



从经验到理性: 免疫学驱动新一代疫苗研发

李华兵^{1*}, 马光辉^{2*}, 夏宁邵^{3*}

1. 重庆医科大学免疫与疾病研究院, 重庆 400016

2. 中国科学院过程工程研究所, 生物药制备与递送全国重点实验室, 北京 100190

3. 厦门大学, 传染病疫苗研发全国重点实验室, 国家传染病诊断试剂与疫苗工程技术研究中心, 翔安创新实验室, 公共卫生学院, 厦门 361102

* 联系人, E-mail: huabing.li@shsmu.edu.cn; ghma@ipe.ac.cn; nsxia@xmu.edu.cn

收稿日期: 2026-05-27; 网络版发表日期: 2026-06-22

从天花根除到脊髓灰质炎接近消灭, 疫苗在人类健康与文明进步进程中发挥了不可替代的作用. 然而, 当前及未来所面临的公共卫生挑战, 正在不断拓展疫苗学的研究边界. 高变异病原体持续演化, 新发突发传染病频繁出现, HIV, HBV, HPV等慢性持续性感染长期存在; 与此同时, 现有疫苗在免疫持久性、病原变异覆盖以及传播阻断等方面仍存在局限, 人口老龄化导致的免疫功能衰减以及全球健康公平性问题, 也进一步提高了疫苗研发的复杂性与迫切性. 传统以“分离-灭活/减毒”和“经验筛选”为核心的研发模式, 正在接近其方法学边界. 新一代疫苗研发正进入一个由免疫学深度驱动、从经验探索迈向理性设计的新阶段.

这一范式转变主要体现在四个层面. 其一, 疫苗研发目标正在由被动应对病原变化, 转向围绕保护目标主动塑造宿主免疫状态. 其二, 保护性免疫的内涵已不再局限于血清功能性抗体水平, 而更加关注黏膜屏障、组织驻留记忆T细胞、广谱T细胞应答, 以及疫苗诱导炎症反应的精细调控. 其三, 研发策略正在由抗原与佐剂的经验组合, 迈向抗原理性设计、佐剂机制驱动优化以及递送系统精准调控. 其四, 研发链条也正在由以终点保护效力为核心, 进一步走向免疫机制、有效性、安全性、可及性和真实世界效果共同构成; 临床早期免疫终点、安全性信号监测以及法规框架下

的人体评价, 已成为新一代疫苗研发不可分割的重要组成部分. 上述变化表明, 免疫学已不仅是解释疫苗作用机制的基础学科, 正在逐渐成为定义疫苗设计原则与研发路径的核心驱动力.

近年来, 免疫学研究与疫苗工程技术的持续突破, 正在不断重塑新一代疫苗研发的理论与方法体系. 系统免疫学与多组学技术使研究者得以动态解析疫苗诱导的免疫程序, 人工智能等新方法的引入, 则正在推动疫苗设计由经验试错逐步迈向可预测、可优化的理性构建. 免疫学正在从“理解疫苗为何有效”走向“决定疫苗如何设计”. 经过数十年的持续积累, 我国疫苗研发整体水平显著提升, 在重大传染病防控中发挥了重要作用, 并在多个方向取得具有国际影响力的成果. 在重组蛋白疫苗、病毒载体疫苗和核酸疫苗等领域, 国内学者持续推进基础研究与产业化探索; 在新型递送系统、佐剂及免疫激动剂等关键支撑技术方面, 也不断取得重要进展. 针对广谱流感疫苗、呼吸道病原疫苗以及HIV等长期挑战性疫苗的研究持续深化, 复制型病毒载体艾滋病疫苗等自主创新路径已进入临床评价阶段. 与此同时, 国家在生物医药与重大传染病领域的持续战略投入, 也为疫苗创新提供了重要支撑. 作为疫苗学发展的核心基础, 免疫学正在为我国疫苗自主创新体系建设提供关键科学动力. 在此背景下, 第二

引用格式: 李华兵, 马光辉, 夏宁邵. 从经验到理性: 免疫学驱动新一代疫苗研发. 中国科学: 生命科学, 2026, 56: 1569–1571

Li H B, Ma G H, Xia N S. From empirical practice to rational design: immunology-driven development of next-generation vaccines (in Chinese). Sci Sin Vitae, 2026, 56: 1569–1571, doi: [10.1360/SSV-2026-0139](https://doi.org/10.1360/SSV-2026-0139)

十八届中国科协年会设立“免疫学推动新一代疫苗研发”专题论坛, 拟围绕免疫学新认识如何转化为疫苗设计新策略开展深入研讨。论坛将聚焦抗原设计、佐剂与递送系统、黏膜与组织免疫、抗体-T细胞协同保护、神经-免疫互作、AI辅助理性设计以及重要传染病疫苗研发等议题。

在《中国科学: 生命科学》编辑部的大力支持下, 我们邀请相关领域专家学者围绕“免疫学推动新一代疫苗研发”主题撰稿, 共同组织出版本期专题。其中, 夏宁邵等人从“保护逻辑与系统设计”视角重新思考新一代疫苗策略, 强调系统免疫学、多组学与人工智能驱动下疫苗研发范式的转变; 靳津等人系统讨论神经-免疫轴对体液免疫反应的调控机制及其在疫苗学中的潜在应用; 侯百东等人提出抗原形式驱动B细胞抗体反应的新认识, 强调抗原物理特性对免疫应答路径与空间组织的重要影响; 徐建青等人围绕抗体与T细胞协同保护机制, 探讨广谱、持久抗病毒疫苗的设计策略; 张永辉等人系统分析疫苗佐剂由经验筛选走向机制驱动与免疫编程的发展趋势; 蒋升凡等人总结锰离子通过激活cGAS-STING通路发挥免疫激动作用及其在疫苗与肿瘤免疫治疗中的应用潜力; 林金钟等人回顾我国mRNA平台技术从新冠疫苗到下一代药物体系的形

成路径与持续演进; 邵一鸣等人系统梳理HIV疫苗研发面临的核心科学挑战, 并提出从免疫弱势到免疫重塑的研究思路; 何寒青等人围绕全球百日咳再现背景, 讨论新一代百日咳疫苗研发与免疫策略优化方向; 时念民等人则从法规与监管视角, 系统探讨疫苗人体安全评价的关键问题与实践挑战。本专题从基础免疫机制、疫苗设计原理到平台技术、重大传染病防控及临床评价, 多层次展现了免疫学引领疫苗学发展的最新进展。其中, 疫苗人体安全评价所关注的关键科学问题, 最终同样指向对疫苗诱导免疫反应的深入理解, 与本专题整体主线形成呼应。

回顾疫苗学发展历程, 从经验性的减毒与灭活疫苗, 到重组蛋白疫苗、病毒载体疫苗, 再到以mRNA为代表的核酸疫苗, 每一次重大跨越都离不开免疫学认识的深化。今天, 免疫学不仅在解释疫苗为何有效, 更在引导疫苗应当如何被设计。我们正处于新一轮疫苗学范式变革的重要节点: 疫苗研发正在由经验积累迈向系统设计, 由被动响应迈向主动构建。我们期待, 本专题能够为我国疫苗学与免疫学领域研究者提供有益参考, 推动更广泛的学术交流与协同创新, 为应对重大公共卫生挑战、保障人民生命健康贡献新的科学思路与技术路径。

From empirical practice to rational design: immunology-driven development of next-generation vaccines

LI HuaBing^{1*}, MA GuangHui^{2*} & XIA NingShao^{3*}

¹ Institute for Immunology and Pathogenesis, Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China

² State Key Laboratory of Biopharmaceutical Preparation and Delivery, Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

³ State Key Laboratory of Vaccines for Infectious Diseases, National Institute of Diagnostics and Vaccine Development in Infectious Diseases, Xiang An Biomedicine Laboratory, School of Public Health, Xiamen University, Xiamen 361102, China

* Corresponding authors, E-mail: huabing.li@shsmu.edu.cn; ghma@ipe.ac.cn; nsxia@xmu.edu.cn

doi: [10.1360/SSV-2026-0139](https://doi.org/10.1360/SSV-2026-0139)



李华兵, 重庆医科大学教授、副校长, 免疫与疾病研究院院长. 国家杰出青年科学基金获得者、国家重点研发计划首席科学家. 研究方向为RNA修饰在免疫细胞中的功能及其在肠道炎症和肿瘤中的作用与机制, 相关成果发表于*Nature*, *Science*, *Nature Immunology*, *Immunity*等学术期刊. 主持国家重点研发计划、国家杰出青年科学基金等项目. 入选国家自然科学基金优秀青年科学基金项目(海外)、上海市“东方学者”特聘教授、上海市卫生健康学科带头人、重庆市首席专家工作室、第十一届树兰医学青年奖、亚太优秀青年学者奖.



马光辉, 中国科学院院士, 世界科学院院士, 中国科学院过程工程研究所研究员, 美国医学与生物工程院(AIMBE)Fellow, 国家生化工程技术研究中心(北京)主任. 国家杰出青年科学基金获得者, 国家自然科学基金委员会创新研究群体首席科学家. 研究方向为生物微球和微囊的制备及其在医药工程中的应用, 研究和开发用于生化分离、药物载体、免疫佐剂(疫苗递送系统)等创新产品. 曾获国家技术发明二等奖、北京市科学技术一等奖、中国化工学会科学技术奖基础研究成果奖一等奖、中国颗粒学会自然科学奖一等奖、中国石油和化学工业联合会技术发明一等奖、侯德榜化工科技创新奖、“中国科协全国优秀科技工作者”等.



夏宁邵, 中国工程院院士, 厦门大学公共卫生学院教授、国家传染病诊断试剂与疫苗工程技术研究中心主任、传染病疫苗研发全国重点实验室主任、翔安创新实验室主任. 长期从事疫苗和诊断试剂的创新与转化应用研究, 主持研制并转化上市全球首个戊肝疫苗、全球首个鼻喷流感病毒载体新冠疫苗、首个国产HPV二价疫苗、首个国产HPV九价疫苗、全球首个艾滋抗体尿液自检试剂等创新产品. 荣获国家技术发明二等奖、国家科技进步奖二等奖、全国创新争先奖、中国专利金奖等奖励.