中国科学报

CHINA SCIENCE DAILY

中国科学院主管　中国科学报社出版　国内统一连续出版物号 CN 11－0084　代号 1－82

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 8834 期　2025 年 9 月 11 日　星期四　今日 4 版

新浪微博 http://weibo.com/kexuebao　科学网 www.sciencenet.cn

12 年“马拉松”，破解 200 年悬案

■本报记者 冯丽妃

7 月的一个清晨，哈尔滨还沉浸在静谧中，宋显伟、孟英和同事已抵达水稻盆栽试验场，俯身仔细查看每棵秧苗的生长状态，判断是否进入孕穗期。这是水稻对低温最敏感的关键阶段，也是他们每年必须精准捕捉的“黄金窗口”。一旦确认，秧苗会被立即移入人工气候室，开启为期 7 天、温差 15±0.5℃的低温冷胁迫处理；时间一到，它们又会被迅速转移回盆栽场继续生长。

这样的工作，他们重复了 12 年。有时极端低温袭来，已进入关键时期的水稻材料一夜报废；有时老鼠半夜啃苗，他们会拿着扫帚赶老鼠。没人知道这项研究能不能成功，会不会有发表的一天，但这群人仍然选择坚持。

前不久，这场持续 12 年的“马拉松长跑”终于迎来终点——他们的研究成果发表于《细胞》。在中国科学院遗传与发育生物学研究所（以下简称遗传发育所）曹晓风院士的带领下，研究员宋显伟与博士后唐善杰、黑龙江省农业科学院耕作与栽培研究所研究员孟英、中国科学院昆明植物研究所副研究员刘晖等合作，为生物学领域一个持续了 200 多年的争论——拉马克学说，在分子层面提供了首个实证，也为作物抗逆改良开辟了新途径。

“这是我们 12 年来发表的唯一一篇论文，每年都在做投资，大家压力也很大。实验能够成功，得益于所有成员的坚持和努力。”曹晓风在接受《中国科学报》采访时说。

曹晓风（左二）、宋显伟（左一）、孟英（右二）和郭振华在查看水稻耐冷性品系结实情况。　受访者供图

一场科学冒险：挑战 200 年悬案

对曹晓风团队和合作者来说，这项科学实验不啻为一场冒险，他们试图为争论了 200 多年的拉马克学说找到分子层面的直接证据。

法国生物学家拉马克在 19 世纪初提出了两个著名的生物进化观点——用进废退和获得性遗传。拉马克设想，生物经常使用的器官会逐渐发达，不使用的则会退化；且生物在后天环境中获得的适应性性状，有可能传递给后代。最广为人知的例子便是长颈鹿，它们为吃到高处的树叶，不断伸长脖子，这一后天锻炼出的长脖子，也能遗传给后代。

然而，拉马克的观点却被认为与达尔文“基因随机突变＋自然选择”的演化论相悖。由于长期缺乏直接的分子证据，拉马克学说逐渐被生物学界边缘化，甚至被不少人视为进化理论史上“美丽的错误”。直到近些年，表观遗传学研究的兴起才让拉马克学说重获关注。

“DNA 序列不变，性状也能改变，这就是表观遗传学的基本内涵。”曹晓风解释道，“在 DNA 的 4 种碱基（G、A、T、C）中，胞嘧啶（C）会发生甲基化修饰，形成甲基胞嘧啶。这种甲基化水平的增加或减少，直接影响基因的表达效率或染色体结构，从而改变生物性状。”

表观遗传学是曹晓风的“老本行”，她从 20 世纪 90 年代就开始相关研究。2012 年，她与西北工业大学教授王文的一次对话，直接催生了上述持续 12 年的实验。当时，在云南涛源镇一场“863”项目启动会上，研究进化基因组学的王文饶有兴致地说，当地水稻超高产的特性或许与获得性遗传有关。曹晓风回应：“这个问题很有趣。但单靠一个案例无法充分证明，如果证实环境能诱导可稳定遗传的适应性变化，将极具价值。”

两人合计后，曹晓风决定开展一场“水稻南种北移”的耐冷性驯化实验：通过多代冷胁迫，从不耐冷水稻中筛选获得耐冷性株系，从而探索其在快速环境变化中的适应与遗传分子机制。

“依靠 DNA 序列变异实现这种适应，往往非常慢。”曹晓风说，“但表观遗传变异的速率比 DNA 序列突变至少快 1 万倍，它不改变基因序列，却能调控性状。”也就是说，若水稻通过表观遗传变异获得耐冷性，并能稳定遗传，就为拉马克学说提供了分子生物学证据。

一年两万个饮料杯里“淘宝”

2013 年，实验正式启动。宋显伟、孟英与遗传发育所技术员郭振华等开始在黑龙江省农业科学院的人工气候温室内进行水稻耐冷性状筛选。

“我们的思路很清晰，在孕穗期对不耐冷的水稻进行冷胁迫驯化，选择每一代耐冷性提高的稻穗，收获、播种、筛选，如此循环往复，直到驯化出稳定的耐冷材料。”宋显伟说。

但实操却是一场极为烦琐的持久战。每年 4 月，团队成员和附近的老百姓将种子播入苗床育苗。30 天后，他们把秧苗一棵棵移栽至饮料杯——每年要种两万杯。7 月是低温驯化的关键期，他们每天清晨下田“摸穗”，标记判定进入孕穗期的植株后，将其送入人工气候室进行冷处理。

“那几年真是愁得睡不着。”孟英回忆，“由于气候室只有 4 间，且有多个实验轮候，水稻到了处理关键时期却无处安置，急得人掉眼泪。”

温度控制更是极为苛刻，冷处理强度不够，筛不出真正耐冷的水稻，而温度过低，则会导致“全军覆没”。“有一年极端低温，所有材料都冻死了，一粒种子都没留下。”曹晓风轻描淡写的一句话背后，藏着团队不得不从头再来的无奈。

不止于此，苗期要防病、防寒，生长期需严格控制杯中的土肥比例和灌水量，冷处理期间每株秧苗进出气候室的时间都要精确记录……“工作量极大，每年曹老师、宋老师、我们团队以及课题组学生齐上阵。”孟英告诉《中国科学报》。

希望出现在 2015 年，那时实验进行到了第三代。宋显伟记得，一次低温处理后，一个稻穗冷处理后代的结实率显著提高。“我们把它的种子播下去，发现所有株的耐冷性都提高了。那一刻我们就知道成功了！它获得可稳定遗传的耐冷性了！”

（下转第 2 版）

我国应对气候变化和“双碳”工作取得显著成效

据新华社电 今年是我国碳达峰碳中和目标提出五周年。9 月 10 日，国务院关于应对气候变化和碳达峰碳中和工作情况的报告提请全国人大常委会会议审议。

生态环境部部长黄润秋受国务院委托作报告时介绍，党的十八大以来，党中央将应对气候变化摆在国家治理更加突出的位置，实施积极应对气候变化国家战略，作出实现碳达峰碳中和的重大战略决策，把“双碳”工作纳入生态文明建设整体布局和经济社会发展全局。

报告显示，我国构建了全球最大、发展最快的可再生能源体系，建成了全球最大最完整的新能源产业链，贡献了全球 1/4 的新增绿色面积。碳强度下降、非化石能源消费占比目标完成情况基本符合 2030 年国家自主贡献（NDC）目标预期进度，风电、太阳能发电总装机容量和森林蓄积量已提前完成 2030 年 NDC 目标。

报告指出，能源和产业转型成效显著。截至 2025 年 6 月底，非化石能源装机占总装机容量比例达 60.9%。“十四五”以来，光伏组件、锂电池产量分别增长 3.7 倍、6.4 倍以上，新能源汽车产销量连续 10 年全球第一。同时，推进产业结构优化升级。

重点领域绿色发展持续推进。2024 年城镇新建绿色建筑面积 16.9 亿平方米，占当年城镇新建建筑面积的 97.9%。构建清洁低碳交通运输体系，2024 年重点行业大宗货物清洁运输比例约 70%，民航绿色转型成效突出。同时，全国碳市场逐步完善，适应气候变化工作深入推进，基础能力稳步夯实，科技创新和政策激励不断强化，中国为全球气候治理作出重要贡献。

“应对气候变化和碳达峰碳中和工作任重道远。”黄润秋表示，我国碳排放强度控制难度大，要用全球历史上最短时间实现碳达峰到碳中和，完成全球最高碳强度降幅，任务十分艰巨。同时，持续推进绿色低碳转型面临挑战，国际气候治理形势复杂严峻。

报告指出，要持续实施积极应对气候变化国家战略，积极稳妥推进碳达峰碳中和，编制 2035 年 NDC 目标并推动落实，形成绿色低碳高质量发展新局面。　（高敬）

今年华北雨季长度和累计雨量均位列历史第一

本报讯（记者高雅丽）9 月 9 日，中国气象局在新闻发布会上发布了主汛期我国天气气候特征。今年主汛期雨季进程总体偏早，暴雨过程多，局地影响大，华北雨季长度和累计雨量均位列历史第一；全国平均气温为 22.3℃，较常年同期偏高 1.1℃，与 2024 年夏季并列为 1961 年以来历史同期最高。

国家气象中心副主任黄卓指出，主汛期全国平均降水量 336.2 毫米，较常年同期 331.7 毫米偏多 1.3%；北京和内蒙古降水量均为 1961 年以来历史同期最多；湖北咸丰、河北易县、贵州织金等 31 个国家气象站日降水量突破历史极值。雨季进程明显偏早，长江中下游 6 月 7 日入梅、6 月 30 日出梅，较常年分别偏早 7 天和 16 天，梅雨量较常年偏少 11.7%。华北雨季 7 月 5 日开始，较常年偏早 13 天，为 1961 年以来最早；雨季持续时长 59 天，较常年偏长 29 天，与 1973 年和 2021 年并列为 1961 年以来历史最长；累计雨量 356.6 毫米，较常年偏多 161.1%，创 1961 年以来新高。华西秋雨于 8 月 25 日开始，较常年（9 月 2 日）偏早 8 天。

全国共出现 20 次区域性暴雨过程，暴雨过程多，降水点强面广，局地极端性强，“七下八上”期间北方汛情灾情重。主汛期共出现两次特强等级的强降雨过程，其中 7 月 23~29 日，华北、内蒙古和东北地区多地日降雨量和累计雨量破纪录。

同时，全国平均气温为历史同期最高、高温日数为次多。山东、河南、山西、陕西、新疆等 5 省（区）平均气温为历史同期最高。高温日数为 13.7 天，较常年同期偏多 5.7 天，为历史同期次多。359 个国家站发生极端高温事件，其中新疆吐鲁番东坎、重庆巫溪等 57 个国家站日最高气温达到或突破历史极值。受持续高温少雨影响，江淮和黄淮部分地区气象干旱阶段性发展。

黄卓指出，今年主汛期台风生成晚、数量多、登陆早，风雨影响大，共有 14 个台风生成，较常年同期 11.1 个偏多，其中有 5 个台风登陆我国，接近常年同期。9 月中下旬，西北太平洋和南海热带对流活动趋于减弱，但仍将有 3~4 个台风或热带低压生成，路径以西行和西北行为主，有可能影响我国华东和华南部海域。

黄卓建议，要防范强降水及连阴雨引发的洪涝、地质灾害；江淮、江南中东部等地多高温或晴热天气，气象干旱将有所发展，防范高温干旱对生产、生活的不利影响。此外还要密切关注台风临近预报预警和风险滚动预评估，防范台风带来的暴雨洪涝、地质灾害、大风和风暴潮灾害。

中国学者发现由单基因导致的红斑狼疮

本报讯（记者崔雪芹 通讯员周炜）浙江大学生命科学研究院、良渚实验室以及东部战区总医院国家肾脏疾病临床医学研究中心等单位的研究人员合作，首次证实人类 PLD4 缺陷可导致系统性红斑狼疮（SLE）并阐明致病机制。该研究不仅拓展了对 SLE 遗传背景的认识，也为未来开展基于基因分型的个体化精准诊疗提供了重要理论依据。相关研究成果 9 月 10 日发表于《自然》。

SLE 是一种常见慢性自身免疫疾病，具有高度异质性，其发病机制复杂且未完全明确。目前科学界已鉴定出 30 余种由单基因突变导致的 SLE 类型，为深入理解发病机制及开发靶向治疗策略提供了重要线索。

通过全外显子组测序，研究团队在 5 例 SLE 肾炎患者中鉴定出 PLD4 基因突变。该突变属于隐性遗传模式，患者的两个 PLD4 等位基因均发生突变，而患者父母仅为突变携带者，并未发病。该研究首次证实了人类 PLD4 基因缺陷与 SLE 发病的直接关联。

研究团队发现，PLD4 缺陷患者的 PLD4 蛋白活性显著降低，就像剪刀“钝”了一样，这一变化介导了过度免疫反应的发生。在这类患者的树突状细胞中，TLR7/TLR9 信号通路及其下游 I 型干扰素的免疫响应明显增强，并伴随多种炎症因子表达水平升高。

为什么仅一个 PLD4 基因突变就能引发机体的长期炎症？为了回答这一问题，研究人员利用小鼠开展实验，发现 PLD4 蛋白下游有两个蛋白 TLR7 和 TLR9 参与了细胞中重要的免疫信号通路——I 型干扰素信号通路。过多的单链核酸对细胞来说是危险因素，它们有可能是外源细菌或者病毒带入的，也可能是从细胞核“漏”出来的。当 TLR7/TLR9 感知到这些没有被降解的单链核酸后，会向信号通路下游的分子传递“警报”，引导细胞产生 I 型干扰素等细胞因子，从而引发一系列强烈免疫反应。

该研究还进一步回答了为什么 PLD4 缺陷的 SLE 患者的炎症往往发生于肾脏。这与 TLR7 和 TLR9 处于重要的免疫信号通路有关。研究显示，PLD4 缺陷的患者和小鼠，都有 I 型干扰素信号通路过度激活的现象。这提示可以使用一种已知的免疫抑制剂实现对症治疗。研究团队用 JAK 抑制剂巴瑞替尼对 PLD4 缺陷小鼠进行干预，发现它可显著缓解缺陷小鼠体重下降、自身抗体产生及组织炎症等症状。此外，巴瑞替尼还在患者来源的炎症细胞中有效抑制了 I 型干扰素通路的过度激活，为携带 PLD4 突变的 SLE 患者提供了潜在的精准治疗策略。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1038/s41586-025-09513-x

9 月 8 日至 11 日，第二十五届中国国际投资贸易洽谈会（以下简称投洽会）在福建厦门举行，超过 120 个国家和地区的代表团参会。

作为我国唯一以投资为主题的国家级重大展会，大会以“携手中国 投资未来”为主题，展览总面积 12 万平方米，举办投资促进活动超百场，正在成为“投资中国”的标志性展会和双向投资促进的重要服务平台。

图为投洽会上展示的四臂具身智能机器人。

中新社记者张斌 / 摄

图片来源：视觉中国

WHO 解除猴痘疫情最高警报

寰球眼

本报讯 非洲猴痘病例数量的持续下降让世界卫生组织（WHO）近日作出决定：猴痘疫情不再构成“国际关注的突发公共卫生事件”。

据《科学》报道，猴痘通常由野生动物，很可能是啮齿类动物传播给人类，但过去的疫情多发生在偏远地区，且能迅速得到控制。后来，猴痘在人际间的传播越发容易，形成了持续传播态势，并已扩散至城市区域。

2024 年夏季，非洲猴痘病例数量激增，WHO 于同年 8 月宣布此次疫情构成“国际关注的突发公共卫生事件”。这是该组织的最高级别警报。除猴痘外，迄今全球只有 4 种疾病获此认定。

不过，过去几个月里，猴痘新增病例数量不断减少。在相关咨询委员会的建议下，WHO 总干事谭德塞于 9 月 5 日宣布，终止针对非洲猴痘疫情的“国际关注的突发公共卫生事件”认定。

谭德塞指出，这是基于刚果（金）以及布隆迪、塞拉利昂、乌干达等其他受影响国家相关病例数和死亡人数持续下降做出的决定，“而且我们对疫情传播动因、重症风险因素也有了更深入的了解，受影响最严重的国家也已形成持续应对能力”。

与之形成对比的是，非洲疾病控制与预防中心（以下简称非洲疾控中心）召集的应急委员会经投票一致认为猴痘疫情仍构成“非洲公共卫生紧急事件”。非洲疾控中心主任卡塞亚于 9 月 4 日宣布了这一决定。在目前猴痘病毒的检测覆盖尚不全面的情况下，非洲今年已记录超 3.2 万例确诊病例，疑似病例更是超过 10 万例。

猴痘会导致患者出现疼痛性水疱，甚至可能造成幼儿和免疫系统受损的成年人死亡。2022 年 7 月，WHO 宣布猴痘疫情构成“国际关注的突发公共卫生事件”，直至 2023 年 5 月才解除这一警报。然而，几个月后，一种罕见的猴痘病毒变种在刚果（金）矿业城镇卡米图加的人群中传播。到 2024 年 8 月，病毒跨越国界，向此前从未出现过猴痘病例的邻国扩散。疫情卷土重来，警报再次拉响。

非洲各国紧急争取并调配猴痘疫苗，但疫苗供应量远低于非洲疾控中心预估的需求。截至目前，非洲 12 个国家已接种约 100 万剂疫苗，另有 200 万剂疫苗已运抵部分国家，但尚未送达需要接种的人群手中。

谭德塞表示：“终止认定并不意味着威胁已消失，也不代表我们会停止应对工作。”

非洲疾控中心指出，与 4 月和 5 月相比，非洲大陆 7 月和 8 月的猴痘病例数量确实下降了 52%，但该机构仍对猴痘持严重关切态度。非洲疾控中心将在 3 个月后评估是否继续维持“非洲公共卫生紧急事件”的认定。　（王方）

拓扑自旋电子学研究揭示全新极化现象

本报讯（记者朱汉斌）华南师范大学教授邓明勋、研究员王瑞强团队与合作者在非磁拓扑 Dirac 半金属材料中发现了一种全新的自旋极化现象——非平衡隐藏自旋极化。相关研究成果近日在线发表于《物理评论快报》。

隐藏自旋极化是指在中心对称材料中由局域对称性破缺引起的内禀自旋极化现象。虽然材料的全局自旋极化因空间反演对称性而消失，但每个原子层或原子位置的自旋极化方向呈反平行排列，表现出局域化的自旋极化。这一现象在自旋电子学领域，特别是新一代存储器与量子计算器件的开发中，具有潜在应用价值，近年来受到了广泛关注。

已有的聚焦 PT 对称反铁磁材料的研究，对候选材料的对称性要求非常严格。科学家拓展了该领域的研究，首次揭示了在非磁拓扑 Dirac 半金属中，外加电场（或电流）可以诱导出一种非平衡隐藏自旋极化，这种自旋极化存在于形成三维量子霍尔效应的外尔轨道中。

在拓扑 Dirac 半金属中，三维量子霍尔效应由两套自旋相反、位置和动量空间分离的外尔轨道形成。由于 PT 对称性整体上无自旋极化，即为隐藏自旋极化，因此尽管三维量子霍尔效应的研究有很多，但从未报道过这种自旋依赖的外尔轨道。

进一步研究发现，外尔轨道通过外场激发的隐藏自旋极化不仅随样品厚度变化展现出量子振荡，还随费米能级变化呈现出台阶状量子平台。这一现象具有外尔轨道的非局域拓扑特性，并能通过电流诱导的非局域自旋轨道力矩进行探测与调控，可用于磁矩的非局域开关与翻转。

该研究不仅提出了自旋依赖的三维霍尔效应新理论，还为在非磁材料中设计自旋电子器件提供了新思路。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1103/snby-9xsr