



移动阅读

周长勇, 张启跃, 文雯, 等. 2024. 贵州望谟地区新发现早三叠世化石库[J]. 沉积与特提斯地质, 44(1): 1-8+215. doi: [10.19826/j.cnki.1009-3850.2022.06011](https://doi.org/10.19826/j.cnki.1009-3850.2022.06011)

ZHOU C Y, ZHANG Q Y, WEN W, et al., 2024. A new Early Triassic fossil Lagerstätte from Wangmo, Guizhou Province[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 44(1): 1-8+215. doi: [10.19826/j.cnki.1009-3850.2022.06011](https://doi.org/10.19826/j.cnki.1009-3850.2022.06011)

贵州望谟地区新发现早三叠世化石库

周长勇¹, 张启跃^{1*}, 文雯^{1,2}, 黄金元^{1,3}, 胡世学¹,
刘伟¹, 闵筱¹, 马志鑫^{1,4}, 温谦谦^{1,5}

(1. 中国地质调查局成都地质调查中心(西南地质科技创新中心), 四川 成都 610218; 2. 南京大学地球科学与工程学院, 江苏 南京 210023; 3. 巴伦西亚大学, 西班牙 巴伦西亚 46010; 4. 中国地质大学(北京)海洋学院, 北京 100083; 5. 山东科技大学地球科学与工程学院, 山东 青岛 266590)

摘要: 望谟生物群是我国西南部贵州省望谟地区新发现的一个早三叠世化石库, 化石主要产自下三叠统罗楼组一段的薄层状泥岩、微晶灰岩之中。该化石库以菊石和节肢动物为特色, 伴有双壳、箭石、腕足、牙形类、鱼类、微康奇虫, 以及一些分类不明的化石类型, 其时代为早三叠世印度期迪纳尔晚期(Late Dienerian)至奥伦尼克期史密斯早期(Early Smithian)。该生物群化石保存精美、数量丰富, 生物种类多样, 显示经历了二叠纪末生物大绝灭事件后, 望谟地区在早三叠世已经具有一个复杂的海洋生态系统, 为我们更全面地了解早三叠世海洋生物多样性和生物复苏提供了一个新的窗口。

关键词: 望谟生物群; 生物复苏; 罗楼组; 早三叠世; 贵州

中图分类号: P52

文献标识码: A

A new Early Triassic fossil Lagerstätte from Wangmo, Guizhou Province

ZHOU Changyong¹, ZHANG Qiyue^{1*}, WEN Wen^{1,2}, HUANG Jinyuan^{1,3}, HU Shixue¹,
LIU Wei¹, MIN Xiao¹, MA Zhixin^{1,4}, WEN Qianqian^{1,5}

(1. Chengdu Center, China Geological Survey (Geosciences Innovation Center of Southwest China), Chengdu 610218, China; 2. School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, China; 3. University of València, Paterna 46010, Spain; 4. School of Ocean Sciences, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 5. College of Earth Sciences and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

Abstract: A new Early Triassic fossil Lagerstätte was recently discovered in Wangmo County, Guizhou Province, southwest China, and it is named as the Wangmo biota. The fossils are recovered from thin bedded mudstones and microcrystalline limestones of Member I of the Lower Triassic Luolou Formation. The fossil assemblages are dominated by ammonites and arthropods in terms of individuals, accompanied by bivalves, belemnoids, brachiopods, conodonts, fishes, microconchids and problematic fossils. The age of the Wangmo biota is taken as the Late Dienerian (Indian) to the Early Smithian (Olenekian). The fossils are exceptionally preserved, with an abundance of fossils and high species diversity. The Wangmo biota suggests that a complex marine ecosystem was

收稿日期: 2022-06-23; 改回日期: 2022-06-29; 网络出版日期: 2022-07-04; 责任编辑: 郭秀梅; 科学编辑: 曹华文

作者简介: 周长勇(1979—), 男, 正高级工程师, 主要从事区域地质调查与古生物研究。E-mail: zhcy79@163.com

通讯作者: 张启跃(1970—), 男, 研究员, 主要从事区域地质调查与古生物研究。E-mail: yxzqy@sina.com

资助项目: 中国地质调查局项目(DD20230219, DD20221635, DD20160020, DD20190054); 现代古生物学和地层学国家重点实验室(中国科学院南京地质古生物研究所)(193110)

rebuilt during the Late Dienerian to the Early Smithian after the Permo–Triassic mass extinction, providing a new window for comprehensively understanding the early Triassic marine biodiversity and the process of marine biotic recovery.

Key words: Wangmo biota; Biotic Recovery; Luolou Formation; Early Triassic; Guizhou Province

0 引言

在地球历史上,先后发生了五次生物大灭绝事件,而二叠纪末的生物大灭绝事件是其中规模最大的一次,造成了95%的物种灭绝(殷鸿福等, 1984; 张克信, 1991; Yang et al., 1993; Benton et al., 2003; Erwin, 2006; Knoll et al., 2007; Yin et al., 2012),此次大灭绝事件之后,三叠纪海洋生物复苏机制一直是国内外研究的热点(Benton et al., 2003; Chen and Benton, 2012)。我国西南地区先后发现多个三叠纪古生物群落,包括中三叠世安尼期的罗平生物群、盘县动物群,拉丁期兴义动物群和晚三叠世卡尼期关岭生物群(图 1A, C),为我们研究三叠纪生物演化与生态环境恢复提供了依据,尤其是云南罗平生物群的发现表明 P-Tr 生物大灭绝后一个复杂的海洋生态系统在中三叠世已经形成(Hu et al., 2011),被认为是中生代海洋生态系统形成的标志(胡世学等, 2015),是研究三叠纪生物大辐射的重要窗口。

那么,中生代海洋生态系统是如何从二叠纪末生物大灭绝后萧条的生态环境中逐渐恢复过来,并在中三叠世达到生物大辐射? 早三叠世化石群落记录或许能给出这一问题的答案。2017 年,贵州望谟地区首次发现了早三叠世海生爬行类动物(周长勇等, 2017);随后在广西西北部隆林县者保乡过兴村附近报道了我国目前最大的早三叠世鱼龙(贺永忠等, 2020; Ren et al., 2022),最近在贵州贵定县莲花村新报道了早三叠世裂齿鱼(Yuan et al., 2022),这些发现表明我国西南地区在早三叠世可能已形成相对复杂的海洋生态系统,也为我们在该地区寻找更多的早三叠世化石记录提供了线索。

近年来,笔者等通过在我国西南地区开展区域地质调查,在贵州望谟地区新发现了一个生物分异度较高的早三叠世化石库——望谟生物群(图 1C)。初步的研究表明,望谟生物群的生物类群从初级生产者到高级食肉动物都有保存,展示了一个生物门类多样、功能复杂、具有多层营养级的海洋生态系统,处于由古生代动物群向现代动物群演化过渡的关键位置。

1 望谟生物群的地层分布与时代特征

1.1 望谟生物群的地层分布

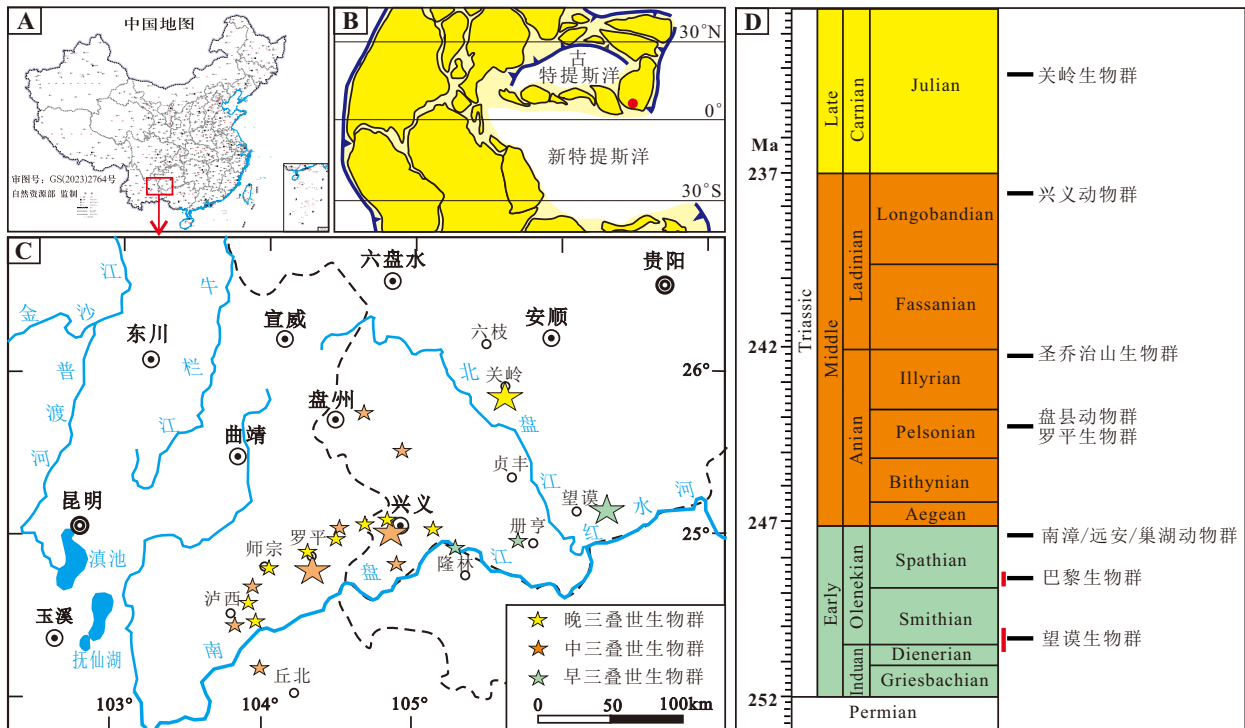
望谟地区位于贵州省黔西南州东南部(图 1A),该地区在早三叠世处于特提斯洋东缘靠近赤道位置(图 1B),沉积了下三叠统罗楼组地层。罗楼组由李四光等(1941)命名,广泛分布于黔西南和桂西北地区,主要由碳酸盐岩和碎屑岩组成,可分为两段:

罗楼组一段(78.1 m)为灰、深灰色薄至中层状钙质泥岩,夹灰色薄及中厚层泥晶灰岩、泥灰岩及瘤状灰岩,底部以一套斑杂状厚层—块状微生物岩与下伏的上二叠统吴家坪组中厚层硅质结核灰岩整合接触。望谟生物群化石主要产自该段中上部的薄层泥岩、泥灰岩中,大多数化石保存完整,化石多呈扁平状顺层展布,少见立体保存化石。

罗楼组二段(36.9 m)为灰、浅灰色中厚层条带状链状泥晶灰岩,局部含大量菊石化石或砾屑灰岩,望谟地区首次发现的海生爬行动物就产自该段条带状泥晶灰岩中(周长勇等, 2017)。罗楼组二段上覆地层为中三叠统新苑组一段,其底部常见灰绿色中厚层状晶屑玻屑凝灰岩(俗称“绿豆岩”),该“绿豆岩”在整个华南广泛分布,是划分下、中三叠统的一个重要标志层。郑连弟等(2010)在望谟地区甘河桥剖面的“绿豆岩”中获得锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 247.6 ± 1.7 Ma。

1.2 望谟生物群的时代

姚建新等(2004)对望谟地区甘河桥剖面开展了牙形石生物地层研究,从迪纳尔亚阶(Dienerian substage)至中三叠统底部共识别出 6 个牙形石带。梁蕾(2017)对该剖面开展了进一步研究,在牙形石 *Novispathodus waageni* 首现位置确定了印度阶/奥伦尼克阶界线位于罗楼组一段中部(相当于广西金牙外里剖面的罗楼组 III 段; Galfetti et al., 2008),奥伦尼克阶中史密斯/斯帕斯(Smithian/Spathian)界线位于罗楼组一段上部夹灰岩透镜体的灰黑色薄层状泥岩中(相当于外里剖面的罗楼组 IV 段; Galfetti et al., 2008),以牙形石 *Novispathodus pingdingshanensis* 首现点作为界线起始位置。



A. 研究区的位置 (红框); B. 早三叠世望谟生物群的古地理位置 (红点, 据 Zhao et al., 2020 修改); C. 西南地区主要三叠纪化石产地; D. 三叠纪全球重要化石库地质时代。

图 1 望谟生物群位置及国内外三叠纪重要化石库

Fig. 1 Location of the Wangmo biota and the main Triassic fossil Lagerstätten in the world

望谟生物群化石产出层位主要位于罗楼组一段中上部, 笔者在化石产出层位发现牙形石 *Neospathodus dieneri* Sweet, 1970 (图 2E) 和 *Novispathodus waageni waageni* Sweet, 1970, 分别为 *Neospathodus dieneri* 带及 *Novispathodus waageni* 带的带分子, 因此, 望谟生物群的时代应为印度期迪纳尔晚期 (Late Dienerian)—奥伦尼克期史密斯早期 (Early Smithian), 较美国爱达荷州新发现的斯帕斯早期 (Early Spathian) 的巴黎生物群 (Brayard et al., 2017; Smith et al., 2021) 时代更早 (图 1D)。

2 望谟生物群化石组合

近几年来, 先后在中国南方的安徽 (Tong et al., 2006; 张钰莹等, 2014; Jiang et al., 2014)、湖北 (程龙等, 2015) 等地发现早三叠世古生物化石群, 但从化石种类来看, 其多样性相对较低, 如湖北的南漳-远安动物群, 主要是以海生爬行动物为特色, 以湖北鳄类为主, 其次为始鳍龙类, 鱼龙最少, 其时代为早三叠世奥伦尼克期斯帕斯末期 (Spathian) (程龙等, 2015); 安徽巢湖动物群则是以鱼龙 (杨钟健和

董枝明, 1972; 陈烈祖, 1985; Motani et al., 2015; Jiang et al., 2016) 为主, 伴生有鱼类 (Tong et al., 2006)、菊石 (童金南等, 2004)、双壳、牙形类和少量节肢动物等化石, 其时代同样为斯帕斯末期 (Spathian) (赵来时等, 2005, 2007; 张钰莹等, 2014)。

与南漳-远安动物群和巢湖龙动物群相比较而言, 望谟生物群时代更早 (Late Dienerian - Early Smithian), 而且有更高的生物多样性。到目前为止, 笔者在望谟生物群中已采集了近 2000 件化石标本, 至少发现脊索动物、软体动物、节肢动物、帚虫动物、腕足动物、多孔动物等 6 门 14 类生物, 包括鱼类、牙形类、双壳、菊石、箭石、十足目、袋头类、圆蟹、微康奇虫、腕足类、海绵以及一些分类不明的化石类型等。

望谟生物群中的鱼类包括硬骨鱼类和软骨鱼类。硬骨鱼类主要为辐鳍鱼类中的副半椎鱼 (图 2A)、龙鱼、古鳕鱼 (图 2D), 肉鳍鱼类的空棘鱼类 (图 2B), 它们均为肉食性鱼类; 软骨鱼主要为弓鲛类, 仅发现牙齿化石 (图 2C)。

牙形类和头足类动物作为远洋游泳动物, 在大

灭绝事件后迅速恢复过来(Orchard, 2007; Brayard et al., 2009), 在望漠生物群中占优势地位, 这一点与美国巴黎生物群(Paris Biota)类似(Brayard et al., 2017)。望漠生物群化石层位中发现大量牙形石分

子, 如牙形石 *Neospathodus dieneri* Sweet, 1970 (图 2E)。

望漠生物群中头足类中包括菊石(图 2H)和箭石, 其中菊石是最常见和多样化最高的类群。除菊



A. 副半椎鱼?; B. 空棘鱼类尾鳍; C. 弓鲛类鱼牙; D. 古鳕鱼齿骨; E. 迪纳尔新铲齿刺; F. 海绵骨针; G. 箭石腕钩; H. 菊石; I. 带耳克氏蛤(左壳侧视); J. 分类不明; K. 多足类; L. 虾类; M. 端足类; N. 袋头类; O. 圆蟹; P. 等足类; Q. 微康奇虫; R. 舌形贝未定种; S. 粪便; T. 含箭石腕钩的粪便; U. 含牙形石的粪便。

图 2 望漠生物群典型化石

Fig. 2 Typical fossils of the Wangmo biota

石外,含化石岩层中还发现保存较好的箭石腕钩(图 2G),这种带腕钩的箭石标本较为罕见,仅在中三叠世的罗平生物群(Hu et al., 2011)、San Giorgio 动物群(Rieber, 1970)、下侏罗统 Posidonia 页岩(Riegraf and Hauff, 1983)和晚侏罗世 Nusplingen 灰岩中(Klug et al., 2009)有报道。

除头足类外,双壳类也是望谟生物群数量较为丰富的软体动物,多为具放射状纹饰的斯氏克氏蛤(*Claraia stachei*)和具同心圆纹饰的带耳克氏蛤(*Claraia aurita*, 图 2I),主要营底栖生活。

望谟生物群中的节肢动物产出种类较多,主要包括十足目(图 2L)、端足目(图 2M)、等足目(图 2P)、多足类(图 2K)、袋头类(图 2N)和圆蟹(图 2O)等。二叠纪末生物大绝灭事件造成部分海洋节肢动物(如三叶虫)的消失,但是中生代甲壳类节肢动物的多样性却有所增加,占据了灭绝生物空出来的生态位(Zonneveld et al., 2002)。望谟生物群中十足目化石丰富,改写了此前认为巴黎生物群是十足目最早开始多样化演化的化石记录(Besairie, 1932; Smith et al., 2022),是当前中生代发现的最早的十足目动物群之一。袋头类是望谟生物群中另一个丰富的节肢动物类群,它们的体长多为 2~5 cm,有一个近三角形的外壳,其典型特征是外壳的前端伸出一对发达的复眼轮廓(图 2N)。袋头类在安徽巢湖地区下三叠统南陵湖组上段(Ji et al., 2017)、云南罗平中三叠统关岭组二段(Hu et al., 2011)、美国 Bear Lake 地区巴黎生物群(Charbonnier et al., 2019)、湖北秭归中三叠统巴东组以及江苏龙潭中三叠统徐宝山组中(沈炎彬, 1983)均有发现,此次是西南地区首次发现早三叠世袋头类化石,扩展了其时空分布范围。圆蟹也是望谟生物群中一个罕见的节肢动物类群,它通常被认为是独特的甲壳类,但它与甲壳类之间的亲属关系尚不明确。圆蟹的外形呈卵形,压成扁平状,有一个完整而较宽的边缘(图 2O)。圆蟹在云南罗平(Feldmann et al., 2017)、荷兰南部(Schweitzer et al., 2019)等地中三叠统地层中均有分布。

望谟生物群中还发现微康奇虫(图 2Q)化石,分类位置上可能属于帚虫动物门(杨浩, 2021)。这是一种微小而呈螺旋形的蠕虫,其直径小于 1 mm。全球资料显示,微康奇虫广泛分布于低纬度地区(即古特提斯东部的华南地区、古特提斯西部地区、新特提斯地区、西海岸和泛海的环境)和中高纬度

地区(Yang et al., 2021),在我国南方湖南慈利(He et al., 2012)、贵州罗甸(Yang et al., 2015a)、广西百色(Yang et al., 2015b)以及日本南部(Sano and Nakashima, 1997)、美国西部(Fraiser, 2011)、澳大利亚西部(Yang et al., 2021)等地的下三叠统地层中均有发现。望谟生物群的微康奇虫多附着在双壳类克氏蛤的壳表面,这些微小的外壳生物栖息在贫氧的底部水体,微小的体型和对环境压力的高耐受力促进了微康奇虫在早三叠世的繁盛发育。

望谟生物群中还发现腕足和海绵化石。其中腕足化石种类单一,目前仅发现舌形贝一种类型(图 2R)。海绵作为多孔动物的代表,目前尚未发现完整个体,仅发现了海绵的骨针化石(图 2F)。

除了实体化石,望谟生物群中还发现较多的粪便化石(图 2S—U),部分粪便化石中发现含有箭石腕钩(图 2T)和牙形石(图 2U)等残留物。粪便化石指示当时的沉积水体比较安静,实体化石未遭受远距离的搬运,在安静、缺氧的环境下被原地埋藏保存下来(Zatoń and Rakociński, 2014)。

总的来说,望谟生物群化石种类多样,十足目、袋头类、圆蟹等节肢动物弱矿化生物体都得以完好保存,属于快速沉积掩埋形成的特异埋藏化石库(Seilacher, 1970; Allison and Briggs, 1993; Bottjer et al., 2002; Muscente et al., 2017)。该生物群的发现表明海洋生态系统在经历了 2.52 亿年前生物大绝灭事件后,在较短的时期内就得以快速恢复,为我们了解三叠纪海洋生态的快速复苏打开了一个新的窗口。望谟生物群与之后中三叠世的罗平生物群、兴义动物群,晚三叠世关岭生物群构成华南三叠纪生物演化的完整序列,对深入研究二叠纪末生物大灭绝后海洋生态系统复苏、辐射具有重大意义。

前人研究表明,早三叠世有两次比较明显的碳同位素正漂移和降温事件,分别位于迪纳尔/史密斯(Dienerian/Smithian)和史密斯/斯帕斯(Smithian/Spathian)界线附近(Sun et al., 2014), Galfetti 等(2008)通过对广西罗楼组开展详细的沉积微相和古环境分析,证实这两次环境变化事件伴随了显著的菊石和牙形石多样化,表明全球碳同位素的大幅波动、气候变化、海平面变化、氧利用率与二叠纪末生物危机后的生物多样性变化之间存在因果关系。处于迪纳尔晚期—史密斯早期的望谟生物群,也为研究早三叠世生物多样性与环境协同演化机制提供了一个新的窗口。

3 望漠生物群的食物链特征

双壳和微康奇虫等为望漠生物群中的初级消费者,它们很可能以摄取悬浮有机质为主。微康奇虫利用其发育的触手冠类的纤毛将悬浮于海水中的食物捕获进嘴内(杨浩, 2021)。

研究表明,袋头类是一些软骨鱼或大型鱼类的重要食物来源(Williams, 1990; Briggs et al., 2011; Jobbins et al., 2020),这一点从鲨鱼的胃容物和鱼类中已得到了证实(Zatoń and Rakociński, 2014)。安徽巢湖早三叠世的袋头类化石旁边发现含牙形石的粪化石,并在袋头类的壳体中也发现牙形石化石,据此推测体型较大的袋头类可能会主动捕食牙形动物等小型动物(Ji et al., 2017)。

早三叠世的菊石数量众多,属种类型多样。研究发现,菊石可以捕食腹足、甲壳类等浮游生物(Kruta et al., 2011),是浅水区的高级捕食者。同时菊石也是鲨鱼等更高级消费者的猎物,法国西部一个晚侏罗世菊石标本保留了一颗鲨鱼牙齿,并观察到一些可能的牙齿咬痕,这是鲨鱼捕食菊石的首个直接证据(Vullo, 2011)。望漠生物群的鱼类具有锋利的尖锥状牙齿,说明其捕食虾、袋头类、牙形动物等其它小型动物或其它体型小于自己的鱼类,在波兰晚泥盆世空棘鱼消化道中保存有牙形石分子,提供了空棘鱼以牙形动物为食的直接证据(Zatoń et al., 2017)。

中生代鱼类等海洋脊椎动物已被证实以箭石为食(Brown, 1900; Přikryl et al., 2012),弓鲛的胃容器里曾发现约 250 个箭石遗骸(Brown, 1900)。有证据表明,这些头足类只有头部被吃掉了,而其余部分则被丢弃(Seilacher, 1983)。此外,望漠生物群中一些粪化石中观察到箭石腕钩(图 2T),表明这些活跃的捕食者被更大的脊椎动物(鱼类或爬行动物)所捕食,推测望漠生物群中可能存在海生爬行动物。

总的来说,早三叠世望漠生物群中的生物已构成相对稳定的食物链结构,已经形成一个具有较高的生物多样性和多层营养级的海洋生态系统。

4 结论

(1)望漠生物群至少包括 6 门 14 类生物,分布于黔西南州望漠地区的罗楼组一段中上部,时代为

印度期迪纳尔晚期(Late Dienerian)至奥伦尼克期史密斯早期(Early Smithian),是目前世界上已知最早、保存最完整的早三叠世特异埋藏化石库。

(2)望漠生物群处于三叠纪早期海洋生态系统重建的关键节点,展示了一个具有较高的生物多样性和多层营养级的海洋生态系统,表明海洋生态系统在经历了 2.52 亿年前生物大绝灭事件后,在较短的时期内就得以快速恢复,为我们了解三叠纪海洋生态的快速重建打开了一个新的窗口。

(3)望漠生物群处于全球迪纳尔-史密斯(Dienerian-Smithian)之交碳同位素正漂、温度降低、环境突变的关键时期,为探讨现代演化动物群起源和三叠纪生物复苏时期生物多样性与环境的协同演化提供了实证。

致谢: 本项研究工作得到了中国地质调查局成都地质调查中心王立全、李文昌、潘桂棠、李建星、朱同兴、牟传龙、张予杰、任光明、楼雄英等同志的关心、支持和帮助,云南省有色地质局三一七队孙柱兵高级工程师、李凌霄工程师、孙福周助理工程师,四川省地质调查院叶春林高级工程师、杨青松工程师,硕士研究生丁仲昭、李润根参与了野外地质调查工作,黔西南州自然资源局罗锦峰、温安贵、李兴洲,望谟县自然资源局周扬、张德霖、李毕胜、黄扬等领导对望漠古生物化石产地的保护工作给予了大力支持,审稿人为本文提出了中肯的意见和建议,在此一并表示感谢。

References

- Allison P A and Briggs D E G, 1993. Exceptional fossil record : Distribution of soft-tissue preservation through the Phanerozoic[J]. *Geology*, 21: 527 – 530.
- Besairie H, 1932. Sur le Permo-Trias marin du nord de Madagascar et l'âge du Karroo[J]. *Comptes Rendus Sommaires des Séances de la Société Géologique de France*, 10: 30 – 34.
- Benton M J and Twitchett R J, 2003. How to kill (almost) all life: the end-Permian extinction event[J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 18: 358 – 365.
- Bottjer D J, Etter W, Hagadorn J W, et al., 2002. Exceptional fossil preservation: A unique view on the evolution of marine life[M]. New York: Columbia University Press.
- Brayard A, Escarguel G, Bucher H, et al., 2009. Good genes and good luck: Ammonoid diversity and the end-Permian mass extinction[J]. *Science*, 325: 1118 – 1121.

- Brayard A, Krumenacker L J, Botting J P, et al., 2017. Unexpected Early Triassic marine ecosystem and the rise of the Modern evolutionary fauna[J]. *Science advances*, 3: e1602159.
- Briggs D E G, Rolfe W D I, Butler P D, et al., 2011. Phyllocarid crustaceans from the Upper Devonian Gogo Formation, Western Australia[J]. *Journal of Systematic Palaeontology*, 9 (3) : 399 – 424.
- Brown C., 1900. Über das Genus *Hybodus* und seine systematische stellung[J]. *Palaeontographica-Beiträge zur Naturgeschichte der Vorzeit*, 46: 149 – 174.
- Charbonnier S, Brayard A, the Paris Biota Team, 2019. New thylacocephalans from the Early Triassic Paris Biota (Bear Lake County, Idaho, USA) [J]. *Geobis*, 54: 37 – 43.
- Chen L Z., 1985. Ichthyosaurs from Early Triassic of Chaoxian County, Anhui Province, China[J]. *Regional Geology of China*, 15: 139 – 146 (in Chinese with English abstract).
- Chen Z Q and Benton M J., 2012. The timing and pattern of biotic recovery following the end-Permian mass extinction[J]. *Nature Geoscience*, 5 (6) : 375 – 383.
- Cheng L, Yan C B, Chen X H, et al., 2015. Characteristics and significance of Nanzhang/Yuanan Fauna, Hubei Province[J]. *Geology in China*, 42 (2) : 676 – 684 (in Chinese with English abstract).
- Erwin D H., 2006. Extinction: how life on earth nearly ended 250 million years ago[M]. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Feldmann R M, Scweiter C E, Hu S X, et al., 2017. A new Middle Triassic (Anisian) cyclidan crustacean from the Luoping Biota, Yunnan Province, China: morphologic and phylogenetic insights[J]. *Journal of Crustacean Biology*, 37 (4) : 406 – 412.
- Fraiser M L., 2011. Paleocology of second tiers from western Pangean tropical marine environments during the aftermath of the end-Permian mass extinction[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 308: 181 – 189.
- Galfetti T, Bucher H, Martini R, et al., 2008. Evolution of Early Triassic outer platform paleoenvironments in the Nanpanjiang Basin (South China) and their significance for the biotic recovery[J]. *Sedimentary Geology*, 204: 36 – 60.
- He L, Wang Y B, Woods A, et al., 2012. Calcareous tubeworms as disaster forms after the end-Permian mass extinction in South China[J]. *Palaos*, 27: 878 – 886.
- He Y Z, He X, Xiang K P, et al., 2020. First discovery of marine reptile fossils from the Early Triassic strata in Guoxing area, Longlin County, northwest Guangxi[J]. *Geology in China*, 47 (4) : 1260 – 1261 (in Chinese with English abstract).
- Hu S X, Zhang Q Y, Chen Z Q, et al., 2011. The Luoping biota: Exceptional preservation, and new evidence on the Triassic recovery from end-Permian mass extinction[J]. *Proceedings of the Royal Society B*, 278: 2274 – 2282.
- Hu S X, Zhang Q Y, Wen W, et al., 2015. The Luoping Biota: A taphonomic window on Triassic biotic recovery and radiation[M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press.(in Chinese and English).
- Ji C, Tintori A, Jiang D Y, et al., 2017. New species of Thylacocephala (Arthropoda) from the Spatian (Lower Triassic) of Chaohu, Anhui Province of China[J]. *Palä ontologische Zeitschrift*, 91: 171 – 184.
- Jiang D Y, Motani R, Huang J D, et al., 2016. A large aberrant stem ichthyosauriform indicating early rise and demise of ichthyosauromorphs in the wake of the end-Permian extinction[J]. *Scientific Reports*, 6: 26232.
- Jiang D Y, Motani R, Tintori A, et al., 2014. The Early Triassic eosauroptrygian *Majiashanosaurus discocoracoidis*, gen. et sp. nov. (Reptilia, Sauroptrygia), from Chaohu, Anhui Province, People's Republic of China[J]. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 34 (5) : 1044 – 1052.
- Jobbins M, Haug C, Klug C., 2020. First African thylacocephalans from the famennian of Morocco and their role in Late Devonian food webs[J]. *Scientific Resports*, 10: 5129.
- Klug C, Schweigert G, Fuchs D, et al., 2009. First record of a belemnite preserved with beaks, arms and ink sac from the Nusplingen Lithographic Limestone (Kimmeridgian, SW Germany) [J]. *Lethaia*, 43: 445 – 456.
- Knoll A H, Bambach R K, Payne J L, et al., 2007. Paleophysiology and end-Permian mass extinction[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 256: 295 – 313.
- Kruta I, Landman N, Rouget I, et al., 2011. The Role of Ammonites in the Mesozoic Marine Food Web Revealed by Jaw Preservation[J]. *Science*, 331 (6013) : 70 – 72.
- Li S G, Zhao J K, Zhang W Y., 1941. Stratigraphic chart of Guangxi[M]. Nanjing: Institute of geology, Academia Sinica(in Chinese).
- Liang L., 2017. Early Triassic conodont biostratigraphy in Nanpanjiang region and spatio-temporal evolution in South China[D]. Wuhan: China University of Geoscience (Wuhan) (in Chinese with English abstract).
- Motani R, Jiang D Y, Chen G B, et al., 2015. A basal ichthyosauriform with a short snout from the Lower Triassic of China[J]. *Nature*, 517 (7535) : 485 – 488.
- Muscente A D, Schiffbauer J D, Broce J, et al., 2017. Exceptionally preserved fossil assemblages through geologic time and space[J]. *Gondwana Research*, 48: 164 – 188.
- Orchard M J., 2007. Conodont diversity and evolution through the latest Permian and Early Triassic upheavals[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 252: 93 – 117.
- Přikryl T, Košťák M, Mazuch M, et al., 2012. Evidence for fish predation on a coleoid cephalopod from the Lower Jurassic Posidonia Shale of Germany[J]. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie - Abhandlungen*, 263 (1) : 25 – 33.
- Ren J C, Jiang H S, Xiang K P, et al., 2022. A new basal ichthyosauromorph from the Lower Triassic (Olenekian) of Zhebao, Guangxi Autonomous Region, South China[J]. *PeerJ*, 10: e13209.
- Rieber H., 1970. *Phragmoteuthis? ticensis* n. sp., ein Coleoidea-Rest aus der Grenzbitumenzone (Mittlere Trias) des Monte San Giorgio (Kt. Tessin, Schweiz) [J]. *Paläontologische Zeitschrift*, 44 (1-2) : 32 – 40.
- Riegraf W and Hauff R., 1983. Belemniten mit Weichkör-per, Fangarmen und Gladius aus dem Untertoarcium (Posidonienschiefer) und

- Unteraalenium (Opalinuston) Südwestdeutschlands[J]. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie - Abhandlungen, 165: 466 - 483.
- Sano H and Nakashima K, 1997. Lowermost Triassic (Griesbachian) microbial bindstone cementstone facies, southwest Japan[J]. *Facies*, 36: 1 - 24.
- Schweitzer C E, Feldmann R M, Schinker M M, 2019. A new species of Cyclida (Multicrustacea; Halicynidae) from the Triassic of The Netherlands[J]. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie - Abhandlungen, 293 (1): 67 - 71.
- Shen Y B, 1983. A new genus *Yangzicaris* (Phyllocarids) in the Middle Triassic of China[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 22 (3): 346 - 354 (in Chinese with English abstract).
- Seilacher A, 1970. Begriff und bedeutung der Fossil-Lagerstätten[J]. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen, 34 - 39.
- Seilacher A, 1983. Papers on cephalopod paleobiology and phylogeny. Editorial introduction[J]. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen, 165: 327 - 329.
- Smith C P A, Charbonnier S, Jenks J F, et al., 2022. The Paris Biota decapod (Arthropoda) fauna and the diversity of Triassic decapods [J]. *Journal of Paleontology*, DOI: 10.1017/jpa.2022.34.
- Smith C P A, Laville T, Fara E, et al., 2021. Exceptional fossil assemblages confirm the existence of complex Early Triassic ecosystems during the early Spathian[J]. *Scientific reports*, 11: 19657.
- Sun Y D, Joachimski M M, Wignall P B, et al., 2014. Lethally Hot Temperatures During the Early Triassic Greenhouse[J]. *Science*, 338: 366 - 370.
- Tong J N, Zhou X G, Erwin D H, et al., 2006. Fossil Fishes from the Lower Triassic of Majiashan, Chaohu, Anhui Province, China[J]. *Journal of Paleontology*, 80 (1): 146 - 161.
- Tong J N, Zakharov Y D, Wu S B, 2004. Early Triassic ammonoid succession in Chaohu, Anhui Province[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 43 (2): 192 - 204 (in Chinese with English abstract).
- Vollo R, 2011. Direct evidence of hybodont shark predation on Late Jurassic ammonites[J]. *Naturwissenschaften*, 98: 545 - 549.
- Williams M E, 1990. Feeding behavior in Cleveland Shale fishes[M]//Boucot A J, Evolutionary Paleobiology of Behavior and Coevolution. Amsterdam: Elsevier, 273 - 287.
- Yang H, Chen Z Q, Mei X, et al., 2021. Early Triassic microconchids from the Perth Basin, Western Australia: Palaeoecology and flourishing in the aftermath of the end-Permian mass extinction[J]. *Geological Journal*, 56 (12): 1 - 13.
- Yang H, Chen Z Q, Ou W Q, 2015b. Microconchids from microbialites near the Permian-Triassic boundary in the Zuodeng section, Baise area, Guangxi Province, South China and their palaeoenvironmental implications[J]. *Journal of Earth Sciences*, 26: 157 - 1965.
- Yang H, Chen Z Q, Wang Y B, et al., 2015a. Palaeoecology of microconchids from microbialites near the Permian-Triassic boundary in South China[J]. *Lethaia*, 48: 497 - 508.
- Yang H, 2021. Microconchids, a less-known problematic microfossil group[J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 38 (4): 321 - 333 (in Chinese with English abstract).
- Yang Z Y, Wu S B, Yin H F, et al., 1993. Permo-Triassic events of South China[M]. Beijing: Geological Publishing House.
- Yang Z J and Dong Z M, 1972. Aquatic reptiles from the Triassic of China[M]. Beijing: Science Press (in Chinese).
- Yao J X, Ji Z S, Wang L T, et al., 2004. Research on conodont biostratigraphy near the bottom boundary of the Middle Triassic Qingyan Stage in the southern Guizhou Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 78 (5): 577 - 587 (in Chinese with English abstract).
- Yin H F, Xie S C, Luo G M, et al., 2012. Two episodes of environmental change at the Permian-Triassic boundary of the GSSP section Meishan[J]. *Earth-Science Reviews*, 115 (3): 163 - 172.
- Yin H F, Xu G R, Ding M H, 1984. The replacement of marine biosphere at the Paleozoic-Mesozoic transition in South China[C]//The editorial office of Books and Periodicals of the Ministry of Geology (ed), Proceedings of International Geological Academic Exchange I, Beijing: Geological Publishing House, 195 - 204 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Z W, Xu G H, Dai X, et al., 2022. A new perleidid neopterygian fish from the Early Triassic (Dienerian, Induan) of South China, with a reassessment of the relationships of Perleidiformes[J]. *PeerJ*, 10: e13448.
- Zatoń M and Rakociński M, 2014. Coprolite evidence for carnivorous predation in a Late Devonian pelagic environment of southern Laurussia[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 394: 1 - 11.
- Zatoń M, Broda K, Qvarnström M, et al., 2017. The first direct evidence of a Late Devonian coelacanth fish feeding on conodont animals[J]. *Naturwissenschaften*, 104 (3-4): 26.
- Zhang K X, 1991. Catastrophic Events of Permo-Triassic Transitional Stage[J]. *Geological Science and technology Information*, 10 (2): 37 - 41 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Y Y, Jiang D Y, Fu W L, et al., 2014. Microfacies characteristics of the Lower Triassic containing Chaohusaurus fauna in Chaohu Area, Anhui Province and its palaeoenvironment[J]. *Journal of Palaeogeography*, 16 (5): 761 - 768 (in Chinese with English abstract).
- Zhao P, Appel E, Xu B, 2020. An inclination-shallowing-corrected Early Triassic paleomagnetic pole for the North China Craton: Implication for the Mesozoic Geography of Proto-Asia[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 125 (10): e2020JB019489.
- Zhao L S, Tong J N, Orchard M J, et al., 2005. Lower Triassic conodont zonations of Chaohu Area, Anhui Province and their global correlation[J]. *Earth Science-Journal of China University of Geoscience*, 30 (5): 623 - 634 (in Chinese with English abstract).
- Zhao L S, Tong J N, Sun Z M, et al., 2007. High-resolution conodont biostratigraphy in the Induan-Olenekian boundary strata at West Pingdingshan section, Chaohu, Anhui Province[J]. *Earth Science-Journal of China University of Geoscience*, 32 (3): 291 - 302 (in Chinese with English abstract).

- Zhao G C, Cawood P A, Wilde S A, et al., 2002. Review of global 2.1–1.8 Ga orogens: implications for a pre-Rodinia supercontinent[J]. *Earth Science Reviews*, 59: 125–162.
- Zhao G C, Sun M, Wilde S A, et al., 2004. A Paleo-Mesoproterozoic supercontinent: assembly, growth and breakup[J]. *Earth Science Reviews*, 67: 91–123.
- Zheng R, Li J, Xiao W J, et al., 2022. A combination of plume and subduction tectonics contributing to breakup of northern Rodinia: Constraints from the Neoproterozoic magmatism in the Dunhuang-Alxa Block, northwest China[J]. *GSA Bulletin*, 135: 1109–1126.
- Zhou M F, Zhao X F, Chen W T, et al., 2014. Proterozoic Fe-Cu metallogeny and supercontinental cycles of the southwestern Yangtze Block, southern China and northern Vietnam[J]. *Earth-Science Reviews*, 139: 59–82.
- Zou Y, Mitchell R N, Chu X, et al., 2023. Surface evolution during the mid-Proterozoic stalled by mantle warming under Columbia–Rodinia[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 607: 118055.

附中文参考文献

- 崔晓庄, 任光明, 孙志明, 等, 2020. 扬子陆块西南缘早前寒武纪撮科杂岩记录的多期岩浆-变质事件[J]. *地球科学*, 45 (8): 1–16.
- 耿元生, 旷红伟, 杜利林, 等, 2019. 从哥伦比亚超大陆裂解事件论古/中元古代的界限[J]. *岩石学报*, 35 (8): 2299–2324.
- 江新胜, 崔晓庄, 卓皆文, 等, 2020. 华南扬子陆块西缘新元古代康滇裂谷盆地开启时间新证据[J]. *沉积与特提斯地质*, 40 (3): 31–37.
- 李献华, 2021. 超大陆裂解的主要驱动力—地幔柱或深俯冲? [J]. *地质学报* 95 (1), 20–31.
- 王生伟, 蒋小芳, 杨波, 等, 2016. 康滇地区元古宙构造运动 I: 昆阳陆内裂谷、地幔柱及其成矿作用[J]. *地质论评*, 62 (6): 1353–1377.
- 王伟, 卢桂梅, 黄思访, 等, 2019. 扬子陆块古-中元古代地质演化与 Columbia 超大陆重建[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 38 (1): 30–52.

(上接第 8 页)

- Zheng L D, Yao J X, Tong Y B, et al., 2010. Zircon U-Pb dating for the boundary of Olenekian-Anisian at Wangmo, Guizhou Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 84 (8): 1112–1118 (in Chinese with English abstract).
- Zhou C Y, Zhang Q Y, Huang J Y, et al., 2017. The first discovery of marine reptiles fossils from the Early Triassic strata of Nanpanjiang Basin[J]. *Geological Bulletin of China*, 36 (1): 168–171 (in Chinese with English abstract).
- Zonneveld J P, Pemberton S G, Saunders T D A, et al., 2002. Large, Robust Cruziana from the Middle Triassic of Northeastern British Columbia: Ethologic, Biostratigraphic, and Paleobiologic Significance[J]. *Palaio*, 17 (5): 435–448.

附中文参考文献

- 陈烈祖, 1985. 安徽巢县早三叠世鱼龙化石[J]. *中国区域地质*, 15: 139–146.
- 程龙, 阎春波, 陈孝红, 等, 2015. 湖北省南漳/远安动物群特征及其意义初探[J]. *中国地质*, 42 (2): 676–684.
- 贺永忠, 贺箫, 向坤鹏, 等, 2020. 桂西北隆林过兴地区首次发现早三叠世海生爬行动物化石[J]. *中国地质*, 47 (4): 1260–1261.
- 胡世学, 张启跃, 文雯, 等, 2015. 罗平生物群-三叠纪海洋生态系统复苏的生物辐射的见证[M]. 昆明: 云南科技出版社.
- 李四光, 赵金科, 张文佑, 1941. 广西地层表[M]. 南京: 中央研究院地质研究所.
- 梁蕾, 2017. 南盘江地区早三叠世牙形石生物地层及华南早三叠世牙形石时空演变[D]. 武汉: 中国地质大学(武汉).

- 沈炎彬, 1983. 论我国新发现的中三叠世叶虾类-扬子叶虾 (*Yangzicaris* gen. nov.) [J]. *古生物学报*, 22 (3): 346–354.
- 童金南, Zakharov Y D, 吴顺宝, 2004. 安徽巢湖地区早三叠世菊石序列[J]. *古生物学报*, 43 (2): 192–204.
- 杨浩, 2021. 微康奇虫 (Microconchids) ——一种认识较少的疑难微体化石[J]. *微体古生物学报*, 38 (4): 321–333.
- 杨钟健, 董枝明, 1972. 中国三叠纪水生爬行动物[M]. 北京: 科学出版社.
- 姚建新, 纪占胜, 王立亭, 等, 2004. 贵州南部地区中三叠统青岩阶底界附近牙形石生物地层学研究[J]. *地质学报*, 78 (5): 577–587.
- 殷福鸿, 徐桂荣, 丁梅华, 1984. 华南古、中生代之交海洋生物界的更替[C]//地质部书刊编辑室, 国际交流地质学术论文集 I, 北京: 地质出版社, 195–204.
- 张克信, 1991. 二叠—三叠纪过渡期灾变事件研究新进展[J]. *地质科技情报*, 10 (2): 37–41.
- 张钰莹, 江大勇, 付宛璐, 等, 2014. 安徽巢湖下三叠统巢湖龙动物群地层微相特征及古环境[J]. *古地理学报*, 16 (5): 761–768.
- 赵来时, 童金南, Orchard M J, 等, 2005. 安徽巢湖地区下三叠统牙形石生物地层分带及其全球对比[J]. *地球科学-中国地质大学学报*, 30 (5): 623–634.
- 赵来时, 童金南, 孙知明, 等, 2007. 安徽巢湖平顶山西坡剖面印度阶与奥伦尼克阶界线层高分辨率牙形石生物地层[J]. *地球科学-中国地质大学学报*, 32 (3): 291–302.
- 郑连弟, 姚建新, 仝亚博, 等, 2010. 贵州南部地区安尼阶底界锆石 SHRIMP 年龄结果[J]. *地质学报*, 84 (8): 1112–1118.
- 周长勇, 张启跃, 黄金元, 等, 2017. 南盘江盆地首次发现早三叠世海生爬行动物化石[J]. *地质通报*, 36 (1): 168–171.