

地球历史上曾发生多次全球性的生物大灭绝，几乎停摆了生命演化的进程。但生命演化的浪潮却从未消停，而是一波又一波地向前发展。那么，究竟是什么因素导致了生物大灭绝事件，又是什么因素继续推动了生命演化的进程？化石证据为此提供了大量实证。

分子化石 侦破生物大灭绝的“神针”

□ 冯伟民

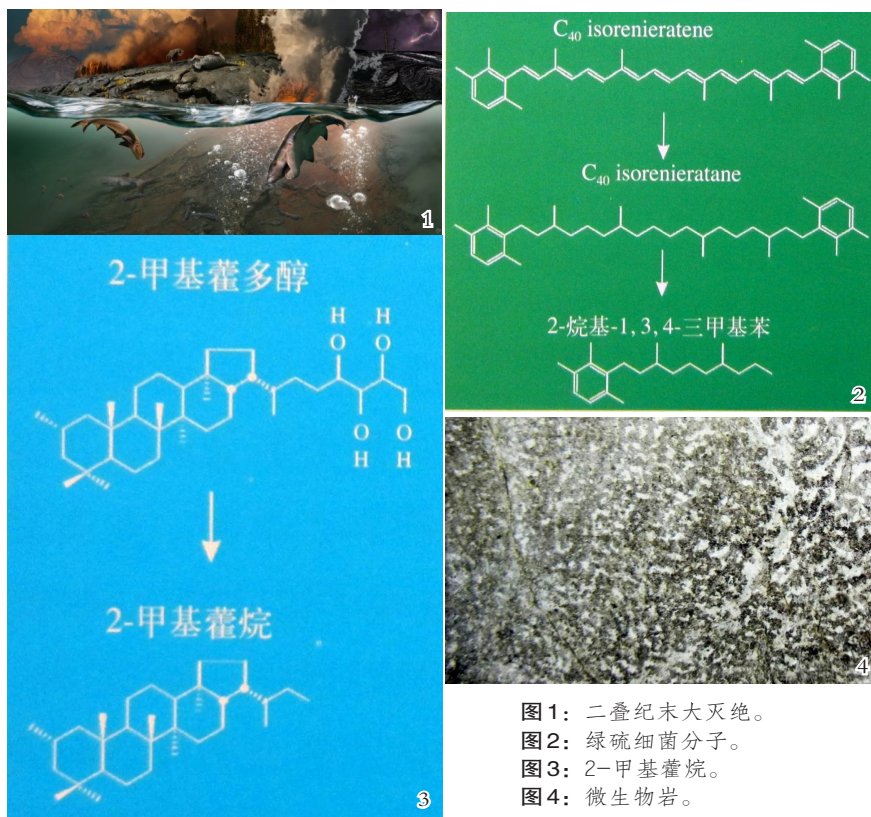
以前，不为人们所熟知的微生物，现在却越来越受到科学家的关注，特别是今年初暴发的新冠肺炎疫情，更是让人感受到了它的威力。常言道：成也萧何败也萧何。微生物不仅在支撑地球生命系统中起到定海神针般的作用，而且在生物大灭绝中所扮演的角色也浮出了水面，露出了其狰狞的面目。

微生物包括细菌、病毒、真菌以及一些小型的原生生物、显微藻类等在内的一大类生物群体，只能在显微镜、电子显微镜下才能发现。微生物是生物灾害中危害最大的一种类型，其累罪罪行可以追溯到地球历史久远的年代，它们在历次生物大灭绝中起着推波助澜甚至至关重要的作用。例如，距今2.52亿年前的二叠纪末生物大灭绝，其原因错综复杂，但分子化石证据表明，绿硫细菌和硫化氢的泛滥在此次大灭绝过程中起到了极不寻常的作用。

极为渺小的微生物显然难以保存为化石，要识别地质历史时期微生物家族的“庐山真面目”也是难于上青天。但是，大自然的演化过程，总是带来意想不到的神来之笔。

在化石家族中，有一类称之为化学化石（或分子化石）的引起了科学家的关注，它是生物死亡后残留在沉积物中的有机分子，如氨基酸、糖类、脂肪酸、烃、酚及色素等，只有在特殊的仪器设备帮助下才能检测出来。中国古生物学家根据微生物形成的分子化石，已经揭开了部分具有特殊功能的微生物群体的神秘面纱，能够帮助我们了解在地球历史过程中它们所扮演的角色和作用。

科学家发现，绿硫细菌是一种适合生存于厌氧、硫化氢丰富的海洋透光带中的自养型菌类，能利用硫化氢、单质硫等进行光合作用。绿硫细菌的标志性化合物是一些具异戊二烯侧链的芳香烃（例如，2-烷基-1,3,4-三甲苯和含有40个碳原子的C₄₀isorenieratane和



中绿硫细菌的光顾将预示着一场灾难的到来，水体透光带将处于一种富含H₂S的极度缺氧的环境。

科学家还在二叠纪末岩石中发现了另一类由蓝细菌形成的分子化石，其特征性有机物质在一定条件下能够被保存下来。科学家利用一些精密仪器从中检测出一种叫做2-甲基萘烷的有机分子，可以用来确定当时这个地方是否存在蓝细菌及其丰度，就像刑侦人员利用DNA指纹确认犯罪嫌疑人一样。

在二叠纪末的亚洲、欧洲和大洋洲中低纬度地区的整个浅海广泛分布着一

种称之为“钙质微生物”的岩石，它的外观较易辨认，大多呈现“花斑状”或“豹皮状”构造，这是一种由蓝细菌等微生物组成的岩石，往往覆盖在动物大量消失的地层之上。原来，动物的大量灭绝，使原来啃食和破坏蓝细菌的威胁大为减少，加上海洋表层水体的富营养化，以及温室效应所引起的强烈蒸发作用带来的盐度变化，使得蓝细菌获得充分繁殖。

因此，科学家推测，二叠纪末，西伯利亚及世界各地范围广泛的玄武岩火山喷发，使大气层中二氧化碳浓度急剧升高，导致全球气候剧变，酸雨和温度大幅变化及海洋缺氧等。

当时南北极温度不断升高，直至赤道与两极的温度没有了梯度变化，呈现出均温状态，造成海洋难以形成环流，整个古海洋成了缺氧、毒化的“一潭死水”，大量绿硫细菌聚集在一起，海底淤泥中产生的有毒硫化氢从海底上升到透光层直至散发到大气，弥漫至整个大陆。结果不仅使浮游生物遭殃，食物链断裂，原有的海洋动物由于不适应这样的恶劣环境而灭绝，还有一部分有毒硫化氢溢出海面到达大气层，破坏了臭氧层，使紫外线增强，造成了陆地上动植物的异常和整个生态系统的崩溃。

由绿硫细菌地层、动物灭绝地层和“钙质微生物”（蓝细菌层）组成的岩石地层序列，很好地勾勒出了二叠纪末大灭绝的变化过程，充分反映了地球环境的剧变，有毒气体的蔓延，致使海洋动物的大量灭绝，又造成了蓝细菌的大肆泛滥。分子化石无疑为侦破这一重大地质事件立下了赫赫战功。

（作者系中国科学院南京地质古生物研究所研究员，南京古生物博物馆名誉馆长，中国科普作家协会副理事长）



编者按

作为一位与死神搏斗的医者，王立祥教授常说，我们在热爱人类生命的同时，更要敬畏宇宙万物之生灵，热爱生命与敬畏生灵是密不可分的。那么，如何让二者相得益彰，达到天人合一之境界呢？

在2020年这个不平凡的春天，自抗疫以来，王立祥教授已在报刊、网络等媒体发表系列文章百余篇。特别是在遵循自然规律的基础上，他将医术与艺术相融合，从一维、二维、三维乃至四维空间的层面谱写了一首首真善美的生命赞歌。本报今日集中刊出王教授创作的《一涯》《二子》《三义》《四清》《伍铎》系列五首立体诗作，并配发彩画家高山之画艺，以期读者朋友能够领略“横看成岭侧成峰，远近高低各不同”的诗情画意。

一涯
近涯忘却繁花路
惜涯相守春风渡
穷涯难解思花结
无涯尘世见幽径

二子
一横一竖跨天桥
燕子新归恋旧巢
一树一枝重地砌
叶子逢绿别红袍

三义
天使担背疾向前
千门闭户只等闲
义手高悬瘟疫剑
万人灯火亮开颜

四清
飞雪漫天下白
一阵清风抚故台
纷雨化尽万般泪
一柱清香续世来

伍铎
披星戴月追神明
寒食果腹未了情
插青戴柳拾神农
低头草木绿州行

（作者系解放军总医院第三医学中心原急诊科主任、教授、博士研究生导师，南京医科大学心脉复苏研究院院长，国家健康科普专家库首批成员。曾任中国研究型医院学会心肺复苏专业委员会和中华医学会科学普及分会主任委员等。为中国心脉复苏与中华精准健康传播指南制定者、腹部心肺复苏学创建者）

春情

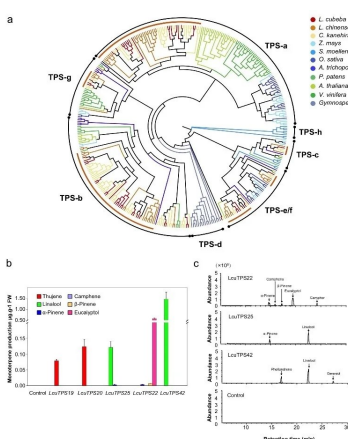
□ 王立祥

进化杂谈

揭示樟科物种进化机制

□ 宋平 王舒琦

全球首个山苍子基因组图谱亮相



上图：山苍子花。（陈炳华 拍摄）
左图：山苍子萜类合酶系统发育分析及功能验证。

研究团队启动了山苍子基因组测序项目。经过3年多努力，圆满完成项目，获得了大小为1.37G、contig N50为607.34kb的基因组。通过Hi-C技术，他们进一步将基因组锚定到24条染色体上，锚定率94.56%，获得质量优良的山苍子基因组图谱。

“樟科花序形态特征是樟科分类的一个重要依据。通常，樟科花序有圆锥花序、穗状花序、总状花序、伞形花序。”陈益存副研究员称，基于山苍子基因组及樟科13属28个物种花器官的转录组数据，研究发现，一个高度保守的参与花序形态发生的基因PETAL LOSS (FUWA) 所构建的花

序系统发育与樟科物种的系统进化对应，揭示了樟科花序从穗状花序、穗状圆锥花序到伞形圆锥花序、假伞形花序，到伞形花序演变的规律。

下一步，研究团队将基于基因组数据，结合大群体，进行山苍子精油品质和产量相关的分子标记精准预测研究；结合建立的山苍子遗传转化体系，进一步挖掘、鉴定和应用山苍子精油产量和品质的主效基因，为山苍子遗传改良提供基础；同时进一步挖掘樟科性别相关分子标记，为开展山苍子苗期性别鉴定奠定基础。

（作者单位：中国林业科学研究院）

物有香味从何而来

山苍子和樟科树种特有的香味从何而来？研究团队在高质量基因组图谱基础上，解析了关键化合物形成的分子机制。芳樟醇、桉叶油醇、柠檬醛、α/β蒎烯、双烯、香叶醇等单萜化合物是樟科精油的主要成分，如山苍子精油中单萜化合物高达98%。单萜化合物决定了精油的品质，具有抗病毒、消炎和杀菌的作用。通过比较基因组分析发现，单萜合酶Mono-TPS在樟科发生了显著扩张。单萜合酶主要催化单萜化合物合成。为进一步挖掘调控主要单萜化合物合成的关键基因，团队采用同源和异源瞬时表达，以及体外酶活验证，鉴定了调控樟科及山苍子精油主要化合物合成的关键酶基因LcuTPS42。

中国科学院院士钱前研究员评价说：“目前，对樟科植物果实精油及精油主要成分单萜化合物的生物合成机理尚不清楚，制约了樟科植物精准育种。为此，汪阳东团队选择樟科果实精油含量最丰富的物种——山苍子为研究对象，构建了山苍子全基因组图谱，并结合樟科20属47代表种低覆盖基因组测序数据和16属23代表种混合组织和花苞转录组测序数据，揭示了单萜合酶基因家族在樟科中的演化，有效地促进了樟科植物单萜化合物多样性和特异性，对揭示樟科植物的生物学特性、指导樟科遗传育种研究特别是加速分子育种进程具有指导作用。”

实际上，山苍子所属的樟科植物普遍富含丰富的单萜化合物，即樟脑、桉叶油醇、柠檬醛等。樟科植物是我国南方重要的经济和生态树种，全国约有20属，423种，在材用、药用、香料、医药上都占有重要的经济价值。

据了解，我国山苍子栽培面积21.6万亩，精油年产量14.01万吨，为世界上最大的生产国和出口国，每年产生的经济价值约20亿元。

汪阳东研究员介绍说，樟科花小、花序形态多样、存在两性花和单性花，使得其形态演变及进化位置研究困难；樟科特殊香味关键化合物合成机理尚不清楚。因此，从基因组水平探讨樟科的进化、花形演变分子证据及特殊香味的遗传基础，对揭示樟科植物的生物学特性、应用推广及遗传育种具有指导作用。

2016年10月，中国林科院亚林所



图1：猎隼是西部牧区控制鼠害的主要鸟种。
图2：胡兀鹫主食骨头，是高山地区的重要清道夫。
图3：丝光椋鸟取食枇杷果，食果鸟类是重要的种子散播者。
图4：火尾希鹀，鹀类是国内外观鸟爱好者光顾我国偏远山区的主要目标。
图5：白腰杓鹑，滨海滩涂是我国亟需保护的鸟类生境之一。

爱鸟周 携手保护翱翔蓝天的精灵

□ 孙戈

每年的4月1日-7日是北京市的爱鸟周。爱鸟周源于1981年，最初为保护迁徙于中日两国间的候鸟而设立；1992年在《陆生野生动物保护条例》中以法规的形式确定下来。各地爱鸟周的时间不尽相同，但都在4月初至5月初这段时间。

设立爱鸟周的初衷是为了维护生态平衡。大多数鸟类都以昆虫为主食（至少也是在育雏期以昆虫为主食），是调控昆虫数量、抑制害虫暴发的主要力量。不同种类的鸟，取食的昆虫也不一样。比如山雀类翻啄树皮，柳莺类搜刮树叶，鹁鹑在树冠拦截飞虫，雨燕在空中追击，而啄木鸟则深凿树干。与农药相比，鸟类对害虫的防治不但高效可持续，而且自然无污染。在DDT等烈性杀虫剂被滥用的年代和地

区，害虫在经历短时间的数量锐减后，很快进化出抗药性。反倒是鸟类被毒杀殆尽，导致生态失衡，害虫失控，适得其反。

对于有些猛禽类，特别是猫头鹰，则是捕鼠量最大的食肉动物类群，有效地控制着鼠类的种群数量。在我国西部牧区，人们甚至会设立鹰架，主动招引大鸮和猎隼等猛禽前来筑巢和停憩，以便提高它们的数量，防治鼠害。

以食蜜鸟类为例，如太阳鸟、啄花鸟、绣眼鸟等，可以为植物传粉；特别是对于冬季开花的植物更为重要，因为此时昆虫还未出现。在南美洲甚至有很多种花朵与不同种类的蜂鸟协同进化，只允许这种鸟替它们传粉，而将蜜蜂蝴蝶等昆虫拒之门外。

而食果鸟类则会将来消化的种

子在异地排出，帮助植物扩散和森林更新。在某些热带森林，高达92%的树木都要靠鸟类来传播种子。在瑞典，人们计算过，一只松鸦通过四处掩埋种子所达到的植树造林效果，如果改用人工完成，需要花费2450-11250美元。而秃鹫和乌鸦等食腐鸟类可以快速清除动物尸体，避免疾病暴发；尤其可以避免尸体滋养流浪狗导致的狂犬病暴发。西班牙曾统计过，兀鹫可以为国家每年节省至少100万欧元的病死牲畜的处理费用。

此外，鸬鹚等食鱼鸟类会在林间大树顶上排泄，促进河流和陆地之间的物质循环。比如阿留申群岛在引入赤狐后，在此繁盛的蜂蜜鸟海鸟被捕杀殆尽；没有了海鸟们营养丰富的鸟粪的滋养，岛上的植被很快便从富饶的草原退化为贫瘠的

苔原。鸟类每年的大规模迁徙甚至促进了各大陆之间的营养流动和物质循环。

鸟类还是多样性最高的陆生脊椎动物类群。根据国际鸟类学会最新发布的世界鸟类名录（IOC World Bird List）(Version 10.1)，目前全球共有10770种鸟类，分属于40目250科2322个属。中国2017年最新版名录共记录有1445种，分属于26目109科497属，其中93种为我国特产；总鸟种数位列世界第八。

不同鸟种依赖于不同的生境，比如有喜欢农田的，还有喜欢高草丛、新生的幼年林、原始未被破坏的成熟林、未被污染的溪流，以及裸岩流石滩。因此，不同类型的鸟类的多寡，可反映出不同生态类型的面积和分布格局。而且鸟类在野

外易于辨识，大部分仅凭声音就可判定种类；昼行，活泼，便于观察计数。所以，鸟类是环境监测理想的指示物种，一个地区的鸟类多样性可以直接反映该地的环境健康状况。

同理，保护鸟类多样性，也必然要维护鸟类的生境。许多举措比如保护原始林，维持林下灌丛，保护湿地，维持自然堤岸，打击盗猎等，也间接保护了该地区整体的生态环境，从而造福人类自己。

如今，随着观鸟业的蓬勃发展，鸟类也可以成为一个地区的重要经济来源。比如，芬兰2017年观鸟业产值46亿欧元；哥斯达黎加观鸟旅游收入的41%都来自观鸟业；2016年美国共有约4510万人参与观

鸟，产值超过25亿美元，其中1630万人专门为观鸟而旅行。我国目前观鸟业尚处于起步阶段，但在云南、广西、四川、河南、海南等偏远山区，很多村庄正靠着观鸟业发家致富。

但根据世界自然保护联盟(IUCN)统计，全世界约23%的物种濒临灭绝。由于很多鸟类的迁徙特性，鸟类保护与其他动物的保护不尽相同，需要世界各国的通力协作。因此，我国与日本、韩国、澳大利亚、俄罗斯等国签订候鸟保护协议。而爱鸟周在每年春季各地候鸟北返高峰前夕举行，此举正是为了加强大家保护鸟类的意识。

（作者系中国林业科学研究院博士，全国鸟类环志中心助理研究员）