

晚前寒武纪后生植物的发展及其化石证据*

袁训来 李 军

(中国科学院南京地质古生物研究所, 南京 210008)

陈孟莪

(中国科学院地质研究所, 北京 100029)

内 容 提 要

概述近年来在扬子地台震旦纪陡山沱期岩层中发现的后生植物化石, 对这些化石进行详细的形态分析, 并与世界其它地区发现的晚前寒武纪宏体碳质压膜化石和现生藻类进行比较, 综合阐述晚前寒武纪后生植物的发展及其早期形态特点。

关键词 后生植物 碳质压膜 震旦纪陡山沱期

一、前 言

后生植物(metaphyta)是指由多细胞组成的、具器官分化、组织分化或细胞分化的植物(张昀, 1989)。

确切的晚前寒武纪后生植物化石点在中国至少已发现3处: 湖北的峡东地区、贵州中部的瓮安磷矿及安徽南部的休宁。这些化石为研究早期后生植物的演化提供了重要的线索。

贵州瓮安磷矿中的后生植物化石(或多细胞藻类或宏体藻类)保存于震旦系陡山沱组(约6.9亿年)的磷矿岩之中, 通过切片观察, 这些化石是毫米到厘米级的多细胞藻类, 并有细胞和组织分化(Zhang, 1989; Zhang and Yuan, 1992)。

安徽南部的后生植物化石保存于震旦系蓝田组(与陡山沱组的时代相当)的黑色页岩之中, 它们大多是由丝状体组成的伞状宏体碳质压膜化石, 单个丝状体, 宽小于1mm, 长可达306mm(邢裕盛等, 1985, 1989; 毕治国等, 1987)。

湖北峡东地区震旦系的后生植物化石研究历史较长, 1987年曹瑞骥、赵文杰对峡东震旦系灯影组的文德带藻化石做了详细的报道。最近在峡东庙河地区震旦系陡山沱组的黑色页岩中发现了保存完整的后生植物化石(朱为庆等, 1984; 陈孟莪等 1991a, b; 1993, 1994; 丁莲芳等, 1992)。

本文着重对以上3个地区震旦纪陡山沱期岩层中发现的宏体植物化石进行形态分析, 再与世界其它地区前寒武系发现的宏体碳质压膜(carbonaceous compressions)进行比较, 综合阐述后生植物在晚前寒武纪的起源和发展。

* 中国科学院南京地质古生物研究所现代古生物学和地层学开放研究实验室资助项目。

笔者在研究过程中曾得到张昀、曹瑞骥的指导;尹磊明、孙卫国和孙学坤提供了宝贵的修改意见;邓东兴协助化石照相;杨荣庆清绘插图,均此致谢。

二、前寒武纪宏体碳质压膜的研究历史及其形态特点

前寒武纪的宏体碳质压膜(后生植物?)在世界各地均有报道(Hofmann, 1992, figs. 7. 3. 5), Hofmann (1985a, 1992)把迄今为止已发现的 73 属 80 种宏体碳质压膜化石根据其形态特点划分为以下 11 个形态类型:

1). Chuarid 组合(包括 *Chuarina*, *Fermoria*, *Huainania*, ? *Ljadlovites*, *Ovidiscina*, *Protobolella*, 部分 *Kildinella*, *Trachysphaeridium*, *Vindhyanella*)。

2). Tawuid 组合(包括 *Tawuia*, *Bagongshanella*, *Bipatinella*, *Conicina*, *Eurycyphus*, *Fengyangella*, ? *Fermoria*, *Lakhandinia*, *Linguiformis*, *Liulaobeia*, ? *Mezenia*, *Pumilibaxa*, *Sicyus*, *Stenocyphus*)。

3). Ellipsophysid 组合(包括 *Ellipsophysa*, ? *Glossophyton*, *Nephroformia*, *Phascolites*, *Shouhsienia*)。

4). Grypanid 组合(包括 *Grypania*, "Helminthoidichnites", *Sangshuania* 及可能的 *Katnia* 和 *Loriforma*)。

5). Longfengshanid 组合(包括 ? *Glossophyton*, *Krishania*, *Longfengshania*, *Paralongfengshania*)。

6). Moranid 组合(包括 ? *Morania*, ? *Ljadlovites*, ? *Vindhyaवासinia*)。

7). Beltinid 组合(包括 *Beltina*, ? *Lanceoforma*, *Radicula*, *Vindhyaवासinia*)。

8). Vendotaenid 组合(包括 *Vendotaenia*, *Aataenia*, ? *Caudina*, *Fasciculella*, *Kanilovia*, ? *Proterotainia*, *Serebrina*, *Sinotaenia*, *Tyrasotaenia*, *Vindhyania* 等)。

9). Eoholynid 组合(包括 *Eoholynia*, ? *Daltaenia*, *Enteromophites*, *Kalusina*)。

10). Sinosabelliditid 组合(包括 *Sinosabelliditia*, *Anhuiella*, *Huainanella*, *Huaiyuanel-la*, ? *Katnia*, *Paleorhyncus*, *Pararenicola*, *Protoarenicola*)。

11). Sabelliditid 组合(包括 *Calyptrina*, *Paleolina*, *Saarina*, *Sabellidites*, ? *Shaanxilihes*)。

这些形态类型的典型属种如插图 1 所示,它们的地质时代在 1400Ma 至 600Ma 之间;大小在 1mm 至 100mm 之间;大多以碳质压膜的形式保存。

从形态上看,可进一步把它们归为 5 个形态组合:

1. *Chuarina-Ellipsophysia-Morania-Tawuia* 组合

这是一类圆形至椭圆形的碳质膜化石,碳质膜中偶见一些碳质环或脊。

一些学者认为 *Chuarina* 和 *Tawuia* 中的部分分子为低等丝状蓝菌的聚合体(Sun, 1987);而另一部分学者则认为可能是浮游的多细胞藻类(Sokolov, 1976);Hofmann (1981, 1985a)和段承华(1982)把 *Chuarina* 看作是一类真核生物并归入不同于现生藻类的一个新科 Chuariaceae。

这类化石的归属之所以出现原核生物、真核和多细胞藻类的争论,是因为它们虽然具有宏体形态,但没有保存可供进一步分类的形态分化(如固着器、分枝、分节等)和细胞、组织分

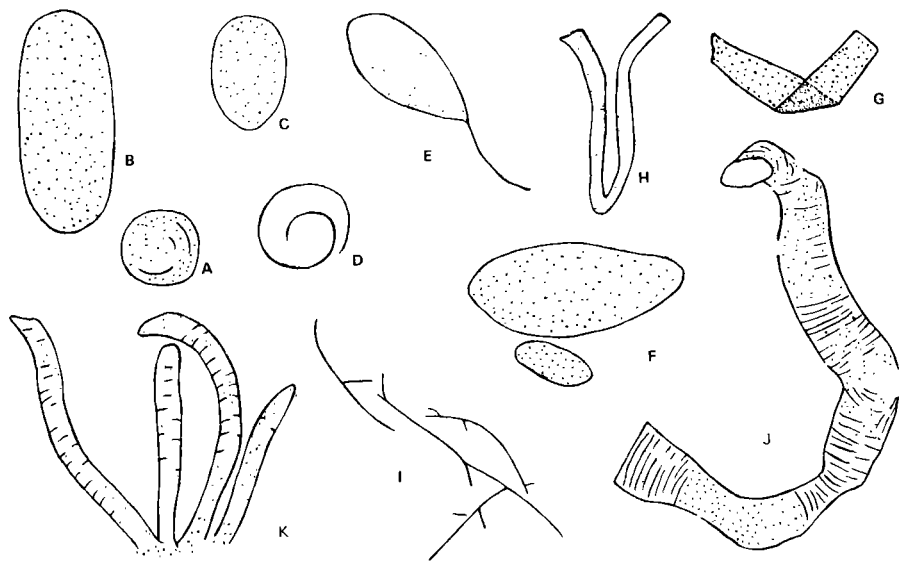


插图 1 晚前寒武纪宏体碳质压膜化石的典型属种

Typical species of megascopic carbonaceous compressions from Late Precambrian

A. *Chuararia circularis*, $\times 5$; B. *Tawuia dalensis*, $\times 5$; C. *Shouhsienia shouhsiensis*, $\times 1.5$

D. *Grypania spiralis*, $\times 1.5$; E. *Longfengshania longipetiolata*, $\times 1$

F. *Morania?* sp., $\times 1$; G. *Lanceoforma striata*, $\times 1$; H. *Vendotaenia didymos*, $\times 1$

I. *Daltaenia mackenziensis*, $\times 0.5$; J. *Anhuiella sinensis*, $\times 5$

K. *Paleolina evenkiana*, $\times 5$

A, B 据 Hofmann, 1985a, 图 4B (from Hofmann, 1985a, fig. 4B); C 据杜汝霖等, 1986, 图版 I, 图 13 (from Du *et al.*, 1985, Pl. 1, fig. 13); D, G 据 Walter 等, 1976, 图版 I, 图 9, 2 (from Walter *et al.*, 1976, Pl. 2, figs. 9, 2); E 据杜汝霖、田立富, 1985, 图版 I, 图 1 (from Du *et al.*, 1985, Pl. 2, fig. 1); F 据 Hofmann, 1992, 图 7. 3. 10G (from Hofmann, 1992, fig. 7. 3. 10G); H 据曹瑞骥、赵文杰, 1978, 图版 I, 图 6 (from Cao *et al.*, 1978, Pl. 2, fig. 6); I 据 Hofmann, 1985b, 图版 39, 图 2 (from Hofmann, 1985, Pl. 39, fig. 2); J, K 据汪贵翔等, 1984, 图版 6, 图 4; 图版 7, 图 2 (from Wang *et al.*, 1984, Pl. 6, fig. 4; Pl. 7, fig. 2)

化(细胞大小及皮层、髓层、生殖结构等)。

2. *Vendotaenia-Beltinia-Grypania* 组合

此组合中的化石为长带状或卷曲成螺旋状的碳质压膜。它们中的绝大部分分子可能是真正的后生植物(Hofmann, 1992)。

3. *Longfengshania* 组合

这是一类具固着装置的圆形或椭圆形碳质压膜化石。在它的亲缘关系上存在较多争议, 陈孟莪和郑文武(1986)认为 *Longfengshania* 可能是 *Chuararia* 和 *Tawuia* 的固着形态; 张忠英(1988)把它与泥盆纪的苔藓植物化石进行形态比较, 并归入一新修订属 "*Longfengshania*", 认为它可能是最早的苔藓植物化石; 刘志礼和杜汝霖(1991)则认为

Longfengshania 为后生植物中的低等类型——多细胞藻类,并建议归入一不同于现生藻类的新门、目或科。Hofmann(1985b)认为它可能与一些真核藻类有关。

4. *Eoholynia* 组合

是一类具有明显分枝的丝状碳质膜化石,从其具明显分枝和宏体外形的特点(毫米至厘米级)来看,它们是真正的后生植物化石(Hofmann, 1992)。

5. *Sinosabelliditia* 和 *Sabelliditia* 组合

是一类具有争议的带状碳质压膜化石。它们具有黑色碳质膜及黑色有机质横纹(脊),通常一端保存有圆形或椭圆形的类似于现代蠕虫“口”或“吻”状结构。很多学者认为这类宏体化石是蠕虫化石(汪贵翔等, 1984; Sokolov, 1967),依据是:(1)具有横纹或脊;(2)具有似蠕虫的“口”或“吻”状结构;(3)带状体具膨胀和收缩(简称溢缩)现象。他们把碳质横纹(脊)解释为蠕虫的体纹或体节的印痕或碳化的结果;“口”或“吻”为蠕虫的口或吻所保存;“溢缩”是蠕虫在运动中肌肉收缩而形成。但从这类化石的保存特点看:横纹亦可解释为蓝藻丝状体的缠绕生长形态,或是多细胞藻类的分节;“口”或“吻”状结构可能是藻丝聚合体或多细胞藻类的固着部分或断口;“溢缩”亦可为柔软的藻体保存变形所致。并且,这类化石多与 *Chuarina* 和 *Tawuia* 同层位产出,均为碳质压膜保存,即使是早寒武世的澄江动物群中的蠕虫类化石,也极少有碳质膜保存,这些蠕虫化石是根据岩石表面的一些凹凸来分辨出虫体的基本形态(陈均远等, 1989; 侯先光等, 1989)。笔者倾向于把此组合中的化石归入丝状蓝藻聚合体或多细胞藻类。

综上所述,前寒武纪发现的宏体碳质压膜虽然属种较多,但从形态上看基本上为圆形、椭圆形、带状、丝状以及它们的过渡类型或者它们的保存形态。这些化石的研究大致存在以下 3 个问题:(1)动物或植物(如 *Sinosabelliditia* 类, *Sabelliditia* 类);(2)原核或真核(如 *Chuarina* 类, *Tawuia* 类);(3)单细胞或多细胞藻类(如 *Chuarina* 类)。

这些问题的解决有待于新的材料或利用新的手段做进一步的研究。幸运的是,近年来在扬子地台震旦纪陡山沱期岩层中发现了保存完好、种类繁多的后生植物化石,这些化石为研究后生植物的起源和发展提供了重要的线索。

三、扬子地台震旦纪陡山沱期宏体植物化石的发现及其意义

扬子地台震旦纪陡山沱期宏体植物化石点已发现 3 处:峡东庙河地区的震旦系陡山沱组,皖南休宁震旦系蓝田组(相当于陡山沱组),贵州中部瓮安磷矿震旦系陡山沱组。

峡东庙河地区自朱为庆和陈孟莪(1984)在震旦系陡山沱组硅质页岩中发现有分枝的 *Enteromorphites* 以来,相继有保存完整、类型众多的后生植物和后生动物(?)化石发现(陈孟莪等, 1991a, b; 1993, 1994; 丁莲芳等, 1992)。丁莲芳等(1992)称其为“庙河生物群”。

本文作者于 1991 年 5 月在庙河生物群的化石产出层位进行了详细的标本采集,获得了大量保存完整的宏体藻类碳质膜化石。这些化石从形态上可分为 7 大类型:

1). 圆形碳质压膜:是一类直径 5—20mm 的圆形碳质膜化石,无放射纹和环形纹等构造,个体大小不一,无折叠和重叠现象(图版 I, 图 1)。

2). 不分枝的带状体:这是一类长可达 100mm,宽 2—8mm 的带状碳质压膜,带状体下部大多有固着器保存,向上渐变宽(图版 I, 图 2, 3, 5—7)。

3). 分节的带状体:化石大多不完整,但带状碳质压膜可见明显分节,节长约 5mm,宽约 7mm,化石保存的最大长度达 60mm。藻体均匀,无明显收缩(图版 I,图 4)。

4). 二歧分枝的丝状体:具明显的、规则的二歧分枝,基部有固着器相连,藻丝体粗细均匀。丝体宽度小于 1mm(图版 I,图 1)。

5). 二歧分枝的带状体:带状体二歧分枝,藻体长可达 30mm,宽 1—5mm(图版 II,图 8,图版 III,图 1)。

6). 发状藻体:丝状藻体呈发状生长,藻丝体无分枝现象,长达 40mm(图版 III,图 3)。

7). 单轴分枝的藻体:藻体呈单轴式分枝,藻体保存的长度达 50mm(插图 3-D)(陈孟莪等,1994,图版 I,图 1,2)。

皖南休宁震旦系蓝田组黑色页岩中发现的宏体藻类化石主要以 *Xiuningia crassa* 和 *Cyathophyton simplicis* 为代表,它们均为丝状体组成的碳质压膜(邢裕盛等,1985,1989;毕治国等,1987)。如插图 2 所示。

贵州瓮安磷矿震旦系陡山沱组黑色磷块岩中保存的多细胞藻类化石具有完好的细胞和组织结构(图版 I,图 2,3)。现已有 6 属 10 种进行了详细的描述(Zhang,1989; Zhang and Yuan,1992;袁训来等,1993),它们是: *Thallophyca ramosa* Zhang, 1989; *Thallophyca simplicis* Zhang, 1989; *Thallophyca phylloformis* Zhang et Yuan, 1992; *Thallophyca corrugata* Zhang et Yuan, 1992; *Wangania globosa* Zhang, 1989; *Wangania rotatoria* Zhang et Yuan, 1992; *Thallopheoides phloeatus* Zhang et Yuan, 1992; *Corticina irregularia* Zhang et Yuan, 1992; *Cerionopora ordinata* Zhang et Yuan, 1992;

Paramecia incognata Zhang et Yuan, 1992。这些多细胞藻类化石的主要特点是藻体形态多样并具初级的细胞分化和组织分化,这些细胞和组织结构可与现生红藻类的某些属种进行比较(Zhang and Yuan, 1992, fig. 6A—F)。

综合以上 3 处发现的宏体藻类化石(峡东庙河、皖南休宁和贵州瓮安磷矿),并与世界其它地区的前寒武系宏体碳质压膜化石相比较,它们具有以下 7 个突出的特点:

1. 时代特点

峡东庙河、皖南休宁和贵州瓮安磷矿这 3 处就其构造位置来看,均属于古扬子地台,并且它们的化石产出层位都是震旦纪陡山沱期的页岩层,绝对年龄值在 600Ma—700Ma 之间(王曰伦等,1980),这个时期被很多学者认为是后生生物起源和发展的重要阶段(张昀, 1989)。这 3 处宏体植物化石的发现,为后生植物的起源提供了非常重要的化石证据。

2. 具有细胞和组织的分化

贵州瓮安磷矿中的多细胞藻类化石标本通过切片观察,具有细胞大小及形态的分化;具

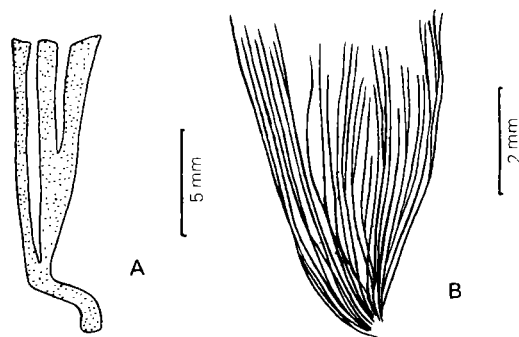


插图 2 安徽南部休宁地区震旦系蓝田组的宏体藻类化石

(据邢裕盛等,1989,图版 I,图 2,4)

Megascopic algal fossils from Sinian Lantian

Formation at Xiuning, south Anhui

(from Xin et al., 1989, Pl. 2, figs 2, 4)

A. *Xiuningia crassa*; B. *Cyathophyton simplicis*

细胞“岛”和类似于某些现生红藻类的“生殖窝”状结构(Zhang, 1989; Zhang and Yuan, 1992; 袁训来等, 1993)。

3. 具器官分化

峡东庙河和皖南休宁所发现的大多数宏体藻类化石可分为固着器和营养体。虽然在中国北部的青白口系和北美的小达尔群中发现的 *Longfengshania* 亦有柄状固着装置出现(Hofmann, 1985b; 杜汝霖, 田立富, 1985), 但它只是椭圆形叶状体下的一个柄状突起(插图 1-E)。而本文讨论的陡山沱期的宏体藻类固着器与现生固着海藻类所具有的“根”极其相似(图版 I, 图 2, 3)。它的出现, 使藻体能稳固地生长在泥沙或岩石上, 同时固着部和叶状体的分化亦是真核单细胞藻类演化成多细胞宏体藻类的一个重要形态标志。

4. 分枝

分枝藻体虽然在 Eoholynid 组合(Hofmann, 1992)中出现过, 但它们的分枝不规则, 分枝多为一次分枝, 并且这些标本保存极不完整(Hofmann, 1985, pl. 39, figs 1, 2)。而峡东庙河和皖南休宁震旦纪陡山沱期的分枝藻类具明显分枝, 并且多级分枝(图版 I, 图 1), 分枝类型现已发现 4 种(插图 3): A 是一种简单丝状体二歧分枝型(图版 I, 图 1); B 为均匀带状体二歧分枝型(图版 I, 图 8); C 为向上变宽的带状体二歧分枝型(图版 III, 图 1); D 单轴式分枝型(陈孟莪等, 1994, 图版 I, 图 1, 2)。

分枝的出现使得藻体呈丛状或伞状生长, 这种向上变宽的形态是后生植物(包括陆生植物)为获得充足的阳光、CO₂ 及各种矿物质而广泛采取的最基本的形态。同时丝状体和叶状体的分化及多种分枝方式的出现是后生植物形态歧异的最初表现, 它们从而演化成五彩缤纷的海洋藻类和陆生植物。

5. 分节

具明显分节的宏体藻类化石在前寒武纪地层中较为少见(图版 I, 图 4), 它的出现与显生宙及现生藻类(特别是钙藻)的分节可能存在某种亲缘关系。

6. 稳定的形体

这些宏体藻类化石均具有其特定的形态: 如圆形的 *Beltanelloides podolicus*(图版 I, 图 1); 带状的 *Diaoyapolites longiconoidalis*(图版 I, 图 7), *Vendotaenia* sp. (图版 I, 图 8), *Baculiphyca taeniata* gen. et sp. nov. (图版 I, 图 2, 3, 5, 6), *Enteromophites siniansis*(图版 I, 图 8), *Xiuningia crassa*(插图 2-A), *Konglingiphyton erecta*(图版 III, 图 1); 丝状的 *Doushan-tuophyton lineare*(图版 I, 图 1)及发状藻类 *Capilliphyca flexa* gen et sp. nov. (图版 III, 图 3), *Cyathophyton simplicis*(插图 2-B)等。这些稳定形体的出现, 表明多细胞藻类在震旦纪陡山沱期已具备了各自不同的、稳定的遗传物质, 为后生植物进一步演化和适应辐射提供了必不可少的内部条件。

7. 高的分异度和丰度

数量众多、形态多样的宏体藻类化石产于同属扬子古地台的湖北峡东地区、贵州中部瓮安磷矿及安徽南部休宁的震旦纪陡山沱期岩层之中, 表明陡山沱期的海洋中纷繁复杂的多细胞藻类已占据了一定的生态空间。

以上这些特点表明震旦纪陡山沱期的海洋藻类无论从其形态或结构上都具有了现生藻类的特点。正如海洋无脊椎动物的“寒武爆发”一样,在寒武纪早期,现生海洋无脊椎动物的大分类单元(如门、纲等)均已出现。虽然陡山沱期的藻类现无法确切地归入现生藻类的分类系统(因现生藻类的分类主要是根据它们的生殖方式、色素、代谢产物等细胞和亚细胞级的特征,而化石藻类这些特征几乎全部丧失),但其形态和部分细胞结构可与现生藻类进行对比,如张昀和袁训来(1992)把瓮安磷矿中发现的多细胞藻类化石与现生红藻 *Corallina* sp. 进行了细胞结构的比较,并认为这些化石藻类与红藻可能存在亲缘关系;朱为庆和陈孟莪(1984)把峡东庙河陡山沱组发现的一类分枝藻类与现生绿藻门的浒苔类进行了形态对比,并定名为 *Enteromorphites siniansis*; 本文描述的 *Konglingiphyton erecta* (图版Ⅲ,图1)与现生红藻门的 *Chondrus elatus* (图版Ⅲ,图2)在分枝方式和形态上极为相似;发状藻类化石 *Capilliphyca flexa* gen. et sp. nov. (图版Ⅲ,图3)与现生褐藻门的 *Myelophycus caespitosus* (图版Ⅲ,图4)在形态上亦有相似之处。

这种形态及结构的比较虽为简单,但能得到一条非常重要的信息,即现生藻类的诸多形态和结构特点(如分枝,营养体,固着部,组织及细胞分化等)在震旦纪陡山沱期的化石藻类中就已出现。并且在此时代之前发现的碳质膜化石虽具宏体外形,但大多不具有可供进一步研究的稳定的形态特点及微细构造(Hofmann, 1992),正如本文第二节所述,它们是一些具诸多疑问的化石。因此,笔者认为:震旦纪陡山沱期(约 690Ma)发现的宏体藻类化石是真正的后生植物化石,并且陡山沱期是后生植物的第一次大辐射时期。

四、化石描述

棒形藻属(新属) *Baculiphyca* gen. nov.

模式种 *Baculiphyca taeniata* gen. et sp. nov.

词源 “Bacul-”,拉丁语,意为“棒状的”;“phyc-”,意为“藻类”。

属征 藻体呈棒状或带状,厘米级大小,直或弯曲,不分枝,藻体自下至上渐变宽,具有

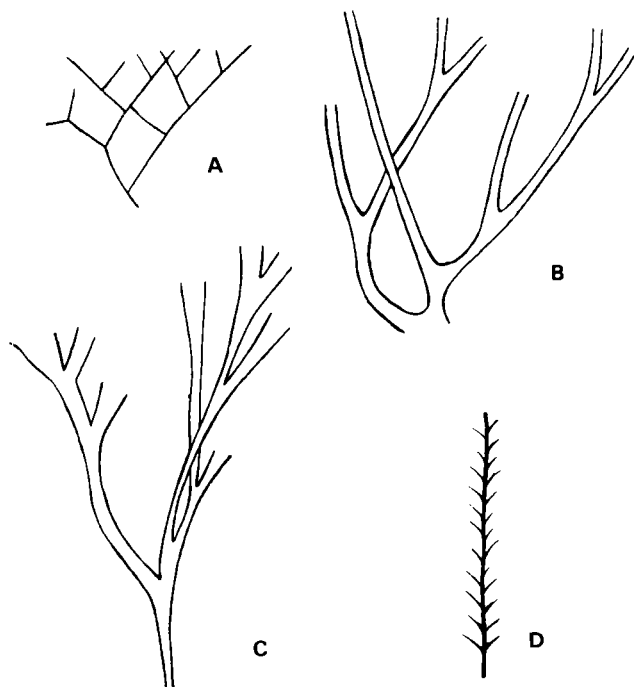


插图 3 震旦纪陡山沱期宏体藻类的 4 种分枝类型

Four branching types of the algal fossils
from Doushantuo Formation, Sinian

A. 丝状体二歧分枝型(Filamentous dichotomy); B. 均匀带状体二歧分枝型(Taenioid dichotomy, taenia uniform); C. 向上变宽带状体二歧分枝型(Taenioid dichotomy, taenia tapering downward); D. 单轴式分枝型(Monopodial branching type)

须根状固着器。

产地层位 湖北峡东庙河地区震旦系陡山沱组。

带状棒形藻(新属、新种) *Baculiphyca taeniata* gen. et sp. nov.

(图版 I, 图 2, 3, 5, 6)

藻体呈棒状或带状, 向上渐变宽, 宽为 2—4mm, 可观察的最大长度为 40mm。藻体在岩层表面常以浅槽或微突起产出, 呈黄黑色, 具须根状固着器。

讨论 此新种与 *Diaoyapolites longiconoidalis* 相比, 前者具有须根状固着器, 个体较大, 呈带状等特点; 而 *D. longiconoidalis* 为椎管状, 个体较小, 固着器在层面上保存为团块状。

发状藻属(新属) *Capilliphyca* gen. nov.

模式种 *Capilliphyca flexa* gen. et sp. nov.

词源 “Capill-”, 拉丁语, 意为“发状”。

属征 不分枝的发状藻类, 具块根状固着器, 单个藻丝体宽小于 1mm, 均匀, 长为厘米级大小。

产地层位 同上。

弯曲发状藻(新属、新种) *Capilliphyca flexa* gen. et sp. nov.

(图版 II, 图 3)

藻体呈发状, 基部具块根状固着器; 单个藻丝体不分枝, 宽 0.1—0.2mm, 长 20—40mm。

讨论 此新种与现生褐藻门的某些丝状藻类在形态上极为相似, 如 *Myelophycus caespitosus* (图版 III, 图 4)。

类贝尔坦藻属 *Beltanelloides* Sokolov, 1965

波多利亚类贝尔坦藻 *Beltanelloides podolicus* A. Istchenko, 1988

(图版 I, 图 1)

圆形的碳质膜化石。被风化的个体周围保存有 1—2mm 宽的环形碳质膜, 标本表面未见放射沟、槽和突起等结构。它们大多呈群体出现, 群体中的个体大多边缘相连, 无重叠和挤压现象, 个体直径在 9—25mm 之间。

产地层位 同上。

吊崖坡藻属 *Diaoyapolites* Chen et Xiao, 1991

长形吊崖坡藻 *Diaoyapolites longiconoidalis* Chen et Xiao, 1991

(图版 I, 图 7)

1992 *Miaohenella typicura* Ding, 丁莲芳等, 110 页, 图版 XX, 图 1。

1992 *Miaohenella eleganta* Ding, 丁莲芳等, 110 页, 图版 XX, 图 4, 10。

具固着器的带状碳质压膜化石。这类藻体呈锥状, 长可达 20mm, 宽 1—2mm。固着器呈

团块状,藻体由碳质膜组成,并收缩成颗粒状,在其下部往往形成明显的凹槽或突起,表明这种藻类生活时近固着部为圆管或椭圆管状。

产地层位 同上。

陡山沱藻属 *Doushantuophyton* Chen, 1991

线形陡山沱藻 *Doushantuophyton lineare* Chen, 1991

(图版 II, 图 1)

具固着器的二歧分枝丝状体。藻体高在 10—20mm 之间,宽约 0.2mm;藻丝体分枝级数可达 6 次,分枝从基部开始向上渐扩展成扇状。

产地层位 同上。

拟浒苔属 *Enteromophites* Zhu et Chen, 1984

中华拟浒苔 *Enteromophites siniansis* Zhu et Chen, 1984

(图版 II, 图 8)

二歧分枝的带状藻类,具团块状固着器,藻体高约 20mm,带状体宽约 0.5mm。

产地层位 同上。

文德带藻属 *Vendotaenia* Gnilovskaja, 1971

文德带藻(未定种) *Vendotaenia* sp.

(图版 II, 图 9)

带状碳质膜,宽为 2—3mm,长约 30mm,带体均匀,一端折叠。

产地层位 同上

崆岭藻属 *Konglingiphyton* Chen et al., 1994

直立崆岭藻 *Konglingiphyton erecta* Chen et al., 1994

(图版 III, 图 1)

分枝的带状碳质压膜。分枝方式为向上变宽的二歧带状分枝型,可见长度为 30mm,带状体宽在 1—3mm。

讨论 这类藻体与现生红藻门的 *Chondrus elatus* (图版 III, 图 2)在形态上极为相似。

产地层位 同上。

原叶藻属 *Thallophyca* Zhang, 1989

分枝原叶藻 *Thallophyca ramosa* Zhang, 1989

(图版 I, 图 2)

保存于磷块岩中的多细胞藻类,薄片中所观察的大多为碎片,最大可达 10—20mm(长或宽)。藻体一般分为皮层和髓层,皮层细胞呈长椭球形,平均为 $10 \times 3 \mu\text{m}$ (长 \times 宽);髓层细胞多为圆球形或椭球形,直径约为 $6 \mu\text{m}$ 。

产地层位 贵州瓮安磷矿震旦系陡山沱组。

参 考 文 献

- 丁莲芳、张录易、李 勇等,1992: 扬子地台北缘晚震旦世一早寒武世早期生物群研究。科学技术文献出版社。
- 王日伦、陆宗斌、邢裕盛等,1980: 中国上前寒武系的划分和对比。中国震旦亚界。天津科学技术出版社。
- 刘志礼、杜汝霖,1991: *Longfengshania* 的形态学特征和归属。古生物学报,30(1):106—114。
- 毕治国、王贤方、朱 鸿、王自强、丁 放,1987: 皖南震旦系。地质古生物论文集,19:20—60。
- 朱为庆、陈孟莪,1984: 峡东地区晚震旦系发现的宏体藻类化石。植物学报,26:558—560。
- 邢裕盛、毕治国、王贤方,1985: 皖南震旦系发现宏体藻类化石。中国地质科学院地质研究所所刊,12:32。
- 邢裕盛、高振家、刘桂芝、乔秀夫,1989: 中国的前寒武系。中国地层(3),185—260。地质出版社。
- 杜汝霖、田立富,1985: 燕山青白口系宏体藻类龙凤山藻属的发现和初步研究。地质学报,59(3):153—160。
- 杜汝霖、田立富、李汉樺,1986: 蓟县长城系高于庄组宏观生物化石的发现。地质学报,60(2):115—120。
- 汪贵翔、张世恩、李尚湘等,1984: 苏皖北部上前寒武系研究。安徽科学技术出版社。
- 陈孟莪、萧宗正,1991a: 峡东区上震旦统陡山沱组宏体化石的发现。科学通报,1991(24):1873—1875。
- 陈孟莪、萧宗正,1991b: 峡东区上震旦统陡山沱组发现宏体化石。地质科学,26(4):317—324。
- 陈孟莪、萧宗正、袁训来,1993: *Beltanelloides podolicus* 在中国上震旦统首次发现。地质科学,28(4):312—315。
- 陈孟莪、萧宗正、袁训来,1994: 晚震旦世的特种生物群落——庙河生物群新知。古生物学报,33(2):392—403。
- 陈均远、侯先光、路浩之,1989: 早寒武世带网状鳞片的蠕形海生动物。古生物学报,28(1):1—16。
- 张忠英,1988: 龙凤山苔属(新修订)——可能的最早的苔藓植物化石。古生物学报,27(4):416—425。
- 张 昀,1989: 前寒武纪生命演化与化石记录。北京大学出版社。
- 侯先光、陈均远,1989: 云南澄江早寒武世带触手的蠕形动物——*Facivermis* gen nov.。古生物学报,28(1):32—41。
- 段承华、邢裕盛,1985: 宏体藻类化石。中国晚前寒武纪古生物。地质出版社。
- 袁训来、王启飞、张 昀,1993: 贵州瓮安磷矿晚前寒武纪陡山沱期的藻类化石群。微体古生物学报,10(4):409—420。
- 曹瑞骥、赵文杰,1978: 西南地区晚震旦世灯影组藻类植物群。中国科学院南京地质古生物研究所集刊,第10号,1—26页。科学出版社。
- Duan Cheng-hua, 1982: Late Precambrian algal megafossils *Chuarina* and *Tawuia* in some areas of eastern China. *Alcheringa*, 6:57—58.
- Hofmann, H. J., 1985a: Precambrian carbonaceous megafossils Palaeoecology; Contemporary research and applications (eds. D. F. Toomey and M. H. Nitecki), Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Hofmann, H. J., 1985b: The mid-Proterozoic Little Dal macrobiota, Mackenzie Mountains, north-west Canada. *Palaeontology*, 28(2):331—353.
- Hofmann, H. J., 1992: Proterozoic carbonaceous films. In J. William Schopf and Cornelis Klein (eds.), *The Proterozoic Biosphere*, PP. 349—367.
- Hofmann, H. J. and Chen J., 1981: Carbonaceous megafossils from the Precambrian (1800Ma) near Jixian, northern China. *Can. J. Earth Sci.*, 18:443—447.
- Sokichi Segawa, 1978: Colour illustration of the seaweed of Japan. Hoikusha Publishing Co. LTD., 35:79, 94.
- Sokolov, B. S., 1976: Organicheskiy mir zemlna puik fanerozoiskoy differentsiatzii (The organic world on the path of phanerozoic differentiation). *vestn Akad Nauk SSSR*, 1:126—143.
- Sun Weiguo, 1987: Palaeontology and biostratigraphy of Late Precambrian macroscopic colonial algae: *Chuarina* Walcott and *Tawuia* Hofmann. *Palaeontographica*, Abt. B, 203:109—136.
- Walter, M. R., Oehler, J. H. and Oehler, D. Z., 1976: Megascopic algae 1300 million years old from the Belt Supergroup, Montana: a reinterpretation of Walcott's Helminthoidichnites. *J. Paleont.*, 50(5):872—881.
- Zhang Yun, 1989: Multicellular thallophytes with differentiated tissues from Late Proterozoic phosphate rocks of South China. *Lethaia*, 22:113—132.
- Zhang Yun and Yuan Xunlai, 1992: New data of the thallophytes and fragments of multicellular tissue from Late Proterozoic phosphate rocks of South China. *Lethaia*, 25(1):1—18.

[1994年5月20日收到]

DEVELOPMENT AND THEIR FOSSIL RECORDS OF METAPHYTES FROM LATE PRECAMBRIAN

Yuan Xun-lai and Li Jun

(*Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica, Nanjing 210008*)

Chen Meng-e

(*Institute of Geology, Academia Sinica, Beijing 100029*)

Key words Doushantuo Stage, metaphyte, morphological comparison

Summary

For two decades, well-preserved metaphyte fossils have been found from the Sinian Doushantuo Stage at three localities of the Yangtze Plate, China; the black siliceous shales of Sinian Doushantuo Formation at Miaohé, Yangtze Gorges, Hubei; the black phosphoritic rocks of Doushantuo Formation in central Guizhou and the black shales of Lantian Formation (equivalent to Doushantuo Formation) from Xiuning, southern Anhui. These algal fossils are distinguished by the following features:

1. Synchronicity All of the three well-preserved floras were found from the rocks of the Doushantuo Stage. Many palaeontologists (e. g. Zhang, 1989) emphasized that the era is very important for the study of the origin and evolutionary radiation of metaphytes and metazoans. These fossils allow us to take a fresh look at the first radiation of metaphytes.

2. Tissue differentiation The algal fossils from the phosphoritic rocks in central Guizhou, are three-dimensionally well-preserved with fine microstructures and cellular tissues, thus permitting the study of their cytomorphology and histomorphology (Zhang and Yuan, 1992).

3. Organ differentiation Most algal fossils can be differentiated into two parts; the vegetative part and the fixative part (e. g. Pl. II, figs. 2, 3).

4. Branching Four branching types can be distinguished from the branched algal fossils (fig. 3). A. Filamental dichotomy type; B. Taenioid dichotomy type, with taenia uniform; C. Taenioid dichotomy type, with taenia tapering downward; and D. Monopodial branching type.

5. Joint(?) Ribbon-like algal fossil with flattened circular carbonaceous joints (Pl. II, fig. 4).

6. Morphological stability Each species presents a certain appearance, e. g., circular type-*Beltanelloides podolicus* (Pl. I, fig. 1); taenioid type-*Diaoyapolites longiconoidalis*

(Pl. II, fig. 7), *Vendotaenia* sp. (Pl. II, fig. 9), *Baculiphyca taeniata* gen. et sp. nov. (Pl. II, fig. 2, 3, 5, 6) and unnamed form A (Pl. II, fig. 4); taenioidal branched type-*Enteromophites siniansis* (Pl. II, fig. 8) and *Konglingiphyton erecta* (Pl. III, fig. 1); filamental, branched type-*Doushantuophyton lineare* (Pl. II, fig. 1) and hair-like type-*Capilliphyca flexa* gen. et sp. nov. (Pl. III, fig. 3).

7. High diversification and abundance There have been described 6 genera and 10 species of algal fossils from the phosphoritic rocks of the Doushantuo Formation, central Guizhou (Zhang, 1989; Zhang and Yuan, 1992); about 20 genera and 30 species from Miaohé, Yangtze Gorges (Zhu and Chen, 1984; Chen *et al.*, 1991a, 1991b, 1993, 1994) and at least 5 genera and 8 species from Xiuning, southern Anhui (Xin *et al.*, 1989).

These features indicate that the Doushantuo algal fossils in question could be morphologically compared with modern rhodophytes, phaeophytes or/and chlorophytes. A kind of algal fossil from Weng'an, central Guizhou, may be histomorphologically comparable to the modern rhodophyte-*Corallina* sp. (Zhang and Yuan, 1992). Zhu and Chen (1984) morphologically compared a kind of branched algal fossil from Miaohé with the modern phaeophyte-*Enteromopha* sp. and named it *Enteromophites siniansis*. Here, the algal fossil-*Konglingiphyton erecta* (Pl. III, fig. 1) is very similar in outline to the modern rhodophyte *Chondrus elatus* (Pl. III, fig. 2); the hair-like fossil alga-*Capilliphyca flexa* gen. et sp. nov. (Pl. III, fig. 3) may be comparable to the modern phaeophyte-*Myelophycus caespitosus*.

Although the morphological comparison is far from enough for understanding the affinities of the fossil algae, it still could attain a very important concept that most of the morphological features and microstructures of modern algae appeared in the fossil algae of Doushantuo, Sinian and probably the first evolutionary radiation of metaphytes took place in the Proterozoic Doushantuo Stage (about 690 Ma).

***Baculiphyca* gen. nov.**

Type species *Baculiphyca taeniata* gen et sp. nov.

Etymology "Bacul-", stick like; "phyc-", algae, referring to the fossil shape and its algal affinity.

Type horizon and locality Doushantuo Formation of Sinian, Miaohé, Yangtze Gorges.

Diagnosis Thallus stick-like or ribbon-like with centimeter dimensions, straight or bent, unbranched and slightly tapering downward to the base. Thallus often preserved with a root-like holdfast in the basal part.

***Baculiphyca taeniata* gen. et sp. nov.**

(Pl. II, fig. 2, 3, 5, 6)

Type horizon and locality The same as for the genus.

Diagnosis The same as for the genus.

Description Thallus tapering downward to its base and connecting with a root-like holdfast, 2—4mm wide and about 40mm long.

Capilliphyca gen. nov.

Etymology Capill-" ,hair or feather-like.

Type horizon and locality Doushantuo Formation of Sinian, Miaohu, Yangtze Gorges.

Diagnosis Slender unbranched thalli gathering in tuft, each thallus less than 1mm wide and several centimeters long.

Capilliphyca flexa gen. et sp. nov.

(Pl. II, fig. 3)

Type horizon and locality The same as for the genus.

Diagnosis The same as for the genus.

Description Thalli unbranched, hair-like and gathering in tuft, each thallus 0.1—0.2mm wide and 20—40mm long.

图 版 说 明

所有标本均保存在中国科学院南京地质古生物研究所。

图 版 I

1. *Beltanelloides podolicus* A. Istchenko, 1988; $\times 1$, 标本号: HM9101. 峡东庙河震旦系陡山沱组黑色硅质页岩。
2. *Thallophyca ramosa* Zhang, 1989; 光学显微照片, $\times 160$, 薄片号: Wch-7-89b. 贵州瓮安磷矿震旦系陡山沱组黑色磷块岩。
3. 藻类碎片; 光学显微照片, $\times 800$, 薄片号: Wch-7-89b. 贵州瓮安磷矿震旦系陡山沱组黑色磷块岩。

图 版 II

1. *Doushantuophyton lineare* Chen, 1991; $\times 5$, 标本号: HM9116. 峡东庙河震旦系陡山沱组黑色硅质页岩。
- 2, 3, 5, 6. *Baculiphyca taeniata* gen. et sp. nov.
2, 3. $\times 3$, holotype; 5, 6. $\times 2$, $\times 3$, paratype. 标本号: HM9106—HM9109. 峡东庙河震旦系陡山沱组黑色硅质页岩。
4. 分节藻类; $\times 1.5$, 标本号: HM9132. 峡东庙河震旦系陡山沱组黑色硅质页岩。
7. *Diaoyapolites longiconoidalis* Chen et Xiao, 1991; $\times 3$, 标本号: HM9115. 峡东庙河震旦系陡山沱组黑色硅质页岩。
8. *Enteromophites siniansis* Zhu et Chen, 1984; $\times 3$, 标本号: HM9120. 峡东庙河震旦系陡山沱组黑色硅质页岩。
9. *Vendotaenia* sp.; $\times 3$, 标本号: HM9127. 峡东庙河震旦系陡山沱组黑色硅质页岩。

图 版 III

1. *Konglingiphyton erecta* Chen et al., 1994; $\times 3$, HM9123. 峡东庙河震旦系陡山沱组黑色硅质页岩。
2. *Chondrus elatus* Holmes; $\times 2/3$, 翻拍于 Sokichi Segawa (1978), p. 35. 现生藻类。
3. *Capilliphyca flexa* gen. et sp. nov.; $\times 3$, holotype, 标本号: HM9122. 峡东庙河震旦系陡山沱组黑色硅质页岩。
4. *Myelophycus caespitosus* (Harvey) Kjellman; $\times 2/3$, 翻拍于 Sokichi Segawa (1978), p. 79. 现生藻类。

