



疑源类化石图鉴

Illustrated
Book
of
Organic-Walled
Microfossils

尹磊明 袁训来 孟凡巍 编著

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

疑源类化石图鉴

Illustrated
Book
of
Organic-Walled
Microfossils

尹磊明 袁训来 孟凡巍 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

疑源类化石图鉴/尹磊明,袁训来,孟凡巍编著.
—杭州:浙江大学出版社,2018.11

ISBN 978-7-308-18633-9

I. ①疑… II. ①尹… ②袁… ③孟… III. ①疑源
类—化石—世界—图集 IV. ①Q915.81-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 214368 号

疑源类化石图鉴

尹磊明 袁训来 孟凡巍 编著

责任编辑 伍秀芳(wxfwt@zju.edu.cn) 吴伟伟

责任校对 陈静毅 梁容

封面设计 程晨

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路148号 邮政编码310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排版 杭州林智广告有限公司

印刷 浙江省邮电印刷股份有限公司

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 24.5

字数 602千

版印次 2018年11月第1版 2018年11月第1次印刷

书号 ISBN 978-7-308-18633-9

定价 188.00元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社市场运营中心联系方式: (0571) 88925591; <http://zjdxcs.tmall.com>

科技部科技基础性工作专项（2013FY113000）系列成果

前 言

在研究我们所在星球——地球的生物圈演化史和探寻生物化石记录的过程中,我们发现,海洋微体浮游生物的化石几乎记录了整个地球生物圈的形成和演变。由于这些微体浮游生物是基础的食物链分子,对它们的研究可以为恢复不同地质时期的古地理、古生态环境、古气候的原貌等提供重要的基础资料。它们大多是具有有机质壁的单细胞或多细胞微体浮游植物,且数量丰富,在沉积岩及中—轻度变质岩中皆有保存,因此,研究它们死亡埋葬过程中细胞或囊胞的质、壁分解产物,对于有机矿藏的探寻和开发具有重要意义。

2006年,在收集和整理国内关于前寒武纪和古生代疑源类化石(微体浮游生物化石之一)的资料的基础上,编著者之一(尹磊明)整理、编著并出版了《中国疑源类化石》一书,该书介绍了疑源类化石的基本形态特征和分类命名,并着重对在我国出现的前寒武纪、早古生代地质时期疑源类化石及其组合面貌进行了整理。近年来,随着国内外地质、古生物工作者对微体浮游植物化石的研究更加广泛和深入,新的资料不断涌现,加之国民经济发展的迫切需求,我们有必要对疑源类化石及其他微体浮游植物化石(如蓝菌和隐孢子等)做更全面的整理和介绍,特编著本书。本书是全球各地质时期疑源类化石的浓缩版,共呈现了近400幅精美图版,这些图版按不同时代排序,便于应用。另外,我们还对疑源类及其他微体浮游植物化石的生物地球化学特性及其在不同地质生态环境中的作用和影响做了简要陈述。

为方便读者,尤其是从事相关学科调查研究和实际应用人员的查询,本书采用图鉴方式,在整理自20世纪70年代以来国内外相关核心刊物文章和出版物的基础上,着重选择、译释世界不同国家和地区记述、发表的显生宙地质时期重要疑源类和其他浮游植物化石属、种,并配以清晰图像。编著者对所引文章的作者及相关期刊、书籍的出版商和出版社的支持深表谢意,并衷心感谢那些提供已出版的化石标本原始图像的作者。

目 录

第一章 微体浮游植物化石一般形态学及应用	1
一、疑源类	1
(一) 疑源类一般形态及分类	1
(二) 疑源类保存及研究方法	3
二、蓝菌(Cyanobacteria)	5
(一) 蓝菌简介	5
(二) 蓝菌化石记录概要	6
三、隐孢子(Cryptospores)	8
第二章 疑源类的生物属性: 来自生物标志化合物的证据	13
一、三叠纪之前能形成囊胞的海相沟鞭藻祖先: 来自生物化学地层的证据	13
二、疑源类的生物属性: 来自生物标志化合物的证据	14
三、石油地质方面的启示	15
第三章 微体浮游植物化石属、种图鉴	17
一、疑源类	17
(一) 显生宙疑源类	17
(二) 新元古代疑源类和藻类	315
二、隐孢子	335
参考文献	341
拉—汉属种索引	349
一、显生宙疑源类	349
二、新元古代疑源类和藻类	365
三、隐孢子	368
汉—拉属种索引	369
一、显生宙疑源类	369
二、新元古代疑源类和藻类	385
三、隐孢子	388

第一章 微体浮游植物化石一般形态学及应用

自 20 世纪末,国际化石孢粉学界将凡是应用化学浸渍或物理超声波等方法获得的,直径为 5~500 μm ,具有由几丁质、假几丁质或孢粉素等有机组分构成的膜壳壁的微体动植物化石,皆归属为“孢粉类群”,并冠之“孢粉型化石”(palynomorphs),诸如沟鞭藻囊胞(dinoflagellate cysts)、疑源类(acritarchs)、孢子(spores)、花粉(pollen)、真菌(fungi)、虫牙(scolecodonts)、节肢动物器官(arthropod organs)、几丁虫(chitinozoans)、微有孔虫(microforams)等。本书着重描述疑源类化石,并收集、整理了部分常见的蓝菌和隐孢子的已知资料。

一、疑源类

(一) 疑源类一般形态及分类

Evitt(1963a,b)将“疑源类”定义为:“未知或可能有多样生物亲缘关系的小型微体化石,由单一或多层有机成分的壁包封的中央腔组成;它们的对称性、形状、结构和装饰多种多样,其中央腔封闭,或以孔状、撕裂状不规则破裂、圆形开口(圆口)等多种方式与外部相通。”它们是一个未知或不确定生物亲缘关系的有机质壁微体化石类群,可能代表包括海生杂色藻、绿藻和单细胞原生物的化石化有机质壁囊胞,以及一些真菌孢型、高等生物的卵及其他非海相形态类型。此外,一些不能确定生物亲缘关系的定形、非定形集合体或多细胞微体化石也被纳入疑源类。疑源类的膜壳表面,除部分光滑、无明显雕饰外,都显现不同大小及形态的雕饰,其中许多术语与孢粉学的一般术语相同,如 Eisenack *et al.* (1973)曾给出常见疑源类的壳壁表面雕饰类型:光滑(psilate)、皱(rugulate)、粗糙(scabrate)、条纹(striate)、网状(reticulate)、丝状(filose)或纤毛状(ciliate)、颗粒(granulate)、齿状(denticulate)或棘刺(echinate)、疣(verrucate)、棒杆(baculate)或基柱(pilate)、棒瘤(clavate)、鲛粒(shagrinata)等。

疑源类的壁结构涉及内部超微结构和外包被壁的化学组分。疑源类通常保存了原始的有机质成分,这些有机质成分没有被无机矿物替代或石化。壁结构所含的孢粉质产物能在不利的环境条件下完好保存生命原生质体,因为孢粉质是一种与酯相关的类胡萝卜素派生物,它是疑源类避免成岩作用破坏且抗酸、碱的主要化学组分之一。

Talyzina & Moczyłowska(2000)应用超薄切片及扫描和透射电子显微镜技术,对收集自爱沙利亚寒武纪早期的不同疑源类属、种标本进行了壁结构观察研究,其结果表明不同疑源类类型标本的壁存在从单层至多层结构的区别。这里从中选择了三个常见疑源类形态类型的壁结构电子显微镜图像,如图 1.1 所示。

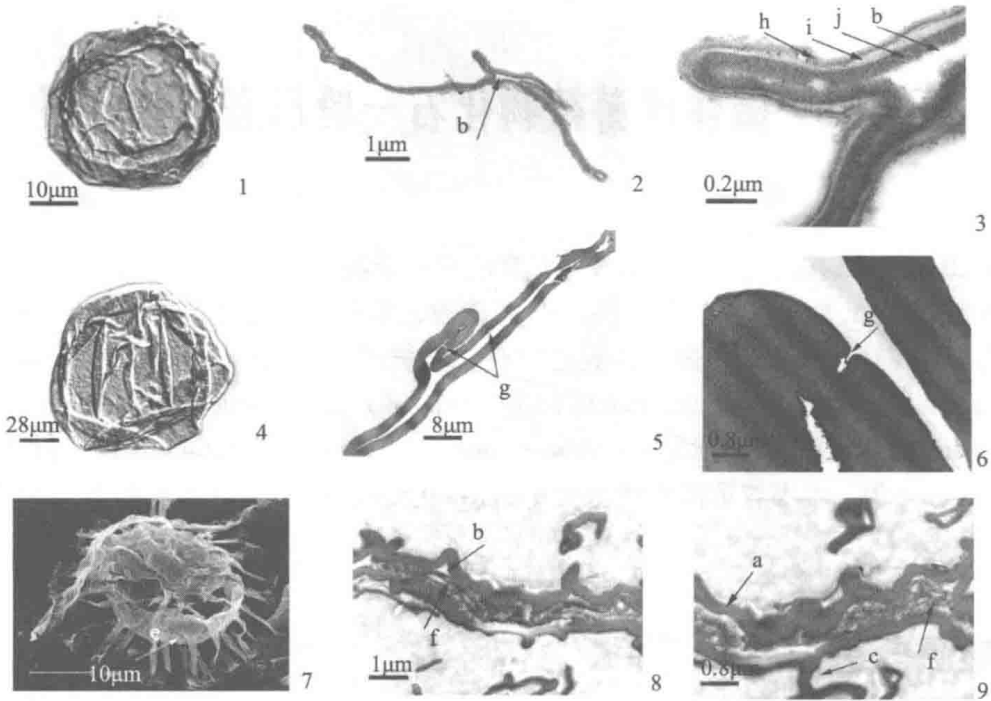


图 1.1 三个常见疑源类形态类型的壁结构电子显微镜图像
(图像及说明修改自 Talyzina & Moczyłowska (2000))

1—3. 光面球藻(未定种) (*Leiosphaeridia* sp.)。1. 标本的光学照相;2, 3. 标本经超薄切片后,在透射电子显微镜不同倍数下显示膜壳壁及壁的多层结构。图中“b”为内腔,“h”为外层,“i”为浅色、电子稀薄的中间层,“j”为暗色、电子致密、均匀的内层。

4—6. 娇嫩塔斯曼利藻 (*Tasmanites tenellus* Volkova, 1968)。4. 标本的光学照相;5, 6. 标本经超薄切片后,在透射电子显微镜不同倍数下显示均匀、致密、暗色的电子壁层。图中“g”为穿过壁的孔道。

7—9. 压缩斯克阿棘藻 (*Skiagia compressa* (Volkova, 1968) Dowie, 1982)。7. 标本的扫描电子显微镜照相;8, 9. 标本经超薄切片后,在透射电子显微镜不同倍数下显示均匀、致密、暗色的电子壁层。图中“a”为膜壳壁电子致密层,“b”为内腔,“c”为突起,“f”为膜壳内部可能呈现颗粒状保存的细胞质体。

疑源类依据膜壳形状和突起在膜壳的分布情况,建立了 13 个形态亚类和 1 个未定 (uncertain) 亚类 (Downie *et al.*, 1963)。这 13 个形态亚类包括:

- ◆ 棘刺亚类 Acanthomorphytae
- ◆ 多角亚类 Polygonomorphytae
- ◆ 棱柱亚类 Prismaticomorphytae
- ◆ 对弧亚类 Diacromorphytae
- ◆ 蛋形亚类 Oömorphytae
- ◆ 舟形亚类 Netromorphytae
- ◆ 双棱亚类 Dinetromorphytae
- ◆ 冠形亚类 Stephanomorphytae
- ◆ 翼环亚类 Pteromorphytae
- ◆ 栅壁亚类 Herkomorphytae
- ◆ 扁体亚类 Platymorphytae
- ◆ 球形亚类 Sphaeromorphytae
- ◆ 套球亚类 Disphaeromorphytae

(二) 疑源类保存及研究方法

疑源类绝大多数是海生的浮游原生生物,它们通常保存在海相碳酸盐岩和细碎屑岩中。细碎屑岩是指粉砂级(粒径一般在 0.1mm 以下)的页岩、粉砂岩、泥岩等,它们通常形成于较深的水沉积环境。在沉积和固结成岩过程中死亡、埋藏的具有有机质壁的浮游生物,一般没有受到矿物重结晶或组合的直接破坏,加之细碎屑岩的沉积和形成环境相对其他岩石类别更为宽广,更少受各种地球化学条件的约束或限制,因此,细碎屑岩是埋藏和保存浮游原生生物最多的岩石类别。

沉积形成的硅质层、燧石结核、磷块岩等也保存了丰富的浮游原生生物化石标本。此外,在中—轻度沉积变质岩,如常见的千枚岩、板岩,甚或大理岩,也可观察和收集到它们的遗迹。

迄今,收集疑源类化石标本最适用的方法,依然是常规的孢粉化石分析处理方法,即应用盐酸、氢氟酸溶解去除岩石样品中的钙质、硅质胶结物,从不易溶解于酸的有机质残留物中,应用比重差异的重液或不同孔径尼龙编织的“筛绢”进行分选和收集。此种方法几乎适用于从所有沉积岩和中—轻度变质岩收集疑源类化石标本。应用上述方法收集的化石标本,由于历经埋藏、成岩过程中的细菌分解、外力挤压、热熏烤和氧化—还原作用,一般为扁平状,且呈现不同程度的“热成熟”,反映出从浅色,逐渐深色,乃至黑色,直至石墨化的变化。另外,在氢离子浓度高的还原环境,常有铁的氢化物,即呈立方晶体形或聚合生成含多个晶体或非晶形的霉球状黄铁矿;在如此沉积环境保存的疑源类化石标本,由于经受了黄铁矿的挤压及嗜硫细菌的分解,它们的膜壳壁上常留下次生形成的,大小和分布不规则的,多边形、近圆形的压迹或孔洞(图 1.2)。

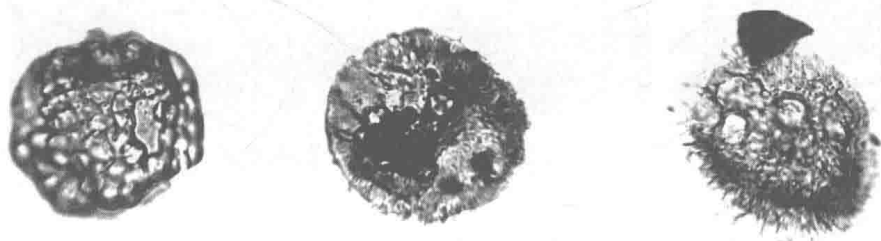


图 1.2 疑源类标本的膜壳壁显示被黄铁矿挤压留下的多边形孔洞

从硅质层或燧石结核中观察、收集渗透矿化的疑源类及其他浮游生物标本,通常采用的方法是在光学显微镜下辨识它们在岩石不同厚度的切、磨薄片中所保存和呈现的二维或三维形态结构。疑源类多数有封闭的膜壳,膜壳内外的硅质矿物明显不同;在偏光显微镜下观察,膜壳外围绕的是自形、半自形石英结晶,膜壳内则是呈现波状消光的玉髓等硅质慢结晶矿物(图 1.3)。

另外,对碳酸盐岩、黑色页岩和硅质燧石等的小粒样品或岩石薄片,可预先用少量稀释盐酸或氢氟酸刻蚀、清洗、干燥后,放在扫描电子显微镜下观察和照相,从中获取通常在光学显微镜下难以观察和捕捉到的微米级,乃至纳米级保存的“超微小化石”(图 1.4)。

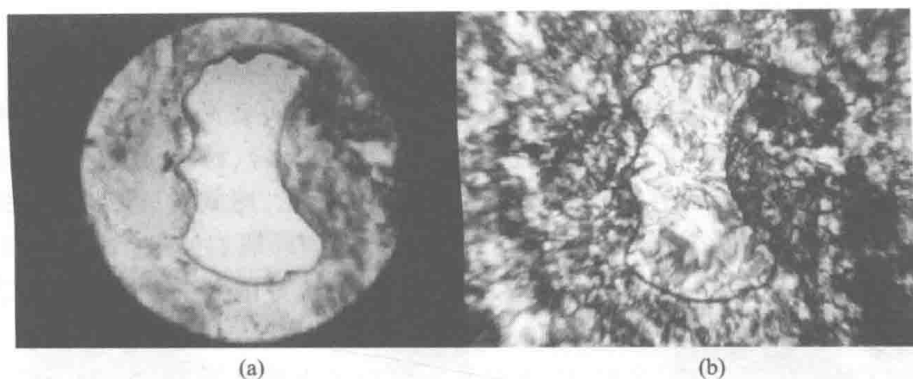


图 1.3 原位保存在埃迪卡拉系陡山沱组燧石中的大型疑源类化石标本。在偏光显微镜下观察(b), 疑源类膜壳外被自形、半自形石英结晶围绕, 膜壳内具有呈现波状消光的玉髓矿物

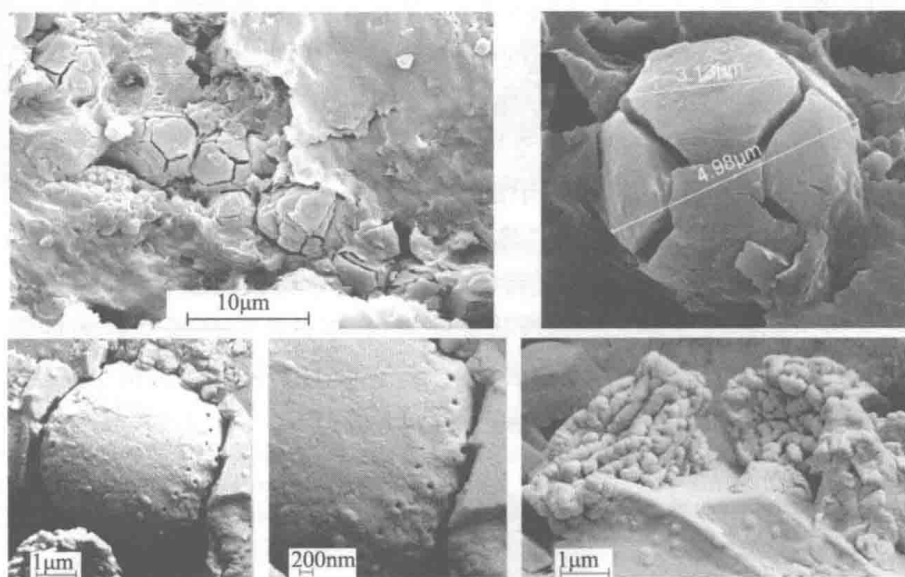


图 1.4 从湖北宜昌地区埃迪卡拉系陡山沱组二段黑色页岩发现、收集的超微小化石和有机质结构物 (引自 Borjigin *et al.*, 2014)

此外,对碎屑岩酸泡溶解后的残留有机物应用光学显微镜或电子显微镜仔细观察,有时能获得意想不到的微体生物遗迹。这可为探寻和收集早期生命化石遗迹提供有意义的补充资料(图 1.5)。

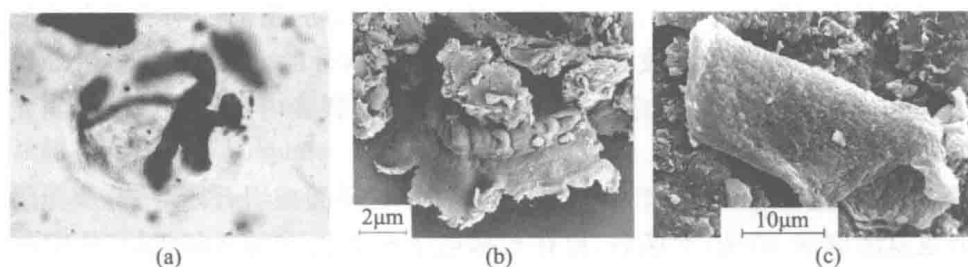


图 1.5 丝状藻类和可疑的生物化石碎片。(a) 保存在山西永济地区中元古界汝阳群北大尖组页岩的球形石英颗粒中的丝状藻类化石;(b),(c) 从湖北宜昌地区埃迪卡拉系陡山沱组二段黑色页岩提取的可疑的生物化石碎片

二、蓝菌(Cyanobacteria)

蓝菌作为行光合作用的原核生物,其大多数皆是光照环境的类型。它们是地球上数量最多的生物。据保守估计,它们的全球生物量可折合成 3×10^{14} g 有机碳,或 10 亿吨 (1×10^{15} g) 湿生物质(Garcia-Pichel *et al.*, 2003)。蓝菌是行含氧光营养的原核微生物,形态多样,单细胞或多细胞(数个细胞以细胞质彼此连接),单个或群体,球形的或丝状的,还有形态特异类型。它们的基本能量来源于色素的光合作用。如同许多其他原核生物,蓝菌也是以拟有性过程为特征,即通过细胞间遗传物质的部分交换来繁殖(Kumar, 1985; Wasser, 1989)。

当前,蓝菌划归为两个分类单元,即球子亚目(Cocconeae)和段殖体类(Hormogoneae)。

(一) 蓝菌简介

(1) 色球藻纲(Chroococcophyceae)

本纲包括简单球形、椭圆形的,有时类型较复杂的单细胞蓝菌,其细胞裸体有单层至多层衣鞘,它们以单个或群体出现。它们以细胞有序或无序分裂的生殖方式,生成外孢子(exospores)或内生孢子(endospores)。按系统分类,该纲包括 3 个目、5 个科,现简单介绍如下。

- 色球藻目(Chroococcales)

- 色球藻科(Chroococcaceae)

由单个或多个细胞构成的多种形态的蓝菌,无衣鞘或具有单层至多层衣鞘。

- 石囊藻科(Entophysalidaceae)

主要是由群体构成的蓝菌。它们与色球藻科分子水平上的区别,在于细胞的极性生长以及由嵌入在黏液中的不动孢子构成的四集藻型群体。

- 管孢藻目(Chamaesiphonales)

由单细胞组成或外生孢子附着产生的群体类型。

- 宽球藻目(Pleurocapsales)

- 皮果藻科(Dermocarpaceae)

本科分子常被划归入管孢藻目,其特点是群体中细胞的大小和形态很少变化,大多数类型附着基质,包括用途特殊的小杆。

- 宽球藻科(Pleurocapsaceae)

其特征是由多个细胞构成的、复杂而易于区分的群体,其中细胞平行排列,且通常在侧部有假丝状排列和叉状分枝的衍生物,而细胞的平面分裂变化偶尔也造成衍生物。在 2 个或者 3 个平面的细胞分裂过程中,可形成包裹在假薄壁组织内的三维细胞聚集体或“外壳”。

- 蓝枝藻科(Hyellaceae)

该科分子也包含形态分化的假丝状群体,它们属于存在进入基质的石内类型。

(2) 段殖体类(Hormogoneae)

- 颤藻目(Oscillatoriales)

由同样类型的细胞(形态和功能没有分化)构成的 homocytic 藻丝,但在其中间、基端

和末端细胞可见微弱分化,而末端细胞常转化为“根冠”。在包被鞘内,可以有单根藻丝或少数多根藻丝;没有包被鞘的藻丝可扭曲呈圆柱形螺旋;以连锁体和无性生殖细胞方式进行繁殖。颤藻目可划分为几个不同的科,但所有种类可认为都在颤藻科的界线之内。

- 念珠藻目(Nostocales)

- 念珠藻科(Nostocaceae)

没有分叉的丝体,有或没有包被鞘,单根或群体。有时嵌入共同黏质物,或者具有球形群体的外包被;藻丝体对称,单极。异形胞和厚壁孢子位于中间部位或在末端。

- 伪枝藻科(Scytonemataceae)

具有包被鞘的联合丝体,显示假分枝,单根或形成群体。藻丝体相当对称,而具有生长顶端分生组织带的末端部分些许凸出于包被鞘之外。异形胞位于中间部位。

- 胶须藻科(Rivulariaceae)

分叉或不分叉的丝体,有或没有包被鞘围绕藻丝,单根或群体。藻丝不对称,异极,狭窄地朝向顶端,经常终结为末端毛发。厚壁孢子位于中间部位或在基端。

- 真枝藻目(Stigonematales)

- 鞭枝藻科(Mastigocladaceae)

具有“V”字形(环圈样)分叉的丝体,且异形形态强烈。

- 拟珠藻科(Nostochopsidaceae)

具有“T”字形分叉的丝体,分叉是中间部位细胞的侧面简单膨胀的结果。

- 真枝藻科(Stigonemataceae)

具有正常二歧“Y”字形分叉的丝体,且有最强烈的形态异化的藻丝。

(二) 蓝菌化石记录概要

已知生物化石记录表明,最古老的蓝菌样遗迹发现于 35 亿~32 亿年前的叠层石,它们可能行产氧的光合作用。当前关于蓝菌和产氧光合作用的起始时间仍没有定论。正如 Schopf(2012)所概括的,尽管从老于 20 亿年的沉积地层获得了有细胞保存的微生物遗迹,但由于化石记录稀缺或不完整,致使不同微生物世系的历史进程难以解释清楚(图 1.6—图 1.8)。

目前从叠层石、燧石中获得的蓝菌化石类型,基于与现生蓝菌的形态学对比,主要涉及段殖体形式的颤藻类、念珠藻类,以及球形细胞的色球藻类、石囊藻类和宽球藻类。

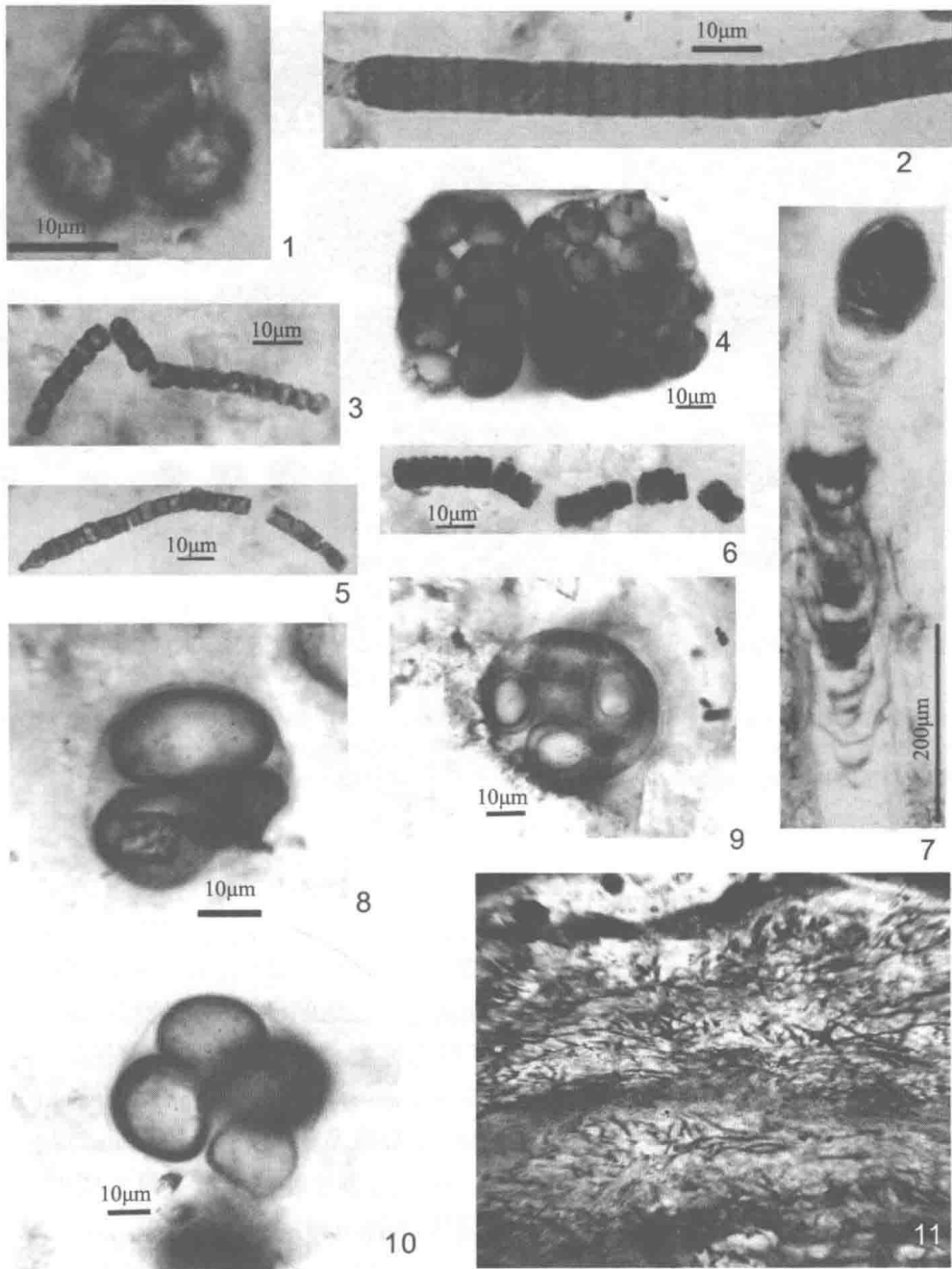


图 1.6 蓝菌化石择选标本(1—7 化石图像引自 Schopf, 2000;8—11 化石图像引自 Yin, 1990b)

1,4,8,9,10. 化石色球藻类的蓝菌。1. 显示被衣鞘包裹 4 个细胞的群体, 标本来自澳大利亚中部约 8 亿年前的苦泉组叠层石燧石;4. 包裹许多细胞的化石色球藻类群体, 标本来自俄罗斯西伯利亚约 10 亿年前的 Sukhaya Tunguska 组叠层石燧石;8,9,10. 宿县古粘球藻 (*Gloeodiniopsis suxianensis*), 标本来自安徽宿县青铜山上元古界倪园组。2,5,6. 化石颤藻类蓝菌。2. 乳头头丝藻 (*Cephalophytarion laticellulosum*), 标本来自澳大利亚中部约 8 亿年前的苦泉组叠层石燧石; 5. 悦目颤藻 (*Oscillatoria amoena*), 标本来自澳大利亚中部约 8 亿年前的苦泉组叠层石燧石; 6. 短凸丝状蓝藻 (*Oscillatoriopsis breviconvexa*), 标本来自澳大利亚中部约 8 亿年前的苦泉组叠层石燧石。3. 愉悦古念珠藻 (*Veteronostocale amoenum*), 标本来自澳大利亚中部约 8 亿年前的苦泉组叠层石燧石。7. 具“柄”形的宽球藻类蓝菌群体 *Polybessurus bipartitus*, 标本来自澳大利亚南部约 7.75 亿年前的 River Wake Field 组叠层石燧石。11. 丝状蓝菌构成的“藻席”(图像放大 450 倍)。

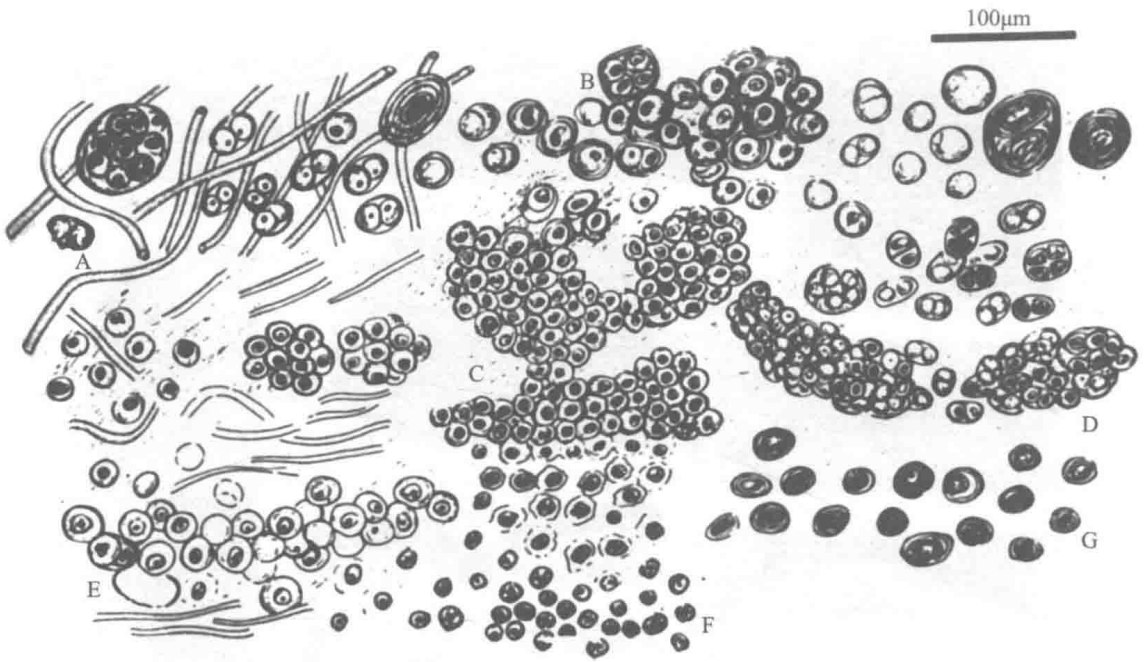


图 1.7 管鞘藻 (*Siphonophycus*) 和 *Gloeodiniopsis lamellosa* 蓝菌群落的不同降解阶段的状态
(引自 Sergeev *et al.*, 2012)

A—B. 显示管鞘藻的衣鞘和 *Gloeodiniopsis lamellosa* 的膜壳有微弱变化; C—E. 中等改变形成类似“假四集藻”型的原始石囊藻 (*Eoentophysalis*) 状的微体化石 (如 C 所示) 或假丝状的古宽球藻 (*Palaeopleurocapsa*) 样的集合体 (如 D, E 所示); F—G. 高度变化的膜壳, 以至仅中央部分幸存类似 *Glenobotrydion* 状 (如 F 所示) 或 *Globophycus* 样 (如 G 所示) 的集合体。

三、隐孢子 (Cryptospores)

早在 20 世纪 70 年代, 人们就注意到, 陆生植物的最早期化石记录是来自分散保存的微小孢子 (Gray and Boucot, 1971)。多年来, 陆续从世界各地的早古生代地层收集、报道了与稍晚地质时期出现的陆生孢子可比较的孢子状形态类型。它们没有明显可视的三缝线痕, 通常以二分体 (dyad)、四分体 (tetrad) 出现。Richardson *et al.* (1984) 和 Richardson (1988) 将“隐孢子” (Cryptospores) 定义为“由永久四分体、二分体及无痕单孢体 (monad) (包括从二分体分开的孢子) 构成的非海相孢子形态物”。在我国多处晚奥陶世—早志留世的全球界线地层剖面也有陆生隐孢子的发现和报道 (李军和王怿, 1997; Yin and He, 2000)。由于迄今缺乏母体植物的直接化石证据, 依据孢子形态学和与之一起保存的孢子囊化石, 当前最广为人们所接受的说法是陆生隐孢子 (即有胚植物遗迹) 最早出现于中奥陶世早期。但是, 自 21 世纪初以来, 相继从美国西部和北部以及我国贵州等地的更古老的早—中寒武世地层收集到了“隐孢子”化石 (Strother *et al.*, 2004; Yin *et al.*, 2012)。它们虽然没有如同中—晚奥陶世四分体隐孢子那样清晰的几何排列和可信的孢子囊化石证据, 但同样呈现为二分体、四分体和无痕单孢体。对它们的膜壳壁超微结构的研究表明, 它们显示的多层壁特征与较晚地质时期陆生孢子壁的多层结构相似。尽管对它们的生物亲缘关系仍存有争议, 但无可置疑的是, 它们区别于藻类细胞的是具有更为坚实的可抵御外界环境变化的壁。它们很可能代表从绿藻衍生的隐花植物的孢子 (Taylor and Strother, 2008)。最近, Strother (2016) 依据从美国田纳西州寒武系第二统页岩获得的完好标本, 详细描述和确立了寒武纪隐孢子的 3 个形态属, 5 个形态种 (图 1.9—图 1.11)。

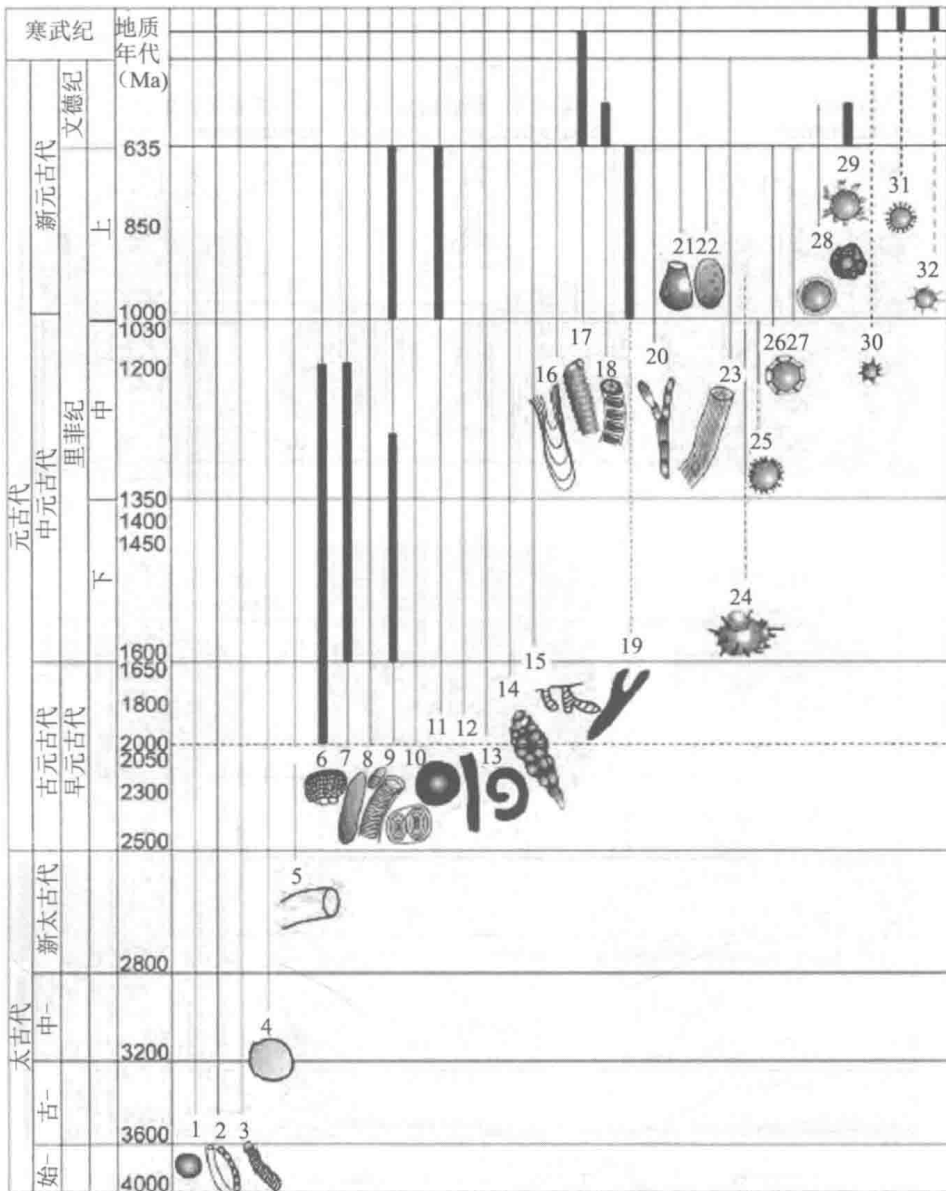


图 1.8 太古代和元古代蓝菌以及其他重要微体化石类型(修改自 Sergeev *et al.*, 2012)

1. 小于 $10\mu\text{m}$ 的单个球形化石; 2. 直径小于 $10\mu\text{m}$ 的丝状微体化石; 3. 直径大于 $10\mu\text{m}$ 的细胞列或藻丝状化石;
4. 含致密体或无内含物的球形微体化石,可能是色球藻类蓝菌遗迹; 5. 直径大于 $35\mu\text{m}$ 、无隔壁的丝状体,可能是蓝菌颤藻类的管状衣鞘; 6. 蓝菌石囊藻的遗迹(如同 *Eoentophysalis*); 7. 蓝菌(*Archaeoellipsoides*)的厚壁孢子; 8. 椭圆形色球藻类 *Synechococcus* 样的单细胞蓝菌; 9. 蓝菌的藻丝或丝体; 10. 单细胞球形藻类 *Gloeocapsa* 状的蓝菌(*Gloeodiniopsis*); 11. 大的 *Chuarina* 样的球形微体化石; 12. 大的带状类型(*Tawuia*); 13. 宏观螺旋状微体化石(*Grypania*); 14. 宽球藻类蓝菌(*Palaeopleurocapsa* 和其他属); 15. 石内蓝菌(*Eohyella* 和其他属); 16. 茎状蓝菌(*Polybessurus*); 17. 螺旋柱状蓝菌(*Obruchevella*); 18. 红藻(*Bangioporpha*, *Wengania*, *Thallophyca* 及其他属); 19. 亲缘关系不明的分叉丝状体(*Ulophyton*, *Majaphyton*), 可能是真核藻类的蓝藻细菌,或是红藻、绿藻; 20. 管枝藻类绿藻(*Proterocladus*)的丝体; 21. 真核瓶形微体生物(*Melanocytrillium* 和其他属); 22. 与现生具有硅酸质鳞的金藻(*Characodictyon*, *Paleohexadictyon* 及其他属)可比较的具鳞微体化石; 23. 蓝菌的藻丝,或是绿藻(*Polysphaeroides*)的丝体; 24. 塔潘藻(*Tappania*); 25. 水幽沟藻(*Shuiyousphaeridium*); 26. 粗刺球藻(*Trachyhystrichosphaera*); 27. 波纹球藻(*Cymatiosphaeroides*); 28. 瓦丹罗球藻(*Vandalosphaeridium*); 29. 埃迪卡拉复杂具刺疑源类(*Alicesphaeridium*, *Appendisphaera*, *Tianzhushania*, *Cavasina*, *Papillomembrana*, *Tanarium* 及其他形态属); 30. 小刺藻(*Michrystidium*); 31. 斯卡奇藻(*Skiagia*); 32. 波罗的海藻(*Baltisphaeridium*)。

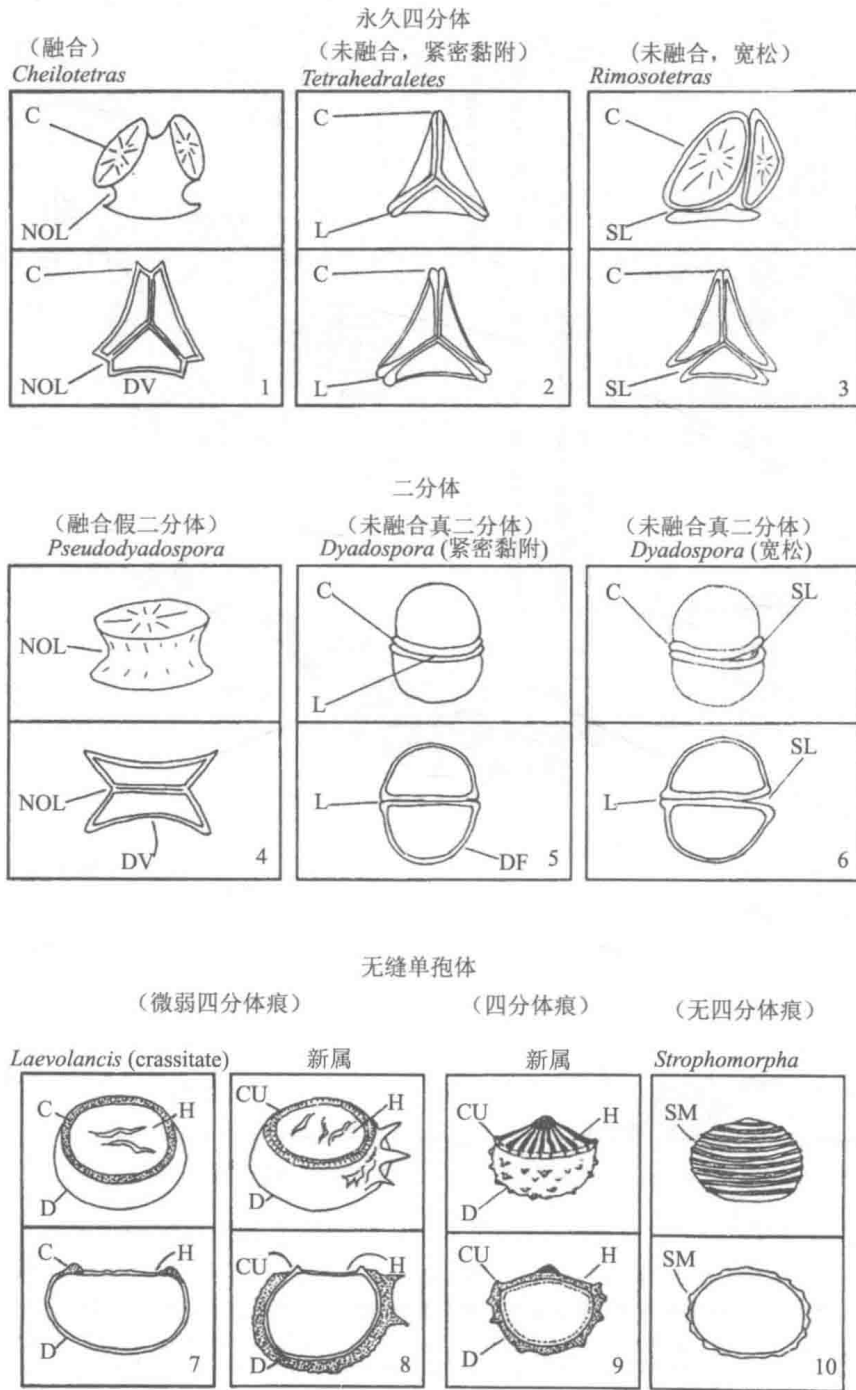


图 1.9 隐孢子形态特征示意(修改自 Richardson, 1996)

NOL 没有连接线; L. 连接线(参照 Wellman and Richardson, 1993); C. 赤道部位加厚程度; CU. 弯曲加厚; D. 远侧面; DF. 远侧膨出; DV. 远侧收进; H. 脐凹; SL. 沿连接线分开; SM. 螺旋幕黎纹饰。

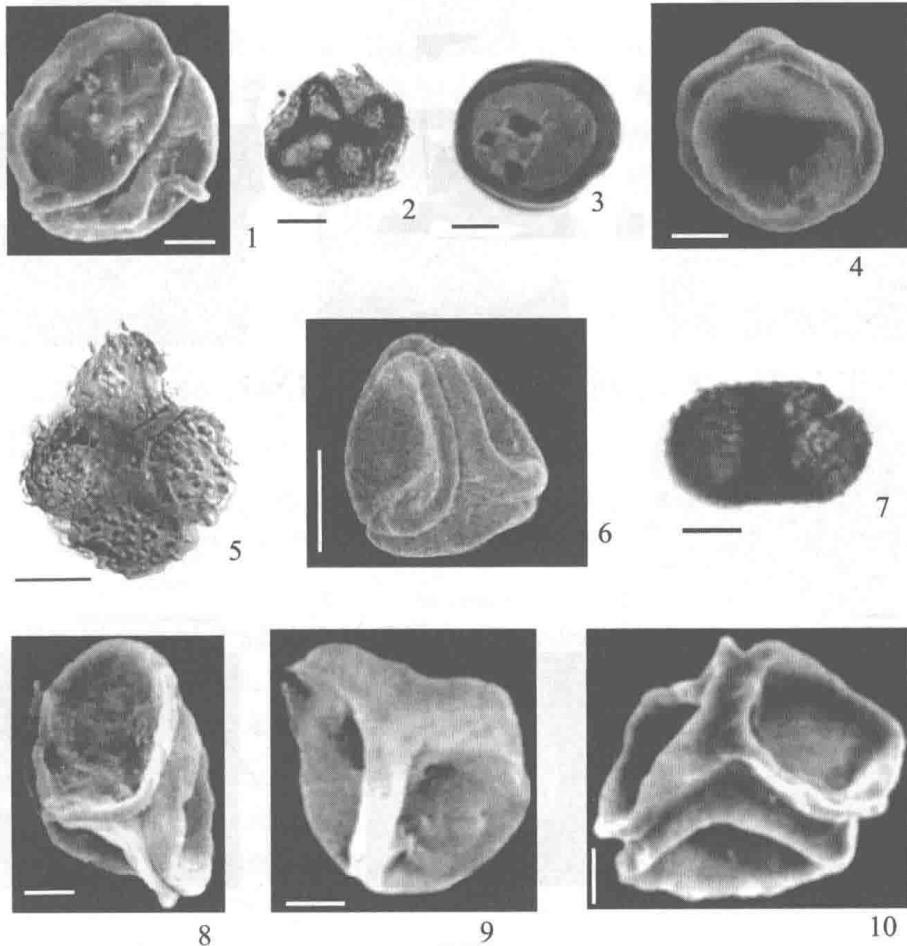


图 1.10 志留纪、泥盆纪隐孢子择选标本(引自 Richardson, 1996)

1. *Rimosotetras problematica*, 产自苏格兰志留世 Sheinwoodian 地层。
 2. *Tetrahedraletes medinensis*, 产自苏格兰志留世 Sheinwoodian 地层。
 3. *Cheilotetras caledonica*, 产自苏格兰志留世 Sheinwoodian 地层。
 4. *Dyadospora murusdensa*, 产自苏格兰志留世 Homerian 晚期地层。
 5. *Velutitetras rugulata*, 产自威尔士西南部志留世 Rhuddanian 和 Llandovery 地层。
 6. *Lanvolancis divellomedia*, 产自利比亚志留世 Ludfordian 晚期地层。
 7. *Lanvolancis divellomedia*, 产自苏格兰志留世 Sheinwoodian 地层。
 8. *Tetrahedraletes medinensis*, 产自英格兰泥盆世 Gedinnian 早期地层。
 9. *Segestrespora membranifera*, 产自威尔士西南部志留世 Rhuddanian 和 Llandovery 地层。
 10. *Tetraletes valiabilis*, 产自利比亚志留世 Ludfordian 晚期地层。
- 注: 化石标本图像中线段比例尺 = 10 μ m。