



# 薇甘菊入侵华南的遗传机制阐明

■本报记者 朱汉斌

作为全球最具危害性的恶性入侵杂草之一，薇甘菊以惊人的繁殖速度和强大的环境适应性，严重破坏了亚洲、太平洋地区及中国华南地区的生态。然而，其基因组层面的适应性进化机制长期未获系统解析，制约了科学防控方法的研发。

近日，中山大学教授苏应娟、廖文波团队与华南农业大学教授王艇团队揭示了驱动薇甘菊入侵性形成和适应性进化的五大关键基因组事件，即全基因组重复、基因家族扩张、转座元件介导的基因调控、胁迫响应基因的差异表达以及代谢产物合成途径的调控。相关论文在线发表于《新植物学家》。

审稿人评价称，该研究通过大规模、多类型数据的整合分析，为入侵植物比较基因组学提供了宝贵资源，尤其在转座子驱动基因组进化和基因表达调控方面提供了新认知，对理解植物适应性进化机制具有重要价值。

## 抽丝剥茧：解析薇甘菊入侵之谜

薇甘菊原产于热带美洲，有“一分钟一英里草”之称。如今薇甘菊已大面积入侵华南地区，深圳、珠海等地受害尤为严重。

“以往入侵植物基因组学研究大多针对单一物种，缺乏对近缘入侵和非入侵物种的系统性比较，在一定程度上限制了研究的深度和广度。”论文共同通讯作者苏应娟对《中国科学报》表示，影响植物入侵的因素和机制复杂多样，既涉及生态适应性、基因组的动态变化和可塑性，以及基因、基因网络和代谢通路的表达调控，又涉及植物和多种生物与非生物胁迫的相互作用。

为了攻克这一难题，研究团队以入侵杂草薇甘菊及其本土同属近缘种假泽兰为对象，综合运用高通量测序、重测序、转录组测序、分子遗传实验和表型测量等实验技术，以及生物信息学、统计基因组学和种群基因组学的分析方法，开展了深入的比较基因组学研究。

研究团队采集了薇甘菊与假泽兰的新鲜植物材料，综合采用多平台测序技术，完成了两种植物高质量基因组的组装与注释，随后基于比较基因组学、种群基因组学、转录组学、分子遗传分析和表型测量等研究工作，揭示了驱动薇甘菊入侵性形成与适应性进化的关键基因组事件和因素。

论文共同第一作者、中山大学博士生王若楠表示，研究历时近 7 年，涉及野外采样、染色体数目与核型确认、跨平台多组学测序、海量数据分析及功能验证实验等多项任务。团队克服了同时测定和组装高质量、高精度的薇甘菊和假泽兰基因组的困难，并对庞大数据进行了深入挖掘和解析。

## 另辟蹊径：攻克多组学研究难题

最初，团队的目标锁定在薇甘菊基因组的构建和深度解析上，研究工作有条不紊地向前推进。然而 2020 年，就在分析工作接近尾声、即将收获成果的关键时刻，一则突如其来的消息让大家措手不及——另一个研究团队发表了薇甘菊的基因组图谱。

“这个消息确实像一盆冷水。”苏应娟坦言。面对这种情况，团队没有过多纠结，而是迅速召开紧急会议商讨对策。在短暂的“迷茫期”后，一个关键问题摆在面前，那就是如何另寻突破与创新点。

苏应娟敏锐地将目光转向薇甘菊在中国本地的“近亲”——假泽兰。“我们何不着力进行深入的比较基因组学研究？通过对比入侵种薇甘菊和本土近缘种假泽兰的基因组差异，为揭示薇甘菊强大的入侵机制打开一扇新窗口。”她这样描述着团队的共识。

这个转向充满挑战但也极具潜力，意味着之前围绕薇甘菊的分析工作大多需要重新进行，工作量剧增。“团队内部讨论过，这样‘从头再来’值不值得？投入的时间和精力成本是否可控？但是，决心最终战胜了犹豫，为了深化研究课题，团队一致同意迎难而上。”苏应娟说。

在分析过程中，团队发现已发表的薇甘菊染色体数目与预估的不同。通过查阅文献和严谨的荧光显微镜检测，他们最终确认薇甘菊入侵种群的染色体数目为 36 条，为后续精准研究奠定了基础。由于研究涵盖两个物种的多组学数据及薇甘菊的群体基因组学分析，团队对研究任务进行了细化，采取逐步推进和多轮交叉验证研究结果的路线，确保了结果的可靠性，为入侵植物研究提供了高质量的基因组资源。

王若楠介绍，团队先是应用荧光原位杂交技术确证了薇甘菊的核型，然后整合多平台技术成功构建了薇甘菊及假泽兰染色体级别的高精度

参考基因组。通过比较基因组分析，证实薇甘菊与假泽兰确实是“近亲”，两者大约在 372 万年前由于剧烈的气候和栖息地变化而“分家”。

比较基因组学分析表明，薇甘菊体内负责感知和响应生长素的基因家族与防御代谢合成通路的相关基因发生了特异性扩张，同时基因组中一种名为“转座子”的元件在薇甘菊中特别活跃，高频插入基因附近，导致基因组结构发生更多变化，加速了它的适应和进化。功能验证实验结果显示，薇甘菊在生长素处理下的根长和根径显著优于假泽兰；薇甘菊和假泽兰的 ARF8-2 和 miR167a 基因的表达呈现不同式样，前者反应更灵敏、变化更动态，这是快速响应环境的基因基础。

## 靶向防控：为治理薇甘菊提供新方向

基于全基因组重测序数据进行的种群基因组学研究发现，在薇甘菊原产地和入侵地的种群之间，存在显著的遗传分化。同时，研究发现入侵我国华南地区的薇甘菊种群基因十分相似，暗示了可能是多次入侵和基因渐渗共同作用的结果。

研究团队选择信号分析，鉴定出 Mm-BX6-1 和 MmBX6-2 基因在薇甘菊的适应性中起着重要作用。两基因编码的酶参与了与植物防御相关的代谢物合成。

记者了解到，该研究首次同时对入侵植物薇甘菊与近缘本土种假泽兰在基因组学和转录组学上进行了系统的对比分析，揭示了决定薇甘菊入侵性形成的关键基因组组成和基因表达调控方式。这不仅为理解薇甘菊的快速扩张和适应性进化提供了新的入侵基因组学知识，也为防控薇甘菊鉴定出新靶标。

苏应娟指出，未来可尝试基于植物生长素信号调控途径研发精准的薇甘菊防控和根除手段，遏制其对生态和农业生产的威胁。团队计划围绕植物生长素信号通路开发阻止薇甘菊入侵的新策略，为科学防控薇甘菊提供支持。

此外，团队计划继续在组学水平深入研究薇甘菊对环境胁迫的响应，特别是利用转基因与基因编辑等手段，对该研究鉴定出的关键基因和代谢通路相关基因在入侵性和适应性方面所起的作用进行验证。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1111/nph.70448>

# 新研究为萜类化合物带来简洁合成方法

本报讯(见习记者江庆龄)上海交通大学副教授李健团队与海军队军医大学教授张卫东、副教授王金鑫团队合作，开发了一种结合酶促反应与传统合成化学制备萜类化合物的方法，为高效制备免疫抑制剂、抗肿瘤活性天然产物提供了一条简洁的发散式合成路线。相关研究成果近日发表于《科学》。

萜类化合物是一类重要的天然产物，不对称环氧化反应大幅促进了此类化合物的合成。法尼醇是合成萜类天然产物的重要原料，但分子中部的 C6-C7 双键位阻大且缺乏活化基团，无法通过现有的不对称环氧化反应直接合成。

针对 C6-C7 惰性双键环氧化反应，研究团队基于自建酶库筛选获得起始催化 E-PO1，并通过 EPO1 进行 5 轮饱和突变的定向进化，迭代获得可高效选择性催化法尼醇中部烯基环氧化的人工酶 EPO6。进一步研究表明，EPO6 可对法尼醇的中部双键实现 93% 的区域选择性，与 94% 的对映选择性，显著优于既

有化学催化。利用该生物催化剂，研究团队成功制备出 10 克量级的手性环氧中间体，一举实现了法尼醇分子内最惰性双键的高选择性官能化，进而利用其余双键的较高反应性，高效、简洁地构筑出多种合成中间体。

在此基础上，研究团队验证了三甲基硅基(TMS)促进的 C-尾端多烯串联环化策略，有效解决了大位阻侧链带来的环化组装能垒问题。基于此方法，研究团队合成了 11 种萜类天然产物，相较于传统合成路线，合成步骤缩短 50% 至 74%。其中，Eminidole DA 为首次全合成，Eminidole SA 实现 6 步合成，Subglutinol B 仅用 9 步即可全合成。

研究团队表示，这项工作有助于推动化学生物协同的天然产物与药物合成范式转变，迈向由合成化学家根据合成策略需求精准设计与优化理想生物催化剂的新阶段。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1126/science.adr2096>

# 科学家攻克柔性电子能源采集难题

本报讯(记者廖洋 通讯员李鲲鹏)青岛科技大学教授刘凯团队开发出首个 N 型热电弹性体，即“热电橡胶”，为柔性电子学和可穿戴设备的能源采集技术提供了新方案。相关研究成果近日在线发表于《自然》。

随着可穿戴电子设备和软生物电子学飞速发展，提供高效、灵活的能源解决方案成为亟待解决的问题。作为一种能将温差转化为电能的有效方式，热电发电技术已展现出广阔的应用前景。一直以来，传统热电器件多采用无机热电材料，侧重于刚性结构下的应用，缺乏弹性和形状适应性，在柔性可穿戴设备中受到限制。

针对这个问题，研究人员依托北京大学教授雷雷团队和青岛科技大学教授华静团队的研究成果，开发出 N 型热电弹性体。这是一种兼具弹性、伸展性和热电转化能力的创新材料，为可穿戴设备能源采集技术开辟了新方向。

研究团队结合均匀纳米相分离、热激活交

联和定向掺杂 3 种策略，合成出 N 型热电弹性体。该材料展现出卓越的拉伸性与回弹性，拉伸应变高达 850%，能与传统的橡胶媲美。同时，其热电优值在 300 开尔文温度下可达 0.49，接近甚至超越现有柔性或塑性无机热电材料的性能。通过精确选择弹性体和掺杂剂的组合，研究人员不仅能改善材料拉伸性，还能促进均匀分布的半导体聚合物纳米纤维的形成，从而提高材料电导率并降低热导率，打破热电材料无法兼具高效能与弹性可调性的桎梏。

基于此，研究团队制造了首个弹性热电发电机，展示了在人体热能收集中的应用，并展现了驱动可穿戴电子设备和生物传感器的潜力。与无机热电器件不同，弹性热电发电机无需复杂的互连结构，能够直接与皮肤表面适配，同时保持较高的填充因子和较低的热阻，使该器件兼具高效的热电转换效率和优异的舒适性、形状适应性。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1038/s41586-025-09387-z>

# 中国空间站舱外航天服 B 实现“4 年 20 次”延寿目标

据新华社电 神舟二十号乘组日前圆满完成第三次出舱活动。记者 8 月 18 日从中国航天员科研训练中心获悉，在这次任务中，航天员陈冬穿的空间站舱外航天服 B 已累计保障 20 次出舱任务，成为中国空间站首套实现“4 年 20 次”延寿目标的舱外航天服。

据中国航天员科研训练中心张万欣介绍，中国空间站舱外航天服 B 已由 11 名航天员在 8 次载人飞行任务中接力使用，经动态精准评估其状态稳定良好，为航天服工程应用质效提升和空间站常态化出舱活动任务提供了坚实支撑。

舱外航天服是航天员在太空出舱活动过程中的核心装备，保障着航天员在舱外活动中的生命安全和高效作业。中国空间站舱外航天服是第二代“飞天”舱外航天服，按照设计标准，使用寿命为“在轨贮存 3 年，其间出舱使用次数不小于 15 次”。

据介绍，中国空间站舱外航天服是我国首个在轨开展寿命评估并延寿使用的飞行产品。

2024 年初，在轨飞行的舱外航天服接近“3 年 15 次”的寿命设计指标极限。为准确评估舱外航天服的剩余寿命，科研团队制定了科学合理的寿命评估、健康监测方案和在轨检测方法，通过深入挖掘在轨和地面试验数据，开展大量材料级和产品级的验证试验，实现了舱外航天服在轨健康与延寿的动态精准评估，使舱外航天服成为首个在轨开展寿命评估并延寿使用的飞行产品，确保了舱外航天服在轨安全可靠地延寿使用。

7 月 15 日，天舟九号向中国空间站送上新一批补给，其中包括两套第二代“飞天”舱外航天服。目前，这两套第二代“飞天”舱外航天服 D、E 已完成解包检测，状态良好，将在未来出舱任务中逐步投入使用。

与我国第一代“飞天”舱外航天服相比，第二代“飞天”舱外航天服突破了长寿命、高安全性、高作业支持等关键技术，有力保障了中国空间站建造期及运营期的出舱活动任务。(李国利 占康)

# 美法 SWOT 卫星捕捉到堪察加地震海啸惊人细节



本报讯 由美国航天局(NASA)与法国国家空间研究中心(CNES)联合研制的地表水和海洋地形卫星(SWOT)，正助力改进海啸预报模型，使沿海社区受益。

当地时间 7 月 30 日 11 时 25 分，俄罗斯堪察加半岛近海发生 8.8 级地震并引发海啸，SWOT 在地震发生约 70 分钟后记录下了此次海啸的情况。

当地震或水下滑坡等扰动足以让从海底到海面的水体发生位移时，就会产生海啸。这会导致波浪从扰动处向外扩散，像把一颗鹅卵石扔进池塘会产生一系列波纹一样。

NASA 地球科学负责人兼 SWOT 项目科学家 Nadya Vinogradova Shiffer 表示：“SWOT 在海洋上进行广泛的扫描，旨在提供关键、真实的现实数据，揭示新的物理规律，并朝着更精准的早期预警和更安全的未来迈进。”

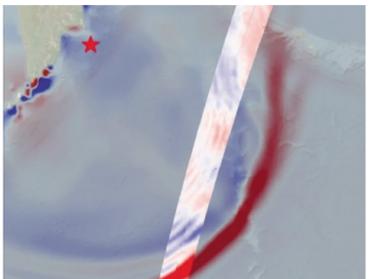
在此次事件中，SWOT 数据从多个维度呈现了堪察加地震引发的海啸前沿情况。测量数据包括超过 1.5 英尺(45 厘米)的波高——在高亮轨迹中以红色显示，以及海啸前沿的形状和传播方向。在视觉图像中从西南向东北延伸的高亮区域展示的 SWOT 数据，与美国国家海洋和大气管理局(NOAA)海啸研究中心制作的海啸预报模型形成了对比。将二者进行对比，有助于预报人员验证模型，确保准确性。

NASA 喷气推进实验室的 Ben Hamlington 表示：“1.5 英尺高的海浪可能看起来不算什么，但在开阔海域只有一两英尺高的海浪，到沿海浅水区也许会变成 30 英尺高的巨浪。”

SWOT 收集的海啸测量数据正帮助 NOAA 海啸研究中心的科学家改进海啸预报模型。该模型运用了一系列基于过往观测及海洋传感器实时观测数据的地震-海啸情景。基于该模型的输出结果，NOAA 会向可能处于海啸路径上的沿海社区发出警报。

SWOT 获取的关于海啸波高、形状和传播方向的数据，是改进这类预报模型的关键。NASA 喷气推进实验室的 Josh Willis 表示：“卫星观测能够帮助研究人员更好地逆向推演海啸的成因，而在本次事件中，观测数据还向我们表明，NOAA 的海啸预报非常精准。”

NOAA 海啸研究中心首席科学家 Vasily Titov 称，该中心利用 SWOT 的海啸数据对模型进行了测试，结果令人振奋。“这表明，SWOT 数据有望显著提高海啸预报的操作性，而这正是 2004 年苏门答腊海啸事件以来人们一直追求的目标。”那次毁灭性地震引发的海啸导致数千人死亡，并给印度尼西亚造成了广泛破坏。(王方)



7 月 30 日，SWOT 捕捉到席卷太平洋的海啸波前沿。图片来源：NASA/JPL-Caltech

# 我国科学家首次探测到月球新一代激光反射镜回波信号

本报讯(记者朱汉斌 通讯员李建平)近日，中山大学天琴测距台站首次探测到月球新一代激光反射镜的回波信号，并确认测距实验成功。这使我国成为继法国、德国和美国之后实现对合作目标进行测量的国家，彰显了我国在月球激光测距方面的实力。

8 月 13 日 0 时 37 分，中山大学天琴测距台站工程师韩西达、吴霖霖带领团队探测到新一代月球后向角反射器 NGLR-1 的激光回波信号，初步获得了 17 个距离测量值，随后因天气原因实验暂停。5 时 39 分，他们再次获得 NGLR-1 的 38 个距离测量值，确认测距实验成功。

20 世纪，美国和苏联先后在月球上放置

了 5 个可供测月的激光反射器阵列。2019 年，天琴计划团队实现了对这 5 个激光反射镜的测量，使我国成为国际上第三个完成该实验的国家。今年 3 月 2 日，美国“蓝色幽灵”月球着陆器将第六块激光反射镜 NGLR-1 投放到月球。

“这些小小的‘镜子’是人类探索宇宙奥秘的重要窗口。每一次成功的激光回波光子，都为我们理解引力、时空、月球内部及地月系统的演化提供了独一无二且至关重要的数据，帮助我们更深入地理解宇宙的基本法则和我们所处的家园。”吴霖霖介绍。

韩西达介绍说：“与上一代角反射器不同，NGLR-1 并非拼接而成的，而是一个孔径

为 10 厘米的实心单体。可以理解为要在茫茫月球上探测到这个 10 厘米大小的物体。随着目标更小，观测难度更大但精度更高，可以消除上一代激光反射镜因月球天平动效应造成的距离展宽，提供更高的测距精度，为月球物理学、天体物理学和宇宙学的长期研究提供支持。”

天琴计划是中国科学院院士罗俊于 2014 年提出的空间引力波探测计划，预期于 2035 年前后在约 10 万公里高的地球轨道上部署 3 颗全同卫星，构成边长约 17 万公里的等边三角形星座，建立空间引力波天文台，进行基础物理、天体物理学和宇宙学的前沿研究。此次成果是天琴计划的一部分。