英国千年种子库收集保存超过4万种野生植物种子，覆盖全球约16%的种子植物物种

备份一粒种子，守护多样未来

本报记者　许立群

国际科技前沿

来自中国云南的粉色野生香蕉、肯尼亚的耐旱牧草、英国本土的野花草……在英国南部的韦克赫斯特植物园内，坐落着世界上最大的野生植物种子库之一——英国千年种子库。自2000年启动以来，它已收集并保存来自100多个国家和地区的超过4万种野生植物的25亿多粒种子，覆盖全球约16%的种子植物物种。同时，它与全球275个科研机构建立合作网络，通过种子交换、技术培训与联合研究，构筑起一道守护地球生物多样性的防线。近日，本报记者走进这座生命的“诺亚方舟”，探寻种子保存背后的科学与使命。

严苛流程：一粒种子的“入籍”之路

伦敦以南的萨塞克斯郡，薄雾轻笼，草色微青。驱车穿过宁静乡间小路，进入韦克赫斯特植物园，一座低矮的现代建筑悄然出现在视野中——没有高耸塔楼，也没有醒目标志，唯有入口处一块朴素铭牌写着：“千年种子库”。这里由英国皇家植物园邱园负责建设，专门用于保护濒危野生植物种质资源。

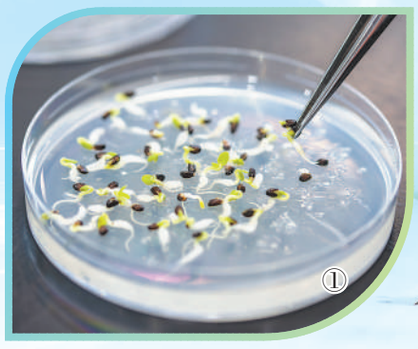
并非所有种子都能进入这座“种子银行”。据英国千年种子库负责人埃莉诺·布雷曼介绍，一粒种子要想在这里获得“永久居留权”，必须通过一系列科学严谨的筛选与处理流程，堪称“生命准入考试”。

采集是第一道险关。种子库的采集员常年跋涉于地球各个角落：从喜马拉雅山海拔5000米的流石滩，到东南亚热带雨林的树冠层，再到非洲马达加斯加的干落叶林。每一次采集都严格遵循国际标准：同一物种至少采集5000粒种子以保障遗传多样性，同时限制采集比例或选择性采集来实现可持续操作，避免对野外种群造成破坏。如今，这一过程正被人工智能赋能——千年种子库联合牛津大学开发的基于机器学习的物种分布模型，可整合气候、遥感与历史标本等数据，精准识别尚未被充分采集但生物多样性面临丧失的高风险区域，有力提升了野外工作的效率与针对性。

采集回来的种子，随即进入长达数月的操作流程：登记编号、清理杂质、X光扫描检测虫蛀或空瘪率、计数（兰科种子细如尘埃，常需显微镜下操作）……当种子含水量被严格干燥至5%左右，它们才能被分装进玻璃瓶，送入冷库，在此沉眠。每隔5到10年，科研人员还会对它们进行一次“活力抽查”。

走进种子库的核心区域，一股凉意扑面而来。这里的干燥间保持着15摄氏度的恒温与15%的湿度，成千上万的种子正在这里“脱水修炼”。“干燥是延长种子寿命的关键一步。”技术员大卫·希克莫特小心翼翼地分离着种子与杂质，“通过缓慢脱水，种子的新陈代谢会降到最低，为后续的长期储存做好准备。”他面前的工作台上，每一粒种子都附有详细的标签，记录着采集时间、地点、生长环境等信息。

穿过干燥间，种子培育实验室里的景象更显奇妙。培养皿中，模拟不同地域光照和温度的孵化器正全力“唤醒”种子——这是储存前的最后一道关键工序。“只有确认种子具备活力，才能进入最终的储存环节。”发芽专家蕾切尔·戴维斯拿起培养皿，对着光线展示：“你看，这小小的胚根里，可能蕴藏着一片森林的希望。在气候变化加剧的今天，这些具有独特基因的种子，可能就是未来生态修复的关键。”



科学价值：不只是备份，更是解决方案

沿着长长的走廊往里走，终于抵达种子库的“心脏”——零下20摄氏度的地下冷库。推开厚重的保温门，白雾瞬间涌出。一排排金属货架上，整齐摆放着贴有条形码的密封玻璃罐和铝箔袋。这里的每一份种子都被精准编号，通过数据库可随时查询其完整信息。“在这样的环境下，大多数种子可以保存数百年甚至上千年。”布雷曼解释道，“低温也是延长种子寿命的关键因素，研究表明，对多数种子而言，每降低1%的种子含水量，或每降低5摄氏度的储藏温度，其寿命就能翻倍。”

不同的种子类型也需要有不同的存储方式。比如，对于“怕干”“怕冷”的顽拗型种子（如榴莲、橡树、野生香蕉），种子库联合邱园实验室需要启用液氮零下196摄氏度超低温保存，通过将胚尖、休眠芽或花粉置于“玻璃化溶液”（含甘油、DMSO、蔗糖）瞬间冻存，使细胞活动完全停止。这种方式，理论上可存放千年以上。目前，这里的繁殖实验室正在探索试管种子培育技术。研究人员在试管中成功培育出一棵微型橡树，其保存技术采用的正是超低温储藏。

千年种子库的核心使命，是为了保存植物的遗传多样性。例如，2009年一份来自中国的粉色野生香蕉种子就被收藏于千年种子库。这种仅分布于云南南部的野生香蕉果实富含营养，是亚洲象的重要食物来源。它被选中，是因为契合种子库的一系列遴选标准：濒危、特有且具有重要经济价值。如今，这份种子不仅成为国际合作的见证，未来或可用于重建大象食源地，或为培育抗病香蕉提供基因资源。

2025年，英国皇家植物园邱园发布的《千年种子库25年影响力报告》显示，其支持的栖息地修复与物种重引入项目已覆盖非洲、亚洲、南美、地中海地区等，总数超过100个。在英国本土，千年种子库提供的野花种子帮助重建了超过2000公顷退化草地，恢复了包括大黄蜂在内的传粉昆虫栖息地；在肯尼亚，耐旱牧草种子被用于对抗荒漠化，助力牧民应对气候干旱；在中国，千年种子库与中国科学院合作，共同采集保存重要野生植物种子。

守护未来：构建全球植物保护网络

据2023年《全球植物与真菌状况报告》，全球近40%的开花植物面临灭绝威胁，而人类粮食系统却高度依赖极少数作物——全球95%的热量摄入仅来自30种植物，其中水稻、小麦、玉米三大主粮占比超60%。在气候变化与新发病害频发的背景下，这种遗传多样性的萎缩正构成巨大的潜在风险。“这让种子库的工作变得愈发紧迫。”英国生物学家戴尔·桑德斯表示，沉睡于冷库中的种子是人类为可能发生的生态灾难预备的“复活卡”。

“25年前，我们埋下了一颗‘希望的种子’；今天，它已长成覆盖全球的参天大树。”布雷曼对记者说，千年种子库不仅是全球最大的野生植物种子库之一，更是一个以“保存、研究、利用”为核心的全球植物保护网络。截至目前，已有来自70个国家的3000余名科研人员接受千年种子库的技术培训。它也建立起广泛的合作伙伴网。例如，千年种子库与中国西南野生生物种质资源库就通过人员交流、技术培训、资源备份、联合研究等，共同推进生物多样性保护。

据介绍，目前全球有超过1750座主要种质资源库，共保存约740万份植物种质资源，其中约630万份以种子形式保存。挪威斯瓦尔巴全球种子库被称为“世界末日种子库”，为全球各地约1700个基因库提供备份存储，现保存超过120万份种子样本。中国西南野生生物种质资源库是亚洲最大的野生生物种质资源库，已保存1万余种野生植物种子，是中国生物多样性保护的重要基石。此外，还有国际水稻研究所、国际玉米小麦改良中心等作物专类基因库，保存着特定作物的遗传财富。从“全球备份库”到“区域核心库”再到“专题收集库”，全球种子保护形成多层次、网络化的协作体系，通过分散风险、共享资源，共同守护着地球的生命基础。

“一粒种子可以改变世界”，这并非诗人的浪漫夸张，而是刻在人类文明史与地球生命史上的事实：水稻的驯化滋养了中华文明，马铃薯的引入改变了欧洲人口结构，而一粒野生小麦近缘种的基因，曾拯救20世纪中期全球小麦锈病危机。今天，种子库不仅是一项技术工程，更是一种文明自觉。它代表了人类社会对生命延续的深刻责任、对自然馈赠的珍惜敬畏以及为不可预知的明天预留生机与选择的智慧。守护一粒种子，就是守护一个充满可能性的未来。

（本报伦敦电）

图①：培养皿中发芽的种子。
图②：科研人员将种子放入冷库储存。
图③：英国千年种子库外观。

以上图片均为**英国千年种子库**提供

R科技大观

加快量子计算商用步伐

郭　伟

近期，美国普林斯顿大学研究团队在《自然》杂志上发表一项新成果：他们将量子计算机的“脑细胞”——超导量子比特的“寿命”（即相干时间，指量子比特维持其量子叠加态的有效时间）提升至超过1毫秒。这是目前实验室最佳版本的3倍、业界标准的近15倍，也是10多年来量子比特寿命的最大提升。这一成果有助于突破量子比特信息保存时间太短的核心瓶颈，向实现可靠的商用量子计算机迈出关键一步。

量子计算机的基本信息单元是量子比特。与经典计算机中的比特只能表示0或1不同，量子比特可以同时表示0和1，即量子叠加态，如同一枚快速旋转的硬币，在停下来之前同时具备正面朝上和反面朝上的状态。正是这种特性，赋予了量子计算指数级的并行能力：50个量子比特理论上可同时处理2^{50}（约1000万亿）种状态。然而，量子叠加态极其脆弱。一旦受到环境噪声、材料缺陷或热扰动等干扰，量子信息便会迅速“退相干”，导致计算出错甚至失败。因此，量子比特的“寿命”直接决定了它能完成多少次可靠操作——这是衡量量子处理器性能的核心指标之一。

过去十余年，主流超导量子比特多采用蓝宝石基底与铝电路组合。但金属铝表面存在大量微观缺陷，会捕获能量、引发损耗，严重限制相干时间。此次普林斯顿团队的突破，正源于对这一“老配方”的彻底革新：以高纯度硅基底替代蓝宝石，并以金属钽取代铝制作量子电路。钽的晶体结构更致密，表面缺陷密度显著低于铝，从而大幅减少能量损失；硅则是成熟的半导体材料，能提高制造一致性且便于规模化生产。他们攻克了“在硅上高质量生长钽薄膜”这一长期技术难题，实现了材料界面的原子级平整。实验结果显示，新型钽—硅量子比特的相干时间超过1毫秒。别看它短，却足以让每个量子比特在“退相干”前完成更多关键运算，为后续纠错和复杂算法的运行提供宝贵的时间窗口。

整体来看，量子计算机的性能取决于两个核心因素：系统中量子比特的总量以及每个比特在出错前能执行的运算次数。2019年，谷歌推出“悬铃木”量子芯片，以53个量子比特首次实现“量子优越性”；2025年3月，中国科学技术大学潘建伟院士团队发布超导量子计算原型机“祖冲之三号”，集成105个超导量子比特，在特定任务上的运算速度比最强超级计算机快千万亿倍。不过，即便拥有百个物理比特，将错误率降至足够低的水平仍是目前量子计算机真正释放其算力潜能亟待突破的关键。因此，延长量子比特寿命、降低错误率，与增加比特数量同等重要。此次普林斯顿团队的研究主要解决了单个量子比特的寿命问题，而中科大在量子纠错领域也取得里程碑式的突破。2025年12月，基于107比特超导量子处理器“祖冲之3.2号”的相关结果发表，潘建伟院士团队在量子纠错方向上实现了“越纠越对”的重大进展。

尽管硬件发展取得突破，量子计算迈向广泛应用仍面临多重挑战。首先，技术路线仍较分散。超导、离子阱、光量子、中性原子等路径各有优势：超导易集成但需极低温，离子阱相干时间长但扩展难，光量子适合通信但难以存储。如何整合各类研发资源、打造最优方案，仍需付出大量努力。其次，软件生态与应用场景仍不明朗。除少数领域如量子化学模拟、组合优化外，尚缺乏能充分发挥量子优势的“杀手级应用”。多数企业仍在探索“量子计算能做什么”，而非“如何用量子计算解决问题”。再者，跨学科人才非常稀缺。既懂量子物理，又熟悉金融、制药或人工智能（AI）应用的复合型人才较少，制约了技术向产业的转化。

有分析认为，通用容错量子计算机仍需10到20年。但在那之前，量子计算可通过“量子—经典混合架构”创造早期价值。例如，在药物研发中，用经典计算机处理大部分流程，将分子能级计算等核心环节交由量子协处理器完成，通过算力互补，发挥各自优势，实现渐进式升级。同时，量子计算与AI的融合正成为新突破口。一方面，AI可用于优化量子控制脉冲、提升量子门保真度；另一方面，量子算法有望加速机器学习训练过程。这种双向赋能，或将成为量子技术落地的重要跳板。

回望量子理论诞生百年来的历程，量子计算正不断拓展人类解决复杂问题的边界。相信未来有一天，医生将用量子模拟设计出治愈罕见病的新药，气候科学家将借助量子算法精准预测碳循环路径，普通人将因更高效的电池或更智能的电网而受益，神奇的量子计算机将极大造福人类社会。

（作者为北京理工大学物理学院特别研究员）

印尼发现迄今已知最古老岩画

据新华社雅加达电　（记者**李斯博**）一项最新研究说，考古学家在印度尼西亚苏拉威西省一处洞穴内发现的手印形岩画可追溯到至少6.78万年前，这是迄今已知最古老的人类创作岩画。相关论文近日发表在英国《自然》杂志网站上。

这处绘有一系列史前岩画的洞穴位于苏拉威西省的穆纳岛。一支由印尼和澳大利亚考古学家组成的国际团队对洞穴内岩壁上一处手印图样岩画进行了年代测定。

研究人员利用名为“激光剥蚀铀系测年法”的新技术，对覆盖在手印图案表面的少量方解石进行测年。结果显示，这幅手印图案的最晚形成年代为距今6.78万年，是迄今全球已知的、由人类创作的最古老岩画，比此前在西班牙发现的被认为是最古老的洞穴岩画还要早约1100年。

“海洋暗波”框架为揭示海洋光照危机提供新视角

据新华社惠灵顿电　（记者**龙雷、李惠子**）新西兰研究人员主导的一项研究建立了全球首个识别海洋水下极端黑暗事件的科学框架——“海洋暗波”，为理解短期、剧烈的海洋光照危机提供了关键工具。研究提出，这类突发性水下光照骤降事件可能对海洋生态系统造成严重影响。

研究发现，从美国加利福尼亚州到新西兰沿海，都曾出现过突发的水下黑暗事件，持续时间从数天至超过两个月不等，部分事件导致海底接收的光照量几乎为零。

研究表明，短暂而强烈的“海洋暗波”可能对海洋生态系统造成严重损害，其生态影响甚至不亚于长期的水下光照减弱。即使短暂的光照下降也可能削弱海藻、海草和珊瑚的光合作用，并影响鱼类及海洋哺乳动物的行为。

R创新汇

让电子设备拥有“自愈”能力

本报记者　莽九晨　黄发红

韩国成均馆大学与基础科学研究所联合团队近期在柔性电子领域取得突破：他们开发出一种自愈型半导体材料，其制成的电子元件不仅可拉伸、可重组，还能在受损后像生物组织一样自我修复。这项技术可为下一代可穿戴与可植入医疗设备开辟新思路。

由于机械疲劳、外部冲击、环境侵蚀等因素，现有的柔性电子元件一旦受损，往往就会逐渐失去功能，需整体更换。此次韩国团队利用具有优异绝缘性和生物相容性的自愈聚合物基板，开发出具备柔韧性和自愈能力的柔性晶体管与电路。测试结果显示，这些晶体管在植入活体动物体内后，可长时间保持稳定的电学性能。“晶体管的电极、半导体层、绝缘膜等所有核心组件均以自愈合高分子材料构建，即使受损也能自行复原机械、电气特性，实现长期稳定工作。”韩国成均馆大学电子电气工程系教授孙东熙在接受本报记者采访时表示。

该技术还首次将自愈合特性从单一元器件拓展至模块化电路系统。研究团队设计出标准化的自愈合晶体管、触觉传感器和微型发光单元，可像“电子乐高”一样自由拆解、重新组合，按需构建传感器阵列、逻辑电路甚至简易显示系统。例如，可根据用户的偏好或需求量身定制，也可以在性能显著下降时利用即插即用附件进行拆卸更换。“此前虽然也有自愈合材料和单个元器件的研究，但将其扩展到电路和模块水平，整合成电子皮肤系统尚属首次。”孙东熙说。

这一新材料在水中及动物体内环境也可保持性能稳定。通常，柔性电子元件在水或体液中容易性能衰减，但该半导体在动物体内植入后，仍能稳定工作一周以上，电学特性无明显退化，已通过活体实验证实。

对于自愈型半导体的未来应用，孙东熙表示，其前景十分广阔，尤其在医疗和健康领域潜力巨大。在神经科学和临床医学中，可开发高密度接口设备，监测和处理大脑、脊髓、外周神经及心脏组织产生的生物信号，有望应用于脑神经疾病治疗、心律调控和器官移植后的长期监测。在可穿戴设备方面，新一代电子皮肤将更加舒适、耐用，能根据用户活动或环境变化动态调整电路结构，实现真正个性化的智能系统。此外，由于器件受损后可自行修复，无需频繁更换，有助于减少电子垃圾，并降低医疗成本。

对于柔性电子技术的发展意义，中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所研究员张珽表示，随着以人形机器人等为载体的具身智能技术在全球范围内兴起，以柔性触觉传感器、柔性生理电电极等为代表的一系列柔性电子器件，将会得到进一步发展并逐渐走向大规模应用。但在实际的复杂或特定使用场景中，柔性的特征同样也会带来易损伤、易腐蚀、环境稳定性差等问题，极大影响电子器件长期使用效果及寿命。此次韩国研究团队受人体皮肤这一天然“柔性器件”启发，研制具有模块级水平的可拉伸、可重组、可自动修复的柔性晶体管与电路器件，在植入体内等使用条件下仍能稳定工作一周以上，且电学特性无明显退化，显示出了优异的复杂环境应用适应性，这将为柔性电子技术进一步拓展应用空间提供有力的技术保障。

孙东熙同时指出，要实现产业化仍需解决几个关键问题：一是提升电气性能，特别是提高半导体的载流子迁移率和电极导电性，以支持高速电路运行；二是优化制造工艺，推动实验室技术向标准化、低成本的大规模生产转化；三是进一步验证材料在人体内的长期生物相容性和安全性——尽管动物实验已取得积极成果，但人体应用仍需更全面、更长期的评估。

本版责编：王　慧　黄发红
版式设计：张芳曼