

他们破解森林多样性纬度格局之谜

■本报记者 朱汉斌 通讯员 朱嘉豪

为何赤道附近森林树种种类繁多,北方森林树种却相对单一?这一困扰科学家两百余年的谜题,如今被中山大学生态学院教授储诚进团队破解。

他们通过覆盖全球32个森林大样地,涉及300多万棵树的大规模“数据侦探行动”,找到了答案——森林中存在一套“反垄断”机制,其核心藏在树木间的复杂关系中。

近日,相关研究成果在线发表于《自然》。储诚进对《中国科学报》表示,团队首次在全球尺度上验证了森林群落中高阶互作的普遍性,发现高阶互作强度随纬度升高而减弱,揭示了其在塑造生物多样性纬度格局中的关键作用,为从生物互作角度理解物种多样性纬度梯度格局开辟了新路径。

该研究不仅刷新了人们对森林生态系统的认知,也为保护生物多样性提供了新思路。



储诚进(前排中)等人在广东车八岭国家级自然保护区样地。受访者供图

一个两百年的老问题

从太空俯瞰地球,一个景象映入眼帘:从赤道向两极,地表颜色由浓绿逐渐变淡。这不仅是植被覆盖度的变化,更代表了物种丰富度的大幅衰减。在热带雨林中,一块足球场大小的土地上可能生长着数百种树木;而到了寒温带针叶林,几十公里范围内往往只有云杉、冷杉、落叶松寥寥几个树种。

这一现象早在1807年便由德国博物学家亚历山大·冯·洪堡作了系统描述,后来被学界称为“物种多样性的纬度梯度格局”。两个多世纪以来,科学家先后提出了100多种理论来解释这一现象,有的归因于热带地区气候稳定,有的认为与历史冰期有关,有的强调太阳辐射和生产率差异,还有的从物种形成与灭绝速率角度进行了探讨。

在众多解释中,“同种负密度依赖”机制逐渐获得认可。其核心逻辑并不复杂:同种树木之间不喜欢近距离聚集。如果某棵树周围都是同类,它们会激烈争夺阳光、水分和土壤养分;同时,同种个体聚集还会使专门攻击该树种的病虫害更容易传播。最终结果是,当同种个体过多时,树

木生长就会变差,甚至升高死亡风险。这种“自我克制”机制,天然遏制了单一树种独霸森林,为其他物种留出生存空间,从而维护了群落多样性。

这一解释看似完美,然而当科学家试图搞清“同种负密度依赖是否随纬度升高而减弱”,以此解释低纬度地区多样性更高时,却得出了相互矛盾的结论。问题究竟出在哪里?

储诚进团队的最新研究给出了一种可能的答案:过去的研究把复杂的森林“想简单了”。

从“二人世界”到“多人游戏”

以往关于同种负密度依赖的研究,主要聚焦于目标树木与周围单株邻树之间的两两相互作用,如同只研究两个人之间是相互帮助还是彼此伤害。但在真实森林中,树木之间的“社交网络”要复杂得多。

“传统研究范式有较大局限性,它将复杂的生态系统降维到两两相互作用,对第三种甚至更多物种的影响考虑不足。”储诚进说,“高阶相互作用(HOIs)指两个物种之间的相互影响,会因第三种或更多物种的存在

而改变。我们的研究将目标树木附近第三棵甚至更多树木的相互影响考虑进来。”

设想一个场景:目标树A附近有一棵同种树B和一棵异种树C。传统研究只会分别考虑“A与B”和“A与C”的关系。但实际上,B和C的存在会相互影响。例如,B可能释放化学物质抑制C的生长,C可能吸引某种害虫间接影响B的健康,而B和C的“互动”又会改变它们各自对A的影响。

“2018年,一位澳大利亚学者来中山大学作报告,分享了一年生草本植物的高阶互作现象,这极大启发了我们是否可以以研究拓展到森林群落。”论文第一作者,中山大学生态学院副教授李远智回忆说。

然而,将高阶互作推广到森林群落,首要难题是如何科学地量化。一年生草本植物生活史短,个体大小和空间距离变异小,量化高阶互作时可以忽略。但在森林群落中,树木大小和间距变异较大,考虑的因素要复杂得多。

储诚进团队意识到,过去只关注成对互作,相当于只看到了森林社交图谱中的单线联系,却忽略了多线条交织后产生的新效果,而这恰恰是破解多样性纬度谜题的关键。

转机出现在2021年。团队在《国家科学评论》发表方法论论文,首次提出同时考虑树木个体大小和空间距离的量化框架。他们建立了两套数学模型:一套仅包含成对互作,另一套在此基础上加入高阶互作项,然后将模型预测结果与真实森林样地数据比对,为后续全球研究奠定了基础。

一场跨越全球的“森林大普查”

“概念和方法都已齐备,为了让研究结论更扎实,我们开始设法获取全球森林样地的高质量重复观测数据。”李远智说。

研究团队历时8年,通过中国森林生物多样性监测网络(CForBio)和全球森林动态监测网络的数据,获取了全球32个大型森林动态监测样地的数据。这些样地遍布十多个国家和地区,从热带的巴拿马、马来西亚到温带的美国、德国,再到寒温带加拿大,基本覆盖了地球上最主要的森林类型。

每个样地通常不小于20公顷——约

28个标准足球场大小。研究人员对样地内所有胸径≥1厘米的木本植物进行了精确定位、物种鉴定、胸径测量并挂牌编号。每5年左右复查一次,记录每棵树的生长、死亡和新萌发个体。

论文共同第一作者,中山大学生态学院特聘副研究员肖俊丽表示:“在数据分析方面,我们尝试过很多不同思路,发现不同方法得到的结果一致。最终发表时选用了相对简单、学界更容易理解的方法。”

此次研究最终整合了覆盖全球32个森林大样地,超过300万棵树、分属5000多个树种的海量数据。“这是迄今对全球树木高阶互作效应所做的最大规模研究。”储诚进说,该研究共有70位作者,50个科研团队参与。

重新认识身边的森林

研究中有两个中国森林样地格外引人注目,分别位于广东车八岭国家级自然保护区(20公顷)和广东封开黑石顶省级自然保护区(50公顷)。这两个样地由中山大学建设管理,是中国森林监测网络快速发展的缩影。

“过去都是国外学者邀请我们参与研究,现在是中国科学家主导问题设计、方法创新和全球数据统筹。”储诚进感慨道。目前,CForBio已包含全国31个样地,成为全球森林研究的重要力量。

这项研究也革新了科研范式。“过去,我们将整体‘切块’分析,这个切割过程会遗失很多重要信息。”在储诚进看来,随着技术和理论工具的发展,科研范式正在转向系统思维。这项研究正是系统思维的一次成功实践,揭示了整片森林的复杂关系网。

与此同时,这一发现对生态保护意义重大。传统保护策略常聚焦于旗舰物种,如大熊猫、东北虎等,但新研究表明,保护生物多样性需要维护整个“社交网络”。“通过识别促进稀有物种生长的关键互作,可以优化树木种植组合,使保护工作更加高效。”储诚进说。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1038/s41586-026-10434-6>

动态

中国工程院院士王军成:我国海洋观测正加快走向智能化

本报(记者廖洋 通讯员夏雪)近日,第五届中国海洋学论坛在山东济南举行。论坛上,中国工程院院士、国家海洋监测设备工程技术研究中心主任王军成表示,我国海洋观测正加快向智能化转变。

王军成指出,我国现有海上观测装备,尤其是浮标、潜标等,仍以自动化观测为主,正处于向智能化观测逐步过渡的阶段。

“自动化观测并不等同于智能化观测。”王军成说,自动化观测主要是通过设备自动采集海洋环境要素数据,并将这些数据提供给海洋预报、防灾减灾、生态保护和安全生产等相关业务使用。

而海洋智能化观测是以物联网、人工智能、大数据等技术为支撑,具有精准感知、协同组网、智能预报、主动应对等特征。要真正实现智能化观测,需要解决一系列关键技术问题,包括传感器智能化、数据采集智能化、现场数据处理和多元信息融合等。

百余家单位联合倡议 共建千星规模“太空云”生态

本报(记者高雅丽)5月9日,第二届空天信息技术大会在浙江桐乡开幕。开幕式上,中国科学院空天信息创新研究院联合中科院院所、航天企业、高校等百余家单位,牵头发布《共建“太空云”生态倡议书》,倡议全国航天领域广大业界同仁,携手共建千星规模“太空云”生态,合力打造世界领先的天基信息服务系统,大幅提升天基资源智能化、体系化综合应用效能。

“太空云”生态建设,是指以“感知、通信、计算、智能”一体化技术体系为基础,汇聚科研单位、政府、高校、企业等多方资源,通过制定统一标准规范、推动卫星资源互联互通,将原本分散的遥感、通信、算力等各类天基资源有机整合,构建千星规模、开放兼容的天基信息服务系统,实现从“功能单星”向“智能星云”的产业新生态跨越式发展,为用户提供“端到端”的天基信息应用服务。

“太空云”通过多类卫星的在轨协同,改变了传统卫星“地面集中控制、单星在轨观测、数据回传处理”的应用模式,大幅提升了天基信息系统的时效性和可用性。例如,在应急减灾领域,“太空云”可大幅提升天基信息响应时效,为应急决策争取宝贵时间;“太空云”还可赋能低空经济、6G应用等新兴产业,构建天空地一体化信息服务平台,提供全天候、近实时的智能信息服务。

中国科学院院士吴一戎表示:“‘太空云’生态建设是一项系统性、长期性、开放性的事业,必须广泛汇聚地方政府、行业用户、高等院校、科研院所、商业航天企业、产业基金等多方资源,同心协力,携手共建,联合制定‘太空云’相关标准,共同培育和形成我国可持续发展的‘太空云’产业格局。”

全球首款大型混合动力载客电动垂直起降飞行器首飞成功

本报(记者陈彬)近日,清华大学航空发动机研究院(以下简称清华航发院)深度参与的全球首款大型混合动力倾转旋翼载客电动垂直起降飞行器(eVTOL)——DF3000“游龙”3吨级全尺寸工程样机实现混动模式首飞。

据介绍,此次首飞的DF3000“游龙”飞行器,起飞重量达3吨,采用“分布式电动推进+串联式增程发电”混合动力架构。该飞行器全面集成清华航发院飞推综合控制、能源管理算法等核心技术,有效突破传统倾转旋翼飞机研发难、操控复杂及纯电eVTOL续航短、载

重多的多重瓶颈,在保留垂直起降灵活性的同时,大幅提升续航与载荷能力,适配多场景低空作业需求。

此次合作中,清华航发院团队针对性研发的动力优化、“飞发控”智能算法等技术,为飞行器提供了强劲动力与精准控制能力,实现科研成果从实验室到产业一线的落地转化。

首飞期间,样机圆满完成悬停及各类机动试飞,各项参数表现优异。

►DF3000“游龙”首飞现场。清华大学供图



发现·进展



研究团队供图

华东理工大学等 破解“稻鱼共生”科学奥秘

效控制病虫害,为生态农业转型和保障粮食安全开辟了科学路径。相关研究成果近日以封面文章的形式发表于《当代生物学》。

早在数千年前,我们的祖先就在同一块稻田里种养鱼。作为全球重要农业文化遗产,“稻鱼共生”模式中生物多样性的作用,此前尚未得到系统验证。

研究团队整合了全球18个国家的试验数据,并在中国东部开展了长期间定位与行为学试验,发现与水稻单作相比,稻鱼共生使水稻产量平均提升了12.5%,而且不同鱼种带来的增产效果存在明显差异。此外,稻田里的无脊椎捕食性、寄生性天敌数量增加99.3%;害虫减少24.1%,病害减少38.8%,杂草减少45.7%。而就不同气候带、水稻类型和试验类型而言,温

带地区的控害与增产效果优于热带;非有机稻田效果优于有机稻田;小区试验效果优于盆栽试验。

机制研究表明,在水稻与病虫害的两营养级关系中,稻鱼共生通过直接抑制有害生物增产;而在水稻、害虫、天敌这三营养级关系中,稻鱼共生通过增加天敌数量抑制害虫,进而实现间接增产。这种自上而下的控制作用,在有机与非有机系统、温带与热带地区均持续存在,形成了一条清晰的生态链条,即稻鱼共生促进天敌种群,天敌抑制害虫,最终促进水稻生产力。

团队进一步开展了连续4年野外田间试验。结果证实,与水稻单作区相比,稻鱼共生区内的稻飞虱、螟虫、卷叶螟等主要害虫数量明显下降,而捕食性蜘蛛的数

量则更高。与此同时,养鱼后水稻的千粒重和产量同步提升。路径分析同样确认,稻鱼共生通过增加天敌数量来抑制害虫,进而实现间接增产效应。

盆栽行为学试验结果则显示,鲫鱼和红鲤鱼等鱼类偏好捕食褐飞虱等害虫,不捕食捕食性蜘蛛。这表明鱼类在稻田中扮演了“精准调控者”的角色,既直接削减了害虫,又保护并强化了田间天然“控害军团”,从而建立了一套高效的协同控害网络。

万峰表示,该成果为全球应对粮食安全、农药使用、农业面源污染、生物多样性丧失等多重挑战,提供了一套兼具生态效益和生产效益、可推广的方案。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2026.03.046>

中国科学院大连化学物理研究所

开发出海绵状金属-有机框架复合膜

本报(记者孙丹宁)中国科学院大连化学物理研究所研究员杨维维、班宇杰等,在超薄聚合物膜表面组装出海绵状金属-有机框架结构,实现了氢气与多种轻烃的分离,为炼厂尾气中氢资源回收与轻烃减排提供了新策略。相关成果近日发表于《先进功能材料》。

石化工业排放气中常含有副产氢与

多种轻烃(C₂-C₄),其高效分离兼具经济与环保双重意义。传统聚合物膜的渗透性与选择性之间存在制约关系。例如,交联型硅橡胶膜自由体积较大,气体渗透性较高,但对氢气/轻烃的分离选择性有限。

为实现膜分离性能的提升,研究人员首先通过配位化学作用在金属-有机框架ZIF-8纳米粒子表面接合硅

氧烷的基团,使其具备与硅橡胶膜耦合的能力。随后,科研人员将纳米粒子旋涂于未完全固化的活性超薄聚硅氧烷膜表面,利用涂覆过程中的径向离心力与ZIF-8聚合物之间的法向化学钉扎力协同作用,在聚合物膜表面构筑出具有海绵网络结构的ZIF-8功能层。该结构类似分子“迷宫”,轻烃在其中的反复

吸-脱附过程延迟了跨膜传输,提升了氢气/轻烃分离选择性。

该膜具有良好的运行稳定性,在对模拟工业尾气的分离中,可将10%的氢气富集到83%,同时将C₂-C₄轻烃排放降低78%。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1002/adfm.202529931>

全国首个运动风险评估中心在广东成立

本报(记者朱汉斌 通讯员蒙彦伶)5月8日,全国首个依托高水平医院建设的运动风险评估中心——广东省第二人民医院运动风险评估中心在广州成立。该中心聚焦心血管风险人群的运动安全评估与心脏风险评估,制定个体化运动方案,旨在为群众提供安全、个性化、科学的运动健康医疗服务,推动医医融合与运动健康管理迈入新阶段。

广东省第二人民医院有关负责人表示,中心构建起“筛查-评估-个性化运动处方-全周期健康管理”的一站式服务模式,约1小时即可完成评估与指导。

该中心打造了集风险评估、精准评估、运动处方、转诊干预、随访管理于一体的全国领先运动安全保障平台,从源头降低运动相关急性心血管事件(如心肌梗死、恶性心律失常、心源性猝死等)的风险,有望早期发现疾

病潜在进展并及时干预,实现安全运动、科学健身、主动健康。

“运动是促进健康和预防慢病的重要生活方式及干预手段,但对于已确诊或存在心脏隐患的人群,不当运动可能诱发严重心血管事件。”该中心负责人、广东省第二人民医院心功能室副主任医师黄静和表示,中心为不同人群精准划定“运动安全红线”,提供个性化运动方案,让健康人放心运动、高危人群安全运动、慢病患者科学运动。

黄静和强调,以下人群尤其有必要进行专业运动风险评估:运动中或出现不适者;长期熬夜、高血压及初练运动者;高血压、糖尿病、高血脂、肥胖等高危人群及血管病患者;有先天性或遗传性心脏家族病史者;马拉松、竞技体育等高强度运动爱好者。通过专业评估,这些人群可科学规避风险,安全参与运动。

第五届 Light 中意光子学论坛在意大利举办

本报(记者陈欢欢)近日,第五届Light中意光子学论坛在意大利马拉泰亚举行。本次论坛汇集了来自中国、意大利、德国、瑞士、美国、奥地利、波兰、克罗地亚等国家的近百位专家学者,展开了为期5天的学术研讨与技术交流。

论坛由中国科学院长春光学精密机械与物理研究所Light学术出版中心主办。论坛聚焦非线性与超快光子学、医学光子学、天文与动态成像光学、光学成像与人工智能集成、量子光学与通信五大前沿方向,举办近百场高水平学术报告,涉及从基础物理突破到产业应用落地的全链条创新成果。

论坛期间还举办了清华大学光学与光子学人才网络交流会,为光子学领域的人才培养与国际合作搭建了坚实桥梁;并特设激光科学先驱Orazio Svelto纪念专场,邀请多位与Svelto长期共事的意大利科学家参与。Svelto是意大利激光物理学先驱,在超快



Light期刊执行主编白雨虹(左)为新一届编委Giulio Cerullo颁发聘书。主办方供图

激光技术与二极管泵浦固态激光器领域作出重要贡献,特别是发明了用于产生阿秒脉冲的空心光纤压缩机,其专著Principles of Lasers被多国用作研究生教材。

论坛期间,Light系列期刊进一步吸纳多位国际顶尖学者加入编委团队。如意大利米兰理工大学教授Giulio Cerullo受聘为Light: Science & Applications编委。与此同时,中意双方在联合编委、人才互访、平台共建等方面达成了多项实质性合作意向。