

贵州瓮安陡山沱期矿化生物群的研究进展和意义

尹崇玉 高林志 邢裕盛

(中国地质科学院地质研究所 北京 100037)

摘 要 贵州瓮安陡山沱期矿化(磷酸盐化和硅化)生物群的研究近年来倍受关注,它为研究包括后生动物在内的多细胞生物早期演化提供了十分难得的机遇。最近,由于其中部分磷酸盐化球状化石保存了与某些后生动物胚胎早期发育阶段类似的卵裂特征,被认为是后生动物的休眠卵和胚胎化石。但是,由于至今未发现可靠的囊胚期到原肠胚期和幼体孵化的化石证据,此类化石的动、植物之争一直没有停止。作者近期对该套含磷地层进行了系统的分析研究,除已报道的大量休眠卵和胚胎化石外,还发现保存原肠胚发育特征的磷酸盐化实体化石、蓝藻细胞集合体、可疑海绵动物化石及类似瓶形的不明化石等。研究表明,陡山沱期矿化生物群具有多样性特征,包含了多种门类的不同类型,是迄今为止全球保存最完好的末元古纪磷质化石库。

关键词 陡山沱期 矿化生物群 休眠卵 胚胎 囊胚 原肠胚

Advances in the Study of Permineralized Biota of Doushantuo Stage in Weng 'an , Guizhou Province and Their Geological Significance

YIN Chongyu GAO Linzhi XING Yusheng

(Institute of Geology , Chinese Academy of Geological Sciences , Beijing , 100037)

Abstract In recent years , great importance has been attached to the study of permineralized(silicified and phosphatized) biota of the Doushantuo Stage in Weng 'an , Guizhou Province , which provides an important opportunity of studying early stage evolution of meta-zoan-including multicellular organisms. As some phosphatized spheroidal fossils preserved structures in different stages of cleavages , they were commonly interpreted as resting eggs and embryos of metazoan. Due to the shortage of trustworthy evidence of gastrula and hatching , their phylogenetic affinity remains a problem of long controversy. Based on new data of the phosphatized spheroidal fossils found in Doushantuo phosphorites in Weng 'an , the authors found some phosphatized gastrula , colonial blue green algae , questionable sponge animal and vase-shaped problematic fossils in addition to the reported resting eggs and embryos. It is obvious that the phosphatized spheroidal fossil assemblage found in Weng 'an consists of cyanobacteria , benthic multicellular algae , planktonic acritarchs and other fossils with uncertain assignments , which seem to constitute an exceptionally well-preserved phosphatized fossil Lagerstätten.

Key words Doushantuo Stage permineralized biota resting eggs embryo blastula gastrula

贵州瓮安陡山沱期磷块岩的矿化生物群研究始于 1986 年,陈孟莪等在该地层的岩石薄片中发现大型球状化石和疑源类,其中包含少量磷酸盐化具刺疑源类的实体化石(陈孟莪等,1986)。1995 年,薛耀松等用醋酸浸泡法从瓮安陡山沱组获得大量磷

酸盐化球状化石,包括单个球状体和多细胞定形球状群体,根据此类化石的个体大小和细胞的结构特征,认为可以归属绿藻门团藻类(薛耀松等,1995)。嗣后,由于早寒武世梅树村期含磷地层中发现大量磷酸盐化后生动物休眠卵和胚胎化石(Bengtson 等,

本文由国家自然科学基金(49872002)、科学技术部“九五”专项(95-专-01-3-3;G99-A-05a)及国家重点基础研究发展规划项目(G2000077700)资助。

改回日期 2001-7-27,责任编辑:宫月萱。

第一作者:尹崇玉,男,1948 年生,研究员,从事晚前寒武纪地层古生物研究,通信地址:北京阜外百万庄路 26 号;E-mail:ichongyuyin@163.

net。万方数据

1997; Yue 等, 1999), 促使一些敏感的研究者重新审视和研究陡山沱期磷酸盐球状化石。1998 年, 肖书海等对瓮安陡山沱期一些磷酸盐球状化石的亲缘和属性进行了重新解释, 其研究资料表明, 此类磷酸盐球状化石多光滑无纹饰, 直径一般为 $400 \sim 600 \mu\text{m}$, 部分保存有清晰的脑纹状纹饰。少数标本保存有类似后生动物卵裂特征的 2 分、4 分、8 分、16 分和 32 分等细胞分裂特征。这些分裂球规则有序的排列方式, 级数增长的细胞个数和基本不变的总体大小都与后生动物胚胎发育早期的卵裂特征十分近似(图版 I-1~7)。因此认为陈孟莪等描述的大型球状化石 *Megasphaera* 和薛耀松等描述的 *Parapandorina* 是后生动物的休眠卵和胚胎化石, 而非绿藻门团藻类(Xiao 等, 1998, 1999)。然而, 由于缺乏卵裂之后囊胚期到原肠胚期及幼体孵化的可靠证据, 至今此类化石的动、植物之争一直没有停止(肖书海等, 1999; 薛耀松等, 1999)。近期, 笔者对贵州瓮安陡山沱组磷块岩进行了大量醋酸浸泡和岩石切片相结合的研究, 除大量已报道的休眠卵和胚胎化石外, 还发现保存了原肠胚发育特征的磷酸盐化实体化石、蓝藻细胞集合体、可疑海绵动物化石以及类似瓶形的不明化石等。

1 含化石层位的地质背景及分析方法

贵州瓮安位于晚震旦世川黔滇台地的东南缘, 是中国南方震旦纪陡山沱期主要成磷地区之一。近年来, 由于保存精美、类型多样的“瓮安生物群”在该层位大量发现, 使该磷酸盐地层在国内外颇具知名度。该区的陡山沱组被中部侵蚀暴露面分为上下两段: 下段岩性为含锰白云岩-砂屑磷块岩-白云岩组成的沉积序列; 上段主要由磷基砾屑磷块岩-磷质白云岩与磷块岩互层磷质白云岩夹磷块岩及燧石条带组成。据前人研究, 陡山沱磷块岩形成在潮间至潮下带环境, 水动力较强但沉积速率相对较低的沉积环境(薛耀松等, 1992)。此次研究涉及的磷酸盐化生物群产于陡山沱组上段下部, 岩性为灰黑色砾屑磷块岩及磷质白云岩互层, 该层位是以往文献报道发现化石最多的层位。已报道的化石包括蓝藻细菌类、多细胞藻类、可疑动物骨骼化石、疑难球状化石和具刺疑源类等(Yin 等, 1993; Li 等, 1997; Zhang 等, 1998; Yuan 等, 1998; 尹磊明等, 1999; Chen 等, 2000; Xiao 等, 2000; Yin 等, 2000)。这些磷酸盐化

生物化石可在局部形成非常富集的薄层, 该层位硬底构造发育, 显示经过轻微搬运分选和沉积速率相对较低的特征。

样品全部采用低浓度醋酸浸泡法分离处理。首先把样品略碎成大块放入容器中, 加入 5%~8% 浓度的醋酸浸泡, 溶解化石周围的碳酸盐(浓度一般不超过 10%), 当发现容器底部析出残渣时换酸(注意换酸时须保留 20% 左右旧酸)。分析好的含化石残渣尽量经过自然干燥, 避免加热, 以免对化石造成破坏。收集的残渣经过实体显微镜下挑选, 挑选后的化石分类集中, 再经扫描电镜(SEM)详细研究。

2 磷酸盐化原肠胚实体化石的发现

尽管瓮安陡山沱期磷块岩已发现类似后生动物卵裂特征的化石, 但是, 把它们与早寒武世梅树村期发现的后生动物胚胎化石比较, 不难发现二者间存在着明显差异, 即梅树村期的动物胚胎化石主要是囊胚期至幼体孵化阶段的化石记录(Bengtson 等, 1997; Yue 等, 1999), 而陡山沱期的上述化石仅保存了休眠卵至卵裂阶段的前囊胚期特征(图版 I-2~7), 未发现可靠的囊胚期到原肠胚期和幼体孵化阶段的化石证据(Xiao 等, 1998, 1999)。为什么会出现这种情况? 这个问题一直困扰着许多研究者, 也是该类化石动、植物之争的焦点所在。尽管按 Haeckel 的观点, 后生动物早期演化可能经历了一个很长的特殊个体发育阶段, 即囊胚虫就是它们的最终发育成体, 根本不存在囊胚期后的发育阶段(Haeckel, 1874)。但是, 陡山沱组发现后生动物实体化石的报道(薛耀松等, 1992; Li 等, 1997; Xiao 等, 2000b), 明显暗示该时段已经存在真后生动物, 这意味着在该时段原肠胚化石并非不可能存在或者不能够被辨认。因此, 在该层位寻找囊胚期以后的化石证据变得极为迫切和相当关键。

2000 年, 陈均远等报道了贵州瓮安磷块岩薄片推断的可能为刺胞动物和两侧对称动物原肠胚的化石(Chen 等, 2000), 它们是一系列与原肠胚切面形态类似的结构物。但是, 其中被解释为内外胚层细胞的规则等厚的定向磷灰石结晶和其他化石形态都无法排除磷酸盐化作用非生物成因的可能性, 因此, 该类化石的可信度受到质疑(Xiao 等, 2000)。最近, 作者经过对大量分离样品的精心挑选, 在磷酸盐球状化石中发现了保存原肠胚特征的实体化石

(尹崇玉等 2001b)。它们显示由囊胚一端内陷向原肠胚过渡的发育特征(图版 I-10~11)。化石形态为扁球形,与大量已报道的后生动物休眠卵和早期胚胎发育的卵裂球化石共生,个体大小与前者类似,直径为 480~550 μm 。短轴的一端有一向内凹陷的圆孔状结构,该结构的四周显现清晰的类似细胞的分隔(图版 I-11)。它们的固定形态特征和类似前述休眠卵和胚胎化石的大小,可以排除非生物成因的可能。这一发现为进一步证实上述球状化石的后生动物胚胎属性,探讨其亲缘关系提供了新的化石证据。

3 可疑海绵动物化石

1998 年, Li Chia-Wei 等报道的瓮安陡山沱期磷块岩中带软组织结构的海绵动物及其胚胎化石(Li 等, 1998), 在学术界引起相当大的争论。很多古生物学者对该文所报道的海绵化石和细胞结构持否定意见(Zhang 等, 1998 ; 周传明等, 1998)。但是, 从生物的系统发生和形态学分析, 海绵动物属于最原始的后生动物, 而且具有硬化的骨针结构。因此, 在早期后生动物的化石记录中发现海绵化石及其骨针并不奇怪。我国峡东地区和蒙古等地的新元古代晚期均已发现海绵骨针的报道(丁启秀等, 1985 ; Brasier 等, 1997)。根据对瓮安地区陡山沱组磷块岩的系统切片研究和大量化石观察, 笔者曾对瓮安地区陡山沱组磷块岩的海绵动物化石进行过谨慎的评论, 认为尽管所报道的海绵动物化石在认定上可能存在一些问题, 但是其中一些化石提供的线索值得注意, 需要进一步深入研究(Yin 等, 2000), 特别要应用化学分离与岩石切片相结合的研究方法, 进行大量化石的发掘与观察。此次研究中, 在挑选的大量磷酸盐化实体化石中发现少量标本保存了微型的近球形或杯状形态(在样品破碎情况下, 可见有些是拉长的杯形) 的个体, 有些个体顶端呈现向上开放的状态。它们的直径大小一般变化在 200~450 μm 之间(图版 I-9)。杯状或近球状结构物的最外层为相对致密的表层, 内部比较疏松。同时, 在硅化的磷块岩薄片中也发现了相同的杯状切面形态(图版 II-1~2)。在显微镜下观察, 其内部保存很多不规则的单轴针状结构。这些针状结构一般为两端尖中间略宽的形态, 少量针状物的一侧具有椭球形膨胀(图版 II-2)。根据图版 I-9 所显示的磷酸盐化实体化石

形态推断, 很可能相当 Li Chia-Wei 等报道的海绵动物化石(Li 等, 1998)。该化石形态被 Xiao Shu-hai 等称为杯状化石(Cup-shape microfossils), 也认为可能是海绵动物, 但仍缺乏确切证据(Xiao 等, 2000a)。几乎与此同时, 作者在峡东地区震旦系陡山沱组燧石切片中发现了完整的单轴海绵骨针形态。它们保存在燧石结核中, 一般呈两端尖中间略宽的单轴针状形态, 硅质成分, 长度超过 200 μm , 最大宽度在 17 μm 左右(图版 II-3~4)。由于该类骨针为铸型保存, 因此未见海绵骨针的轴丝(axial filament)。必须指出, 目前在瓮安磷块岩发现的可疑海绵动物化石不论从杯状或球状个体的整体大小, 还是内部针状物的尺寸(图版 II-1~2) 都远远小于上述峡东地区发现的海绵骨针化石(图版 II-3~4), 通常它们仅相当于后者的 1/10~1/20。因此, 对于瓮安地区磷块岩中的海绵动物和骨针的解释仍需谨慎, 尚要进一步深入研究和确认。

4 蓝藻细胞集合体及类似瓶形的不明化石

瓮安陡山沱组矿化生物群中, 除已报道的多细胞藻类原叶体 *Sarcinophycus radiatus* (Xiao 等, 1999 ; 尹崇玉等, 2001a) 外, 还发现大量蓝藻细胞 *Paratetraphycus giganteus* 的集合体(图版 I-8)。该蓝藻细胞集合体以往在峡东地区陡山沱组燧石和瓮安地区磷块岩的岩石薄片中均有报道(尹崇玉等, 1988 ; Zhang 等, 1998), 但它们的磷酸盐化实体化石形态还是首次报道。化石一般由单独的四分体细胞聚集在一起, 四分体大小在 30 μm × 25 μm 至 40 μm × 30 μm 之间。除此之外, 在该矿化生物群中还发现少量类似瓶形的磷酸盐化不明化石(图版 I-12)。它们呈颈部较细的瓶状形态, 长轴大于 600 μm , 短轴 450 μm 左右。值得指出的是, 此类化石的确切属性以及同传统的“瓶状化石”是否有联系, 目前还无法得出确切结论。

总之, 迄今为止瓮安陡山沱期矿化生物群已包括蓝藻细菌类、多细胞藻类、可疑具骨骼动物和海绵化石、后生动物胚胎和休眠卵、具刺疑源类及其他疑难的不明化石等。该生物群具有明显的多样特征, 包含多种不同门类和类型, 是迄今为止全球保存最完好的末元古纪磷质化石库。如此丰富多样的精美磷酸盐化球状化石、多细胞藻类原叶体、蓝藻细胞结

构和具刺疑源类等同时出现,说明陡山沱期的磷酸盐化事件是一次突发的灾变事件。海水中大量磷质的突然富集,导致生态环境的急剧变化,出现类似现代“赤潮”的极端环境,造成各类生物的不均衡发展的大量死亡,致使不同类型的生物被磷酸盐化大量富集。对现代海洋的研究和实验证明,海洋生物软体的磷酸盐化过程往往仅需几天就可以完成。瓮安磷块岩不同种类生物被大量完美保存的事实,正好说明这种磷酸盐化作用是在瞬间完成的(尹崇玉等, 2001a)。

5 瓮安陡山沱期矿化生物群的研究意义

根据分子生物学的研究证据推测最早的动物分化至少发生在大约 1000 Ma 左右(Wray, 1996)。其中原口动物和后口动物完成谱系分离的时间,保守的估计大约发生在 600~700 Ma 左右(Ayala 等, 1998)。此外,原口动物内部的一些主要超门也很可能在前寒武纪就进行了谱系分离。如此看来,它们的共同祖先都应该出现在前寒武纪。因此,在前寒武纪晚期后生动物经历了一个较长的演化历史。而贵州瓮安陡山沱期含磷地层中类型多样的矿化生物群的发现,为研究包括后生动物在内的多细胞生物的早期演化提供了十分难得的机遇。它不仅极大地丰富了人们对早期生物演化的认识,同时也扩大了寒武纪后生动物大爆发的研究内涵。众所周知,寒武纪后生动物大爆发在整个地球早期生命演化史中是一次空前的进化事件。从寒武纪之初到 Atdabanian 期短短的 20 Ma 时间内,几乎所有的后生动物门类及其结构体制都同时出现。实际上后生动物的演化经历了晚前寒武纪一段复杂的历史,目前的研究资料已经证明,贵州瓮安地区磷酸盐化生物群不仅保存完美,而且具有复杂的多样性特征和丰富的研究内涵,是一个理想的研究早期生命进化的天然化石库,为研究地球早期多细胞动物的起源和演化提供了十分珍贵的材料。瓮安陡山沱期矿化生物群的生存的时间大致发生在 650 Ma 以后,是研究后生动物早期演化的黄金时期。尤其是早期动物胚胎的发现和深入研究具有重大科学意义,它为研究地球早期后生动物的起源、分类、谱系演化及个体发育等重大科学理论问题提供了有力的实证材料。

致谢 岩石切片由中国地质科学院地质研究所胡英明技师完成,磷块岩的微化石分析和化石的扫描电镜照相由中国地质科学院地质研究所周惠工程师完成,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 丁启秀,陈亿元. 1985. 后生动物和遗迹化石. 见: 扬子峡区生物地层(1)震旦系. 北京: 地质出版社, 115~119.
- 陈孟莪,刘魁梧. 1986. 晚震旦世陡山沱期磷块岩中微体化石的发现及其地质意义. 地质科学(1): 46~53.
- 肖书海,安德鲁·诺尔. 1999. 是胚胎还是藻类?——兼答薛耀松、周传明、唐天福先生. 微体古生物学报, 16(3): 313~323.
- 薛耀松,唐天福,俞从流. 1992. 贵州晚震旦世陡山沱期具骨骼动物化石的发及其意义. 古生物学报, 31(5): 530~539.
- 薛耀松,唐天福,俞从流,周传明. 1995. 贵州瓮安-开阳地区陡山沱期含磷岩系的大型球形绿藻化石. 古生物学报, 34(6): 688~706.
- 薛耀松,周传明,唐天福. 1999. “动物胚胎”——对瓮安地区陡山沱组微体化石的错误解释. 微体古生物学报, 16(1): 1~4.
- 尹崇玉,刘桂芝. 1988. 湖北震旦纪的微古植物. 赵自强等著《湖北震旦系》. 武汉: 中国地质大学出版社, 91~100, 170~180.
- 尹崇玉,高林志,邢裕盛. 2001a. 贵州瓮安震旦纪陡山沱期磷酸盐化球状化石的新观察. 地质学报, 75(2): 145~150.
- 尹崇玉,岳昭,高林志. 2001b. 磷酸盐化原肠胚化石在瓮安陡山沱组磷块岩中的发现. 科学通报, 46(12): 1036~1039.
- 尹磊明,薛耀松,袁训来. 1999. 中国南方末元古宙陡山沱组中的具刺磷酸盐微体化石. 微体古生物学报, 16(3): 267~274.
- 周传明,袁训来,薛耀松. 1998. 贵州瓮安新元古代陡山沱组海绵骨针假化石. 微体古生物学报, 15(4): 380~384.

References

- Ayala F J and Rzhetsky A. 1998. Origin of the metazoan phyla: Molecular clocks confirm palaeontological estimates. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 95: 606~611.
- Bengtson S and Yue Z. 1997. Fossilized metazoan embryos from the Earliest Cambrian. Science, 277(5332): 1645~1648.
- Brasier M, Green O, Shields G. 1997. Ediacarian sponge spicule clusters from southwestern Mongolia and the origins of the Cambrian fauna. Geology (Boulder), 25: 303~306.
- Chen Junyuan, Oliveri H, Li Chawei, Zhou G Q, Gao F, Hagadorn J W, Peterson K J, Davidson E H. 2000. Precambrian animal diversity: putative phosphatized embryo from the Doushantuo Formation of China. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 97: 4457~4462.
- Chen Menger and Liu Kuiwu. 1986. The geological significance of newly discovered microfossils from the upper Sinian (Doushantuo age) phosphorites. Scientia Geologica Sinica (1): 46~53 (in Chinese).
- Ding Qixiu and Chen Yiyuan. 1985. Metazoan and trace fossils. In: Biostratigraphy of the Yangtze Gorge Area, (1) Sinian. Beijing: Geological Publishing House, 115~119 (in Chinese).

Haeckel E. 1874. The gastrea theory , the phylogenetic classification of the animal kingdom and the homology of the germ-lamellae. Q. J. Microsc. Soc. , 14 : 142~165.

Li Chiawei , Chen Junyuan , Hua T. 1998. Precambrian sponges with cellular structures. Science , 279 : 879~882.

Li Guoxiang , Xue Yaosong and Zhou Chuanming. 1997. Late Proterozoic tubular fossils from the Doushantuo Formation of Weng 'an , Guizhou , China. Palaeoworld (7) : 29~37.

Wilby P R. 1993. The role of organic matrices in post-mortem phosphatization of soft-tissues. Kaupia , Darmsträger zur Naturgeschichte , (2) 99~113.

Wray G A , Levinton J S and Shapiro L H. 1996. Molecular evindene for deep Precambrian divergences among metazoan phyla. Science , 274 : 568~573.

Xiao Shuhai , Zhang Yun and Knoll A H. 1998. Three-dimensional preservation of algae and animal embryos in a Neoproterozoic phosphorite. Nature 391 : 553~558.

Xiao Shuhai & Knoll A H. 1999a. Fossil preservation in the Neoproterozoic Doushantuo phosphorite Lagerstätte , South China. Lethaia 32 : 219~240.

Xiao Shuhai & Knoll A H. 1999b. Embryos or algae ? A reply. Acta Micropalaeontologica Sinica , 16(3) : 313~323 (in Chinese).

Xiao Shuhai , & Knoll A H. 2000a. Phosphatized animal embryos from the Neoproterozoic Doushantuo Formation at Weng 'an , Guizhou , South China. Journal of Paleontology 74 : 767~788.

Xiao Shuhai , Yuan Xunlai and Knoll A H. 2000b. Eumetazoan fossils in terminal Proterozoic phosphorites ? Proceedings of the National Academy of Sciences , USA , 97 : 13684~13689.

Xue Yaosong , Tang Tianfu and Yu Congliu. 1992. Discovery of the oldest skeletal fossils from upper Sinian Doushantuo Formation in Weng 'an , Guizhou , and its significance. Acta Palaeontologica Sinian , 31(5) : 530~539 (in Chinese).

Xue Yaosong , Tang Tianfu , Yu Congliu and Zhou Chuanming. 1995. Large spheroidal Chlorophyta fossils from Doushantuo Formation phosphoritic sequence (Late Sinian) , central Guizhou , South China. Acta Palaeontologica Sinian , 34(6) : 688~706 (in Chinese).

Xue Yaosong , Tang Tianfu , Yu Congliu and Zhou Chuanming. 1999. " Animal embryos " , a misinterpretation of Neoproterozoic microfossils. Acta Micropalaeontologica Sinian , 16(1) : 1~4 (in Chinese).

Yin Chongyu and Liu Guizhi , 1988. Micropaleofloras of the Sinian System of Hubei. In : Zhao Ziqiang et al. , (ed.) , The Sinian System of Hubei. Wuhan : Chinese University of Geoscience Press , 91 ~ 100 , 170~180 (in Chinese).

Yin Chongyu , Gao Linzhi. 2000. The microfossils in phosphate deposit in Doushantuo stage , Sinian System , Weng 'an , Guizhou Province. Chinese Science Bulletin 45(3) 279~284.

Yin Chongyu , Gao Linzhi and Xing Yusheng. 2001a. New observations on phosphatized spheroidal fossils in Sinian Doushantuo phosphorites in Weng 'an , Guizhou Province. Acta Geologica Sinica. 75 (2) : 131~133 (in Chinese).

Yin Chongyu , Yue zhao and Gao Linzhi. 2001b. Discovery of phosphatized gastrula fossils from the Doushantuo Formation , Weng 'an , Guizhou Province , China. Chinese Science Bulletin , 46(20) : 1713~1716 (in Chinese).

Yin Leiming & Xue Yaosong. 1993. An extraordinary microfossil assemblage from Terminal Proterozoic phosphate deposits in South China. Chinese J. Bot. , 5(2) : 168~175.

Yin Leiming , Xue Yaosong and Yuan Xunlai. 1999. Spinose phosphatic microfossils from Terminal Proterozoic Doushantuo Formation in Southern China. Acta Micropalaeontologica Sinian , 16(3) : 267~274 (in Chinese).

Yuan Xunlai & Hofmann H J. 1998. New microfossils from the Neoproterozoic (Sinian) Doushantuo Formation , Weng 'an , Guizhou Province , southwestern China. Alcheringa , 22 : 189~222.

Yue Zhao & Bengtson S. 1999. Embryonic and post-embryonic development of the Early Cambrian cnidarian Olivoides. Lethaia , 32 : 181~195.

Zhang Yun , Yin Leiming , Xiao Shuhai and Knoll A. 1998. Permineralized fossils from the Terminal Proterozoic Doushantuo Formation , South China. Journal of Palaeontology 72(4) : 1~52.

Zhang Yun , Yuan Xunlai and Yin Leiming. 1998. Interpreting Late Precambrian microfossils. Science 282 : 1783.

Zhou Chuanming , Yuan Xunlai and Xue Yaosong. 1998. Sponge spicule-like pseudofossils from the Neoproterozoic Doushantuo Formation in Weng 'an , Guizhou , China. Acta Micropalaeontologica Sinian , 15(4) : 380~384 (in Chinese).

图 版 说 明

图版 I 为醋酸浸泡分析出的磷酸盐球状化石 ;图版 II 除图 3~4 为湖北宜昌燧石相化石外 ,其他均为贵州瓮安陡山沱期磷块岩薄片中发现。所有照片未经任何润饰 ,化石保存在中国地质科学院地质研究所。薄片号后括号内数字表示化石镜下坐标位置。

图版 I

- 1.磷酸盐球状化石 (phosphatized sphaeroidal fossils) ,外壳表面保存清晰的脑纹状结构 ,比例棒 = 190 μm 样品号 991024-5。
- 2.后生动物休眠卵 箭头示残留的部分具脑纹状结构的外壳。比例棒 = 190 μm 样品号 991024-5。
- 3~7.内部保存卵裂阶段特征的前囊胚期标本 (3-保存二分的卵裂球 箭头示外壳残留部分 ;4-保存四分的卵裂球 箭头示残留外壳 ; 5-保存八分的卵裂球 箭头示残留外壳 ; 6-保存十六分的卵裂球 箭头示外壳残留 ;7-保存三十二分的卵裂球 ,箭头示残留的外壳) 。比例棒均为 190 μm 样品号 991024-5。
- 8.磷酸盐化蓝藻细胞集合体 *Paratetraphycus giganteus* Zhang ,比例棒 = 200 μm 样品号 991024-5。
- 9.可疑海绵动物化石 ,可能与岩石薄片中发现的球状或杯状可疑海绵动物化石 (图版 II -1) 相对应的磷酸盐化实体。比例棒 = 400 μm 样品号 991024-5。
- 10.原肠胚期动物胚胎化石 ,保存囊胚内陷形成原肠胚的特征 ,无残留外壳结构。比例棒 = 190 μm ,样品号 991024-5。

- 11-另一原肠胚期动物胚胎化石 ,内陷孔四周可见类似细胞的分隔痕迹 ,未见残留外壳结构。比例棒 = 190 μm ,样品号 :991024-5。
- 12-类似瓶形的磷酸盐化不明化石 ,比例棒 = 200 μm ;样品号 :991024-5。

图版 II

- 1~2-岩石薄片 中见到的呈蘑菇状的可疑海绵动物化石(1-比例棒 = 80 μm ; 2-比例棒 = 40 μm),贵州瓮安陡山沱组上磷矿层下部 ,薄片号 SWB5-1(27 $\times$ 100.1)。
- 3~4- 峡东地区震旦系陡山沱组燧石结核中的硅质单轴海绵骨针(3-比例棒 = 100 μm ; 4-为图 3 的进一步放大 ,示两端变尖的细节结构 ,比例棒 = 50 μm),薄片号 :9910191-1 (22.1 $\times$ 86.2)。

Notes of the plate

Plate I

- 1-Phosphatized sphaeroidal fossils with well-preserved brain-like ornament. scale bar = 190 μm ,sample number 991024-5.
- 2-Animal resting egg ,arrow points to the fragmentary wall with brain-like ornament. scale bar = 190 μm ,sample number 991024-5.
- 3~7-Early cleavage stage of metazoan embryos from 2-cell stages(3-2-cell stage ;4-4-cell stages ;5-8-cell stage ;6-16-cell stage and 7-32-cell stage ,arrows point to fragmentary walls). scale bar = 190 μm :

- sample number 991024-5.
- 8-A community of phosphatized blue algae *Parateraphycus giganteus* Zhang ,scale bar = 200 μm ,sample number 991024-5.
- 9-Questionable sponge animal ,which probably is equivalent to those sphaeroidal or cup-shaped questionable sponge fossils in thin section (plate II -1). scale bar = 400 μm ,sample number 991024-5.
- 10-A phosphatized stereogastrulae fossil shows a hole-like invagination structure at the middle part into the embryo ,scale bar = 190 μm ; sample number 991024-5.
- 11-Another phosphatized stereogastrulae fossil with some damage in lateral part ,occurrence of cell-like structures in surrounding ,scale bar = 190 μm ,sample number 991024-5.
- 12-A vase-shaped problematic fossil ,scale bar = 200 μm ,sample number :991024-5.

Plate II

- 1~2-A cup-shaped questionable sponge fossil in thin section(1. scale bar = 80 μm 2. = 40 μm)from the lower part of the upper member of the Doushantuo Formation ,thin section SWB5-1 (27 $\times$ 100.1)。
- 3~4-Siliceous monaxon spicules of sponge found from chert nodules in the Doushantuo Formation ,eastern Yangtze Gorges (3-scale bar = 100 μm 4-an enlarged view of 3 showing details of tapering in two ends). thin section :9910191-1(22.1 $\times$ 86.2)。

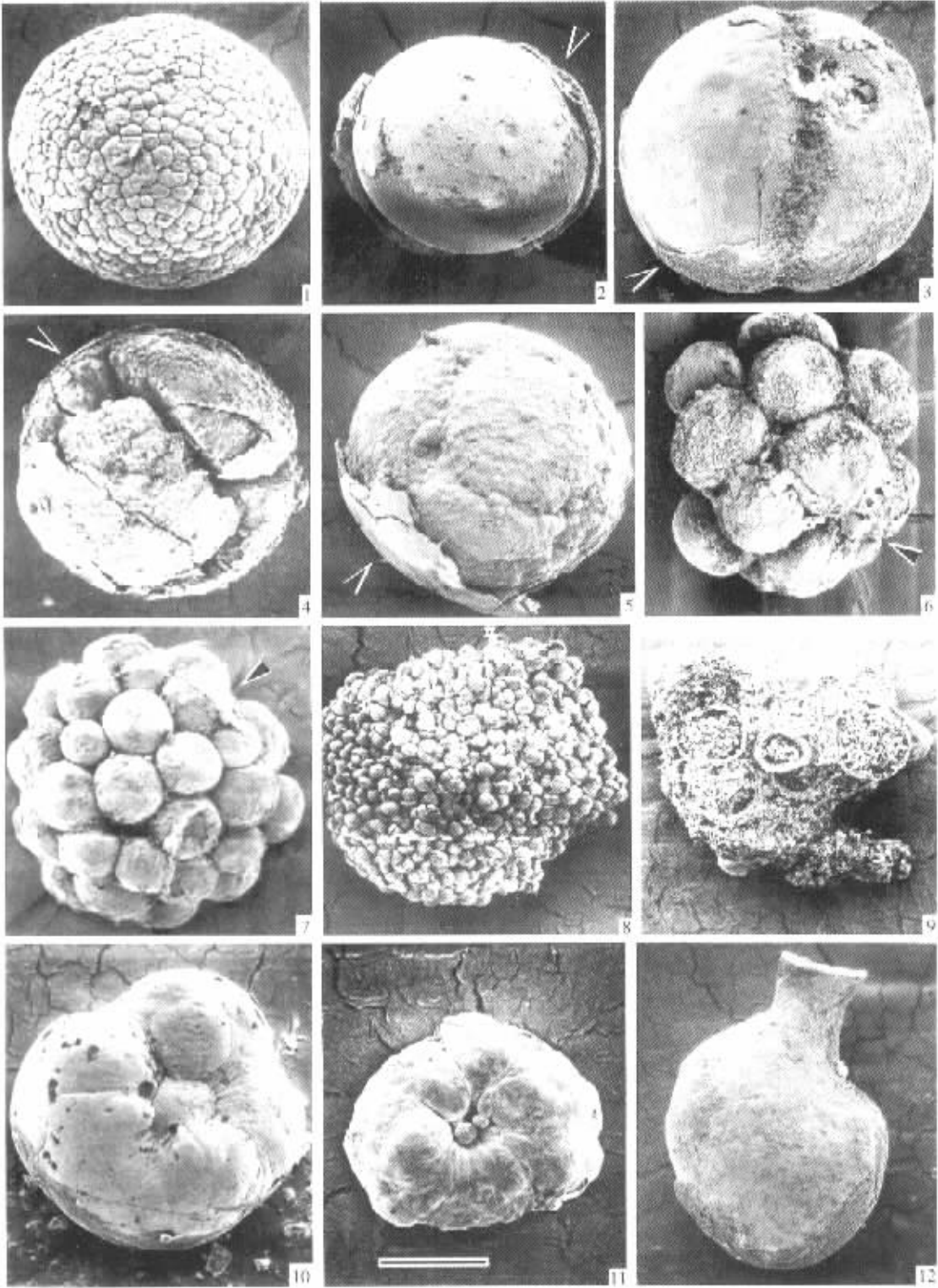


2001 年中国科技期刊引证报告——影响因子分类排序

地球科学类(未包括地质地理类)

名次	期刊名称	影响因子	总被引频次	名次	期刊名称	影响因子	总被引频次
1	地质前缘	1.071	431	19	中国地震	0.355	178
2	第四纪研究	1.015	512	20	微体古生物学报	0.316	129
3	地球化学	0.907	547	21	世界地震工程	0.255	78
4	测绘学报	0.821	213	22	空间科学学报	0.239	105
5	地球物理学报	0.693	852	23	国土资源遥感	0.217	43
6	自然灾害学报	0.660	225	24	古生物学报	0.212	343
7	地震工程与工程振动	0.627	337	25	内陆地震	0.188	73
8	古脊椎动物学报	0.527	165	26	灾害学	0.173	121
9	地球科学进展	0.526	247	27	干旱区研究	0.171	99
10	地震	0.508	192	28	矿物岩石地球化学通报	0.149	84
11	地壳形变与地震	0.504	143	29	西北地震学报	0.137	115
12	地震研究	0.491	149	30	华南地震	0.132	58
13	地球学报	0.484	142	31	测绘工程	0.125	34
14	地震学报	0.476	467	32	华北地震科学	0.122	57
15	武汉测绘科技大学学报	0.439	209	33	地球物理学进展	0.117	72
16	地球科学	0.431	529	34	地震地磁观测与研究	0.113	64
17	大地构造与成矿学	0.400	100	35	物探与化探	0.099	90
18	中国沙漠	0.369	228				

图版 I



图版 II

