

推动基因编辑技术安全可控发展

□ 彭耀进



从“改写基因”到“赋能未来”

在全球科技竞争日益激烈、生命健康产业蓬勃发展的背景下，基因编辑技术作为一项具备前沿性、战略性、变革性的底层技术，日益成为科技创新的关键突破口和推动新质生产力的重要引擎。2020年，科学家凭借规律成簇间隔短回文重复及其相关蛋白（CRISPR/Cas）基因编辑技术荣获诺贝尔化学奖，将“基因剪刀”这一工具推至聚光灯下。如今，随着其在医疗、农业、生物制造等领域的深入应用，基因编辑不仅意味着科研范式的转型，更预示着人类社会或许将迈向一个全新的生物进化阶段。

基因编辑技术是指通过特定分子工具，对生物体内的基因序列进行“定点”修改，实现对遗传信息的精准操控。与其他传统基因工程技术相比，基因编辑更像是在生命蓝图中进行“按需修订”——既可删减某个有害基因片段，也可替换、插入新的功能性片段，实现更高效、更精准的遗传操作。该技术的发展经历了多次变革，从最早的锌指核酸酶（ZFNs）和转录激活因子样效应核酸酶（TALENs），到如今主流的CRISPR/Cas系统，科学家实现了从“专属定制”向“普惠应用”的跨越。尤其是CRISPR/Cas9系统，它结构简单、设计灵活、效率显著，可在细胞或动物中精准完成基因剪切、插入或删减，极大降低了基因编辑的技术门槛，带动了全球生命科学研究的爆发式增长。此后，技术不断迭代，碱基编辑器、Cas12、Cas13等新型系统相继问世，进一步提高了基因编辑效率和拓展了适用场景。

与传统“工具型”生物技术不同，基因编辑技术正逐步迈向“平台型”创新路径，成为支撑医学进步、农业增产、生物合成等多个战略方向的底层能力。基因编辑由此从科研附加功能转变为技术原生模块，其战略价值正加速释放。

正在重塑我们的生活

基因编辑作为21世纪生命科学的重要引擎，不仅将重塑医学健康产业格局，更将在粮食安全、生态保护、生物制造等领域催生新动能。

医疗健康领域是基因编辑最早落地、最具突破性的应用场景之一。长期以来，许多遗传病被视为“无法治愈”的难题，如镰状细胞病、β-地中海贫血、囊性纤维化等。如今，基因编辑技术让“精准治疗”不再遥远。通过提取患者细胞，进行基因修复后再回输体内，已经实现了对部分罕见病的功能性治愈。2023年，全球首个CRISPR基因编辑疗法药物获得欧美监管机构批准上市，标志着这一技术正逐步走入临床

应用。

不仅如此，基因编辑也正在罕见病诊治、肿瘤治疗、病毒防控、疫苗研发等方面展现广阔潜力。例如，通过编辑T细胞以增强其识别癌细胞的能力，科学家正在构建个性化癌症免疫疗法；针对人类免疫缺陷病毒（HIV）、乙肝等病毒的基因编辑方案也已进入早期试验阶段，有望打破“终身携带”魔咒。2019年，美国食品和药物管理局（FDA）批准了首个体内CRISPR基因编辑药物的临床试验，用于治疗罕见遗传性视网膜营养不良 Leber 先天性黑蒙 10 型（LCA10），逐步开启人类基因组“原位编辑”时代。

在公共卫生和分子诊断领域，基因编辑技术也展现出广阔应用前景。基于CRISPR的快速检测系统可以在不依赖复杂设备的条件下实现对病毒、病菌及核酸标志物的高效识别，为传染病早筛、疾病监测和应急处置提供强大支持。进一步提升疾病早筛与干预效率，推动由“以治病为中心”向“以健康为中心”的转变，为精准医疗和公共卫生安全提供强大的支撑和保障。

除医疗健康外，基因编辑技术还正为全球农业和畜牧业发展注入强劲动力。当前，全球面临气候变化、病虫害频发、土地退化等多重挑战，而传统育种手段周期长、效率低，已难以支撑可持续发展需求。借助基因编辑技术，科研人员已成功培育出耐旱水稻、抗病小麦等多种优质作物，不仅提高了农产品产量与品质，也显著增强了农业系统的韧性和适应能力。与传统转基因技术相比，CRISPR等新一代基因编辑方式不含外源基因，安全性更高，有望获得更高的公众接受度和国际市场准入机会。

与此同时，科学家正在利用基因编辑技术研究如抗疫猪、抗病毒鸡等遗传改良新品种，有望提升动物福利、降低疫病风险、提高养殖效率。未来，基因编辑还可应用于食品营养强化、减少过敏原等多个方向，深度重塑食品安全与

人民消费体验。

在生物制造领域，基因编辑技术通过对微生物或细胞工厂基因组的精准干预，可显著提升生产效率与产品质量、降低环保成本，从而加速推动传统制造向绿色、高效、精准化方向转型。例如，通过多模块代谢工程优化的大肠杆菌菌株，可显著提高缬氨酸产率，适用于动物饲料添加剂市场，是基因编辑赋能工业发酵的典型实践。

技术跃迁背后的风险

作为精准干预生命遗传信息的“分子手术刀”，基因编辑技术不仅在医疗健康、农业生产和生物制造等领域展现出广泛的应用前景，也被寄予推动生物技术变革的深切厚望。然而，这一技术并非“万能钥匙”，其快速发展的同时也伴随着一系列伦理规范与治理机制的挑战，已成为全球科技竞争和规则制定的重要前沿领域。

首先是技术本身存在脱靶风险，即编辑工具可能靶向到非目标基因位置，从而带来不可预知的生物学效应，显著增加其在临床应用中的安全隐患。其次，涉及人类胚胎或生殖细胞的可遗传编辑更被视为伦理“高压线”。

此外，大规模基因编辑还可能引发生物与生态安全隐患，一旦编辑过的生物意外释放入自然环境，可能对生态平衡带来不可逆影响。在社会层面，基因优选、基因歧视等问题也需引起重视，防止技术演变为加剧不平等的新工具。

技术创新与规范应用并驱同行

基因编辑技术的健康发展，离不开规范框架的约束与技术创新的驱动。在规范治理层面，国际社会已形成共识并积极行动。世界卫生组织（WHO）发布《人类基因组编辑管控框架》《人类

基因组编辑建议》，美国国家科学院联合多国发表《可遗传人类基因组编辑》报告，均明确了技术应用的边界、伦理原则与监管路径，严令禁止生殖系基因编辑的临床应用。我国也在不断完善治理体系，2024年发布的《人类基因组编辑研究伦理指引》，明确提出“增进人类福祉和促进社会繁荣”的治理原则，对研究资质、审查流程、信息披露、公众参与等作出具体要求，力求实现技术进步与道德责任的有机统一。

从技术迭代看，科学家正持续优化基因编辑工具，开发更高精度的新一代编辑器，并探索与人工智能、大数据的融合，以提升靶点筛选、脱靶预测、递送系统设计等能力，推动技术向更安全、可控的方向发展。在产业转化层面，需引导企业强化合规意识，建立数据安全、产品可追溯、公众沟通等机制，推动基因编辑产品高质量发展。在规范治理方面，要坚持底线思维和系统观念，统筹科研创新与伦理建设、技术进步与制度设计协同发展，推动建立全过程、全链条、全社会参与的综合监管体系，确保技术发展始终沿着可持续、可接受、可治理的轨道前行。教育领域则需同步加强科普，提升公众科学素养与风险认知能力，筑牢社会基础。

总之，面对“生物智能时代”的到来，我们需加大基础研究和原始创新投入，强化高水平人才队伍支撑，完善伦理法规与政策体系，加快关键技术和成果转化。以审慎包容、积极稳妥的态度推动基因编辑技术安全可控发展，方能在全球科技浪潮中赢得先机、把握主动，让基因编辑真正服务于人类福祉。

（作者系中国科学院动物研究所研究员）



（上接1版）秉持真实亲诚理念推进南南合作，同非洲实施携手推进现代化“十大伙伴行动”，同拉美启动“五大工程”，同阿拉伯国家构建“六大合作格局”，同太平洋岛国建设六大合作平台，宣布给予所有建交的最不发达国家和非洲国家100%税目产品零关税待遇，不让任何一个国家在世界现代化进程中掉队。

弥补短板赤字，为关键领域全球治理提供新方案。加强全球治理既要维护和完善现有机制，也需要新倡议新机制的有益补充。中国积极落实全球文明倡议，发起亚洲文明对话大会、文明古国论坛，推动联大设立文明对话国际日，构建全球文明对话合作网络，为各国文明交流互鉴搭建桥梁。促进人与自然和谐共生，提出“双碳”目标，推动达成并落实应对气候变化《巴黎协定》、《昆明—蒙特利尔全球生物多样性框架》，建立昆明生物多样性基金。加强全球公共卫生安全治理，率先驰援非洲国家抗击埃博拉疫情，积极开展抗击新冠疫情国际合作。推进国际法治领域创新，会同32个国家建立国际调解院，为高

效和平解决国际争端提供新选择新途径。推动完善人工智能全球治理，提出《全球人工智能治理倡议》，倡议成立世界人工智能合作组织，确保人工智能向善、造福全人类。

坚持共商共建共享是构建更加公正合理的全球治理体系的实践要求

历史的接力一棒接着一棒向前奔跑，人类进步事业在对时代之间的回答中一程接着一程向前迈进。今年是习近平总书记提出共商共建共享的全球治理观10周年，也是全球治理的“大年”，中国愿同国际社会一道，以纪念联合国成立80周年为契机，坚持和衷共济，勇担历史使命，共同推动全球治理体系改革完善。

完善全球治理的合作架构。坚定维护联合国权威和核心地位，支持联合国落实《未来契约》、推进改革完善。坚定支持以世界贸易组织为核心

的多边贸易体制，推动二十国集团、亚太经合组织等多边机制更好发挥作用。推进国际货币基金组织、世界银行等机构改革，扩大全球南方话语权和代表性。推动共建“一带一路”高质量发展，提升金砖国家、上海合作组织等合作机制影响力。

夯实全球治理的法治基础。毫不动摇维护联合国宪章宗旨和原则，维护国际法治权威。确保国际法和国际规则平等统一适用，反对双重标准，反对“合则用、不合则弃”，反对一切未经联合国授权、与联合国宪章精神相违背的家法帮规。弘扬权利、义务、责任相统一的国际法治精神，倡导依法行使权利、善意履行义务，以国际良法促进全球善治。

增强全球治理的行动实效。完善全球治理，重在各国起而行之，做破解难题挑战的行动派。坚持将本国利益寓于全球利益之中，把对多边主义的承诺落到实处。大国尤其要作出表率，承担大国责任、展现大国担当，为国际社会提供更多公共产品，为和平发展注入信心力量。发达国家要切实履行责任，兑现发展援助和气

候融资承诺。全球南方要坚持守望相助、联合自强，携手捍卫共同利益。

扩大全球治理的成果分享。完善全球治理要以人民的获得为目标。推动落实全球发展倡议、全球安全倡议、全球文明倡议，更好惠及不同国家、不同群体。坚持以人民为中心的发展思想，加快落实联合国2030年可持续发展议程，推动经济全球化更加开放、包容、普惠、均衡，缩小贫富差距，弥合发展鸿沟。营造公道正义、共建共享的安全格局，建设良好的安全环境。加强应对气候变化国际合作，推动全球绿色低碳转型，呵护人类赖以生存的地球家园。

乘历史大势而上，走人间正道致远。我们要更加紧密地团结在以习近平同志为核心的党中央周围，坚持习近平外交思想科学指引，高举构建人类命运共同体旗帜，践行共商共建共享的全球治理观，同各方一道推动构建更加公正合理的全球治理体系，为以中国式现代化全面推进强国建设、民族复兴伟业营造更有利外部环境，为人类和平与发展崇高事业作出更大贡献！

外籍人才是我国建设世界科技强国的重要力量之一。习近平总书记强调，要面向世界汇聚一流人才，吸引海外高端人才，为海外科学家在华工作提供具有国际竞争力和吸引力的环境条件。党的二十届三中全会明确指出，完善海外引进人才支持保障机制。这为我国新时期引进、留住、用好外籍人才，构建人才国际竞争比较优势提供了根本遵循。外籍人才不仅是连接全球智慧资源的重要桥梁，也是提升我国科技创新能力的重要引擎，在促进国际科技合作与成果转化、推动高水平教育合作与国际化人才培养等方面发挥着不可或缺的作用，是我国参与全球人才竞争、以高水平开放助力高质量发展的重要支撑力量。

在吸引外籍人才参与本国科技创新工作方面，一些科技强国展现出显著的竞争优势。美国国家科学基金会（NSF）《美国科学与工程现状分析（2024）》报告数据显示，美国的研发体系及国际竞争力高度依赖外籍人才。2021年美国所有科学与工程领域的工作人员中，外国出生的科学家和工程师占比高达19%，其中来自印度、中国的科技人才分别占29%和12%。德国学术交流中心（DAAD）《科学大都会2025》报告数据显示，德国已成为仅次于美国的第二大国际学者和研究人员集聚国。2023年，德国高校共有65511名外籍学者，占高校学者总人数的15.4%；2022年，德国四大科研机构（马普学会、亥姆霍兹联合会、莱布尼茨学会和弗劳恩霍夫协会）的外籍科研人员高达16625名，占其科研人员总人数的30%。这主要得益于美、德两国成熟的技术移民机制、开放包容的创新生态，以及从国家层面到机构层面的系统性政策和环境支持，体现了其对外籍人才的高度重视。

党的十八大以来，我国持续优化外籍人才管理服务配套机制建设，外籍人才服务保障体系更为完善。如制定出台《中华人民共和国外国人入境出境管理条例》，规范签证的签发和外国人在中国境内停留居留的服务管理，并不断优化口岸签证、过境免签、区域性入境免签等便利性政策，2024年累计签发外国人签证259.7万本、同比上升52.3%；全面实施外国人来华工作许可制度，截至2021年已累计发放外国人来华工作许可118万份；发布《外国人才签证制度实施办法》，明确外国高层次人才和急需紧缺专门人才可申请人才签证，扩大人才签证覆盖范围并延长有效期；印发《关于加强外国人永久居留服务管理的意见》、发布新版外国人永久居留身份证件“五星卡”等，进一步完善永久居留服务管理体制机制，不断拓展永居证线上线下的应用场景；制定出台外籍人员子女学校管理办法、允许公立中小学招收外籍学生等，更好满足外籍人才子女的多样化教育需求，解决人才的“后顾之忧”。截至2024年，我国国际学校数量已达972所，主要集中在上海、北京及广东等国际化程度较高的地区。

尽管我国在吸引外籍人才方面出台了一系列政策措施，外籍人才规模稳步增长，但在构建系统完善的外籍人才服务保障体系上仍面临一系列挑战，主要体现在以下几方面。一是外籍人才管理法律法规体系不完善，相关立法进程滞后。如外国人在中国工作管理条例酝酿多年未出台，使外国人来华工作管理长期缺乏专门法规依据；2020年发布的《中华人民共和国外国人永久居留管理条例（征求意见稿）》后续推进情况暂未明确；技术移民领域也缺乏专门法律法规，仅在《中华人民共和国出境入境管理法》中有相关规定，存在立法空白、制度不健全等问题。二是部门间统筹协调机制不健全，政策执行效能不够高。外籍人才服务保障职能分散于移民、人社、外交、科技、税务、教育等多个部门，在政策实施时的合力仍然不足。同时，各地区对政策理解和认定标准不统一，也增加了外籍人才的困扰。三是不同层次外籍人才服务保障不均衡，部分生活配套服务存在不足。目前我国对外国高端人才的服务保障政策较为完善，但一般性外籍人才“国民待遇”保障不足，如《外国人来华工作分类标准（试行）》存在外国高端人才（A类）标准过高、外国专业人才（B类）过泛问题，永久居留申请门槛整体偏高。此外，部分政务服务平台

缺乏英文支持、达到退休年龄时缴费不足15年导致的养老权益难以充分享受等问题，都给外籍人才在华长期稳定发展带来不便。

因此，我国在“十五五”期间加快完善外籍人才服务保障体系显得尤为关键和迫切。应坚持开放创新的理念，把外籍人才纳入人才强国战略全局统筹规划，着力构建更具国际竞争力和吸引力的人才制度体系，加快破解法律法规滞后、部门协同不足等深层次矛盾，持续提升外籍人才服务保障的水平，为建设世界重要人才中心和创新高地提供坚实支撑。

完善外籍人才在华工作与居留法律制度体系。加快制定出台外国人在华工作管理条例，提高外籍人才管理法治化水平。建立高技术人才移民制度，探索永久居留计点积分制、直通车制度，持续完善工作居留转永居机制。修订《外国人来华工作分类标准（试行）》，构建“国家通用+地方补充”的差异化准入体系。

建立高效协同的外籍人才工作管理机制。进一步明确各管理部门在外籍人才服务保障方面的职能，推动跨部门信息共享与业务协同。优化外籍人才服务有关事项审批管理流程，加强外籍人才证件审批集成。提升外籍人才在华工作生活“一站式”服务效能，打通政策落地“最后一公里”。

制定普惠且精准的外籍人才服务保障政策。开展外籍人员医疗、教育、金融、出行、住宿等服务便利化改革。加大对外籍优秀应届毕业生工作许可及居留许可支持。加快建设国际化定点医院，完善外国人才社会保险制度，为长期和中期来华工作外籍人才提供灵活的保险方案。

营造国际化、有归属感的宜居宜业环境。扩大护照在政府服务平台、电子支付、医疗、旅游等场景的应用。优化国际化科研环境，提高外籍人才参与我国科技计划项目的深度和广度，探索开展科研项目的英文申请和国际化评审。加强政策宣传，鼓励医院、银行、税务等单位编写英文服务手册。大力宣传优秀外籍人才事迹，在全社会营造爱才惜才的良好氛围。

（作者单位：科技部科技评估中心）

