

3 亿年兴衰：桫欂生而为“树”的奥秘

■本报记者 李晨

3 亿年前的一天，两只恐龙漫步在丛林中。它们悠闲地取食着高大的树蕨的叶片，心满意足。沧海桑田，恐龙已灭绝，而树蕨顽强存活至今，被称为植物界的“活化石”。

近日，《自然—植物》以封面文章的形式发表了桫欂(一种树蕨)的高质量基因组。该研究填补了树蕨植物基因组的空缺，为植物进化提供了重要依据。

该项研究由中国林业科学研究院(以下简称林科院)林木遗传育种国家重点实验室研究员李全粹团队联合中国农业科学院深圳农业基因组研究所、中国医学科学院药物研究所、美国康奈尔大学等 16 个机构的 32 位科学家完成。

穿越 3 亿年的树蕨如今濒危

蕨类植物有 11500 多种，是仅次于被子植物的第二大维管植物类群。

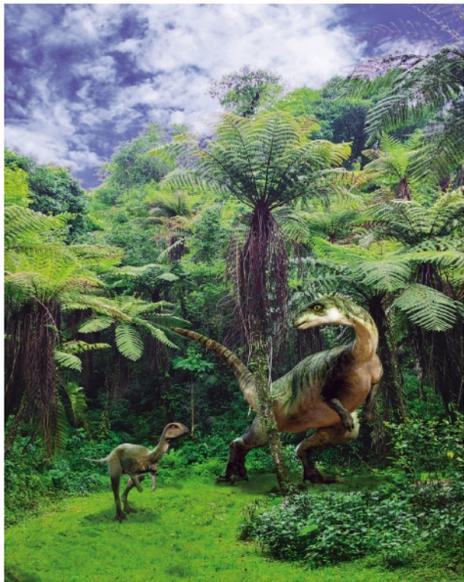
论文共同通讯作者李全粹在接受《中国科学报》采访时说，桫欂是蕨类中一个非常特殊的类群，其中几个科的植物具有树状的茎，被称为树蕨，别名蛇木，是能长成大树的仅存的木本蕨类植物，有着“蕨类植物之王”的美誉。树蕨在中生代侏罗纪恐龙生活的时期达到繁盛，是与恐龙同时代的古老的“活化石”植物，但经历了数亿年的变迁，遭遇了两次群体缩减，如今已成为濒危的国家二级保护植物。

“目前树蕨的种类和数量不算多，有 600 多个种。”李全粹说，树蕨主要分布在热带和亚热带，包括中国、澳大利亚、新西兰，以及东南亚国家等。

研究发现，地球上的植物经历了从水生到陆生，从单细胞到多细胞、从简单到复杂的漫长进化过程。4.7 亿年前，藻类登陆后，逐渐形成苔藓植物、石松类植物、蕨类植物、裸子植物和被子植物，构成了丰富多样的植物类群。

论文共同第一作者、林科院林业研究所在读博士黄雄说：“桫欂是地球上唯一存活至今的树蕨。”3 亿年前的石炭纪和二叠纪时期，地球上曾经有很多木本蕨类，比如芦木、封印木，但它们都已灭绝。

侏罗纪时代最繁盛的动物恐龙也灭绝了，而与恐龙同时代繁盛的桫欂却在恶劣环境中存活至今，令人感到不解。“对这一濒危物种的研究，有助于提高对地球地质事件、生物进化和生态演变的认识，对认知地球植物类群多样性和保护自然生态环境具有重大意义，还将提高地球自然气候变化和生物多样性的研究水平。”李全粹说。



与恐龙同时代的“活化石”树蕨植物。 林科院供图

然而，由于蕨类植物通过孢子繁殖，对水的依赖性较强，所以存活至今的很多蕨类植物比种子植物面临更大的灭绝风险。同时，树蕨生长繁殖对环境的要求很高，它喜温暖潮湿，厌干旱寒冷，孢子繁殖效率低。

李全粹认为，对蕨类植物基因组的破译和发育过程的研究，以及对树蕨等蕨类植物的生长习性(包括孢子繁殖过程)和对外界不良环境响应机制的深入研究，将有效促进桫欂的繁殖与保护。

此前，蕨类植物基因组破译很少，仅有满江红、槐叶萍等几个水蕨植物的基因组被组装报道。“这主要因为蕨类植物的基因组普遍非常大，重复序列多、杂合度高，平均大小为几十个 Gb。目前已知基因组最大的蕨类植物为松叶蕨，其大小为 142Gb。这为基因组测序和组装带来了巨大的挑战，不仅测序费用昂贵，而且组装难度非常大。”论文共同第一作者、中国农业科学院深圳农业基因组研究所在读硕士王生文玲说。

“很多种子植物的基因组被破译，大大促进了人们对种子植物重要性状的形成机制的研究。而人们对低等植物的认识较少，对

植物如何从低等植物进化到高等植物了解得还远远不够。”李全粹说。

揭开树蕨茎干的奥秘

在进化史中，自石松和蕨类植物开始分化的维管系统，大大提高了水分、无机盐和营养物质的运输功能和效率，促进了植物茎干的形成，对茎干直立起到了支撑作用，推动了陆地植物生态系统的发展壮大。

植物的维管组织主要由次生壁加厚的细胞构成，包括被子植物中运输水分的导管和支撑树干的纤维，以及裸子植物中的管胞(兼具运输水分和支撑树干的功能)。

“树蕨具有树状的茎干，对它的研究将有助于理解蕨类植物如何进化形成树的性状。”李全粹说。

该研究基于 PacBio 和 Illumina 测序，组装了桫欂科桫欂 6.2Gb 大小的基因组，并利用 Hi-C 数据挂载到 69 条染色体上。这是目前蕨类植物中第一个染色体水平的基因组。

在高质量基因组的基础上，研究人员共注释了 67831 个高信度的蛋白编码基因，并分析了在木质部特异表达的基因，从分子水平揭示了树蕨中木质素含量高的原因。

黄雄介绍，他们首先对桫欂茎干中组成维管束的木质部、韧皮部和厚壁细胞带分别进行了显微观察、木质素含量测定和结构解析，发现桫欂木质部中绝大部分细胞为管胞，排列紧密，类似骨骼结构，支撑能力大大增强。此外，管胞的细胞壁呈现梯状加厚特点，结构像梯子一样；管胞细胞壁中加厚的次生壁部分沉积大量木质素，增加了细胞壁的机械强度。

“这些次生壁加厚的管胞对树干具有支撑功能，使得桫欂树干挺拔，这也可看作是蕨类植物进化演变到树蕨植物的显著标志。”李全粹说。

同时，木质素还在细胞壁形成“疏水”界面，能促进水分在茎干中沿着管胞通道往上运输。而桫欂木质部中木质素含量较高，说明树蕨管胞的运输和支持功能主要是由木质素含量决定的。

其次，他们分析了在木质部特异表达的

基因。此前研究发现，植物特有的 NAC 转录因子是调控细胞次生壁加厚的关键因子，其中 VND 家族成员调控被子植物导管和裸子植物管胞的发育。

黄雄介绍，他们鉴定到 2 个 VND 基因在木质部中显著上调表达，表明其可能是管胞次生壁加厚的关键调控因子。相对于两种水蕨，桫欂中木质素生物合成途径相关的家族成员明显扩张，在木质部和孢子囊中表达的家族成员较多。这从分子水平上揭示了树蕨中木质素含量高的原因。

探究桫欂药理作用的分子机理

论文共同通讯作者、中国医学科学院教授朱平介绍，树蕨的茎干又称为“龙骨风”，有较好的药用价值。“研究树蕨的生长发育及次生代谢物质的合成，对于其进化规律的认识、药理应用及保护都具有重要意义。”

然而，树蕨生长速度缓慢，100 年才长高几米。多种原因导致桫欂在自然界中存活数量有限。“在这样的情况下，虽然桫欂具有良好的中医药理作用，但一直未将其列入中医药典。”

“对桫欂这一树蕨植物生长习性和繁殖过程的研究和认识，使未来以人工途径辅助和促进其繁殖成为可能，还可以实现繁殖增殖。”李全粹说。

“桫欂中的次生代谢物质非常丰富，我们对纯化得到的 11 个物质进行了结构解析，其中一个新物质具有较好的抗氧化活性。”论文共同第一作者、中国医学科学院药物研究所副研究员冯婷说，该物质由牛奶树碱和白皮杉醇聚合而成。研究鉴定了牛奶树碱和白皮杉醇合成及聚合的候选基因，并最终构建了在桫欂木质部中以茶丙氨酸为起始的合成本质素、黄酮和聚酮类化合物的代谢途径。

“还有大量的次生代谢物质等待鉴定，这些物质具有的药理活性也亟待研究。”朱平说。

“桫欂是唯一已经发现的木本蕨类植物，在植物进化史上，更是现存植物中最早具有树的性状的古生代植物。对桫欂的研究将有助于深入了解地球生命几亿年史诗般的演化历程，运用生物学思维来提高对生命的认知和理解，也将填补地球生命和植物进化过程研究的空白。”李全粹说。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41477-022-01146-6>

发现·进展

中科院大连化学物理研究所

揭示二氧化硫气溶胶微观结构演化机制

本报讯(见习记者孙丹宁)近日,中科院大连化学物理研究所研究员江凌和副研究员张兆军等利用自主研发的、基于大连相干光源的中性团簇红外光谱实验装置,发现了二氧化硫水合团簇的结构演化机制,为理解二氧化硫气溶胶成核机理提供了新思路。相关研究成果发表于《物理化学快报》。

大气环境中的污染分子与水、氧气等发生作用和化学反应时,污染分子会生成各种气溶胶颗粒,并逐渐形成雾霾。从分子形成大气团簇是气溶胶成核的关键步骤,精确测量大气团簇的结构及其动态变化,对于揭示雾霾的形成机制具有指导意义。然而,大气团簇的数量密度低、寿命短、结构复杂,其实验研究非常困难,往往需要采用高灵敏、高时间分辨率以及对结构敏感的谱学等探测方法进行研究。

该研究中,研究人员首先利用自主研发的、基于大连相干光源的中性团簇红外光谱实验装置,测得了质量选择的中性二氧化硫水合团簇的红外光谱。随后,利用自行发展的全势能面动力学理论方法,计算了这些团簇的各种结构和红外光谱,实现了理论与实验的高度吻合。

研究结果表明,二氧化硫与 1 个水分子形成了三明治结构,与 2 个或 3 个水分子形成了二维环状结构,与 4 个水分子形成了三维笼形结构。同时,二氧化硫倾向于在大尺寸水团簇的表面进行结合。由于气溶胶成核以及生长过程中存在不同尺寸的液滴,水合团簇会影响二氧化硫的亲电性质和反应活性位点。

该项成果有助于阐明污染分子是如何一步步成长为团簇的,使人们更好地理解雾霾的形成机理。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1021/acs.jpclett.2c01472>

西安交通大学

研发具有不同孔结构的金属—有机框架材料

本报讯 西安交通大学化学工程与技术学院教授杨庆远课题组开发了系列具有不同孔结构的金属—有机框架(MOF)材料,可用于六氟化硫(SF₆)的捕获。研究表明,具有一维纳米孔道且孔尺寸与 SF₆ 分子动力学直径相近的 MOF 材料,具有良好的 SF₆ 捕获效果。相关成果近日在《德国应用化学》上发表,并被选为热点论文。

SF₆ 作为一种电子气体,具有良好的化学稳定性、耐腐蚀性和电绝缘性,在半导体、电力设备、航空航天、金属加工、医疗等领域应用广泛。但 SF₆ 也是《联合国气候变化框架公约》重点控制的温室气体之一,它的温室效应是二氧化碳的 22800 倍,《京都议定书》将其列为六大温室气体之一。但是,目前各行业中使用的 SF₆ 仅有一小部分被回收利用,大部分被直接排放到空气中。

MOF 材料 Ni(ina),的孔径为 0.6 纳米,和 SF₆ 的分子大小(0.52 纳米)非常匹配,因此该材料表现出优良的 SF₆ 捕获效果,Ni(ina)在 298K 下的 SF₆ 吸附量为 2.39 毫摩尔/克,其 SF₆/N₂ 分离比高达 375。理论模拟计算和单晶结构解析表明,Ni(ina) 框架和 SF₆ 分子之间存在较强的相互作用,可以从低浓度 SF₆-N₂ 混合气中选择性地捕获 SF₆ 分子。

动态突破实验也进一步表明 Ni(ina) 具有良好的 SF₆/N₂ 实际分离效果,为工业上含氟电子气体的捕获提供了新思路。(张行勇 李涛)

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1002/anie.202207066>

中科院软件研究所

识破开源生态“投毒”攻击

本报讯(记者胡珉琦)近日,中科院软件研究所(以下简称软件所)智能软件研究中心团队(以下简称团队)基于开源软件供应链重大基础设施,实现面向全网针对开源生态“投毒”攻击现象的持续监测。团队在开源软件存储库恶意扩展包检测中,发现 Python 官方扩展包仓库被恶意上传了 8 个恶意包及 707 个被成功“投毒”的开源项目。

所谓开源生态“投毒”,指的是攻击者利用软件供应商与最终用户之间的信任关系,在合法软件的开发、传播和升级过程中进行劫持或篡改,从而达到非法目的的攻击。

当前,有超过 99% 的商业软件包含开源软件,一旦具有大规模用户基础的开源软件存在安全漏洞,势必会影响整个软件产业甚至其他重要行业的供应链安全。因此,针对开源软件生产、分发、使用全过程的风险管理尤为重要。

“开源生态下,软件数量非常庞大,同时单个软件的代码规模也很大,这就使得过去基于规则的检测工具面临沉重的运行负担。而且,这些工具的检测目标比较宽泛,难以针对“投毒”攻击进行精准打击。”软件所研究员、开源软件供应链重大基础设施技术负责人吴敬解释。

为此,团队自主研发了一种新型的恶意包分析工具。在 Python 恶意包的检测中,他们发现 Python 官方扩展包仓库被上传了 8 个恶意包,其中包含了恶意代码,存在巨大的安全隐患,比如窃取隐私信息、“种植”持久化后门、远程控制等一系列攻击活动。团队已经把 8 个恶意包上报给官方。

此外,团队还发现了 707 个被“投毒”成功的开源项目,其中 85 个发布在 Python 官方扩展包仓库,622 个项目在公共代码托管平台。目前,团队已将这 707 个开源项目反馈给安全漏洞管理机构,其中 17 个漏洞已获得正式编号。

当代中国马克思主义研究论坛举办

当代中国马克思主义研究论坛举办

当代中国马克思主义研究论坛举办

当代中国马克思主义研究论坛举办

所—人—事

守护绿水碧波的科研攻坚者

——记中科院重庆绿色智能技术研究院副研究员闪钊

■周震

水是生命之源、生态之基。山川秀美,关键在于水。

与水有着不解之缘的闪钊,大胆尝试将人工智能方法与水生态环境研究相结合,把论文写在了包括三峡、滇池、太湖、巢湖、洱海在内的绿水碧波中。

扎根野外解决“真”问题

水华是三峡库区水环境主要问题之一。但不同于太湖、巢湖、滇池等大型淡水湖泊,水华暴发在三峡库区表现出优势种多样、时间演化迅速和空间异质性强等特征。

因此,如何有效融合“原位观测—在线监测—卫星遥感”多源信息实现水华暴发的定性识别与定量反演,成为三峡库区水生态安全监测预警的关键技术问题。

入职中科院重庆绿色智能技术研究院(以下简称重庆研究院)的第一个月,闪钊便出野外,深入三峡库区彭溪河流域,从此他和同事开展了长达数年的定位监测和科研试验研究。

长期的野外实践使闪钊迅速成长为青年科研骨干,甚至组建了自己的团队。他带领团队顶着酷暑严寒,扛着仪器跋山涉水,完成了 40 余次野外科考工作。

在采集地物光谱数据时,仪器要尽可能与水面垂直。许多场景下,闪钊等人只能抬着仪器,在陡峭坡地上来回行走,直到筋疲力尽。即便如此,团队成员从未喊过累,叫过苦。

最终,闪钊团队采集到不同水华优势种的荧光信号与景观光谱数据 300 余组,为科学解析库区水华暴发特征及驱动力打下坚实基础。

通过长期野外调查和大量现场观测,闪钊与团队搭档周博天一起创新性地提出了蓝藻—绿藻分类光谱指数,快速实现了有毒蓝藻水华与无毒绿藻水华的时空分类,并结合数十年卫星资料,总结归纳了三峡库区支流水华动态演变过程。

同时,团队结合已运行的三峡在线监测系统,及时准确掌握汉丰湖夏季蓝藻的暴发强度与分布范围,为当地相关行业部门有效防范风险提供了决策支撑。

从一窍不通到融合应用

随着传感设备的大量运用,传统建模策略无法满足海量、高频的在线监测需求,亟待开发相应算法以提升预警能力。

自 2015 年至今,在重庆研究院院长袁家虎、大数据挖掘及应用中心主任尚明生的指引下,闪钊团队围绕构建机理与数据融合的水生态环境智能分析技术进行了一系列攻关。

大数据驱动的水生态环境智能分析需要融合各学科知识,特别是人工智能领域的先进知识。这对生态领域专业背景的闪钊来说,无疑是个挑战。为了弥补不足,闪钊开启了自学模式。他通过阅读大量专业书籍,完善了计算机理论知识,并且每周都参与组会文献研讨,追踪人工智能领域最新的研究进展。

闪钊团队与美国雷丁大学和中科院水生生物研究所开展合作,尝试在现有模型算法框架中融合生态环境领域知识。

闪钊提出了水环境质量和生态健康智能化评价方法,创建了低代价指标的环境系统风险预测技术,有效提高了水生态环境大数据模拟预测的精度和效率。

从人工智能“门外汉”,到提出人工智能方法与水生态问题融合并取得系列研究成果,他用实力表明了自己的决心。

开发具有自主知识产权的模拟系统

攻克机理与数据融合的水生态环境智能分析技术后,闪钊又投身研究构建模拟我国水生态环境问题的新模型。于是,他又“跨”到了系统平台的研发中。

目前,我国水环境模型市场基本被国



闪钊在三峡水库彭溪河在线监测点位采集蓝藻水华数据。

中科院重庆绿色智能技术研究院供图

际成熟商业软件所垄断。为更好诊断和模拟实际中的水环境问题,闪钊对国际上的主流模型进行了详细分析。厚达上千页的说明文档和使用手册,他逐页阅读、标注。

敢于创新的闪钊,根据实际应用中的具体问题,对传统机理模型进行了二次开发和结构编程,并有集成成了多种人工智能算法,尝试用数据驱动方式部分取代复杂的模拟计算,实现了水文参量时空特征分析、水质指标变化推断、水华暴发预警等业务化功能。

针对水环境模型的“卡脖子”问题,他开发了具有自主知识产权的水生态环境推演评价与计算模拟系统,并成功运用于三峡库区水生态环境监测预警平台和重庆市悦来海绵城市信息平台,成为重庆研究院智慧环保研究的示范成果。

目前,闪钊团队研发的模拟系统正逐步推广应用至三峡水库、云南滇池和异龙湖等多个重要水体中,用于保护绿水碧波。

闪钊始终牢记“科技报国、创新为民”的初心,以科技特派员的身份,多次深入重庆市开州青云村等地,针对农村生态环境保护和饮用水安全问题等进行科技进村帮扶,为打赢脱贫攻坚战贡献了自己的力量。

闪钊认为,人工智能用于解决生态环境问题虽然刚刚起步,但它在治理水体环境问题中有无限可能。他将继续刻苦钻研,为打赢科技攻坚战不遗余力。

(作者单位:中科院重庆绿色智能技术研究院)