

化学与生命交叉学科创新人才培养可行路径的探索与实践

张艳^{1,2,*}, 陈露洪², 郭子建^{1,2,*}

¹ 南京大学化学化工学院, 南京 210023

² 南京大学化学和生物医药创新研究院, 南京大学前沿交叉科学研究院, 南京 210023

摘要: 在当代科技发展呈现多学科深度融合的背景下, 化学与生命科学的交叉融合正成为推动生物医药领域突破性进展的关键引擎。本文以笔者在推动建设南京大学化学和生物医药创新研究院(ChemBIC)/南京大学化生医药学科交叉中心的建设中的思考 and 实践为基础, 结合对不同头部高校在化学生物医学等多学科交叉研究及创新人才培养方面创新举措的调研, 并以南京大学借助交叉研究平台建设推动化学生物学交叉学科发展的历程为例, 总结了化学与生命交叉学科创新人才培养可行路径的探索与实践。文章还介绍了国内高校在化学生物学人才培养方面的特色模式, 如双导师制、实验室轮转等创新举措, 展示了通过这些举措推动我国交叉学科人才培养方面取得的显著成效, 为培养具有跨学科创新思维和国际竞争力的高层次人才提供了重要借鉴。

关键词: 交叉学科平台; 化学生物学; 研究生教育; 制度创新; 产学研合作

中图分类号: G64; O6

Innovative Practices in Interdisciplinary Chemistry-Biomedicine Research and Graduate Education

Yan Zhang^{1,2,*}, Luhong Chen², Zijian Guo^{1,2,*}

¹ School of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, China.

² Chemistry and Biomedicine Innovation Center at Nanjing University, Frontier Interdisciplinary Science Research Center at Nanjing University, Nanjing 210023, China.

Abstract: The convergence of chemistry and life sciences has become a pivotal driver for groundbreaking advancements in biomedicine, particularly in this era of interdisciplinary integration. This study presents an in-depth analysis of innovative models and practical pathways for cultivating interdisciplinary talents, with Nanjing University's Chemistry and Biomedicine Innovation Center (ChemBIC) and its interdisciplinary research platforms as exemplary cases. The paper meticulously examines the evolutionary trajectory of chemical biology, current research frontiers, and faculty development strategies, highlighting Nanjing University's distinctive multidisciplinary approaches in areas such as tumor immunology, molecular diagnostics, and AI-driven drug discovery. Through comparative analysis of various educational models adopted by leading Chinese universities, including cross-disciplinary mentorship and laboratory rotation systems, this research demonstrates the remarkable achievements and global competitiveness of China's interdisciplinary talent cultivation. The findings provide valuable insights for fostering versatile professionals with interdisciplinary competencies at research-intensive institutions worldwide.

Key Words: Interdisciplinary platform; Chemical biology; Graduate education; Institutional innovation; Industry-academia collaboration

收稿: 2025-09-01; 录用: 2025-11-17; 网络发表: 2025-11-26

*通讯作者, Emails: njuzy@nju.edu.cn (张艳); zguo@nju.edu.cn (郭子建)

在当代科学发展进程中,学科交叉融合已成为推动重大科学突破的核心驱动力。从基因编辑技术的革命性突破到mRNA疫苗的快速研发成功,从人工智能辅助药物设计到新型生物材料的创新应用,这些深刻改变人类生活方式的重大科技成果,无一不是多学科深度交叉融合的产物。当前,全球科技创新正呈现出日益鲜明的多学科交叉融合趋势,国际顶尖研究机构纷纷通过体制机制创新大力推动跨学科研究。以美国加州理工学院为例,该校已建立了50余个学科交叉研究中心,每个中心都系统整合了至少六个不同学科领域的优势资源;由麻省理工学院与哈佛大学联合成立的布罗德研究所(Broad Institute),通过深度融合生物学、化学、医学和计算科学等多学科力量,在基因组学和精准医疗领域取得了一系列重大突破;斯坦福大学ChEM-H中心则通过化学、工程学和医学的深度交叉融合,成功开创了药物研发的全新范式。

我国已将交叉学科发展提升至国家战略高度,将其视为实现科技自立自强的关键突破口。近年来,一系列重大政策举措相继出台实施:2021年教育部正式增设“交叉学科”作为第14个学科门类,国家自然科学基金委专门成立交叉科学部,从制度层面为学科交叉研究提供了强有力的政策保障。党的二十大报告进一步明确强调要“加强基础学科、新兴学科、交叉学科建设”,为科技创新发展指明了方向。高校特别是研究型大学具有学科门类齐全的天然优势,为学科交叉融合提供了良好土壤。在此背景下,国内多所高校在保持原有学院管理体制的基础上,积极探索构建多学科交叉融合平台,通过“跨学科”和“跨机构”协同创新机制,着力开展前沿性、引领性和颠覆性研究。与此同时,如何培养交叉学科创新人才也日益成为各大高校普遍关注的重要议题。

培养化生医药交叉领域的创新人才,是我国面向人民生命健康、推动生物技术原始创新及实现高端生物医药产品自立自强的迫切需求。近年来,南京大学通过建设化学和生物创新研究院、化生医药学科交叉中心及前沿交叉科学研究院等校级、省级及部级学科交叉平台,在化学与生物医药交叉领域创新人才培养方面进行了积极探索,在公共平台建设、交叉机制创新及交叉氛围营造等方面取得了显著成效。基于近年来在化生医药交叉学科人才培养方面的实践经验,我们持续探索在我国高水平大学中具有普遍适用性的化学与生命科学交叉领域人才培养路径,致力于培养具有交叉思维和创新能力的本科生及研究生。

1 化生医药交叉的前沿研究方向

化学与生物医药的交叉融合已成为当代科学发展的重要趋势。这种深度交叉不仅催生了化学生物学、纳米医学、合成生物学等新兴学科领域,更在精准医疗、创新药物研发、生物医用材料等方面取得了一系列重大突破。纵观21世纪以来的诺贝尔化学奖,超过半数奖项都与生命科学相关:离子通道蛋白(2003)、泛素调控蛋白降解(2004)、真核转录的分子机制(2006)、核糖体的结构与功能(2009)、G蛋白偶联受体(2012)、DNA修复机制(2015)等研究从分子水平揭示了生命体系内源生物大分子的结构与功能,阐释了重要生命科学问题的化学本质;而生物大分子的质谱与核磁技术(2002)、绿色荧光蛋白(2008)、超分辨荧光显微技术(2014)、冷冻电镜技术(2017)、定向进化与噬菌体展示技术(2018)、基因编辑技术(2020)、点击化学与生物正交反应(2022)、蛋白质设计和结构预测(2024)等成果则展现了基于化学思想或手段探索生命的原创工具发展历程。

作为创造物质的中心学科,化学不仅与材料、能源等领域深度交叉,与生命科学、医学及药学的融合更成为其重要发展方向。在人类基因组计划、蛋白质组计划和细胞图谱计划等重大生命科学计划中,新型化学反应和方法发挥了关键作用,构建了不可或缺的技术平台。以二代基因测序技术为例,“边合成边测序”的核心在于脱保护化学;而在人类蛋白质组计划等研究中,2022年诺贝尔化学奖成果——点击化学和生物正交反应,为靶向蛋白质组和蛋白质相互作用研究提供了重要支撑,成为捕获特定蛋白质间弱相互作用信息的关键技术手段。为顺应化学与生命科学交叉前沿的发展趋势,我国迅速响应并积极布局。国家自然科学基金委员会先后启动了“基于化学小分子探针的信号转导过程研究”和“生物大分子动态修饰与化学干预”两个重大研究计划。在这些计划的推动下,

我国化学生物学学科实现了从无到有、由弱变强的跨越式发展，并在国际上产生了重要影响^[1-3]。将化学的源头创新融入生命科学、医学和药学的实际应用，不仅能使这门科学真正服务于人类健康，更能赋予其持久的生命力；同时，分子尺度的创新为生物医药新技术和新药研发提供了全新思路与策略。针对生命健康与疾病诊疗的实际需求，化学研究充分发挥其在创造新型反应技术和分子工具方面的优势，与生物医药研究深度交叉融合，通过开发新型探测技术和分子干预手段，实现对疾病相关生物大分子生物学功能的精准调控，从而在“新靶标解析-创新药物研发-新型诊疗策略开发”全链条中推动生物医药创新。南京大学依托化学、生物学、药学、医学等学科门类齐全的优势，积极布局和推进化生医药交叉研究，并于2019年成立校内化生医药交叉创新研究机构——南京大学化学和生物医药创新研究院(Chemistry and Biomedicine Innovation Center, ChemBIC)。在保持原有学科及院系布局的基础上，ChemBIC作为“试验田”，探索跨院系、跨学科组织青年学者开展多学科前沿交叉研究的可行路径。ChemBIC聚焦肿瘤、炎症及神经性疾病致病机理、诊疗技术和创新药物研发中的关键科学问题，布局化学生物学、合成与新药发现、疾病模型与分子机制、生物医学影像、生物医学工程和AI与化生医药六大领域，倡导并鼓励不同领域青年学者通过多学科研究方法与技术的深度融合，开展面向国际科学前沿和人民生命健康的原始创新研究，同时积极探索交叉学科人才培养的新模式^[4]。

基于ChemBIC多年来的建设经验和积累，南京大学于2024年获批试点建设江苏省学科交叉中心——南京大学化生医药学科交叉中心，并获教育部批准试点建设学科交叉中心——南京大学前沿交叉科学研究院。南京大学化生医药学科交叉中心面向生命健康开展有组织科研，设立五个与疾病诊疗紧密相关的研究方向，探索以重大任务为牵引、组织多学科交叉研究队伍联合攻关的新范式。在南京大学学科交叉中心的规划布局中，五个前沿交叉研究方向包括：1) 肿瘤免疫分子机制解析与干预：面向肿瘤免疫药物开发的瓶颈问题，综合运用化学生物学、化学药物及生物大分子药物、肿瘤免疫医学、AI辅助组学技术等领域的方法，解决免疫治疗所需的肿瘤靶向抗体精准修饰、多维联用等关键挑战；2) 疾病分子探测与医学影像：通过化学与多学科交叉，发展肿瘤等重大疾病早期灵敏探测的方法、技术及仪器，并面向未来影像医学和精准医疗开发智能探针，实现肿瘤靶向成像、基因成像、受体成像、单细胞示踪及细胞信号传导通路等尖端技术；3) 活性分子智造合成生物学：融合多学科方法，阐明天然产物及重要活性分子的生物合成途径，以细胞为“底盘”和“可编程”体系，开发高效组装药物活性的策略，测试外源元件和模块的适配性，构建精细、可定制化的生物合成及应用系统；4) AI辅助分子设计、合成与新药发现：在化学合成和分子构建方法的基础上，结合人工智能辅助设计技术，优化化学药物和生物源药物的合成路径，整合药化、药分、药理、药效研究体系，最大化AI辅助设计的潜力，推动化学和生物药物的创新与高效开发；5) 生命健康组学与大数据：面向生命健康复杂体系研究的未满足需求，开发化学蛋白质组学、代谢组学、空间组学等多组学新技术，结合可穿戴设备等智能装置实时获取健康大数据，并深度融合AI辅助分析及机器学习方法，创制健康监测新仪器，发展疾病早期预警的动态智能化策略。

2 化生交叉学科及师资队伍建设

世界知名大学和研究机构自20世纪90年代末起便重点发展化学生物学交叉学科，并培养出一批杰出学者。哈佛大学于1995年率先将其化学系更名为化学与化学生物学系，其中Stuart L. Schreiber教授提出的化学遗传学等概念成为该领域的奠基性工作；Scripps研究所在1996年成立Skaggs化学生物学研究所，汇聚了Peter G. Schultz等顶尖学者，其开发的非天然氨基酸定点插入蛋白质技术具有里程碑意义，而Barry Sharpless教授更是在2022年凭借“点击化学”再获诺贝尔化学奖；加州大学伯克利分校在糖化学生物学、生物正交化学等领域培养出Carolyn R. Bertozzi、Christopher J. Chang等知名学者，其中Bertozzi教授后来加入斯坦福大学ChEM-H交叉研究所，并于2022年与Sharpless教授共同获得诺贝尔化学奖。

我国化学生物学学科在21世纪初开始进入快速发展阶段。1998年,化学生物学专业被正式列入《普通高等学校本科专业目录与专业简介》,标志着该专业在我国高等教育专业体系中的初步确立。此后,国内多所高水平大学相继成立化学生物学系。2001年,第一届全国化学生物学学术研讨会在杭州成功召开,会议期间正式成立了中国化学会化学生物学专业委员会。随后举办的历届研讨会均得到国家自然科学基金委的大力支持,这些学术活动极大地促进了该领域的学术交流与学科建设。2003年至2004年间,国家自然科学基金委化学科学部在化学二处专门设立化学生物学学科,并于2005年在学科代码重新审定中为该学科设立了独立代码。这些制度性安排为相关课题的申请与组织实施提供了便利,进一步激发了高校和科研机构的研究热情。在此期间,国内多所重点高校及研究机构相继成立了化学生物学相关的系所、专业、研究中心或重点实验室。

高水平交叉研究机构和平台的建设对化学生物学学科的师资队伍建设和学科发展起到了关键支撑作用。以北京大学为例,该校在21世纪初率先成立化学生物学系,陆续从海外引进了一批高水平学者充实师资队伍。随着北京大学合成与功能生物分子中心(SFBC)的成立,科研资源与平台建设为学科发展提供了重要推动力。此后,在北大-清华生命科学联合中心(CLS)的深度赋能下,北京大学化学生物学学科实现跨越式发展,充分展现了科研资源整合对交叉学科发展的协同效应,以及其在突破学科边界、迈向国际前沿方面的重要推动作用。南京大学化学和生物医药创新研究院(ChemBIC)的成立也为该校化学生物学学科发展注入了强劲动力。ChemBIC借鉴国际国内头部高校在建设学科交叉中心尤其是化学和生命科学交叉研究机构方面的先进经验,结合南京大学实际情况创新建设路径,如去行政化管理模式、通过双聘方式吸纳已有学院的优秀青年学者、构建学术云平台等,取得了不俗的成效。从人才队伍建设角度看,ChemBIC营造的“青年-交叉-创新-桥梁”学术氛围吸引了多位优秀青年学者加盟,并通过建设支撑多学科交叉研究的大型公共仪器平台、学术云等软硬件环境,为青年学者的创新发展提供了有力支持,成为南京大学在化学生物医药领域培养青年人才的重要基地。该研究院通过创新人才引进与培养机制、建设共享科研平台、完善管理模式等系统性举措,有效促进了化学生物学原始创新和复合型人才培养,推动了学科快速发展。2022年,南京大学化学生物学交叉学科教师团队成功入选“全国高校黄大年式教师团队”。

3 化生交叉学科创新人才培养

化生交叉学科的本科生和研究生培养是推动学科持续发展的重要动力。据不完全统计,目前我国已有30余所高校设立了化学生物学相关专业,各校在本科人才培养方面呈现出多元化特色,既秉承交叉学科的育人理念,又充分发挥自身优势形成差异化发展路径。在培养目标上,各校均以培养化学与生物学交叉领域的复合型人才为宗旨,但侧重点各有不同。北京大学着重培养学生生物分子合成与功能解析方面的创新能力,致力于培养具有国际视野的科研后备力量;清华大学突出工科特色,强调全球视野与家国情怀,旨在培养能将化生交叉理论应用于工程实践的创新型人才;南京大学则依托化学与生命科学的学科优势,着力培养具有跨学科研究能力的高层次人才,兼顾科研、教学与产业需求。在课程设置方面,基础课程均包含化学类(无机化学、有机化学、分析化学、物理化学等)与生物类(生物化学、分子生物学、细胞生物学等)核心课程;特色课程则各具特色:武汉大学专门开设了化学生物学导论等专业必修课,该课程面向大三学生,长期由中国科学院院士周翔教授主讲;厦门大学依托化学生物学系,设置了化学生物学、化学生物学综合实验等特色课程,注重培养学生的实验技能与学科融合能力;复旦大学则结合其在生物正交化学领域的研究优势,开设了小分子探针设计、活体成像技术等前沿课程模块。

化学生物学学科在研究生及博士生培养中,积极探索与传统学科差异化的创新培养模式,通过机制改革激发学生科研潜力。国内多所高水平研究型大学在化生交叉领域的研究生及博士生培养中,充分发挥交叉学科优势与前沿科研平台作用,形成了“科研驱动、交叉融合、国际接轨”的特色模式,培养成效显著,为学科发展输送了大批高层次创新人才。北京大学依托SFBC及CLS等平台实施

“轮转+专项课题”培养机制，博士生入学后需在3个不同实验室进行为期6个月的轮转学习；清华大学探微书院推行“本研衔接+跨学科导师组”模式，研究生可同时参与化学系与医学院的联合课题；南京大学化学和生物医药创新研究院采用“PI联合指导”机制，由化学与生命科学领域的导师共同指导博士生。举办交叉学科论坛成为多数交叉研究平台促进不同学科学者和学生深入交流合作的有效路径，例如北京大学化生交叉平台每年支持由学生自发组织的研究生论坛并形成品牌和系列，2025年已是第七届。

上述创新举措显著提升了化学生物学博士生的科研创新能力，例如北京大学在2024年通过交叉学科培养模式培养多名优秀博士生，其中由来自化学学科的陈鹏教授和来自生命学科的伊成器教授共同指导的博士生团队取得了重要的跨学科成果，实现了化学探针与单细胞测序技术的突破性结合，研究成果入选*Cell*子刊年度亮点；清华大学化生交叉学科博士生将蛋白质研究与疾病机制分析相结合，主导开发的新型抗体偶联药物设计成果发表于*Nature Chemistry*；南京大学化学生物学博士生在2023–2024年度成功获批3项国家自然科学基金委青年学生项目。学科交叉能力与创新思维已成为化学生物学人才培养的核心竞争力，并使其在国内外学术竞赛中表现突出。近三年，国内高校共有15名研究生荣获“国际化学生物学大会青年科学家奖”，占该奖项亚洲获奖者的40%，充分展现了我国在化学生物学高层次人才培养方面的国际竞争力。

4 结语和展望

化学与生命科学的交叉融合不仅是当代科学发展的必然趋势，更是推动生物医药领域重大突破的核心动力。本文以南京大学化学和生物医药创新研究院(ChemBIC)及化生医药学科交叉中心的建设为例，系统探讨了交叉学科创新人才培养的可行路径与实践经验，展示了我国在化学生物学领域的前沿布局与卓越成就。从肿瘤免疫、AI辅助药物设计到多组学大数据分析，化生交叉研究正以前所未有的深度和广度拓展科学边界，为人类健康事业提供创新解决方案。在人才培养方面，国内高校通过跨学科导师组、轮转实验室等创新机制，培育了一大批兼具化学与生物学思维的高层次复合型人才，其科研成果已跻身国际前沿。未来，随着国家“交叉学科”战略的深入推进，高校和科研机构应进一步优化跨学科协同机制，强化产学研融合，以重大科学问题为导向，培养更多具备全球竞争力的交叉学科领军人才，助力我国在生物医药领域的自主创新与科技自立自强。

化学与生命的交叉，不仅是学科的融合，更是思维的碰撞与创新的源泉。据不完全统计，全国已有近30所高校设立化学生物学系，广泛分布于化学、药学、生命科学、医学等多个学院，交叉学科已经展现了强大的学科辐射力与深远的社会影响力。未来，我们期待在多方共同努力下，通过高水平科研平台的建设、系统化的学位点布局、各高校的特色学科发展以及深入的产学研融合，推动化生交叉学科继续引领科学前沿，为人类健康和社会发展贡献更多中国智慧与中国方案。

致谢：本文中所述南京大学化生医药交叉研究平台建设得到了南京大学雅辰基金、江苏省化生医药交叉学科交叉中心、教育部前沿交叉科学研究院及教育部基础学科和交叉学科突破计划先导项目的支持，在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 蒋华良, 陈拥军, 陈鹏, 张礼和. 化学生物学学科前沿与展望. 北京: 科学出版社, 2020.
- [2] 张礼和, 陈拥军, 张艳, 陈鹏, 等. 小分子探针与信号转导. 北京: 科学出版社, 2020.
- [3] Yu, Z. Y.; Chen, P. R.; Yang, J. L.; Chen, Y. J.; Zhang Yan. *Nat. Chem. Biol.* **2023**, *19*, 1167.
- [4] 陈露洪, 张艳. 大学化学, **2024**, *39* (6), 12.