约在 11,500—7500 a BP。玛纳斯湖区气候由暖干转为冷湿，湖区周围植被主要为荒漠草原，在局部低洼地段发育有草原和低湿地草甸。此时湖区的温暖指数小于现今，而湿润指数高于现今，玛纳斯河流域所有的植被界限均下移，荒漠带的面积比现在的小，森林带的面积有所增加，森林带的下限可到今天的禾草草原带。

第 3 阶段：大约在 7500—6500 a BP。玛纳斯湖区气候由冷湿转暖干，湖区周围发育极旱荒漠。这个时期为全新世中期，此时温暖指数逐渐增高，并达到整个全新世的最大值，在该时间段，玛纳斯河流域荒漠植被面积增大，禾草草原、森林的面积均有所减小，森林带的上限可到当前的高山、亚高山草甸。

第 4 阶段：大约在 6500—4800 a BP。在经过全新世中期的暖干事件后，气温开始逐渐降低，玛纳斯湖地区气候特征为偏冷偏湿，湖区周围的植被

由荒漠逐渐演变为荒漠化草原。该阶段湖区的湿润指数高于现今，所以所有植被界限均下移，禾草草原和荒漠化草原的面积有所增加，荒漠的面积锐减，针叶林带的下限可至当前的禾草草原带。

第 5 阶段：大约在 4800—3000 a BP。玛纳斯湖区气候波动较大，但总体气候表现为暖干，湖区周围的植被为荒漠。在这个时期，湖区的温暖指数和湿润指数与现在的几乎相同，所以植被分布格局与现在非常相似。但是相对于前一个时期，荒漠化草原面积减小，荒漠化草原退到现今荒漠化草原的位置。

第 6 阶段：大约在 3000—2000 a BP。玛纳斯湖区为典型的冷湿气候，植被为荒漠草原，局部发育低湿地草甸和草原。此时，湖区的湿润指数达到整个全新世期间的最大值，所以玛纳斯河流域所有植被界限均下移，同第二阶段相比，荒漠化草原的面积更大，禾草草原和森林以及高山、亚高山草甸的面积均增加，森林带的下限可以到达今天的禾草草原。

第 7 阶段：大约 2000 a BP 到现在。玛纳斯湖区气候波动较频繁，但整体表现为冷湿转为暖干，湖区周围的植被总体上为荒漠，植被分布格局与现今非常相似。

## 4 讨论

### 4.1 干旱区 A/C (蒿/藜) 比值指示环境变化的意义

A/C 是蒿属花粉与藜科花粉百分含量的比值，

在干旱与半干旱区,  $A/C$ 值的大小指示干旱区植被生态的意义 (ElMoslimany, 1990), 并且常常用来恢复古植被和古气候。

大量的孢粉资料表明, 蒿属和藜科花粉是干旱半干旱区常见的花粉类型, 是荒漠和荒漠化草原以及草原的主要花粉类型 (阎顺, 1991)。蒿属花粉的分布存在 2 个高值区, 即低温高湿区和半干旱高温区, 前者表现为蒿属花粉多分布于草甸和草原, 后者表明蒿属花粉多分布于荒漠化草原和荒漠之中。藜科花粉的分布对于湿度更为敏感, 其分布的丰度多随着干旱程度的增加而增加, 其更多分布于荒漠和荒漠草原 (孙湘君等, 1996)。根据前人的研究,  $A/C$ 值越低, 花粉谱所代表的环境就越干旱 (阎顺和许英勤, 1989; 阎顺, 1991; 翁成郁等, 1993; 许英勤等, 1993; 王琚瑜等, 1996; 陈辉等, 2004; 吕新苗等, 2004; 李月丛等, 2005), 并且孙湘君等 (1994) 综合新疆西昆仑、柴窝堡、阿勒泰等地的表土花粉资料得出如下结论: 荒漠区  $A/C$ 值在 0.5 以下; 荒漠草原约在 0.5 ~ 1.2; 草原区一般大于 1, 并且特别提出在使用该指标恢复古环境时, 必须保证蒿属和藜科花粉百分含量总和超过 50%。

就研究区域而言, 海拔 700 ~ 1100 m 范围内,  $A/C$ 值很高, 均大于 1.5, 属于荒漠草原带; 而在 700 m 以下,  $A/C$ 值很小, 均小于 0.5, 主要是荒漠, 这说明利用上述  $A/C$ 值规律可以区分荒漠和荒漠草原带, 其数值变化规律也在一定程度上反映了区域的干湿情况。而在其他海拔高度,  $A/C$ 值规律并不明显, 这主要与蒿属和藜科植物的生态地理特征有关, 即  $A/C$ 值在一定范围内是可以反映环境的干湿程度。但是上述规律并不具有普适性, 比如在禾草草原,  $A/C$ 值变化规律就不确定, 可以大于 1, 也可以小于 1, 所以不能仅依靠  $A/C$ 值的大小就判断干湿的变化, 必须结合花粉所在区域的植被和气候状况考虑, 有时还要考虑人为活动, 如王琚瑜等 (1996) 在分析内蒙古中部花粉分布规律时, 提出草原受到人为干扰活动越强烈, 则蒿属植物会较少, 藜科植物会增加, Liu 等 (2006) 进一步量化了草原带气候变化和人类活动对藜科花粉含量增加的贡献, 认为藜科花粉含量的增加主要是气候旱化所致, 但人为活动的影响也不容忽视。因

此, 在使用  $A/C$ 值来恢复古环境时, 必须分析表土花粉中  $A/C$ 值与植被和气候变化的关系。

#### 4.2 利用尾间湖孢粉证据推断内陆河流域古环境的方法

在新疆天山北麓准噶尔盆地及周边地区, 很多孢粉研究工作都集中在利用众多尾间湖沉积物孢粉数据恢复区域的古植被和古气候, 如在巴里坤湖 (韩淑媵和翟章, 1992)、柴窝堡 (王开发等, 1981; 阎顺, 1991)、草滩湖 (Zhang *et al.*, 2008)、玛纳斯湖 (孙湘君等, 1994; 林瑞芬等, 1996)、艾比湖 (吴敬禄等, 1996, 2003) 和乌伦古湖 (羊向东和王苏民, 1994) 等。

综合分析前人在新疆干旱区的孢粉研究工作, 特别是在利用尾间湖的孢粉数据恢复区域古气候和古植被方面, 主要的问题是仅仅根据尾间湖沉积物孢粉数据恢复该区域的古气候和古植被, 没有充分考虑尾间湖孢粉的沉积环境、孢粉的来源和传播机制, 即没有区分尾间湖中孢粉数据反映的是整个流域的植被状况抑或是尾间湖周边的植被状况。不同的学者基于对干旱区植被与气候关系的不同认识, 会选择不同的孢粉组合作为解释过去植被和气候演化的基础, 得到的结论不具有可比性, 有些甚至相互矛盾, 如有人认为新疆地区全新世以来的气候特征和东部季风区一样, 水热组合特征为冷干和暖湿 (文启忠和乔玉楼, 1990; 孙湘君等, 1994; 吴敬禄, 1995), 但另一部分人则认为主要表现为冷湿、暖干的组合 (李吉均, 1990; 韩淑媵和翟章, 1992; 潘安定, 1993)。

作者提出的解释模式既定性地分析了表土花粉分布与植被、气候和地形之间的关系, 又利用逐步回归分析方法建立了区域重要花粉与气候指标之间的定量函数关系, 在全面分析尾间湖孢粉沉积环境后, 利用该函数关系定量恢复了区域的古气候。分析结果既能与现在的气候进行对比, 同时也可以同他人的研究成果相比。但是, 该模式只分析了其中一种情况, 即尾间湖孢粉主要来源于湖区周围, 而非整个流域。如果尾间湖花粉来源于整个流域, 则其孢粉沉积反映的是整个流域的植被演变情况, 在这种情况下, 须要充分分析尾间湖孢粉传播机制, 明确哪些花粉是来自上游, 哪些花粉来自湖区周围, 这样才能正确恢复区域的古环境。

## 5 结论

利用多元逐步线性回归方法分析湿润指数、温暖指数与典型花粉指标之间的统计关系, 建立了反映玛纳斯河流域典型花粉类型与湿润指数和温暖指数分布规律的统计函数:

$$MI = 251.281 - 6.237C + 36.689A/E$$

$$WI = 77.057 + 0.378C - 1.759E$$

其中,  $MI$  为湿润指数,  $C$ 、 $A$ 、 $E$  分别代表藜科、蒿属和麻黄属花粉的百分含量。

大约从 13,000 a BP 至今, 玛纳斯湖区的气候经历了暖干—冷湿—暖干—偏冷偏湿—暖干—冷湿—暖干, 湖区周围的植被相应为荒漠—荒漠草原(在局部低洼地段发育有草原和低湿地草甸)—极旱荒漠—荒漠化草原—荒漠—荒漠草原(局地发育低湿地草甸和草原)—荒漠的演替过程。玛纳斯湖区气候由暖干转为冷湿时, 玛纳斯河流域所有的植被界限均向下移, 此时荒漠化草原面积增大, 针叶林带的下限可以到达今天的禾草草原, 同时森林带的面积有所增加。玛纳斯湖区气候由冷湿转为暖干时, 玛纳斯河流域所有的植被界限均向上移, 荒漠的面积大增, 禾草草原和森林的面积均有所减小, 森林带的下限可到今天的高山、亚高山草甸。

## 参 考 文 献

- 陈辉, 吕新苗, 李双成. 2004. 柴达木盆地东部表土花粉分析 [J]. 地理研究, 23(2): 201 - 210.
- 韩淑媿, 翟章. 1992. 北疆巴里坤湖内陆型全新世气候特征 [J]. 中国科学, 22(11): 1201 - 1207.
- 李吉均. 1990. 中国西部地区晚更新世以来环境变化模式 [J]. 第四纪研究, 32(3): 197 - 203.
- 李文华. 1983. 横断山区森林植被分布与水热因子相关的量化研究 [C]. 见: 横断山考察文集. 云南昆明: 云南人民出版社.
- 李月丛, 许清海, 阳小兰, 等. 2005. 中国草原区主要群落类型花粉组合特征 [J]. 生态学报, 25(3): 555 - 564.
- 林瑞芬, 卫克勤, 程致远, 等. 1996. 新疆玛纳斯湖沉积柱样的古气候古环境研究 [J]. 地球化学, 25(1): 63 - 72.
- 吕新苗, 陈辉, 李双成, 等. 2004. 东祁连山表土花粉组合及其数量特征 [J]. 山地学报, 22(2): 199 - 206.
- 潘安定. 1993. 北疆晚更新世以来植被与气候演化的初步研究 [J]. 干旱区地理, 10(3): 30 - 37.
- 施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 2002. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨 [J]. 冰川冻土, 24(3): 219 - 226.
- 孙湘君, 杜乃秋, 翁成郁, 等. 1994. 新疆玛纳斯湖盆周围近 14000 年

- 以来的古植被古环境 [J]. 第四纪研究, 36(3): 239 - 248.
- 孙湘君, 王璋瑜, 宋长青. 1996. 中国北方部分科属花粉—气候响应面分析 [J]. 中国科学, 26(5): 431 - 436.
- 王璋瑜, 宋长青, 孙湘君. 1996. 内蒙古中部表土花粉研究 [J]. 植物学报, 38(11): 902 - 909.
- 王开发, 郭柏林, 潘安定. 1981. 新疆柴窝堡地区第四纪孢粉组合及其古气候 [J]. 新疆大学学报, 2: 113 - 119.
- 文启忠, 乔玉楼. 1990. 新疆地区 13000 年来的气候序列初探 [J]. 第四纪研究, 32(4): 363 - 368.
- 翁成郁, 孙湘君, 陈因硕. 1993. 西昆仑地区表土花粉组合特征及其与植被的数量关系 [J]. 植物学报, 35(1): 69 - 79.
- 吴敬祿, 沈吉, 王苏民, 等. 2003. 新疆艾比湖地区湖泊沉积记录的早全新世气候环境特征 [J]. 中国科学 (D 辑), 23(6): 569 - 575.
- 吴敬祿, 王苏民, 王洪道. 1996. 新疆艾比湖全新世以来的环境变迁与古气候 [J]. 海洋与湖泊, 27(5): 524 - 530.
- 吴敬祿. 1995. 新疆艾比湖全新世沉积特征及古环境演化 [J]. 地理科学, 15(1): 39 - 46.
- 许英勤, 阎顺, 贾宝全, 等. 1993. 天山南坡表土孢粉分析及其与植被的数量关系 [J]. 干旱区地理, 16(3): 1 - 9.
- 阎顺. 1991. 新疆第四纪孢粉组合特征及植被演替 [J]. 干旱区地理, 14(2): 1 - 8.
- 阎顺. 2004. 乌鲁木齐东道海子剖面的孢粉分析及其反映的环境变化 [J]. 第四纪研究, 46(4): 463 - 468.
- 阎顺, 许英勤. 1989. 新疆阿勒泰地区表土孢粉组合 [J]. 干旱区地理, 12(1): 26 - 33.
- 羊向东, 王苏民. 1994. 一万多年来乌伦古湖地区花粉组合及其古环境 [J]. 干旱区研究, 17(2): 7 - 10.
- 中国科学院新疆综合考察队, 中国科学院植物研究所. 1978. 新疆植被及其利用 [M]. 北京: 科学出版社.
- 朱艳, 陈发虎, 张家武, 等. 2001. 沉积环境对孢粉组合影响的探讨 [J]. 沉积学报, 19(2): 186 - 191.
- 周昆叔, 梁秀龙, 刘瑞玲. 1981. 天山乌鲁木齐河源冰川和第四纪沉积物的孢粉学初步研究 [J]. 冰川冻土, 3(增): 97 - 105.
- ElMoslimany A. 1990. The Ecological significance of Common Nonar-boreal Pollen: Example from Dryland of the Middle East [J]. Review of Palaeobotany and Palynology, 64: 343 - 350.
- Kira T. 1945. A new classification of climate in eastern Asia as the basis for agricultural geography [J]. Horticultural Institute, Kyoto University, Kyoto: 1 - 23.
- Liu H, Wang Y, Tian Y. 2006. Climatic and anthropogenic controls of surface pollen in East Asian steppes [J]. Review of Palaeobotany and Palynology, 138(3 - 4): 281 - 289.
- Zhang Y, Kao Z, Ni J, et al. 2008. Pollen record and environmental evolution of Caotianhu wetland in Xinjiang since 4550 cal a BP [J]. Chinese Science Bulletin, 53(7): 1049 - 1061.

(责任编辑 郑秀娟)