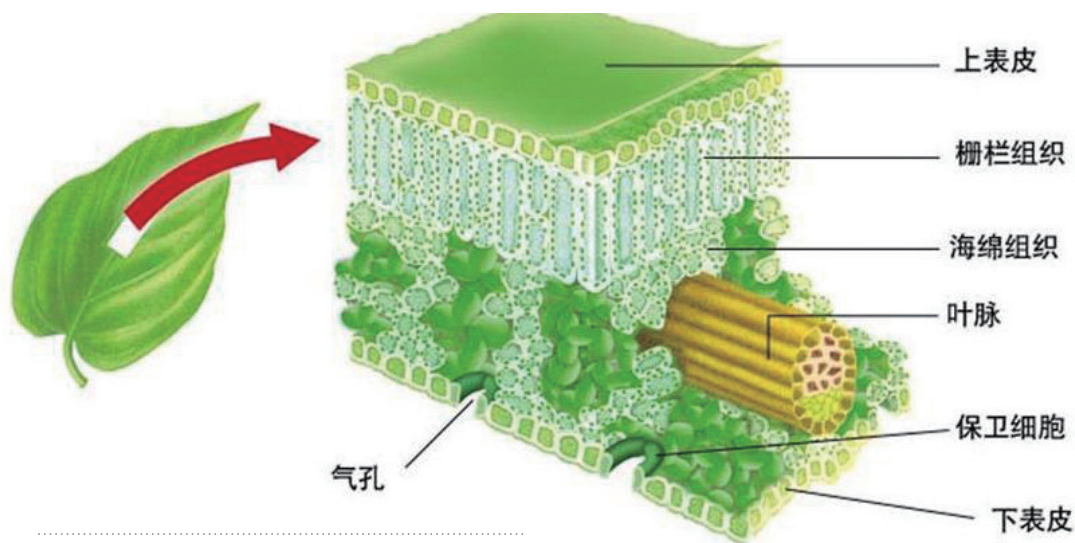




小气孔蕴藏 大秘密

□ 撰文·供图 / 徐洪河



◆ 图片所示气孔位于叶子的下表皮，周围是保卫细胞，上方是海绵组织、栅栏组织等。

绿色植物的重要特征就是可以进行光合作用，即利用阳光把二氧化碳转化为自身的养分。而植物体进行光合作用的重要器官就是植物叶、茎及其表面的气孔。

气孔是高等植物表皮所具有的特有结构。一般气孔位于植物叶子的背面，禾本科植物叶子两面都有气孔，那些叶片铺在水面上的水生植物，气孔只分布于叶片上方。

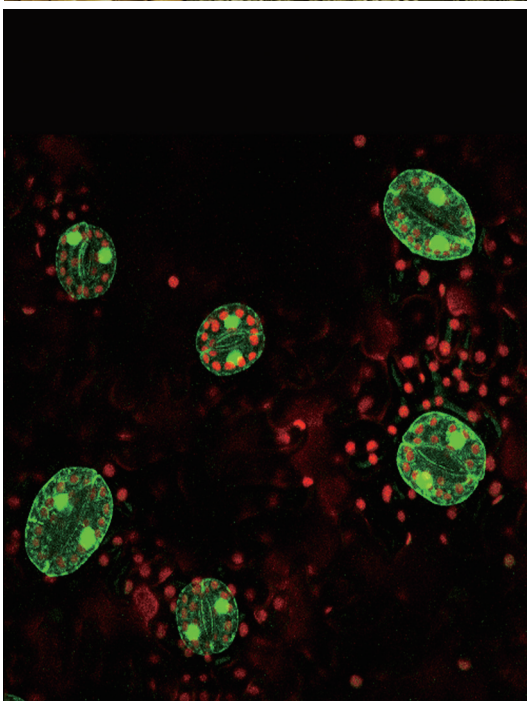
植物的气孔非常微小，必须要通过显微镜才能看到。狭义上常把保卫细胞之间形成的透镜状的小孔，即气体的出入通道，称为气孔。保卫细胞区别于表皮细胞是结构中含有叶绿体，虽然体积较小，数目也较少，片层结构发育不良，但能进行光合作用合成糖类物质。有时保卫细胞旁边也伴有2~4个副卫细胞，其与保卫细胞以及围起来的孔隙就是广义上的气孔

(或气孔器)。

气孔对植物的水平衡与二氧化碳浓度有着重要的意义。气孔在碳同化、呼吸、蒸腾作用等气体代谢中，成为空气和水蒸汽的通路，其通过量是由保卫细胞的开闭作用来调节，在生理上具有重要的意义。当阳光充分的时候，叶片气孔为叶肉细胞提供二氧化碳。在上午和傍晚，阳光弱气温低，气孔两侧的保卫细胞张开，有大量的二氧化碳进入叶肉细胞间隙为光合作用提供原料；到中午，气温高光照强，为防止植物大量失水，气孔的保卫细胞收缩，进入的二氧化碳减少，从而光合作用有所降低；到了晚上，气孔恢复，但是由于没有光线，所以不进行光合作用。

植物叶片上的气孔在形态学上是植物的鉴别特征之一。另外，考虑到植物和二氧化碳





◆ 上：显微镜下，可以清楚地看到气孔及其闭合状态。图为英国橡树的气孔。

◆ 下：随着显微技术的发展，人们观察到的气孔形态更加清晰。

的密切相关性，还可以通过植物气孔的若干变化，来推演大气中二氧化碳的相关变化。

二氧化碳是影响气候变化的重要温室气体。现今，地球上气温逐渐升高，很大程度上就是由于大气二氧化碳的浓度逐渐增高所造成的。因为二氧化碳这种温室气体，就像是地球身上的一床棉被，对地球发挥着保温的作用。来自太阳的热量被地球吸收之后，又被这层厚厚的棉被遮住了，难以散发，因此，地球就会越来越热。

二氧化碳浓度已经成为了衡量气候变化的重要参数之一。1958年，全球的二氧化碳浓度约为 $315\text{mL}/\text{m}^3$ ，2010年全球大气二氧化碳浓度约为 $390\text{mL}/\text{m}^3$ （数据来自美国国家海洋和大气管理局所公布的全球大气层二氧化碳浓度表）。气候资料表明，近100年来，全球气温升高 0.6°C ，如果地球上大气二氧化碳的浓度按照当前的速率继续增加，那么，预计到21世纪中叶，全球气温将升高 $1.5\sim 4.5^\circ\text{C}$ 。受到气温提升的影响，近100年，海平面上升了14厘米，到21世纪中叶，海平面将会上升 $25\sim 140$ 厘米，那对于人类和全球的生物多样性将是巨大的灾难。

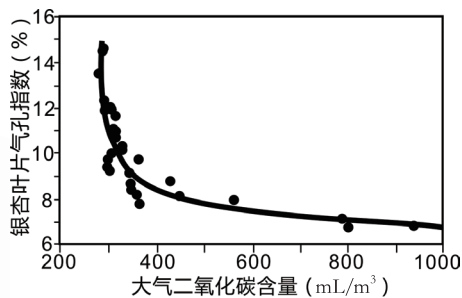
大气中含有的二氧化碳并不高，但由于人类活动（如煤炭、石油的燃烧等）影响，近年来二氧化碳含量猛增，导致了一系列难以恢复的气候现象。目前，各国政府都在努力通过国际合作以达到遏制二氧化碳的快速生长的目的。为了地球的环境和可持续发展，人类的目标应该是将二氧化碳浓度降至 $350\text{mL}/\text{m}^3$ 。

气候观测站记录只能记录短时间内大气中二氧化碳浓度的变化，比如100年以内的记录等。那么远古时期大气二氧化碳浓度究竟经历过怎样的变化呢？理解过去，有利于全面预测和评估未来。

一直以来，科学家都在对过去时间中二氧化碳的浓度进行着详细的估算和定量研究。目前，确定远二氧化碳浓度变化的方法有：对



◆ 现代银杏叶的形态：不具裂片或只具双裂片。



◆ 二氧化碳浓度变化与植物（银杏）叶表面气孔指数之间的相关性变化曲线。纵坐标是银杏叶片气孔指数的百分值；横坐标表示大气中二氧化碳的体积含量。

更正

2011年第2期总第256期《减噪纳污展绿影 姹紫嫣红露芳容——漫谈姿态万千的城市植物》一文第12页，“悬铃木”一图实为“元宝枫”，第14页“紫罗兰”一图实为“三色堇”，特此更正并向读者和作者致歉。

生态系统中长期碳循环的模拟，对碳酸盐和土壤有机物、海洋有机物进行同位素分析。另外，某些特殊地理与地质条件还为二氧化碳的保存提供了直接的证据，如，格陵兰和南极冰盖深处保存的晚第四纪时期的空气气泡，这是160 000多年前大气成分的真实、直接样本。值得一提的是，在对远古二氧化碳浓度的研究与估算中，化石植物叶片的气孔发挥了很大的作用。要知道，植物在地层中拥有大量而广泛的化石记录，因此，植物化石给估算地质时期二氧化碳浓度帮了很大的忙。

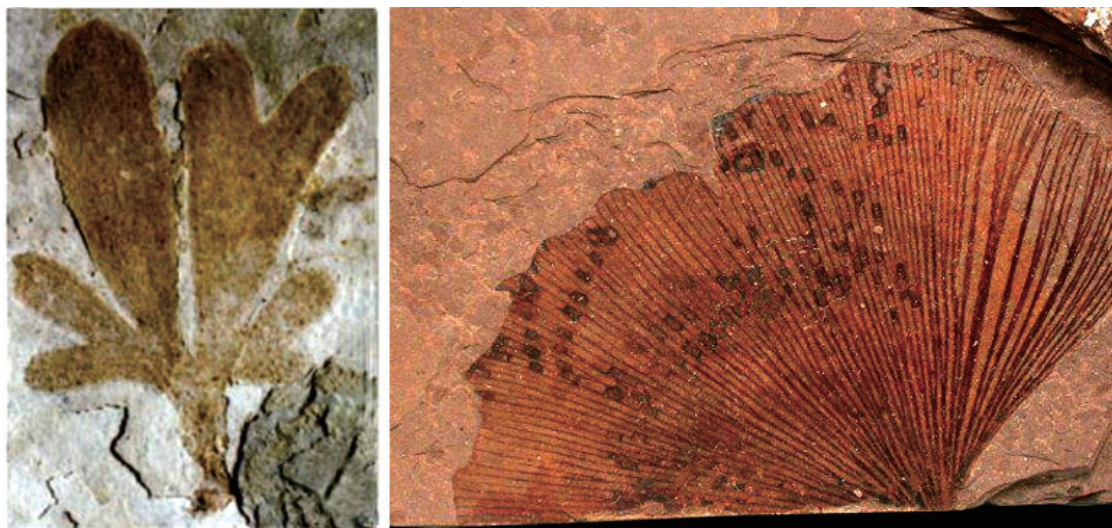
考虑到二氧化碳对陆生植物，尤其是绿色植物叶表面气孔发育的影响，科学家们还研究出了评估古二氧化碳浓度变化的新方法。我们知道，二氧化碳是绿色植物至关重要的营养物质，化石植物的叶片因此便具有了重建二氧化碳浓度变化的巨大潜力。这种方法与利用冰芯直接测定二氧化碳和地球化学确定二氧化碳浓度的方法相互补充。

根据保存在植物标本馆中腊叶植物标本

的研究，科研人员发现：自工业革命开始以来，温带树木的气孔密度减少了40%；而与此相对应的，就是二氧化碳含量的逐步增加，从1958年到2010年，大气中二氧化碳的含量增加了约24%。利用气孔作为二氧化碳指标的主要方法是通过气孔密度（有时也称为“气孔频率”）和气孔指数。气孔密度是指叶片上每个单位面积中的气孔数目；气孔指数是每个单位面积中气孔数目占表皮细胞（除保卫细胞）总数的百分比。考虑到叶子在植物体中处于生长状态的不稳定性，气孔密度往往随着植物体的生长而发生不断变化，因此，使用气孔指数要优于使用气孔密度。但是，当研究化石植物时，由于保存质量等问题，没法总能数出表皮细胞的数目，从而只能得到气孔密度值。

植物气孔与大气二氧化碳浓度直接存在的相关关系可以简单概括为，二氧化碳浓度提高将导致植物气孔密度和气孔指数均减小。这其中的道理还可以简单地理解为，因为二氧化碳是植物的营养物质，当营养物质变得越来越充分的时候，植物只需要越来越少的呼吸器官





◆ 不同地质时期的银杏叶片化石，左侧为中国辽宁侏罗纪晚期—白垩纪早期（距今约1.4亿年前）的银杏叶片化石，叶片较原始，多裂片；右侧化石为美国犹他州始新世（距今约5 000万年前）地层中保存的银杏叶片化石。

就可以维持正常的生命需要了。

科学家对现生100种生长在不同二氧化碳环境下的植物气孔密度变化测定表明：二氧化碳的浓度能够影响植物叶片表面自然气孔的数量，当二氧化碳变得富集时，植物的气孔密度平均减少约14%。植物的气孔指数对二氧化碳浓度的变化特别敏感，在二氧化碳浓度升高时，气孔指数和气孔密度都会进一步减小。

总之，化石叶片的气孔特征可以指示其生长时对二氧化碳浓度的生理反应，由此可以直接测量出二氧化碳的浓度。类似的研究已经在古植物学领域中广泛开展，一个很好的研究实例就是对中生代银杏叶片气孔的研究。

银杏是一种非常古老的植物，有近两亿年的生命史。直到今天，银杏依然非常普遍，是名副其实的“活化石”。

从中生代到现代，银杏叶演化出了多种模式，早期较为原始的银杏叶片呈多裂片的形态，而现生的银杏叶片往往不具裂片或只具双裂片。银杏性状稳定，叶片形态简单，易于识别。同时，它具有丰富的化石记录，对地质历史时期银杏叶片化

石的研究除了形态学以外，其气孔和大气二氧化碳浓度之间的对应关系也易识别出。因此，在用小小的气孔识别大气成分及其变化的过程中，银杏无可争议地成为了一个绝佳的范例。

地质历史时期，除了银杏，其他具叶植物也拥有大量的化石记录。这些仅为数微米大小的气孔，在年代久远的日子里，每天吞吐着二氧化碳，它们的排列与组织清晰地记录下了冷暖变迁，沧海桑田。■

作者致谢

化石网 (<http://www.uua.cn/>) 为本文提供部分资料和图片，在此表示感谢。

作者简介

徐洪河，博士，中国科学院南京地质古生物研究所副研究员，从事早期陆生植物方面研究，国内最大的古生物科普网站——化石网 (<http://www.uua.cn/>) 负责人。

(责编 桑新华)