

引用格式: 刘欣宇, 王芳, 席亮. 中国生物医药技术国际合作态势与对策. 中国科学院院刊, 2025, 40(11): 2061-2075, doi: 10.3724/j.issn.1000-3045.20250604001.

Liu X Y, Wang F, Xi L. Evolution of international collaboration in China's biomedical technology and policy implications. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2025, 40(11): 2061-2075, doi: 10.3724/j.issn.1000-3045.20250604001. (in Chinese)

中国生物医药技术 国际合作态势与对策

刘欣宇^{1,2} 王芳^{1*} 席亮³

1 中国科学院科技战略咨询研究院 北京 100190

2 中国科学院大学 公共政策与管理学院 北京 100049

3 中国科学院 学部工作局 北京 100190

摘要 在科学技术快速迭代与地缘科技竞争加剧的背景下, 生物医药领域的国际合作趋势成为学者、管理者 and 政策制定者关注的重点。文章基于2002—2023年全球生物医药领域国际合作专利数据, 采用专利计量与社会网络分析方法, 系统分析全球及中国在生物医药领域的合作特征与演化规律。研究发现: 中国正转变为国际技术合作的关键枢纽, 在博弈加剧背景下经历战略性再平衡; 其国际合作重点从传统制剂转向精准靶向抗体药物技术, 但仍面临平台技术、基础药物化学等领域技术积累挑战; 而中美合作以共识驱动的市场导向为特征, 尚未建立长期互补和平台协同的合作格局。文章深化理解我国生物医药技术国际合作网络演进规律, 为制定高水平科技开放合作政策提供参考。

关键词 生物医药技术, 国际合作, 专利分析, 社会网络分析, 中美合作

DOI 10.3724/j.issn.1000-3045.20250604001

CSTR 32128.14.CASbulletin.20250604001

生物医药技术作为新一轮全球科技革命与产业变革的新引擎, 已上升为多国科技与经济竞争的战略制高点。中国自“863计划”起将生物技术列为重点部署领域, 近年来“健康中国2030”规划纲要、《中华

人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》、“健康中国3.0”战略及党的二十届三中全会进一步明确其国家战略高技术的重要地位, 生物医药产业的发展被提升到前所未有的

*通信作者

资助项目: 国家自然科学基金面上项目(72274191), 国家社会科学基金重大项目(24&ZD051)

修改稿收到日期: 2025年10月25日

高度。

生物医药领域因其高技术、高投入和高风险等特征，单一创新主体难以独立完成从基础研究到市场转化的全过程。长期以来，我国生物医药创新高度依赖跨国数据共享与资源流动^[1,2]。近年来，美国强化“逆全球化”“去中国化”倾向，将生物经济发展战略从国内行政部门合作和府会合作拓展到国际盟友合作，打造技术、原材料和数据跨境流动规则的“小院高墙”^[3]。2025年4月，美国国立卫生研究院全面禁止中国、俄罗斯等国访问其核心医学数据库；随后重申需要与美方“最亲密的”盟友合作共同“守卫”生物技术^①。如此泛化国家安全概念的数据封锁与科技“打压脱钩”，削弱了全球科研合作的基础信任。在此背景下研究生物医药领域技术国际合作的态势、理解我国生物医药技术国际合作存在的问题具有重要的现实意义。

生物医药作为知识和研发密集型产业，前沿技术发展高度依赖于知识产权的保护，各创新主体多通过专利寻求技术保护和获取垄断利润，因此专利是表征技术发展与创新的重要指标^[4]。本文以专利为研究对象（数据来源为Incopat数据库），采用专利计量和社会网络分析方法，探讨全球生物医药技术发展态势、合作网络的结构、空间分布、发展脉络和演进趋势，识别中国在全球合作网络中的结构性位置与功能角色演变趋势，为我国生物医药领域发展政策制定提供启示与建议。

1 全球生物医药专利申请及合作态势

近年来，全球生物医药专利申请总量整体维持在较高水平，2012年后快速上升，但合作专利申请趋势明显滞后于整体增长。由图1可见，2002—2007年间，

国际合作专利占比复合年均增长率高达21.62%；2007—2010年趋于稳定；2010年前后，该领域进入短暂的技术迭代真空期，原有的基因测序、生物芯片等技术逐步成熟且合作项目完成转化，而如CRISPR、CAR-T等新一代突破性技术尚未形成广泛合作^[5,6]。2011年后，跨国专利合作占比增速放缓，并在2012年后开始下降，特别在新型冠状病毒大流行后期，受地缘政治重构与供应链本土化政策影响，传统的跨国研发平台、联合实验室等合作载体弱化，部分国家和地区的创新生态更依赖合资企业、技术授权等隐性协作^[7]，国际合作专利占比降低至1.55%的历史低位。

2002—2023年，中国跃升为生物医药专利申请大国，美国仍是其最重要合作伙伴。如图2所示，中国生物医药专利申请在2002—2023年间呈现波动上升的状态，实现12.13%的复合年均增长率，显著高于同期全球平均水平1.17%，2023年合作专利占比超过15%，成为全球创新网络的重要参与者。而美国在2010年后增速持续放缓，全球申请占比在2023年降至9.57%，合作专利占比降为65.6%，合作主导地位相对稳定但渐趋收缩。中美两国合作专利数及占比自2006年起快速增长，至2015年前后达到顶峰，占比接近12%（图2），占中国对外合作专利的比重一度超过80%，近年来虽有所下降，至2023年仍维持在约50%的高位，远高于美国与任何单一国家的合作比例^②。

2 国际合作关键技术领域变化

2.1 合作热点由基因检测向合成生物治疗导向技术转移

从领域层面看，全球生物医药技术合作持续深

① National Security Commission on Emerging Biotechnology. Charting the future of biotechnology: An action plan for American security and prosperity. (2025-04-08)[2025-05-08]. www.biotech.senate.gov/final-report.

② 下文分析以2004—2006年为基期，覆盖20年时间跨度，聚焦近期趋势，限于篇幅未展示中间年份的结果。

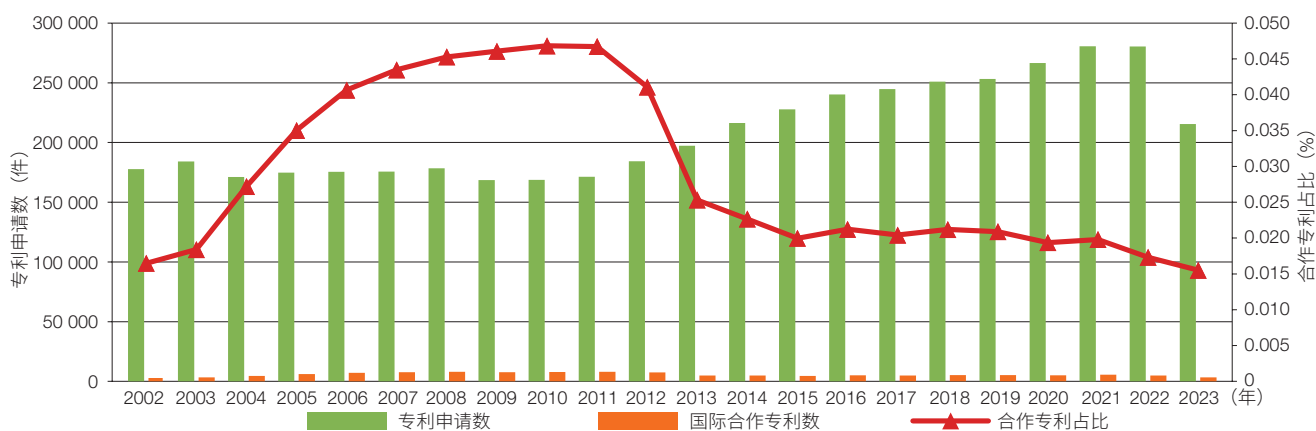


图1 2002—2023年全球生物医药领域专利申请态势

Figure 1 Global patent filing trends in biomedical field from 2002 to 2023

将2002年作为专利检索起始年份，以确保数据的可获得性与时效性

The analysis adopts 2002 as the starting year for patent retrieval to ensure both the availability and the contemporaneity of the data.

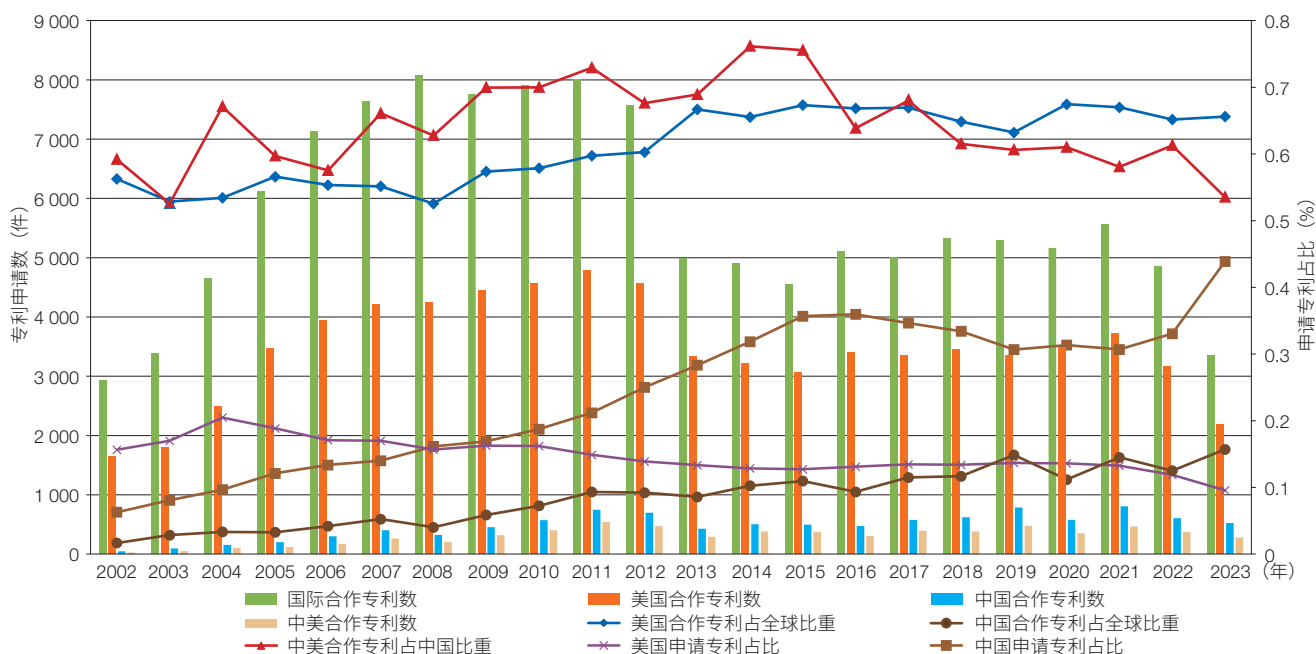


图2 2002—2023年中美两国在生物医药领域合作专利申请态势

Figure 2 Patent filing trends of China-U.S. collaboration in biomedical field from 2002 to 2023

化。特别是在单克隆抗体、疫苗、生物制剂、基因编辑及抗肿瘤治疗等前沿技术方向上表现尤为突出(图3)^③。抗体与免疫球蛋白相关技术始终是全球共识性

攻坚方向(图3、表1和2)，疫苗及免疫调节类制剂的合作规模也逐步扩大，全球重大公共卫生事件则进一步强化了该领域的核心地位与技术关联度。

③ 本文所涉及的所有合作技术领域均基于相关合作专利的国际专利分类号整理与排序，国际专利分类(IPC)领域的中文描述依据国家知识产权局发布的《国际专利分类表(2025.01版)》整理。

同时,随着合成生物学等前沿技术的发展,国际合作重心逐步向基因治疗和个性化医疗等方向转移。数据显示,合成生物领域国际合作专利^④占比稳定维持在15%—19%之间,以基因编辑技术(如CRISPR)为代表的合成生物技术是国际研发合作的热点,在2018—2023年间始终位列全球合作技术前5位;抗肿瘤药物的合作热度亦显著上升(排名第4位),这与Graul和Sorbera^[8]、孙雪林等^[9]的结论一致,其中通过基因工程改造的“细胞工厂”开发与制备抗肿瘤药物等是合成生物技术的重要应用。相比之下,基因检测等应用广泛、趋于成熟的领域在合作结构中的权重有所下降,未能进入最新一期全球合作的前5名。

作为生命科学研究的新范式,人工智能(AI)在生物医药领域加速融合^[10],相关国际合作专利数量呈现“W型”波动^⑤,2021—2023年在合作专利的比例从1.13%提升至1.83%。尽管人工智能在药物发现、蛋白质结构预测和临床辅助诊断等方面日益发挥重要作用,但主要作为赋能技术以算法、数据或平台工具形式与生物制药技术融合,其在专利自身的国际专利分类(IPC)中往往不具有显性标签,因此需进一步结合引用专利与关键词,识别其在生物医药领域的赋能作用。

2.2 各国技术路径加速分化,合作领域呈现差异化布局

各国技术布局与合作重点的差异化反映出其在全球生物医药产业链中的角色定位与战略选择。以2021—2023年技术热点分布对比分析(表1)为例,美国保持在高端创新药物研发与生物技术领域的先发优势,其中合成生物领域合作专利在全球同类专利的占

比约为69%,人工智能相关生物医药合作专利占比超过40%,在人工智能药物开发平台构建和合成生物设计规则制订方面均占据主导,技术布局更加多元;中国在模仿创新的基础上快速追赶,在单抗技术甚至前沿技术整体布局上紧跟美国,积极推进人工智能制药与合成生物制造关键技术研发^[11],并围绕合成化合物、肽类化合物及多种抗体亚类等多领域进行部署,尽管合成生物领域专利数量领先,2023年相关专利在全球占比为58%,但跨国合作专利在全球同类专利占比仅为12%;德国、瑞士、英国等国围绕遗传工程、非编码核酸调控、靶向检测、核酸递送等方向的技术合作比重提升;印度的合作则更倾向于技术落地与产业转化的实际考量,涉及配制剂形态优化、传统杂环类小分子药物开发及冠状病毒疫苗技术,在仿制药和广谱药品市场等既有优势的基础上逐步拓展至单克隆抗体等高端生物医药领域。

2.3 中国合作模式从传统制剂向精准靶向转型,以抗体药物技术主导

近20年来,中国生物医药技术的主要合作领域经历从通用检测与制剂技术向精准治疗和复杂分子结构设计演进的战略升级(表2)。^①抗体类技术持续主导各阶段中国对外技术合作。“含有抗受体、细胞表面抗原或细胞表面决定因子的抗体或免疫球蛋白”自2015—2017年稳居合作技术首位,占比由0.15%上升至7.85%,单克隆抗体技术领域专利申请量实现200%增长。^②核酸采样与微生物分离类技术在2004—2006年占比达6.26%,后续年份虽有所回落,但在新冠肺炎疫情期间再次活跃。中国在该领域的技术积累与面对突发公共卫生事件的迅速响应能力,为国际检测援

④ 本文界定的合成生物学专利国际专利分类号为C12N*(微生物、酶与基因工程)、C12P*(代谢产物合成)、C12Q*(生物检测)、C07H*(核酸化合物)及C40B*(组合化学方法)。但鉴于合成生物学领域边界较为模糊,通常需结合关键词检索以辅助确认,从而提高专利范围的准确性和覆盖度。

⑤ 本文界定的人工智能专利涵盖IPC分类号:G06*(计算机技术)、G16B*(生物信息技术)、G16C*(药物材料)、G16H*(医疗健康信息系统)、G10L*(语音辅助医疗)。

助和治疗合作提供了重要支撑。

中国在精准医学、肿瘤免疫等前沿方向的跨国合作日益加强，合作技术路径逐渐由广谱通用型研究转向高度专一的靶向治疗与分子工程，合作模式向高附加值与精准化方向演进。2021—2023年，新型药物分子和递送系统（如喹啉类、吡啶类等具有特定结构特征的稠环化合物）、合成双层载体、肽类药物进入高频合作领域；“针对肿瘤细胞特异性抗原或标志物的抗体或免疫球蛋白”也跻身中国前5大技术合作领域。中国在全球药物临床试验中的参与度显著提升，2024年中国新启动临床试验数量较2019年增长210%，肿瘤试验领域占据全球39%的份额^⑥，与美国形成“双极格局”。

3 国际合作网络演化

3.1 全球生物医药领域国际合作的时空演化网络

(1) 全球创新网络规模与活跃度保持相对稳定，合作结构过渡为松散连接形态。^① 全球生物医药领域的专利合作网络规模呈现先下降后增长的趋势，并由集中化结构逐步演变为更为分散、多中心的协作网络。对比网络结构指标（表3）可见，尽管合作专利总量和网络密度有所下降，但网络节点数与合作关系数整体上涨，体现生物医药产业链国际分工合作的态势，整体网络规模与创新合作主体活跃度暂未受到美国科技外交遏制政策的明显影响，具备较强的稳定性与延续性。^② 全球生物医药合作始终由少数核心国家主导，合作结构呈现“核心区高度凝聚-边缘区弱连接”的特征（表4）。虽然国际合作网络核心区规模不断扩展（节点数占比由3.64%提升至8.62%），但关系

密度、平均度和聚类系数3个指标不同程度的下降或波动，表明合作网络由集中式结构过渡为选择性捆绑、相对松散连接的形态，主导国家的扩展并未带来等比例的协同增强，全球合作仍集中在有限的高频互动关系之中。此外，平均路径长度由2.092增长至2.213，显示出网络资源配置和信息传输效率降低，核心区与边缘区之间的互动走弱，这可能源于核心技术壁垒及标准体系割裂两大瓶颈，也与生物医药技术体系复杂性增强、研发主体多元化、及跨区域跨学科协同模式的兴起密切相关。

(2) 全球生物医药创新合作主体趋于多中心化，新兴经济体融入全球创新体系^⑦。^① 全球生物医药专利合作网络聚类结构演化特征动态（图4）显示，美国始终占据全球合作网络的核心地位，并与德国、法国、英国、瑞士等国形成稳定且紧密的合作体系。他们凭借雄厚的科研基础、资源配置优势与系统性政策支持，在技术研发与知识扩散过程中持续发挥辐射与吸附功能，有力带动全球创新要素汇聚，巩固其国际创新网络中的主导地位，呈现显著的“马太效应”，并推动形成地缘技术联盟。^② 模块化指标逐步下降至后期接近于0，表明原有网络中部分节点的合作偏好分组自2015年起几乎完全消失，网络的连接方式逐渐趋于均匀化，国与国之间不再形成稳定合作“圈层”。从多强并立的初始格局，到第二阶段以“美国、德国、瑞士”引领的“三角结构”，美国、德国、瑞士、法国、英国为代表的核心节点逐步融合，中国、印度、俄罗斯等新兴经济体靠近核心圈层（表6），合作模式亦由区域向全球过渡，标志着全球化创新网络构建下多边合作全面

⑥ Liu B, Slusarczyk M. Fueling global pharma pipelines: The rise of China's innovations. (2025-02-06)[2025-05-29]. <https://www.simon-kucher.com/en/insights/fueling-globalpharma-pipelines-rise-chinas-innovations>.

⑦ 本文界定的新兴经济体(emerging economies)指未达到发达经济体标准,但正在经历快速工业化、市场化和全球化进程的经济体。根据国际货币基金组织(World Economic Outlook, 2025)的界定,这些经济体包括中国、印度、俄罗斯、巴西、南非、墨西哥、印度尼西亚、土耳其、泰国、马来西亚等。

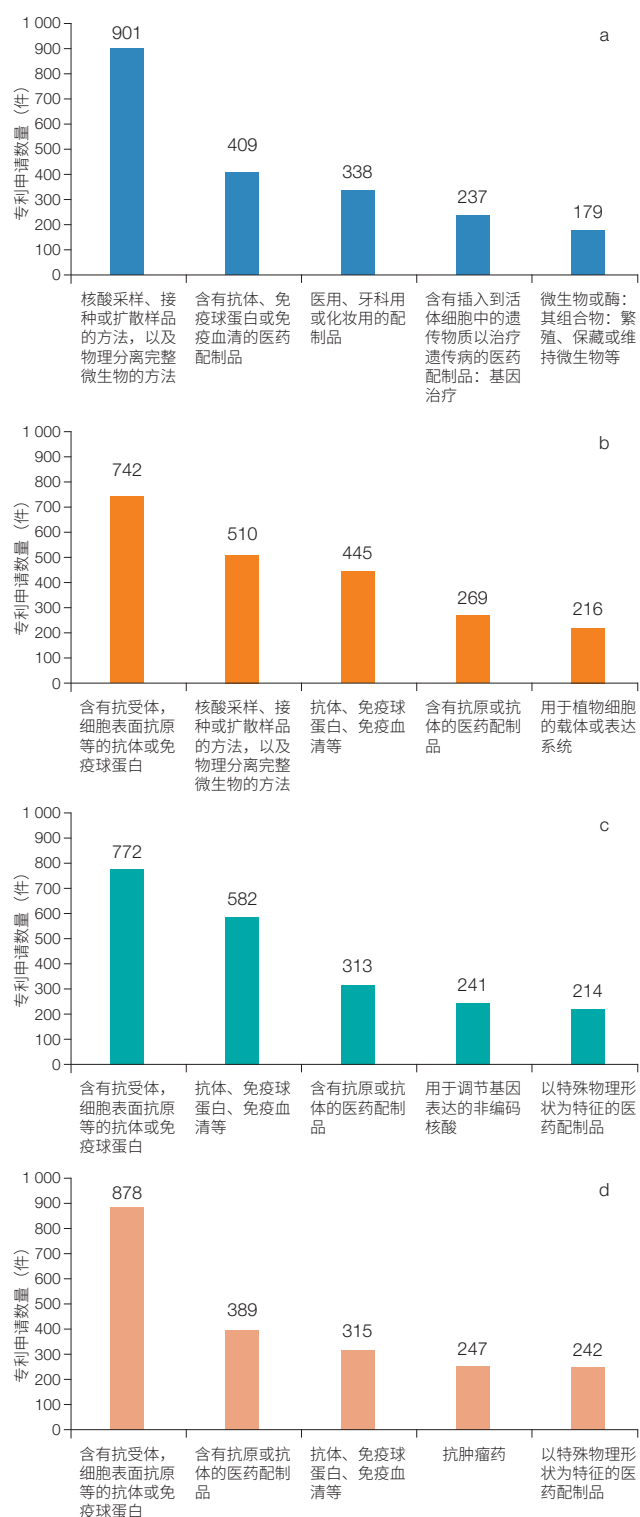


图3 全球生物医药合作专利数量排名前5位的关键技术领域
Figure 3 Top 5 key technological fields of global biomedical collaborative patents

(a) 2004—2006 年；(b) 2015—2017 年；(c) 2018—2020 年；(d) 2021—2023 年

(a) 2004—2006; (b) 2015—2017; (c) 2018—2020; (d) 2021—2023

兴起。

(3) 美国长期主导国际合作，中国跃升为关键枢纽国家。① 美国在全球生物医药合作网络中表现出最广泛的连接能力、最强的中介桥梁作用及最高的网络可达性。中心性指标动态分析表明（表5），其在各阶段3类中心性指标上均稳居首位。德国、英国、法国、瑞士、荷兰、比利时、加拿大等国显示出较强的合作连接能力；其中，德国、法国自2015年以来中介中心性显著提升，逐渐承担更多的桥接性合作角色。2021—2023年，法国、英国、德国、中国等国的3类中心性指标相对接近，全球生物医药合作网络呈现出更强的去中心化趋势，网络韧性与多样性增强。② 中国在全球合作网络的中介作用持续提升，3类中心性指标稳步提高，由边缘参与者转变为链接多国和跨领域知识流的关键枢纽（表6）。中国以庞大的市场规模、原料药产能和日益提升的创新能力，成为全球医药产业链中的关键一环。而随着全球合作网络的成熟和技术路径的高度整合，部分新兴经济体的中介功能弱化，在技术深度不足、合作网络耦合度不高等结构性瓶颈下难以持续嵌入核心技术网络。

3.2 中美生物医药领域国际合作态势

(1) 中国在美国合作伙伴中地位逐步上升，国际合作格局向多元化、韧性化发展。尽管面临政策限制与战略博弈，短期内中美双边合作仍展现出较强的韧性。从合作国别结构来看，中国在生物医药领域高度依赖与美国的技术合作，近年来与美国合作专利申请占比持续超过50%（表7）。与此同时，中国的合作格局呈现多元化趋势，经历了由“美日英发达国家主导”向“地区多元+新兴经济体并重”的结构性转变，与美国主要科技盟友如英国、法国、德国的合作占比普遍下滑，爱尔兰、韩国等国成为新兴合作伙伴。特别是近年来，中国技术合作的地理版图向南亚、中亚和中东等区域拓展，2021—

表1 2021—2023年部分国家生物医药排名前5位的合作技术领域(IPC细分到大组级)
Table 1 Top 5 collaborative technological fields in biomedical technology in selected countries
from 2021 to 2023 (IPC subclass level)

排名	美国	中国	德国	瑞士	英国	印度
1	含有抗受体,细胞表面抗原或细胞表面决定因子的抗体或免疫球蛋白	含有抗受体,细胞表面抗原或细胞表面决定因子的抗体或免疫球蛋白	含有抗受体,细胞表面抗原或细胞表面决定因子的抗体或免疫球蛋白	含有抗受体,细胞表面抗原或细胞表面决定因子的抗体或免疫球蛋白	含有抗受体,细胞表面抗原或细胞表面决定因子的抗体或免疫球蛋白	针对冠状病毒科的疫苗或医药配制品
2	含有抗体、免疫球蛋白或免疫血清的医药配制品	含有5—11个氨基酸的肽及其衍生物	利用酶或微生物的生物活性进行化学或生物化学反应检测方法和技术	含有抗体、免疫球蛋白或免疫血清的医药配制品	用于改性抗体、免疫球蛋白或其片段的化合物或方法	含酮基的药物活性化合物(酮类)
3	用于调节基因表达的非编码核酸	吡啶、苯并咪唑类邻位稠环结构化合物	含有抗体、免疫球蛋白或免疫血清的医药配制品	利用酶或微生物的生物活性进行化学或生物化学反应检测方法和技术	利用核酸或寡核苷酸的特定序列进行检测或鉴定的方法	吡咯啉类含有3个或更多个杂环的化合物
4	含有淋巴细胞(包括B细胞、T细胞、自然杀伤细胞)或其激活状态(如干扰素激活或细胞因子激活的淋巴细胞)的医药配制品	含有抗体、免疫球蛋白或免疫血清的医药配制品	含球虫属抗原医药配制品	用于改性抗体、免疫球蛋白或其片段的化合物或方法	分离、制备或纯化DNA或RNA的方法	含分枝杆菌属医药配制品
5	针对RNA病毒的抗体或免疫球蛋白	针对肿瘤细胞特异性抗原或标志物的抗体或免疫球蛋白	将外来DNA稳定地引入染色体中的技术	针对动物或人来源物质的抗体	制备用于分析的核酸,例如用于聚合酶链式反应(PCR)分析	含有抗受体,细胞表面抗原或细胞表面决定因子的抗体或免疫球蛋白

2023年巴基斯坦、沙特阿拉伯、印度尼西亚、阿联酋、乌兹别克斯坦、斯里兰卡等共建“一带一路”国家开始出现在中国生物医药合作网络边缘。尽管目前在合作强度、技术基础和制度对接方面仍处于初级阶段,但中国已展现出日益增强的跨国合作独立组织能力,构建更加多元、稳健、抗风险的合作网络,以应对地缘政治不确定性和技术脱钩风险。相比之下,美国的国际合作主要集中在传统科技强国,合作排序较为稳定,总体呈现出“高端稳定、欧洲主导、亚洲崛起”的局面(表8)。瑞士、德国、英国始终是最核心的合作伙伴。同时,美国前五大

合作国的占比分布相对均衡,有助于规避对单一合作方的依赖风险,而与中国合作专利的占比持续上升至8.86%,接近传统合作伙伴英国的水平。

(2) 中美两国合作聚焦短期中游技术互补,缺乏长期战略与平台上游工具协同。① 中美合作领域偏重临床短期的技术互补应用与快速转化,以共识驱动的市场导向为特征,并未形成长期科技互补的系统性战略联动。中美两国合作高度集中于“针对肿瘤细胞标志物的抗体”“抗受体抗体的医药配制品”等为代表的生物制剂临床转化、抗体工程优化、剂型设计与工艺创新等产业链中游研发环节(表9),

表2 2004—2023年四阶段中国生物医药排名前5位的合作技术领域及占比(IPC细分到大组级)
Table 2 Top 5 collaborative technological fields and their proportions in China's biomedical sector across four stages from 2004 to 2023 (IPC subclass level)

排名	2004—2006年		2015—2017年		2018—2020年		2021—2023年	
	领域	占比	领域	占比	领域	占比	领域	占比
1	核酸采样、接种或扩散样品的方法,以及物理分离完整微生物的方法	6.26%	含有抗受体,细胞表面抗原或细胞表面决定因子的抗体或免疫球蛋白	2.97%	含有抗受体,细胞表面抗原或细胞表面决定因子的抗体或免疫球蛋白	6.91%	含有抗受体,细胞表面抗原或细胞表面决定因子的抗体或免疫球蛋白	7.85%
2	医用、牙科用或化妆用的配制品	2.75%	核酸采样、接种或扩散样品的方法,以及物理分离完整微生物的方法	2.71%	含有抗体、免疫球蛋白或免疫血清的医药配制品	3.38%	含有5-11个氨基酸的肽及其衍生物	3.95%
3	含有抗体、免疫球蛋白或免疫血清的医药配制品	2.44%	喹啉(苯环+吡啶环)类邻位稠合结构化合物	2.71%	核酸采样、接种或扩散样品的方法,以及物理分离完整微生物的方法	2.62%	吡啶、苯并咪唑类邻位稠合结构化合物	2.92%
4	微生物或酶;其组合物;繁殖、保藏或维持微生物;变异或遗传工程;培养基	1.68%	含有抗体、免疫球蛋白或免疫血清的医药配制品	2.52%	合成的双层载体	2.52%	含有抗体、免疫球蛋白或免疫血清的医药配制品	2.54%
5	借助于测定材料的化学或物理性质来测试或分析材料	1.37%	吡啶、苯并咪唑类邻位稠合结构化合物	1.74%	用于植物细胞的载体或表达系统	1.92%	针对肿瘤细胞特异性抗原或标志物的抗体或免疫球蛋白	2.22%

表3 2004—2023年四阶段全球生物医药合作专利网络指标动态
Table 3 Dynamics of network metrics for global biomedical collaborative patents across four stages from 2004 to 2023

时间(年)	合作专利数(个)	节点数(个)	合作系数(个)	网络密度	平均度	聚类系数	平均路径长度
2004—2006	17 906	118	738	0.107	12.508	0.774	2.092
2015—2017	14 650	109	568	0.067	8.672	0.684	2.171
2018—2020	15 774	110	573	0.096	10.418	0.708	2.194
2021—2023	13 755	116	597	0.090	10.293	0.726	2.213

表4 2004—2023年四阶段全球生物医药合作专利网络密度指标动态
Table 4 Dynamics of network density metrics for global biomedical collaborative patents across four stages from 2004 to 2023

时间(年)	核心区节点数(个)	核心区关系密度	核心-边缘关系密度	边缘区关系密度
2004—2006	6	472.133	18.688	0.537
2015—2017	4	861.333	21.438	0.517
2018—2020	4	688.833	22.927	0.699
2021—2023	10	208.400	5.326	0.120

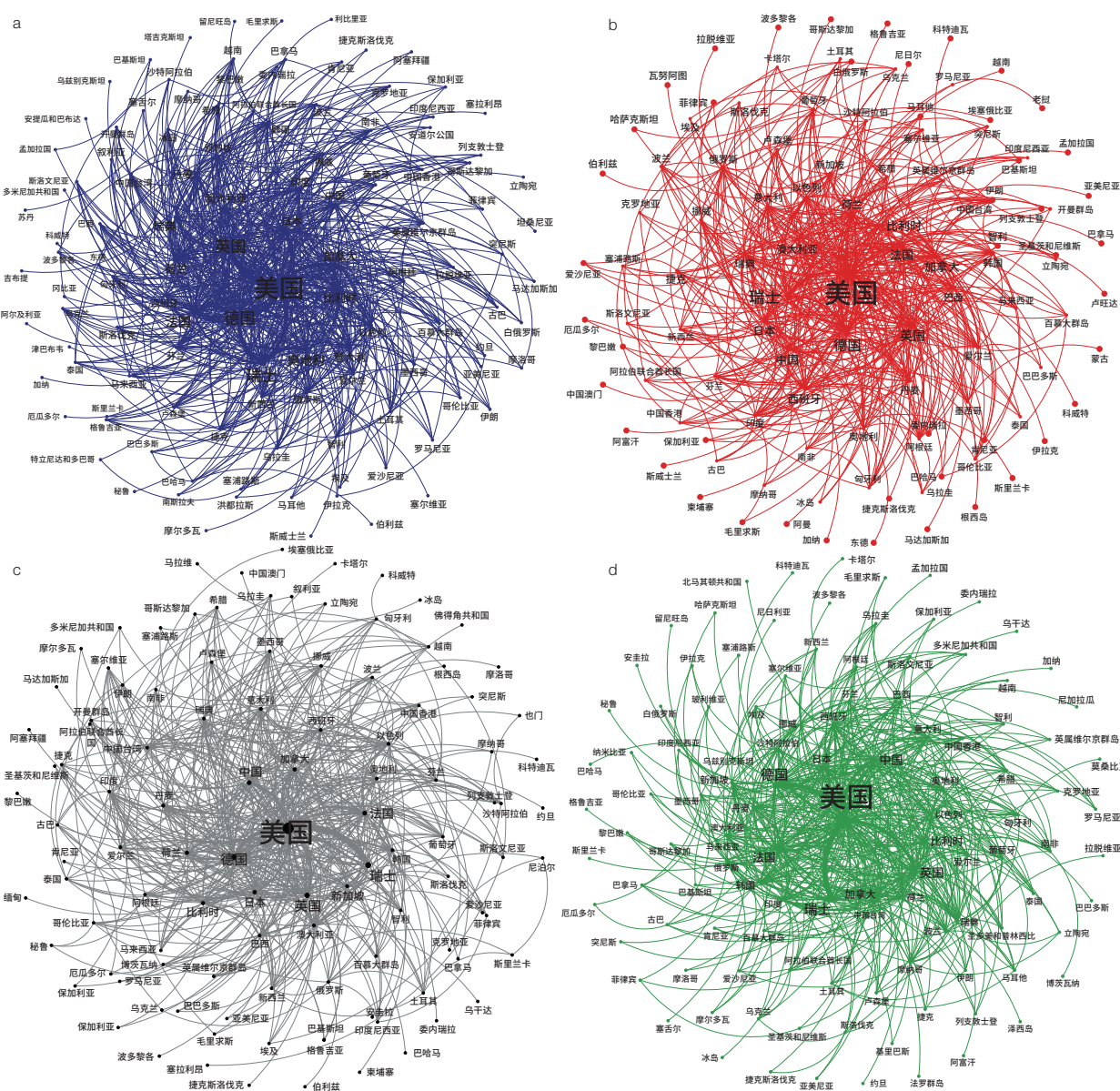


图4 全球生物医药技术合作网络聚类

Figure 4 Clustering of Global Biomedical Technology Collaboration Networks

(a) 2004—2006年; (b) 2015—2017年; (c) 2018—2020年; (d) 2021—2023年

(a) 2004-2006; (b) 2015-2017; (c) 2018-2020; (d) 2021-2023

属于临床前-临床阶段在已有靶点基础上的功能性改造和应用性成果。这一合作结构部分源于国际政治环境的掣肘，但更深层次源于中国本土制度环境约束，尤其在融资支持、成果转化、监管审批方面的制度障碍，导致高潜力原创性技术因难以在国内有效落地而流向海外^[12]，削弱了中国在全球创新链中

的源头参与度。② 相较之下，美德、美英、美瑞的技术合作（表9）显示出在各自专长领域内战略互补和平台协同。例如，美国和英国合作侧重核酸分析、RNA测序、PCR等分子诊断与检测平台；美国 and 瑞士合作涉及非编码核酸、RNA病毒抗体等感染与基因调控领域；美国和德国合作拓展至螺稠合结构化

表5 2004—2023年四阶段全球生物医药合作专利网络的关键节点演化

Table 5 Evolution of key nodes in the global biomedical cooperation patent network across four stages from 2004 to 2023

时间(年)	点度中心性排序	中介中心性排序	接近中心性排序
2004—2006	美国	美国	美国
	德国	德国	德国
	英国	英国	英国
	法国	法国	法国
	瑞士	日本	瑞士
	日本	丹麦	加拿大
	加拿大	加拿大	日本
	比利时	比利时	比利时
	荷兰	韩国	荷兰
	中国	瑞士	中国
2015—2017	美国	美国	美国
	德国	法国	德国
	英国	德国	英国
	法国	中国	法国
	加拿大	英国	加拿大
	瑞士	加拿大	瑞士
	中国	俄罗斯	中国
	西班牙	日本	日本
	日本	巴西	西班牙
	荷兰	澳大利亚	荷兰
2018—2020	美国	美国	美国
	德国	法国	德国
	法国	德国	法国
	英国	英国	英国
	西班牙	西班牙	加拿大
	加拿大	巴西	中国
	中国	瑞士	西班牙
	瑞士	比利时	日本
	日本	加拿大	荷兰
	荷兰	俄罗斯	瑞士
2021—2023	美国	美国	美国
	法国	法国	法国
	英国	英国	英国
	德国	德国	德国
	中国	中国	中国
	西班牙	西班牙	日本
	加拿大	日本	瑞士
	日本	加拿大	加拿大
	瑞士	瑞士	奥地利
	韩国	韩国	丹麦

合物、水解酶等基础药物化学，表现出更强的基础化合物筛选、前沿基因编辑与平台工具开发等源头创新能力。这种合作领域的差异显示中国当前仍以“追赶型合作者”参与全球生物医药技术合作，也凸显出欧美国家在平台性与基础性技术领域对全球技术创新的引领。

4 结论与建议

4.1 研究发现

(1) 中国正转变为国际技术合作的关键枢纽，在博弈加剧背景下经历战略性再平衡。① 全球生物医药创新合作网络整体规模与活跃度保持相对稳定，并由集中化转向多中心、松散连接结构，网络边界日益模糊，技术壁垒和体系割裂正在限制全球资源配置效率。合作网络核心区域仍由少数发达国家主导，尤其是美国、瑞士、德国等传统创新强国通过深化国际协作推动技术外溢。② 中国逐渐从“追赶型合作者”转变为链接多国、跨领域知识流的关键枢纽。尽管面临美方技术脱钩政策，中国在全球创新体系中的嵌入程度依然稳固，中西方合作在博弈加剧背景下正经历战略性再平衡，并正加快扩展与新兴经济体和共建“一带一路”国家合作，推动构建更加多元、稳健且具韧性的全球合作网络。

(2) 中国国际合作领域以抗体药物技术为主导，从传统制剂转向精准靶向。① 全球合作热点已由早期的基因检测技术逐步转向以抗体药物、疫苗和基因编辑为代表的合成生物治疗导向技术，高端生物技术引领型国家（以美国为代表）、快速赶超型国家（以中国为代表）、产业转化导向型国家（以印度为代表）之间在合作重点与技术路径上表现出差异化分工。② 中国在国际合作中的技术主导权逐步增强，抗体类技术成为合作核心，合作内容由传统广谱型制剂向精准靶向治疗与高结构复杂度药物递送系统拓展，标志着中国正逐步从通用技术引进者转变为

表6 2004—2023年四阶段新兴经济体在生物医药专利合作网络的关键节点演化

Table 6 Evolution of key nodes of emerging economies in the biomedical patent cooperation network across four stages from 2004 to 2023

国家	中心性类别	2004—2006年	2015—2017年	2018—2020年	2021—2023年
中国	点度中心性	29.92	31.48	31.19	33.04
	中介中心性	58.50	58.07	26.98	58.67
	接近中心性	1.56	5.37	1.67	5.86
俄罗斯	点度中心性	19.66	22.22	13.76	20.00
	中介中心性	53.92	54.00	25.41	53.49
	接近中心性	0.47	4.54	2.17	2.24
南非	点度中心性	10.26	6.48	6.42	10.44
	中介中心性	51.09	48.21	24.55	50.00
	接近中心性	0.01	0.08	2.01	1.76
印度	点度中心性	23.08	21.30	22.02	23.48
	中介中心性	55.98	53.47	26.08	55.56
	接近中心性	0.41	1.49	2.04	1.17
巴西	点度中心性	10.26	21.30	21.10	15.65
	中介中心性	50.87	53.20	26.14	52.75
	接近中心性	0.00	2.41	3.59	0.88

表7 2004—2023年四阶段中国生物医药技术排名前10位的合作伙伴

Table 7 Top 10 collaborative partners in China's biomedical technology across four stages from 2004 to 2023

排名	2004—2006年		2015—2017年		2018—2020年		2021—2023年	
1	美国	48.53%	美国	61.58%	美国	56.46%	美国	55.34%
2	日本	6.70%	英国	4.92%	韩国	5.45%	韩国	6.42%
3	英国	5.88%	瑞士	4.28%	英国	4.61%	爱尔兰	4.70%
4	新加坡	4.58%	德国	4.20%	爱尔兰	3.83%	新加坡	3.88%
5	加拿大	4.41%	加拿大	2.99%	中国台湾	3.44%	瑞士	2.99%
6	德国	4.25%	中国台湾	2.91%	瑞士	3.31%	日本	2.92%
7	瑞士	4.08%	丹麦	2.42%	法国	2.60%	英国	2.80%
8	法国	2.29%	以色列	1.94%	日本	2.53%	加拿大	2.41%
9	丹麦	2.12%	日本	1.86%	德国	2.21%	中国台湾	2.35%
10	英属维尔京群岛	1.96%	新加坡	1.58%	丹麦	1.95%	澳大利亚	2.35%

注：由于中国企业近年来倾向于采取离岸注册策略，本表剔除了合作方为“开曼群岛”的数据（其占比从4.91%升至8.33%）

Note: Given the growing prevalence of offshore registration strategies among Chinese firms in recent years, data for partners registered in the Cayman Islands are excluded from this table (their share increased from 4.91% to 8.33%).

前沿技术共创者，并积极融入全球生物医药高端创新网络。但与发达国家相比，中国产业上游的技术积累仍存在较大差距，特别是在平台技术、基础药物化学和基因编辑等领域。

（3）中美两国合作以共识驱动的市场导向为特征，保持高度互补性与韧性。① 尽管当前面临地缘政治等不确定因素，中美两国合作在专利产出、技术热点对接及国际协同中仍保持韧性。美国在全球合作网络的

表8 2004—2023年四阶段美国生物医药技术排名前10位的合作伙伴

Table 8 Top 10 collaborative partners in U.S. biomedical technology across four stages from 2004 to 2023

排名	2004—2006年		2015—2017年		2018—2020年		2021—2023年	
1	英国	13.93%	瑞士	21.13%	瑞士	17.74%	瑞士	16.13%
2	德国	10.90%	德国	11.51%	德国	12.21%	德国	11.33%
3	加拿大	9.00%	英国	8.22%	英国	9.68%	英国	9.72%
4	瑞士	8.96%	中国	7.14%	中国	7.90%	中国	8.86%
5	日本	8.13%	日本	5.52%	日本	5.67%	法国	5.55%
6	法国	5.74%	法国	5.23%	法国	5.03%	日本	5.49%
7	比利时	4.36%	加拿大	4.90%	加拿大	4.86%	加拿大	4.90%
8	以色列	3.65%	荷兰	4.23%	荷兰	3.76%	荷兰	4.28%
9	瑞典	3.45%	比利时	4.00%	比利时	3.41%	比利时	3.27%
10	丹麦	2.94%	中国台湾	2.86%	中国台湾	2.84%	韩国	2.87%

主导地位虽有所弱化，但依然在高端技术与制度性创新中发挥关键作用，中国在美国对外合作中的地位仍处于上升趋势，而短期内中国对美技术合作的依赖仍然显著。② 欧美国家在平台性与基础性技术领域引领全球创新范式，形成战略互补合作特征，而中美合作侧重产业链中游研发环节，以共识驱动的市场导向为特征，聚焦在已有靶点基础上的功能性改造和应用性成果，而非从源头构建差异化知识资产，尚未建立长期互补和平台协同的合作格局。

4.2 政策启示

（1）构建战略性国际联合研发平台。依托国家科技重大专项、前沿交叉研究计划，推动与欧美、日韩及新兴经济体的联合攻关机制建设，加快建设与国际接轨的GMP（世界卫生组织发布的强制性标准）、GCP（世界卫生组织发布的药物临床试验管理规范）等合规平台、分子诊断公共资源库等技术基础设施，围绕疫苗开发、罕见病治疗、人工智能+新药研发等全球性议题开展战略协同，提升中国在关键创新节点中的嵌入程度。

（2）国际合作需要策略性调整和前瞻性布局。在全球技术壁垒加剧的情况下，中国需要更加积极地通过深化学术交流和人才交流，倡导开放合作的科技创

新环境。引导资源聚焦于高壁垒、原创性强的技术方向，在药物载体、分子诊断、基因治疗、合成生物、人工智能赋能生物医药等前沿领域构建中国主导或主要参与的全球合作机制，推动核心知识产权向高附加值环节集中，增强中国在全球价值链中的控制力，积极参与重建全球生物医药领域的新格局。

（3）优化跨国合作激励机制和支持政策。在当前欧美药企“技术扫货”趋势下，应出台更具弹性的知识产权保护政策、回流激励机制与税收支持方案，鼓励本土企业与国际龙头开展深层次技术协同，而非卖断式技术输出，逐步构建以中国为支点的全球生物医药合作枢纽。同时建议激活风险投资等多元融资渠道，加快审评审批流程透明化、标准化改革，探索创新药医保谈判前置机制，为国际合作项目提供更具确定性的国内转化通道。

（4）筑牢生物数据防御体系。政府亟须牵头领军企业，统筹整合现有生物样本与临床数据资源，建立统一标准、互联互通、动态更新的国家大数据平台，重点扶持细胞治疗领域的人工智能公司、医学大数据公司，开发靶点发现、治疗预测、疗效监测等智能工具，实现数据到知识、知识到创新产品的转化，构建安全自主可控的生物医药数据生态系统。

表9 2021—2023年美国与典型国家生物医药技术合作排名前10位的领域

Table 9 Top 10 collaborative biomedicine technological fields between the United States and representative countries from 2021 to 2023

排名	中国合作技术领域	瑞士合作技术领域	德国合作技术领域	英国合作技术领域
1	含有抗受体,细胞表面抗原或细胞表面决定因子的抗体或免疫球蛋白	含有抗受体,细胞表面抗原或细胞表面决定因子的抗体或免疫球蛋白	含有抗受体,细胞表面抗原或细胞表面决定因子的抗体或免疫球蛋白	分离、制备或纯化DNA或RNA的方法
2	针对肿瘤细胞特异性抗原或标志物的抗体或免疫球蛋白	针对RNA病毒的抗体或免疫球蛋白	含有抗原或抗体的医药配制品	利用核酸或寡核苷酸的特定序列进行检测或鉴定的方法
3	含有抗体、免疫球蛋白或免疫血清的医药配制品	含有抗原或抗体的医药配制品	含有抗体、免疫球蛋白或免疫血清的医药配制品	制备用于分析的核酸,例如用于聚合酶链式反应[PCR]分析
4	用于改性抗体、免疫球蛋白或其片段的化合物或方法	含有抗体、免疫球蛋白或免疫血清的医药配制品	利用酶或微生物的生物活性进行化学或生物化学反应检测方法和技术	含有抗受体,细胞表面抗原或细胞表面决定因子的抗体或免疫球蛋白
5	含有抗原或抗体的医药配制品	利用酶或微生物的生物活性进行化学或生物化学反应检测方法和技术	含有其有不明结构的原材料或其反应产物的医用配制品	含有抗原或抗体的医药配制品
6	含有其有不明结构的原材料或其反应产物的医用配制品	用于调节基因表达的非编码核酸	将外来DNA稳定地引入染色体中的技术	核酸阵列技术,例如杂交测序
7	含有淋巴细胞(包括B细胞、T细胞、自然杀伤细胞)或其激活状态(如干扰素激活或细胞因子激活的淋巴细胞)的医药配制品	含有其有不明结构的原材料或其反应产物的医用配制品	吡啶、苯并咪唑类邻位稠环结构化合物	针对RNA病毒的抗体或免疫球蛋白
8	以特殊物理形状为特征的医药配制品	喹啉(苯环+吡啶环)类邻位稠合结构化合物	螺稠合结构化合物	能抑制或调节酶活性的肽或蛋白质
9	吡啶、苯并咪唑类邻位稠环结构化合物	以特殊物理形状为特征的医药配制品	水解酶	癌症的检测和测序方法
10	抗受体、细胞表面抗原;细胞表面决定因子本身	吡啶、苯并咪唑类邻位稠环结构化合物	咪唑类含有3个或更多个杂环的化合物	烟草代用品的化学特性或处理

(5) 引导多元主体参与国际合作网络。鼓励企业、高校、科研机构以联合实验室、联合申请国际专利、共建标准体系等方式“走出去”,深入参与制定国际监管规则和质量标准,提升中国在高质量合作专利中的话语权。支持具备全球化基础的龙头企业发挥引领作用,推动科研链条与产业链条的深度融合,提升高价值技术领域的合作占比。

参考文献

- 马晓玲. 美国建设生物医药创新高地的实践及对我国的启示. 中国科学院院刊, 2023, 38(2): 294-301.
Ma X L. Practice of building biomedical innovation highland

in the United States and its enlightenment to China. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(2): 294-301. (in Chinese)

- 刘海涛. 我国生物医药产业高质量发展的现状、挑战与应对. 经济界, 2025, (1): 82-87.
Liu H T. Strategies and solutions to the challenges faced by China's biomedicine industry in the context of high-quality development. Economic Affairs, 2025, (1): 82-87. (in Chinese)
- 余振, 秦宁. 美国生物经济发展战略的新动向、影响及我国对策. 国际贸易, 2023, (7): 12-21.
Yu Z, Qin N. New Trends, influences, and countermeasures

- of American bioeconomy development strategy. *Intertrade*, 2023, (7): 12-21. (in Chinese)
- 4 Wang F. Does the recombination of distant scientific knowledge generate valuable inventions? An analysis of pharmaceutical patents. *Technovation*, 2024, 130: 102947.
- 5 钟华, 胥美美, 苟欢, 等. 全球基因编辑技术专利布局与发展态势分析. *世界科技研究与发展*, 2022, 44(2): 241-243.
Zhong H, Xu M M, Gou H, et al. Analysis on patent layout and development trend of global gene editing technology. *World Sci-Tech R & D*, 2022, 44(2): 241-243. (in Chinese)
- 6 张巍巍, 管同. 基因治疗伦理研究的主题聚类与演进. *医学与哲学*, 2025, 46(4): 39-44.
Zhang W W, Guan T. Thematic clustering and evolution of gene therapy ethical research. *Medicine and Philosophy*, 2025, 46(4): 39-44. (in Chinese)
- 7 叶玉江. 持之以恒加强基础研究夯实科技自立自强根基. *中国科学院院刊*, 2022, 37(5): 589-595.
Ye Y J. Continuously strengthening basic research and solidifying foundation of sci-tech self-reliance and self-strengthening. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2022, 37(5): 589-595. (in Chinese)
- 8 Gaul A I, Sorbera L A. The year's new drugs and biologics 2020. *Drugs of Today*, 2021, 57(2): 101-177.
- 9 孙雪林, 谭雪莹, 金鹏飞, 等. 新型抗肿瘤药物致心脏毒性的文献计量学分析. *临床药物治疗杂志*, 2024, 22(11): 73-78.
Sun X L, Tan X Y, Jin P F, et al. Bibliometric analysis of cardiotoxicity due to novel antitumor drugs. *Clinical Medication Journal*, 2024, 22(11): 73-78. (in Chinese)
- 10 Groff-Vindman C S, Trump B D, Cummings C L, et al. The convergence of AI and synthetic biology: The looming deluge. *NPJ Biomedical Innovations*, 2025, 2: 20.
- 11 刘晓, 曾艳, 王力为, 等. 创新政策体系保障合成生物学科技与产业发展. *中国科学院院刊*, 2018, 33(11): 1260-1268.
Liu X, Zeng Y, Wang L W, et al. Innovative policy system to ensure the development of synthetic biology. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2018, 33(11): 1260-1268. (in Chinese)
- 12 郑永年, 徐兰滕. 以大科创体系“多轨并举”推动中国现代产业体系建设. *中国科学院院刊*, 2025, 40(5): 795-808.
Zheng Y N, Xu L M. Promoting construction of China's modern industrial system by “multi-tracking” research and innovation model. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2025, 40(5): 795-808. (in Chinese)

Evolution of international collaboration in China's biomedical technology and policy implications

LIU Xinyu^{1,2} WANG Fang^{1*} XI Liang³

(1 Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2 School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3 Bureau of Academic Divisions, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract In light of the rapid advancement of biomedical technologies and intensifying geopolitical competition over technological dominance, international cooperation in this field has garnered significant attention among scholars, policymakers, and industry leaders. This study employs comprehensive patent data spanning from 2002 to 2023 across the global biomedical landscape to systematically investigate the characteristics and evolution patterns of both global and Chinese biomedical inventions. Employing econometric analysis of patents and social network analysis, the research examines three key dimensions: patent output, technological

*Corresponding author

pathways, and collaboration networks. Three research findings are derived. Firstly, China has transitioned from a “catch-up collaborator” to a critical hub facilitating cross-national and cross-disciplinary knowledge flows. Despite challenges posed by U.S. technological decoupling policies, China remains deeply embedded in the global technology system. Amid escalating geopolitical tensions, China-Western cooperation is undergoing strategic rebalancing, as China expands its collaboration with emerging economies and Belt and Road countries to build a more diverse, resilient, and adaptive global biomedical cooperation network. Secondly, China is progressively strengthening its technological leadership within international collaborations. Antibody-based technologies have emerged as a central area of cooperation, reflecting a shift from traditional broad-spectrum formulations to precision-targeted therapies and high-complexity drug delivery systems. This transformation underscores China’s evolving role—from a recipient of general-purpose technologies to a co-creator of frontier innovations—increasingly integrated into the global high-end biomedical innovation ecosystem. However, significant gaps persist compared to developed economies, particularly in upstream capabilities such as platform technologies, fundamental pharmaceutical chemistry, and gene editing. Thirdly, while the U.S. and European countries continue to lead global technological paradigms in foundational and platform technologies—shaping a pattern of strategic complementarity—China-U.S. cooperation remains concentrated in midstream R&D activities within the industrial chain. This collaboration is characterized by a consensus-driven, market-oriented approach, focusing on functional modifications and applied innovations based on existing targets rather than constructing differentiated knowledge assets from the ground up. Consequently, a stable framework for long-term complementarity and platform-level coordination has yet to be established. This study contributes to a deeper understanding of the evolutionary mechanisms underlying China’s transformation from a “technology taker” to a “network orchestrator” within the global biomedical collaboration landscape. From a policy perspective, it offers valuable insights for advancing China’s strategy of high-level scientific and technological openness and building a strategically influential and internationally embedded innovation system. Specifically, the study proposes five policy implications for China. (1) Establish strategic international joint R&D platforms to enhance China’s embeddedness in critical innovation nodes. (2) Guide resource allocation toward high-barrier, highly original technological domains to strengthen China’s control within the global value chain. (3) Optimize incentive mechanisms for cross-border collaboration to attract high-quality international cooperation resources to China. (4) Fortify the national bio-data defense system and develop an autonomous and controllable biomedical data ecosystem. (5) Encourage the participation of diverse actors in international collaboration networks to enhance China’s influence in high-quality collaborative patents.

Keywords biomedical technology, international cooperation, patent analysis, social network analysis, China-U.S. cooperation

刘欣宇 中国科学院科技战略咨询研究院博士研究生。主要研究领域:科技创新政策、创新经济学等。

E-mail: liuxinyu221@mailsucas.ac.cn

LIU Xinyu Ph.D. student at Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences (CAS). Her research focuses on science & technology and innovation policy, economics of innovation, etc. E-mail: liuxinyu221@mailsucas.ac.cn

王芳 中国科学院科技战略咨询研究院创新研究员。主要研究领域:科技创新政策、创新经济学、技术管理等。

E-mail: fang.wang.jobs@gmail.com

WANG Fang Professor of Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences (CAS). Her research focuses on science & technology and innovation policy, economics of innovation, technology management, etc.

E-mail: fang.wang.jobs@gmail.com

■ 责任编辑: 张帆