

# 云南昆明盆地中更新世晚期以来的 孢粉记录及古气候演化

许哲平<sup>1)</sup>, 陈建强<sup>2)</sup>, 肖景义<sup>3)</sup>

1) 中国科学院植物研究所, 北京, 100093;

2) 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京, 100083; 3) 青海师范大学地理系, 西宁, 810008

**内容提要:**通过“昆明市活断层探测与地震危险性评价”项目获得了昆明盆地的东西两侧各一个钻孔的孢粉资料和测年数据, 对比分析了昆明盆地自中更新世晚期以来的植被演替和古气候演化。研究表明, 沉积环境对孢粉记录有重要的影响作用。近 200 ka BP 以来, 昆明盆地总体经历了温凉偏干(201~180 ka BP)—温和偏干(180~132 ka BP)—温暖偏干(132~89 ka BP)—温和偏湿(89~75 ka BP)—温暖湿润(75~38 ka BP)—温凉偏湿(38~22 ka BP)—温暖偏干(22~6 ka BP)的气候变化。从区域和全球对比上来看, 昆明盆地与滇中和滇西地区的气候变化较为一致, 同时又有自身的一些特点。

**关键词:**孢粉记录; 中更新世; 古气候演化; 昆明盆地

昆明盆地位于云南高原中部、青藏高原东南缘, 主要受西南季风系统的影响。盆地的形成和演化受到青藏高原隆起的影响, 并在近 3.4 Ma 连续的湖相沉积物中忠实地记录下各类气候和构造事件, 其中的孢粉记录能够较为可靠地反映地质时期古植被和古气候信息, 可以进一步用于反映古季风变化、区域构造抬升、青藏高原隆起等方面。由于受到测年数据的限制, 前人对昆明盆地的气候演化集中在低精度的第四纪气候演化(中国科学院南京地理与湖泊研究所等, 1989; 刘宝珺等, 1990; Yu et al., 1990)(基于古地磁数据的相对年龄)和近 10 ka 以来(孙湘君和吴玉书, 1987; Jarvis, 1993; 吴艳宏等, 1998)的时期, 但是古地磁数据缺乏绝对年龄, 而全新世以来的气候变化研究对于长时间尺度的区域和全球气候变化对比缺乏支持, 两者均影响了古气候演化研究的对比精度和可靠性。本文通过“昆明市活断层探测与地震危险性评价”项目获得了测年数据以及两个钻孔自中更新世晚期以来的孢粉资料, 并对此进行对比和分析。

## 1 自然地理概况

昆明盆地(24°25'~25°15'N, 102°31'~102°55'E)位于云南省中东部, 作为省会城市, 昆明盆地的研究

历史比较悠久, 特别是解放后城市发展和经济增长的需要, 前人进行了基础地质和水文工程地质的大量研究, 在地层、沉积相分析、气候变化等方面取得了一系列的成就。昆明盆地以滇池湖为中心, 群山环抱, 由内向外, 由低到高呈现湖面、三角洲平原与湖滨平原、冲积平原与台地、丘陵和边缘山地等 4 个层次的地貌景观。湖面海拔平均为 1886 m, 山地海拔 2000~2820 m。盆地水系属长江流域, 滇池为一源头型淡水湖泊。入湖的大小河流有 20 多条, 主要有西白沙河、盘龙江河、东白沙河、梁河、柴河、晋城大河和晋宁大河等。其中以盘龙江最长, 全长 105 km。

盆地气候主要受西南季风影响, 干湿分明, 属亚热带夏雨温凉气候。年平均气温 14.7℃。最冷为 1 月, 平均 7.7℃, 最高为 7 月, 平均 19.8℃。最冷月极端低温为 -5.5℃, 极端高温为 31.5℃。昆明盆地及邻近山地的自然植被与滇中高原的面貌基本相同, 为中亚热带常绿阔叶林、针叶林带。从高原基面带到 2900 m 左右为亚热带常绿阔叶林和针叶林带, 主要常绿阔叶乔木有滇青冈、黄毛青冈、高山栲、元江栲等, 针叶树种主要为云南松; 2300~3200 m 为温性针叶林与针阔混交林带, 代表性植物为云南松, 较高处混有云杉、冷杉、槭、桦和榛等落叶阔叶树, 低处混有松和常绿阔叶树; 3100~3200 m 以上

注: 本文为云南省地震局“十五”重点项目(编号 YN150105T044)资助成果。

收稿日期: 2008-05-07; 改回日期: 2008-07-26; 责任编辑: 周健。

作者简介: 许哲平, 男, 1980 年生。博士, 研究方向为第四纪沉积环境和古气候变化、地理信息系统。Email: xuzheping@126.com。

到树线为寒温性亚高山暗针叶林带,主要树种有丽江云杉、川滇冷杉、长苞冷杉和大果红杉等;4000~4500 m 以上为寒冷高山灌丛、草甸和高山荒漠带,主要植物为高山小叶杜鹃、高山柳、忍冬、蒿草和狐茅等(刘宝珺等,1990)。

## 2 材料与方法

依托“昆明市活断层探测与地震危险性评价”项目,本次工作在昆明市西山区王家堆村附近(KZ2-3孔,位置 24°59′44.26″N,102°37′20.29″E)和昆明市官渡区云溪村附近(KZ5-2孔,位置 24°58′44.52″N,102°44′46.84″E)取得两个钻孔(图 1)的岩芯,同时采集孢粉样品,送至河北正定地质矿产部水文地质所鉴定。室内孢粉提取采用常规的酸碱处理和两次重液浮选法。统计的孢粉分别用百分比和浓度(粒/

g)表示,浓度用外加示踪花粉求得。

为了确定钻孔岩芯的地层时代,本次工作分别测得热释光和光释光两组年龄数据。所有结果如表 1 所示。从表中可以看出,KZ2-3孔有 5 个热释光年龄数据和 6 个光释光年龄数据,其中热释光年龄数据有较好的地层分布规律,而光释光年龄则缺乏规律。KZ5-2孔有 2 个热释光年龄数据,虽然数据少,但是通过对本次 30 个钻孔的 91 个热释光年龄的数据进行统计发现(许哲平,2008),热释光年龄总体上具有良好的规律,具有较高的可信度,因此本文认为这两个数据可以用来对地层时代进行限定,而 KZ2-3 的光释光年龄数据只能作为一个大致的参考。因此,本文的年龄数据以热释光为主,光释光年龄为辅。其他层段的年龄由这些数据通过内插和外延获得。

除了绝对年龄数据之外,特定时期的生物化石也

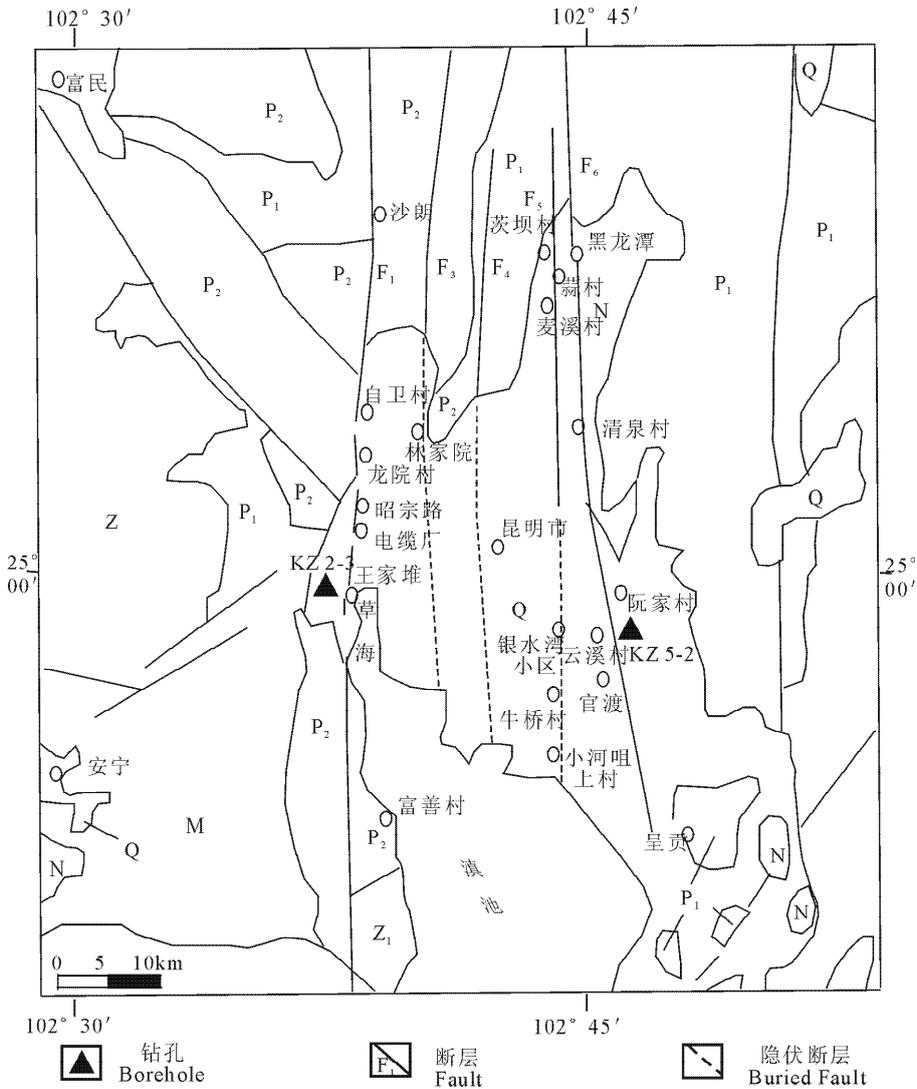


图 1 工作范围和钻孔分布位置图

Fig. 1 Work area and the distributed map of two cores

可以在一定程度上指明地层时代。本次工作对同一场地的两个钻孔中腹足类化石进行分析。通过对采集自王家堆场地 KZ2-1 钻孔(与 KZ2-3 在同一场地,两孔相距仅 15 m)和 KZ2-3 钻孔的 104 件腹足类化石进行分析,含 1 科 1 属 4 种,即田螺科(Viviparidae),螺蛳属(*Margarya*),分别为 *M. elongata*、*M. melanioides*、*M. crassitesta*、*M. mansuyi*。分布层位在各个钻孔中大致相同,具明显规律:16~58 m 为 *M. melanioides*-*M. elongata* 组合,以 *M. elongata* 为主;70~84 m 以 *M. crassitesta* 为主,约占 75%,亦可见零星 *M. mansuyi* 个体;84~95 m 为 *M. mansuyi*-*M. elongate* 组合,以 *M. mansuyi* 为主。对比刘宝珺等(1990)总结的腹足类化石地层分布规律,可以得知该钻孔底界为中更新世中期(300~400 ka BP)以来。这也为上述绝对热释光年龄数据提供了一定的佐证。

特定的孢粉组合可以一定程度上反映历史时期的植被面貌,进而恢复当时的古气候演化。在西南地区,松一般生长在较低海拔的山坡,喜干暖,一般地,松含量的增多指示温度的升高和降水的减少。由于松为超显示花粉,只有认为在含量大于 30% 的情况下才确定有松林存在(孙湘君和吴玉书,1987;夏玉梅,1993)。云杉/冷杉分布区气候寒冷,年平均温度指标为 2~8℃,年降水量低于 1000 mm,大致在 600 mm;铁杉反映温凉潮湿的环境,分布区的年均气温大约 8.4~10.5℃,年均降水在 1000 mm 左右;栲和石栲分布在 2900 m 以下,表示较湿润的环境(云南植被编写组编,1987)。

表 1 昆明盆地钻孔岩芯年龄数据

Table 1 Age data of the cores in the Kunming basin

深度(m)		年龄(ka)及备注
王家堆 KZ2-3 孔		
热释光样品	55.7	82.98±7.05
	58.4	88.40±7.51
	61.8	92.59±7.87
	66	109.45±9.30
	70.9	122.95±10.45
光释光样品	72.4	174±7(可靠)
	82.3	153±26(仅供参考)
	83.9	196±30(仅供参考)
	102.4	≥186(基本可靠)
	110.9	>105(仅供参考)
	116.1	≥270±20(基本可靠,信号饱和)
云溪村 KZ5-2 孔		
光释热样品	89.5	187.17±15.91
	101.4	247.52±21.04

测试单位:中国地震局地壳应力研究所热释光实验室。

藜科和蒿反映干旱环境,莎草科反映湿地或者大量出现反映沼泽化或潮湿环境(Sun et al., 2003)。盘星藻生活的水深为 5~15 m(刘宝珺等,1990;肖家仪等,1996;张华等,2004),一定程度上可以指示湖平面的深浅。

### 3 孢粉组合特征和古气候分析

#### 3.1 王家堆 KZ2-3 孔孢粉组合和古气候分析

王家堆 KZ2-3 孔取芯长度 116.2 m,除底部 1.7 m(116.2~114.5 m)细粒红色粘土为非湖相沉积外,其余均为连续的湖湘沉积。其中 114.5~72.1 m 以灰色细砂、粉砂为主,夹多层薄层褐灰色砂砾,并混有多层螺壳碎片。72.1~51.6 m 为灰色砂砾层,夹少量薄层灰色细砂。51.6~0 m 为灰色粉砂质粘土,中上部有少量薄层泥炭层。从钻孔岩芯可以判定,早期和中期为滨湖相,早期较深,中期湖水变浅。晚期为滨湖相,湖水最浅。

孢粉取样段 4.35~115.9 m。由于该孔总体岩性以砂砾居多,等间距有一定困难,在较厚的砂砾层采样间距较大。本次工作共送样 150 个,1 m 以上间距有 20 个,其余的均为 1 m 以下(平均间距为 0.5 m)。为确保研究精度,每样孢粉统计数量平均为 245 粒,共鉴定出 179 个属种,38384 粒孢粉。

孢粉组合中以乔木植物花粉与旱生草本植物花粉含量高为特征。其中乔木植物花粉平均含量为 74.5%,主要有松(*Pinus*)、铁杉(*Tsuga*)、川西栎(*Q. gilliana*)、石栎/栗(*Lithocarpus/Castanea*)、栲(*Castanopsis*)、落叶栎(deciduous *Quercus*)、榆(*Ulmus*)、桦(*Betula*)、桤木(*Alnus*)等。旱生草本平均含量为 12.5%,主要有禾本科(Gramineae)、菊科(Compositae)、蒿(*Artemisia*)、蓼(*Polygonum*)、苦苣苔科(Gesneriaceae)、大戟(*Euphorbia*)、胡椒科(Piperaceae)、罂粟科(Papaverraceae)、藜科(Chenopodiaceae)等。蕨类植物孢子占 9.6%,主要有水龙骨科(*Polypodium*)、卷柏(*Sellaginella*)、石松(*Lycopodium*)、凤尾蕨(*Pteris*)、膜蕨科(Hymenophyllaceae)、铁线蕨(*Adiantum*)等。灌木植物花粉仅为 2.7%,主要有榛木(*Corylus*)、柃(*Eurya*)、木犀科(Oleaceae)、绣线菊(*Spiraea*)、山柑(*Capparis*)等。水生草本植物花粉含量为 0.7%,主要有狐尾藻(*Myriophyllum*)、莎草科(Cyperaceae)、茨属(*Euryale*)、香蒲(*Typha*)、水蕨(*Ceratopteris*)、瓦韦(*Lepisorus*)等。选取含量较高的指示性孢粉类型作出浓度曲线,并根据孢粉组合

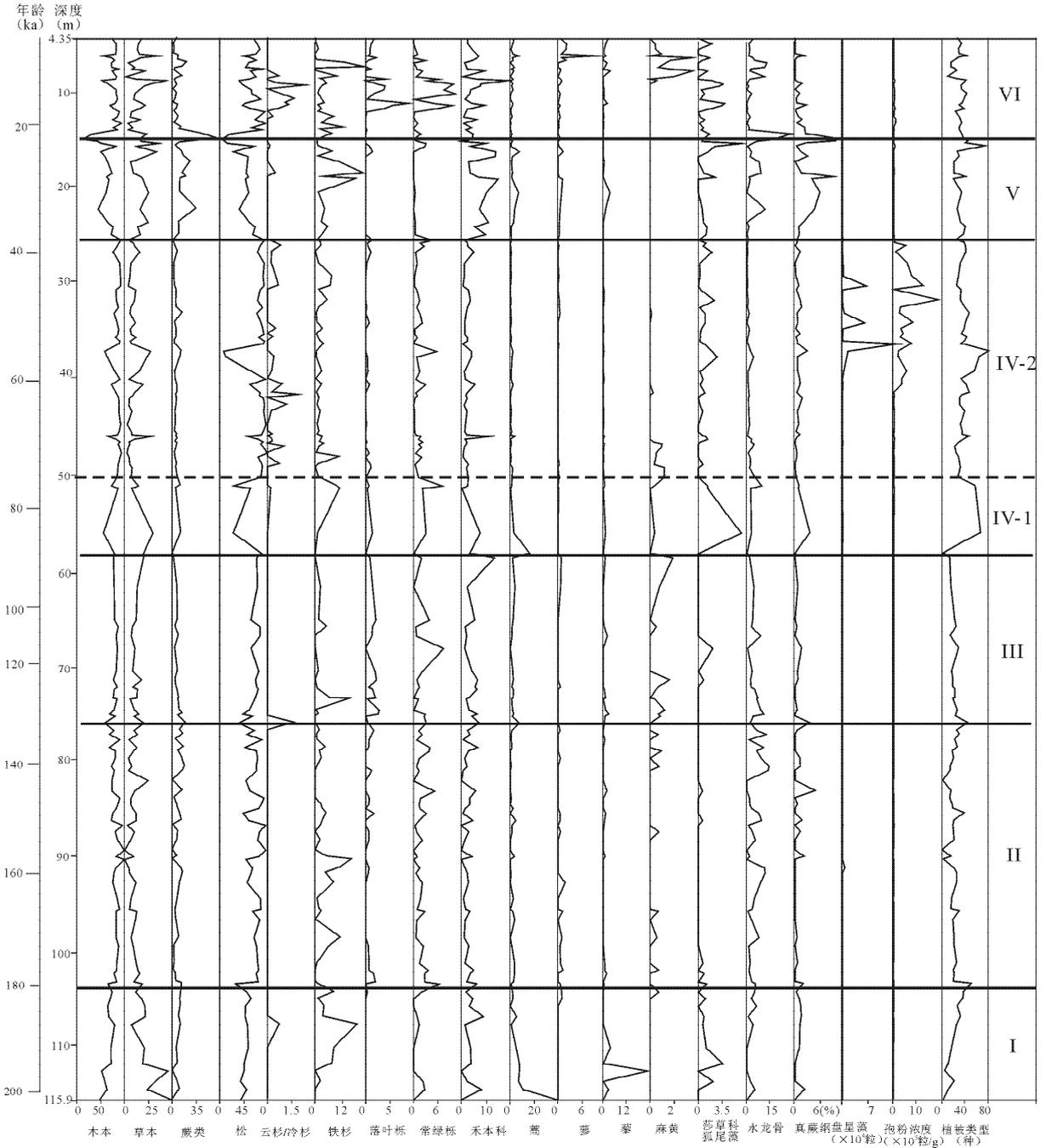


图 2 昆明盆地王家堆 KZ2-3 孔主要孢粉属种百分比图

Fig. 2 Main pollen genera percentage diagram of core KZ2-3 in the Kunming basin

进行孢粉带划分(图 2):

I 带, 115.9~103.7 m (201~180 ka BP), 松-铁杉-禾本科带。该带中松含量总体较低且相对稳定, 40%~59.88%, 中间夹一铁杉的峰值(19.44%, 同时偶尔出现云杉/冷杉), 往上有一个常绿栎的峰值(6.12%)。草本植物蒿和藜科含量在早期达剖面最高值(分别为 10.81% 和 23.07%), 禾本科含量在 10% 以上, 一直稳定出现。莎草科和狐尾藻一直

波动出现, 但是总体浓度较低。蕨类植物含量较低。植物类型不断增多。该带孢粉组合反映的植被面貌以温性的针叶林带和耐旱草本为主, 气候总体为温凉偏干, 中期夹一温和偏湿的气候。

II 带, 103.7~76.3 m (180~132 ka BP), 松-铁杉-常绿栎-禾本科-水龙骨带。该带中 *Pinus* 迅速升高至 73.22%, 并保持相对稳定, 含一定铁杉(最高为 16.66%) 和常绿栎(最高为 5.06%) 乔木植物, 落

叶 *Quercus* 零星出现。草本植物以禾本科(最高为 7.29%)为主,零星见蒿。蕨类植物以水龙骨(最高为 14.81%)为主,后期还见一定浓度的真蕨纲(最高为 5.7%)。植被类型很少,并有多期波动。该带孢粉组合反映的植被面貌以温性的针叶林带为主,夹少量耐旱阔叶林和耐旱草本,气候总体为温和偏干,干旱程度比上一带要严重。该带中有两个铁杉峰值,可能代表两次次一级的温凉偏湿气候,总体气候波动幅度晚期的要比早期频繁。

Ⅲ带,76.3~58.5 m(132~89 ka BP),松-常绿栎-禾本科带。该带中松迅速经过前期的快速波动后,稳定在 67.34%左右,含一定常绿栎(最高为 7.24%)和落叶栎(最高为 3.11%)等乔木植物,常绿栎则与松呈反向关系,波动出现的铁杉(最高为 15.69%)与松呈同向变化关系。草本植物以禾本科(最高为 7.29%)为主,在早期和晚期见一定浓度的麻黄。蕨类植物零星见水龙骨,其总浓度比上一带要低。该带植被类型不多,并保持相对稳定。该带孢粉组合的最大特点是各植被浓度保持相对稳定,变化不大,反映的植被面貌以温性的针叶林带为主,夹少量耐旱阔叶林和耐旱草本,气候总体为温暖偏干,但从零星的铁杉(最高可达 15.69%)和比上一带浓度更低的蕨类植物可以看出,该带有一定的湿度,这也可以从相对稳定的植被类型中得知。

Ⅳ-1带,58.5~50.5 m(89~75 ka BP),松-铁杉-常绿栎-禾本科-真蕨纲带。该带中松维持较低浓度(最高为 58.34%),铁杉一直处于上升状态(晚期达 11.34%),含一定常绿栎(最高为 7.24%)和落叶栎(最高为 3.11%)乔木植物。草本植物以禾本科(最高为 7.29%)为主,在早期和晚期见一定浓度的麻黄。蕨类植物以水龙骨和真蕨纲为主。草本孢粉浓度维持较高比例(最高为 39.62%)。该带植被类型从上一带迅速增多,并维持较为稳定的多样性。该带孢粉组合反映的植被面貌以温性的针、阔叶林带为主,植被类型丰富,气候总体为温和偏湿,但从禾本科和麻黄的频繁出现可以看出,该带有一定的干旱程度,但并不严重。

Ⅳ-2带,50.5~25.6 m(75~38 ka BP),松-云杉/冷杉-铁杉-常绿栎-禾本科带。该带中松迅速升高,并达到剖面最高值(最高为 89.74%),铁杉一直波动出现,同时还首次频繁出现了较低浓度的云杉/冷杉,常绿栎浓度比上一带低,频繁波动出现。草本植物的禾本科和蕨类植物的水龙骨与真蕨纲均为低浓度频繁出现。乔木植物浓度为剖面最高,蕨类为剖面最低,

孢粉浓度为剖面最高。该带植被类型比上一带有所下降,但总体处于较高的多样性。该带孢粉组合反映的植被面貌以温性的针、阔叶林带为主,植被类型丰富,孢粉浓度剖面最大,木本植物比例剖面最高,蕨类植物最低,气候为温暖湿润。值得注意的是,中间有一个松的低峰值,草本的高峰值,可能指示该时期的短暂极冷事件,但是持续时间并不长。

V带,25.6~15 m(38~22 ka BP),松-铁杉-禾本科带。该带中松迅速降低,并稳定维持这一低值,铁杉一直出现,并有较大波动幅度,云杉/冷杉迅速消失,只偶尔出现。草本植物禾本科浓度迅速升高,耐旱草本再次低浓度出现。蕨类植物水龙骨和真蕨纲一度出现剖面最高值。该带孢粉组合反映的植被面貌以温性的针叶林带为主,并伴随草本和蕨类植被的大量发育,孢粉浓度较大,尽管水生草本和蕨类大量发育,但是还有少量耐旱草本,因此总体气候为温凉偏湿。中间伴随云杉/冷杉出现的铁杉高峰值,可能指示该时期的暖湿事件,但是该事件持续的时间并不长。松和乔木在 25 ka BP 左右出现的剖面极低值说明一次极端的气候事件,但是从植被类型、水生植被及桦、胡桃等乔木等发育来看,该时期的环境并不差,联系到 25 ka BP 左右滇池处于大湖结束期(中国科学院南京地理与湖泊研究所等,1989),因此认为该时期湖面出露,导致水生草本和蕨类植物大量生长的解释是合理的。

Ⅵ带,15~4.35 m(22~6 ka BP),松-铁杉-常绿栎-禾本科带。该带中松迅速升高,并频繁波动,幅度不大,铁杉一直出现,并有较大波动幅度,云杉/冷杉在中部出现,常绿栎和落叶栎均有较高浓度。草本植物禾本科,频繁波动出现,晚期还出现一定浓度的耐旱草本植物,其中麻黄含量达剖面最高值。蕨类植物浓度为剖面最低值。该带孢粉组合反映的植被面貌以温性的针、阔叶林带为主,一定浓度的喜湿草本,气温迅速回升,并维持该稳定状态。在 8 m(12 ka BP)左右有一个极强的干冷事件,可能与新仙女木事件对应,开始进入全新世。早期偏湿,晚期偏干。

### 3.2 云溪村 KZ5-2 孔孢粉组合和古气候分析

云溪村 KZ5-2 孔取芯长度 105.6 m,主体为粉砂夹泥炭和粉砂质粘土,后期出现泥炭夹层的频率明显增多,67 m 以下的粉砂中常见有螺壳碎片和植物残体。从钻孔岩芯可以判定,该孔一直为三角洲泛滥平原,后期的水位明显变浅。

样品的采样深度范围为 2.7~102.0 m。由于该孔总体岩性以砂砾居多,等间距有一定困难,在较

厚的砂砾层采样间距较大。本次工作共送样 150 个, 1 m 以上间距有 20 个, 其余的均为 1 m 以下(平均间距为 0.5 m)。为确保研究精度, 每样孢粉统计数量平均为 355 粒, 共鉴定出 231 个属种, 鉴定到 76123 粒花粉, 平均每样 507.5 粒。孢粉平均浓度为 84000.3 粒/g, 最高达 1281211 粒/g, 最低为 397.35 粒/g。

孢粉组合中以乔木植物花粉与旱生草本植物花粉含量高为特征。其中乔木植物花粉平均含量为 40.49%, 主要有松(*Pinus*)、铁杉(*Tsuga*)、川西栎(*Q. gilliana*)、石栎/栗(*Lithocarpus/Castanea*)、栲(*Castanopsis*)、落叶栎(*Quercus*)、榆(*Ulmus*)、桦(*Betula*)、檉木(*Alnus*)、胡桃(*Juglans*)等。草本平均值 28.35%, 旱生草本主要有禾本科(*Gramineae*)、蒿(*Artemisia*)、蓼(*Polygonum*)、苦苣苔科(*Gesneriaceae*)、大戟(*Euphorbia*)、胡椒科(*Piperaceae*)、毛茛科(*Ranunculaceae*)、藜科(*Chenopodiaceae*)、百合(*Lilium*)等, 水生草本植物主要有狐尾藻(*Myriophyllum*)、荇菜(*Nymphoides*)、莎草科(*Cyperaceae*)、荇菜(*Nymphoides*)、香蒲(*Typha*)等。蕨类植物孢子占 26.80%, 主要有水龙骨(*Polypodium*)、卷柏(*Sellaginella*)、石松(*Lycopodium*)、凤尾蕨(*Pteris*)、膜蕨科(*Hymenophyllaceae*)、铁线蕨(*Adiantum*)等。灌木植物花粉仅为 4.36%, 主要有榛木(*Corylus*)、桤(*Eurya*)、木犀科(*Oleaceae*)、绣线菊(*Spiraea*)等。选取含量较高的指示性孢粉类型作出浓度曲线, 并根据孢粉组合进行孢粉带划分(图 3):

I-1 带, 102~96.8 m(249~202 ka BP), 松-铁杉-禾本科-蒿-水龙骨带。该带木本植物主要包括松、铁杉、常绿栎。松含量早期波动幅度大, 频率小, 后期波动幅度小, 频率大。铁杉大幅度波动变化, 变化方向与松相反。草本植物中蒿的含量达剖面最高值, 但是浓度逐渐变小, 趋缓, 禾本科一直稳定波动出现。莎草科和狐尾藻偶尔出现。蕨类植物类型单调, 以水龙骨为常见, 含量较低。孢粉总体浓度较低, 盘星藻频繁出现。该带孢粉组合反映的植被面貌以温性的针、阔叶林带为主, 林下发育有繁盛的草本, 孢粉浓度低, 湖水较浅, 尽管中期有一铁杉峰值, 但是仍然伴随着高浓度的蒿和剖面最低的孢粉浓度和植被多样性, 因此, 该带总体气候为温凉偏干。

I-2 带, 96.8~78.3 m(202~163 ka BP), 松-常绿栎-铁杉-蒿-水龙骨带。该带木本植物主要包括

松、铁杉、落叶栎、常绿栎等。松含量早期波动频率快, 幅度不大, 后期逐渐平稳。铁杉在早期和中后期有较高浓度, 中期和后期则浓度偏低, 常绿栎和落叶栎频繁波动出现。湿生草本莎草科和狐尾藻含量低, 耐旱草本蒿和麻黄浓度一直较高。蕨类植物早期波动频繁, 后期含量降低。孢粉总体浓度较低, 盘星藻频繁出现。植被类型波动变化, 多样性丰富时期与耐旱草本的低值相对应。该带孢粉组合反映的植被面貌以温性的针、阔叶林带为主, 虽然耐旱乔木和草本浓度较高, 但是水生草本也时常出现, 因此总体气候为温和偏干, 中期夹两次较强的冷湿气候, 后期气候较稳定。该带孢粉浓度低, 湖水较深。

I-3 带, 78.3~70.4 m(163~147 ka BP), 松-常绿栎-水龙骨-真蕨纲带。该带木本植物主要包括松、常绿栎、落叶栎等, 松和铁杉均迅速减少(中部一含量急剧减少, 但是很快回暖), 常绿栎和落叶栎保持较高含量。草本植物含量逐渐增多, 尽管水生草本时常出现, 但是含量低, 主要以旱生草本(毛茛、蒿、蓼等)为主。同时蕨类植物水龙骨和真蕨纲稳定出现。孢粉总体浓度较低, 盘星藻在早期和晚期出现。该带孢粉组合反映的植被面貌以温性的阔叶林带为主, 林下发育有繁盛的草本(多数为耐旱草本), 孢粉浓度低, 湖水较浅, 该带总体气候为温凉偏干。

II 带, 70.4~55.4 m(147~116 ka BP)。松-栲-落叶栎-真蕨纲-水龙骨带。该带木本植物主要包括松、落叶栎、常绿栎、栲和石栎等。松含量迅速上升(达 77.13%), 后再逐渐回落到稳定的含量(平均为 38.22%)。铁杉偶尔出现峰值, 落叶栎和常绿栎含量较高, 栲在早期达剖面最高值。湿生草本莎草科和狐尾藻在早期经常出现, 含量低, 早期的耐旱草本蒿和蓼等浓度较高(蒿达剖面最高值, 25%)。蕨类植物早期波动频繁, 含量较低, 后期则稳定在较高浓度。孢粉总体浓度较低, 盘星藻在早期和晚期出现。植被类型早期波动频繁, 数量多, 后期则稳定在较少数量。该带孢粉组合反映的植被面貌以温性的针、阔叶林带为主, 早期以高浓度耐旱草本和喜温湿木本为主, 中期以木本为主, 夹水生草本和蕨类植被, 晚期以草本和蕨类为主, 气候总体为温暖偏湿, 经历了温和偏干—温暖偏湿—温和偏干的气候变化。该带孢粉浓度较低。

III-1 带, 55.4~43.4 m(116~91 ka BP)。松-铁杉-莎草科/狐尾藻-真蕨纲-石栎/栗。该带木本植物逐渐降低到剖面最低值, 主要包括松、铁杉、栲和石栎等。松含量逐渐下降直至消失, 云杉/冷杉首次

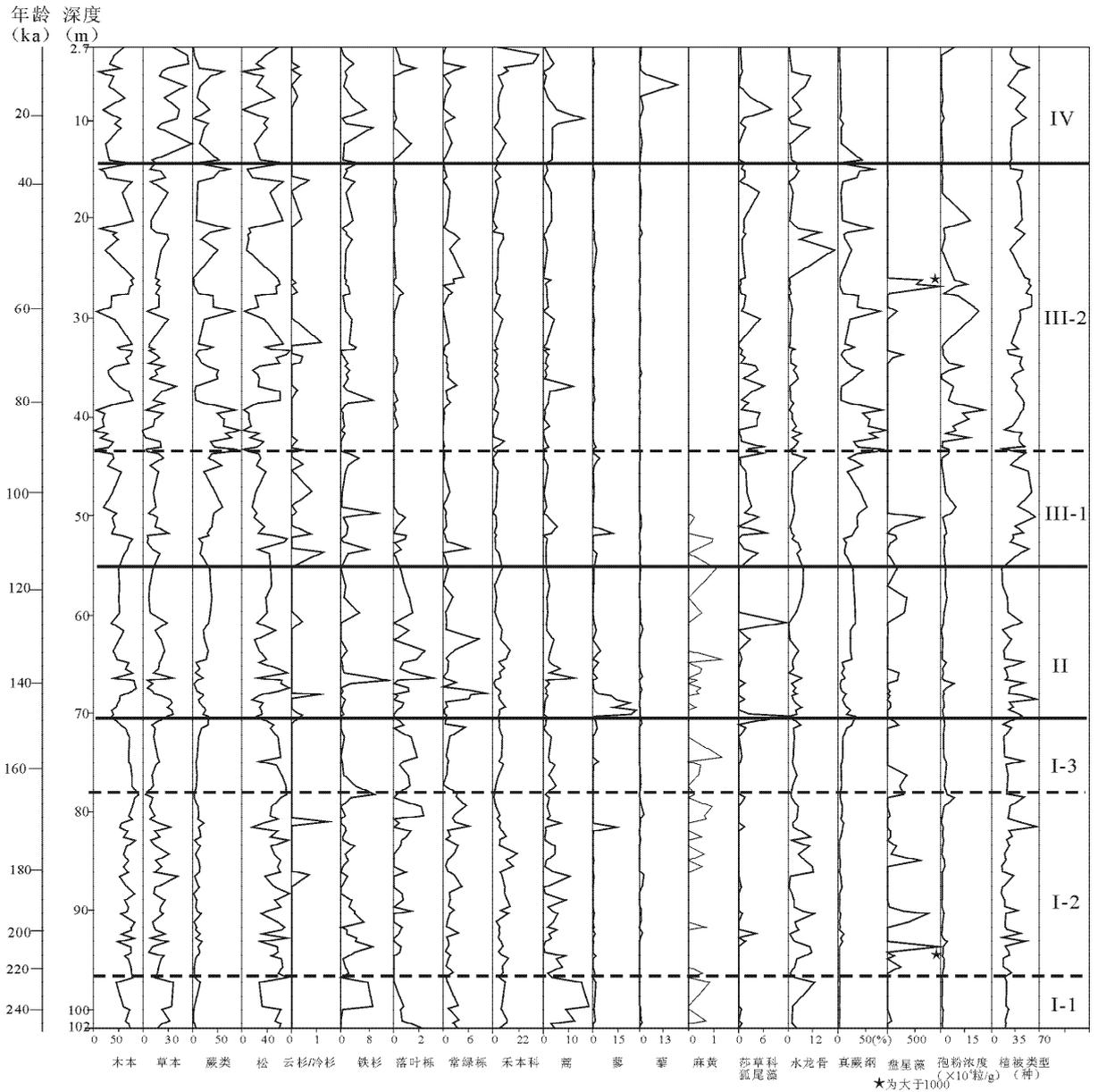


图 3 昆明盆地云溪村 KZ5-2 孔主要孢粉属种百分比图

Fig. 3 Main pollen genera percentage diagram of KZ5-2 in the Kunming basin

在剖面中频繁出现,落叶栎和常绿栎在早期低浓度出现,后期逐渐消失,石栎/栗和栲波动出现。耐旱草本逐渐消失,水生草本一直频繁出现。蕨类植物上升到较高浓度,孢粉浓度逐渐增大,植被类型突然增大,并稳定在剖面最高值。该带孢粉组合主要反映的是寒温性针、阔叶林,林下发育繁盛的水生草本和蕨类植物,结合云杉/冷杉和铁杉与松之间的反向变化关系和较高含量的石栎/栗与栲来看,该带的气候主要为温凉偏湿,早期偏干。从盘星藻含量变化来看,早期湖水较深,后期较浅。

Ⅲ-2带,43.4~14.4 m(91~30 ka BP)。松-铁杉-常绿栎-石栎/栗-栲-莎草科/狐尾藻-真蕨纲。该

带孢粉浓度呈现明显周期性的波动,周期大概为 20 ka 左右。木本植物类型丰富,常见的有松、铁杉、栲和石栎等。松含量多次从高密度(60%以上)下降到 30%以下,云杉/冷杉仍然在剖面中频繁出现,但是次数明显减少,铁杉、常绿栎、石栎/栗和栲多均有一定浓度。耐旱草本只有藨少量出现,其余的几乎消失,而水生草本一直以较高浓度出现。蕨类植物上升到较高浓度,孢粉浓度逐渐增多,植被类型突然增大,并稳定在剖面最高值。该带孢粉组合主要反映的是以温性阔叶林为主,夹少量耐寒针叶林,林下发育繁盛的水生草本和蕨类植物,结合云杉/冷杉和铁杉与松之间的同向变化关系和较高含量的石栎/栗

与栲来看,该带的气候主要为温暖湿润。从盘星藻含量变化来看,中期的时候湖水较深。

IV带,14.4~2.7 m(30~5 ka BP)。松-铁杉-常绿栎-禾本科-水龙骨。该带各类植物的孢粉浓度波动很大,以草本和蕨类为主。木本植物类型较丰富,常见的有松、铁杉、落叶栎等,其余属种含量较低。松只在顶部有一个59.03%的浓度,其他层段维持着较低浓度,多次波动至30%以下,云杉/冷杉只在中部偶尔出现,铁杉波动较大,与松呈反向变化,常绿栎、石栎/栗和栲的浓度降低。耐旱草本蒿(峰值为17.46%)和藜科(剖面最大值,25.47%)在早期和晚期出现较大浓度,而水生草本莎草科和狐尾藻在中部出现一个峰值(8.13%),其余层段浓度较低。蕨类植物上升到较高浓度,孢粉浓度迅速降低,植被类型早期维持较少数量,晚期呈波动状态,但是变化幅度不大。该带孢粉组合主要反映的是草本植物和蕨类植物占优的沉积环境,松林多次消失,从铁杉和松之间的反向变化关系和耐旱草本占优的情况来看,该带的气候主要为温和偏干。从盘星藻含量变化来看,水深一直不大。

## 4 对比和讨论

### 4.1 盆地内部植被面貌和古气候变化对比

从年龄数据上来看,本次工作的两个钻孔KZ2-3和KZ5-2所处的地层时代很大程度上是叠合的(表1)。尽管年龄数据受到诸多方面的影响,可能有所误差。但是,从钻孔的岩性上来看,两孔均属于连续沉积,这些沉积物中孢粉记录反映的植被变化和气候曲线却是真实的。因此,两孔的孢粉记录对于盆地的地质时期的植被面貌和古气候演化均有很好的对比研究价值。

综合图2、3和4,可以看出尽管两孔孢粉记录反映的古气候存在一定的差异,但是大的气候事件是可以对比的。近200 ka BP以来,两孔都经历了温凉(温和)偏干—温暖偏湿—温暖湿润—温暖偏干的变化过程,但是王家堆钻孔反映的气候变化相对稳定,而云溪村钻孔的气候变化波动很大。两孔孢粉浓度丰富。孢粉浓度的剖面最高值出现的层位相当,均经历了低—高一低的波动变化,同时植物类型也都经历了少—多—少的过程,两者的变化均指示剖面中期出现的一个气候最佳期。但是,两孔也存在一定的差异,王家堆钻孔孢粉浓度最高值发生的时间短、强度大,而云溪村的则波动时间长,波动幅度较小,反映气候和环境的变化方面,云溪村要比王

家堆更加动荡。王家堆KZ2-3孔草本植物含量较低(平均含量为13.03%),以禾本科和蒿为主,水生植物较少。而云溪村KZ5-2孔的草本含量高(20%),喜湿热分子明显增多,表现出王家堆更加湿润的环境。蕨类植物在KZ2-3孔中含量一直不高,但是在同一时期的KZ5-2孔中却一直占据重要地位,甚至一度达到90%以上。王家堆钻孔的孢粉组合表现的植被类型以针叶林或针阔叶混交林为主,山地植物松、铁杉、冷杉/云杉等含量丰富,亚热带分子、热带分子的类型要比前者逊色一些,而且干旱植物麻黄、柏科等分子经常出现,喜湿热的蕨类植物含量极低,反映总体上温和略干的气候。而云溪村钻孔中孢粉组合喜暖喜湿类型丰富,草本植物中又以湿生或半湿生属种为主。此外,由于盘星藻生活在5~15 m的水中(刘宝珺等,1990;肖家仪等,1996;张华等,2004),具有一定的湖平面指示意义,结合两孔的岩性特征,可以认为KZ2-3孔所在位置经历了浅—深—浅的湖面变化,而KZ5-2孔所在位置的水位深浅波动频繁,到后期逐渐变浅直至变成沼泽地。

对比两孔,可以发现最明显的差异在于两者的松含量的变化。作为木本植物的优势属种,松含量与木本植物含量之间的关系均为同向变化关系,其浓度的变化也会相应地影响木本植物含量的波动。在两孔的早期有一定可比性,但是中期以后(KZ2-3:43.4 m,91 ka BP;KZ5-2:50.5 m,75 ka BP),KZ2-3仍然维持较高浓度,少有波动,说明松林稳定存在,而KZ5-2则频繁波动,而且幅度很大,多次出现浓度在30%以下的可能无松环境。这个阶段看似矛盾,那就是在这个总体比较适宜的环境中,松含量的变化为何如此之大?如果以30%的含量来判断松林是否存在的标准,在这种环境中竟然多次出现了松林消失的情况?是什么原因导致两个同一地区的钻孔(直线距离12.6 km,而且均位于昆明盆地的北部)如此大的差异?

从花粉传播和搬运的过程可以给出一定的解释。花粉传播和搬运的途径主要有风力、流水和昆虫等,之后再沉积到不同的沉积环境中。花粉传播的途径不同,其散布的距离和方向以及沉积过程是完全不同的。了解花粉的传播、搬运及沉积过程,是正确认识和解释花粉的重要条件。从钻孔所处地理位置分析,王家堆靠近西山脚下,而且物源来自盆地西北角,其孢粉主要来自本地,能很好地反映本地的植被情况。而云溪村位于盘龙江下游的三角洲平原,盘龙江自嵩明源头流出,在77 km的行程中,流域高程从2750 m

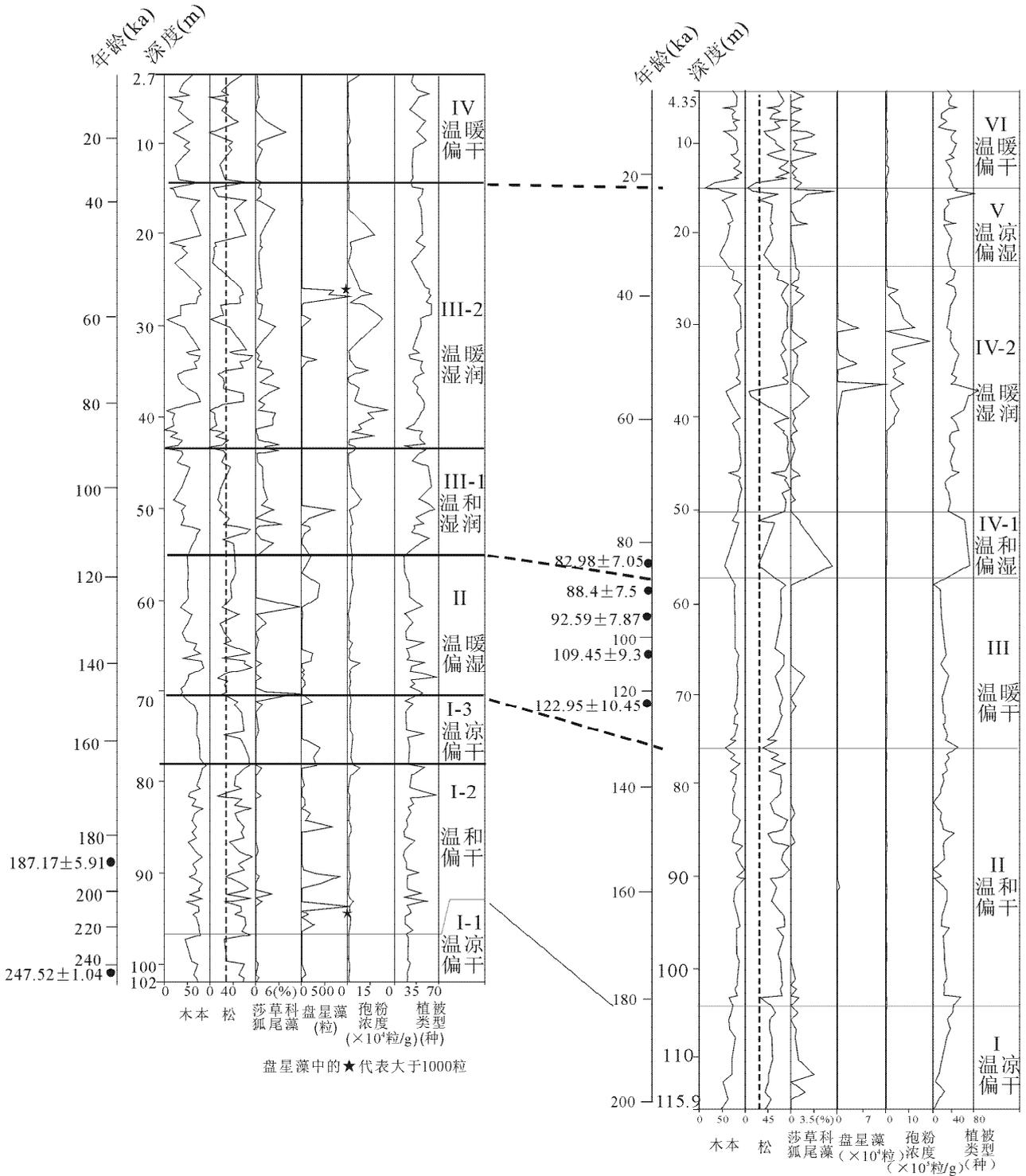


图 4 云溪村 KZ5-2 孔(a)和王家堆 KZ2-3 孔(b)孢粉组合分带对比

Fig. 4 The comparison of pollen records of cores KZ5-2 (a) and KZ2-3 (b) in the Kunming basin

速降到 1886 m(图 5),携带了大量的东北角物源输入(刘宝珺等,1990)。而高坡降的流域地形必然会使河流混入大量的流域植被信息,到了中下游河流流速变缓之后,会对孢粉有较强的分选性,这从 KZ5-2 的植被类型总能维持一定的高值和孢粉浓度要比王家堆

少一个数量级的事实中得出一定的信息。王家堆钻孔接受的孢粉多因为西北角河流流域短,并且一直是断层活动强烈带,沉积物携带孢粉记录以较快的速率沉积,使本地的植被信息得到更好的保存。云溪村钻孔指示无松林分布(30%以下)的时候,没有接受外来

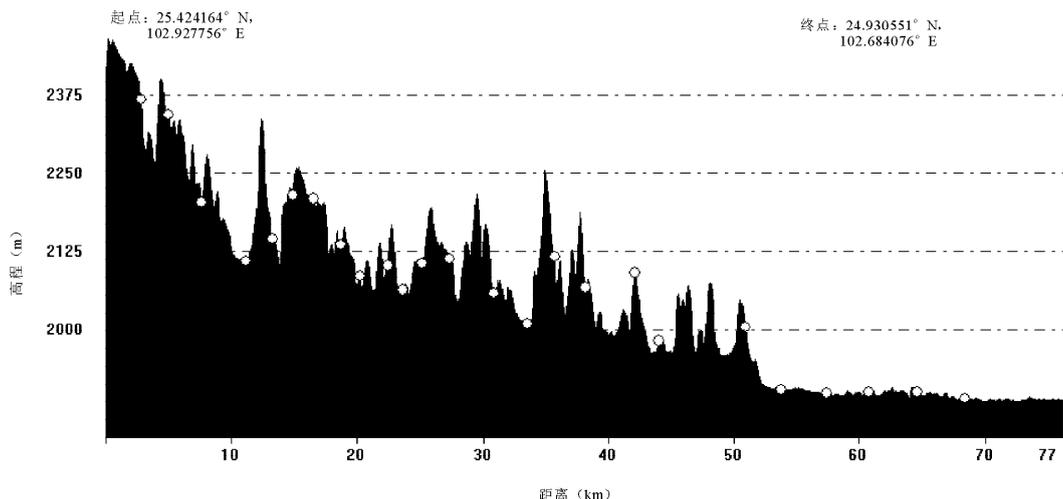


图5 昆明地区盘龙江长度-高程图

Fig. 5 Line of sight analysis of Panlongjiang river in the Kunming basin

周边物源的沉积,是一个相对封闭的系统,接受的只是本地小环境的植被,而低地势浅水(甚至有可能地表出露)的沼泽地周边分布的都是一些喜湿的植被和繁盛的水草,这种原因还可从沉积岩芯中找到相应的证据(图6)。

图6中与松林消失( $<30\%$ )对应的岩性基本上为泥炭层或粘土,这说明是一种非常静水的环境,同时结合这些阶段孢粉浓度的特征是:低浓度木本植物、高浓度蕨类植物和高浓度草本植物,可以认为沉积环境当时相对封闭,没有接受外部物源的沉积,可能是沼泽或牛轭湖环境,接受的只是周边小环境的喜湿木本和大量的蕨类和草本。但是,松林又会周期性地出现,这时说明外源物质经河流的搬运沉积至此,沉积环境由封闭变成开放。结合岩芯剖面分析,可以认为这种时而封闭时而开放的沉积环境是曲流河沉积,其岩性主要特征是:下部由侧向加积的滞留砾石形成的边滩砂坝,上部由垂向加积的河漫滩和过岸泛滥的粉砂、泥组成的向上变细的旋回层。在有广阔的岸后洼地沼泽或牛轭湖的地方(如盘龙江、西北沙河一带)有厚层泥和泥炭沉积。

上述两个钻孔孢粉记录的对比说明,孢粉记录的影响因素来自多个方面:传播方式、搬运方式和沉积环境(Brush and Brush, 1972; Berglund, 1973; 朱艳等, 2001)。只有真实地再现孢粉的这些过程,才能确定能够真实反映当地植被的孢粉记录,并反演出可靠的气候变化信息。因此,王家堆 KZ2-3 孔比云溪村 KZ5-2 更能代表昆明盆地的植被面貌和古气候演化。在进行区域和全球气候对比的时候,宜选用 KZ2-3 孔为主要对比对象, KZ5-2 孔可以做参考用。

## 4.2 区域和全球对比

在区域对比方面,昆明盆地位于青藏高原东南缘,是西南季风与东亚季风的交汇地带,将该地区的古气候演化历史与青藏高原地区的古气候对比可以一定程度上揭示季风演化和青藏高原隆起的历史。路南石林紧邻昆明盆地,热释光测年数据和钙华层的分析表明(薛传东等, 2003),在  $330 \pm 23$  ka BP、 $270 \pm 14$  ka BP、 $184 \pm 8$  ka BP、 $142 \pm 20$  ka BP、 $79 \pm 4$  ka BP 和  $48 \pm 5$  ka BP 等 6 个时期中气候处于较强烈的湿热气候,同时还伴随着区域性的垂向构造抬升事件。KZ2-3 孔的孢粉记录与之有很大的对应关系。作为“中国大陆环境钻探计划”首钻——云南鹤庆 HQ 孔,其孢粉记录反映的气候演化对于青藏高原隆起具有重要的意义。孢粉记录表明(肖云霞等, 2006),鹤庆盆地在  $260 \sim 128$  ka BP 期间,主要为比较稳定的暖干气候。 $128 \sim 6.98$  ka BP 期间,气候主要在寒冷较湿润—温暖干旱—温凉潮湿的之间波动,但是幅度不大。 $6.98$  ka BP 之后的气候总体上为温暖较湿润。尽管有着地域性的差异,但是昆明盆地 KZ2-3 孔与 HQ 孔还是有较多的相同点:持续高浓度的木本植物和松、 $128 \sim 80$  ka BP 期间的松浓度剖面最高值以及  $80 \sim 40$  ka BP 左右的孢粉总浓度突然增大和该阶段的莎草科浓度最高值。

在全球对比方面,本次工作获得昆明盆地的两个钻孔底界年龄大约为 200 ka BP 以来,跨越了 MIS6—MIS1 等 6 个阶段,即倒数第二冰期—末次间冰期—末次冰期—冰后期的几个大的气候变化周期,可以用来进行全球古气候对比: II 带—MIS6,

Pinus (%)	层深 (m)	层厚 (m)	柱状图	岩性描述
	13			
	14.1	1.1		黑色泥炭, 中间60 cm碳化程度高
	15.1	1		灰色粉砂质粘土
	16	0.9		灰—浅黄灰色粘土
	17.4	1.4		浅蓝灰色—灰色粉砂质粘土
	18.8	1.4		蓝灰色粉细砂
	20.1	1.3		灰色粉细砂; 可见1 cm砾石, 磨圆较好
	21.2	1.1		黑色泥炭
	21.5	0.3		灰色粉砂质粘土; 少量植物碎片
	22.3	0.8		黑色—灰黑色泥炭
	22.8	0.5		浅蓝灰色粉细砂
	23.2	0.4		黑色粘土
	23.6	0.4		灰色—浅蓝灰色粉砂质粘土
	24.8	1.2		蓝灰色粉砂
	26	1.2		深灰色粉砂
	26.1	0.1		褐黑色碳质粘土
	26.6	0.5		深灰色粉砂质粘土
	26.8	0.2		灰色粉砂
	27.7	0.9		深灰色含泥粉砂
	29.3	1.6		黑色泥炭; 中夹10 cm灰色粘土
	29.6	0.3		灰色粉砂质粘土
	29.9	0.3		蓝灰色粉砂
	30.6	0.7		褐灰色泥质粉砂
	30.7	0.1		灰色粉砂
	32.9	2.2		浅蓝灰色粉砂; 可见黄灰色粉砂团块
	33.2	0.3		黑灰色—灰色粘土; 含较多植物碎片, 约10%~30%
	33.9	0.7		灰色—浅蓝灰色粉砂质粘土; 含少量钙质结核
	34.2	0.3		蓝灰色泥质粉砂
	34.9	0.7		深灰色—灰色含泥粉砂
	35.4	0.5		黑色泥炭
	35.8	0.4		灰色粉砂质粘土
	36.2	0.4		浅灰色泥质粉砂
	37	0.8		灰色—深灰色粉砂质粘土; 含较多植物, 多条黑灰色条纹
	37.9	0.9		黑色泥炭; 局部碳化稍轻
38	0.1		褐色粉砂	
38.7	0.7		浅蓝灰色含泥粉砂	

图 6 昆明盆地云溪村 KZ5-2 上部岩芯剖面

Fig. 6 Upper part of core KZ5-2 in the Kunming basin

III 带—MIS5, IV-1 带—MIS4, IV-2 带和 V 带—MIS3, VI 带—MIS2 和 MIS1, 其中的气候特征为波动幅度较小, 暖期非常暖, 持续时间长, 进入冷期迅

速, 持续时间短, 这可能与青藏高原隆起伴随的季风变化有关。自 132 ka BP 开始, 昆明盆地结束频繁波动温和(凉)偏干气候, 进入稳定的温和气候, 这与

全球气候自 128 ka BP 从倒数第二次冰期进入末次间冰期的时间是一致的。在 89 ka BP 左右,昆明盆地经历了一个突然的冷湿期,植被类型突然增多,湿度突然增大。这可能与全球的末次冰期(75 ka BP 左右)相对应,但是时间要比全球的末次冰期早,可能与青藏高原的“驱动”作用有关(潘保田和李吉均, 1996)。另外,在 38 ka BP 左右有一次突然降温事件,这与末次冰盛期相对应。从植被类型、孢粉浓度和蕨类植物等指标来看,该阶段的两次冰期相比,倒数第二次冰期(PGM, 170 ka BP 左右)比末次冰盛期(LGM, 30 ka BP 左右)都要低,说明前者比后者的寒冷程度更甚,这与若尔盖盆地(沈才明等, 2005)、错鄂湖(吕厚远等, 2001)揭示的青藏高原地区倒数第二次冰期可能比末次冰期期间冰川的规模更大的观点是一致的。

## 5 结 论

(1)通过岩石地层学、生物地层学和年代地层学获得了昆明盆地两个钻孔的沉积时代为近 200 ka BP 以来。精确的年代地层是孢粉分析和对比的基础,只有在统一年代地层框架下的气候分析和对比工作才有意义。

(2)沉积环境和古地理环境对孢粉记录和古气候分析具有重要的影响,不能脱离沉积环境单独分析古气候,否则可能会使得到的古气候变化与实际的古气候变化不符。综合分析得出, KZ2-3 孔经历了浅湖—湖湾的环境变化,一直以来是一个相对开放的环境,而 KZ5-2 孔经历了浅湖—三角洲泛滥平原的环境变化,后期处于时而封闭时而开放的环境。相比之下, KZ2-3 孔一直接受周边物源的输入,更能反映昆明盆地整体的气候变化。

(3)昆明盆地自 200 ka BP 以来,总体上经历温凉(温和)偏干—温暖偏湿—温暖湿润—温暖偏干的气候变化,与全球气候变化在大的气候事件上共有较好的一致性,但是在细节变化上,与青藏高原的东南部的湖泊沉积反映的气候变化有更好的对应性,反映了昆明盆地在气候变化上受到全球、区域和本地地形等方面的影响,青藏高原的隆起对昆明盆地的气候演化有重要的影响作用。

## 参 考 文 献

刘宝珺,等. 1990. 昆明盆地晚新生代地质与沉积演化. 重庆: 重庆出

版社.

- 吕厚远,王苏民,吴乃琴,等. 2001. 青藏高原错鄂湖 2.8 Ma 来的孢粉记录. 中国科学(D辑), 31(增刊): 234~240.
- 潘保田,李吉均. 1996. 青藏高原: 全球气候变化的驱动力与放大器——Ⅲ. 青藏高原隆起对气候变化的影响, 兰州大学学报(自然科学版), 32(1): 108~115.
- 沈才明,唐岭余,王苏民,等. 2005. 若尔盖盆地 RM 孔孢粉记录及其年代序列. 科学通报, 50(3): 246~254.
- 孙湘君,吴玉书. 1987. 云南滇池地区全新世以来植被及环境变迁历史. 见: 中国科学院中澳第四纪合作研究组主编. 中国—澳大利亚第四纪学术讨论会论文集. 北京: 科学出版社, 28~41.
- 吴艳宏,吴瑞金,薛滨,等. 1998. 13 ka 以来滇池地区古环境演化. 湖泊科学, 10(2): 5~9.
- 夏玉梅. 1993. 呼伦贝尔沙地古土壤孢粉特征与大暖期环境的初步研究. 中国生存环境历史演变规律研究(一). 北京: 海洋出版社, 44~53.
- 肖家仪,吴玉书,郑绵平. 1996. 西藏扎布耶盐湖第四纪孢粉植物群的初步研究. 微体古生物学报, 13(4): 395~399.
- 肖云霞,沈吉,肖海丰,等. 2006. 云南鹤庆盆地中更新世以来的孢粉记录及其植被与气候变化. 湖泊科学, 18(4): 369~376.
- 许哲平. 2008. 昆明盆地第四纪地层与盆地演化. 中国地质大学(北京)博士论文.
- 薛传东,刘星,杨浩. 2003. 滇中路南石林地区钙华特征与更新世气候变迁. 矿物岩石, 23(3): 61~68.
- 云南植被编写组. 1987. 云南植被. 北京: 科学出版社, 417, 771~773.
- 张华,郑卓,王建华,等. 2004. 海南岛近 2500 a 来盘星藻记录的周期性气候变化. 热带地理, 24(2): 109~123.
- 中国科学院南京地理与湖泊研究所,等. 1989. 云南断陷湖泊环境与沉积. 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——以石羊河流域为例. 沉积学报, 19(2): 186~191.
- Berglund B E. 1973. Pollen distribution and deposition in an area of south-eastern Sweden——some preliminary results. Birks & West Press, 117~129.
- Brush G S, Brush L M. 1972. Transport of pollen in a sediment-laden channel: a laboratory study. American Journal of Science, 272: 1359~1381.
- Jarvis D I. 1993. Pollen evidence of changing Holocene monsoon climate in Sichuan Province, China. Quaternary Research, 39: 325~337.
- Sun X J, Luo Y, Huang F. 2003. Deep-sea pollen from the South China Sea: Pleistocene indicators of east Asian monsoon. Marine Geology, 201: 97~118.
- Yu Lizhong, Frank O, et al. 1990. Paleoenvironmental implications of magnetic measurements on sediment core from Kunming Basin, Southwest China. Journal of Paleolimnology, 3: 95~111.

## Pollen Records since Late Middle-Pleistocene in the Kunming Basin, Yunnan Province and Paleoclimate Evolution

XU Zheping<sup>1)</sup>, CHEN Jianqiang<sup>2)</sup>, XIAO Jingyi<sup>3)</sup>

1) *Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100093;*

2) *School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing, 100083;*

3) *Department of Geography, Qinghai Normal University, Xining, 810008*

### Abstract

Pollen and age data have been collected in two cores from the Kunming basin by the project "Exploration of Active Fault and Evaluation of the Danger of the Seism in the Kunming Basin" to analyze the vegetational change and paleoclimate evolution from late Middle-Pleistocene in this area. The results show that sedimentary environment has an important role in the analysis of pollen records and the paleoclimate evolution of the Kunming basin from late Middle-Pleistocene: slightly cold and moderately dry (201~180 ka BP) -slightly warm and moderately dry (80~132 ka BP) -warm and moderately dry (132~89 ka BP) — slightly warm and moderately humid (89~75 ka BP)—warm and humid(75~38 ka BP) — slightly cold and moderately humid(38~22 ka BP)— warm and moderately dry (22~6 ka BP). Compared with the paleoclimate history of the Qinghai-Tibet Plateau and the global records, it is indicated that the paleoclimate evolution in the Kunming basin is in accordance with the paleoclimate in central and west of Yunnan province.

**Key words:** pollen records; Middle Pleistocene; Kunming basin; paleoclimate evolution