

# 动物毒液里发现调控神经兴奋“分子黑客”

■本报记者 刁雯蕙

在自然界中,毒蛇、蝎子、子弹蚁、海芋螺等带有毒素的动物通过毒液精准调控猎物的神经系统,使其麻痹或过度兴奋而丧失行动能力,以此完成捕食。

那么,这些毒液分子是如何调控神经系统的?

深圳医学科学院颜宁、黄健、范潇团队与合作者聚焦大脑中枢神经系统中控制神经元兴奋的“开关”——钠离子通道 Na<sub>1.6</sub>,解析了该通道分别与蝎毒、海芋螺毒素、子弹蚁毒素结合的复合物结构。他们发现,这 3 种来自不同动物的毒液分子如同 3 个“分子黑客”,以完全不同的方式调控钠离子通道。

这项近日发表于《自然》的研究,不仅丰富了钠离子通道调控的多样性,也为未来设计靶向多肽类药物提供了新思路 and 工具。

## 3 种毒素,3 种开关方式

大脑中的神经信号每一次传递,都离不开一个关键的“开关”——电压门控钠离子通道。它如同“电控阀门”,负责启动每一次神经冲动,促成神经电信号的传递。

在已发现的 9 种人源钠离子通道中,Na<sub>1.6</sub>是神经系统中最重要“兴奋型”钠通道之一,广泛分布在中枢和周围神经系统中。它的功能异常与发育性癫痫性脑病等多种神经系统疾病密切相关。

目前,已有不少药物通过抑制钠离子通道,用于治疗癫痫或其他神经兴奋性异常疾病。但科学界对于钠离子通道如何被激活、如何打开,却了解有限。

“此前,科学家发现可以利用毒素

来研究神经信号通道,但大多集中在‘抑制型’毒素或抑制剂上,对于‘激动型’毒素的系统性研究较少。若能厘清‘激动型’毒素调控离子通道的分子机制,既能深化对钠通道结构与功能的认识,也能为多肽类药物开发提供更多分子工具。”论文共同通讯作者、深圳医学科学院特聘研究员黄健说。

通过前期调研,研究团队在自然界中找到 3 个性格迥异的“分子黑客”——蝎毒、海芋螺毒素和子弹蚁毒素。“尽管这 3 类毒素都是‘激动型’毒素,但它们调控钠离子通道的机制完全不同,有的让钠离子通道打开得更快,有的则让通道关闭得更慢,有的则作用于不同的结构区域。”论文第一作者、深圳医学科学院特聘研究员范潇解释。

他们观察发现,蝎毒作用在 Na<sub>1.6</sub>通道的第二个电压感应结构域与第三个孔区胞外环之间,被一条 N-糖链牢牢“搂住”,这条原本灵活的糖链因为固定了毒素而变得稳定。海芋螺毒素呈细长结构,像一条绳索将两个电压感受结构域“拴”在一起。而著名的“疼痛制造者”子弹蚁毒素,其毒素分子则像一个“楔子”,直接嵌入细胞膜的脂质界面,卡在通道的第二个电压感应结构域与第三个孔区胞外环之间。

“Na<sub>1.6</sub>作为调控神经冲动的开关,这 3 种毒素与其结合,就像以 3 种完全不同的方式操控开关,但最终都通过激活钠离子通道促使神经电信号传递。”黄健说,“这就是所谓‘殊途同归’。”

## 历时 4 年,啃下“硬骨头”

这项研究历时 4 年。2022 年,还在

美国普林斯顿大学从事博士后研究的范潇和黄健便围绕 Nav1.6 这个“最难啃的骨头”开展工作。直到两人先后回国加入深圳医学科学院,他们所在的团队才最终收获研究硕果。

在所有的钠离子通道亚型中,Na<sub>1.6</sub>是蛋白样品获取难度最大、性质最不稳定的一类。通常情况下,一个较容易表达的离子通道只需要培养 4 升至 10 升细胞就能获得实验样品,而研究 Na<sub>1.6</sub>通道,团队不得不将培养体系扩大至 50 升甚至 60 升。

“即便如此,我们获得的蛋白样本质量依然较差,需要后续进行大量的细胞培养和纯化,才能得到较为清晰的结构信息。”范潇回忆。更困难的是,钠离子通道的激活状态只有毫秒级,如何在这一瞬间捕捉它的结构变化,一直是国际上的技术难题。

为此,团队花了半年到一年时间攻克这一难关,通过冷冻电镜技术逐渐建立起 Na<sub>1.6</sub>蛋白的纯化和结构解析体系。“有了高质量的分子结构,后续的研究才能不断推进。”范潇说,相关研究已发表于美国《国家科学院院刊》。

随着技术体系逐渐成熟,团队开始围绕 Na<sub>1.6</sub>开展一系列研究,在结构数据分析、多肽类毒素机制研究、神经离子通道活性记录和功能验证等方面,逐渐形成了完整的研究链条。

2025 年 6 月,团队将论文投至《自然》。审稿过程历经 4 轮,耗时近 1 年。而这项研究在正式发表前,就已在深圳医学科学院牵头建设的“浪淘沙”预印本平台上提前公布,并在该领域引发广泛讨论。“科学研究应该鼓励同行之间互相评议和交流。”范潇说。



# 美国发布报告称“极端事件归因”领域发展迅速



本报讯 今年 6 月,席卷欧洲的热浪导致气温超过 40℃,造成 1 万多人死亡。近日,国际科研机构世界天气归因联盟(WWA)的科学家们将此次热浪归咎于全球变暖,称 50 年前这样的热浪“几乎不可能”发生。

据《科学》报道,这一结论来自“极端事件归因”领域的研究,该领域旨在探究全球变暖如何影响特定的热浪、洪水或风暴。美国国家科学院、工程院和医学院(NASEM)近日发布报告称,“极端事件归因”领域在快速发展,但建议研究人员采用多种归因方法、遵循统一标准,如实说明不确定性。

“我们需要确保能够清晰传达任何研究中的不确定性。”美国科罗拉多州立大学的大气科学家、负责起草该报告的 NASEM 委员会主席 James Hurrell 说。

报告指出,过去 10 年归因科学发展迅速,相关研究年发表量自 2012 年以来增加了一倍多。更完善的气候模

型、更长期的观测记录 and 更先进的统计技术,都提升了研究人员探测气候变化的能力。如今,相关研究早已超越学术期刊范畴。WWA 等组织常在灾难发生后几天内发布评估结果,归因研究也被越来越多地引用到气候诉讼中。

由于极端天气是多种因素共同作用的结果,因此能得出置信度最高的归因结果。但飓风和强风暴不仅受变暖影响,还受复杂的大气动力学影响,气候模型仍难以准确捕捉这些动态。

该委员会认为,当研究结合不同方法来验证其结果时,置信度会提高。委员会建议投资开发更高分辨率的气候模型,建立“一个包含推荐最佳实践的通用总体框架”,并敦促开展快速归因研究的团体定期将分析结果提交同行评审。

气候学家、WWA 创始人 Friederike Otto 表示,归因科学的目的并不是断言气候变化是导致极端事件的原因,而是计算它在多大程度上增加了极端事件发生的概率或强度。(文乐乐)



版纳植物园供图

清晨,在西双版纳雨林深处,杨洁背着工具包,脚踩军绿色解放鞋,正蹲在一棵树苗前,熟练地测量、采样。林子里潮湿闷热,蚊虫在耳边嗡嗡盘旋,不留神蚂蚁就会悄无声息地吸附在皮肤上“饱餐”,但她不为所动,起身又走向下一株植被……

在许多人看来,群落生态研究的

野外工作辛苦且枯燥,但杨洁却乐在其中。“在林子里待久了,我会觉得和这些树是共呼吸的,它们在蒸腾、生长,有自己的生命活动。时间长了,我觉得自己也是这个森林的一部分。”

从西双版纳 20 公顷的监测样地,到高黎贡山的腹地,再到泰国的自然保护区,过去 20 余年里,中国科学院西双版纳热带植物园(以下简称版纳植物园)研究员杨洁,把大半天时间留给了森林。她用脚步丈量雨林的每一寸土地,用数据记录植被生长,不仅见证了“一片森林的动态变迁”,也在枝叶间找到了一生热爱的科研事业。今年,杨洁被评为中国科学院三八红旗手。

## 从“物种”到“森林”

杨洁与植物的缘分,始于幼时的耳濡目染。

“小时候,母亲常带我到家附近公园里的山林游玩,教我辨认各类花草树木。”杨洁回忆说,这片山林不大,却陪伴她度过了整个年少时光,也让她对野外探索产生浓厚兴趣。

2001 年,杨洁考入四川师范大学生命科学学院。尽管专业课程涵盖整个生物学领域,但她只对植物学情有独钟。

# 四部门印发规划推进“十五五”林草保护利用

据新华社电 记者 7 月 22 日获悉,国家林草局等四部门近日联合印发《林业草原保护利用“十五五”规划》。规划提出,到 2030 年,“三北”工程三大标志性战役取得决定性胜利,完成自然保护地整合优化,森林、草原、湿地、荒漠生态系统质量和服务功能不断增强,林草多元供给和消费场景更加丰富,林草产业总产值迈上新台阶。

规划部署了科学开展大规模国土绿化行动,全面推进自然保护地体系建设、培育壮大林草产业、协同强化生态安全能力建设、持续深化重点领域改革、全力推动创新驱动与开放

合作等方面任务。

规划明确了系列指标:力争到 2030 年,林草覆盖率达到 56.4%,森林覆盖率达到 25.8%,森林蓄积量达到 224 亿立方米,林草产业总产值达到 14 万亿元。

规划还布局了 9 项林草重大工程。如“三北”六期工程以防沙治沙为主攻方向,完成各类建设和巩固任务 3 亿亩以上;自然保护地体系建设工程加强自然保护地能力建设,有序设立新的国家公园;野生动植物保护工程开展 165 种极度濒危国家重点保护野生动植物抢救性保护和监测预警等。(黄鑫)

# 科学家“拍摄”首张空间分辨的黑洞事件视界尺度谱指数图像

本报讯(记者江庆龄)中国科学院上海天文台研究思路如森、助理研究员赵杉杉团队与合作者,首次获得了黑洞事件视界尺度的空间分辨谱指数分布,并揭示了谱指数随着与黑洞中心距离变化的规律,为黑洞开展了一次高精度的“空间光谱体检”。这是迄今人类获得的首张空间分辨的黑洞事件视界尺度谱指数图像。相关成果近日发表于《天体物理学杂志快报》。

得益于毫米波甚长基线干涉测量(VLBI)技术的发展,人类先后获得了 M87 星系中心和银河系中心超大质量黑洞的视界尺度图像,实现了对黑洞附近极端引力环境的直接探测。但单一频率的图像主要反映黑洞周围辐射的空间结构,只有将不同频率的观测结果结合起来,才能进一步解析辐射背后的物理性质。

基于 2018 年事件视界望远镜(EHT)和全球毫米波 VLBI 阵列获得的观测数据,研究团队对 M87 黑洞开展了双频联合光谱研究。研究人员

# 仿生移植植物破解脊髓损伤治疗难题

本报讯(记者赵宇彤)脊髓损伤因高致死率被称作“不死的癌症”,全球累计患者超 1540 万例,百余年来始终缺乏有效的根治手段。中国工程院院士顾晓松联合天津大学医学部主任明东团队,历经十余年攻关,成功研发出程序可控缓释仿生脊髓移植植物,在动物实验中实现脊髓损伤全方位修复。近日,相关成果发表于《工程(英文)》(Engineering)。

团队在国际上首次整合五大核心功能模块,构建多维一体化移植物系统,实现损伤全周期时序化精准调控,突破单一疗法局限。该移植植物以丝素蛋白-胶原复合仿生支架为基底,内部嵌入负载神经 A 的微粒流控载药微球,长效搭载 NGF、NT-3 两种神经营养因子,外层包覆人脐带间充质干细胞胞细胞基质,并吸附干细胞来源外泌体,各组分按损伤病理阶段有序释放起效。

在动物实验中,研究人员构建重度脊髓半缺损小鼠模型开展对照试验,展现出突破性修复效果。连续 12 周观测结果显示,植入移植植物的小鼠运动、感觉功能显著恢复,九成实验

小鼠可实现后肢承重、自主行走,步态协调性大幅提升;同时成功逆转后肢肌肉萎缩,通过神经追踪技术证实,大脑至膀胱的完整神经通路重新建立,小鼠恢复自主排尿功能,解决了脊髓损伤最棘手的并发症之一。

据顾晓松介绍,该仿生移植植物实现三大核心创新:一次植入即可覆盖完整修复周期,无需多次给药;解决活性因子短期突释难题,有效治疗浓度稳定维持 12 周;跳出传统支架“单纯搭桥”思路,主动调控局部微环境,从根源上扫清神经再生障碍。

目前,团队已启动大动物验证实验,并同步开展三类植入式医疗器械安全性评价,推进成果临床转化工作,预计 2 至 3 年内进入人体临床试验阶段。顾晓松表示,该模块化仿生修复平台具备极强拓展性,更换负载活性因子后,可应用于脑、周围神经、骨骼、血管等多类受损组织修复,具有广阔产业化前景,为全球截瘫患者带来重新站立希望。

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1016/j.eng.2026.06.012>

# 扎根边疆十余载,她在森林深处找到一生热爱

■本报记者 杜珊珊

野外工作辛苦且枯燥,但杨洁却乐在其中。“在林子里待久了,我会觉得和这些树是共呼吸的,它们在蒸腾、生长,有自己的生命活动。时间长了,我觉得自己也是这个森林的一部分。”

从西双版纳 20 公顷的监测样地,到高黎贡山的腹地,再到泰国的自然保护区,过去 20 余年里,中国科学院西双版纳热带植物园(以下简称版纳植物园)研究员杨洁,把大半天时间留给了森林。她用脚步丈量雨林的每一寸土地,用数据记录植被生长,不仅见证了“一片森林的动态变迁”,也在枝叶间找到了一生热爱的科研事业。今年,杨洁被评为中国科学院三八红旗手。

## 从“物种”到“森林”

杨洁与植物的缘分,始于幼时的耳濡目染。

“小时候,母亲常带我到家附近公园里的山林游玩,教我辨认各类花草树木。”杨洁回忆说,这片山林不大,却陪伴她度过了整个年少时光,也让她对野外探索产生浓厚兴趣。

2001 年,杨洁考入四川师范大学生命科学学院。尽管专业课程涵盖整个生物学领域,但她只对植物学情有独钟。

为争取更多学习机会,自大一开始,杨洁就主动申请到植物学实验室帮忙;每年暑假,她还会前往青城山开展野外实习,实地认识植物、采集标本。

2005 年,杨洁以专业第一的优异成绩考入中国科学院昆明植物研究所,攻读植物分类学。硕士期间,她深耕滇东南边境植物区系研究,在野外开展大量实地调查,完成了一项重要的野外任务——黄连山植物多样性调查。

黄连山位于中国、越南、老挝三国交界处,是典型的热带雨林区域,也是国家级自然保护区。彼时,由于保护区需重新勘界并修建水库,下游部分森林将被砍伐,植物调查必须在这片区域淹没前完成,并摸清当地的植物种类和珍稀濒危物种情况。杨洁的核心任务就是在被淹前进入该区域采集标本、记录植物多样性。

这场与时间赛跑的野外攻坚,条件异常艰苦。山里没有地方居住,杨洁每天只能在山坡上搭帐篷过夜,用木头和塑料布搭起简陋屋檐遮风挡雨;烧火做饭更是难事,肉类因无法保存而生蛆,只能硬着头皮泡水后再炒着吃;交通不便、信号闭塞,她每周要徒步半小时到山顶的瞭望塔,才能和家人打上一通电话。

尽管生存条件恶劣,但杨洁从不觉得煎熬。“工人砍伐树木时,我就跟在他们身后采标本、做记录。那些几十米高的大树,平时很难采集到树冠上的植物,一旦被砍倒,附生植物就完整地暴露出来。这对植物分类的人来说,是难得的机会。”杨洁说。

半年时间里,她不仅完成了导师布置的任务,还自主设计课题,对树木附生维管植物多样性进行了系统研究。这项工作成就了她的硕士毕业论文。

与此同时,目睹生长百万年的珍稀濒危植物被砍伐,杨洁也深受触动。“只是单纯地辨别、记录物种,我能摸清多样性,却无法守护物种本身。如果森林消失了,物种也就无从谈起。相比只研究一个物种,理解并保护整个森林生态系统更有意义。”杨洁告诉《中国科学报》。正是这段经历,让她萌生了从植物分类学转向生态学研究的想法。(下转第 2 版)

