

郑亚娟,李勇,郭俊峰,等.寒武系底部宽川铺生物群中的卵裂胚胎过程:来自化石薄片的证据[J].地球科学进展,2012,27(3):321-326.  
[Zheng Yajuan, Li Yong, Guo Junfeng, et al. The characteristics of cleavage embryos in the early Cambrian Kuanchuanpu Biota based on the proof of fossil slices[J]. Advances in Earth Science, 2012, 27(3): 321-326.]

## 寒武系底部宽川铺生物群中的卵裂胚胎 过程:来自化石薄片的证据\*

郑亚娟,李勇,郭俊峰,刘云焕

(长安大学资源学院,陕西 西安 710054)

**摘要:** 陕南寒武纪早期宽川铺生物群中保存的大量磷酸盐化动物胚胎化石为古生物研究开辟了一个新领域。目前已报道了囊胚期之后不同发育阶段的胚胎化石标本,并且初步建立了从光滑球形胚胎化石 *Olivoides* 到带有瘤刺的锥体化石 *Punctatus* 的发育序列,而对卵裂期的胚胎化石却鲜有报道。基于通过醋酸浸泡获得的多枚卵裂期、囊胚期及原肠胚期的三维化石标本,加上应用岩石切片技术获得的卵裂期胚胎化石的切片标本,共同见证了从单个卵细胞(*Olivoides*)经卵裂到囊胚、原肠胚的完整胚胎发育序列。新化石材料的发现,不仅填补了宽川铺生物群中卵裂期胚胎化石的空白,完善了从单个卵细胞(*Olivoides*)经卵裂到囊胚、原肠胚,再到孵化的锥形幼体(*Punctatus*)的完整胚胎发育序列,而且通过与贵州瓮安生物群中卵裂期细胞胚胎化石及一些现生的低等动物卵裂期胚胎的对比,对揭示 *Olivoides* 胚胎的卵裂过程和特点,探讨其亲缘关系,以及后生动物的早期演化提供了新的化石证据。

**关键词:** 早寒武世;卵裂期;胚胎化石;宽川铺生物群

中图分类号:P52;Q913.2

文献标志码:A

文章编号:1001-8166(2012)03-0321-06

动物胚胎化石对了解后生动物的早期演化、亲缘关系有着十分重大的意义。1994年云南大学 Zhang 等<sup>[1]</sup>首次在 *Science* 上报了贵州中寒武世的节肢动物胚胎化石后, Xiao 等<sup>[2]</sup>在 *Nature* 上报了贵州瓮安陡山沱组磷矿层中经磷酸盐化保存的卵裂期动物胚胎化石,尹崇玉等<sup>[3]</sup>在贵州瓮安陡山沱组发现了具囊胚内陷向原肠胚过渡特征的磷酸盐化原肠胚化石,这一系列胚胎化石的发现引起了国内外古生物学界对动物胚胎化石研究的高度关注。特别是近 10 年来,由 Bengtson 等<sup>[4]</sup>、Yue 等<sup>[5]</sup>、Chen 等<sup>[6]</sup>和 Steiner 等<sup>[7]</sup>、华洪等<sup>[8]</sup>、李朋等<sup>[9]</sup>、刘云焕

等<sup>[10~14]</sup>、陈方等<sup>[15]</sup>分别对陕南宽川铺下寒武统含磷地层中的后生动物胚胎化石进行了深入系统的研究,把宽川铺生物群中胚胎化石的研究推向了高潮。Bengtson 等<sup>[4]</sup>和 Yue 等<sup>[5]</sup>将内部表层具放射状微刺的球形化石 *Olivoides* 解释为刺细胞动物的胚胎化石,并建立了 *Olivoides* 胚胎与 *Punctatus* 锥体之间的发育联系,提出 *Punctatus* 可能与腔肠动物的栉水母类或锥石类有关。Steiner 等<sup>[7]</sup>认为将球形化石 *Olivoides* 解释为动物的卵或胚胎是正确的,但这些球形化石包括了不同生物的卵或胚胎,至少有腔肠动物锥石类、节肢动物和栉水母类 3 种类型的胚胎

\* 收稿日期:2011-09-30;修回日期:2012-01-13.

\* 基金项目:中央高校基本科研业务费专项项目“陕南地区早寒武世微骨骼化石研究”(编号:CHD2010JC074);教育部博士点基金项目“早寒武世宽川铺生物群中 *punctatus* 的胚胎及个体发育模式研究”(编号:20100205110003);国家自然科学基金项目“湖北宜昌下寒武统岩家河组宏体化石研究”(编号:40902007)资助。

作者简介:郑亚娟(1976-),女,陕西凤翔人,博士研究生,主要从事古生物方面的研究。E-mail:yajuanzheng@126.com

标本。西北大学华洪等<sup>[8]</sup>、李朋等<sup>[9]</sup>在陕南寒武纪早期宽川铺组发现了大量保存精美的原肠胚期和囊胚期动物胚胎化石,补充了早期胚胎发育演化的环节,新建了 *Quadrapyrgites* 属。2007 年,Chen 等<sup>[6]</sup>在同一层位还报道了发育晚期的栉水母动物的胚胎。刘云焕等<sup>[10-14]</sup>发现了大量动物胚胎和孵化幼体化石标本,特别是带有完整口部特征的 *Punctatus* 不同发育阶段幼体标本,完善了从 *Olivoooides* 到 *Punctatus* 的个体发育序列。陈方等<sup>[15]</sup>、Donoghue 等<sup>[16]</sup>利用同步加速器 X 射线层析扫描显微技术对寒武纪早期胚胎化石 *Olivoooides* 的内部结构进行了观察。到目前为止,关于宽川铺生物群中胚胎化石的研究,主要是涉及原肠胚期及少量幼稚体发育的标本。

## 1 化石产地、层位及地质时代

本文研究所采微体化石样品位于宁强县宽川铺的石钟沟剖面,属于灯影组宽川铺段。目前含义的宽川铺段是一套含磷、含硅的浅海碳酸盐岩沉积建造,岩性以深灰色—灰黑色中层状含沥青质薄层灰岩、含胶磷矿砂屑砾屑灰岩为主,夹黑色薄层燧石、磷块岩及中厚层白云岩,厚度为 60~70 m。这段地层富含小壳化石 *Anabrites trisulcatus*, *Paleosulcachites irregularis*, *Carinachites spinatus*, *Circotheca* sp. 以及大量的微骨片化石,其小壳化石组合面貌可与传统的寒武纪早期梅树村阶第一和第二小壳化石带对比。该段与下伏碑湾段地层为假整合或平行不整合接触,与上覆郭家坝组为平行不整合接触。时代归属寒武纪早期梅树村期,区域上可与中谊村段、麦地坪段、杨家沟段、天柱山段、岩家河段对比。

## 2 材料与方法

在宁强县宽川铺乡的石钟沟剖面上,宽川铺段地层厚度为 65 m。实测剖面时共分了 10 层,从第 1 层到第 10 层都分别采了样。除 2~4 层外,其他各层都获得了小壳化石。特别是中部 30~40 m 含胶磷矿的第 5 层小壳化石最丰富。本次研究专门对第 5 层厚约 10 m 的含胶磷矿地层按 0.2~0.3 m 间距取样,每个样品 5 kg 左右。所取样品分别采用化学浸泡法和岩石切片法。化学浸泡法是把样品碎至 5~10 cm 大小,置于浓度为 7%~10% 冰醋酸中浸解处理,每隔一天换酸一次,经 20 天左右反应完毕,对样品处理中的不溶残渣清洗、干燥获得处理碎样,在双目显微镜下对处理碎样进行人工挑选,共获得约 3 万枚小壳化石及其伴生的胚胎化石,然后对挑

选的胚胎化石进行电镜观察并扫描成像。岩石切片法是对样品进行切片,制成薄片,再通过偏光显微镜挑选、观察化石,最后对挑选好的化石拍照成相。

## 3 化石描述

三维立体胚胎化石标本:宽川铺生物群中的卵细胞胚胎化石,直径范围在 350~600  $\mu\text{m}$  之间,大多数直径为 400~500  $\mu\text{m}$ ,立体形态呈球状,卵壁较薄,表面光滑(图 1A)。卵裂球保存较好的是 64 分细胞期(图 1B),胚胎化石的直径大约为 525  $\mu\text{m}$ ,卵裂球的直径大约为 125  $\mu\text{m}$ ,用球的体积除以卵裂球的体积得出细胞数为 74 个,可以推测其为 64 分细胞期。在这一时期,卵裂球呈内小外大的梯形,而且保持一定的轮廓形态紧密排列在球体内部,并开始在卵裂胚胎的中心发育一个圆形空腔,但相对较小,可能为囊胚腔的早期阶段。此腔的出现,也标志着卵裂阶段的结束,而基本进入了囊胚期。在这之后,分裂球形态变为球形,并随分裂级次的增加而变小,最后卵裂球成单层小球围绕囊胚腔排列,胚胎中心的囊胚腔也随着逐渐变大,约占整个胚胎体积的 80%,进入了囊胚期的末期(图 1C、D)。囊胚进一步发育形成早期原肠胚,在原肠胚期,卵裂球由原来的球形逐渐变为长条形,其长轴垂直卵膜球面,并在每一个子细胞紧贴卵膜的一端演变成刺状(图 1E),整体形成刺球状,刺球状原肠胚进一步分化出口端和反口端两极,以刺球状胚胎的“赤道”为界,口端半球面上刺较细长,刺尖统一指向口端;反口端半球面上刺较粗短,刺尖统一指向反口端(图 1F)。刺球状原肠胚将进一步发育形成幼体,胚胎发育阶段结束。

胚胎化石的切片标本:通过切片获得的分裂期化石标本更加证明和完善了宽川铺生物群中胚胎的卵裂过程。在切片标本中,卵细胞呈圆型,内为中空或被其他矿物充填(图 2A),直径为 300~600  $\mu\text{m}$ 。如果把切片中球体的横断面视为最大横断面,由此可通过岩石切片标本中相邻卵裂球之间的隔膜及卵裂球的大小,可推测卵裂球的数目。在二分细胞期,球体的中间有一条明显的隔膜(图 2B);在四分细胞期,卵细胞中有 3~4 条隔膜,卵裂球较大(图 2C);在图 2D 中,球体横断面上的卵裂球数为 7~8 个,卵裂球变小,中心无空腔出现,可推测其为 32 分细胞期;在图 2E 中,球体中间有一明显被其他矿物充填的空腔,即囊胚腔,表明其处于囊胚期,在囊胚期,卵裂球围细胞壁排列,随着卵裂级数的增加,卵裂

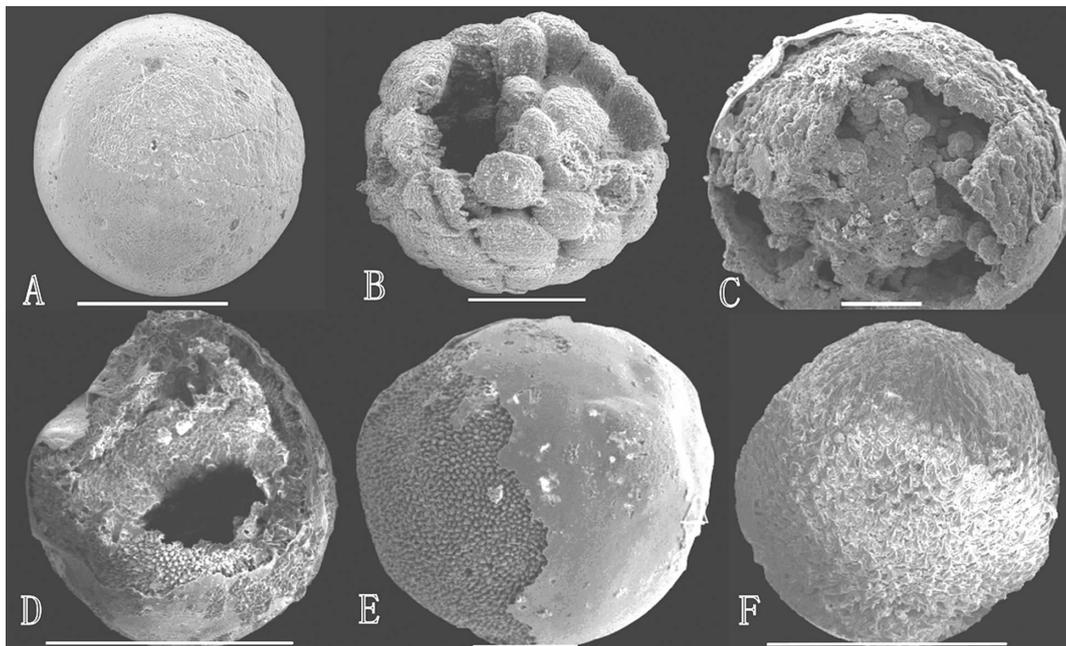


图1 *Punctatus* 从卵到囊胚期的卵裂过程

Fig. 1 *Punctatus* embryos from the egg to blastula stage

(A) 卵细胞 (*Olivoides*), 示表面光滑的球形, 编号 kp15-001, 标尺长 0.4 mm; (B) 64 细胞期, 编号 sn022-k32-66, 标尺长 0.2 mm; (C、D) 千分细胞级囊胚, 囊胚腔大而中空, 示卵裂球进一步变小, 并在囊胚表面出现小刺, 编号 kp9-120, C 标尺长 0.2 mm, D 标尺长 0.5 mm; (E) 卵膜内的具刺原肠胚, 外表卵膜光滑, 其内的原肠胚表面具小刺, 编号 kp31-140, 标尺长 0.2 mm; (F) 卵膜被破坏掉的具刺原肠胚, 显示其表面的小刺已有两极分化的特点, 编号 kp23-120, 标尺长 0.5 mm。产地层位: 陕南宽川铺石钟沟寒武世早期宽川铺段磷矿层

(A) Egg stage (*Olivoides*), shows the small globule with smooth surface, kp15-001. Scale bar in this figure represents 0.4 mm. (B) 64-cell stage, sn022-k32-66, Scale bar in this figure represents 0.2 mm. (C、D) Stage with thousands of cells, the embryo with the big and empty blastocoel, show blastomeres become smaller and there is spines around the blastocoel surface, Scale bar in this figure represents 0.2 mm for C, 0.5 mm for D, respectively. (E) Gastrula with spines inside the egg membrane, the surface of egg membrane is smooth, and there is small spines inside gastrula, kp31-140, Scale bar in this figure represents 0.2 mm. (F) Gastrula with destroyed egg membrane, it shows the small spines have the characteristics of Polarizatio, kp23-120, Scale bar in this figure represents 0.5 mm. All specimens from the

Kuanchuanpu Formation of Kuanchuanpu, Ningqiang county, South Shaanxi province

球逐渐变小, 囊胚腔逐渐变大 (图 2F ~ K)。最后, 进入原肠胚期, 卵裂球成单层围绕囊胚腔排列, 并在胚胎外面发育出短刺 (图 2L), 整体形成刺球状, 随后发育成幼体。

从以上的化石材料我们可以看出, 宽川铺生物群中卵裂胚胎化石具有一般动物胚胎早期卵裂从 1 个细胞分裂为 2, 再分裂为 4、8、16、32、64、128、256、512 细胞, 直到上千个细胞的共性。在整个卵裂过程中, 分裂的速度快, 形成的卵裂球小而生多, 当卵细胞经多次卵裂, 卵裂球经移动后, 会在中心形成囊胚, 囊胚进一步发育成早期原肠胚。整个细胞分裂期、囊胚期及早期原肠胚仍包在薄而光滑的母细胞膜内, 大小无变化, 这一卵裂过程, 不仅与伊迪卡拉期瓮安生物群中的胚胎卵裂特征<sup>[17]</sup>一致 (图 3D); 而且可以与现生某些腔肠动物的卵裂过程对比 (图 3A)。

## 4 结 论

(1) 宽川铺生物群中的球形微体化石前人曾描述了 4 个属<sup>[18]</sup>, 均属于形态属。从目前大量胚胎化石标本的观察看, *Olivoides* 的直径大小范围较宽, 0.2 ~ 1.4 mm 都有。而且目前发现的胚胎化石标本, 其直径范围为 0.4 ~ 0.9 mm, 除大量五辐对称的 *Punctatus* 胚胎外, 还有四辐对称的 *Quadrpyrgites* 胚胎<sup>[9, 14]</sup>, 表明 *Olivoides* 属包容较广泛, 不仅包括有不同种类的胚胎, 还可能涵盖有非胚胎的球形化石。因此, 尽管目前已发现了从 *Olivoides* 卵到 *Punctatus* 锥体的完整胚胎发育序列, 我们也只能说部分 *Olivoides* 球形化石是属于 *Punctatus* 的卵或胚胎, 而不能把所有的 *Olivoides* 球形化石都笼统认为是 *Punctatus* 的卵或胚胎。

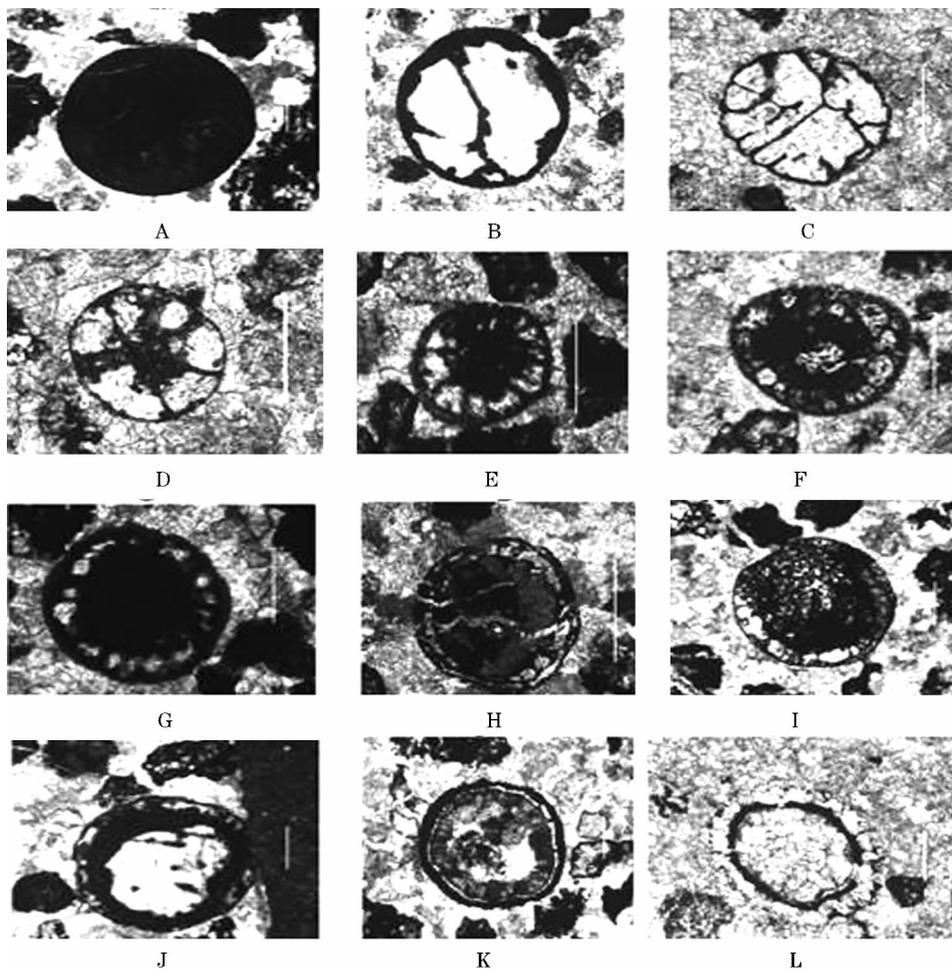


图2 *Punctatus* 从卵到囊胚期的岩石标本切片

Fig. 2 *Punctatus* embryos from the egg to blastula stage in the thin sections

(A)卵细胞,内被其他矿物充填,编号 KP51-4;(B)二分细胞,示2个卵裂球及其隔膜,编号 KP49-15;(C)四分细胞,示卵裂球及其之间的四条隔膜,编号 KP54-16;(D)32分细胞,卵裂球紧密排列,编号 KP54-1;(E~K)千分细胞级囊胚,囊胚腔大而中空,示卵裂球进一步变小,编号分别为 KP54-4, KP54-13-1, KP51-6, KP51-3, KP51-11-1, KP51-11-2, KP51-7;(L)具刺原肠胚,示卵裂球发育成短刺紧密围绕在原肠胚外侧,编号 KP54-13-2。以上标尺均为200 μm,产地层位为陕南宽川铺石钟沟寒武世早期宽川铺段磷矿层

(A) Egg stage (*Olivoides*), shows it is filled by other mineral, KP51-4. (B) 2-cell stage, shows two blastomeres and its dissepiment, KP49-15. (C) 4-cell stage, show four dissepiments among the blastomeres, KP54-16. (D) 32-cell stage, shows the blastomeres arrays closely, KP54-1. (E~K) Stage with thousands of cells, the embryo with the big and empty blastocoel, show blastomeres become smaller and there is spines around the blastocoel surface, KP54-4, KP54-13-1, KP51-6, KP51-3, KP51-11-1, KP51-11-2, KP51-7, respectively. (L) Gastrula with spines, shows blastomere develops into short spines and closely revolve around the outside of gastrula, KP54-13-2. Scale bar of all the figure represents 200 μm. All specimens from the Kuanchuanpu Formation of Kuanchuanpu, Ningqiang county, South Shaanxi province

(2) 本文新报道的卵裂胚胎化石标本在卵裂球的形态变化、排列特点都与 Steiner 等<sup>[7]</sup>、Chen 等<sup>[19]</sup>所报道的同期卵裂胚胎不一样,而与 Xiao 等<sup>[2]</sup>、殷宗军等<sup>[20]</sup>报道的瓮安生物群中的旋转卵裂胚胎化石比较接近。虽然这些卵裂期胚胎标本,比较清楚地反映了光滑球形胚胎(*Olivoides*)的早期卵裂过程和特点,当其与刺球状的囊胚发育阶段结合,就展示了从 *Olivoides* 卵到 *Punctatus* 锥体的完整胚胎发育序列。但这并不能说这些卵裂期的胚胎就一定是

*Punctatus* 生物的卵裂胚胎。因为,另一些和 *Punctatus* 非常相似的生物(如 *Quadrasyrgites*)也可能具有相同的早期卵裂过程和特点。

(3) 宽川铺生物群中的胚胎化石就像宽川铺生物群中的微体动物化石一样复杂、多样。是目前研究寒武纪早期后生动物胚胎发育过程的重要窗口。但要查明所有这些胚胎化石的发育孵化序列及所对应的生物,还需要大量深入研究。

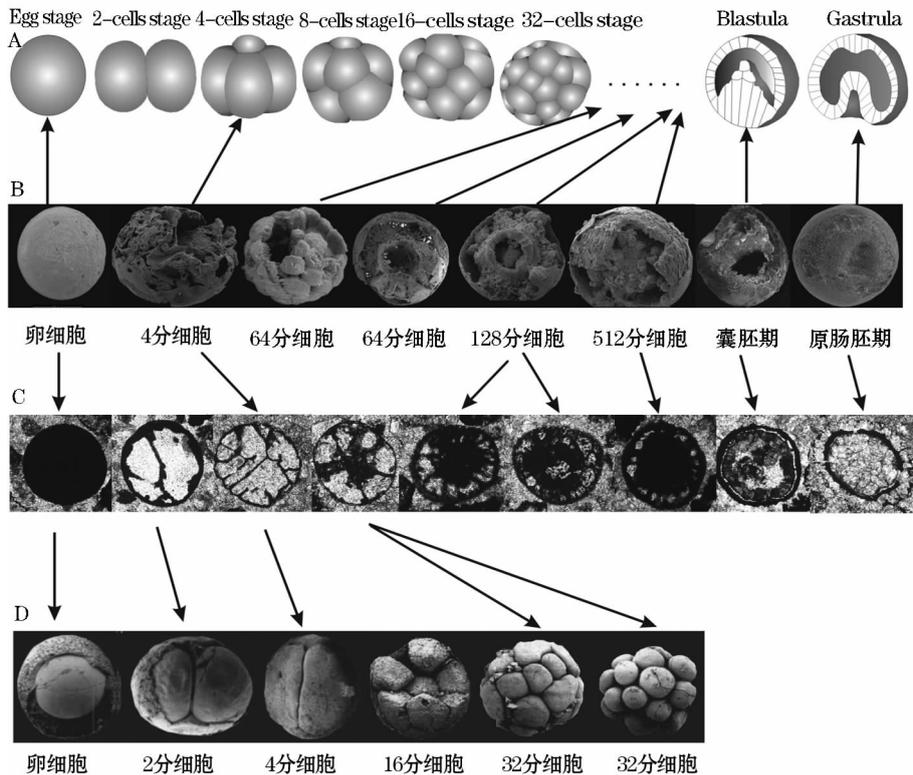


图3 *Punctatus* 的胚胎卵裂特征与瓮安动物群中胚胎卵裂过程及现生某些腔肠动物胚胎卵裂过程的比较

Fig. 3 Comparison of the cleaving process of *Punctatus* with the embryo fossil from Weng'an Biota and living Cnidaria

(A) 为现生腔肠动物胚胎卵裂过程; (B、C) 为 *Punctatus* 胚胎卵裂过程; (D) 为瓮安生物群中胚胎的卵裂过程<sup>[17]</sup>

(A) Show the embryo cleaving process of living Cnidaria. (B、C) Show the cleaving process of *Punctatus*. (D) Show the cleaving process embryo fossil from Weng'an Biota<sup>[17]</sup>

## 参考文献 (References):

- [1] Zhang X G, Pratt B R. Middle Cambrian arthropod embryos with blastomeres[J]. *Science*, 1994, 266: 637-639.
- [2] Xiao S H, Zhang Y, Knoll A H. Three-dimensional preservation of algae and animal embryos in a Neoproterozoic phosphorite[J]. *Nature*, 1998, 391: 553-558.
- [3] Yin Chongyu, Yue Zhao, Gao Linzhi. Discovery of phosphatized gastrula fossils from the Doushantuo Formation, Weng'an, Guizhou province, China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46(12): 1 036-1 039. [尹崇玉, 岳昭, 高林志. 磷酸盐化原肠胚化石在瓮安陡山沱组磷块岩中的发现[J]. 科学通报, 2001, 46(12): 1 036-1 039.]
- [4] Bengtson S, Yue Zhao. Fossilized metazoan Embryos from the Earliest Cambrian[J]. *Science*, 1997, 277: 1 645-1 648.
- [5] Yue Zhao, Bengtson S. Embryonic and post-embryonic development of the Early Cambrian cnidarian *Olivoides* [J]. *Lethaia*, 1999, 32: 181-195.
- [6] Chen Junyuan, Schopf J W, Bottier D J, et al. Raman spectra of a Lower Cambrian ctenophore embryo from southwestern Shaanxi, China[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2007, 104: 6 289-6 292.
- [7] Steiner M, Zhu M Y, Li G X, et al. New Early Cambrian bilaterian embryos and larvae from China[J]. *Geology*, 2004, 32(10): 833-836.
- [8] Hua Hong, Chen Zhe, Zhang Luyi. Phosphatized metazoan embryos fossils of blastulation and gastrulation from the earliest Cambrian in southern part of Shaanxi, China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(2): 177-180. [华洪, 陈哲, 张录易. 陕南早寒武世磷酸盐化囊胚期及原肠胚期动物化石[J]. 科学通报, 2004, 49(2): 177-180.]
- [9] Li Peng, Hua Hong, Zhang Luyi, et al. The developmental sequence of Phosphatized *Punctatus* from the earliest Cambrian of south Shaanxi, China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(18): 2 153-2 160. [李朋, 华洪, 张录易, 等. 陕南早寒武世磷酸盐化的 *Punctatus* 及其个体发育序列[J]. 科学通报, 2007, 52(18): 2 153-2 160.]
- [10] Liu Yunhuan, Li Yong, Shao Tiequan, et al. Preliminary note on phosphatized *Punctatus* with mouthparts and its Embryos from early Cambrian in Ningqiang, South Shaanxi, China[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2006, 45(2): 182-194. [刘云焕, 李勇, 邵铁全, 等. 陕西南部早寒武世具口部磷酸盐化 *Punctatus* 及胚胎化石研究[J]. 古生物学报, 2006, 45(2): 182-194.]
- [11] Liu Yunhuan, Li Yong, Shao Tiequan, et al. Two new species of protoconulariids from the early Cambrian in South Shaanxi, China[J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2005, 22(3): 311-321. [刘云焕, 李勇, 邵铁全, 等. 陕西南部早寒武世原始锥石类 *carinachtids* 两新种记述[J]. 微体古生物学报, 2005, 22(3): 311-321.]
- [12] Liu Yunhuan, Li Yong, Shao Tiequan, et al. Phosphatized rare star-like oral disc of *Punctatus* and its functional morphology from

- the earliest Cambrian of the South Shaanxi, China[J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2006, 23(1):62-69. [刘云焕, 李勇, 邵铁全, 等. 陕西早寒武世磷酸盐化 *Punctatus* 奇异星状口盘的发现及其形态功能分析[J]. 微体古生物学报, 2006, 23(1):62-69.]
- [13] Liu Yunhuan, Li Yong, Shao Tiequan, *et al.* New material of phosphatized *Punctatus* from early Cambrian in Ningqiang, South Shaanxi, China[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2006, 45(1):95-101. [刘云焕, 李勇, 邵铁全, 等. 陕西北强地区早寒武世磷酸盐化 *Punctatus* 新材料[J]. 古生物学报, 2006, 45(1):95-101.]
- [14] Liu Yunhuan, Li Yong, Gong Hujun, *et al.* New data on *Quadrropyrgites* form the earliest Cambrian of south Shaanxi, China[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2009, 48(4):648-657. [刘云焕, 李勇, 弓虎军, 等. 陕南早寒武世早期 *Quadrropyrgites* 再研究[J]. 古生物学报, 2009, 48(4):648-657.]
- [15] Chen Fang, Dong Xiping. The internal structure of Early Cambrian fossil embryo *Olivoooides* revealed in the light of Synchrotron X-ray Tomographic Microscopy[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2009, 54(1):67-72. [陈方, 董熙平. 同步加速器 X 射线层析扫描显微(技术)揭示早寒武世胚胎化石 *Olivoooides* 的内部结构[J]. 科学通报, 2009, 54(1):67-72.]
- [16] Donoghue P C, Bengtson S, Dong Xiping, *et al.* Synchrotron X-ray tomographic microscopy of fossil embryos[J]. *Nature*, 2006, 442:680-683.
- [17] Yuan Xunlai. The animal embryo before six hundred million years[J]. *Evolution of Life*, 2007, (1):18-21. [袁训来. 话说六亿年前的动物胚胎[J]. 生物进化, 2007, (1):18-21.]
- [18] Qian Yi. Hyolitha and some problematica from the Lower Cambrian Meishucun Stage in central and S. W. China [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 1977, 16(2):255-275. [钱逸. 华中西南区早寒武世梅树村阶的软舌螺纲及其他化石[J]. 古生物学报, 1977, 16(2):255-275.]
- [19] Chen Junyuan, Andreas Braun, Dieter Waloszek, *et al.* Lower Cambrian yolk-pyramid embryos from southern Shaanxi, China [J]. *Progress in Natural Science*, 2004, 14(2):167-172.
- [20] Yin Zongjun, Zhu Maoyan. The embryo fossils from the Neoproterozoic Weng'an Biota in Guizhou province (South China) [J]. *Science and Technology Review*, 2010, 28(6):103-111. [殷宗军, 朱茂炎. 贵州新元古代翁安生物群中胚胎化石研究进展[J]. 科技导报, 2010, 28(6):103-111.]

## The Characteristics of Cleavage Embryos in the Early Cambrian Kuanchuanpu Biota based on the Proof of Fossil Slices

Zheng Yajuan, Li Yong, Guo Junfeng, Liu Yunhuan

(College of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** The small shelly fossils appeared along with a large number of phosphatized embryo fossils. These embryos provide a unique window for paleontology, and its information including developmental biology has brought new hope for revealing the secret of Cambrian explosion. As more and more new specimens were recovered, the embryonic developmental sequence of *Olivoooides* as well as the relationship between *Olivoooides* and *Punctatus*, is widely built. However, the developmental stages of these embryos are between embryos of late blastula stage and hatch animals. The intermediate stages (cleavage and blastula stages) are seldom reported. Based on several exceptionally-preserved three-dimensional embryo fossils and the slice of embryo fossils, we suggest a nearly complete developmental sequence being from a fertilized egg to cleavage, blastula and gastrula stage, then toward larvae. In comparison with Weng'an Biota in Guizhou province and their modern equivalents, it is found that the embryos from the Neoproterozoic Doushantuo Formation are similar to our specimens. In this paper, the developmental data facilitate a thorough integration of palaeontology into evolutionary developmental biology on understanding the biological evolution.

**Key words:** Early Cambrian; Cleavage stage; Embryos fossil; Kuanchuanpu Biota.