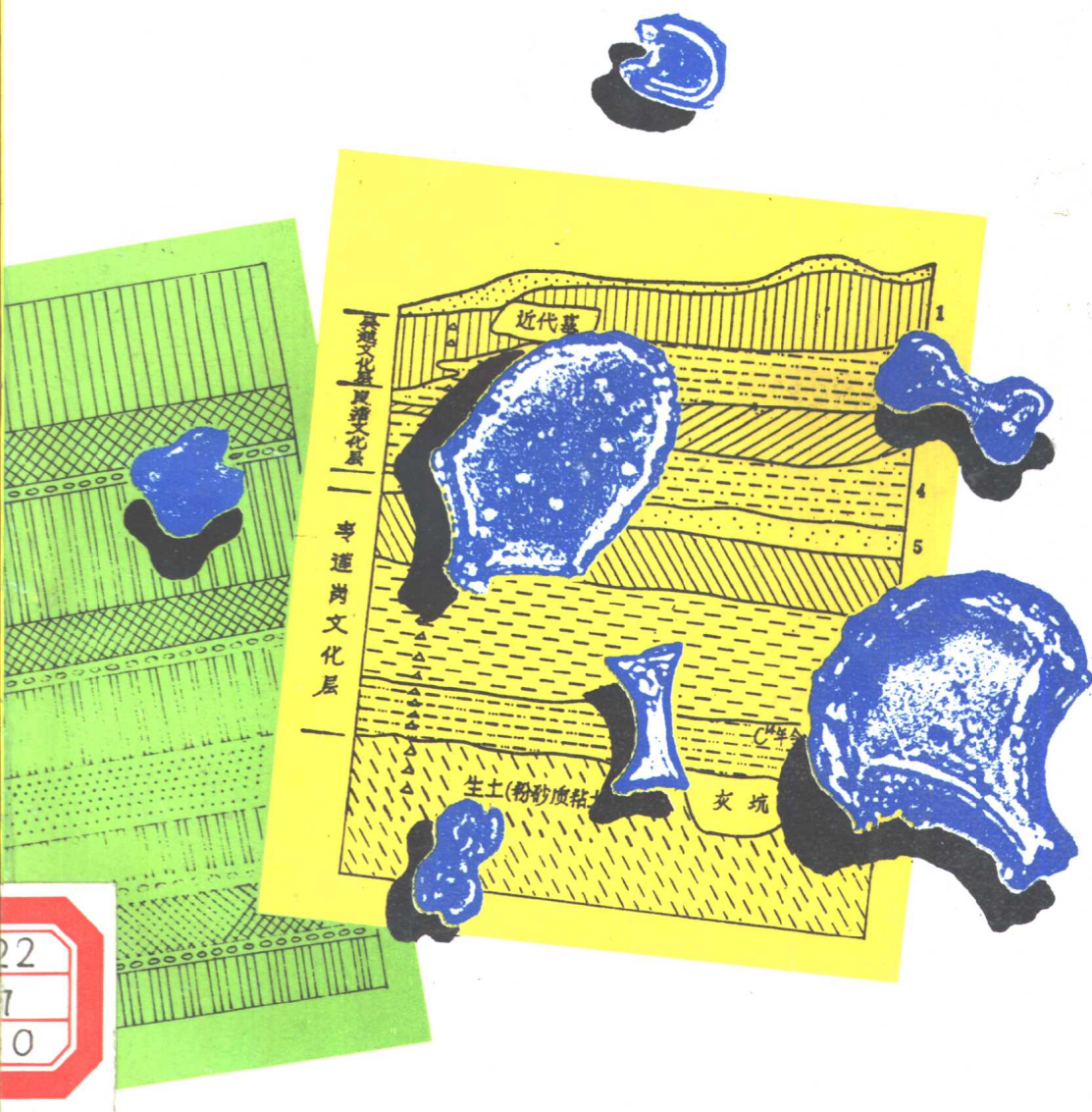


植硅石分析

——在考古学和地质学中的应用

〔美〕多洛雷斯·派潘诺 著

姜钦华 王宪增 邓平 译校



北京大学出版社

植 硅 石 分 析

——在考古学和地质学中的应用

〔美〕 多洛雷斯·派潘诺 著
姜钦华 王宪曾 邓 平 译校

北京大学出版社

新登字(京)159号

图书在版编目(CIP)数据

植硅石分析:在考古学和地质学中的应用/(美)派潘诺(Piperno, D. R.)著;姜钦华等译校. —北京:北京大学出版社, 1994. 3

书名原文: Phytolith Analysis: An Archaeological and Geological Perspective

ISBN 7-301-02468-1

I. 植… I. ①派… ②姜… II. ①孢粉学-古植物学-分析方法 ②古植物学-孢粉学-分析方法 ③考古学-应用-孢粉学 ④地质学-应用-孢粉学 N. ①Q913.84 ②Q944.571

PHYTOLITH ANALYSIS

An Archaeological and Geological Perspective

By Dolores R. Piperno

Copyright © 1988 by Academic Press, Inc. (USA)

书 名: 植硅石分析

书稿责任者: 姜钦华 王宪曾 邓 平

出 版 者: 北京大学出版社

(北京大学校内, 邮政编码: 100871)

排 印 者: 北京大学印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

版本记录: 787×1092毫米 16开本 13.25印张 330千字

1994年3月第一版 1994年3月第一次印刷

印数: 0001—1,000册

定 价: 20.00元

内 容 简 介

植硅石分析是一门较新的学科,本书是该学科的第一本专著。书中系统地介绍了植硅石分析的原理与方法,植硅石的形态与分类学,以及这门学科在考古学和地质学中的应用现状与前景。全书共分八章,其中:第二章综述了植硅石在高等植物中的产生形式;第三章为植硅石形态学,是本书最长的一章,讲述了植硅石学最重要的,但是至今了解最少的方面之一;第四章和第五章分别归纳野外和实验室技术;第六章扼要重述了前面五章里提供一些信息,并且阐明了古生态学中植硅石分析的理论和方法及其基本原理,还建议了可以带来利益的未来研究领域,提供了热带森林现代植硅石研究的最早成果;第七章和第八章详细综述了目前在考古和古生态恢复方面的研究成果。本书可供地质、考古、地理、植物、古生态、土壤、环境和农业等学科研究工作者参考,也可作为相应学科专业的大学教学和研究用参考书。

440564-03

译者序

植硅石分析是一门较古老而又较新的学科。说它古老,是因为植硅石比花粉还早发现一年;说它新,是因为它作为一门学科,最近20年才得到较大发展。它在考古学和地质学中的应用潜力很大,在西方已被广泛应用于古生态的恢复和农业起源考古等方面。它与花粉分析可以相互补充,因为它们各有其优势和局限性。

本书作者多洛雷斯·派潘诺(Dolores Piperno)曾在美国费城坦普尔大学(Temple University)从事植硅石研究多年,分别于1979年和1983年获得硕士和博士学位;后又在斯密士热带研究所(the Smithsonian Tropical Research Institute, STRI, 巴拿马)从事植硅石方面的博士后研究。本书的大部分内容就是她在做博士后研究过程中完成的。目前,她仍留在斯密士热带研究所工作。在本书的翻译过程中,我们得到了她的积极配合和多方面的帮助,包括申请斯密士热带研究所的基金以赞助本书中文版的正式出版。我们谨向作者表示真诚的感谢。

关于“Phytolith”名称的翻译,开始译成为“植物硅石”,后采用安太庠教授的意见,决定启用“植硅石”较为简明扼要。实际上,“Phytolith”的意思为“植石”或“植岩”,包括“植硅石”(即植物蛋白石)和“植钙石”(即草酸钙)。但是,在采用酸的处理过程中,草酸钙被溶解,所以,只剩下蛋白石二氧化硅。

该书是本学科的第一本专著,它的出版大大地促进了该学科的发展。其中文版的问世,但愿亦能对中国的植硅石研究起到促进作用。植硅石的用途非常广泛,涉及的领域包括地质、考古、地理、生态、土壤、农业、环境和植物等学科。

本书第二章由王宪曾译,第七章和第八章由邓平译,其余各章及其他部分均由姜钦华译。最后,姜钦华对全书进行了校对,王宪曾对全书进行了审阅。

么晓梅为本书草稿打字,特此致谢。很多同行对本书的出版显示了极大的兴趣,并鼓励我们完成翻译任务,我们表示深深的感谢。

由于译者业务和专业水平有限,错误和不当之处在所难免,诚请读者批评指正。

1993年3月1日
于北京大学新地学楼

著者中文版序

我很高兴能有机会为《植硅石分析》一书撰写中文版序言,因为本书将在中华人民共和国发行,并为中国科学家所拥有。《植硅石分析——在考古学和地质学中的应用》一书中文版的正式出版将对推动植硅石分析成为古植物学和考古学的重要分支起到重要作用。本书原版是以英语在1988年出版的。自那以后,植硅石的基础和应用研究步伐大大加快,从而对植物和土壤中的植硅石特性和行为有了进一步的了解。在这段时期内,植硅石分析在古植物学中的应用在地理范围上得到了扩展。例如,首次在加拿大北极森林、美国中西部及英国获得了丰硕的成果。《植硅石分析》一书在广大而重要的中国科技界发行,不仅会促进该学科的发展,而且还能使其变得更加成熟。

在《植硅石分析》一书英文版中,我曾争辩(甚至埋怨),认为植硅石科学是被人忽视的科学,并且认为该领域基础研究的缺乏正在妨碍其发展。自那以后的5年中,对植硅石研究感兴趣的人确实已经大大增多了。美国及其他地区的主要基金机构正在支持基础研究,并且在古植物学界和考古学界,人们越来越认识到这些领域中的一些重要难题采用植硅石分析可以顺利地解决。这些发展甚至导致了这样一种情况,如在美国,不断增长的需要已经使得合格的植硅石专家供不应求。

鉴于这门学科发展迅速,这里想就几个问题讨论一下。我将主要就过去5年中植硅石学科发展特别重要的方面做一番评述。

一、植硅石的生产、形态和分类

为什么植物要制造植硅石?不久以前,传统的思维一直认为植硅石只是由植物分泌的“废物”。因为硅石显然没有参与许多禾草类的新陈代谢作用,所以,对于硅是否应看成植物的必要成分曾存在着疑问。另一个混淆的因素就是对硅石在禾草中的功能了解甚少。

由于已在广泛的植物科中发现有植硅石的存在,高等植物为什么制造植硅石的原因已有所澄清。以下事实都表明是遗传因素在控制着植物细胞的硅化,即(1)许多植物科在器官硅化方面都呈现出很强烈的趋势,要么硅化,要么不硅化;(2)在各种环境条件下,许多植硅石类型的产生总是恒定的,而且总是形成于某些特殊的组织之中(如叶片表皮和果实的外果皮);(3)植硅石形态表现出与植物分类联系很强的一致性。因此,硅石沉积在植物之中确实具有很大的功能意义,有人认为在热带植物中植硅石的一个基本功能就是防止被食草动物所食;而且,植硅石的形成和形态不大可能受地方环境的多样性和时间上环境变化的影响。

为什么植物能够制造出这么多大小和形状各异的植硅石。植硅石所呈现的形态类型能够归于两大类型,我称之为吻合类型和非吻合类型。两种类型都有可能具有代表每一植物类群的特征,但是它们的形态需要不同的解释机制。吻合类型植硅石是指其形状与生活细胞形态一致的类型,它是细胞自身完全硅化的结果。常见的例子包括双子叶植物中具硅石壳的表皮细胞和毛细胞。相反地,非吻合类型植硅石是细胞内部不完全硅化的产物,其产生的形态与母细胞形态几乎没有什么关系。这类植硅石产生于稻科、莎草科、竹芋科和棕榈科等的特殊造硅细胞中。

关于非吻合植硅石类型,我们似乎可以在花粉粒的形成上找到相似之处。花粉理所当然具有很重要的功能,但是,我们对植物为什么创造这么多的花粉形状和表面装饰至今仍无法解释。

植硅石形态的另一个特点,就是在同一植物中产生的一些或全部植硅石类型也可能出现于其他相关的或者无关的植物类群之中。当然,这在解释土壤的植硅石组合时有可能引起混淆。这也使得建立现代参考标本的工作比花粉或大植物遗存分析更耗费劳力。然而,最近在近东、新大陆热带地区及北美的研究表明,足够的现代植物研究可使每一植硅石与植物类群一一对应,这样就可以在很大程度上排除“植硅石形态多样性”带来的困扰。每一地区都具有许多对于生态和食性重建比较重要的植物,这些植物大多能够产生独特的可鉴别植硅石。目前,“属”一级鉴定已经成为常见的事情,“种”一级鉴定将来也能实现。

随着植硅石研究扩展到以前未触及的地区,如热带非洲、东南亚及北极地区,我们能够预料到陆续将会有许多崭新而令人兴奋的有关现代植物群的植硅石信息。这些具有特征植硅石的植物名单中即将包括稻米(*Oryza sativa*)和粟、黍(包括 *Panicum miliaceum* 和 *Setaria italica*)。众所周知,自从很古老的时期,这两者就已在我国生长。其中稻米,几乎可以肯定是在我国最早被驯化和栽培的。

总之,过去5年里所进行的研究不断地证明在许多植物和植物类型中都能够产生具有分类学意义的植硅石。植硅石的生产和形态可以与其他植物化石系统相媲美,并且正显示出比花粉更能精确地指示某些植物类群。

二、现代和古代沉积物中植硅石的分布

目前,在欧洲和美洲许多地区的“现代”、考古和地质沉积物中都发现了植硅石。通过这一系列的工作,许多重要的观点产生了。

首先,显示巨大分类学多样性的植硅石已从世界上目前为止所研究的几乎所有气候带的遗址中发现,并保存完好,这有利于对过去许多类型的植被进行重建。

其次,植硅石组合常常显示出地层学意义。也就是说,在时间上代表着植被组合序列变化的不连续单元在地质和考古地层中沉积并保存了下来,同时没有掺入来自上下层位的能造成解释歪曲的混合物。通过同时进行植硅石和其他微体化石的对照研究,这种特性得到了证实;植硅石剖面本身固有的特征也证实了这一点。

第三,年代久远的植硅石也照例在许多类型的沉积环境中发现了。除了在史前居住遗址和自然土壤中,它们在更新世和全新世的湖泊和沼泽中出现的频度也很大。在那里,它们可为曾在遗址周围存在过的区域及地方植被提供证据。在这些沉积物中,植硅石记录可独立地记载各种不同类型的自然或人工栽培的植被,同时也能记载由于气候波动和人类使用土地的强度增大而引起的植被在时间上的变化。

植硅石和花粉研究的同时进行也被发现可以提高古生态重建的精确度,因为植硅石并不总是从产生化石花粉记录的同样植物类型中获得,因而,这两条系列的证据可以互相补充,从而有助于显示出不具有代表性的属种。在新大陆热带地区,植硅石研究使得湖泊剖面中所描述的植物属种数量成倍增长,这是我们在试图阐明物种丰富的热带植被历史时所取得的一个重要进展。

三、植硅石——用途非常广泛的化石

我想表述的最后一个思想是关于植硅石分析在研究过去历程中的多用性。食性和生态重建将得益于植硅石研究,这一点是显而易见的。还必须予以强调的是,植硅石已从陶器、石器及牙齿等人工制品遗存中发现并保存完好,从而不但为纯粹的生态学研究,而且为有关技术和石器功能的大量数据建立创造了潜力。

另外,最近的研究表明,利用植硅石本身的化学特性和物理特性所作的大量分析可能提供关键的年代学和古环境信息。例如,植物细胞发生硅化时混入植硅石中的碳,能够直接用 ^{14}C 方法来测定年代。这种封闭在植硅石中的碳对后来的沉积后污染物来说是不可能渗透的,于是,它就提供了一种直接确定土壤层位年代的可靠方法。同样,封闭在植硅石内部的碳能够提供稳定同位素($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$)比值,从而反映遗址处的古温度。而且,当植硅石在植物中形成时,搬运硅的地下水中的氢氧稳定同位素经分析后能给出过去温度和降水的估计。

四、结 论

植硅石分析发展成为一门成熟而广泛应用的古植物学分支指日可待。新的应用正在新、旧大陆的温带、亚热带和热带区域付诸实施。植硅石分析在古植物学中合法地位的建立依赖于早期适用于花粉分析的同样考验。也就是说,植硅石已显示出:(1)在分布广泛的植物类群中形成,(2)单一类群的不同地方分子制造的植硅石在形态上是稳定一致的,(3)具有与母体植物分类学关系紧密的植硅石形状,(4)具有可在精确的(科、属、种)分类级别上鉴定植物的植硅石形态,及(5)在古土壤和沉积物中大量存在并易于提取。

植硅石分析的成就和潜力都是巨大的。我希望本书中文版的发行将把考古学和古植物学行业推向一个新的理解层次,并促进植硅石分析技术被更为广泛地应用。

Dolores R. Piperno
S. T. R. I.
Unit 0948
APO AA 34002-0948
BALBOA, PANAMA
1993年3月30日

前 言

有一类植物微体化石,它们具有在古人类植物学(paleoethnobotany)和古生态学(paleoecology)中取得合法地位和重要性的所有特性,即:大量生产,在古沉积物中的耐久性,足够的形态特征,能够鉴定到“属种”一级。这类微体化石,称为植硅石。植硅石是来源于高等植物组织细胞中的硅石颗粒。直到最近,植硅石作为古植物学方面的重要资料之一,仍然没有得到应有的重视,它们在现代和化石状况下的行为和特性还没有得到足够的了解。结果,古植物界趋向于把它们当作过去植被和环境的不可靠指示而拒之门外。目前,只有一些考古植物学家在进行植硅石分析,以及一小部分野外考古工作者为植硅石研究而采集土壤和其他材料样品。

《植硅石分析——在考古学和地质学中的应用》描述了植硅石分析在考古植物和地质植物研究方面的意义和应用前景。这些表现在到目前为止世界许多地区的植硅石专家所进行的研究中。本书总结了那些指导我本人从事植硅石工作的方法和原理。我探索了植硅石在考古学方面的巨大应用价值,并且向人们展示:植硅石学的一些方面,比如生产和形态特征,这些过去被认为(主要是被那些只有粗浅知识的人)是不可了解的东西,而现在通过仔细和系统的研究,确实能够被阐明。在把植硅石学发展成为一门成熟学科的过程中,我们面临着比当年孢粉学家第一次把花粉研究应用于第四纪古环境的恢复更艰难的任务。这项任务是艰难的,富有挑战性的,并且将是特别有收益的。

这本书的组织 and 内容就反映了这些目标。第一章简述了植硅石研究的历史。第二章综述了植硅石在高等植物中的产生类型。植硅石的各种类型,尽管有时见到为杂乱无章、不可依赖的东西,并且多见于单子叶植物中,但已被显示为广泛存在并且忠实地重复于所有的高等植物中和所有不同的植物结构中。第三章“植硅石形态学”,是本书最长的一章,因为它讲述了植硅石学最重要的、但是至今了解最少的方面之一。我相信读者们会被植硅石的大量不同形状所迷惑。过去,我就是这样的。有一段时期,几乎每次当我提取一套现代样品,我都观察到了不同种类的硅质体。第三章还展示了一个单一种的植硅石形状通常是一致的,不管这种植物在世界的哪个角落里生长。第四章和第五章分别论述野外和实验室技术。它们提供了一个实际的“怎样”开展研究设计的方法和实验室方法,并且指导野外考古工作者和植硅石专家研究植硅石的基本类型。第六章扼要重述了前面五章里提供的一些信息,并且阐明了古生态学中植硅石分析的理论和方法及其基本原理;还建议了可以带来利益的未来研究领域,提供了热带森林现代植硅石研究的最早结果。第七章和第八章详细综述了目前在考古和古生态恢复方面的研究结果。书后的附录表明,确实可能为从植物体内分离出来的大量植硅石形状进行分类,并且为之建立地区性的植硅石检索表。

本书是为几种不同水平的读者所准备的,即刚从事植硅石研究的读者、已有经验的植硅石专家,以及那些有志于把植硅石研究应用于他们自己研究领域的考古学家和地质学家。我希望本书能激起讨论,并使植硅石分析发展成为古生态学的一门更完善的技术。同时,我希望本书能使考古学得到更大发展,以及植硅石分析得到更大应用。

致 谢

在这里,我要对许多人和机构表示感谢,没有他们的帮助,这本书就不可能写成。从1983年至1985年,我有幸在巴拿马共和国斯密士热带研究所(STRI)进行博士后研究。我的大部分植硅石研究和写作就是在那里进行的。这一段时期内,我的收益很大,而且很难一言说清。斯密士热带研究所为我提供了最好的服务和最好的设施,并给我提供了各种方便。在斯密士热带研究所的工作使我受益匪浅,并使我感到愉快。我特别要感谢 Richard Cooke、Olga Linares 和 Martin Moynihan 对我的大力支持和鼓励;感谢 STRI 图书馆的 Sylvia Churgin 及其他人为我填写了大量的馆际互借单;感谢 Stephen Hubbell、Robin Foster 和 Sue Williams 在 Barro Colorado 岛的 Hubbell-Foster 小区工作上所给予的慷慨帮助以及他们的森林调查资料;感谢 STRI 的密苏里植物园标本馆管理员 Hugh Churchill 和 Gordon McPherson 允许本人从植物标本夹中提取样品;感谢我的挚友 Georgina de Alba 和 Myra Shulman 为我审阅部分草稿,并在我对完成此书信心不足的时候及时给我鼓励。

谢谢 Anthony Ranere 在过去7年里给我的支持和鼓励。巴拿马热带测试中心的 Freddy Chen 和 William Dement 为我拍摄了许多扫描电镜照片,并提供了其他显微照相的设施。巴拿马大学的 Mireya D. Correa A. 给予允诺,使我在大学植物标本馆里采集植物标本。图 3.1 至图 3.5 及图 3.11 是由 Arcadio Romaniche 所绘,她由此被植硅石的形态强烈地吸引住了;其余的图件,包括所有的植硅石图谱,是由 Doris Weiland 高质量地完成的。在坦普尔(Temple)大学 Muriel Kirkpatrick 所领导的人类学实验室里,我利用了那里很好的设施进行了许多植硅石的提取工作。Major Goodman 和 John Doebley 向我慷慨提供了玉米和墨西哥假蜀黍的许多品种。Rita Piperno 虽然已领取高额退休金,仍然抽取时间为每一草稿精心打字。她还在很短时间内学会了使用计算机和文字处理,显示出一位长者的生命力和知识活力。我感谢我的父母给我的自信心。

我感谢国家科学基金会、Wenner-Gren 人类学研究基金会及斯密士研究院提供研究基金以资助该项研究。没有这些资助,这本书就不可能与读者见面。图 3.4 是经 Arlene Miller-Rosen 本人允许根据 Miller-Rosen(1985)重绘的。图 6.3 是经圣. 安东尼奥得克萨斯大学考古研究中心允许而从 Robinson(1979)重绘。图 6.4 的地形等高线间距和坐标是由 Stephen Hubbell 提供。表 7.4 是经 Deborah Pearsall 允许取自 Pearsall(1981b)。图版 20 是经 Deborah Pearsall 同意才采用的。附录中表 A. 1 是经学术出版社(Academic Press)允许取自 Brown(1984),表 A. 2 是经 Dwight Brown 同意取自 Brown(1986)。图版 94 和 95 是经学术出版社同意而从 Piperno(1985b)翻拍过来;图版 24、26、32、34 和 35 是经美国考古学会(the Society for American Archaeology)同意而从 Piperno(1984)翻拍过来。下列图版(1,3,4,7,9,12,15,16,40,44,46—50,52—63,65—73,82 和 83)是经埃尔塞维科学出版社(Elsevier Science Publishers)同意而从 Piperno(1985a)翻拍过来。

目 录

第一章 植硅石的研究历史	(1)
1.1 引言.....	(1)
1.2 植硅石发现和探索时期.....	(2)
1.3 植硅石植物学研究时期.....	(3)
1.4 植硅石生态学研究时期.....	(3)
1.5 现代考古植硅石研究时期.....	(6)
第二章 植硅石的产生、沉积和溶解	(8)
2.1 引言.....	(8)
2.2 植硅石在高等植物中的发育.....	(9)
2.3 植硅石在植物界中的分布	(14)
2.4 植硅石沉积方式和在不同植物结构中的分布	(27)
2.5 在植物结构中硅石沉积的位置	(29)
2.6 植硅石在土壤中沉积的机制	(30)
2.7 植硅石的化学和物理特性	(30)
2.8 植硅石的功能意义	(32)
第三章 植硅石的形态学	(34)
3.1 引言	(35)
3.2 植硅石形状是怎样形成的	(36)
3.3 植硅石的描述和分类	(36)
3.4 植硅石的主要类型	(37)
3.5 植硅石的表面纹饰	(40)
3.6 单一植物种内的植硅石变异	(41)
3.7 新、旧大陆栽培植物中的植硅石.....	(42)
3.8 专题 I 玉米植硅石的一些特殊属性:在考古土壤中鉴定它们的基础.....	(47)
3.9 影响禾草类植硅石大小和形态变化的一些因素	(61)
3.10 野生单子叶植物中的植硅石	(61)
3.11 非禾草类单子叶植物的植硅石形态	(64)
3.12 野生双子叶植物中的植硅石	(67)
3.13 裸子植物中的植硅石	(73)
3.14 低等维管束植物中的植硅石	(73)
3.15 总结:双子叶植物、裸子植物和蕨类植物中的植硅石形态	(74)
第四章 野外技术和研究设计	(75)
4.1 引言	(75)
4.2 植硅石采样基本方法	(76)
4.3 土壤采样的其他一些考虑	(78)

第一章 植硅石的研究历史

- 1.1 引言
- 1.2 植硅石发现和探索时期
- 1.3 植硅石植物学研究时期
- 1.4 植硅石生态学研究时期
- 1.5 现代考古植硅石研究时期

1.1 引言

本书阐述了已在各种名称下为人所知并得到研究的一类植物化石的古生态学意义。这类植物化石曾被分别称为蛋白石植石(opal phytolith)、硅石植石(silica phytolith)、硅石细胞(silica cells)、植物蛋白石(plant opal)、生物蛋白石(biogenic opal)或者简称为植硅石(phytolith)。它们是含水的二氧化硅颗粒,形成于现代植物的细胞中,在植物死亡和腐烂之后从细胞中脱离出来。具有分类学意义的植硅石大量地产生于高等植物的许多科中,并且在土壤和沉积物中能够保存很长一段时间。然而,多年来,植硅石无论是在考古学中还是在地质学和生态学中都没有得到重视,其原因在这一章里将予以讨论。

在70年代,考古学家才第一次开始这门古植物分支学科的应用研究。那时这门学科在许多方面还是支离破碎的,在某些方面仍停滞不前,并被一些植物学家认为对于古生态恢复毫无用处。我们得出这种印象,即在20年前已初步把植硅石分析应用于环境研究中的土壤和植物学家却不知道进一步该往何处走,因为生产、分类和保存等方面的基本问题尚没有得到满意的解决,而科学家们从未采用足够恰当或合适的技术来使这些问题得到解决,并鼓励必要的基础研究。

植物学家对植硅石缺乏兴趣,这是难以理解的。尽管他们进行了第四纪植被和气候历史方面的大量花粉研究,甚至在寻求方式来消除由于花粉资料的局限性所导致的偏差以提高古植物记录的精确度。那时对植硅石的分类学意义的预测是令人失望的,这是由于很少几种植物已得到详细研究。然而,就在古植物学界对植硅石仍缺乏正确评价以及许多基础研究问题尚未解决的情况下,考古学家开始了应用这门技术。

这与通常情况是相背的。史前历史学家经常由于天真地、不正确地采用生物学的方法而没有考虑到它们的基本假设和与人类学的相关性,而受到生物学家和其他史前历史学家的批评。对于考古学家无批评地借鉴生物学方法,如社会生物学,以及最近的最佳喂草(foraging)理论及其应用(Sih和Milton,1985),人们一直很有异议。在植硅石研究方面,可以说,是考古植物学家首先开始这类必要的研究,并把这门技术发展成为合理的古生态学方法。在这一过程中,他们不仅是简单地采用这门方法来解决考古学方面的问题,使所获得的资料能够更好地回答有关过去人类行为的问题。目前看来其结果特别令人鼓舞,而这些结果就是以下几章将要阐述的主题。为了了解作为古生态学科的植硅石分析的现状,这里将植硅石研究历史与其非考古学方面的应用就简要总结如下。

植硅石的研究历史可以简单地划分为 4 个阶段：

(1) 发现和探索阶段(1835—约 1900 年)：植硅石首先在现代植物中被观察到，并被命名以及从一些环境中分离出来。

(2) 植物学阶段(约 1900—1936 年)：其中心在德国。植硅石首先在欧洲被广泛地认识到来源于植物组织，于是其生产、形态和分类学的研究就正式地开始了，并开展了植硅石分析在考古学方面的最早应用。

(3) 生态学研究阶段(1955—约 1975)：西方土壤学家和植物学家首先开始把植硅石分析应用于古植物学的几个重要问题。禾本科植硅石的形态得到详细研究，落叶和针叶植物的硅质体研究也已开始。植硅石分析第一次被应用于研究北美的植被历史。

(4) 现代考古植硅石研究阶段(约 1971—)：考古植物学家开始系统地研究植硅石在现代植物中的生产和形态，以及植硅石在考古和地质沉积物中的出现频度和分布。

1.2 植硅石发现和探索时期

在 19 世纪早期，微观世界的先驱研究者在发现愈来愈多的微粒，因此，在 1835 年，一位叫 Struve 的德国植物学家首先在现代植物中观察到植硅石。令人费解的是，这比花粉首次在前第四纪沉积物中的发现还早一年(Faegri 和 Iverson, 1975)。150 年过去了(比孢粉学还长 65 年)，植硅石分析才取得古生态学的独立分支的地位。

起初，植物硅石是当作土壤中的有点令人不解的成分和风吹的灰尘而不是现代植物中的内含物来研究的。1831 年在毕格尔(Beagle)号英国船离开英格兰不久，船在北非海岸之西几百英里外的佛得角(Cape Verde) 群岛附近抛锚。达尔文写道(1909, p. 5)：“通常，大气是雾蒙蒙的；这是由于那些感触不到的细小灰尘的降落所引起，它们被发现对天文仪器有点损伤……我收集了一小包这种棕色的细尘，它们似乎是经风吹从桅杆顶上的翼网过滤过去的……埃伦堡(Ehrenberg) 教授发现这种灰尘大部分是由带硅质背甲的纤毛虫和植物的硅质组织组成的。在我送给他的 5 个小包里，他确定了 67 种以上有机体类型。这些纤毛虫，除了 2 个海洋种以外，其他都是淡水类型。”

很明显，在从现代植物中分离出来以前，植物硅石已在几百英里外陆地上搬运来的烟雾中描述过。埃伦堡，一位德国科学家，是国际上很有名望的动植物微生物学家。在 19 世纪前 1/3 的时间里，他为德国微生物学做了创造性的工作。在从世界各地送往他的土壤样品中，他观察到了同样类型的硅质体(Ehrenberg, 1841, 1846)，并称其为“Phytolitharia”(希腊文，意思是“植硅石”)，并建立了最早的植硅石分类系统。埃伦堡的分类(1854)识别出了几十种植硅石类型(包括达尔文提到的 67 种有机体类型的一部分)，埃伦堡把它们归为 4 个“拟属”(paragenera)，前缀 para(拟)表示这是人为的拟分类(Blackwelder, 1967)，用于命名认为是不可能鉴定到特定种的现代植物孤立部分的标本；其中 3 个拟属归于禾本科(Gramineae)，1 个归于木贼科(Equisetaceae)。因此，他认识到植硅石在形态上存在着差别，至少在“科”一级。埃伦堡的拟分类系统是现代研究者们建立的自然分类系统的基础，其中的较小分类单位(族、属、种)是通过化石中的植硅石来决定的。埃伦堡所绘的柔和植硅石插图至今仍堪称是最为精致的。在 19 世纪的余下时间里似乎只有些零星的植硅石研究，有几位科学家注意到了植硅石

在植物和土壤中的存在(例如, Gregory, 1855; Ruprecht, 1866)^①。

1.3 植硅石植物学研究时期

20 世纪的到来标致着植硅石研究第二阶段的开始, 即植物学阶段。它开始于大约 1895 年, 延续到 1936 年左右。这一阶段的大部分文献都来源于欧洲, 特别是德国。植物学家已广泛地认识到植硅石来源于植物组织中, 并且对植硅石的产生、分类和种内变异开展了最早的系统研究。这一阶段开展了最早的对现代植物中硅石含量的定量研究, 并且提出了植物细胞中硅石的沉积机制。

大量记载中曾提到包括双子叶和蕨类植物在内的植物界许多科中存在有 Kieselkörper (德语, 硅石体)(例如: Grob, 1896; Haberlandt, 1914; Werner, 1928; Netolitzky, 1929; Mobius, 1908a,b; 法国科学家所做的重要工作一例参见 Prat, 1936)^②。例如, Mobius (1908a)提到了植硅石产量较高的几个科: Chrysobalanaceae、五桠果科、棕榈科、兰科、荨麻科及膜蕨科(蕨类植物, 瓶蕨属而不是膜蕨属)。Netolitzky (1929)提到在川苔草科、Chrysobalanaceae、橄榄科、棕榈科、芭蕉科、美人蕉科和竹芋科等中, 硅化现象很普遍。我们将在第二章中阐述他们的研究结果是怎样一直被用作研究设计的重要指南, 以及被现代研究所效仿。

在一些植物中, 如禾草类、蕨类植物、荨麻及其他双子叶植物, 德国植物学家描述了植硅石的形态, 并绘了图。植硅石形态被证明是很有特征的。在这些文献中可以发现大量的信息, 包括对哪些植物科是积硅的或不积硅的例表。即使是粗略地浏览一下这些信息, 我们都会对如下事实感到蹊跷: 在现代研究阶段早期, 禾草类与一些其他非双子叶植物的植硅石得到了非常深入的研究, 而其他植物类型的硅石几乎没有得到任何研究。

因为植物学研究阶段的主要文献是用德文发表的, 所以, 植硅石在以英语为通用语言的科学界仍然在很大程度上无人知晓。令人奇怪的是, 在对澳大利亚土壤中的矿物进行的过程中(Leeper et al., 1936; Nicholls, 1939), 植硅石已被大量发现, 但是, 它们被认为是海绵骨针, 并作为海绵骨针来描述。这些结果并没有得到重视, 因为它们会对这些沉积物的起源有着颇为惊人的意义, 使人想起创世者对大洪水的记述。纳粹统治在德国的上台以及后来第二次世界大战的爆发很遗憾地终止了植物学研究阶段。1936 年以后很少再能见到德国科学家发表的文章。

1.4 植硅石生态学研究时期

直到 50 年代中期正式稳定的研究才重新开始, 并且首次引起讲英语的科学家们的巨大兴趣。1955 年至 1975 年期间是植硅石的生态学研究阶段, 植物学家、土壤学家、农学家和地质

① 然而, DeBary (1884)曾对双子叶植物科的植硅石作过详细描述, 其原文大约在 1877 年首次发表。DeBary 引用了由德国科学家对荨麻科、桑科和爵床科植硅石所做的几个有趣的研究。这一工作后来成了由德国植物学家进行深入研究工作的先驱, 这些将在下节叙述。

② 这里提供的只是对一些较重要文献的简明概括。对更多的例子和深入的讨论感兴趣的读者可参考 Formanek, 1899; Netolitzky, 1900, 1914; Neubauer, 1905; Solereder, 1908; Frohmeyer, 1914; Frey-Wyssling, 1930a,b; Bigalke, 1933)。

学家应用植硅石分析作为环境历史的指示。Smithson(1956,1958)首先在英国土壤中识别出植硅石;接着,Baker(1959a,b)证明了澳大利亚沉积物中许多曾被描述成海绵骨针的颗粒实际上是植硅石。在美国,Beavers 和 Stephen(1958)是最早报道北美土壤植硅石的学者之一;在日本,Kanno 和 Arimura(1958)成了最早研究植硅石的人员。

随后的十几年里,美国土壤学家对北美全新世森林-草原过渡区的一些方面做了研究(Jones 和 Beavers, 1964a,b; R. L. Jones 等, 1963; Witty 和 Knox, 1964; Verma 和 Rust, 1969; Wilding 和 Drees', 1968,1971; Norgren,1973)。他们采用地面以上草本植物部分的年植硅石生产率来估计土壤在以草原或森林占优势的时期各有多长。他们证明了长期草本植被覆盖的土壤通常比森林环境下形成的土壤含有高出 5—10 倍的生物蛋白石,并且在草原-森林过渡地区和草原侵入森林不久的地区土壤中含有相似数量的植硅石。

这些分析被一些生物的和非生物的因素弄得复杂化了,如一年或多年的气候变化、土壤的 pH 值以及影响干物质生产或者每一植物种中硅石的铁和铝浓度。另一个把问题复杂化的因素是:草本植物根系每年的硅石产量与其地面部分几乎相等(Geis,1978; Sangster, 1978)。结果,由植硅石年产量而推测出的主要植被形成期限就不准确了。对土壤中植硅石的其他一些研究见 Brydon 等(1963)、Riquier(1960)及 Pease 和 Anderson(1969)。

由于对植硅石认识程度的提高,于是,科学家们在其他环境下发现了植硅石的存在,如威斯康星(Wisconsin)时期的钙质黄土和耕作土(R. L. Jones 等, 1963),沉积岩石和白垩纪、第三纪及第四纪的地质材料(Baker, 1960a; Jones, 1964; Gill, 1967; Weaver 和 Wise, 1974),深海岩芯(Kolbe, 1957; Parmenter 和 Folger, 1974)以及大气尘土(Baker, 1960b; Folger 等, 1967; Twiss 等, 1969)。Baker(1959a)原来估计植硅石在现今土壤的条件下不能存在 1000 年以上,这已被 Wilding(1967)所质疑。Wilding(1967)根据成土作用过程中植硅石吸附的碳测得土壤放射性碳年龄为 B. P. 13300 年。几百万年前地质建造中植硅石的出现说明,植物起源的生物蛋白石在经历了一系列漫长时期的机械和化学风化作用过程后仍然是稳定不变的。

在从土壤中分离出植硅石的同时,成土作用过程中存在(或被认为存在)的现生植物的硅石得到了详尽的描述,从而为化石植物鉴定建立了必要的现代比较基础。禾本科植物的研究程度最深入,其早期研究包括 Metcalfe(1960)、Parry 和 Smithson(1964, 1966)、Blackman 和 Parry(1968)、Blackman(1971),等等。Twiss 等(1969)建立了一个分类系统,把禾本科植物划分为 3 个亚科。这个分类方案,除了稍有修改以外,至今仍在使用中。虽然禾本科植物的硅石形态得到了充分的重视,但是,一些重要的方面,如三维结构和大小,仍然缺乏研究。结果,人们产生了这样一种看法,即认为:亚科以内的植硅石是高度丰富的,不能用于鉴定禾本科植物的属和种。在着重阐述植硅石形态的第三章里,我们将会看到情况不都是这样。对非禾草类单子叶植物的植硅石形态的研究包括:Tomlinson 对棕榈科(1961)及其他科(1969)的研究、Mehra 和 Sharma(1965)和 Metcalfe(1971)对莎草科的研究以及 Stant(1973)对鸭跖草科的研究。

对非单子叶植物种的硅石研究在数量上很少,而且主要是研究落叶(温带、阔叶)和针叶树叶以及热带树木木头中的硅石(例如:Amos, 1952; Bamber 和 Lanyon, 1960; Brydon 等, 1963; Wilding 和 Drees, 1968, 1971; Verma 和 Rust, 1969; Rovner, 1971; Geis, 1973; Klein 和 Geis, 1978; Scurfield 等, 1974; Kondo 和 Pearson, 1981)。禾本科植物的硅石与双

子叶被子植物的硅石、以及禾本科与针叶树的硅石在形态上很容易区分开来。Brydon 研究组已从道格拉斯冷杉中分离出该属特有的硅石。Lanning(1960, 1961, 1966)对各种非草本的双子叶植物如草莓、山莓和向日葵属中的植硅石进行了研究,但是,他把主意力放在植物体中硅石产生的位置方面,而没有对硅石形状的详细描述或比较下功夫。

从这些研究中可得到两个发现:(1)同一植物中常常出现多种植硅石形状,(2)毫无相关的两种植物常含有相同的植硅石形状。这就使得土壤植硅石组合中的植物种鉴定复杂化。不仅如此,乔木植硅石通常在土壤植硅石组合中很少保存。但是,这个结论也可能反映了由于注重 20—50 μm (粗粉粒级)土壤分馏而造成的人为偏差。已经证明,被子植物森林表土样品中 75%以上的硅石颗粒直径大小级别在 20 μm 以下(Wilding 和 Drees, 1971; Geis, 1972),并且,直径大于 50 μm 的乔木硅石可能在分馏土壤的砂级部分中存在。

在植硅石形态的意义方面也产生了一些错误印象。虽然对不同的植物类群所做的研究程度不同,植硅石得到详细描述的植物也只有几个种,并且在研究程度较高的几个双子叶植物中观察到了明显的形态特征,但是,人们仍然持有这种印象,即植硅石在单子叶植物中,特别是禾本科中应用潜力最大;而非禾草类植硅石的形态太多;对双子叶植物的硅石研究可能会无所作为。很少有人对以上几点提出异议,我们在第三章里将会对其全面探讨。

在 1955—1975 年的 20 年期间,植硅石的物理和化学特性(如 Lanning 等, 1958; Jones 和 Beavers, 1963; Jones 和 Handreck, 1963; Lanning, 1960)、硅石在植物体中的功能、植硅石形成和溶解的条件和性质(Blackman, 1968, 1969; Blackman 和 Parry, 1968; Wilding, 1967)也都得到了研究。植物体和沉积物中硅石的分离、鉴定和量化技术得到了发展。

然而,这一期间的最后 5 年里,土壤和沉积物中的植硅石研究大大减少了。尽管在古生态领域内有大量的花粉研究,但是,植物学家采用扫描电镜术(例如, Hayward 和 Parry, 1975; Sangster, 1977a; Bennett 和 Sangster, 1981)仅对有限的几个现代禾本科植物硅石做了详细研究。虽然这些研究在植硅石的沉积、显微镜结构和表面特征等方面扩充了知识,但是,作为一门在古生态领域具有很大应用潜力的技术,很明显地还没有被植物界或地质界充分地利用。

古生态恢复方面的研究不多,包括 Palmer(1976)、Schreve-Brinkman(1978)和 Bukry(1979, 1980)。Palmer 采用了仍埋于有机组织中的硅石体来尝试性地鉴定东非更新世湖泊沉积物中的热带大草原禾草类植物属。她证明了在禾本科占优势的地区植硅石对过去气候记录的重要性。禾本科植物花粉的难以区分通常妨碍了这些地区的研究。Schreve-Brinkman(1978)在研究采自于哥伦比亚的晚更新世岩芯花粉过程中,识别出禾草类植硅石。沉积物中的植硅石分析结果与花粉资料是吻合的。在禾草类植硅石大量出现处,禾本科和菊科花粉数目也很高,这表明当时最冷的条件和次高寒—高寒植被。

Bukry 在西北非洲以外(1979)及东太平洋热带区(1980)的深海岩芯中发现了禾草类植硅石的存在,它们分别来源于非洲和中美州。植硅石运移至取芯位置的方式被认为主要是气传,这是评价气候在植硅石分布上的意义一个主要因素。在东太平洋的岩芯中,植硅石在第四系沉积物中的出现频度不及下第四系高,这可能表明早第四纪的气候条件比晚第四纪要干燥。同时,和非洲相比较,东太平洋的淡水硅藻要稀少得多,这是证明在东太平洋地区一般缺乏干旱河湖层的一个因素。因此,在更新世晚期中美洲的气候条件比西北非洲更潮湿。这些结论对美洲热带古环境及晚冰期人类活动(当时古印第安人首次在这里定居)感兴趣的考古学家

来说是非常重要的。

植硅石在古生态方面的应用另一个小而重要的波涛以植物学家(Thomassen, 1983, 1984; Thomassen 等, 1986; Smiley 和 Huggins, 1981)对被子植物的起源和分类关系的研究为代表。他们在北美中新世岩石的植物化石中观察到植硅石的存在。在禾草类、莎草类和落叶植物化石中植硅石的形状和位置有助于确定这些植物的分类位置, 并与现代植物种建立可能的亲缘关系。同时, 这些研究为植物中硅石的形态类型的稳定性以及在时间上的变化提供了化石证据, 这两条是遗传控制系统的基本特征。很明显, 植硅石不象某些人想象的那样是偶然和任意产生的植物体结构。

最近由植物学家所做的植硅石研究主要集中于阐述新的生物学问题和一些传统的研究领域: 研究沉积区、硅化发展阶段、硅化细胞的超微结构特点及它们的形态功能(Hodson 等, 1984; Sangster, 1985; Perry 等, 1984; Kaufman 等, 1981, 1985; Hodson, 1986)。很遗憾, 虽然这些研究是了解植物硅质分泌物的基础, 但是, 古植物学家对植硅石的忽视是很难理解的。

1.5 现代考古植硅石研究时期

植硅石分析在考古学中的应用可以追溯到较早时期, 那时的德国科学家在这方面做出了突出贡献(Netolitzky, 1900, 1914; Schellenberg, 1908; Edman 和 Söderberg, 1929)。如 Netolitzky(1914)对采自于瑞士和其他欧洲遗址的考古灰烬(即在植物组织被焚烧以后遗留的无机物残余, 其中包括植硅石)进行了研究, 并在植硅石标准的基础上纠正了一些错误鉴定的标本。这些遗址中谷粒很明显地常被鉴定为其他东西, 而没有鉴定为 *Panicum miliaceum*(似粟草黍)或 *Setaria italica*(意大利狗尾草, 即谷子); 但是, Netolitzky 注意到, 这些含谷粒的灰烬样品中含有黍类这两个种的特征硅化外皮。他还在欧洲的其他遗址中鉴定出小麦和大麦植硅石(Netolitzky, 1900)。

Schellenberg(1908)在土耳其一个史前村落遗址的陶器碎片中鉴定出小麦和大麦的硅化遗存。很明显, 这些植物掺入到了制作陶器的粘土中。在鉴定过程中, Schellenberg 和 Netolitzky 特别注意了花颖片的硅化表皮细胞和短细胞的形状; 这个标准在 50 年后被现代考古植物学家用于研究近东和远东谷类农业的起源(Miller, 1980; Miller-Rosen, 1985; Watanabe, 1968, 1970)。Edman 和 Söderberg(1929)从中国新石器时代的一个陶器碎片刮削下来的碎屑中鉴定出稻米的硅质遗存。

在现代研究期, 对农业起源和扩散的许多早期研究主要发生于近东。Helbaek(1961, 1969)在新石器及其后时期的灰烬堆和陶器中发现了硅石骨骼(这个术语也适于由于燃烧或加热从植物中脱落的硅化表皮细胞)。Helbaek 识别出小麦、稻、黍和大麦的外皮硅化表皮细胞的差异; 在大植物材料缺乏的情况下这个结果有助于鉴定这些栽培植物。Watanabe(1955, 1968, 1970)在日本的史前沉积物中观察到稻和黍的硅化遗存。Dimbleby(1967)注意到了考古土壤中非连续植硅石的出现。

在早期的考古植物学文献中, 植硅石从未得到过持久的重视, 原因之一在于近东的新石器遗址中碳化植物材料很丰富, 从而降低了它们的应用潜在价值。在 Dimbleby(1967, 1978)对考古植物学全面回顾的两篇文章中, 植硅石被置于“其他植物遗存”大类中。因此, 考古学