



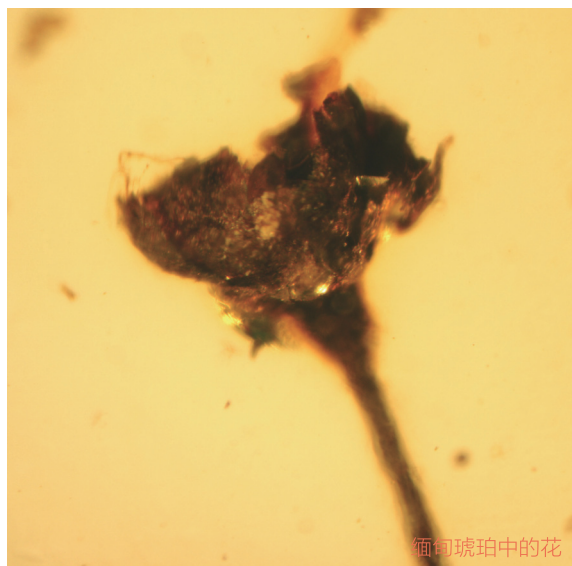
从科研的角度看 琥珀

撰文·供图 王博 张青青 张海春

琥珀是植物树脂经过漫长的地质演化而形成的化石。已知最早的琥珀发现于石炭纪中期的沉积物中，而最古老的具昆虫等内含物的琥珀发现于意大利的三叠系地层。琥珀本身就是一种植物树脂化石，其元素成分以及各种同位素指标具有重要的古环境意义。更重要的是，琥珀中常常包含了一些立体保存的植物、昆虫、蜘蛛甚至羽毛、真菌等化石，这些化石为我们重建远古时代的生物多样性、演化历史、古生态学以及生物地理分布提供了重要证据，因此琥珀一直是国际古昆虫学术界的研究热点。

生物多样性及演化历史

所有被琥珀捕获的物体都被称为琥珀内含物。昆虫和蜘蛛是琥珀中最常见的化石，但是琥珀的捕获物多种多样，还包括多种不同类型的植物器官，例如果实、叶子、花等。除了昆虫和蜘蛛以外的无脊椎动物还包括蠕虫、



缅甸琥珀中的花

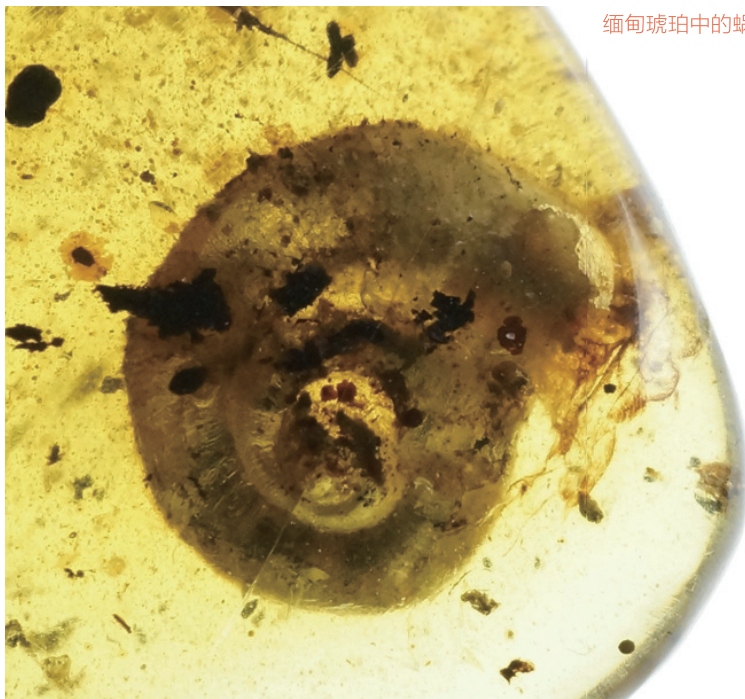


抚顺琥珀中的水杉叶

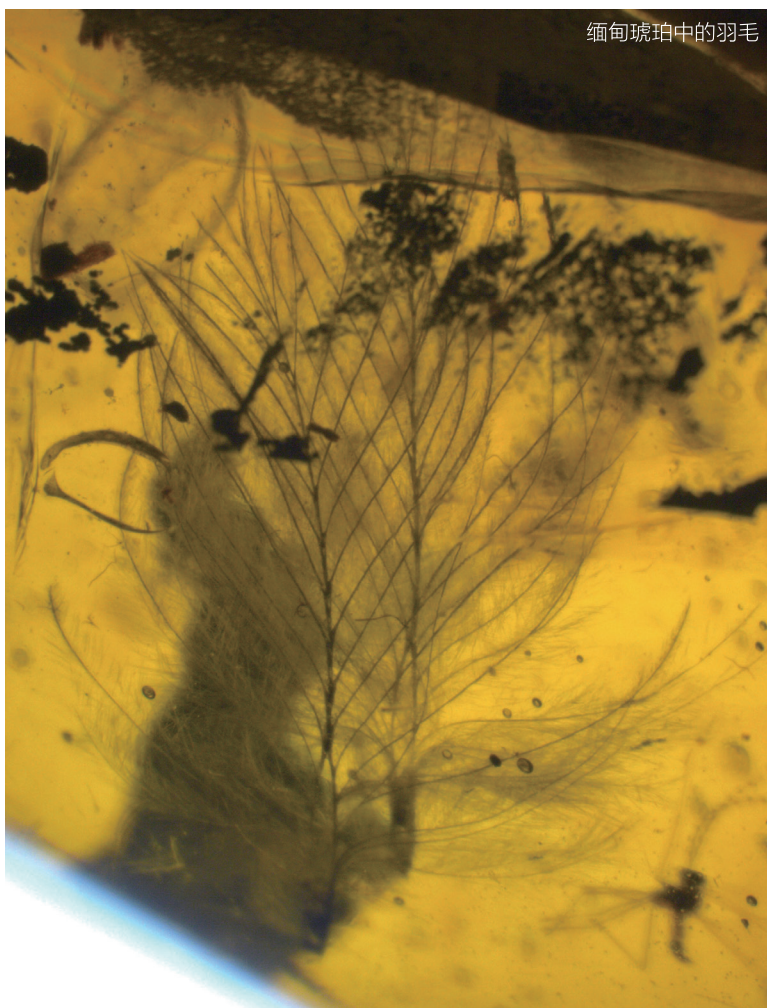


蜗牛、轮虫、缓步动物以及微小的原生动物。另外大量微生物，例如真菌、细菌等在琥珀中也比较常见，但其个体很小，一般需要在高倍显微镜下才能观察清楚。在缅甸琥珀保存的蠓和蚋的肠道中曾发现血液，从这些血液中发现利什曼原虫和类似疟原虫的微生物。琥珀中也偶尔发现有脊椎动物，但是极其罕见，其中有青蛙、蜥蜴和鸟类羽毛等。这些琥珀内含物对于研究远古生物起源、辐射等演化过程提供了直接的证据。

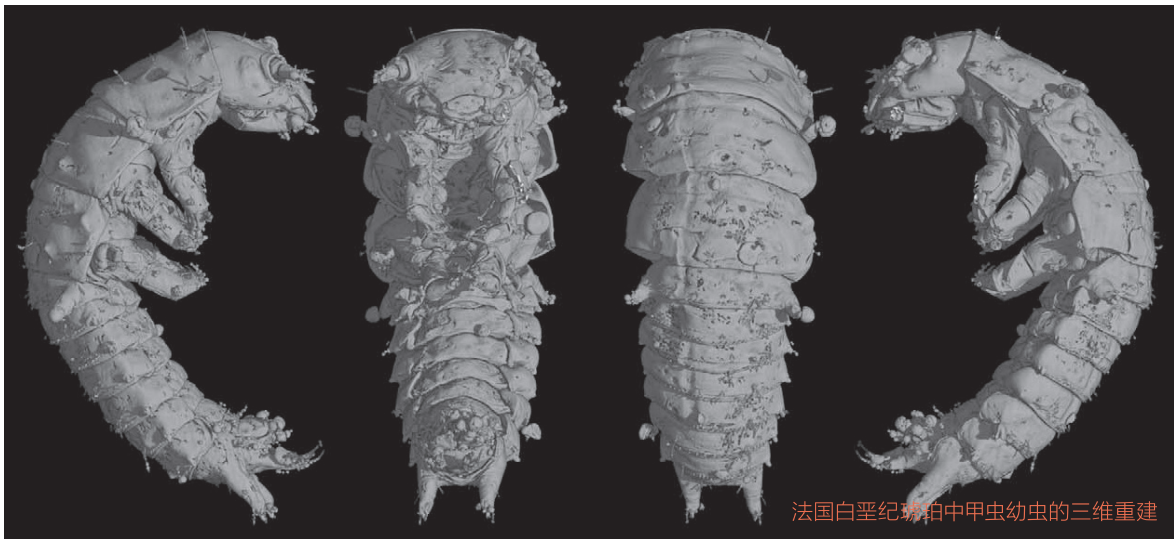
琥珀标本中极少的昆虫化石保存有内部结构(包括飞行肌肉、头部肌肉、消化器官、生殖器官等)，但其埋藏学机制尚不清楚。目前可以利用高精度三维CT技术进行扫描重建这些内部结构。这种技术是一种无损成像方法，不会对化石造成任何损害。琥珀作为化石特异埋藏条件之一，除了能保证化石标本的完整性外，更为重要的是它可以特异保存很多难以通过普通成岩作用埋藏成为化石的生物结构，比如一些稀少的甲虫幼虫以及羽毛化石。但迄今，计算机软件尚无法重建出肌肉的连接形态、器官构造等细致结构，这些工作需要昆虫内部解剖专家对海量的计算机图像进行分析。因此，当前国际上仅有几个研究组完成了几例重建工作。相信随着该技术手段的不断成熟，会涌现出越来越多的研究成果。



缅甸琥珀中的蜗牛



缅甸琥珀中的羽毛



法国白垩纪琥珀中甲虫幼虫的三维重建

古生态学意义

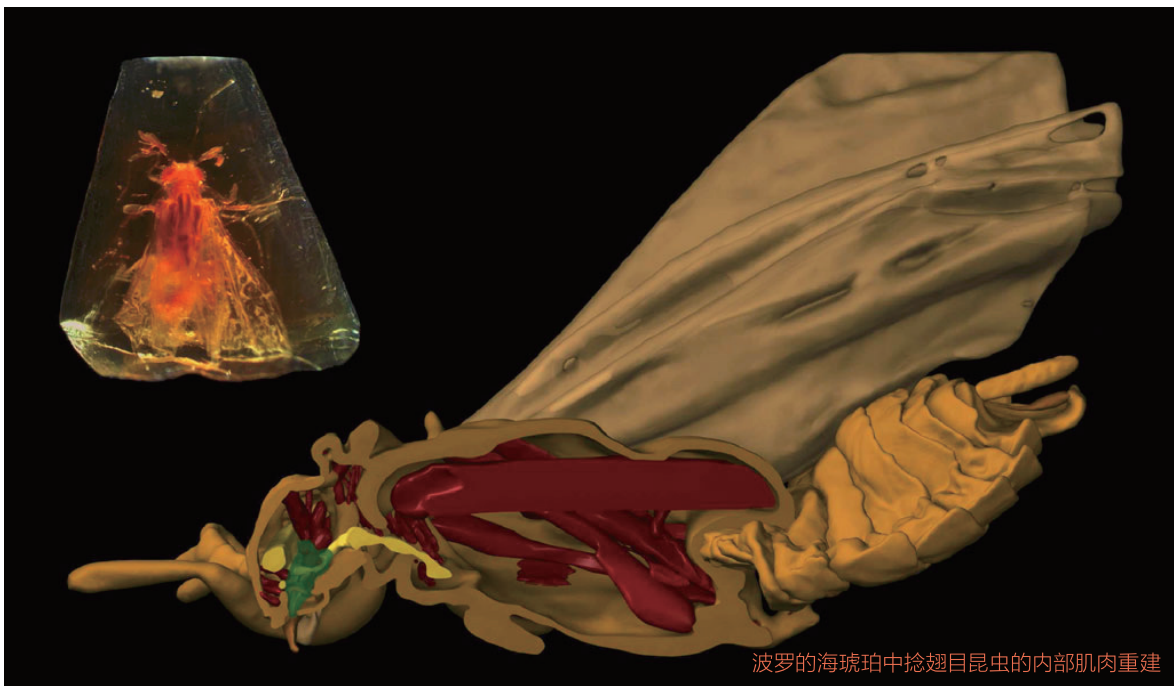
琥珀中保存的昆虫和其他内含物能告诉我们许多远古森林植物—动物—微生物之间的生态关系以及古代的气候等环境信息，相关的研究被称为古生态学。

琥珀中的生物群能很好地反映古代的气候等环境信息。例如

现代欧洲北部波罗的海地区是温带气候，但在波罗的海琥珀中发现有大量的热带和亚热带的昆虫类群，这直接证明了距今4000万至5000万年前的波罗的海地区是非常温暖、潮湿的气候。另外，我国抚顺琥珀中也发现了大量暖温带和亚热带生物类群，许多种类

喜欢生活在潮湿的森林环境。尽管现在抚顺地区属于温带气候，而且四季分明。但在5000万年前，该地区可能是暖温带甚至是亚热带气候。

昆虫以及其他生物的遗留物也会保存在琥珀之中。昆虫的粪便很常见，它们很小，呈黑色、桶



波罗的海琥珀中捻翅目昆虫的内部肌肉重建

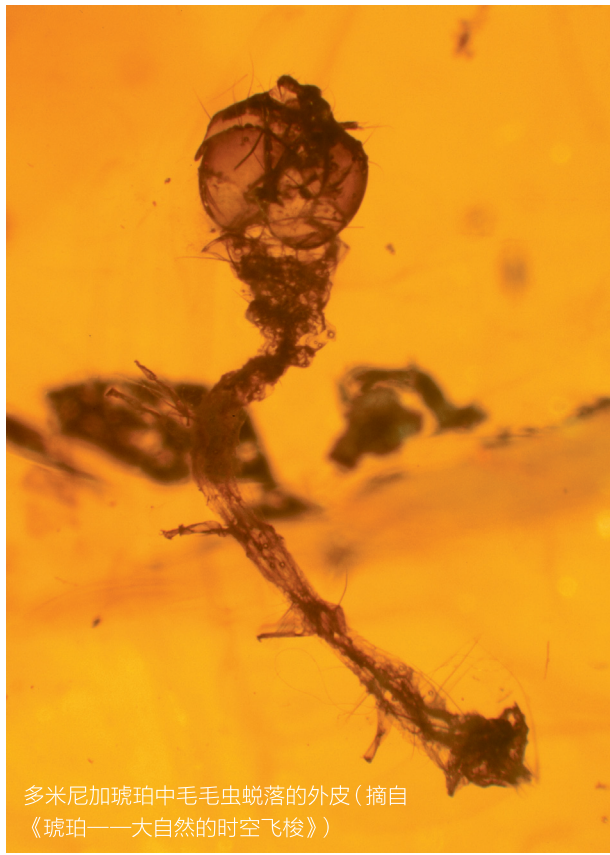


形。偶尔也会看到细蛛丝，甚至蜘蛛网。当昆虫或蜘蛛长大后，往往需要蜕皮，这些动物外皮也能保存在琥珀中，有时也能发现蜥蜴或蛇类成块的蜕皮。蚂蚁和白蚁总是在它们的巢穴之外遗留大量废弃物，这些遗留物也能保存在琥珀之中，但与其他一般的碎屑往往不大容易区别。

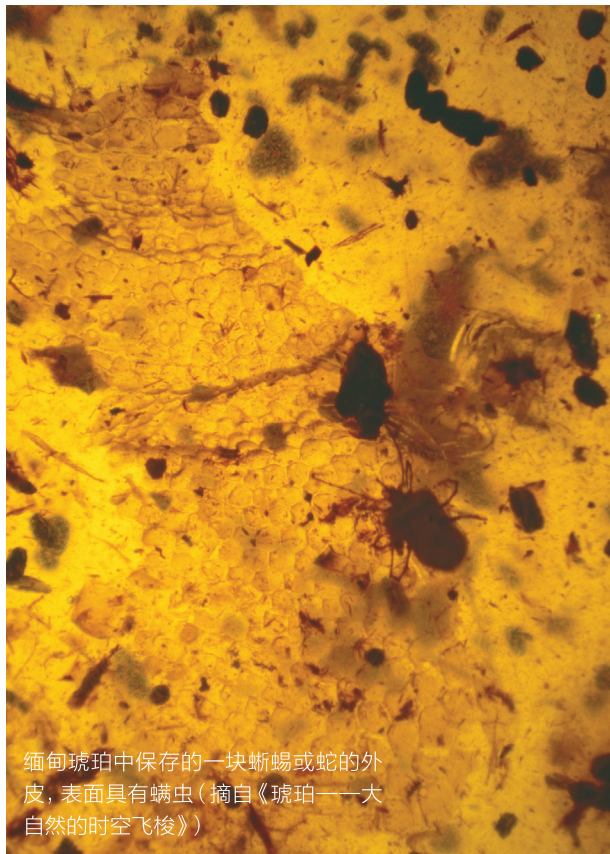
琥珀能够保存动物在被捕获前后一些行为的证据。动物被树脂包裹时仍是活着的，因此，常有一些挣扎的证据。有的苍蝇和盲蛛可以通过断臂的方式成功逃脱树脂的包裹。因此，单独的断肢在琥珀中很常见，当然也有一些苍蝇会与它们的断肢保存在一起。有些昆虫是正在交配时候被捕获的，还有些保存在琥珀中的昆虫正在产卵，甚至还有少数琥珀中保存了昆虫的蛹，而其成年个体正在从蛹中钻出。

有些琥珀标本还展示出了动物行为的证据，这是其他类型的化石记录所无法提供的。尤其有趣之处在于，一块琥珀中包含了两种或更多动物彼此之间相互关系的直接证据。这些关系中常见的有寄生、互利共生以及携播。

在寄生关系中，一种生物（寄生虫）受益，另一种生物（寄主）却受害。比如寄生蜂，长有翅膀的成虫会在寄主体内或体表产卵，寄主通常是一种昆虫（或蜘蛛）的成体、蛹、幼虫或卵。寄生蜂幼虫（寄生虫）孵出后就会逐渐吞食



多米尼加琥珀中毛毛虫蜕落的外皮（摘自《琥珀——大自然的时空飞梭》）



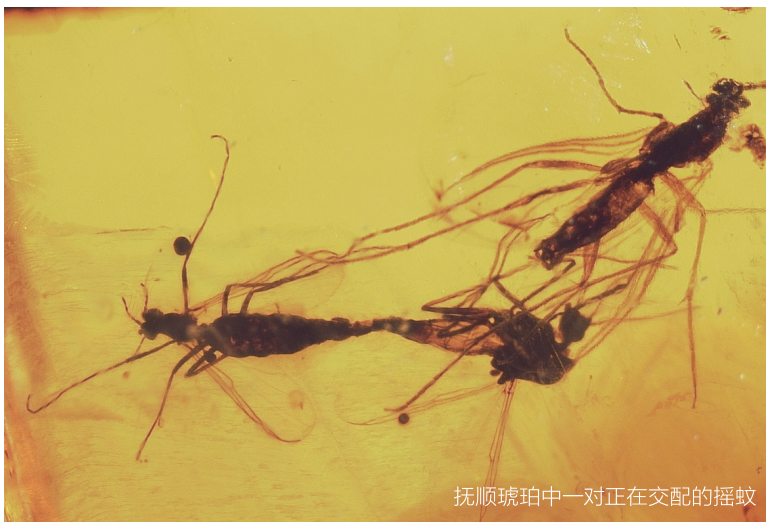
缅甸琥珀中保存的一块蜥蜴或蛇的外皮，表面具有螨虫（摘自《琥珀——大自然的时空飞梭》）



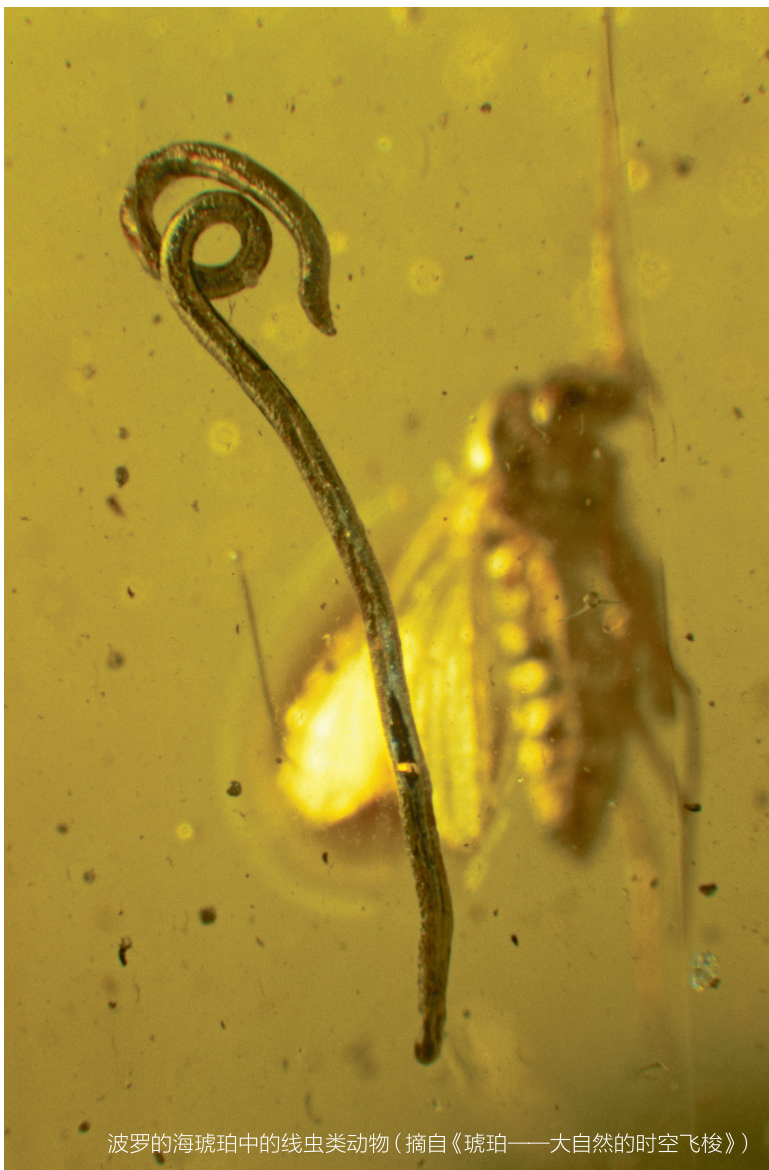
掉它的寄主。多米尼加琥珀中就有这样的罕见标本，一个囊状物附着在昆虫上，而一只正在发育的寄生蜂幼虫恰在其中。一块琥珀中所保存的若干种昆虫，对寄生关系也有一定的指示作用。这方面一个明显的例子，就是琥珀中附着在苍蝇、石蚕蛾和蛾子上的寄生性螨虫。寄生关系最早的记录来自于黎巴嫩，这里曾发现白垩纪早期琥珀中线虫寄生在昆虫体内。另外在波罗的海琥珀中一些蝇类和其他昆虫的琥珀标本中，寄生的线虫正从这些昆虫的腹部伸出，或者正好就保存在这些昆虫旁边。

互利共生是指两种生物能彼此获益的一种关系。缅甸琥珀中发现了具翅白蚁的互利共生实例，该白蚁腹部已经破损，在其脏器内部和白蚁周围保存有相关的原生动物。这些原生动物和细菌是帮助白蚁消化纤维素的。消化过程的副产物就是甲烷，在琥珀保存的很多白蚁中，其腹部都可以发现突出来的、较大的气泡，这可能就是白蚁被树脂捕获之后体内产生的甲烷被释放之后形成的。

携播，即一种动物搭上了另一种动物的便车进行携运和扩散的现象。琥珀中也有这方面的若干实例，尤其是一些不能飞行的蛛形类往往喜欢搭乘在飞行的昆虫上。在波罗的海琥珀中可以见到伪蝎利用它们的钳子挂住苍蝇或胡蜂的腿部或躯体，而在多米尼加琥珀中，被挂住的则是甲虫。在多米尼



抚顺琥珀中一对正在交配的摇蚊



波罗的海琥珀中的线虫类动物（摘自《琥珀——大自然的时空飞梭》）

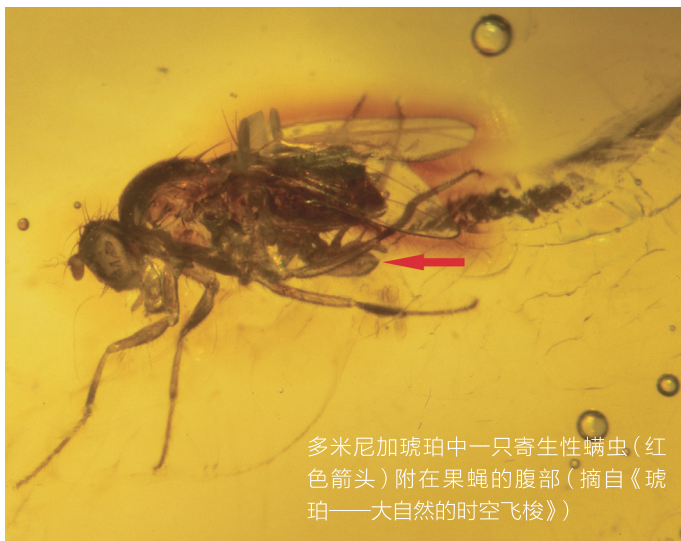


加琥珀中的苍蝇、蜂类、甲虫和白蚁身上也能发现一些携播螨虫。在多米尼加琥珀中的蚂蚁和甲虫身上也发现有幼年体的线虫。

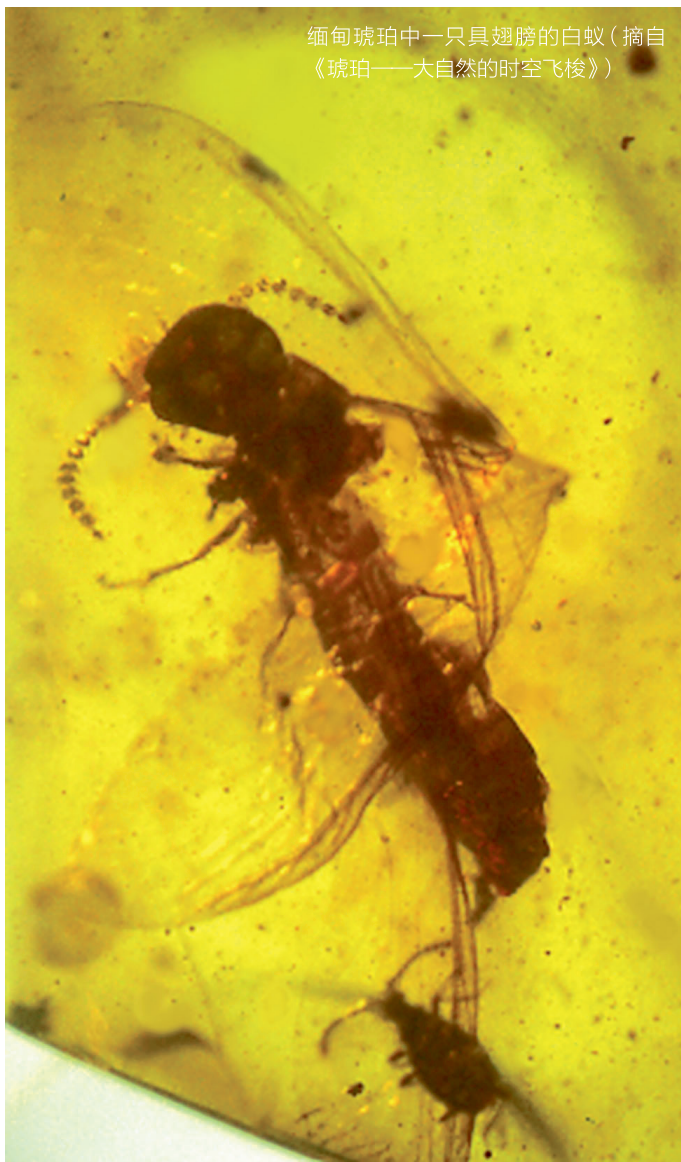
生物地理证据

关于动植物地理分布的研究被称为生物地理学。很多昆虫学家都在研究现代昆虫物种以及它们的生物地理分布，以试图了解它们如何从其他相关物种演化而来，以及可能发生成种作用的地点。科学家曾运用板块构造理论解释世界上不同地区相近物种的分布模式。板块构造理论对保存在琥珀中昆虫的研究提供了生物地理分布变化的重要信息，这些信息不可能单纯依靠观察现代物种的分布而推导得出。实际上，琥珀中有些物种的分布完全超出预期，因为它们对应的现代亲缘物种往往在今天世界的另一端被发现。很显然，板块构造对这种分布模式的影响微乎其微。分布模式可能受控于环境压力，这促使了物种在不同地区之间迁徙，以及对广布居群的生境进行了缩减。

波罗的海琥珀中保存有很多种蝇类，它们最近的亲缘种现今生活在东南亚和（或）南非——而不再是欧洲。举例来说波罗的海琥珀中发现的魔蚋亚属现今仅在亚洲东南部被发现，但波罗的海琥珀中的虻，其最近亲缘种如今生活在澳大利亚、非洲东南部、智利和美国东部。白蚁中的澳白蚁



多米尼加琥珀中一只寄生性螨虫（红色箭头）附在果蝇的腹部（摘自《琥珀——大自然的时空飞梭》）



缅甸琥珀中一只具翅膀的白蚁（摘自《琥珀——大自然的时空飞梭》）

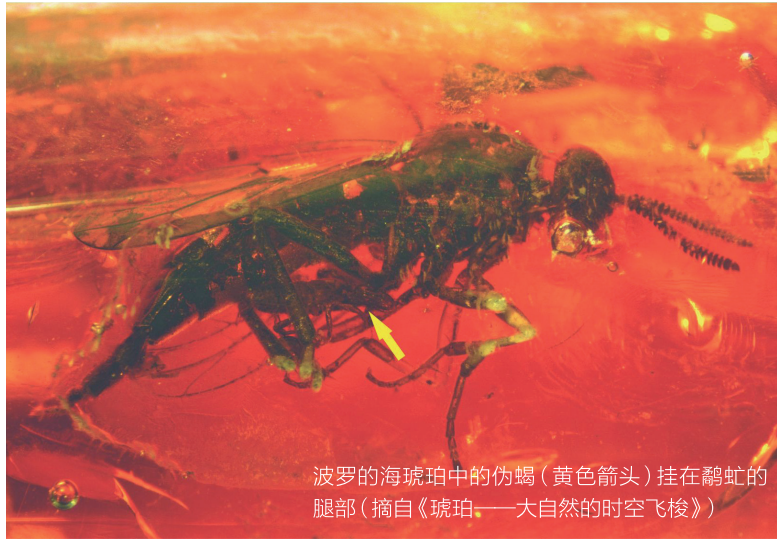


属是一个很原始的属，如今仅生活在澳大利亚，该属在墨西哥和多米尼加的琥珀中却有发现，也见于许多始新世、渐新世和中新世的欧洲化石记录中。因此，这类白蚁在过去一定具有世界性的分布，到如今，削减到只在澳大利亚才有残余性的分布。

抚顺琥珀的古地理意义

抚顺琥珀是目前我国唯一的含虫琥珀资源，蕴藏于亚洲最大的露天煤矿（抚顺西露天矿）的中部煤层中。抚顺琥珀形成于早始新世（约5千万年前）一个重要温室效应时期，形成过程中包裹了大量的节肢动物和微生物类群，为研究这些生物的起源和辐射提供了最直接的化石证据。抚顺琥珀的古地理位置极其关键。始新世早期亚洲大陆主体与欧洲、北美、印度次大陆之间仍有海峡隔开，抚顺琥珀保存有始新世时期亚洲大陆唯一的琥珀生物群，这为我们了解当时欧洲—亚洲—印度—北美生物分布格局提供了直接证据，进而为我们研究气候变化（例如温室效应）和构造事件（例如青藏高原隆升）对欧亚大陆生物演化的影响提供了重要线索。

始新世北半球出现多个特异保存的化石昆虫群，例如：欧洲昆虫群（包括法国始新世早期琥珀；始新世中晚期的波罗的海琥珀和乌克兰琥珀）。在抚顺琥珀中不少种类与同时代欧洲类群具有

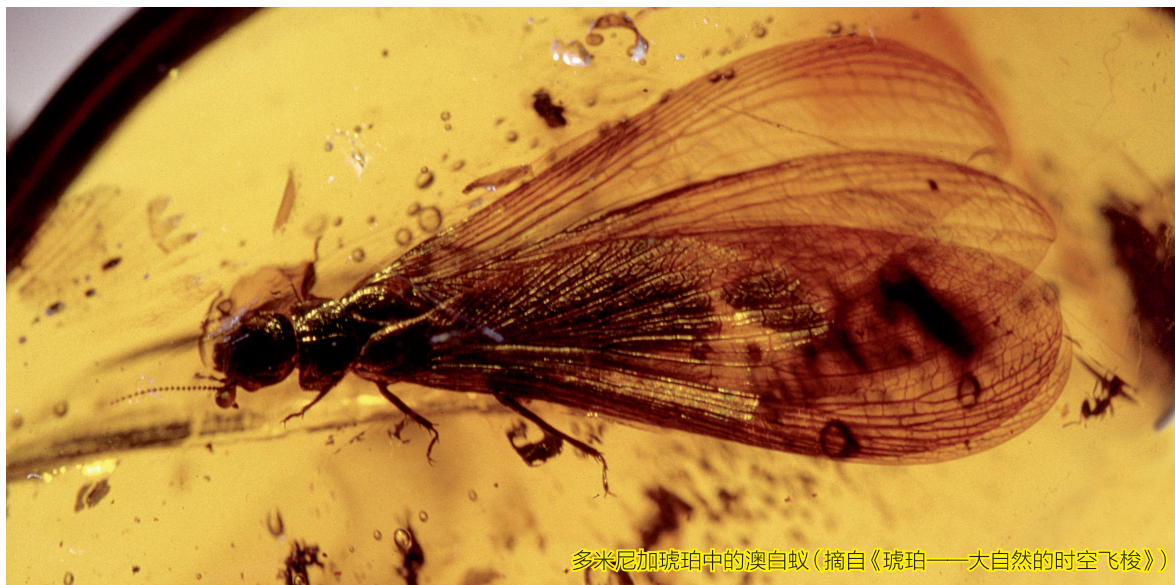


波罗的海琥珀中的伪蝎（黄色箭头）挂在鹬虻的腿部（摘自《琥珀——大自然的时空飞梭》）



波罗的海琥珀中的虻（摘自《琥珀——大自然的时空飞梭》）





多米尼加琥珀中的澳白蚁 (摘自《琥珀——大自然的时空飞梭》)

明显的相似性。例如一种蚤蝇只在抚顺和波罗的海琥珀中存在；一种特殊的啮虫只在抚顺和同时代的法国琥珀中存在。另一个特别的例子就是一种柄翅柄腹卵小蜂也只在抚顺和波罗的海琥珀中存在。因此，抚顺琥珀不仅填补了始新世时期亚洲大陆琥珀生物群的空白，而且证明5千万年前欧

亚大陆两端已经存在广泛的生物交流。这些琥珀也为我们了解欧洲—亚洲昆虫群分布格局的演化提供了坚实的基础。■

作者简介

王博，中国科学院南京地质古生物研究所副研究员，德国波恩大学洪堡学者，研究方向为陆相节肢动物的宏演化及其古生态和埋藏学。

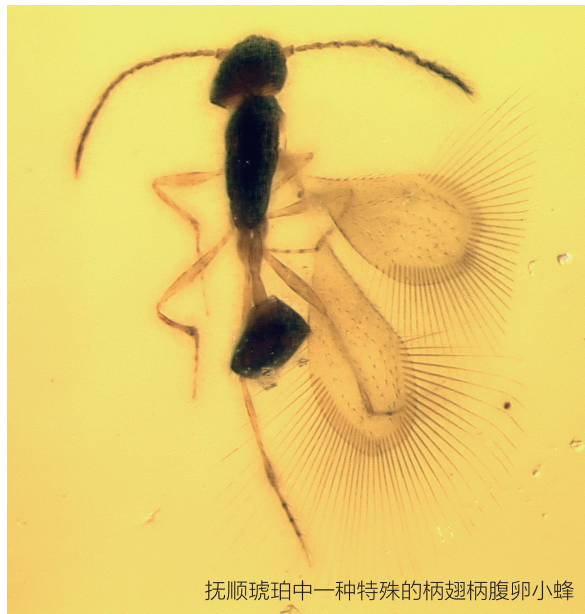
张青青，中国科学院南京地质古生物研究所硕士研究生，研究方向为缅甸琥珀中的昆虫化石。

张海春，中国科学院南京地质古生物研究所研究员，现代古生物学和地层学国家重点实验室副主任，研究方向为中、新生代陆地生态系统。

(责编 桑新华)



抚顺琥珀中一种特殊的啮虫



抚顺琥珀中一种特殊的柄翅柄腹卵小蜂