https://doi.org/10.3799/dqkx.2020.023



鄂西早三叠世南漳-远安动物群地层分布特征

阎春波^{1,2,3},李姜丽^{2,4},程 龙^{1,2,3*},赵 璧^{2,4},邹亚锐^{2,4},牛东毅^{1,2,3},

陈 刚^{2,4},方子晨⁵

1. 中国地质调查局武汉地质调查中心,湖北武汉 430205

2. 中南地质科技创新中心,湖北武汉 430205

3. 中国地质调查局古生物与生命-环境协同演化重点实验室,湖北武汉 430205

4. 湖北省地质科学研究院,湖北武汉 430034

5. 中国地质大学地球科学学院,湖北武汉 430074

摘 要:在区域地质调查的基础上,以远安张家湾嘉陵江组剖面为重点,通过对南漳和远安交界地区下三叠统嘉陵江组 剖面测制和多处化石点考察,重新厘定研究区内嘉陵江组岩性特征.认为研究区内的嘉陵江组划分为3个岩性段更为合 理,产南漳一远安动物群的纹层状灰岩段位于二段顶部.通过系统化石发掘和张家湾剖面详细描述,初步查明了南漳一 远安动物群的垂向分布特征:在30余米厚的纹层状灰岩段中均有海生爬行动物产出,只是丰度和分异度存在一定差异, 其中7组岩层相对富集,顶部最为丰富.在此基础上,通过地层对比和所有化石点综合分析,将动物群自北东向南西划分 为A~D4个区带,依次命名为绝缘区、边缘区、相对富集区和富集区,分别对应化石从无到有、丰度逐渐变化及水深逐渐 加深的过程,总体上仍处于水体循环受限的台内洼地或潟湖相环境.此次查明动物群的分布特征将为研究动物群生物 与环境协同演化及其对早三叠世生物复苏的响应奠定良好的基础.

关键词:南漳一远安动物群;海生爬行动物;嘉陵江组;张家湾剖面;早三叠世;鄂西;古生物.

中图分类号: P539 **文章编号:** 1000-2383(2021)01-122-14 **收稿日期:** 2020-02-15

Strata Characteristics of the Early Triassic Nanzhang-Yuan'an Fauna in Western Hubei Province

Yan Chunbo^{1,2,3}, Li Jiangli^{2,4}, Cheng Long^{1,2,3*}, Zhao Bi^{2,4}, Zou Yarui^{2,4}, Niu Dongyi^{1,2,3}, Chen Gang^{2,4}, Fang Zicheng⁵

1. Wuhan Center of China Geological Survey, Wuhan 430205, China

2. Geological Science and Technology Innovation Center of Central South China, Wuhan 430205, China

3. Key Laboratory for Paleontology and Coevolution of Life and Environment, China Geological Survey, Wuhan 430205, China

4. Hubei Institute of Geosciences, Wuhan 430034, China

5. School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: Based on the study of fossils spots and representative sections of the Nanzhang - Yuan' an Fauna, especially the Zhangjiawan section in Yuan' an county, the lithostratigraphic characteristics of the Jialingjiang Formation was redefined between

引用格式: 阎春波, 李姜丽, 程龙, 等, 2021. 鄂西早三叠世南漳一远安动物群地层分布特征. 地球科学, 46(1):122-135.

基金项目:国家自然科学基金项目(Nos. 41402005, 41972014);中国地质调查局地质调查项目(Nos. DD20160316, DD20190009);湖北省地质 勘查基金项目(No. DTCG-190401);湖北省地质局科技项目(No. KJ2019-01).

作者简介:阎春波(1984-),男,助理研究员,博士,主要从事古生物学与地层学研究.ORCID:0000-0002-6846-4923. E-mail: yanchunbo123@163.com

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

Nanzhang and Yuan'an areas. It is reasonable that the Jialingjiang Formation in those areas should be divided into three members, in which the Nanzhang-Yuan'an Fauna is mainly yielded in the upper part of Member II. The lithology yielded the Nanzhang-Yuan'an Fauna mainly consists of laminated micritic limestone intercalated with normal micrite. Through systematical fossil excavations and detailed descriptions of the Zhangjiawan section, the vertical stratigraphic distributions of the Nanzhang-Yuan'an Fauna are preliminary recognized. Marine reptile fossils could exist in almost whole strata of the upper part of Member II of the Jialingjiang Formation, but the fossil abundance and diversity change largely in different layers. The abundance and diversity are relatively higher in seven strata assemblages than others, the peak appeared at the uppermost assemblages. The horizontal paleogeographic distribution features of the fauna in those areas could be summarized as four facies belts, named A, B, C and D

zones, which correspond to empty zone, marginal zone, relative enrichment zone and enrichment zone, respectively. Different zones reflect the fauna experienced from rare to rich, meanwhile the water depth gradually deepens from northeast to southwest. The distributions of the Nanzhang-Yuan'an Fauna indicate that the marine reptiles could live in restricted shallow water or lagoon environment. The research will lay a good foundation not only for the co-evolution between early marine reptiles and environment, but also for its response to the Early Triassic biological recovery.

Key words: Nanzhang-Yuan' an Fauna; marine reptile; Jialingjiang Formation; Zhangjiawan section; Early Triassic; Western Hubei Province; paleontology.

0 引言

早三叠世作为显生宙最大生物灭绝之后的一 段特殊地质历史时期,该时期异常的生物环境事件 已经成为当前地质学界关注的重大科学问题之一 (宋虎跃等, 2018), 生物与环境的相互作用和协同 演化的地球生物学理论(殷鸿福等, 2018)亟待进一 步完善. 而鄂西地区早三叠世南漳一远安动物群则 是该时期研究生物环境事件的重要载体之一.早三 叠世南漳一远安动物群是中扬子地区出现的以海 生爬行动物为主的动物群落,主要分布于湖北西部 远安县和南漳县交界地区,与下扬子区的巢湖龙动 物群并称为全球最早的海生爬行动物群落(Fu et al., 2016). 上述两动物群与云贵交界地区的中三叠 世安尼期早中期的盘县/罗平动物群、拉丁期晚期 的兴义动物群和晚三叠世卡尼期的关岭生物群代 表了三叠纪时期华南海生爬行动物群的总体面貌 (Jiang et al., 2009; 汪啸风等, 2009; Hu et al., 2010; Lu et al., 2017), 且相互之间存在一定的内 在联系(图1). 南漳一远安动物群中化石研究始于 20世纪50~70年代,先后发现了孙氏南漳龙、远安 贵州龙、南漳湖北鳄和湖北汉江蜥(王恭睦, 1959; 杨钟健, 1965; 杨钟健和董枝明, 1972), 但是在这 之后的 30 多年内,进展较为迟缓(Carroll and Dong, 1991; Rieppel, 1998). 近年来,随着华南三 叠纪海生爬行动物研究的全面展开,南漳一远安动 物群中不仅发现了新的属种,而且在演化谱系和生 态特征方面均取得突破(Wu et al., 2003; Chen et al., 2013, 2014a, 2014b, 2014c; Motani et al., 2015; Cheng et al., 2019). 这些属种显示了南漳一远安动物群以湖北鳄类一始鳍龙类一巢湖龙为特点的海生爬行动物组合特征. 但是,关于南漳一远安动物群赋存层位的划分存在较大的争议(李锦玲等, 2002;程龙等, 2015).

过去3年内,笔者围绕南漳一远安动物群组 织开展了巡检司幅(H49E004015)1:5万区域地质 调查、剖面测量及化石发掘等工作.项目组不仅 测制了多条与南漳一远安动物群相关的地层剖 面,而且采集了40余件保存较完整的海生爬行动 物和大量骨骼碎片等化石标本.本文重点系统阐 述南漳一远安动物群赋存层位特征,为该动物群 后续的生物与环境协同演化研究奠定基础.

1 典型剖面描述

在诸多南漳一远安动物群赋存层位的典型剖 面中,以远安河口张家湾剖面出露最好,而且近年 来报道的海生爬行动物化石多数出自于该剖面 (Chen et al., 2013, 2014a, 2014b;程龙, 2015; Motani et al., 2015; Cheng et al., 2019),所以该剖面 是目前研究南漳一远安动物群最理想的剖面. 2015~2016年程龙和陈粲等先后报道了该剖面.由 于当时对南漳一远安动物群赋存层位认识程度不 够,而且为了与鄂西其他地区嘉陵江组硬性对比, 将产出南漳一远安动物群的层位定义为嘉陵江组 三段(程龙等, 2015;陈粲等, 2016).笔者通过1:5 区域地质调查和对湘鄂西嘉陵江组剖面考察,发现



图1 华南三叠纪海生爬行动物群地理分布

Fig. 1 Distribution of the Triassic marine reptile faunas in South China

不仅南漳和远安交界地区的嘉陵江组岩性变化较大,而且其他地区嘉陵江组不发育南漳一远安动物 群赋存的岩性段,故此佐证了南漳一远安动物群的 局限分布特征.

因此在对南漳一远安动物群新认识的基础上, 本文重新测制了远安河口张家湾嘉陵江组剖面及 其中动物群赋存层位.剖面位于远安县河口乡以西 6.8 km的县道227旁,E111°34'40"、N31°16'49".具 体描述如下:

远安河口张家湾剖面

总厚度:123.286 m

嘉陵江组三段(T₁₋₂³) 15.85 m

22. 灰白色厚层岩溶角砾岩. >500 cm

21.下部为灰色薄层泥灰岩,上部为灰色薄层白云质灰

岩.纹层较发育.610 cm

20. 灰黄色薄层泥岩夹青灰色薄层泥灰岩. 底部有一层 厚约 35cm 的玻屑凝灰岩. 475 cm

整合

嘉陵江组二段上部(T₁²) 35.976 m

南漳一远安动物群赋存层位

19.底部为0.5 mm 灰黄色玻屑凝灰岩,之上为浅灰色或 者深灰色薄层为主,偶夹中层纹层状微晶灰岩夹纹层不发育 的微晶灰岩.产Hupehsuchus nanchangensis、Nanchangosaurus suni、Eretmorhipis carrolldongi和 Parahupehsuchus longus 等化石.2.327 m

18. 底部为7mm灰黄色玻屑凝灰岩,之上为7.5 cm厚的极薄层纹层状微晶灰岩与钙质泥岩互层;上部以灰色极薄层和薄层为主,间夹中层的纹层状微晶灰岩夹纹层不发育的微晶灰岩,层间灰岩层顶面多发育沥青质薄膜或者极薄层的黑色有机质页岩层.产湖北鳄类、鱼龙类及鳍龙类等化石.21.839m

17.下部为1.1m厚的的浅灰色薄层灰质白云岩,发

育鸟眼构造;上部以灰色薄层为主,间夹中层的纹层状 微晶灰岩夹纹层不发育的微晶灰岩.含少量海生爬行动 物化石及碎片.11.81 m

嘉陵江组二段中部(T」f) 28.9 m

16. 米黄色、灰白色厚层状白云质灰岩,水平纹理 发育,晶洞发育.上部为2.6 m的块状滑塌角砾岩,分 选磨圆差,12.9 m

15.米黄色、灰白色中厚层状细晶白云岩,下部水平纹理 不发育,上部水平纹理发育.16.0 m

嘉陵江组二段下部(T₁²) 42.56 m

14. 灰色、浅灰色厚层白云质泥晶灰岩, 顺层呈透镜状延伸, 水平纹理弱发育. 0.76m

13.米黄色、灰白色中厚层状白云岩,水平纹理弱发育. 该套岩层与下伏泥晶灰岩界面不清.6.0 m

12. 灰色、浅灰色中层状夹厚层状白云质泥晶灰岩, 自下 而上, 水平纹理由不发育到弱发育. 4.7 m

11.紫红色中层状粉晶白云岩,水平层理弱发育.0.8 m

10. 灰色厚层一中层状白云质泥晶灰岩, 自下而上, 层厚 逐渐变薄, 水平纹理由弱发育到不发育. 2.2 m

9. 灰色中厚层状泥晶灰岩,水平纹理弱发育. 1.3 m

8.浅灰色、紫红色薄层状泥晶灰岩,夹极薄层泥岩,弱硅化,水平纹理发育.0.6 m

7. 灰色、浅灰色厚层块状泥晶灰岩,含极少量海百 合茎碎屑. 2.8 m

6.灰色中厚层蠕虫状灰岩,夹数层厚层状泥晶灰岩,蠕 虫状灰岩中水平纹理发育,可见少量海百合茎碎片.6.0 m

5. 灰色中层状泥晶灰岩,水平纹层弱发育,局部可见少 量海百合茎和极少量双壳类碎片.4.0 m

4. 灰色厚层蠕虫状灰岩,向上渐变为泥晶灰岩,下部 海百合茎局部富集,沿层面分布,向上呈增多趋势,局部 纹层发育.5.0 m

3.紫红色透镜状或长条状砂屑灰岩与灰色薄层状泥晶 灰岩互层,泥晶灰岩中纹层发育;据顶0.6 m处,夹中层状蠕 虫状灰岩.2.9 m 2. 灰、浅灰色中厚层状泥晶灰岩,偶见少量海百合茎,夹大量砂屑灰岩条带,局部见砾屑平行层面发育,水 平纹层发育.1.4 m

1. 灰色厚层蠕虫状灰岩,局部海百合茎富集成层, 自下而上逐渐增多,下部偶夹薄层泥岩,上部水平纹层 弱发育.4.1 m

(未见底)

该剖面中的17~19 层即为南漳一远安动物群赋存层 位.本文首次对动物群赋存层位及化石产出特征另做逐层 描述,编号为1~90层,描述如下.

总厚度:43.326 m

嘉陵江组三段(T1-23) 4.75 m

92. 灰黄色薄层泥岩夹青灰色薄层泥灰岩.440.0 cm 91. 灰黄色、灰绿色玻屑凝灰岩.35.0 cm

整合

嘉陵江组二段上部(T₁f) 35.976 m 南漳一远安动物群赋存层位

90.下部为深灰色薄层微晶灰岩,层厚在2.5~6.0 cm 左 右变化,下端2 cm 纹层发育,层面略起伏.中部为4 cm 厚的 深灰色薄层微晶灰岩,纹层发育.上部为4.2 cm 厚的深灰色 薄层微晶灰岩,上端纹层发育,纹层总厚8 mm,单层厚小于 1 mm,距顶2 cm 可见硅质条带,顶部1 mm 为灰黑色硅质岩 层.该层每个单层顶部基本都可见沥青质薄膜.10.7 cm

89. 深灰色薄一中层微晶灰岩,分上下两层,分别厚 12 cm、8 cm. 层面可见沥青质薄膜,风化后黄褐色,上下两层 层面均凹凸不平,产海生爬行动物化石碎片. 20.0 cm

88. 深灰色薄层微晶灰岩,分3层,由上往下各层厚分别 为6.0 cm、8.5 cm、8.5 cm. 单层顶底纹层发育,中间纹层不发 育. 层面较平整,可见沥青质薄膜. 23.0 cm

87. 深灰色薄层微晶灰岩,分3层,单层厚度由上而下分别为5.5 cm、5.5 cm、9.0 cm,纹层总体不发育,但每个单层底部约1.0~1.5 cm纹层发育.层面较平整,可见沥青质薄膜.发现完整的*Eretmorhipis carrolldongi*化石及骨骼碎片.20.0 cm

86. 深灰色薄层微晶灰岩, 分4层, 由上而下各层分别厚 4.5 cm、9.0 cm、8.0 cm、8.0 cm. 每个小层中又可见不明显的 上下两个薄层, 且下部纹层发育, 上部纹层不发育. 层面较 平整, 且层面间可见沥青质的薄膜. 发现大个体 Parahupehsuchus sp. 化石(长约2m)及骨骼碎片. 29.5 cm

85. 浅灰色薄层微晶灰岩,由单层厚 3~4 cm 的薄层微晶灰岩组成,颜色较上覆岩层变浅,纹层较发育.发现完整 海生爬行动物化石及骨骼碎片. 20.0 cm

84. 浅灰色薄一中层微晶灰岩. 层面略凹凸不平. 总体 可划分为4个单层,由下而上各层厚8.5 cm、13.0 cm、10 cm 和8 cm. 第2层和第4层纹层发育,且第2层细分为5个薄 层,第4层可细分为2个薄层. 第1和第3层为单层,纹层不 发育.发现完整海生爬行动物化石及骨骼碎片. 39.5 cm 83. 灰色薄层微晶灰岩,由9个薄层组成,单层厚2~ 3 cm. 纹层发育.层面稍凹凸不平,可见沥青质薄膜,风化后 黄褐色.发现完整海生爬行动物化石及骨骼碎片.23.0 cm

82. 灰色薄层微晶灰岩,可划分为5个薄层,自下而上 分别为6.5 cm、5.5 cm、2.5 cm、4.5 cm和4.0 cm. 其中2、4 层中纹层较发育.在第1层的下部2.5 cm纹层发育,上部 4 cm层面纹层不发育.层面可见沥青质薄膜.层面稍凹凸 不平,接触面多为锯齿状.层内发现完整海生爬行动物化 石及骨骼碎片.23.0 cm

81. 浅灰色薄层微晶灰岩,可划分为6小层,自下而上分 别厚3.5 cm、2.5 cm、3.0 cm、1.0 cm、3.5 cm和3.0 cm. 层面略 凹凸不平,层面多见沥青质薄膜,风化后为黄褐色. 纹层较 发育.发现完整海生爬行动物化石及骨骼碎片. 16.5 cm

80.下部为一层黄绿色泥岩,厚约2.0 cm,其中底部 0.5 mm为火山碎屑岩,可作为标志层;上部为3层总厚 5.5 cm的薄层和微薄层灰岩,单层厚0.5~3.0 cm,纹层微发 育.灰岩中发现完整海生爬行动物化石及骨骼碎片.7.5 cm

79. 灰色薄层微晶灰岩,可细分为10小层,单层厚2.0~ 7.5 cm. 其中2~4、8~9层中见纹层构造.层面可见沥青质薄 膜,第4、7层层面起伏不平.层内已发现完整海生爬行动物 化石.46.3 cm

78.下部10 cm为浅灰色薄层粉晶灰岩,纹层发育.上部为37 cm厚的纹层不发育的灰色泥晶灰岩,单层厚2~12 cm,上部结核非常发育,结核中,包壳多为硅质壳.层间沥青质薄膜发育,但接触面多不平整,层面多凹凸不平,顶面偶见遗迹化石.47.0 cm

77.浅灰色薄层粉晶灰岩,分二层,上层厚7 cm,可视分 5小层;下层厚5 cm,分2小层,小层间不易分离.层面沥青 质薄膜发育,清晰可见.该层单层之间接触面多呈微波状. 底部见化石碎片,顶部层面凹凸不平.12.0 cm

76.浅灰色含钙质结核的中层微晶灰岩,可见钙质结核, 形态多为馒头状、饼状,中间不夹硅泥质条带,结核最大可达 26×16 cm,并见许多豆状小结核.纹层不发育.该层顶部为 一层 0.8 mm厚的黑色页岩,层面凹凸不平.距顶 8 cm 处可 见狭长的硅质条带.16.0 cm

75. 灰色薄层含钙质结核粉晶灰岩, 层面较平整, 偶见扁 平钙质结核, 大小6×7×2 cm. 纹层较发育. 7.0 cm

74. 灰色极薄-薄层微晶灰岩,单层厚2 mm~3 cm, 分层性好,可划分成5小层,由下而上各层厚度为3.5 cm、 3.0 cm、3.5 cm、5.5 cm和4.0 cm.上3层呈薄板状,共由15 个薄层组成,第四层为单层,纹层发育.层面皆可见沥青 质薄膜,风化后灰黄色或黄褐色.发现少量海生爬行动物 骨骼碎片.19.5 cm

73. 灰色薄层粉晶灰岩,层面肉眼可见6小层,分层性不 好.根据分层难易度可分3小层,自下而上各层厚6.2 cm、 7.6 cm和1.6 cm.纹层微发育.15.4 cm

72. 灰色薄一中层粉晶灰岩,分二层,上层厚2 cm,下层 厚11 cm,两层间界面起伏不平. 纹层较发育. 在下部层面发 现海生爬行动物骨骼碎片.13.0 cm

71. 浅灰色粉晶灰岩,分层性差,局部可见3个小薄层, 分别厚5.5 cm、5.5 cm、3.0 cm. 层面可见沥青质薄膜,偶见少 量化石碎片. 裂隙较发育.14.0 cm

70. 灰色薄层粉晶灰岩,可分为3个5 cm的小薄层. 层面 可见沥青质薄膜,裂隙较发育,后期被方解石充填. 下部 5 cm纹层略发育. 15.0 cm

69. 深灰色薄一中层状粉晶灰岩,可分上下两层,下部厚 11 cm,上部厚6 cm,分层性差.层面可见沥青质薄膜,裂隙 较发育,距顶6 cm处可见次生黄铁矿.17.0 cm

68. 灰、深灰色微晶一粉晶灰岩,自下而上分3个小层,下部为13.5 cm厚色深灰色中层粉晶灰岩;中部为厚3 cm的深灰色薄层粉晶灰岩;上部为1.5 cm厚的灰色薄层微晶灰岩.层面均可见沥青质(风化后黄褐色)薄膜.总体纹层略发育.18.0 cm

67. 灰色中层粉晶灰岩,分层性差,上下层面接触面 不平整,稍凹凸不平,层面可见沥青质(风化色黄褐色) 薄膜. 18.0 cm

66. 深灰色薄一中层状泥晶灰岩.可细分4小层, 单层厚 8~11 cm,纹层发育,接触面略起伏,局部发育 缝合线.36.0 cm

65. 深灰色薄层状泥晶灰岩,单层厚 5~7 cm,纹层较发育,但是底部纹层微发育.91.0 cm

64. 深灰色中层状泥晶灰岩,方解石脉略发育. 纹层 微发育,层间可见沥青质薄膜,厚度小于0.1 mm,不如61 层发育.12.0 cm

63. 灰色薄层状泥晶灰岩,单层厚 3~7 cm,底部可见一 层 6 mm 左右的极薄层,纹层较发育.层间可见沥青质薄膜, 厚度小于 0.1 mm,不如 61层发育.26.0 cm

62. 灰色薄层状泥晶灰岩. 单层厚 1~5 cm,底部可见 一层 1 mm 的极薄层黄褐色泥灰岩,纹层微发育. 含化石碎片. 层间可见沥青质薄膜,厚度小于 0.2 mm,不如 61 层 发育. 31.0 cm

61. 灰色薄层状泥晶灰岩,纹层微发育. 单层厚 0.5~3.0 cm,层间沥青质(风化后黄褐色)薄膜极发育,实为黑色页 岩,层厚 0.5~2.0 mm,页岩中可见明显的页理. 48.0 cm

60. 灰色薄层状泥晶灰岩,单层厚2~3 cm,纹层发育.层 面可见沥青质薄膜.110.0 cm

59. 灰色薄层状泥晶灰岩.可细分3小层,自下而上分别为9 cm、5 cm和4 cm,偶见椭圆状钙质结核,顶底均可见沥 青质(风化褐黄)薄膜,纹层微发育.距底6 cm有一层3 mm 左右的灰黑色页岩层.18.0 cm

58. 灰色薄层泥晶灰岩. 单层厚 1~3 cm,纹层基本不发育,局部见纹层,底部缝合线弱发育. 距底 7 cm 可见一层沥 青质薄膜,厚 1 mm,实为黑色有机质页岩. 其他层亦可见沥 青质薄膜,厚度多小于 0.5 mm. 34.5 cm

57. 灰色薄层状泥晶灰岩. 可细分3小层, 自上而下 分别为4 cm、5 cm和5 cm, 层面间可见沥青质薄膜, 风化 后褐黄色.14.0 cm

56. 灰色薄层状微晶灰岩. 单层 1.0~2.5 cm,纹层不发育,局部可见少量纹层. 层间皆发育沥青质薄膜,风化面为 灰黄色,薄膜厚 0.01~0.10 mm. 55.0 cm

55. 灰色薄层状泥晶灰岩. 单层 1~4 cm,纹层微发育. 层间皆发育沥青质薄膜,风化面为灰黄色. 67.0 cm

54. 灰色薄层微晶灰岩. 单层厚 1.0~5.5 cm,由下而上 底部 6 cm 可细分 4 个薄层,分别厚 1.5 cm、2.0 cm、1.5 cm、 1.0 cm,纹层不发育;中部 52 cm 由 1.5~5.5 cm 的薄层组成, 纹层微发育;顶部 5 cm 单层纹层不发育. 距顶 12 cm 处可见 明显的沥青质薄膜. 63.0 cm

53. 灰色薄层微晶灰岩. 单层厚 4.0~4.5 cm, 下部 7 cm 纹层不发育, 上部 23 cm 纹层微发育, 顶部可见沥青质薄膜. 30.0 cm

52. 灰色中层微晶灰岩. 纹层微发育,风化面可见0.5~ 3.0 cm的薄层. 新鲜面可见明显的沥青质薄膜,且层面多凹 凸不平. 30.0 cm

51. 灰色薄层微晶灰岩. 单层厚 5~9 cm,纹层较发育,由 下至上 6 cm 处可见化石碎片,底部往上 18 cm 可见 3 处硅质 结核. 中部可见沥青质薄膜. 发现完整 Hupehsuchus nanchangensis 和鱼龙类化石. 40.0 cm

50. 灰色中层状泥晶灰岩. 纹层不发育,底部可见缝合线构造. 21.0 cm

49. 灰色极薄-薄层纹层状灰岩,层面可见沥青质薄膜. 发现一完整的鳍龙类化石. 25.0 cm

48. 灰色中层状微晶灰岩. 单层,纹层不发育,顶部发现 化石碎片,表面被沥青质薄膜覆盖. 20.0 cm

47. 灰色薄层微晶灰岩. 由 3 个单层组成, 自下而上分别 厚4 cm 、5 cm 和1 cm. 纹层略发育. 10.0 cm

46. 灰色中层状微晶灰岩. 层面可见沥青质薄膜. 发现 一完整鱼龙化石. 17.0 cm

45. 灰色薄一中层状泥晶灰岩. 可分为两层,分别厚 15 cm和3 cm,下部纹层不发育,上部纹层略发育. 18.0 cm

44. 灰色薄一中层泥晶灰岩.肉眼可见2小层,分别厚11 cm、10 cm,纹层不发育,顶部可见1 mm炭质页岩薄膜.21.0 cm

43. 灰色极薄-薄层泥晶灰岩. 单层厚 0.5~7.0 cm,每 个单层间均发育沥青质薄膜,纹层不发育. 21.0 cm

42. 灰色薄一中层状微晶灰岩.由2个单层组成,自下而 上分别厚7 cm、10 cm,下部纹层较发育,上部纹层不发育,顶 部层面发育一层极薄层沥青质薄膜.17.0 cm

41. 灰色中层状微晶灰岩. 单层厚 14 cm, 纹层不发育, 分层性不好, 风化后为 4~6 cm 的薄层. 28.0 cm

40. 灰色薄一中层微晶灰岩. 由 8 个 6~10 cm 的单层组成,薄层中纹层略发育. 62.0 cm

39. 灰色中层状微晶灰岩. 无纹层,顶部可见炭质薄膜. 18.0 cm

38. 灰色薄-中层状微晶灰岩,下部 24 cm(中层)纹层不

发育,顶部4 cm 纹层(极薄层)较发育.28.0 cm

37. 灰色薄-中层状微晶灰岩. 下部 27 cm(中层)纹层 略发育, 上部 18 cm(极薄层)纹层极发育. 45.0 cm

36. 灰色薄-中层状微晶灰岩. 其中下部 42 cm 中层纹 层略发育,顶部 10 cm(极薄层)纹层极发育. 52.0 cm

35. 灰色薄一中层状微晶灰岩, 自下而上40 cm 岩层纹 层略发育, 顶部7 cm 纹层极发育. 47.0 cm

34. 灰黄色纹层极发育的薄层泥晶灰岩. 单层厚 3~ 8 cm, 层间多发育 0.5 mm 左右沥青质页岩薄膜, 该层海 生爬行动物化石较为丰富,含较多完整海生爬行动物及 大量骨骼碎片. 50.0 cm

33. 青灰色薄层微晶灰岩. 该层可细分为4个岩石组合 单元,下部33-1层为薄层微晶灰岩,其中下部为56.0 cm 纹层 发育,上部4.5 cm 纹层不发育,单层厚多在1 cm 以下;之上 33-2 层为45 cm 的薄层泥晶灰岩,层厚多在1 cm 左右,纹层 发育,顶面凹凸不平;之上33-3 层薄层微晶灰岩,下部1.55 m 纹层发育(单层厚 2~4 cm),上部7.5 cm 纹层不发育;上部 33-4 层为74 cm 厚的纹层发育的极薄-薄层泥晶灰岩,产出 完整海生爬行动物化石.332.0 cm

32. 灰色薄层微晶灰岩. 单层厚 3 mm~7 cm, 自下而上 层厚逐渐变薄, 上部 3 cm 泥质成分含量增高, 距底向上 9 cm 岩层层面凹凸不平. 下部 29 cm 纹层极发育, 上部 7 cm 纹层 不发育. 产完整海生爬行动物化石.36.0 cm

31. 灰色薄层状微晶灰岩.由3个纹层发育与无纹层相间组成的韵律层.自下而上分别厚5.0 cm、4.5 cm、4.5 cm、6.0 cm、5.5 cm和6.5 cm.32.0 cm

30. 灰色薄层微晶灰岩. 单层厚 2.0~4.5 cm, 其中下部 28 cm 纹层发育, 上部4 cm 纹层(单层)不发育. 底部之上 12 cm 可见一凹凸不平面, 中间可见泥质薄膜, 皱纹构造发 育. 发现完整海生爬行动物化石. 32.0 cm

29. 深灰色薄层微晶灰岩.由3个单层组成,厚度分别为 1 cm、1 cm和8 cm,其中下部2个单层纹层发育,顶部单层纹 层不发育.10.0 cm

28. 深灰色薄-中层微晶灰岩.由4个单层组成,自下而 上依次为5.5 cm、1.0 cm、2.0 cm和10.5 cm,其中下部3个单 层纹层发育,顶部单层纹层不发育.19.0 cm

27. 深灰色薄层微晶灰岩.由2个小层组成,下部3.5 cm 纹层发育,上部6.5 cm 纹层不发育.10.0 cm

26. 深灰色中层微晶灰岩. 纹层不发育. 底部见2 cm 厚的含炭质泥岩. 发现海生爬行动物骨骼碎片. 41.0 cm

25. 深灰色极薄层夹薄层微晶灰岩,单层厚度 0.5~ 4.0 cm. 自下而上由 3 个纹层发育与纹层不发育相间的 韵律层组成,厚度依次为 16.0 cm、4.0 cm、2.5 cm、 3.0 cm、19.5 cm 和 7.0 cm. 顶之下 8.0 cm 和 18.0 cm 位置 可见 2 个化石骨骼碎片,表面沥青质薄膜发育,在第 4 小层中可见硅质条带. 52.0 cm

24. 灰色薄层泥晶灰岩,风化后灰绿色.由2个单层组成,下部厚7.0 cm,纹层发育,泥质成分含量较高;上部

8.0 cm 纹层不发育. 15.0 cm

23. 灰色薄层微晶灰岩, 单层厚 3~6 cm. 下部 47 cm 单 层纹层发育, 上部 6 cm 纹层不发育. 53.0 cm

22. 灰色薄-中层微晶灰岩.下部为70 cm,薄层,单层 厚1.5~6.0 cm,纹层发育;上部10 cm为中层,纹层不发育. 底之上18 cm有一层厚约7 mm厚的黑色页岩.80.0 cm

21. 极薄层纹层状微晶灰岩与钙质泥岩互层.下部 1.5 cm由3个单层5 mm的极薄层微晶灰岩组成,纹层发育; 其上为厚3 cm灰绿色薄层状钙质泥岩;之上为2 cm厚由2 个极薄层微晶灰岩组成,纹层发育;顶部为1cm的灰绿色薄 层钙质泥岩.7.5 cm

20. 灰黄色玻屑凝灰岩. 7.0 mm

19. 灰色薄层微晶灰岩.由纹层发育与纹层不发育的单 层相间组成韵律层.自下而上分别厚4 cm、8 cm、2 cm、6 cm 和9 cm.顶之下9 cm的无纹层灰岩上部可见扁平状结核, 2.5×3.7 cm,该层上部9 cm常发育硅质条带.29.0 cm

18. 灰色薄层状微晶灰岩. 单层厚 3~8 cm. 下部 2.1 m 纹层发育,顶部 5 cm 纹层不发育. 215.0 cm

17. 灰色极薄-薄层微晶灰岩,风化后浅黄色,单层厚 0.5~3.0 cm,纹层发育.层间多发育极薄层有机质含量略高 的钙质薄膜,含海生爬行动物骨骼碎片.65.0 cm

16. 灰色薄层微晶灰岩. 单层厚 3~8 cm, 纹层发育. 310.0 cm

15. 灰色薄层微晶灰岩. 单层厚 2~6 cm. 自下而上由两 个纹层发育与纹层不发育相间的韵律层组成,分别厚 84 cm、 2 cm、2 cm 和 3 cm. 91.0 cm

14. 灰色薄层微晶灰岩. 单层厚 3~8 cm. 下部 21 cm 纹 层发育, 顶部 8 cm 纹层不发育(单层). 29.0 cm

13. 灰色薄层状微晶灰岩. 单层厚 1.5~4.5 cm. 下部 7.5 cm 纹层发育, 上部 4.5 cm 纹层不发育. 12.0 cm

12. 灰色薄层状灰岩.由厚度不均匀的2个单层组成.下 部 6.0~9.5 cm 为纹层发育的微晶灰岩,上部 6.0~2.5 cm 为 纹层不发育的泥晶灰岩,两者之间发育楔状缝合线.12.0 cm

11. 灰色薄层微晶灰岩. 单层厚 1.5~9.0 cm,下部 2.5 cm 单层纹层极发育,往上纹层减弱直至顶部 9.0 cm(单层)纹层 不发育. 16.0 cm

10. 灰色中层状微晶灰岩,纹层不发育. 24.0 cm

9. 灰色薄层状微晶灰岩. 由纹层不发育和纹层发育的4个单层组成. 自下而上分别厚5 cm、3 cm、8 cm和2 cm. 18.0 cm

8. 灰色薄层状微晶灰岩. 单层厚 1.5~4.0 cm,纹层 发育. 23.0 cm

7. 灰色薄层状微晶灰岩. 纹层极发育. 8.0 cm

6. 浅灰色薄一极薄层状灰岩. 单层厚 0.5~3.0 cm,纹层 极发育,局部泥质成分含量较高.含化石碎片,在底部发现 一较完整海生爬行动物化石. 34.0 cm

5. 灰色薄层状微晶灰岩. 单层厚 3~6 cm,纹层发育. 120.0 cm

4. 灰色薄层状微晶灰岩. 无纹层. 7.0 cm

3. 灰色薄层状微晶灰岩. 单层厚 2~5 cm,纹层发育. 35.0 cm

2. 深灰色极薄-薄层状微晶灰岩. 单层厚 0.3~2.0 cm, 纹层发育,该层局部呈透镜状展出. 23.0~45.0 cm

1. 浅灰色薄层灰质白云岩,风化后为米黄色,单层 厚 3~9 cm,发育鸟眼构造.层面顶部可见黑色有机质 薄膜,且薄膜上可见次生黄铁矿.产少量海生爬行动 物骨骼碎片.110.0 cm

嘉陵江组二段(T₁f)中部 2.6 m

0. 块状滑塌角砾岩,角砾主要成分是下部的纹层发育的 灰质白云岩和白云岩,分选磨圆差,砾径 6~40 cm. 之下为 薄-中层纹层发育的白云岩,未到底,厚度>4 m. 260.0 cm

鄂西地区的嘉陵江组分为4个岩性段,是目前 被广泛认可的划分方案,即一段为厚层或块状白云 岩;二段为蠕虫状灰岩间夹白云岩;三段为水平纹 层相对发育的薄一中层白云岩为主;四段为白云岩 和岩溶角砾岩(赵金科, 1962; Zhao et al., 2008; 程 龙等, 2015). 据此划分方案, 研究区内产南漳一远 安动物群的一套纹层状灰岩置于二段应该更为合 理(表1).虽然张家湾剖面中纹层状灰岩之上出现 约10m左右玻屑凝灰岩-泥岩-泥灰岩或者灰质 白云岩的组合可以与邻区三段对比,但是,在张家 湾剖面的北东向的诸多地区,纹层状灰岩和该套玻 屑凝灰岩一泥岩一泥灰岩或者灰质白云岩的组合 迅速消减.在南漳大石板与双坪一带,二段的蠕虫 状灰岩甚至与上部的岩溶角砾岩直接接触.基于上 述原因,本文将南漳和远安交界地区的嘉陵江组厘 定为3个岩性段:一段为浅灰色厚层一中厚层白云 岩和岩溶角砾岩;二段下部为中厚层蠕虫状灰岩, 偶夹薄层白云岩,中部为中厚层白云岩或灰质白云 岩,上部为纹层状泥晶灰岩偶夹极薄层钙质泥岩; 三段为薄层泥岩、灰质白云岩、厚层一块状岩溶角 砾岩,局部可见玻屑凝灰岩(图2a,图5). 盛产南 漳-远安动物群的纹层状灰岩位于嘉陵江组二段 顶部.另外,本文在张家湾剖面识别出了3层玻屑凝 灰岩,为将来准确标定南漳一远安动物群时代提供 了年代学依据.课题组曾提及过顶层玻屑凝灰岩中 锆石的 SHRIMP 年龄, 年龄值为 247.8±1.2 Ma(程 龙等, 2015),但是由于后期数据分析存在一定问 题,所以上述年龄值可能存在较大误差(与万俞生 研究员讨论). 课题组拟对上述剖面中所有玻屑凝 灰岩层采用更高精度的年代地层学研究,以期确定 该动物群的时代.故此,目前只能推测该动物群的

表1 南漳-远安地区嘉陵江组地层划分对比表

 Table 1
 Stratigraphic division and comparison of the Jialingjiang Formation in the Nanzhang and Yuan'an areas

鄂西地区					南漳一远安地区									
赵金科等(1962)		张振来等(2002)			程龙等(2015)			陈粲等(2016)			本文			
嘉陵江组	四段	嘉陵江组	T 1	TTT FA	嘉陵江组	T ₂	四段	巴东组	T ₂	一段	嘉陵江组	T ₂	三段	上部
				四权										下部
	三段			三段		T ₁	三段	嘉陵江组	T ₁	三段		T ₁	二段	上部
	二段			FA			- FA			- FA				中部
				一技			_技			_技				下部
	一段			一段			一段			一段			一段	

时代为早三叠世晚期(表1).

2 南漳一远安动物群垂向分布特征

研究南漳一远安动物群的垂向分布特征,首先 需阐明赋存地层岩性在垂向上的总体岩性特征.本 文仍以远安河口张家湾剖面作为研究对象,经统计 表明,南漳一远安动物群赋存地层的主要岩性以纹 层状泥晶灰岩占绝对主导的地位,占动物群赋存层 位的地层总厚度的80%;其次是薄层或中层纹层不 发育的泥晶灰岩,约占赋存地层总厚度的20%,再 次是玻屑凝灰岩、泥岩和黑色页岩层,所占比例不 到地层总厚度的1%(图2b).

通过上述剖面测量和化石发掘,笔者发现在这 套30余米厚的岩层除了数层玻屑凝灰岩外,几乎均 产出海生爬行动物化石,但是至今尚未发现其他类 型动物化石,比如鱼类或瓣鳃类.仅在78层中发现 少量遗迹化石,曾被推断可能属于节肢动物留下的 痕迹(Cheng et al., 2019). 海生爬行动物化石在6~ 7层、16~17层、24~26层、32层、34~38层、48~51 层和81~89层较为丰富,而且除了骨骼碎片外,时 有完整化石出现,尤其是34层和81~89层产出的完 整海生爬行动物最多(图 2b,图 3). 根据对所有采 集的化石标本观察,笔者发现湖北鳄类化石在所有 化石层中均有出现,这说明湖北鳄类贯穿了动物群 的始末.迄今为止,始鳍龙类仅在6~7层、48~51 层和 81~89 层中发现,说明了始鳍龙类相对湖北 鳄类丰度较低,同时暗示了该类动物可能与湖北鳄 类长期共生.南漳一远安动物群中的鱼龙类极少, 迄今为止仅报道了张家湾巢湖龙一个属种.从现 有的化石材料发现南漳一远安动物群中的鱼龙类 在25层之上才开始产出,暗示了鱼龙类出现的起 始时间可能在湖北鳄类和始鳍龙类之后.

化石集中赋存岩层的结构和构造特征可以概





括为:纹层发育到极发育、极薄层到薄层、灰岩层 面多发育沥青质薄膜或者黑色页岩层、岩层层面 略起伏(局部层位可见典型的皱纹构造)4个特 征.值得注意的是此次研究发现动物群主要赋存 层位的灰岩顶面存在大量的沥青质薄膜层,而完 整的动物群化石多发现于这些沥青质薄膜之下, 这些薄膜多在0.05 mm左右,风化后为灰黄色、褐 黄色,暴露地表之后极易被剥蚀,故此前报道中一 直未有关于该动物群赋存层位沥青质薄膜的相应 介绍,而在局部层位(第33、58和59层)笔者发现 某些沥青质薄膜实为极薄层的有机质黑色页岩 层,但经过压实和成岩作用中后,原本很薄的有机 质页岩层最终以沥青质薄膜的形态保存(图4).

3 南漳一远安动物群横向展布特征

相对于同属于早三叠世的巢湖龙动物群,南 漳一远安动物群中海生爬行动物具有更高的分异 度,但是后者仅局限分布在湖北省南漳和远安交界 地区,这可能与独特的地层分布有密切关系.通过 剖面测量发现,在南漳肖堰大石板剖面中,嘉陵江 组二段的蠕虫状灰岩与三段的岩溶角砾岩直接接 触,既无南漳一远安动物群赋存层位,又无与张家 湾一带对应的三段底部的玻屑凝灰岩一泥岩一泥 灰岩一白云岩组合(图5,图6a).这说明大石板一 带应该是南漳一远安动物群的北东边界.在大石板 剖面南南西方向约4.3 km的西流坪剖面中,嘉陵江 组二段蠕虫状灰岩之上已经出现产南漳一远安动 物群的纹层状灰岩,但是与三段的岩溶角砾岩直接



图 3 张家湾剖面中部分海生爬行动物化石

Fig. 3 Some marine reptile fossils from the Zhangjiawan section of Yuan'an County

a. 第6层的鳍龙类(?);b. 第30层的扇桨龙(未定种);c. 第33-2层的湖北鳄类;d. 第34层的鱼龙类;e. 第51层的南漳湖北鳄;f. 第87层的卡洛 董氏扇桨龙



图4 南漳一远安动物群化石常见的赋存状态

Fig. 4 Main occurrence states of marine reptile fossils of Nanzhang-Yuan'an fauna in the Nanzhang and Yuan'an area a. 压实作用前灰岩与极薄层黑色有机质页岩韵律互层示意图;b. 成岩后薄层灰岩夹沥青质薄膜;c. 33层中薄层纹层状灰岩层面的沥青质薄膜;d. 81层中湖北鳄化石表层的沥青质薄膜(白色箭头所示)

接触,三段底部的玻屑凝灰岩-泥岩-泥灰岩-白 云岩岩性组合仍未出现(图5,图6b).南漳板桥古 井剖面、巡检松树沟剖面和白鹤船剖面的嘉陵江组 二段和三段的沉积序列已经较为完整,南漳-远安 动物群层位之上出现了三段底部的玻屑凝灰岩-泥岩-泥灰岩-白云岩组合(图5,图6c).笔者所 在的团队在该区域发掘出近30件完整的海生爬 行动物化石及大量骨骼碎片,均在修理和研究过 程中.沿巡检胎坪-远安张家湾-远安鹰子山- 带,不仅南漳一远安动物群赋存层位厚度达到最大,而且上部三段底部的玻屑凝灰岩一泥岩一泥 灰岩也达到最大厚度(图2,图5,图6d).笔者所 在的团队在该区域发掘出40余件完整海生爬行 动物化石,其中包括近年来已经发表的属种.

根据南漳一远安动物群相关地层发育特征及 化石产出情况,本文将动物群的横向分布特征自南 东向北西划分为A、B、C和D4个化石分布区(图 7a).其中A区为绝缘区,即动物群化石空白区,沿



图 5 南漳和远安交界地区嘉陵江组地层划分对比 Fig 5 Stratigraphic correlation of the Jialingjiang Formation between Nanzhang and Yuan'an County

南漳肖堰大石板-东巩双坪-荆门八里长沟-线 分布.B区为边缘区,即已出现海生爬行动物化石 碎片,但尚未发现完整的动物群化石,沿南漳庙 冲-西流坪-线分布.C区为相对富集区,该区主 要集中于南漳古井、巡检镇和远安河口乡交界地 区,已经发掘出近30件完整化石及大量骨骼碎片. D区为富集区,代表了南漳-远安动物群目前已知 动物群在早三叠世晚期海水中生活水深最深的区 域,沿南漳巡检马家沟-远安张家湾-远安鹰子山 -带展布,已经在多层发现大量海生爬行动物化石. 南漳-远安动物群赋存层位的分布特征,显示 了该地区海水自北东向南西水体逐渐加深,但是总体仍属于浅海环境.笔者认为南漳一远安一带早三叠世晚期沉积环境可以与阿尔卑斯山中三叠世拉丁期晚期*Kalkschiefer* Zone带类比,可能属于水体循环受限的台内洼地或潟湖等环境(Furrer, 1995; Bionda, 1996)(图7b).产南漳一远安动物群的纹层状灰岩可能是由于季风气候条件下季节变化而成(Furrer, 1995; Bionda, 1996; Quijada *et al.*, 2013),相对浅色岩层可能代表了表层水处于低水位线和高盐度干旱条件下形成的,而暗色沥青质薄膜或页岩层则可能是表层水处于高水位线低盐度



图6 南漳和远安交界地区嘉陵江组二段和三段接触关系

Fig. 6 Contact relationship between member II and III of Jialingjiang Formation at typical stratigraphic sections of Nanzhang-Yuan'an fauna in Nanzhang and Yuan'an areas of western Hubei

a. 肖堰大石板剖面;b. 肖堰西流坪剖面;c. 巡检白鹤船剖面;d. 远安张家湾剖面

下微生物席的发育而形成的(Furrer, 1995; Hu et al., 2010;程龙等, 2015; Catto et al., 2016).该类 沉积环境在雨季淡水注入时,会造成地表水的高生 产力和稳定的水体密度分层,而分层会导致底部水体缺氧及随之而来的在水柱氧化还原界面形成浮 游的细菌等微生物席,从而最终导致有机质的富集 (Furrer, 1995; Bionda, 1996),形成沥青质薄膜(图4)和皱纹构造等现象,而这样的环境利于南漳一远 安动物群海生爬行动物化石的保存(Furrer, 1995; Bionda, 1996; Catto et al., 2016).

4 结论

目前笔者已在鄂西南漳一远安一带发现18个 南漳一远安动物群化石点,测制了9条具有代表性 动物群赋存层位地层剖面.其中以远安张家湾剖面 出露最为良好,可最大限度保证剖面描述的准确性 和沉积现象记录的完整性.据此,南漳一远安动物 群的地层分布特征主要可概括为以下几点: (1)鄂西南漳和远安交界地区下三叠统嘉陵江 组三分为最优方案,而南漳一远安动物群的赋存层 位为嘉陵江组第二段上部,岩性以纹层状泥晶灰岩 为主,纹层不发育的泥晶灰岩次之.张家湾剖面中 纹层状灰岩间夹的3层玻屑凝灰岩可作为确定南 漳一远安动物群时代和演化时序的时间标尺.

(2)产南漳一远安动物群的灰岩段约30m厚, 自下而上几乎均产出湖北鳄类和始鳍龙类化石,而 鱼龙类首现的层位高于前者.另外,各层海生爬行 动物化石的丰度和分异度存在较大差异.自下而 上,化石相对富集层可分为7组,其中顶部81~90层 含化石最为丰富.化石多数发现于纹层发育到纹层 极发育、极薄层到薄层、灰岩层面多发育沥青质薄 膜或者黑色页岩层且岩层层面略起伏的纹层状灰 岩之中,暗示了缺氧的环境和氧化还原界面微生物 席的发育可能是化石完整保存的主要因素.

(3)南漳一远安动物群赋存层位的横向展布及 化石产出特征显示了南漳和远安交界地区水深沿 北东一南西向逐渐加深过程.基于南漳一远安一带



图7 南漳一远安动物群横向分布(a)和古地理简图(b)

Fig. 7 Horizontal distribution of the Nanzhang-Yuan'an Fauna (a) and simplified paleogeographic map in the Nanzhang-Yuan'an fauna period (b)

大量化石点和嘉陵江组典型地质剖面的出露,可将 南漳一远安动物群在横向上分布划分为A、B、C和 D4个化石区.其中A区为绝缘区,即动物群化石空 白区;B区为边缘区,即已发现海生爬行动物群化石 碎片,但尚未发现完整的动物群化石;C区为相对富 集区,产出完整海生爬行动物化石;D区为富集区, 代表了南漳一远安动物群水深最深且化石最丰富 的区域.南漳一远安动物群沉积环境可能为水体循 环受限的台内洼地或潟湖环境.

(4)查明早三叠世以早期海生爬行动物为主的 南漳一远安动物群的垂向和横向展布特征,不仅为 研究动物群内部生物与环境演化过程提供了依据, 进而为进一步认识三叠纪海生爬行动物起源与演 化及其对早三叠世生物复苏的响应奠定了基础.后 续大量研究工作亟待开展.

致谢:武汉地质调查中心李志宏副研究员在 区域地质调查和剖面测量过程中给予悉心指导, 北京离子探针中心万俞生研究员在年代地层学方 面提供宝贵建议,在此表示衷心的感谢!同时对 匿名审稿人表示感谢!

References

Bionda, D., 1996. Stable Isotope Geochernistry of the Mid-

- Carroll, R.L., Dong, Z.M., 1991. Hupehsuchus, an Enigmatic Aquatic Reptile from the Triassic of China, and the Problem of Establishing Relationships. *Philosophical Transactions Biological Sciences*, 331(1260): 131-153. https://doi.org/10.1098/rstb.1991.0004
- Catto, B., Jahnert, R. J., Warren, L. V., et al., 2016. The Microbial Nature of Laminated Limestones: Lessons from the Upper Aptian, Araripe Basin, Brazil. Sedimentary Geology, 341: 304-315. https://doi.org/10.1016/ j.sedgeo.2016.05.007
- Chen, C., Chen, X.H., Cheng, L., 2016. Nanzhang-Yuan' an Fauna, Hubei Province and Its significance for Biotic Recovery. Acta Geological Sinica, 90(3): 409-420 (in Chinese with English abstract).
- Chen, X. H., Sander, P. M., Cheng, L., et al., 2013. A New Triassic Primitive Ichthyosaur from Yuanan, South China. Acta Geologica Sinica-English Edition, 87(3): 672-677. https://doi.org/10.1111/1755-6724.12078
- Chen, X. H., Motani, R., Cheng, L., et al., 2014a. A Small Short-Necked Hupehsuchian from the Lower Triassic of Hubei Province, China. PLoS ONE, 9(12): e115244. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115244
- Chen, X. H., Motani, R., Cheng, L., et al., 2014b. A Carapace -Like Bony 'Body Tube' in an Early Triassic Marine Reptile and the Onset of Marine Tetrapod Predation. *PLoS ONE*, 9(4): e94396. https://doi.org/10.1371/journal. pone.0094396
- Chen, X. H., Motani, R., Cheng, L., et al., 2014c. The Enigmatic Marine Reptile Nanchangosaurus from the Lower Triassic of Hubei, China and the Phylogenetic Affinities of Hupehsuchia. *PLoS ONE*, 9(7): e102361. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102361
- 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).
- 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): 1–11. https://doi.org/10.1038/s41598-018-37754-6
- Fu, W. L., Jiang, D. Y., Montañez, I. P., et al., 2016. Eccentricity and Obliquity Paced Carbon Cycling in the Early Triassic and Implications for Post-Extinction Ecosystem Recovery. *Scientific Reports*, 6(1): 27793. https://

doi.org/10.1038/srep27793

- Furrer, H., 1995. The Kalkschieferzone (Upper Meride Limestone; Ladinian) near Meride (Canton Ticino, Southern Switzerland) and the Evolution of a Middle Triassic Intraplatform Basin. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 88(3): 827-852. http://doi.org/10.5169/seals-167706
- Hu, S. X., Zhang, Q. Y., Chen, Z. Q., et al., 2010. The Luoping Biota: Exceptional Preservation, and New Evidence on the Triassic Recovery from End-Permian Mass Extinction. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 278(1716): 2274-2282. https://doi.org/ 10.1098/rspb.2010.2235
- Jiang, D. Y., Motani, R., Hao, W. C., et al., 2009. Biodiversity and Sequence of the Middle Triassic Panxian Marine Reptile Fauna, Guizhou Province, China. Acta Geologica Sinica-English Edition, 83(3): 451-459. https:// doi.org/10.1111/j.1755-6724.2009.00047.x
- Li, J., Liu, J., Li, C., et al., 2002. The Horizon and Age of the Marine Reptiles from Hubei Province, China. *Vertebrata Pal Asiatica*, 40: 241-244 (in Chinese with English abstract).
- Lu, H., Jiang, D. Y., Motani, R., et al., 2017. Middle Triassic Xingyi Fauna: Showing Turnover of Marine Reptiles from Coastal to Oceanic Environments. *Palaeoworld*, 27(1): 107-116. https://doi.org/10.1016/j.palwor.2017.05.005
- Motani, R., Chen, X. H., Jiang, D. Y., et al., 2015. Lunge Feeding in Early Marine Reptiles and Fast Evolution of Marine Tetrapod Feeding Guilds. *Scientific Reports*, 5 (1): 8900. https://doi.org/10.1038/srep08900
- Quijada, I. E., Suarez-Gonzalez, P., Benito, M. I., et al., 2013. Depositional Depth of Laminated Carbonate Deposits: Insights from the Lower Cretaceous Valdeprado Formation (Cameros Basin, Northern Spain). Journal of Sedimentary Research, 83(3): 241-257. https://doi. org/10.2110/jsr.2013.23
- Rieppel, O., 1998. The Systematic Status of Hanosaurus Hupehensis(Reptilia, Sauropterygia) from the Triassic of China. Journal of Vertebrate Paleontology, 18(3): 545-557. https://doi.org/10.1080/02724634.1998.10011082
- Song, H.Y., Tong, J.N., Du, Y., et al., 2018. Large Perturbed Marine Carbon-Nitrogen-Sulfur Isotopes during Early Triassic. *Earth Science*, 43(11): 122-131 (in Chinese with English abstract)
- Wang, K.M., 1959. Ueber eine neue fossile Reptiliform von Provinz Hupeh, China. Acta Palaeontol Sinica, 7(5): 367-373 (in Chinese).
- Wang, X.F., Chen, X.H., Cheng, L., et al., 2009. Sedi-

mentary and Palaeoecological Environments of the Guanling and Related Biotas. *Acta Palaeontologica Sinica*, 48(3):509-526 (in Chinese with English abstract).

- Wu, X. C., Li, Z., Zhou, B. C., et al., 2003. A Polydactylous Amniote from the Triassic Period. *Nature*, 426 (6966): 516-516. https://doi.org/10.1038/426516a
- Yin, H.F., Yu, J.X., Luo, G.M., et al., 2018. Biotic In fluence on the Formation of Icehouse Climates in Geologic History. *Earth Science*, 43(11): 9-22 (in Chinese with English abstract).
- Young, C.C., 1965. On the new Nothosaurs from Hupeh and Kweichou, China. Vertebrata Pal Asiatica, 9 (4) : 315-335 (in Chinese with English abstract).
- Young, C.C., Dong, Z.M., 1972. Aquatic Reptiles from the Triassic of China. Academia Sinica, Institute of Vertebrate Paleontology and Palaeoanthropology. Science Press, Beijing, 17-27 (in Chinese).
- Zhang, Z. L., Xu, G. H., Niu, Z. J., 2002. Triassic. In: Wang, X.F., Chen, X.H., Zhang, R.J., eds. Protection of Precious Geological Heritage, Multiple Stratigraphic Division and Sea-Level Fluctuation from Archean to Mesozoic in the Three Gorges Area. Geological Publishing House, Beijing, 229-288(in Chinese).
- Zhao, J.K., Chen, Z.C., Liang, X.L., 1962. Triassic in China. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Zhao, X. M., Tong, J. N., Yao, H. Z., et al., 2008. Anachronistic Facies in the Lower Triassic of South China and their Implications to the Ecosystems during the Recovery Time. Science in China Series D: Earth

Sciences, 51(11): 1646-1657. https://doi.org/10.1007/ s11430-008-0128-y

附中文参考文献

- 陈粲, 陈孝红, 程龙, 等, 2016. 湖北南漳一远安动物群及其 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.
- 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.
- 宋虎跃, 童金南, 杜勇, 等., 2018. 早三叠世海洋异常的 碳-氮-硫同位素记录. 地球科学, 43(11): 122-131.
- 王恭睦,1959.中国湖北一新爬行类.古生物学报,7(5): 367-373.
- 汪啸风,陈孝红,程龙,等,2009.关岭及相关生物群沉积与 生态环境的探讨.古生物学报,48(3):509-526.
- 杨钟健,1965.中国湖北、贵州的幻龙.古脊椎动物与古人 类,9(4):315-335.
- 杨钟健,董枝明,1972.中国三叠纪水生爬行动物.中国科学 院古脊椎动物与古人类研究所甲种专刊第9号.北京: 科学出版社,17-27.
- 殷鸿福,喻建新,罗根明,等,2018.地史时期生物对冰室气 候形成的作用.地球科学,43(11):9-22.
- 张振来,徐光洪,牛志军,等,2002. 三叠系.见:汪啸风,陈孝 红,张仁杰,等.长江三峡地区珍贵地质遗迹保护和太 古宙一中生代多重地层划分与海平面升降变化.北京: 地质出版社,229-288.
- 赵金科,陈震楚,梁希洛,1962.中国的三叠系 //全国地层 会议学术报告汇编.北京:科学出版社.