

青藏高原定结盆地中更新世 孢粉记录及其环境意义



韩建恩^{1,2)}, 邵兆刚³⁾, 裴军令^{1,2)}, 余佳¹⁾, 王津¹⁾, 张倩倩⁴⁾, 朱大岗¹⁾

1) 中国地质科学院地质力学研究所, 北京, 100081;

2) 自然资源部古地磁与古构造重建重点实验室, 北京, 100081;

3) 中国地质科学院, 北京, 100037; 4) 东北农业大学, 哈尔滨, 150030

内容提要: 西藏定结盆地叶如藏布东岸剖面为一套灰与灰白色黏土质砂、粉砂、细砂与粗砂层所组成的湖相沉积地层, 厚约 41.3 m, ESR 和 U 系测年数据显示该地层沉积时间介于距今 551.6 ~ 202.4 ka 的中更新世时期。该套地层的孢粉化石丰富, 依据孢粉化石类型与丰度变化, 自下而上可分为 5 个孢粉带。结合测年结果、孢粉和介形类记录, 定结盆地中更新世的古环境变化阶段为: 551.6 ~ 448.4 ka, 气候温暖湿润, 适宜植物生长; 448.4 ~ 375.2 ka, 气候向冷干转化; 375.2 ~ 291.2 ka, 气候波动频繁, 呈现冷湿—冷干—冷湿的变化过程; 291.2 ~ 261.0 ka, 气候进一步趋于干冷; 261.0 ~ 202.4 ka, 气候波动频繁, 表现为冷干—暖湿—冷干的变化过程。

关键词: 青藏高原; 定结盆地; 中更新世; 孢粉; 古环境变化

在传统认识中, 以雅鲁藏布江为界可将西藏中部地区分为藏南谷地区和藏北高原区。藏南谷地区由西往东分布有一系列的晚新生代沉积盆地, 依次为札达盆地、普兰盆地、吉隆—沃马盆地、达涕盆地、定日盆地、定结盆地、长所盆地、亚东—谷露盆地、曲松盆地和隆子盆地。这些盆地的沉积环境相对稳定, 其河湖相沉积地层比较连续, 是研究高原古环境、古气候变化的理想场所。

定结盆地位于青藏高原南部藏南谷地中部, 喜马拉雅山脉中段, 约北纬 28°10' ~ 28°30', 东经 87°55' ~ 88°40', 海拔约 4200 ~ 4600 m (图 1), 处于喜马拉雅山与拉轨岗日山之间, 为一封闭区域。中国地质大学(武汉)研究团队在定结北测制了第四系中更新统厚 25.31 m 的湖相地层剖面(李德威等, 2014)。邵兆刚等(2013a)将定结地区的第四系中更新世—晚更新世河湖相沉积地层命名为定结群($Qp^{2-3}D$), 并将其从老到新划分为第四系中更新统叶如藏布组($Qp^{21}y$)和上更新统麻加组($Qp^{31}m$)。韩建恩等(2014)系统采集分析了叶如藏布北湖相地层中的介形类化石, 重建了定结盆地中更新世的

湖泊水体演化过程。

在陆相环境中, 植物群是环境的重要组成部分, 也是环境变化的一种主要标志(童国榜等, 1996)。过去 20 年间, 利用孢粉指标定性或定量地重建青藏高原植被、古气候与环境变化的研究取得了重要进展(李建国和周勇, 2001; 吕厚远等, 2001; 韩建恩等, 2005; 吕荣平等, 2006; 余佳等, 2007; 孙黎明等, 2007; 徐亚东等, 2010; 江尚松等, 2010; 吴旌等, 2013), 但是已有研究主要集中于末次冰期至全新世阶段(Morrill et al., 2003; 唐领余等, 2004; Herzsuh et al., 2006, 2014; Shen Caiming et al., 2006; 刘俊英等, 2007; Zhao Yan et al., 2007; Li Quan et al., 2011; Opitz et al., 2015; Zhu Liping et al., 2015; Ma Qingfeng et al., 2019), 相比之下覆盖中更新世时段的记录相对较少(边彦明等, 2013; 邵兆刚等, 2013b)。这也导致中更新世青藏高原环境变化及其对全球气候变化的响应研究受到了严重的制约。鉴于此笔者等选择定结县城东约 8 km 处的叶如藏布东岸剖面开展相关研究。在定结盆地湖相地层剖面的年代学框架基础上, 对地层沉积特征

注: 本文为国家自然科学基金资助项目(编号: 41772381, 41702384), 第二次青藏高原综合科学考察研究项目(编号: 2019QZKK0901), 中国地质科学院地质力学研究所基本科研业务费项目(编号: DZLXJK201710、所科研 57)和中国地质调查局项目(编号: 12120113006100、121201104000150009 和 1212011087114)的成果。

收稿日期: 2022-04-08; 改回日期: 2022-07-19; 网络首发: 2022-08-20; 责任编辑: 刘志强。Doi: 10.16509/j.georeview.2022.08.021

作者简介: 韩建恩, 男, 1980 年生, 博士, 正高级工程师, 主要从事青藏高原古环境、古气候研究; Email: hanjianen@163.com。

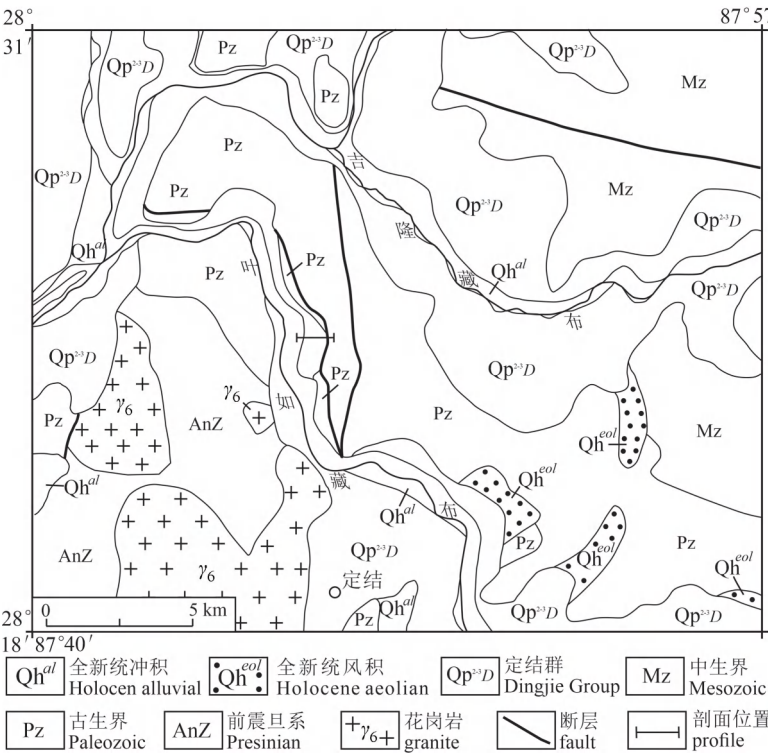


图 1 西藏定结盆地地区地质图及研究剖面位置 (据邵兆刚等, 2013a)

Fig. 1 Geological map of Dingjie area and location of the studied profile (after Shao Zhaogang et al. , 2013a&)

与孢粉化石组合进行分析,结合孢粉与介形类的化石记录,重建藏南谷地定结盆地中更新世的植被与环境演变过程。

1 研究区域背景

定结盆地地势南北高中间低,处于喜马拉雅山与拉轨岗日山之间,其南部喜马拉雅山支脉海拔在 4700 m 以上,北部拉轨岗日山海拔在 5500 m 左右。盆地属于高原温带半干旱气候区域,年平均气温 2℃,一月份平均气温-8℃,极端最低气温平均-27℃;七月份平均气温 12℃,极端最高气温平均 18℃。年降雨量 236.2 mm,蒸发强烈,年蒸发量 3000 mm。研究区现代植被主要以高山灌丛、草甸、草原等高山植被为主,以莎草科 (Cyperaceae) 和禾本科 (Poaceae) 等为主,主要为高山蒿草 (Kebresia Pygmaea)、矮生蒿草 (K. Humilis)、线叶蒿草 (K. Capilifolia)、藏北蒿草 (K. Littledalei)、华扁穗草 (Blysmus Sinocompressus)、青 藏 苔 草 (Cares

Moorcroftii)、紫花针茅 (Stipa Purpurea)、固沙草 (Orinus Thoroldii)、白草 (Pennisetum Flaccidum)、羽柱针茅 (S. Supsessiliflora Var. Basiplumosa)、羊茅 (Festuca Ovina)、三角草 (Trikeriaia Hookeri) 以及藏莎蒿 (Artemisia Wellbyi) 等 (叶延琼等, 2003)。

定结盆地地处青藏高原南北向裂谷与藏南谷地的交汇部位,盆地中沉积了一套中、晚更新世湖相地层,晚更新世晚期定结古湖外流,湖泊解体,叶如藏布河水从盆地穿过。现今保存的大面积的中更新世和晚更新世湖相地层形成了湖积平原。叶如藏布东岸剖面是由河水冲刷而形成的天然剖面,剖面出露厚度约 41.3 m (图 2),为一套灰与灰白色黏土质砂、粉砂、细砂与粗砂层所组成的湖相沉积地层 (韩建恩等, 2014),湖相地层含有丰富的孢粉化石。该套地层的详细描述见韩建恩等 (2014)。

2 地层年代厘定

笔者等以 3 ~ 5 m 的间隔从定结盆地湖相地层剖面采集了 9 个 ESR 测年样品 (图 1)。样品经自然风干后,被粉碎为 0.2~0.125 mm 的颗粒,由成都理工大学应用核技术研究所 ESR 实验室梁兴中教授用 KJD-2000N 低本底伽玛仪和微机数据采集系统测定其 α 和 γ 天然放射性,同时进行含

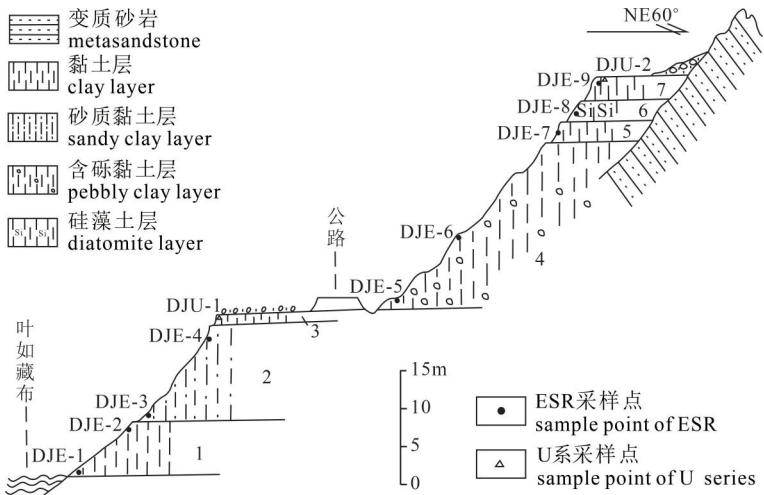


图 2 西藏定结盆地叶如藏布东实测剖面图 (据韩建恩等, 2014 修改)

Fig. 2 Measured section of East bank of Yeru River in Dingjie Basin (modified after Han Jian'en et al. , 2014&)

水量校正。分选出 0.2 ~ 0.45 mm 粒度单矿物石英样品(每样质量 120 mg),之后进行热活化处理;在冷却 7 d 后,用德国 ER-2000D-SRC 电子自旋共振仪测定其顺磁中心浓度值。其中的 8 个样品可测出具体年龄,而样品 DJE1 接近叶如藏布水面,可能其水分含量过高,未能测得年代(韩建恩等,2014)。定结县麻加乡机脚桥南东湖相地层的光释光测年结果为距今 233.4 ± 24.7 ka,其古地磁测年法得到的标准年龄约为 390 ka;萨尔乡达日阿剖面的古地磁测年结果分别为 128 ka、290 ka、390 ka(李德威等,2014)。为了更进一步确定该套湖相地层的时代,笔者等在剖面共采集了 2 个 U 系测年样品,结果显示第 7 层年代为 161.0 ka,第 3 层年代大于 350 ka, U 系的测试结果与 ESR 测年结果(韩建恩等,2014)相一致。综合考察前人和本次研究的测年结果,年代范围均介于中更新世(730 ~ 130 ka)(全国地层委员会,2001)。定结盆地湖相地层剖面的沉积年代可确定为中更新世中晚期。在前人 ESR 年龄数据与本研究 U 系测年结果基础上,按沉积速率插入法外推了剖面顶部和底部的年代,形成了该研究沉积剖面的年代框架(图 3)。

3 孢粉分析结果

沉积物样品的孢粉化石实验提取采用了常规氢氟酸溶液处理与过筛处理,获得了丰富的孢粉化石,从 164 个样品中共提取与鉴定到 33855 粒花粉,平均每样约 206 粒,平均孢粉浓度约 527 粒/克。结果显示,孢粉组合中草本植物花粉含量(3.0% ~

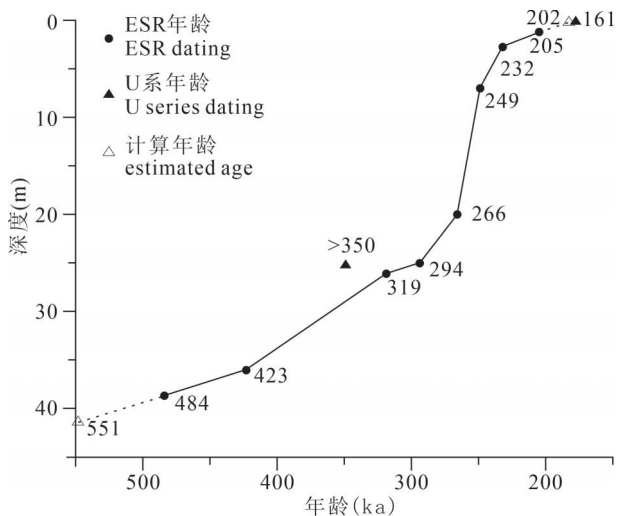


图 3 西藏定结盆地叶如藏布剖面地层年代框架
Fig. 3 Section dating results of East bank of Yeru River
in Dingjie Basin, Xizang (Tibet)

96.8%,平均值为 57.6%)略高于木本植物花粉(0 ~ 96.2%,平均值为 38.8%),蕨类植物孢子含量最少(最高 54.7%,平均为 3.5%)。草本植物花粉以藜科(Chenopodiaceae)、蒿属(*Artemisia*)的含量较高(平均含量分别为 8.7%和 38.9%),其次为禾本科(Poaceae)、菊科(Asteraceae)、唇形科(Lamiaceae),水生草木植物中香蒲属(*Typha*)含量较高(平均 0.4%),其他还见狐尾藻属(*Myriophyllum*)、眼子菜属(*Potamogeton*)、黑三棱属(*Sparganium*)等。木本植物花粉中针叶树类型超过阔叶树类型,针叶树类型有松属(*Pinus*)、冷杉属(*Abies*)、云杉属(*Picea*)、杉科(Taxodiaceae)及现今植物中未见的铁杉属(*Tsuga*)、罗汉松属(*Podocarpus*)、雪松属(*Cedrus*)。阔叶树类型中栎属(*Quercus*)含量较高(平均含量 0.6%),其次是桦木属(*Betula*)花粉(平均含量 0.9%),其他的还有榆科(Ulmaceae)、胡桃科(Juglans)等花粉,灌木属种麻黄属(*Ephedra*)(平均含量 5.4%)、白刺属(*Nitraria*)含量较少(平均含量 0.1%)。蕨类植物孢子以铁线蕨属(*Adiantum*)、水龙骨属(*Polypodiaceae*)、中华卷柏(*Selaginella Sinensis*)及真蕨纲(Filicale)的分子为主。整体上孢粉化石组合所代表的古植被类型为草原或森林草原。

依据剖面的孢粉化石组合特征,自下而上可以划分出 5 个孢粉化石带(图 4):

孢粉带 I(样号 DJ1 ~ DJ25, 551.6 ~ 448.4 ka)孢粉化石丰富,其最高可达 2094 粒/克,平均浓度为 1095 粒/克。木本植物花粉占绝对优势,其平均含量(59%)明显高于草本植物花粉(平均含量 37%)。蕨类植物孢子含量极低。其中,木本类型以松属为主,至本带晚期铁杉属、桤木属(*Alnus*)含量明显增加,草本类型以蒿属为主,其次为沙棘属(*Hippophae*),晚期蔷薇科(Rosaceae)含量出现峰值。

孢粉带 II(样号 DJ26 ~ DJ40, 448.4 ~ 375.2 ka)孢粉含量丰富,浓度达 2000 粒/克,最高可达 7533 粒/克。其中,草本植物花粉占优势,含量由 30%迅速升高至 70%,草本类型以蒿属为主,蔷薇科呈迅速减少,沙棘属在后期明显增加。木本植物花粉含量显著下降,由初期的近 80%迅速降低到 20%以下,木本类型以栎属、桤木属为主,松属含量呈迅速下降趋势。蕨类孢子主要以真蕨纲为主,孢子含量在本带有所增长。

孢粉带 III(样号 DJ41 ~ DJ73, 375.2 ~ 291.2 ka)

孢粉丰富,浓度约为 690 粒/克。本带草本植物花粉含量略高于木本植物花粉。主要孢粉类型有松属、铁杉属、蒿属、十字花科 (*Brassicaceae*) 及水龙骨科等。耐旱灌木植物麻黄属花粉呈增多趋势。该带可分为 3 个亚带,其中:

亚带 III₁ (样号 DJ41 ~ DJ47, 375.2 ~ 352.5 ka), 草本、木本花粉均呈明显下降趋势,蕨类孢子含量为整个剖面的最高。其中,草本类型含量总体大于木本类型,木本类型以松属为主,其次为铁杉属,草本类型以蒿属为主。

亚带 III₂ (样号 DJ48 ~ DJ60, 352.5 ~ 313.4 ka), 木本、草本植物花粉含量均较高,是整条剖面孢粉浓度最高的阶段。其中,草本花粉占优势地位,呈小幅波动特征,蕨类孢子含量显著降低;木本植物花粉以松属为主,其次为桦木属、铁杉属、桤木属和鹅耳枥属 (*Carpinus*) 等,草本花粉主要为藜科、蒿属和毛茛科 (*Ranunculaceae*)。

亚带 III₃ (样号 DJ61 ~ DJ73, 313.4 ~ 291.2 ka), 孢粉总浓度有所下降,木本类型的含量明显升高 (平均含量 53.4%), 草本类型含量相应降低 (平均含量 42.5%)。木本类型以松属为主,其次为桦木属、桤木属和鹅耳枥属等,铁杉属含量减少。草本类型以禾本科、藜科和毛茛科为主,蒿属含量下降。

孢粉带 IV (样号 DJ74 ~ DJ115, 291.2 ~ 261.0 ka) 孢粉化石数量稀少 (约为 24 粒/克)。本组合中草本植物花粉占优势,平均含量达 73%。本带主要孢粉类型有蒿属、松属及鹅耳枥属等。耐旱灌木植物麻黄属花粉含量增长至到整个剖面最高值。水生草本花粉狐尾藻属时有出现。

孢粉带 V (样号 DJ116 ~ DJ164, 261.0 ~ 202.4 ka) 孢粉欠丰富,平均浓度为约 30 粒/克。本带孢粉组合特征与孢粉带 III 接近,但草本类型含量大多远高于木本类型。孢粉组合的主要孢粉类型有蒿属、松属、藜科及十字花科等,其次为榆科、麻黄属、鹅耳枥属、落叶栎属 (*Quercus*) 及桦木属等。水生草本狐尾藻孢粉含量明显增长。该带又可分为 4 个亚带,其中:

亚带 V₁ (样号 DJ116 ~ DJ133, 261.0 ~ 252.9 ka), 孢粉含量总体稳定。草本植物花粉 (以蒿属为主) 含量先下降后逐渐增加至 74% ~ 84%; 木本类型 (松属为主,铁杉属次之) 含量在本带初期大于草本花粉含量,之后逐渐减低并稳定在 44% 左右。

亚带 V₂ (样号 DJ134 ~ DJ143, 252.9 ~ 249.9 ka) 草本植物孢粉占绝对优势,含量最高达 92%; 木

本植物孢粉平均占 23% 左右,并存在小幅波动,含量在 7% ~ 41% 之间。木本植物花粉主要为松属、桦木属,含少量鹅耳枥属,草本花粉主要为禾本科、藜科和蒿属。

亚带 V₃ (样号 DJ144 ~ DJ155, 249.9 ~ 225.4 ka), 木本植物孢粉含量明显升高 (最高可达 96%), 草本含量相应出现极低值。木本植物孢粉以松属为主,桦木属含量逐渐降低,铁杉属含量很低,平均含量仅为 1%。草本植物以禾本科和藜科为主,蒿属含量大幅下降,之后在后期有所增加。

亚带 V₄ (样号 DJ156 ~ DJ164, 225.4 ~ 202.4 ka), 草本植物孢粉占绝对优势,平均含量在 73.5%, 以蒿属为主,其次为禾本科和藜科; 木本类型平均含量在 25.8%, 以松属为主,但鹅耳枥属含量增多。

4 孢粉组合反映的古植被、古环境演化过程

定结盆地叶如藏布剖面孢粉序列中松属花粉含量最高,其平均值为 25.9%, 最高含量可达 92.7%。已有表土孢粉与植被关系的研究表明,当松属花粉含量超过 30% 时,一般可以认为其指示了本地植被中松属的存在 (肖霞云等, 2006; 郑茜等, 2014)。孢粉组合是由本地植被和外来孢粉共同组成的,两者之间应是此消彼长的数量关系。本文研究区位于青藏高原,由于气候环境恶劣,本地植被稀疏,局地植物产生的孢粉数量可能很少,孢粉组合中外来的松属花粉百分含量可能相对较高。诸多孢粉与植被关系的研究显示,产量高、可远距离传播的松属花粉具有超代表性 (Ruffaldi, 1994; Vermoere et al., 2001; Xiao Xiayun et al., 2011)。在 800 ka 前,西南季风可能已经到达了定结地区所在的藏南谷地 (靳鹤龄等, 1996); 高原腹地色林错湖泊的孢粉资料也显示乔木花粉化石很可能是由强大的西南季风从邻近的藏东南针叶林分布区携带而来 (孙湘君等, 1993)。综合前人的研究,藏南谷地定结盆地中更新世 (551.6 ~ 202.4 ka) 时期的高松属含量,不能作为当地大面积松林长时间持续存在的直接证据,同时也不排除中更新世气候温暖的时段,周围山地发育有松林。在研究区古环境重建中,我们将松属花粉化石的含量用作西南季风强弱变化的替代指标,即季风强时松属含量增加,反之减少。

定结盆地叶如藏布东剖面的孢粉化石组合特征反映出藏南谷地中更新世的古植被与古气候变化呈

5个阶段:

(1) 551.6 ~ 448.4 ka 时段。研究区植被为针叶林,以松属、铁杉属、桧木属为主;草本植物以蒿属为主,次为沙棘属,本时段后期蔷薇科植物有所发育。当时西南季风较强盛,研究区气候温暖湿润,适宜针叶林植被的发育。

(2) 448.4 ~ 375.2 ka 时段。研究区发育了森林草原植被,草原植被主要以蒿属为主,次为蔷薇科、沙棘,木本植物主要以栎属、桧木属为主。松属含量迅速下降反映西南季风减弱,本区气候向干旱转变。

(3) 375.2 ~ 291.2 ka 时段。孢粉组合反映的古植被整体为针阔叶混交林为主的森林草原,该时期西南季风逐渐加强。在 375.2 ~ 352.5 ka,草本和木本植物明显退化,蕨类植物繁盛,气候呈现冷湿的特征;352.5 ~ 313.4 ka 时期,木本、草本植物均非常发育,为中更新世最为繁盛的阶段;313.4 ~ 291.2 ka 时期,植被整体退化,植被类型为稀树草原,气候相对冷湿。

(4) 291.2 ~ 261.0 ka 时段。孢粉组合反映的为草原植被环境,植被以耐旱的蒿草、灌木麻黄为主,可见少量的松、鹅耳枥,湖畔和河流浅水区域发育有少量的水生草本植物狐尾藻。这一时期西南季风的影响较弱,气候总体比较干旱,适宜耐旱植物生长。

(5) 261.0 ~ 202.4 ka 时期。植被组成总体表现为草原植被环境,植被以蒿属、松属、藜科及十字花科等为主,松属含量的变化指示了西南季风的影响呈现先减弱、后增强、再减弱的过程。261.0 ~ 252.9 ka 时期,发育草甸草原植被,草本植物以蒿属为主,木本主要为松属、铁杉属,气候冷干;252.9 ~ 249.9 ka 时期,为稀树草原环境,草原植被(禾本科、藜科和蒿属为主)占绝对优势,木本以松属、桦木属、鹅耳枥属为主,气候环境向暖湿方向转变;249.9 ~ 225.4 ka 时期,为森林草原环境,木本植物明显增多,草本植物以禾本科和藜科为主,蒿属大幅下降,气候暖湿;225.4 ~ 202.4 ka 时期,为草甸草原,草本植物占绝对优势,以蒿属为主,禾本科和藜科较少,气候向干冷方向发展。

5 定结盆地中更新世多指标综合记录的古环境演化历史

根据定结盆地湖泊沉积地层特征、孢粉和已发表的介形类化石记录(韩建恩等,2014)的变化,结

合集成的年代框架,集成多指标记录重建了定结盆地中更新世古环境变化历史。

(1) 551.6 ~ 448.4 ka 时期,沉积物以具水平层及微细波状层理灰黑色黏土层为主,介形类以偏冷属的 *Leucocytherella*, *Leucocythere*, *Candona* 属种为主,湖水微咸,水温较低,定结古湖为深水沉积环境,湖水可能主要来自于周边山体的冰川融水和大气降水(韩建恩等,2014)。盆地周边植被类型为针阔叶混交林,西南季风较强盛,气候较温暖湿润。

(2) 448.4 ~ 375.2 ka 时期,沉积剖面以土黄色、浅灰黄色砂质黏土层为主,介形类以 *Leucocythere* 属为主,其次为偏冷属 *Leucocytherella*, 水体收缩并变冷,湖水向咸化发展。此时,湖泊周边森林显著退缩,西南季风的影响减弱,气候趋向于变冷变干。

(3) 375.2 ~ 291.2 ka 时期,沉积物主要为黏土层,介形类 *Leucocytherella* 属含量显著增加,湖泊水体变得更冷,但水体扩大,湖泊向淡化发展(韩建恩等,2014)。区域植被整体上表现为针阔叶混交林为主的森林草原,季风逐渐加强,气候呈现冷湿—冷干—冷湿的阶段变化。

(4) 291.2 ~ 261.0 ka 时期,沉积地层为含砾黏土层,介形类以 *Leucocytherella* 属为主,湖泊水体先缩小后逐渐增大(韩建恩等,2014)。此时期发育了以耐旱的蒿草、灌木植物麻黄为主的草原植被,西南季风影响较弱,气候表现为冷干的特点。

(5) 261.0 ~ 202.4 ka 时期,沉积物为浅黄—灰色硅藻土层,灰、灰黄色黏土层,介形类以 *Leucocytherella*、*Leucocythere* 属为主。本时段后期,藻类大量生长,湖区气候较前一阶段变暖(韩建恩等,2014)。湖泊周边植被呈现草甸草原—稀树草原—森林草原—草甸草原的变化过程,区域气候呈现从冷干到暖湿再到冷干的变化。

6 结论

藏南谷地定结县叶如藏布东岸地层剖面的孢粉化石组合研究显示,研究区中更新世 551.6 ~ 202.4 ka 期间植被与气候经历了5个阶段的变化。551.6 ~ 448.4 ka 研究区植被为针阔叶混交林,西南季风的影响较强盛,气候温暖湿润;448.4 ~ 375.2 ka 植被为森林草原,季风减弱,气候变冷变干;375.2 ~ 291.2 ka 植被为以针阔叶混交林为主的森林草原,季风逐渐加强,气候呈现冷湿—冷干—冷湿的变化过程;291.2 ~ 261.0 ka 期间植被为草原,季风较

弱,气候转为冷干;261.0 ~ 202.4 ka,植被整体为草原,期间经历了草原—稀树草原—森林草原—草甸草原的变化过程,季风呈现先减弱、后增强、再减弱的过程,气候经历了从冷干到暖湿再到冷干的变化过程。

致谢:本文孢粉鉴定工作由中国地质科学院水文地质环境地质研究所童国榜研究员和童松梅老师完成,U 系年龄由中国科学院地质与地球物理研究所马志邦研究员测定,野外工作得到中国地质科学院地质力学研究所孙立蓓、马天林、王建平研究员的指导和帮助。审稿专家和编辑提出了宝贵意见和建议,在此深表谢意!

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

边彦明,余佳,邵兆刚,韩建恩,贺承广. 2013. 西藏佩枯错盆地晚更新世以来的孢粉组合特征及其古气候意义. 地球学报, 34(1): 87 ~ 94.

韩建恩,邵兆刚,余佳,朱大岗,孟宪刚,王津,陈麒光,王艳. 2014. 西藏定结盆地中更新世介形类与环境气候变化. 地质论评, 60(4): 923 ~ 931.

韩建恩,余佳,孟庆伟,吕荣平,朱大岗,孟宪刚,邵兆刚. 2005. 西藏阿里札达盆地香孜剖面孢粉分析. 地质力学学报, 11(4): 320 ~ 327.

江尚松,向树元,徐亚东. 2010. 西藏札达盆地晚上新世—早更新世孢粉组合及其地质意义. 地质科技情报, 29(4): 21 ~ 31.

靳鹤龄,董光荣,李森,刘玉璋,申建友,曹继秀. 1996. 800 ka BP 西藏“一江两河”中游地区的气候与西南季风变化. 中国沙漠, 16(1): 9 ~ 12.

李德威,张雄华,袁晏明,刘德民,谢德凡,曹树钊,易顺华,隋志龙. 2014. 中华人民共和国区域地质调查报告•定结县幅、陈塘区幅(1: 250000). 武汉:中国地质大学出版社.

李建国,周勇. 2001. 西藏西部札达盆地上新世孢粉植物群及古环境. 微体古生物学报, 18(1): 89 ~ 96.

刘俊英,郑绵平,袁鹤然,刘喜方,王海雷. 2007. 西藏扎布耶湖区 128 ~ 1.4 ka BP 的微体古生物与环境气候变化. 地质学报, 81(12): 1618 ~ 1630.

吕厚远,王苏民,吴乃琴,童国榜,羊向东,沈才明,李世杰,朱立平,旺罗. 2001. 青藏高原错湖 2.8 Ma 以来的孢粉记录. 中国科学 (D 辑), 31(增刊): 234 ~ 240.

吕荣平,罗鹏,韩建恩,余佳,孟庆伟,邵兆刚,朱大岗,孟宪刚. 2006. 西藏札达盆地托林剖面孢粉组合特征及其古气候意义. 地质通报, 25(12): 1475 ~ 1480.

全国地层委员会. 2001. 中国年代地层表. 见:全国地层委员会. 编. 中国地层指南及中国地层指南说明书(修订版). 北京:地质出版社: 1 ~ 59.

邵兆刚,朱大岗,孟宪刚,杨朝斌,韩建恩,王津,余佳,吕荣平,王艳,贺承广. 2013a. 西藏定结盆地第四纪湖相地层的厘定、划分和定结群的建立. 中国地质, 40(2): 449 ~ 459.

邵兆刚,孟宪刚,朱大岗,杨朝斌,雷伟志,王津,韩建恩,余佳,孟庆伟,钱程,贺承广. 2013b. 西藏那曲孔玛盆地孢粉记录及

其环境意义. 地球科学:中国地质大学学报, 38(增刊): 1 ~ 9.

孙黎明,阎同生,唐桂英,丁小燕,王瑞君,田立富. 2007. 西藏吉隆盆地新近纪孢粉组合及古地理研究. 中国地质, 34(1): 49 ~ 54.

孙湘君,杜乃秋,陈因硕,顾兆炎,刘家麒,袁宝印. 1993. 西藏色林错湖相沉积物的花粉分析. 植物学报, 35(12): 943 ~ 950.

童国榜,羊向东,王苏民,夏良华. 1996. 满洲里—大杨树一带表土孢粉的散布规律及数量特征. 植物学报, 38(10): 814 ~ 821.

唐领余,沈才明,廖淦标,于世永,李春海. 2004. 末次盛冰期以来西藏东南部的气候变化——西藏东南部的花粉记录. 中国科学 (D 辑:地球科学), 34: 436 ~ 442.

吴旌,徐亚东,张克信,陈奋宁,陈锐明,陈林. 2013. 西藏西南部札达盆地新近纪的孢粉组合. 地质通报, 32(1): 141 ~ 153.

肖霞云,沈吉,肖海丰,童国榜. 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.

徐亚东,张克信,王国灿,向树元,江尚松,陈奋宁. 2010. 西藏南部吉隆盆地中新世—早更新世孢粉组合带及其地质意义. 地球科学:中国地质大学学报, 35(5): 759 ~ 773.

叶廷琼,杨忠,第宝锋,唐定洪,王承峻,唐军. 2003. 西藏定结县草地资源与畜牧业可持续发展. 山地学报, 21(3): 337 ~ 341.

余佳,罗鹏,韩建恩,孟庆伟,吕荣平,孟宪刚,朱大岗,邵兆刚. 2007. 西藏札达盆地古格剖面孢粉记录及其反映的古环境信息. 中国地质, 34(1): 55 ~ 60.

郑茜,张虎才,明庆忠,常凤琴,蒙红卫,张文翔,刘梦竹,沈才明. 2014. 泸沽湖记录的西南季风区 15000a BP 以来植被与气候变化. 第四纪研究, 34(6): 1314 ~ 1326.

Bian Yanming, Yu Jia, Shao Zhaogang, Han Jian'en, He Chengguang. 2013&. Palynological assemblages in the Paiku Co basin of Tibet since Late Pleistocene and their paleoclimatic significance. Acta Geoscientica Sinica, 34(1): 87 ~ 94.

Han Jian'en, Shao Zhaogang, Yu Jia, Zhu Dagang, Meng Xiangang, Wang Jin, Chen Qiguang, Wang Yan. 2014&. Middle Pleistocene Ostracods in the Dingjie Basin, Xizang (Tibet) and its climatic and environmental change. Geological Review, 60(4): 923 ~ 931.

Han Jian'en, Yu Jia, Meng Qingwei, Lü Rongping, Zhu Dagang, Meng Xiangang, Shao Zhaogang. 2005&. Palynological Records in the Qangze Section of the Zanda Basin, Ngari, Tibet. Journal of Geomechanics. 11(4): 320 ~ 327.

Herzschuh U, Winter K, Wünnemann B, Li SJ. 2006. A general cooling trend on the central Tibetan Plateau throughout the Holocene recorded by the Lake Zige tang pollen spectra. Quaternary International, 154 ~ 155: 113 ~ 121.

Herzschuh U, Borkowski J, Schewe J, Mischke S, Tian F. 2014. Moisture-advection feedback supports strong early-to-mid Holocene monsoon climate on the eastern Tibetan Plateau as inferred from a pollen-based reconstruction. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 402: 44 ~ 54.

Jiang Shangsong, Xiang Shuyuan, Xu Yadong. 2010&. Geological Significances of Late Pliocene—Early Pleistocene Palynological Assemblage in Zanda Basin, Tibet. Geological Science and Technology Information, 29(4): 21 ~ 31.

Jin Heling, Dong Guangrong, Li Sen, Liu Yuzhang, Shen Jianyou, Cao Jixiu. 1996&. The Climate and Southwest Monsoon Change in the Middle “One River Two Tributaries” Basin, Tibet Since 0.80 Ma BP. Journal of Desert Research, 16(1): 9 ~ 12.

Li Dewi, Zhang Xionghua, Yuan Yanmin, Liu Demin, Xie Defan, Cao

- Shuzhao, Yi Shunhua, Sui Zhilong. 2014#. Regional geological survey report on the 1: 250000 Dingjiexian and Chentangqu map. Wuhan: China University of Geosciences press.
- Li Jianguo, Zhou Yong. 2001#. Pliocene Palynoflora from the Zanda Basin, West Xizang (Tibet), and the Palaeoenvironment. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 18(1): 89 ~ 96.
- Li Quan, Lu Houyuan, Zhu Liping, Wu Naiqin, Wang Junbo, Lü Xinmiao. 2011. Pollen-inferred climate changes and vertical shifts of alpine vegetation belts on the northern slope of the Nyainqentanglha Mountains (central Tibetan Plateau) since 8. 4 ka BP. *The Holocene*, 21: 939 ~ 950.
- Liu Junying, Zheng Mianping, Yuan Heran, Liu Xifang, Wang Hailei. 2007#. Microfossils and Climatic and Environmental Changes in the Zabuye Lake Area, Tibet, from 128 to 1. 4 ka BP. *Acta Geologica Sinica*, 81(12): 1618 ~ 1630.
- Lü Houyuan, Wang Sumin, Wu Naiqin, Tong Guobang, Yang Xiangdong, Shen Caimin, Li Shijie, Zhu Liping, Wang Luo. 2001#. A new pollen record of the last 2. 8 Ma from the Co Ngoin, central Tibetan Plateau. *Science in China (Series D)*, 31 (Suppl): 234 ~ 240.
- Lü Rongping, Luo Peng, Han Jian'en, Yu Jia, Meng Qingwei, Shao Zhaogang, Zhu Dagang, Meng Xiangang. 2006#. Features of the Sporopollen Assemblage at the Toling Section in the Zanda Basin, Tibet, China, and its Paleoclimatic Significance. *Geological Bulletin of China*, 25(12): 1475 ~ 1480.
- Ma Qingfeng, Zhu Liping, Lü Xinmiao, Wang Junbo, Ju Jianting, Kasper T, Daut G, Haberzettl T. 2019. Late glacial and Holocene vegetation and climate variations at lake Tangra Yumco, central Tibetan plateau. *Global and Planetary Change*, 174: 16 ~ 25.
- Morrill C, Overpeck J T, Cole J E. 2003. A synthesis of abrupt changes in the Asian summer monsoon since the last deglaciation. *The Holocene*, 13(4): 465 ~ 476.
- Opitz S, Zhang C J, Herzschuh U, Mischke S. 2015. Climate variability on the southeastern Tibetan Plateau since the Lateglacial based on a multiproxy approach from Lake Naleng—Comparing pollen and non-pollen signals. *Quaternary Science Reviews*, 115: 112 ~ 122.
- Ruffaldi P. 1994. Relationship between recent pollen spectra and current vegetation around the cerin peat bog (Ain, France). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 82(1 ~ 2): 97 ~ 112.
- Shao Zhaogang, Zhu Dagang, Meng Xiangang, Yang Chaobin, Han Jian'en, Wang Jin, Yu Jia, Lü Rongping, Wang Yan, He Chengguang. 2013a#. The Definition and Classification of Quaternary Lacustrine Strata and the Establishment of Dingjie Group in Dingjie basin, Tibet. *Geology in China*, 40(2): 449 ~ 459.
- Shao Zhaogang, Meng Xiangang, Zhu Dagang, Yang Chaobin, Lei Weizhi, Wang Jin, Han Jian'en, Yu Jia, Meng Qingwei, Qian Cheng, He Chengguang. 2013b#. Sporopollen Record in the Kongma Basin of the Naqu, Tibet, and Their Environmental Significance. *Earth Science: Journal of China University of Geoscience*, 38(Suppl): 1 ~ 9.
- Shen Caiming, Liu Kambiu, Tang Lingyu, Overpeck J T. 2006. Quantitative relationships between modern pollen rain and climate in the Tibetan Plateau. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 140 (1~2): 61 ~ 77.
- Sun Liming, Yan Tongsheng, Tang Guiying, Ding Xiaoyan, Wang Ruijun, Tian Lifu. 2007#. Neogene Sporopollen Assemblages and Paleogeography in the Gyirong Basin, Tibet. *Geology in China*, 34 (1): 49 ~ 54.
- Sun Xiangjun, Du Naiqiu, Chen Yinshuo, Gu Zhaoyan, Liu Jiaqi, Yuan Baoyin. 1993#. Holocene Palynological Records in Lake Selincuo, Northern Xizang. *Acta Botanica Sinica*, 35(12): 943 ~ 950.
- Tong Guobang, Yang Xiangdong, Wang Sumin, Xia Lianghua. 1996#. Sporopollen Dissemination and Quantitative Character of Surface Sample of Manzhouli—Dayangshu Region. *Acta Botanica Sinica*, 38 (10): 814 ~ 821.
- Tang Lingyu, Shen Caiming, Liao Ganbiao, Yu Shiyong, Li Chunhai. 2004#. Climatic changes in the southeastern Qinghai—Tibetan Plateau during the Last Glacial Maximum—pollen records from southeastern Tibet. *Science in China Series D: Earth Science*, 34 (5): 436 ~ 442.
- Vermoere M, Vanhecke L, Waelkens M, Smets E. 2001. Modern pollen studies in the territory of Sagalassos (Southwest Turkey) and their use in the interpretation of a Late Holocene pollen diagram. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 114(1 ~ 2): 29 ~ 56.
- Wu Jing, Xu Yadong, Zhang Kexin, Chen Fenning, Chen Ruiming, Chen Lin. 2013#. Neogene Palynological Assemblages in Zanda Basin, Southwestern Tibet. *Geological Bulletin of China*, 32(1): 141 ~ 153.
- Xiao Xiaoyun, Shen Ji, Wang Sumin. 2011. Spatial variation of modern pollen from surface lake sediments in Yunnan and southwestern Sichuan Province, China. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 165(3 ~ 4): 224 ~ 234.
- Xiao Xiaoyun, Shen Ji, Xiao Haifeng, Tong Guobang. 2006#. Pollen records and vegetation and climate changes in Heqing Basin, Yunnan Province since middle Pleistocene. *Journal of Lake Science*, 18(4): 369 ~ 376.
- Xu Yadong, Zhang Kexin, Wang Guocan, Xiang Shuyuan, Jiang Shangsong, Chen Fenning. 2010#. Geological Significance of Miocene—Early Pleistocene Palynological Zones in the Gyirong Basin, Southern Tibet. *Earth Science: Journal of China University of Geoscience*, 35(5): 759 ~ 773.
- Ye Yanqiong, Yang Zhong, Di Baofeng, Tang Dinghong, Wang Chengjun, Tang Jun. 2003#. On Grassland Resource and the Sustainable Development of Animal Husbandry in Dingjie County, Tibet. *Journal of Mountain Science*, 21(3): 337 ~ 341.
- Yu Jia, Luo Peng, Han Jian'en, Meng Qingwei, Lü Rongping, Meng Xiangang, Zhu Dagang, Shao Zhaogang. 2007#. Sporopollen records in the Guge section of the Zanda basin, Tibet, and paleoenvironmental information reflected by it. *Geology in China*, 34 (1): 55 ~ 60.
- Zhao Yan, Yu Zicheng, Chen Fahu, Ito E, Zhao Cheng. 2007. Holocene vegetation and climate history at Hurleg Lake in the Qaidam Basin, Northwest China. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 145(3~4): 275 ~ 288.
- Zheng Qian, Zhang Hucai, Ming Qingzhong, Chang Fengqin, Meng Hongwei, Zhang Wenxiang, Liu Mengzhu, Shen Caiming. 2014#. Vegetational and Environmental Changes since 15 ka BP Recorded by Lake Lugu in the Southwest Monsoon Domain Region. *Quaternary Sciences*, 34(6): 1314 ~ 1326.
- Zhu Liping, Lü Xinmiao, Wang Junbo, Kasper T, Daut G, Haberzettl T, Frenzel P, Li Quan, Yang Ruimin, Schwalb A, Mäusbacher R. 2015. Climate change on the Tibetan Plateau in response to shifting atmospheric circulation since the LGM. *Scientific Reports*, 5, 13318.

Middle Pleistocene pollen records from Dingjie Basin, southern Xizang (Tibetan) Plateau, and their climatic and environmental significances

HAN Jian’ en^{1, 2)}, SHAO Zhaogang³⁾, PEI Junling^{1, 2)}, YU Jia¹⁾,
WANG Jin¹⁾, ZHANG Qianqian⁴⁾, ZHU Dagang¹⁾

- 1) Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100081;
- 2) Key Laboratory of Paleomagnetism and Tectonic Reconstruction, Ministry of Natural Resources, Beijing, 100081;
- 3) Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;
- 4) Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang, 150030

Objective:In order to understand the climate and environment changes during the middle Pleistocene in the southern Xizang(Tibetan) Plateau, we studied the section located in eastern bank of Yeru River in the Dingjie Basin, southern Xizang(Tibetan) Plateau, which is lacustrine, deposited in middle Pleistocene, is consisted of a sequence of gray and white clay sand, silt, fine sand and coarse sand, with a thickness about 41.3 m.

Methods:The pollen samples are treated by hydrofluoric acid. The pollen are separated from the samples by conventional acid treatment and heavy liquid method. The age of lacustrine deposits determined by ESR and U-series dating.

Results:The results show that the average pollen content of herbaceous plant, woody plant and ferns is 57.6%, 38.8% and 3.5%, respectively. The vegetation types represented by pollen assemblages are grassland or forest grassland environment. According to the genus type and abundance of pollen fossils, the pollen fossils can be divided into five pollen zones from bottom to top. ESR and U-series dating data indicate that the deposition of the section is between 551.6 and 202.4 ka belong to the middle Pleistocene.

Conclusion :The climate changes during the Middle Pleistocene in the dingjie basin are as follows: During the period of 551.6 ~ 448.4 ka, the climate was warm and humid, suitable for plant growth; during the period of 448.4 ~ 375.2 ka, the climate turned to cold and dry; during the period of 375.2 ~ 291.2 ka, the climate fluctuated frequently, showing a process from cold—humidity to cold—dry to cold—humidity;during the period of 291.2 ~ 261.0 ka, the climate turned to more dry and more cold; during the period of 261.0 ~ 202.4 ka, the climate fluctuated frequently, showing a process from cold—dry to warm—humidity to cold—dry.

Keywords: Qinghai—Xizang (Tibetan) Plateau; Dingjie Basin; middle Pleistocene; pollen; environmental change

Acknowledgments:This work was financially supported by the National Natural Science Foundation of China (Nos. 41772381, 41702384), the Second Tibetan Plateau Scientific Expedition and Research Program (STEP) (No. 2019QZKK0901), the Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences Research Fund (No. DZLXJK201710) and the Geological Investigation Project of China Geological Survey (Nos. 12120113006100, 121201104000150009, 1212011087114). The authors are grateful to the reviewers and the editor for helpful comments that improved our paper.

First author:HAN Jian’ en, male, born in 1980, Ph. D. , professor senior engineer, mainly engaged in palaeoenvironment and paleoclimate change research on Xizang(Tibetan) Plateau; Email: hanjianen@163. com

Manuscript received on: 2022-04-08; Accepted on: 2022-07-19; Network published on: 2022-08-20

Doi: 10. 16509/j. georeview. 2022. 08. 021 **Edited by:** LIU Zhiqiang