

张掖国家地质公园早白垩世孢粉植物群及其环境意义

仲新¹, 孙新春², 辜平阳³, 李小强², 郭兵², 刘晔¹

(1. 甘肃地质博物馆, 甘肃 兰州 730030; 2. 甘肃省地质调查院, 甘肃 兰州 730000;

3. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

摘要:早白垩世红山湾层是张掖国家地质公园彩色丘陵地貌的主体建造, 长期缺乏可靠的生物地层和古生态与古环境研究。本次研究基于红山湾层新发现的 22 个属 6 个种的孢粉化石, 建立了红山湾孢粉植物群。根据植物群特征, 进一步探讨了早白垩世红山湾层沉积期古生态、古气候、古地理和沉积环境, 认为红山湾层沉积早期气候干燥, 植被单一, 孢粉组合为 *Abietinaepollenites/Pinuspollenites*; 晚期孢粉组合为 *Cycadopites-Perinopollenites*。两气囊花粉大量出现, 反映气候温暖湿润, 植物垂直分带明显。依据孢粉生态群模型, 以红山湾为例定义了包括高地、低地、河流、先驱、海岸及潮汐 6 种 SEG 类型, 初步构建了湖盆-周边陆地生态系统。

关键词:张掖国家地质公园; 红山湾层; 孢粉植物群; 古气候; 沉积环境

中图分类号: P618.31

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2019)04-0241-09

Early Cretaceous Palynoflora in Zhangye National Geopark and Its Palaeoenvironmental Significance

ZHONG Xin¹, SUN Xinchun², GU Pingyang³, LI Xiaoqiang², GUO Bin², LIU Ye¹

(1. Gansu Geological Museum, Lanzhou 730030, Gansu, China; 2. Geological Survey of Gansu Province, Lanzhou 730000, Gansu, China; 3. Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: The Early cretaceous Hongshanwan formation is the main part of the colorful hilly landform of Zhangye National Geopark, but there lack some reliable studies on biostratigraphy, paleoecology and paleoenvironment for a long time. Based on the palynological fossils of 22 genera and 6 species newly discovered in Hongshanwan formation, the palynological flora in Hongshanwan area has been established in this paper. According to the flora characteristics, the paleoecology, paleoclimate, paleogeography and sedimentary environment of early cretaceous Hongshanwan formation has been further discussed. The results show that the Hongshanwan formation has dry climate and single vegetation in early stage, with sporopollen combination of *Abietinaepollenites/Pinuspollenites*. The late palynological assemblage is *Cycadopites-Perinopollenites*, with a large number of double balloon pollen, reflecting a warm and humid climate and obvious vertical zonation of plants. Based on the palynology model, six SEG types have been defined by taking the Hongshanwan as an example, such as highland, lowland, river, forerunner, coast and

收稿日期: 2019-05-15; 修回日期: 2019-06-28

基金项目: 甘肃省地质勘查基金项目“甘肃省特殊景观区典型地质剖面综合调查研究”项目

作者简介: 仲新(1972-), 男, 地质矿产高级工程师, 从事基础地质调查、地层古生物及地学科普工作。E-mail: 56968784@qq.com

tide. And then, the terrestrial ecosystem around the lake basin has preliminarily constructed.

Keywords: Zhangye national geopark; Hongshanwan formation; sporopollen flora; paleoclimate; sedimentary environment

红山湾早白垩世单型盆地是酒泉盆地的重要组成部分,位于祁连造山带前陆地带,向东毗邻榆木山隆起。由一套扇三角洲-浅湖-扇三角洲-浅湖-深湖相陆源碎屑岩沉积建造组成,因彩色丘陵地貌景观著称于世。孙新春等(2019)将其命名为红山湾层,作为一个非正式岩石地层单位与红山湾地貌(王乃昂等,2018)相对应。红山湾层自下而上由一套紫色、紫红色、灰绿色、蓝灰色长石石英砂岩、泥质粉砂

岩、泥岩偶夹含砾粗砂岩、砾岩的韵律性沉积组成。区域上该套地层亦分布于酒西盆地红柳峡等地,该套地层长期缺乏可靠的生物地层和古生态与古环境研究。本次工作通过路线地质调查和实测地质剖面(图1),于红山湾一带首次发现大量叶肢介、大古植物和孢粉化石,依据新发现的22个属6个种孢粉化石研究,建立了红山湾沉积期孢粉植物群,通过与相邻盆地对比,探讨了当时生态环境和气候演变。

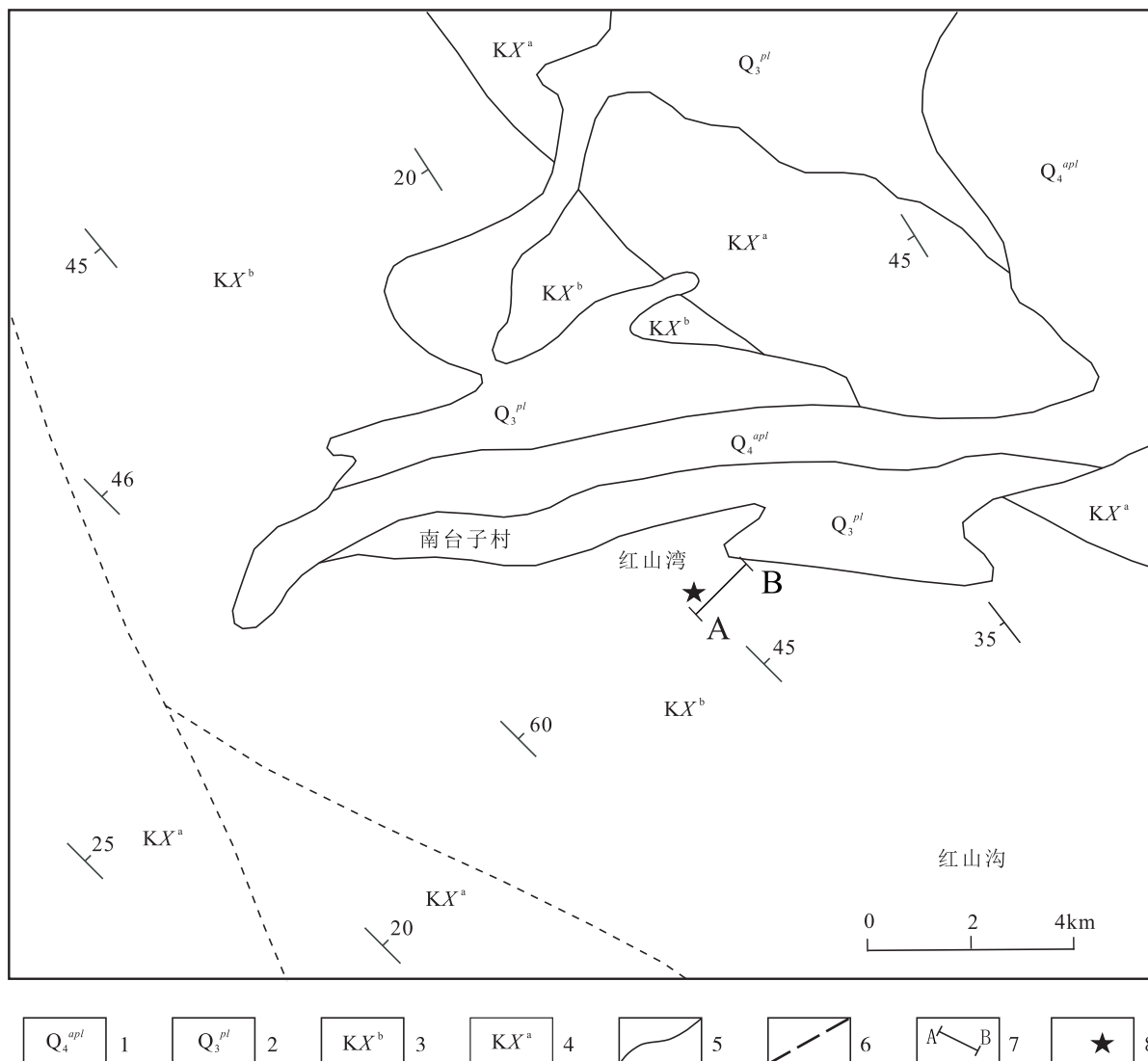


图1 工作区区域地质简图(据仲新等 2019 改编)

Fig. 1 Geological map of the working area

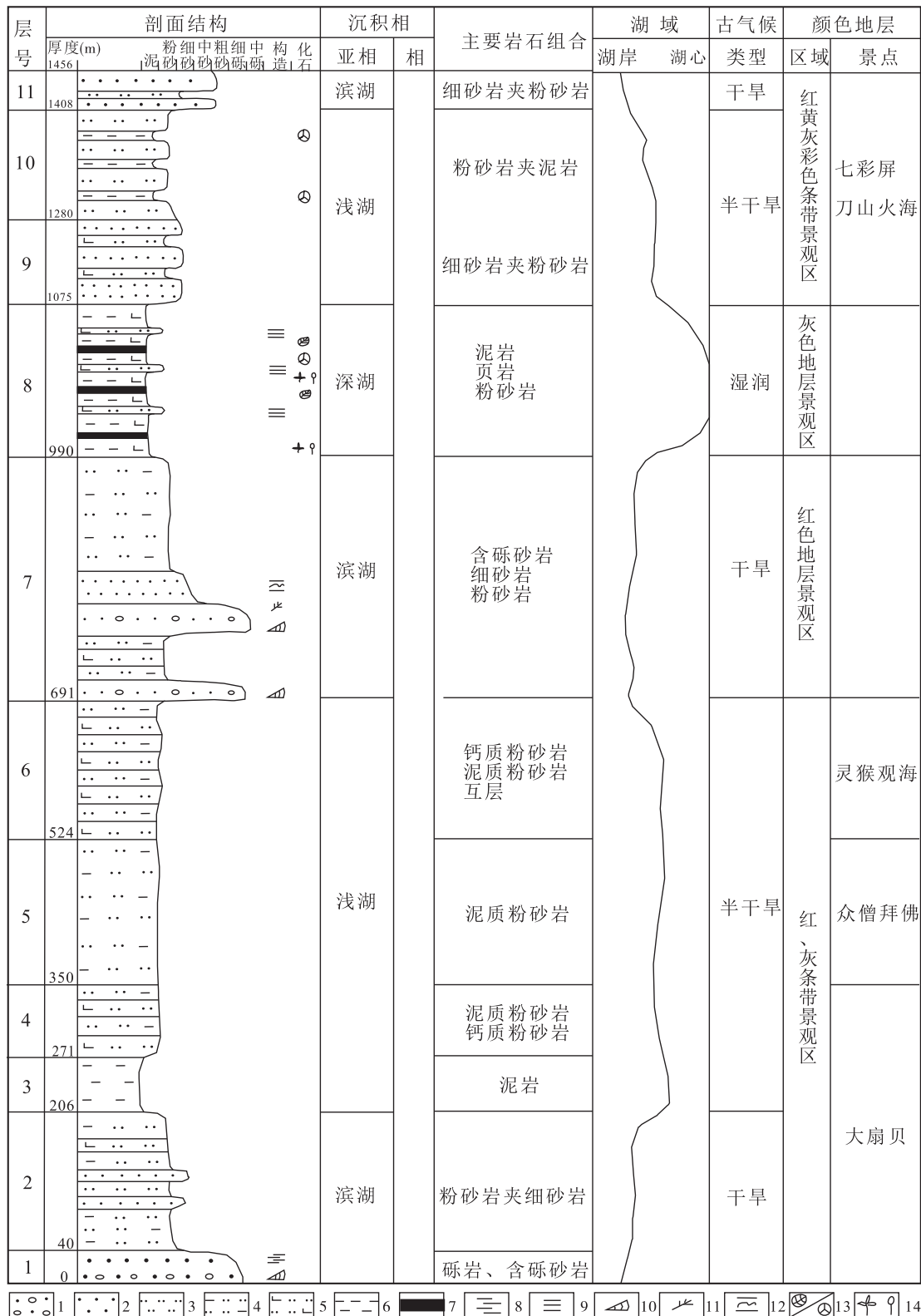
1 地层简述

酒泉盆地白垩纪岩石地层是在挤压-走滑构造体制下形成的一套河湖相碎屑岩沉积建造,代表了伸展构造期断陷盆地沉积特征。根据岩石组合、沉积结构及古生物特征将其划分为赤金堡组(K_c)、新民堡群下沟组(K_x)、中沟组(K_z)3个岩石地层单位(杨雨等,1997)。张掖国家地质公园红山湾一带主要出露早白垩世下沟组。区域上下沟组(K_x)主要指分布于玉门红柳峡-新民堡、北祁连山前盆地一带,为一套紫红、褐黄、灰绿、灰、灰黑色碎屑岩夹泥质岩的沉积序列,横向上厚度变化较大,无一定规律,在酒西盆地早峡一带见有安山-玄武岩夹层。一般下粗上细,下部粗碎屑岩段及上部湖相细粒沉积物中含丰富的动植物化石。其中,鱼类 *Lycoptera* 组合,常见的分子有 *Lycoptera* sp., *Coccolepis yumenensis*。叶肢介 *Eosesthesia* 组合,常见的分子有 *Yanjiesthesia hansiaensis* Y., *yumenensis* 等。昆虫 *Ephemeropsis trisetalis* 组合,轮藻:*Clypeator jiuquanensis*, *Aclistochara laiae*, 爬行类:cf. *Noripterus complicidens* 等。其中大多数分子为热河动物群早期的重要分子。本次工作在公园西南肃南大河红山及公园红山湾一带采获大量叶肢介化石,计有:*Eosesthesia ovaliformis*. *E.* sp 等。张振来等(2005)根据岩性组合特征、沉积充填序列、层位及其下沟组所产双壳类 *Sphaerium jeholense*、鱼类 *Jiuquanichthys liui* 及介形虫、昆虫、叶肢介、植物、轮藻、孢粉等化石,通过与邻区对比将下沟组沉积归属早白垩世,将其置于沙海阶与阜新阶。旷红伟等(2013)在中沟组底部的玄武岩和玄武安山岩中获得 SHIMP 锆石 U-Pb 年龄(113 ± 1.8) Ma。LIU Z 等(2017)通过旋回地层学研究,推测下沟组持续时间为 6.1 Mry。本次工作在向斜北翼红山湾层顶部灰黑色碎屑岩中见火山岩夹层。据此,根据区域地层对比,红山湾层沉积应不晚于(113 ± 1.8) Ma,属于 Aptian 阶,为 Aptian 中晚期,叶肢介化石 *Eosesthesia*-*Yanjiesthesia* 组合应相当于辽西九佛堂组上部至沙海组下部沉积。更加精准的时间框架有望通过向斜北翼火山岩详细确定。

2 孢粉植物群

红山湾一带共采集孢粉样品 16 件,实验室采用盐酸-氢氟酸浸解处理后,经中国科学院南京地质古生物研究所卢辉楠鉴定,在剖面 2 层(PM01-P04)和剖面 8 层(PM01-P14、P15)(图 2)3 件样品中见到孢粉化石,化石保存不完整,破损严重。发现的孢粉化石共有 22 个属 6 个种(图 3、表 1)。其中,蕨类植物孢子主要有桫欏孢属 *Cyathidites* 和石松孢属 *Lycopodiumsporites*。裸子植物花粉主要有单/双束松粉属 *Abietinaepollenites*/*Pinuspollenites*、雪松粉属 *Cedripites*、云杉粉属 *Piceapollenites*、扁平云杉粉 *P. complanati formis*、罗汉松粉属 *Podocarpidites*、原始松粉属 *Protopinus*、拟云杉粉属 *Piceites*、阿尔善拟云杉粉 *Piceites arxanensis*、假云杉粉属 *Pseudopicea*、黄色原始松柏粉 *Protoconiferus flavus*、阿里粉属 *Alisporites*、微囊粉属 *Parvisaccites*、脑形粉属 *Cerebropollenites*、中生脑形粉 *C. mesozoicus*、皱球粉属 *Psophosphaera*、南美杉粉属 *Araucariacites*、锡林粉属 *Xiliniipollis*、环圈克拉梭粉 *Classopollis annulatus*、苏铁粉属 *Cycadopites*、较小苏铁粉 *C. minor*、周壁粉属 *Perinopollenites*、光滑周壁粉 *P. limatus*、褶皱周壁粉 *P. elatoides*、粒纹周壁粉 *P. granulatus*、宽沟粉属 *Urmites* 和同心粉属 *Concentrisporites*。根据孢粉植被划分原则,红山湾层沉积早期为 *Abietinaepollenites*/*Pinuspollenites* 组合,晚期为 *Cycadopites*-*Perinopollenites* 组合。

该组合的主要特征为裸子植物花粉占绝对优势(图 4),含量达 99.73%,以单沟类的苏铁粉属、两气囊花粉和单孔类的周壁粉属为主。苏铁粉属含量为 25.04%,皆为个体较小,表面光滑的类型,这与该层位采获的 *Podozamites* sp. 相吻合;两气囊花粉中以单/双束松粉属(24.59%)和云杉粉属(6.73%)为主,其他两气囊花粉如雪松粉属、云杉粉属、扁平云杉粉、罗汉松粉属、原始松粉属、拟云杉粉属、阿尔善拟云杉粉、假云杉粉属、黄色原始松柏粉、阿里粉属、微囊粉属少量出现。单囊类的脑形粉属、中生脑形粉、皱球粉属、南美杉粉属、锡林粉属也少量或个别出现。周壁粉属含量为 19.33%,有光滑周壁粉、褶皱周壁粉、粒纹周壁粉。掌鳞杉科的环圈克拉梭粉



1. 含砂粗砂岩; 2. 细砂岩; 3. 粉砂岩; 4. 泥质粉砂岩; 5. 钙质粉砂岩; 6. 泥岩; 7. 页岩; 8. 平行层理; 9. 水平层理; 10. 交错层理; 11. 递变层理; 12. 不对称波痕; 13. 叶肢介和孢粉; 14. 植物化石

图2 红山湾层柱状剖面图(据仲新等, 2019 改编)

Fig. 2 Columnar section of Hongshanwan Bed

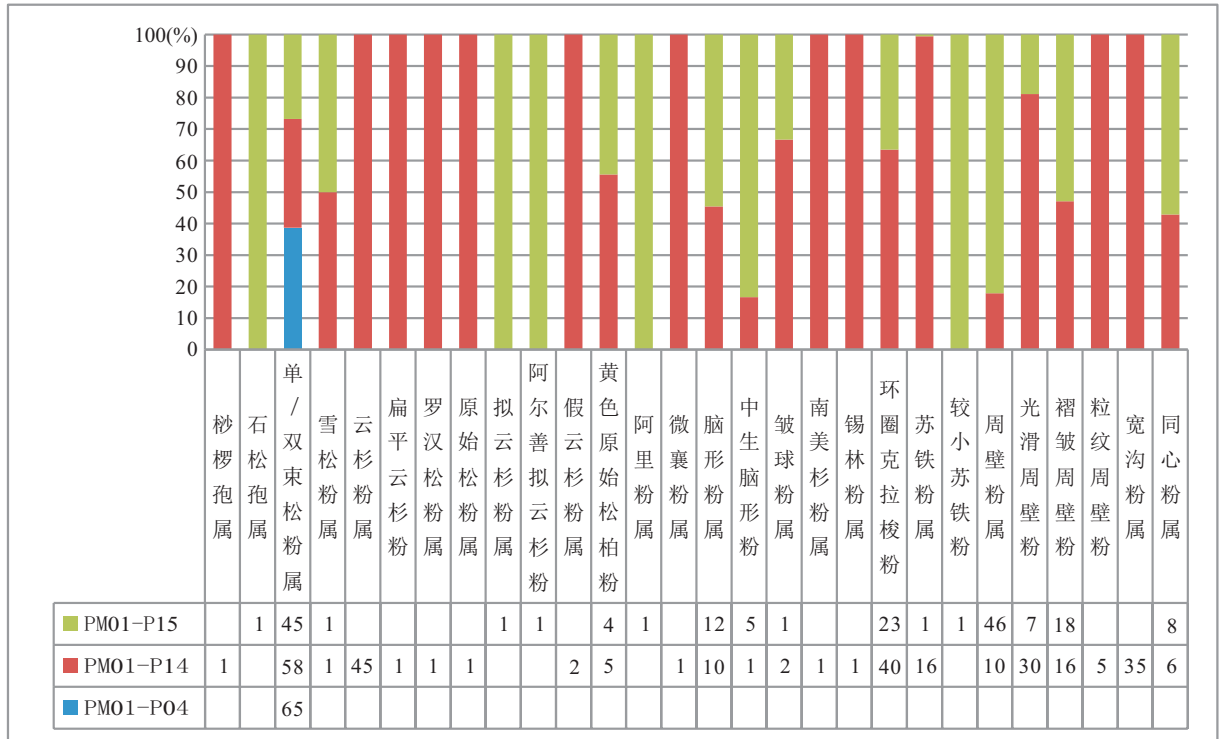


图 3 红山湾层孢粉组合柱状图

Fig. 3 Histogram of palynological assemblage in Hongshanwan Bed

表 1 红山湾层孢粉含量数据统计基本分析表

Tab. 1 Basic statistical analysis of palynological content data of Hongshanwan Bed

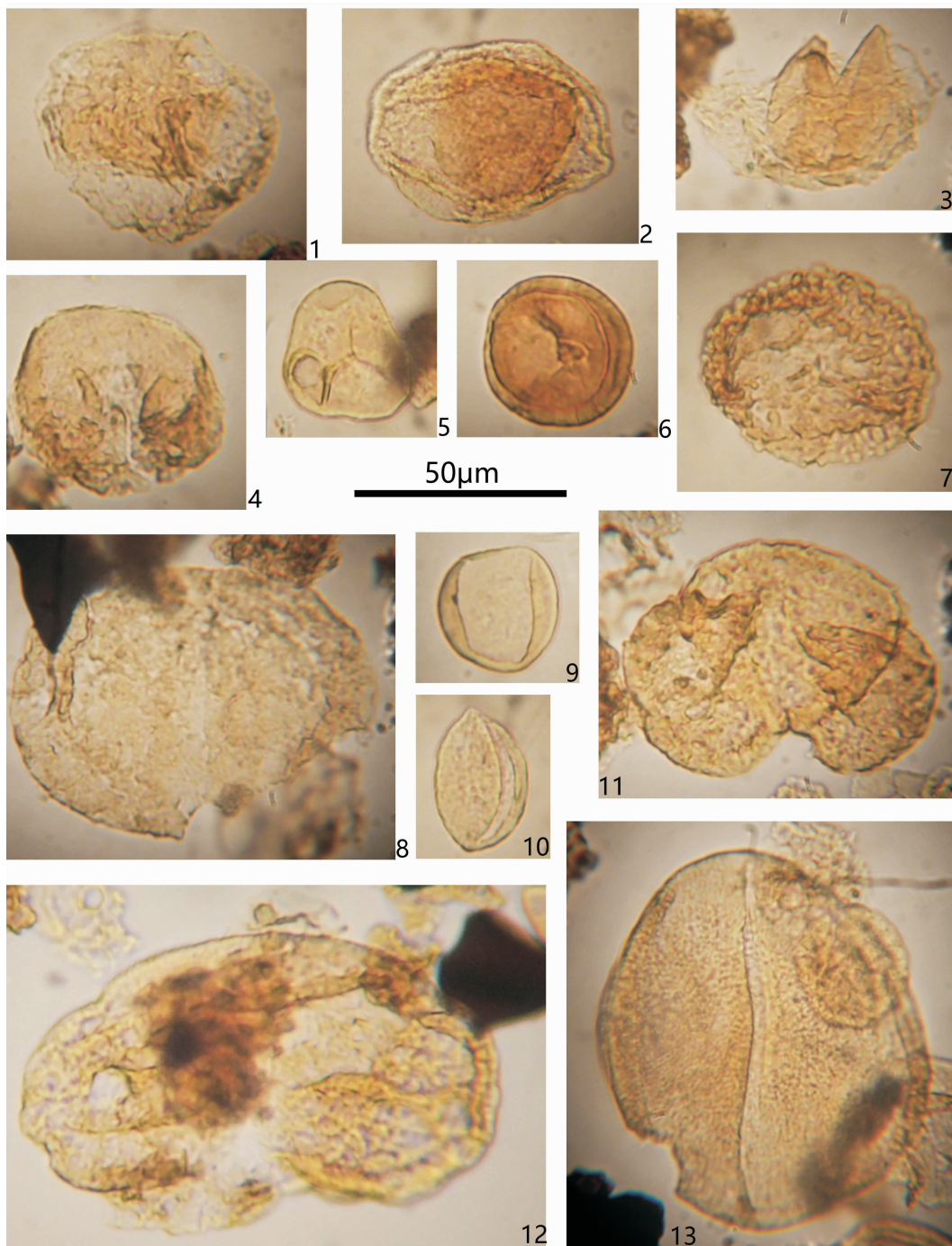
名称	单/双束松粉属	雪松粉属	原始松柏粉属	脑形粉属	中生脑形粉属	皱球粉属	环圈克拉梭粉属	苏铁粉属	周壁粉属	光滑周壁粉属	假云杉粉属	同心粉属
N	3.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Min	45.00	1.00	4.00	10.00	1.00	1.00	23.00	1.00	10.00	7.00	16.00	6.00
Max	65.00	1.00	5.00	12.00	5.00	2.00	40.00	169.00	46.00	30.00	18.00	8.00
Sum	168.00	2.00	9.00	22.00	6.00	3.00	63.00	170.00	56.00	37.00	34.00	14.00
Mean	56.00	1.00	4.50	11.00	3.00	1.50	31.50	85.00	28.00	18.50	17.00	7.00
Std. error	5.86	0.00	0.50	1.00	2.00	0.50	8.50	84.00	18.00	11.50	1.00	1.00
Variance	103.00	0.00	0.50	2.00	8.00	0.50	144.50	14112.0	648.00	264.50	2.00	2.00
Stand. dev	10.15	0.00	0.71	1.41	2.83	0.71	12.02	118.79	25.46	16.26	1.41	1.41
Median	58.00	1.00	4.50	11.00	3.00	1.50	31.50	85.00	28.00	18.50	17.00	7.00
25 prentil	45.00	0.75	3.00	7.50	0.75	0.75	17.25	0.75	7.50	5.25	12.00	4.50
75 prentil	65.00	17.00	20.00	25.25	20.00	17.75	46.25	143.00	50.75	38.75	29.75	22.25
Skewness	(0.85)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kurtosis	(2.33)	0.00	(2.75)	(2.75)	(2.75)	(2.7)	(2.75)	(2.75)	(2.75)	(2.75)	(2.75)	(2.7)
Geom. mean	55.36	1.00	4.47	10.95	2.24	1.41	30.33	13.00	21.45	14.49	16.97	6.93
Coeff. var	18.12	0.00	15.71	12.86	94.28	47.14	38.16	139.76	90.91	87.91	8.32	20.20

含量为 9.22%。蕨类植物孢子含量极低,仅个别见到。上述组合与酒西盆地红柳峡一带孢粉组合较为相似。两气囊型松柏类花粉占主导地位,且以发育完全的类型为主,两气囊发育不完全的拟云杉粉属、

假云杉粉属、原始松柏粉、微囊粉属相对较少,与张明震(2014)在酒西盆地建立的孢粉组合Ⅲ可以完全对比,只是苏铁类花粉含量明显上升。该孢粉组合面貌与中国河北早白垩世早期的大北沟组、内蒙古

二连盆地早白垩世地层、延哈盆地早白垩世地层相似。在孢粉植物群中几乎全为裸子植物花粉,蕨类植物的孢子极不发育。裸子植物花粉以原始松柏类为主,周壁粉属 *Perinopollenites* 或苏铁粉属 *Cyc-*

adopites 大量出现。掌鳞杉科的克拉梭粉属 *Classopollis* 在植物群中有一定含量,但是不占据主导地位,这与银根-额济纳旗盆地早白垩世地层中含大量的克拉梭粉明显不同。



1. 褶皱周壁粉; 2. 粒纹周壁粉; 3. 同心粉; 4. 雪松粉; 5. 桫欏孢粉; 6. 环圈克拉梭粉; 7. 中生脑形粉;
8. 原始松粉; 9. 宽沟粉; 10. 苏铁粉; 11. 单/双束松粉; 12. 扁平云杉粉; 13. 黄色原始松柏粉

图 4 红山湾层孢粉化石照片

Fig. 4 Palynological fossils of Hongshanwan Bed

3 古气候、古环境与古生态重建

红山湾层沉积早期孢粉化石稀少(剖面2层),为类型较为单一的 *Abietinaepollenites/Pinuspollenites* 组合,约占早期整个发现孢粉化石的100%。通常认为两囊型花粉(*Bisaccates*)广泛分布于全球各地,其植物关系被认为是松科或罗汉松科植物,耐寒、耐阴,多生长于高山或较寒冷地区。在红山湾层沉积早期,这些单一的两囊型花粉应来自湖盆周边高山,经远距离飞翔,沉积于湖盆中。孢粉母体植物为较为单一的针叶林,结合含化石体的岩石为青灰、蓝灰、浅灰色细砂岩、粉砂岩、钙质粉砂岩、钙质泥岩组成的韵律性沉积层序,且泥岩中多夹杂棕红色钙质泥岩斑块或条带,应为较干旱、且气候寒冷的滨湖沉积环境。孢粉丰度及多样性明显较低。

红山湾层实测地层剖面中、上部(剖面8层)孢粉丰度及多样性明显增加(图2)。*Cycadopites-Perinopollenites* 组合中两囊型花粉约占15%,含量继续增加。喜湿近岸湿生或沼生的蕨类孢子桫欏孢属 *Cyathidites*、石松孢属 *Lycopodiumsporites* 少量出现。代表早白垩世温暖湿润的中国北方植物群的周壁粉属 *Perinopollenites* 及同心粉属 *Concentrisporites* 大量出现,大多数学者推测其母体植物应为松柏类。与苏铁类植物相伴产出大量苏铁类孢粉化石,现今分布于热带及亚热带潮湿环境,是地球上最古老的种子植物之一,曾繁盛于中生代。克拉梭粉属 *Classopollis*,特别是环圈克拉梭粉 *Classopollis annulatus* 含量较多,在白垩纪以全球的中低纬度地区最为繁盛,通常主导整个植物群,其母体植物为松柏类的掌鳞杉科,代表干旱炎热的气候,适宜炎热的泄水低地或沿岸含盐沙地。在 *Cycadopites-Perinopollenites* 组合中云杉粉属 *Piceapollenites* 大量出现。周山富、杨万之(2007)认为云杉分布最重要热量指标为最热月温度在10℃~15℃(或19℃),这是云杉生态的最高限度。云杉这类暗针叶林植物是一种生态幅度较窄的类型,严格要求有温凉的气候和比较分明的四季,冬季有一定的雪覆盖,生长季中需有一定量湿度,它在不同气候带的山地上均生长于适合自己要求的海拔高度。在中国,云杉在北亚热带及其附近一般分布于海拔2500~3600m处。

剖面上含化石岩系为一套灰黑色、青灰色中厚层状钙质泥岩、薄层状粉砂岩夹页片状粉砂质泥岩、钙质泥岩。页片状泥岩、粉砂质泥岩发育水平纹层理,结合灰黑色钙质泥岩中产丰富的叶肢介化石,表明为湖泛期弱水动力条件的产物。根据李丽琴等(2014)介绍的孢粉生态群(Sporomorph Eco Group,简称SEG)模型的概念、方法及应用,红山湾层沉积晚期古陆地生态系统为以松柏、苏铁和真蕨类为代表,地理区系属白垩纪北方大区。真蕨类植物大量衰落,苏铁类植物较为繁盛,而松柏类植物则高度发展。植物物种分异度较高,代表潮湿温带具季节性的气候类型。物源区高山耸立,稍耐荫,能耐干燥及寒冷的高大乔木云杉等代表高地群落类型(表2)的松柏类植物广布,沿湖或低地间有常绿小乔木苏铁类和枝脉蕨等低地群落类型广泛发育,代表河岸群落类型,生长于河岸带,常被水淹没侵蚀的石松孢属 *Lycopodiumsporites* 和代表先驱群落类型的高温环境标志性花粉脑形粉属 *Cerebropollenites*、代表潮汐群落类型的阿里粉属 *Alisporites* 共同出现。江德昕等(2006),仵桐等(2018)认为植物群的地理分布具有一定的规律性,其类型表现为一定的水平分带或垂直分带,真实地反映了水平或垂直分带的自然地理景观。在张掖国家地质公园红山湾一带发现的植物及孢粉化石真实地记录了红山湾层沉积期古生态及古环境,为探索红山湾地貌形成环境提供了基本借鉴。红山湾沉积早期植被单一,靠近湖盆周边地形平坦,在远山地带分布有针叶林带。中、晚期湖盆扩张期,气候温暖湿润,物种分异度高。优势度是用以表示一个物种在群落中的地位与作用的量纲。本次工作计算了红山湾层沉积晚期孢粉植物种优势度指数,将大于0.02的物种筛选出来成图(图5),从优势度指数柱状图可以看出,两气囊单/双束松粉属 *Abietinaepollenites/Pinuspollenite* 优势度指数为15.53,苏铁粉属 *Cycadopites* 优势度指数为42.31,在孢粉植被群落中占绝对优势。从湖盆周边至远山地带,植物垂直分带明显。远山地带有云杉、雪松等针叶林带,靠近水体或林下地带有桫欏、石松等,泄水低地或沿岸含盐沙地生存有掌鳞杉科植物,中间过渡带有苏铁、罗汉松等。形成山地针叶树种与低地树种共生的格局,说明地形高低悬殊较大,低海拔平原、丘陵与高山共存的局面。

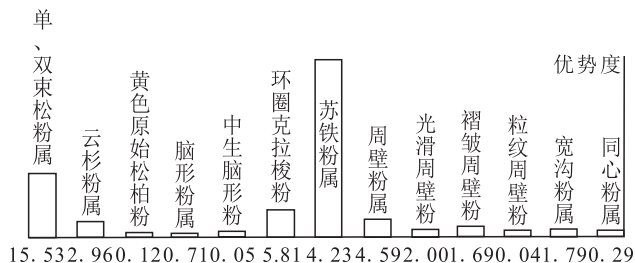


图5 红山湾层孢粉群落优势度统计柱状图

Fig. 5 Histogram of palynological community dominance in Hongshanwan Bed

晚侏罗世—早白垩世,全球气候环境经历了巨大的转折变化,特别是进入早白垩世,全球环境变化

剧烈,一系列冷突变事件穿插于长期的温室气候状态中,干旱化事件频繁发生。红山湾一带干旱、半干旱气候的变化可以从孢粉化石变化获知。红山湾层沉积早期,植被单一,在远离湖盆的高山地带分布有松科或罗汉松等针叶林,气候干燥寒冷,代表了湖侵初期或侵蚀基准面上升时期的沉积环境;红山湾层沉积晚期,蕨类孢子和裸子植物花粉大量出现,物种分异度较高,两气囊型花粉和苏铁类继续繁盛,特别是沿湖低地、林下草丛及沙地上出现桫欏孢属 *Cyathidites* 和石松孢属 *Lycopodiumsporites*,以及掌鳞杉科的克拉梭植被,气候温暖湿润,代表了一次湖泛沉积事件(图2)。

表2 孢粉生态模型分类及特征表(据 ABBINK, 2004 修改)

Tab. 2 classification and characteristics of palynological models(据 ABBINK, 2004 修改)

SEG 类型	植被群落类型	群落特征	代表孢粉类型(以张掖红山湾为例)
Upland SEG	高地群落	处于远高于地下水水位的高地势上的植物,永远不被水淹没	两气囊花粉:单/双束松粉属 <i>Abietinaepollenites</i> / <i>Pinuspollenite</i> 、云杉粉属 <i>Piceapollenites</i> 、扁平云杉粉 <i>P. complanatifomis</i> 、雪松粉属 <i>Cedripites</i> 、拟云杉粉属 <i>Piceites</i> 、阿尔善拟云杉粉 <i>Piceites arxanensis</i> 、假云杉粉属 <i>Pseudopicea</i> 等
Lowland SEG	低地群落	平原或者淡水沼泽区的植物,平原可能(间歇性)被淡水淹没,造成组合中湿润(沼泽)以及干旱类群的可能出现,没有(海水)盐水平影响(除非在极端环境下)	蕨类植物孢子:桫欏孢属 <i>Cyathidites</i> 、石松孢属 <i>Lycopodiumsporites</i> 、苏铁粉属 <i>Cycadopites</i> 、较小苏铁粉 <i>C. minor</i> 、周壁粉属 <i>Perinopollenites</i> 、光滑周壁粉 <i>P. limatus</i> 、褶皱周壁粉 <i>P. elatoides</i> 、粒纹周壁粉 <i>P. granulates</i> 、掌鳞杉科的克拉梭粉属 <i>Classopollis</i> 等
River SEG	河岸群落	河堤植物,(周期性)被水淹没、遭受侵蚀	石松孢属 <i>Lycopodiumsporites</i>
Pioneer SEG	先驱群落	不稳定及发展起来不久的生态群落植物(如生长于之前长期被海水淹没地区的植物)	脑形粉属 <i>Cerebropollenites</i> 、中生脑形粉 <i>C. mesozoicus</i>
Coastal SEG	海岸群落	生长于海岸上的植被,从不被海水淹没,但常受到盐雾影响	南美杉粉属 <i>Araucariacites</i>
Tidally SEG	潮汐群	每天受潮汐变化影响的植被(定期被涨潮海水所淹没)	阿里粉属 <i>Alisporites</i>

4 结论

生物特别是植物对生长地的古地理、古气候的适应和演变最为敏感。植物除藻类这些低等植物外均根植于生长地无法迁移,素有“温度计”之称,是反映自然地理环境最敏感的因素。运用孢粉研究古地理、古气候是一种可行有效的方法。笔者依据张掖丹霞国家地质公园最新发现的孢粉化石,建立了红山湾组沉积早期 *Abietinaepolleni-*

tes/*Pinuspollenites* 和晚期 *Cycadopites* - *Perinopollenites* 孢粉植物群,结合荷兰学者 Abbink 等提出的孢粉生态群模型(Sporomorph EcoGroup)概念,建立了6个孢粉生态群落类型。通过对孢粉植物种研究,认为早期气候干燥寒冷,植被稀少,仅在距离湖盆较远的远山地带存在针叶林。晚期气候温暖湿润,物种分异度高,地形差异大,植物垂直分带明显,代表湖泛体系域的两气囊花粉大量出现,初步构建了红山湾层沉积期陆地生态群落类型。

致谢:长安大学李永军教授亲临地质公园现场指导并提供相关资料;兰州大学闫德飞副教授审阅本文并提出了诸多修改意见;甘肃省地矿局三勘院李注苍博士提供相关图片资料,审稿老师付梓辛劳,在此一并表示衷心感谢。

参考文献(References):

- 孙新春,李小强,仲新,等. 张掖地质公园彩色丘陵成景机制研究[M]. 兰州:甘肃科学技术出版社,2019.
- SUN Xinchun, LI Xiaoqiang, ZHONG Xin et al. A study on the formation mechanism of colored hills in Zhangye geopark [M]. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 2019.
- 王乃昂,张建明,程弘毅,等. 甘肃省志. 自然地理志[M]. 兰州:甘肃文化出版社,2018:133-135.
- WANG Naiang, ZHANG Jianming, CHENG Hongyi et al. Annals of gansu province. Natural geography [M]. Lanzhou: Gansu Culture Press, 2018:133-135.
- 杨雨,范国琳,姚国金,等. 甘肃省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1997:184-186.
- YANG Yu, FAN Guolin, YAO Guojin et al. Rock strata in gansu province [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997:184-186.
- 张振来,李旭兵,等. 中国各地质时代地层划分与对比[M]. 北京:地质出版社,2005:436-486.
- ZHANG Zhenglai, LI Xubing et al. Stratigraphic division and correlation in different geological periods in China [M]. Beijing: Geological Press, 2005:436-486.
- 旷红伟,柳永清,刘燕学,等. 兴蒙造山区及邻区早白垩世盆地岩石地层格架与沉积古地理演化[J]. 地质通报, 2013, 32(07):1063-1084.
- KUANG Hongwei, LIU Yongqing, LIU Yanxue et al. Stratigraphy and depositional palaeogeography of the Early Cretaceous basins in Da Hinggan Mountains-Mongolia orogenic belt and its neighboring areas [J]. Geological Bulletin, 2013, 32:1063-1084.
- 张明震. 晚中生代东亚大陆内部孢粉植物群记录的环境、生态演化[D]. 2014.
- ZHANG Mingzhen. Late Mesozoic Environmental and Ecology Evolution Based on Palynological Records from Central East Asia. Doctoral dissertation [D]. 2014.
- 周山富,杨万之. 孢粉地质学[M]. 杭州:浙江大学出版社, 2007:34-36.
- ZHOU Shanfu, YANG Wanzhi. Palynology [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press. 2007:34-36.
- 李丽琴,王永栋. 孢粉生态群模型(SEG)及其在古环境研究中的应用[J]. 古生物学报, 2014, 53(03):335-344.
- LI Liqing, WANG Yongdong. Soromorph Ecogroup Model (SEG) and its Application to the Palaeoenvironment Reconstruction [J]. Journal of Paleontology, 2014, 53 (3): 335-344 (September 2014). (in Chinese with English abstract).
- 江德昕,王永栋,魏江. 新疆乌恰早白垩世孢粉植物群及其环境意义[J]. 古地理学报, 2007, 9(02):185-196.
- JING Dexin, WANG Yongdong, WEI jiang. Palynofloras and their environmental significance of the Early Cretaceous in Wuqia, Xinjiang Autonomo Region [J]. Chinese Journal of Paleogeography, 2007, 9(02):186-196.
- 仵桐,王炬川,杨涛等. 西昆仑苏巴什东部侏罗系杨叶组孢粉化石的发现及其沉积环境分析[J]. 西北地质, 2018, 51(1):44-53.
- WU Tong, WANG Juchuan, YANG Tao, etc. Discovery- and Sedimentary Environment of Sporopollen Fossils at Jurassic Yangye Formation in East Subashi, West Kunlun [J]. Northwestern Geology, 2018, 51(1):44-53.
- O. A. Abbink, J. H. A. Van Konijnenburg-Van Cittert, C. J. Van der Zwan, et al. 2004. A Sporomorph ecogroup model for the Northwest European Jurassic Lower Cretaceous II: Application to an exploration well from the Dutch North Sea [J]. Netherlands Journal of Geosciences-Geologie En Mijnbouw, 83(2):81-91.
- LIU Z, LIU X, HUANG S. Cyclostratigraphic analysis of magnetic records for orbital chronology of the Lower Cretaceous Xiagou Formation in Linze, northwestern China. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 2017, 481:44-56.