

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2025.038>



早三叠世南漳-远安动物群地层格架及时间约束

安志辉^{1,2}, 方子晨^{1,2}, 阎春波^{1,2}, 李姜丽³, 刘琦灵^{1,2}, 邹亚锐³, 陈刚³, 程龙^{1,2*}

1. 中国地质调查局武汉地质调查中心, 湖北武汉 430205
2. 古生物与地质环境演化湖北省重点实验室, 湖北武汉 430205
3. 湖北省地质科学研究所, 湖北武汉 430074

摘要: 海生爬行动物在早三叠世生物复苏过程中遍布在古特提斯洋和西泛大洋, 南漳-远安动物群是早三叠世最早的海生爬行动物群落之一。然而, 该动物群的具体生存时代以及所赋存的嘉陵江组地层的沉积时代都还不够明确。在湖北南漳-远安一带针对南漳-远安动物群赋存地层开展岩石地层和同位素年代学研究。南漳-远安动物群产于嘉陵江组二段上部的纹层状灰岩中, 并获得 SHRIMP II U-Pb 年龄 247.8 ± 1.2 Ma。建立了南漳-远安地区嘉陵江组上部地层对比格架, 证明南漳-远安动物群生存在早三叠世 Spathian 晚期。

关键词: 早三叠世; 南漳-远安动物群; 海生爬行动物; SHRIMP II; 地层对比; 地球生物学。

中图分类号: P539

文章编号: 1000-2383(2025)07-2584-09

收稿日期: 2025-01-10

Stratigraphic Framework and Timing Constraints of Early Triassic Nanzhang-Yuan' an Fauna

An Zhihui^{1,2}, Fang Zichen^{1,2}, Yan Chunbo^{1,2}, Li Jiangli³, Liu Qiling^{1,2}, Zou Yarui³,
Chen Gang³, Cheng Long^{1,2*}

1. Wuhan Center of China Geological Survey, Wuhan 430205, China
2. Hubei Key Laboratory of Paleontology and Geological Environment Evolution, Wuhan 430205, China
3. Hubei Institute of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: The main marine reptiles spread over the eastern Paleotethys and western Panthalassa Ocean during the biotic recovery in the Early Triassic. The Nanzhang-Yuan' an fauna is one of the earliest marine reptiles in the Early Triassic. However, the specific survival time of this fauna and the fossil-bearing Jialingjiang Formation is still not well defined. Here, it conducted litho-stratigraphy and isotopic dating on the Nanzhang-Yuan' an fauna in the Nanzhang-Yuan' an area of Hubei Province. The fauna is documented in the laminated limestone of the upper Jialingjiang Formation, with a SHRIMP II U-Pb age of 247.8 ± 1.2 Ma. The stratigraphic framework for the upper part of the Jialingjiang Formation was established, proving that the Nanzhang-Yuan' an fauna lived in the late Spathian stage of the Early Triassic.

Key words: Early Triassic; Nanzhang-Yuan' an fauna; marine reptile; SHRIMP II; stratigraphic correlation; geobiology.

基金项目: 中国地质调查局项目 (Nos. DD20230006, DD20230218); 国家自然科学基金项目 (No. 41972014); 湖北省自然科学基金项目 (No. 2024AFB980); 自然资源部地层与古生物重点实验室项目 (No. SP202402)。

作者简介: 安志辉 (1986-), 男, 高级工程师, 博士, 主要从事古生物学和地层学研究。ORCID: 0000-0002-0502-9676. E-mail: anzhihui163@163.com

* **通讯作者:** 程龙, ORCID: 0000-0003-2516-6325. E-mail: chengl@mail.cgs.gov.cn

引用格式: 安志辉, 方子晨, 阎春波, 李姜丽, 刘琦灵, 邹亚锐, 陈刚, 程龙, 2025. 早三叠世南漳-远安动物群地层格架及时间约束. 地球科学, 50(7): 2584-2592.

Citation: An Zhihui, Fang Zichen, Yan Chunbo, Li Jiangli, Liu Qiling, Zou Yarui, Chen Gang, Cheng Long, 2025. Stratigraphic Framework and Timing Constraints of Early Triassic Nanzhang-Yuan' an Fauna. *Earth Science*, 50(7): 2584-2592.

0 引言

在早三叠世异常高温、极端缺氧等气候环境背景下,海生爬行动物开始出现,随后演化成为中生代海洋中的顶级捕食者,对现代型海洋生态系统的构建起到了重要作用(Motani, 2009; Chen and Benton, 2012; Benton and Wu, 2022).南漳-远安动物群是早三叠世最早的海生爬行动物群之一(Benton *et al.*, 2013; 程龙等, 2015; 陈粲等, 2016; Cheng *et al.*, 2019, 2022; 方子晨等, 2020; 杨晨等, 2022; Fang *et al.*, 2023; Liu *et al.*, 2023),为研究二叠纪末生物大灭绝后生物复苏进程提供了重要的生物学依据.

然而,南漳-远安动物群生存的精确时代还不清楚.长期以来,该化石群的产出层位备受争议.李锦玲等(2002)认为孙氏南漳龙产自于大冶组顶部,而南漳湖北鳄和始鳍龙等产自于嘉陵江组.程龙等(2015)指出湖北南漳-远安地区所有的海生爬行动物均产自嘉陵江组中,并命名了“南漳-远安动物群”,为了与中扬子地区嘉陵江组对比,按照4个岩性段的划分方案,海生爬行动物化石产自第三段.阎春波等(2021)在1:5万区域地质调查中,认为南漳-远安地区的嘉陵江组应分为3个岩性段,海生爬行动物化石赋存在第二段上部的纹层状灰岩中.

目前,扬子北缘嘉陵江组地层的时代也没完全确定.湖北大峡口剖面中大冶组中上部存在牙形石 *Novispathodus pingdingshanensis* 带分子(Zhao *et*

al., 2013),该化石是划分 Smithian 亚期与 Spathian 亚期的标准分子(Zhao *et al.*, 2007, 2008; Liang *et al.*, 2011),说明大冶组最晚可以延伸到早三叠世 Olenekian 期 Spathian 亚期,而上覆的嘉陵江组至少属于 Spathian 期或者更晚.湖北利川嘉陵江组中上部出现牙形石 *Triassospathodus homeri* 分子(王志浩和曹延岳, 1981),说明嘉陵江组上部的时代为 Spathian 亚期.本研究团队曾在南漳-远安地区开展了数次牙形石生物地层学工作,均未获得理想的带分子化石(Wu *et al.*, 2023).程龙等(2015)通过对火山灰锆石的 LA-ICP-MS 定年获得嘉陵江组内部的年龄为(247.6±1.2) Ma,但并未报道详细数据,本次对该年龄的层位和数据进行详细说明.

本文对南漳-远安地区嘉陵江组含海生爬行动物化石地层开展大量野外地质调查研究,通过岩石地层和同位素年代学的研究,建立嘉陵江组上部区域地层对比格架,证明南漳-远安动物群的生存时代为早三叠世 Olenekian 期 Spathian 亚期晚期.

1 地质背景

在早三叠世 Olenekian 期,扬子台地西至康滇古陆、东至华夏古陆、北至扬子盆地、南至贵州-广西-湖南盆地(Feng *et al.*, 2015; 图 1a).南漳-远安动物群产自扬子台地北缘南漳-远安一带的泻湖中(Cheng *et al.*, 2019; 阎春波等, 2021; 图 1a).鄂西地区嘉陵江组一般划分为4个岩性段(赵金科等,

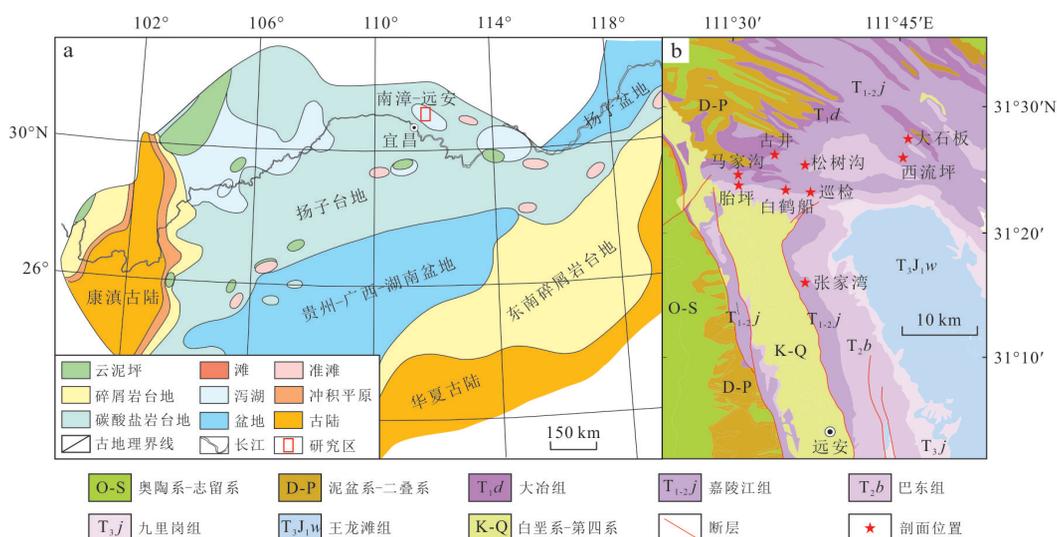


图 1 南漳-远安动物群古地理位置、地质简图和和剖面位置

Fig.1 The paleogeography, simplified geological map and study locations of the Nanzhang-Yuan'an fauna

a. 华南早三叠世奥伦尼克期古地理图, 改自 Feng *et al.* (2015); b. 南漳-远安地区地质简图和研究剖面位置

1962; Zhao *et al.*, 2008; 程龙等, 2015; 陈粲等, 2016), 第一段为厚层-块状白云岩, 第二段为蠕虫状灰岩夹白云岩, 第三段以薄-中层状白云岩为主, 第四段为白云岩和岩溶角砾岩. 南漳-远安地区的嘉陵江组地层具有局部区域性特征, 阎春波等(2021)将该地区的嘉陵江组地层重新厘定为3个岩性段. 第一段为浅灰色厚层-中厚层状白云岩和岩溶角砾岩; 第二段分为3个部分, 下部为中厚层状蠕虫状灰岩, 中部为中薄层状白云岩、灰质白云岩和厚层-块状岩溶角砾岩, 上部为深灰色纹层状泥晶灰岩偶夹极薄层钙质泥岩; 第三段以钙质泥岩的出现为开始, 底部可见火山灰, 总体以厚层-块状岩溶角砾岩为特征. 本文在阎春波等(2021)划分方案的基础上, 重点对比嘉陵江组二段和三段, 详见下文.

2 代表性剖面

在鄂西地区针对南漳-远安动物群的赋存地层开展了9条剖面的野外地质调查研究工作(图1b), 包括含大量海生爬行动物化石和骨骼碎片、含较多海生爬行动物化石和骨骼碎片、含骨骼碎

片以及不含化石的剖面, 其中代表性剖面有7条.

2.1 远安县张家湾剖面

剖面位于远安县张家湾地区, 露头新鲜, 位于公路边. 剖面主要为嘉陵江组地层, 包括5个部分(图2a): 其中单元A以灰色蠕虫状灰岩为特征, 并夹灰色灰岩; 单元B主要为白云岩, 其底部可见灰质白云岩, 顶部为岩溶角砾岩; 单元C为深灰色纹层状灰岩, 为南漳-远安动物群的赋存层位; 单元D底部为一层厚0.35 m的黄色火山灰, 下部以钙质泥岩为主并夹少量泥质灰岩, 上部则以泥质灰岩为主; 单元E以白云岩为主, 底部可见灰白色白云岩, 向上则为块状岩溶角砾岩.

2.2 南漳县白鹤船剖面

剖面位于南漳县白鹤船村, 与张家湾剖面相似, 剖面中出露的嘉陵江组地层自下而上也分为5个部分(图2b): 其中单元A为灰色灰岩; 单元B以浅灰色-灰白色白云岩为主, 中部可见角砾岩和灰岩层; 单元C为深灰色纹层状灰岩, 产海生爬行动物化石和骨骼碎片; 单元D底部为0.2 m厚黄褐色火山灰, 下部为钙质泥岩, 上部为泥质灰岩; 单元E为底部为白云岩、向上为块状岩溶角砾岩.

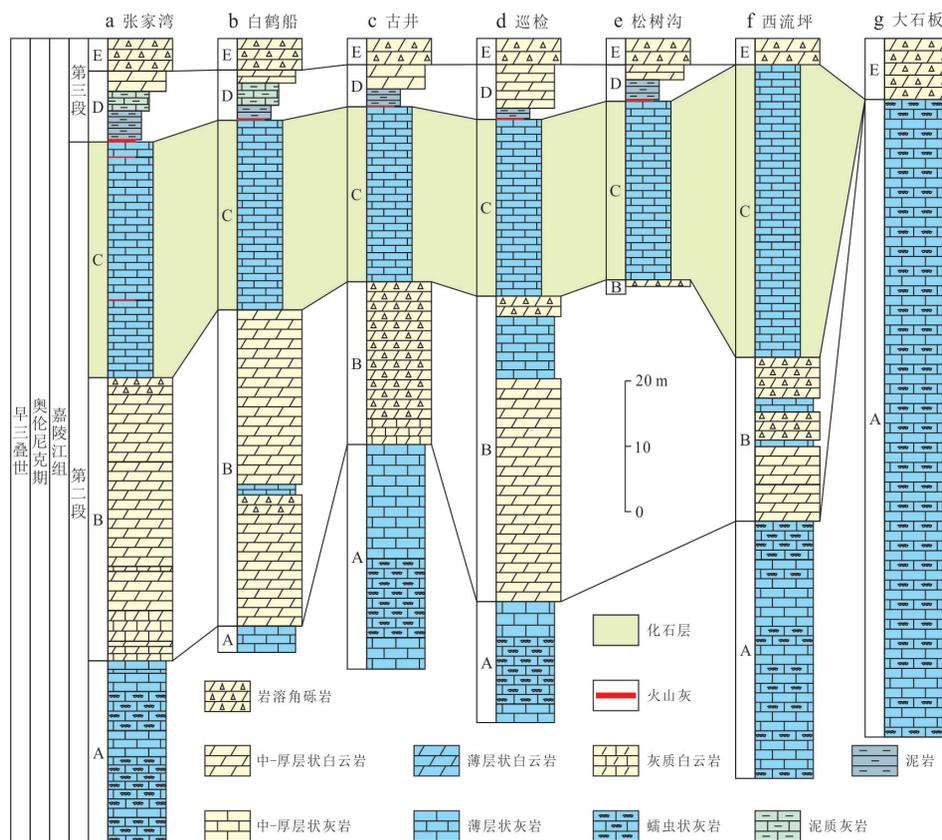


图2 鄂西南漳-远安地区嘉陵江组二段上部至三段下部地层对比图

Fig.2 Lithostratigraphic correlation of representative sections in Nanzhang-Yuan'an area

2.3 南漳县古井剖面

剖面位于南漳县古井村,剖面沿山坡小路出露,嘉陵江组上部地层也划分为5个部分(图2c):单元A以灰色灰岩为主,可见蠕虫状灰岩;单元B以灰质白云岩的出现为开始,总体以岩溶角砾岩为主;单元C以深灰色纹层状灰岩为特征,顶部产海生爬行动物化石和骨骼碎片;单元D底部为0.12 m厚黄白色火山灰,下部为灰色钙质泥岩,上部为浅灰色薄层状白云岩;单元E底部为灰白色白云岩,向上为块状岩溶角砾岩。

2.4 南漳县巡检剖面

剖面位于巡检镇北的鑫鑫采石场,海生爬行动物化石赋存地层上下同样包括5个部分(图2d):单元A以灰色蠕虫状灰岩为特征;单元B为浅灰色-灰白色白云岩,上部可见灰色灰岩,顶部为岩溶角砾岩;单元C为深灰色纹层状灰岩,产海生爬行动物化石及骨骼碎片;单元D底部为0.35 m厚黄褐色火山灰,向上为钙质泥岩和浅灰色薄层状白云岩;单元E底部为灰白色薄层状白云岩,向上为岩溶角砾岩。

2.5 南漳县松树沟剖面

剖面位于南漳县松树沟村,剖面中出露的嘉陵江组地层包括4个部分(图2e):单元B为岩溶角砾岩,未见底;单元C为深灰色纹层状灰岩,产海生爬行动物化石和骨骼碎片;单元D底部可见0.26 m厚黄褐色火山灰,之上为灰色钙质泥岩和浅灰色薄-中层状白云岩;单元E底部为灰白色中薄层状白云岩,之上为岩溶角砾岩。

2.6 南漳县西流坪剖面

剖面位于南漳县西流坪村,沿公路出露的嘉陵江组地层包括4个部分(图2f):单元A以灰色蠕虫状灰岩为特征;单元B以白云岩的出现为开始,上部以岩溶角砾岩为特征,夹少量灰岩;单元C以深灰色纹层状灰岩为主,可见海生爬行动物化石骨骼碎片,中部发育滑塌层;单元E为岩溶角砾岩。未见与单元D相关的地层出露,岩溶角砾岩与纹层状灰岩直接接触。

2.7 南漳县大石板剖面

大石板剖面位于南漳县大石板的采石场,剖面中嘉陵江组地层包括两个部分(图2g):单元A以蠕虫状灰岩为特征,单元E为岩溶角砾岩,未见单元B、C和D。

3 岩石地层对比

南漳-远安地区嘉陵江组第二段至第三段地层序列自下而上包括5种岩性,在不同地区总体岩性特征相似。

单元A以蠕虫状灰岩和灰岩为特征,岩石中“蠕虫”颜色明显深于围岩,形成各种不规则状的“蠕虫”。蠕虫状灰岩在早三叠世地层中普遍发育,鄂西地区大冶组和嘉陵江组地层中比较常见,南漳-远安一带嘉陵江组第二段以蠕虫状灰岩为特征,代表潮下带上部的沉积。

单元B以浅水白云岩为特征,底部以浅灰色-灰白色灰质白云岩或白云岩的出现为特征,明显区别于下伏单元A中的灰色灰岩,中部夹灰色灰岩,上部以岩溶角砾岩为特征,代表了潮上带的沉积。

单元C总体为深灰色纹层状灰岩(图3a),是区域内南漳-远安动物群的产出层位,相比于上下地层,其以色深、层薄为特征,在张家湾剖面中可见丘状交错层理,代表了潮下带下部的沉积;而在西流坪剖面中可见包卷层理(图3b),指示当时西流坪处于有一定坡度的环境中。

单元D自下而上发育火山灰(图3c)、钙质泥岩夹泥质灰岩、泥质灰岩和薄层状白云岩4个部分,但不同剖面发育程度不同。其中底部火山灰发育最广,在张家湾、白鹤船、古井、巡检采石场、松树沟等剖面发育,厚度在10~35 cm之间。钙质泥岩和泥质灰岩在发育火山灰的剖面保存,代表了潮间带的沉积,其中张家湾和白鹤船剖面自下而上可见钙质泥岩夹泥质灰岩、泥质页岩,古井、巡检和松树沟剖面主要发育钙质泥岩,而西流坪和大石板剖面不发育相关岩性(图3d、3e)。单元D的顶部都发育薄层状白云岩,代表了潮间带到潮上带的过渡。单元D整体表现出海平面逐渐下降的趋势,从潮间带到潮上带。

单元E为岩溶角砾岩(图3f),整体显示块状,颜色杂乱,可见红褐色、灰白色、灰色等,角砾呈棱角状,大小多在5~10 cm之间。代表了潮上带沉积。

单元A在所有剖面中都有发育;单元B和单元C在除大石板以外都有发育;单元D在张家湾和白鹤船地区发育最全,自下而上发育火山灰-钙质泥岩-泥质灰岩-薄层状白云岩的序列,古井、巡检采石场和松树沟剖面自下而上只发育钙质泥岩-薄层状白云岩的序列,而西流坪和大石板剖面不发育单元D;单元E在南漳-远安地区广泛发育。

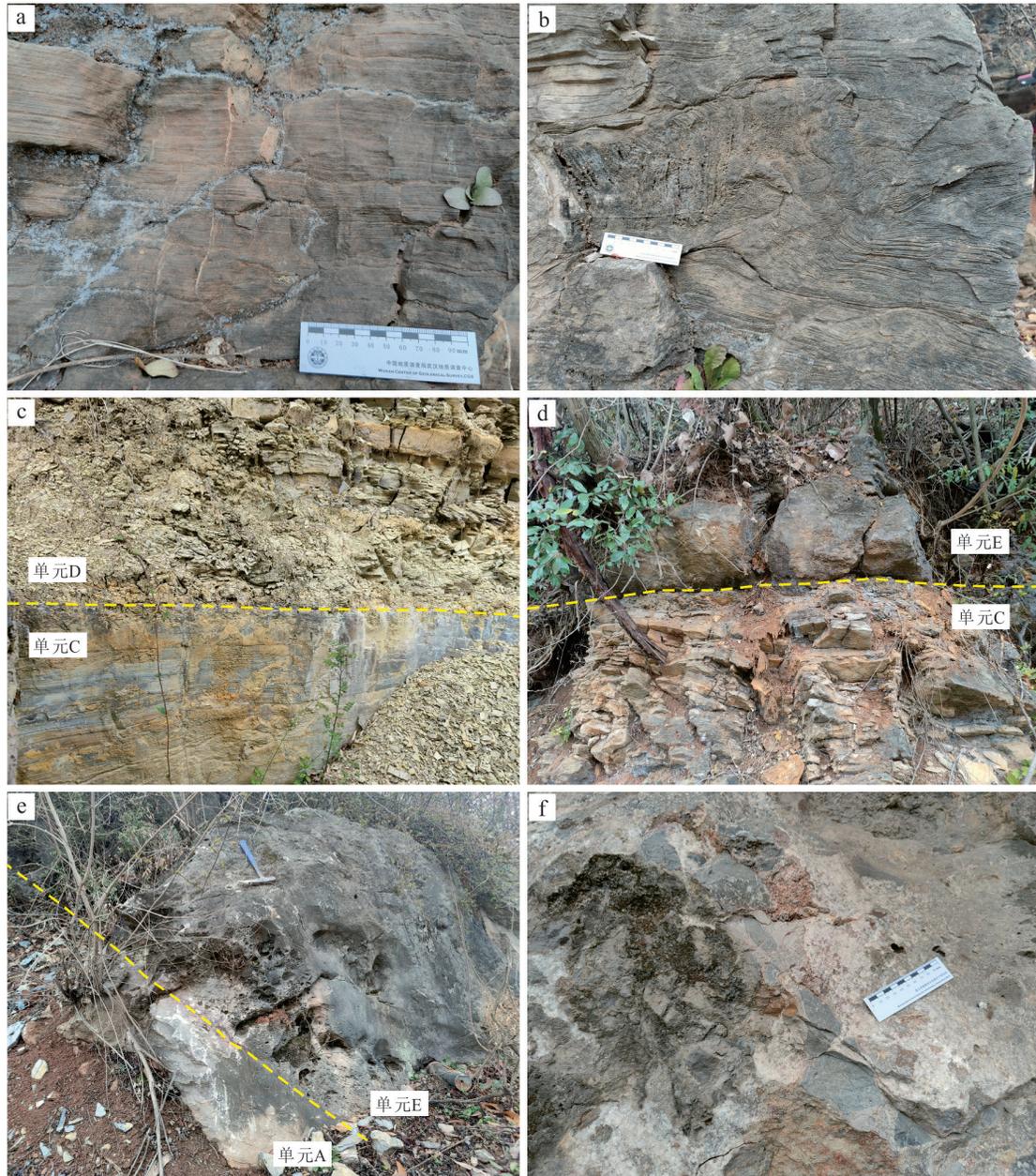


图3 南漳-远安地区嘉陵江组野外典型照片

Fig.3 Field photos of the Jialingjiang Formation in Nanzhang-Yuan'an area

a. 张家湾剖面单元C中纹层状灰岩; b. 西流坪剖面单元C中包卷层理; c. 落星村地区单元C与单元D接触关系, 单元D底部为火山灰; d. 西流坪剖面单元C与单元E接触关系; e. 大石板剖面单元A与单元E接触关系; f. 巡检剖面单元E中岩溶角砾岩

按照阎春波等(2021)嘉陵江组三分的划分方案, 岩石单元A、B和C对应着嘉陵江组第二段的下、中和上三部分, 单元D和单元E为嘉陵江组第三段地层. 因此, 南漳-远安动物群产于嘉陵江组第二段上部, 即单元C的纹层状灰岩中. 在嘉陵江组四分方案中(赵金科等, 1962; Zhao *et al.*, 2008; 程龙等, 2015; 陈粲等, 2016), 单元A和单元B对应嘉陵江组第二段, 单元C对应嘉陵江组第三段, 单元D和单元E对应嘉陵江组第四段. 但传统上嘉陵江组

第三段为薄-中层状白云岩, 与南漳-远安地区单元C的纹层状灰岩明显不同, 其他地区并不发育纹层状灰岩, 也未发现南漳-远安动物群的化石.

4 火山灰和同位素年龄

在南漳-远安地区嘉陵江组第三段底部发育一层沉凝灰岩, 可以作为区域内地层对比的标志. 这层火山灰与华南广泛发育在早、中三叠世界线附近

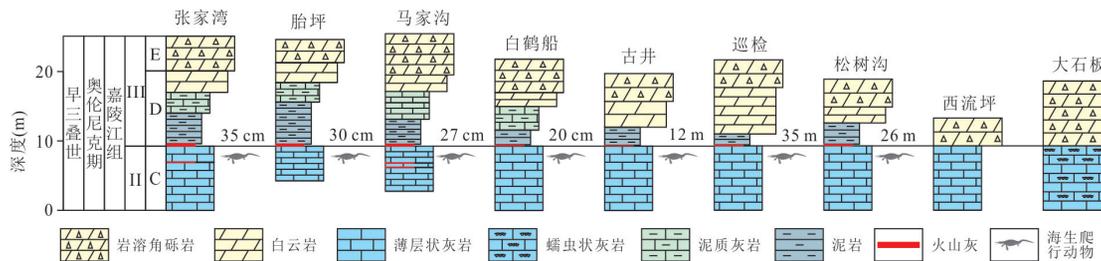


图 4 南漳-远安地区嘉陵江组第三段底部火山灰区域对比

Fig.4 Volcanic ash beds at lowermost Member III of the Jialingjiang Formation in Nanzhang-Yuan'an area

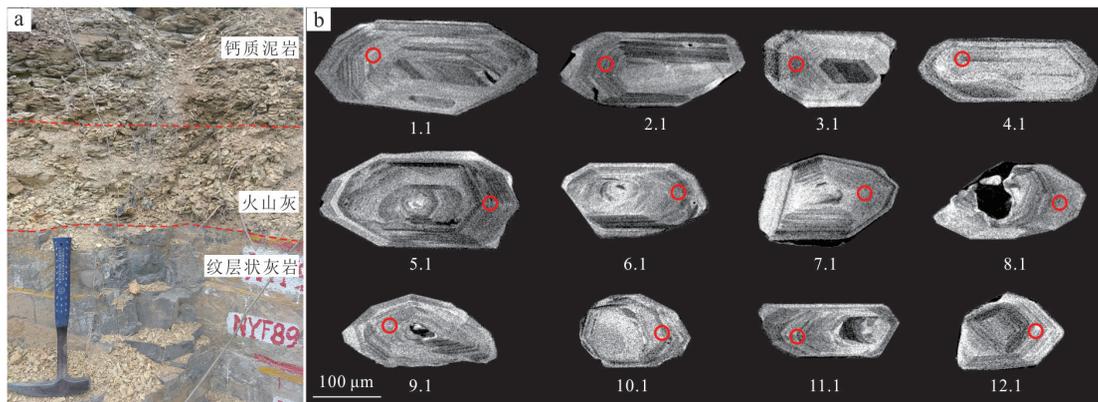


图 5 张家湾剖面火山灰及锆石颗粒阴极发光图像

Fig.5 The tuff and CL images of zircons in the Zhangjiawan Section

a. 张家湾剖面火山灰层; b. 锆石阴极发光图像

表 1 张家湾剖面火山灰锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定结果

Table 1 SHRIMP U-Pb isotopic data for zircons from volcanic ash at the Zhangjiawan Section

Spot no.	²⁰⁶ Pb _c (%)	U (10 ⁻⁶)	Th (10 ⁻⁶)	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb* (10 ⁻⁶)	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U (%)	σ	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U (%)	σ	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb* (%)	σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U (Ma)	Error corr.
1.1	2.41	278	74	0.28	9.40	0.038 93	1.10	0.280 0	3.9	0.052 2	3.8	246.2±2.9	0.279
2.1	0.70	470	121	0.27	16.1	0.039 57	0.70	0.282 7	2.3	0.051 8	2.2	250.2±1.9	0.301
3.1	1.21	318	80	0.26	10.8	0.038 98	0.84	0.271 6	3.2	0.050 5	3.1	246.5±2.2	0.265
4.1	1.93	313	79	0.26	10.7	0.039 44	1.30	0.285 0	3.9	0.052 4	3.7	249.4±3.3	0.325
5.1	0.84	544	178	0.34	18.6	0.039 70	0.65	0.281 8	2.1	0.051 5	2.0	251.0±1.7	0.309
6.1	3.05	471	149	0.33	16.1	0.039 24	0.68	0.296 7	2.3	0.054 8	2.2	248.1±1.8	0.296
7.1	1.06	303	93	0.32	10.2	0.038 78	0.85	0.280 8	2.9	0.052 5	2.8	245.2±2.2	0.291
8.1	1.32	419	114	0.28	14.3	0.039 45	0.73	0.273 3	2.4	0.050 2	2.3	249.4±1.9	0.299
9.1	1.95	301	76	0.26	10.4	0.039 77	0.86	0.292 3	2.9	0.053 3	2.8	251.4±2.3	0.294
10.1	1.44	421	89	0.22	14.6	0.040 21	0.72	0.274 5	2.7	0.049 5	2.6	254.2±1.9	0.271
11.1	0.91	549	174	0.33	18.9	0.039 76	0.87	0.259 6	2.2	0.047 4	2.0	251.3±2.3	0.394
12.1	1.37	478	122	0.26	16.1	0.038 97	0.66	0.275 0	2.9	0.051 2	2.8	246.5±1.7	0.232

注:误差为 1σ, Pb_c 和 Pb* 分别为普通 Pb 和放射成因 Pb, 用 ²⁰⁴Pb 测量值来校正普通 Pb.

的“绿豆岩”相似,其在野外工作中常被作为划分早、中三叠世的标志层(Lehrmann *et al.*, 2005; Grădinaru *et al.*, 2006, 2007),是区域宏观对比的良好标志(Tong *et al.*, 2019).本次在南漳-远安地区对该层火山灰进行了横向的追索与对比(图 4).张

家湾剖面中单元 D 的底部火山灰厚 35 cm,胎坪剖面单元 D 底部火山灰厚 30 cm,马家沟剖面火山灰厚 27 cm,白鹤船剖面火山灰厚 20 cm,古井剖面火山灰厚 12 cm,巡检采石场剖面火山灰厚 35 cm,松树沟剖面火山灰厚 26 cm,而西流坪剖面和大石板

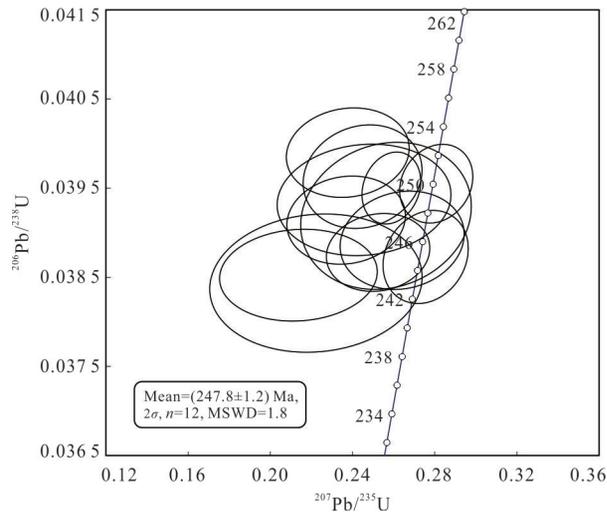


图6 张家湾剖面锆石年龄谐和图

Fig.6 Zircon U-Pb concordia plot for the Zhangjiawan Section

剖面中并不发育火山灰. 沉凝灰岩的沉积记录总体上自南西向北东方向逐渐减薄, 直至尖灭.

本文在张家湾剖面嘉陵江组第三段底部单元D火山灰中获得了锆石 SHRIMP II U-Pb 年龄. 该层火山灰风化后呈浅黄色-黄白色(图5a), 在显微镜下观察, 挑选出的锆石无色透明, 呈长柱状的自形晶, 晶面平整且表面无明显溶蚀或磨损痕迹, 应属于岩浆锆石. 锆石长轴大多在 200 μm 左右, CL 图像均显示出显著的震荡环带(图5b). 所有锆石在中国地质科学院地质研究所北京离子探针分析中心 SHRIMP II 上完成, 采用标准锆石 TEM ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 417 Ma) 进行校正. 年龄的误差为 1σ 绝对误差, 同位素比值的误差为 1σ 相对误差, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值的误差为 95% 置信度误差. 共测定 12 粒锆石(表 1), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 (247.8 ± 1.2) Ma (MSWD=1.2)(图 6).

这与贵州望谟甘河桥剖面“绿豆岩”的 SHRIMP 年龄 (247.6 ± 1.4) Ma (郑连弟等, 2010) 相一致. 贵州关刀剖面早-中三叠世界线 TIMS 锆石估算年龄为 (247.28 ± 0.12) Ma (Lehrmann *et al.*, 2015), 国际地质年表中早-中三叠世界线年龄 247.2 Ma 即来自该剖面的估算结果. 广西猛干剖面早-中三叠世界线年龄采用牙形石 *Chiosella timorensis* 首现层位年龄应为 247.3 Ma (Ovtcharova *et al.*, 2015; Tong *et al.*, 2019). 本文获得的年龄接近于上述年龄. 张家湾剖面中南漳-远安动物群主要赋存

在 35 m 厚的单元 C 中, 单元 D 中的年龄代表该动物群结束的年龄, 其生存时间应早于该年龄. 因此, 南漳-远安动物群的生存时代可进一步限定在早三叠世 Spathian 晚期, 其精确的开始时间还需要高精度 TIMS U-Pb 定年工作.

5 结论

本文通过对湖北南漳-远安地区嘉陵江组二段上部至三段下部地层的调查研究, 划分出 5 个岩石地层单元, 建立了该地区嘉陵江组上部地层对比格架, 为区域地层对比提供依据, 南漳-远安动物群赋存在嘉陵江组二段上部纹层状灰岩中, 单元 D 中的火山灰层可作为区域地层对比的标志. 获得张家湾剖面火山灰锆石 SHRIMP II U-Pb 年龄 (247.8 ± 1.2) Ma, 将南漳-远安动物群的生存时间进一步限定在早三叠世 Spathian 晚期.

References

- Benton, M. J., Wu, F. X., 2022. Triassic Revolution. *Frontiers in Earth Science*, 10: 899541. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.899541>
- Benton, M. J., Zhang, Q. Y., Hu, S. X., et al., 2013. Exceptional Vertebrate Biotas from the Triassic of China, and the Expansion of Marine Ecosystems after the Permo-Triassic Mass Extinction. *Earth-Science Reviews*, 125: 199–243. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.05.014>
- Chen, C., Chen, X.H., Cheng, L., et al., 2016. Nanzhang-Yuan'an Fauna, Hubei Province and Its Significance for Biotic Recovery. *Acta Geologica Sinica*, 90(3): 409–420 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Z. Q., Benton, M. J., 2012. The Timing and Pattern of Biotic Recovery Following the End-Permian Mass Extinction. *Nature Geoscience*, 5(6): 375–383. <https://doi.org/10.1038/ngeo1475>
- Cheng, L., Moon, B. C., Yan, C. B., et al., 2022. The Oldest Record of Saurosphargiformes (Diapsida) from South China could Fill an Ecological Gap in the Early Triassic Biotic Recovery. *Peer J*, 10: e13569. <https://doi.org/10.7717/peerj.13569>
- Cheng, L., Motani, R., Jiang, D. Y., et al., 2019. Early Triassic Marine Reptile Representing the Oldest Record of Unusually Small Eyes in Reptiles Indicating Non-Visual Prey Detection. *Scientific Reports*, 9(1): 152. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37754-6>

- Cheng, L., Yan, C.B., Chen, X.H., et al., 2015. Characteristics and Significance of Nanzhang/Yuanan Fauna, Hubei Province. *Geology in China*, 42(2): 676–684 (in Chinese with English abstract).
- Fang, Z.C., Cheng, L., Yan, C.B., 2020. A Review on the Early Triassic Nanzhang-Yuanan Fauna of Hubei Province, South China. *South China Geology*, 36(1): 80–86 (in Chinese with English abstract).
- Fang, Z. C., Li, J. L., Yan, C. B., et al., 2023. First Filter Feeding in the Early Triassic: Cranial Morphological Convergence between Hupehsuchus and Baleen Whales. *BMC Ecology and Evolution*, 23(1): 36. <https://doi.org/10.1186/s12862-023-02143-9>
- Feng, Z. Z., Bao, Z. D., Zheng, X. J., et al., 2015. There was no “Great Bank of Guizhou” in the Early Triassic in Guizhou Province, South China. *Journal of Palaeogeography*, 4(1): 99–108. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1261.2015.00070>
- Grădinaru, E., Kozur, H., Nicora, A., et al., 2006. The *Chiosella timorensis* Lineage and Correlation of the Ammonoids and Conodonts around the Base of the Anisian in the GSSP Candidate at Desli Caira (North Dobrogea, Romania). *Albertiana*, 34: 34–39.
- Grădinaru, E., Orchard, M. J., Nicora, A., et al., 2007. The Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the Base of the Anisian Stage: Deșli Caira Hill, North Dobrogea, Romania. *Albertiana*, 36: 54–67.
- Lehrmann, D., Payne, J., Enos, P., et al., 2005. Field Excursion 2: Permian-Triassic Boundary and a Lower-Middle Triassic Boundary Sequence on the Great Bank of Guizhou, Nanpanjiang Basin, Southern Guizhou Province. *Albertiana*, 33: 169–186.
- Lehrmann, D. J., Stepchinski, L., Altiner, D., et al., 2015. An Integrated Biostratigraphy (Conodonts and Foraminifers) and Chronostratigraphy (Paleomagnetic Reversals, Magnetic Susceptibility, Elemental Chemistry, Carbon Isotopes and Geochronology) for the Permian-Upper Triassic Strata of Guandao Section, Nanpanjiang Basin, South China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 108: 117–135. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2015.04.030>
- Li, J. L., Liu, J., Li, C., et al., 2002. The Horizon and Age of the Marine Reptiles from Hubei Province, China. *Vertebrata Pala Siatica*, 40(3): 241–244 (in Chinese with English abstract).
- Liang, D., Tong, J. N., Zhao, L. S., 2011. Lower Triassic Smithian-Spathian Boundary at West Pingdingshan Section in Chaohu, Anhui Province. *Science China Earth Sciences*, 54(3): 372–379. <https://doi.org/10.1007/s11430-010-4145-2>
- Liu, Q. L., Cheng, L., Stubbs, T. L., et al., 2023. Rapid Neck Elongation in Sauropterygia (Reptilia: Diapsida) Revealed by a New Basal Pachypleurosaur from the Lower Triassic of China. *BMC Ecology and Evolution*, 23(1): 44. <https://doi.org/10.1186/s12862-023-02150-w>
- Motani, R., 2009. The Evolution of Marine Reptiles. *Evolution: Education and Outreach*, 2(2): 224–235. <https://doi.org/10.1007/s12052-009-0139-y>
- Ovtcharova, M., Goudemand, N., Hammer, Ø., et al., 2015. Developing a Strategy for Accurate Definition of a Geological Boundary through Radio-Isotopic and Biochronological Dating: The Early-Middle Triassic Boundary (South China). *Earth-Science Reviews*, 146: 65–76. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.03.006>
- Tong, J. N., Chu, D. L., Liang, L., et al., 2019. Triassic Integrative Stratigraphy and Timescale of China. *Science China Earth Sciences*, 62(1): 189–222. <https://doi.org/10.1007/s11430-018-9278-0>
- Wang, Z. H., Cao, Y. Y., 1981. Early Triassic Conodonts from Lichuan, Western Hubei. *Acta Palaeontologica Sinica*, 20(4): 363–375, 401–403 (in Chinese with English abstract).
- Wu, K., Zou, Y. R., Li, H. J., et al., 2023. A Unique Early Triassic (Spathian) Conodont Community from the Nanzhang-Yuan’an Fauna, Hubei Province, South China. *Geological Journal*, 58(10): 3879–3898. <https://doi.org/10.1002/gj.4815>
- Yan, C.B., Li, J.L., Cheng, L., et al., 2021. Strata Characteristics of the Early Triassic Nanzhang-Yuan’an Fauna in Western Hubei Province. *Earth Science*, 46(1): 122–135 (in Chinese with English abstract).
- Yang, C., Fang, Z. C., Cheng, L., et al., 2022. Limbs’ Characteristics of *Hupehsuchus nanchangensis* Young, 1972 (Diapsida: Hupehsuchia) from the Early Triassic of Hubei Province. *South China Geology*, 38(1): 174–187 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, J.K., Chen, Z. C., Liang, X. L., 1962. Triassic in China. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Zhao, L.S., Chen, Y.L., Chen, Z. Q., et al., 2013. Uppermost Permian to Lower Triassic Conodont Zonation from Three Gorges Area, South China. *Palaïos*, 28(8): 523–540. <https://doi.org/10.2110/palo.2012.p12-107r>
- Zhao, L. S., Orchard, M. J., Tong, J. N., et al., 2007. Lower Triassic Conodont Sequence in Chaohu, Anhui Province, China and Its Global Correlation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 252(1–2):

- 24–38. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.11.032>
- Zhao, L. S., Tong, J. N., Sun, Z. M., et al., 2008. A Detailed Lower Triassic Conodont Biostratigraphy and Its Implications for the GSSP Candidate of the Induan–Olenekian Boundary in Chaohu, Anhui Province. *Progress in Natural Science*, 18(1): 79–90. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2007.07.001>
- 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. *Acta Geologica Sinica*, 84(8): 1112–1117 (in Chinese with English abstract).
- 中文参考文献**
- 陈粲, 陈孝红, 程龙, 等, 2016. 湖北南漳–远安动物群及其生物复苏意义. *地质学报*, 90(3): 409–420.
- 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. *中国地质*, 42(2): 676–684.
- 方子晨, 程龙, 阎春波, 2020. 早三叠世南漳–远安动物群研究进展. *华南地质与矿产*, 36(1): 80–86.
- 李锦玲, 刘俊, 李淳, 等, 2002. 湖北三叠纪海生爬行动物的层位及时代. *古脊椎动物学报*, 40(3): 241–244.
- 王志浩, 曹延岳, 1981. 湖北利川早三叠世牙形刺. *古生物学报*, 20(4): 363–375, 401–403.
- 阎春波, 李姜丽, 程龙, 等, 2021. 鄂西早三叠世南漳–远安动物群地层分布特征. *地球科学*, 46(1): 122–135.
- 杨晨, 方子晨, 程龙, 等, 2022. 早三叠世南漳湖北鳄(双孔类: 湖北鳄目)的四肢特征. *华南地质*, 38(1): 174–187.
- 赵金科, 陈震楚, 梁希洛, 1962. 中国的三叠系. 北京: 科学出版社.
- 郑连弟, 姚建新, 全亚博, 等, 2010. 贵州南部地区安尼阶底界锆石 SHRIMP 年龄结果. *地质学报*, 84(8): 1112–1117.