

贵州早寒武世早期黑色页岩中 藻类及其环境意义^{*}

杨瑞东^{1,2)} 赵元龙²⁾ 郭庆军²⁾

1) 南京大学地球科学系 南京 210093; 2) 贵州工业大学资源工程系 贵阳 550003

提要 贵州早寒武世早期黑色页岩中发现了丰富的宏观藻类及疑源类化石。描述了两个宏观藻类组合, 1 新属 2 新种。这些宏观藻类和疑源类化石在剖面上具有一定的分布规律, 并伴随其它动物化石大量出现, 两者关系密切。通过对早寒武世早期牛蹄塘组和九门冲组中生物化石的分布特征研究, 发现在早寒武世早期海侵引起的缺氧环境背景下曾发生一次短暂的海洋充氧期, 就在这期间生物非常繁盛, 可能是继小壳动物之后古生代第二个生物繁盛期, 比筇竹寺期的澄江动物群时代可能还老, 对研究早期后生生物的起源、演化以及震旦纪—寒武纪之交古海洋演变都具有重要意义。

关键词 藻类 早寒武世早期 古海洋演变 贵州

最近, 笔者等在贵州省遵义、麻江等地的早寒武世早期牛蹄塘组和九门冲组黑色页岩中发现大量的动物和藻类化石, 有蠕虫、双壳类、海绵、古介形类、*Scenella* 和宏观藻类及疑源类化石, 在缺氧环境下形成的页岩中保存如此多的动物和植物化石, 这在地史时期是少有的。本文就从藻类入手, 探讨震旦纪—寒武纪早期古海洋环境的演变及其对早寒武世早期生物繁盛的影响。

1 早寒武世早期沉积特征

梅树村期之后, 上扬子地区地壳局部抬升, 使川中、黔北地区部分的麦地坪组及灯影组遭受不同程度的剥蚀。筇竹寺期海平面上升, 整个华南地区遭受海侵, 上扬子浅海成为西北高, 东南低的以波浪作用为主的广海型碎屑岩缓坡陆棚, 沉积了一套黑色页岩组合(蒲心纯等, 1993)。贵州境内当时是属陆棚环境, 根据其沉积特征可分为内、外陆棚。

内陆棚: 分布在都匀—瓮安—石阡—一线西北地区, 为炭质页岩、粉砂质页岩夹炭泥质硅质岩及薄层磷块岩透镜体, 厚 50—200m, 以遵义松林牛蹄塘组为代表(插图 1)。

遵义松林牛蹄塘组由一套黑色炭质页岩组成, 在其底部与灯影组之间存在一个假整合面, 假整合面发育大量的含大气淡水成岩形成的渗漏豆硅质岩(10—20cm), 假整合面之上为一套薄层状黑色炭质页岩、硅质岩的海侵体系, 这个海侵体系由下往上可划分出 8 层:

8. 深灰色、黄灰色泥岩, 泥岩较坚硬致密, 含有大量的生物碎片及盘虫化石 *Tsunyi discus*、藻类、

收稿日期: 1999-08-10

^{*} 国家自然科学基金(49772085)、攀登专项(95-专-01)及贵州省科学基金资助成果。

- Scenella、蠕虫、大型双瓣壳节肢动物和海绵骨针

7. 灰白色具丰富水平层理凝灰岩和泥质粉砂岩薄层互层,灰白色凝灰岩层面上有丰富的遵
义盘虫 *Tsuniyidiscus* 和藻类化石

6. 灰色、深灰色泥页岩,含有海绵骨针

5. 黑色炭质硅质页岩,含有大量的海绵骨针,骨丝和海绵体碎片,具有水平层理

4. 黑色炭质页岩,风化后呈灰白色,含有丰富的宏观藻类、古介形类、海绵、蠕虫等化石

3. 黑色炭质页岩,含有丰富的 Mo, Ni, V 等,为多金属层

2. 黑色含粉砂质炭质页岩

1. 底部为黑色页岩与薄层状黑色硅质岩互层
- 厚 5.3m

厚 2.2m

厚 17m

厚 24m

厚 5m

厚 0.5m

厚 2m

厚约 1m

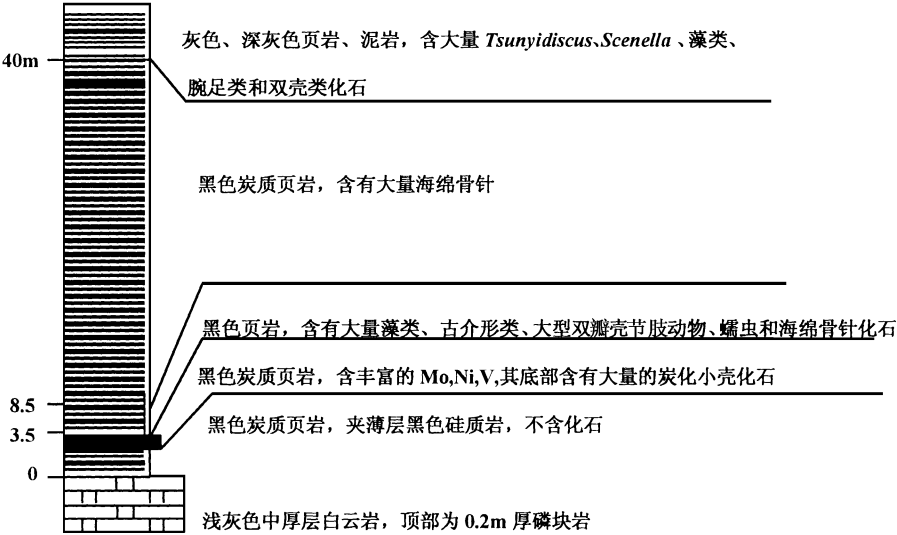


插图 1 遵义松林牛蹄塘组底部化石分布和沉积特征

The map showing sediment character and fossls distribution at the bottom of Niutitang Formation
in Songlin, Zunyi

综上所述,遵义松林地区早寒武世早期海侵一开始就处在还原的内陆棚环境,在早期海侵开始后不久曾发生了海水充氧事件,紧随其后发生 Mo, Ni, V 成矿事件,形成了多金属层。同时大量的生物繁盛,构成了继小壳动物之后生物繁盛期,随后海水缺氧增大,形成了黑色炭质页岩,产完好的海绵骨针、骨丝及海绵体。随着海侵的减弱和陆源碎屑供给的增加,海水的缺氧和还原性减弱,这时沉积了灰色、黄灰色富含藻类 *Zunyiphyton*, *Vedotaenia*, *Doushantuophyton*, *Yuknessia*, *Sinocyindra*, 古盘虫 *Tsuniyidiscus*, 古介形虫 *Songlinella*, 刺细胞动物 *Scenella* 和大型双瓣壳节肢动物 *Perspicaris*, *Isoxys* 化石的泥岩。

外陆棚:底部为黑色硅质岩、石煤及含磷结核页岩,下部为黑色炭质页岩为主,上部为灰色页岩夹钙质泥岩、泥灰岩,厚 100—200m,以麻江九门冲组为代表(插图 2)。

麻江剖面九门冲组之下为留茶坡组黑色硅质岩和含磷结核页岩,硅质岩中有小壳化石 *Hyolithes*(贵州区调队,1977)*,灯影组与留茶坡组为连续沉积,留茶坡组与九门冲组也是

* 贵州区调队,1977,贵州的寒武系。

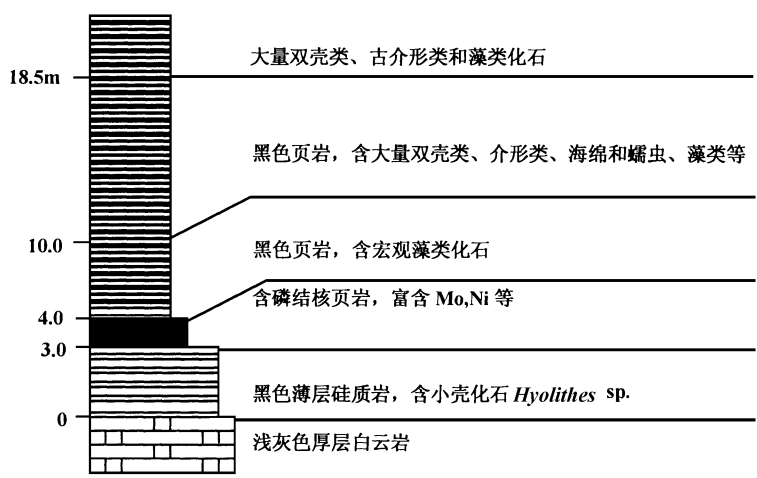


插图 2 麻江九门冲组底部化石分布及沉积特征

The map showing sediment character and fossils distribution at the bottom of Jiumenchong Formation in Majiang

连续沉积。根据生物和沉积特征将九门冲组底部地层分为 4 层：

- 4. 具有水平层理和星散状黄铁矿的黑色炭质页岩, 含有大量生物化石: 蠕虫、双壳类、古介形类、海绵、藻类和分类位置不明的动物化石 厚 2m
- 3. 具有水平层理黑色炭质页岩, 含有大量的蠕虫、海绵、藻类和双壳类化石, 其中海绵化石最丰富 厚 0.5m
- 2. 黑色炭质页岩, 风化后为灰色, 含有海绵、藻类化石 厚 6.0m
- 1. 黑色薄层状含粉砂质炭质页岩, 化石少, 仅发现藻类化石 厚 1m
- 0. 留茶坡组薄层状黑色硅质岩、页岩, 顶部为黑色含磷质结核页岩, 含少量的小壳化石 *Hyolithes* sp. 厚 3m

大量的生物出现是继小壳动物之后的第一个生物繁盛期, 其与灯影组白云岩之间地层厚仅有 7m, 距节肢动物三叶虫 *Tsunyiidiscus* Chang 有 40m 的地层, 因此该生物群很可能比云南澄江动物群时代更老, 更为重要的是该剖面震旦/寒武系间为连续沉积, 在寒武系底部又含有丰富的生物化石, 是研究震旦/寒武系界线的很好剖面。

2 藻类组合

我国对宏观藻类化石的研究起步较晚。1962 年郑文武等在安徽淮南刘老碑组中发现了炭质小圆盘状化石。1975 年邢裕盛将这种小圆盘状化石归入 *Chuar*, 以后在我国北方青白口系、湖北三峡地区震旦系灯影组、淮南刘老碑组和九里桥组发现大量的宏观藻类化石, 这些宏观藻类由于命名没有统一, 以至命名了许多属种; 1985 年 Hofmann 对它们进行归类, 基本上为 *Chuar*, *Tawuia* 和 *Longfengshania* 类型(Hofmann, 1985)。张昀等对贵州翁安生物群中的藻类进行研究, 发现其中有大量的红藻化石 *Thallophyta*, 并发现了红藻的生殖器官(Zhang, 1989; Zhang and Yuan, 1992)。

1984 年朱为庆、陈孟莪将在三峡陡山沱组中发现的宏观藻类化石命名为 *Enteromorpha*

mophites siniasis, 并归入绿藻门, 从而开始了庙河生物群宏观藻类的研究工作, 经过后来的一系列研究和化石采集, 丰富了前寒武纪具有重要演化地位的宏观藻类植物群。1985 年段承华等描述了刘老碑组中的八公山小丛藻 *Fasciculella bagunshanensis* Duan。1986 年杜汝霖、田立富(1986)对燕山青白口系的宏观藻类进行总结, 发表了专著《燕山地区青白口纪宏观藻类》。杜汝霖等描述了有叶状体、拟茎等组织分化的 *Longfengshanina*。

1985 年邢裕盛等报道了安徽休宁蓝田组宏观藻类化石, 之后经过一系列的采集和研究, 使之成为我国陡山沱期另一个重要的藻类植物群(阎永奎等, 1992; 袁训来等, 1995; 唐烽等, 1997)。1990 年丁莲芳等在峡东陡山沱组中找到保存极好的宏观藻类化石 *Miaohenella* Ding, 1992(陈孟莪等在 1991 年将其命名为吊崖坡虫 *Diaoyapolites* Chen, 1994 年改为吊崖坡藻, 根据国际植物命名法则, *Diaoyapolites* Chen 为无效名)等, 随后丁莲芳等(1996)出版了专著, 对庙河生物群中藻类进行了系统描述和生态环境分析, 描述了 32 属 58 个种, 并对 *Miaohenella* 属的微细结构进行了研究。同时陈孟莪等在 1991—1996 年间报道了上述地区的宏观藻类化石, 厘定了相当多的新属种(陈孟莪等, 1994)。阎玉忠等(1997)在蓟县团山子组(17Ga)发现最古老的宏观藻类化石群——团山子藻群, 描述了 *Tuanshanziaceae* 科 *Changchengia*, *Tuanshanzia*, *Eopalmaria*, *Proterotaenia* 等属 6 种。袁训来等(1995)探讨了晚前寒武纪后生植物的发展及特征, 认为陡山沱期的藻类与现生藻类诸多形态和结构特征很相似, 说明在陡山沱期海洋藻类正如海洋无脊椎动物的“寒武纪爆发”一样, 在晚震旦世已基本构成了现生藻类的形态与部分细胞结构; 并认为陡山沱期是后生植物的第一次辐射时期。阎永奎等对皖南等地的藻类研究, 发现 7 新属 11 种(阎永奎等, 1992), 并对蓝田植物群的特征进行了系统描述。Steiner(1994)综合分析了我国前寒武纪—寒武纪早期 11 个地区的宏观藻类化石。陈均远等(1995)描述了澄江动物群中宏观藻类 *Yuknessia*, *Sinocyindra*, *Spinella*, *Megaspinnella*⁴ 属。唐烽等(1997)在安徽休宁蓝田植物群中发现宏观藻体世代交替生活史的不同生长阶段系列化石, 这一研究将藻类化石的形态特征描述提升了一步, 对以往描述的一些藻类化石提出了新的认识, 即在藻类化石鉴定时, 只依据形态特征往往会将同一个属或种的藻类鉴定为不同属、种。目前, 我国发现的宏观藻类化石, 形态类型最多, 地理分布和地史分布最广。在云南、湖北、江苏、安徽、山东、河北、北京、天津、辽宁、吉林、湖南、海南、陕西、贵州等地的前寒武纪—寒武纪地层中都发现宏观藻类化石。然而, 早寒武世黑色页岩中的宏观藻类的发现是国内首次, 它对研究震旦纪与寒武纪藻类的演化具有一定意义。

根据藻类的分枝形态及生活习性可将贵州早寒武世早期宏观藻类划分为两个组合:

1) 具有浮游特征的带状藻类组合

在牛蹄塘组底部和九门冲组底部的黑色炭质页岩中产有丰富的带状藻类, 如 *Vendotaenia* 和具有球状、椭圆状“固着器”的 *Yuknessia guizhouensis*; 藻体呈带状, 弯曲, 有时相互缠绕在一起, 并相互交织成网状, 如 *Zunyiphyton perelegaus*。另外还有丰富的藻丝体及疑源类 *Sphaerocongregus variabilis*(图版 I, 图 6, 7)。

从藻类特征及产出层位的沉积特征分析, 该组合很可能是营漂浮生活的藻类, 特别是像 *Zunyiphyton perelegaus*, *Yuknessia guizhouensis* 藻, 同现生的漂浮藻类角藻形态很相似, 具有“浮胞”, 因此, 推测为营漂浮生活的藻类。与它们共生的还有一些营浮游生活的古介形类

Songlinella;大型双瓣壳节肢动物 *Perspica*;海绵 *Hyalosinica*, *Leptomit*, *Solactiniella*;刺细胞虫管化石 *Byronia*;软舌螺和类似锯笔石的疑难化石等。

综上所述,该组合具有藻体细小、带状、很少分枝、个别具有浮胞等特征,与现代藻类对比,应属于营漂浮生活的藻类组合,与其保存的黑色炭质页岩所代表的沉积环境相吻合。

2) 底栖固着的分枝状藻类组合

该组合分布在牛蹄塘组灰色、深灰色、灰绿色页岩、泥岩中,这时还原缺氧环境已明显减弱,海底水体已具有一定的氧气,有利于底栖生物生活,在这样的条件下开始出现了底栖固着的分枝状藻类组合,它与古盘虫 *Tsuniyidiscus*;三叶形虫 *Naraoia*;刺细胞动物 *Scenella*;大型双瓣壳节肢动物 *Isoxys*, *Perspica*;海绵骨针和软舌螺等共生。

该藻类组合由 *Doushantuophyton*, *Zunyiphyton perelegans* 藻类组成。其特征是藻体为丝状体,分枝或复杂的带状体,带体常具有串珠结构,带状藻体明显比营漂浮生活的藻类大,藻枝粗,藻体复杂,未发现固着器。

早寒武世早期黑色页岩宏观藻类与震旦纪陡山沱期庙河生物群、早寒武世澄江生物群中的藻类和中寒武世凯里生物群中的藻类之间有密切的关系,如 *Vendotaenia*, *Chuar* 藻,与云南王家湾发现的宏观藻类相似(曹仁关,1980;邢裕盛,1982)。与庙河生物群中藻类相同的,如 *Doushantuophyton*(丁莲芳等,1996);分枝复杂的 *Doushantuophyton cometa* 又类似于凯里生物群中分枝复杂的 *Marpolia*。由于黑色页岩生物群与澄江生物群时代最为接近,因此,在藻类特征上两者也有很大的相似性,如具有相同的藻类 *Yuknessia*, *Sinocylin* 等(陈均远等,1995)。但在黑色页岩中产出圆盘状藻 *Chuar* 及具有浮胞的 *Yuknessia guizhouensis* 漂浮藻类,在澄江生物群中还没有发现,这与澄江地区在早寒武世水体相对比较浅有关。

3 疑源类分布特征

对遵义松林下寒武统牛蹄塘组下部页岩样品进行疑源类分析,发现疑源类化石仅分布在第2层和第4层,而其它层位页岩中几乎没有疑源类化石。

第2层疑源类化石有:*Prototracheites*, *Retinarites*, *Sphaerocongregus variabilis*。

第4层有丰富的疑源类化石 *Sphaerocongregus variabilis*,以及藻片和管状体等。

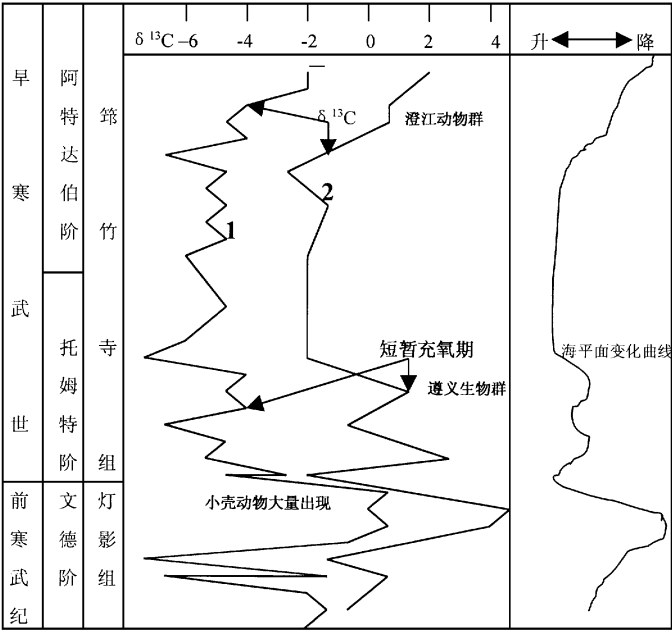
疑源类化石在剖面上的分布与宏观藻类和其它动物化石大量出现层位一致,说明是海洋环境的变化控制着生物的生存,并非是化石保存原因引起。早寒武世早期华南地区都处在海侵引起的缺氧环境中,在这样的环境下生物很难生存,以至以前在寒武系底部黑色页岩中很少发现化石,这次在寒武系底部的黑色页岩中发现了大量的藻类和其它动物化石,说明当时古海洋环境并非像以前认为的那样一直处于缺氧状态,其中有短暂的充氧期。

牛蹄塘组底部的疑源类组合特征与我国早寒武世梅树村期和晚震旦世疑源类组合相似(尹磊明等,1978;邢裕盛,1982)。从疑源类组合特征对比,遵义、麻江早寒武世黑色页岩中的生物群比筇竹寺期的澄江生物群时代还早。

4 藻类生物群和古海洋环境的演变

在遵义、麻江牛蹄塘组和九门冲组底部的黑色页岩中首次发现了大量的生物化石,其中有丰富的藻类、双壳类、海绵、蠕虫、古介形类等化石,它是继梅树村期小壳动物繁盛期之后另一个生物繁盛期,其时代比云南澄江筇竹寺组中的澄江动物群还早。早寒武世早期是全球范围内海侵引起缺氧期,在我国南方普遍沉积了一套黑色炭质页岩。黑色页岩内以往很少发现化石,然而这次在遵义和麻江地区发现了大量的生物化石,这在没有对早寒武世早期古海洋环境详细研究之前是难以解释的。

早寒武世早期,华南地区都遭受广泛的海侵,海侵引起洋流上升,大量的富含磷质和缺氧水体涌到浅水台地区,结果形成磷块岩沉积,而在陆棚区则造成缺氧环境下的黑色页岩沉积(浦心纯等,1993),在这种缺氧环境下,生物几乎不能生存,但这种缺氧环境持续了一段时间后,海洋出现了一个短暂的充氧事件,即相当于遵义松林剖面的第4层和麻江剖面的2-4层沉积时期,这一充氧事件引起海洋表层水体充氧,结果营浮游生活的生物在表层水体中繁盛,因此,在黑色页岩中保存了大量营浮游生活的藻类和动物化石。由于这次充氧事件短暂,底部水体仍处在缺氧环境,所以,在这种环境下,沉积的还是黑色页岩。在短暂的充氧事件之后,海侵继续加大,海洋缺氧又增强,海洋表层水体再度成了缺氧状态,只有海绵等生物生存,这种缺氧环境持续到筇竹寺期早期,到筇竹寺中期,海洋又出现了大规模的充氧作用,海洋生物又开始大量繁盛,构成了早期后生生物顶盛时期。



1, 扬子区 2, 西伯利亚

插图 3 早寒武世早期海平面及 $\delta^{13}\text{C}$ 变化

The map showing $\delta^{13}\text{C}$ and sea-level fluctuation during early Early Cambrian

早寒武世早期海洋的这一充氧事件在全球都有反映,在华南地区,相当于梅树村期晚期碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 表现为高峰值(Brasier, 1992a),在西北利亚台地,大约在 560Ma 左右,相当于(Tommotian)中期,同样在低 $\delta^{13}\text{C}$ 背景下出现了一个高峰值(Brasier, 1992b)。影响 $\delta^{13}\text{C}$ 大小的因素主要有 3 种,即海水中溶解无机碳同位素、 CO_2 浓度和海洋生物的碳同位素,而海洋生物的碳同位素对沉积的 $\delta^{13}\text{C}$ 贡献最大。在 Tommotian 早期,扬子区当时基本都处在全球海侵引起的缺氧环境下,在这一背景下 $\delta^{13}\text{C}$ 表现为低值期,而在产大量动、植物化石的层位, $\delta^{13}\text{C}$ 却表现出明显增大现象,它说明环境由缺氧状态转变为含氧环境,有利于生物生存;生物繁盛,生物成因的碳组分多, $\delta^{13}\text{C}$ 就出现明显增大现象。这种现象在 Atdabanian 中晚期也有表现。在 Tommotian 晚期和 Atdabanian 早期大规模的全球海侵引起全球范围的缺氧, $\delta^{13}\text{C}$ 表现出低峰值,到 Atdabanian 中晚期,发生了海退,海洋发生了充氧事件,海洋环境发生了变化,这时 $\delta^{13}\text{C}$ 表现为高峰值期(Brasier, 1992a),在这种环境下海洋生物发生了辐射演化,澄江生物群就是一个典型代表。

综上所述,在早寒武世早期全球性的海侵引起缺氧背景下, Tommotian 中期存在一个短暂的充氧事件,这个短期的充氧事件在 $\delta^{13}\text{C}$ 、海平面变化曲线上都有明显的表现(插图 3),其引起海洋环境表层水体含氧量增多,结果营浮游生活的生物在表层水体中大量繁殖,出现了早古生代继小壳动物繁盛期之后另一个生物繁盛期,该生物繁盛期比 Atdabanian 期(相当于筇竹寺期)的澄江生物群繁盛期还早。这一发现对早期后生生物的起源、演化研究具有重要意义,同时对早古生代早期古海洋环境演变研究也具有一定意义。

5 化石描述

遵义藻(新属) *Zunyiphyton* Yang et Zhao (gen. nov.)

模式标本 正模,标本号 ZY-18-5。

词源 Zunyi——地名,phyton—藻类。

模式种 *Zunyiphyton perelegans* Yang et Zhao (gen. et sp. nov.)

描述 藻体常以细小的丝状、网状体分布在页岩层面上,丝状体常弯曲或相互缠绕,丝体由球状、管状体组成,呈链状排列。

讨论比较 新属与现代的藻类 *Nostocaceae* 结构相似。与 *Morania* Walcott (1919)藻类化石也具有相似的结构,但新属藻体比 *Morania* Walcott 大一个数量级以上。与澄江动物群中 *Yuknessia* 很相似(陈均远等, 1995),如藻体大小、具有球状、管状结构,球状、管状体呈链条状排列的特征,这种球状、管状结构不是有机质藻体降解所形成的结构,但加拿大布尔吉斯生物群中 *Yuknessia* Walcott (Walcott, 1919; Conway Morris and Robison, 1988; Briggs, 1994)藻体没有球状、管状结构,也没有球状、管状体呈链状排列特征,因此,陈均远等(1995)在澄江动物群中鉴定的 *Yuknessia* 与 Walcott 命名的属征有明显的区别,故在此建立一新属。由于它与现代的藻类 *Anabaena* 结构相似,可以认为是以团状丝体在水面上漂浮生活。

时代分布 中国贵州,寒武纪。

美丽遵义藻(新属、新种) *Zunyiphyton perelegans* Yang et Zhao (gen. et sp. nov.)

(图版 I, 图 2, 3, 8, 9, 12)

模式标本 正模, 标本号 ZY-18-5。

词源 *Perelegaus*——美丽。

描述 藻体呈细丝状体, 丝体弯曲, 相互缠绕呈网状, 丝体一般长 1—2cm, 不分枝, 丝体由球状体呈链条状排列组成, 丝体宽度均一, 长可达 10cm, 宽 0.1—0.5mm。球状体一般直径为 0.3—0.5mm, 特别大的管状体长达 3mm, 管状体和球状体具有规律性分布, 两个特别大的管状体之间有 10—13 个球状体, 未见固着器。

讨论 当前化石与 *Seirisphaera lineare* Chen, 1994 相似, 但后者球状体排列很不规则, 时而呈团状, 时而呈分枝状, 没有 *Zunyiphyton perelegaus* 规则的呈链条状排列特征。另外, *Zunyiphyton perelegaus* 具有薄的胶质层包裹球状体和管状体, 而 *Seirisphaera lineare* Chen, 1994 没有这一特征, 球体之间串球状连接。

产地层位 贵州遵义松林、麻江, 下寒武统牛蹄塘组底部黑色页岩。

约克那斯藻 *Yuknessia* Walcott, 1919

贵州约克那斯藻 (新种) *Yuknessia guizhouensis* Yang et Zhao (sp. nov.)

(图版 II, 图 11, 13)

模式标本 正模, 标本号 ZY-4-15。

词源 Guizhou——地名。

描述 藻丝呈带状, 带体长而弯曲, 2—3 个带体在近椭圆状或葫芦状“浮胞”一端簇生, 长带体被水动力破坏成短带体分布在层面上。带状藻体长达 3cm, 宽 1—2mm, 固着器呈葫芦状、椭圆状, 长 3mm, 宽 2mm, 藻体为炭质薄膜体。未见显微结构。

讨论比较 *Yuknessia guizhouensis* 与现代的角藻 *Chaetoceros eibonii* Grunow (福迪·B, 1980) 相似, 具有“浮胞”, 因此, 推测为营漂浮生活藻类。其与 *Yuknessia simplex* Walcott, 1919 相比, 藻枝少而长; 与震旦纪蓝田植物群中的 *Xiuningia crassa* (阎永奎等, 1992; 陈孟莪, 1994) 相似。

产地层位 贵州遵义松林、麻江, 下寒武统牛蹄塘组底部黑色页岩。

文德带藻 *Vendotaenia* Gnilovskaja, 1971

文德带藻 (未定种) *Vendotaenia* sp.

(图版 I, 图 4, 5)

描述 带状藻体, 弯曲或相互缠绕成团状, 带体边缘比较清晰, 无纹饰。藻体为碳质膜状, 呈宽带状, 在层面上弯曲或盘圈状保存。少数为平直, 宽 0.2—0.5mm, 长 5—20mm, 风化后为白色印模。

讨论 其与 *Vendotaenia* 很相似, 唯带体表面无丝纹特征。

产地层位 贵州麻江, 下寒武统九门冲组底部页岩。

陡山沱藻 *Doushantuophyton* Chen et Xiao, 1991

束状陡山沱藻 *Doushantuophyton cometa* Yuan et al., 1999

(图版 I, 图 10)

描述 藻体由一系列纤细羽状丝体组成,呈羽状、束状,无主枝,纤细丝体有叉状分枝。藻体为纤细羽状排列的丝体,丝体细长、分叉,长 3mm,宽 0.02mm。

讨论 分枝发散角 5° ,与 *Doushantuophyton lineare* Chen (陈孟莪等,1991,1992)相比明显小。另外,羽状分枝特征也与 *Doushantuophyton lineare* Chen 有明显的区别。

产地层位 贵州遵义,下寒武统牛蹄塘组下部页岩、泥岩。

致谢 在成文过程中得到南京大学杨湘宁教授和南京地质古生物研究所尹磊明研究员、袁训来副研究员和袁金良研究员的指导和帮助,在野外采集化石标本过程中,得到 B·D Erdtmann 和 M·Steirner 的帮助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- 丁莲芳,李 勇,胡夏嵩,1996. 震旦纪庙河生物群. 北京:地质出版社. 1—146.
- 尹磊明,李再平,1978. 西南地区前寒武纪微体植物群及其地层意义. 中国科学院南京古生物研究所集刊, 10, 41—102.
- 毛家仁,赵元龙,余 平,1994. 贵州台江凯里动物群中的非钙质藻类化石. 古生物学报, **33**(3): 345—349.
- 杜汝林,田立富,1986. 燕山地区青白口纪宏观藻类. 石家庄:河北科技出版社.
- 邢裕盛,1982. 云南昆明附近震旦纪及早寒武世微体古植物及地质意义. 地质学报, **56**(1): 42—49.
- 陈均远,周桂琴,朱茂炎,1995. 澄江动物群. 台湾:自然科学博物馆.
- 陈孟莪,鲁刚毅,萧宗正,1994. 皖南上震旦统蓝田组的宏观藻类化石—蓝田植物群的初步研究,中国科学院地质研究所集刊, 6, 252—267.
- 陈孟莪,萧宗正,1991. 峡东区上震旦统陡山沱组宏体化石. 地质科学, **26**(4): 317—324.
- 陈孟莪,萧宗正,1992. 峡东震旦系陡山沱组宏体生物群. 古生物学报, **31**(5): 513—529.
- 杨瑞东,赵元龙,郭庆军,施贵军,1999a. 贵州台江早—中寒武世凯里组的宏观藻类化石. 地质论评, **45**(3): 282—290.
- 杨瑞东,赵元龙,1999b. 贵州台江中寒武世具节珊瑚藻类化石的发现. 科学通报, **44**(11): 1201—1205.
- 袁训来,李 军,陈孟莪,1995. 晚前寒武纪后生植物的发展及其化石证据. 古生物学报, **34**(1): 90—102.
- 阎玉忠,刘志礼,1997. 中国蓟县长城系团山子宏观藻群. 古生物学报, **36**(1): 18—41.
- 阎永奎,蒋传仁,张世恩,1992. 浙、赣、皖南地区震旦系研究. 南京地质矿产研究所刊, 12: 1—144.
- 唐 烽,尹崇玉,高林志,1997. 安徽休宁陡山沱期后生植物化石的新认识. 地质学报, **71**(1): 289—295.
- 浦心纯,周浩达,王熙林,1993. 中国南方寒武纪岩相古地理与成矿作用. 北京:地质出版社. 40—100.
- 曹仁关,1982. 云南晋宁王家湾震旦系. 中国震旦亚界. 天津:天津科学技术出版社.
- 福迪·B 著,罗迪安译,1980. 藻类学. 上海:上海科学技术出版社. 1—449.
- Briggs D E G., Erwin D H., Collier F J., 1994. The fossils of Burgess shale. Washington: Smithsonian Institution Press, 1—238.
- Brasier M D., 1992a. Nutrient-enriched waters and the early skeletal fossil record. J. Geol. Soc. London, **149**: 621—629.
- Brasier M D., 1992b. Global ocean-atmosphere change across the Precambrian-Cambrian transition. Geol. Mag., **129**: 161—168.
- Conway Morris S., Robison R A., 1988. More soft-bodied animals and algae from Middle Cambrian of Utah and British Columbia. University of Kansas Paleontological Contributions, **122**: 1—48.
- Hofmann H J., 1985. Precambrian Carbonaceous Megafossils. In Tommey, D F and Nitecki, M H (eds.) Paleogeology—Contemporary Research and Applications. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo.
- Korde K B., 1973. Cambrian algae. Publishing office «Navka» 1—345. (in Russian).
- Moczydlowska M., 1991. Acritarch biostratigraphy of the Lower Cambrian and the Precambrian-Cambrian Boundary in south-

eastern Poland · Fossils and Strata, **29**, 1—127.

Steiner M., 1994. Die Neoproterozoic megaalgae suchinas · Berliner Geowiss Abh. (E) **15**, 1—140.

Walcott C. D., 1919. Cambrian geology and paleontology IV, no. 5. Middle Cambrian algal · Smith · Miscel. Collec., **67**(5), 217—260.

Zhang Yun., 1989. Multicellular thallophytes with differentiated tissues from Late Proterozoic phosphate rocks of South China · Lethaia, **22**, 113—132.

Zhang Yun, Yuan Xun-lai., 1992. New data on multicellular thallophytes and fragments of cellular tissues from Late Proterozoic phosphate rocks South China · Lethaia, **25**, 1—18.

ALGAE AND ACRITARCHS AND THEIR PALAEOOCEANOGRAPHIC SIGNIFICANCE FROM THE EARLY EARLY CAMBRIAN BLACK SHALE IN GUIZHOU, CHINA

YANG Rui-Dong¹⁾, ZHAO Yuan-Long²⁾ and GUO Qing-Jun²⁾

1) Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093;

2) Department of Resource Engineering, Guizhou University of Technology, Guiyang 550002

Summary

Key words: Palaeocean change, Macroalgae fossils, early Early Cambrian, Guizhou province

Abundant macroalgal fossils from the black shale of the Niutitang Formation in Songlin section, Zunyi county, were discovered by the authors. These macroalgae fossils were preserved in association with Brachiopoda, Spongia, Hydrozoa, bradoriids fossils, the age of the biota probably is older than that of the Chengjiang biota. Two assemblages, and 1 new genus and 2 new species of the macroalgae have been described in this paper.

1 Floating macroalgal assemblage

The assemblage is mainly composed of abundant taeniate algae, such as *Vendotaenia* and *Yuknessia* (with large ellipsoidal “holdfast”——floating vesicle²⁾), various filaments, such as the *Anabaena*-like *Zunyiphyton perelegans*, often interwoven in reticulate masses, and acritarchs, including colonial cocoids (*Sphaerocongregus*).

Judging from the morphological characteristics of some algae and sedimentary environment of the fossil-bearing strata, the majority of the fossil algal assemblage are possibly floating members.

2 Benthonic macroalgal assemblage

This assemblage consists of benthonic branched algae and floating algae. *Doushan-tuophyton* Chen, *Yuknessia* Walcott and *Sinocylindra* Chen are abundant. This assemblage is preserved in grey and yellow shale of the middle part of the Niutitang Formation, and abundant

macroalgae fossils occur in association with other fossils in the shale, e. g. *Tsuniyidiscus*, *Hyalosinica*, *Leptomitus*, *Solactiniella*, *Perspicaris*, *Songliniella*, *Tsuniyella*, *Byronia*, and acritarchs. The macroalgal fossil assemblage is characterized by the shapes of algae, which is similar to those of algal fossils of the Miaohu biota and the Kaili biota.

Abundant macroalgal fossils and animal fossils are discovered in black shale: it shows that a short periodic oxygen-enriched event took place after the world O₂-depleted environment during the early Early Cambrian, which causes reproduction of algae and other animals. The oxygen-increase during the early Early Cambrian shows a higher $\delta^{13}\text{C}$ values on the $\delta^{13}\text{C}$ curves of shale in the South China Platform and the Siberian Platform (Brasier, 1992a, b); it indicates that the event of oxygen-increase in the early Early Cambrian might have an important influence over the world-wide biota and is very significant in study of the “Cambrian explosion”.

The age of the biota in the Niutitang Formation is earlier than that of Chengjiang biota in Qiongzhusi stage, therefore, the authors consider that this biota probably is the first biota following small shelly fossil biota. This discovery has much significance in the study of the evolution of the early metazoa, and in the study of changes of palaeocean during the early Early Cambrian.

3 DESCRIPTION OF FOSSILS

Zunyiphyton Yang et Zhao (gen. nov.)

Type species: *Zunyiphyton perelegans* Yang et Zhao (gen. et sp. nov.)

Diagnosis: Thallus small, 2 to 3 mm in diameter, thread-like, long algal filaments, twisted and entangled, with spherical and barrel-shaped and irregularly spherical heterocysts.

Discussion: Unbranched, spherical and barrel-shaped structures are similar to living Nostocaceae, or to *Anabaena* Kutzing. The genus is similar to *Yuknessia* in the Chengjiang biota (Chen *et al.*, 1995), however, *Yuknessia* in the Chengjiang biota differs from *Yuknessia* Walcott 1919 in having spherical and barrel-shaped structures, therefore, the authors propose a new genus in this paper.

Distribution: Lower Cambrian, Guizhou, Yunnan, Hunan, China.

Zunyiphyton perelegans Yang et Zhao (gen. et sp. nov.)

(Pl. I, figs. 2, 8, 9, 12)

Diagnosis: Thread-like, twisted and entangled algal filaments, interwoven in masses with spherical and barrel-shaped structures, and irregularly spherical heterocysts; the filaments being 10 cm in length, 0.1–0.5 mm in width, The spherical and barrel-shaped structures 0.3–0.5 mm in diameter, and heterocysts 3 mm in length, “holdfast” unknown.

Locality and horizon: The lower part of the Niutitang Formation (Lower Cambrian), Songlin village, Zunyi county; the lower part of the Jiumenchong Formation (Lower Cambrian), Majiang county, Guizhou, China.

Yuknessia Walcott, 1919*Yuknessia guizhouensis* Yang and Zhao (sp. nov.)

(Pl. I, figs. 11, 13)

Diagnosis: Taeniate algae, with ellipsoidal or gourd-like holdfast, 3×2 mm in diameter, several filaments fascicled on the ellipsoidal holdfast, 3 cm in length, 1–2 mm in width, microscopic characters unknown.

Description: *Yuknessia guizhouensis* is superficially similar to living *Chaetoceros eibonii* Grunow in morphology, with “floating vesicle” (ellipsoidal holdfast), so we think that *Yuknessia guizhouensis* is possibly a floating alga.

Locality and horizon: the lower part of the Niutitang Formation (Lower Cambrian), Songlin village, Zunyi county.

Doushantuophyton Chen et Xiao, 1991*Doushantuophyton cometa* Yuan et al., 1999

(Pl. I, fig. 10)

Diagnosis: Algae consisting of thin films, bifurcating with feather-like structures, no main branch.

Description: This fossil differs from *Doushantuophyton lineare* Chen in having divergent angles and bifurcating “feathers”.

Locality and horizon: The lower part of the Niutitang Formation (Lower Cambrian), Songlin village, Zunyi county.

图 版 说 明

化石标本保存在贵州工业大学资源工程系。

图版 I

1. *Doushantuophyton* Chen, 1991, $\times 1$, 标本编号: Zy-5-8。贵州遵义松林下寒武统牛蹄塘组。
- 2, 3, 8, 9, 12. *Zunyiphyton perelegans* Yang et Zhao (gen. et sp. nov.), 2, 3, 8, 12. $\times 3$, 标本编号: Zy-18-1, Zy-4-41, Zy-18-5, Zy-4-29。9. $\times 4$, Mj-2-3。贵州遵义松林下寒武统牛蹄塘组, 麻江九门冲组。
- 4, 5. *Vendotaenia* sp., $\times 3$, $\times 5$; 标本编号: Zy-1-1, Mj-1-2。贵州麻江下寒武统九门冲组。
6. 具孢子囊的藻丝体, $\times 680$, 标本编号: Zy-4-31。贵州遵义松林下寒武统牛蹄塘组。
7. *Sphaerocongregus variabilis* Moorman, $\times 1000$, 标本编号: Zy-4-31。贵州遵义松林下寒武统牛蹄塘组。
10. *Doushantuophyton cometa* Yang et Zhao (sp. nov.), $\times 3$, 标本编号: Zy-18-2。贵州遵义松林下寒武统牛蹄塘组。
- 11, 13. *Yuknessia guizhouensis* Yang et Zhao (sp. nov.), $\times 2$, $\times 1$; 标本编号: Zy-4-15, Zy-4-30。贵州遵义松林下寒武统牛蹄塘组。

