

doi:10.3799/dqkx.2016.050

# 贵州福泉牛蹄塘组蠕虫状化石组合的发现

庞艳春<sup>1</sup>, 林丽<sup>1</sup>, 徐可<sup>2</sup>, 薛园<sup>1</sup>, 郑世雯<sup>3</sup>, 隗延章<sup>1</sup>

1. 成都理工大学沉积地质研究院, 四川成都 610059

2. 爱丁堡大学地球科学学院, 英国爱丁堡 EH93JW

3. 中国海洋大学海洋地球科学学院, 山东青岛 266100

**摘要:** 贵州省福泉桅杆坪地区寒武系底部牛蹄塘组黑色页岩中以炭质印模的形式保存有大量宏观后生动物化石。化石微细特征保存较差, 多属于疑难化石。该化石组合以化石个体较大的蠕虫状化石和疑似杆壁虫类化石为优势分子, 还常见管状类化石、遗迹化石, 以及少量的软舌螺、海绵骨针等化石碎片。该化石组合紧位于镍钼多金属层之上, 与遵义等地区的松林生物群(牛蹄塘组下生物群)的层位相当, 化石组成基本一致, 但优势生物存在明显差异。福泉地区牛蹄塘组蠕虫状化石组合的发现, 丰富了寒武系牛蹄塘组的生物群面貌, 为研究早期后生动物演化提供了新资料和新信息。对该化石组合的进一步研究, 也必将为这种特殊生物群的古环境恢复和埋藏学研究提供有利的古生物学证据。

**关键词:** 寒武系底部; 牛蹄塘组; 镍钼多金属层; 蠕虫状化石组合; 地层学; 古生物学。

**中图分类号:** P641

**文章编号:** 1000-2383(2016)04-0612-07

**收稿日期:** 2015-05-29

## Worm-Like Fossil Assemblage from Niutitang Formation of Fuquan County, Guizhou Province

Pang Yanchun<sup>1</sup>, Lin Li<sup>1</sup>, Xu Ke<sup>2</sup>, Xue Yuan<sup>1</sup>, Zheng Shiwen<sup>3</sup>, Kui Yanzhang<sup>1</sup>

1. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

2. School of Geosciences, The University of Edinburgh, Edinburgh EH93JW, The United Kingdom

3. College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

**Abstract:** A large number of macrofossils were preserved in-situ as carbonaceous compressions in black shales of the Lower Cambrian Niutitang Formation in Weiganping area of Fuquan, Guizhou Province. The microstructure characters of these fossils are not clear. It is difficult to catalogue most fossils, which belong to some problematic fossils. The fossil assemblages mainly include worm-like fossils, rhabdopleurid-like fossils, tubular fossils and trace fossils, and a small amount of other fossils such as hyoliths, sponge spicules etc. The worm-like fossil assemblages are dominated by worm-like fossils and rhabdopleurid-like fossils, whose size is large. The fossil-bearing bed is located proximately on the nickel-molybdenum multi-metals layer. The worm-like fossil assemblage from the Niutitang Formation in Fuquan is equivalent to that of Zunyi biotas (lower biota of the Niutitang Formation), but different in predominant groups. The discovery of the worm-like fossil assemblage in Fuquan enriches the Cambrian Niutitang biota, and provides new information and materials for the study of evolution of early metazoans. Further studies of the worm-like fossil assemblage will surely provide more favorable evidences of paleontology for the ancient environment recovery and taphonomy research.

**Key words:** Lower Cambrian; Niutitang Formation; nickel-molybdenum metal layer; worm-like fossil assemblage; stratigraphy; paleobiology.

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(No.41173058); 四川省教育厅青年基金项目(No.2011-532); 成都理工大学中青年教师骨干培养计划项目(No.JXGG201214)。

**作者简介:** 庞艳春(1976-), 女, 博士, 主要从事古生物学和地层学的教学与科研工作。E-mail: pangyanchun06@cdu.cn

**引用格式:** 庞艳春, 林丽, 徐可, 等, 2016. 贵州福泉牛蹄塘组蠕虫状化石组合的发现. 地球科学, 41(4): 612-618.

早期后生生物的研究已成为当今古生物学研究的热门课题。布尔吉斯页岩生物群是后生物群的典型代表,最早发现于加拿大的大不列颠哥伦比亚省中寒武纪的细纹层页岩中,主要是由非矿化的软躯体生物化石组成,如节肢动物、海绵动物、腔肠动物、藻类、软舌螺动物等(Briggs *et al.*, 1994)。资料(杨瑞东等,1999,2003;赵元龙等,1999,2006,2008;杨兴莲和赵元龙,2000;彭进等,2004;王平丽等,2005,2013;杨兴莲等,2009,2010;崔滔等,2010)显示,在牛蹄塘组中已发现的生物群类别包括节肢动物、海绵动物、腔肠动物、软舌螺类、蠕形动物、古杯类、半索动物、双壳类及宏观藻类等,整体面貌以海绵类和节肢类动物为主,被认为属于布尔吉斯页岩型生物群(赵元龙等,1999;Steiner *et al.*,2005;Han *et al.*,2008;Zhang *et al.*,2008;段艳红等,2012),其中牛蹄塘组松林生物群被认为是世界上最早的布尔吉斯页岩型生物群,对于研究早期后生动物的演

化具有重要意义(赵元龙等,1999)。

2007年8月,笔者考察贵州福泉地区寒武系底部牛蹄塘组的多金属层时(庞艳春等,2011),在寒武系底部牛蹄塘组的黑色页岩中发现了管状化石。2013年10月,笔者等再次来到贵州福泉桅杆坪地区进行短期采集,在牛蹄塘组多金属层之上采集到了大量蠕虫状化石和疑似杆壁虫类化石,与以往报道中的以海绵生物化石和大型节肢动物化石为主的牛蹄塘组生物群化石组合面貌不同,本文将福泉桅杆坪地区牛蹄塘组中所发现的以蠕虫状化石和疑似杆壁虫化石为特征的组合称之为蠕虫状化石组合,该化石组合以炭质印模的方式保存在黑色炭质页岩中,具有典型的布尔吉斯页岩型生物群埋藏特征。

### 1 化石层位

蠕虫状化石组合产于贵州福泉市高坪镇桅杆坪

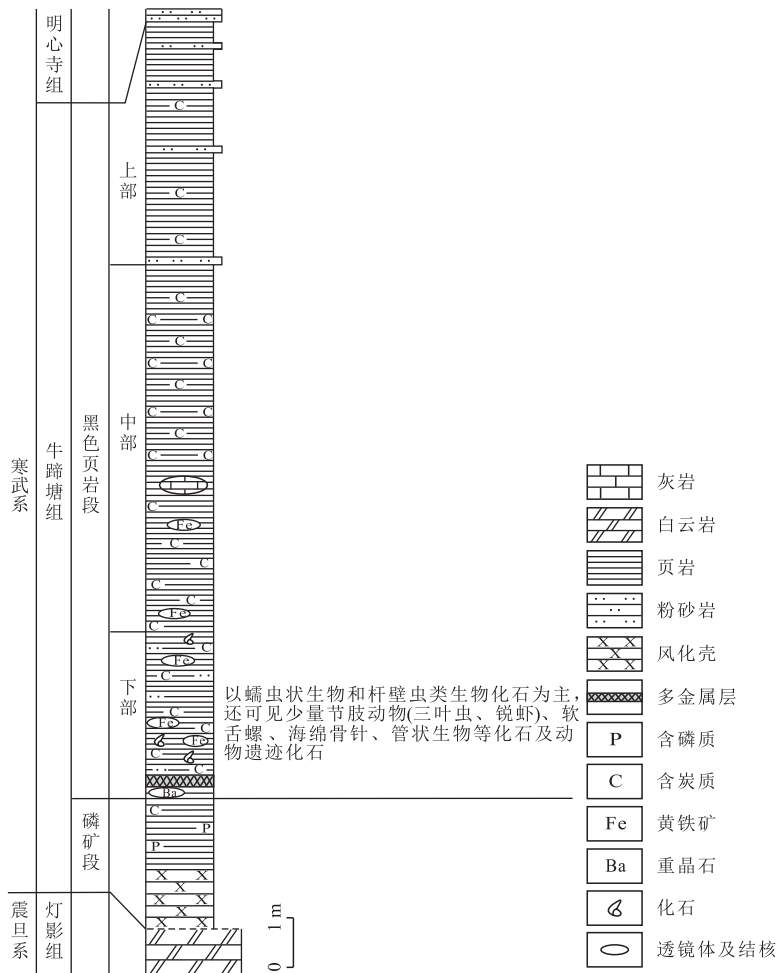


图 1 福泉山屯剖面牛蹄塘组柱状图

Fig.1 Lithological column of the Niutitang Formation in Shantun section, Fuquan County

村山屯剖面的寒武系底部牛蹄塘组中.研究区牛蹄塘组以黑色极薄层炭质页岩和黑色中薄层含炭粉砂质页岩为主,厚度较薄,约为 19 m.根据剖面岩石特征(图 1)将牛蹄塘组分为磷矿段和黑色页岩段(庞艳春等,2011).

磷矿段主要为黄褐色磷质页岩,底部以黄褐色的风化壳与灯影组的灰白色块状白云岩呈平行不整合接触关系.在邻区的磷矿段中,还可见灰黑色具明显角砾状或碎屑状结构的砂砾屑磷块岩,含磷质小结核,显微镜下可见微小的磷质化石碎屑和硅质海绵骨针.研究区内的磷矿段特征和层位与区域上的戈仲伍组可以进行对比.鉴于其厚度(0~2.27 m)在区内分布不稳定,未划分到组,直接将其归入牛蹄塘组底部.

黑色页岩段以黑色页岩为主,局部碳质较高,具水平层理和泥质结构,可见完整的管状化石和少量海绵化石碎片,与上覆明心寺组灰绿色至灰黑色薄层粉砂岩、页岩整合接触,岩性特征呈渐变关系.根据化石产出情况,由下往上可将牛蹄塘组分为下部、中部和上部 3 个部分:下部为含有镍、钼多金属矿层的黑色中薄层含炭粉砂质页岩为主,夹黑色极薄层炭质页岩,发育纹层状或结核状的黄铁矿,还可见重晶石透镜体或结核;中部为黑色极薄层至薄层炭质页岩,岩石较碎裂,局部夹褐铁矿化透镜体和灰岩透镜体;上部以黑色薄层炭质页岩为主,夹灰色钙质粉砂质页岩或泥质粉砂岩.赵元龙和黄友庄(1981)曾在福泉地区的牛蹄塘组黑色页岩下部层位发现软舌螺、原始海绵骨针和三叶虫化石(*Mianxiandiscus* sp.),中上部可见有疑问的三叶虫(*Tsunyidiscus? yanjiazhaiensis*).

通过仔细挖掘,笔者在福泉牛蹄塘组黑色页岩段下部的含炭粉砂质页岩(厚度为 0.86 m)中发现大量的蠕虫状和管状炭质印模化石集中产出,而在其他层位中则较少.另外,该蠕虫状化石组合层位紧位于牛蹄塘组镍、钼多金属层之上,这与遵义及湘西北等地区的化石产出层位也是一致的.

## 2 主要化石类型

福泉桅杆坪牛蹄塘组蠕虫状化石组合的保存密度较大,常见各种管状疑难化石以压扁的炭质印模的方式重叠堆积在黑色页岩的层面上,化石的内部构造及外部纹饰保存较差,给化石鉴定带来难度.经过仔细的化石鉴定和研究,福泉桅杆坪牛蹄塘组蠕虫状化石组合包括蠕虫状生物化石、疑似杆壁虫类

化石、管状类生物化石及遗迹化石等,还有少量软舌螺类、海绵类等化石碎片.

### 2.1 蠕虫状化石

蠕虫状生物化石为福泉桅杆坪牛蹄塘组蠕虫状化石组合的优势分子之一.该类生物化石多数形态完整,呈蠕虫状,有时可见纹饰,为软躯体印痕化石.与澄江动物群(罗惠麟等,1999)、关山生物群(Hu *et al.*, 2010;胡世学等,2013)和凯里生物群(赵元龙,2011)中的蠕虫类生物形态相似.但该类化石多数缺失蠕虫动物所具有的吻部等重要构造或吻部的微细构造不清楚,暂时不能归类.按照其保存的形态可大致分为 3 类(图 2):钩型蠕虫状化石、棒型蠕虫状化石和 U 型蠕虫状化石.

钩型蠕虫状化石(图 3),单体,不分枝.虫体印痕呈压扁的钩型蠕虫状(图 2a).虫体较大,体长约为 60 mm,虫体宽度(或直径)最大约为 8 mm.虫体始端稍窄,躯干较粗.躯干发育细密的横环和环脊,每 1 cm 内有 20 多个横环.吻发育,吻颈较长,约为 5 mm,但吻部的微细构造不清楚.除了吻部与躯干衔接部位具收缩现象,躯干主体也存在收缩现象,整个虫体形态呈藕状分节.

棒型蠕虫状化石(图 3b~3d),单体,不分枝.虫体印痕呈棒型蠕虫状(图 2b).虫体相对较小,体长约为 25 mm,最宽(或直径)为 3 mm.始端略细,有时可见圆形的构造,末端则略收缩向后尖出.虫体躯干整体粗细均匀,局部略有收缩.隐约可见其横向纹饰发育.虫体整体形态与蠕虫 *Corynetis* (胡世学等,2013)相似,但未见翻吻、吻突等构造.

U 型蠕虫状化石(图 3c),单体,不分枝.虫体印痕呈压扁的“U”字形弯曲(图 2c).虫体较大,体长为 50~

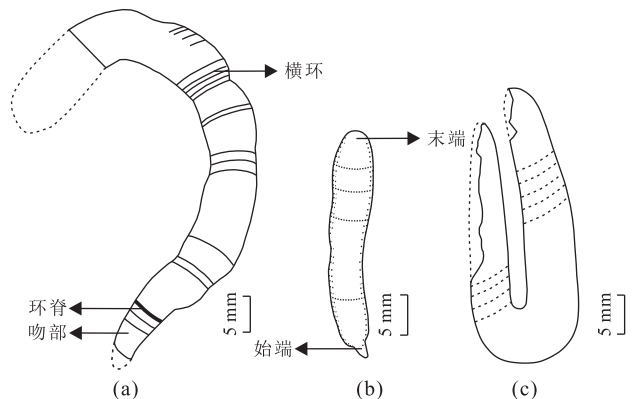


图 2 蠕虫状化石素描

Fig.2 The drawings of the worm-like fossils  
a.钩型;b.棒型;c.U 型

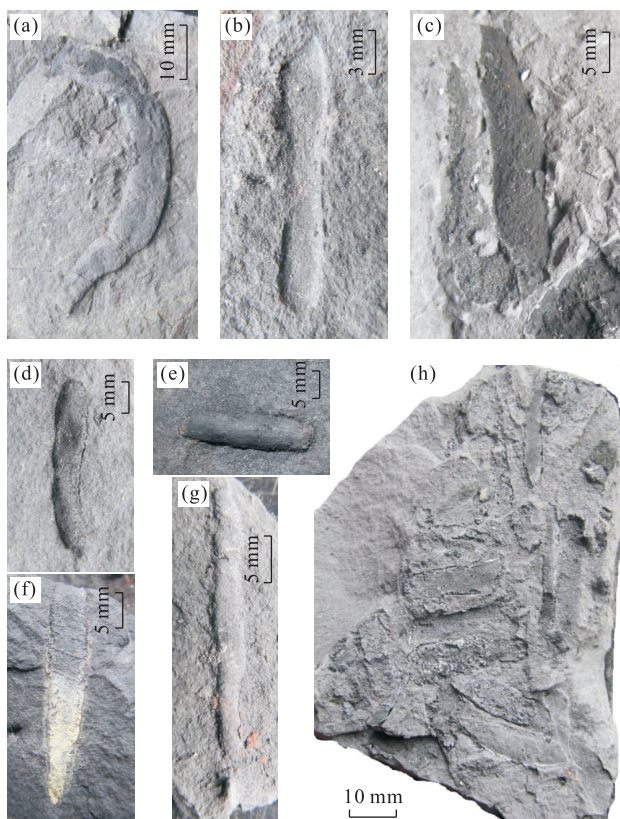


图3 贵州省福泉县高坪镇桅杆坪牛蹄塘组化石标本  
Fig.3 The fossils collected from Niutitang Formation in Weiganping, in Gaoping town of Fuquan County, Guizhou province

a.钩型蠕虫状生物化石.野外采集号:fpmg01-06-1;b,d.棒形蠕虫状生物化石.野外采集号:fpmg01-08-2,fpmg01-06-4;c.U型蠕虫状生物化石.野外采集号:fpmg01-06-2;e.可能的粪便化石.野外采集号:fpmg01-06-12;f.锥管状生物化石.野外采集号:fpmg01-06-5;g.管状遗迹化石.野外采集号:fpmg01-08-1;h.可能的杆壁虫类化石.野外采集号:fpmg01-06-7;图中所刊登的化石保存在成都理工大学沉积地质研究院古生物地史学实验室

66 mm,体宽(或直径)为4~6 mm.长宽比约为10.虫体始端和末端略收缩,虫体躯干的收缩现象不明显.由于化石炭化现象严重,虫体印痕的纹饰不发育

## 2.2 疑似杆壁虫类?

疑似杆壁虫类生物是福泉桅杆坪牛蹄塘组蠕虫状化石组合中的另一个优势分子.该类化石数量较多,化石叠加现象明显,保存较差(图3h).在已有的化石挖掘工作中,均未见完整的化石分枝现象保存.

该化石是由一个细管和数量不定的侧管构成,侧管排列在细管的一侧或两侧(图4).细管与笔石的共通沟或笔石轴构造相似,形态细长,管的直径约为1~2 mm.侧管与笔石的胞管构造相似,管体长度和直径均较大,管长约为21 mm,管的直径约为6 mm.

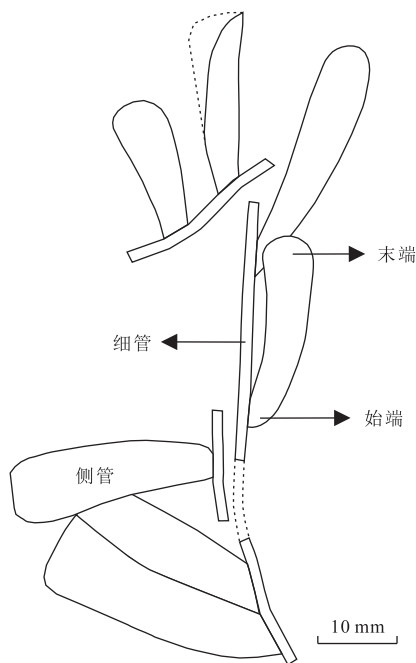


图4 疑似杆壁虫化石素描

Fig.4 The drawings of the rhabdopleurid-like fossils

侧管形态近直管形,部分侧管的始端略窄,向末端略有变宽,在细管和侧管上均未见明显的细微生物构造(包括管的纹饰构造).

## 2.3 管状化石

管状类化石在福泉桅杆坪牛蹄塘组蠕虫状化石组合中也较为常见.

其中一类管状化石(图3f),虫体为锥管状,虫体的一端较细并逐渐收缩呈细尖状.虫体长约为19~58 mm,躯干宽度(或直径)约为6 mm.虫体长宽比值范围约为6.5~10.0.虫管表面具横纹装饰,保存较好的横纹呈脊状,1 cm之内可以看到5个明显的横脊.该化石虽然纹饰清楚,但虫体不完整,并缺乏重要的鉴定特征,所以亦不能鉴定到属种.

## 2.4 管状遗迹化石

在该组合中,还可见到部分管状的遗迹化石,没有任何纹饰和构造,生物形态也不明显(图3e~3g).其中,有一块管状化石标本(图3e),可能属于动物的粪便化石,与关山动物群中的螺旋状延伸的粪便化石极为相似,这类遗迹化石被认为是食沉积物的动物所留,该类型的遗迹化石也常见于澄江生物群中(胡世学等,2013).

## 3 讨论及意义

赵元龙和黄友庄(1981)和舒德干(1986)曾在福

泉桅杆坪、高坪湾子、道坪棉花冲等地牛蹄塘组下部的黑色炭质页岩段中均发现了三叶虫 *Mianxiandiscus* sp., 而在遵义—织金—习水一带和金沙岩孔地区的牛蹄塘组下部(松林生物群层位)也发现了共生的三叶虫 *Mianxiandiscus* (赵元龙等, 1999; 彭进等, 2004; 杨兴莲等, 2009). 该三叶虫带 *Mianxiandiscus* 带也可以与滇东筇竹寺阶下部的 *Parabadiella-Mianxiandiscus* 组合带对比, 并且遵义—织金—习水一带牛蹄塘组的 *Mianxiandiscus* 带距离底界仅数米至 10 m (赵元龙等, 1999). 而福泉桅杆坪牛蹄塘组蠕虫状化石组合产出层位位于 *Mianxiandiscus* 带之下, 时代应属于寒武纪梅树村晚期至筇竹寺早期.

福泉桅杆坪牛蹄塘组蠕虫状化石组合构成与松林生物群化石组成基本一致, 且都包含疑似杆壁虫类化石、软舌螺化石、海绵化石等, 但福泉桅杆坪牛蹄塘组蠕虫状化石组合是以蠕虫状软躯体动物化石和疑似杆壁虫类化石为主, 而松林生物群化石组合以海绵动物化石和大型双瓣壳的节肢动物化石为主. 疑似杆壁虫类化石最早是由赵元龙等(1999)在遵义松林寒武系底部牛蹄塘组下部层位中发现的, 并定名为半索动物门杆壁虫类化石, 其后根据该类化石的锥形侧管只排列在较长细管的一侧而修订为不确定的腔肠动物化石(赵元龙等, 2008). 在福泉牛蹄塘组蠕虫状化石组合中, 疑似杆壁虫类化石数量较多, 成层堆积在黑色页岩的层面上. 由于化石重叠堆积现象严重, 未保存明显的微细构造, 不能提供更多有关其分类位置的重要信息, 对其门类归属暂未定, 存疑地归入杆壁虫类. 对牛蹄塘组疑似杆壁虫类化石的门类归属的确定还有待于完整化石的揭露和进一步研究. 福泉地区牛蹄塘组蠕虫状化石组合的发现不仅丰富了寒武系牛蹄塘组的生物群面貌, 也为研究早期后生动物的演化提供了新材料和新信息.

福泉桅杆坪牛蹄塘组蠕虫状化石组合, 是以炭质薄膜的形式保存在黑色薄层炭质页岩中, 该化石组合的埋藏特征与贵州遵义牛蹄塘组生物群、皖南地区埃迪卡拉系蓝田生物群的埋藏特征一致. 杨瑞东等(2004)通过对贵州遵义牛蹄塘组含化石层中的黑色页岩进行粘土矿物的定量和定性分析研究, 认为可能是海底大量的热液活动, 喷出大量硫化物、二氧化碳等, 使得海水呈现弱酸性, 只有高肌虫、海绵等动物可以生存, 但是高肌虫等虫体降落海底后, 钙质物质被溶蚀, 只剩下有机质被保存, 结果地层中保

存了炭质薄膜状的化石. 朱建明等(2008)和崔滔等(2010)以及邓义楠等(2014)通过对贵州遵义牛蹄塘组下部黑色页岩的化石层组合特征、地球化学特征研究, 认为在整体缺氧的背景下, 牛蹄塘组存在多次充氧事件之后古海洋的滞留环境出现了逐渐减弱的趋势. Yuan *et al.* (2011)在研究蓝田生物群的埋藏特征时, 认为具有这种埋藏特征的生物群, 其生活时期的底层水体至少是阶段性含氧的, 但这种氧化—还原作用历史的恢复还需要在具超高分辨率地层学基础上的地球化学、古生物学和沉积学方面的综合调查研究. 福泉桅杆坪牛蹄塘组剖面出露完整, 化石丰富, 对福泉桅杆坪牛蹄塘组蠕虫状化石组合的进一步研究必将为这种特殊生物群的古环境恢复和埋藏学研究提供更有利的古生物学及岩石地层学方面的证据.

致谢: 在化石鉴定和文章修改过程中得到了贵州大学赵元龙教授和中国地质调查局胡世学研究员的热情指导, 在此表示衷心感谢. 同时, 也非常感谢评审老师对本文所提出的真挚的建议和意见以及编辑老师对本文的细心修改.

## References

- Briggs, D. E. G., Erwin, D. H., Collier, F. J., 1994. The Fossils of the Burgess Shale. Smithsonian Institution Press, Washington and London.
- Cui, T., Yang, X. L., Zhao, Y. L., 2010. Preliminary Taphonomic Analyses of the Early Cambrian Niutitang Biota near Songlin, Zunyi, Guizhou. *Acta Palaeontologica Sinica*, 49 (2): 210–219 (in Chinese with English abstract).
- Deng, Y. N., Guo, Q. J., Zhu, M. Y., et al., 2014. REE Geochemistry of Kerogen from Early Cambrian Black Rock Series in Western Hunan. *Earth Science*, 39 (3): 283–292 (in Chinese with English abstract). doi: 10.3799/dqkx.2014.027
- Duan, Y. H., Han, J., Zhang, Z. F., et al., 2012. Comparative Research on Cambrian Burgess Shale-Type Soft-Bodied Fossil Biotas in South China. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 42 (2): 288–294 (in Chinese with English abstract).
- Han, J., Zhang, Z. F., Liu, J. N., 2008. A Preliminary Note on the Dispersal of the Cambrian Burgess Shale-Type Faunas. *Gondwana Research*, 14 (1–2): 269–276. doi: 10.1016/j.gr.2007.09.001
- Hu, S. X., Zhu, M. Y., Luo, H. L., et al., 2013. The Guanshan Biota. Yunnan Science and Technology Press, Kunming, 76–77, 185 (in Chinese with English abstract).

- Hu, S. X., Zhu, M. Y., Steiner, M., et al., 2010. Biodiversity and Taphonomy of the Early Cambrian Guanshan Biota, Eastern Yunnan. *Science in China (Series D)*, 53 (12): 1765–1773. doi:10.1007/s11430-010-4086-9
- Luo, H. L., Hu, S. X., Chen, L. Z., et al., 1999. Early Cambrian Chengjiang Fauna from Kunming Region, China. Yunnan Science and Technology Press, Kunming, 79–80 (in Chinese with English abstract).
- Pang, Y. C., Lin, L., Zhu, L. D., et al., 2011. Features of Cambrian Niutitang Formation in the Beidoushan Ore District, Weng'an County, Guizhou Province. *Geological Bulletin of China*, 30(8): 1245–1250 (in Chinese with English abstract).
- Peng, J., Yuan, J. L., Zhao, Y. L., et al., 2004. Discovery of Trilobite Genus *Zhenbaspis* from the Lower Cambrian Niutitang Biota at Heishapo, Songlin, Zunyi, Guizhou, China. *Acta Palaeontologica Sinica*, 43(3): 407–415 (in Chinese with English abstract).
- Shu, D. G., 1986. Notes on the Oldest Fossil Bivalves from the Niutitang Formation of Fuquan, Guizhou. *Acta Palaeontologica Sinica*, 25(2): 219–223 (in Chinese with English abstract).
- Steiner, M., Zhu, M. Y., Zhao, Y. L., et al., 2005. Lower Cambrian Burgess Shale-Type Fossil Associations of South China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 220(1–2): 129–152. doi: 10.1016/j.palaeo.2003.06.001
- Wang, P. L., Zhao, Y. L., Li, Z. X., et al., 2013. Features of the Cambrian Niutitang Biota from Changyangou Village, Jinsha County, Guizhou Province. *Geological Bulletin of China*, 32(5): 760–766 (in Chinese with English abstract).
- Wang, P. L., Zhao, Y. L., Yang, X. L., et al., 2005. *Crumillosspongia biporosa* (Sponge) from the Early Cambrian Niutitang Biota in Guizhou Province. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 22(2): 196–201 (in Chinese with English abstract).
- Yang, R. D., Mao, J. R., Zhang, W. H., et al., 2004. Fossil Preservation and Palaeoecological Research in Early Cambrian Black Shale. *Acta Sedimentologica Sinica*, 22(4): 664–671 (in Chinese with English abstract).
- Yang, R. D., Zhang, W. H., Jiang, L. J., et al., 2003. Members of the Chengjiang Biota from the Lower Cambrian Niutitang Formation, Zunyi County, Guizhou Province, China. *Acta Geologica Sinica*, 77(2): 145–151 (in Chinese with English abstract).
- Yang, R. D., Zhao, Y. L., Guo, Q. J., 1999. Algae and Acriths and Their Palaeoceanographic Significance from the Early Cambrian Black Shale in Guizhou, China. *Acta Palaeontologica Sinica*, 38(Suppl.): 145–157 (in Chinese with English abstract).
- Yang, X. L., Zhao, Y. L., 2000. Sponges of the Lower Cambrian Niutitang Formation Biota in Zunyi, Guizhou, China. *Journal of Guizhou University of Technology (Natural Science Edition)*, 29(6): 30–36 (in Chinese with English abstract).
- Yang, X. L., Zhao, Y. L., Zhu, M. Y., et al., 2010. Sponges from the Early Cambrian Niutitang Formation at Danzhai, Guizhou and Their Environmental Background. *Acta Palaeontologica Sinica*, 49(3): 348–359 (in Chinese with English abstract).
- Yang, X. L., Zhu, M. J., Zhu, L. Y., et al., 2009. The Bradoriida of the Niutitang Formation from Traditional Lower Cambrian in Jinsha County, Guizhou Province. *Geological Journal of China Universities*, 15(3): 296–303 (in Chinese with English abstract).
- Yuan, X. L., Chen, Z., Xiao, S. H., et al., 2011. An Early Ediacaran Assemblage of Macroscopic and Morphologically Differentiated Eukaryotes. *Nature*, 470(7334): 390–393. doi:10.1038/nature09810
- Zhang, X. L., Liu, W., Zhao, Y. L., 2008. Cambrian Burgess Shale-Type Lagerstätten in South China: Distribution and Significance. *Gondwana Research*, 14(1–2): 255–262. doi:10.1016/j.gr.2007.06.008
- Zhao, Y. L., 2011. The Kaili Biota—Marine Organisms from 508 Million Years Ago. Guizhou Science and Technology Press, Guiyang, 85–86 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Y. L., Huang, Y. Z., 1981. Early and Middle Cambrian Trilobites from Daoping of Fuquan, Guizhou. *Acta Palaeontologica Sinica*, 20(3): 216–226 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Y. L., Steiner, M., Yang, R. D., et al., 1999. Discovery and Significance of the Early Metazoan Biotas from the Lower Cambrian Niutitang Formation Zunyi, Guizhou, China. *Acta Palaeontologica Sinica*, 38(Suppl.): 132–144 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Y. L., Yang, H., Li, Y., et al., 2008. Exceptionally-Preserved Early Metazoan Biotas of Neoproterozoic-Cambrian in Guizhou and Their Implications; A Brief Introduction. *Acta Palaeontologica Sinica*, 47(4): 405–418 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Y. L., Yang, R. J., Yang, X. L., et al., 2006. Globular Sponge Fossils from the Lower Cambrian in Songlin, Guizhou Province, China. *Geological Journal of China Universities*, 12(1): 106–110 (in Chinese with English abstract).

abstract).

Zhu, J.M., Thomas, M.J., Luo, T.Y., et al., 2008. A Tentative Discussion on the Variation of Selenium Isotopes in Black Shale of Niutitang Formation, Zunyi, Guizhou Province, and Its Implications for Depositional Environment. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 27(4): 361—366 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

崔滔, 杨兴莲, 赵元龙, 2010. 贵州遵义松林寒武纪早期牛蹄塘组生物群埋藏学特征初探. *古生物学报*, 49(2): 210—219.

邓义楠, 郭庆军, 朱茂炎, 等, 2014. 湘西寒武纪早期黑色岩系中干酪根的稀土元素地球化学特征. *地球科学*, 39(3): 283—292.

段艳红, 韩健, 张志飞, 等, 2012. 华南布尔吉斯页岩型软躯体化石生物群对比研究. *西北大学(自然科学版)*, 42(2): 288—294.

胡世学, 朱茂炎, 罗惠麟, 等, 2013. 关山生物群. 昆明: 云南科技出版社, 76—77, 185.

罗惠麟, 胡世学, 陈良忠, 等, 1999. 昆明地区早寒武世澄江动物群. 昆明: 云南科技出版社, 79—80.

庞艳春, 林丽, 朱利东, 等, 2011. 贵州瓮安地区北斗山矿区寒武系牛蹄塘组的特征. *地质通报*, 30(8): 1245—1250.

彭进, 袁金良, 赵元龙, 等, 2004. 贵州遵义松林黑沙坡早寒武世牛蹄塘生物群中镇巴虫的发现. *古生物学报*, 43(3): 407—415.

舒德干, 1986. 贵州福泉牛蹄塘组最古老的双壳类化石. *古生物学报*, 25(2): 219—223.

王平丽, 赵元龙, 李增学, 等, 2013. 贵州金沙长岩沟寒武系牛蹄塘组生物群组成特征. *地质通报*, 32(5): 760—766.

王平丽, 赵元龙, 杨兴莲, 等, 2005. 贵州下寒武统牛蹄塘组生物群中的双孔钱包海绵 *Crumillospongia biporosa*. *微*

*体古生物学报*, 22(2): 196—201.

杨瑞东, 毛家仁, 张位华, 等, 2004. 贵州早寒武世早期黑色页岩中生物化石保存及生态学研究. *沉积学报*, 22(4): 664—671.

杨瑞东, 张卫华, 姜立君, 等, 2003. 澄江生物群分在贵州遵义牛蹄塘组发现. *地质学报*, 77(2): 145—151.

杨瑞东, 赵元龙, 郭庆军, 1999. 贵州早寒武世早期黑色页岩中藻类及其环境意义. *古生物学报*, 38(增刊): 145—157.

杨兴莲, 赵元龙, 2000. 贵州遵义下寒武统牛蹄塘组生物群中的海绵化石. *贵州工业大学学报(自然科学版)*, 29(6): 30—36.

杨兴莲, 赵元龙, 朱茂炎, 等, 2010. 贵州丹寨寒武系牛蹄塘组海绵动物化石及其环境背景. *古生物学报*, 49(3): 348—359.

杨兴莲, 祝明金, 朱露艳, 等, 2009. 贵州金沙下寒武统牛蹄塘组中的高肌虫. *高校地质学报*, 15(3): 296—303.

赵元龙, 2011. 凯里生物群——5.08 亿年前的海洋生物. 贵州: 贵州科技出版社, 85—86.

赵元龙, 黄友庄, 1981. 贵州福泉道坪地区早、中寒武世三叶虫. *古生物学报*, 20(3): 216—226.

赵元龙, Steiner, M., 杨瑞东, 等, 1999. 贵州遵义下寒武统牛蹄塘组早期后生生物群的发现及重要意义. *古生物学报*, 38(增刊): 132—144.

赵元龙, 杨洪, 李勇, 等, 2008. 贵州新元古代到寒武纪早期特异埋藏后生生物群及其研究意义. *古生物学报*, 47(4): 405—418.

赵元龙, 杨荣军, 杨兴莲, 等, 2006. 贵州松林下寒武统牛蹄塘组生物群中的球状海绵化石. *高校地质学报*, 12(1): 106—110.

朱建明, Thomas, M.J., 罗泰义, 等, 2008. 贵州遵义牛蹄塘组黑色岩系的硒同位素变化及其环境指示初探. *岩石矿物学杂志*, 27(4): 361—366.