

自编实验教材之一——

# 孢粉学与考古学

靳桂云 陈雪香

山东大学历史文化学院考古系

2005年7月

## 目 录

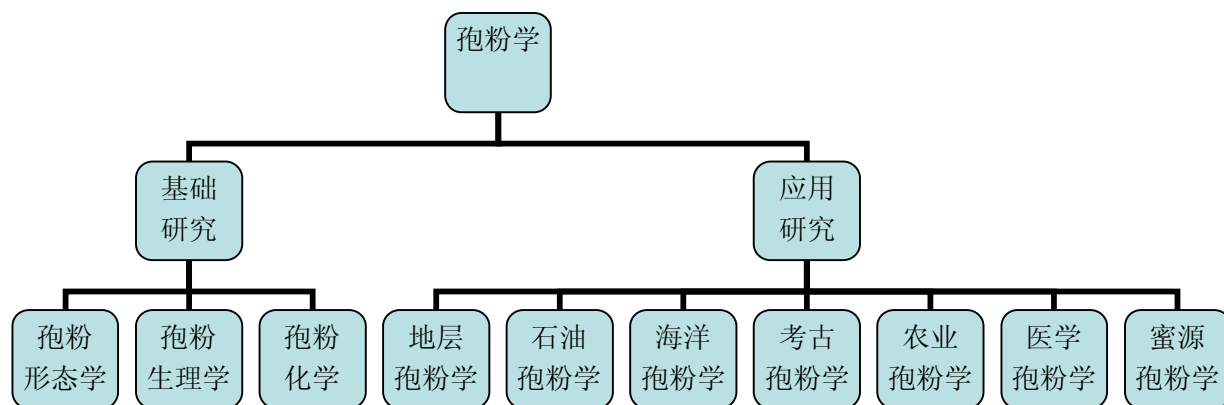
一、孢粉学概论	3
二、孢粉研究方法	11
三、孢粉分析在考古研究中的应用	18

## 一、孢粉学概论

孢粉学 (Palynology) 是研究植物的孢子、花粉(简称孢粉)的形态、分类及其在各个领域中应用的一门科学。孢粉学可以分为两个领域, 现代孢粉学及古孢粉学。英国加的夫大学的海德和威廉斯于 1945 年最先创用孢粉学一词。

整个植物界, 格局繁殖器官的性质可以分为两类。凡用孢子进行繁殖的植物, 如菌、藻植物和蕨类植物, 称为孢子植物; 凡用种子进行繁殖的植物, 称为种子植物。种子植物包括裸子植物和被子植物, 而花粉是种子植物的繁殖器官。孢子和花粉在孢子囊和花药中成熟之后, 经过风、水或者动物等动力飞离植物母体, 大部分落在土壤中, 经过漫长的地质年代, 土壤变成了岩石, 而这些保存在掩蔽中的孢子和花粉, 即称为化石孢子和化石花粉。孢粉学的研究对性除了现代和化石的孢子花粉外, 广义的孢粉学还包括地质时期中, 在显微镜下看到的菌类、单细胞藻类及部分群体, 如菌类孢子、沟鞭藻、硅藻、硅鞭藻、盘星藻、双星藻、鼓藻、疑源类化石等。

孢粉学研究的基础部分为植物学的一部分, 主要为孢粉的形态、分类及生理、生化等方面。其应用部分则各有侧重, 古孢粉学或称地质孢粉学主要为地层对比、寻找有关矿产, 尤其是煤和石油以及其他陆相沉积矿产服务。还应用于古生态、古环境、古地理、古气候学的研究。孢粉学所涉及的内容非常广泛和丰富, 目前已产生了许多分支学科, 概括起来可以分为基础研究和应用研究两个方面(如下图所示)。



考古孢粉学可以为考古学家对古遗址的研究提供气候、植被等方面的情况。农业孢粉学用于土壤、养蜂、动物粪便等方面的分析, 以解决土壤形成环境, 蜜源植物的来源及寻找食草动物、食虫动物间食物链的组成及其相互关系以及虫媒花的媒介等。医学孢粉学用来寻找某些致病孢粉及其治疗和在法医学中作为寻找罪犯、判定犯罪现场等的线索, 以至作为判罪的重要证据。食物孢粉学是近来才兴起的, 人们可以通过对孢粉的成分的研究或研究对其有机质壁的破碎方法等, 为人类食品提供重要的微量元素及有机化合物的补充等。

花粉有一层由孢粉素组成的外壁, 它是一种复杂的碳、氢、氧化合物, 它能耐酸、碱, 极难氧

化，在高温下也难溶解，因此可以保存成化石。孢粉粒的直径一般在 10~200 微米之间，体轻，有些还具有气囊，可以分布到较大范围。如松、云杉、椴等花粉均可飘飞 1000 多公里。这就使得孢粉化石可以在较大范围内用于地层对比和古植被、古气候分析判断等。

花粉分析的结果可以用于确定沉积年代，进行地层对比。由于植物界由低级到高级的不可逆转的变化，每一个地质时代都有着这一进化线上特定的植物群，由此就可以进行判断。

花粉分析还可以用来推断沉积时期的古气候、古地理及应用于古生态古群落的研究等。这是采用“将今论古”的思想，使用这个方法的前提是假定同类植物在地质历史时期的生态要求大体与现代一致，因而不能用于太老的地层，一般用于新生代，特别是第四纪。

在石油勘探中，大型化石不仅难以找到，而且易被粉碎。这时，体小、量多的孢粉就成为地层对比的重要手段，还能为寻找生油层及储油层提供古生态及古地理的重要信息。从原油中分离出来的孢粉，可以指示石油生成的地层年代及其迁移的过程；分析岩心中的孢粉及海相化石，并计算其此值的变化，可以指示石油形成的地点及层位。当前根据孢粉的颜色来推断石油的成熟度，并以指导石油勘探的方法被广泛的应用于世界各国石油公司中。

不过在孢粉的研究方法中也存在一定的困难，如对现代孢粉研究得不够(仅约几万种，为现代植物 20 多万种的 1/3 至 1/4)。化石孢粉的分类则更困难。小而易飘飞，各种植物孢粉产量不一，大小各异、飘飞远近不同，降落速度也不一样，对于正确恢复某一特定植物群的面貌有一定困难。

### (一) 孢粉学的发展简史

孢粉学的发展是与显微镜的发明密切相关的。17 世纪就有格鲁和马尔皮基对花粉进行过观察。此后直到 19 世纪末，学者们主要致力于对孢粉进行形态及结构方面的观察和描述，直到 19 世纪 30 年代人们才开始注意化石孢粉的研究。德国埃伦贝格最早涉及孢粉化石，而有关孢粉化石的第一篇论文是瑞士地质学家弗吕赫提出的。

拉格尔海姆在 1905~1908 年的著作中首先对孢粉化石属种的百分含量进行统计。1916 年瑞典学者波斯特在学术会议上宣读了题为“瑞典南部泥炭沼泽沉积的森林花粉”的论文。除了计算孢粉百分含量之外，他创制了孢粉谱和不同植物花粉的代表符号。1923 年格拉西莫夫发表了有关孢粉化石的文章，同年狄森和斯塔乌德描述了上石炭期的孢子。

1935 年美国学者沃德豪斯在研究一种因花粉过敏而引起的鼻腔炎症(枯草热病)而找出许多致病的花粉，出版了专著。1937 年马尔科夫首先用孢粉学方法解决列宁格勒地区第四纪地层问题。同年格里丘克发明了重液浮选孢粉的方法，解决了从岩石中提取孢粉的难题。

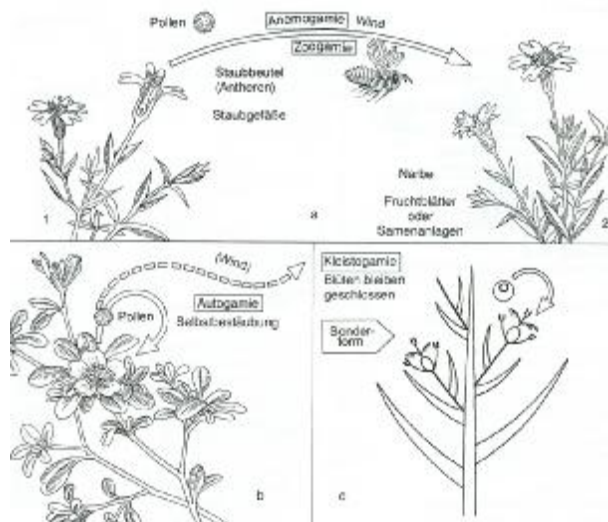
在孢粉分类方面有易卜拉汉、娜乌莫娃、肖夫、威尔逊和本托尔等先后对化石孢粉的人为分类进行研究，并提出不同方案。同一时期埃尔特曼于 1943 年首先出版了《花粉分析入门》一书，同时他对孢粉形态学作了大量工作。苏联学者波克罗夫斯卡娅等集体合著的《花粉分析》和美国楚迪等合著的《孢粉学概论》，总结前人工作，全面介绍了孢粉学的理论、方法和在各个领域的应用，至今仍是较好的入门参考书。

### (二) 孢粉分析的基本原理

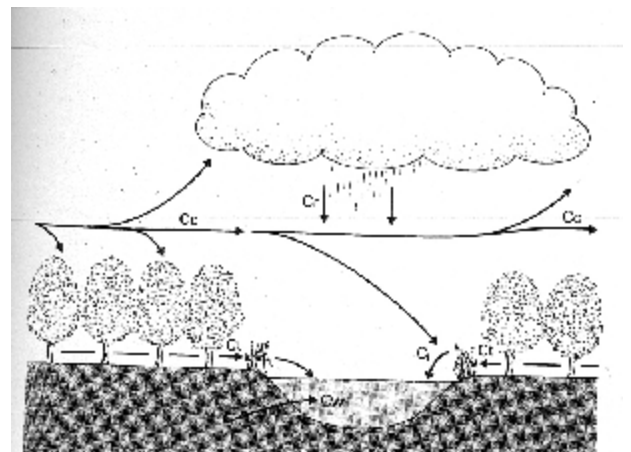
孢粉不仅产量大，而且孢粉壁具有易于保存；体积小，直径一般在 10—100 微米之间，比重较轻，容易被风或水搬运，在一定范围内孢粉容易混合，为认识植被的综合特征提供了基础。绝大部

分孢粉都落在产生孢粉的植物体附近；由于各种木本植物产生花粉的能力不同，花粉结构的差异，所以植物分布区以外花粉传播的情况就不同。

松属花粉产量大，故飞翔能力强，一般松属花粉可以随气流搬运到 950—1200 公里处，属于高代表性植物；大多数阔叶树花粉基本降落在森林区内，在离森林 2—3 公里的表土中已经是偶然出现；草本植物传播距离不远。栽培的禾本科大部分花粉降落在植物生长地范围内，野生禾本科植物的花粉属于风媒植物，花粉产量高，其传播距离可能稍远些。



图一 孢粉的产生与传播示意图



图二 孢粉的沉积示意图

1. 以孢粉组合为依据，正确地估计所代表的古植被，是作为推论古气候、古地理，划分对比地层的前提，因此对它的研究是非常重要的。如何研究孢粉组合与植被的关系，一般通过下列三个途径：

**(1) 从植物花粉产量上来研究花粉与植被的关系**

这种方法从计算每朵花，每一支或每株植物的划分产量来研究，能够从中知道所研究植物花粉产量的大致情况，可以作为孢粉组合恢复古之辈的参考。但存在问题也很多，如植株大小不一，还有盛花年和不开花年的存在等，故计算难以准确，完全依靠它应用于解释孢粉组合是有问题的。

**(2) 从研究空气中的孢粉来了解孢粉组合与植被的关系**

曾有许多研究者采用过这种方法，有学者认为空气中的孢粉组合基本反映了当地的植物群落，但由于研究空中花粉的时间不可能很长，而植被开花在一年中的变化有时有较大的差异，故该方法不尽完善。

**(3) 分析不同植被带表土来研究孢粉组合与植被的关系**

用这种方法所获得的孢粉组合，是多年花粉雨的一个平均值，易于消除年变化中所引起的误差，所以能够比较好地反映与植被的关系。

2. 从表土样品的研究结果证明，孢粉谱能够正确反映植被组成，但我们研究的是化石孢粉，通常不只是表土，而且还是湖泊、沼泽、河流或海洋等沉积，因此各种沉积相的孢粉谱是否都能正确反映植被成分还是问题。为了弄清楚这些问题，不少学者在各种不同的沉积相中采集表层样品进行孢粉分析。

### (1) 河流沉积的孢粉谱

费多洛娃研究了伏尔加河河漫滩表层样品取得了良好的结果。研究证明河漫滩的孢粉谱基本上反映取样带的植被成份，但同时也会有 20% 的外来孢粉，这些花粉是由北面带来，它们主要是飞翔能力较高的风媒植物花粉。

### (2) 湖泊沉积的孢粉谱

多数学者承认湖底沉积物的孢粉谱具有以下特点：

- ① 乔木树种的花粉含量在整个湖底沉积是相同的；
- ② 在微流动的条件下，水的流动对花粉的散布并无显著影响；
- ③ 湖面上的风，虽然对湖水有所波动，但对花粉的推动却无明显影响，这是由于降落在湖面上的花粉降落到表面张力膜之下，并且主要是随着水波的运动进行垂直移动之故；
- ④ 湖底沉积物的孢粉谱反映湖缘地区的植被成份。

### (3) 海洋沉积孢粉谱

分析海底沉积物的结果证明，沿岸植被的一般性质能够清楚地反映在孢粉谱中。

- ① 近陆的浅海沉积物孢粉谱能正确地反映沿海地区的植被特征，而深海的孢粉谱只能反映路缘综合的植被特点；
- ② 在海洋沉积物中草本植物花粉含量的多寡，可以反映其距离的远度；
- ③ 海相沉积的孢粉谱中，松属花粉往往不能很好地反映其周围地区植被的真正百分比，其值往往大于植被中的比例。

3. 以上分析表明，通常情况下，化石孢粉组合能够大致反映当时的植被特征。但是在实际工作中，除了较典型的孢粉谱外，有时候会遇见不标准的孢粉谱，而**影响孢粉谱正确反映植被的因素**概括起来有三个方面的：

#### (1) 孢粉本身的因素

如由于孢粉外壁的坚固程度不同而影响其在地层中的保存；孢粉本身的飞翔能力不同；不同植物的孢粉产量各不相同，也对孢粉谱正确反映植被有很大影响。

#### (2) 自然环境对孢粉谱的影响

风力大小和风向都会直接影响孢粉谱的组成；水流、流向的不同，孢粉分选程度和富集部位也不相同；沉积物的地形，如开口盆地与闭口盆地，沉积物中孢粉的分选型等也对孢粉谱有影响。

#### (3) 人为因素对孢粉谱的影响

如野外采样不慎混入现代花粉或其他地层岩石的污染，实验室碎样不当破坏孢粉，或制片时样品搅拌不均匀，以及鉴定者的实惠平等，都会在一定程度上影响孢粉组合的成份。

### (三) 孢粉形态

孢子花粉的形态及其内部结构特征是鉴定属种的主要依据，这里主要介绍孢粉的结构、外壁纹饰、形态类型等问题。

#### 1. 孢粉的形态特征

孢粉在四分体中的排列方式主要由四面体型和四方型两大类组成，因而在形态上也就不相同，如四面体型排列的，其外形常为圆三角形、圆形；而四方体排列的，其外形多为豆形、椭圆形等。

### (1) 孢粉的极性、对称性、形状、轮廓、大小

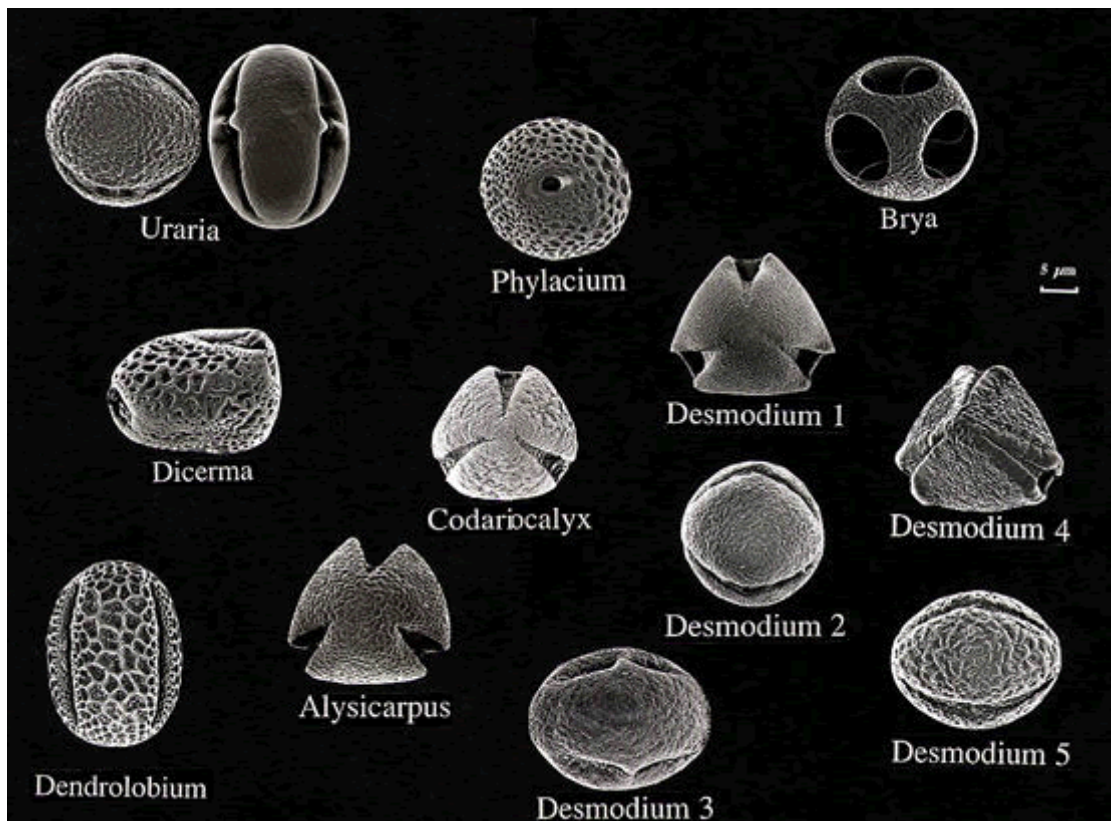
孢子是隐花植物单细胞配子体；花粉是显花植物的雄形配子体，由两个和两个以上的细胞组成，它们是由母细胞经过减数分裂而产生的。各类植物产生的孢子及花粉的形态构造各不相同。

花粉多为两侧或辐射对称的球体，外边包一较硬的花粉壁，称为外壁。在化石状态中也只有外壁能保存下来，外壁分为两层，外壁外层及外壁内层，外层又可分为覆盖层，柱状层和底层。外壁上具萌发孔是外壁变薄的区域，花粉萌发时花粉管即由此处伸出，不同植物花粉的萌发孔形状与数量不尽相同，长形的称为沟，短的称为孔，它的数目可以从一个至多个，也有无萌发孔的花粉，如樟科植物。外壁外层常具不同的雕纹，如颗粒状、刺状、疣状、网状、条纹状等。

① 为了研究的方便，人们假设每个孢粉的四分体的中心点为单个孢子花粉的近极点，而由近极点和每个孢粉的中心点之间的连线延长到外面的焦点为远极点。近极点和远极点之间的显现则为极轴。通过每个孢粉的中心而垂直于极轴的线称之为赤道轴，而赤道轴所在的平面被称为赤道面。以赤道面为界，靠近近极的一面称为近极面，靠近远极的一面称为远极面。凡被赤道面分割的孢粉的两相对称部分称等极，如被子植物中具三孔、三沟的花粉多为等极，反之，则成为为不等极如常见的孢子和单沟花粉。

#### ② 孢粉的对成性

孢粉具有对称性，一般排列于同一平面上的多表现为左右对称，排列于不同平面的四面提醒的四分体所分化出来的孢粉多为辐射对称；有的花粉呈球形，则为完全对称。

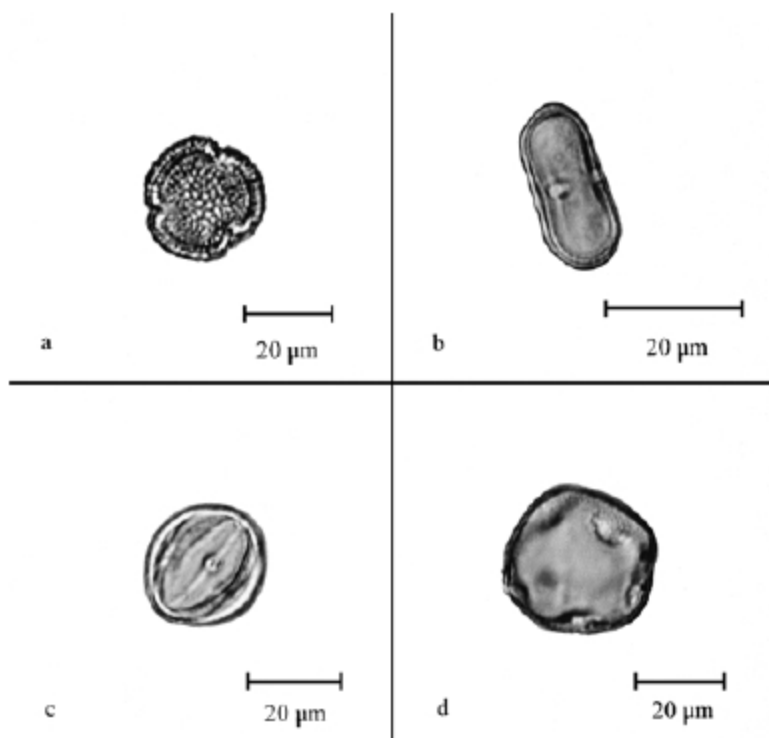


图三 花粉粒的形态

### ③ 形状、大小及轮廓

孢粉形状各不相同，根据极轴和赤道轴的比例关系，可以分为从超长球型到超扁球形的五个级别。化石孢粉由于长期处于岩石的高压执行啊，往往被压扁呈不同的轮廓，其极面投影有圆形、三角形、四边形、五边形、六边形、多边形、圆三角形、钝四边形、钝五边形、钝六边形、钝多边形，以及三裂圆形、四裂圆形、五裂圆形灯。

总体看来孢粉是微小的颗粒，如现代植物中勿忘我属 (*Myosotis*) 的划分只有  $5 \times 2.4$  微米；而某些植物的划分可以达到 200 微米，蕨类植物大孢子的直径有 1500 微米。



图四 不同形状的孢粉粒

### (2) 孢粉的萌发器官

孢粉的萌发器官是其重要的娥形态特征，艾特曼早年曾将萌发器官按照所在的位置分为四类，即萌发器官位于近极、远极、赤道及散布在整个孢粉上。

孢子的外部常常被以一层薄柔的周壁，在化石状态中很易脱落，孢子的外壁无结构，因而在光学显微镜下孢壁显得致密、坚实。孢子的萌发孔为呈“Y”型的三裂缝或呈“I”型的单裂缝，以此区别于花粉。

孢粉成熟时，孢子的近极面沿射线裂开，花粉粒远极面上形成萌发孔。不同孢粉的萌发器官的数目、位置、特征各不相同，是鉴定及分类的重要特征。

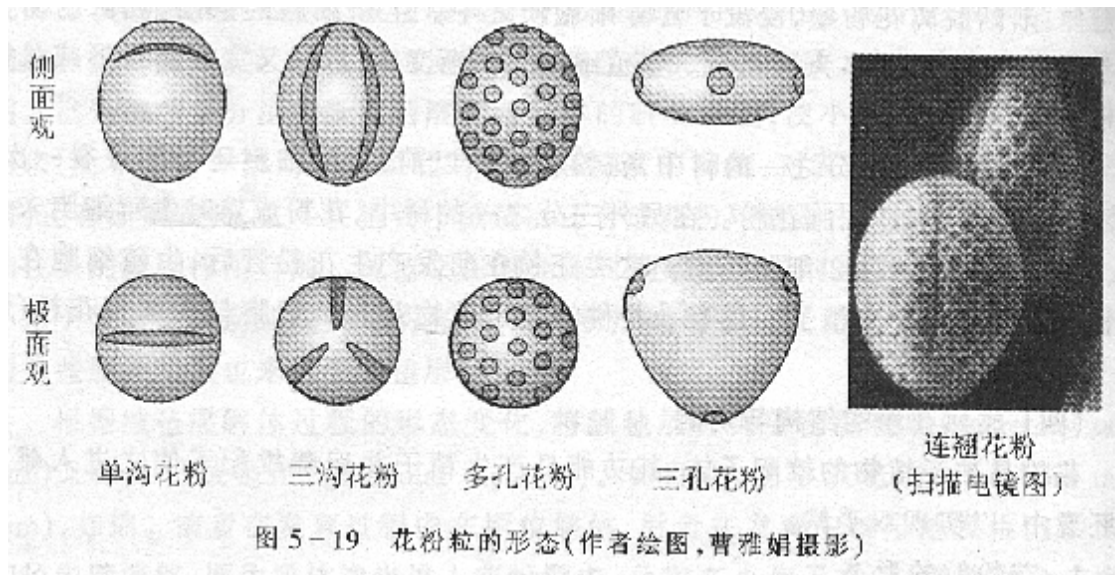
裸子植物有具气囊的花粉(松型)、有具单沟的船形花粉(苏铁型)、具乳头突起的球形粉(杉型)、不具明显萌发器官的球形粉(柏型)和橄榄形粉(麻黄型)被子植物花粉类型多，也更为复杂。首先，二粒以上花粉粒集合在一起的称复合花粉，其中有二合、四合和多合花粉(4~16个花粉组合而成)，许多花粉集合成块状的叫花粉块。只具有一个单细胞花粉粒的叫单体花粉。可按其萌发孔及萌发沟的



多少、大小、分布位置等分为许多类型。

从萌发器官本身的特性也可以分为四个基本类型：

- ① 具射线裂缝的萌发器官，主要为苔藓类及蕨类植物的孢子。
- ② 萌发器官不明显的类型。
- ③ 具孔的萌发器官，往往都是在花粉壁上具圆形的开口，不同种属的花粉，其孔在外壁上的位置、数目、结构各不相同，因此孔的特征也是鉴定花粉的重要依据之一。
- ④ 具沟的萌发器官，其形状可分为长形沟、裂缝状的沟、宽而短的沟等。

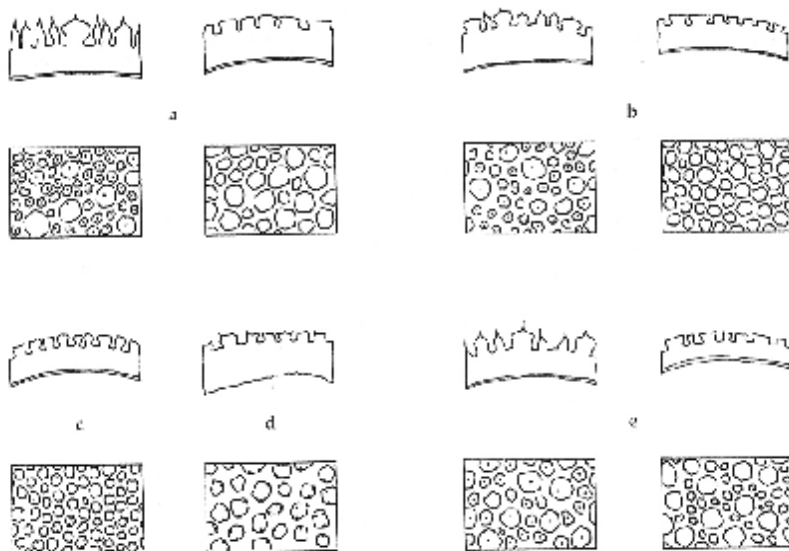


图五 孢粉的萌发器官

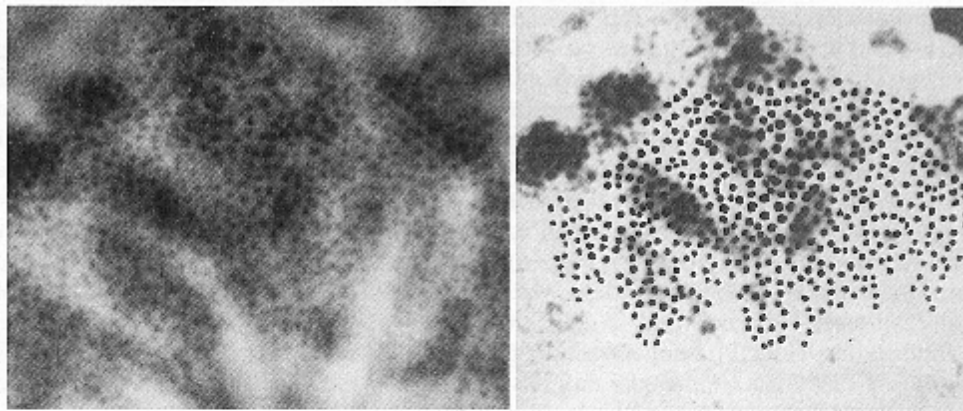
## 2. 孢粉壁的构造及其纹饰

孢粉壁可分为孢粉内壁、外壁和周壁。

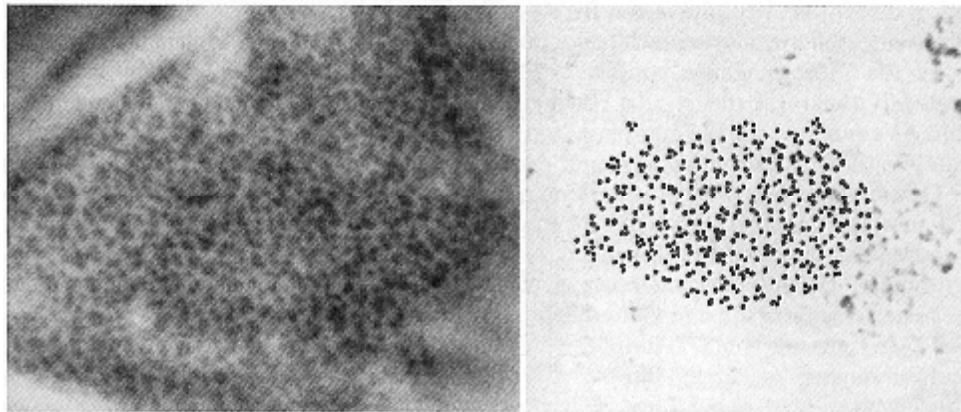
外壁纹饰常见的有九种：颗粒状、瘤状、疣状、脑纹状、条纹状、刺状、棒状、网纹状、穴状。



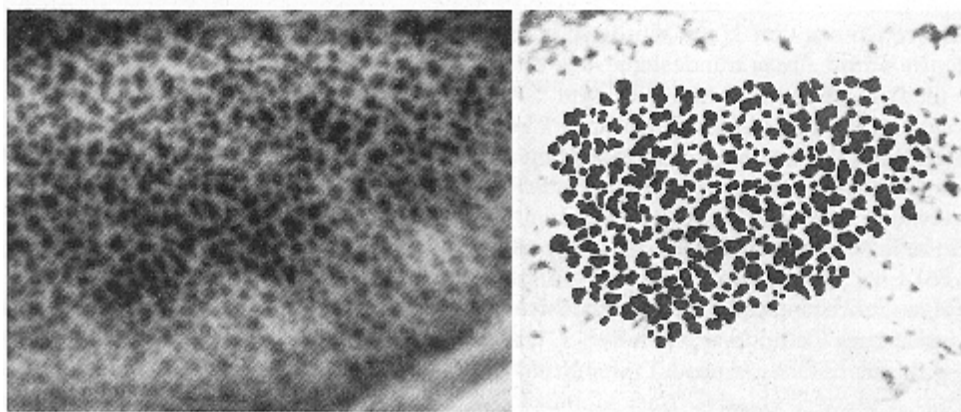
图六 孢粉壁的表面结构



l. *Hordeum*-Typ, Phasenkontrast-Muster (Beispiel: *Hordeum distichon*). Links photographische Aufnahme Phasenkontrast; rechts Zeichnung derselben Skulpturierung bei gleicher Vergrößerung.



k. *Triticum*-Typ, Phasenkontrast-Muster (Beispiel: *Triticum spelta*). Darstellung wie in Abb. 12.



图七 孢粉壁的表面纹饰

由于孢子与花粉只是植物体繁殖器官的一部分。保存在孢子囊或花药内的叫原位孢粉，它们可以援用植物体的分类和命名。一些化石孢粉由于多呈单粒孢粉形式存在，各分散孢粉，只能作为器官属或形态属进行分类，因为有一些不同植物其孢粉形态可能极为相似，而同一属植物却可产生不同的孢粉，再者一些已绝灭植物产生的孢粉至今也已完全绝迹。因此孢粉化石的分类与命名常常是

多种分类系统并存，意见不一成为孢粉研究中的重要问题之一。

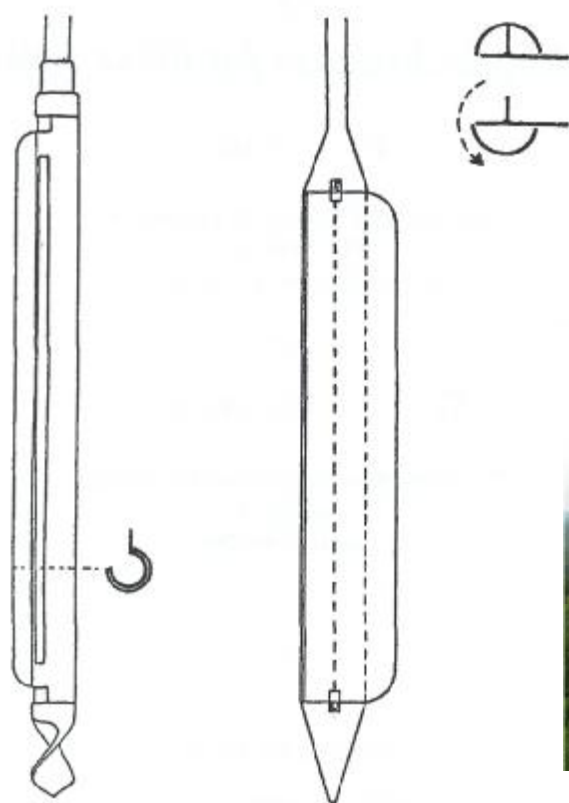
## 二、孢粉研究方法

一般孢粉分析，指孢粉学中最重要应用研究部分，包括化石孢粉形态学、地层孢粉学、石油孢粉学、考古孢粉学等。与考古工作密切相关的第四纪环境和考古学研究中的孢粉研究有一套完整的方法，从地层中采集化石孢粉的过程要比从地层中采集其它古生物大化石的过程复杂得多，所以研究过程中的每一个步骤都必须严格按照各种操作规程去作。一般来讲，孢粉研究方法依先后可以分为以下几个步骤：野外工作方法；实验室分析方法；孢粉的统计、计算和资料整理；孢粉图式的类型和绘制。

### （一）野外工作方法

孢粉样品可以采自天然剖面或钻孔岩心，重要的是采样要严格，避免上下层位及现代花粉的污染，天然剖面要除去风化的表面，采集应自下而上，岩心要去掉表层以免泥浆及其他污染。

首先要掌握露头采样方法，同时要注意保持样品的纯净，不能混入现代孢粉，为此一定要采集新鲜面上的标本。钻孔取样中要特别注意岩心的上下顺序，对全取心的钻孔剖面首先应该进行系统的观察和描述，如岩性变化、岩相类型等，并绘制采样位置图，将所采集的样品编号、层位岩性均标在图上。野外采集的孢粉样，应按照剖面不同进行系统分类编号，每一标本填写一个标签，标签上注明岩石名称、地层时代、采集地点、日期、采集人等信息。样品装箱时应注意防潮，箱内附样品清单、采集自然剖面图和柱状剖面图，以及其他必要的资料。



图八 湖泊等采样使用的钻孔工具



图九 岩芯样品

## (二) 实验室分析

孢粉实验室的工作包括两个方面：现代孢粉与化石孢粉的分析处理。这里主要介绍化石孢粉的实验室处理。



图十 (左、右) 孢粉实验室设备

化石孢粉的处理的目的是要从采集的沉积物中将孢粉提取出来，要经过物理和化学的方法处理，去掉矿物质及孢粉以外的其他有机物，使花粉富集起来。然后利用孢粉本身的透光性，在显微镜下观察研究。当孢粉样品进入实验室后，首先应进行实验室内编号登记，然后按照剖面顺序进行分批处理。

### 1. 初步处理

在碎样之前应首先把样品表面的污染物尽量清除干净，对较硬的标本可用水反复冲刷，对松软的样品可用小刀刮去表层污染物，然后烘干碎样。

取样重量：如泥炭、煤取 5-10 克即可，其他质地去 30-1500 克不等。

碎样：根据岩性变化决定碎样程度，一般样品（泥质岩、粉砂岩）过 0.25-0.45 毫米孔径的筛，灰岩因用盐酸浸泡碎成 1-2 厘米即可。煤样碎成小块不用过筛。

### 2. 一般样品处理

取样放入 800-1000 毫升的烧杯中，加入 100-150 毫升的盐酸溶液除钙，加入量为样品体积的一倍，充分搅拌，静置 1-2 小时待起泡现象完全停止。

加清水去酸，每次自然沉淀 3 小时，洗三次。

吸出上面的水之后，加 5% 的碱溶液，用玻璃棒充分搅拌，为加速作用可加热，加热时间长短，需根据其含有机质的多少，胶结之松紧而定，一般煮沸 2-3 分钟即可。

用清水洗碱 3 次（方法同上）。

经上述酸碱处理后，样品中的孢粉、表皮组织、管胞、木质碎片等和矿物颗粒即分离开来，便可用重液浮选。关于重液比重大小的选择，可格局孢粉比重和矿物比重之间的差别而定，一般化石孢粉的比重为 1.81-1.961，而一般矿物的比重大于 2，故采用 2.24-2.20 的比重的重液则能很好地将孢粉和矿物分离开来。

将碱处理好的样品吸出样品中的水溶液，倒入 50 毫升的大离心管离心后加入 2.24 比重的重液，量为样品体积的 2-3 倍，然后自然沉淀 24 小时，倒出上面含孢粉的重液，剩下的再加重液进行二次浮选。

将倒出的含孢粉的重液加入水稀释，加水量为重液体积的 3-4 倍，静置沉淀 4 小时或更长一些时间，让孢粉全部沉入杯底。然后倒去上面的水，离心清洗三次，加甘油即可制片。

富集后的孢粉保存于酒精，叔丁醇、硅油或甘油等介质中。制片时取其一滴置于载玻片上加以硅油、甘油胶、中性树胶等折光率高的介质，覆以盖玻片即可以观察。

### （三）孢粉的统计、计算及资料整理

孢粉分析的特点，不但鉴定属种，而且要计算每个属种的数量，并将统计数字进行计算，求出各个属种的百分含量。

#### 1. 准备工作

首先要对显微镜进行检查，准备鉴定时必备的参考文献及统计表格。正式鉴定统计之前，先在低倍镜下观察一下薄片孢粉数量的多少，有哪些主要孢粉类型。同时装入目镜测微尺，求出目镜测微尺格值的大小，以便测量。

孢粉的观察通常在放大 400~1000 倍的光学显微镜下进行，也可将孢粉作超薄切片；用透射电镜研究外壁的结构，用扫描电镜研究孢粉表面纹饰及萌发孔的结构。

#### 2. 孢粉鉴定

晚新生代孢粉的鉴定是通过与现代植物孢粉薄片的对比而完成的，近年来一些实验室建立现代与化石花粉形态数据库，用计算机来检索，使孢粉的鉴定工作更加快速、准确。晚新生代以前的孢粉中有许多是绝灭类型，因此不能与现代植物孢粉直接对比，而常采用器官属和形态属这种半人为或人为的命名方法。

鉴定过程中对那些有代表性的属种和新属、新种一定要进行系统描述，并用红点标出其所在的位置，以便照相。鉴定方法：首先确认其基本构造，由大类定起，逐级缩小，最后定出属种。

#### 3. 孢粉统计

孢粉鉴定完成后，还需要统计各类孢粉的数量并计算它们相互间的数量关系。孢粉的统计与鉴定同时进行，每定一个孢粉属种，同时将其计入孢粉统计表中，直到将该样品统计到规定的数量为止。每个样品所需统计的孢粉数量与研究目的有关，一般从 150 粒至上千粒不等。

### （四）孢粉图式的类型及绘制

孢粉统计的结果通常是绘成花粉图式来加以表达，即把各类花粉类型的百分比或浓度沉积率在一个地层序列或时间序列中表示出来。近年来计算及绘图工作都可以用电子计算机完成。

常见的孢粉图式包括孢粉重点曲线图式、孢粉水平柱状图式、孢粉棒带图式、孢粉连合图式、

孢粉旋迴图式等。当然，随着研究的任务、目的不同，还可以创造出更多的孢粉图式类型。

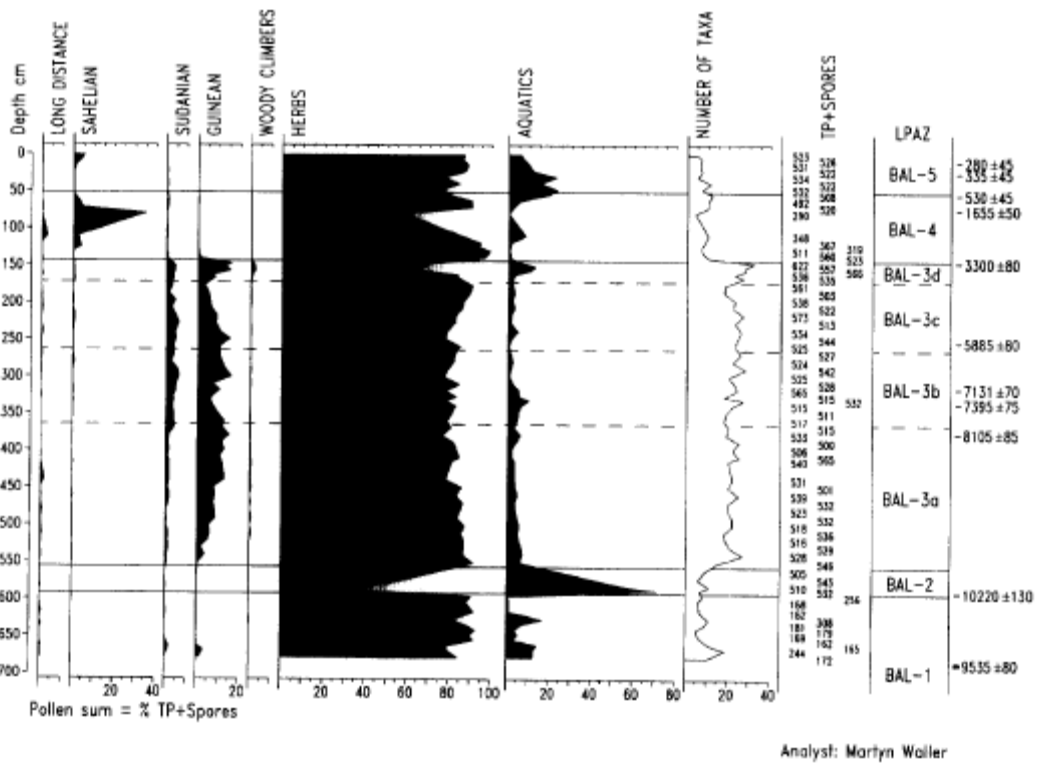


Fig. 5. Bal lake: percentage pollen diagram, Phytogeographic groups, number of taxa and pollen and spores sum totals.

图十一 孢粉重点曲线图式

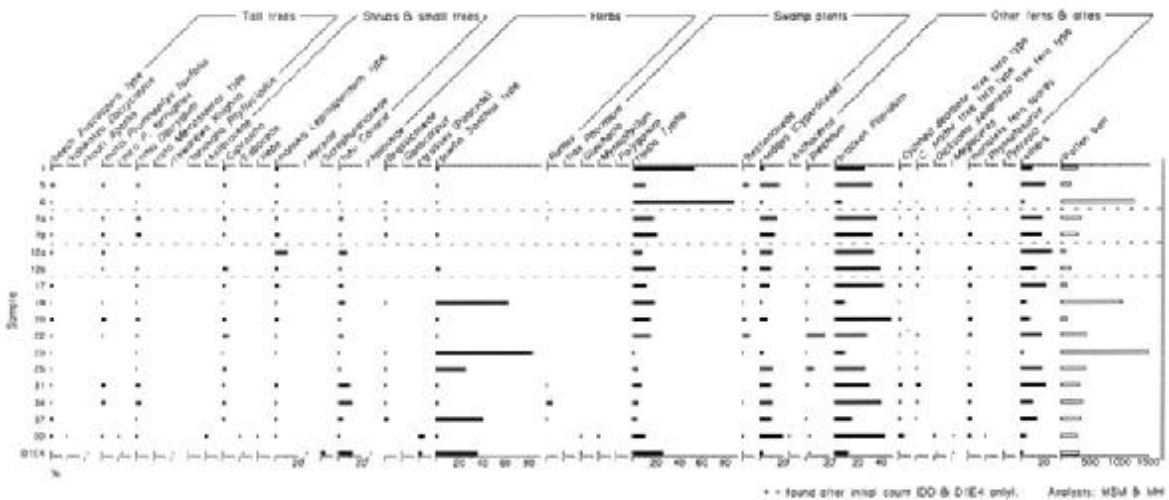


Figure 2. Pollen diagram of coprolites from Kohika, Bay of Plenty.

图十二 孢粉水平柱状图式

为了便于花粉资料的解释，一般将花粉谱划分为若干个花粉带，划带的主要原则是一个带内的花粉谱应有一定的相似性，带内花粉谱之间的差别应小于带之间的差别。花粉带的划分可以凭直观，

也可以用多元分析的方法，常用的有聚类分析、主成分分析等。

### (五) 孢粉分析中出现的菌藻化石

在孢粉分析过程中，经常同时出现许多浮游微体植物化石，包括：菌类孢子化石，以真菌孢子化石为主；亲缘关系清楚的藻类化石，如甲藻（化石亦称沟鞭藻）、硅藻、金门藻的硅边藻、绿门藻的盘星藻、双星藻、鼓藻等；亲缘关系尚不清楚的被称为疑源类。真菌孢子和沟边藻等化石主要存在于第三纪地层中，这里不介绍。

下面介绍硅藻、绿藻和硅边藻三种。

#### 1. 硅藻门 (Bacillariophyta)

硅藻生活于各类水域：淡水、微咸水和海水、死水和活水。地理分布从南极到赤道各自然带都有分布。硅藻的生殖速度快，死亡之后硅壳常堆积成硅藻土而成硅藻岩。硅藻化石研究对于恢复古地理环境、古气候，辨别海、陆相地层以及区域地层对比等，都能提供有力的证据。

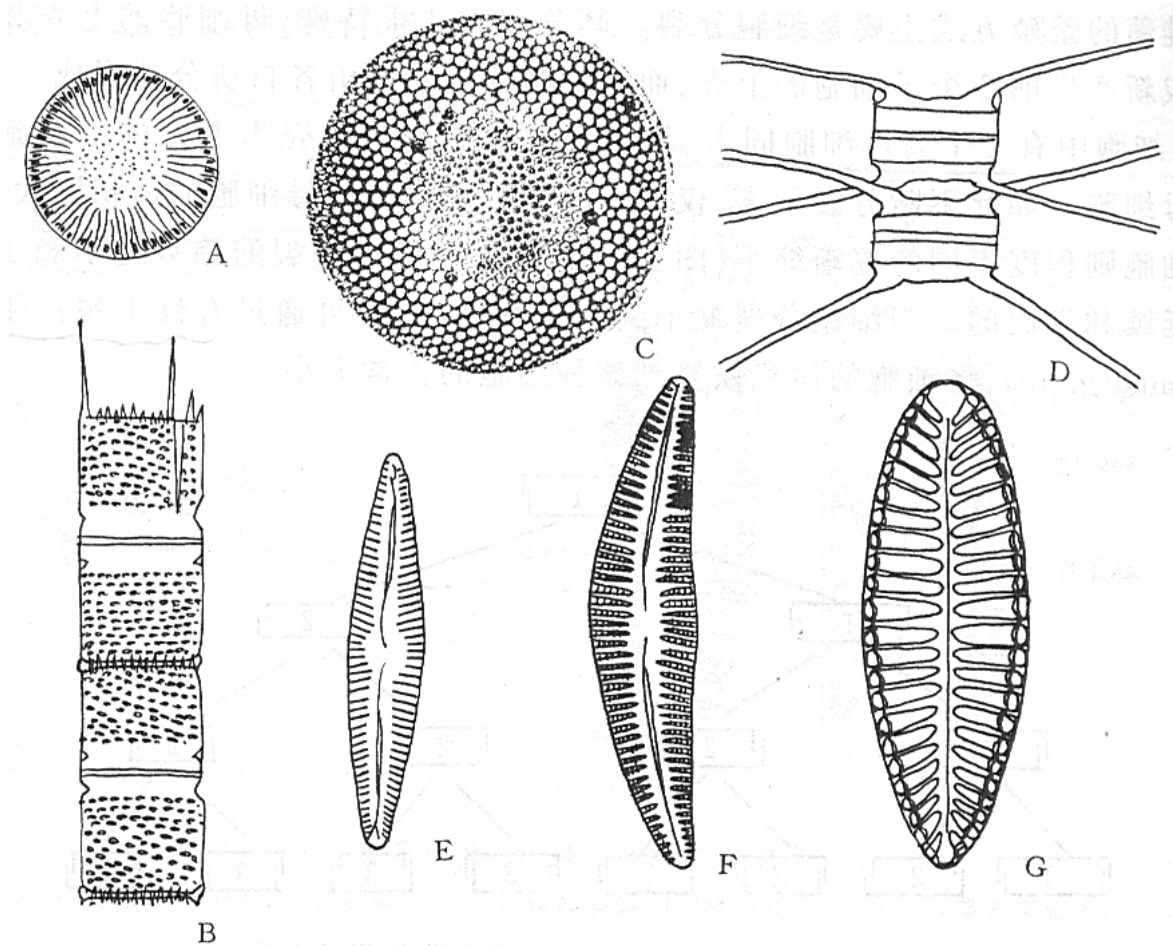


图 9-16 硅藻门常见代表

A—D. 中心硅藻纲(A. 小环藻属 B. 直链藻属 C. 圆筛藻属 D. 角刺藻属)  
E—G. 羽纹硅藻纲(E. 舟形藻属 F. 桥弯藻属 G. 双菱藻属)

图十三 硅藻门常见代表

#### 2. 绿藻门 Chlorophyta

与孢粉同时富集的绿藻化石，通常见到的有盘星藻、双星藻和鼓藻等。

(1) 盘星藻 (*Pediastrum*) 为绿藻类水网藻科的一个属, 植物体盘状、星状, 它是世界上广泛分布的藻体, 生活于浅水型的湖泊、池塘、洼地或小河流, 一般水深不超过 15 米。许多研究者指出, 盘星藻化石在地层中大量出现, 可作为淡水湖沼沉积的标志。

(2) 双星藻目 (*Zygnematates*) 是一个科, 它常生长于含有机物较丰富的浅的静止水体中, 池塘、沟渠、稻田、小水坑等小水体, 最适于它们生长繁殖。个别种类能在半咸水中生活, 少数种类生长在潮湿土壤上, 大多数种类幼体团着生活, 长成后漂浮于水面, 形成碧绿色的漂浮藻团, 转板藻属的少数种类为湖泊、池塘中的浮游种。

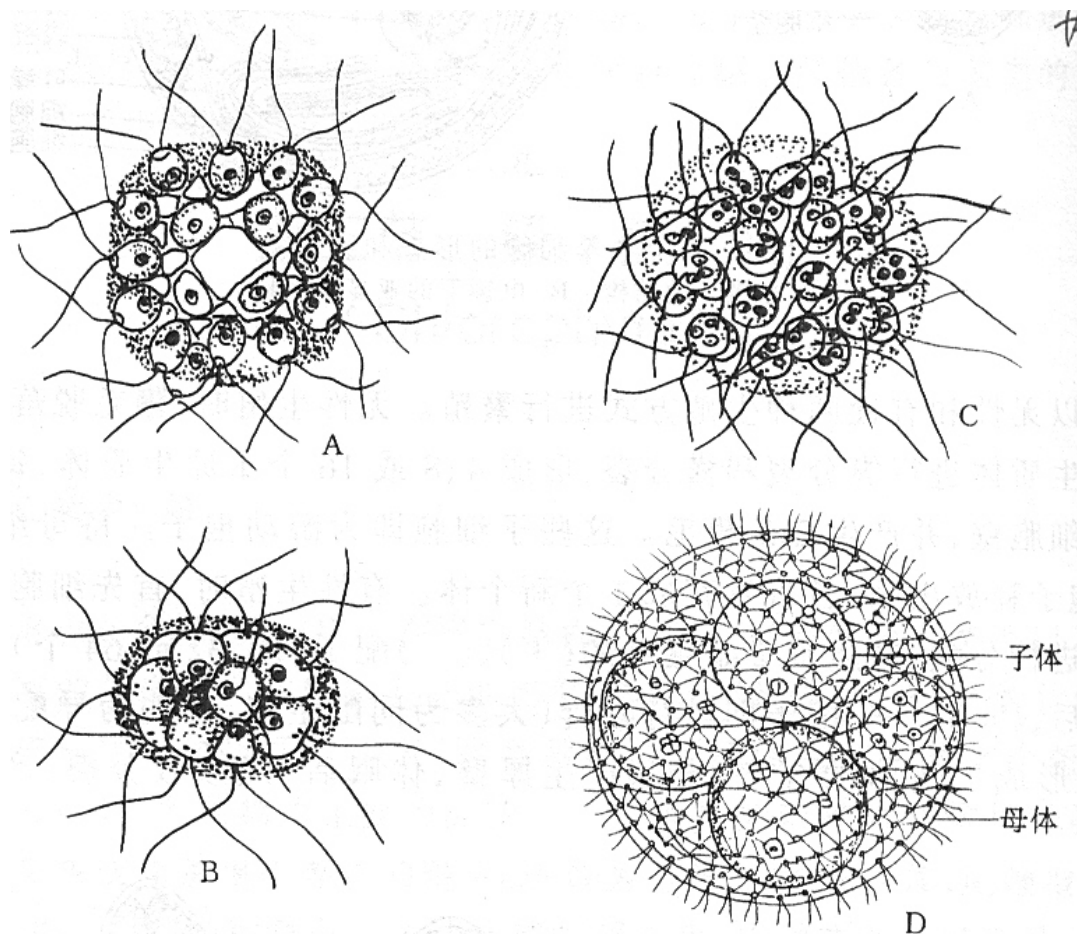


图 9-8 常见具鞭毛能游动的绿藻  
A. 盘藻属 B. 实球藻属 C. 空球藻属 D. 团藻属

图十四 常见的绿藻

(3) 鼓藻目 (*Desmidiiales*) 全部为淡水种, 生长于各种水体中, 一般生活于湖泊沿岸带和沼泽中, 少数种类生长于潮湿的土壤及岩石表层, 因此, 鼓藻也是湖沼沉积的良好指相化石。王开发等曾在我国东部平原全新世湖沼沉积以及东、黄海更新世晚期的泥炭沉积中, 发现了较多的鼓藻目化石。在我国的其它第四纪沉积中也发现鼓藻化石。

### 3. 硅鞭藻类 *Silicoflagellates*

硅边藻目前分类属于金藻门。它仅见于海洋中, 浮游生活, 大多数种为化石, 在整个第三纪大



为繁盛，第四纪冰川来临后，种类大为减少。

### 三、孢粉分析在考古研究中的应用

第四纪孢粉学与考古孢粉学之间关系至为密切，两者之间在研究方法和基本内容方面比较一致。

#### (一) 孢粉学在研究古植被、古气候、古地理上的应用

运用孢粉分析资料，尅再造各种不同地貌单元上的植物景观，恢复当时的古气候，如对古气温、雨量、风向的研究，从而推论古气候的演变规律。运用孢粉资料可以研究一个湖泊或一条河流的发展历史，也可以研究海陆的变迁，地壳运动的规律问题。

其基本原理如下：

对地层中发现的所有孢粉，分门别类的加以生态环境研究，统计其数量，就可以大体恢复出植物界的面貌。如果进一步研究孢粉所代表的植物生态环境，人们就会发现不同的植物所要求的气候条件和地理环境条件各不相同，只要搞清楚各种植物的生态环境，通过归纳分析就可以很好的恢复当时的气候条件和再造古地理面貌。

#### (二) 孢粉分析与考古学研究

##### 1. 运用孢粉分析资料确定考古遗址的年代

全新世的孢粉研究甚为详细。布列特和色尔南德尔曾根据泥炭层的划分分析结果将全新世分为几个期：前北方期、北方期、大西洋期、亚北方期、亚大西洋期。这个系列的每个期都有相应的孢粉带，并根据 C14 年龄的测定指导各时期的具体年代。这个分析系列在一定时期，一定范围内的孢粉组合是相似的。如某已知年代的遗址文化层的孢粉组合，在另一年代不明的遗址文化层中发现，那么，根据孢粉组合的特点可以确定此遗址文化层和已知年代的文化层是同时代的。

##### 2. 根据孢粉组合推断古人类的活动环境

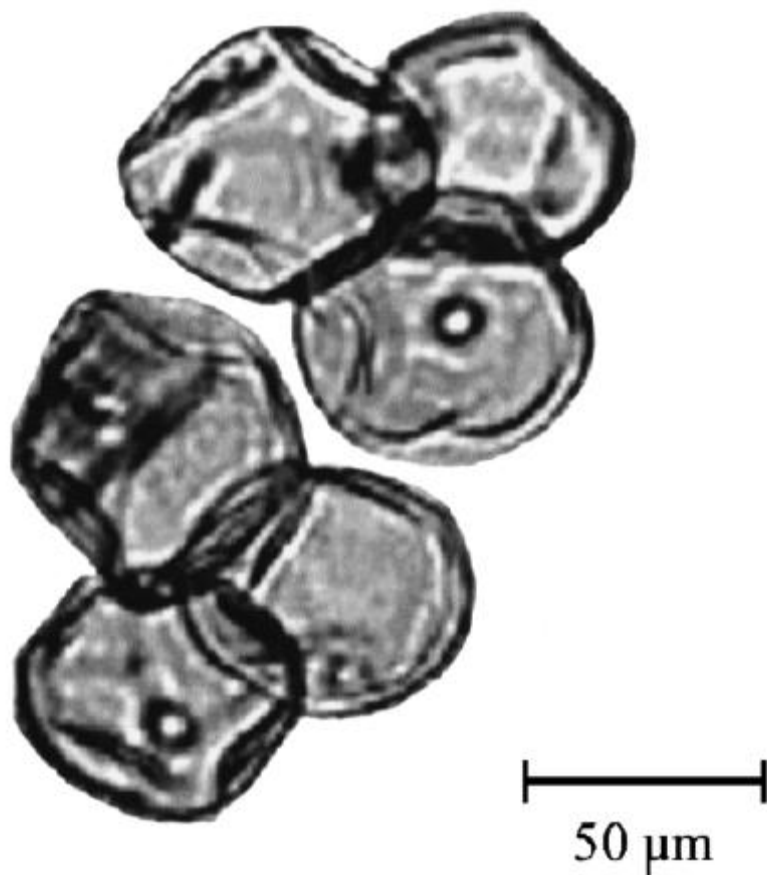
孢粉分析在考古学中应用最为重要的方面就是通过植被重建探讨人类与环境关系。因为孢粉分析的优势就是重建植被演化历史。古代社会的分布与生活，与其所处的自然环境有着密切的关系。因此，了解古代人类活动的环境对于考古研究十分必要。王开发等对长江三角洲地区的几个遗址文化层的孢粉研究，得出当时人类多选择湖边或海边的高岗作为居住地地点。

古代人类活动很大程度上依赖于自然环境，但人类活动也不断地影响和改变自然环境，尤其植被受到人类的影响更大。

从安田喜宪对日本大阪府东大阪市弥生时代前、中期爪生堂遗址的孢粉分析结果看，在弥生时代人类居住以前，遗址周围生长着 *Cyclobalanopsis*、*Shiia* 和 *Castanea* 的森林；至弥生时代人类居住时，由于人类活动大量砍伐森林，遗址周围已经发育成为 *Gramineae* 和 *Polypodiaceae* 为主的草原；至弥生时代末期，遗址废弃后，周围森林再度恢复，但这时的森林雨弥生人类居住以前不同，除了 *Cyclobalanopsis* 外，还增加了 *Cryptomaria*、*Pinus* 等再生性很强的树种。上述资料可以看出，古人类活动对于植被的演变影响是很大的。

##### 3. 利用孢粉资料阐述古代社会的文化发展

孢粉分析结果能够用来寻找古代农田。目前关于农作物的花粉形态和沉积方式的研究，还比较欠缺，但欧洲在禾本科植物特别是栽培作物花粉形态研究方面已经有丰富经验，并且发表了优秀的研究成果。



*Figure 6. Cerealea (cultivated grass; family Poaceae) pollen from a Roman jar associated with hull remains at Tantura Lagoon, Israel. (Photo: D. Gorham)*

图十五 栽培作物花粉

欧洲还有关于用花作为随葬品的研究结果，是研究古代社会丧葬习俗的例子。可能今后要关注墓葬填土中的花粉分析，全面获取古代人类与植物相互关系的信息。