

# 陕南张家沟剖面寒武纪早期微体化石 *Olivoooides multisulcatus* 的新材料\*

张亚楠<sup>1)</sup> 刘云焕<sup>1,2,3)</sup> \*\* 秦嘉琛<sup>1)</sup> 张 虎<sup>1)</sup> 邵铁全<sup>1,2,3)</sup> 张 婷<sup>1)</sup>

王 凤<sup>1)</sup> 魏荣浩<sup>1)</sup> 罗 磊<sup>1)</sup> 张宏泽<sup>1)</sup> 尹春涛<sup>1)</sup>

1) 长安大学地球科学与资源学院, 西安 710054, stotto@163.com;

2) 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, 南京 210008;

3) 陕西省早期生命与环境重点实验室, 西安 710069

**摘要** 陕南西乡张家沟剖面寒武系下部统宽川铺组发现了大量特异埋藏化石, 这些珍贵化石为三维磷酸盐化精美保存, 在探索早期生命起源与演化方面意义重大, 也是早寒武世前三叶虫时代生物地层对比的重要依据。本文主要对其中一类保存有软躯体的特异埋藏 *Olivoooides multisulcatus* Qian, 1977 进行描记, 该类化石 1977 年曾在陕西宁强宽川铺生物群首次报道, 与本文描记的化石类型相同, 产地不同, 因而具有地层对比意义。根据在西乡生物群发现的新材料, 与 *Olivoooides multisulcatus* 进行特征对比, 对属征及种内变异特征进行了补充。

**关键词** *Olivoooides multisulcatus* 种内变异 特异埋藏 宽川铺组 梅树村期 陕西西乡

## 1 引 言

*Olivoooides* 和 *Punctatus* 只发现于华南寒武纪幸运期的地层中, 最初是作为亲缘关系不明的小壳化石来分开命名的。钱逸在 1977 年首先命名了 *Olivoooides* Qian, 1977, 其模式种是 *Olivoooides multisulcatus* Qian, 1977(钱逸, 1977)。*Punctatus* 最早在四川峨眉麦地坪寒武纪梅树村期地层中由何廷贵等发现并报道, 发现锥体部分碎片上饰有瘤点, 且呈规律性排列, 将其命名为 *Punctatus emeiensis* He in Yin *et al.*, 1980(峨眉瘤点骨片)(殷继成等, 1980)。前人先后对扬子台地寒武纪梅树村期发育的 *Punctatus* 进行了较为深入的研究(华洪等, 2004; Conway Morris and Chen, 1990, 1992; Yue and Bengtson, 1998, 1999; Steiner *et al.*, 2004)。1997 年 *Olivoooides* 首次被解释成为胚胎化石, 且 *Punctatus* 被解释成 *Olivoooides* 的孵化阶段(Bengtson and

Yue, 1997)。刘云焕等人 2006 年在陕南宽川铺组首次发现磷酸盐化的具五辐对称且具口部特征的 *Punctatus*, 故沿用前人 *Punctatus* 属、建立新种 *Punctatus triangulicostalis* Liu *et al.*, 2006。通过对其胚胎化石、个体形态和演化序列、个体发育模式的深入研究(李朋等, 2007; 刘云焕等, 2006b, c, 2007, 2009), 建立了从单细胞到 *Punctatus* 幼体的完整序列(李勇等, 2012), 且对其分类和亲缘关系进行讨论(刘云焕等, 2006a; 韩健等, 2014)。本文作者于 2016 年在陕西省西乡县张家沟剖面上发现了多枚 *Punctatus*, 经研究将其归属为 *Punctatus triangulicostalis*。

由于 Steiner 等在 2014 年严格厘定了 *Olivoooides* 和 *Quadrapiyrgites* 的分类学问题, 指出 *Punctatus* 和 *Pyrgites* 为 *Olivoooides* 的晚出同义名(李中平, 1984; 邢裕盛、岳昭, 1984), 故 *Punctatus triangulicostalis* Liu *et al.*, 2006 应为 *Olivoooides multisulcatus* Qian, 1977 孵化后的成体(Steiner *et*

收稿日期: 2017-08-07

\* 国家自然科学基金(No. 41572009), 中国科学院南京地质古生物研究所现代古生物学和地层学国家重点实验室(No. 173121), 大学生创新训练项目(201710710062, 201710710063, 201710710240), 质量工程项目(0012-310600161000, 0012-310627171808)和长安大学第十届“挑战杯”大学生课外学术科技作品(C-P-B-2, C-P-B-6, C-P-B-8)联合资助。

\*\* 通讯作者。

al., 2014)。由于新产地的化石与刘云焕等人命名地点宽川铺的化石相比出现一些新的种内变异特征,因此本文对其进行属征及种内变异补充,以丰富我们对寒武纪大爆发之初生物多样性的认知。

## 2 产地层位及材料方法

样品采集于陕西省西乡县张家沟剖面的寒武系下部宽川铺组,该段是一套含磷含硅的浅海碳酸盐岩沉积地层,且与上覆郭家坝组地层为平行不整合接触,与下伏地层为整合接触(插图 1)。岩性为灰色—灰白色块状细晶灰岩、巨厚层状细晶灰岩、致密块状含磷生物灰岩、薄层状微晶—细晶白云质灰岩。该地层富含微骨骼化石,其化石组合面貌可与寒武纪梅树村期微骨骼化石对比,时代归属寒武纪梅树

村期;在岩性特征上同宽川铺地区为同时异相沉积。该产地层位曾产出丰富的 *Olivoooides*, *Quadrupyrigites* 化石 (Liu et al., 2014a; Shao et al., 2015), 已知最古老的鳃曳状环神经动物 (Liu et al., 2014b; Shao et al., 2016a, b), 各类管状化石 (王琪等, 2017) 和已知最古老的后口动物 (Han et al., 2017)。

对富含小壳化石的磷矿层中所取样品,用浓度为 8%—9% 的冰醋酸浸解处理,不溶残渣用 120 目分样筛将样品分离,所得样品用恒温箱烘烤或自然晾干,然后在实体双目显微镜下手工挑样获得标本,后用长安大学教育部重点实验室的 Quanta650 电子显微镜扫描成像。所有插图所示标本皆保存于长安大学地球科学与资源学院微体古生物实验室。

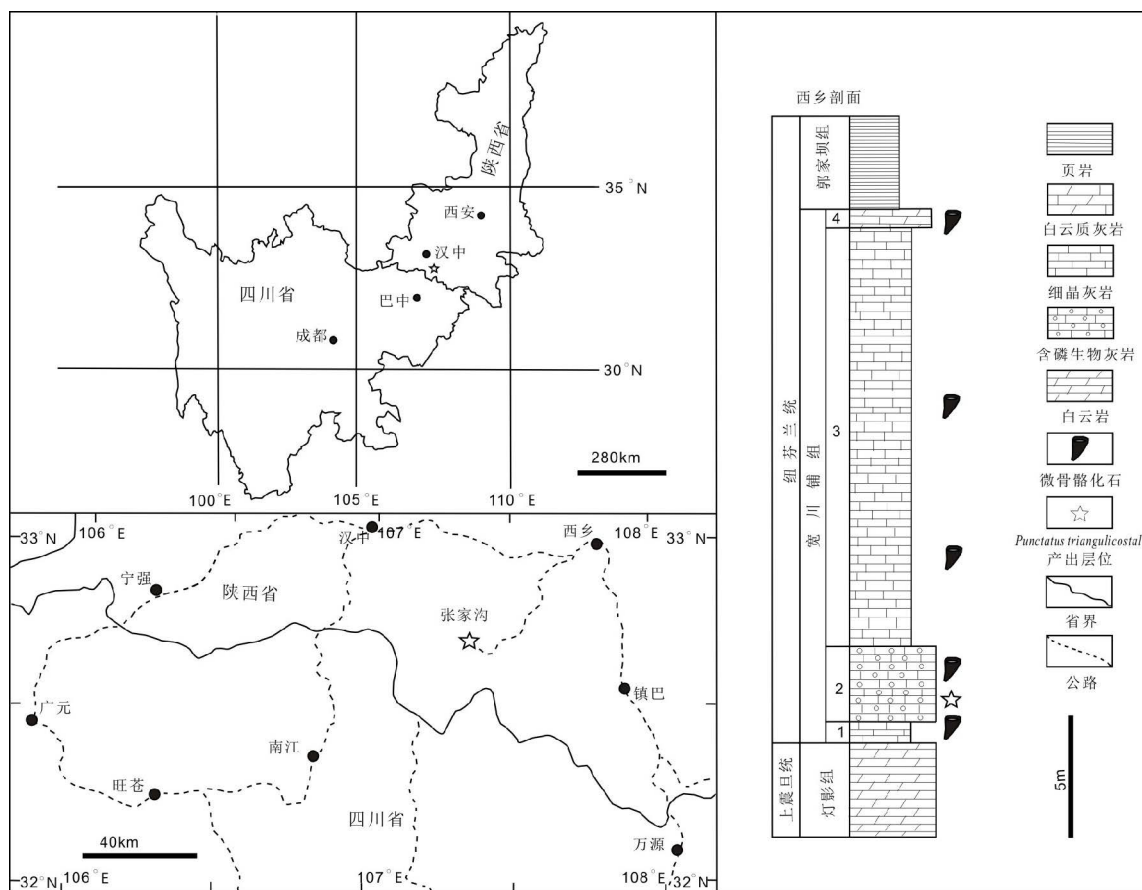


插图 1 陕南西乡张家沟剖面化石产地及地层柱状图

Fossil site and stratigraphic column in Zhangjiagou section

## 3 化石描述

门、纲、目未定 Phylum, Class and Order uncertain  
橄榄蛋科 Family Olivoooidae Steiner, 2014.

橄榄蛋属 Genus *Olivoooides* Qian, 1977

模式种 *Olivoooides multisulcatus* Qian, 1977

多沟橄榄蛋 *Olivoooides multisulcatus* Qian, 1977

描述 新发现外壁保存完整的化石 4 枚,化石

登记号: No. xx52, No. xx53, No. xx54, No. xx55(度量见表 I), 标本保存在长安大学地球科学与资源学院微体古生物实验室。

插图 2 和插图 3 均为磷酸盐化的 *Olivoides*

*multisulcatus* Qian, 1977, 锥体和柱体均保存较完整, 但未见花冠状口部。锥体和柱体(五纵列三角隆脊)的总体特征表明本文所述化石应属 *Olivoides multisulcatus* Qian, 1977。

表 I 壳体度量(单位:  $\mu\text{m}$ )

The shell measurements of *Olivoides multisulcatus*

标本号	锥体高度	相邻锥脊间距	三角隆脊行间距	锥环脊数	壳体可见最大长度	壳体可见最大宽度	三角隆脊可见圈数
No. xx52(插图 2a)	570	380	120—180	无	1400	1450	4
No. xx53(插图 2b)	730	140	250	2—3	1590	650	2
No. xx54(插图 3a)	255	350	100	2—3	1150	770	3
No. xx55(插图 3b)	350	350	120—160	3—4	1350	1220	6

**锥体** 整体呈五辐射状, 锥体高 255—730  $\mu\text{m}$ 。锥脊局部呈波状弯曲, 锥面局部向内凹陷, 显示出柔软性质。锥面表现为密集的星状棘突(插图 2a-2, 3b-2)。锥座为五方锥体, 化石锥状顶端受到磨损缺失后, 从断面处可见内部为空腔(插图 2a-1)。

**柱体** 由五纵列三角状隆脊及隆脊间的 5 条纵沟组成, 且在纵向上隆脊与锥体的锥脊一一对应, 使生物体呈现完美的五辐对称构型。横向上每个三角隆脊与左右相邻两纵列的三角隆脊有横向对应特点, 形成 2—6 个近平行排列的环形脊, 且自锥体向口部直径逐渐增大, 环脊间可见发育强烈的纵向褶皱, 变现出软膜性质。三角隆脊底部肥厚、上部变尖并向锥体相反的方向生长, 且三角隆脊表面可见蠕变动变形和扭曲, 显示具柔软性质, 表明三角隆脊应属于软组织, 并非硬体(插图 2a-4, 2a-5, 3b-5)。

化石锥座与柱体接触可分两种情况: 锥座与柱体直接相连(插图 2a); 锥座与柱体由 2—4 圈锥环脊相连(插图 2b, 3b)。锥环脊间距为 140—380  $\mu\text{m}$ , 其上可见密集的星状棘突。

**产地层位** 陕西省西乡县张家沟, 寒武系下部宽川铺组。

## 4 比较

新发现的 4 枚化石与相同层位发现的 *Olivoides multisulcatus* Qian, 1977 (原 *Punctatus trianguicostalis* Liu et al., 2006), 均为五辐对称带有三角状隆脊的尖锥状动物, 整体特征相符, 故归为同一属种。新化石与刘云焕 2006 年所定名的 *Punctatus trianguicostalis* Liu et al., 2006 体型构建(锥体及柱体)又有区别: 部分新化石与后者相比锥高变大, 锥脊夹角变小(插图 2a, 2b), 且锥体上有密集的星状装饰; 新化石的锥体与柱体连接处未见

锥环脊, 直接相连(插图 2a)。另外, 锥环脊表面为密集星状棘突而非光滑有机质壁(插图 3a, 3b)。

*O. multisulcatus* Qian, 1977 和 *Quadrapiyrgites ningqiangensis* Li et al., 2007 (李朋等, 2007) 具有相似的体型, 都具有尖锥状锥体、具环脊的体部和花冠状口部; *Q. ningqiangensis* 锥体表面光滑, 未见星状棘突, 且为四辐对称, 而 *O. multisulcatus* 星状棘突发育, 为五辐对称; *Q. ningqiangensis* 的环脊表面发育强烈的纵向褶皱, 而 *O. multisulcatus* 环脊表面较光滑, 均匀发育有五列三角隆脊(表 II)。*Olivoides* 和 *Quadrapiyrgites* 的胚胎期相似, 只是在后来的生长发育阶段经过了不同的细胞分化形成了不同的体型; *O. multisulcatus* 在胚胎后期发育成为五辐对称的锥体(插图 4b), 且形成第一个环脊时就出现了三角隆脊(插图 4c), 而 *Quadrapiyrgites* 发育成为四辐对称的锥体, 上述化石的特征对比见表 II。

## 5 讨论

1) 通过对多枚化石的研究, 推测三角隆脊生长模式如下: 在胚胎期, 表面星状棘突发育, 细胞凹陷, 出现赤道沟, 胚后期发育一圈三角隆脊雏形(5 个), 并分化出具五辐对称的锥体。幼体时, 口部外翻, 形成与锥脊相对应的五纵列三角隆脊, 随着口部的不断外翻, 口部则形成新的三角隆脊环, 由一圈变成两圈、三圈……依次层层生长, 而锥体表面纹饰不变, 锥脊可能发生弯曲, 且出现锥环脊。随着三角隆脊环脊的不断增多, *O. multisulcatus* 的身体不断拉长, 直至长成为有多圈三角隆脊环脊的成体。 *O. multisulcatus* 与 *Quadrapiyrgites* 具有相似的“外翻式”生长模式。根据类比得出化石保存下来的实体为其周皮或围鞘(韩健等, 2014), 具有保护动物内部软组织功能。

2) 本文描述的新材料与 2006 年刘云焕报道的略有差别, 但应属于种内变异。这些差别可能为化石保存的原因, 也可能为生物生长原因造成的, 不宜过多建立新种。新材料对复原这一类生物的原始生活状态提供了更多的参考, 也为后人鉴定化石属种提供了更多的依据。

*O. multisulcatus* 的生物分类和系统发育仍需

进一步研究。1997 年, *Olivoooides* 首次被归入冠水母 (Bengtson and Yue, 1997; Yue and Bengtson, 1999), 后来普遍认为 *Quadrapyrgites* 可能和 *Olivoooides* 属于姐妹群 (Steiner *et al.*, 2014), 可能同属于环神经动物干群 (Steiner *et al.*, 2014)、冠水母 (Liu *et al.*, 2014a) 或立方水母 (Han *et al.*, 2016a, b)。

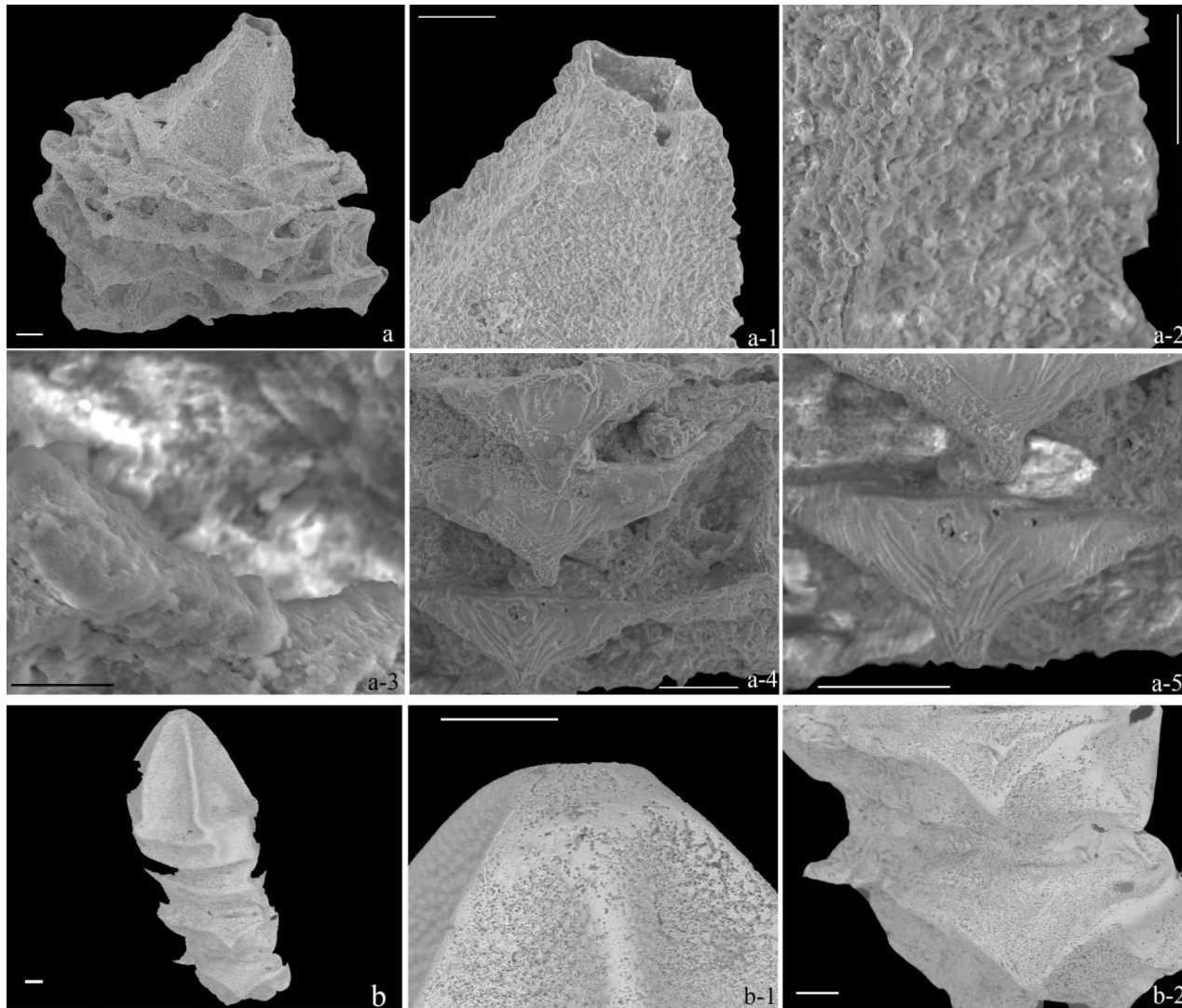
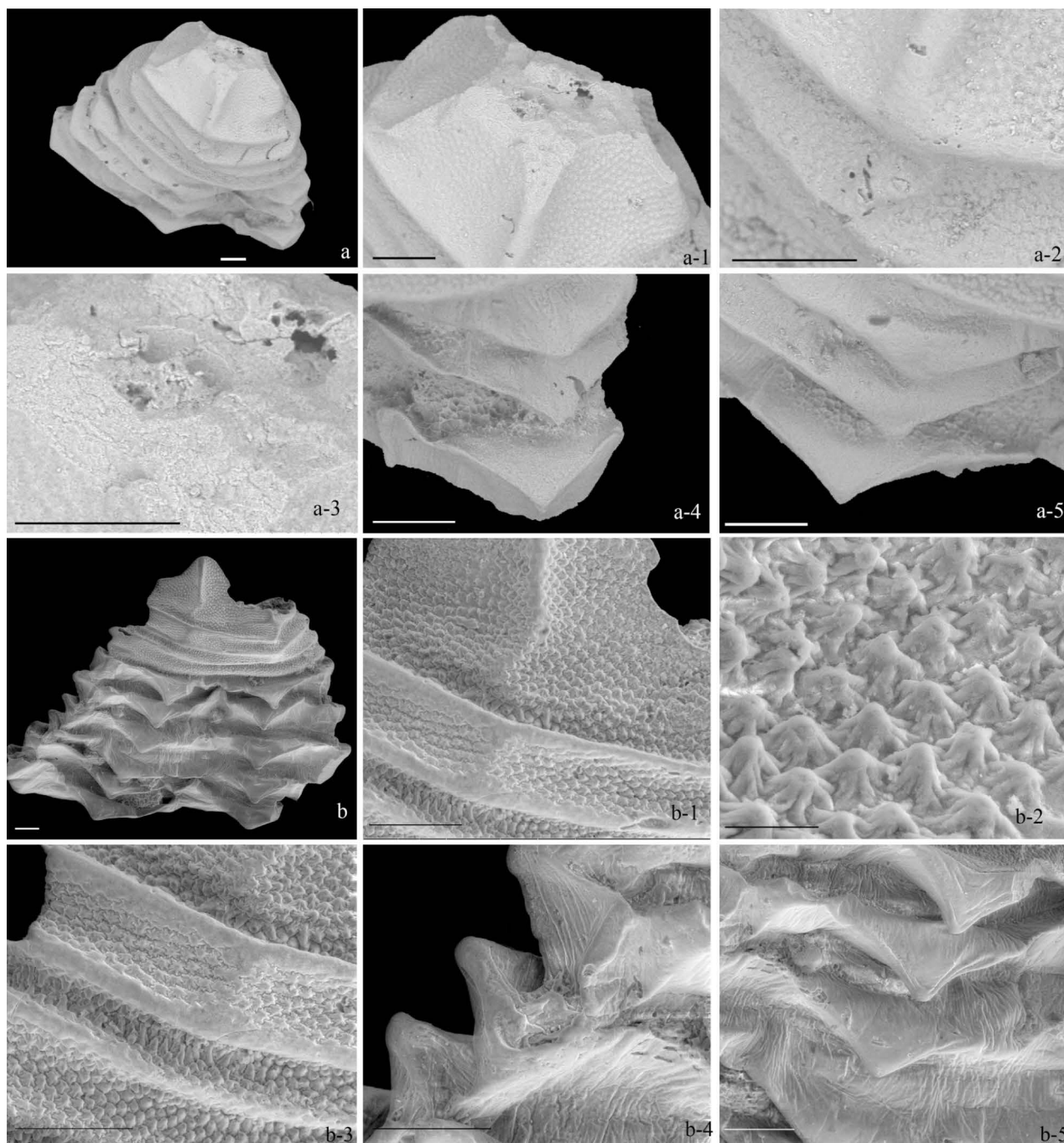


插图 2 西乡生物群中 *Olivoooides multisulcatus* Qian, 1977 的特征

The feature of *Olivoooides multisulcatus* Qian, 1977 in Xixiang biota

a. 侧视图, 可见四纵列三角隆脊, 锥体与柱体直接相连, 标本号: No. xx52; a-1. 锥体放大; a-2. 锥体局部放大, 表面为星状棘突; a-3. 锥状顶端断面放大; a-4. 三角隆脊放大; a-5. 图 a-4 的放大。b. 整体视, 标本号: No. xx53; b-1. 锥体放大; b-2. 三角隆脊放大。a-3, a-4 与 a-5 比例尺为 10  $\mu\text{m}$ , 其余均 100  $\mu\text{m}$ 。化石保存在长安大学微体古生物实验室。

a. Lateral view, cylindrical body with three coclum triangular thickenings is directly connected to cone, No. xx52; a-1. The enlarged view of the cone; a-2. The local enlarged view of the cone with stellate tissue; a-3. The enlarged view of the top of cone; a-4. The enlarged view of the triangular thickening; a-5. The enlarged view of fig. a-4. b. The overall view, No. xx53; b-1. The enlarged view of the cone; b-2. The enlarged view of the triangular thickening. The scales of fig. a-3, fig. a-4 and fig. a-5 are 10  $\mu\text{m}$ , others are 100  $\mu\text{m}$ . The fossils preserved at Laboratory of Micropaleontology, Chang'an University.

插图3 西乡生物群中 *Olivoides multisulcatus* Qian, 1977 的特征The feature of *Olivoides multisulcatus* Qian, 1977 in Xixiang biota

a. 整体视, 包括锥体和柱体两部分, 标本号: No. xx54; a-1. 锥体放大; a-2. 锥体与锥环脊相连部分局部放大; a-3. 锥状顶端放大; a-4. 锥体局部放大; a-5. 三角隆脊局部放大; b. 侧视, 显示三纵列三角隆脊, 标本号: No. xx55; b-1. 锥体放大; b-2. 锥体表面星状棘突放大; b-3. 锥环脊局部放大; b-4. 插图 b 左侧放大, 显示三角隆脊侧视; b-5. 三角隆脊放大。除插图 b-2 比例尺为 20  $\mu\text{m}$  外, 其余均为 100  $\mu\text{m}$ 。化石保存在长安大学微体古生物实验室。

a. Overall view, concluding cylindrical body and cone, No. xx54; a-1. The enlarged view of the cone; a-2. The local enlarged view of the connected part of cone to transverse annular ridge; a-3. The enlarged view of the top of cone; a-4. The local enlarged view of the cone; a-5. The local enlarged view of the triangular thickening; b. Lateral view, showing three coclum triangular thickening, No. xx55; b-1. The enlarged view of the cone; b-2. The enlarged view of the stellate tissue; b-3. The local enlarged view of the transverse annular; b-4. The enlarged view of the left part of fig. b shows the lateral view of triangular thickening; b-5. The enlarged view of the triangular thickening. The scale of fig. b-2 is 20  $\mu\text{m}$ , others are 100  $\mu\text{m}$ . The fossils preserved at Laboratory of Micropaleontology, Chang'an University.



表 II *O. multisulcatus* Qian,1977 和 *Q. ningqiangensis* Li et al. ,2007 特征对比表  
Correlation between *O. multisulcatus* Qian,1977 and *Q. ningqiangensis* Li et al. ,2007

名称	生物体构型	锥体		锥环脊	柱体环脊	口部	
		形态	表面			褶数	褶皱表面
<i>Q. ningqiangensis</i>	四辐对称	四辐对称	光滑	无	纵向褶皱 纵向细纹	12	光滑褶皱 纵向细纹或
<i>O. multisulcatus</i>	五辐对称	五辐对称	星状棘突	有或无	具五列三角隆脊	5 或 10	光滑褶皱

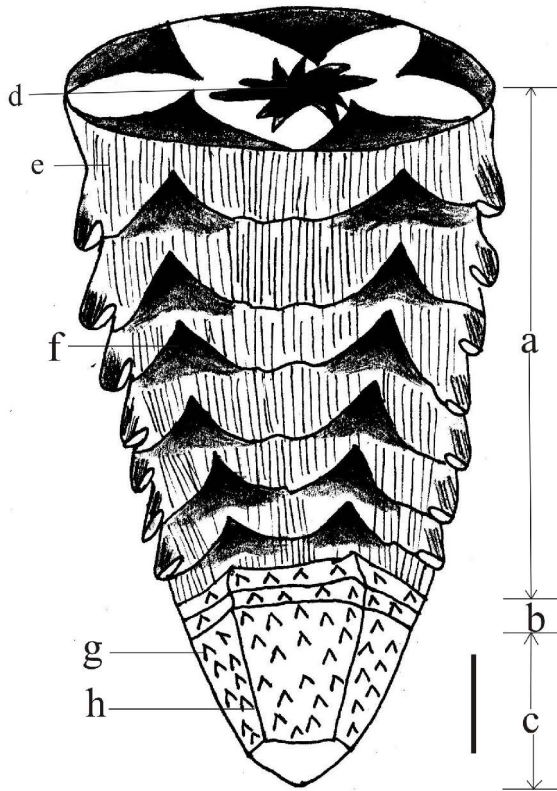


插图 4 *Olivoooides multisulcatus* Qian,1977 形态复原图

Reconstruction of *Olivoooides multisulcatus* Qian,1977

a. 柱体, b. 锥环脊, c. 锥体, d. 口, e. 纵纹, f. 三角隆脊, g. 星状棘突, h. 锥脊。比例尺为 200  $\mu\text{m}$

a. Cylindrical body, b. transverse annular, c. cone, d. mouthpart, e. ribs, f. triangular thickening, g. stellate tissue, h. longitudinal ridge of cone. The scale is 200  $\mu\text{m}$

## 6 结 论

钱逸在 1977 年首先发现 *Olivoooides multisulcatus*, 刘云焕等 2006 年在陕西宁强宽川铺的“宽川铺生物群”中发现了 1 枚 *Punctatus triangulicos-talis* (应为 *Olivoooides multisulcatus* 孵化后的成体), 本文作者于 2016 年在西乡张家沟的“西乡生物群”中新发现了多枚该种化石, 故对其属征进行了补

充和对比, 并对其形态功能及亲缘关系进行了讨论。经研究得出以下结论:

1) 根据生物体都具有尖锐的锥体和具环脊的体部相似的体型, 推测 *Olivoooides* 和 *Quadrapiyrgites* 具有较近的亲缘关系, 属于姐妹群。

2) 西乡张家沟和宁强宽川铺两地产出的 *Olivoooides multisulcatus* Qian,1977 具有形态上的差异, 依据在西乡张家沟新发现的标本, 对其属征进行了补充。锥体表层、锥环脊及三角隆脊均为磷酸盐化软组织, 保存下来的化石表皮为其周皮, 具有保护动物内部软体的功能。本文中的化石与 2006 年在陕西宁强地区所发现的化石虽为同种, 但形态上仍有差异。

在地层对比方面具有重要意义。前人发现该种化石产于陕西宁强宽川铺地区, 属于寒武系下部宽川铺组, 本文报道的西乡张家沟相同化石产出层位也应为宽川铺组, 西乡张家沟和宁强宽川铺两地的沉积属于“同时异相”沉积。

致谢 感谢匿名审稿专家们提出的宝贵意见。

## 参 考 文 献 (References)

- Bengtson S, Yue Zhao, 1997. Fossilized metazoan embryos from the earliest Cambrian. *Science*, **277**(5332): 1645—1648.
- Conway Morris S, Chen Meng-e, 1990. Tommotiids from the Lower Cambrian of South China. *Journal of Paleontology*, **64**(2): 169—184.
- Conway Morris S, Chen Meng-e, 1992. Carinachitids, hexaconulariids, and *Punctatus*; Problematic metazoans from the Early Cambrian of South China. *Journal of Paleontology*, **66**(3): 384—406.
- Han Jian, Conway Morris S, Ou Qiang, Shu De-gan, Hua Hong, 2017. Meiofaunal deuterostomes from the basal Cambrian of Shaanxi(China). *Nature*, **542**(7640): 228—231.
- Han Jian, Kubota S, Li Guo-xiang, Ou Qiang, Wang Xing, Yao Xiaoyong, Shu De-gan, Li Yong, Uesugi K, Hoshino M, Sasaki O, Kano H, Sato T, Komiya T, 2016a. Divergent evolution of medusozoan symmetric patterns: Evidence from the microanatomy of Cambrian tetramerous cubozoans from South China. *Gond-*

- wana Research, **31**: 150—165.
- Han Jian(韩 健), Li Guo-xiang(李国祥), Kubota Shin, Ou Qiang(欧 强), Toshino S, Wang Xing(王 星), Yang Xiao-guang(杨晓光), Uesugi K, Masato H, Sasaki O, Kano H, Sato T, Komiya T, 2016b. Internal microanatomy and zoological affinity of the early Cambrian *Olivoides*. Acta Geological Sinica(English Edition), **90**(1): 38—65.
- Han Jian(韩 健), Li Guo-xiang(李国祥), Kubota Shin, Wang Xing(王 星), Ou Qiang(欧 强), 2014. Research progress and prospects of Cambrian medusae from South China. Chinese Journal of Nature(自然杂志), **36**(1): 24—33.
- Hua Hong(华 洪), Chen Zhe(陈 哲), Zhang Lu-yi(张录易), 2004. Phosphatized metazoan embryos fossils of blastulation and gastrulation from the earliest Cambrian in southern part of Shaanxi, China. Science Bulletin(科学通报), **49**(2): 177—180 (in Chinese).
- Li Peng(李 朋), Hua Hong(华 洪), Zhang Lu-yi(张录易), Zhang Dong-dong(张东东), Jin Xian-bao(金显宝), Liu Zhu(刘 竹), 2007. The phosphatized *Punctatus* and its ontogenesis sequence from Lower Cambrian in South Shaanxi. Science Bulletin(科学通报), **52**(18): 2153—2160 (in Chinese).
- Li Yong(李 勇), Zheng Ya-juan(郑亚娟), Liu Yun-huan(刘云焕), Guo Jun-feng(郭俊峰), Zheng Xi(郑 曦), Liu Lian-qun(刘联群), 2012. Discovery of cleavage *Punctatus* embryos fossils from Early Cambrian Kuanchuanpu biota. Earth Science-Journal of China University of Geosciences(地球科学—中国地质大学学报), **37**(5): 869—877.
- Li Zhong-ping(李中平), 1984. The discovery and its significance of small shelly fossils in Hexi area, Xixiang, Shaanxi. Geology of Shaanxi(陕西地质), **2**: 73—77.
- Liu Yun-huan(刘云焕), Li Yong(李 勇), Shao Tie-quan(邵铁全), Yu Bo(于 波), Li Yuan-yuan(李圆圆), Zhang Wan-qian(张琬茜), Wu Chun-ying(武春英), Li Rong-xi(李荣西), 2006a. New material of phosphatized *Punctatus* from Lower Cambrian in Ningqiang, China. Acta Palaeontologica Sinica(古生物学报), **45**(1): 95—101 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yun-huan, Li Yong, Shao Tie-quan, Zhang Hua-qiao, Wang Qi, Qiao Jin-peng, 2014a. *Quadrpyrgites* from the lower Cambrian of South China: growth pattern, post-embryonic development, and affinity. Chinese Science Bulletin, **59**(31): 4086—4095.
- Liu Yun-huan(刘云焕), Li Yong(李 勇), Shao Tie-quan(邵铁全), Zhu Zhi-xin(朱志新), Yu Bo(于 波), Wang Zhuo(王 焯), Zhang Wan-qian(张琬茜), Li Rong-xi(李荣西), 2006b. Preliminary note on the phosphatized *Punctatus* with mouthparts and its embryos from Lower Cambrian in Ningqiang, south Shaanxi, China. Acta Palaeontologica Sinica(古生物学报), **45**(2): 182—194 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yun-huan(刘云焕), Li Yong(李 勇), Shao Tie-quan(邵铁全), Zhu Zhi-xin(朱志新), Yu Bo(于 波), Wang Zhuo(王 焯), Zhang Wan-qian(张琬茜), Li Rong-xi(李荣西), 2007. Phosphatized *Punctatus* with mouthparts and its embryo fossils from the Lower Cambrian of Ningqiang, south Shaanxi, China. Frontiers of Earth Science in China(中国高等学校学术文摘·地球科学), **1**(1): 1—11.
- Liu Yun-huan(刘云焕), Li Yong(李 勇), Shao Tie-quan(邵铁全), Zhu Zhi-xin(朱志新), Zhang Wan-qian(张琬茜), Wang Zhuo(王 焯), Yang Wei-xian(杨为先), Li Rong-xi(李荣西), 2006c. Phosphatized rare star-like mouth disc of *Punctatus* and its functional morphology from the earliest Cambrian of south Shaanxi, China. Acta Micropalaeontologica Sinica(微体古生物学报), **23**(1): 61—69 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yun-huan(刘云焕), Shao Tie-quan(邵铁全), Han Jian(韩 健), Fang Qi-fei(房启飞), Feng Jian-xue(冯健雪), Zheng Xi(郑 曦), 2009. Study on the developmental model of phosphatized *Punctatus* from the earliest Cambrian of south Shaanxi. Acta Micropalaeontologica Sinica(微体古生物学报), **26**(3): 243—248.
- Liu Yun-huan, Xiao Shu-hai, Shao Tie-quan, Broce J, Zhang Hua-qiao, 2014b. The oldest known priapulid-like scalidophoran animal and its implications for the early evolution of cycloneurians and ecdysozoans. Evolution & Development, **16**(3): 155—165.
- Qian Yi(钱 逸), 1977. Hyolitha and some problematica from the Lower Cambrian Meishucun Stage in central and SW China. Acta Palaeontologica Sinica(古生物学报), **16**(2): 255—275 (in Chinese).
- Shao Tie-quan, Liu Yun-huan, Wang Qi, 2016a. *Eopriapulites sphinx*—The oldest priapulid-like scalidophoran animal. Acta Geologica Sinica(English Edition), **90**(4): 1537—1538.
- Shao Tie-quan, Liu Yun-huan, Wang Qi, Zhang Hua-qiao, Tang Han-hua, Li Yuan, 2016b. New material of the oldest known scalidophoran animal *Eopriapulites sphinx*. Palaeoworld, **25**(1): 1—11.
- Shao Tie-quan, Wang Qi, Liu Yun-huan, Zhang Ya-nan, Li He-wei, Hu Bo, Li Chuang, Dong Zhi-guo, Zhang Hong-tao, 2015. Review of research on Early Cambrian phosphatized *Quadrpyrgites*. Acta Geologica Sinica(English Edition), **89**(4): 398—405.
- Steiner M, Li Guo-xiang, Qian Yi, Zhu Mao-yan, 2004. Lower Cambrian small shelly fossils of northern Sichuan and southern Shaanxi (China), and their biostratigraphic importance. Geobios, **37**(2): 259—275.
- Steiner M, Qian Yi, Li Guo-xiang, Hagadorn J W, Zhu Mao-yan, 2014. The developmental cycles of early Cambrian Olivoidae fam. nov. (? Cycloneuralia) from the Yangtze Platform (China). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **398**(21-22): 97—124.
- Wang Qi(王 琪), Liu Yun-huan(刘云焕), Shao Tie-quan(邵铁全), Zhang Hu(张 虎), Zhang Ya-nan(张亚楠), Tang Han-hua(唐汉华), Jiang Kai-tuo(姜开拓), Wang Zhao-jing(王朝景), Qin Jia-chen(秦嘉琛), 2017. Research on the tubular fossils of the early Cambrian Xixiang Biota in southern Shaanxi Province, NW China. Acta Micropalaeontologica Sinica(微体古生物学报), **34**(1): 49—60.

- Xing Yu-sheng(邢裕盛), Yue Zhao(岳 昭), 1984. The Sinian-Cambrian Boundary in southwestern part of Shaanxi. In: Xing Yu-sheng(邢裕盛)*et al.* (eds.), The Sinian-Cambrian Boundary of China. Bulletin of Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences(中国地质科学院地质研究所所刊), **10**: 111—125(in Chinese).
- Yin Ji-cheng(殷继成), Ding Lian-fang(丁莲芳), He Ting-gui(何廷贵), Li Shi-lin(李世麟), Shen Li-juan(沈丽娟), 1980. The Palaeontology and Sedimentary Environment of the Sinian System in Emei Ganluo Area, Sichuan. Chengdu: Sichuan People's Publishing House. 1—231(in Chinese with English summary).
- Yue Zhao, Bengtson S, 1998. Phosphatized metazoan embryo fossils in Cambrian Explosion. Chinese Science Bulletin, **43**: 1858—1862.
- Yue Zhao, Bengtson S, 1999. Embryonic and post-embryonic development of the Early Cambrian *Olivoooides*. Lethaia, **32**: 181—195.

## NEW MATERIALS OF EARLY CAMBRIAN MICROFOSSILS *OLIVOOIDES MULTISULCATUS* FROM ZHANGJIAGOU SECTION IN SOUTHERN SHAANXI

ZHANG Ya-nan<sup>1)</sup>, LIU Yun-huan<sup>1,2,3)</sup>, QIN Jia-chen<sup>1)</sup>, ZHANG Hu<sup>1)</sup>, SHAO Tie-quan<sup>1,2,3)</sup>, ZHANG Ting<sup>1)</sup>, WANG Feng<sup>1)</sup>, WEI Rong-hao<sup>1)</sup>, LUO Lei<sup>1)</sup>, ZHANG Hong-ze<sup>1)</sup> and YIN Chun-tao<sup>1)</sup>

1) School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China, stotto@163.com;

2) State Key Laboratory of Palaeobiology and Stratigraphy, Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;

3) Shaanxi Key Laboratory of Early Life and Environments (Northwest University), Xi'an 710069, China

**Key words** *Olivoooides multisulcatus*, intraspecific variation, Lagerstätte, Kuanchuanpu Formation, Meishucun Stage, Xixiang, Shaanxi

### Abstract

Many fossils of Lagerstätte is found from the Kuanchuanpu Formation of lower Cambrian in Zhangjiagou section, Xixiang, Shaanxi Province. The precious three-dimensionally phosphatized specimens have important research meaning for the origin and evolution of early life. And it is the basis for biostratigraphic comparison at the pre-trilobites-era of early Cambrian. This paper mainly describes

Lagerstätte and soft-bodied *Olivoooides multisulcatus* Qian, 1977. This type of fossil was first reported in Kuanchuanpu Biota in Ningqiang, Shaanxi in 1977, which is the same type as fossils described in this article but from different places, thus it has important research meaning to the stratigraphic correlation. According to new discoveries in Xixiang Biota, this paper compares and adds the characteristics and intraspecific variation of *Olivoooides multisulcatus* Qian, 1977.