

试 用 教 材

孢 粉 学 教 程

(古生物学专业用)

徐钰林 童林芬 编著

书

武汉地质学院古生物教研室

一九八四年七月

出版发行：武汉地质学院教材科

印刷：武汉地质学院印刷厂

责任编辑：魏敏

校对：褚松和

前 言

本教材是为地层古生物学专业的专题课编写的，一般按40—50学时教学需要选材。本教材也可作为石油地质专业、煤田地质专业的教学参考书。

近年来，孢粉学的研究进展较快，基础理论日趋完善，国内资料逐渐丰富，研究程度不断深入，应用范围越来越广，故本教材尽可能反映这方面的资料。但由于受学时的限制，故内容上仅能侧重于国内新资料和研究方法的介绍，以及孢粉学在地质学上的应用。作为孢粉学这门边际学科，涉及面较广，读者如有兴趣，可利用“参考文献”一栏予以查阅。

沟鞭藻是广义孢粉学的一个重要组成部分，其内容将作为独立的专题教材出版，不编入此教材内。

本教材的最后两章，介绍了另外二个微古植物门类—硅藻和金藻的颗石纲，该内容可作为“微古植物学”的补充资料。

本教材是在1978年古生物教研室所编的“孢粉分析”讲义的基础上作了较多的补充和修改。郭正英、茅绍智当时亦参加了编写。本次第二章、第四章、第六章、第九章、第十一章、第十二章由徐钰林编写；第一章、第三章、第五章、第八章、第十章由童林芬编写；第七章由徐钰林、童林芬合编写。由于时间仓促，故书中必有不少不足之处，希读者予以批评指正，以便再版时修改。

编者 1984年4月

目 录

第一章 绪论	(1)
一、孢粉学的研究对象和内容.....	(1)
二、孢粉学的学科特点.....	(2)
三、孢粉学的研究简况.....	(4)
第二章 孢粉学在地质学上应用的基本原理	(5)
一、地层中分析得出的孢粉粒成分和植物群的关系.....	(5)
二、孢粉的传播与孢粉总成分的关系.....	(7)
三、海洋沉积的孢粉组合和沿岸植被的关系.....	(9)
第三章 孢粉形态及壁部构造	(11)
一、孢粉的一般形态特征.....	(11)
二、孢粉的壁部构造及纹饰.....	(23)
三、各类植物孢粉的形态.....	(26)
第四章 化石孢粉的分类和命名	(31)
一、概述.....	(31)
二、化石孢粉的命名.....	(32)
三、化石孢粉的分类.....	(33)
第五章 孢粉学的野外及室内工作方法	(43)
一、孢粉学的野外工作.....	(43)
二、孢粉样品的实验室处理.....	(44)
三、孢粉的鉴定、统计及资料整理.....	(48)
第六章 孢粉学在地质学上的应用	(54)
一、孢粉谱与孢粉组合.....	(54)
二、孢粉学在地质上的应用.....	(54)
第七章 化石孢粉属形态描述	(61)
一、晚元古代微古植物属描述.....	(61)
二、古生代孢粉属描述.....	(62)
三、中生代孢粉属描述.....	(64)
四、晚白垩世和新生代被子植物花粉属描述.....	(74)
第八章 中、晚元古代及早古生代微古植物和晚古生代孢粉组合	(81)
一、中、晚元古代微古植物组合.....	(81)
二、早古生代微古植物组合.....	(82)
三、晚古生代孢粉组合.....	(83)

第九章 中生代孢粉组合	(87)
一、三叠纪孢粉组合.....	(87)
二、侏罗纪孢粉组合.....	(89)
三、白垩纪孢粉组合.....	(90)
第十章 新生代孢粉组合	(97)
一、第三纪孢粉组合.....	(97)
二、第四纪孢粉组合.....	(104)
第十一章 硅藻门 (Bacillariophyta)	(107)
一、概述.....	(107)
二、壳壁构造.....	(107)
三、分类和化石代表.....	(110)
四、硅藻在地层中的分布和演化.....	(114)
第十二章 金藻门 (Chrysophyta)	(116)
一、一般特征.....	(116)
二、分类.....	(117)
三、地史分布和生态特点.....	(119)
四、研究方法和地层学意义.....	(120)
主要参考文献	(121)
孢粉图版及其说明	(121)

第一章 绪 论

一、孢粉学的研究对象和内容

孢子和花粉的含义：孢子 (Spore) 和花粉 (Pollen) 是植物繁殖器官的组成部分。地球上的植物界根据繁殖器官可以分为两大类，孢子植物和种子植物。孢子植物是以孢子进行繁殖，孢子是孢子植物的生殖细胞，如菌藻植物和蕨类植物。种子植物是以种子进行繁殖，花粉是种子植物的雄性生殖细胞，如裸子植物和被子植物。

孢子在未成熟前聚集在孢子囊中，孢子按其形状和性质可以分为大孢子和小孢子两种。大孢子为雌性，体积较大，一般可达150—200微米左右，小孢子为雄性，一般为40—60微米左右。有的孢子植物在同一世代里只产生大小基本相等，形态相同，没有雌雄之分的孢子，萌发后只产生一种原叶体，称同孢植物，如苔藓植物和大部分蕨类植物。若在同一世代里能同时产生大小两类孢子，大的为雌性，萌发后产生雌原叶体，小的为雄性，萌发后产生雄原叶体，这称为异孢植物，如蕨类的卷柏属、槐叶萍属及古生代的鳞木属、封印木属等。

种子植物在繁殖过程中产生两种不同性质和结构的组织，雌性称为胚珠，雄性称为花粉，胚珠按性质和作用可以与异孢植物的大孢子相当，花粉即相当于小孢子。裸子植物的花粉一般产生于球果状的雄花中，如松科等。被子植物的花粉都聚集在雄蕊的花药内。

孢粉学研究的对象和内容：孢粉学又称孢子花粉分析，是微古植物学方法之一。实际上，它包括化石孢粉形态学，地层孢粉学，石油孢粉学，和海洋孢粉学等。孢粉学是研究植物孢子和花粉的科学。它是通过对埋藏于地层中的化石孢子和花粉的离析、鉴定、统计和综合分析来研究地层中化石孢粉的形态、结构和属种成分及其在历史中的发展变化，以此确定地层的相对地质年代，进行地层对比以及恢复古地理、古气候和古植被类型，从而为地质找矿服务。

孢子和花粉的体积较小，要通过高倍生物显微镜进行观察、研究（一般放大600—1000倍），随着科学技术的发展，目前已利用扫描电子显微镜进行观察研究。

广义的说，孢粉学也包含孢粉以外的一些微体化石的研究，例如沟鞭藻、菌孢、硅藻，或不知起源的孢囊或类似孢囊体。孢粉分析可以概况以下几方面内容。

- i) 野外地质情况的观察，地层剖面的测制（或钻孔岩心的观察）以及系统的采集样品；
- ii) 孢粉岩样的化学分析处理及制片；
- iii) 孢粉属、种的鉴定，绘图和照像，统计并计算各属、种的百分含量；

iv) 根据各岩样中孢粉属、种的成分及其在纵横向上的变化，并根据国内外有关孢粉资料的对比，进而确定此层的相对地质年代，进行地层划分和地层对比；

v) 从孢粉的属、种成分及其百分含量，恢复和推断当时当地植物群的成分、特性和类型，进而研究和确定该地质时期沉积环境和古地理、古气候特征。

二、孢粉学的学科特点

化石孢粉研究曾隶属于古植物学的范畴，但就其研究对象——化石孢子、花粉粒，它又属于广义的孢粉学 (Palynology) 的一部分。凡以孢子和花粉为研究对象的科学统称孢粉学。

孢粉学和古植物学有着密切的关系，它作为一门独立的学科，虽然历史不长，但发展迅速、应用广泛。从地质、地貌、地理到农、医、考古都有其深刻的理论意义和广泛的实际意义。特别是随着石油地质工作的开展，孢粉分析取得了很大进展。这种情况是与孢子、花粉本身的特点分不开的，概括起来，孢粉学有如下几方面特点。

1. 植物能产生大量的孢子和花粉。一株玉米平均可以产生5千万粒的花粉，一株中等的松树每年平均约产三亿五千万粒 (350,000,000) 花粉。德国植物学家波耳 (F. Pohl) 统计过几种植物的花粉 (以一朵花为单位)，其结果如下：

<i>Corylus avellana</i>	2,550,000粒
<i>Fagus silvestris</i>	637,000粒
<i>Acer pseudoplatanus</i>	94,000粒
<i>Tilia cordata</i>	43,000粒
<i>Betula verrucosa</i>	67,000粒

从以上例子可看出，孢子花粉产量之多是相当惊人的。在春天或初夏，当风媒植物开花时，释放出大量的花粉，一阵大风，花粉便落下来，如同下雨，有人称它为“花粉雨”。又如当北半球的云杉林或南半球的山毛榉林开花时，远望去，可能怀疑是森林起火。如果斯勤的纳维亚风媒花植物的花粉粒完全落在土地上，那么，一年落下的花粉粒将会覆盖斯勤的那维亚整个地区。每立方米将有大约三亿个花粉粒。

孢粉成熟以后，它们自孢子囊或花粉囊中散发出来，通过不同的途径 (风、水、昆虫等携带) 散落于土壤、湖泊、沼泽、河流以及海洋等表面，再经过沉积、埋藏，最后成为化石，构成沉积地层的组成部分。由于它数量多，故在地层内较其它动、植物化石更易发现，即使一些过去被称为是“哑地层”，一般也能找到一定数量的孢粉粒。特别在煤田、石油钻井的岩心中，一般大动、植物化石难于找到，孢粉分析就更显出其独特的特点 (图1-1) (图1-2)。

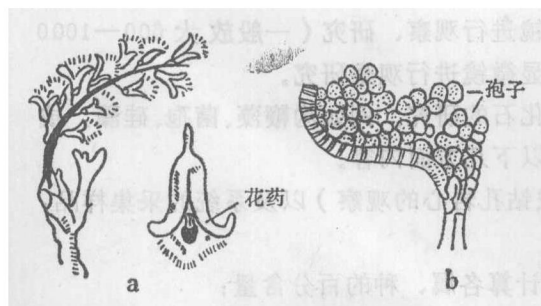


图1-1

开花的柳 (a) 和蕨类成熟的孢子囊 (b)

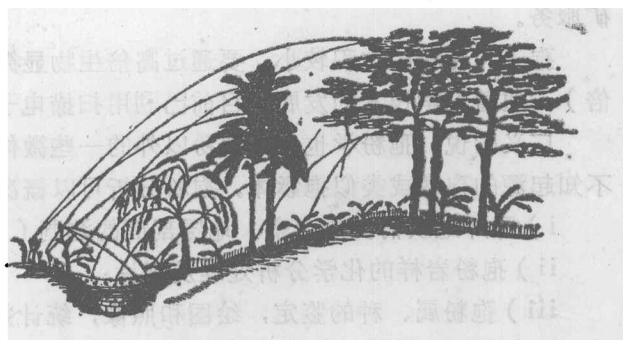


图1-2

风力传播花粉和孢子的示意图

由于分散的孢粉粒数量多，在富含孢粉的岩石中，数十克的岩样里就可以找到成百甚至

上千的孢粉粒。所以研究人员不仅能从质上来鉴定孢粉粒所属的属种,同时也可从数量上进行统计,计算不同属种在整个孢粉总量中所占的百分比以及它们在纵、横向上的变化,这不仅可以更正确地恢复当时植物群的面貌及详细确定地层时代,而且也为孢粉学使用新的技术手段和方法,如数理统计,电子计算机等提供有利的条件。

2. 孢粉粒所以能大量保存的另一个因素是:孢粉粒是一种单细胞,它由原生质和包围原生质的壁部组成。壁分内、外壁二层,孢粉粒外壁的化学成分为一种稳定的碳水化合物($C_{60}H_{44}O_{24}$),称为“孢粉素”。有的学者曾作过实验,将现代孢粉粒在水中加热至摄氏300度时,它的外壁并不溶解,放入浓酸或强碱中加热处理后壁部构造特征仍很清晰。这说明孢粉壁能耐高温、强酸和强碱的处理。由于孢粉壁的矿化程度低于其它植物组织,故在成岩及石化过程中能较好地保存,并能经受后来的构造变动、变质作用等一系列地质作用。所以它不仅能发现于沉积岩中,而且能见于轻微变质地层,甚至在原油中亦能分离出孢粉粒。它不仅为解决地层时代、进行地层对比提供有力证据,而且为石油运移及形成提供一定的依据。

3. 孢粉粒体积微小,一般直径仅数十微米,有的稍大,所以易于传播。裸子植物的松科、罗汉松科还具有适于飞翔的气囊构造。因此孢粉粒极易被水、风以至昆虫等携带到广大的河流、沼泽、海洋、高山、平原等地区。一定程度上,在比较大的范围内,孢粉成分是混杂的,并具有综合的特点,所以它为地层对比提供了有利的条件。据库普利扬诺娃(A. A. Куприянова)的实际资料,木本植物某些种的可能搬运距离是:

<i>Pinus silvestris</i>	1700—1775公里
<i>Picea obovata</i>	1450公里
<i>Alnus incana</i>	1800—2100公里
<i>Betula pubescens</i>	600公里

由以上可明显看出,孢粉粒具有传播的特点,它不仅散落在产生孢粉粒的植物体附近,而且有的可远离植物母体一定距离。因此它不仅能应用于陆相地层,也能应用于浅海相地层,从而进行海陆相地层的直接对比,这是其它动植物化石难以完成的。

但孢粉学这一学科仅有几十年的历史,和传统的古植物学比较起来,还是一门较年轻的学科,在研究方法上还存在一些问题。

1. 为了确定化石孢粉所属的自然分类单位,就需要对现代孢粉的形态进行系统研究,以便对比,如中生代晚期和新生代地层中化石孢粉的形态、构造特点大都可与现代植物孢粉粒的形态进行对比。但目前这方面的工作还远不能满足孢粉分析工作的需要,如现代植物孢粉大约有206,500种,而目前已进行研究并发表的仅数千种,这给化石孢粉的鉴定带来一定困难。

2. 从孢粉样品的采集到成果的完成需花费较多时间,耗费较高,尤其运用的是统计法,一般在一个岩样中要统计200—250粒孢粉,对含孢粉不丰富的样品,统计需花费较多时间,因此完成一个系统的生物地层剖面需花费较长时间,往往满足不了生产实践的需要。

3. 有些植物的花粉,由于外壁太薄,难以在地层中保存,对植物群的分析受到一定限制。

这些不足是在学科发展当中产生的,颇大程度上是由于对孢粉学基础方面的研究不够造成的。

三、孢粉学的研究简况

孢粉学研究工作已有百余年历史,其迅速发展是在本世纪五十年代后。

早在15世纪中期,随着显微镜的发明,一些生物学家(如格鲁,1682,马尔皮其,1687)已开始观察现代植物的花粉。从那时到现代孢粉学的广泛运用,可以概况以下几个阶段:

1. 孢子花粉形态学研究阶段:该阶段主要是对现代孢粉形态及结构的观察描述,如1811年—1832年间勃朗(Brown)、莫尔(Mohl)、佛里什(Fritzsche)等的著作。而化石孢粉的研究是19世纪中叶才开始,1833年魏才对美国古生代煤中的孢子进行了研究,1866年相克(Schenk)对上三叠统中的孢粉进行了研究以及后来1884年阮西(Reinsch)对鳞木孢子做的研究等等。这一阶段主要特点是纯孢粉形态的描述。

2. 孢粉形态学的深入发展及孢粉分析的产生阶段:从廿世纪初期到中期。此时最早涉及化石孢粉的是爱伦堡(C. G. Ehrenberg, 1838),随后瑞士地质学家弗吕(J. Fröh)发表了第一篇有关化石孢粉方面的论文。而第一次真正统计化石孢粉属种百分含量的,是瑞典植物学家拉格尔汗(G. Lagerhain)1905—1909年的著作。1916年北欧学者波斯特(L. V. Post)首次应用孢粉学方法研究泥炭沼泽,他是现代孢粉学的奠基人。他不仅计算了各种孢粉的百分含量,而且创制了孢粉图式和不同植物花粉的代表符号。1923年格拉西莫夫(Герасимов)等发表了有关化石孢粉的文章。同年狄森(Thiessen)和斯多得(Staud)描述了上石炭统的若干孢子。1937年,马尔科夫(К. К. Морков)首次用孢粉学方法解决第四纪地层问题。孢粉学的发展又进一步推动了孢粉形态研究的深入发展。1935年渥德赫斯(R. Wodehouse)的“花粉粒”一书出版对孢粉形态学的研究具有理论和实践意义。1933年伊伯拉辛(A. C. Ibrahim)首先对孢粉提出了人为分类。之后,娜乌莫娃(Наумова)进一步提出了化石孢子和花粉的命名原则和分类系统,直到目前还有实用价值。1954年波托尼(Potonie)提出了较趋完善的孢粉人为形态分类,到目前为止仍是广为利用的分类方案。在其之前1947年瑞典学者艾特曼据现代孢粉形态,提出了人为分类系统,主要用于新生代。总之这一阶段是孢粉学的发展阶段,且初步应用于地质学中,同时对孢粉的分类命名及形态也进行了深入研究。

3. 孢粉学的深入发展阶段:1946年后,孢粉学进一步应用在各纪的生物地层学研究上。不仅解决了地层划分对比问题,而且还用于恢复古地理、古气候,以及古植被等方面,大大增加了孢粉学的实践意义。此时有许多孢粉专著发表,如1950年苏联孢粉学家波克罗夫斯卡娅(Пкровская)等合著的“花粉分析”,1969年美国等孢粉学家合著的“孢粉学概论”(Aspects of Palynology)都是很有价值的参考书。

我国开展孢粉学的研究较晚。解放前这门学科是空白,没有基础,仅个别人在古植物学研究中附带作些工作,缺乏专人研究,资料极少。首次在文章中涉及孢粉的是1931年谢家荣先生的“中国煤的植物组织与植物群及其地层意义”的报导。此外,丁骞在“地质论评”(第3卷第6期)发表了“花粉分析方法及其运用”及描述常见花粉形态的文章。古植物学家徐仁很重视孢粉学工作,曾对云南泥盆纪的孢粉以及晚古生代和中生代的孢粉组合作了很多研究。

解放后,孢粉学研究有了飞速发展。1952年中国科学院古生物研究所(即现在地质古生物研究所)成立了我国第一个孢粉研究室。1954年在地质部举办了第一期孢粉学短训班,为煤层对比服务。同时煤炭部、石油部也先后成立了孢粉实验室,直接为找矿服务。1960年“中国植物花粉形态”一书出版之后,1976年又出版了“中国蕨类植物孢子形态”书,为孢粉学研究提供了很好基础。目前,我国孢粉工作者已有三百多人,分散在科研、教育、煤炭、石油、地质等部门。

第二章 孢粉学在地质学上应用的基本原理

现代孢粉的研究开始很早。对化石孢粉的研究可以追溯到1883年，即爱伦堡（G. G. Ehrenberg）发表了一本关于化石花粉的著作，但应用到地质上是开始于挪威学者波斯特（L. Von. Post），他在1916年首先研究了泥炭层里的孢粉，计算了各孢粉属、种的含量，并利用孢粉资料对比不同泥炭沼泽的剖面。自此以后，孢粉学在地质上的应用越来越广泛。

孢粉学实质上就是应用研究化石孢粉来恢复当时的植被特点，以此来确定地层的地质时代，恢复古地理、古气候。因此，这涉及孢粉本身的几个问题，这是“孢粉学”这门学科的基石，亦即基于这样一个原理，孢粉学这门学科才得以发展。

一、地层中分析得出的孢粉粒成分和植物群的关系

把“孢粉学”方法应用到地质上，首先要解决化石孢粉粒和植被的关系。

在地质时期，随着地质历史的发展，自然地理环境发生改变，植物界也随之而有变化，在不同时期就有不同的植物组合。古植物化石的研究，把前寒武纪和早古生代称为藻类时代；晚古生代称为孢子植物时代；中生代称裸子植物时代；新生代谓被子植物时代。

各种植物体均产生它固有形态的孢粉粒，不同植物产生不同形态、构造的孢粉粒。

但地层中保存的孢粉能否反映当时植被的本来面貌呢？有以下几个因素影响到其二者的关系：i) 孢粉壁的保存程度不同。有一些孢粉，如落叶松（*Larix*）、杨（*Populus*）、柳（*Salix*）以及柏（*Cupressus*）等，它们的外壁较软弱，不易保存，而有些花粉壁较薄，不能经受石化作用，化石记录中见不到，这必然影响化石孢粉的面貌特征；ii) 各植物体产生孢粉的数量不同。如松属（*Pinus*）的产量较高，故地层中不同属数量上的多寡，不一定反映植物群中不同植物体的优、劣势。

孢粉学家是从以下几个方面来研究上述这些问题的。

1. 研究从空气中降落下来的孢粉和周围植被的关系

中国科学院南京地质古生物研究所宋之琛于1955—1957年间对北京西郊空气中的孢粉进行了二年多的统计工作，其结果是乔木树种中有较多的杨柳科（*Salicaceae*）和榆科（*Ulmaceae*）的花粉、桧属（*Juniperus*）和桦属（*Betula*）花粉不多，松属花粉仅找到一粒，同时发现较多的草本植物花粉，其中主要是蒿属（*Artemisia*），其次是禾本科（*Gramineae*），藜科（*Chenopodiaceae*）等，另外还有一些石竹科（*Caryophyllaceae*）、毛茛科（*Ranunculaceae*）、菊科（*Compositae*）、百合科（*Liliaceae*）和莎草科（*Cyperaceae*）的花粉。他认为这类孢粉面貌基本上反映了现在北京地区植物群落的面貌。

2. 研究表土样品中孢粉粒成分，以确定其与周围地区植物群的关系。

表土中的孢粉粒成分是代表了近年来降落于表土中孢粉粒的平均数，它的研究结果对论证地层中孢粉面貌更具有实际意义。在这方面，国外孢粉学家做了不少研究工作。

苏联孢粉学家格里丘克(В. П. Гричук)和扎克琳斯卡娅(Е. Д. Заклинская)进行了这方面的研究工作。他们在苏联境内自北往南穿过冻原带、森林冻原带、北部针叶林亚带、南部针叶林亚带、混交林带、阔叶林带、森林草原带、南部草原带、半荒漠带等不同的植物带，研究了不同植物带表土中的孢粉成分。根据孢粉谱各组成成分的变化，得出了下面的结论：乔木组花粉在苔原和森林苔原的表土中含量比较低，只占孢粉总数的30—40%，在森林带范围内，其含量增加到60—70%，但在阔叶林带又降低到50%，越向南含量越低，在森林草原带中占16%，而在荒漠带占7%。非乔木组的花粉(草本、灌木、半灌木的花粉)则表示完全相反的关系，在苔原带和森林苔原带中几乎接近乔木花粉的数量，在针叶林和混交林的范围内，含量降低到10—20%，但在阔叶林带却重新上升到35%，在草原地区，非乔木花粉却占优势地位，在森林草原带中占有孢粉总数的73%，在羽茅草原带中占86%，半荒漠带占96%。孢子在苔原带中含量最多，达36%，越往南含量越低，在森林地区是10—23%，在草原地区为7—10%，在荒漠带只占2%。由此可见，孢子的最大值是在苔原和森林苔原带，乔木花粉的高值是在森林地区，而非乔木花粉高值是在草原(包括森林草原和半荒漠)地区。结果表明，以不同植物带表土中分析得出的孢粉粒成分和其所在地区的植被类型有其一定的依存关系，从北往南孢粉成分的变化大体上反映了植被成分的变化图(2—1)。

我国不同植被带的孢粉组合具有如下特点：

i) 针叶林型 该型是以木本花粉为主，主要是云杉(*Picea*)、松、雪松(*Cedrus*)等。蕨类孢子和草本类型不发育。

ii) 阔叶林型 该型是以木本花粉为主，有椴(*Tilia*)，栎(*Quercus*)，鹅耳枥(*Carpinus*)、槭(*Acer*)榆(*Ulmus*)和较多的桦、桤木(*Alnus*)等。并有相当多的蕨类孢子，但草本植物很少。亚热带阔叶林则出现樟科(*Lauraceae*)、漆树(*Rhus*)，桃金娘科(*Myrtaceae*)等。

iii) 森林草原型 该型是以草本植物为主，木本植物次之。前者如禾本科等，后者有松、桦、栎等。

iv) 草原型 是以草本植物为主体，种类繁多，如蒿、禾本科、藜科、麻黄(*Ephedra*)、伞形科(*Umbelliferae*)、毛茛科、百合科和菊科等花粉。

额尔特曼(G. Erdtman)在总结瑞典表土中孢粉成分时指出，在花粉成分中，桤木、桦和榛(*Corylus*)的百分含量符合于研究地区森林中的乔木和灌木所占的百分比，桦(*Fraxinus*)和其他阔叶树种的花粉含量低些，而松柏植物(松、云杉)花粉含量很高。他认为，如将表土中花粉的百分含量作适当校正，即乘以一定的校正系数，则大体上能正确地反映该区森林树种所占的成分。

校正系数，即是产生的花粉产量与产生此种花粉的植物之间的比例关系，用这种校正系数乘以统计出的某一属的百分含量就得出比较符合当时植物群各种植物数量的比例关系。扎克琳斯卡娅根据表土中的孢粉组合，并参照区内的森林组合作出了一些植物产量的校正系数(如下表)：

实际上，在具体工作中一般很少应用它，因利用孢粉中各属所占的百分含量只要求大致反映该植物群中各属的多寡，而不是求得一个绝对的比例关系。

总之，通过研究空气中降落的孢子花粉以及表土中的孢子花粉可以充分说明，在地层中

<i>Picea</i>	平均2.5
<i>Ulmus</i>	平均3.0
<i>Alnus</i>	平均3.3
Graminea	平均2.25
<i>Pinus</i>	平均0.5
<i>Rhodendron</i>	平均2.0
<i>Acer</i>	平均9.0
Polypodiaceae	平均8.0
Compositae	平均1.6
<i>Fraxinus</i>	平均10.0
<i>Quercus</i>	平均0.8
<i>Artemisia</i>	平均0.6

分析得出的孢粉成分，不仅可以了解地史时期植物的演化、发展，而且通过恢复其植物群可为研究古地理、古气候提供一定的依据。

二、孢粉的传播与孢粉总成分的关系

孢子花粉是能借助于风、水、昆虫等媒介物得到传播，有的甚至可以传播到数千公里远的地方。这就产生一个问题，即孢粉的传播作用能否影响孢粉的总成分。如某一植物群产生的孢粉粒大量地传播到较远的地方，能否影响植物群附近孢粉的总成分？反之，邻区的孢粉传播散落到本区内，即地层中的孢粉粒会混入外区的孢粉粒，那在恢复植物群面貌时是否会歪曲植物群的性质？欧美和苏联的孢粉学家作过不少这样的试验。譬如在某一植物群附近的表土中采集孢粉粒，经鉴定统计后与植物成分进行对比，然后在森林边界区表层中采样，以取得某一个属的含量变化，试验表明，某一个属的孢粉绝大多数是掉落在植物母体的周围，随着远离母体，它们的含量急速下降，能散布到数千公里以外的仅极少数孢粉粒，不影响以母体周围孢粉粒的属、种成分来恢复其母体植物群的总体面貌。如云杉属，经研究，在云杉分布区内，表层样品中云杉花粉的含量为20—37%，在南部边界线附近则减低到10%，至云杉界线以外1—2公里的地方，该类花粉就减为1—6.5%。扎克琳斯卡娅和格里丘克认为，云杉花粉传播范围的半径不大于300—400公里（图2—2）。

在桦树森林范围内，桦的花粉含量为92—99%，而在桦树森林范围以外，则迅速降低到5—0.5%。虽然桦的个别花粉粒能够飞到数百公里以外的地方，但绝大部分却落在比松树花粉更近的地方（图2—3）。阔叶树（椴、栎、鹅耳枥）的花粉基本上都落在森林区的范围内。据费多洛娃的资料，在阔叶植物森林区内，阔叶树的花粉占木本植物花粉总数的80—96%，离开森林区2—4公里后，其百分比就下降到1—4%（图2—4）。

从以上可以看出，尽管孢粉具有散布作用，甚至可以散布达到几千公里以外，但孢子、花粉等属、种主要是散落在母体周围，不影响利用孢粉成分恢复其植被类型。同样说明，外区传来的孢粉是极少数，不会混淆孢粉成分的基本面貌。

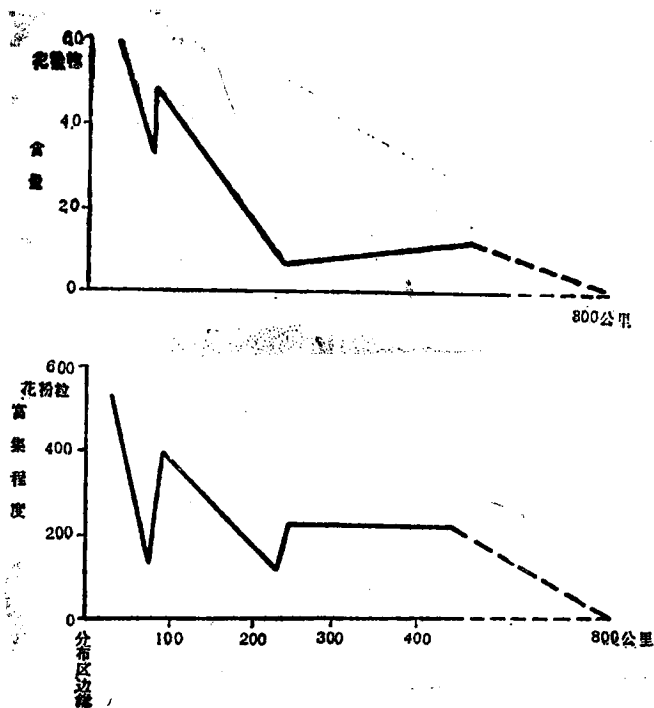


图2—2 云杉分布区以外, 无森林区表层样品中云杉花粉的富集程度和含量
(据格里丘克和扎克琳斯卡娅)

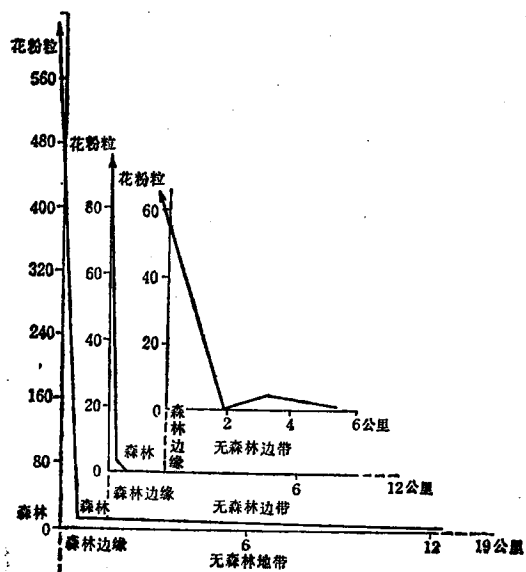
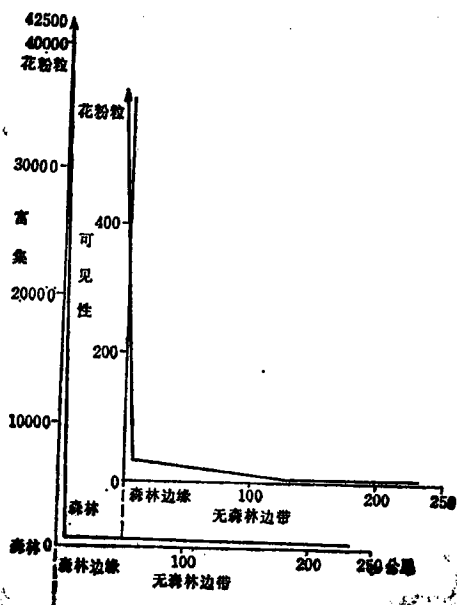


图2—3 在桦属森林区和无林区表层样品中桦树花粉的富集程度和含量 (据费多洛娃)

图2—4 无森林区和森林区表层样品中阔叶树种花粉的含量 (据费多洛娃)

三、海洋沉积的孢粉组合和沿岸植被的关系

把“孢粉学”应用到海相地层沉积上，这涉及沿岸植物群与带入海洋中的孢粉粒的关系。

实践证明，海洋沉积物中含有丰富的孢粉，除红树植物和海滨植物花粉外，大部分来自陆上植被，而且海洋沉积中的孢粉与沿岸植被存在着密切关系。同济大学海洋地质系通过对东海、黄海、渤海海洋沉积的孢粉研究表明，近海海洋沉积中的孢粉主要是来自滨岸的植被。如南黄海扁担港外剖面表层沉积的孢粉组合，自西往东可分为三个孢粉区：Ⅰ区是以草本花粉为主的蒿—藜孢粉区。本区孢粉组合以草本花粉占第一位，为50.5—70%，其中以蒿和藜科花粉最多，禾本科、莎草科（*Cyperaceae*）、菊科也有一定数量，少量的毛茛科、唇形科（*Labiatae*）、十字花科（*Cruciferae*）花粉，并有一定数量的水生植物花粉，如眼子菜（*Potamogeton*），黑三棱，蓼（*Polygonum*），车前（*Plantago*）等。木本花粉处于次要位置，占孢粉总数的22—36%，有松、栗（*Catsanea*）、榆、柳、桦等。孢子数量较少，有水龙骨科（*Polypodiaceae*）、蕨属等。Ⅱ区为松、栎—草本花粉区。本区为Ⅰ区向Ⅲ区过渡，孢粉组合中木本花粉和草本花粉数量相等，主要的花粉有松、栎以及禾本科、藜科，其他尚有栗、柳、榆、莎草科、菊科等。孢子数量很少，有水龙骨科、蕨属等。Ⅲ区是松、栎—椭圆形藻、刺球藻区。本区孢粉组合以木本花粉和藻类占优势，在孢粉总数中各占25.8—77.6%和20—52%。木本花粉中松、栎花粉最多，其他尚有柳、桦、栗、枫香（*Liquidambar*）、冬青（*Ilex*）等。藻类中以一种轮廓椭圆形、外壁较厚有核的藻体最多，个体大的刺球藻有相当数量。草本花粉和孢子数量皆不多，有少量的禾本科、莎草科、蒿属和藜科，水生草本花粉不见。孢子有水龙骨科、蕨属、凤尾蕨（*Pteris*）等（图2—5）。

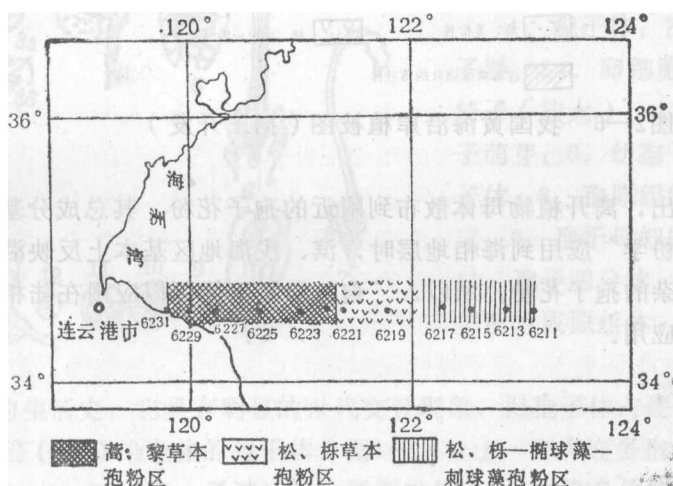


图2—5 南黄海扁担港外剖面表层沉积孢粉分区
(据王开发)

上述剖面表层沉积各孢粉组合区和本剖面的位置有关，在南黄海北纬34°—35°、东经121°30′以西的相当范围海域是以蒿、藜科花粉为主的孢粉组合，而此区以东、以北为松、栎木本花粉为主的孢粉组合，此分布规律和陆缘植被有关。从黄海、渤海沿岸的植被可看

出，北部辽东、山东半岛为栎林、松林区，连云港以南为含有常绿阔叶树的落叶、阔叶林区，而西部的广大华北平原为栎、油松—灌丛草原区，此区在北纬 35° 左右，一直伸至海滨为海滨草原植物，所以反映在海区沉积以藜、蒿为主的孢粉区。往东，由于草本花粉飞翔不远，因而距陆缘越远的海区数量越少，但木本花粉相对增加是由于沿岸两侧皆为松、栎大量发育，所以反映为松、栎为主的孢粉组合。显然，本剖面的孢粉分布和沿岸植被有非常密切的关系（图2—6）。

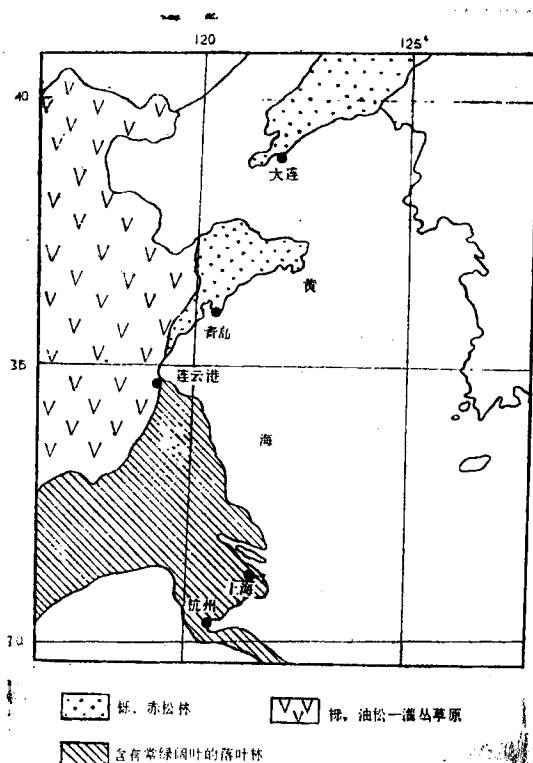


图2—6 我国黄海沿岸植被图（据王开发）

从上例可以看出，离开植物母体散布到附近的孢子花粉，其总成分基本上还是反映植物群落的特点。“孢粉学”应用到海相地层时，滨、浅海地区基本上反映沿岸地区的植物群，较远的海域则是混杂的孢子花粉。所以，“孢粉学”不仅可以应用在陆相地层，在海相地层上亦能得到广泛的应用。

第三章 孢粉形态及壁部构造

一、孢粉的一般形态特征

1. 植物的有性生殖及世代交替:

孢子和花粉是植物繁殖器官的组成部分,与植物的生殖有不同程度的联系。下面重点介绍具有颈卵器的高等孢子植物、裸子植物的有性生殖及世代交替和被子植物的有性生殖过程,以便了解孢子、花粉的由来。

i) 苔藓植物的生活史: 苔藓植物世代交替的一个重要特征,就是配子体发育,孢子体退化。其孢子体不能独立生活,要依附在配子体上,靠配子体供给养料生活。苔藓植物的孢子萌发,首先形成丝状或片状构造的原丝体(Protonema)(图3—1. 13, 14),在原丝体上产生假根和芽体。由芽体发育成具有茎叶的绿色植物——配子体。原丝体一般死亡。而孢子是在孢子囊中由孢原组织经过母细胞分裂成四分体而形成(图3—1. 11),四分体中每个单独的细胞是一个孢子(图3—1. 12),当孢子成熟后脱离植物母体而散落在土壤中萌发长出原丝体或原叶体,并发育成苔藓植物体,其顶端为寄生的孢子体。

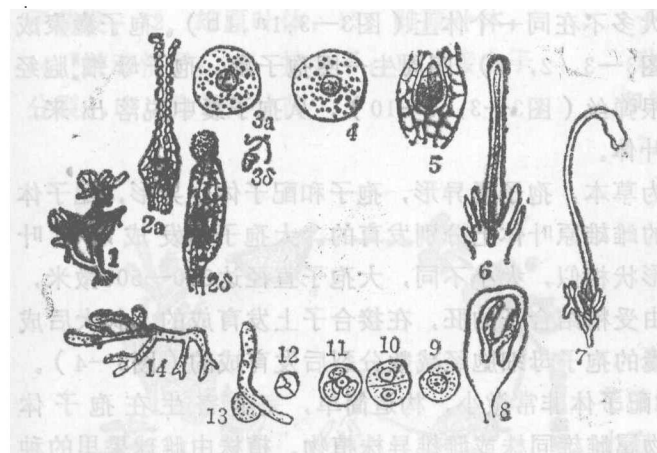


图3—1 苔藓的生活史

1. 配子体; 2a, 雌器; 2b. 精子器; 3a. 卵细胞(放大); 3b. 精子(放大); 4. 接合子; 5. 接合子萌芽; 6. 幼孢子器; 7. 成熟的孢子体; 8. 孢原组织在孢子器内的形成; 9. 孢子母细胞; 10. 减数分裂; 11. 孢子四分体; 12. 孢子; 13. 孢子萌发成原丝体; 14. 有芽的原丝体

ii) 蕨类植物的生活史: 它具有明显的世代交替现象,但孢子体占优势,配子体渐退化。无性世代为双倍($2n$)染色体的孢子体(图3—2. 1),产有许多孢子囊,孢子囊内产有孢子母细胞(图3—2. 3, 4),通过减数分裂形成单倍(n)染色体的孢子而进入有性世代。(图3—2. 5, 6),孢子成熟后脱离母体,在适宜环境下萌发,发育成配子体(图3—2. 10, 11),其上产有藏精器及雌器(颈卵器)(图3—2. 12, 13)。具鞭毛的精子凭水为媒介以及化学物质的吸引,进入颈卵器与卵子结合形成双倍($2n$)染色体的受精卵。受精卵发育成幼苗,在配子体上继续发育成长为孢子体,即独立生活的植物体,属无性世代。

iii) 木贼的生活史: 木贼植物的生活史中精子器和颈卵器(有性世代)是在雄性和雌性

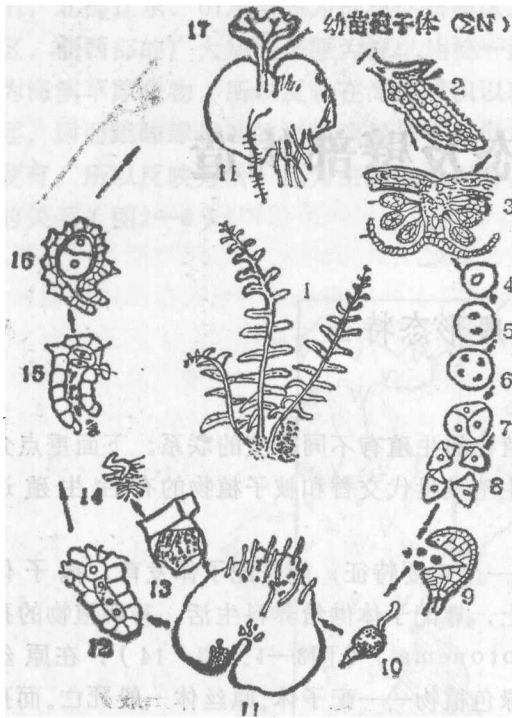


图3—2 真蕨植物生活史

1. 孢子体；2. 叶及孢子囊堆；3. 孢子囊盖及孢子囊；4. 孢子母细胞；5. 减数分裂；6. 第二次分裂；7. 四分体；8. 孢子四分体；9. 孢子囊开口；10. 孢子萌发；11. 配子体（原叶体）；12. 雌器；13. 藏精器；14. 精子；15. 卵细胞；16. 接合子；17. 幼芽孢子体。

原叶体上（图3—3, 12, 13）分别发育的，两种原叶体的形态差异不大，但所起的作用不同。一种孢子萌发后长成雄原叶体，起小孢子的作用，另一种萌发后长成雌原叶体，起大孢子的作用。植株上的营养枝和生殖枝也大多不在同一个体上（图3—3, 1a, 1b）。孢子囊聚成囊穗，其上密生许多伞状的孢子囊柄（图3—3, 2, 3），四周生一圈孢子囊，孢子母细胞经减数分裂后而成孢子，孢子往往具有四根弹丝（图3—3, 4—10），从孢子囊中脱落出来，掉入适宜的土壤上便萌发，长出雌雄原叶体。

iv) 卷柏的生活史：卷柏的孢子体为草本，孢子囊异形，孢子和配子体也异形，配子体极为退化。其精子器和颈卵器是在独立的雌雄原叶体上分别发育的。大孢子萌发成雌原叶体，小孢子萌发成雄原叶体。大小孢子形状相似，大小不同，大孢子直径达200—500微米，而小孢子直径仅20—40微米。孢子体是由受精结合子的胚，在接合子上发育成的，长大后成为独立的植物，大小孢子是在大小孢子囊的孢子母细胞经减数分裂后发育成的（图3—4）。

v) 裸子植物的生活史：裸子植物的配子体非常微小，构造简单，完全寄生在孢子体上，没有明显的世代交替现象。裸子植物属雌雄同株或雌雄异株植物。植株由雌球果里的种子发育而成。松树是雌雄同株植物的一个代表。它的雌雄配子体是在同一植株上的雌球果和雄球果上分别发育而成的。雄球果上的花粉囊中的花粉是由花粉母细胞经减数分裂后形成的。当花粉成熟以后，一部分花粉落到有胚珠的雌球果上，花粉萌发长出花粉管，使精子通过花粉管进入颈卵器，受精的卵细胞形成胚，并形成种子，种子萌发后长成新的植株（图3—5）。

vi) 被子植物的生活史：被子植物的繁殖不是靠颈卵器，而是通过花、果实、种子而完成的，往往在一朵花中同时有雌蕊和雄蕊（图3—6），雄蕊由许多花丝和顶部的花药组成，花药内一般有四个花粉囊，囊内有花粉母细胞，经两次分裂形成许多分离的四分体的单核细