



8 年“种”出一本水稻性状“词典”

■本报见习记者 江庆龄

2016 年，黄学辉加入上海师范大学生命科学学院，从头开始组建植物数量遗传学团队。他在脑海中开始构思一张解决水稻不同性状受哪些基因调控这一基础遗传学问题的“图纸”。

此后 8 年，黄学辉带领团队从涵盖全球栽培稻主要遗传亚群的 16 份品系出发，构建了包含 18421 个稳定纯合的水稻“混血杂交”群体。这一独特群体不仅具有完全清晰的遗传背景，而且打破了水稻自然群体中明显的遗传结构分群。

同时，团队对全部株系进行了精细的基因型分析和表型测量，定位到控制 16 个重要农艺性状的 96 个高置信候选基因。这一工作为水稻遗传研究提供了重要材料和数据资源，并为水稻分子设计育种奠定了理论基础。日前，该研究成果发表于《科学》。

从“图纸”到水稻性状“词典”

水稻是全球最重要的粮食作物，也是植物遗传学研究的模式物种。全世界育种专家都试图采用不同方法提高水稻的产量、品质和抗病性。近年来，利用全基因组关联分析(GWAS)等方法，科学家在水稻等作物中鉴定出许多与农艺性状密切相关的基因，为后续的育种改良提供了更多切入点。

最早关注这个问题的人，可以追溯到 200 多年前的孟德尔。他开展的豌豆杂交实验为遗传学奠定了基础。但孟德尔关注的几个性状都比较特殊，只有两个选项——豆粒饱满或褶皱，开紫花或开白花。实际上，绝大多数时候并没有这么简单。同一个生物学特征受多个基因共同调控，最终呈现出综合的效果。水稻基因和性状之间不是简单的一一对应关系。

早在中国科学院上海生命科学研究院读博和工作期间，黄学辉就开展了系列工作——2010 年，他在植物中开发出全基因组关联分析的方法体系；2012 年，他利用 446 份野生稻和 1083 份栽培稻，鉴定出 55 个驯化基因位点……

其间，黄学辉开发了一套快速构建遗传群体基因组图谱的方法，能够将作物的基因组和



研究人员在田间开展性状调查。受访者供图

表型联系起来，进而捕捉控制性状的对应基因。“但是使用这套方法时，我们发现性状定位到的基因并不完整。结合文献中的分析判断，我们认为应该是植物的群体结构导致的。”

正如人类中有欧裔、非裔、亚裔等，人们很容易根据外貌特点来判断这个人是否是亚洲人还是欧洲人。但如果只是单独看某一类群，则无法全面了解不同类群之间存在性状差异的原因，同时也难以检测基因之间的遗传互作效应。

水稻也有不同类群，其中差异还很大。为了捕捉水稻不同类群之间的差异，黄学辉团队精心设计并创制了各种各样的“混血”类群，把不同的水稻栽培种的群体结构充分打散。这项研究涉及农学、生物学、信息学、统计学等多个学科，同时需要处理海量的材料和数据。

黄学辉画了一张详细的“攻关路线图”，把这个大课题划分为遗传、分子生物学和数据分析三大块，再进一步细化每个时间节点的主要工作，每个环节可能遇到的问题。

“我们类似于做了一本水稻性状的‘词典’。”黄学辉解释说，“比如我们想了解水稻抽穗期相关的基因，就可以翻到对应的页码进行查阅。如果这里的某个基因和另一个性状相关，那就再翻到对应的基因页码了解更多细节。”

为了让这本“词典”更好用，团队进一步开发了一个名为 RiceG2G 的工具，可以快速捕捉相关性状的候选基因，为挖掘水稻优良基因提供参考。

种地吧，科学家

贯穿这项研究的一个关键词就是“种地”。为了加快培育“混血杂交”水稻群体，同时考察不同生态区对群体生长的影响，团队每年在上海和海南两地种植水稻。

“上海的农田选在奉贤。”论文第一作者、上海师范大学教授魏鑫说，“海南的农田则是我们跟农户谈下来的，当地农户对科研并不陌生。很多科学家在南繁基地试验的成果，最后都变成了新的农作物品种，服务于国家发展。所以，当了解到我们借用土地的目的后，他们愿意和我们建立长期的合作关系。”

十几亩土地被划分成一个个 20 厘米×20 厘米的小格子。每个格子里种一份材料，每一代都要种植几百万份材料。魏鑫带着学生，持续数年后往返于上海和海南。每年 10 月，在奉贤收种子并马上整理，赶在 11 月初运往海南崖州播种；来年 3 月底，再赴崖州收种，运回上海，赶在 5 月中旬在奉贤进行新一轮播种。在极端高温时田间插秧、在台风暴雨天抢收种子，对他们而言，都是司空见惯的事。

水稻群体构建完成后，紧接着便是两年多的大规模性状调查、大数据分析和实验验证。所谓性状调查，就是对生物体的形态特征、生理特征和行为方式等进行系统性观测和记录，以了解其遗传规律和表现型差异。在这个项目中，需要观察记录几百万份材料的 16 个重要农艺性状。

“一方面，每份材料都需要调查几株材料取平均值；另一方面，还要考虑环境中植株的性状特点。目前没有自动化的田间测量仪器。除了苦战，没有其他方法。”魏鑫表示。

人数最多的时候，有差不多 100 人同时在田间操作。整整 3 个月时间，他们每天天不亮就下田，天黑才收工，风雨无阻，最终把这块硬骨头“啃”了下来。

(下转第 2 版)

中国代表团出席国际原子能机构第 68 届大会

据新华社电 9 月 16 日，国际原子能机构第 68 届大会在奥地利维也纳举行。中国国家原子能机构副主任刘敬率团参会并在一般性辩论中发言。

今年是中国加入国际原子能机构 40 周年。刘敬在发言中指出，中国的发展离不开世界，世界的繁荣也需要中国，中国始终以实际行动支持国际原子能机构在全球核领域合作中发挥中心作用。面对全球可持续发展的机遇和挑战，中方愿同机构和广大成员国从三方面携手为原子用于和平和发展作出更大贡献。一是推进核安全共建共治共享，妥善应对各种传统和新兴核安全、核安保、防扩散风险挑战，增强全球核产业供应链韧性和安全；二是推动核能技术协同创新，有序扩大核科研设施及实验平台开放共享，与全球伙伴共谋合作、共创创新、共享发展；三是促进核能发展普惠包容，加大资源投入，为全球南方国家和平利用核能，推进现代化建设和可持续发展提供更多支持和帮助。

刘敬表示，截至目前，中国大陆在运核电机组 56 台，核准及在建核电机组 46 台，成为全球核能发展的重要引擎，为全球应对气候变

化、加快能源绿色低碳转型作出重要贡献。同时，中国大力发展核科技产业，推广核技术在工业、农业、医疗、环保、安全等领域应用，增进人民福祉、助力社会经济可持续发展，取得丰硕成果和宝贵经验。

刘敬重申了中方对日本单方面启动福岛核污染水排海的坚决反对，强调福岛核污染水排海问题引起国际社会普遍关注，中方呼吁通过利益攸关方有效参与等方式加强长期国际监测，确保全人类健康和海洋环境安全。

一年一度的国际原子能机构大会是该机构最重要的会议。大会重点议题为讨论和平利用核能，特别是核能、核科学与应用等有关问题。会议期间，为庆祝中国加入国际原子能机构 40 周年，国家原子能机构举办了“开放合作、共享发展”主题边会、“核创未来、核美家园”主题展览等活动，重点推荐了共享 12 个核科研设施和实验平台作为全球公共产品，并向国际原子能机构捐赠钱三强先生铜像。

来自全球各成员国以及多个国际组织的 2000 多名代表参加了本次大会。

科学家首次实现百公里级开放大气双光梳精密光谱测量

本报讯(记者王敏)中国科学技术大学教授潘建伟、贺贤康、张强和薛向辉等人组成的交叉研究团队，通过发展大功率低噪声光梳，结合时间频率传递等量子精密测量技术，在国际上首次实现百公里级开放大气双光梳光谱测量。该技术可应用于监测大尺度范围的地球大气温室气体和污染气体，还可扩展到卫星和地面之间的大气双光梳光谱测量，用于全球尺度温室气体监测和精确校准。近日，相关成果在线发表于《自然-光子学》。

大气光谱学是研究大气化学和物理性质的关键技术。目前，大气光谱遥感使用的光栅光谱仪、外差光谱仪和傅里叶变换光谱仪等技术，能够以不同时间和空间分辨率提供地球大气成分的光谱学数据。然而，这些技术存在诸多限制，如无法在夜间进行测量、无法同时测量多种组分等。

近年来，开放大气双光梳光谱技术被证明是进行准确、连续、多气体测量的理想技术。该技术具有高采集速度、溯源至原子钟级别的绝对频率精度及可以同时测量多个组分等优点，广泛应用于油田监测、城市车辆排放测量、畜牧排放测量和温室气体监测等领域。

该技术还受湍流散斑和背景噪声的影响，理论上能够在不校准的情况下测量更长的距离，因此被认为是用于大气遥感的理想精密

光谱工具。然而，当前国际上所能实现的最远测量距离不超过 20 公里，只能针对工厂、牧场等小范围区域实现监测，无法应用于更大区域，如大型城市、雨林等。

在此次工作中，研究团队开发了一种新的双光梳方案——开放大气双光梳光谱测量方案。相比于传统单光梳方案，新方案无须在测量远端放置反射器，光只需要经过待测路径一次即可完成测量，从而极大减少了链路损耗，因此更适用于远距离、大尺度的测量。

利用该方案，研究团队在乌鲁木齐成功测量得到 113 公里水平开放大气中水汽和二氧化碳的强度谱和相位谱，该距离比国际上最近的测量距离高约一个数量级。该工作创新性地融合了高精度自由空间时间频率传递技术、频率准确度达到 10 千赫兹，并通过自主研发的高精度反演算法，实现二氧化碳反演精度在 36 分钟内小于 0.6ppm。

该工作使得双光梳光谱能够测量的大气距离从几公里提升至 100 多公里，扩大了该技术的应用范围。同时，系统可容忍最大损耗为 83 分贝，与中高轨卫星链路损耗相当，为实现未来星地大气双光梳光谱测量奠定了坚实基础。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41566-024-01525-9>

北京中轴线上的科普盛宴

本报讯(记者倪思洁)9 月 15 日至 25 日，2024 年全国科普日活动暨第十四届北京科学嘉年华举行。作为主会场的北京科学中心，一个全新的展览——“科技中轴——北京中轴线上的科技”让嘉年华地方色彩更浓郁。

7 月 27 日，北京中轴线申遗成功。为展现北京中轴线上的科技价值，北京科学中心策展开发团队挖掘了北京中轴线上的诸多科技元素，并在展览中集中展示。

正阳门箭楼千斤闸就是其中之一。在“箭楼千斤”展区，公众可以清晰看到千斤闸的贯柱、贯梁、贯尺和滑车，还可以体验不同长短、粗细的旋转柱所使用力量的变化。

展览中还展示了北京中轴线起点——钟楼的声学原理、北京中轴线上最古老桥梁——万宁桥的桥体结构、北京中轴线制高点——景山建筑群“一麻五灰”的防腐技艺，以及北京中轴线重要建筑——天安门城楼“安檐滴翠”的排水设计等。



公众在“科技中轴”展厅欣赏天安门城楼“安檐滴翠”设计。北京市科协供图

科研人员在几何表示论与几何朗兰兹领域取得新突破

本报讯(记者韩扬勇)近日，清华大学丘成桐数学科学中心助理教授李鹏辉与美国加州大学伯克利分校教授戴维·纳德勒，以及美国麻省理工学院教授陈之玮合作，在几何表示论与几何朗兰兹领域取得新突破。他们在对仿射赫克范畴与交换堆的研究中取得重要的原创性成果，相关研究发表于《数学年刊》。

在 1950 年召开的国际数学家大会上，克劳德·谢瓦莱提出了著名的谢瓦莱限制定理，即半单李代数上的共轭不变函数同构于嘉当子代数上的外尔群不变函数。该定理于 1965 年由罗伯特·施坦贝格完整证明，并推广至半单代数群。此后，数学家在谢瓦莱限制定理的高维推广上取得许多进展——解决了一般线性李代数的情形、辛李代数的情形、正交李代数的情况。

李鹏辉与合作者一致性证明了所有约化

李代数和约化代数群的谢瓦莱定理的二维推广。该问题解决的关键在于如何计算交换堆上的全局函数。团队创造性运用朗兰兹对偶将其转换为关于仿射赫克范畴中心里的惠特克层的计算。由此，团队定义了该余中心的一个半正交分解，并使用特征层理论计算了每个分次块，最终得到了描述惠特克层的自同态代数，即交换堆上全局函数的公式。

在证明过程中，团队应用范畴化收缩原理、抛物特征层理论、何-聂函数的梯度流、广义斯普林格理论等多种理论。这些方法对于任意型的约化李代数、代数群均成立。谢瓦莱定理二维推广的证明解决了数十年关于交换堆的即约性猜想，对理解低维流形的朗兰兹对偶有着重要意义。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.4007/annals.2024.200.2.5>

W 玻色子质量出炉，物理学家称“标准模型没有死”



本报讯 物理学家已经确定了基本粒子 W 玻色子的质量。近日，欧洲大型强子对撞机(LHC)紧凑型缪子螺旋线管(CMS)探测器的实验结果与标准模型的预测一致，给 2022 年的 W 玻色子质量异常发现泼了一盆冷水。这项研究暗示着虽然存在标准模型之外的现象，但标准模型仍是物理学家对粒子和力的最佳描述。

据《自然》报道，这一消息是在 9 月 17 日欧洲粒子物理实验室(CERN)举行的研讨会上宣布的。“标准模型没有死。”美国麻省理工学院粒子物理学家、CMS 合作项目成员 Josh Bendavid 说。

CMS 的此次实验结果是在 10 年时间里形成的，即 W 玻色子的质量为 803.602 亿电子伏特。“如果这个发现接近 2022 年的结果，我们就宣布标准模型死亡。”Bendavid 说。

参与 CMS 实验的瑞士苏黎世大学实验粒子物理学家 Florencia Canelli 说：“我们能达到这样的精度，并在这个水平上对标准模型有这样

的理解，这使科学界感到兴奋。”

2022 年的结果由美国费米国家加速器实验室的 CDF 实验得出。该实验使用了 10 年前的数据，计算出 W 玻色子比预测的更重，开启了标准模型出现“裂缝”的可能性。而 CMS 的结果则是对 LHC 产生的 W 玻色子质量的最精确测量，其精度与 CDF 的结果大致相当。

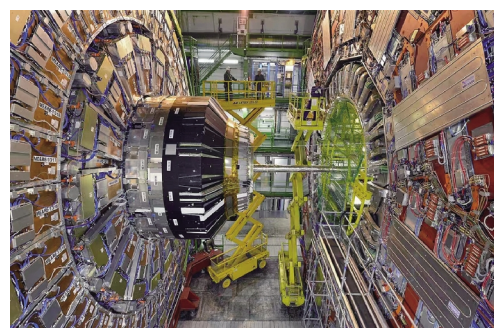
“如果我们发现了与标准模型完全不同的东西，对科学界来说可能会更好，因为这对该领域的未来而言是令人兴奋的。”美国加州大学洛杉矶分校粒子物理学家、CMS 实验主要分析人员之一 Elisabetta Manca 说。

W 玻色子及其姊妹粒子 Z 玻色子作为弱核力的载体参与了放射性衰变，是标准模型中为数不多的可以通过理论和实验进行高精度预测的数值之一。这使其成为寻找标准模型“裂缝”的好方法。

但 W 玻色子的质量极难测量。研究团队以前所未有的精度重建了 LHC 产生的约 1 亿个 W 玻色子衰变的 μ 子特性，然后将这些数据与 40 亿次模拟碰撞和衰变进行了比较——这些碰撞和衰变使用了不同的 W 玻色子质量值，以便寻找最佳的匹配结果。

研究团队利用最先进的软件理论和理论，将他们的结果与 W 和 Z 玻色子衰变的替代测量值进行了校准与交叉检查。研究显示，CMS 的结果与其他大型强子对撞机实验，如 ATLAS 和 LHCb 的结果基本一致，这些实验应用了不同的探测器和方法。

虽然人们从 CMS 实验结果中没有发现异常，但在 10 年过程中创造的工具，使物理学家能够进行其他精确测量。Manca 相信，这种高精度的比较最终将打破标准模型。(王方)



欧洲粒子物理实验室的 CMS 探测器。图片来源：Harold Cunningham

医用同位素镭-223 和钷-225 分离制备获重要进展

本报讯(记者叶满山)近日，中国科学院近代物理研究所研究员秦志团队，利用兰州重离子加速器研究装置(HIRFL)，以及自主研发的自动化分离样机系统，在医用同位素镭-223 和钷-225 的同步分离制备方面获得重要进展。

镭-223 半衰期为 11.4 天，钷-225 半衰期为 10 天，作为两种极具潜力的阿尔法发射同位素，由于其独特的物理化学性质，在小体积肿瘤和多位点转移性癌症的治疗中展现出广泛的应用前景。然而，传统的镭-223 和钷-225 的生产方法复杂且效率不高，难以满足日益增长的医疗需求，因此迫切需要开发一种高效且自动化的制备系统。

团队基于 HIRFL 提供的中能质子束和氮束，自主研发和建立了一套可同步制备

镭-223 和钷-225 的自动化分离系统，建立了完整的“钍靶辐照—分离纯化—药物标记”的制备工艺路线，显著提高了镭-223 和钷-225 的分离纯化效率。

通过自动化分离及纯化实验，研究团队成功实现了对数百种杂质核素的有效分离，镭-223 和钷-225 产品的分离回收率和放射性纯度最终分别稳定在 62% 和 92%~96%。团队还评估了杂质核素钷-226 和钷-227 的放射性水平随时间的变化，并利用上述工艺制得的钷-225，成功开展了标记化合物 $^{225}\text{Ac-PS-MA-617}$ 的合成研究。

据介绍，研究团队将利用这一技术成果，进一步开展百微居及毫居级镭-223 和钷-225 的生产制备工作。