

皖南早寒武世荷塘组海绵动物群

陈 哲 胡 杰 周传明 肖书海 袁训来 *

(中国科学院南京地质古生物研究所, 南京 210008; Department of Geological Science, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA 24061, USA. * 联系人, E-mail: xyuan@nigpas.ac.cn)

摘要 皖南早寒武世荷塘组黑色页岩中完好地保存了数量众多和分异度较高的海绵化石, 它们代表了早寒武世一个独特的、以底栖固着和滤食性方式生活的动物群, 命名为“西递海绵动物群”。该动物群生活于浪基面之下含氧的静水环境中。浮游藻类的繁盛和快速沉积形成了荷塘组黑色岩系, 充足的食物供给、缺少底栖自由取食动物的竞争、早寒武世广泛分布的空白生境以及海水中氧含量垂向分层形成的选择压可能是导致海绵动物发生形态分异和个体大型化的原因。

关键词 早寒武世 海绵动物群 荷塘组 皖南

皖南休宁蓝田地区位于古扬子地台的东南部, 属于扬子地层区中的江南地层分区。新元古代晚期全球经历了最为广泛的冰川作用, 在整个扬子地台之上发育了多套冰川沉积。冰期结束后的广泛海侵在皖南先后形成了厚达数百米的蓝田组黑色页岩和皮园村组黑色条带状硅质岩。早寒武世的海侵在皖南蓝田地区沉积了荷塘组的硅质、炭质页岩^[1]。

海绵化石发现于休宁县和黟县之间的蓝田盆地边缘下寒武统荷塘组的炭质页岩中。该地区寒武系岩层自下而上分为荷塘组、大陈岭组、杨柳岗组、华严寺组和西阳山组。荷塘组岩性从下而上可分为 3 段, 其下部为深灰和灰黑色硅质页岩(8 m), 与下伏震旦系皮园村组之间为整合接触; 中部为灰黑色炭质页岩(即石煤层)与含硅质炭质页岩互层(38 m), 其中夹有石煤层及呈串珠状顺层分布的磷结核; 上部为黑色炭质页岩和含硅质的炭质页岩(36 m)。上覆大陈岭组与荷塘组整合接触。

目前, 皖南荷塘组的时代尚未有确切的化石证据。根据浙西荷塘组的小壳化石^[2]和三叶虫^[3]化石组合特征, 以及湖南和贵州相当地层(牛蹄塘组)黑色岩系中多金属矿富集层的 Re-Os 同位素年龄^[4~6], 皖南荷塘组含化石的石煤层可能相当于早寒武世梅树村阶至筇竹寺阶(或 Tommotian-Atdabanian)^[7,8]。

1 动物群面貌

荷塘组炭质页岩中保存了大量完整的海绵化石个体和离散的海绵骨针, 以及少量的软舌螺和遗迹化石。海绵主要为普通海绵和硅质海绵, 而缺乏钙质

海绵。现已描述具骨架结构的海绵 11 种和分类不明的 2 个种类^[8,9]。离散海绵骨针数量丰富, 多数为硅质或次生黄铁矿化保存, 大小和形态多样, 主要以单轴和三轴针为主^[8~10]。

荷塘组产出的海绵化石以个体保存完整为特征。具骨架完整保存的海绵化石在梅树村阶之前鲜有报道, 而荷塘组产出的化石以及湖南西北部牛蹄塘组产出的海绵化石^[11,12]可能是最早的确定的海绵个体化石。

荷塘组的海绵化石个体巨大, 多在 10 cm 左右, 最大可达 1 m 以上, 如 *Sanshapentella dapingi*^[8] 及图 1(b)。离散骨针长度多在 200~1500 μm , 最长可达 20 cm。早-中寒武世表生滤食性两侧对称后生动物普遍生活于 10 cm 垂直梯度(tier)^[13,14]。海绵化石的资料表明非两侧对称的后生动物在早寒武世生活的垂直梯度已经达到 1 m 以上^[8]。

海绵动物在晚前寒武纪已经出现, 早寒武世海绵化石的分布非常广泛^[15,16]。在早寒武世梅树村阶牛蹄塘组(湖南)^[11,12]、荷塘组(皖南)^[8~10]以及筇竹寺阶的澄江动物群^[16~20]中都发现了形态多样的、保存完整的六射海绵和普通海绵个体化石, 这说明在早寒武世时海绵已经发生了明显分异。皖南荷塘组石煤层以海绵动物为主, 化石产出层位为梅树村阶或筇竹寺阶早期, 略早于澄江动物群的出现。澄江动物群是以节肢动物为主的多门类的动物群^[17~20], 相比这下, 荷塘组石煤层中产出的生物较为单调, 主要是普通海绵和硅质海绵两纲。荷塘组石煤层化石群代表了早寒武世独特的以海绵化石为主的生物群。在湖南

时代相当的牛蹄塘组黑色页岩中同样产出大量的海绵动物化石^[11,12]。我们将早寒武世早期以化石海绵动物为主,以皖南休宁县蓝田镇小溪村和黟县西递村为代表产地的生物群命名为“西递海绵动物群”。

2 海绵动物的分异和环境背景

现代海绵和化石海绵的研究表明,海绵动物对

环境的耐受性非常强,而硅质海绵主要生活在较深的静水环境中。皖南休宁地区早寒武世位于皖南-赣北海盆南缘,浙西边缘台地的北部。早寒武世蓝田剖面荷塘组黑色页岩属过渡型浅海~半深海碳泥质沉积,为陆架外缘斜坡环境^[21]。荷塘组发现大量表生固着的海绵,从原位保存的完整海绵化石骨架来看,当

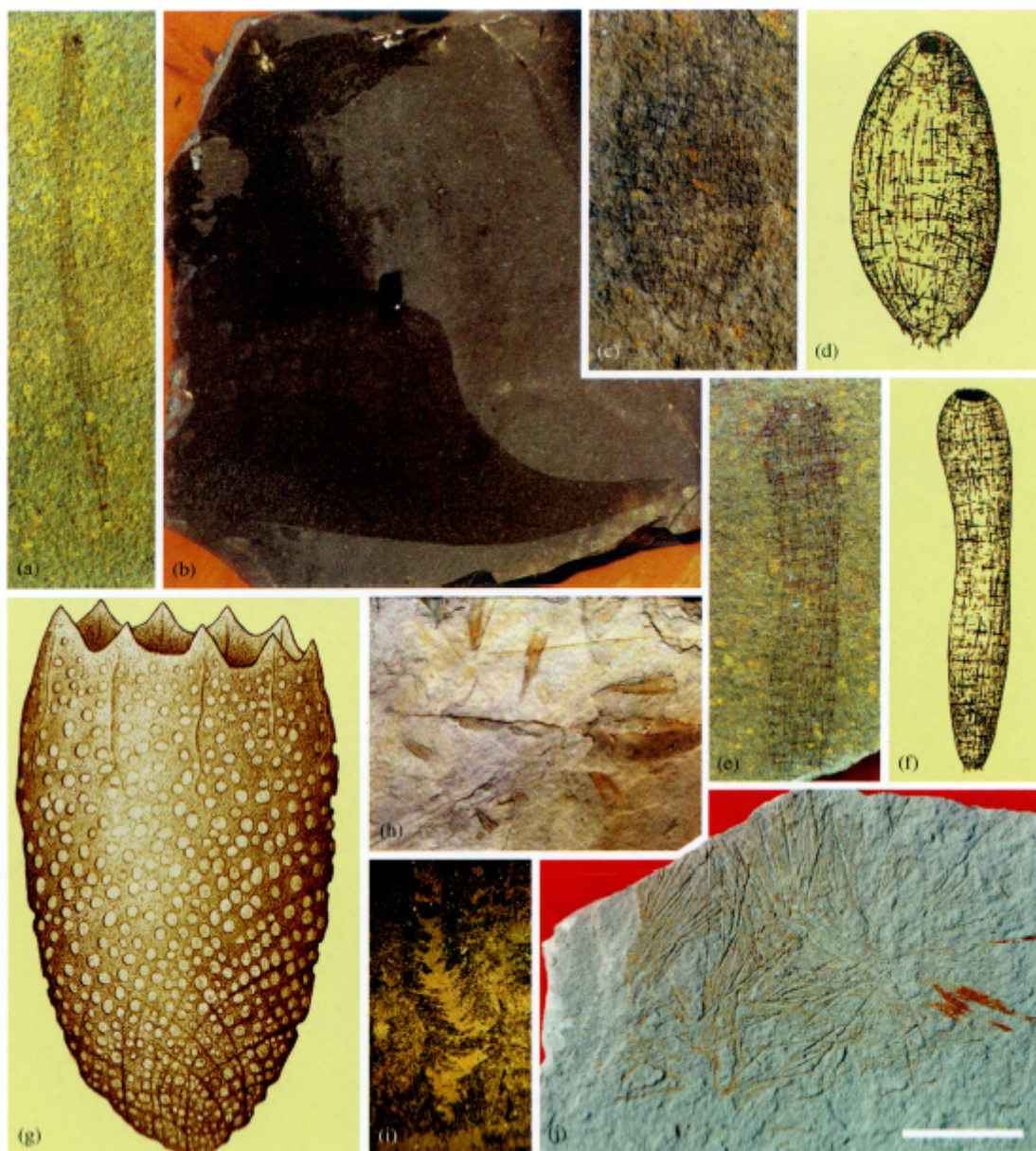


图1 早寒武世荷塘组的主要化石类型

(a)~(g), 四射海绵。(a) *Heminectera* sp.; (b) 四射海绵(未定种), 保存部分约45 cm, 推测完整的海绵个体可达1 m以上; (c), (d) *Heminectera* sp. 化石及复原; (e), (f) *Heminectera* sp. 化石及复原; (g) 四射海绵(未定种)复原图; (h) 软舌螺类; (i) 遗迹化石; (j) 普通海绵 *Choia* sp. (j) 中线段在(a)中代表2 cm, 在(b)中代表10 cm, 在(c), (d)中代表0.7 cm, 在(e), (f), (i)中代表1 cm, 在(g)中代表8 cm, 在(h), (j)中代表1.5 cm

时水体十分平静,属于浪基面以下较深的静水环境。

皖南休宁地区下寒武统荷塘组主要为黑色炭质页岩,按传统观点解释可能代表缺氧还原环境下的沉积。但是原位保存的海绵化石反映了当时水体是含氧的,我们推测氧化-还原界面处于沉积物-水界面附近。大量浮游藻类和细菌堆积的生物遗体在生物菌解作用下产生大量的腐植酸、 CH_4 和 H_2S 等,可导致沉积界面及下部沉积物中持续处于稳定的还原状态。氧化-还原界面的深度由氧气的消耗率决定,主要取决于有机物质的丰度和沉积率^[22]。尹磊明^[23]通过对硅磷质沉积物中发现大量的浮游藻类的分析,认为发生在扬子地台下寒武统的“缺氧事件”的黑色页岩是由于寒武纪早期的海侵将深层富含营养盐类的海水注入沉积盆地,促使浮游藻类等微生物大量繁殖,导致水体富营养化的结果。

荷塘组以大的磷结核出现为开端,硅质泥岩均为黑色,中层状构造。自下而上,泥质增加而硅质减少,夹有较厚的石煤层,硫含量高,化石多数被次生黄铁矿化。黄铁矿是还原环境下常见的矿物,是硫酸盐在硫还原细菌参与作用下与含二价铁离子(Fe^{2+})反应形成。现代海洋沉积的研究发现,无论是含氧环境或无氧环境的大陆边缘和深海中均含有活动性铁离子^[24],化石的黄铁矿化作用主要是由有机质多少及其沉积速率控制^[25]。在还原性的海洋水体中,沉积物和化石本身可能同时都大范围地发生黄铁矿化,不易保存化石的整体形态,而只有在化石周围形成还原性的微环境,才有利于形态完整的黄铁矿化化石的保存^[26]。荷塘组水体为含氧的静水环境,底栖生活着大量的海绵动物,当海绵死亡后,机体的腐烂形成还原性微环境,使海绵骨针得以黄铁矿化,并保存了形态多样和完整的骨针。荷塘组石煤层中常见黄铁矿结核,结核继承了原始的层纹,说明了黄铁矿结核的形成是成岩后期形成的。

早寒武世早期后生动物大量出现,生物界呈现“大爆发”景象。此时的动物主要是以小壳化石为代表的后生动物,与早寒武世小壳生物群形成鲜明对比的是产自荷塘组巨大的海绵个体。早寒武世海绵化石巨型化是与周围环境协同演化的结果。有机物质的氧化消耗了底层水中大部分的氧气,从而可能造成海水中的氧含量具有明显的垂向分层。为了获取更多的氧气,海绵动物可能被迫长高和长大,因此,对氧的需求可能是海绵个体趋向大型化的一个因素。

早寒武世荷塘组所含化石种类单调,主要是不同种类的海绵动物,生态结构简单。新元古代晚期至寒武纪海洋生态系统中生物的演化和变异很复杂,毫无疑问,它们受生物本身基因的控制^[27],也与生态、环境的相互作用有关^[28],然而营养的产生与分布是后生动物演化中不可忽视的因素^[29]。

湖南牛蹄塘组底部黑色页岩中夹热水沉积的多金属层,同时产海绵化石,Steiner等人^[7]认为海绵的出现与热水活动有关,食物来源为化学自养的初级生产者,可能完全不依靠浅海光学自养生物。与海绵共生的化学合成细菌是早期海绵演化的重要特征。皖南休宁地区在震旦系-寒武系界面处,垂向上存在着岩性、地球化学条件的变化。震旦系硅质岩以热水来源为主,而寒武纪的泥质硅岩中,陆源输入的杂质相对增加。主要受热水来源影响的 SiO_2 , MnO_2 , TFe 由剖面底向上,由较高值变小;而受陆源输入控制为主的 Al_2O_3 , K_2O , MnO 等则相反,由较低的值向上变高^[30,31]。早寒武世热水活动对生物的影响相对较弱。

浮游微体藻类(疑源类)是前寒武纪-寒武纪海洋食物链中最重要的组成部分^[32],是有机碳的主要生产者,它们的繁盛与海水碳同位素组成的变化有着密切关系。早寒武世早期疑源类成种作用明显增大,发生了辐射演化,生物量剧增。这与全球疑源类分析统计结果相一致^[29,33]。因此,海洋生物链中占重要地位的疑源类的繁盛与早期后生动物分异有明显的相关性。黑色页岩中含有丰富的有机质。皖南地区早寒武世荷塘组黑色岩系中总有机碳平均含量(7.38%)反映了浮游藻类的繁盛和底栖细菌的贡献。

早寒武世浮游植物和后生动物的同步演化可能反映了初级生产者及消费者、以及海洋生态系统关系的复杂化^[29]。疑源类作为初级生产者,在早寒武世海洋中,广泛分布,数量极丰富,构成了海洋食物链的底层,为早期后生动物的演化提供了充足的营养。海绵为固着表生生物,通过从水中过滤浮游生物和其它悬浮有机物质来取食,在营养结构中是初级消费者。充足的食物供给、缺少底栖自由取食动物,以及早寒武世广泛分布的空白生境可能有利于滤食性的海绵动物发生大的形态分化和体型增大。有机质的快速沉积使沉积界面附近的局部环境缺氧,对需氧呼吸的底栖固着海绵动物形成了一个大的选择压,这也可能是导致早寒武世荷塘海绵个体增高、增大的主要原因之一。

致谢 本工作受国家自然科学基金(批准号: 40372006)、科学技术部重大国际合作项目(2003CB716805)、国家重点基础研究发展规划项目(G2000077701)、中国科学院知识创新基金(KZCX2-116)资助。

参 考 文 献

- 1 夏军. 安徽西部下扬子地区寒武系露头层序地层初步研究. 安徽地质, 1995, 5(1): 38~46
- 2 何圣策, 俞国华. 浙江江山早寒武世梅树村期小壳化石. 浙江地质, 1992, 8: 1~7
- 3 李昌文, 何建平, 叶何青. 安徽贵池早寒武世盘虫类三叶虫的发现. 地层学杂志, 1990, 14: 159~160
- 4 李胜荣, 肖启云, 申俊峰, 等. 湘黔下寒武统铂族元素来源与矿化年龄的 Re-Os 同位素制约. 中国科学, D 辑, 2002, 32: 568~575 [摘要] [PDF]
- 5 Mao J, Lehmann B, Du A, et al. Re-Os dating of polymetallic Ni-Mo-PGE-Au mineralization in Lower Cambrian black shales of South China and its geologic significance. Economic Geology, 2002, 97: 1051~1061
- 6 Jiang S, Yang J, Ling H. Re-Os isotopes and PGE geochemistry of black shales and intercalated Ni-Mo polymetallic sulfide bed from the Lower Cambrian Niutitang Formation, South China. Progress in Natural Science, 2003, 788~794
- 7 Steiner M, Wallis E, Erdtmann B-D, et al. Submarine-hydrothermal exhalative ore layers in black shales from South China and associated fossils- insights into a Lower Cambrian facies and bio-evolution. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2001, 169: 165~191
- 8 Yuan X L, Xiao S H, Parsley R L, et al. Towering sponges in an Early Cambrian Lagerstätte: Is there a non-bilateria fauna prior to the Cambrian fauna? Geology, 2002, 4: 363~366 [DOI]
- 9 Xiao S, Hu J, Yuan X, et al. Articulated sponges from the Early Cambrian Hetang Formation in southern Anhui, South China: Their age and implications for early evolution of sponges. Palaeogeogr, Palaeoclimatol, Palaeoecol, 2004 (in press)
- 10 胡杰, 陈哲, 薛耀松, 等. 皖南早寒武世荷塘组海绵骨针化石. 微体古生物学报, 2002, 19: 53~62
- 11 Steiner M, Mehl D, Reitner J, et al. Oldest entirely preserved sponges and other fossils from the lowermost Cambrian and a new facies reconstruction for the Yangtze Platform (China). Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen, 1993, ser E, 9: 293~329
- 12 Mehl D, Erdtmann B-D. *Sanhapentella dapingi* n. gen. sp.—A new hexactinellid sponge from the Early Cambrian (Tommotian) of China. Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen, ser E, 1994, 13: 315~319
- 13 Bottjer D J, Ausich W I. Phanerozoic development of tiering in soft substrata suspension-feeding communities. Paleobiology, 1986, 12: 400~420
- 14 Ausich W I, Bottjer D J. Sessile invertebrates. In: Briggs D E G, Crowther P R, eds. Palaeobiology. Oxford: Blackwell, 2001. 384~386
- 15 Reitner J, Mehl D. Early paleozoic diversification of sponges: New data and evidences. Geol palaeont Mitt Innsbruck, 1995, 20: 335~347
- 16 Rigby J K, Hou X. Lower Cambrian demosponges and hexactinellid sponges from Yunnan, China. J Paleontol, 1995, 69: 1009~1019
- 17 钱逸, 陈孟裁, 何廷贵, 等. 中国小壳化石分类学与生物地层学. 北京: 科学出版社, 1999. 27~31
- 18 侯先光, 杨·伯格斯科, 王海峰, 等. 澄江动物群——5.3 亿年前的海洋动物. 昆明: 云南科技出版社, 1999. 40~49
- 19 罗惠麟, 胡世学, 陈良忠, 等. 昆明地区早寒武世澄江动物群. 昆明: 云南科技出版社, 1999. 1~129
- 20 陈良忠, 罗惠麟, 胡世学, 等. 云南东部早寒武世澄江动物群. 昆明: 云南科技出版社, 2002. 1~199
- 21 蒲心纯, 周浩达, 王熙林, 等. 中国南方寒武纪岩相古地理与成矿作用. 北京: 地质出版社, 1993. 1~191
- 22 Wignall P B. Black Shales. Oxford: Clarendon Press, 1994. 1~127
- 23 尹磊明. 扬子地台前寒武纪-寒武纪界线地层的微体植物化石群. 地层学杂志, 1995, 19(4): 209~307
- 24 Raiswell R, Canfield D E. Sources of iron for pyrite formation in marine sediments. American Journal of Science, 1998, 298: 219~245
- 25 Brett C E, Baird G C. Comparative taphonomy: A key to paleoenvironmental interpretation based on fossil preservation. Palaios, 1986, 1: 207~227
- 26 Allison P A. Konservat-Lagerstätten: Cause and classification. Paleobiology, 1988, 14: 331~344
- 27 Knoll A H, Carroll S B. Early animal evolution: Emerging views from comparative biology and geology. Nature, 1999, 284: 2129~2137
- 28 Butterfield N J. Plankton ecology and the Proterozoic-Phanerozoic transition. Paleobiology, 1997, 23: 247~262
- 29 Moczydlowska M. Early Cambrian phytoplankton diversification and appearance of trilobites in the Swedish Caledonides with implications for coupled evolutionary events between primary producers and consumers. Lethaia, 2002, 191~214
- 30 赵国连, 赵澄林, 王东安, 等. 皖南浙西晚震旦世至早寒武世硅岩物源与环境类型初探. 现代地质, 2001, 15(4): 371~376
- 31 赵国连. 生物作用在二氧化硅聚集沉淀过程中的意义——以皖南浙西的硅质岩为例. 沉积学报, 1999, 17(1): 30~37
- 32 Butterfield N J. Ecology and evolution of Cambrian plankton. In: Zhuravlev A Y, Riding R. eds. The ecology of the Cambrian radiation. New York: Columbia University Press, 2001. 200~216
- 33 Vidal G, Moczydlowska M. Biodiversity, speciation, and extinction trends of Proterozoic and Cambrian phytoplankton. Paleobiology, 1997, 23: 230~246

(2004-06-03 收稿, 2004-07-13 收修改稿)