

doi:10.12097/j.issn.1671-2552.2022.12.009

云南中三叠世罗平生物群首次发现硅质海绵骨针化石

黄金元, 胡世学, 张启跃, 周长勇, 文芝, 马志鑫

HUANG Jinyuan, HU Shixue, ZHANG Qiyue, ZHOU Changyong, WEN Wen, MA Zhixin

中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081

Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China

摘要:在云南罗平生物群中新发现的硅质海绵骨针化石, 包括单轴骨针和四轴骨针两大类, 其中四轴骨针包含后三叉骨针、前三叉骨针和棘状骨针 3 种类型。海绵骨针形态保存完整, 并发育微细的轴管构造。扫描电镜能谱(EDS)分析表明, 骨针的构成成分为 Si 和 O 元素。骨针的形态类型和组成元素表明, 它们属于普通海绵纲。海绵骨针在罗平生物群化石库中的发现, 显示海绵动物也曾是该生物群中的一员, 丰富了此生物群门类的多样性。

关键词:中三叠世; 海绵骨针; 罗平生物群; 云南

中图分类号:P534.51; Q91 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2022)12-2167-06

Huang J Y, Hu S X, Zhang Q Y, Zhou C Y, Wen W, Ma Z X. First discovery of the siliceous sponge spicules from the Middle Triassic Luoping Biota, Yunnan Province. *Geological Bulletin of China*, 2022, 41(12): 2167–2172

Abstract: Two types of siliceous sponge spicules have been discovered from Luoping Biota from Yunnan Province, southwest China, including the monaxons and tetractines which contains anatriaene, prototriaene and calthrops three forms. The spicules are well-preserved with the micro-structure of axial canal. The spicules are composed of the elements of silicon and oxygen by testing with Energy Dispersive Spectrometer (EDS). The element compositions and the types of the spicules indicate that they belong to the Demospongia. These fossil spicules are the first reported in Luoping Biota, they indicate that the sponges used to live together with other fossils in Luoping Biota, and increasing the diversity of this biota.

Key words: Middle Triassic; sponge spicules; Luoping Biota; Yunnan Province

海绵动物是一类古老且原始的多细胞动物, 在地球上生存长达 6 亿年之久, 最早发现的海绵动物可以追溯到前寒武纪^[1-2]。海绵动物在胚胎发育过程中与其他的多细胞后生动物显著不同, 被认为是多细胞动物的一个侧枝, 称为侧生动物。此外, 海绵动物体壁上散布着许多小孔, 是一种滤食性生物, 故又被称为多孔动物。寒武纪生物大爆发后, 海绵动物开始繁盛并迅速演化, 其骨针数量和分异度相应增加, 奠定了该门的基本格局, 并在古生代和中生代成为重要的造礁生物。有学者详细地总

结了海绵骨针的形态类型^[3-5], 介绍了海绵动物的基本特征, 依据海绵骨针性质与硬体骨骼结构特征把海绵动物划分为 5 个纲^[4]: 普通海绵纲、六射海绵纲、异射海绵纲、钙质海绵纲和硬骨海绵纲。目前发现的现生海绵动物近 2000 种, 包括普通海绵纲、六射海绵纲和钙质海绵纲 3 个纲^[6], 广泛分布于海洋和淡水生态系统中, 是现代海洋生态系统的重要成员。

海绵动物的体壁由内外 2 层细胞构成, 骨骼为硅质或钙质骨针、骨丝, 支撑海绵动物身体, 死后软

收稿日期: 2020-02-27; 修订日期: 2021-03-11

资助项目: 国家自然科学基金项目《云南三叠纪罗平生物群埋藏学及群落生态学研究》(批准号: 41772022)、《应用同步加速器 X 射线层析显微技术重建云南罗平中三叠世牙形石多分子器官》(批准号: 41502013)、中国地质调查局项目《扬子陆块攀枝花—玉溪地区与罗平生物群区域地质调查》(编号: DD20190054)、《南盘江北缘三叠纪古生物群专项地质调查》(编号: DD20221635-004)

作者简介: 黄金元(1982-), 男, 博士, 副研究员, 从事三叠纪古生物群及相关古生物化石研究。E-mail: hjinyuan69@qq.com

体非常容易崩解,骨针多以散落的形式保存^[7-8],但在特异埋藏环境中保存了带软体硬痕的海绵化石^[9-11],此外在生物礁丘中也发现了立体形态的海绵化石^[12-14]。本次在云南罗平生物群下化石层的多个层位中发现的海绵骨针化石均为散落形式保存的单体骨针化石,尚未发现具有完整海绵动物个体或群体保存的原位化石。本项研究揭示了罗平生物群中存在海绵动物及其保存的海绵骨针化石的基本形态特征,虽然目前仅发现了海绵动物的骨针化石,但是它代表了一个新的化石门类,丰富了罗平生物群的化石内容,同时也为后期研究海绵动物的演化提供了实证材料。

1 地质简况

本文报道的海绵骨针化石产自云南罗平地区的关岭组中,该地层广泛分布于云南、贵州等地。

罗平地区的关岭组主要分为2段:一段以杂色泥岩、白云岩为特征,底部发育区域上广泛分布的火山灰(俗称绿豆岩);二段主要由瘤状灰岩、泥灰岩、微晶灰岩和白云岩构成,其中在罗平地区的具纹层灰岩中有大量保存精美的古生物化石,被命名为罗平生物群^[15]。该生物群富含鱼类和海生爬行类的脊椎动物,并发育大量的无脊椎动物,如龙虾、对虾、糠虾、等足虫等节肢动物,与之相伴的还有双壳类、腹足类、头足类、棘皮类等化石。新发现的海绵骨针化石代表了上述门类之外的一个新类型。海绵骨针产于含罗平生物群的大洼子和上石坎剖面,其所属牙形石生物地层时代为中三叠世安尼期 Pelsonian 亚期^[16-17](图1)。

2 材料与方法

本次研究的海绵骨针化石产于云南罗平县的

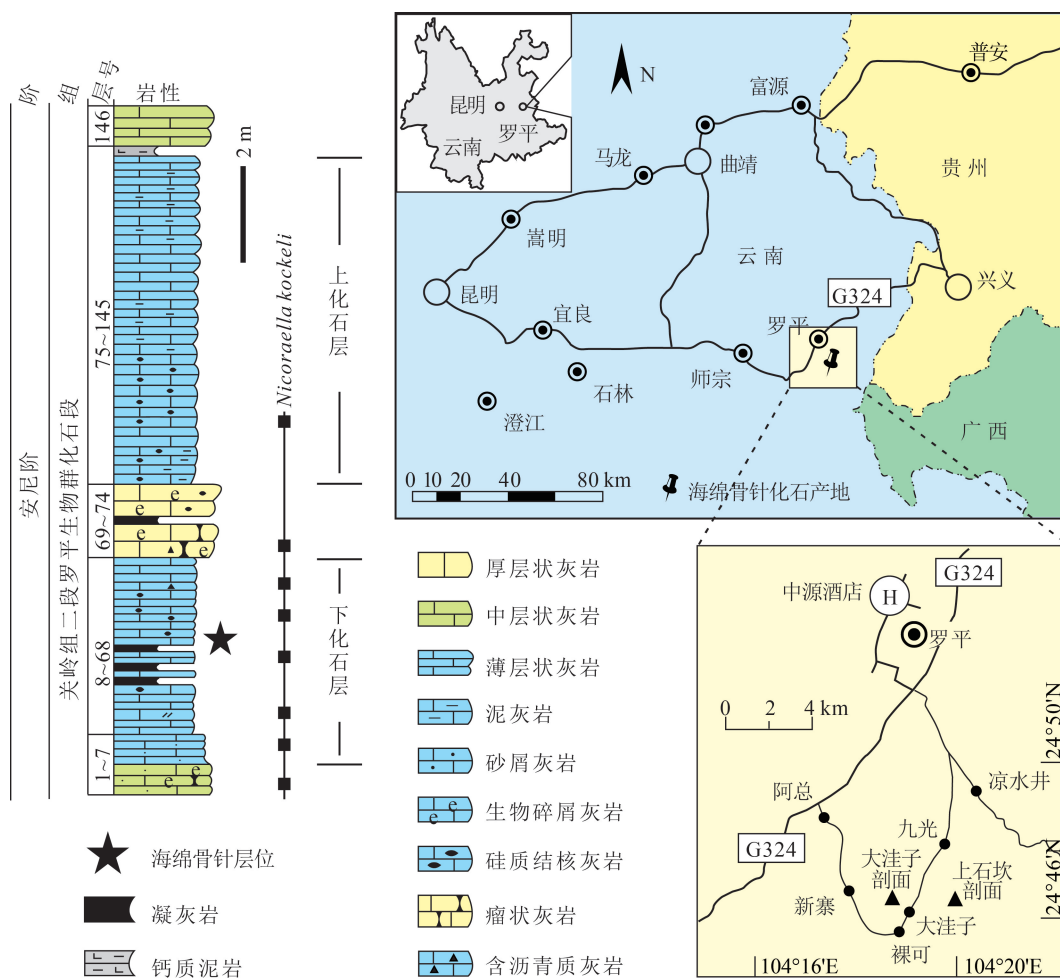


图1 研究区交通位置及海绵骨针产出相应层位

Fig. 1 Geographical map of the study area and the occurrence layer of fossil sponge spicules

上石坎和大洼子 2 个剖面,集中在含罗平生物群下化石层的多个层位(图 1)。它们是在采用了 10% 醋酸处理牙形石灰岩样品时于双目立体显微镜下挑选牙形石化过程中被发现的,保存于中国地质调查局成都地质调查中心。标本在中国地质大学(武汉)地质过程和矿产资源国家重点实验室使用莱卡立体显微镜(LEICA DFC450)完成立体光学照相,使用扫描电镜仪器(Quanta 200)完成扫描电镜成像及元素能谱测定。

3 海绵骨针形态及化学成分

罗平生物群中获得的海绵骨针化石标本主要有 2 类:①四轴骨针(tetractines,图版 I-A~D);②单轴骨针(monaxons,图版 I-E~K),其中单轴骨针丰度较高。海绵动物死后仅极少数能在特异埋藏环境中保留其外貌形态,而大多数是腐解后以散落骨针状态保存的。另外,同一海绵动物含有多种类型骨针,而多数骨针类型自寒武纪到现代海绵动物中都较常见,故研究者多不以单个的海绵骨针的形态建立属种^[18]。所以,本文对罗平发现的骨针仅进行形态方面的简要描述。

3.1 海绵骨针形态

单轴双射骨针(mono;oxeas):罗平生物群中发现了大量单轴状的骨针化石(图版 I-E~K),单轴双射针,骨针两端尖,整体呈直形或微弯形态。骨针表面较光滑,未被黄铁矿覆盖的骨针呈乳白色(opaline silica)或具透明状。骨针中空,保留了轴管构造,在个体较大的破损骨针或在乳白色骨针中可识别出一条深色较细的阴影线。骨针直径大小不一,一般总体长度为 0.5~1 mm,最长可达 2 mm,按照骨针尺寸大小归入大骨针类型。

四轴骨针(tetraxon):罗平生物群中获得的四轴骨针包括后三叉骨针(anatriaene)、前三叉骨针(protriaene)和棘状骨针(calthrops)。后三叉骨针(图版 I-A):骨针总长约 0.7 mm,轴宽约 0.07 mm。锚形三叉状,表面光滑,有一个细而长的轴,轴底端有 3 个侧刺,侧刺向轴向弯曲。前三叉骨针(图版 I-D):前出三叉状,轴细而光滑,微弯,轴底端有 3 个侧刺,侧刺延伸远离轴向。3 个侧刺间角度约 40°,侧刺与轴间夹角约 150°。骨针总长约 0.75 mm,轴宽约 0.07 mm。棘状骨针(图版 I-B、C):三角钉状,轴细而光滑,由一个中心

点向 4 个方向放射,轴间夹角均等,约 128°,轴的末端发育 2 个小的末刺,末刺间夹角约为 70°。轴中心点至末次端长度约为 0.3 mm,轴宽约 0.07 mm(图版 I-C)。

3.2 海绵骨针的化学成分

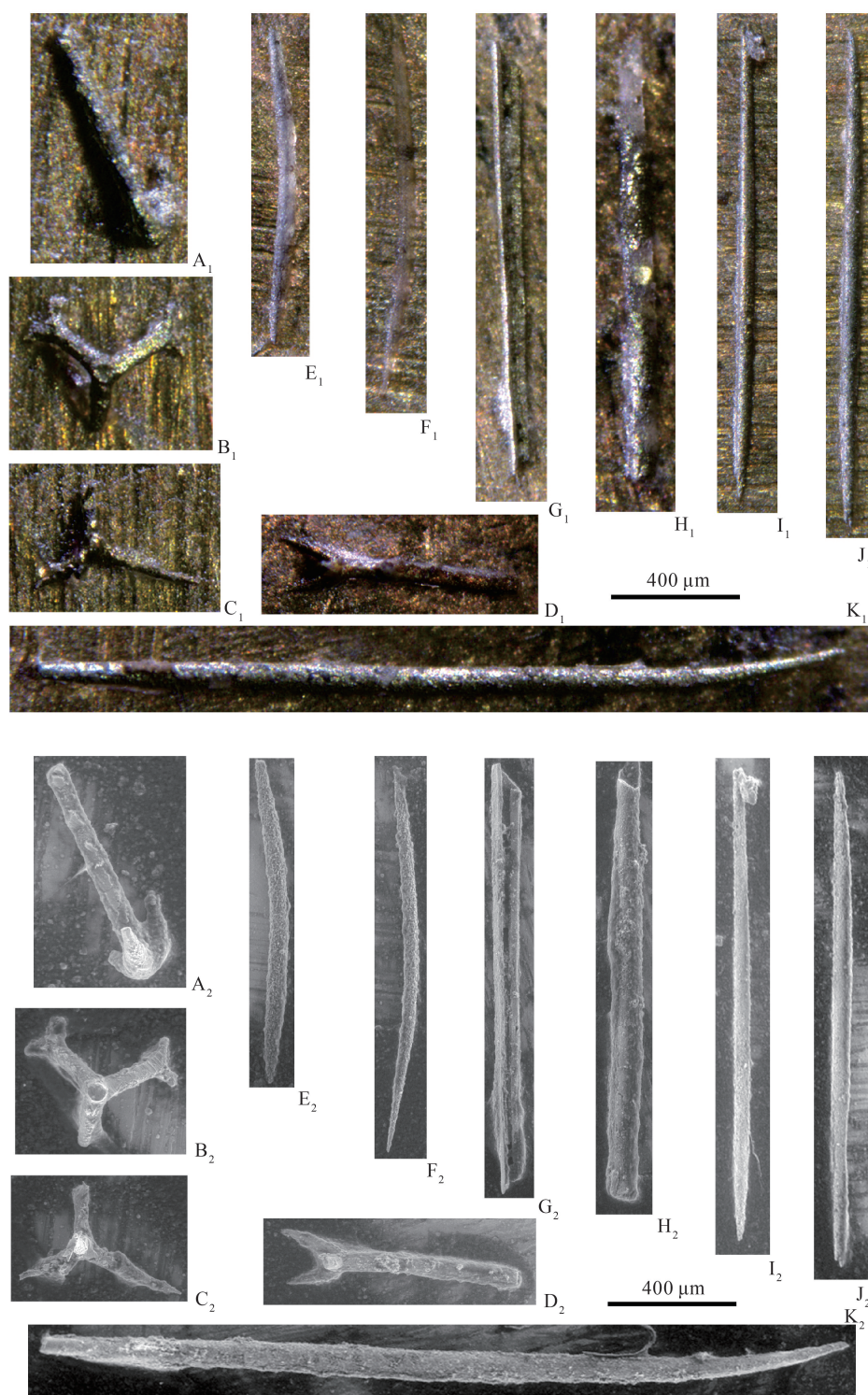
罗平生物群中大多数海绵骨针表面覆盖一层薄薄的矿物质层,仅少数骨针表面较干净,扫描电镜能谱(EDS)分析结果也得到了相应的印证。表面元素分析结果表明,海绵骨针表面薄层覆盖物主要由 O、S、Fe 等元素构成,原子百分含量(At%)分别为 45.64%、35.63% 和 45.64%,从埋藏环境及化石表面包裹矿物颜色看(图 2-a),该矿物极大可能为黄铁矿(FeS_2)或其他某种含铁的氧化物。海绵骨针表面未被矿化物质薄壳覆盖的化石(图 2-b),其分析获得的矿物成分为化石主要构成成分,At% 构成比例 O 为 57.30%、Si 为 36.65%、Cu 为 5.31% 和 Al 为 0.74%;从元素构成看,海绵骨针主要矿物成分为二氧化硅(SiO_2),这与其他硅质海绵骨针构成成分一致。由于硅质海绵骨针主要成分为蛋白石(SiO_2),Cu 和 Al 元素在硅质海绵骨针中含量极低,能谱分析出骨针表面较高的 Al 和 Cu 元素可能为矿化薄壳脱落后的残留元素。

4 讨 论

罗平生物群中发现的单轴骨针虽与海胆刺形态上相似,但海胆刺的基部发育较膨大的基座,并相连长而尖的刺柄^[19],而罗平产出的单轴骨针化石两头渐尖,不发育基座构造,四轴骨针发育后三叉、前三叉和棘状 3 种骨针类型,这些都是海绵动物骨针的典型类型。根据骨针的形态类型和元素的组成特征,罗平的海绵骨针归属于普通海绵纲(Demospongea)^[4]。然而,由于罗平发现的海绵骨针类型为双射针和少量复杂多射骨针,暂未发现明显的小骨针类型,难鉴定到具体的海绵属。此外,海绵动物在古生代—中生代的演化过程中形成 2 个类群,一个以四轴骨针为骨骼的类群,一个以单轴骨针为骨骼特征的类群,暗示罗平生物群中可能同时出现 2 种类型的海绵动物^[3]。

海绵动物为营底栖固着的滤食性生物,少数为单体生活,多数为群居,生活在营养充分、水体流动的海底环境,是一类很好的环境指示生物^[20]。罗平保存的海绵骨针呈离散状(目前尚未在岩石层面上

图版 I Plate I



A~H. 罗平生物群中硅质海绵骨针化石, A₁~H₁ 为立体显微镜图片, A₂~H₂ 为扫描电镜图片; A~C、I、J 来自上石坎剖面 24 层; D、K、G、H 来自上石坎剖面 21 层; E、F 来自大洼子剖面 19 层

发现原位保存的海绵动物化石), 分布于罗平生物群下化石层的纹层状灰岩中, 岩石沉积微相和相关化石特征表明, 其所处的环境为相对深水、缺氧及

水体滞留、低能的台内盆地^[21-23]。本次发现的骨针化石表面还包裹了一层黄铁矿薄膜, 可进一步佐证上述对环境的论断(图 2-a)。由于海绵动物需生活

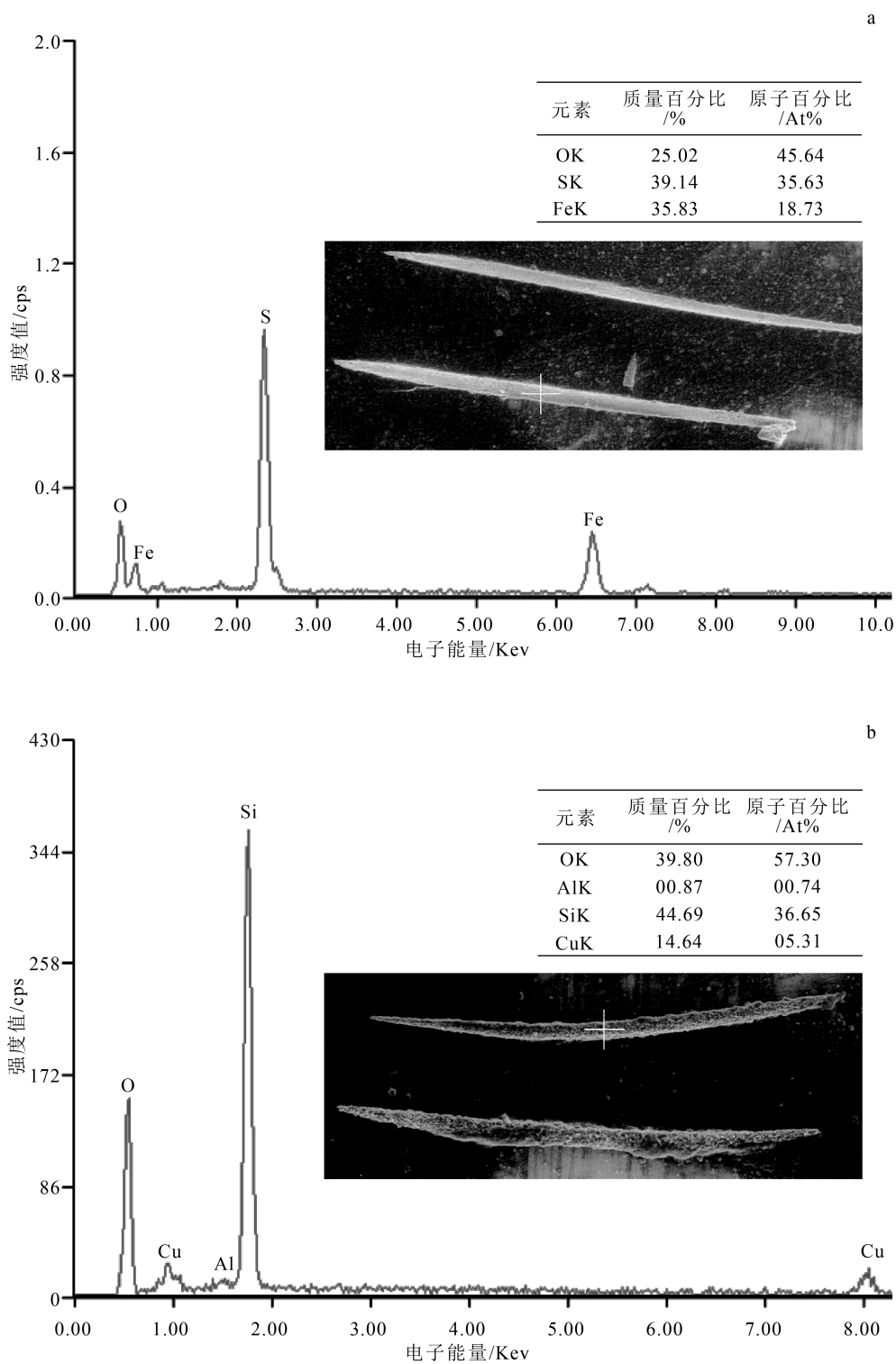


图 2 海绵骨针化学元素构成

Fig. 2 Elements of the sponge spicules

a—对应图版 I -I(表面被含铁矿物质覆盖);b—对应图版 I -F(主要为 Si、O 元素)

在富氧、水体流动的环境,而罗平生物群化石埋藏地为缺氧环境,不利于海绵动物生存。由此推测,本次发现的骨针化石与先前发现的海参骨片化石一样,均来自于盆地周沿的台地环境^[24]。

中一晚三叠世,海绵动物是重要的造礁生物,在中国贵州青岩、四川江油等地发现众多海绵礁灰岩^[12-14, 25-26]。罗平地区发现的海绵骨针产自纹层灰岩中,区域地质调查尚未在沉积盆地周缘发现典型的生物礁灰岩,原因可能是罗平的海绵骨针主要类型为简单的双射针和少量复杂多射针,此类海绵的骨架特征结构简单,并多为单体生物,虽可形成形态多样的海绵动物,但如果海绵体未被钙化,仍难以形成骨架,成为礁体^[4],且在死亡后快速腐烂崩解,就更难见到礁体化石。

5 结 论

(1) 云南罗平生物群中发现的海绵骨针化石可分为两类三型,包括单轴骨针和四轴骨针两大类,其中四轴骨针包含后三叉骨针、前三叉骨针和棘状骨针 3 种类型。

(2) 扫描电镜能谱(EDS)分析表明,海绵骨针主要由 Si 和 O 元素构成,是硅质海绵骨针构成的典型特征。

(3) 海绵骨针的构成类型及元素组成指示其归属于普通海绵纲。

(4) 海绵动物为底栖固着生物,多生活于富氧、营养充足和水体流动的海底环境,而保存海绵骨针的罗平生物群层位为缺氧滞留的台盆环境,推测罗平生物群中的海绵骨针为异地搬运埋藏保存。

致谢: 中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室张素新教授为本文骨针化石扫描电子显微镜照像提供了技术指导;审稿专家对本文提出了中肯的修改建议,在此一并表示衷心感谢。

参考文献

- [1] Yin Z, Zhu M, Davidson E H, et al. Sponge grade body fossil with cellular resolution dating 60 Myr before the Cambrian[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2015, 112(12): 1453-1460.
- [2] Li C W, Chen J Y, Hua T E. Precambrian Sponges with Cellular Structures[J]. Science, 1998, 279(5352): 879-882.
- [3] Butler P E. Morphologic classification of sponge spicules, with descriptions of siliceous spicules from the Lower Ordovician Bellefonte dolomite in Central Pennsylvania[J]. Journal of Paleontology, 1961, 35(1): 191-200.
- [4] 张维. 海绵的分类、演化及其地质意义[J]. 古生物学报, 1991, 30(6): 772-785.
- [5] 刘桂春. 华南二叠纪末硅质海绵骨针分类、演化及灭绝原因[D]. 中国地质大学(武汉)硕士学位论文, 2009.
- [6] 陈方, 董熙平. 湖南西部中寒武世形态变异海绵骨针化石[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2008, 44(6): 883-889.
- [7] Zhang X, Pratt B R. New and extraordinary Early Cambrian sponge spicule assemblage from China[J]. Geology, 1994, 22(1): 43-46.
- [8] 刘桂春, 冯庆来, 顾松竹. 华南二叠纪末深水硅质海绵骨针灭绝模式和灭绝过程[J]. 中国科学(D 辑), 2008, 38(12): 1533-1542.
- [9] Chen A, Müller W E G, Hou X, et al. New articulated protospongiid sponges from the early Cambrian Chengjiang biota[J]. Palaeoworld, 2015, 24(1/2): 46-54.
- [10] Yang X L, Zhao Y L, Babcock L E, et al. Siliceous spicules in a vauxiid sponge (Demospongia) from the Kaili Biota (Cambrian Stage 5), Guizhou, South China[J]. Scientific Reports, 2017, 7: 42945.
- [11] Li L, Janussen D, Zhan R, et al. Oldest known fossil of Rossellids (Hexactinellida, Porifera) from the Ordovician - Silurian transition of Anhui, South China[J]. Paläontologische Zeitschrift, 2019, 93(4): 559-566.
- [12] 吴熙纯. 四川盆地西部晚三叠世卡尼期地层及海绵化石一新科[J]. 古生物学报, 1989, 28(6): 766-772.
- [13] 吴熙纯. 川西北晚三叠世的灯海绵动物群[J]. 古生物学报, 1990, 29(3): 349-363.
- [14] Stiller F. Sponge from the lower Upper Anisian (Middle Triassic) of Bangtoupou near Qingyan, SW-China[J]. Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie, 1998, 85: 251-271.
- [15] 张启跃, 周长勇, 吕涛, 等. 云南罗平中三叠世安尼期生物群的发现及其意义[J]. 地质论评, 2008, 54(4): 523-526.
- [16] 张启跃, 周长勇, 吕涛, 等. 云南中三叠世罗平生物群地层时代的厘定: 来自牙形石的证据[J]. 中国科学(D 辑), 2009, 39(3): 300-305.
- [17] 黄金元, 张克信, 张启跃, 等. 云南罗平中三叠世大凹子剖面牙形石生物地层及其沉积环境研究[J]. 微体古生物学报, 2009, 26(3): 211-224.
- [18] 李国祥, 赵鑫. 吉林大阳岔寒武系—奥陶系界线剖面冶里组海绿石化海绵骨针化石[J]. 古生物学报, 2009, 48(1): 23-30.
- [19] Stiller F. Echinoid Spines from the Anisian (Middle Triassic) of Qingyan, South-western China[J]. Palaeontology, 2001, 44(3): 529-551.
- [20] Li L, Feng H, Janussen D, et al. Unusual Deep Water sponge assemblage in South China—Witness of the end-Ordovician mass extinction[J]. Scientific Reports, 2015, 5: 16060.
- [21] 白建科, 张启跃, 黄金元, 等. 云南罗平上石坎剖面中三叠世层序地层及沉积相分析[J]. 地层学杂志, 2011, 35(3): 278-287.
- [22] Ma Z, Hu S, Liu X, et al. The link between exceptional fossil preservation and palaeo-redox conditions in the Middle Triassic Luoping Biota from South China[J]. Geological Journal, 2021, 56(12): 6231-6244.
- [23] 谢韬, 胡世学, 周长勇, 等. 含罗平生物群层位锇同位素组成与演化[J]. 中国地质, 2019, 46(3): 642-650.
- [24] 黄金元, 胡世学, 张启跃, 等. 云南中三叠世罗平生物群中海参骨片化石的发现[J]. 地质科技情报, 2013, 32(1): 139-142.
- [25] 邓占球, 孔磊. 贵州青岩中三叠统化石海绵[J]. 古生物学报, 2005, 44(2): 283-295.
- [26] 杨荣军, 刘树根, 吴熙纯, 等. 川西上三叠统海绵生物礁的分布及其控制因素[J]. 地球学报, 2009, 30(2): 227-234.