

中国蓟县长城系团山子宏观藻群^{*}

阎玉忠

刘志礼

(地矿部天津地质矿产研究所, 天津 300170) (南京大学生物系, 南京 210093)

提要 团山子宏观藻群按形态类型分成 4 属 6 种, 皆有上下之分, 直立生长, 群集于盆地的浅水部位, 形成一繁盛的水下“草原”。大型宏观藻类宽 10—36mm, 长在 165—190mm 以上, 叶状体的广度扩展到 4 000mm² 以上, 与现代藻类大小相近, 形态相似, 相近于绿藻, 乃至褐藻, 藻体大型化, 形态多样化, 构造复杂化是团山子藻群的基本特征, 它是迄今已知最古老的具膜状体型的多细胞宏观藻群, 其先进性具有时代意义, 反映了古元古代末期(约 1 700Ma)生命活动的进化水平。

关键词 团山子宏观藻群 多细胞原植体植物 膜状体型 绿藻 褐藻 长城系 蓟县

自蓟县长城系团山子组宏观藻化石被发现以来(阎玉忠, 1995), 通过进一步工作, 在原化石点又采集化石标本累计达 496 个, 其基本形态类型已初见端倪, 除占大多数的(92%以上)中小型化石标本外, 还发现宽度达厘米级的大型化石标本 40 块, 约占标本数的 8%。这些大小不一, 形态多样的标本显示在古元古代团山子期, 在燕山盆地的水下发育着不是零散的, 细小的, 形态单一的植物体, 而是繁盛的海底“草原”, 一些宽度达 2—3cm, 长十余厘米的膜状体藻类已可与现代藻类的一些属种相类比(形态相似, 大小相近), 它们是迄今已知最古老的后生植物群(metaphytes)。图版 I, 图 1 中所示的大小不一的叶状体, 其碳质膜所覆盖的面积约为其分布面积的 28%, 而图 2 所示的中小型个体集中的层位, 其覆盖率则显得更高, 局部甚至形成黑色的碳膜层, 其繁茂程度可见一斑。

对前寒武纪碳质压型化石的发现和研究的, 若从 Eichwald(1854)报道 *Laminarites* 算起, 已有一百多年的历史, 所获的化石标本以形态简单的居多, 描述有多种形态的要以 Walcott(1899)见于美国贝尔特超群的为最早。后经进一步研究, 被认为是最古老的(1 300Ma)真核宏观藻群(Walter, Oehler, and Oehler, 1976)。取得较快发展的是在最近的二十多年, 尤其在中国境内连续有新的发现, 值得称道的有 *Longfengshania*, *Sangshuania*, *Paralaminaria*(杜汝霖等, 1985, 1986, 1994), 产于长城系中下部的 *Tyrasotaenia* 等(Hofmann and Chen, 1981)。这些新的成果启发人们向新的地区和层位探索, 蓟县团山子组新的宏观藻类组合即是不断深入探索的结果。Hofmann(1985b, 1992, 1994)曾将现已问世的 73 形态属和 80 形态种进行了归纳整理并提出了初步的分类意见。综观已知的各类化石标本, 其宽度或直径大多是毫米级的, 达厘米级的极为少见, 且团山子生物群标本多数具有上下之分, 可见完整的植物体形态, 是已达一定进化水平的宏观藻类, 尤其是其中的大中型藻类可能具有时

^{*} 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(NO. 943104)资助。

代的代表性,并可能成为潜在的标准化石,故本文着重对此类标本进行整理和报道。

地质背景概要 化石点产于天津蓟县下营乡团山子村西缘的山坡下部,位于团山子组标准剖面取样线第 44—47m 处(插图 1),含化石层位岩性为灰色至黑灰色薄层至细纹层状粉砂泥质铁质微晶白云岩,夹浅色薄层状粉砂质白云岩,有轻度变质,已板岩化,质硬脆,层面基本平直,偶有斜层理和透镜状团块,单层厚度 0.5—3cm,层理厚度 0.5—2mm,碳质薄膜状化石(压型化石)散布于细纹层中和展布于易剥离的层面上,保存于岩层中的化石(数量多,密集程度大,常互相重叠),由于不易剥离,开裂面不平整,所见的碳质薄膜多呈不规则的具棱角的碎片,形态极似 *Beltina danai* Walcott, 1899(图版 I,图 2),这些碳质薄膜由于形态不完整,故未作为正式标本对待,只显示着该层位有宏观藻类分布,文中所鉴定的宏观藻类皆是产于易剥离层面上的较完整的化石标本,它们可能原地埋藏,也可能有短距离漂移,层理的产生反映悬浮颗粒的间歇沉积,沉积物成分的明显变化导致形成弱结合面而易剥离,这样的易剥离面(层面)是环境因素动荡的反映,故其上展布的化石标本也是动荡后平稳堆积下来的,除少数有方向性外,多数比较杂乱。

插图 1 团山子宏体化石产出层位的岩性地层划分和露头剖面图

Lithostratigraphic classification and outcrop section of Tuanshanzian megafossil-bearing strata

插图 1 的化石点露头剖面显示 B—F 层为化石产出层位,含化石层总厚达 2.93m,各分

层岩性特征和产化石情况概要如下:

F 层 黑灰色至灰褐色泥质白云岩,下部(厚 34cm)为厚层、块状泥质白云岩,含丰富的碳质碎片和近椭圆形碳质薄膜,椭圆形碳膜多层状,表面无褶,边缘不完整,直径一般由 3×2 cm 到 3×2 mm 不等,最大可达 7.5×5.5 cm,但以毫米级的偏多,类似 *Morania* 属 (Walcott, 1919)的分子,故简称 *Morania* 层,其上为薄层状泥质白云岩(厚 24cm)见少量小型宏观藻体,58cm。

E 层 黑灰色至灰色粉砂质及泥质白云岩,单层厚 1—2cm 的薄层与厚 3—5cm 的厚层呈互层状。其中夹有浅红色砂质白云岩层,在薄层泥质白云岩中见以小型(宽 0.2—2mm)为主的宏观藻体,局部层位偶见大型藻体碎片,在砂质层中见有斜层理,55cm。

D 层 灰色至黑灰色细纹层状泥质铁质白云岩,中间夹有粉砂质白云岩薄层,在细纹层状白云岩中产出以中、小型为主的藻化石,化石富集层产于本层自上层面起的第 14—16cm 处,其他部位化石分散,31cm。

C 层 主要的产化石层位,黑灰色泥质铁质白云岩,由 0.5—1.5cm 的薄层与 2.5—3.5cm 的厚层呈互层状,在本层底部有一厚 9cm 的块状泥质层,见有斜层理,含数量不等的碳质碎片,藻化石以中上部较丰,其中在自上层面起的第 23cm、26cm、36cm、42cm 等处皆见有达厘米级的大型宏观藻体,69cm。

B 层 灰色至黑灰色薄层状泥质白云岩,单层厚 0.2—1cm,以 0.2—0.5cm 的居多,在中上部见以小型为主的藻化石,80cm。

A 层 黄绿色薄层状泥质白云岩,夹粉砂质页岩,含碳质碎片,未见宏观藻体。

综上所述,C、D 层是主要产化石层位,大型宏观藻体除在 E 层见少量标本外,主要皆集中于 C 层,处于富泥质层(A、B 层)向富砂质层(E 层)的转换部位,也即水体由深而浅的过渡地带,细纹层状层理表明比较平稳的生态环境。

团山子组的同位素年龄测定为 1 700—1 650Ma,其依据之一是该组之上的大红峪组火山岩中单颗粒锆石 U-Pb 同位素测定的精确结果为 $1\ 625.3 \pm 6.2$ Ma,由此推定大红峪组的下限,即团山子组的上限约 1 650Ma(陆松年、李惠民,1991),依据之二是在蓟县邻近的平谷县境内取团山子组上部的富钾粗面安山岩的单颗粒自生锆石测定,其 U-Pb 年龄为 $1\ 683 \pm 67$ Ma(李怀坤等,1995),进而推定团山子组的底界年龄为 1 700Ma,团山子宏观生物群产于该组底界稍上(真厚第 39m 处),故一般称化石产出的年龄为 1 700Ma 左右。

研究方法与分析结果 团山子组宏观藻类由于时代古老,降解强烈,已不能识别其原始的细胞结构,经浸解法(maceration)和揭片法(peel transfer)试验均未获得理想的结果,分离出来的碳质碎片在显微镜下观察均显示多层状的孔穴状构造,孔穴大小不一,分布无序,是原植体降解后的残余结构,这类碳质碎片在微体古植物研究中曾称之为古片藻(*Laminarites antiquissimus* Eichwald),并认为可能是古代褐藻的碎片(Тимофеев, 1959; 邢裕盛, 刘桂芝, 1973),但其经过改造后的构造已不能与同层位常见的腐殖质(Sapropelites——有机质和泥质的混合物)的孔穴构造相区别,取剥离后并进一步浸解的碳质薄膜进行表面的电子扫描和透射电镜观察均未证实尚有残余的原始细胞结构和可确定为生殖构造的孢子囊。由于材料水平的限制,对团山子宏观藻类目前只局限于形态学的研究和根据幼体萌发的多种形态特征探讨形态发生过程。

为讨论环境因素,取围岩做光谱定量单项硼分析,其所获结果为:

碳酸盐岩样硼含量

Quantitative spectrographic analysis single B contents of sediment samples from Tuanshanzi Fm.

样品编号 (No. of sample)	原样 (original sample)	粘土提纯样 (sample after clay extract)
up t 57	351×10^{-6}	531×10^{-6}
t 320	490×10^{-6}	484×10^{-6}
t 9445	200×10^{-6}	324×10^{-6}
t 9430	376×10^{-6}	468×10^{-6}
t 9405	292×10^{-6}	367×10^{-6}

它们均超过 $185-275 \times 10^{-6}$ 的正常值(笔者对蓟县剖面各组岩性系统分析后的比较推论值)。表明团山子期盆地水体处于蒸发大于补给的高盐环境,且盐度自下而上有增高的趋势,直至在团山子组上部出现石盐假晶(插图 1)。

另一讨论古环境的指标是岩样的碳氧同位素分析,其测试结果是:

碳酸盐样品的碳氧同位素成分

Isotopic compositions of carbonates from Tuanshanzi Fm.

样品编号 (No. of sample)	$\delta^{13}\text{C}, \text{‰vs. PBD}$	$\delta^{18}\text{O}, \text{‰vs. PBD}$
up t 500	-2.587	-7.793
t 90	-2.587	-7.868
t 9445	-3.224	-7.470

该结果显示团山子组碳酸盐碳同位素平均 $\delta^{13}\text{C} = -2.799\text{‰}$,较通常见于晚元古宙碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C} > 0$ (Kaufman *et al.*, 1990) 要低,也较见于高于庄—杨庄组白云岩的碳同位素平均 $\delta^{13}\text{C} = -0.7\text{‰}$ (钟华、陈锦石, 1992) 要低,这可能反映团山子期较大的生物量,除有较高的有机碳埋藏外,尚有有机质氧化分解产生的 CO_2 参与了沉积碳酸盐的成岩过程,并发生了同位素交换,导致了白云岩 $\delta^{13}\text{C}$ 值的降低 (Strauss *et al.*, 1992), t9445 代表含化石层位,其所受影响也较显著。氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 值属前寒武纪常见值范围,由于普遍存在的置换作用而有所降低。

古生物特征 团山子组产出的宏观藻类化石是底栖型藻类的压型,以叶状体为主,多有上下之分,其基本体型有带状、披针状和宽叶状等,按宽度又可区分为大、中、小三型,宽度达厘米级的为大型,毫米级的为中型,2mm 以下的为小型,大中型个体可视为成熟藻体,小型个体多为幼年期个体,随着形体增大,藻体逐渐成熟,形体特征也比较稳定,凡形体特征稳定有由小至大的一系列过渡形态者,归为同一形态种,它们一般可与现代藻类的某些属种作形体上的近似对比,而形态间断明显者分属,由此分出 4 属 6 种(插图 2),此外尚见有由圆形至长圆形乃至带状的不能区分上下的完整与不完整的压型,按其外部形态类似于已知的宏观藻类属种,如 *Chuarua*, *Tawuia*, *Vendotaenia* 等属的分子,但仔细观察又不全相似,细小的球形体类似于分散的孢子,直径稍大的近圆形个体,则为孢子萌发阶段的个体,有的甚至可观察到卷曲成团状的细小叶状体(见插图 10),一些长圆至带状的个体,端部多不完整,可能是带状植物体的一部分,只能作不完整标本处理,未作进一步的分类描述。

团山子组宏观藻群(简称团山子藻群)中具有特色的分子是大型具柄的带状藻体,其宽

插图 2 团山子宏观藻群的形类分类

Formal taxonomy of Tuanshanzi Macroalgae

度最宽处可达 36mm, 长可达 174mm 以上, 这意味着叶状体的广度(extent)可达 4 000mm² 以上, 有力地扩展着光合作用的范围, 叶状体的基部连有柱状的短柄, 这有利于植物体的固定和向着阳光的方向转动, 如此大型的原植体已可与现代的膜状体褐藻或绿藻相类比。从形态特征看与褐藻门海带目(Laminariales)的一些分子更相近, 插图 3 展示的 *Changchengia stipitata* 模式标本(t416)与产于日本北部的(*Laminaria religiosa*)的对比图, 除假根部分尚不发育外, 其他部分的形态特征皆较相近, 如叶状体披针状、带状、基部钝圆, 边缘略有波状起伏等。值得一提的是 *L. religiosa* 在叶片的中带部(fascia)加厚, 形成叶片一面凹陷, 一面

隆起,凹陷面是向阳面,表现出有背腹性(dorsiventrality)的征象(Fritsch, 1959, p. 195),有趣的是模式标本在折叠处也显现出中带部有轻微凹陷(插图 3, d)。也许这不是偶然的。它可能反映叶片在边缘和中带部有组织结构上的差异。这些宽带状的碳质压型有明显的厚度,甚至可见到凸起的边缘。在负模标本的浅印痕上有时可见纵向细纹(图版 II, 图 15)。从保存状态看,带状体常呈对折状,少见扭曲(中小型个体有扭曲),表明叶状体质地厚实,有一定的平展弹性,呈截断状散落的片段也多较平整,这些均有利于支持与高级褐藻膜状体(具 3 层细胞结构)对比,尽管在叶面上至今未观察到在原位的孢子囊群,但从叶状体周围散落的类似孢子的球形体来看,这些大型的叶状体应该是孢子植物的孢子体,靠散落的孢子进行有性或无性繁殖。

团山子藻群中的优势种是顶端钝圆,基部尖缩,不具拟茎的带状藻体,少数宽度达厘米级(图版 III, 图 4)多数为毫米级的中型个体,该类藻体曾被作为团山子藻属的模式种加以描述,即 *Tuanshanzia fasciaria* Yan, 1995, 随着标本数量的增加,此类藻体特征明确,形态稳定,即不等宽的扁平带状叶状体(长宽比平均 >10),边缘平直,宽度自中部上下最宽处向两端均匀地窄缩,少波状起伏和无规律的收缩,藻体柔软易扭曲,扭曲处呈缢缩状,实是一种变形迹象,此前曾作为“时有窄缩”记录过,应予修订。

不具拟茎的叶状体的另一形态类型是形体为披针状的藻体,顶端收缩延伸或尖突,外形轮廓简单,边缘平直,少波状起伏,藻体厚实,少扭曲和折叠,长宽比平均为 7 左右,模式标本(t501)原植体宽大,顶端收缩,部分呈撕裂状,其形态特征与褐藻门萱藻科(Scytosiphonaceae)的鹅肠菜(*Endarachne binghamiae* J. Agardh)扁平膜状体相类似(郑柏林等, 1961, 154 页),一些中小型的披针形藻体与同科 *Scytosiphon lomentaria* 两端尖细的柱形管状体也可进行对比(插图 4)。此类两端尖突的藻体,边缘平滑,很少折叠,不排除其原始结构为中空的囊状体,压扁呈披针叶状,它们也有由小至大的一系列过渡形态,可能是单一的生物种,也可能是居群的多态性表现,在此作为形态种 *T. lanceolata* 记录之。

不具拟茎叶状体的第三种体型是椭圆形或倒卵形的压型,顶端钝圆,向基端尖突,长宽比平均为 4 左右,多为中小型个体,它们可能为扁平宽叶状体型,也可能是短粗的囊状体型与现代褐藻点叶藻科(Punctariaceae)宽叶片状的 *Punctaria latifolia* 或粗球藻科(Asperocaceae)长囊状的 *Colpomenia bullosa* 相类似(插图 5),它们皆是多列丝状的真膜状体(polystichous parenchymatous forms),有特征相近的皮层和髓部结构,此类压型化石曾作为

插图 3 具柄长城藻与 *Laminaria religiosa* 形态特征对比图, d——在叶片一侧表面上的凹陷

Correlation of habitus between *Changchengia stipitata* and *Laminaria religiosa* among Phaeophyta (after Sokichi Segawa, fig. 182) d——depression on one surface of the blade

形态种 *Tuanshanzia platyphylla* 予以描述。不过该种的原模式标本(t902)经检查发现,实为一卷曲的叶状体,其外甚至有一层被膜(图版 V, 图 20),不能继续使用,为此新选 t533 为本种的新模标本。综上所述,团山子藻群占优势的不具拟茎的藻体,可区分出 3 种形态型(morpho-type),各型内皆有由小至大的形态变化。各型间可找到过渡性的分子。从它们是同时期、同生境的相近类型看,可视为同一的自然居群,可归类为同一生物种(方宗杰、戎嘉余,1991),已建立的形态属 *Tuanshanzia* 可理解为单一生物种的代称,已建立的形态种实为同一物种的不同变型(forma),但自然分类系统是以生殖器官,解剖结构和比较形态等为基础,化石记录的不完整性,使对化石藻类研究多采用形态分类,另考虑各形态种多可与现代藻类的不同属种进行对比,也可能是潜在的不同物种,为此本文仍将形态属种沿用之。

插图 4 披针团山子藻与萱藻科个体体型对比图

Correlation of habitus between *Tuanshanzia lanceolata* and forms among Scytosiphonaceae of Phaeophyta

插图 5 宽叶团山子藻与长囊藻和宽叶点叶藻体型对比图

Correlation of habitus between *Tuanshanzia platyphylla* and forms of *Colpomenia bulbosa* and *Punctaria latifolia*

团山子宏观藻群中已建立的古掌状藻属(*Eopalmaria* Yan, 1995)代表向上呈叉状生长的膜状体,它们可能是成熟藻体的固定形态(类似于红藻门红皮藻目中的一些扁平掌状叶状体),也可能是囊状藻体的展开形态(类似于绿藻门石莼目中具异形生活周期的 *Monostroma* 属的一些个体,或宽叶片状藻体的变化形态,从而与 *Tuanshanzia platyphylla* 有某些近缘关系,由于这类标本数量不多,有的保存状态不佳,尚有疑问,作为一种独特的形态类型暂且

记录之。此外尚见有呈亚宏观体型的细带状(或细鞭状)植物体,有稍粗厚的基部和盘状固着部分及纤细的顶部末梢,其形态类似现代褐藻海带目的绳藻(*Chorda filum* (L.) Lamour),但形体过于细小,与已知压型化石 *Proterotaenia montana* 大小相近,可作为亲近种对待,至此,团山子藻群共有 4 属 6 种,它们的数量分布见插图 6。

插图 6 团山子宏观藻群各种的数量分布
Quantitative distribution for the species of Tuanshanzian Macroalgae

系统描述

原始后生藻类门 Protometaphycophyta Liu et Du, 1991

团山子藻科(新科) Tuanshanziaceae Yan et Liu fam. nov.

膜片状或中空囊状藻类的碳质压型。有或无拟茎,不分枝,平展或折叠。

长城藻(新属) *Changchengia* Yan gen. nov.

模式种 *C. stipitata* Yan gen. et comb. nov.

词源 属名来源于蜿蜒于燕山之巅的长城。

属征 原植体由叶片和拟茎两部分组成,叶片带状,披针状,不分枝,不等宽,叶片与拟茎的连接形式为分化型和过渡型(插图 7),拟茎长短不一,加厚或不加厚,叶片边缘平滑或接近基部显波状,叶面平整,有时可见隐显的纵纹。

比较 与 *Tuanshanzia* (Yan) emend. nov. 相比,新属具有柄状拟茎,与 *Paralaminaria* Du et Tian* 相比,新属叶片为带状,披针状,未见中部窄缩现象。

具柄长城藻(新属、新组合) *Changchengia stipitata* (Yan) gen. et comb. nov.

(图版 II, 图 1—15)

1995 *Tuanshanzia stipitata* Yan, 113 页,图版 I, 图 3, 5A, 6, 10;图版 II, 图 18。

* 杜汝霖、田立富、胡华斌、李培菊,《中国晚元古代龙凤山生物群研究》,在印刷中。

模式标本 图版 II, 图 1。

描述 与属征同, 模式标本叶片宽带状, 不等宽, 叶片与拟茎的连接形式为分化型, 拟茎短棒状, 加厚不明显, 叶片边缘平滑, 在接近基部处显波状。

插图 7 具柄长城藻叶片与拟茎的连接形式

The connective types between blade (b) and parastem (p) of *Changchengia stipitata* gen. et comb. nov.
†416——标本号(number of specimen)

讨论 所见标本其长度多不完整, 但宽度清晰可见, 若以较完整个体长宽比平均值大于 7 相借鉴, 则宽 36mm 的叶片其长可达 252mm 以上, 本种的大中型个体为趋向成熟的藻体, 许多细小型个体为幼年期藻体, 它们皆保持可区分为叶状体和拟茎的结构特征(插图 8), 以此与 *Tuanshanzia* 属的分子相区别。本种不同发育阶段的分子, 其拟茎粗细和长短不一。但固着器多不发育, 它适应潮下带较深水位和较平静的环境, 只有固着能力增强了, 才能向更加动荡的潮间带发展, 固着器不发育是团山子藻群较普遍的特点, 可能是其原始性特征的一种反映。另水体加深促使叶状体基部伸长, 以保持叶片接近光照充足的水面, 导至柄状拟茎的出现和营养与固着支撑细胞组织功能的分化, 这一适应过程可能就是边域成种(方宗杰, 1990)的过程。

度量(mm)

标本 编号 number of specimens	叶片 blade			拟茎 parastem	
	visible length	maxium width	L/W	length	width
* †416	162	25	6.5	10	2
†414	>174	23	>7.6	6	1.5
†415	> 68	27		8	2.5
I †993-1	> 33	10		6	1
†572	> 10	2.1		3	0.2
†539	> 13	1.8	>7.2	3	0.3
†421-2	70	7	10	27	1
†428-1	25	5	5	6	0.5
†928	47	4	11.7	10	1
II †437-1	41.5	4.5	9.2	7	0.2
†529	23	4	5.8	6	0.5
†556	>10	3.5		7	0.8

插图 8 具柄长城藻在发育期中的幼体

The juvenile forms in developmental stage of *Changchengia stipitata* gen. et comb. nov.
各棒状比例尺皆代表 1mm 长 (Length of each bar scale is 1mm)

团山子藻属 (新修订) *Tuanshanzia* (Yan, 1995) emend. nov.

模式种 *T. fasciaria* Yan gen. et sp. emend. nov.

属征 原植体带状, 披针状, 宽叶状, 不分枝, 不等宽, 最宽处在叶状体的中部上下, 向两端皆窄缩, 顶端钝圆或尖突, 基端尖缩, 边缘清楚, 叶面平整, 局部可见隐显的纵纹。

比较 与 *Changchengia* gen. nov. 相比, 扁平叶状体或压扁的囊状体或管状体均不具拟茎。

组成 按原植体的形态特征, 分成 3 形态种, 即 *T. fasciaria*; *T. lanceolata*; *T. platyphylla*。

带状团山子藻 (新修订属与种) *Tuanshanzia fasciaria* Yan gen. et sp. emend. nov.

(图版 III, 图 1—13)

模式标本 图版 III, 图 2。

描述 原植体带状, 最宽处多在叶状体的中上部, 顶端钝圆, 基端尖缩, 有时可见隐显的纵纹, 量度标本 101 个, 长 2—190mm, 宽 0.25—13mm, 长宽比 6.3—24 (平均 10.9), 模式标本 (t434-2) 长 45mm, 宽 5mm, 长宽比 9。

讨论 本种是团山子宏观藻群中最常见的分子, 多数为中等体型, 少数宽达厘米级 (t534 标本呈折叠状, 展开后长达 190mm, 宽 13mm), 形态简单, 顶端钝圆, 基部尖缩, 基本上是一种两侧对称的扁平带状植物体, 但有的也可能是中空管状原植体的压型 (图版 III, 图 5), 基部固着部分细弱, 尚未见有明显的分化迹象, 叶状质地柔韧, 常见旋扭和折曲, 许多中间“窄缩”现象多与旋扭有关, 并非基本形态特征, 新修订种重新选定了模式标本, 以便更好地显示其基本特征, 带状藻体多分散单生, 密集丛生的较少见。图版 III, 图 12 显示丛生状的藻体, 值得注意的是在藻体基部有片状的碳质膜, 叶状体似从其中生出, 这类似于具有叶状期与具壳期交替生活史的萱藻科分子的表现形式, 它们在温暖季节呈褐壳藻 (*Ralfsia*) 状的外貌, 在冬春季节繁盛, 呈叶状体形态 (Bold and Wynne, 1978, p. 313—317), 从形态特征看, 本种与现代褐藻的 *Petalonia* 和 *Scytosiphon* 均有些相似, 假如在生活周期和行无性繁殖诸方面再能进行对比, 将更加贴切。值得进一步研究证实。本种的幼年期个体呈游鱼状散布于层面上 (图版 III, 图 5)。类似于行无性繁殖的游孢子 (zoospores) 直接萌发生成的幼小藻

体,它们皆有一端钝圆,一端尖突的特点,插图 9 展示处于化石状态的幼年藻体的各种形态,它们顶端钝圆的特点与顶端尖突的 *T. lanceolata* 可相区分,形态上的差异可能预示着结构上的差异,是可能进行分种的依据。

插图 9 带状团山子藻年轻植物体的成长过程
Growth process of young plants of *Tuanshanzia fasciaria*
各棒状比例尺为 1mm 长 (Length of each bar-scale is 1mm)

披针团山子藻 *Tuanshanzia lanceolata* Yan, 1995

(图版 IV, 图 1-10)

模式标本 图版 IV, 图 1。

描述 原植体披针状,向两端尖突,最宽处在中部或中上部,边缘光滑,藻体厚实,较少折叠,少见连有拟茎和假根状突出物。量度标本 50 个,长 3.8—136mm,宽 0.6—25mm,长宽比 3.07—16(平均 7.32),模式标本(t501):长 120mm,宽 17mm,长宽比 7.05。宽度达 5mm 以上的大中型个体 12 个度量见表:

讨论 本种与 *T. fasciaria* 的区别主要是顶端尖突,前曾考虑为不同发育阶段的形态变化,随着标本的增多,尤其达厘米级的大型藻体的发现(图版 IV, 图 1-2),表明两端尖突的单个个体有自小至大稳定的形态特征(图版 IV, 图 7-10, 4-6),可能系另一藻类居群。从其边缘光滑,少折叠的特点分析,也不排除为囊状体或管状体,经压扁呈似叶状体的形态,这类似于褐藻门网管藻目(Dictyosiphonales)和绿藻门石莼目(Ulvales)中圆柱状或管状至囊状的膜状体,但顶端尖突并非固定的形态特征,除少数属种,如 *Scytosiphon lomentaria* 具有顶端和基端尖突的特点外,许多膜状体型藻体顶部多有或尖突或钝圆的变化(如

度量(mm)

number of specimens	length	width	L/W
* t501	120	17	7.05
t528	124	24	5.16
t436	77	20	3.85
t405	65	13	5
t485	136	25	5.44
t417	50	10	5
t505-2	49	6	8.16
t402-1	20	5	4
t418-1	48	9	5.33
t449-1	32	5	6.4
t449-2	35	7	5
t468	36	7	5.14

Punctaria, *Petalonia* 等),为此将这些两端尖突的化石个体作为一形态种记录之。它们可能是具有独特结构的另一藻类居群,也可能是带状团山子藻居群形态多样化的反映,在没有更多证据的情况下,按后者的考虑较为稳妥。

宽叶团山子藻(新修订属与种) *Tuanshanzia platyphylla* (Yan) gen. et sp. emend. nov.
(图版 IV, 图 11-17, 20, 21)

模式标本 图版 IV, 图 20。

描述 原植体宽叶状, 最宽处在中部至中上部, 顶端钝圆, 向基端迅速收缩, 收缩的末端经扭曲可呈短柄状(类似拟茎), 但其基本形态仍系无柄的叶状体, 度量标本 44 个, 长 2.2-96mm, 宽 0.9-24mm, 长宽比 1.5-5(平均 3.13), 模式标本(t533)长 38mm, 宽 13mm, 长宽比 2.92。宽度达 4mm 以上的个体度量见表:

度量(mm)

number of specimens	length	width	L/W
* t533	38	13	2.92
t515	14.5	6	2.41
t521	18	4.8	3.75
t524	18	5.8	3.10
t528	96	24	4
t549	15	6	2.5
t933-1	17	4	4.25
t951-3	15	4.8	3.12
t964-1	10.5	4	2.62
t507	18	4	4.5
t547-2	18	4	4.5
t558	31	9	3.44

讨论与比较 该种多系中小体型, 叶状体短宽, 基端迅速收缩变窄并延伸, 其压型轮廓与 *Longfengshania* Du 的一些分子比较相近, 但细分无囊状体的压皱环纹及清晰的拟茎, 其基本形态仍系一单一的无柄叶状体, 与 *T. fasciaria* 相

比原植体宽叶状, 长宽比 < 5。本种也见有一系列由小至大的形态相近的叶状体(图版 IV, 图 11-17, 20, 21), 显示基本上是短体型的藻体, 它们可能是带状团山子藻早期形态发生过程中的多样性形态变化, 也可能是适应较浅水体的宽叶状藻体的居群, 但从划定物种的基本标准看, 要求特征分明, 没有中间类型(陈世骧, 1987, 5 页), 本种与带状团山子藻的一些中小型个体之间仍可见到一些过渡形态, 故本形态种仍可作为团山子藻的一表型单元来认识。

古掌状藻属 Genus *Eopalmaria* Yan, 1995
原始古掌状藻 *Eopalmaria pristina* Yan, 1995

(图版 IV, 图 18, 19; 图版 V, 图 1-7)

描述 原植体叶片状, 楔状, 向上呈 35°-65° 角撒开, 顶部撕裂状或分叉状, 向基部收缩, 基部尖缩或稍延伸呈拟茎状, 度量标本 10 个, 长 4.6-30mm, 宽 2.5-14mm, 长宽比 1.33-2.66(平均 1.94)。

度量(mm)

number of specimens	length	width	L/W
* t901	30	14	2.14
t438	100	6	1.66
t441	9	6	1.5
t456	13	6	2.5
t480	12.5	8.5	1.47
t554	8	6	1.33
t411	20	7.5	2.66
t476	9	5	1.8
t549	14.8	6	2.46
t984-1	4.6	2.5	1.84

讨论与比较 本种为近似三角形的扁平叶状体。与 *Tuanshanzia* spp. 相比体形差异较大。其顶部呈开裂状或分叉状, 与一些藻体(如绿藻门的 *Monostroma angicava* Kjellm) 在个体发生阶段, 由囊状体开裂展开而呈扇状或掌状的膜状体相类似(Bold and Wynne, 1978, p. 170), 另在红藻门中也可见到一些与本种体形相近的藻体, 如 *Palmaria palmata* (L.) St. 等, 但与哪一种亲缘关系较近, 尚不能肯定。本种为短体型宽叶面的藻体, 可能适应较浅水域或向低潮线附近发展, 是边域成种的又一类藻体。

原带藻属 *Proterotaenia* Walter, Oehler, and Oehler, 1976

模式种 *P. montana* Walter, Oehler, and Oehler, 1976

原始属征 产于层面上,不分枝的带状碳质膜,直或折叠,宽0.1—2mm,长大于125mm,可显示具纵向纤维构造。

蒙大拿原带藻(亲近种) *Proterotaenia aff. montana* Walter, Oehler, and Oehler, 1976

(图版Ⅴ,图22—24)

描述 原植体发丝状,不分枝,直或渐弯和卷曲,在基端有一近圆形的附着盘,顶部纤细,宽0.1—0.15mm,长5—18mm,未见清楚的纵向纤维状构造,量度标本9个。

比较和讨论 与原种模式标本相比,该亲近种较短小,但个体完整,上下之分明显,基部多见有一稍膨大的盘状附着器,顶端纤细呈细发丝状,此类藻体结构可能为中空柱状,类似于褐藻门海带目绳藻(*Chorda filum* (L.) Lamour)的形态特征(鞭状、具附着盘)(Fritsch, 1959, p. 222),只是个体细小得多,此处表明团山子藻群是一个多属种的群落(community)。

藻体结构(construction) 碳质压型,降解强烈,已形成一种多孔穴的碳质薄膜,孔穴无序,大小不一,一般直径2—3 μm 至6—8 μm (图版Ⅴ,图25),最大达18—20 μm ,已无从得知原始的细胞排列,但从藻体纵裂的特点可窥知一二,如标本936-1(图版Ⅴ,图21)显示带状藻体可纵向撕裂成宽50—100 μm 的细条带,这表明藻体可能具有多列丝状结构类似于网管藻目褐藻孢子体的膜状体构造(parenchymatous construction)。纵向排列的细胞列,即使已降解完全仍可显示纵向延伸的隐显的条纹(图版Ⅴ,图28),另从浸解的碳膜残片上,常可见到较密又易于剥落的边缘薄层,类似于藻体的皮层(cortex),后者是藻体营养和生殖的重要部位(图版Ⅴ,图25—27),由此可见带状团山子藻虽失去了原始的细胞形态,但仍保留了一些残余的可分层的多列细胞结构。

个体发生(ontogeny) 藻体的个体发生指多细胞藻体从单细胞的孢子或合子经细胞分裂,组织分化,直至性成熟的过程,这其中有多种形态变化,利用化石资料与这些变化相联系是探讨本命题的依据。关于不同形态种的幼年期个体由小至大的形态变化前已述及,与此同时在化石富集层位除大小叶状体外,还见有类似孢子或合子的圆球形个体,此类近圆形碳质膜通常被纳入形态属 *Chuararia* 的范畴(Hofmann and Chen, 1981),其大小不一,形态不规则,内部质地也不均匀,单生为主,局部群集(图版Ⅴ,图8,9),或稍有顺序地排列(图版Ⅴ,图29),直径<1mm的个体,由圆形至梨形,类似游动或不动孢子,直径稍大个体,其内部不均匀性加剧,直至可显现卷曲状的叶状体形态,插图10显示不同直径近圆形碳质压型内呈卷曲状叶状体形态,它们可能反映孢子或合子经细胞分裂,体积增大,幼年期藻体的赋存状态(对照图版Ⅴ,图15—20),也可能是在水体动荡过程中,幼体滚动形成的偶然状态,藻类生活史中没有胚的发育过程,它是以单细胞孢子或合子形态脱离母体的,继而通过细胞分裂形成藻体雏形,并由藻体基端细胞向下延伸与基质固定(对于底栖藻类而言),这类似种子的萌发和胚根的突出。值得注意的是,图版Ⅴ,图16,18的球形化石体上皆见有一突出物,类似出芽,实际是幼体的基部延伸部分,由此推想,藻体萌发或许有一卷曲雏形阶段,待基部细胞固着之后,再展开形成新的幼体。t902标本个体较大(10×7mm),在卷曲的叶状体之外尚有一浅色的被膜。类似囊状体,尚无明确的解释。图版Ⅴ,图22—24展示的标本,形态独特,在粗细不均的弯曲管状物之上有一粗厚的囊,其状类似雌性配子体的胚(embryos)(Fritsch, 1959, p. 247—251),此类植物体形体细小,形态复杂,有别于一般常见的叶状体,这

插图 10 带状团山子藻的卷曲雏形

The crimpy embryonic forms of *T. fasciaria*

s——孢子或合子 sp——孢子体 ex(?)——囊壳(?) (s—spore or zygote sp—sporophyte ex(?)—exochite(?))

表明除孢子萌发的无性繁殖过程外,尚有可能有配子体世代的有性过程,但无论如何,团山子藻群是一类行孢子繁殖的多细胞膜状体型植物体。

亲缘关系(affinities) *Tuanshanzia* spp. 曾与褐藻门的 *Petalonia fascia* 在体型上最相似(阎玉忠, 1995), 但通过最新资料显示, 具柄的叶状体甚至可与海带目的 *Laminaria* 的一些分子对比, 这类具柄的个体已显示有叶片与拟茎的初步分化, 是进化程度较高的类型, 但多数不具柄的类型, 则显示更原始的特点, 仅为简单的扁平叶状体或中空的囊状和管状体, 它们除见于褐藻门也见于绿藻门, 这些已在系统描述中分别进行了讨论, 为便于比较, 将之列于表 I 中。从中可见, 团山子藻群的多数属种可与褐藻门的藻体相对比, 而且都集中在 Dictyosiphonales 和 Laminariales 两目中, 有的可与绿藻门和红藻门的分子相对比, 但这仅是

表 I 团山子宏观藻群与现存海藻外形对比表

Table showing the contrasts of outward forms between Tuanshanzian macroalgae and the extant seaweeds

FOSSIL ALGAE	PHAEOPHYTA	CHLOROPHYTA	RHODOPHYTA
<i>Tuanshanzia fasciaria</i>	<i>Petalonia fascia</i>	<i>Monostroma groenlandicum</i>	
	<i>Scytosiphon lomentaria</i>	<i>Enderomorpha intestinalis</i>	
<i>T. lanceolata</i>	<i>Endarachne binghamiae</i>	<i>Monostroma membranaceum</i>	
	<i>Scytosiphon lomentaria</i>	<i>Enteromorpha linza</i>	
<i>T. platyphylla</i>	<i>Colpomenia bullosa</i>		
	<i>Punctaria latifolia</i>		
<i>Changchengia stipitata</i>	<i>Laminaria religiosa</i>		
<i>Eopalmaria pristina</i>	?	<i>Monostroma angicava</i>	<i>Palmaria palmata</i>
<i>Proterotaenia aff. montana</i>	<i>Chorda filum</i>		<i>Porphyra yezoensis</i>

从形态学的角度来观察, 若从藻体的多层次结构来考虑(从浸解的藻体碎片观察至少有两层以上细胞结构, 图版 V, 图 28), 甚至可能有皮层构造, 则更相近于褐藻, *Eopalmaria pristina* 是向上分叉的掌状藻体, 在褐藻中尚未找到可与之相对照的藻体, 但也不排除可能是某些囊状褐藻破裂后的形态, 或一些宽叶片藻体的变形状态, 但就团山子藻群的多数带状的叶状体

而言,结合其如游鱼般细小分散的幼体,则推测它们是以行无性繁殖为主的网管藻目褐藻是最相近的估计,可能也有绿藻或红藻的分子,估计可能居次要地位。

插图 11 团山子藻群的生态分布

The ecological distribution of Tuanshanzian macroalgae
标度值用于藻体大小(scale value for algal bodies)

生态环境(ecological habitat) 燕山断陷盆地在团山子期处于第一次海侵之后,海域收缩,海盆逐渐封闭阶段,蓟县处于盆地沉降中心区,从相序看也显示沉积环境有由深至浅的转化。在团山子早期,蓟县地区处于半封闭海湾还原环境,清浑水交替沉积了一套泥砂质—含铁白云岩的韵律沉积,沉积物以黑色微晶结构为主,含铁 4—5%(天津市区域地质志,19 页),主要产宏观藻化石层位(插图 1, C—E 层)为具纹层状构造的泥质铁质微晶白云岩与薄层状砂质白云岩组成的互层,由 C 层至 E 层,砂质层渐多,显示也有由深而浅的转变,大中型藻体多产于 C 层,即相对水位转深的部位,具柄的大型叶状体与水位相对较深有关,微晶白云岩,层理平整,局部见小型斜层理,显示低能静水环境,从化石藻体基部的固着点细小分析,其抗浪击能力弱,故宏观藻群整体应处于浪基面以下较平静的环境中。与现代褐藻生境比较来看,现代褐藻多生长在潮间带至低潮线附近,水体的透明度大,可以分布得深些,估计团山子藻群的分布特点也与之相似,主要在低潮线下,稍深的浅水区,这里光照充足,水体温暖平静(据古地磁资料,处于 -25.6° 的中低纬度温热带)(张惠民,1995),且有较高的盐度(湖条件),是地球上早期底栖藻群蕴育的温床。

若现代褐藻的 *Laminaria* 和 *Petalonia*, *Punctaria* 在生态分布上,有水体深浅不一的差别,则团山子藻群各种也可能有一些相似的地域区分,插图 11 显示各化石种在生态分布上的差异性,这是一个示意性的模式图,从化石产出的实际情况看,分布界限并不十分清楚,这里有许多复杂因素,如原地和异地标本的混杂,水体深浅变化的波动性,化石获取的偶然因素等,此生态分布是初步认识的归纳,它们是不同的居群的生态分布,还是同一居群有广泛分布的多样性表现,尚有待进一步研究探讨。

结语 团山子宏观藻群是以扁平带状原植体为主的浅水底栖藻群,部分植物体可能为中空囊状或管状,其压型亦呈叶片状,它们是具膜状体型结构的多细胞植物体,可与绿藻门石莼目或褐藻门网管藻目甚至海带目的一些属种相对比,其生活周期已由单倍体—二倍体等(*Ulva*, *Enteromorpha*)发展到以二倍体孢子体为主(*Scytosiphon*, *Petalonia*, *Laminaria*)的先进类型(Schopf *et al.*, 1973),是目前已知最早的高等藻类群体,底栖生活,直立生长,由辐射对称发展为两侧对称,同时又保持许多原始性,其一是固着机制简单,细弱,尚未分化出明显的固着器,二是形态简单,尚无分枝,三是繁殖方式简单,藻体的每一个细胞都可能用于生殖,形成孢子囊,以无性繁殖为主,有性繁殖应已出现,但尚无太多的证据,叶状体中具拟茎的类型是团山子藻群中的先进分子,已呈现初步组织分化的迹象,藻体大型化,叶状体的广度已扩展到 $4\ 000\text{mm}^2$ 以上,孢子繁殖,密集生长,形成繁盛的水下草原,多细胞膜状体型的大型化,形态特征多样化,组织结构的复杂化反映了在古元古代末期(约 $1\ 700\text{Ma}$)生命活动的进化水平,同时也给予人们如下的一些启示。

1. 独特的环境因素 燕山盆地经历了早期的剧烈剥蚀和沉积范围扩展之后,至团山子期已进入平稳的收缩阶段,表现为低能的 湖条件,水盆浅而平坦,水体清澈,平静,有较好的光照和水体循环,盐度偏高,浮游生物减少,有利于喜盐底栖藻类的繁衍,正是由于这些有利的环境因素促进了原始藻群向大型化发展,这也启发我们必需结合生态因素去寻找新的化石群和产出层位。回顾前寒武纪古生物学的发展历程,人们曾对不同岩相的化石群做过长期的探索,从燧石相到页岩相,再到碳酸盐岩相,现在看来,尤其对曾一度比较忽视的碳酸盐岩地层,更应综合分析,它可能是今后寻找新化石产地颇有发掘潜力的对象。

2. 研究藻类进化的新线索 藻类介于细菌和高等植物之间,研究植物进化,藻类首当其冲,由于化石资料贫乏,藻类学家主要以色素和光合作用特性来推论藻类在进化过程中的亲缘关系,新的化石资料为探讨这一受到普遍关注的命题以新的研究途径,这是从化石的形态学,组织解剖学和分子生物学角度去寻找依据,褐藻门植物以它的形态学,细胞学和代谢作用明显地区别于其它门藻类,从已知证据推断它可能有一完全独特而古老的进化路线(Fritsch, 1959, p. 42; B. 福迪, 140 页),逐渐增多的化石证据也有利于这一推论,如产于上元古界的 *Vendotaenia* 被认为是一种早期的褐藻(Гниловская, 1985, 1988),产于河北兴隆梨树沟青白口系长龙山组页岩中的 *Paralaminaria xinglongensis*, 具有 25mm , 宽 7mm 的宏观体型和分化为叶片及拟茎两部分的海带形轮廓,倾向于对照为褐藻(杜汝霖等, 1994, 图版 37, 图 1),产于北美贝尔特超群($1\ 300\text{Ma}$)的 *Lanceoforma striata* 可与褐藻门的 *Petalonia* 相对比,但也不排除是其他门类的藻体(Walter *et al.*, 1976),如此等等,说明可视为褐藻的遗迹在逐渐增多。另绿藻的起源与演化更是研究高等植物出现与早期演化的重要线索,绿藻门所含光合作用色素的种类和比例,同化产物等都和高等植物相同或相似,故一般认为高等维管植物最可能的远祖是水生藻类中的绿藻(李星学, 周志炎, 郭双兴, 1981)。绿藻门化石在前寒武纪地层中已有所记录,其中属团藻目和绿球藻目的球形单体和群体较多(刘志礼, 1990)。在蓟县剖面串岭沟组中部见到的亚宏观“丝藻型”藻体是由绿球藻向原始丝状藻类发展的最早的记录($1\ 750\text{Ma}$) (阎玉忠, 1989), 丝状绿藻可能是膜状或管状绿藻的先导(B. 福迪, 1980), 因此,如果说在团山子藻类中有进化程度较高的具薄壁组织叶状体的绿藻,也是顺理成章的,各门藻类平行发展的理论(Fritsch, 1956, p. 26—29)支持在考虑到团山子期

有褐藻出现的同时,也可能有相同体制类型的绿藻存在,为此不排除团山子藻群是包容多门类藻体的群体,因此,它是研究早期藻类进化的重要线索之一。

3. 团山子藻群的出现是生物早期演化的里程碑式事件。它标志着以微体生物占主导地位的时代已经结束,代之而起的是以后生生物为先导的宏体生物世界,海底“草原”的展布为食草动物的发生与发展提供了前提,产于蓟县高于庄组的宏观生物化石(1 430Ma) *Sangshuania* Du, 1986 (*Grypania* Walter *et al.* emended, 1990), 一些研究者倾向于真核藻类化石(Walter, Du Rulin and Horodyski, 1990), 笔者近来曾在产地调查,在风化与未风化的原岩中均取得了一些标本,从诸多迹象看,此类化石更应视为蠕虫迹而非宏观藻类(详见另文专述),若果如此,则后生动物的出现应早于 14 亿年,由此导出的结论是:中元古代地层除了是古藻类学家重点工作的对象外,也应是古动物学家密切关注的层位,蓟县剖面的成果启示我们,前景应该是广阔的。

参 考 文 献

- 天津地质矿产局, 1992: 天津市区域地质志, 中华人民共和国地矿部地质专报——区域地质, 第 29 号。地质出版社。
- 方宗杰, 1990: 边域成种、成种事件与物种概念——从假铍蚌类的演化谈起。理论古生物学文集, 35—49 页。南京大学出版社。
- 方宗杰、戎嘉余, 1991: 表型单元, 形态种和生物种——关于化石判别问题的探讨。古生物学报, 30(5): 537—555。
- 刘志礼, 1990: 化石藻类学导论, 491 页。高等教育出版社。
- 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。
- 李怀坤、李惠民、陆松年, 1995: 长城系团山子组火山岩颗粒锆石 U-Pb 年龄及其地质意义。地球化学, 24(1): 43—48。
- 李星学、周志炎、郭双兴, 1981: 植物界的发展和演化, 184 页。科学出版社。
- 杜汝霖、田立富, 1985: 燕山青白口系宏观藻类龙凤山藻属的发现和初步研究。地质学报, (3): 183—190。
- 杜汝霖、田立富, 1986: 燕山地区青白口纪宏观藻类, 114 页。河北科学技术出版社。
- 杜汝霖、田立富、李汉棒, 1986: 蓟县长城系高于庄组宏观生物化石的发现。地质学报, (2): 115—120
- 杜汝霖、邢裕盛、牛绍武, 1994: 宏观古藻类。见于朱士兴, 邢裕盛, 张鹏远等著“华北地台中、上元古界生物地层序列”, 117—129 页。地质出版社。
- 陆松年、李惠民, 1991: 蓟县长城系大红峪组火山岩的单颗粒锆石 U-Pb 法准确定年。中国地质科学院院报, 22 号, 137—145 页。
- 陈世骧, 1987: 进化论与分类学(第二版), 51 页。科学出版社。
- 郑柏林、王筱庆, 1961: 海藻学, 261 页。农业出版社。
- 张惠民, 1995: 中国前寒武纪古地磁数据表。地球学报, (4): 441—448。
- 钟 华、陈锦石, 1992: 距今 14 亿年低生物量的碳同位素证据。地质科学, (2): 160—168。
- B. 福迪, 1980: 藻类学, 475 页。上海科技出版社。
- 阎玉忠, 1989: 蓟县申岭沟组页岩相藻丝体。天津地质矿产研究所所刊, 21 号, 149—165 页。
- 阎玉忠, 1995: 中国蓟县团山子组(17 亿年)宏观藻类的发现和初步研究。微体古生物学报, 12(2): 107—126。
- 阎玉忠、刘志礼, 1993: 论长城系微化石群的真核生物意义。微体古生物学报, 10(2): 167—180。
- Bold, H. C. and Wynne, M. J., 1978: Introduction to the Algae—structure and reproduction. Prentice-hall, INC. 706p.
- Fritsch, F. E., 1956: The structure and reproduction of the Algae. Volume I. Cambridge at the univ. press.
- Fritsch, F. E., 1959: The structure and reproduction of the Algae. Volume II. Cambridge at the univ. press.
- Hofmann, H. J., 1985b: Precambrian carbonaceous megafossils. In: D. F. Toomey and M. H. Nitecki (eds.) Paleozoology: Contemporary Research and Applications. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, p. 20—33.
- Hofmann, H. J., 1992: Section 7.3—Proterozoic carbonaceous films. In: J. W. Schopf, and C. Klein (eds.): The Proterozoic

- Biosphere: A Multidisciplinary Study, p. 349–357. Cambridge University Press.
- Hofmann, H. J., 1994: Proterozoic carbonaceous compressions. In: Bengtson, S. (ed.), Early life on earth. Nobel Symposium No. 84, p. 342–357. Columbia U. P., New York.
- Hofmann, H. J., and Chen Jinbiao, 1981: Carbonaceous megafossils from the Precambrian (1 800Ma) near Jixian, northern China. Canadian Journal of Earth Sciences, **18**(3):443–447.
- Kaufmann, A. J., Hayes, J. M. and Klein, C., 1990: Mineralogic control of isotopic compositions in microbanded carbonates and cherts from a banded iron formation. Geochimica et Cosmochimica Acta, **54**:3461–3473.
- Schopf, J. W., Haugh, B. N., Molnar, R. E. and Satterthwait, D. F., 1973: On the development of metaphytes and metazoans. Journal of Paleontology, **47**(1):1–9.
- Strauss, H., Marais D. J. D., Hayes J. M. and Summons R. E., 1992: The carbon isotopic record. In: J. W. Schopf, and C. Klein (eds.), The Proterozoic Biosphere: A Multidisciplinary Study, p. 117–127. Cambridge University Press.
- Walcott, C. D., 1899: Pre-cambrian fossiliferous formations. Bulletin of the Geological Society of America, **10**:199–244.
- Walcott, C. D., 1919: Cambrian geology and paleontology IV. No. 5. Middle Cambrian algae. Smithsonian Miscellaneous Collections, **67**(5):217–260 (not seen: fide Hofmann, 1994).
- Walter, M. R., Du Rulin, and Horodyski, R. J., 1990: Coiled carbonaceous megafossils from the Middle Proterozoic of Jixian (Tianjin) and Montana. American Journal of Science, **290**-A:133–148.
- Walter, M. R., Oehler, J. H., and Oehler, D. Z., 1976: Megoscopic algae 1 300 million years old from the Belt Supergroup, Montana: a reinterpretation of Walcott's Helminthoidichnites. Journal of Paleontology, **50**(5):872–881.
- Гниловская М. Б., 1971: Древнейшие водные растения венды русской платформы/поздний докембрий/. Палеонтологический журнал №3. С. 101–107.
- Гниловская М. Б., 1985: Вендотениды-вендские Метарнута//Вендская система. Т. 1. М. С. 117–125.
- Гниловская М. Б., Ищенко А. А., Колесников Ч. М., Коренчук Д. В., Удальцов А. П., 1988: Вендотениды Восточно-Европейской платформы. Д. Наука, 143с.
- 瀬川宗吉(Sokichi Segawa), 1978: 原色日本海藻图. 保育社(Hoikusha publishing Co., LTD.), 195页。

[1996年4月25日收到]

TUANSHANZIAN MACROSCOPIC ALGAE OF 1 700MA B.P. FROM CHANGCHENG SYSTEM OF JIXIAN, CHINA

Yan Yuzhong

(Tianjin Institute of Geology and
Mineral Resources, Tianjin 300170)

Liu Zhi-li

(Biological Faculty of Nanjing
University, Nanjing 210093)

Key words: Tuanshanzian macroscopic algae, multicellular thallophyte, parenchymatous type, green and brown algae, Changcheng System, Jixian

Summary

After the discovery of megafossils from the Tuanshanzi Formation in Jixian of Tianjin, centimetric large-scale megafossils are successively found, constituting a new assemblage of macroscopic algae—the Tuanshanzian macroalgae jointly with the medium and small-scale megafossils which are dominant

in number. The forms of the large-scale macroalgae are 165—190mm in length and 10—36mm in width with thalli reaching an extent of more than 4 000mm². These oldest and largest megascopic body fossils now known represent the parenchymatous thalli, exhibiting bilateral symmetry and erect growth, and showing some resemblance in size and morphology to certain species of modern algae, especially to the green algae and even brown algae. The primary Tuanshanzian macroscopic algae widely multiplied in the epibenthic region of the ancient marine Yanshan basin, forming a lush “submarine grassland”. The Tuanshanzian macroalgae are mainly characterized by an increase in macroscopic size, diversification in morphology and complication in construction, providing new evidence for the timing and nature of evolutionary event that led to the development of “haploid-diploid coequal” or even “diploid-dominant” metaphytes in the Late Palaeoproterozoic (1 700Ma). The early diversification of metaphytes (multicellular, megascopic algae) was probably related to the neritic, lagoon-like environment, retaining a brackish-water and photic benthic habit. The discovery of Tuanshanzian algae may inspire us to look for new fossils occurring in the new layers and localities particularly in the fine laminated carbonate beds. The new fossil data have a considerable significance in approach to the problems on early evolution of eucaryotes and development of metaphytes even metazoans.

Based on morphological differences, 4 genera and 6 species of Tuanshanzian macroalgae are identified, including 1 new genus with 1 new combined species and 2 emended species. There may be some morphospecies instead of real biological species, owing to many uncertain factors which caused difficulty in distinguishing species from phenons, but the descriptions of the present species may give a scene of morphological differentiation or diversity of the initial multicellular algae occurring earlier than 1 700Ma BP.

SYSTEMATIC DESCRIPTION

Phylum Protometaphycophyta Liu et Du, 1991

Family Tuanshanziaceae Yan et Liu fam. nov.

Carbonaceous compressions of algae with blade-forming or hollow tubular thalli, with or without parastem, unbranched, expanded or folded.

Genus *Changchengia* Yan gen. nov.

Etymology: From Changcheng, the Great wall in China which stretches zigzag on the ridges of Yanshan range.

Type species: *C. stipitata* gen. et comb. nov.

Diagnosis: Thalli consisting of blade and parastem, the former being ribbon-like or lanceolate, unbranched, inequilateral, while the latter stalk-like, obviously thickened or not. Contact between blade and parastem of differentional or transitional type, margin and surface of blade even of slightly ruffled toward the base, with dim longitudinal striae sometimes visible on the surface.

***Changchengia stipitata* (Yan) gen. et comb. nov.**

(Pl. II, figs. 1–15)

1995 *Tuanshanzia stipitata* Yan, p. 113, pl. I, fig. 3, 5A, 6, 10; pl. II, fig. 18.

Description: In type specimen blade broad ribbon-like, lanceolate, with widest section at middle-lower part tapering toward the apex and slightly narrowing toward the base. Base of blade obtuse, contacting with parastem in differentiatinal type, Margin of blade even or ruffled toward the base; surface of blade even or depressed on one side of fascia. Longitudinal striae dimly visible on surface of blade. For dimensions of specimens see measurement data in the text, the same below.

Remarks: The mediurn-large scale fossils seem to represent the mature forms of this species, with relatively thick lamellose structures unfolded on bedding surface or simply folded over on themselves. They seem to be easily broken off transversely, making many of the fossil specimens incomplete in length, but complete in width in preserved strata. If the average ratio of length to width for more complete fossil bodies is equal to 7 and the width is 10–36mm, the complete length of the fossils obtained can be calculated as 70–252mm. Thus it can be seen that the maximum length of this species may exceed 25cm. The short parastem (imperfect stalk) and undeveloped anchoring organs reveal the primitive metaphytes only adaptable to a calm subtidal environment. The weak anchoring ability was likely one of the primitive characteristics of the earliest benthic metaphytes. The small juvenile forms also keep up the structural features to distinguish the parastem from the blade as exhibited in Text-fig. 8.

Genus *Tuanshanzia* (Yan, 1995), gen. emend. nov.**Type species:** *T. fasciaria* Yan, gen. et sp. emend. nov.

Diagnosis: Thalli taeniate, lanceolate, platyphyllous, unbranched, unequal in width, narrowing toward each end, with a maximum width at middle, mostly at apical half. Apex rotundate or acuminate; base gradually acuminate; margins even. Blade thick or thin, less folded or easily twisted, with longitudinal striae sometimes visible on surface.

Comparison: *Tuanshanzia* differs from *Changchengia* in lack of stalk-like parastem and from *Eopalmaria* in having a smooth and rounded apex.

Composition: Based on difference in shape and structural features the form genus comprises 3 species, namely, *T. fasciaria*, *T. lanceolata* and *T. platyphylla*.

***Tuanshanzia fasciaria* Yan, gen. et sp. emend. nov.**

(Pl. III, figs. 1–13)

Type specimen: Pl. III, fig. 2.

Description: Thalli taeniate with rotundate apex and acuminate base, thin or thickened, easily folded or twisted; surface even, with longitudinal striae dimly visible. A total of 101 measured specimens 2–190mm in length and 0.25–13mm in width with a length to width ratio of about 6.3–24 (10.9 on average).

Remarks: The specimens of the present species are most common forms in Tuanshanzian macroalgae, representing a sessile frond-like algal thalli with bilaterally symmetrical and flat structures.