



扫二维码 看科学报



扫二维码 看科学网

主办：中国科学院 中国工程院 国家自然科学基金委员会 中国科学技术协会

总第 8803 期 2025 年 7 月 30 日 星期三 今日 4 版

新浪微博 <http://weibo.com/kexuebao>

科学网 www.sciencenet.cn

“数字水稻”初长成

中国科学家绘制全球首个水稻单细胞多组学图谱

■本报记者 李晨

“细胞”一词的英文原意是“小室”。1665年，罗伯特·虎克首次在显微镜下看到了后来被命名为“细胞”的生物结构。360年来，科学家对作为生物体基本结构和功能单位的细胞了解得越来越全面，可以说细胞几乎是所有生命过程发生的重要场所。

细胞里究竟发生着什么？以分子形式保存的遗传信息如何通过细胞表达，表现为我们肉眼可见的表型特征？

近日，中国农业科学院生物技术研究所研究员谷晓峰联合国内外团队，以水稻为研究对象，绘制了全球首个覆盖水稻全生命周期的单细胞多组学图谱，解析了不同类型细胞的功能及对复杂性状的调控作用，开发了单细胞水平的基因扰动模拟表型变化、基因功能预测等算法模型，预测并挖掘出细胞类型特异的调控水稻性状的基因，为水稻设计育种提供了细胞水平特异候选靶点。

谷晓峰告诉《中国科学报》，数字化是作物智能设计育种的基础。当把水稻所有的调控网络都数字化，就构建了一个“数字水稻”雏形。

相关研究成果在《自然》杂志发表，论文评审人指出，这些数据及多项分析质量较高，将成为水稻基因组学领域的宝贵资源。

给水稻细胞做“人口普查”

水稻是全球最重要的粮食作物，其根、茎、叶、种子等器官由不同功能的细胞类型构成，这些细胞类型对水稻发育、品质与抗性等有独特的作用，但目前科学家对细胞类型的鉴定及功能了解较少。

“水稻的功能基因组研究在作物中领先，这是我们选择水稻做智能设计育种的一个主要原因。但水稻单细胞水平的数据不足限制了对精准调控的研究。”论文通讯作者谷晓峰说，传统方法无法解析基因在不同细胞类型中的特异性调控，而单细胞多组学技术让水稻细胞层面的“精准解剖”成为了可能。

“过去没有这项技术，只能把所有的细胞类型都混在一起测序，寻找功能基因，比如怎么保证产量，怎么从一个细胞慢慢发育成肉眼看到的穗或者种子。”谷晓峰说，该团队从水稻的根、茎、叶、穗、种子等八大器官中分离出11万多个单细胞，首次同步捕获了每个细胞的“基因表达档案”（转录组）和“DNA开关”

状态”（染色质可及性），并通过多维分析和原位验证，最终鉴定出54种功能各异的细胞类型，这相当于给水稻做了一次史无前例的“细胞人口普查”。

谷晓峰团队花了近4年时间完成这项工作。技术实施面临的首要挑战是高质量细胞核分离，不同器官需要定制化的解离方案。

最终，该团队获得11.3万个高质量单细胞，每个细胞平均检测到1500多个基因和6.3万个开放染色质区域，这是运用双组学技术同步捕获同一细胞信息获得的成果。54种细胞类型覆盖了根、茎、叶、穗等器官，为理解水稻的发育机制提供了新的认知。

引人注意的是，研究人员首次发现了水稻分生组织中的“过渡态细胞”。传统上认为“基因表达即分化”，论文共同通讯作者、中国农业科学院生物技术研究所研究员梁哲告诉《中国科学报》，他们发现了一种植物细胞分化的潜在模式。

在水稻穗发育中，有一类细胞还没有开始产生RNA，基因也尚未表达，就已经通过改变染色质结构，将关键基因区域打开，使其处于一种“随时待命”的状态，但真正的RNA表达却明显滞后。

这意味着分化过程可能并非单一依赖基因表达的启动，即细胞先通过“染色质激活”准备好转录环境，然后等待内外发育信号触发基因的真正表达。类似的机制在动物干细胞和某些发育系统中也有报道，说明这是一种普遍存在的调控策略。

“这种‘激活→等待→表达’的分步机制让细胞能快速响应变化信号，使发育过程更灵活且精细，为后续基因表达和细胞命运决定奠定基础。这一发现揭示了细胞分化调控的复杂性和层次感，为理解植物发育过程提供了全新的视角。”梁哲说。

实现“细胞尺度”的性状精准改良

“现在的研究可以为水稻智能设计育种进入细胞类型的维度，例如精准调控表皮或维管细胞的基因，提供数据和技术支撑。”谷晓峰说，这次构建的多组学单细胞数据库为智能设计育种奠定了基础。

他们利用CellOracle等智能算法，在单细胞层面“虚拟敲除”关键基因，预测基因缺失后细

胞的命运轨迹会发生什么变化。

论文共同第一作者、中国农业科学院生物技术研究所博士后王祥宇介绍，判断预测准确性的主要标准就是预测结果与实验数据中实际突变体表型是否高度一致。

举例来说，RSR1是水稻中一个负调控淀粉合成基因表达的转录因子。“我们发现该基因在根的皮肤细胞中特异表达。通过虚拟敲除，模拟在根中敲除RSR1基因的变化，即在模型里‘假装’这个基因被关闭，从而预测它在特定细胞类型中对细胞命运轨迹的影响。”

在实际操作中，CellOracle首先结合单细胞表达和染色质状态，推断出每个基因在细胞内可能的调控网络；然后通过模拟关键基因缺失，重建细胞的发育轨迹，并预测细胞如何从一种状态转向另一种状态。

预测结果显示，根皮层细胞会向其他细胞类型转变，尤其是向表皮和维管细胞转变。

而在实验验证中，rsr1突变体的根变得更长，但皮层细胞体积明显变小，维管细胞明显变长，表皮细胞数目减少。

“这个例子直接验证了预测的准确性。”王祥宇说，“虚拟敲除”显著提升了研究效率，预测系统的准确性通过大规模验证已知功能基因得到确认。研究团队选取251个已报道功能的转录因子进行测试，通过与已报道转录因子功能对比，模型对其激活或抑制类型的判断准确率达到92%。

此外，通过对比预测结果和突变体的真实表现，研究者未来能不断优化调控网络模型，形成“预测→验证→修正→再预测”的循环，大幅提高关键基因筛选的效率和准确性。

谷晓峰强调，这种基于单细胞数据的虚拟敲除策略，不需要制作突变体，就能提前锁定最有可能影响目标性状的基因，大大缩短了实验周期又降低了成本，同时能系统性地探索不同基因在特定细胞类型中的功能，为作物精准改良提供有力工具。

从实验室到田间的“智能设计”

然而，单个基因的精准研究不是研究人员的最终目标。为系统揭示水稻不同细胞类型中基因如何协同工作，他们进一步对单细胞水平的大规模转录组数据进行了共表达网络分析。

（下转第2版）

中欧青年科学家交流计划启动

本报讯 今年是中国和欧盟建交50周年。为促进中欧青年科学家交流，“中欧青年科学家交流计划”近日在中国科学院地理科学与资源研究所启动。中国科技部副部长阴和俊、中国政府欧洲事务特别代表卢沙野、中国科学院院长侯建国，瑞士驻华大使白瑞谊、英国驻华公使墨泰等欧洲驻华机构代表出席启动仪式，中国工程院、国家自然科学基金委员会、中国科协等部门代表，以及来自中国和欧洲17个国家的科技界代表及青年科学家等共150余人参加。

启动仪式现场，中国科学院生态环境研究中心主任、国际科学理事会副主席朱永官和法国材料与结构力学教授Zied Mounmi分别代表中欧科技界，结合个人经历介绍了开展国际科技合作的经验，表示将积极支持“中欧青年科学家交流计划”，并建议中欧科技界进一步加强交流与跨学科协作，共同攻克全球性科研难题。

他们的讲述让现场很多青年学者产生共鸣。中国科学院微小卫星创新研究院研究员陈雯、中国科学院化学研究所研究员乔燕分别结合自身参与的中法天文卫星、中英人工细胞应用研究项目，分享了在国际联合研究过程中相互学习、共同成长的合作实践。法国国家科学研究中心强磁场实验室青年研究员Igor VINOGRAD和来自西班牙的中国科学院动物研究所站博士后Santiago Montero-Mendieta分别介绍了在中国开展科学研究的情况，对获得的各项支持和开放共享的合作氛围深表感激，表示非常支持中欧建立持久稳定的科技合作关系，凝聚跨国界科研创新力量，共同面对全球性挑战，攻克高度复杂的现代科技问题。

阴和俊在启动仪式上指出，值此中国同欧盟建交50周年之际，科技部将会同中欧相关机构共同实施“中欧青年科学家交流计划”，为

中欧科技合作共建“信任之桥”“合作之桥”和“友谊之桥”，增进战略互信，释放合作动能，稳固合作根基；期待中欧青年科学家勇担使命，为推动中欧乃至全球科技进步作出表率，共创可持续发展未来。侯建国表示，中国科学院将积极参与并全力支持“中欧青年科学家交流计划”，尽最大努力为全球青年科学家来华科技交流营造更加开放、更加便利的环境，助力中欧青年科技人才成长，共同推动中欧科技创新合作行稳致远，为探索国际科技前沿、推动全球可持续发展贡献智慧与力量。卢沙野也对推动中欧青年科学家交流和加强中欧科技合作提出希望。

启动仪式后，“中欧青年科学家论坛”举行，与会中欧青年科学家聚焦物理、化学、生命科学、信息与管理等领域，分享合作经验并提出合作建议。会后，大家来到中国科学院动物研究所国家动物博物馆、生物物理研究所相关科学研究平台进行参观交流，围绕实验设施建设、研究方法创新和青年人才联合培养等进一步深入研讨，互相交流想法和经验体会。

“中欧青年科学家交流计划”由中国科技部会同中国科学院、中国工程院、国家自然科学基金委员会、中国科协等部门和地方机构共同设立实施，将支持更多欧洲青年科学家来华，与中国高校、科研机构和科技型企业开展交流。近年来，中国科学院持续加强与欧洲顶尖科研机构的双边关系，特别在人员交流方面，自2009年启动国际交流计划以来，已累计资助约2000名来自欧洲的专家学者开展合作交流活动，有力促进中欧在数理、化学、生命科学、地学等多个领域合作。中国科学院还积极探索并相继推出国际访问学生计划、青年国际学术沙龙、国际暑期学校等项目，支持中外青年科学家开展形式多样的交流合作。

（柯讯）



7月27日，“未来”号深远海绿色智能技术试验船顺利抵达江苏连云港集装码头。

“未来”号是国内首艘深远海绿色智能技术试验船，也是连云港、无锡南北联动的重大科学基础设施项目之一，总长110.8米，满载排水量7000吨，最大航速超15节，定员80人，续航力大于10000海里，在单次任务中能够持续航行至少60天而无需外部补给，具备无限航区全球航行能力。这座“移动的海上实验室”将为国产船舶装备提供真实海洋测试平台，加速推动我国船舶工业绿色智能化转型。

图片来源：视觉中国

北方为何连续强降雨？ 大气环流和地形是“推手”

■本报记者 高雅丽

近期，我国天气形势复杂多变，北方地区遭遇连续强降雨。以北京市为例，从7月23日8时至7月29日11时，平均降水量已达210.4毫米，累计持续147小时。本次降水过程中，密云连续出现极端强对流天气，为历史罕见，破坏性极大。

值得注意的是，今年进入汛期以来，雨季进程总体偏早。华北雨季7月5日开始，较常年偏早13天，为1961年以来最早。

那么为何北方会出现极端强降雨天气？

暴雨成因：大气环流与地形共同“作祟”

7月23日8时至28日6时，北京、河北、山西、陕西、甘肃、宁夏、辽宁等地部分地区出现暴雨至大暴雨。其中，北京北部、河北西北部和中西部等地局地出现特大暴雨。中央气象台预计，未来3天，华北中北部、内蒙古东部、东北地区、华东等地部分地区有较强降雨，伴有强对流天气。

中央气象台首席预报员陈涛指出，本轮北方地区强降水过程与大气环流演变紧密相关。近期，西太平洋副热带高压势力偏强且位置偏北，其边缘的暖湿气流向北地区输送大量水汽，为强降水提供了充足的水汽条件。同时，副热带高压压边缘地区大气不稳定性强，导致降水对流性特征突出，局地地区雨强大、持续时间长，进而使局地累计降水量具有极端性。

此外，阴山、太行山和燕山地形对降水有明显的增幅效应，山前地区因降水增幅效应出现较强降水，局地降水量达到了特大暴雨量级。

值得注意的是，第8号台风“竹节草”虽主要影响华东地区，但与北方暴雨也存在间接联系。陈涛介绍，台风活动会改变大气环流格局，

影响西太平洋副热带高压的位置和强度，进而影响暖湿气流向北地区的输送，对北方暴雨的强度和分布产生影响。

记者从北京市气象局获悉，这场降雨“持久战”有四大特点。一是持续时间长。自7月23日以来，本次过程已持续7天。二是强降水主要集中在山区，尤其是北部山区。三是降水分布不均，山区短时雨强大。统计数据显示，最大小时雨强出现在怀柔东峪，为95.3毫米，属于特别极端的情况。四是极端性强，属于极端强对流天气。7月26日午后到夜间，密云、怀柔、延庆3个区都有站点小时降水量超过80毫米，3小时降水量超过180毫米；28日凌晨，密云再次有站点3小时降水量超过180毫米。

北京市气象局表示，极端强对流天气的精准预报目前依然是世界性难题，还需继续加强预报预警能力的持续建设。

降水持续，次生灾害风险高

国家气候中心副主任贾小龙表示，今年入汛以来，雨季进程总体偏早，降水分布“点强面弱、前少后多”。局地强降雨频发，全国共有153个国家气象站日降水量突破当月极值。降水量的时间变化呈现“前少后多”。3月下半月至4月上旬，全国平均降水量11.8毫米，为历史同期最少；4月中旬到5月，长江以南及长江中下游地区降水转为偏多，广西中南部经历“旱涝急转”；7月以来多雨区北抬，华北地区及内蒙古等地降水偏多明显。

陈涛提示，近期强降水与之前降水叠加，部分地区累积效应明显，山洪灾害和地质灾害的易发程度提高，救援人员和公众需关注未来强降雨预报预警情况，提前组织人员撤离。同时，降雨导致的山洪、泥石流等次生灾害具有滞后性，公众务必加强防范。

《科学》撤回 15 年前“砷基生命”论文



本报讯 美国《科学》杂志日前撤回了一篇2010年发表的备受争议的论文。该文称一种特殊的微生物可利用有毒元素砷茁壮成长。

据《自然》报道，在撤稿声明中，《科学》主编Holden Thorp表示，当年之所以没有撤稿，是因为当时这篇论文的作者不存在故意欺诈或不当行为。但此后，《科学》撤回论文的范围扩大了，如果编辑确定一篇论文报告的实验结果不支持

其关键结论，就像这篇论文一样，那么撤回论文就是合理的。

对此，一些科学家感到高兴。曾批评这篇论文的微生物学家Rosie Redfield说：“几乎每个人都认为这篇论文是错误的，撤稿可以防止新人被误导。”

但该论文的作者并不赞同《科学》的做法。论文作者之一美国亚利桑那州立大学的地球化学家Ariel Anbar表示，论文数据没有错误，数据可以有多种解释方式，“不能因为对数据的争议而撤回整篇文章”，按照这个标准，“有一半的文献得撤回”。

除了一位已过世的作者外，“砷基生命”论文的作者联名签署了一封电子邮件，称“我们不

支持这一撤稿”。他们认为，《科学》扩大撤稿范围的行为，已经超越了国际出版伦理委员会(COPE)的指导方针。

学术出版专家、撤稿观察网站联合创始人Ivan Oransky指出，COPE的指导方针指出，如果有证据表明研究结果“不可靠”，不管是重大错误还是不当行为，编辑都可以考虑撤回文章。Oransky表示，这一指导方针从未变过，《科学》现在决定认同这一指导方针。

Oransky说，《科学》这次撤回15年前发表的论文的行为引出了一个有趣的问题——目前已发表的论文中有很多被发现存在问题，其他出版商是否会加入清理这些论文的行列吗？（徐锐）