

为果蝇拍一场“3D 电影” 破译生命“时空密码”

■本报记者 刁雯蕙

动物发育是基因与细胞在时空维度上精密协作的复杂过程。以果蝇为例，其发育过程大体需要经过卵、幼虫、蛹和成虫 4 个阶段。如果说这个成长过程是一场精密编排的“生命舞台剧”，那么每个细胞何时何地“登场”、如何变成特定的细胞类型，都是由基因“剧本”调控的。

然而，一直以来科学家很难完全读懂发育时空动态背后的调控机制。

杭州华大生命科学研究院、南方科技大学联合研究团队通过时空组学技术 Stereo-seq 及多种单细胞组学测序技术，创建了一个解码动物发育过程的多模态数据集，生成了果蝇全发育周期的 3D 单细胞时空多组学图谱。日前，相关研究成果发表于《细胞》。

该成果系统解析了果蝇细胞类型分化的时空动态与核心调控网络，为发育生物学研究提供了前所未有的分子层面参考，并为发育缺陷及相关疾病机制研究奠定了重要基础。

“生命照相机”拍出果蝇的“生命舞台剧”

研究团队基于自主研发的时空组学技术 Stereo-seq，以及单细胞组学技术 scRNA-seq 和 scATAC-seq，对果蝇胚胎、幼虫及蛹期的各个关键阶段进行采样，生

成超过 380 万个空间分辨率的单细胞转录组，并利用“Spateo”算法重建高精度 3D 模型，精准解析组织形态与基因表达的空间动态。

“时空组学技术就像用一台超级‘生命照相机’，为果蝇整个发育过程拍摄了一部分分辨率极高的 3D 电影，从中能够清楚看到每个细胞在何时何地开启了哪些基因。”论文共同第一作者、杭州华大生命科学研究院专项科学家王明月说。

在这场果蝇发育的“生命舞台剧”中，细胞如何决定自身变成神经细胞还是肌肉细胞？研究团队通过整合数据，构建了果蝇胚胎发育的“分化轨迹地图”，解析了细胞命运决定的关键分子机制。

通过追踪“演员”走位，研究发现，不同胚层的细胞会沿着特定路径分化，而转录因子就像“导演”，通过激活或抑制基因，指挥细胞扮演特定角色。比如，此次研究发现，多个此前未被鉴定的转录因子在神经、肠道及内分泌系统中可能发挥了关键作用。

这就像在剧本里发现了隐藏的重要情节，拓展了人们对发育调控的认知。

果蝇是生物学研究中最重要模式生物之一，其在遗传学、发育生物学、神经生物学及分子生物学等领域都有着不可替代的位置。“此外，果蝇与人类共享约 70% 的疾病相关基因，理解其发育过程及基因调控

机制，能够帮助我们更好探究生命发育等重要科学问题，并为人类发育疾病领域相关研究提供参考。”王明月说。

揭示与发育有关的关键转录因子

基于构建的果蝇 3D 多组学图谱，研究团队通过整合分析，首次在单细胞水平揭示了果蝇组织分化起源的空间模式。

他们发现，果蝇脂肪体的分化呈分散式特征，其细胞类型在空间上混合分布，未形成集中的干细胞簇，与早期胚胎发育中分散的前体细胞分布一致。而果蝇前、后肠的分化呈中心化特征，细胞类型按发育阶段聚集在特定空间区域。

“果蝇的脂肪体是哺乳动物肝脏的同源器官，前、后肠则分别与哺乳动物食管和胃 / 大肠同源。这些发现为理解哺乳动物胚胎肠道如何成形提供了新证据。”论文共同通讯作者、南方科技大学教授胡琪楠说。

值得一提的是，研究人员还运用时空组学技术，动态描绘了果蝇中肠细胞类型的动态变化及其空间布局规律。他们发现，果蝇的中肠在胚胎期就已启动功能分区，到了蛹期则分化为富集金属离子代谢相关基因的内层，以及表达抗菌基因的外层，两者承担不同功能；到了幼虫期，果蝇的中肠干细胞已“预习”了未来的分工，呈现出区

域特异性基因表达差异，为“成年”后不同区域的细胞再生奠定了发育基础。

果蝇中肠的铜细胞就像体内的“金属管家”，是维持金属离子平衡和胃酸分泌的关键细胞，其功能异常可能导致代谢紊乱。在该研究中，科研人员首次发现了在铜细胞发育中发挥核心调控作用的转录因子 exex。

在铜细胞分化早期阶段，exex 高表达并驱动下游基因活性，在铜细胞成熟后，其仍持续调控关键靶基因；如果敲降 exex，铜细胞便会数量锐减、形态异常，且无法积累铜离子，证实了 exex 对铜细胞分化与功能维持的必要性。这些发现揭示了果蝇中肠金属稳态调控的新机制，为人类肠道等器官发育的过程提供了参考。

“此次研究在此前果蝇图谱成果的基础上，实现了单细胞分辨率，补充了单细胞转录组等组学数据，由此构建了首个果蝇全发育周期的 3D 多组学图谱，为理解动物发育机制提供了分子层面的全新见解。此外，研究团队通过多组学技术的交叉融合，以更简单、高效的方法系统描述了果蝇这一经典模式生物的发育过程，为包括人类在内的其他生物的发育研究提供了参考范式。”论文共同通讯作者、杭州华大生命科学研究院研究员刘龙奇表示。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2025.05.047>

发现·进展

中国农业科学院郑州果树研究所发布桃多组学数据库



本报讯(记者李晨)中国农业科学院郑州果树研究所桃选育种团队发布了桃多组学数据库 PeachMD。该数据库首次集成桃基因组、表观遗传组、群体遗传变异及多维度表型数据，并深度整合 CRISPR 设计、全基因组关联分析(GWAS)等工具，为推动桃分子育种和功能基因组学研究提供了数据支持。近日，相关文章在线发表于《分子园艺》。

在桃的选育种研究领域，多组学技术的广泛应用催生了基因组、转录组、表观组等海量数据资源。面对如此庞大且复杂的多组学数据，如何高效整合、深度挖掘数据并从中提取有价值的生物学信息，已成为当前研究者面临的主要挑战之一。这不仅需要强大的计算分析能力，更依赖于系统化的数据管理平台和智能化的分析工具。因此，多组学数据库的建立成为了推动桃选育种研究的重要基石。

PeachMD 数据库涵盖了迄今为止最新和最全面的桃多组学资源库。数据库收集并整合了已发表的 12 个桃基因组、329 个转录组数据集、102 个全基因组亚硫酸氢盐测序及 1313 个全基因组重测序数据。

数据库秉承全过过程的设计理念，通过 CRISPR-GWAS 联动，实现从基因挖掘到分子设计全流程覆盖。此外，PeachMD 数据库还支持多模式检索，从基因 ID、启动子、蛋白结构域等多维度查询，可一键获取基因序列信息。集成的 Gene LiftOver 工具作为基因组数据分析的“桥梁工具”，方便不同基因组间的基因比较。

PeachMD 数据库有望为相关领域的研究提供强有力的数据支持。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1186/s43897-025-00157-z>

耐寒月季将在冰雪大地绽放

本报讯(记者孙丹宁)近日，东北农业大学教授车代弟团队培育的 6 个现代月季“冰粉”系列新品种，获得了国家林业和草原局授予的植物新品种证书。

黑龙江省冬季的严寒严重制约了花卉种植与园林发展。团队以抗寒、美观、低维护为育种目标，历经 20 余年，在蔷薇属和百合属植物的新品种选育工作中取得突破性进展。经国家林业和草原局昆明测试站品种比较试验评审，团队选育的 6 个现代月季新品种脱颖而出。“冰粉”系列新品种的成功培育打破了黑龙江省无法露地种植现代月季的技术瓶颈，为寒地园林绿化产业发展注入新活力。目前，团队选育的部分现代月季新品种，已在东北农业大学试验种植。

车代弟表示，团队将通过培育耐寒性强、观赏性佳、管理简便的新品种，推动寒地园林绿化升级，助力北方生态建设，让现代月季绽放在冰雪大地，为城市增添四季色彩。

▶月季“冰粉”系列 6 个新品种。东北农业大学供图



冰粉娇



冰粉佳人



冰粉蝶



冰粉锦



冰红妍



冰粉夏

警惕！高温已成“沉默”的公共健康杀手

■许小峰

近日，国家疾病预防控制中心与中国气象局联合发布了首个“全国高温健康风险预警”。这是我国公共卫生与气象部门针对极端天气气候事件频发问题的一次跨领域协作，也是主动应对当前气候变化带来的健康风险的一次标志性实践。

这不仅体现了以人为本、生命至上、科学预防等现代治理理念，也折射出中国在气候与健康交汇领域的服务探索、科技进步与机制创新。这样一条预警信息，虽然仅是在我国刚刚进入盛夏时节的一次晚间通报，但在全球气候变化影响日益加剧的当下，却具有重要的现实和导向意义。

联合发布的预警价值

在公众传统认知中，高温预警多由气象部门单独发布，目的在于提醒公众防范高温造成的不适及可能带来的影响，如能源供应、农业长势、林火防御等。而此次两部部门联合发布的“全国高温健康风险预警”则与以往显著不同，本质上反映了以公众健康风险为关注点的预警机制升级。

根据国家疾病预防控制中心和中国气象局的解释，这一预警融合气象模型与疾病风险评估，采用相对阈值法针对不同地区定制预警等级。

东北、西北等非传统高温区的健康风险也被纳入预警视野，使服务从冷暖适应转向伤害风险判断，体现了气象灾害与具体指向的精准对接，使公众关于气象条件变化对自身可能造成的影响及所需采取措施的认知有了显著提升。

这次“全国高温健康风险预警”的发布，一方面体现了人们对于气象与人类健康关

联的认识在提升，另一方面也反映出当前气候变化风险不断加剧形势下应对方式的积极转变。而从现实情况看，高温对健康产生的负面效应远超公众认知，已成为“沉默”的公共健康杀手，确实需要采取这样的措施予以警示。

当下，全球正在经历前所未有的高温。据估计，高温每年导致近 50 万人死亡，这个数字是热带气旋致死人数的 30 倍。气温的不断上升，给人们的身心和精神都带来了无法忽视的压力，尤其是对老年人、儿童和患有慢性病的人群。

极端高温不仅导致中暑和脱水，还可能加剧心血管疾病、呼吸系统疾病的发生，甚至影响心理健康。高温引起的健康问题在气象灾害防御领域至关重要，影响程度绝不亚于常见的台风、洪涝、干旱、野火、雷电等，只是影响方式更具有隐蔽性或关联性。

健康预警成为应对气候变化新焦点

将健康问题作为应对与适应气候变化行动的重点任务，已成为国际共识。2023 年 12 月 2 日，《联合国气候变化框架公约》第二十八次缔约方大会发布了一份具有里程碑意义的文件《气候与健康阿拉伯宣言》。这份宣言强调“将健康置于全球气候行动的核心”，并首次将 12 月 3 日设立为《联合国气候变化框架公约》缔约方大会的“健康日”，这也体现了世界各国对于气候变化与人类健康关系的日益关切。

在我国，各项规划与政策措施也相继出台，并逐步推进落实。2022 年 6 月，生态环境部等 17 部门联合印发了《国家适应气候

变化战略 2035》。这一战略不仅提出了国家应对气候变化的重要举措，还强调将气候变化对健康影响的评估、监测和预警纳入国家气候治理框架，提出要通过开展气候变化健康风险和适应能力评估，加强气候敏感疾病的监测、预警及防控，增强医疗卫生系统的气候韧性，标志着应对气候变化与健康风险已提升到国家战略层面。

2024 年 9 月，国家疾病预防控制中心又联合多部委印发了《国家气候变化健康适应行动方案(2024—2030 年)》，为提高气候变化健康适应水平、促进健康中国和美丽中国建设制定了具体行动方案。

加上国家疾病预防控制中心和中国气象局建立的联合工作机制和此次首个“全国高温健康风险预警”发布，这一系列措施标志着我国在应对气候变化与健康风险领域已有了系统性布局，并迈出了“从文件到行动”的关键步伐。

风险防控有赖于扎实的科技支撑

将气象要素转换为健康预警，显然并非一个简单的概念转换过程，需要针对其科学内涵开展技术攻关。

国家疾病预防控制中心相关人员在介绍这项成果时表示，在各自前期工作基础上，疾控部门与气象部门开展了联合攻关，根据全国近 10 年 2400 个气象站点的历史观测数据，完成了从 334 个城市站到 2400 余个县级站相对阈值的拓展，构建了全国 5 公里分辨率的格点化分级阈值。同时，建立了高温健康风险预警和影响预报产品模型算法，研发了全国精细化高温健康气象风险智能网格预警产品及高温健

康影响预报客观化产品，并实现了疾控部门与气象部门的信息共享。在合作研发基础上，推动了极端天气影响下健康风险评估预报预警技术融合，完成了从传统的健康气象预报向基于人群特征分析的健康气象风险预警定量化技术转变。

除了以上这一有针对性的具体业务研发工作外，国内外气象与健康领域的相关研究都取得了显著进展。从国际视角看，一项重要工作是从 2016 年起，《柳叶刀》开始与多个国际机构合作发布年度《全球柳叶刀倒计时人群健康与气候变化报告》，系统追踪气候变化对健康的直接与间接影响。该报告基于 50 余项核心指标，涵盖高温暴露、空气污染、媒介传播疾病、营养不良、心理健康等，已成为各国政府和科研机构制定“健康导向型”气候政策的重要参考。2020 年，柳叶刀倒计时亚洲中心正式在清华大学揭牌落户。

这些科技进展既反映了气象与健康问题受到广泛关注，也说明在这一领域开展密切合作的重要性。

2025 年世界气象日的主题为“携手缩小早期预警差距”。世界气象组织秘书长席列斯特·绍罗在致辞中表示：“像医生和护士一样，各个国家气象水文部门的工作人员都在夜以继日地工作，保障并促进公众福祉。”

这句话用于探讨发布高温健康风险预警的意义非常合适。疾控与气象部门的科技人员也像医生、护士一样，认真探讨气候问题对人类健康产生的影响、缩小预警差距，为保障公众健康福祉采取积极行动。

(作者系中国气象局研究员、中国气象服务协会会长)

中国地质大学(武汉)等研制出新型低成本紫外线剂量计

本报讯(记者李思辉 通讯员孙彦钦)中国地质大学(武汉)教授易颖团队联合中南大学教授孙健团队，围绕个人健康监测的现实需求，成功研制出一款基于非易失性存储器的紫外线剂量计。近日，相关成果发表于《高级功能材料》。

紫外线辐射剂量的监测对于增强公众健康意识和保障职业健康安全具有重要意义。然而，现有便携式紫外线剂量检测技术普遍存在成本高、普及性差等问题，难以适应资源有限地区的应用需求。

针对这一挑战，该研究团队开发出一种基于聚乙烯吡咯烷酮(PVP)官能化碳纳米管网络薄膜的“简约创新”型低成本器件。该器件通过紫外辐照诱导 PVP 发生光致化学键断裂，生成自由基与碳纳米管发生化学吸附反应，从而调控其导电性能。这一过程产生的非易失性电导变化与辐照剂量呈线性相关，实现了对累积紫外线剂量的精准监测，分辨率高达 36 微焦耳/平方厘米。基于电导与紫外线剂量之间的线性关系，人们无需依赖存储单元和高速采样，仅仅通过简单、低成本电子电路，就可直接读取紫外线剂量。

据悉，该紫外线剂量计单个制造成本低于 0.1 元，特别适用于个人日常健康监护、职业暴露场所监测及欠发达地区的公共健康应用。

相关论文信息：<http://doi.org/10.1002/adfm.202510064>