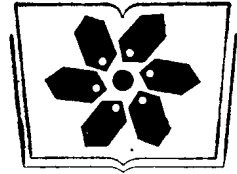


古植物学

化石植物生物学导论

〔美〕T. N. 泰勒 著

科学出版社



中国科学院科学出版基金资助项目

古植物学

化石植物生物学导论

〔美〕 T. N. 泰勒 著

梅美棠 杜贤铭 李中明 译

朱家楠 梁尧勋 曹瑞骥 校

科学出版社

1992

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书是著名美国古植物学家 T. N. 泰勒80年代的古植物学新著。著者收集并总结了本世纪以来的古植物学研究成果、70年代以来的新发现、新材料以及新方法,对古植物进行了系统分类,详细阐述了维管植物的发生与发展,从比较形态学的角度研究了从菌藻植物到高等被子植物进化的一些重要环节。通过对大量各种分散保存的叶、茎干、孢子、花粉以及种子等化石的研究比较,重建各类古代植物生活的基本面貌,对植物界的进化提出了许多翔实、具启发性的新见解。书中附大量图片,可以说是体现了80年代古植物学最新研究成果的专著。

本书可作为大学本科生物学、地质学及跨学科有关专业的教材或主要参考书,也是生物、地质、石油、煤炭等方面的教授、学者、研究人员及野外工作者的重要参考用书。

Thomas N. Taylor
PALEOBOTANY
An Introduction to Fossil Plant Biology
McGraw-Hill Book Company
New York · St. Louis · San Francisco *et al.*

古 植 物 学

化石植物生物学导论

[美] T. N. 泰勒 著

梅美棠 杜贤铭 李中明 译

朱家楠 梁尧勋 曹瑞骥 校

责任编辑 张汝玫

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1992年7月第一版 开本:787×1092 1/16
1992年7月第一次印刷 印张:29 1/2
印数:0001—500 字数:658 000

ISBN 7-03-002130-4/Q · 295

定价: 29.70 元

致中国读者

亲爱的中国古植物学家们：

见到我的《古植物学——化石植物生物学导论》一书译成中文，感到由衷的高兴。这样，将会有更多优秀而杰出的中国同行接触到此书。鉴于全世界各个地质时代都不断有新发现，所以化石植物研究已成为一门迅速发展的学科。在此，尤应重视的是研究化石植物的新技术和古植物学家们从他们所研究的化石中汲取信息的种种新方法。我常告诫我的学生，作为古植物学家必须善于从大量的化石中找出获取信息的新方法，也只有这样的人才能不断地解答有关化石植物的新问题。我们从事化石植物研究的人，必须始终如一地把所研究的化石看作曾是富有生命力的机体，是不同程度地相互作用的更大生态系统的的一个组成部分。

本书所及大部分是采自欧美区系的有形态和结构的古生代植物。因为其中有许多保存有解剖结构，可用作研究化石植物生物学的材料。本书涉及化石植物的很多方面，其中如组织和器官的发育，生殖生物学，器官的进化以及植物的大系统等内容仅是一部分。

没有一本古植物书能包罗万象地满足所有研究者的需要。但我希望你们将从本书获得有关某些植物化石的新信息，虽然你们可能不太熟悉这些化石植物，然而这些信息可能有助于中国的古植物学研究。

我衷心感谢中国矿业大学研究生部梅美棠教授及北京自然博物馆杜贤铭副研究员及中国科学院植物研究所古植物学博士李中明先生为本书翻译付出的劳动。我期待着来自中国同行的消息，并希望在今后的工作中建立新的友谊。

T. N. 泰勒

1990年10月16日

译 者 的 话

从植物生物学的角度研究化石植物,并重建植物界发生和发展的历史,是一个迷人的课题,但是在我国已出版的古植物学专著教科书中,这一课题还很少涉猎。

近 20 年来,随着新技术(如扫描电镜、透射电镜以及激光热解等)在生物学科中的应用,地质学家们已愈来愈不满足于对古植物的形态描述;与此同时,活跃的古植物学者大量涌现,古植物学的知识也进一步普及。T. N. 泰勒的《古植物学——化石植物生物学导论》一书应运而生,这是一本重建植物进化史的好教材,它从比较形态学的角度研究了植物进化的一些重要环节;通过对大量古植物的各种分散保存的器官,如叶、茎干、孢子、花粉以及种子等,近似地恢复了古植物在生长时的基本面貌。正象序言中所说:“新技术和广博的知识相结合导致古植物学家今天不再把生物化石看成是静止的痕迹或古代植物煤化的残骸,而是昔日曾生机盎然、多姿多态的有机体”。可以想象,这一角度的强调必将给本门学科带来新的发展。因此,本书可以说是一本对植物学、古植物学、地质学等学科都具价值的跨学科参考书。这也是我们愿将此书译出而奉献给读者的兴趣所在。

作者在序言中写道:“本书为生物学系高年级大学生和研究生使用,同时亦适用于主修地质学且植物学基础较薄弱的学生”。我们认为这一目的同样适合于我国的读者。

我们翻译这本书,由于过去没有这方面的译著可作借鉴,而且作者在写作过程中,使用了不少新名词(包括相当多的属、种名称)、新术语,这些在国内尚无规范,我们把它们翻译出来,也仅是一种尝试;尽管我们在工作过程中,作了很大的努力,但由于水平所限,不当之处在所难免,还希望广大读者及同行们多加指正。此外,凡发现原书有个别错误(包括印刷错误)的地方,我们已加以校正,在正文中就不一一说明了。

翻译过程中,我们大致分工如下:梅美棠负责序言、第一至五章、十八章及附录一、二;杜贤铭负责第十一至十七章;李中明负责第六至十章及词汇说明,该书的翻译工作始于 1983 年。朱家柁、梁尧勋、曹瑞骥等同志为本书作了认真的校订。北京大学梁家骥教授对我们的工作给予了热情的支持和指导,科学出版社、出版基金委员会以及科学出版社第三编辑室对本书的翻译出版给予的极大支持,在此一并致谢。

特别要提出的是本书作者 T. N. 泰勒教授对这本书的翻译工作给予了热情的支持。

译者

1991年1月

序 言

古植物学家所研究的材料虽然古老，但古植物学科正在急剧地发生变化。一些新发现不仅影响到全部化石生物的研究，而且也涉及到现代生物学的许多领域。总之，促使学科的进展有两个主要的原因：首先是在古植物研究中新技术的运用和结合。如扫描电镜和透射电镜方法、激光热解、计算机辅助模拟、电子探针分析、统计学和地球化学等方法的应用，但这些方法只不过是用于解决古植物学领域一些问题的少数几种当代生物学技术。其次更为重要的原因是，今天从事这个领域的古植物学家受到较为广泛的生物学和地质学的训练，这种训练不仅包含植物学和地质学的基本原理，而且还涉及到生物科学中的其它许多领域。新技术和广博的知识相结合导致古植物学家今天不再把生物化石看成是静止的痕迹或古代植物煤化的残骸，而是昔日生机盎然、多姿多态的有机体。这种着眼于整体植物古生物学的研究方法，将为解决古植物研究中可能遇到的许多问题提供更多的帮助。

孢粉学正在迅速扩大并发展成为古植物学的一个分支，从而将孢子和花粉的研究与古植物学联系起来。传统研究化石孢子和花粉的方法主要有两种：一种是把孢粉作为标准化石，以便建立一种方法，来确定含孢粉沉积岩的相对地层层位；另一种是本书主要应用的方法，即把孢粉作为生物生活史的一个组成部分。虽然考虑了孢粉的地层价值，但首先强调的还是从整体植物学的角度来分析这些孢粉本身。

本书打算作为生物学系高年级大学生和研究生使用，同时亦适用于主修地质学且植物学基础较薄弱的学生，为此，本书在各大类植物的介绍中增加了相当数量现代植物的资料。此外，还有一章专门介绍现代植物的基本构造和形态特征。我希望非专业的植物学爱好者，可以利用这些知识作为指南，从教科书和有关的参考书中去寻找补充资料。为了进一步帮助其他学者，本书还提供了一个综合性的词汇表。

本书的章节排列顺序可认为是一个传统的植物分类系统。在题材上作者力求与古植物学所有领域和植物主要类群的详细论述做到合理的平衡。近年来，由于对最早的生命形式的研究取得了许多进展，故有一章专门论述前寒武纪有机体的生物学。有关植物进化过程的讨论，由于作者已提供了一些实际的个体植物的材料，这样，对于进化的概念和观点，才能正确评价。此外，对化石植物的某些生物学特征(如发育、繁殖和生态)也进行了尝试性的讨论。

作者力图使本教科书参考文献的数量减少到最低限度，避免读者常常为参考书和分类的引证所打断，而这些现象，却常见于同类书籍之中。本书的文献按章排列，在大多数情况下，还按各章的分类等级再细分编排。希望这样的安排，能使读者易于获得有关学科的补充资料或找到某个专题的原始参考资料。

因为化石是唯一可以说明某种植物或植物器官的确实存在，所以，对古植物学科来说，照片特别重要。为此，向我的同事们表示谢意，他们慷慨地提供材料并允许我拍摄他们采集的标本。他们对古植物的钻研，给了我很大的鼓舞。在讨论当前的研究思想及对

一些章节的审阅上都给我以热诚的帮助,现谨向他们致衷心的感谢(人名从略——译者)。

我特别感谢我的学生 Edith L. Smoot 和我的同事 Michael A. Millay, 他们自始至终为本书提供了许多宝贵的建议和帮助。本书的许多写作计划,是与 Ted Delevoryas 共同研究完成的。他不仅是我研究古植物学的启蒙老师,而且还以他的友谊和对古植物学研究的贡献继续作为鼓舞我的力量。

更要感激我的妻子 Judith 和孩子们的热心支持,他们十分理解并常常容忍我为这本“不受欢迎”的书连续工作。

T. N. 泰勒

目 录

| | | |
|--------------------------------|----------|-----|
| 致中国读者 | T. N. 泰勒 | i |
| 译者的话 | | ii |
| 序言 | | iii |
| 第一章 绪言 | | 1 |
| 一、植物化石怎样形成和如何研究 | | 1 |
| 二、古植物学的研究对象 | | 11 |
| 三、放射性测定年龄和地质时代 | | 13 |
| 四、生物对比 | | 14 |
| 五、植物的分类 | | 15 |
| 六、目一级的分类 | | 18 |
| 第二章 前寒武纪生物学 | | 20 |
| 第三章 真菌和细菌 | | 27 |
| 一、真菌 (Fungi) | | 27 |
| 二、细菌 (Bacteria) | | 35 |
| 第四章 藻类和地衣 | | 37 |
| 一、蓝藻门 (CYANOCHLORONTA) | | 37 |
| 二、绿藻门 (CHLOROPHYCOPHYTA) | | 39 |
| 三、金藻门 (CHRYSOPHYCOPHYTA) | | 44 |
| 四、红藻门 (RHODOPHYCOPHYTA) | | 44 |
| 五、褐藻门 (PHAEOPHYCOPHYTA) | | 46 |
| 六、甲藻门 (PYRRHOPHYCOPHYTA) | | 48 |
| 七、地衣 (LICHENS) | | 49 |
| 第五章 苔藓植物 | | 51 |
| 第六章 维管植物的演化 | | 56 |
| 一、维管植物的起源 | | 56 |
| 二、维管植物结构入门 | | 59 |
| 第七章 早期维管植物 | | 67 |
| 一、莱尼蕨门 (RHYNIOPHYTA) | | 69 |
| 二、工蕨门 (ZOSTEROPHYLLOPHYTA) | | 75 |
| 三、三枝蕨门 (TRIMEROPHYTOPHYTA) | | 79 |
| 四、早期陆地植物的进化 | | 83 |
| 第八章 石松植物门 | | 87 |
| 一、原始鳞木目 (PROTOLEPIDODENDRALES) | | 88 |
| 二、鳞木目 (LEPIDODENDRALES) | | 94 |

| | |
|-------------------------------------|-----|
| 三、石松目 (LYCOPODIALES) | 115 |
| 四、卷柏目 (SELAGINELLALES) | 117 |
| 五、肋木目 (PLEUROMEIALES) | 119 |
| 六、水韭目 (ISOETALES) | 122 |
| 七、小结 | 122 |
| 第九章 楔叶植物门 | 126 |
| 一、羽歧叶目 (PSEUDOBORNIALES) | 126 |
| 二、楔叶目 (SPHENOPHYLLALES) | 127 |
| 三、木贼目 (EQUISETALES) | 132 |
| 四、小结 | 145 |
| 第十章 真蕨植物门 | 147 |
| 一、枝木纲 (CLADOXYLOPSIDA) | 148 |
| 二、羽裂蕨纲 (RHACOPHYTOPSIDA) | 156 |
| 三、结合蕨纲 (COENOPTERIDOPSIDA) | 159 |
| (一) 十字蕨目 (STAUROPTERIDALES) | 160 |
| (二) 轮蕨目 (ZYGOPTERIDALES) | 161 |
| (三) 小结 | 168 |
| 四、真蕨纲 (FILICOPSIDA) | 168 |
| (一) 观音座莲目 (MARATTIALES) | 168 |
| (二) 瓶尔小草目 (OPHIOGLOSSALES) | 177 |
| (三) 真蕨目 (FILICALES) | 178 |
| 1. 群囊蕨科 (Botryopteridaceae) | 178 |
| 2. 回卷蕨科 (Anachoropteridaceae) | 182 |
| 3. Sermayaceae 科 | 184 |
| 4. 锚蕨科 (Tedeleaceae) | 186 |
| 5. 紫萁科 (Osmundaceae) | 188 |
| 6. 海金砂科 (Schizaeaceae) | 192 |
| 7. 里白科 (Gleicheniaceae) | 193 |
| 8. 蚌壳蕨科 (Dicksoniaceae) | 193 |
| 9. 桫欏科 (Cyatheaceae) | 194 |
| 10. 马通蕨科 (Matoniaceae) | 194 |
| 11. 水龙骨科 (Polypodiaceae) | 196 |
| 12. 登普斯基科 (Tempskyaceae) | 198 |
| (四) 蘋目 (MARSILEALES) | 199 |
| (五) 槐叶蘋目 (SALVINIALES) | 200 |
| (六) 小结 | 201 |
| 第十一章 前裸子植物门 | 203 |
| 一、古羊齿目 (ARCHAEOPTERIDALES) | 203 |
| 二、戟枝木目 (ANEUROPHYTALES) | 207 |
| 三、原始髓蕨目 (PROTOPITYALES) | 211 |

| | |
|-----------------------------|-----|
| 四、小结 | 211 |
| 第十二章 种子特性的起源和进化 | 214 |
| 一、孢子同型和孢子异型 | 214 |
| 二、泥盆纪的种子 | 217 |
| 三、石炭纪的种子 | 219 |
| 四、珠被的进化 | 223 |
| 五、托斗的进化 | 224 |
| 六、古生代种子的胚 | 227 |
| 第十三章 种子蕨植物门 | 228 |
| 一、皱羊齿目 (LYGINOPTERIDALES) | 229 |
| 二、髓木目 (MEDULLOSALES) | 244 |
| 三、华丽木目 (CALLISTOPHYTALES) | 260 |
| 四、芦茎羊齿目 (CALAMOPITYALES) | 266 |
| 五、开通目 (CAYTONIALES) | 270 |
| 六、盔籽目 (CORYSTOSPERMALES) | 272 |
| 七、盾籽目 (PELTASPERMALES) | 274 |
| 八、舌羊齿目 (GLOSSOPTERIDALES) | 274 |
| 九、古生代的叶 | 281 |
| 第十四章 苏铁植物门和拟苏铁植物门 | 286 |
| 一、苏铁门 (CYCADOPHYTA) | 286 |
| 二、苏铁门和拟苏铁门的叶 | 292 |
| (一) 蕉羽叶目 (NILSSONIALES) | 294 |
| (二) 本内苏铁目 (BENNETTITALES) | 294 |
| 三、拟苏铁门 (CYCADEOIDOPHYTA) | 295 |
| (一) 拟苏铁科 (Cycadeoidaceae) | 295 |
| (二) 威廉森科 (Williamsoniaceae) | 299 |
| 四、小结 | 301 |
| 第十五章 银杏植物门 | 303 |
| 第十六章 有疑问的裸子植物 | 307 |
| 一、买麻藤目 (GNETALES) | 307 |
| 二、弗吉诺夫斯基目 (VOJNOVSKYALES) | 308 |
| 三、五柱木目 (PENTOXYLALES) | 309 |
| 第十七章 松柏植物门 | 312 |
| 一、科达纲 (CORDAITOPSIDA) | 312 |
| 二、松柏纲 (CONIFEROPSIDA) | 320 |
| (一) 伏脂杉目 (VOLTZIALES) | 320 |
| (二) 松柏目 (CONIFERALES) | 325 |
| 1. 巴利西松科 (Palissyaceae) | 325 |
| 2. 罗汉松科 (Podocarpaceae) | 326 |

| | |
|---------------------------------|------------|
| 3. 南洋杉科 (Araucariaceae) | 327 |
| 4. 柏科 (Cupressaceae) | 330 |
| 5. 杉科 (Taxodiaceae) | 332 |
| 6. 松科 (Pinaceae) | 335 |
| 7. 三尖杉科 (Cephalotaxaceae) | 338 |
| (三) 红豆杉目 (TAXALES) | 338 |
| (四) 中生代的针叶簇 | 339 |
| 第十八章 有花植物门 | 340 |
| 一、前白垩纪的“被子植物” | 341 |
| 二、早期的被子植物花粉 | 342 |
| 三、白垩纪被子植物的叶 | 343 |
| 四、白垩纪的叶和花粉 | 344 |
| 五、第三纪植物群 | 345 |
| 六、始新世的被子植物 | 348 |
| 七、起源地 | 351 |
| 八、前被子植物 | 353 |
| 九、古被子植物学的新进展 | 355 |
| 文献目录 | 367 |
| 词汇说明 | 419 |
| 附录一 地质年代表 | 423 |
| 附录二 孢粉学的基本术语 | 428 |
| 分类索引 | 429 |
| 名词及主要内容英汉对照索引 | 444 |
| 名词及主要内容汉英对照索引 | 454 |

第一章 绪 言

地球是一个巨大的墓地,岩石就是墓碑,埋葬在里面的死者在墓碑上写下它们自己的墓志铭(引自 Louis Agassiz)。

重现植物界历史的唯一方法是研究岩层中的化石植物,而古植物学正是研究化石植物的科学。古植物学家正在逐步综合植物界所发生过的巨大变化,以使我们了解当时的复杂情景。非古植物学者自然想了解化石植物产生在什么地方,它们是怎样形成的,到哪里去寻找它们以及采集之后又怎么办。

一、植物化石怎样形成和如何研究

实际上,植物以各种形式保存在地壳之中。在保存期间它们发生了各种物理、化学的变化。此外,不同的环境和沉积过程也会导致化石出现种种不同的保存形式。针对保存类型的不同,古植物学家必须采用不同的技术处理,以便从中提取信息。

化石植物几乎出现在地球的所有地区,除现代的火山岛外,哪里有沉积岩,哪里就有希望找到化石植物。沉积岩是由岩石的颗粒经堆积作用而成,而那些颗粒则是母岩经风化和机械磨蚀所产生。岩石也可以因化学风化而碎裂成为更小的颗粒。此时岩石中的矿物质溶解到溶液中,而后来在别的地方又重新固结。这样,植物的碎片,通常是在有沉积物堆积的地区石化的。如三角洲地区因河流不断改变方向,旧的河道废弃了,新的河道又相继出现;洪水毁坏了天然堤,随后新的天然堤又出现。未受破坏的天然堤上生长的植物亦可形成化石。植物保存为化石的另一个例子是与三角洲体系并存的废弃河道,常称为“牛轭湖”。洪水破坏冲积堤并把生长在堤上的树木和其它植物冲走。这些植物的残骸被携带到废弃河道和其它地方,在那里,大量的沉积物把植物碎片埋藏并充填在牛轭湖中。可以想象,那些经过长途搬运的植物残骸会变得支离破碎,而就地沉积的植物则破坏较少。在沉积物堆积过程中,水分被挤压出来,因此沉积物变得很致密,里面的植物碎片被压扁。随着细胞的压扁,内部的结构亦随之消失,常常留下一层与植物残骸原形一致的碳质薄膜(图 1-1 E)。这种化石类型称为压型化石,是最常见的植物化石类型。可以设想如果埋藏植物残骸的沉积颗粒粗而具棱角,当然所形成的压型化石必然不如在颗粒圆滑而细小的沉积中形成的那么清晰。但实际上,沉积物颗粒的大小和结构变化幅度是很大的,甚至在颗粒大小不等的砾岩中,亦可保存植物残骸。

压型化石亦可以在沿潟湖、曲流河岸(不一定靠近三角洲)、池塘、沼泽或其它环境中形成,而不一定常在三角洲地带。虽然不少植物保存在海相的石灰岩中,但最常见的还是陆相地层(与海相的环境相反)。压型化石在粘土岩或经压力和脱水作用而成的页岩中保存得最好。

有时,在凝灰岩内也可发现植物的压型化石。形成这些化石的植物是生长在火山活

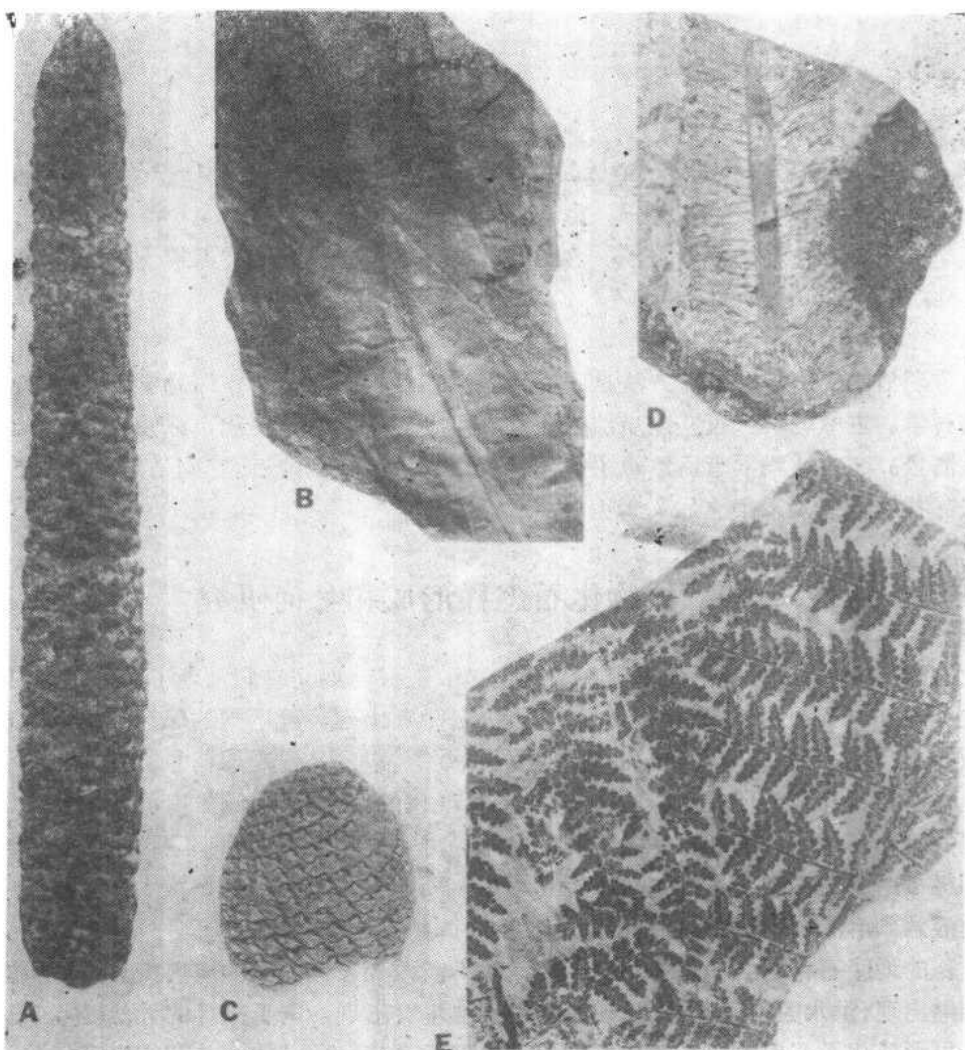


图 1-1 化石化作用的类型

A. 鳞孢穗 (*Lepidostrobus jayettevillense*) 的石化作用和部分铸型, $\times 1.2$;
 B. 大带羊齿 (*Macrotaeniopteris magnifolia*) 的印痕化石, $\times 1$; C. 奇异南
 洋杉 (*Araucaria mirabilis*) 的硅化球果, $\times 0.4$; D. 煤核的表面, 示鳞孢穗
 属球果的一部分, $\times 0.4$; E. 压型化石稀囊蕨 (*Oligocarpia brongniartii*) 的
 复制品, $\times 0.9$ (A 引自 Taylor 和 Eggert, 1968)

动地区。当火山灰云喷射到空中, 在接近火山处常有强烈的大气湍流, 结果形成雷雨。雨水和火山灰形成细粒的泥浆, 象瀑布一样冲到山坡下面, 沿途将植物冲倒并掩埋。泥浆变硬后, 植物碎片便埋在里面。

有一种十分罕见的母岩, 是由微体植物硅藻的硅质壳(见图 4-4 A)形成的, 其中偶尔有压型化石。这种由硅藻土形成的岩石, 颗粒极小, 所保存的化石往往也很好。因为硅藻细胞或硅藻壳是极小的微体植物(藻类), 所以这种保存方式, 使一种植物成为保存另一种植物的母岩。

叶是最常见的植物化石, 往往在薄薄的岩块中便有许多层。叶化石是沿层面沉积的, 如果母岩是粘土, 用小刀沿层面撬开即可; 若岩石较硬; 则要用铁锤和凿子。古植物学家有时还必须使出更大的力气, 比如用手持式凿岩机, 甚至用炸药。

多数压型化石，只要表面清晰，便很有价值，诸如叶形、有无叶柄、叶缘和脉序等特征，都是很容易辨认的。当一种植物具有丰富的叶片时，可观察其叶形的变化来推测一个种的变异程度。

最便于研究的压型化石是保存在浅色母岩内的颜色较深的碳质薄膜。因为反差大，所以观察和照相都比较容易。可是有时母岩的颜色很深，几乎与压型化石的颜色相同。这样，照相就困难了，若把化石完全浸泡在水或二甲苯的溶液中，便可以提高其清晰度。

还有少数在低温、低压条件下保存的压型化石，这些化石全部细胞的内含物都没有消失。Niklas 等(1978)新近出版的著作中提到，把中新世被子植物叶片的压型化石包埋和切片，再用透射电子显微镜观察细胞的内部结构，结果发现，这些化石的保存，精细到连细胞壁上微纤维丝的结构都能观察到的程度。甚至更令人惊讶的是，压型化石的叶肉细胞内竟然保存了颗粒体和淀粉的叶绿体、有缩合染色质的细胞核和胞间连丝等这样的一些细胞器。

虽然多数压型化石仅能看到表面的一些细节，但有时却可以研究到许多有关表皮的详细情况。所有陆生植物地上部分的表面，都有一层叫做角质层的蜡质薄膜，能防止植物表面过度失水。角质层不是细胞层，而是一种与植物器官表面细胞的轮廓一致的无定形物质。角质层可以剥离，可用针或刷子机械地分离，也可以用化学方法把母岩溶解，把剥离的角质层漂白，用常用的生物染色剂染色(见图 1-4 F)，然后固定在载玻片上，用显微镜观察，便可看到表皮的细节。能看清表皮细胞的形状，气孔器(在叶片上与气孔在一起的一些细胞)的结构、气孔的分布、表皮毛和腺体以及其它明显的特征。由于大多数植物都有不同的表皮特征，因而化石植物的角质层就象指纹一样，常用于种的鉴定。此外，由于植物体各部分的角质层都是相同的，所以可用角质层来确定如叶、花、种子等分散的植物碎片是否同属一种植物。

近年来，古植物学家常借助扫描电子显微镜检查，把化石植物和植物器官的微结构高倍放大(图 1-2)。有时可直接用扫描电子显微镜(SEM)观察角质层。此外，为了说明其复杂的结构状况，还需要制作植物表面的乳胶模子。在古植物学的许多领域内，扫描电子显微镜检查已经成为阐明诸如花粉粒、孢子等植物器官的常规方法，因为扫描电子显微镜具有极高的有效放大倍数(高达十万倍)和极强的聚焦。

另一种研究角质层或表皮特征的方法，是把压型化石从母岩上移离到可用显微镜观察的透明薄膜上(图 1-1 E)。这种薄膜的制取是先用塑胶液(如透明的指甲油)倾注在压型化石上，然后把粘有角质层的薄膜从母岩上揭下来。另一种相似的技术，如同制作生物切片那样，把化石表面包埋在塑胶液里，然后溶去岩石，化石的表层便会粘附在塑胶上，即可用反射光或透射光观察。

古生物学家应用 X 射线分析法，进行动物化石的研究，已经有多年的历史了，但这种技术仅在最近才成功地用于研究化石植物(Strümer 和 Schaarschmidt, 1980)。X 射线分析法特别适合于研究深度变质的页岩，因为化石标本大部分隐藏在其中。这种技术不仅能达到常规方法所不能达到的效果，而且通过应用立体镜的 X 射线分析，还可能使一些化石复原。

煤属于压型化石。它是植物体的堆积，再经上覆地层的压力压缩而成。通常煤的变质程度愈浅，成煤植物的清晰度就愈大。例如，褐煤是成煤早期阶段的代表，其植物体未

经过度挤压而易于识别。有些褐煤,还可以取出其中的植物碎片,制成各种结构完整的标本。烟煤变质程度较深,植物体压得更扁,但其中的植物碎片仍有可能进行研究。无烟煤是变质最深的类型,原来的植物体已面目全非。某些煤可以制成薄片,用显微镜观察,花粉粒、孢子和角质层的碎片都能分辨。煤亦可以用化学方法浸解,把固体的煤分解,植物碎片便游离出来。这样可以观察角质层及树皮的碎片、小块的木质部、变硬的树脂,尤其是孢子和花粉粒(图 1-3)。这些不同部分的鉴定,可以确定生长在古代成煤沼泽中植物的种类。

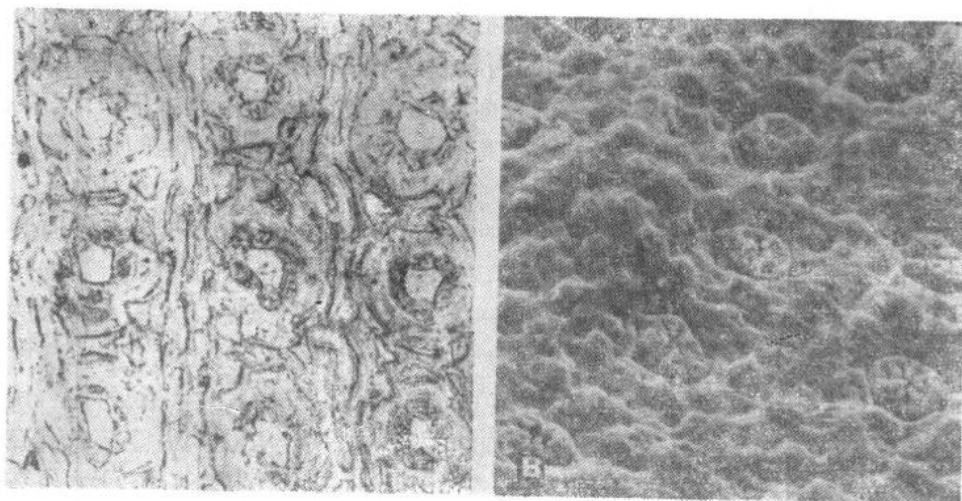


图 1-2 多形假拟节柏 (*Pseudofrenelopsis varians*) 的角质层标本。采自得克萨斯州,早白垩世

A. 角质层表面,透射光显微照相,示气孔,×200; B. 角质层表面,扫描电镜的显微照相,示气孔,×210。(由 C. Daghlian 提供)

在罕见的情况下,煤是完全由角质层碎片和无定形的有机物质组成。角质层多到能剥成一片一片的。这种煤,由于它外观象纸而称纸煤 (paper coal), 仅见于个别地方。用氢氧化钾的碱性溶液,把角质层碎片分离出来,是一件简单的事。分离出来的角质层洗净后,可直接固定在载玻片上进行观察。

如果把有化石植物碎片的岩石顺层面劈开,有一面可见到碳质薄膜,就是压型化石。在另一面,常有植物体的反面印痕,它很少或没有粘附碳质。“反面”的化石,可显示压型化石的表面细节,如叶形、脉序等,但不含原来的有机物质,这种化石,称为印痕化石(图 1-1 B)。印痕化石的形成过程,与混凝土的人行道上常常出现的叶片印痕的形成过程类似。当叶片凋落粘贴在刚抹上的湿混凝土上,混凝土干了以后,紧贴着混凝土那一面的叶形便留在上面。尔后,叶片破碎被风刮跑,于是,在坚硬的混凝土上,便留着与植物一模一样的印模。如同你把图章盖在湿混凝土上一样。

由于印痕化石上没有附着有机物,所以不能看到细胞的细节,但有时,尤其是母岩的颗粒特别细的时候,可用乳胶或类似乳胶的材料,把印痕拓下来,它能精确复制出印痕化石表面的详细情况。用扫描电镜观察,可以很清楚地看到诸如表皮的样子。

有时,立体的植物器官,如茎或种子被搬到沉积盆地中掩埋,后来经压扁而成压型化石和印痕化石。但是,包围这些立体植物器官的沉积物,往往在植物断块被压扁之前就

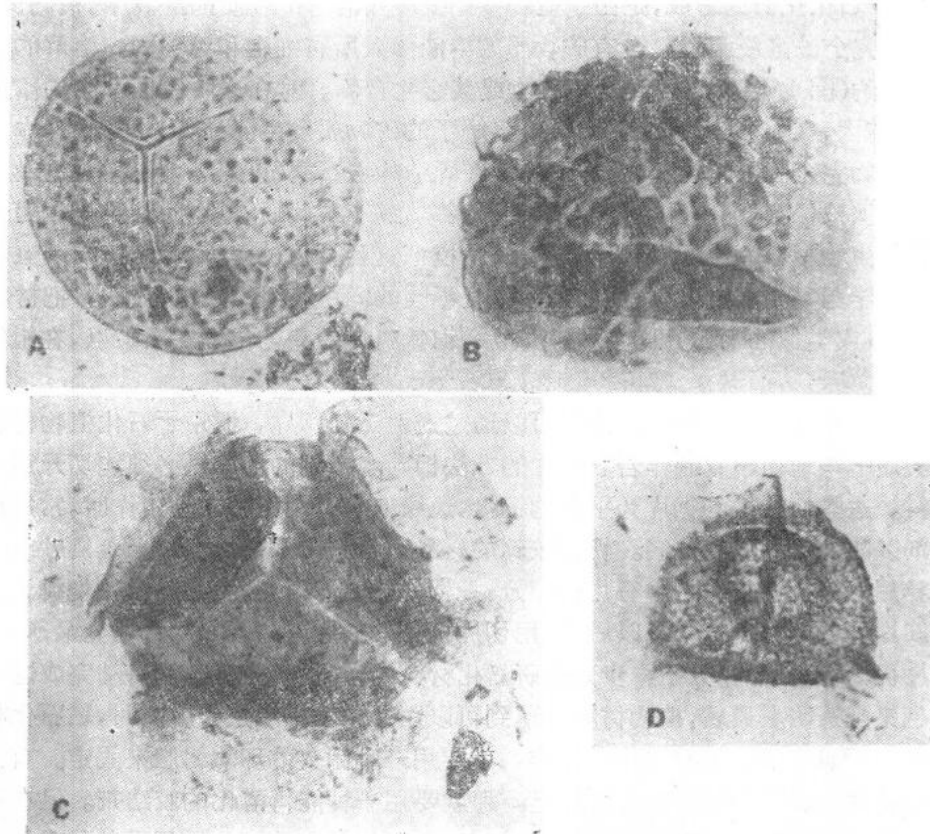


图 1-3 肯塔基州 (Kentucky) 西部 Schultztown 煤层中的石炭纪孢粉型

A. 点面三缝孢 (*Punctatisporites* sp.); B. 肖氏三缝孢 (*Schopfites colchesterensis*); C. 多形三翼粉 (*Alatisporites varius*); D. 触环三缝孢 (*Cirrisiradites annulatus*)。(引自 Gray 和 Taylor, 1967)

固结了,于是沉积物便含有立体的植物在内。如果植物体最后被分解,留在沉积物中的空洞,便称为模型化石。模型化石可以精确地拓下某一部位的表面特征,如茎上叶基的特征(见图 8-8A)或种子和果实的纹饰,但其中一般不含有机物。以后,其它沉积物如果在模中充填、固结,便铸成一个与原先的植物体一样的复制品(铸型化石),它不含有真正的植物成分,但外形与原先的植物体完全相同。其过程,与雕塑师塑造青铜铸像的过程相似。他们不直接在青铜块上雕刻,而先用木材或蜡等介质制成一个原模型,再作一个包裹着原模型的模子,模子制成后,再设法把里面的原模型取出,把模子制成活动的,或把蜡溶掉。在重新装好的模子内,注入熔融的青铜,这样便制成一个与原模型一模一样的复制品,但它不含有原模型的材料。某些能形成模型化石和铸型化石的地区,其沉积作用的速度是惊人的。举例来说,在加拿大新斯科舍省 Joggins 的海蚀崖,出露了许多 3—8 m 高的树干铸型化石。这些树必然是极其迅速就地掩埋的,后来沉积物固结,树木腐烂,在坚硬的岩石上便留下一些空洞,以后,空洞又被其它较后的沉积物所充填。模型化石和铸型化石之所以重要,是它们能以立体形式显示植物体当初的外部形态(见图 9-6 A)。

除极少数外,上述的化石类型,都无法观察到其内部结构。不过,有一种化石类型,因为它可用切片来研究植物体的组织,因而很重要。这类化石称为石化(有时叫作过矿化作

用)化石。石化化石的形成,是由于植物体完全浸入溶有矿物质的溶液中,植物体(例如一段木头)完全被溶液浸透,含有矿物质的溶液渗入所有细胞和组织内。溶解的矿物质可能是硅化物(图 1-1 C)、碳酸盐、氧化物或其它化合物。对在这阶段所发生的作用还不清楚,但有些因素(如 pH 值的变化)会使溶解了的矿物质发生沉淀,因此植物碎片里外都变硬。到矿物完全固结时,植物碎片便包埋在固结的岩石内(见图 1-1 D)。这些化石,多半只有细胞壁被保存,细胞和细胞间隙则到处都填满了矿物质,但有时细胞质也可保存。

现代生物材料的包埋和切片技术,就是模拟这种石化过程。例如,把一段植物材料在适当的化学药品中固定,然后用一系列浓度不同的酒精使组织脱水,最后,把材料放入熔化的石蜡(或类似的物质)里。石蜡冷却后,植物材料便完全包埋在石蜡里,在组织内部亦有石蜡。

研究石化化石,必须制出薄到可以通过透射光的切片。惯用于石化植物材料切片的技术实质上与地质学家制作岩石薄片的方法相同。特制的切片机必须能切开最坚硬的石化材料。这些切片机的锯片为平坦的钢盘,边缘嵌有金刚石粉末。工作时,常用油或其它冷却剂以防止锯片温度过高。切割较软的材料时,用普通的锯片,加上金刚砂或其它磨料即可。用切片机切下材料中有用的部分,把切片的表面抛光,再用粘合剂把抛光的表面粘在玻璃片上。等粘合剂干了以后,再用切片机将玻璃片上的岩石尽量切至最薄。此时,岩石切片仍为不透明的。下一步是磨研石化材料的表面(有些机器能自动完成这一过程),使它越来越透明。最后,植物材料就薄到可以用显微镜来观察了。有时,粘石化材料的玻璃片是用于研究的正式载玻片。这样,就要用一种耐久的环氧树脂来固定。有些人喜欢把磨薄的片子转移到清洁的玻璃片上,那就要用一种能再溶化的胶结剂。但在揭开薄片之前,要用一层塑料状的透明材料把它封住,以保持其完整,然后用天然的或合成的胶结介质把薄片固定在干净的载玻片上,盖上盖玻片。当胶结物变硬后,便可用双目显微镜观察。

有时石化的矿物质是碳酸钙,如煤核就是最熟悉的例子(图 1-4 E)。煤核是各种不同形状的结核(由于最早在英国发现的一些煤核近于球形,因此称煤“球”),见于烟煤煤层中(图 1-4 D)。煤核中的植物碎片,通常保存了清晰的细胞结构而且很少被挤压。对采煤工来说煤核是煤层中的矸石,常被称为“拦路虎”,但对古植物学家来说,它们却提供了各类石炭纪植物极为重要的信息。有人认为煤核中的植物生长在离海岸不远的低洼沼泽地带。周期性的暴风把富含碳酸盐的海水带进淡水沼泽内,这种富含矿物质的水产生的碳酸盐就在植物体内、外沉淀下来。这种石化植物可以切成薄片,用显微镜详细观察。

有一种简单的石化材料制片技术,多用于煤核的研究(图 1-5)。其方法是先用带金刚石的锯片把煤核切开(图 1-6 A),抛光。抛光时,先用粗磨料(金刚砂),再依次换用较细的磨料,在转动的磨盘上磨(图 1-6 B),然后把抛光的表面放在稀盐酸溶液内腐蚀(图 1-6 C)。因为酸只对碳酸盐发生反应而对煤核内有机的残骸不起作用,故碳酸钙慢慢地被溶蚀掉,留下细胞壁(如果有细胞内含物,也会留下),它们突出在煤核的表面,轮廓分明(图 1-6 D)。表面经冲洗和干燥后,即准备就绪,可以制片了。此时,千万不要触及腐蚀过的表面,因为细胞壁是很脆弱的。

先把丙酮浇在腐蚀面上,在丙酮蒸发前,即小心地在表面上放一张醋酸纤维膜(图 1-6 E)。丙酮会将纤维膜的下表面溶解,使它成为液体而流入细胞及细胞周围的空腔和细