



# 铁线蕨背负的植物自我革新奥秘

■本报记者 李晨

真叶和种子是植物进化史上两个关键创新性状。它们的出现使植物获得了飞跃性的生存能力。而真叶和种子进化的奥秘都与真蕨植物有关。

近日,中国农科院科学家完成了真蕨植物模式物种铁线蕨基因组图谱的绘制和分析,并找到了真叶和种子进化的重要线索。这让铁线蕨这种娇小的植物登上了《自然-植物》封面。

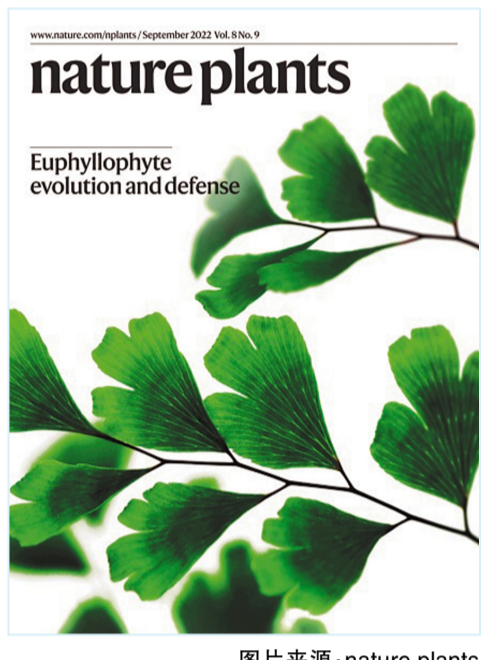
论文审稿人认为,同型孢子真蕨植物基因组是人们期待已久的。铁线蕨基因组注释和解释非常出色,这是第四个被测序的蕨类基因组,但却第一个具有这种连续性水平。它可能成为重要的蕨类植物基因组参考。

## 身背两大关键创新性状的秘密

植物在 4.7 亿年漫长的演化中,共形成了五大类群:苔藓植物、石松植物、真蕨植物、裸子植物和被子植物。其中,裸子植物和被子植物合称种子植物,而真蕨植物又和种子植物合称真叶植物。

论文通讯作者、中国农科院(深圳)农业基因组研究所研究员闫建斌告诉《中国科学报》,“承前启后”的真蕨植物是全面揭示和解析真叶、种子起源与演化必不可少的一环。

“关键创新性状可被看成是不同植物类群的‘独门绝技’,可帮助植物更好适应环境。”论文第一作者、中国农科院(深圳)农业基因组研究所博士后房昱含在接受《中国科学报》采访时介绍了这些著名的“独门绝技”,其一是出现在石松植物中的维管束,使营养物质在植物体内的远距离运输成为可能,植物因此体积扩大、结构多样。其二是从石松植物的“小型叶”进化而来的“大型叶”,即“真叶”,拥有多条叶脉,支持更大更厚实的叶片产生,制造更多营养,使植物体结构更加复杂,生物量增加。其三是种子,在胚乳和种皮的包裹下,幼胚可以在极端环境中休眠,吸收自带的营养物质,也能感知外界环境变化而启动萌发机制。



图片来源:nature plants

拥有种子的植物迅速占领了大片陆地生境,被子植物更是快速演化出了 25 万之多的物种,成为当代陆地生境的霸主。

“真蕨植物与种子植物在上亿年前,起源于同一祖先。”房昱含解释,如今的真蕨植物与种子植物是最近的姊妹类群,真叶是二者共同拥有的关键创新性状。

但要理解种子这一关键创新性状的出现,需要研究没有种子的植物类群。而真蕨植物在进化关系上恰好位于种子和真叶两大革新性状出现的交汇点。“真蕨植物既是推断真叶植物关键创新性状(真叶)的重要类群,又是全面理解种子植物关键创新性状(种子)的关键类群。”闫建斌说。

然而,真蕨植物约有 1.1 万种,选谁作为研究对象更具代表性?研究团队将目光投向了能

代表 99%真蕨植物的模式物种——铁线蕨。

房昱含解释,绝大部分真蕨植物没有产生雌雄分化,是以同型孢子为核心的方式繁殖。铁线蕨正是这类同型孢子真蕨。同时,铁线蕨的所有叶片均可产生孢子,不似有些真蕨物种,仅在特定的叶片产生。铁线蕨的原叶体由于扁平且液泡清晰等特点,还被用于光生物学研究。

## 第一个同型孢子真蕨植物基因组

“我们是带着解决种子起源和真叶起源的问题开始这项工作的。”闫建斌说。

他们发现,蕨类植物的抗性比较高。而这种抗性又与茉莉素信号通路有关,于是自然而然地聚焦于此。

在真蕨植物中,还有 1%的异型孢子物种,它们的繁殖过程产生了性别分化。闫建斌介绍,同型孢子与异型孢子物种在生活史、基因组大小和染色质数量上差异巨大。同型孢子真蕨以具有超大的基因组而闻名,其基因组大小平均高达 12Gb,最高可达 148Gb;而异型孢子真蕨的基因组大小要正常得多,平均值是 2.43Gb。

“可见同型孢子与异型孢子真蕨的基因组信息互不具有代表性,两者联合分析才可以代表真蕨基因组特征。遗憾的是,目前已经测序的 2 个真蕨物种,均为异型孢子真蕨,而高质量的同型孢子真蕨基因组信息仍然是缺失的。”闫建斌说。

闫建斌团队首次完成了同型孢子真蕨植物铁线蕨基因组的拼接、注释和分析。他们绘制了染色体级别的铁线蕨基因组,拼接基因组达到 4.83Gb,覆盖了 97.58%的基因组,该基因组具有很高的完整性和连续性。

利用这一高质量基因组,他们进一步完成了基因组结构分析。结果发现,同型孢子真蕨基因组的扩张,并非如先前假设的那样,由近期的全基因组加倍导致,而是重复序列扩张的结果。(下转第 2 版)

# 我国首次完成两台载人潜水器联合作业任务

据新华社电 记者从中科院深海科学与工程研究所获悉,日前,我国全海深载人潜水器“奋斗者”号与 4500 米级载人潜水器“深海勇士”号,在南海 1500 米水深区域完成既定作业任务。这是我国首次投入两台载人潜水器进行联合作业。

据介绍,本次联合作业完成了水下实时定位、语音通信、目标搜索与回收、快速机动及协同作业等任务,摸清了两台载人潜水器联合作业机制,提炼出联合作业流程,制定出标准化联合作业口令,总结出联合作业注意事项等,为今后多

台潜水器联合作业提供了经验。中科院深海科学与工程研究所科学技术处处长蒋磊说,本次联合作业证明了两台载人潜水器在两艘科考支持母船的保障下,可以在同一作业区域开展同时下潜作业和协同作业。此外,本次联合作业的成功,也让一艘科考支持母船保障两台载人潜水器同时下潜变成了可能,该种作业模式不但可以降低运维成本,更能提升我国潜水器作业能力,提高作业效率。(赵颖全 陈凯姿)

# 我国学者在《科学》杂志撰文呼吁 南海珊瑚礁保护 各国应措施一致

本报讯(记者朱汉斌 通讯员胡思敏)由于人类活动、海洋暖化、过度捕捞和长棘海星暴发等原因,南海珊瑚礁资源出现严重退化。近日,中科院南海海洋研究所研究员黄晖团队撰文呼吁南海周边国家共同行动保护珊瑚礁资源。相关文章以 Letter 形式发表于《科学》。

文章指出,近年来,为保护珊瑚礁资源及生物多样性,中国政府已经采取多项严格措施。例如,将石珊瑚、苍珊瑚、海龟、砗磲、法螺和苏眉等关键珊瑚礁生物列为国家保护动物,并严格处置违法行为;在南海建立多个海洋保护区,并在北纬 12 度以北的南海含北部湾海域实施伏季休渔制度,以持续恢复渔业资源;召集渔民持续抓捕珊瑚捕食者——长棘海星,并妥善处理。

但是,与中国强有力的保护措施相比,南海周边国家对珊瑚礁资源的保护力度相对滞后,导致在南海珊瑚礁区频繁出现走私珊瑚礁生物现象,且长期存在非法、不报告和不管制捕捞等行为,严重阻碍南海珊瑚礁资源的保护。

为更好且可持续地保护南海珊瑚礁资源及生物多样性,研究团队认为需要进一步加强南海周边国家保护措施的一致性。首先,共同执行伏季休渔制度;其次,共同抵制非法的保护类珊瑚礁生物贸易;再次,建立长棘海星预警机制。南海周边国家强有力的合作和一致的政策执行是有效保护南海珊瑚礁资源的基础。

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1126/science.abc0166>

# 嫦娥五号月壤矿物中存在高含量的水

本报讯 近日,中科院比较行星学卓越创新中心成员、中科院地球化学研究所唐晖、李雄耀团队,针对嫦娥五号月壤样品开展研究,通过红外光谱和纳米离子探针分析,发现嫦娥五号月壤表层中存在大量的太阳风成因水。该研究证实了月表矿物是水的重要“储库”,为月表中纬度地区水的分布提供了重要参考。相关研究成果发表于《自然-通讯》。

之前的空间探测活动中,红外光谱仪均探测到月表广泛分布太阳风成因水。但人们对月表不同矿物中太阳风成因水的形成和保存特征认识不足,需要结合月球样品开展深入分析。

中国嫦娥五号任务在月球风暴洋东北部采集了 1.731 千克月壤样品,该采样点纬度高于以往别国任务的采样点。此外,同位素定年结果表明嫦娥五号样品年龄约为 20 亿年,是目前获得的最年轻的月球样品。辉石、斜长石和橄榄石作为嫦娥五号月壤中的主要组成物质,是探究太阳风成因水储量的最佳载体。

研究团队针对嫦娥五号月壤样品中的辉石、橄榄石和斜长石矿物开展研究,剖析了不同矿物

中水的成因、含量与赋存状态,并由此评估了嫦娥五号月壤的水含量以及月表中纬度地区的水分布。研究团队估算出太阳风质子注入嫦娥五号月壤贡献的水含量至少为 170ppm。这一数值显著高于月球内部水,因而研究认为太阳风质子注入是嫦娥五号地区月壤中水的主要来源。结合透射电镜与能谱分析,他们研究揭示了太阳风成因水的形成与保存主要受矿物的暴露时间、晶体结构和成分等的影响。

月表的翻腾作用导致月壤颗粒暴露在太阳风中的时间不同,即矿物中注入的太阳风质子总量不同,致使太阳风成因水的含量不同。太阳风粒子注入会造成矿物表面结构破坏,因而环带的非晶化程度可以评估矿物的暴露时间。研究对比表层微观结构和含水量分析结果发现,矿物表层含水量与非晶质环带的厚度和非晶化程度总体上呈正相关,同时与下层晶体中的辐射径迹密度趋势一致,指示了矿物的太阳风暴露时间是影响太阳风成因水含量的主要因素。(柯讯)

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1038/s41467-022-33095-1>

# 断裂带:地震的“老巢”

■李泽峰

地震是人类社会面临的自然灾害之一。在许多国家的历史上,地震都留下了惨痛记忆,其中包括我国 1976 年唐山大地震和 2008 年汶川大地震、日本 2011 年东北大地震和美国 1906 年旧金山大地震。

就在 9 月 17 日、18 日,我国台湾省接连发生了两次具有破坏性的地震,震级分别为 6.5 级和 6.9 级。台湾位于菲律宾板块和欧亚板块的边界上,1999 年就曾发生过集集 7.5 级大地震,造成超 2000 人死亡、超一万人受伤。

那么,地震的发生有什么规律呢?地震到底能不能被预测?实际上,这不仅是社会大众关注的问题,也是地震学家一直苦苦思索的问题。遗憾的是,目前地震预测仍是世界性的科学难题。但是,这并不代表我们对地震一无所知。比如,我们对地震的“老巢”断裂带,已经有一定的了解。

## 什么是断裂带

天然地震发生在断裂带上。断裂带可以说就是地震的家。那断裂带是怎么来的呢?

我们知道,地球最外层是岩石圈,但岩石圈并不是浑然一体的,而是“碎成”了七大板块,板块间的边界就是大型断裂带。在地幔对流和板块本身的重力作用等因素的驱动下,各板块一直处于相对运动之中,既有相对运动,那板块边界上就必然免不了摩擦,其结果之一就是地震。这就是 20 世纪地球科学领域最伟大的成就——板块构造理论带来的基本认识。

简而言之,断裂带可以看成岩石圈里有相对位移的大裂隙。

板块边界上有断裂带,那板块内部有没有呢?有的。与板块的概念类似,地球科学家在板块内部发现了更为细分的块体,称之为地块。在地块边界上,也形成了各种类型的断裂带。

相比板块边界的断裂带,板块内部断裂带的规模和相对滑动速率要小一些。但是,这并不代表板块内部的地震震级或者危害性较小。长时间的应力积累(几百年甚至上千年),可以使板块内部发生 7 级乃至 8 级以上的大地震。

## 我国的断裂带

要了解地震灾害的分布规律,就必须弄清楚断裂带的分布。

在我国东部地区,最明显的是连绵 2000 多公里的郯庐断裂带(北段称依兰-伊通断裂带),是东部地区最主要的地震震源。国际上公认被成功预测的 1975 年海城地震就发生在

郯庐断裂带上。

在华北地区有一条与郯庐断裂带垂直的断裂带,被称为张家口-渤海断裂,是 1976 年唐山大地震的罪魁祸首。

我国东南的台湾省则处在菲律宾板块向欧亚板块俯冲边界上,具有非常复杂和活跃的断层系统,混杂了不同深度的逆冲断层和走滑断层。1999 年的集集大地震就发生在逆冲型的车笼埔断层面上。

在我国西部地区,断裂带众多,令人眼花缭乱,它们大多存在于青藏高原内部和周边。北部的阿尔金山断裂和海原断裂(1920 年发生过海原 8 级大地震)到南部的小江断裂和红河断裂,给西藏和青海以及周边的四川、云南、甘肃、新疆等地带来了严重的地震灾害。

为什么青藏高原和周边的地震活动会如此剧烈?主要原动力是印度洋板块对欧亚板块的挤压,一方面造成了青藏高原的隆起,一方面给青藏高原内部和周边地块带来了巨大的压力。当断层上的摩擦力承受不住压力的时候,就会发生错动,造成地震。

## 近期地震的断裂带

2021 年以来,我国发生了 9 次 6 级或以上的地震。

其中,2021 年云南漾濞 Mw6.1 地震(维西-乔后断裂附近)、青海玛多 Mw7.3 地震(昆仑山口-江错断裂)、门源 Mw6.7 地震(冷龙岭断裂);2022 年四川芦山 Mw5.8 地震(龙门山断裂)、泸定 Mw6.6 地震(鲜水河断裂),这些地震都发生在青藏高原内部和周边的不同断裂带上。仅四川内部,就存在 3 条呈 Y 字形的主要断裂带,即沿着四川盆地西北缘的龙门山断裂、从青藏高原内部延伸到东南边的鲜水河断裂,以及向南的安宁河断裂。

在龙门山断裂上曾经发生了 2008 年汶川大地震以及 2013 年芦山地震,而最近的泸定地震发生在鲜水河断裂的最南端(磨西段)。

9 月 17 日和 18 日发生在台湾省台东县、花蓮县的两次 6 级以上的地震,则可能与台湾岛内的中央山脉断层系统有关。

断裂带的勘测、性质刻画和危险性评估一直以来是地震灾害研究的重中之重。地球科学家综合运用地震学、地质学、大地测量学、地球动力学等多种手段,对断裂带进行了长期的多角度多层次的研究,在取得丰硕成果的同时也激发了各种新的科学问题。在摸清地震“老巢”的路上,地球科学家正在进行着坚持不懈的探索!

(作者系中国科学技术大学地球空间科学学院特聘研究员)



# 神舟十四号航天员 第二次出舱任务完成

9 月 17 日在北京航天飞行控制中心拍摄的神舟十四号航天员陈冬(右)、蔡旭哲同时在舱外操作的画面。

据中国载人航天工程办公室消息,9 月 17 日 17 时 47 分,经过约 5 小时的出舱活动,神舟十四号航天员陈冬、刘洋、蔡旭哲密切协同,完成出舱活动期间全部既定任务,航天员陈冬、航天员蔡旭哲已安全返回问天实验舱,第二次出舱活动取得圆满成功。新华社记者郭中正摄

# ITER 组织任命新总干事 10 月接任



本报讯 整个职业生涯都在聚变研究中度过的意大利电气工程师 Pietro Barabaschi 将于 10 月接任国际热核聚变实验堆(ITER)组织总干事一职。

据《自然》报道,Barabaschi 目前是欧洲聚变能组织的代理主任。该组织是负责管理 ITER 欧洲贡献的联盟机构。

ITER 是目前全球规模最大的核聚变项目。2015 年起由 Bernard Bigot 担任 ITER 组织总干事。Bigot 在今年 5 月因病逝世后,Eisuke Tada 担任临时总干事。10 月,接力棒将交到 Barabaschi 手上。

ITER 旨在验证聚变能源的可行性。

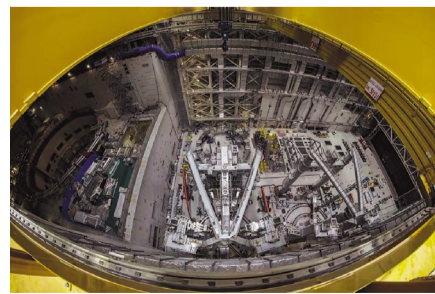
这个由中国、欧盟、印度、日本、韩国、俄罗斯和美国合作的 220 亿美元的项目,面临着一系列管理问题,如工期延误、成本飙升。

目前 ITER 计划于 2025 年开始运行,但审查结果并不理想,运行日期可能会被推迟。

日本 ITER 机构负责人 Makoto Sugimoto 表示,Bigot 是一位伟大的领导者,是无人能效仿的,“但我认为 Barabaschi 博士可以以自己的方式,领导 ITER 取得成功”。

Sugimoto 指出,Barabaschi 过去的经验使他充分具备担任这一角色的条件,“我相信他有足够的知识和经验来建造 ITER”。

英国卡拉姆聚变能研究中心等等离子科学家 Fernanda Rimini 表示,Barabaschi 参与了 ITER 的设计,以及欧洲联合环状反应堆(JET)项目,并且在推动欧洲聚变能组



ITER 目前正在法国建造。图片来源:ITER 组织

织相关工作中表现出色。比如,他自 2009 年以来一直在领导与日本的合作项目。该项目旨在加速商业聚变能源技术的最终实现。

Barabaschi 在一份声明中承诺,作为总干事,他将把改进 ITER 组织总部与每个成员机构的整合作为优先事项。(徐锐)

