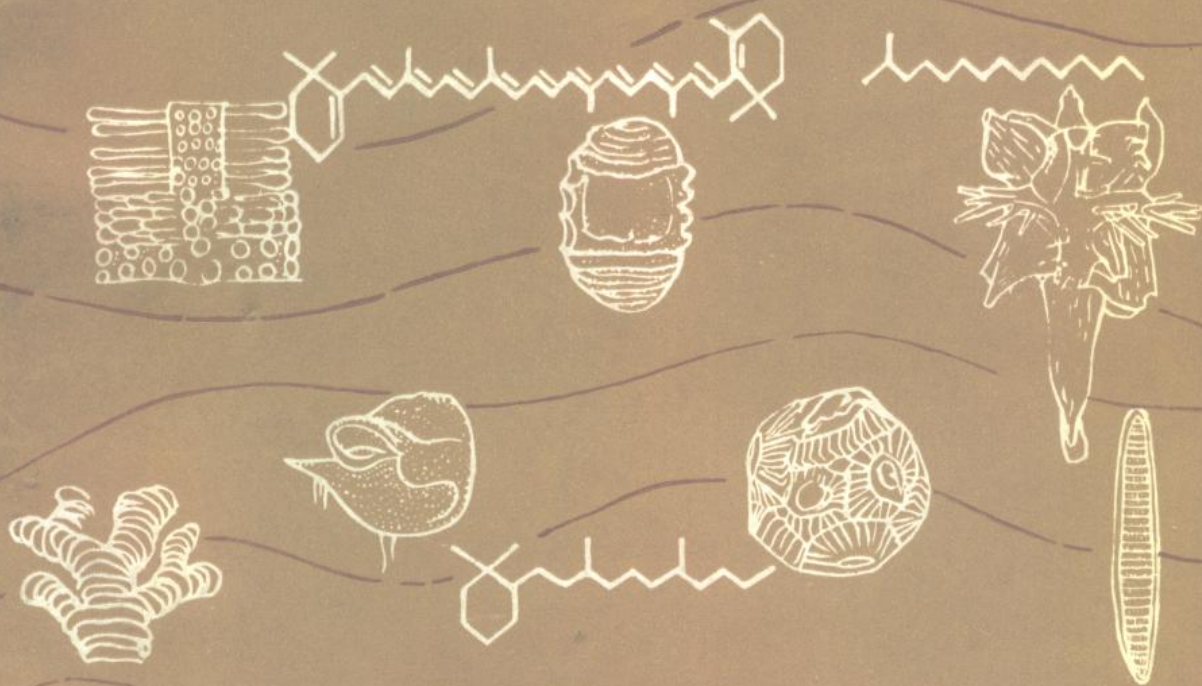


# 化石藻类学导论

刘志礼 编著



高等教育出版社

# 化石藻类学导论

刘志礼 编著

高等教育出版社



高等教育出版社出版  
新华书店北京发行所发行  
国防工业出版社印刷厂印刷

\*

开本 787×1092·1/16 印张 31.25 插页 1 字数 716,000

1990年10月第1版 1990年10月第1次印刷

印数: 001—860

ISBN 7-04-002222-2/Q·134

定价 7.50 元

## 序

化石藻类作为古生物学的一个巨大分支,近半个多世纪以来发展是很迅速的,经过地质古生物学家和现代藻类学家长期努力,各门化石藻类基本上都已形成较完整的体系。一些门类在讨论古生物地层、在研究生物圈和岩石圈相互关系、在探讨藻类和若干沉积矿产关系等方面,日益引起人们的重视。我国化石藻类的研究虽然起步较晚,但近十多年来,其研究进展是很大的,目前已取得相当可喜的成果,各门类化石藻类已经初步形成一支比较稳定的科研队伍。迄今已经参加化石藻类专业委员会的成员近300人。

刘志礼的《化石藻类学导论》是化石藻类工作处在新形势下的一个产物,这是我国第一本系统介绍化石藻类的综合性书籍。作者结合国内外化石藻类有关成果和资料,利用古代和现代藻类对比的方法,对各门类各地质时期出现的种种化石藻类进行综合性的分析研究,探讨了各门类藻类化石的保存和系统归属,列述了各类化石藻类的研究方法。同时,对一些门类的藻类采用检索表的方法叙述化石藻类一些主要鉴别特征。作者还讨论了各门藻类在各地质时期的时空分布、生态环境、藻体结构和化石保存的关系、古代藻类化石化作用、钙藻的碳酸盐矿物学、藻类和沉积矿产关系等。特别是作者对前寒武纪古生物,依据自己的实践,提出采用外形结构的比较和综合分析,作为确证和判别前寒武纪真核细胞生物及原核细胞生物的方法。诚然,正象作者已经提到的一样,一切问题不可能是一成不变的,对一些问题的认识尚需今后进一步的实践加以补充、完善和确证,即认识有待深化。

本书内容丰富,不仅是一本有关院校很好的专业教材或教学参考书,而且对有关科研和生产部门从事古生物专业工作的人员也有很好的借鉴作用和参考价值。

邢裕盛

1988年春于北京

## 前 言

由于地质勘探和石油开发事业的发展,近十几到 20 年来,我国化石藻类的研究发展十分迅速,现在专职和兼职从事这方面研究的人员已有 300 余人。但是时至今日,我国尚无一本自编的有关化石藻类的综合性教材或教学参考书。

本书从概念和基础着眼,汇集国内外某些研究成果和资料,参阅较有代表性的专著编写而成,旨在进一步推动化石藻类的研究工作,活跃该领域的学术空气,使其更好地服务于地质、石油、煤炭及金属和其它非金属矿藏的开发利用。

全书分总论、化石各论及藻类的成岩、成矿作用共三篇二十章。由于考虑到化石藻类以形态学为主的特点,本书附有较多的图和表。内容既注意到结合国内主要研究成果,同时注意到对地质、石油勘探等有实际应用价值的类群,如海洋金藻类(颗石藻类)、钙藻、前寒武纪微体化石和藻类成岩、成矿等部分介绍较为详细。

由于编者水平有限,加之时间仓促,错误和不当之处在所难免,敬请读者和同行批评指正。

本书编写过程中得到邢裕盛教授及刘雪娟、徐凌云和徐丽云三同志的诸多帮助,特别承邢裕盛教授审阅全稿,提出许多宝贵意见,值此表示衷心的感谢。

编著者

1988 年于南京

# 目 录

## 第一篇 总 论

第一章 绪言 .....	1	(五) 新生界下部碳酸盐台地 .....	34
一、现代藻类的习性及其对化石藻类研究的意义 .....	1	七、现代钙藻分布简况 .....	35
二、藻类化石化作用的条件 .....	4	八、现代钙藻的分类和鉴定 .....	38
(一) 化石化作用和藻体结构的关系 .....	4	九、藻类碳酸盐沉积相的时代概况 .....	40
(二) 化石的形成和环境的关系 .....	4	(一) 前寒武纪和寒武纪 .....	40
三、化石藻类的研究简史 .....	5	(二) 奥陶纪 .....	40
四、各门藻类的地史概况 .....	17	(三) 志留纪 .....	40
第二章 化石藻类的研究方法 .....	19	(四) 泥盆纪 .....	41
一、硅藻样品的制备 .....	19	(五) 石炭纪 .....	41
二、沟鞭藻类的样品处理 .....	20	(六) 二叠纪 .....	41
三、颗石藻类样品处理 .....	22	(七) 三叠纪 .....	41
四、前寒武纪微化石 .....	22	(八) 侏罗纪 .....	41
五、对某些宏观藻类的处理 .....	23	(九) 白垩纪 .....	43
第三章 钙质藻类 .....	24	(十) 新生代 .....	43
一、钙藻的一般概念 .....	24	第四章 和前寒武纪藻类化石研究有关的几个问题 .....	44
(一) 骨骼钙藻 .....	24	一、地球上最早出现的自养生物 .....	44
(二) 非骨骼钙藻 .....	24	二、蓝藻起源的地质时期及证据 .....	45
二、钙藻的地质意义 .....	25	三、真核生物的起源和演化 .....	47
三、钙藻的钙化作用 .....	25	四、前寒武纪真核生物的判别 .....	52
四、钙藻骨骼碳酸盐的发生 .....	27	(一) 单细胞的形态 .....	54
五、钙藻碳酸盐的矿物学 .....	28	(二) 双胞和四胞现象 .....	54
六、钙藻的分布环境 .....	30	(三) 定形群体和不定形群体 .....	55
(一) 钙藻的生态因子 .....	30	(四) 群体胶鞘有无的问题 .....	56
(二) 泥盆纪礁杂岩 (reef complex) .....	32	(五) 单列细胞丝状体 .....	56
(三) 上石炭统(宾夕法尼亚纪)藻滩 .....	33	(六) 细胞出芽问题 .....	56
(四) 晚古生代钙质红藻 .....	33	五、前寒武纪微体化石研究的有效途径 .....	57

## 第二篇 各门藻类化石

第五章 蓝藻门(Cyanophyta)化石 .....	58	一、蓝藻门的一般特征 .....	58
-----------------------------	----	------------------	----

二、古代蓝藻类的保存 .....	62	一、裸藻门的一般特征 .....	157
三、蓝藻胶鞘保存的可能机理 .....	64	二、代表植物和化石 .....	157
四、蓝藻胶鞘的古环境意义 .....	65	第九章 金藻门(Chrysophyta)及其化石 .....	159
五、蓝藻化石分类和代表 .....	66	一、金藻门的一般特征 .....	159
(一) 色球藻纲(Chroococophyceae) .....	66	二、颗石藻类(Coccolithophorida) .....	161
(二) 藻殖段纲(Hormogonophyceae) .....	70	(一) 颗石藻类的生活史及其对环境的适应 .....	161
(三) 真枝藻纲(Stigonematophyceae) .....	78	(二) 颗石的成分和形成 .....	161
六、蓝藻化石多样性的讨论 .....	83	(三) 现代颗石藻类及化石颗石的形态 .....	162
(一) 降解作用和收缩变形 .....	83	(四) 颗石藻类在自然界的分布 .....	166
(二) 蓝藻化石和环境 .....	84	(五) 颗石藻类的系统分类 .....	171
(三) 蓝藻的分裂方式和藻体形态 .....	85	(六) 中生代和新生代颗石藻类化石分带 .....	228
第六章 绿藻门(Chlorophyta)及其化石 .....	88	(七) 颗石藻类的地层分布及其意义 .....	253
一、绿藻门的一般特征 .....	88	三、硅鞭藻类(Silicoflagellates) .....	257
二、绿藻门化石概况 .....	89	第十章 黄藻门(Xanthophyta)及其化石 .....	259
(一) 团藻目(Volvocales)及其化石 .....	89	一、黄藻门的一般特征 .....	259
(二) 绿球藻目(Chlorococcales)及其化石 .....	90	二、黄藻门化石 .....	259
(三) 丝藻目(Ulotrichales)及其化石 .....	94	第十一章 硅藻门(Bacillariophyta)及其化石 .....	261
(四) 胶毛藻目(Chaetophorales)及其化石 .....	94	一、硅藻门的一般特征 .....	261
(五) 管藻目(Siphonales)及其化石 .....	94	二、硅藻细胞的形态构造 .....	261
(六) 粗枝藻目(Dasycladales)及其化石 .....	103	三、硅藻门化石的分类 .....	270
(七) 刚毛藻目(Cladophorales)及其化石 .....	125	(一) 中心目(Centrales) .....	270
(八) 石莼目(Ulvales)及其化石 .....	125	(二) 羽纹目(Pennulariales) .....	275
(九) 接合藻目及其化石 .....	135	四、现代硅藻的分布环境 .....	290
第七章 轮藻门(Charophyta)及其化石 .....	137	(一) 硅藻生态型的划分及其分布 .....	290
一、轮藻门的一般特征 .....	137	(二) 淡水硅藻的生态型 .....	291
二、轮藻门化石的一般形态 .....	139	(三) 半咸水硅藻 .....	292
三、轮藻门化石的保存 .....	142	(四) 海水硅藻 .....	293
四、轮藻门化石的系统分类和代表 .....	142	五、硅藻化石在地层对比上的意义 .....	294
(一) 直立轮藻目(Sycidiales) .....	143	第十二章 甲藻门(Pyrrophyta)及其化石 .....	301
(二) 右旋轮藻目(Trochilisciales) .....	144	一、甲藻门的一般特征 .....	301
(三) 左旋轮藻目(Charales) .....	145	二、甲藻门化石 .....	303
五、轮藻门植物的起源与演化 .....	151		
第八章 裸藻门(Euglenophyta)及其化石 .....	157		

(一) 概况 .....	303	四、隐丝藻目(Cryptonemiales)及其化石 .....	355
(二) 化石沟鞭藻的形态及类型 .....	304	(一) 鳞叶藻科(Squamariaceae) .....	355
(三) 沟鞭藻类囊胞的形成 .....	310	(二) 管孔藻科(Solenoporaceae) .....	356
三、化石沟鞭藻的分类 .....	312	(三) 珊瑚藻科(Corallinaceae) .....	358
(一) 多甲藻目(Peridimales) .....	313	第十四章 褐藻门(Phaeophyta)及其	
(二) 鳍藻目(Dinophysiales) .....	321	化石 .....	384
(三) 裸胞藻目(Gymnodiniales) .....	322	一、褐藻门的一般特征 .....	384
四、沟鞭藻类化石的地层意义 .....	337	二、褐藻类的分布 .....	384
五、沟鞭藻类化石对研究古生态的意义 .....	341	三、褐藻植物体 .....	384
附 疑源类(Acritarchs) .....	344	四、分类和代表 .....	384
第十三章 红藻门(Rhodophyta)及其		(一) 同形世代纲(Isogeneratae) .....	384
化石 .....	348	(二) 异形世代纲(Heterogeneratae) .....	386
一、红藻门的一般特征 .....	348	(三) 圆孢纲(Cyclosporeae) .....	387
二、红藻门的分类概要 .....	351	五、褐藻门化石 .....	389
三、海索面目(Nemalionales)及其化石 .....	353	第十五章 化学化石(生物标志物) .....	392
(一) 蠕枝藻科(Helminthocladiaceae) .....	353	一、生物标志物的研究方法 .....	392
(二) 粘毛藻科(Chaetangiaceae) .....	354	二、生物标志物的主要种类(简介和藻类可能	
(三) 裸海松藻科(Gymnocodiaceae) .....	354	有关的) .....	396
<b>第三篇 藻类的成岩、成矿作用</b>			
第十六章 藻类的成岩作用 .....	407	(三) 从化学实验看 pH 值波动对成盐的影响 .....	431
一、藻层沉积物和叠层石 .....	407	第十九章 藻类和铁矿形成的可能	
(一) 藻类的作用 .....	407	关系 .....	432
(二) 藻类叠层石的特征 .....	409	一、前人假说 .....	432
(三) 叠层石的地层意义 .....	414	二、藻类成矿证据 .....	432
(四) 叠层石分布的环境 .....	415	(一) 叠层石的证据 .....	432
二、藻类对碳酸盐沉积物形成的意义 .....	415	(二) 微化石的证据 .....	432
第十七章 藻类和有机矿藏 .....	421	(三) 古地理环境证据 .....	433
一、藻类和油、气生储构造的关系 .....	421	第二十章 藻类和其它沉积矿产形成的	
二、关于古代藻类和油气形成关系的研究 .....	423	关系 .....	434
第十八章 藻类和磷矿(磷块岩)形成的		一、锰矿 .....	434
关系 .....	426	二、铜矿 .....	435
一、藻类成矿的证据 .....	426	三、层控铅-锌-铜硫化物矿床 .....	435
二、藻类成矿的机理讨论 .....	429	四、高变质藻煤层中镍-铜多金属矿床 .....	435
(一) 藻体的吸收、富集作用 .....	429	第二十一章 硅藻土矿藏 .....	436
(二) 藻类改变微环境的意义 .....	430	一、硅藻土矿的地理分布 .....	436



(一) 东亚 .....	436	(四) 近代硅藻土沉积 .....	438
(二) 北美 .....	436	三、硅藻土的矿物种类 .....	438
(三) 南美 .....	437	四、硅藻土的化学成分 .....	439
(四) 西欧 .....	437	五、硅藻土的物理性质 .....	439
(五) 北非 .....	437	六、硅藻土的活性和催化性能 .....	442
二、硅藻土矿沉积相类型 .....	437	七、硅藻土的应用 .....	443
(一) 海相沉积硅藻土 .....	437	中英名词对照表 .....	444
(二) 湖相沉积硅藻土 .....	437	中拉名称对照表 .....	453
(三) 沼泽相沉积硅藻土 .....	437	主要参考文献 .....	483

# 第一篇 总 论

## 第一章 绪 言

### 一、现代藻类的习性及其对化石藻类研究的意义

藻类是生物界非常庞大而多样化的类群。它至少包括 11 个门,广布于地壳的表面。其生态习性多种多样。多数是水生的(aquatic),也有气生的(aerial)、亚气生的(subaerial)。水生的又分海洋的(marine)、半咸水的(mesohalinous)及淡水的(fresh-water)等。其中有底栖生活的,也有浮游生活的。

但是,各门藻类及其所属的目、科、属,甚至不同的种生态习性会有很大的不同。褐藻门(Phaeophyta)、红藻门(Rhodophyta),其 99% 以上都为海产,淡水种类极少;绿藻门(Chlorophyta)大约 10%的种是海产,90%为淡水产。其中某些目,例如石莼目(Ulvales)、管藻目(Siphonales)、粗枝藻目,即绒枝藻目(Dasycladales),全部为海产。而后两个目的大多数分布于热带、亚热带地区。轮藻门(Charophyta)除极少数可生于微盐水体外,几乎全部为淡水产,尤其喜生于清静硬水;金藻门(Chrysophyta)大部分为淡水产,其中大多数只生于软水水体中,多在寒冷的季节出现。但是该门的颗石藻类(Coccolithophorida)和硅鞭藻类(Silicoflagellates)几乎全为海产浮游性种类。硅藻门(Bacillariophyta)淡、海水都很普遍,但中心目(Central)主要为海产,淡水水体中主要为羽纹目(Pennales);甲藻门(Pyrophyta)淡水、海产都有,但海产属种很多,量也大。甲藻类、硅藻类和颗石藻类为海洋原初生产力的主要代表。裸藻门(Euglenophyta)和黄藻门(Xanthophyta)则都为淡水产;蓝藻门(Cyanophyta)是所有各门藻类中适应生态环境最宽的一个门。江、河、湖、海、陆地表面广泛分布。但它们的大多数属种都生在气生和亚气生环境中。因此海产种,多数都生活在潮间带,少数生在潮下带。它们有些分布在终年积雪的高山、极地;有些属种生于极干燥的岩石表面;甚至有些属种可以穿透石灰质基物;有些属种可以生活在 70 多度的温泉中;有的还能生长在某些高等水生植物[满江红(*Azolla*)]的叶腔里成为共生关系等。各门藻类不同的分类单位生态习性的差异有的是非常大的,如硅藻门,陆生种类可以分布于多种不同的环境;水生的,有海水、微盐水之分;同一水体中有底栖种和浮游种之分。同在海洋环境,有岸边、海湾、近海、远洋之分;不同纬度带的海洋中有不同的种类组成。此外,还有垂直分布的差异等。总之,各种不同的环境有着不同的种类组合面貌。可以这样认为,环境决定藻类组成,各种藻类类群适应不同的环境。这里有藻类各种分类单位本身的长期适应环境所形成的生物学特性的主导作用,有各种环境因子所起的外因的制约作用。其中以温度、光照、盐度所起的

制约作用为最大,基物、水体透明度、波浪、地形、地物等也起重要作用。

各门藻类所含色素对光能的吸收利用有着限制性意义,从而直接影响其垂直分布。这些色素,除蓝藻门以外,都存在于叶绿体(色素体)中。如绿藻含叶绿素 a、b、 $\alpha$ -胡萝卜素、 $\beta$ -胡萝卜素、叶黄素类等;红藻除含叶绿素 a 和 d、 $\alpha$ -和  $\beta$ -胡萝卜素外,还含有红藻藻红素和少量的红藻藻蓝素,不含叶绿素 b;蓝藻除含叶绿素 a、 $\beta$ -胡萝卜素外,还特含蓝藻黄素、蓝藻叶黄素、蓝藻藻蓝素和蓝藻藻红素等(表 1-1)。

根据光合生理研究的结果,只有叶绿素 a 才能进行光化学反应,其余色素只能起吸收和传递光能的作用。前者称为光合作用中心色素;后者称为辅助色素或聚光色素。这些色素综合起来决定着各门藻类对光能的吸收、传递和光化学反应的全过程。同时又制约各门藻类一系列的生物学特性,如光合作用产物、生态分布(主要是垂直分布)、生活习性等。

一般情况下,藻类色素的波长和吸收太阳光的波长为互补关系。红藻藻蓝素最大的吸收处为 533nm(黄色)和 615nm(橙色),蓝藻藻蓝素最大的吸收在 615nm(橙色),红藻藻红素最大的吸收在 497nm(青色)、540nm(绿色)和 566nm 3 处;墨角藻黄素最大吸收约 453nm(青色),叶绿素 a 在 432nm(蓝色)和 665nm(赤色)两处,最弱的吸收在 480nm;叶绿素 b 的最大吸收在 475nm(青色)和 650nm(赤色),最小的值在 520nm(绿)(图 1-1)。

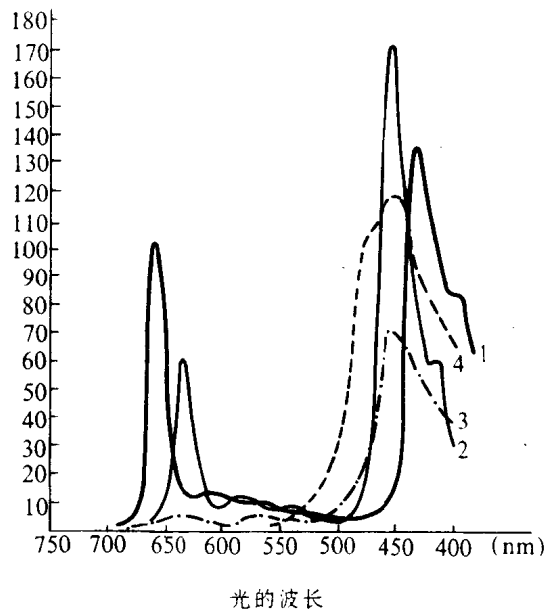


图 1-1 藻类所含色素的种类及其吸收光谱

1. 叶绿素 a; 2. 叶绿素 b; 3. 叶绿素 c; 4. 墨角藻黄素

由上可见红色色素(如红藻藻红素)能吸收短波光,而蓝色色素(如蓝藻藻蓝素)则可吸收长波光。它们的这种关系表现在各门藻类的垂直分布上。因为短波光在水体中的穿透力强,可以达到很深(视水的透明度而定),长波光穿透力小,所以不能达到水体很深的部位,因此蓝藻往往分布于水体表层或浅水的地区。红藻则在深达 200 多米处还有分布。金、黄、硅、甲各门藻类由

表 1-1 藻类各门的主要色素表

(根据 Strain, 1951)

	粘藻门	红藻门	黄藻门	金藻门	硅藻门	褐藻门	甲藻门	绿藻门	裸藻门
叶绿素类(Chlorophylls):									
叶绿素 a (Chlorophyll a)	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
叶绿素 b (Chlorophyll b)	0	0	0	0	0	0	0	++	+
叶绿素 c (Chlorophyll c)	0	0	0	…	+	+	+	0	0
叶绿素 d (Chlorophyll d)	0	+	0	…	0	0	0	0	0
叶绿素 e (Chlorophyll e)	0	0	+	…	0	0	0	0	0
胡萝卜素类(Carotenes):									
α-胡萝卜素(α-Carotene)	…	+	…	…	0	0	0	+	
β-胡萝卜素(β-Carotene)	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
γ-胡萝卜素(γ-Carotene)	…	…	…	…	+	0	…	0	
黄胡萝卜素(Flavicin)	+	…	…	…	0	0	…	0	
叶黄素类(Xanthophylls):									
叶黄素(Lutein)	?	++	0	+	0	0	0	+++	?
玉黍黄素(Zeaxanthin)	?	…	0	…	0	0	0	+	
薑黄素(Violaxanthin)	…	…	…	…	0	+	0	+	
叶黄氧素(Flavoxanthin)	…	…	…	…	0	+	…	?	
新叶黄素(Neoxanthin)	…	…	0	…	0	+	0	+	
墨角藻黄素(Fucoxanthin)	…	?	0	+	++	++	0	0	0
新墨角藻黄素 A (Neofucoxanthin A)	…	…	0	…	+	+	0	0	0
新墨角藻黄素 B (Neofucoxanthin B)	…	…	0	…	+	+	0	0	0
硅藻黄素(Diatoxanthin)	…	…	0	…	+	?	0	0	0
硅甲黄素(Diadinoxanthin)	…	…	0	…	+	?	+	0	0
甲藻黄素(Dinoxanthin)	…	…	0	…	0	?	+	0	0
新甲藻黄素(Neodinoxanthin)	…	…	0	…	0	0	+	0	0
多甲藻素(Peridinin)	…	…	0	…	0	0	++	0	0
蓝藻黄素(Myxoxanthin)	++	…	0	…	0	0	0	0	0
蓝藻叶黄素(Myxoxanthophyll)	++	…	0	…	0	0	0	0	0
未定名(unnamed)	?	?	++	?		+			+
藻胆素类(Phycobilins):									
红藻藻红素(r-Phycoerythrin)	0	+++	0	?	0	0	0	0	0
红藻藻蓝素(r-Phycocyanin)	0	+	0	?	0	0	0	0	0
蓝藻藻红素(c-Phycoerythrin)	+	0	0	?	0	0	0	0	0
蓝藻藻蓝素(r-Phycocyanin)	+++	0	0	?	0	0	0	0	0

+++ 示四类色素的每一类中的主要色素。

++ 示一种色素的含量,少于该类色素总量的二分之一。

+ 示一种色素的含量仅为该类色素的少量。

? 示一种色素的含量极微,其来源及鉴定未肯定。

0 示已知其不存在的一种色素。

… 示某些色素在某些门藻类中存在,尚未了解。

于它们所含色素以黄褐色的叶黄素类为主,都分布于水体表层或浅透光带处。

了解现代藻类分布规律和生态习性,有助于将今论古地通过藻类化石分析沉积相、古地理及种种古环境因子,对于了解各种沉积矿产(油、气、铁、锰、磷等)的形成和藻类的关系,了解古代藻类对大气和地壳演化意义等是很重要的。

## 二、藻类化石化作用的条件

藻类和其它门类的生物一样,有些能成为化石保存于各地质时期的地层中。这和其本身的条件及环境条件相关。

### (一)化石化作用和藻体结构的关系

正常情况下,藻体死后即会发生自溶和各种微生物的酶解作用。它们的降解(degradation)速度可能非常快,藻体较快消失;也可能是缓慢的,或有可能成为化石被保存下来。这首先取决于藻体的结构性质和组成成分,特别是细胞壁的结构。蓝藻的细胞壁由胞壁质(murein)、肽聚糖(peptidoglycan)组成,极易收缩变形,在一定条件下极易分解。所以蓝藻细胞壁一般不易保存或保存较差,不易分辨。但蓝藻细胞壁的外围常具不定形的果胶质构成的胶质衣鞘(gelatinous sheath),简称胶鞘或衣鞘。胶鞘遇水易吸水膨胀乃至完全水化(hydration)。但是胶鞘在气生、亚气生条件下极难分解,若突然的高温、低温、干燥或短时浸水都不会分解,而有可能被保存下来。一些无特殊保护的裸藻门细胞及部分裸壁的金藻门(Chrysophyta)、隐藻门(Cryptophyta)及少数绿藻门团藻目(Volvocales)分子等则很难形成化石。只有它们当中的某些属种在裸壁之外被有甲鞘(lorica)或其它含特殊矿物成分保护时,才较容易保存为化石,如介壳藻(*Phacotus*) (绿藻)、颈胞藻(*Trichelomonas*) (裸藻)及古胞藻(*Archaeomonas*) (金藻)等。一些藻类的细胞壁具有坚硬的由多层纤维素或含其它抗分解化合物(二氧化硅、铁和钙质等)或细胞中具有骨骼则很易保存为化石。例如硅藻几乎都有硅质壳壁,颗石藻类具有钙质颗石粒,硅鞭藻类具硅质骨架;绿藻门管藻目(Siphonales)、粗枝藻目(Dasycladales)及红藻门隐丝藻目(Cryptonemiales)、海索面目(Nemalionales)等若干科、属、种,还有褐藻门的团扇藻属(*Padina*)等,都因沉积石灰质而得以很好地保存。绿球藻目的某些属种,如盘星藻(*Pediastrum*)等细胞壁中除含有纤维素外,还含有孢粉素,故也能很好地保存为化石。

### (二)化石的形成和环境的关系

如前所述藻类的降解是一种自溶和酶解的过程,从本质上是氧化作用的过程。这个过程如果进行得很顺利,则藻体结构可以全部消失。然而,在自然界中不可能所有的环境都为这种分解作用过程一直提供顺利的条件。藻体的降解过程可能在不同的降解阶段上被抑制、终止或改变,从而选择性地保存了难以分解的结构和相应的形态。另一方面分解本身可以改变微环境和改变分解作用继续进行的一系列条件,其间特别是改变氧化还原电位和pH值,进而改变金属和其它元素可溶性状况及其若干化合物离子的平衡系统。例如,一种有机物的强需氧分解作用在氧充分的情况下常常是充分和完全的,或由于此过程消耗了环境里的氧,环境成了缺氧状况。这样氧就成了需氧分解的极限而成为有机物转入厌氧分解作用的条件。有机物的厌氧分解需要若

干步骤。它们是程序连续的各不相同的特殊分解,这些厌氧分解的每一步骤所需的条件在自然界都具备,以至厌氧分解也经常停留在某一阶段上。当出现极端的情况,如高盐度、低 pH 值时则可以进一步限制分解继续进行。上述情况对藻类有机体结构的保存可能会有很大的影响。例如在波斯湾阿布札比萨布哈 (Abu Dhabi sabkha) 卤水底下保存了具绿色色素的蓝藻细胞结构已达 8000 年之久 (Golubic, 1973)。在沼泽中有机体残骸保存很好。藻类最好的化石化作用是早期就包埋在矿物基质中,如碳酸钙和硅酸盐等,特别是保存在硅酸盐岩中的藻体结构最清晰。硅鞭藻类化石的研究主要是近 50 年发展起来的。这和海洋勘探事业的发展关系很大,如环太平洋区域的第三纪化石层位,自 20 世纪初就已在北美、爪哇、苏联、日本等地进行过研究。但最近根据深海钻探计划 (DSDP) 又在对全世界海区第三系、第四系硅藻化石层位进行研究,特别是北太平洋海底,由于水深,几乎不含石灰质微化石,硅藻成为划分其第三系和第四系地层唯一的古生物标志。目前,可以这样说,任何一个已在进行海洋勘探的国家和地区,无不在进行化石硅藻的研究,特别是对于新生代的地质对比,硅藻化石是极为重要的。

### 三、化石藻类的研究简史

化石藻类的研究已有数百年的历史,人们对化石藻类的认识有过相当长的过程。最早的研究是从现代钙藻开始的,进而转向化石钙藻类,然后才扩大到其它化石藻类。早在 16 世纪末欧洲科学家就注意到现代钙藻,如 1599 年意大利那不勒斯 (Naples) 出版的“Dell'Historia Naturale”中叙述过以 *Sertolara* 为名的钙藻仙掌属 (*Halimeda*),除有简短的描述外,还附有很好的图 (Barton, 1901); 18 世纪、19 世纪对骨骼钙藻有很多报道,但包括林奈 (Linnaeus) 在内,起先都是作为动物来认识的,例如:法国博物学家 Lamourox (1824) 在其著作中记述了 57 属 624 种钙质红藻和绿藻,并附有 19 个图版。其中一些常见属,如叉节藻属 (*Amphiroa*)、珊瑚藻属 (*Corallina*)、埤氏藻属 (叉珊藻属) (*Jania*)、仙掌藻属 (*Halimeda*)、钙扇藻属 (*Udotea*)、伞藻属 (*Acetabularia*)、波纹藻属 (*Cymopolia*) 和蠕藻属 (*Neomeris*) 等至今都是被承认的。但当初则认为腔肠动物或海绵动物。直到 1837 年 Philippi 才确定皮壳珊瑚藻类 (crustose corallines) 为植物。这就为化石钙藻的研究奠定了基础。

最早记述的化石钙藻是在巴黎盆地发现的。新生代钙质绿藻 *Ovulites* (Lamarck, 1816) 和 *Acicularia* (d'Archiac, 1843)。起初,它们也是作为动物化石的,而且分属于不同的门。19 世纪末,20 世纪初 Rothpletz 描述和解释了欧洲地区不同地质时代的很多钙藻类型,为化石钙藻研究作出了重要贡献。他 (1891) 首先运用生殖器官作为鉴别珊瑚藻类的标准。1898 在他的《化石植物》(“Fossil Plants”) 一书第一卷中对 19 世纪末所发现的化石藻类进行了系统的评述。他对化石藻类的鉴定和钙藻在沉积物中的作用作了很好的说明。20 世纪初钙藻的研究工作进一步深入到和沉积物关系的研究,如 1913 年 E. J. Garwood 指出钙藻是造岩者 (rock-builders)。他的观点在地质学界和古生物学界影响颇大。此外, M. Lemoine 等差不多与 Garwood 同时期也进行了化石钙藻与沉积物关系的研究。在大体相同的时期, Pia 在澳大利亚, Lucien 和 Jean Morellet 在法国都进行了化石钙藻的研究工作,特别是绿藻门粗枝藻科 *Dasycladaceae*。

20世纪30年代,化石钙藻的研究从西欧扩展到美国和苏联。其中美国的 Johnson, J. H. 和苏联的 Maslov, V. P. 的工作最为著名,他们的论文一直发表到60年代。Johnson 描述了许多藻类化石,还写了许多化石分类和评论性的论文,编写过3个有注解的书目提要(Johnson, 1943, 1957, 1967),《造岩藻类和藻灰岩》(“Limestone-building Algae and Algal Limestones (1961)”)是其代表作之一;苏联 Maslov 自1936到1966先后发表论文、著作数十篇,如1937年发表的“东西伯利亚古生代造岩藻类”(“On the Paleozoic rock-building algae of East Siberia”),1956年发表的“苏联的化石藻类”(“Fossil algae of the USSR.”)等都是比较有影响的。50到60年代碳酸盐岩中的化石藻类的报道日渐增加,其中主要原因之一是石油勘探事业的刺激,人们对灰岩及白云岩和碳氢化合物储集的关系日益关注。

关于对由藻类引起的沉积构造,叠层石和藻类片层沉积物的研究是由 Hall 开始的。1883年他根据在纽约寒武纪地层中所获得的材料,提出岩石中的片层状石灰质结构可能是生物生长的结果。不过,他认为动物起因的。这种构造后来由 Kalkowski 于1908年命名为叠层石(stromatolith)。此后,70多年来对叠层石以及藻类片层沉积物的研究主要是围绕着探讨其成因及形成机理进行的。

至于前寒武纪(Precambrian)微体藻类化石的研究则经历了更曲折的过程。很长时期以来,前寒武纪地层被认为是无化石的哑层。C. D. Walcott 于1883年、1899年、1912年曾多次提出前寒武纪存在藻类化石,并认为前寒武纪层状叠层石可能是生物成因的。这些意见一直遭到莫明其妙的反对,所谓前寒武纪无化石的哑层论,长期统治着地质界。直到1954年 Tyler 和 Barghoorn 报道了加拿大南部岗弗林特含铁建造(Gunflint Iron-Formation)中发现的许多藻类化石以后,前寒武纪藻类化石的研究才逐步引起人们的重视,迅速发展。

季莫菲也夫(Б·В·Тимофеев)于1959年发表了世界上第一部前寒武纪及早古生代微古植物研究方面的专著,提出了分类方案,虽然并不完善甚至有些错误,但他提出的若干属种至今还被采用,季莫菲也夫在前寒武纪微古植物研究方面做了大量工作,取得重要成果。如果 Walcott 被认为是前寒武纪藻类化石的鼻祖,则季莫菲也夫称得上是国际前寒武纪微古植物研究方面主要奠基人和创始人之一。苏联的另一位早期从事前寒武纪微古植物研究的古生物学家是安德烈也娃(Е. М. Андреева),她50年代后期研究了俄罗斯地台晚前寒武纪至早古生代沉积所谓“孢粉”[即藻类的胞囊(cyst)],发表一系列论文。60年代后半期苏联前寒武纪藻类化石研究的队伍有较大发展,代表人物除上述两人外,还有谢皮辽娃、沃尔柯娃、鲁达夫斯卡娅、格尔曼、贝郝娃和拉普辛等人。他们采用的方法主要是化学分离法(即浸解法),近一二十年他们注意这些微古植物化石的自然系统归属,重视配合前寒武系-寒武系界线的研究。

苏联和北欧前寒武纪微古植物的研究报道主要见于60年代初期。苏联的纳乌莫娃报道了苏格兰陶里东群(Torrison Group)的微古植物;洛伯特(Marie-Madeleine Roblot, 1964)发表了前寒武纪的“抱形物”一文。70年代中期以来欧洲这方面的研究和世界整个这方面的发展相适应,取得了较多的成果,如瑞典维达尔(G. Vidal)较系统地研究了瑞典维辛索组(Visingsö Formation)的微古植物,发表了一系列论文,1976年发表了维辛索组微古植物群的研究专著。

在北美, Tyler 和 Barghoorn 继 1954 第一次提到加拿大岗弗林特组岩石薄片中含藻类化石以后, 1965 年作了该组藻类化石的进一步报道, 研究的对象主要为燧石层或燧石质叠层石, 方法主要是薄片法和浸解法。研究北美前寒武纪藻类化石的还有 Colud (1965)、Schopf (1965)、Awramik (1975) 等。加拿大古生物学家 Hofmann, H. J. 从 1969 年起, 先后发表过数篇关于贝尔切岛 (Belcher Islands) 前寒武纪藻类化石的文章。Donaldson, J.A. 等 (1975) 研究并报道过加拿大麦岗齐山晚前寒武纪迪斯矛湖群 (Dismal Lakes Group) 藻类化石, 多属蓝藻门色球藻目 (Chroococcales) 和颤藻目 (Oscillatoriales) 的分子。

关于非洲的藻类化石的资料, 60 年代末 70 年代初相继出现。如 Barghoorn 和 Schopf (1967) 报道过南非时代为 31 亿年的无花果树群 (Fig Tree Series) 藻状和细菌状微化石; Albert, E. J. 等 (1968) 报道过南非斯韦茨兰系 (Swaziland System) 翁弗尔瓦赫特群 (Onverwacht Series), 时代为 32 年左右的藻类状微化石。Nagy, L. A., Brooks, J., Muir, M. D. 和 Shaw, G. (1971) 在同一地层也报道过此类微化石。

澳大利亚前寒武纪藻类化石从 60 年代中期开始, 陆续有大量发现。Barghoorn 和 Schopf 1965 年对澳大利亚中部苦泉组 (Bitter Springs Formation) 硅质岩中的藻类化石作了简要报道, Schopf (1968) 进行了详细的研究并予以发表。Schopf 定了 30 种, 1971 年又定了 20 种 8 个属, 大部分为新属新种, 多数被认为属蓝藻门色球藻目和颤藻目, 少数涉及到胶须藻目 (Rivulariales) 和其它门类。Schopf 在前寒武纪苦泉组发现的大量藻类化石; 其数量和种类之多, 保存状况之好是前所未有的。这个事实本身加上岗弗林特含铁建造中藻类化石的记录进一步动摇了前寒武纪无化石的哑层论, 从而奠定了前寒武纪古生物学研究的基础。此后, Croxford, N. J. W. 等 (1973) 记载和报道了北澳喀彭塔尔系 (Carpentarian) 麦克阿瑟群 (McArthur Group) 的藻类化石, Walter, M. R. 等 (1976) 在西澳含铁岩组、Peat, C. J. 等 (1978) 在北澳罗皮尔群 (Roper Group) (后者为页岩, 时代 13 亿年左右) 相继发现了藻类化石。Peat 并肯定其中有属真核藻类的分子。

印度 60 年代后期才开始前寒武纪藻类化石的研究。Maithy, P. K. 1968 年以来先后报道过印度温德亚系 (Vindhyan System) 和波士美系 (Bushimay System) 藻类化石研究结果。

中国早在 1936 年杨杰就研究和报道山西五台山南台的变质石灰岩内维管状化石; 1958 年苏联 Вологдин, А. Г. 记载和报道过中国震旦纪和寒武纪沉积中的几种藻类, 60 年代他又发表了震旦纪藻类研究的某些结果并介绍了他的研究方法。

随后不久, 1963—1964 年, 邢裕盛、刘桂芝系统研究了蓟县晚前寒武纪地层剖面中的微古植物化石, 获得了比较丰富的微古植物资料, 初步建立了各岩群 (相当于现在的长城系、蓟县系、青白口系) 的微古植物化石组合, 探讨了微古植物化石在地层中垂直分布规律, 1965 年报道了他们研究的初步结果。同年, 严富华报道了滇东及鄂西震旦系发现微古植物的消息, 苏联季莫菲也夫在其专著中也报道了中国蓟县及五台山地区晚前寒武纪微古植物化石。嗣后, 邢裕盛、刘桂芝对辽宁西部和南部的晚前寒武纪地层作了微古植物研究, 采用岩石薄片和浸解相结合的方法进行研究, 获得成功, 1972 年发表了他们的研究结果。1974 年, 欧阳舒、尹磊明、李再平以“震旦纪古



孢子”为题介绍他们对西南(川、黔、滇)地区震旦系微古植物研究结果。70年代中后期以来,中国前寒武纪藻类化石研究以飞快的速度向前发展着。迄今在各种刊物上共发表有近百篇论文。已经形成近百人的专职和兼职的研究队伍。曹瑞骥、赵文杰(1974)在《西南地区地层古生物手册》中,写了“震旦化古藻”一文,1978年他们在《中国科学院南京地质古生物所集刊》第10号写了“西南地区晚震旦世灯影组藻类植物群”的文章。1978年,邢裕盛、刘桂芝发表了他们对三峡标准剖面微古植物的研究成果,初步建立了中国上前寒武各系(长城系、蓟县系、青白口系、震旦系)标准剖面上的微古植物组合,这些结果又为进行晚前寒武纪地层划分、对比提供了基本资料;同年,张昫写了“十三亿年前单细胞真核生物”和“震旦系单细胞真核生物化石”的论文,钟国芳在《中南地区古生物图册》新疆维吾尔自治区分册(一)上发表“震旦纪及志留纪微古植物”;尹磊明、李再平在所集刊第10号报道了他们对西南地区前寒武纪微古植物的研究成果,并讨论了地层意义。1979年有7篇论文都是前寒武纪微古植物的研究成果:欧阳舒报道了辽宁鞍山地区鞍山群、辽河群的微化石;梁玉左、曹瑞骥发表了“中国晚前寒武纪的叠层石和红藻化石的生物地层学意义”的文章;张鹏远报道蓟县蓟县系雾迷山组多核体绿藻化石——塔藻;尹磊明在《中国科学院铁矿地质学术会议论文集》写有“辽东鞍山群、辽河群的微体植物群及其地层意义”一文;徐仁、朱为庆总结鞍山群化石微生物并初步探讨了它们和鞍山式铁矿成因的关系。从研究方法出发,朱丽英介绍了早古生代腐泥无烟煤及炭质岩中菌藻类化石简易分离方法;王福星、罗其玲著文讨论在使用浸解法时出现的假疑源类化石的问题。1980年约有近10篇前寒武纪藻类化石的报道:殷继成、张启华、丁莲芳、石和在《四川—甘洛地区震旦纪地层古生物及沉积环境》一书中介绍一些该地区所发现的藻类化石;卢孟凝、王若姗报道了四川盆地北部马鞍塘组微古植物;邢裕盛、刘桂芝报道了他们在鄂西震旦亚界微古植物并讨论了地层意义;王福兴等发表“从微化石的系统分析论滇中昆阳群地层的层序”一文;郑文武报告了皖北震旦系中的 *Chuarina* 等化石;朱浩然、刘志礼、刘雪娴等将他们对蓟县震旦系微化石的研究结果作了初步介绍。另外,刘士钊公布了他在湖南早震旦世沉积碳酸锰矿床中发现的蓝藻化石。1981年主要有下列论文谈到前寒武纪藻类化石:张鹏远的“蓟县雾迷山组蓝藻化石”;尹磊明的“河南曲阳地区震旦系高于庄组的微体化石和假化石”;罗其玲等“蓟县青白口系下马岭组微古植物新资料”;张忠英初步报道了峡东地区的藻类;高振家等描述过新疆维吾尔自治区的某些藻类;张忠英报道过中国南方前寒武纪陡山沱组的几种丝状藻类化石;朱浩然、刘志礼、刘雪娴讨论了前寒武纪原核和真核藻类形态鉴别的一些问题。此外,沙庆安、潘正莆、王福星等都从不同的角度论及前寒武纪微化石的问题。从1982年开始我国前寒武纪古生物学又取得若干带突破性的成果,如杜汝霖(1982—1985)在冀西北青白口系发现 *Chuarina* 化石,和新建属 *Longfenshania* Du,它们明显属于多细胞组织体的后生藻类或动物。朱为庆、陈孟莪(1984)在峡东地区震旦系剖面发现一种藻体分枝的营固着生活的藻类,定名为 *Enteromophites* Zhu et Chen,可能是属于绿藻门石莼目(Ulvales)的分子。这些化石为探讨和研究后生动、植物的起源提供了极为重要的信息。阎玉忠(1982)在蓟县长城系串岭沟组发现了一新属 *Schizofusa*,这显然属于浮游性单细胞藻类的胞囊,可能是和纵裂甲藻类近缘的分子。王福星(1983)在云南晋宁灯影组和梅树村组记载的 *Palaeotubulus* 具明显丝状绿藻的结构特