

doi:10.3799/dqkx.2013.095

岷江叠溪古堰塞湖沉积物中孢粉特征

王小群, 王兰生

成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川成都 610059

摘要: 对岷江上游叠溪古堰塞湖 200 余米厚的堰塞湖相沉积物进行了大量采样测试分析, 主要对湖相沉积物中的孢粉和沉积年代进行了测试, 通过测试获得了古堰塞湖沉积物的沉积时间和气候环境特征。古堰塞湖沉积物底部形成时间约 3.0 万年, 靠近顶部形成时间约为 1.5 万年前。孢粉测试结果显示, 古堰塞湖沉积物沉积剖面可划分为 9 个气候环境段: (1) 温凉半湿润的针阔叶混交森林草原气候环境; (2) 寒冷干旱的针叶森林草原气候环境; (3) 温凉半干旱的针、阔叶混交疏林草原气候环境; (4) 温暖湿润的针、阔叶混交森林草原气候环境; (5) 凉半干的针、阔叶混交疏林草原气候环境; (6) 温湿的针叶疏林草原气候环境; (7) 温凉半干旱的针阔叶混交疏林草原气候环境; (8) 凉半湿润的森林草原气候环境; (9) 冷干的疏林草原气候环境。研究成果揭示了青藏高原东部边缘至四川盆地过渡带 3.0~1.5 万年间的古气候古环境演化特征, 为区域环境研究提供了宝贵的资料。

关键词: 岷江; 叠溪; 古堰塞湖; 沉积物; 孢粉; 气候变化; 古气候环境。

中图分类号: P642; X141

文章编号: 1000-2383(2013)05-0975-08

收稿日期: 2012-11-28

The Pollen and Spore Characteristics of the Diexi Ancient Dammed Lake on the Upstream of Minjiang River

WANG Xiao-qun, WANG Lan-sheng

State Key Laboratory of Geohazard Prevention & Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

Abstract: Many samplings, tests and analysis are carried out to study the lacustrine sediments which are more than 200 m thick inside the Diexi ancient dammed lake on Minjiang river. The pollen and spore of the sediments and sedimentation time are tested by which the ancient dammed lake sedimentation time and climate-environment characteristics are obtained. It is found that bottom parts of the ancient dammed lake lacustrine sediments were formed 30 000 years ago, while the parts close to the top formed 15 000 years ago. The pollen and spore test results indicate that the sediment section of the ancient dammed lake can be classified into the following 9 climate-environment sections: (1) Cool and semi-moist, needle leave and broad leave mixed forest and grassland climate-environment; (2) cold and dry, needle leave forest and grass land climate-environment; (3) cool and semi-moist, needle leave and broad leave mixed open forest and grassland climate-environment; (4) warm and humid, needle leave and broad leave mixed forest grassland climate-environment; (5) cool and semi-dry, needle leave and broad leave mixed open forest and grassland climate-environment; (6) cool and semi-moist forest and grassland climate-environment; (7) cold and dry, open forest and grassland climate-environment. The evolution characteristics of the Palaeo-climate and Palaeo-environment of the transition area of east edge of Qinghai-Tibetan Plateau to Sichuan basin during time period between 30 000 to 15 000 years ago is described, which can provide information for the regional environment study.

Key words: Minjiang river; Diexi; ancient dammed lake; sediments; pollen and spore; climate change; palaeo-climate and palaeo-environment.

堰塞湖是指河流被外来物质堵塞而形成的湖泊。常由山崩、滑坡、泥石流、火山喷发的熔岩流等造成, 其中崩塌、滑坡、泥石流又常常由地震所诱发。而

古堰塞湖是指形成于距今上万年的古老湖泊。

国内外学者利用湖泊沉积物研究气候变化规律(吴敬禄等, 2000; 朱大岗等, 2004)和黄土研究环境

基金项目: 中国国家自然科学基金(No.41072230); 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室自主课题(No.SKLG2012Z008)。

作者简介: 王小群(1972—), 教授, 博士, 主要从事地质工程与岩土工程专业的教学与科研工作, E-mail: wangxiaqun@cdut.edu.cn

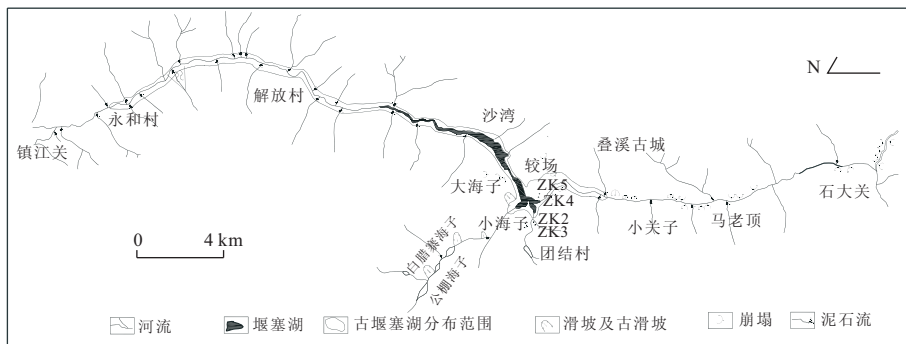


图 1 叠溪古堰塞湖分布平面

Fig.1 The Diexi ancient lake distribution plan

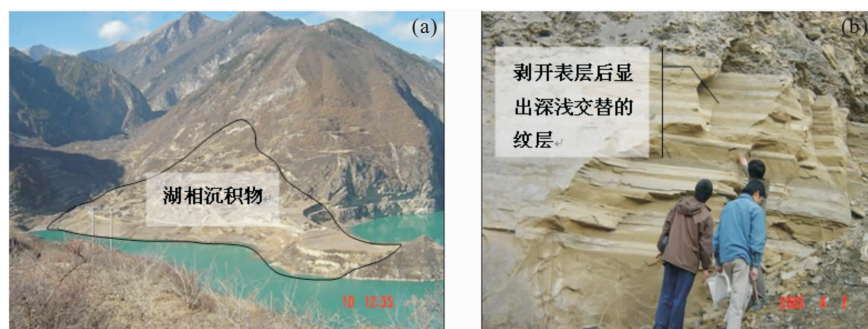


图 2 湖相沉积物

Fig.2 Lacustrine sediments

(刘东生, 1985) 的文献很多, 但对于由于崩塌滑坡等引起的堰塞湖泊沉积物研究却很少。已有的文献对堰塞湖的研究主要集中在堰塞坝的形成机理、稳定性以及堰塞湖存在期间的环境等方面研究 (Weidinger, 1998; Trauth and Strecker, 1999; Weidinger *et al.*, 2002; Wassmer *et al.*, 2004; Krivonogov *et al.*, 2005; Moreiras, 2006; Rodolfo and Umba, 2008)。

本文研究的古堰塞湖位于青藏高原东部边缘与四川盆地相接的过渡地段, 这里保留了古堰塞湖较为完整的沉积物。岷江上游叠溪古堰塞湖形成于大约 3.0 万年前, 消亡于大约 1.5 万年前。堰塞坝长约 10 km, 堰塞湖分布沿叠溪古镇上游约 30 km 河段 (图 1)。在堰塞湖湖心团结村一带沉积物 (图 2, 图 3) 厚达 200 余米, 测年显示沉积物底部年龄 3.0 万年前左右, 顶部年龄 1.5 万年前左右。在这连续的湖相沉积物中保留了丰富的环境信息和地质信息, 对这些信息的提取和研究可以获得沉积物沉积过程中的气候环境和地质活动等宝贵资料, 对研究青藏高原东部边缘环境演化具有重要的科学价值。

关于岷江上游叠溪古堰塞湖沉积物的研究当数

笔者所在课题组做了较多深入细致的研究工作 (王兰等, 2000, 2005, 2007; 段丽萍等, 2002; 王小群, 2009), 主要包括: 叠溪古堰塞湖沉积物的空间发育分布特征, 物质组成及岩相特征; 堰塞湖沉积物测年、多环境代用指标的测试; 古堰塞湖的消亡过程及其消亡过程中反映的环境信息等。杨文光等 (2005) 利用岩相和沉积体系的分析方法对叠溪古堰塞湖演化进行了研究; 安卫平等 (2008) 研究了羌阳桥古堰塞湖沉积物与地震断裂活动的关系; 张岩等 (2009) 利用 AMS¹⁴C 测年和粒度分析方法研究了叠溪古堰塞湖沉积物反映的气候变化特征; Wang *et al.* (2011) 利用现场调查分析方法研究了叠溪古堰塞湖沉积物与地震的关系。近年来在金沙江上赵希涛、张永双等 (2007) 和赵希涛等 (2007) 研究了德钦地区奔子栏古堰塞湖和丽江地区石鼓古堰塞湖沉积物。王兰生等 (2005) 在研究金沙江乌东德水电站金坪子滑坡时也发现了大约两万年前的古堰塞湖沉积物。

利用古堰塞湖沉积物连续的地质记录来研究区域过去气候变化规律, 这一方法是继通过深海沉积、极地与高山冰心、黄土、湖泊、洞穴石笋、珊瑚等沉积

物中的地质记录来研究气候变化途径之后的又一新途径。

为了研究区内古环境和古气候变化特征,本研究对古堰塞湖沉积物中孢粉进行了测试,并对测试结果进行了详细分析,得到了青藏高原东部边缘叠溪地区 3.0~1.5 万年间的氣候环境演化特征。

1 研究区简介

研究区位于青藏高原东部边缘与四川盆地的过渡地带。青藏高原东缘是中国西部地质、地貌、气候的陡变带和最重要的生态屏障,也是当前国际地学界争论的焦点地区。叠溪古堰塞湖位于岷江上游,在茂县和松潘之间,上距松潘县城约 80 km,下距茂县县城 60 km。

该区处于地质结构强烈变化的莫霍面变异带上,松潘地段地壳上升极大,河流下切迅速。该段岷江山高、谷深、坡陡水急,两岸崩塌和滑坡发育。其中的一些滑坡、崩塌堵塞岷江及其支流。该区地处著名的“SN 向地震构造带”中段,在大地构造上属特提斯喜马拉雅域东北缘,即松潘—甘孜 NWW 向地槽褶皱带的东部和西部秦岭近 EW 向地槽褶皱带南部以及龙门山 NE 向断裂带交汇部位的三角地带以内,区内地震较多。

2 古堰塞湖沉积物测试与分析

本研究样品采集来自古堰塞湖沉积物钻孔岩心,钻孔位于古堰塞湖湖心位置团结村和较场(图 1)。测年样品取自堰塞湖最底部和顶部。孢粉测试样品从岩心底部开始,间隔 4 m 取样,共采得样品 53 个。测试方法如下:

(1)取样品 50~150 g 冲洗、干燥后,将其捣碎成粉末。

(2)用直径为 0.25 mm 网孔的筛子过筛,然后例入 800~1 000 mL 的烧杯中。

(3)样品捣碎后进行酸处理,加入 15% 的 HCl,静置 24 h,除去包裹孢粉粒的钙质胶结物。

(4)去除废酸,洗样至中性。

(5)加入浓度为 55% 的氢氟酸溶液静置 72 h,去除硅质。

(6)去除废酸,洗样至中性。

(7)重液浮选,用比重为 2.00~2.25 的比重液

来进行浮选。最后将沉淀集中的孢粉加入少许甘油,即为鉴定的样品。

(8)镜下观察鉴定统计。

2.1 孢粉测试结果及分析

2.1.1 孢粉测试结果 孢粉测试委托中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室孢粉分析室测试。通过对该剖面 53 个样品测试结果的分析发现,样品中含有比较丰富的孢粉。

经鉴定和统计共得各类孢粉 12 532 粒,将这些孢粉进行分类,平均每样约 236.5 粒,它们分属 46 个孢粉类。4 个钻孔孢粉组合均以木本植物花粉占优势,含量为 59.9%~89.1%,平均约占 76.2%。其次是灌木和草本植物花粉,含量为 6.7%~36.9%,平均 16.9%。蕨类孢子和藻类含量相对较少,其含量为 0.9%~17.0%,平均含量为 6.9%。乔木植物花粉主要有松(Pinus)、柏科(Cupressaceae)、落叶栎(Quercus)等,其次有云杉/冷杉(Picea/Abies)、铁杉(Tsuga)、榆(Ulmus)、桦(Betula)、胡桃(Juglans)、椴(Tilia)、山核桃(Carya)等。灌木和草本植物花粉主要有榛(Corylus)、麻黄(Ephedra)、杜鹃(Ericaceae)、蒿(Artemisia)、藜(Chenopodiaceae)、禾本科(Gramineae)、百合(Liliaceae)、莎草(Cyperaceae)等。蕨类植物孢子和藻类主要为水龙骨科(Polypodiaceae)、环纹藻(Concentricystis)等。主要孢粉照片见图 3。

2.1.2 测试结果分析 在岩心柱上共取得样品 53 个,共统计得到 12 532 粒孢粉,分属 46 种孢粉类型。根据其孢粉图式(图 4)从底到顶可将孢粉划分为以下 9 个孢粉组合。

组合 1:松—柏—栎—藜花粉组合。该带可划分于剖面底部高程 2 095~2 141 m 土层中。该花粉组合带的特征是:乔木植物花粉多,平均占总数的 76.7%,其中又以松粉最多,平均占总数的 28.6%;其次为柏和栎,分别平均占总数的 14.3%和 14.2%;灌木及草本植物花粉较乔木植物花粉少,平均占总数的 16.8%,其中又以藜科和莎草科粉较多,分别平均占总数的 3.4%和 2.9%;蕨类及藻类植物孢子少,平均占总数的 6.5%,其中又以平均占总数 2.9%的水龙骨科孢子较多。

该花粉组合显示:该组合带中,孢粉含量变化波动强烈。代表冷干的植物相对较多,如:松、柏、藜科等;代表温暖湿润的植物主要有栎、铁杉等,因此该段气候主要表现为温凉半湿润特征。植被类型总体表现出针阔叶混交森林草原型。

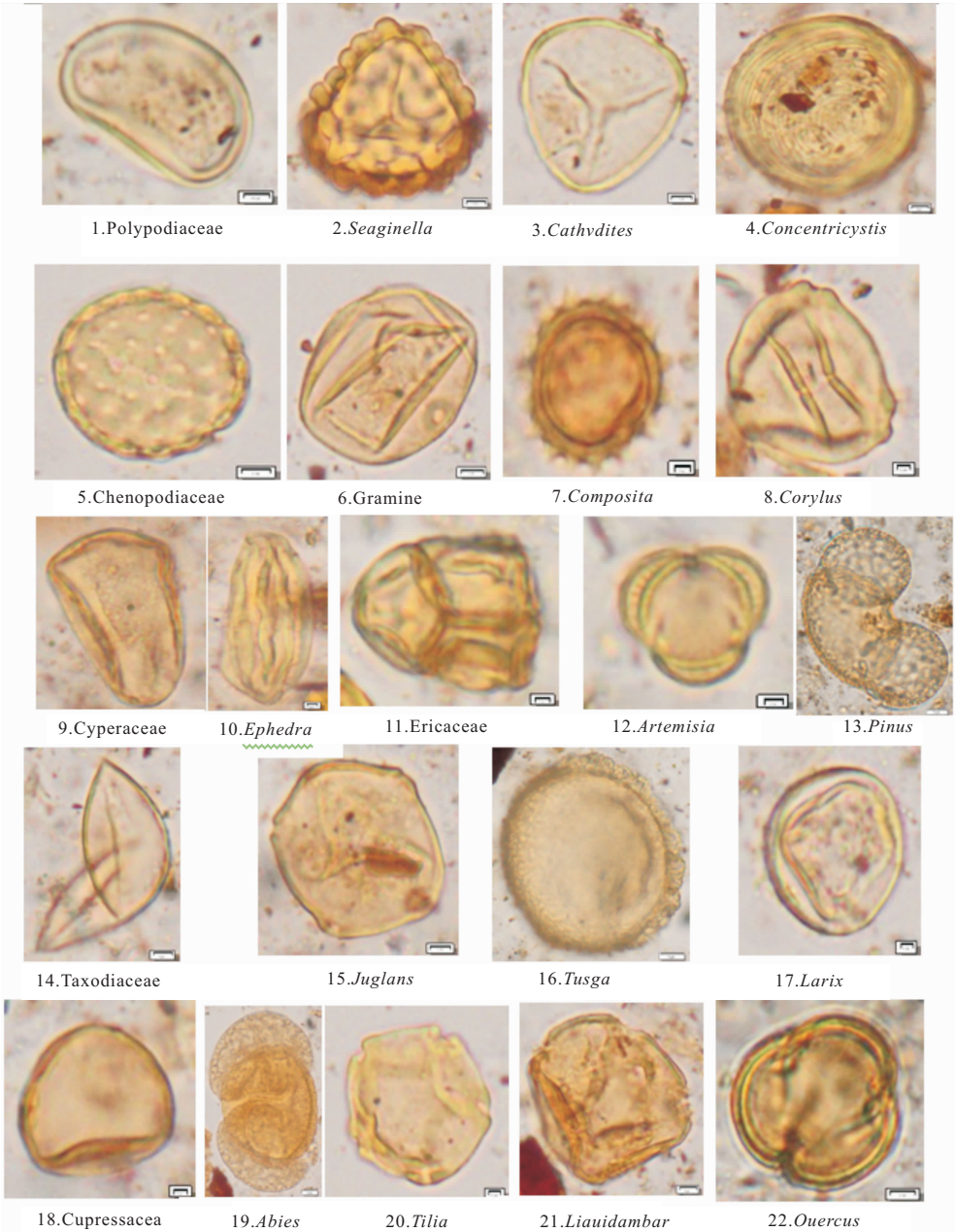


图 3 主要孢粉照片

Fig.3 Main pollen and spore photos

1~4 为蕨类藻类植物孢子;5~12 为灌木及草本植物花粉;13~22 为乔木植物花粉

组合 2:松—栎—榛花粉组合.该带可划分于剖面底部高程 2 141~2 173 m 土层中.该花粉组合带之特征是:乔木植物花粉多,平均占总数的 77.7%,其中又以松粉最多,平均占总数的 45.6%;其次为栎和柏,分别平均占总数的9.3%和 6.1%;灌木及草本植物花粉较乔木植物花粉少,平均占总数的 14.7%,其中又以榛和藜科花粉较多,分别平均占总数的 3.4%和 2.9%;蕨类及藻类植物孢子少,平均占总数的 7.6%,其中又以平均占总数 2.9%的水龙骨科孢

子较多.
该花粉组合显示:该组合带各种花粉含量相对稳定,多种木本植物在减少,代表冷干的植物松明显增多,柏、落叶松明显减少,而藜科、蒿属等基本不变;代表温暖湿润的植物栎、榆显著减少,榛增多.因此该段气候主要表现为寒冷干旱特征.植被类型总体表现出针叶森林草原型.
组合 3:松—栎—柏—藜花粉组合.该带可划分于剖面底部高程 2 173~2 212 m 土层中.该花粉组

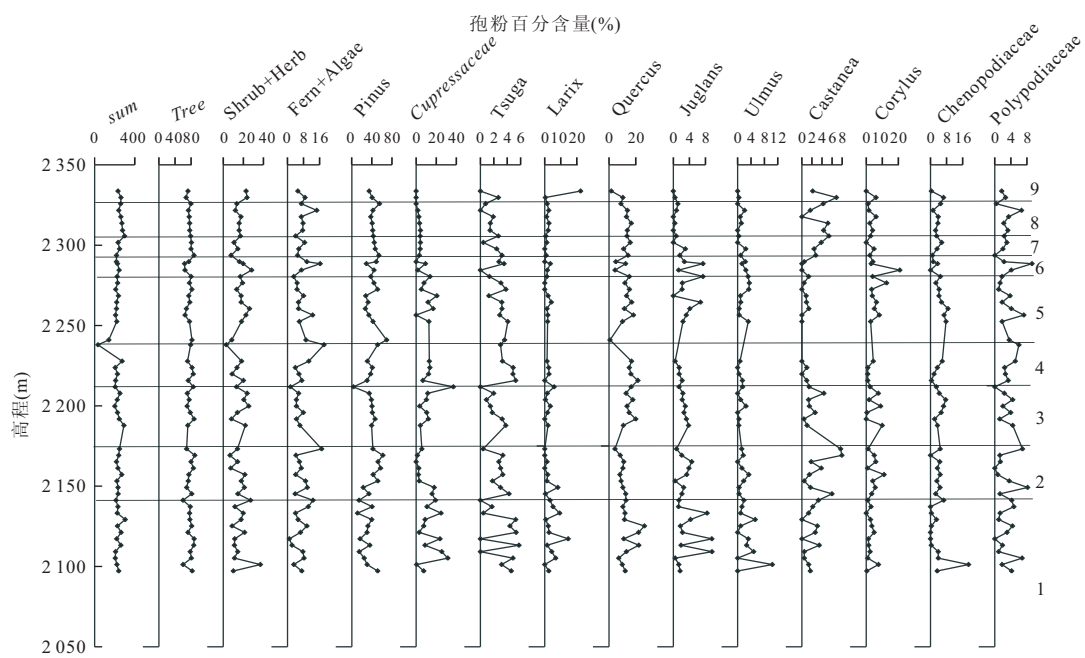


图 4 湖相沉积物剖面孢粉图式

Fig.4 Pollen and spore schema of lacustrine sediment profile

合带之特征是:乔木植物花粉多,平均占总数的 76.9%,其中又以松粉最多,平均占总数的 34.9%;其次为栎和柏,分别平均占总数的 15.1%和 12.7%;灌木及草本植物花粉较乔木植物花粉少,平均占总数的 14.7%,其中又以藜科和榛花粉较多,分别平均占总数的 3.5%和 4.4%;蕨类及藻类植物孢子少,平均占总数的 4.9%,其中又以平均占总数 2.6%的水龙骨科孢子较多。

该花粉组合显示:代表冷干的植物松明显减少,柏和栎迅速增多,落叶松明显增加,藜科、蒿属也增加明显;代表温暖湿润的植物栎迅速增加。因此该段气候主要表现为温凉半干旱特征。植被类型总体表现出针、阔叶混交疏林草原型。

组合 4:松—栎—柏—蒿花粉组合。该带可划分子剖面底部高程 2 212~2 228 m 土层中。该花粉组合带之特征是:乔木植物花粉多,平均占总数的 77.9%,其中又以松粉最多,平均占总数的 35%;其次为栎和柏,分别平均占总数的 17.4%和 11.5%;灌木及草本植物花粉较乔木植物花粉少,平均占总数的 15.2%,其中又以蒿属和藜科粉较多,分别平均占总数的 3.5%和 2.9%;蕨类及藻类植物孢子少,平均占总数的 6.8%,其中又以平均占总数 3.4%的水龙骨科孢子较多。

该花粉组合显示:代表冷干的植物松、柏基本不变;落叶松明显减少,藜科减少明显;代表温暖湿润

的植物栎继续增多,铁杉增加显著。因此该段气候主要表现为温暖湿润特征。植被类型总体表现出针、阔叶混交森林草原型。

组合 5:松—栎—柏—藜花粉组合。该带可划分子剖面底部高程 2 228~2 273 m 土层中。该花粉组合带之特征是:乔木植物花粉多,平均占总数的 73.7%,其中又以松粉最多,平均占总数的 35.9%;其次为栎和柏,分别平均占总数的 14.2%和 11.2%;灌木及草本植物花粉较乔木植物花粉少,平均占总数的 19.3%,其中又以藜科和榛粉较多,分别平均占总数的 6.2%和 4.9%;蕨类及藻类植物孢子少,平均占总数的 7%,其中又以平均占总数 3.3%的水龙骨科孢子较多。

该花粉组合显示:代表冷干的植物松、栎基本不变;落叶松稍有增加,藜科增加显著,禾木稍有增加;代表温暖湿润的植物栎、铁杉开始减少。因此该段气候主要表现为凉半干特征。植被类型总体表现出针、阔叶混交疏林草原型。

组合 6:松—栎—榛—蒿花粉组合。该带可划分子剖面底部高程 2 273~2 289 m 土层中。该花粉组合带之特征是:乔木植物花粉多,平均占总数的 71.1%,其中又以松粉最多,平均占总数的 38.8%;其次为栎和柏,分别平均占总数的 11.0%和 8.1%;灌木及草本植物花粉继续增加,平均占总数的 21.1%,其中又以榛和蒿粉较多,分别平均占总数的

10.2%和 3.9%;蕨类及藻类植物孢子少,平均占总数的 7.8%,其中又以平均占总数 4.1%的水龙骨科孢子较多。

该花粉组合显示:代表冷干的植物松稍有增加,柏明显减少,藜科显著减少;代表温暖湿润的植物栎、铁杉继续减少,榛增加显著.因此该段气候主要表现为温湿特征.植被类型总体表现出针叶疏林草原原型。

组合 7:松—栎—藜花粉组合带.该带可划分于剖面底部高程 2 289~2 305 m 土层中.该花粉组合带之特征是:乔木植物花粉多,平均占总数的 80.5%,其中又以松粉最多,平均占总数的 48.7%;其次为栎,平均占总数的 11.5%;灌木及草本植物花粉较乔木植物花粉少,平均占总数的 12.3%,其中又以榛和藜粉较多,分别平均占总数的 2.82%和 2.77%;蕨类及藻类植物孢子少,平均占总数的 7.2%,其中又以平均占总数 1.82%的水龙骨科孢子较多。

该花粉组合显示:代表冷干的植物松增加;代表温暖湿润的植物栎相对较多与上一阶段基本持平.因此该段气候主要表现为凉半湿润气候特征.植被类型总体表现出森林草原植被。

组合 8:松—栎—柏—榛—禾木花粉组合带.该带可划分于剖面底部高程 2 305~2 322 m 土层中.该花粉组合带之特征是:乔木植物花粉多,平均占总数的 76.8%,其中又以松粉最多,平均占总数的 40.8%;其次为栎,平均占总数的 14.2%;其中柏的含量增高平均占总数的 3.6%;灌木及草本植物花粉有所上升,平均占总数的 16.6%,其中又以榛、禾木以及藜粉较多,分别平均占总数的 3.7%,3.4%,3.3%;蕨类及藻类植物孢子少,平均占总数的 6.6%,其中又以平均占总数 2.8%的水龙骨科孢子较多。

该花粉组合显示:代表冷干的植物松有所下降增加;代表温暖湿润的植物栎相对增加.因此该段气候主要表现为温凉半干旱气候特征.植被类型总体表现出针阔叶混交疏林草原植被。

组合 9:松—栎—落叶松—榛—藜花粉组合带(疏林草原植被,冷干气候).该带可划分于剖面底部高程 2 322~2 334 m 土层中.该花粉组合带之特征是:乔木植物花粉多,平均占总数的 73.1%,其中又以松粉最多,平均占总数的 43.1%;其次为栎和落叶松,分别平均占总数的 8.7%和 6.7%;其中落叶松增加明显,而柏减少显著;灌木及草本植物花粉继续上

表 1 AMS¹⁴C 测年成果
Table 1 Dating results of AMS¹⁴C

编号	取样位置	高程(m)	AMS ¹⁴ C Age (a B.P.)	Error (1σa B.P.)
ZK1-2	叠溪古堰塞湖 ZK1	2 306	16 902	75
ZK3-1	叠溪古堰塞湖 ZK3	2 206	22 870	105
ZK2-5	叠溪古堰塞湖 ZK2	2 094	30 830	200

注:表中计算年龄所用的¹⁴C 半衰期为 5 568 年。

升,平均占总数的 18%,其中又以藜、榛花粉较多,分别平均占总数的 3.3%,2.2%;另外石竹科突然出现;蕨类植物孢子少,平均占总数的 8.7%,其中又以平均占总数 2.9%的水龙骨科孢子较多;藻类植物孢子消失。

该花粉组合显示:代表冷干的植物松稍有增加;代表温暖湿润的植物栎相对下降明显.因此该段气候主要表现为冷干气候特征.植被类型总体表现出疏林草原植被。

2.2 测年结果及分析

测年样品委托中科院地球环境研究所西安加速器质谱中心(2010)测试,测试结果见表 1.测试结果显示:古堰塞湖沉积物底部年龄为 30 830 a B.P.,靠近顶部年龄为 16 902 a B.P..

在这期间古堰塞湖共沉积了约 243 m 厚的湖相沉积物,沉积速率大约是 15.215 mm/a.根据各控制点测试结果,采用插值法计算获得古堰塞湖沉积物剖面的时间序列(表 2)。

2.3 古堰塞湖沉积物气候环境分段特征

根据孢粉分布特征与年代测试结果,将叠溪古堰塞湖沉积物剖面气候环境特征大致划分为 9 个时段(表 3)。

3 讨论与结论

本次测试分析采用的是孢粉百分比统计法,得到的结果应与其他的环境代用指标相结合,进一步准确地分析区内的环境演化特征。

该文主要得到以下结论:(1)叠溪古堰塞湖沉积物形成于大约 3.0~1.5 万年前,沉积速率大约为 15 mm/a.(2)叠溪古堰塞湖沉积物孢粉信息显示,堰塞湖存在时期,气候主要表现为温凉半干旱与寒冷干旱交替;环境主要表现为森林草原和疏林草原交替.(3)从整个剖面孢粉特征显示,该沉积剖面可划分出 9 个孢粉组合特征,表明在堰塞湖存在的 3.0~1.5 万年前期间,气候环境可能有 9 次变化。

表 2 沉积物剖面时间序列

Table 2 Time series of sediment profile

高程(m)	2 095	2 141	2 173	2 212	2 228	2 273	2 289	2 306	2 322	2 334
¹⁴ C Age (a B.P.)	30 830	27 531	25 236	22 512	21 557	18 871	17 917	16 902	15 650	14 992

表 3 沉积物剖面气候环境分段特征

Table 3 Characteristics of climate and environment section on the sediment profile

分段编号	高程(m)	时间(a B.P.)	气候特征	环境特征
1	2 095~2 141	30 830~27 531	温凉半湿润	针阔叶混交森林草原
2	2 141~2 173	27 531~25 236	寒冷干旱	针叶森林草原
3	2 173~2 212	25 236~22 512	温凉半干旱	针阔叶混交疏林草原
4	2 212~2 228	22 512~21 557	温暖湿润	针阔叶混交森林草原
5	2 228~2 273	21 557~18 871	凉半干旱	针阔叶混交疏林草原
6	2 273~2 289	18 871~17 917	温暖湿润	针叶疏林草原
7	2 289~2 305	17 917~16 902	温凉半干旱	针阔叶混交疏林草原
8	2 305~2 322	16 902~15 650	凉半湿润	森林草原
9	2 322~2 334	15 650~14 992	寒冷干旱	疏林草原

(4)该成果揭示了青藏高原东部边缘叠溪地区古气候环境中的植物孢粉演化特征.

References

An, W. P., Zhao, J. Q., Yan, X. B., et al., 2008. Tectonic Deformation of Lacustrine Sediments in Qiangyang on the Minjiang Fault Zone and Ancient Earthquake. *Seismology and Geology*, 30 (4): 980 — 988 (in Chinese with English abstract).

Duan, L. P., Wang, L. S., Yang, L. Z., et al., 2002. The Ancient Climatic Evolution Characteristic Reflected by Carbon and Oxygen Isotopes of Carbonate in the Ancient Barrier Lacustrine Deposits, Diexi, Minjiang River. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 13 (2): 91—96 (in Chinese with English abstract).

Krivonogov, S. K., Sheinkman, V., Mistryukov, S. A., 2005. Stage in the Development of the Darhad Dammed Lake (Northern Mongolia) during the Late Pleistocene and Holocene. *Quaternary International*, 136 (1): 83 — 94. doi:10.1016/j.quaint.2004.11.010

Liu, D. S., 1985. Loess and Environment. Peking Science and Technology Press, Beijing, 336—348 (in Chinese).

Moreiras, S. M., 2006. Chronology of a Probable Neotectonic Pleistocene Rock Avalanche, Cordon del Plata (Central Andes), Mendoza, Argentina. *Quaternary International*, 148 (1): 138—148. doi:10.1016/j.quaint.2005.11.009

Rodolfo, K. S., Umba, J. V., 2008. A Prehistoric Lahar-Dammed Lake and Eruption of Mount Pinatubo Described in a Philippine Aborigine Legend. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 176 (3): 432 — 437. doi:10.1016/j.jvolgeores.2008.01.030

Trauth, M. H., Strecker, M. R., 1999. Formation of Landslide-Dammed Lakes during a Wet Period between 40 000 and 25 000 yr B.P. in Northwestern Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 153 (1—4): 277 — 287. doi:10.1016/S0031—0182(99)00078—4

Wang, L. S., Wang, X. Q., Cui, J., et al., 2005. Jinsha River Wudongde Hydropower Jinpingzi Landslide Stability Report (Research Reports). Chengdu University of Technology, Chengdu, 85—90 (in Chinese).

Wang, L. S., Wang, X. Q., Cui, J., et al., 2007. What Happened on the Upstream of Minjiang River in Sichuan Province 20 000 Years Ago. *Earth Science Frontiers*, 14 (4): 189—196 (in Chinese with English abstract).

Wang, L. S., Yang, L. Z., Li, T. B., et al., 2000. Evolution Mechanism of Jiaochang Earthquake Landslide on Minjiang River and Its Controlling. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation*, 11 (3): 195 — 199 (in Chinese).

Wang, L. S., Yang, L. Z., Wang, X. Q., et al., 2005. Discovery of Huge Ancient Dammed Lake on Upstream of Minjiang River in Sichuan, China. *Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition*, 32 (1): 1—11 (in Chinese with English abstract).

Wang, P., Zhang, B., Qiu, W. L., et al., 2011. Soft-Sediment Deformation Structures from the Diexi Paleo-Dammed Lakes in the Upper Reaches of the Minjiang River, East Tibet. *Journal of Asian Earth Sciences*, 40 (4): 865—872.

Wang, X. Q., 2009. The Environment Geological Information

- in the Sediments of Diexi Ancient Dammed Lake on the Upstream of Mingjiang River in Sichuan Province, China (Dissertation). Chengdu University of Technology, Chengdu, 24—95 (in Chinese with English abstract).
- Wassmer, P., Schneider, J. L., Pollet, N., et al., 2004. Effects of the Internal Structure of a Rock-Avalanche Dam on the Drainage Mechanism of Its Impoundment, Films Sturzstrom and Ilanz Paleo-Lake, Swiss Alps, *Geomorphology*, 61(1—2): 3—17. doi: 10.1016/j.geomorph.2003.11.003
- Weidinger, J. T., 1998. Case History and Hazard Analysis of Two Lake-Damming Landslides in the Himalayas. *Journal of Asian Earth Sciences*, 16(2—3): 323—331. doi: 10.1016/S0743-9547(98)00026-9
- Weidinger, J. T., Wang, J. D., Ma, N. X., 2002. The Earthquake-Triggered Rock Avalanche of Cui Hua, Qin Ling Mountains, P.R. of China: The Benefits of a Lake-Damming Prehistoric Natural Disaster. *Quaternary International*, 93—94, 207—214. doi: 10.1016/S1040-6182(02)00019-8
- Wu, J. L., Li, S. J., Wang, S. M., et al., 2000. Modern Climatic Signals Recorded in Xincuo Lake Sediments in Zoige Basin, Eastern Tibetan Plateau, China. *Journal of Lake Science*, 12(4): 291—296 (in Chinese with English abstract).
- Yang, W. G., 2005. Research of Sedimentary Record in Terraces and Climate Vary in the Upper Reaches of Mingjiang River, China (Dissertation). Chengdu University of Technology, Chengdu, 47—59 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y., Zhu, L. D., Yang, W. G., et al., 2009. High Resolution Rapid Climate Change Records of Lacustrine Deposits of Diexi Basin in the Eastern Margin of Qinghai-Tibet Plateau, 40—30 ka BP. *Earth Science Frontiers*, 16(5): 91—98 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. S., Zhao, X. T., Hu, D. G., et al., 2007. An Ancient Landslide-Dammed Lake Found in the Jinsha River Valley Near Benzilan, Dêqên, Yunnan, China and Its Significance. *Geological Bulletin of China*, 26(8): 970—975 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, X. T., Qu, Y. X., Zhang, Y. S., et al., 2007. Discovery of Shigu Paleolake in the Lijiang Area, Northwestern Yunnan, China and Its Significance for the Development of the Modern Jinsha River Valley. *Geological Bulletin of China*, 26(8): 960—969 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, D. G., Meng, X. G., Zhao, X. T., et al., 2004. Lake-Level Change of Nam Co, Tibet, since the Late Pleistocene and Environment Information of Clay Minerals in Lacustrine Deposits, 10(4): 300—309 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 安卫平, 赵晋泉, 闫小兵, 等, 2008. 岷江断裂羌阳桥一带古堰塞湖沉积及构造变形与古地震. *地震地质*, 30(4): 980—988.
- 段丽萍, 王兰生, 杨立铮, 等, 2002. 岷江叠溪古堰塞湖沉积物碳酸盐碳氧同位素记录所揭示的古气候演化特征. *中国地质灾害与防治学报*, 13(2): 91—96.
- 刘东生, 1985. 黄土与环境. 北京: 北京科学技术出版社, 336—348.
- 王兰生, 王小群, 崔杰, 等, 2005. 金沙江乌东德水电站金坪子滑坡区稳定性研究报告. 成都: 成都理工大学, 85—90.
- 王兰生, 王小群, 崔杰, 等, 2007. 岷江上游两万年左右前发生了什么事情? *地学前缘*, 14(4): 189—196.
- 王兰生, 杨立铮, 李天斌, 等, 2000. 四川岷江叠溪较场地震滑坡及环境保护. *地质灾害与环境保护*, 11(3): 195—199.
- 王兰生, 杨立铮, 王小群, 等, 2005. 岷江叠溪古堰塞湖的发现. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 32(1): 1—11.
- 王小群, 2009. 岷江上游叠溪古堰塞湖沉积物的环境地质信息研究(博士学位论文). 成都: 成都理工大学, 24—95.
- 吴敬禄, 李世杰, 王苏民, 等, 2000. 若尔盖盆地兴措湖沉积记录揭示的近代气候与环境. *湖泊科学*, 12(4): 291—296.
- 杨文光, 2005. 岷江上游阶地沉积记录与气候环境变迁研究(硕士论文). 成都: 成都理工大学, 47—59.
- 张岩, 朱利东, 杨文光等, 2009. 青藏高原东缘叠溪海盆地 40~30 ka BP 高分辨率快速气候变化记录. *地学前缘*, 16(5): 91—98.
- 张永双, 赵希涛, 胡道功, 等, 2007. 滇西北德钦地区金沙江奔子栏古堰塞湖的发现及意义. *地质通报*, 26(8): 970—975.
- 赵希涛, 曲永新, 张永双, 等, 2007. 滇西北丽江地区石鼓古湖的发现及其在现代金沙江河谷发育中的意义. *地质通报*, 26(8): 960—969.
- 朱大岗, 孟宪刚, 赵希涛, 等, 2004. 西藏纳木错晚更新世以来湖面变化和湖相沉积中粘土矿物显示的环境信息. *地质力学学报*, 10(4): 300—309.