
铁线蕨：植物自我“革新”的奥秘

作者：writer 来源：爱科学

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/20067.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

铁线蕨：植物自我“革新”的奥秘。



铁线蕨 中国农科院供图

真叶和种子是植物进化史上两个非常关键创新性状（key innovation）。它们的出现使得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》杂志的封面。

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。铁线蕨基因组组装和注释非常出色，这是第四个被测序的蕨类基因组，但却是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5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与种子起源与演化必不可少的一环。

关键创新性状可以被看成是不同的植物类群的‘独门绝技’，帮助植物更好地适应环境。’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》采访时说，著名的独门绝技包括：

出现在石松植物中的维管束，使得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。

植物的另一项武林绝学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，制造更多的营养，值得植物体结构更加复杂、生物量增加。

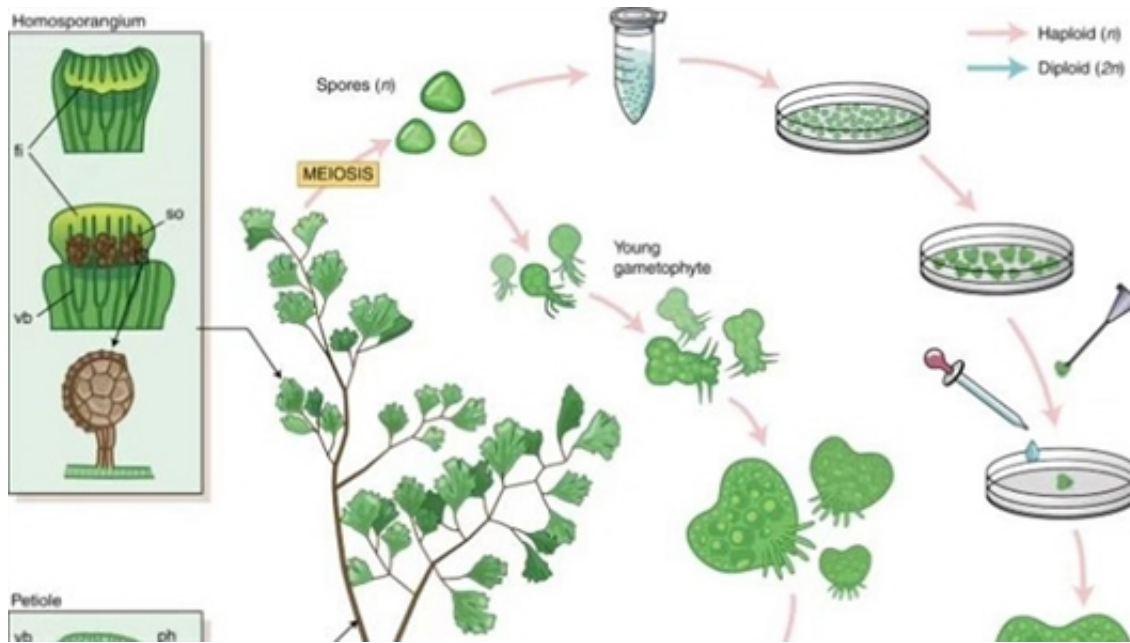
又一个里程碑式的革新性状是种子，在胚乳和种皮的包裹下，幼胚可以在极端环境中休眠，吸收自带的营养物质，也能感知外界环境变化而启动萌发机制。拥有种子的植物迅速占领了大片陆地生境，被子植物更是快速演化出了25万之多的物种，成为当代陆地生境的霸主。

真蕨植物与种子植物在上亿年前，起源于同一祖先。房昱含解释说，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革新性状。

此外，要理解种子这一革新性状的出现，则需要研究没有种子的植物类群。

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，也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11000多种，选择谁作为研究对象更有代表性？研究团队将目光投向了能代表99%的真蕨植物的模式物种——铁线蕨。



铁线蕨的生命周期。中国农科院供图

房昱含解释道，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繁殖方式。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以产生孢子，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，还用于光生物学的研究。因此，铁线蕨更具可操作性，也就更适合作为科研对象，利于实验室的培养和观察。

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一工作的。闫建斌说，他们还发现，蕨类植物的抗虫性比较高。而这种抗虫性又与茉莉素信号通路有关。

于是他们的研究自然而然地聚焦到了这些方面。

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。闫建斌介绍说，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12 Gb，最高可达148 Gb；而异型孢子真蕨的基因组大小要正常得多，平均值是2.43 Gb。

可见同型孢子与异型孢子真蕨的基因组信息互相不具有代表性，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4.83 Gb，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。

揭晓种子和真叶起源的答案

获得了高质量的基因组，如何寻找种子和真叶起源的答案呢？

闫建斌介绍，所有陆生植物均具有胚胎结构，但是能够积累营养物质的结构，却是种子植物所特有的。

1991年，科学家发现了引起轰动的LEC1基因。它的突变体具有完整且功能正常的幼胚，但储存营养物质的结构——子叶干瘪，导致种子因为营养物质不足，无法完成脱水休眠过程，而不能正常萌发。然而，如果在种子发育早期，对突变体外施水分，种子仍旧可以度过脱水休眠过程，正常萌发，并产生与正常植株类似的植株。

LEC1基因首次表明种子的发育与胚胎的发育是两个可以相互独立的过程。LEC1基因赋予了种子最关键的生理性状，LEC1分子和功能进化的研究对于理解种子的起源形成具有重要意义。闫建斌说。

前人已经发现，LEC1基因起源于石松植物之中，远远早于种子的出现。那么，LEC1基因为什么没有导致石松和真蕨植物出现种子？

房昱含介绍到，LEC1基因在成熟阶段调控同化物积累，而其种子植物同源基因亦具有相同的功能，是种子发育的核心调控因子。

他们证实了LEC1调控网络在种子起源前至少300万年已经形成，且具有保守的同化物积累调控功能。在真蕨植物中，该网络在孢子发育时期发挥作用；而在种子植物中，该网络被招募到种子发育过程之中，赋予了种子同化物积累这一重要的生理性状。这些结果为理解种子起源提供了新的见解。

此外，通过对真叶植物各进化节点的祖先基因推断，该团队首次发现真叶植物的最近共同祖先中，BRI1-BRL基因家族在真叶植物中发生过两次复制，从而形成了真叶植物共有的BRL2亚家族，以及种子植物中特异扩张的BRI1BRL1-3亚家族。

房昱含说，他们还验证了这些基因在维管束分布丰富的叶柄和叶片中表达显著。这些结果显示了BRI1-BRL基因家族的扩张很可能与真叶维管系统的起源有关，是推动真叶植物维管系统复杂化进而产生真叶的分子动力。

研究团队还探索了蕨类植物优秀的抗虫机制的分子基础。闫建斌强调，这种抗虫机制与茉莉素信号通路密切相关。茉莉素广泛存在于植物界中，在调控植物生长发育与激活防御反应等方面具有不可或缺的作用。茉莉素的合成过程会先后形成OPDA、JA和JA-Ile等信号分子，在不同的植物类群中存在不同的茉莉素信号分子。

他们的研究表明，铁线蕨中存在两类茉莉素活性分子OPDA和JA-Ile。在对伤处理的响应中，铁线蕨可同时上调这两类茉莉素分子，并且导致大量对虫类有毒的次生代谢产物快速合成。这一双重响应机制很可能是真蕨植物抗虫能力出色的原因之一。闫建斌说。此外，这说明种子植物中的

主要活性分子JA-

Ile在蕨类中开始出现，而在石松类和苔藓类等植物中主要以OPDA作为茉莉素的活性分子。

闫建斌认为，对真蕨植物孢子发育、叶片形成等分子机制的解析，与被子植物的研究领域区别比较大，或将引起一些新的启发，有助于促进现代作物的分子设计育种。（来源：中国科学报李晨）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41477-022-01222-x>

作者：闫建斌等 来源：《自然—植物》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发