柴达木盆地一里坪凹陷新近纪孢粉特征及其古环境意义

Pre-pub. on line: www.geojournals.cn/georev

张益铭[1)],黄雷[1)],陈琰[2)],宋世骏[1)],刘池洋[1)],
周飞[2)],张麒[1,3)],吴志雄[2)],类维龙[4)]

1)西北大学含油气盆地研究所,西安,710069;2)中石油青海油田勘探开发研究院,甘肃敦煌,736200;
3)中国石油长庆油田第五采油厂,西安,710200;4)山东东山新驿煤矿有限公司,山东兖州,272100

内容提要:柴达木盆地位于青藏高原北部,受高原隆升以及全球气候影响,新近纪盆地内古环境发生显著变化。通过对新近纪柴达木盆地一里坪凹陷孢粉特征进行分析,恢复盆地植被类型和环境演化过程,进而探讨高原构造隆升和全球气候变化对盆地古环境的影响。结果表明,一里坪凹陷新近纪孢粉组合以裸子植物繁盛,被子植物较为常见,旱生植物发育为主要特征。孢粉特征指示柴达木盆地一里坪凹陷整体新近纪属于半干旱—干旱气候,古环境演化受青藏高原隆升强度以及全球气候影响显著:下油砂山组环境为亚热带森林,上油砂山组环境为温带森林—草原,狮子沟组环境转变为寒温带草原—半荒漠。该时期环境背景,不利于一里坪凹陷在新近纪发育大规模优质烃源岩。

关键词:一里坪凹陷;柴达木盆地;新近纪;古环境;烃源岩

咸化湖盆内发育优质烃源岩的现象在全球范围内广泛存在(姜桂凤等,2006;陈启林,2007;王力等,2009;刘池洋等 2014;王艳清等,2016;郭佩,2018;马新民等,2018)。柴达木盆地是我国新生代典型的咸化湖盆,古近纪期间,该盆地的柴西地区为盆地沉积中心与咸化中心,同时也是同期优质烃源岩发育区(金强等,2008;李洪波等,2008;郭佩,2018;徐思渊,2018);至新近纪期间,柴达木盆地沉积中心和咸化中心向北迁移至一里坪凹陷地区(赵加凡等,2004;郭泽清等,2009;王迪,2020)。然而该地区在新近纪是否发育优质烃源岩却尚不明确。柴达木盆地一里坪凹陷新近纪古环境的恢复是评价该期是否发育烃源岩的基础,然而目前针对该方面研究相对不足。此外,青藏高原新近纪期间的隆升使我国西北部环境发生剧烈变化,加剧了中国内陆干旱化,同时对中国乃至全球的气候变化产生深远的影响(葛肖虹等,2006;宋之琛等,2008;刘晓东等,2013;季军良等,2013;袁冶,2015;徐增连,2015),因此恢复青藏高原及周缘地区古环境是研究青藏高原以及周缘地区隆升演化史的重要内容(孔昭宸等,1996;陈传飞,2009;王国灿等,2010;惠争闯,2011;刘佳,2016)。新近纪一里坪凹陷作为青藏高原内部盆地的沉积中心,因其较厚的沉积地层可更好地记录同期环境变化信息,是作为该项研究的良好选区。

鉴此,开展一里坪凹陷新近纪古环境的恢复具有重要的油气勘探意义和区域地质意义。在古环境恢复的方法上,目前主要有沉积相研究、地球化学以及孢粉学等方法(刘迪,2014;杨梅,2018)。由于古环境是开放体系,不可避免地受到外界因素干扰,与沉积学相关的古气候指标信息容易受物源和沉积相等因素的影响,相同指标在不同地区可能指示不同的古气候特征;但孢粉学不易受这些外在因素的影响,可以较清楚地记录当时地区古气候和沉积环境发生的变化(孙非非等,2010;贾艳艳等,2015;徐红艳,2018)。有鉴于此,本文拟利用孢粉分析探讨新近纪柴达木盆地一里坪凹陷的古环境,旨在揭示柴达木盆地新近纪古环境变化对青藏高原隆升的响应,并探讨一里坪凹陷在新近纪是否存在有利于优

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号:41602111)的成果。
收稿日期:2021-03-24;改回日期:2021-08-22;网络首发:2021-09-20;责任编辑:章雨旭。Doi:10.16509/j.georeview.2021.08.015
作者简介:张益铭,男,1997年生,硕士研究生,西北大学地质学系矿产普查与勘探专业;Email:3181822925@qq.com。通讯作者:黄雷,男,1982年生,博士,教授级高工,主要从事盆地分析和油气勘探研究;Email:huanglei@nwu.edu.cn。

质烃源岩发育的环境条件。

1 区域地质背景

柴达木盆地处于青藏高原北部,盆地面积约120000 km^2,被祁连山、昆仑山和阿尔金山所夹持,形成“三山夹一盆”的地貌特征,表现为高原山间盆地。大地构造位置上属于古亚洲构造域和古特提斯—喜马拉雅构造域的结合部(汤良杰等,2000;樊小龙等,2016)。盆地西高东低,西宽东窄,呈菱型,内部构造十分复杂,发育系列山前冲断构造带和盆内晚期构造带(赵加凡等,2004;郭佩,2018),盆内可分为柴北缘隆起、一里坪凹陷、柴西隆起和三湖坳陷四个一级构造单元(图1)。

柴达木盆地主要填充新生代地层,沉积地层最大连续厚度约17 km,纵向上可划分为7套地层,即七个泉组($Q_{1+2}q$)、狮子沟组(N_2^3s)、上油砂山组(N_2^2s)、下油砂山组(N_2^1x)、上干柴沟组(N_1s)、下干柴沟组(E_3x)、路乐河组($E_{1+2}l$)。已有研究揭示(郭佩,2018;王力等,2009;王艳清等,2016;徐思渊,2018),古近纪—新近纪时期,柴达木盆地沉积中心自西南部的柴西地区向东北部一里坪凹陷迁移(图1)。其中新近纪期间一里坪凹陷快速沉降,成为盆地沉积中心,下油砂山组、上油砂山组和狮子沟组三套地层分别沉积厚度300~1600 m、150~1400 m、300~1400 m,这些沉积地层主要为湖相泥岩(王迪,2020;郭泽清等,2009),具备发育有效烃源岩的地质条件:下油砂山组岩性以灰色、深灰色泥岩为主,夹有灰质泥岩、灰质砂岩、粉砂岩和泥质粉砂岩,主要为浅湖—半深湖相;上油砂山组岩性以灰色泥岩、砂质泥岩互层为主,夹少量的灰色泥质粉砂岩和粉砂岩,该时期湖盆面积进一步发育,深水区域面积扩张,主要发育半深湖相;狮子沟组岩性以灰色、深灰色泥岩、砂质泥岩为主、夹少量灰色、深灰色泥质粉砂岩,该时期湖盆发育进入萎缩阶段,沉积中心向东迁移,主要发育浅湖相。

2 样品采集与分析方法

本研究中样品采集于柴达木盆地一里坪凹陷碱石2井岩芯。碱石2井位于柴达木盆地一里坪地区碱石山构造东高点。该井钻遇层位有七个泉组、狮子沟组、上油砂山组、下油砂山组共四套地层,完钻井深5400 m。在取芯段狮子沟组地层,井深800~850 m处采集6件样品;上油砂山组地层,井深2000~2190 m处采集17件样品;下油砂山组地层,井深2200~2400 m处采集19件样品,共计42件样品。由于样品岩性、沉积环境以及地层所含矿物成分不同,其保存孢粉的能力不同,故在孢粉提取过程中,所用样品质量、化学试剂及其浓度、处理方法等亦有不同。孢粉样品处理采用实验室孢粉标准分析方法(SY/T 5522-2018),主要采集包括植物孢粉、浮游

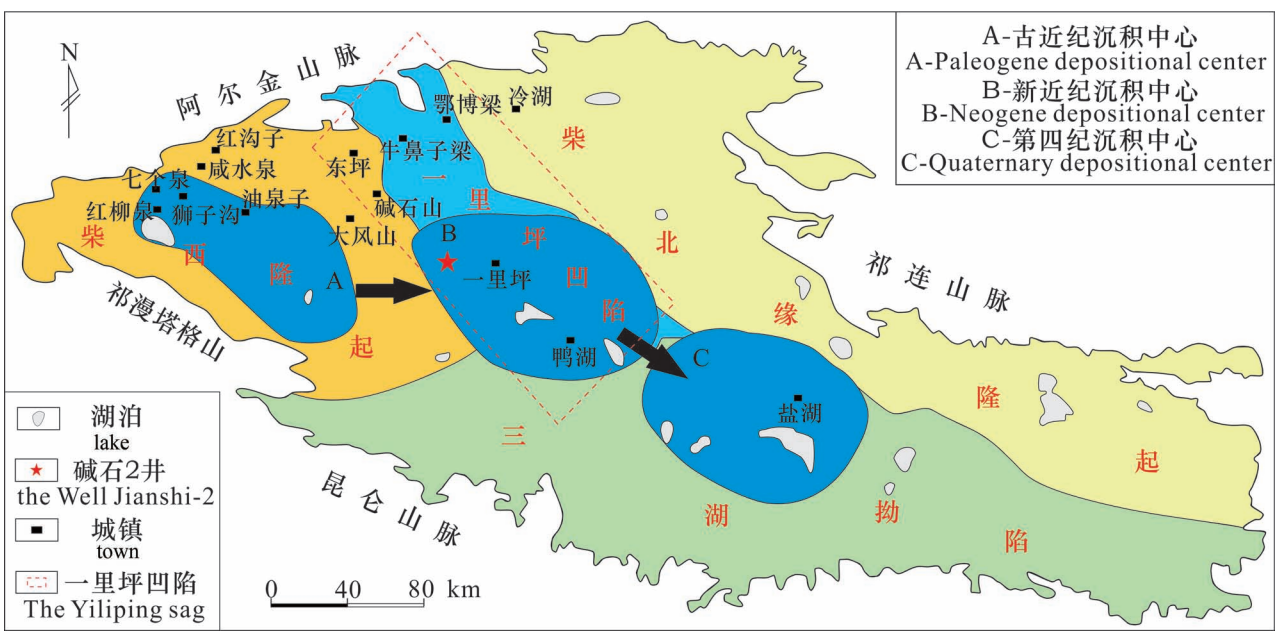


图1 柴达木盆地构造单元及沉积中心迁移[据赵加凡等(2004)、汤良杰等(2000)修改]

Fig. 1 Tectonic units and depositional center migration of Qaidam Basin (Modified from Zhao Jiafan et al. , 2004& and Tang Liangjie et al. , 2000&)

藻类等微体化石及其他各种类别的有机物进行分析。

3　孢粉组合特征

某一孢粉含量=该孢粉统计数/孢粉统计总数×100%;盘星藻属含量=盘星藻属统计数/(孢粉统计总数+盘星藻属统计数)×100%,以上公式中孢粉统计总数皆不包括藻类植物统计数。根据孢粉属种及其丰度变化,自上而下划分为 3 个孢粉组合带,并进一步分为 6 个孢粉组合,各个孢粉组合特征描述如下:

3.1　组合带 Ⅰ

该孢粉组合带以裸子植物花粉占优势,含量 66.7%~88.9%,平均 80.1%;被子植物花粉居次要位置,含量 8.3%~33.3%,平均 15.4%;蕨类植物孢子较少,含量 0~9.4%,平均 4.6%。裸子类中,松科花粉占绝大多数,含量 71.9%,主要为单/双束松粉 *Abietineaepollenites/Pinuspollenites*,次为油杉粉 *Keteleeriaepollenites*,云杉粉 *Piceapollis*,冷杉粉 *Abiespollenites* 等;杉科的破隙杉粉 *Taxodiaceaepollenites hiatus* 和麻黄科的麻黄粉 *Ephedripites* 也有一定含量,分别占总量的 4.2% 与 3.9%。被子类以草本植物花粉为多,占 9.7%,主要为禾本科、菊科和藜粉属的一些分子,如禾本粉 *Graminidites*,刺三孔沟粉 *Echitricolporites*,蒿粉 *Artemisiaepollenites*,藜粉 *Chenopodipollis* 等;木本植物不多,占 5.8%,见少量或个别的三孔沟粉 *Tricolporopollenites*,拟桦粉 *Betulaceoipollenites*,朴粉 *Celtispollenites* 等。蕨类不发育,见零星的三角孢 *Deltoidospora*,水龙骨单缝孢 *Polypodiaceaesporites*,平瘤水龙骨孢 *Polypodiisporites* 等。

组合带 Ⅰ 可进一步划分为两个孢粉组合(图 2),其镜下鉴定照片(图 3)。

(1) 组合 1:该孢粉组合中裸子植物花粉含量很高,其中松科植物花粉含量最多;被子植物花粉含量较少;蕨类植物孢子含量极少。麻黄粉属 *Ephedripites* 和藜粉属 *Chenopodipollis* 等旱生植物含量较少,云杉粉属 *Piceapollis* 和冷杉粉属 *Abiespollenites* 等高海拔寒冷环境生长的植物较为常见。

(2) 组合 2:该孢粉组合中以裸子植物花粉含量很高,被子植物花粉含量较少,蕨类植物孢子含量极低。与组合 1 相比,该孢粉组合裸子植物中松科植物花粉含量明显升高,其中云杉粉属 *Piceapollis* 和冷杉粉属 *Abiespollenites* 植物花粉更常见且含量有所增加;麻黄粉属 *Ephedripites* 和藜粉属 *Chenopodipollis* 等旱生植物花粉含量升高。

3.2　组合带 Ⅱ

该孢粉组合带以裸子植物花粉占优势,含量 54.8%~88.7%,平均 71.3%;被子植物花粉居次要位置,含量 8.2%~37%,平均 22.3%;蕨类植物孢子较少,占 2.1%~21.3%,平均 6.4%。裸子植物丰富,以松科花粉含量最高,占 41.9%,主要为单/双束松粉 *Abietineaepollenites/Pinuspollenites* 和云杉粉

表 1 柴达木盆地一里坪凹陷新近纪孢粉采样位置及其岩性

Table 1 Palynology sampling location and lithology of Neogene in the Yiliping Sag, Qaidam Basin

地层	编号	深度(m)	岩性	地层	编号	深度(m)	岩性	地层	编号	深度(m)	岩性
上新统狮子沟组	JS2-01	800.9	灰白色泥岩	中新统上油砂山组	JS2-15	2102.9	深灰色含灰泥岩	中新统下油砂山组	JS2-29	2260.25	深灰色灰质泥岩
	JS2-02	809.7	灰色泥质粉砂岩		JS2-16	2120.35	深灰色灰质泥岩		JS2-30	2278.62	灰黄色藻灰岩
	JS2-03	820.89	灰黑色粉砂岩		JS2-17	2129.95	深灰色含灰泥岩		JS2-31	2290.9	灰色灰质粉砂岩
	JS2-04	830.04	深灰色粉砂质泥岩		JS2-18	2140.12	灰色灰质粉砂岩		JS2-32	2300.36	深灰色灰质泥岩
	JS2-05	843.12	灰色含盐粉砂岩		JS2-19	2152.98	深灰色灰质泥岩		JS2-33	2304.78	深灰色灰质泥岩
	JS2-06	849.92	深灰色泥质粉砂岩		JS2-20	2159.98	深灰色灰质泥岩		JS2-34	2311.61	灰色泥灰岩
中新统上油砂山组	JS2-07	2001.78	灰色泥岩		JS2-21	2175.27	灰色灰质粉砂岩		JS2-35	2325.03	深灰色灰质泥岩
	JS2-08	2011.88	深灰色泥岩		JS2-22	2184.71	深灰色灰质泥岩		JS2-36	2330.71	灰色藻灰岩
	JS2-09	2022.33	灰色含灰泥岩		JS2-23	2194.6	深灰色灰质泥岩		JS2-37	2340.14	灰色泥灰岩
	JS2-10	2030.86	深灰色泥岩	中新统下油砂山组	JS2-24	2212.64	灰色泥灰岩		JS2-38	2350.05	深灰色灰质泥岩
	JS2-11	2052.65	灰黄色藻灰岩		JS2-25	2223.6	深灰色灰质泥岩		JS2-39	2359.4	灰色灰质泥岩
	JS2-12	2061.8	深灰色含灰泥岩		JS2-26	2231.84	深灰色灰质泥岩		JS2-40	2370.57	灰色泥灰岩
	JS2-13	2073.78	深灰色含灰泥岩		JS2-27	2244.66	深灰色灰质泥岩		JS2-41	2389.13	深灰色灰质泥岩
	JS2-14	2094.5	深灰色灰质泥岩		JS2-28	2252.4	灰色泥灰岩		JS2-42	2397.23	灰色灰质泥岩

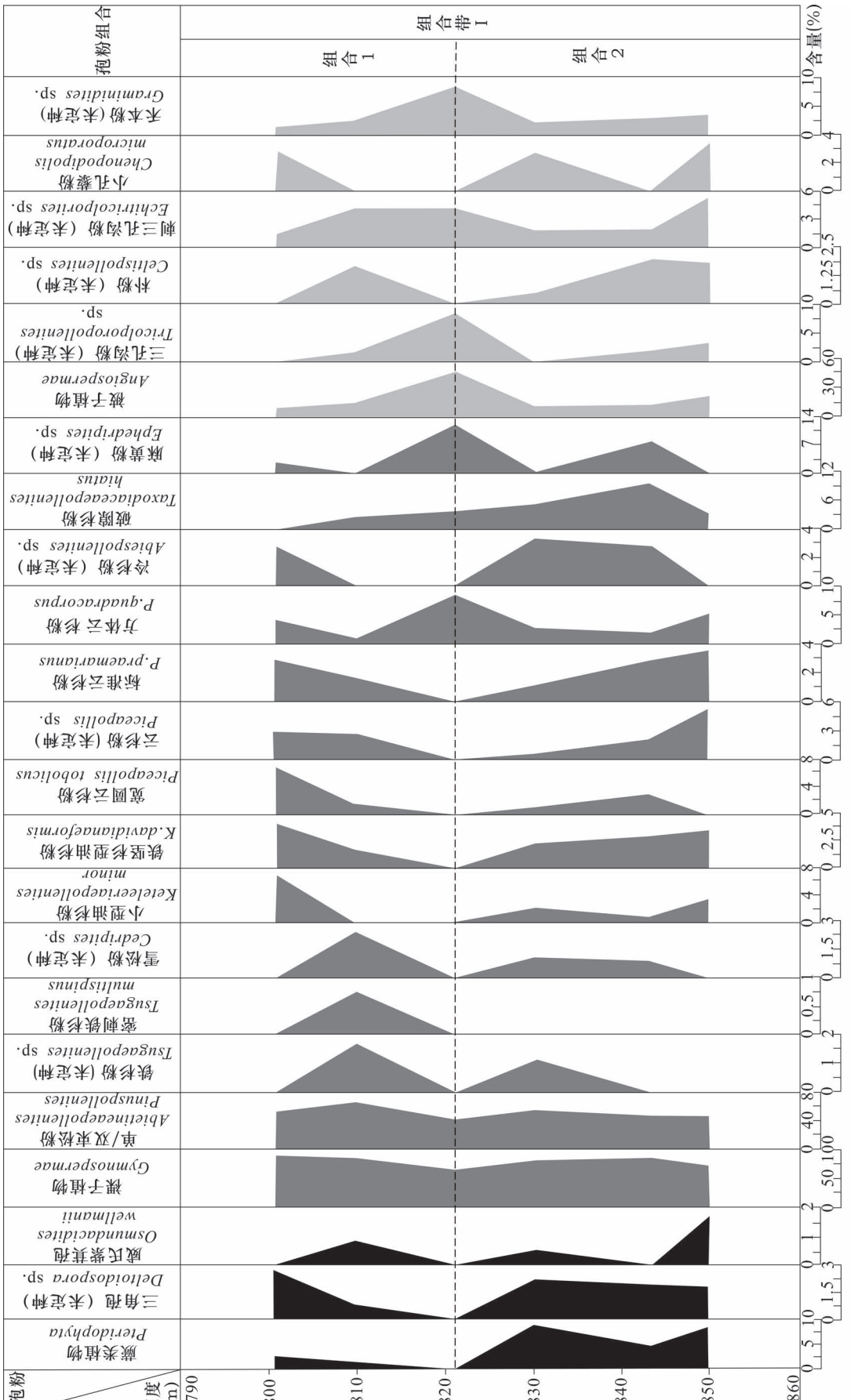


图2 柴达木盆地一里坪凹陷上新统狮子沟组孢粉图谱和孢粉组合带

Fig. 2 Palynological diagram and major vegetation changes of the Pliocene Shizigou Formation in the Yiliping Sag, Qaidam Basin

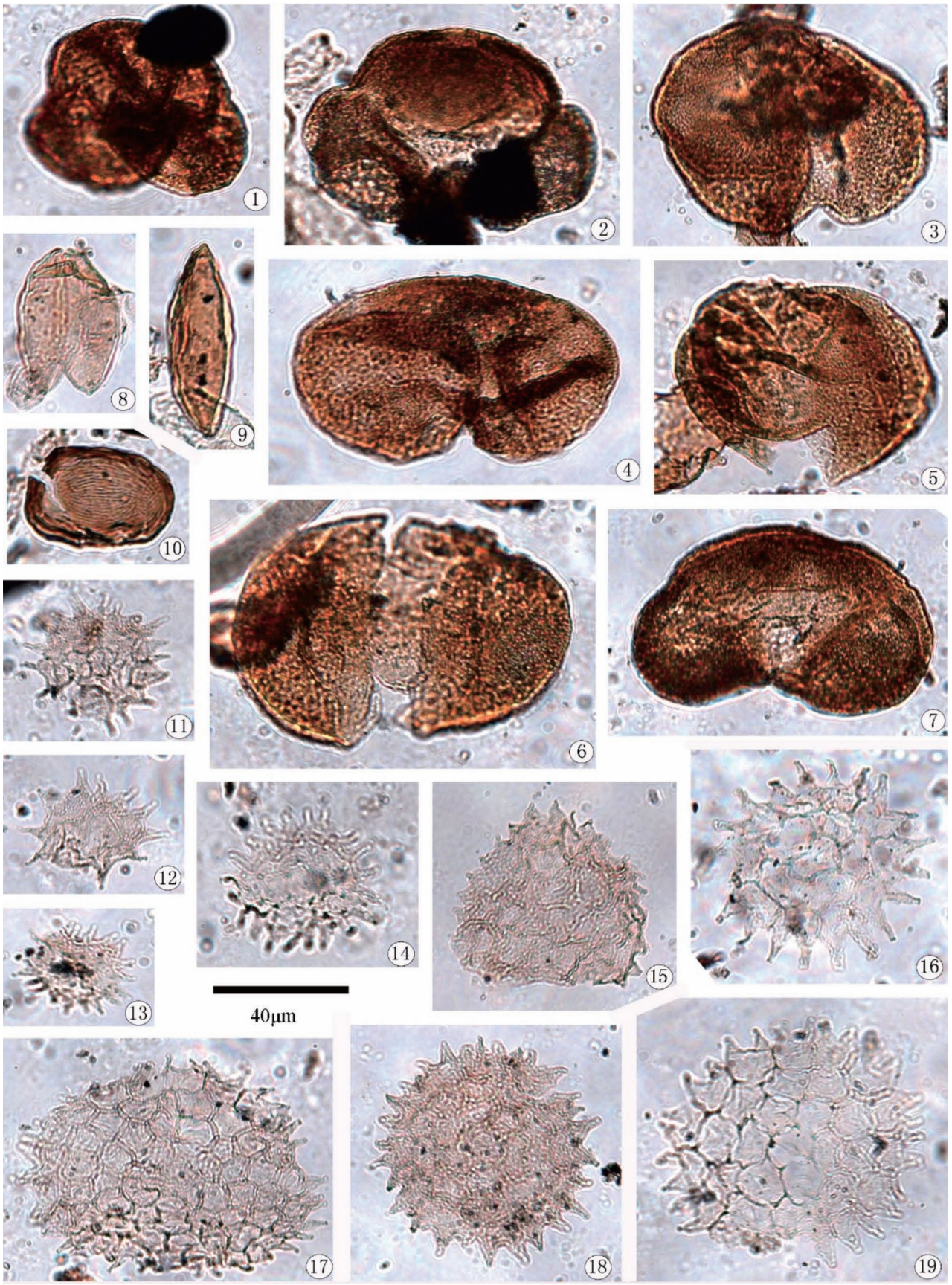

1
2
3
8
9
4
5
10
6
7
11
12
14
15
16
13
40μm
17
18
19

图 3 柴达木盆地一里坪凹陷上新统狮子沟组孢粉形态光学显微照片

Fig. 3 Optical micrograph of pollen morphology of the Pliocene Shizigou Formation in the Yiliping Sag, Qaidam Basin

1—小型油杉粉 *Keteleeriaepollenites minor*; 2—铁坚杉型油杉粉 *Keteleeriaepollenites davidianaeformis*; 3—宽圆云杉粉 *Piceapollis tobolicus*; 4—云杉粉(未定种)Piceapollis *sp.*; 5、6—方体云杉粉 Piceapollis quadracorpus; 7—标准云杉粉 Piceapollis praemarianus; 8、9—对裂藻(未定种) Schizosporis *sp.*; 10—环纹藻(未定种) Concentricystes *sp.*; 11~19—盘星藻(未定种)Pediastrum *sp.*

Piceapollis,其余如冷杉粉 *Abiespollenites* 与罗汉松粉 *Podocarpidites* 等也较为常见;裸子植物中麻黄科居次要位置,占 15.5%;杉科的破隙杉粉 *Taxodiaceaepollenites hiatus* 占 13.7%。被子类主要为草本植物花粉,占 14.5%,其中以藜粉属植物为多,主要有小孔藜粉 *Chenopodipollis microporatus*,地肤型藜粉 *C. kochioides*,平滑藜粉 *C. psilatoides*,多坑藜粉 *C. multiplex* 等;其余分子均为少量或零星出现。菊科中刺三孔沟粉 *Echitricolporites* 和纤细拟菊苣粉 *Cichorieacidites gracilis*,禾本科的禾本粉 *Graminidites*,水生黑三棱科的黑三棱粉 *Sparganiaceaepollenites sparganioides*,眼子菜科中新生代眼子菜粉 *Potamogetonacidites cenozoicus* 等植物孢粉含量较少。蕨类植物以水龙骨科孢子占绝大多数,平均占 5.2%,见纤细水龙骨单缝孢 *Polypodiaceaesporites gracilis*,哈氏水龙骨单缝孢 *P. haardti*,平瘤水龙骨孢 *Polypodiisporites* 等。

组合带Ⅱ可进一步划分为两个孢粉组合(图 4),其镜下鉴定照片(图 5)。

(1) 组合 3:与组合 1 和组合 2 相较,该孢粉组合中裸子植物花粉和被子植物含量有所升高,裸子植物花粉占主要优势,被子植物花粉居次要位置,蕨类植物孢子含量较少。

(2) 组合 4:与组合 3 相比,该孢粉组合中裸子植物中松科植物更为繁盛,生长于寒冷高海拔山地的云杉粉属 *Piceapollis* 较为常见,麻黄粉属 *Ephedripites* 植物花粉含量有所降低,藜粉属 *Chenopodipollis* 植物花粉含量相当。

3.3 组合带Ⅲ

该孢粉组合带以裸子植物花粉占优势,含量 75.5%~100%,平均 89%;被子植物花粉居次要位置,含量 0~21.1%,平均 9.1%;蕨类植物孢子占 0~6.6%,平均 1.9%。裸子类植物含量丰富,其中以松科花粉含量最高,占 58.8%,主要为单/双束松粉 *Abietineaepollenites/Pinuspollenites* 和云杉粉 *Piceapollis*,其余如油杉粉 *Keteleeriaepollenites*,冷杉粉 *Abiespollenites* 与罗汉松粉 *Podocarpidites* 也较常见;麻黄科居次要位置,占 16.5%;杉科的破隙杉粉 *Taxodiaceaepollenites hiatus* 占 13.2%。被子类植物含量较低,主要为草本植物花粉,占 5.9%,以藜科为多,见小孔藜粉 *Chenopodipollis microporatus*,地肤型藜粉 *C. kochioides* 等;其余分子均为少量或零星出现。蕨类植物孢子中水龙骨科孢子占绝大多数,平均含量 1.5%,见纤细水龙骨单缝孢 *Polypodiaceaesporites gracilis*,哈氏水龙骨单缝孢 *P. haardti*,平瘤水龙骨孢 *Polypodiisporites* 等,个别出现的有三角孢 *Deltoidospora*。

组合带Ⅲ可进一步划分为两个孢粉组合(图 4),其镜下鉴定照片(图 5)。

(1) 组合 5:与组合 3 和组合 4 相比,该孢粉组合裸子植物中松科植物依旧繁盛,其中云杉粉属 *Piceapollis* 和油杉粉属 *Keteleeriaepollenites* 含量更高,蕨类植物含量非常少,麻黄粉属 *Ephedripites* 和藜粉属 *Chenopodipollis* 等旱生植物较为常见,生长于淡水或微咸水环境的盘星藻属 *Pediastrum* 含量极少。

(2) 组合 6:与组合 5 相较,该孢粉组合中植物种属有所下降,裸子植物中松科植物花粉含量较高,麻黄粉属 *Ephedripites* 含量相当,藜粉属等旱生植物含量有所减少,藻类植物和蕨类植物物种单调且含量较少。

4 孢粉时代特征

根据钻井岩芯分层,研究样品分别处于狮子沟组、上油砂山组、下油砂山组;在以往柴达木盆地地层年代学研究中,关于狮子沟组、上油砂山组、下油砂山组的时代存在不同认识(徐思渊,2018;樊小龙等,2016),例如:青海石油管理局和中国科学院中国科学院南京地质古生物研究所(1985)将下油砂山组地层时代确定为中新世中—晚期,而上油砂山组和狮子沟组地层确定为上新世。本文通过对柴达木盆地一里坪凹陷孢粉组合特征分析将其地层时代重新进行了约束。

前人(李明杰等,2005;王亚东等,2011;王伟铭等,2009;王伟铭,2011)将我国新近纪孢粉植物区分为四个区,即内陆区、东部区、东南沿岸区和西南区,其中新近纪期间柴达木盆地属内陆孢粉植物区,该

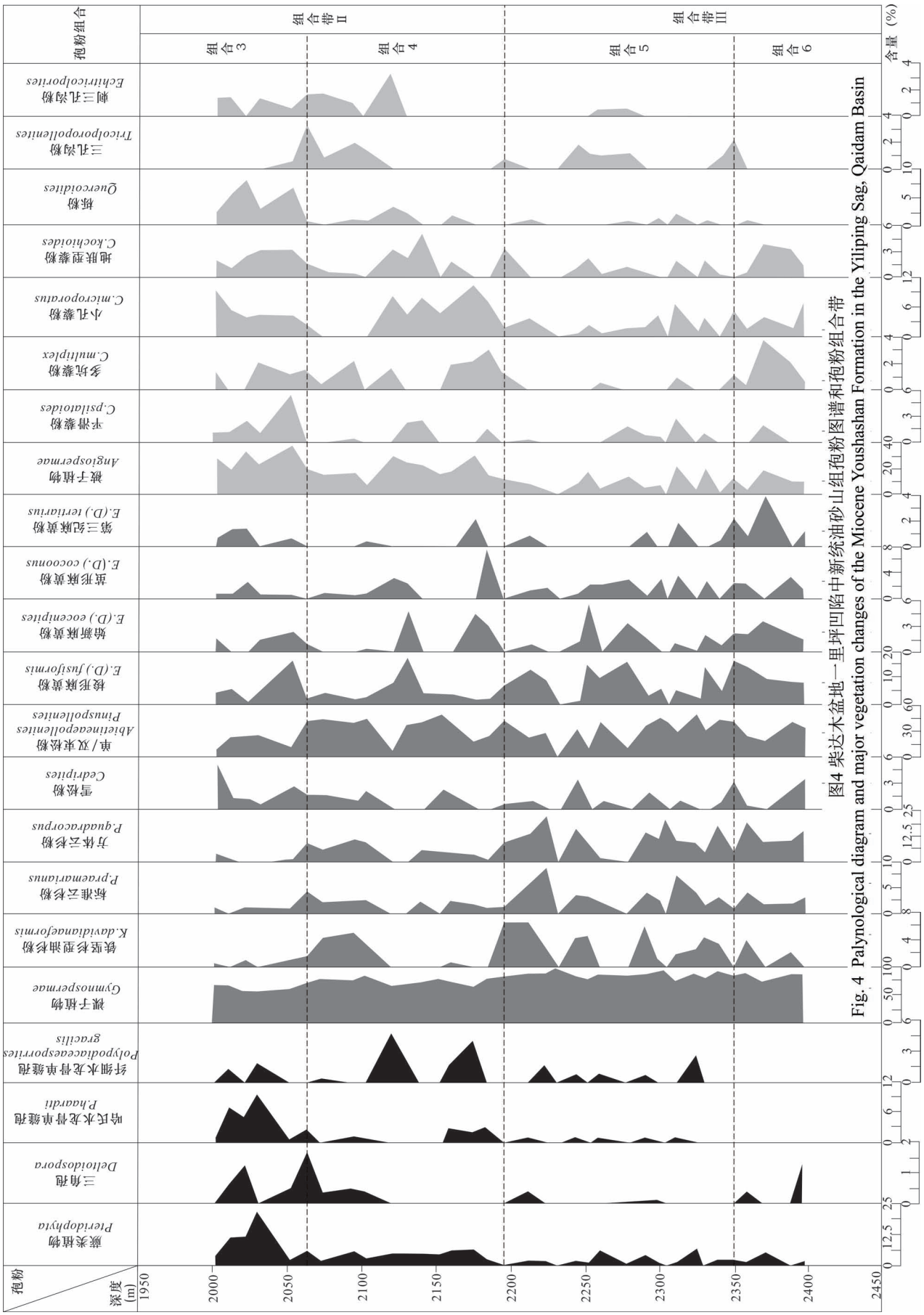


图4 柴达木盆地一里坪凹陷中新统油砂山组孢粉图谱和孢粉组合带

Fig. 4 Palynological diagram and major vegetation changes of the Miocene Youshashan Formation in the Yiliping Sag, Qaidam Basin


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
26
14
15
16
17
18
19
27
28
29
30
20
21
31
32
33
34
35
22
38
60μm
36
42
37
41
23
39
40
43
46
44
24
25
45
47
48

图 5 柴达木盆地一里坪凹陷油砂山组孢粉形态光学显微照片

Fig. 5 Optical micrograph of pollen morphology of the Miocene Youshashan Formation in the Yiliping Sag, Qaidam Basin

1—小桫椤孢 *Cyathidites minor*; 2—哈氏水龙骨单缝孢 *Polypodiaceaesporites haardti*; 3、4—平瘤水龙骨孢属 *Polypodiisporites*; 5、6—南岭麻黄粉 *Ephedripites*(*Distachyapites*) *nanlingensis*; 7、8、12、13、18、20—双穗麻黄粉亚属 *Ephedripites*(*Distachyapites*); 9~11—第三纪麻黄粉 *Ephedripites*(*Distachyapites*) *tertiaries*; 14~17、19—梭形麻黄粉 *Ephedripites*(*Distachyapites*) *fusiformis*; 21—破隙杉粉 *Taxodiaceaepollenites hiatus*; 22—环圈克拉梭粉 *Classopollis annulatus*; 23—无口器粉属 *Inaperturopollenites*; 24—密刺铁杉粉 *Tsugaepollenites multispinus*; 25—具缘铁杉粉 *Tsugaepollenites igniculus*; 26—茫崖楝粉 *Meliaceoidites mangnaiensis*; 27—芸香粉属 *Rutaceoipollis*; 28—卵形楝粉 *Meliaceoidites ovatus*; 29—阿尔金坡氏粉 *Pokrovskaja altunshanensis*; 30、32—大型楝粉 *Meliaceoidites magnus*; 31、33、36—宽圆青海粉 *Qinghaipollis subrotundus*; 34—锦致青海粉 *Qinghaipollis elegans*; 35—椭圆青海粉 *Qinghaipollis ellipticus*; 37—栎粉属 *Quercoidites*; 38、41—地肤型藜粉 *Chenopodipollis kochioides*;39—小孔藜粉 *Chenopodipollis microporatus*; 40—稀孔藜粉 *Chenopodipollis oligoporus*; 42~45—刺三孔沟粉属 *Echitricolporites*; 46—小榆粉 *Ulmipollenites minor*; 47—纤细拟菊苣粉 *Cichorieacidites gracilis*; 48—苦买型拟菊苣粉 *Cichorieacidites ixeriformis*

区早中新世时含有较多的木本被子类花粉,如桦粉 *Betulaceoipollenites*, 榆粉 *Ulmipollenites*, 栎粉 *Quercoidites*,胡桃粉 *Juglanspollenites* 等,裸子类松科花粉含量也较高;从中中新世开始,主要出现草本被子类藜粉属和菊科花粉,木本被子类均为零星见及,裸子类麻黄粉 *Ephedripites* 含量较高,松科仍有一定数量。甘肃敦煌盆地南部新近纪孢粉化石经马玉贞(1991)研究建立了四个组合,这些组合均以被子植物花粉占绝对优势,裸子植物花粉次之,而蕨类植物孢子稀少为主要特征。西宁—民和盆地(孙秀玉等,1984)中新世—上新世的孢粉组合与敦煌盆地南部(马玉贞,1991)基本相同,皆与柴达木盆地一里坪凹陷孢粉组合差别较大,其原因可能是由于新近纪样品所采位置周围有高山针叶林存在,致使松科植物花粉大量出现。

4.1　孢粉组合带Ⅲ的时代特征

孢粉组合带Ⅲ可称为松科—麻黄粉属组合,主要特征为:① 裸子植物花粉占绝对优势,被子植物花粉次之,蕨类植物孢子很少;② 裸子植物繁盛且种属丰富,主要为单/双束松粉属 *Abietineaepollenites/Pinuspollenites* 和云杉粉属 *Piceapollis*,其中麻黄粉属 *Ephedripites* 也有较多数量出现;③ 被子类植物含量较低,主要为草本植物花粉,以旱生的藜粉属 *Chenopodipollis* 最多;④ 蕨类植物孢子中水龙骨科孢子占绝大多数,藻类植物很少。孢粉组合带Ⅲ与柴达木盆地中新世早期孢粉组合(表 2)特征基本一致(樊小龙等,2016;青海石油管理局勘探开发研究院和中国科学院南京地质古生物研究所,1985),其孢粉特征皆以裸子植物占绝对优势,被子植物次之,蕨类植物很少,裸子植物中云杉粉属和含量最高,其中主要为单/双束松粉属 *Abietineaepollenites/Pinuspollenites* 和云杉粉属 *Piceapollis*;被子植物中以旱生植物为主;并且组合带Ⅲ与周边地区酒泉盆地(马瑾乾,1993)中新世早期孢粉组合以及库木库里盆地(宋之琛等,2008)早中新世孢粉组合有较好的相似性(表 3)。故地质时代亦应相当,据此将孢粉组合带Ⅲ时间确定为早中新世。

4.2　孢粉组合带Ⅱ的时代特征

孢粉组合带Ⅱ可称为松科—麻黄粉属—藜粉属组合,其组合特征为:① 裸子植物花粉占优势,被子植物花粉据次要位置,蕨类植物孢子很少;② 裸子类植物丰富,裸子植物丰富,以松科花粉含量最高,且类型多样,以单/双束松粉属 *Abietineaepollenites/Pinuspollenites* 最多,麻黄粉属 *Ephedripites* 次之;云杉粉属 *Piceapollis* 也较常见;③ 被子类植物中,草本植物花粉较普遍,其中以旱生藜科植物为多,其余分子均为少量或零星出现;④ 蕨类植物以水龙骨科孢子占绝大多数。孢粉组合带Ⅲ与柴达木盆地中新世中期孢粉组合(表 2)基本一致(樊小龙等,2016;青海石油管理局勘探开发研究院和中国科学院南京地质古生物研究所,1985),并且孢粉组合特征皆以裸子植物占优势,被子植物次之,蕨类植物很少,裸子植物中松科植物含量较高,被子植物中以旱生植物为主,并且组合带Ⅱ与相邻地区渭河盆地(宋之琛等,2008)中中新世孢粉组合具有较好相似性(表 3),地质时代亦应相近。再者该组合与组合带Ⅲ为连续采样,故可将孢粉组合带Ⅱ的时代确定为中中新世。

4.3　孢粉组合带Ⅰ的时代特征

孢粉组合带Ⅰ可称为松科—旱生草本植物组合,其主要特征为:① 裸子植物花粉含量最高,被子植物花粉较为常见,蕨类植物孢子较少;② 裸子类松科花粉大量出现,除单/双束松粉属 *Abietineaepollenites/Pinuspollenites* 外,还有云杉粉属 *Piceapollis*,冷杉粉属 *Abiespollenites* 等,杉科的破隙

表 2 柴达木盆地新近纪地层划分及其孢粉特征表

Table 2 Neogene stratigraphic division and palynological characteristics of Qaidam Basin

时代	徐仁等(1958)		青海石油管理局和中国科学院南京地质古生物研究所(1985&)		樊小龙等(2016&)		本文	
	地层	孢粉特征	地层	孢粉特征	地层	孢粉特征	地层	孢粉特征
上新统	宽沟统	旱生和盐生植物为主。以草本植物的藜粉属、菊科、百合科、禾本科为主。所含孢粉主要为松属、云杉粉属、冷杉粉属和其他松科花粉	狮子沟组	被子植物花粉占绝对优势,裸子植物居次要位置,蕨类孢子很少,被子植物中菊科和蒿粉属含量很高,为蒿粉属—麻黄粉属—藜粉属组合	狮子沟组	旱生草本植物花粉蒿粉属极度发育 ,孢粉组合为蒿粉属—麻黄粉属—藜粉属组合	狮子沟组	裸子植物花粉较高,被子植物花粉较为常见,蕨类植物孢子较少,藻类植物丰富为特征。被子类以草本植物花粉为多。该孢粉组合为松科—旱生草本植物花粉组合
			上油砂山组	裸子植物中松科植物含量很高,被子植物以旱生植物为主,藜粉属含量很高,为松科—菊科—藜粉属组合				
中新统	红峡口统	松科花粉为主,且产有少量蕨类植物花粉,还存在一些水生植物如眼子菜属等	下油砂山组	裸子植物花粉占绝对优势,被子植物花粉次之,蕨类植物孢子很少,旱生植物发育,上部为藜粉属—麻黄粉属—铁杉粉属组合,下部为松科—藜粉属—桦科组合	上油砂山组	裸子植物花粉占优势,被子植物花粉次之,蕨类植物孢子很少。裸子植物中松科植物含量最高,被子植物以旱生植物花粉为主,菊科分布较普遍	上油砂山组	裸子植物花粉占优势,被子植物花粉居次要位置,藻类和蕨类植物很少为主要特征。可称为松科—麻黄粉属—藜粉属植物组合
			上干柴沟组	裸子植物与被子植物花粉含量相当,旱生植物以藜粉属为主,水生植物花粉包括黑三棱粉属和眼子菜粉属,为桦科—藜粉属—凤尾蕨科组合	下油砂山组	下段的孢粉整体面貌为裸子植物花粉占绝对优势 。上段则以被子植物花粉主,旱生 、水生植物花粉广泛发育 ,松柏类具囊花粉大幅减少	下油砂山组	裸子植物含量丰富,被子植物居次要位置,藻类植物较少和蕨类植物很少,裸子植物中松科繁盛,麻黄科和草本类藜粉属较发育为主要特征。可称为松科—麻黄粉属植物组合

杉粉属 *Taxodiaceaepollenites hiatus* 和麻黄科的麻黄粉属 *Ephedripites* 也有一定含量;③ 被子植物在组合中居次要位置,以草本植物花粉为多,主要为藜粉属、菊科和禾本科的分子较多; ④ 蕨类不发育,见零星的三角孢 *Deltoidospora*, 水龙骨单缝孢 *Polypodiaceaesporites* 等。孢粉组合带Ⅰ与柴达木盆地早上新世孢粉组合(表 2)相似(樊小龙等,2016;青海石油管理局勘探开发研究院和中国科学院南京地质古生物研究所,1985),两孢粉组合其特征皆为裸子植物中松科植物含量很高,被子植物以旱生植物为主。此外,组合带Ⅰ与周边地区塔里木盆地(宋之琛等,2008)上新世早期孢粉组合以及甘肃灵台雷家河地区(吴玉书,2001)早上新世孢粉组合皆以旱生草本植物发育为主要特征,孢粉组合整体面貌与组合带Ⅰ相似(表 3),两者地质时代应接近。故判断孢粉组合带Ⅰ时代为早上新世。

5 古环境指示意义

不同的环境适宜生长的植物不同,而不同科属的植物所指示的环境亦不同。孢粉组合能够恢复古植被面貌以及地质历史时期的气候和沉积环境状况(宋之琛等,2008;陈传飞,2009;马玉贞等,1995;马玉贞等,1996)。根据孢粉组合以及植物生态习性可将孢粉植物分为五大类(樊小龙等,2016;马瑾乾,1993):山地针叶植物、温带落叶阔叶植物、亚热带及热带植物、湿生和水生植物、旱生植物。旱生植物中藜粉属 *Chenopodipollis* 和蒿粉属 *Artemisiaepollenites* 花粉在非乔木花粉中属于量大而扩散能力强的类型,主要生长在荒漠或半荒漠地区(刘佳,2016;吴征镒,1980;宋之琛,1999)。麻黄科、石竹科和菊科也属于旱生植物,是草原、荒漠等干旱气候区域的主要植物(惠争闯,2011;吴征镒,1980)。蕨类是一种主要生长于林下潮湿的植物,其中三角孢 *Deltoidospora* 主要分布于潮湿、较温暖环境(陈传飞,2009;宋之琛,1999)。裸子植物中云杉粉属 *Piceapollis* 是一种适宜生长于寒冷以及高海拔 3000 ~ 4000 m 山区的植物,当云杉粉属 *Piceapollis* 花粉含量大于10%时,表明云杉粉属

表 3 西北地区各盆地新近纪时期孢粉特征

Table 3 Characteristics of palynology in the Neogene in the basins of Northwest China

时代	塔里木盆地	敦煌盆地	库木库里盆地	临夏盆地	酒泉盆地	渭河盆地
	宋之琛等(2008)	马玉贞(1991)	宋之琛等(2008)	宋之琛等(2008)	马瑾乾(1993)	宋之琛等(2008)
	孢粉特征					
上新世	早上新世孢粉组合以旱生草本植物发育为主要特征	该孢粉组合以蒿粉属快速发展,藜粉属占主导为特征。可称为藜粉属 —蒿粉属—麻黄粉属组合	该孢粉组合以藜科和菊科为主, 同时存在针阔混交林。可称为藜粉属—菊科—云杉粉属—桦粉属组合	该孢粉组合主要有桦粉属 、栎粉属、柳粉属等组成的阔叶树。可称为桦粉属—栎粉属组合	该孢粉组合称为 蒿 属—藜科—禾本科组合	该孢粉组合中草本和麻黄粉属占优势, 松科含量有所增加。可称为麻黄粉属—藜粉属 —松粉属组合
中新世	该孢粉组合中山地针叶林较多,以桦木科和榆科 及草本植物为主。可称为松科—桦木科—藜粉属组合	早中新世孢粉组合以被子植物白刺粉属、栎粉属为主,裸子植物以麻黄为主,称为麻黄粉属—白刺粉属—藜粉属—栎粉属组合。中中新世孢粉组合以藜粉属为主,茏荚花序类和榆科显著发展,称为藜粉属—蒿粉属—榆粉属—杉粉属组合。晚中新世孢粉组合以藜粉属和蒿粉属为主, 乔木主要是栎粉属等,称为藜粉属—蒿粉属 —栎粉属—麻黄粉属组合	早中新世孢粉组合为双束松粉属 —云杉粉属组合该孢粉组合。中—晚中新世以藜、蒿、菊科的管花菊为主, 森林由针叶树种和少量桦树组成, 可称为藜粉属 —蒿粉属 —云杉粉属组合	早中新世孢粉组合以草本藜粉属、蓼粉属和菊科为主,木本有栎粉属等, 称为藜粉属—菊科—栎粉属组合。中中新世孢粉组合以柏科 、红豆杉属、柳粉属、桦木科、楝粉属为主, 藜粉属和菊科减少,称为柏科—红豆杉属—栎粉属组合。晚中新世孢粉组合以藜粉属、蒿粉属和禾本科增加为特征,称为藜粉属—蒿粉属—禾本科组合	早中新世孢粉组合称为蒿属—禾本科—松科组合。中中新世孢粉组合称为蒿属—禾本科—藜科组合。晚中新世孢粉组合称为蒿属 —藜科—柏科组合	早—中中新世孢粉组合以菱粉属占优势, 旋花属等含量较高, 称为山核桃粉属—松粉属 —菱粉属组合。晚中新世孢粉组合以榆粉属含量较高,其次是山核桃粉属, 麻黄粉属显著增加,松粉属和云杉粉属含量多为特征,称为山核桃粉属—松粉属—麻黄粉属组合

Piceapollis 是当地主要生长植物;冷杉粉属 *Abiespollenites* 是一种与云杉粉属 *Piceapollis* 类似的植物,适宜生长于高海拔且寒冷的山地,其花粉具有较差的的扩散能力,当冷杉粉属 *Abiespollenites* 花粉含量大于 2%时,即可证明为当地生长;单/双束松粉属 *Abietineaepollenites/Pinuspollenites* 具有较高代表性,是一种生长于较低湿润的高山环境的植物,扩散能力较强,只有含量达到 20%时才表明当地有该植物生长(刘迪, 2014; 吴征镒, 1980; 宋之琛, 1999)。被子植物中眼子菜粉属 *Potamogetonacidites cenozoicus* 和黑三棱粉属 *Sparganiaceaepollenites sparganioides* 是一种生长于潮湿环境下的草本植物(吴征镒, 1980; 宋之琛, 1999)。盘星藻属 *Pediastrum* 是一种适宜生活在淡水环境中的浮游藻类,其含量大小与水体的深度有关,当水体达到一定深度后,水体越深其含量越大(宋之琛,1999;孙湘君等,1987)。

孢粉组合带Ⅲ(下油砂山组孢粉组合带)中麻黄粉属 *Ephedripites* 和藜粉属 *Chenopodipollis* 等旱生植物总含量较高,说明该地区在早中新世气候属于较干旱气候。裸子植物中云杉粉属 *Piceapollis* 和冷杉粉属 *Abiespollenites* 等生长于较寒冷、高海拔环境的植物较高,是当地生长的主要植物,这表明该地区在早中新世是一种海拔较高、气候较寒冷的山地森林环境。亚热带针叶林植物含量较高,被子植物中草本植物和木本植物含量较低。湿生和水生植物较少,以淡水藻类为主。据此推测早中新世一里坪凹陷气候主要为亚热带型气候,植被类型主要为森林型。

孢粉组合带Ⅱ(上油砂山组孢粉组合带)中麻黄粉属 *Ephedripites* 和藜科等旱生植物含量高于早中新世的孢粉组合(图 6),说明从早中新世到中中新世气候逐渐变干旱。与早中新世孢粉组合相比,该孢粉组合中裸子植物花粉含量有所下降、被子植物花粉含量明显升高,裸子植物中云杉粉属 *Piceapollis* 和冷杉粉属 *Abiespollenites* 等指示寒冷高海拔环境的植物含量亦较高,属于当地生长植物,亚热带植物中生长在潮湿林下的植物较高,被子植物中草本植物和木本植物含量有所升高。湿生和水生植物含量低,主要为淡水藻类。故推测中中新世一里坪凹陷气候变为温带气候,其植被类型为森林草原型。

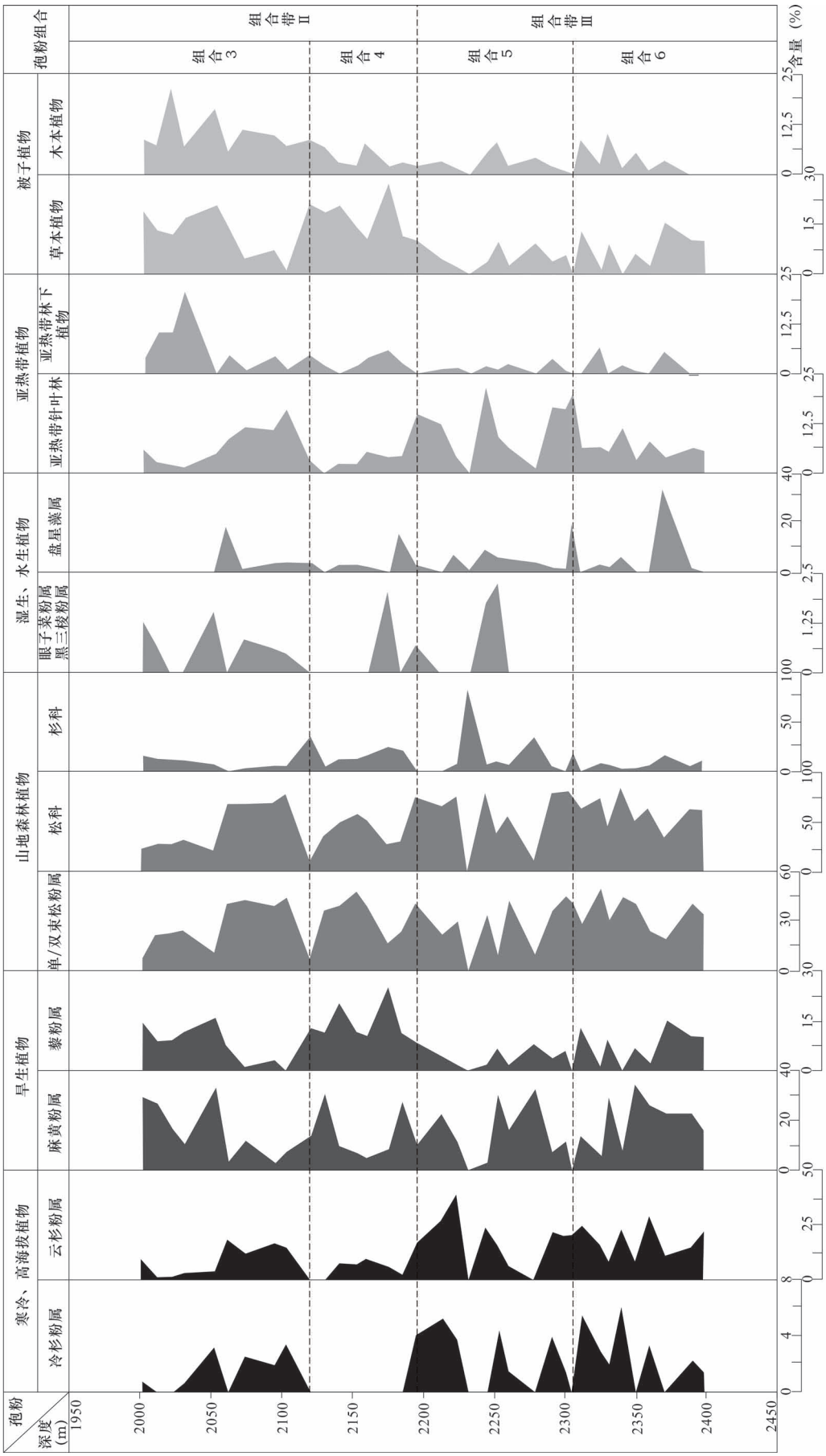


图6 柴达木盆地一里坪凹陷中新统油砂山组孢粉植物含量

Fig. 6 Palynological plants contents of the Miocene Youshashan Formation in the Yiliping Sag, Qaidam Basin

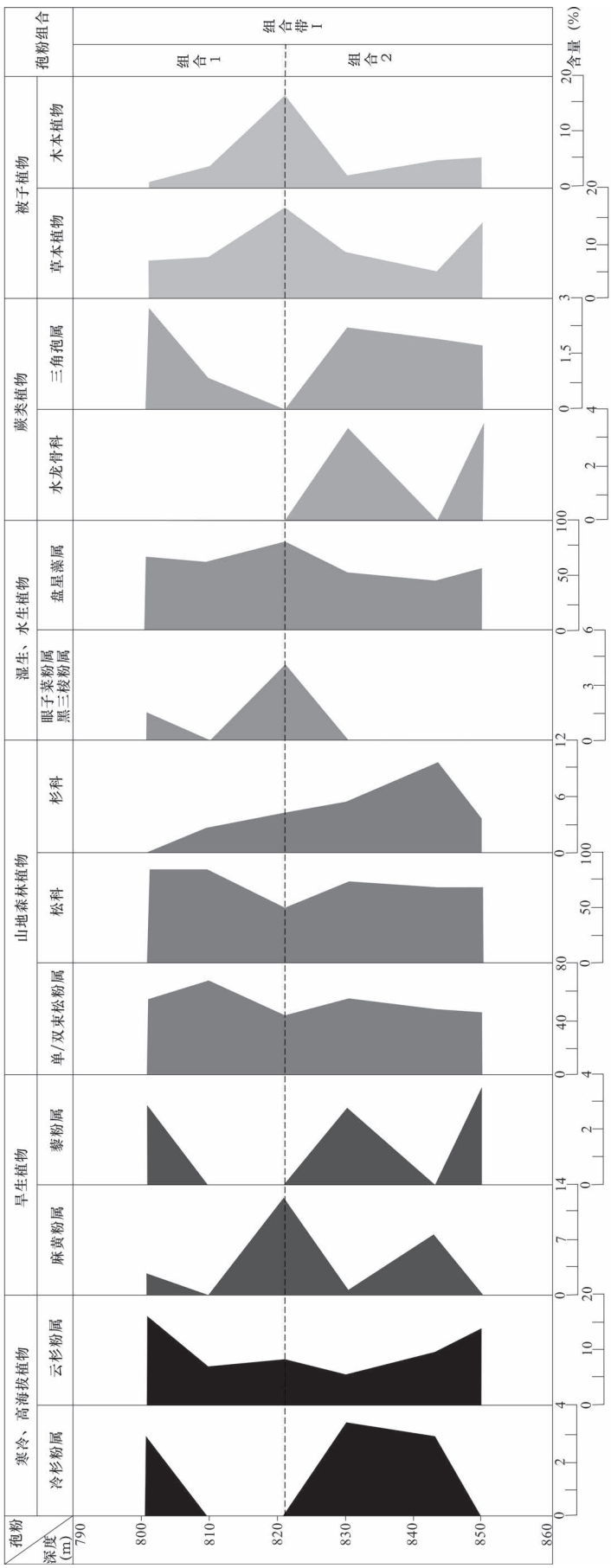


图7 柴达木盆地一里坪凹陷上新统狮子沟组孢粉植物含量

Fig. 7 Palynological plants contents of the Pliocene Shizigou Formation in the Yiliping Sag, Qaidam Basin

因钻井取芯资料缺失,本研究未获得晚中新世沉积的样品。前人研究(宋之琛等,2008;徐红艳,2018;刘迪,2014;杨梅,2018)揭示柴达木盆地晚中新世的孢粉组合所见孢粉化石以被子植物花粉占优势,裸子植物花粉次之,蕨类植物孢子很少为主要特征;被子植物中以藜粉属 *Chenopodipollis* 含量最高,水生植物花粉较多出现,以眼子菜粉属 *Potamogetonacidites cenozoicus* 和黑三棱粉属 *Sparganiaceaepollenites sparganioides* 为主;裸子植物中以云杉粉属 *Piceapollis* 为主,单/双束松粉属 *Abietineaepollenites/Pinuspollenites* 次之,其中麻黄粉属 *Ephedripites* 也较发育为主要特征,可称为藜粉属—麻黄粉属—松科植物组合。该孢粉组合旱生植物极度发育,说明从中中新世到晚中新世气候也是逐渐变干旱。相较其他孢粉组合而言,该孢粉组合中被子植物花粉含量较高,裸子植物花粉含量较低,以藜科为主的草本植物含量大幅度升高,裸子植物中云杉粉属 *Piceapollis* 和冷杉粉属 *Abiespollenites* 等指示寒冷高海拔环境的植物含量较低。据此推测晚中新世一里坪凹陷气候为温带气候,植被类型以草原为主。

孢粉组合带Ⅰ(狮子沟组孢粉组合带)中以麻黄粉属 *Ephedripites* 和藜粉属 *Chenopodipollis* 为主的旱生植物含量占优势,整体表现出旱生植物含量高于湿生、水生植物(图 7),反映出当时气候仍为干旱性气候。云杉粉属 *Piceapollis* 和冷杉粉属 *Abiespollenites* 等寒冷高海拔的山地植物含量较高,且亚热带植物中林下植物含量非常低。该孢粉组合存在较多湿生和水生植物,其中以淡水藻类植物为主,适宜生长于淡水环境的盘星藻属

Pediastrum 含量非常高,为当地生长的植物,说明该地区当时存在着适合其大量繁殖发育的淡水湖盆环境。据以上孢粉组合特征,认为早上新世一里坪凹陷气候为寒温带气候,植被类型变为草原—半荒漠型。

6 讨论

前人研究表明青藏高原的隆升可引起亚洲内陆的干旱化(刘晓东等,2013;孔昭宸等,1996;季军良等,2013),柴达木盆地持续干旱化以及上新世淡水藻类繁盛是否与青藏高原隆升有关,值得进一步探讨研究。柴达木盆地一里坪凹陷孢粉分析表明,下油砂山组沉积期间为半干旱气候,以较寒冷的针阔叶林为主,属于亚热带气候,植被类型为森林型;上油砂山组沉积期间,气候干燥且较寒冷,属于温带气候,以松科植物为主,高海拔寒冷环境下的针叶林发育,林下常见蕨类植物,植被以森林—草原型为主;狮子沟组沉积期间,气候转变为寒温带干旱气候,以耐干旱的草本植物发育为主,植被类型为草原—半荒漠型。值得注意的是,上新世孢粉中发育大量指示淡水环境的藻类,而中新世孢粉组合中淡水藻类植物含量较低。笔者认为这是由于中新世—上新世期间青藏高原隆升,使得柴达木盆地周缘山脉海拔升高,盆地内焚风效应,造成高山冰雪融化输入湖盆水体淡化,故中新世和上新世孢粉组合中均有淡水藻类存在。中新世孢粉组合中淡水藻类含量较低,主要为异地搬运而来;上新世孢粉组合中淡水藻类含量很高,为当地生长的主要植物,笔者等推测可能是由于上新世存在季节性气候变暖,造成冰雪融水使湖盆水体淡化以及当时研究区水深达到适宜淡水藻类生长的深度,故上新世淡水藻类繁盛。

关于青藏高原新生代隆升期次划分有多种不同说法(方小敏等,2007;张克信等,2013,2007;王成善等,2009)。研究者普遍认为中新世青藏高原北部发生过剧烈隆升(王国灿等,2010;方小敏,2017),但当时柴达木盆地隆升高度尚不明确。柴达木盆地孢粉研究表明,中新世指示寒冷高海拔山地的云杉粉属 *Piceapollis* 和冷杉粉属 *Abiespollenites* 植物含量较高,为当地生长的主要植物类型,这表明该时期柴达木盆地已经隆升到 3000m 以上。前人对新生代全球气候变化进行相关研究(王治祥,2019;王海涛等,2020;路晶芳等,2010,2020)发现,新近纪气候变化趋势主要为变干燥且变寒冷趋势(图 8),在中新世中—晚期曾出现气候温暖且植物繁盛的适宜期。但柴达木盆地一里坪凹陷新近纪孢粉研究发现,中新世的孢粉组合和上新世孢粉组合之间不存在较大差别,早—中中新世孢粉组合中云杉粉属 *Piceapollis* 和冷杉粉属 *Abiespollenites* 含量较高,为当地生长的的主要植物,藻类植物含量较低,为异地生长;晚中新世孢粉组合中松科植物含量较高,云杉粉属 *Piceapollis* 和冷杉粉属 *Abiespollenites* 含量亦较高。以上孢粉组合特征表明新近纪气候温暖期对柴达木盆地一里坪凹陷环境的影响并不明显,笔者认为这是由于盆地内焚风效应以及全球气候干冷的大背景造成了湖区有效湿度降低,气候以半干旱—干旱为主,使得植被类型从森林型退化为森林—草原型直至草原—半荒漠型。

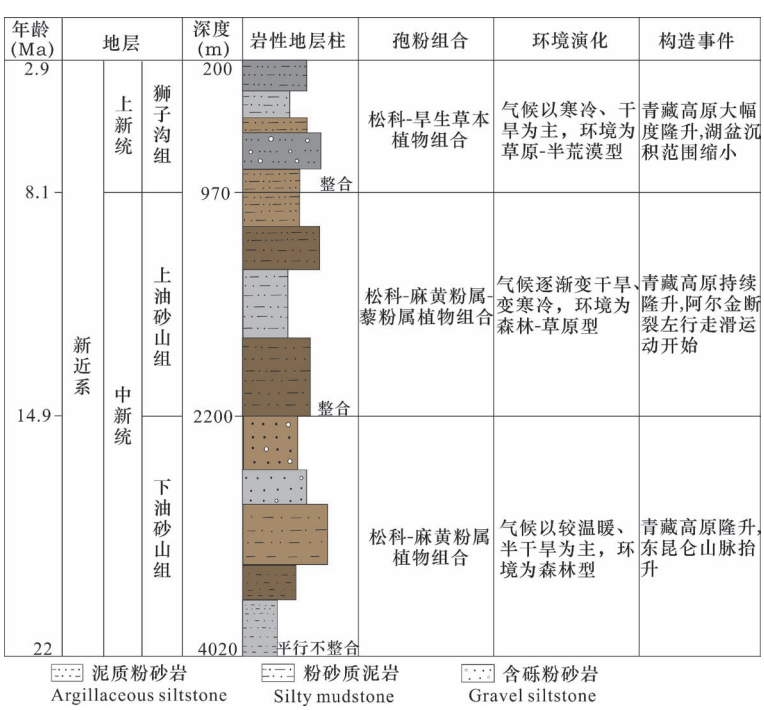


图 8 柴达木盆地一里坪凹陷新近纪环境及构造演化[据方小敏等(2017)、郭佩(2018)、张克信等(2013)、路晶芳等(2010,2020)修改]

Fig. 8 Neogene environment and tectonic evolution of the Yiliping Sag, Qaidam Basin (Modified from Fang Xiaomin et al., 2017&; Guo Pei, 2018&; Zhang Kexin et al., 2013& and Lu Jingfang et al., 2010&,2020&)

纵观我国新近纪孢粉植物群的变化规律可以发现,新近纪青藏高原周缘环境变化的复杂性,不同地区环境的表现存在着很大的差别(阎存凤等,2006;李清山等,2020)。青藏高原隆升会导致高原周

缘孢粉植物区的形成,对我国新近纪期间孢粉植物群的变迁产生很大的影响,尤其是对高原周缘地区植物(孔昭宸等,1996;刘佳,2016;王亚东等,2011)。柴达木盆地新近纪期间处于半干旱气候,干旱条件会使得湖盆水体咸化,持续的干旱气候还会使湖盆逐渐收缩,甚至消失,不可能发育大规模优质烃源岩(郭佩,2018;王力等,2009;姜桂凤等,2006;徐思渊,2018)。孢粉研究发现,新近纪期间青藏高原隆升以及全球气候干冷的背景使得一里坪凹陷整体气候以半干旱—干旱为主,植被从森林型逐渐退化为草原—半荒漠型(图 6),不利于发育优质烃源岩。前人研究(郭佩,2018;王力等,2009;王艳清等,2016;梁德秀,2017;李洪波等,2006)以及 TOC 分析发现,柴达木盆地一里坪凹陷中新统下油砂山组 TOC 值约 0.5%,属于较差烃源岩;中新统上油砂山组 TOC 值约 0.3%,属于非烃源岩;上新统狮子沟组 TOC 值小于 0.3%,也属于非烃源岩。故柴达木盆地一里坪凹陷新近纪不发育大规模优质烃源岩。

7　结论

根据柴达木盆地一里坪凹陷新近纪孢粉分析数据,与周边地区相关资料进行对比分析,将该时期植物孢粉化石划分为 3 个孢粉组合带以及 6 个孢粉组合,获得如下认识:

(1)柴达木盆地一里坪凹陷中新统下油砂山组植被为森林,气候主要为亚热带气候;中新统上油砂山组环境主要为温带森林—草原;上新统狮子沟组植被退化为草原—半荒漠,气候变为寒温带气候。

(2)早中新世青藏高原隆升,高原北部柴达木盆地海拔升高,周缘山脉山地植被带发育,出现针叶林,故一里坪凹陷孢粉组合中松科植物花粉大量出现。柴达木盆地一里坪凹陷早中新世孢粉组合中生长于寒冷高海拔环境的云杉粉属和冷杉粉属植物含量较高,为当地生长的主要植物,这证明该时期柴达木盆地海拔高度已经达到 3000m。高原隆升使得柴达木盆地周缘山脉海拔升高,造成高山冰雪融化,淡水汇入湖盆使得水体淡化,中新世淡水藻类含量不高,主要为异地搬运而来,上新世淡水藻类含量很高,为当地生长的植物,这可能是由于上新世季节性冰雪融水使得湖盆水体淡化以及当时研究区水深达到适宜淡水藻类生长的深度,故造成上新世淡水藻类含量远高于中新世。

(3)全球气候干冷的背景造成了研究区陆地有效湿度降低,使得新近纪柴达木盆地一里坪凹陷属于半干旱—干旱气候。虽然早上新世淡水藻类繁盛,但陆地植被类型总体依旧逐渐从森林—草原退化至草原—半荒漠。该时期环境以及 TOC 值皆表明,一里坪凹陷新近纪不发育大规模优质烃源岩。

致谢:感谢章雨旭研究员和审稿专家提出的宝贵意见。

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)

陈传飞. 2009. 青藏高原东北缘西宁盆地新生代孢粉记录与古生态环境演化. 导师:方小敏. 兰州大学硕士学位论文:1~137.

陈启林. 2007. 盐湖盆地沉积特征与岩性油气藏勘探. 导师:周洪瑞. 中国地质大学(北京)博士学位论文:1~138.

樊小龙,余平辉,曾亮,焦学尧,江小青,杨平,马锦龙. 2016. 柴达木盆地新生界生物地层年代研究. 微体古生物学报, 33(4):363~378.

方小敏,宋春晖,戴霜,朱迎堂,高军平,张伟林. 2007. 青藏高原东北部阶段性变形隆升:西宁、贵德盆地高精度磁性地层和盆地演化记录. 地学前缘, 14(1):230~242.

方小敏. 2017. 青藏高原隆升阶段性. 科技导报, 35(6):42~50.

葛肖虹,任收麦,马立祥,吴光大,刘永江,袁四化. 2006. 青藏高原多期次隆升的环境效应. 地学前缘, 13(6):118~130.

郭佩. 2018. 柴达木新生代湖盆咸化环境演变及其烃源岩发育特征. 导师:刘池阳. 西北大学博士学位论文:1~171.

郭泽清,王宗礼,李雪峰,张林,张绍胜,孔骅. 2009. 柴达木盆地一里坪地区新近系沉积相初探. 古地理学报, 11(3):284~292.

惠争闯. 2011. 青藏高原东北缘天水盆地中新世孢粉记录及其环境变化研究. 导师:李吉均. 兰州大学博士学位论文:1~82.

季军良,洪汉烈,肖国桥,林晓,徐亚东,柯学,艾可可,孙作本. 2013. 青藏高原新近纪重大气候事件演化序列. 地质通报, 32(1):120~129.

贾艳艳,邢学军,孙国强,史基安,刘士杰. 2015. 柴北缘西段古—新近纪古气候演化. 地球科学(中国地质大学学报), 40(12):1955~1967.

姜桂凤,孔红喜,徐子远,侯泽生,蔡云兰,李艳萍. 2006. 柴达木盆地一里坪地区新近系油气成藏条件. 新疆石油地质, 27(5):552~555.

金强,朱光有,王娟. 2008. 咸化湖盆优质烃源岩的形成与分布. 中国石油大学学报(自然科学版), 32(4):19~23.

孔昭宸,杜乃秋,山发寿. 1996. 青藏高原晚新生代以来植被时空变化的初步探讨. 微体古生物学报, 13(4):339~351.

李洪波,张敏,张春明,彭德华. 2008. 柴达木盆地西部南区第三系烃源岩地球化学特征. 天然气地球科学, 19(4):519~523.

李洪波,张敏,张春明,彭德华. 2006#. 柴达木盆地西部南区第三系烃源岩评价. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 28(6):41~43.

李明杰,郑孟林,曹春潮,张军勇. 2005. 柴达木古近纪—新近纪盆地的形成演化. 西北大学学报(自然科学版), 35(1):87~90.

李清山,郭少斌,侯泽生,王波. 2020. 柴达木盆地上新世狮子沟期古气候演化与层序地层. 石油实验地质, 42(1):28~36.

梁德秀. 2017. 柴达木盆地一里坪地区新近系烃源岩评价. 导师:李潍莲. 中国石油大学(北京)硕士学位论文:1~56.

刘池洋,赵俊峰,马艳萍,王建强,熊林芳,陈建军,毛光周,张东东,邓

煜. 2014. 富烃凹陷特征及其形成研究现状与问题. 地学前缘, 21(1):75~88.
刘迪. 2014. 柴达木盆地东坪地区新生界孢粉古生态特征及其古气候意义. 导师:高金汉. 中国地质大学(北京)硕士学位论文:1~78.
刘佳. 2016. 晚新生代天水盆地孢粉记录的气候变化与青藏高原隆升. 导师:李吉均. 兰州大学博士学位论文:1~182.
刘晓东,DONG BuWen. 2013#. 青藏高原隆升对亚洲季风—干旱环境演化的影响. 科学通报, 58(Z2):2906~2919.
路晶芳,宋博文,陈锐明,张樨钰,叶荷. 2010. 柴达木盆地大柴旦地区大红沟古近纪孢粉组合序列与地层对比. 地球科学(中国地质大学学报), 35(5):839~848.
路晶芳,张克信,宋博文,徐亚东,张樨钰,黄威,张道来. 2020. 柴达木盆地大红沟地区始新世—上新世孢粉记录及气候变化. 现代地质, 34(4):732~744.
马瑾乾. 1993. 酒泉盆地第三纪孢粉组合及其古环境探讨. 石油实验地质, 15(4):423~435.
马新民,王建功,石亚军,黄成刚,李翔,王科,南喜祥. 2018. 古近纪高丰度烃源岩:柴达木盆地西南部富油坳陷成藏之本. 地质科技情报, 37(6):96~104.
马玉贞,陶明信,陈发源. 1996. 甘肃窑街寺湾沟-炭洞沟红层孢粉组合、地质时代与生态环境. 沉积学报, 14(1):93~102.
马玉贞,陶明信,陈发源. 1995. 甘肃窑街朱儿庄红层孢粉组合与地质时代. 沉积学报, 13(4):64~72.
马玉贞. 1991. 甘肃敦煌盆地南部第三纪孢粉组合. 微体古生物学报, 8(2):207~225+252~253.
青海石油管理局勘探开发研究院,中国科学院南京地质古生物研究所. 1985. 柴达木盆地第三纪孢粉学研究. 北京:石油工业出版社:1~297.
宋之琛,王伟铭,毛方园. 2008. 依据孢粉资料探讨我国西北地区第三纪时期的干旱化及其与季风的关系. 古生物学报, 47(3):265~272.
宋之琛. 1999. 中国孢粉化石:晚白垩世和第三纪孢粉. 科学出版社:1~207.
孙非非,张菀漪,巩俊成,张成君. 2010. 柴达木盆地上新世晚期以来古气候演变的孢粉环境指标重建. 地质论评, 56(5):621~628.
孙湘君,吴玉书. 1987. 云南滇池表层沉积物中花粉和藻类的分布规律及数量特征. 海洋地质与第四纪地质, 7(4):81~92.
孙秀玉,赵英娘,何卓生. 1984. 青海西宁—民和盆地渐新世至中新世孢粉组合. 地质论评, 30(3):207~216+303.
汤良杰,金之钧,张明利,刘池阳,吴汉宁,由福报,张兵山. 2000. 柴达木盆地构造古地理分析. 地学前缘, 7(4):421~429.
王成善,戴紧根,刘志飞,朱利东,李亚林,贾国东. 2009. 西藏高原与喜马拉雅的隆升历史和研究方法:回顾与进展. 地学前缘, 16(3):1~30.
王迪. 2020. 柴达木盆地一里坪地区古近系沉积特征及其演化. 导师:赵俊峰. 西北大学硕士学位论文:1~95.
王国灿,张克信,曹凯,王岸,徐亚东,孟艳宁. 从青藏高原新生代构造隆升的时空差异性看青藏高原的扩展与高原形成过程. 地球科学(中国地质大学学报),2010,35(5):713~727.
王海涛,吴福莉,方小敏,杨立业. 2020. 中中新世气候适宜期西北内陆干旱区气候演化特征. 地球环境学报, 11(1):45~65.
王力,金强,林腊梅,刘永昌,张博明. 2009. 柴达木盆地西部古近系—新近系优质烃源岩特征. 天然气工业, 29(2):23~26+131.
王伟铭,舒军武,邓涛. 2009. 中国新近纪孢粉植物群的区域定位与环境响应. 古生物学报, 48(2):175~184.
王伟铭. 2011. 中国新近纪植被和环境研究中的几个问题讨论. 第四纪研究, 31(4):589~596.
王亚东,张涛,迟云平,刘艳蕊,张志高,李仕远,方小敏,张跃中. 2011. 柴达木盆地西部地区新生代演化特征与青藏高原隆升. 地学前缘, 18(3):141~150.
王艳清,张永庶,夏志远,杨体源,宋光永,徐峰,刘占国. 2016. 柴达木盆地一里坪坳陷新生界咸化特征及生烃潜力分析. 中国地质, 43(4):1317~1330.
王治祥. 2019. 中新世以来轨道尺度的古气候变化在青藏高原东北缘湖盆记录中的沉积响应. 导师:黄春菊. 中国地质大学博士学位论文:1~94.
吴玉书. 2001. 甘肃灵台雷家河地区中新世晚期—上新世早期孢粉植物群. 植物学报, 43(7):750~756.
吴征镒. 1980. 中国植被. 北京:科学出版社:1~1375.
徐红艳. 2018. 柴达木盆地红沟剖面新生代孢粉植物群研究. 导师:张培震, 邓志辉. 中国地震局地质研究所博士学位论文:1~119.
徐仁,宋之琛,周和仪. 1958. 柴达木盆地第三纪沉积中的孢粉组合及其在地质学上的意义. 古生物学报, 6(4):107~118+188~197.
徐思渊. 2018. 柴达木盆地一里坪地区新近纪咸化湖相烃源岩有机质富集模式研究. 导师:刘成林. 中国石油大学(北京)硕士学位论文:1~69.
徐增连. 2015. 青藏高原东北缘循化盆地渐新世—中新世孢粉记录与东亚季风演化. 导师:张克信. 中国地质大学博士学位论文:1~99.
阎存凤,袁剑英,赵应成,魏东涛,李在光. 2006. 蒙、甘、青地区侏罗纪孢粉组合序列及古气候. 天然气地球科学, 17(5):634~639.
杨梅. 2018. 柴达木盆地三湖坳陷新近纪—第四纪古环境演变. 导师:张成君. 兰州大学硕士学位论文:1~66.
袁冶. 2015. 柴达木盆地冷湖地区晚更新世晚期以来气候特征及对全球气候变化与高原隆升响应. 导师:Kusky T, 向树元. 中国地质大学博士学位论文:1~116.
张克信,王国灿,陈奋宁,徐亚东,骆满生,向树元,寇晓虎,赵来时. 2007. 青藏高原古近纪—新近纪隆升与沉积盆地分布耦合. 地球科学(中国地质大学学报), 32(5):583~597.
张克信,王国灿,洪汉烈,徐亚东,王岸,曹凯,骆满生,季军良,肖国桥,林晓. 2013. 青藏高原新生代隆升研究现状. 地质通报, 32(1):1~18.
赵加凡,陈小宏,杜业波. 2004. 柴达木第三纪湖盆沉积演化史. 石油勘探与开发, 31(3):41~44.
Chen Chuanfei. 2009&. Cenozoic Pollen Records and Paleoecological Evolution in Xining Basin, Northeastern Tibetan Plateau. Tutor: Fang Xiaomin. Master's dissertation of Lanzhou University: 1~137.
Chen Qilin. 2007&. Sedimentary and Lithologic Reservoir Exploration in Salt Lake Basin,. Eogene of the Southwest in Qaidam Basin. Supervisor: Zhou Hongrui. Doctoral dissertation of China University of Geosciences (Beijing):1~138.
Fan Xiaolong, Yu Pinghui, Zeng Liang, Jiao Xueyao, Jiang Xiaoqing, Yang Ping, Ma Jinlong. 2016&. The biostratigraphic and chronological research of Cenozoic in the Qaidam Basin. Acta Micropalaeontologica Sinica, 33(4):363~378.
Fang Xiaomin, Song Chunhui, Dai Shuang, Zhu Yingtang, Gao Junping, Zhang Weilin. 2007&. Cenozoic deformation and uplift of the NE Qinghai Tibetan Plateau: Evidence from high resolution magnetostratigraphy and basin evolution of Xining and Guide Basins. Earth Science Frontiers, 14(1):230~242.
Fang Xiaomin. 2017&. Phases uplift of the Tibetan Plateau. Science & Technology Review, 35(6):42~50.
Ge Xiaohong, Ren Shoumai, Ma Lixiang, Wu Guangda, Liu Yongjiang, Yuan Sihua. 2006&. Multi-stage uplift of the Tibetan Plateau and

environmental effects. Earth Science Frontiers, 13(6):118~130.

Guo Pei. 2018&. Salinization Environment Evolution of the Cenozoic Qaidam Palaeolake and the Characterization of Its Hydrocarbon Source Rocks. Tutor: Liu Chiyang. Doctoral dissertation of Northwest University: 1~171.

Guo Zeqing, Wang Zongli, Li Xuefeng, Zhang Lin, Zhang Shaosheng, Kong Hua. 2009&. Preliminary study on sedimentary facies of the Neogene in Yiliping area, Qaidam Basin. Journal of Paleogeography, 11(3):284~292.

Hui Zhengchuang. 2011&. Miocene Sporopollen Records from the Tianshui Basin NE, Tibetan Plateau and Its bearing on the Implications of Paleoenvironmental Changes. Supervisor: Li Jijun. Doctoral dissertation of Lanzhou University:1~82.

Ji Junliang, Hong Hanlie, Xiao Guoqiao, Lin Xiao, Xu Yadong, Ke Xue, Ai Keke, Sun Zuoben. 2013&. Evolution sequence of the Neogene major climatic events in the Tibetan Plateau. Geological Bulletin of China, 32(1):120~129.

Jia Yanyan, Xing Xuejun, Sun Guoqiang, Shi Ji 'an, Liu Shijie. 2015&. The Paleogene—Neogene paleoclimate evolution in western sector of the Northern Margin of Qaidam basin. Earth Science, 40(12):1955~1967.

Jiang Guifeng, Kong Hongxi, Xu Ziyuan, Hou Zesheng, Cai Yunlan, Li Yanping. 2006&. The Hydrocarbon accumulation conditions of Neogene in Yiliping area of Qaidam Basin. Xinjiang Petroleum Geology, 27(5):552~555.

Jin Qiang, Zhu Guangyou, Wang Juan. 2008&. Deposition and distribution of high-potentialy source rocks in saline lacustrine environments. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 32(4):19~23.

Kong Zhaochen, Du Naiqiu, Shan Fashou. 1996&. A preliminary study of vegetation changes in space—time on Qinghai—Xizang Tibet Plateau since Late Cenozoic. Acta Micropalaeontologica Sinica, 13(4):339~351.

Li Hongbo, Zhang Min, Zhang Chunming, Peng Dehua. 2008. Geochemical characteristics of Tertiary source rocks in south area of western Qaidam Basin. Natural Gas Geoscience, 19(4):519~523.

Li Hongbo, Zhang Min, Zhang Chunming, Peng Dehua. 2006 #. Evaluation of Tertiary source rocks in southern area of western Qaidam Basin. Journal of Oil and Gas Technology (Journal of Jianghan Petroleum Institute), 28(6):41~43.

Li Mingjie, Zheng Menglin, Cao Chunchao, Zhang Junyong. 2005&. Formation and evolution of Qaidam Paleogene and Neogene Basin. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 35(1): 87~90.

Li Qingshan, Guo Shaobin, Hou Zesheng, Wang Bo. 2020&. Paleoclimate evolution and sequence stratigraphy during Pliocene Shizigou stage, Qaidam basin. Petroleum Geology & Experiment, 42(1):28~36.

Liang Dexiu. 2017&. Evaluation of Neogene Source Rocks in Yiliping Area, Qaidam Basin. Tutor: Li Weilian. Master's dissertation of China University of Petroleum (Beijing) :1~56.

Liu Chiyang, Zhao Junfeng, Ma Yanping, Wang Jianqiang, Xiong Linfang, Chen Jianjun, Mao Guangzhou, Zhang Dongdong, Deng Yu. 2014&. Research status and problems on characteristics and formation of hydrocarbon rich sags. Earth Science Frontiers, 21(1):75~88.

Liu Di. 2014&. Palaeoecological Characteristics and Paleoclimatic Significance of Cenozoic Pollen in Dongping Area in Qaidam Basin. Supervisor: Gao Jinhan. Master's dissertation of China University of Geosciences(Beijing) :1~78.

Liu Jia. 2016. Late Cenozoic Climate Change and Uplift of Tibetan Plateau——Palynological Evidence from the Tianshui Basin. Supervisor: Li Jijun. Doctoral dissertation of Lanzhou University: 1~182.

Liu Xiaodong,Dong Buwen. 2013#. Influence of Tibetan Plateau uplift on the Asian monsoon—arid environment evolution. Chinese Science Bulletin, 58(Z2):2906~2919.

Lu Jingfang, Song Bowen, Chen Ruiming, Zhang Jingyu, Ye He. 2010&. Palynological assemblage of Eocene—Oligocene pollen and their Biostratigraphic correlation in Dahonggou, Daqaidam area, Qaidam Basin. Earth Science, 35(5):839~848.

Lu Jingfang, Zhang Kexin, Song Bowen, Xu Yadong, Zhang Jianyu, Huang Wei, Zhang Daolai. 2020&. Pliocene—Eocene pollen and climate change in Dahonggou region, Qaidam Basin. Geoscience, 34(4):732~744.

Ma Jinqian. 1993&. The Tertiary sporopollen assemblage in the Jiuquan Basin and the paleoenvironment. Experimental Petroleum Geology, 15(4):423~435.

Ma Xinmin, Wang Jiangong, Shi Yajun, Huang Chenggang, Li Xiang, Wang Ke, Nan Xixiang. 2018&. Paleogene high abundance hydrocarbon source rocks, the soul of oil rich sag in southwestern Qaidam Basin. Geological Science and Technology Information, 37(6):96~104.

Ma Yuzhen, Tao Mingxin, Chen Fayuan. 1996&. The red bed sporo-pollen assemblage, geological age and ecological environment form Siwangou—Tandonggou of Yaojie, Gansu Province. Acta Sedimentologica Sinica, 14(1):93~102.

Ma Yuzhen, Tao Mingxin, Chen Fayuan. 1995&. The red bed sporo-pollen assemblage and geological age form Zhuerzhuang of Yaojie, Gansu Province. Acta Sedimentologica Sinica, 13(4):64~72.

Ma Yuzhen. 1991&. Tertiary sporo-pollen assemblages form southern Dunhuang Basin, Gansu Province. Acta Micropalaeontologica Sinica, 8(2):207~225+252~253.

Research Institute of Exploration and Development, Qinghai Petroleum Administration & Nanjing Institute of Geology and Paleontology, Chinese Academy of Sciences. 1985#. Tertiary Palynology of Qaidam Basin. Beijing: Petroleum Industry Press:1~297.

Song Zhichen, Wang Weiming, Mao Fangyuan. 2008&. Palynological implications for relationship between aridification and monsoon climate in the Tertiary of NW China. Acta Palaeontologica Sinica, 47(3):265~272.

Song Zhichen. 1999&. Palynology of China: Late Cretaceous and Tertiary Palynology. Beijing: Science Press:1~207.

Sun Feifei, Zhang Wanyi, Gong Juncheng, Zhang Chengjun. 2010&. The palynological reconstruction on pollen proxy in Qaidam Basin since Late Pliocene. Geological Review, 56(5):621~628.

Sun Xiangjun, Wu Yushu. 1987&. Distribution and quantity of sporopollen and algae in surface sediments of the Dianchi Lake, Yunnan Province. Marine Geology & Quaternary Geology, 7(4):81~92.

Sun Xiuyu, Zhao Yingniang, He Zhuosheng. 1984&. The Oligocene—Miocene palynological assemblages from the Xining—Minhe Basin, Qinghai Province. Geological Review, 30(3):207~216+303.

Tang Liangjie, Jin Zhijun, Zhang Mingli, Liu Chiyang, Wu Hanning, You Fubao, Zhang Bingshan. 2000&. An analysis on tectonic—paleogeography of the Qaidam Basin, NW China. Earth Science

Frontiers, 7(4):421~429.

Wang Chengshan, Dai Jungen, Liu Zhifei, Zhu Lidong, Li Yalin, Jia Guodong. 2009&. The uplift history of the Tibetan plateau and Himalayan and its study approaches and techinques: A review. Earth Science Frontiers, 16(3):1~30.

Wang Di. 2020&. Sedimentary Characteristics and Evolution of the Paleogene in Yiliping Area, Qaidam Basin. Tutor: Zhao Junfeng. Master's dissertation of Northwest University :1~95.

Wang Guocan, Zhang Kexin, Cao Kai, Wang An, Xu Yadong, Meng Yanning. 2010&. Expanding processes of the Tibetan Plateau during Cenozoic: An insight form Spatio—Temporal difference of uplift. Earth Science, 35(5):713~727

Wang Haitao, Wu Fuli, Fang Xiaomin, Yang Liye. 2020&. Climatic evolution of the Northwest China during Middle Miocene climatic optimum. Journal of Earth Environment, 11(1):45~65.

Wang Li, Jin Qiang, Lin Lamei, Liu Yongchang, Zhang Boming. 2009&. Characteristics of quality Tertiary source rocks in western Qaidam Basin. Natural Gas Industry, 29(2):23~26, 131.

Wang Weiming, Shu Junwu, Deng Tao. 2009&. Neogene pollen floras in China with regional orientation and environmental response. Acta Palaeontologica Sinica, 48(2):175~184.

Wang Weiming. 2011&. Remarks on some possible bias in reconstructing neogene vegetation and environment in China. Quaternary Sciences, 31(4):589~596.

Wang Yadong, Zhang Tao, Chi Yunping, Liu Yanrui, Zhang Zhigao, Li Shiyuan, Fang Xiaomin, Zhang Yuezhong. 2011&. Cenozoic uplift of the Tibet Plateau:Evidence from tectonic—sedimentary evolution of the western Qaidam Basin. Earth Science Frontiers, 18(3):141~150.

Wang Yanqing, Zhang Yongshu, Xia Zhiyuan, Yang Tiyuan, Song Guangyong, Xu Feng, Liu Zhanguo. 2016&. An analysis of Cenozoic hydrocarbon generation potential and salty characteristics of Yiliping Sag in Qaidam Basin. Geology in China, 43(4):1317~1330.

Wang Zhixiang. 2019&. Sedimentary Sequency Response to Orbital Forcing the Paleoclimate Changes in the Lacustrine Record of the Northeastern Tibetan Plateau since the Miocene. Supervisor: Huang Chunju. Doctoral dissertation of China University of Geosciences: 1~94.

Wu Yushu. 2001&. Palynoflora at Late Miocene—Early Pliocene form Leijiahe of Lingtai, Gansu Province, Chinese. Acta Botanica Sinica, 43(7):750~756.

Wu Zhengyi. 1980#. China Vegetation. Beijing: Science Press: 1~1375.

Xu Hongyan. 2018&. Cenozoic Palynological Flora of Honggou Section, Qaidam Basin. Tutor: Zhang Peizhen, Deng Zhihui. Doctoral dissertation of Institute of Geology, China Earthquake Administration: 1~119.

Xu Ren, Song Zhichen, Zhou Heyi. 1958#. Sporopollen assemblages form Tertiary deposits of the Qaidam Basin and their geological significance. Acta Palaeontologica Sinica, 6(4):107~118; 188~197.

Xu Siyuan. 2018&. Organic Matter Enrichment Model of Neogene Salt Lake Source Rocks in Yiliping Area, Qaidam Basin. Tutor: Liu Chenglin. Master's dissertation of China University of Petroleum (Beijing) :1~69.

Xu Zhenglian. 2015&. Oligocene—Miocene Pollen Records in Xunhua Basin, Northeastern Tibetan Plateau and Its Implications for Evolution of the East Asian Monsoon. Supervisor: Zhang Kexin. Doctoral dissertation of China University of Geosciences :1~99.

Yan Cunfeng, Yuan Jianying, Zhao Yingcheng, Wei Dongtao, Li Zaiguang. 2006&. Jurassic spora-pollen assemblagee and paleoclimate in Innermongolia, Gansu, Qinghai, China. Natural Gas Geoscience, 17(5):634~639.

Yang Mei. 2018&. Paleoenvironmental evolution in the Neogene—Quaternary Period of the Sanhu Sag, Qaidam Basin. Supervisor: Zhang Chengjun. Master's dissertation of Lanzhou University :1~66.

Yuan Ye. 2015&. The Characteristics of Climatic since Late Pleistocene in Lenghu Lake Area of Qaidam Basin and Its Response to Global Climate Change and Uplift of the Plateau. Supervisor: Kusky T, Xiang Shuyuan. Doctoral dissertation of China University of Geosciences: 1~116.

Zhang Kexin, Wang Guocan, Chen Fenning, Xu Yadong, Luo Mansheng, Xiang Shuyuan, Kou Xiaohu, Zhao Laishi. 2007&. Coupling between the uplift of Qinghai—Tibetan Plateau and distribution of Basin of Paleogene—Neogene. Earth Science, 32(5):583~597.

Zhang Kexin, Wang Guocan, Hong Hanlie, Xu Yadong, Wang An, Cao Kai, Luo Mansheng, Ji Junliang, Xiao Guoqiao, Lin Xiao. 2013&. The study of the Cenozoic uplift in the Tibetan Plateau: A review. Geological Bulletin of China, 32(1):1~18.

Zhao Jiafan, Chen Xiaohong, Du Yebo. 2004&. The Tertiary sedimentary evolution of the Qaidam basin, Northwest China. Petroleum Exploration and Development, 31(3):41~44.

Characteristics of Neogene palynology and palaeoenvironment significance in Yiliping Sag, Qaidam Basin

ZHANG Yiming[1], HUANG Lei[1], CHEN Yan[2], SONG Shijun[1], ZHOU Fei[2], ZHANG Qi[1], WU Zhixiong[2], LEI Weilong[3]

1) *Institute of Oil and Gas Basin, Northwest University, Xi'an*, 710069;

2) *Qinghai Oilfield Company Petroleum Exploration and Development Institute, Dunhuang, Gansu*, 736200;

3) *No. 5 Oil Production Plant of PetroChina Changqing Oil field Company, Xi'an*, 710200;

4) *Shandong Dongshan Xinyi Coal Mine Co., Yanzhou, Shandong*, 272100

Objectives: Qaidam Basin is located in the northern part of Qinghai—Xizang (Tibet) Plateau. Due to the influence of Qinghai—Xizang Plateau uplift and global climate, the paleoenvironment in the basin changed significantly during Neogene Period.

Methods: Based on the analysis of the characteristics of palynology in the Yiliping Sag of Qaidam Basin, the Neogene vegetation types and environmental evolutionary process of the basin were restored, and the effects of plateau tectonic uplift and global climate change on the paleoenvironment of the basin were discussed.

Results: The results show that the Neogene palynological assemblages in the Yiliping Sag is characterized by abundant gymnosperms, a lot of angiosperms and many xerophytes.

Conclusions: The palynological characteristics indicate that the climate in the Yiliping Sag of Qaidam Basin belongs to semiarid or arid climate during the whole Neogene period, and the Neogene palaeo-environmental evolution was significantly affected by the uplift intensity of the Qinghai—Xizang Plateau and the global climate: the environments during the deposition of the Lower Youshashan Formation, Upper Youshashan Formation and Shizigou Formation are belonging to Subtropical forest, temperate forest—grassland and cold temperate grassland—semidesert, respectively. This environmental background of this period is not beneficial for the development of large-scale high-quality source rocks in the Yiliping Sag during Neogene Period.

Keywords: the Yiliping Sag, Qaidam Basin; Neogene; palaeoenvironment; source rock

Acknowledgements: This paper is the research results of the National Natural Science Foundation of China (No. 41602111)

First author: ZHANG Yiming, male, born in 1997, is a master degree candidate, major in mineral survey and exploration; Email: 3181822925@qq.com

Corresponding author: HUANG Lei, male, born in 1982, Ph. D., professor level senior engineer, is mainly engaged in basin analysis and oil and gas exploration research; Email: huanglei@nwu.edu.cn

Manuscript received on: 2021-03-24; Accepted on: 2021-08-22; Network published on: 2021-09-20

Doi: 10.16509/j.georeview.2021.08.015　　**Edited by**: ZHANG Yuxu