



赵国屏, 分子微生物学家, 中国科学院院士, 中国医学科学院学术咨询委员会学部委员, 发展中国家科学院院士, 美国微生物科学院院士。现任国科大杭州高等研究院首席教授, 复旦大学微生物组中心主任。兼任中国生物工程学会合成生物学专业委员会名誉主任, 上海生物工程学会名誉理事长, 上海微生物学会名誉理事长。研究工作涉及微生物生理生化、基因组学、系统与合成生物学以及生物信息学等领域。曾参与启动中国人类基因组计划及相关生命“组学”研究, 克隆若干遗传病致病基因; 主持若干重要微生物的基因组、功能基因组、比较和进化基因组研究, 解析 SARS 冠状病毒分子进化机制。在细菌蛋白质乙酰化组和肠道微生物组等领域作出若干开创性工作。组建并领导中国科学院合成生物学重点实验室, 在酵母染色体重构、代谢组与代谢流量组研究、天然化合物细胞工厂制造、基因编辑技术研发等方向上, 实现重要突破。近年来, 积极参与中国科学院上海营养与健康研究所生物医学大数据中心为建设国家生物医学大数据治理体系所开展的基础性科学工作。

从“经验试错”向“理性设计”的生命科学创新逻辑演进

赵国屏

(中国科学院上海营养与健康研究所, 上海 200031)

人类与疾病的抗争长期依赖于“经验试错”的范式。进入现代科学奠基发展的19世纪中后期, 人们开始用观测、描述和实验的手段, 科学地认识感染性疾病的致病机制, 研发相应的防治手段; 从罗伯特·科赫分离鉴定致病细菌, 推动卡介苗等疫苗研发, 到亚历山大·弗莱明发现青霉素开启抗生素应用的年代——人类从20世纪中期起, 在与感染性疾病的抗争中逐渐获得了主动权。然而, 非感染性疾病的控制与治疗随着人类寿命的普遍延长很快被提上了日程。通过基因组和系统生物医学的研究, 人们虽然对疾病的“靶点”有了越来越多的认知, 但是科学家们依然需要凭借有限的观察和反复的试错, 在数百万种可能性中探寻那一种有效、安全的化合物, 再开发成可被稳定生产, 具有可接受价格的药物。进入21世纪20年代中期, 生命科学正经历一场深刻的范式重构: 生命科学与人工智能、大数据及合成生物学的深度融合, 正推动研究逻辑从“实验驱动”向“数据驱动”转变, 从“经验试错”向“理性设计”跨越。本期年终盘点旨在梳理这一转型期的关键进展, 并探讨其如何重塑人类健康的未来图景。

在基础机制与工具创新层面, 本期聚焦于如何借助新技术破解长期存在的生物学黑箱, 其范式转变的基础在于提升生命科学研究“观测手段”的维度。高通量测序、单细胞组学及空间转录组技术的广泛应用, 使生物数据的生成规模呈指数级增长^[1]。然而, 海量数据已超出人类认知的处理能力^[2]。人工智能, 尤其是深度学习模型的引入, 成为挖掘这些数据价值的关键^[3]。在基础研究领域, AI模型已展现出超越传统统计方法的预测能力, 为开展数字生命^[4]等研究提供了支撑。这表明生命科学在传统的假说导向+实验验证的“白箱模式”基础上, 发展了崭新的目标导向+数据挖掘的“黑箱模式”。

从药物研发与治疗策略的维度而言, 本期内容凸显了“精准”与“智能”的深度融合。数字化的价值在2025年的药物研发管线中得以具体体现, 本期重点关注的“虚拟临床试验”成为方法论变革的标志性成果^[5]。在多特异性抗体和抗体偶联药物(ADC)研发中, AI辅助的连接子设计显著提高了药物稳定性与治疗窗口^[6]; RNA药物借助序列优化算法, 加速了其在个性化肿瘤疫苗等领域的应用拓展^[7]; 细

胞与基因治疗(CGT)领域实现了从“改造”到“编程”的质的飞跃^[8];核药的开发拓展了诊疗一体化的新场景^[9]。这些进展共同证明了药物研发正从“试错法”向“预测与设计”的方法论转变。

生命科学的边界拓展不仅体现在数字化方面,更表现为多学科的“会聚研究”,生物与非生物技术的融合正在加速^[10]。脑机接口技术从实验室走向临床,通过解码神经信号重建运动功能,为神经退行性疾病治疗提供了全新途径^[11]。在生物制造领域,合成生物学与人工智能的结合推动了微生物“细胞工厂”的理性构建,加速了绿色生物经济的产业化进程^[12]。“设计生命”能力的提升也带来了监管与伦理层面的新挑战。合成生物产品的生物安全标准、AI辅助诊断的数据隐私保护以及脑机接口的伦理边界,要求科学界在推动技术突破的同时,同步构建更完善的监管框架^[13]。

回顾2025年,生命科学的“数智化”转型不仅是技术工具的革新,更是研究逻辑的重塑。我们期望通过本期盘点所呈现的成果,不仅能激发同行的深入思考,更能推动产学研医的实质性合作,共同应对人类健康面临的严峻挑战。

参考文献

- [1] 袁银池, 王立伟, 张爱平, 等. 人工智能与多学科融合驱动的生命科学仪器创新. *生命科学*, 2026, 38: 221–35.
Yuan YC, Wang LW, Zhang AP, et al. Innovation in life science instruments driven by artificial intelligence and interdisciplinary integration. *Chin Bull Life Sci*, 2026, 38: 221–35.
- [2] 李荣, 葛佳莹, 张学博, 等. 生物数据与知识的双向转化进展与趋势. *生命科学*, 2026, 38: 236–47.
Li R, Ge JY, Zhang XB, et al. Advances and trends in the bidirectional transformation between biological data and knowledge. *Chin Bull Life Sci*, 2026, 38: 236–47.
- [3] 曾文晔, 郑森予, 赵晓勤, 等. 生成式生物学与生物启发人工智能的进展. *生命科学*, 2026, 38: 248–67.
Zeng WY, Zheng SY, Zhao XQ, et al. Advances in generative biology and bio-inspired artificial intelligence. *Chin Bull Life Sci*, 2026, 38: 248–67.
- [4] 张博文, 江源, 郑森予, 等. 数字生命的演进历程及发展态势. *生命科学*, 2026, 38: 397–411.
Zhang BW, Jiang Y, Zheng SY, et al. Innovative advances in radiopharmaceuticals and outlook for theranostics. *Chin Bull Life Sci*, 2026, 38: 397–411.
- [5] 靳晨琦, 孟晶, 施慧琳, 等. 虚拟临床试验技术与应用态势分析. *生命科学*, 2026, 38: 268–80.
Jin CQ, Meng J, Shi HL, et al. Advances and trends in technology and application of virtual clinical trials. *Chin Bull Life Sci*, 2026, 38: 268–80.
- [6] 李伟, 刘樱霞, 陈赟, 等. 多功能抗体疗法的组合演进与突破——2025年双抗/三抗与抗体偶联药物发展态势. *生命科学*, 2026, 38: 281–93.
Li W, Liu YX, Chen Y, et al. Combinatorial evolution and breakthroughs in multi-functional antibody therapies: development trends of bispecific/trispecific antibody and antibody-drug conjugate in 2025. *Chin Bull Life Sci*, 2026, 38: 281–93.
- [7] 杨若南, 施慧琳, 王琼, 等. RNA疗法技术创新与治疗应用年度发展态势. *生命科学*, 2026, 38: 294–307.
Yang RN, Shi HL, Wang Q, et al. Annual development trends in technological innovations and therapeutic applications of RNA therapy. *Chin Bull Life Sci*, 2026, 38: 294–307.
- [8] 范月蕾, 吴雪尘, 季云, 等. 全球细胞与基因治疗研发转化与产业发展态势. *生命科学*, 2026, 38: 308–25.
Fan YL, Wu XC, Li Y, et al. Global trends in R&D translation and industrial development of cell and gene therapy. *Chin Bull Life Sci*, 2026, 38: 308–25.
- [9] 李丹丹, 陈洪梅, 庄子艾, 等. 核药创新进展与诊疗一体化展望. *生命科学*, 2026, 38: 326–39.
Li DD, Chen HM, Zhuang ZY, et al. Innovative advances in radiopharmaceuticals and outlook for theranostics. *Chin Bull Life Sci*, 2026, 38: 326–39.
- [10] 张学博, 张丽雯, 李荣, 等. 生物与非生物技术的交叉融合发展态势. *生命科学*, 2026, 38: 367–80.
Zhang XB, Zhang LW, Li R, et al. The cross-integration and development trend of biological and non-biological technologies. *Chin Bull Life Sci*, 2026, 38: 367–80.
- [11] 阮梅花, 张永娟, 范月蕾, 等. 软硬件协同驱动脑机接口技术创新与产业发展. *生命科学*, 2026, 38: 340–56.
Ruan MH, Zhang YJ, Fan YL, et al. Technological innovation and industrial development of brain-computer interfaces enabled by software-hardware synergy. *Chin Bull Life Sci*, 2026, 38: 340–56.
- [12] 江源, 杨露, 王琼, 等. 人工智能驱动的生物制造进展与趋势. *生命科学*, 2026, 38: 357–66.
Jiang Y, Yang L, Wang Q, et al. Progresses and trends in bio-manufacturing driven by artificial intelligence. *Chin Bull Life Sci*, 2026, 38: 357–66.
- [13] 朱成姝, 郑森予, 李沁, 等. 生物合成产品国内外监管实践与监管路径探讨. *生命科学*, 2026, 38: 381–96.
Zhu CS, Zheng SY, Li Q, et al. An exploration of domestic and international regulatory practices and pathways for synthetic biology products. *Chin Bull Life Sci*, 2026, 38: 381–96.