

“课程-项目-导师”交互提升生物工程类研究生创新能力的探索与实践

刘立明^{1*}, 李晓敏¹, 吴静², 高聪¹, 宋伟²

1 江南大学 生物工程学院, 江苏 无锡 214122

2 江南大学 生命科学与健康工程学院, 江苏 无锡 214122

刘立明, 李晓敏, 吴静, 高聪, 宋伟. “课程-项目-导师”交互提升生物工程类研究生创新能力的探索与实践[J]. 生物工程学报, 2024, 40(9): 3243-3254.

LIU Liming, LI Xiaomin, WU Jing, GAO Cong, SONG Wei. “Curriculum-project-supervisor” interactively enhance the innovation capability of postgraduates majoring in bioengineering[J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2024, 40(9): 3243-3254.

摘要: 根据“十四五”生物经济发展规划, 生物技术成为促进未来发展的有效力量。目前, 全国有 220 多所高校和科研院所具有生物工程类专业硕士学位授予权, 因此, 如何培养能够服务国家生物经济创新驱动发展的拔尖创新型人才受到广泛关注。近年来, 江南大学微生物制造工程研究中心通过搭建多元化的育人平台、建设高水平的师资队伍、创新科研实践管理机制, 逐步形成了“构建课程体系-围绕重大项目-组建导师团队”多方位全过程的研究生创新能力培养新理念与新方法。前期育人成效表明, 该模式全面提升了生物工程类研究生的工程创新力和学术创新力。

关键词: 新工科; 发酵工程; 创新文化力; 工程创新力; 学术创新力

“Curriculum-project-supervisor” interactively enhance the innovation capability of postgraduates majoring in bioengineering

LIU Liming^{1*}, LI Xiaomin¹, WU Jing², GAO Cong¹, SONG Wei²

1 School of Biotechnology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China

2 School of Life Sciences and Health Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China

Abstract: According to the Bio-economy Development Plan during the 14th Five-Year Plan period, biotechnology has become an effective force to promote future development. More than

*Corresponding author. E-mail: mingLL@jiangnan.edu.cn

Received: 2024-01-02; Accepted: 2024-04-03

220 universities and research institutes in China have got the right to confer master's degrees in bioengineering. Great attention has been paid to the cultivation of top innovative talents that can serve the innovation-driven development of the national bio-economy. In the last 15 years, the Research Center of Microbial-Manufacturing Engineering in Jiangnan University has built a diversified education platform, recruited high-level faculty members, and innovated the scientific research management. The new concept and method for cultivating the innovation capabilities of postgraduates in a multi-dimension and whole-process manner have been formed, which involved building a curriculum, focusing on major projects, and establishing a supervisor team. This cultivation mode has comprehensively improved the engineering and academic innovation capabilities of postgraduates majoring in bioengineering.

Keywords: new engineering; fermentation engineering; innovative cultural force; engineering innovative ability; academic creativity

研究生教育在培养创新人才、提高创新能力、服务经济社会发展、推进国家治理体系和治理能力现代化方面具有重要作用^[1]。“培养什么样的研究生”和“如何培养这样的研究生”始终是研究生教育工作中需要不断探索与实践的核心命题^[2]，国内生物工程类硕士培养单位在培养创新人才方面进行了积极尝试，取得了卓有成效的成果^[3-7]，但仍存在3个问题：(1) 为持续增强研究生创新动力，如何全方位营造人才培养载体与育人环境？(2) 围绕国家产业发展对卓越工程人才的紧迫需求，如何解决工程类研究生培养与行业脱节的问题？(3) 针对工程类交叉性与知识急速更新的特点，如何解决导师专业单一性与研究生培养全面性的矛盾？为此，江南大学微生物制造工程研究中心围绕创新文化力、学术创新力和工程创新力等方面展开了系统的探索和实践，逐步形成了“构建课程体系-围绕重大项目-组建导师团队”全方位全过程的研究生创新能力培养新理念与新方法：(1) 提出“服务国家需求、聚焦学科交叉前沿”的研究生创新能力培养新理念；(2) 营造“大平台-大团队-大项目-大成果”的研究生创新能

力培养新生态；(3) 构建“创新文化-工程创新-学术创新”三部曲的研究生创新能力培养新模式，系统性解决了生物工程类研究生培养与行业脱节的问题，多角度化解了导师专业单一性与研究生培养全面性的矛盾，培养了一大批服务国家重大需求和国民经济主战场的创新型人才(图1)。

1 大力培养研究生创新能力，是支撑国家发展的重要举措

两院院士大会和中国科协第十次全国代表大会上强调“坚持创新”在我国现代化建设全局中的核心地位，坚持把科技自立自强作为国家发展的战略支撑^[8]。为此迫切需要加快建设国家创新人才力量，培养造就更多科技领军人才和创新团队、青年科技人才、卓越工程师等拔尖创新人才^[5,9]，为中国式现代化建设提供人才支撑。《制造业人才发展规划指南》提出高校要实施高技能人才振兴计划、先进制造卓越工程师培养计划和专业技术人才知识更新工程，突出“高精尖缺”导向，以培养高层次、创新型和紧缺专业技术型人才为重点，解决制造业人



图1 生物工程类研究生创新能力培养理念与方法

Figure 1 The idea and strategy for cultivating bioengineering graduates' innovation capability.

人才培养与企业实际需求脱节、产教融合不深入等问题^[10]。

作为生物制造的重要载体，发酵工程天然具备承担面向工业现代化各个阶段的国家重大需求，解决重大产品的高效生产，并在该过程中培养创新人才的历史责任和使命。江南大学生物工程学院创建了我国第一个发酵工程国家重点学科及本硕博人才培养体系，轻工技术与工程学科入选国家“双一流”建设学科(2017年)。江南大学微生物制造工程研究中心依托于生物工程学院，形成“微生物制造工程”江苏省高等学校优秀科技创新团队，面向合成生物学、蛋白质工程等生命科学前沿，立足氨基酸、生物基材料等生物工程产业，全面培养研究生的学术创新、工程创新能力，逐渐成长为拔尖创新人才培养的高地。

2 生物工程类研究生创新能力培养体系构建与特色举措

2.1 构建创新课程体系，以方法学习和文化塑造夯实创新能力培养基础

习近平总书记强调要增强创新意识、培养创新思维，不断提高创新思维能力，让创新成为一种习惯和本能，将创新思维转化为创新能力^[11]。

2.1.1 夯实创新基础，构建了“研究技能提升-创新思维基础-创新方法”培养高阶创新思维的课程体系

针对攻读硕士或博士学位都必须掌握的阅读、写作、发言、研究、交往等5种关键技能，开设了研究技能提升课程，系统地帮助研究生解决“阅读没实效、写作没逻辑、发言没条理、

交往没章法、研究没结果”的难题。在此基础上，结合具体实例，讲解研究生必须具备的逻辑思维、批判思维、形象思维等 12 种思维方式的特征、作用、运用规范和技巧，训练学生将各种思维方法、技能进行融会贯通，系统把握并综合运用到科研工作中，从而提高思维能力、打

破思维定式、培养高阶思维，全方位提升研究生思维品质。进一步引领研究生学习类比、仿生、组合、逆向等 10 种创新方法，了解不同创新方法的优点、缺点及适用情境和领域，并根据具体情况而选择最适合的方法，提高创新效率(表 1)。

表 1 培养高阶创新思维的课程体系

Table 1 Curriculum system for culturing higher-ordered innovative thinking

序号 No.	研究技能课程 Research skill courses	创新思维课程 Innovative thinking courses	创新方法课程 Innovative approach courses
1	如何成为一名优秀的研究生 How to become an excellent graduate student	创新思维的基本认识 Fundamental knowledge of innovative thinking	科学研究的基本类型与要素 Primitive types and essential factors of scientific research
2	如何培养高效的做事能力 How to cultivate efficient work skills	创新思维的阻碍因素与破解 Barriers and countermeasures in innovative thinking	科研中的创新链与创新树 Innovation chain and tree in scientific research
3	Web of Science 及其在选题中的应用 Web of Science and its application in project design	典型思维 1: 系统思维 Thinking 1: systematic thinking	创新方法 1: 设问型提问法 Approach 1: rhetorical question
4	科研文献高效阅读方法与总结 Summary of the effective ways for viewing literature	典型思维 2: 逻辑思维 Thinking 2: logic thinking	创新方法 2: 头脑风暴法 Approach 2: brain storming
5	Endnote 在科研文献中的应用 Endnote and its application in literature management	典型思维 3: 批判性思维 Thinking 3: critical thinking	创新方法 3: 类比型法 Approach 3: analogism
6	Origin 和 Illustrator 在科研图表中的应用 Origin and Illustrator and their applications in research charts	典型思维 4: 形象思维 Thinking 4: thinking in images	创新方法 4: 列举型法 Approach 4: enumeration
7	如何设计高水平 SCI 论文 How to design high levels of SCI paper	典型思维 5: 方向性思维 Thinking 5: directivity thinking	创新方法 5: 组合法 Approach 5: combination
8	如何撰写科研论文的前言与讨论 How to write the introduction and discussion sections of a research article	典型思维 6: 图解思维 Thinking 6: graphic thinking	创新方法 6: 仿生科学法 Approach 6: biomimetic
9	如何撰写科研论文研究结果和摘要 How to write the results and abstract sections of a research article	典型思维 7: 转化思维 Thinking 7: transformation thinking	创新方法 7: 学科交叉法 Approach 7: interdisciplinary
10	如何撰写高水平的综述论文 How to write high levels of a review article	典型思维 8: 发散性思维 Thinking 8: divergent thinking	创新方法 8: 逆向思维法 Approach 8: backward thinking
11	如何撰写高价值的发明专利 How to write high value invention patent	典型思维 9: 数量关系思维 Thinking 9: quantitative relational thinking	创新方法 9: 刨根探底法 Approach 9: inquisitive
12	如何用 PPT 和 poster 展现研究结果 How to present research results by PPT and poster	典型思维 10: 逆向思维 Thinking 10: backward thinking	创新方法 10: 综合集成法 Approach 10: meta-synthesis

2.1.2 培养创新意识，建立“深入阅读文献-三维总结文献-综述论文撰写”的文献阅读总结的方法体系

研究生在攻读硕士或博士学位期间，每学期需围绕所研究的课题，深入阅读综述和研究性文献各 1 篇，并向全体研究生详细介绍文献的关键科学问题、方法策略、三级结构、技术手段、创新点、值得学习的地方以及论文不足之处。在学期结束时对深度阅读的 30-50 篇文章进行 3 个维度的总结：(1) 围绕某个研究专题，总结该主题的研究细节、技术路线、失败原因、发展全貌、前瞻未来；(2) 围绕某个著名教授管理的课题组，总结了解该课题组学术思想发展历程、体会思维模式、提炼研究范式、发现研究机会；(3) 围绕某个研究主题或关键科学问题，总结分析不同层级学术刊物在研究关键问题的侧重点、所采用研究方法策略的新颖

性和技术手段的先进性以及研究结果的示范性。在此基础上，通过对文献资料的整理、对比、分析、归纳和整理，提炼文献资料的共同观点、实验结果和方法，按一定思维程序加以综合和概括，形成专门地、深入地、系统地论述某一问题的综述论文，并展示给读者。借助上述的全过程文献阅读总结的方法体系(图 2)，有效地培养了研究生对科学问题的理解力和对新信息的感知力，形成了鼎新求变的创新意识。

2.1.3 塑造创新文化，打造“模范引领-氛围营造-多样激励”的文化塑造体系

在模范引领方面，每年组织研究生阅读一本院士传记或著作，如发酵工程重点学科奠基人伦世仪院士的《伦世仪传》、国家最高科技大奖得主闵恩泽院士的《闵恩泽文集：自主创新之路的探索》，体会自主创新之路该如何走、怎样实现自主创新；每学期举办一次研究生创

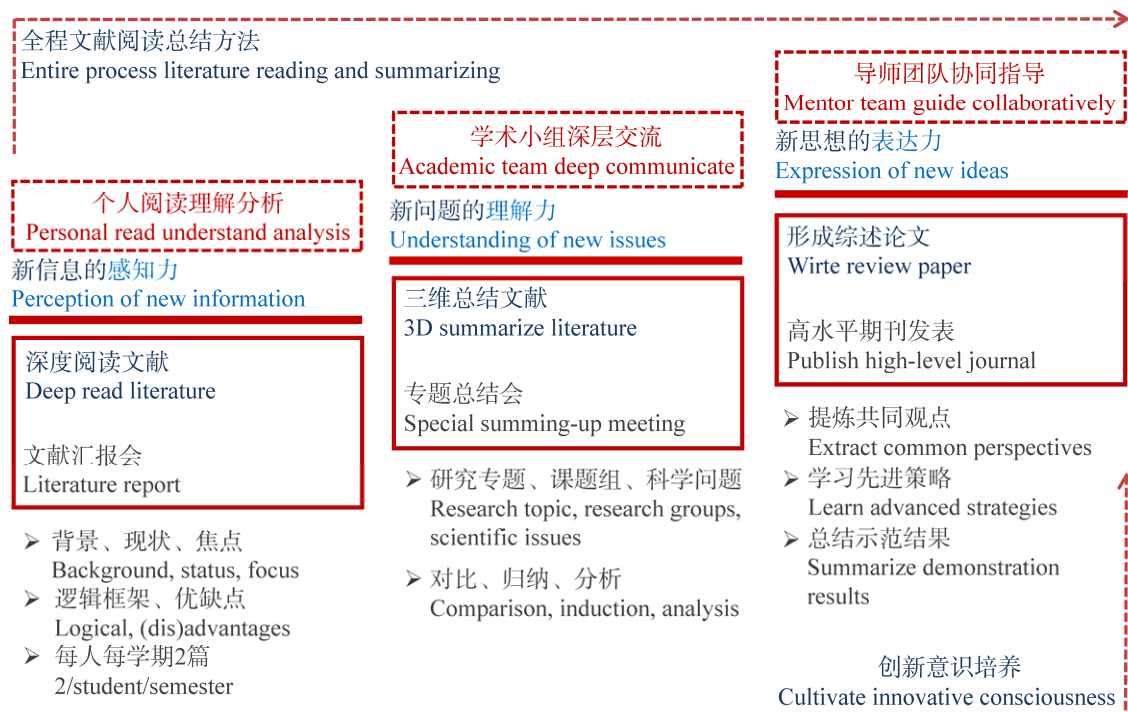


图 2 基于全程文献阅读总结的创新意识培养体系

Figure 2 Innovation awareness cultivation system based on full course literature reading and summary.

新论坛,邀请校内外有突破性科研进展的研究生作报告,从研究目标、工作思路、成功经验、错误反思 4 个方面交流创新心得。在氛围营造方面,导师亲自参与一线实验与实践活 动,集中精力强化自身塑造与创新完善,发挥表率作用;重点培养有创新想法的研究生,在信息、资源上给予大力支持,树立典型。在激励方面,设立优秀博/硕士生奖、优秀论文奖、技术创新奖等一系列奖项,予以表彰,并在实验室电子荣誉墙上加以宣传;对研究生的高水平期刊成果给予较高额度的奖励,鼓励研究生深入挖掘学科的关键科学问题,并创新性提出解决方法;对创新能力强的研究生,资助其进行国外短期交流、参加国际会议。通过上述多样化、全方位的激励机制,为研究生的自我激励发展提供目标和动力,并形成了人人争先、人人创新的良性氛围。

2.2 围绕重大项目,以高性能生产菌种创制牵引工程创新能力培养

在我国经济发展向高质量转型的背景下,高校通过校企合作模式加强创新人才培养,改变研究生“重理论、轻实践”的思想,提升研究生工程创新能力,解决工程技术人才培养与生产实践脱节的突出问题,是符合时代发展的战略举措^[12]。

2.2.1 依托平台,构建了研究生工程创新能力培养支撑体系

以食品科学与资源挖掘全国重点实验室(2007 年)、粮食发酵与食品生物制造国家工程研究中心(2010 年)等国家平台,工业生物技术教育部重点实验室(2000 年)、糖化学与生物技术教育部重点实验室(2014 年)、江苏省现代工业发酵协同创新中心(2017 年)、食品合成生物技术教育部工程研究中心(2019 年)等省部级研究平台为支撑,形成本领域完整的国家拔尖人才师资队伍。依托“111”计划中的“应用微生物及其生物

制造技术学科创新引智基地”项目(2012 年),与美国麻省理工学院、美国加州大学伯克利分校、瑞典查尔莫斯理工大学等国际一流高校和研究机构建立了密切的合作和交流关系,聘请 25 位国际著名教授来研究中心交流、授课,形成国际化顶尖导师队伍,建成“一核两翼”学术高地(发酵工程、合成生物学、酶催化工程)。通过“引进一流专家,打造一流平台”,构建了贯穿理论研究、技术创新、工程研发、全球协作的国际一流的生物工程技术科研平台和人才培养基地(图 3)。

2.2.2 校企联合,聚集了培养研究生工程创新能力的工程技术专家队伍

与国内发酵工程行业龙头企业,如江山制药、宁夏伊品、梅花生物、湖南新合新等深度合作,建立了维生素、氨基酸、有机酸、材料单体、食品添加剂、酸性多糖、稀有糖等 10 余个校企联合研究中心或协同创新实验室。依托校企联合研究中心和江苏省研究生产业导师计划,聘请了 16 位来自企业界的国家人才、技术总监、教授级高工等产业技术专家为导师,形成了一支聚集了学术研究导师、企业技术专家和海外学术带头人的工程技术专家队伍,共享学科前沿、科技成果、人才等资源,共同设计培养目标、制定培养方案、实施培养过程,带领研究生深入产业一线开展工程实践,显著提升了研究生工程创新能力(图 3)。

2.2.3 嵌入产业,在完成重大重点项目过程中历练研究生工程创新能力

“嵌入产业、融入工程”,让研究生直接参与国家重大科研项目的科研攻关过程,引导研究生开展基础研究,与导师团队共同破解工程难题,提高科研实践能力和原始创新能力。以“863 计划”重点项目“维生素 C 发酵菌种改造和代谢工程技术”(2006AA020303)为例,研究生在参与

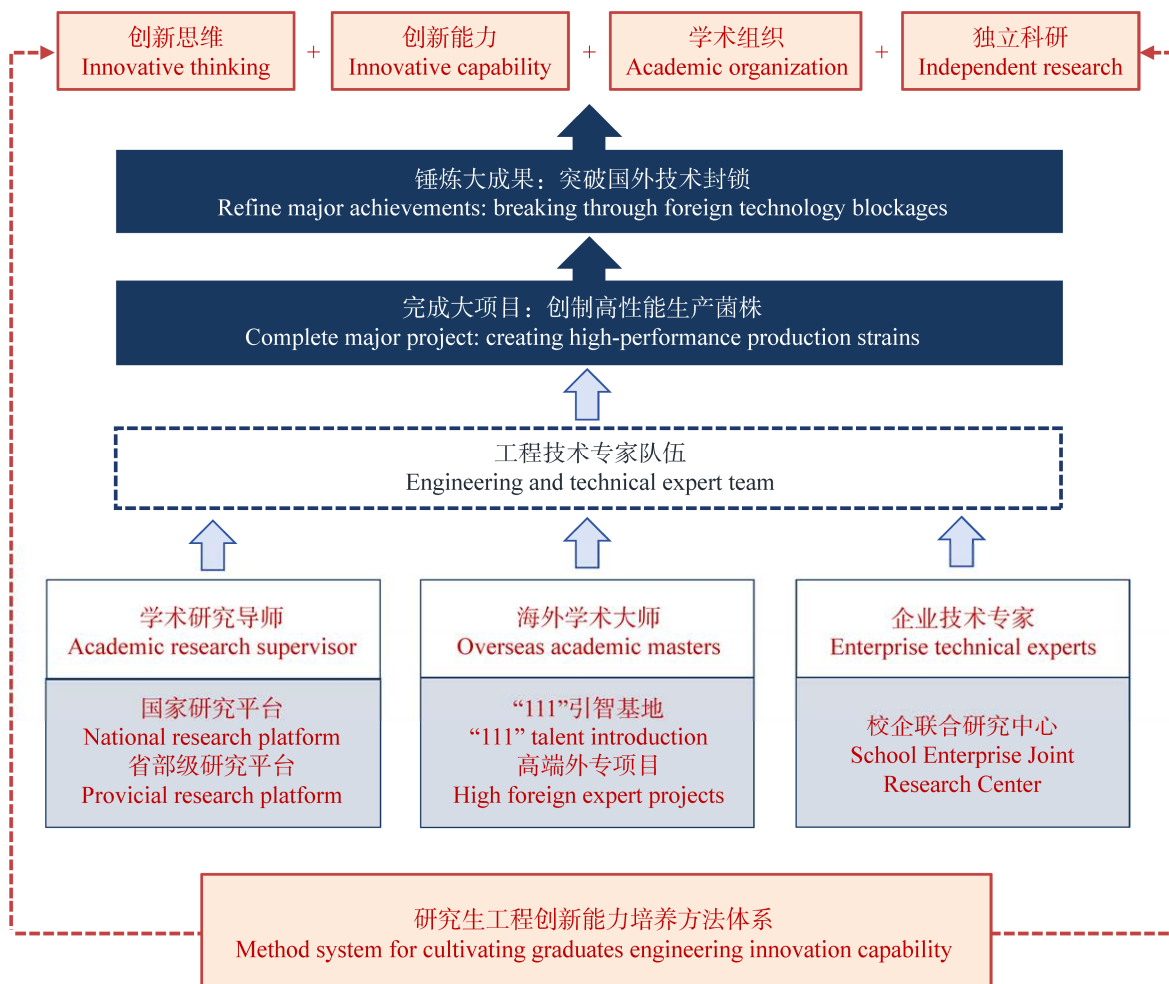


图3 依托平台和重大项目培养研究生工程创新能力的方法体系

Figure 3 Methodological system for cultivating graduates' engineering innovation capability based on platforms and major projects.

完成项目中，了解国家对重大发酵产品的需求，围绕高性能菌种创制过程中面临的挑战性问题，以全基因组测序和网络模型为突破口，通过发展代谢流向、流量和流速的动态调控新技术，获得了高产菌种，培养了研究生工程创新能力。研究生先后参与了“973 计划”“863 计划”、科技支撑计划和重点研发计划，以及江苏省科技成果转化基金、江苏省前沿引领技术基础研究专项等重大重点项目 100 余项，研究生在“坚持需求导向、解决实际问题”中历练工程创新能力，逐步成长为具有工程创新能力的科研生力军(图 3)。

2.2.4 勇挑重担，在锤炼大成果过程中历练研究生工程创新能力

“挑重担、压任务”，鼓励研究生作为重大课题的主导者，在充分联系同行学者、行业协会、重点企业的基础上，围绕重大发酵产品高性能菌种创制中的关键难题，在导师团队指导下，在学术创新、技术开发、工程应用三方面持续攻关、广泛合作，突破了酶元件改造、代谢流调控和细胞耐受性等关键技术，创制了酮酸、丁二酸、1,3-丙二醇、精氨酸、苏氨酸等高性能菌种，突破了国外技术封锁，实现了 10 万 t

级工业化生产, 6 项科研成果获得国家和省部级科研奖励, 锤炼了研究生的工程创新能力(图 3)。

2.3 引领交叉前沿, 以合成生物学的关键科学问题聚焦学术创新能力培养

在面向未来的大科学时代, 以跨学科交叉融合为培养研究生创新能力的主要目标, 通过跨学科交叉融合, 打造专业课课程群, 激发求知欲, 提升创新力^[13]。

2.3.1 完善课程体系, 构建了“发酵工程+”跨学科研究生交叉知识体系

针对创新型研究生培养, 在夯实发酵工程核心学位课的基础上, 打造“发酵工程+”系列优质课程, 如发酵工程与纳米材料、物理化学、信息科学等学科的交叉型学位方向课。出版《系统生物学与发酵工程》《代谢工程与发酵工程》《食品微生物功能调控与优化》等交叉学科教材 3 部, 获“十二五”国家重点图书奖。实施跨学科顶尖科学家讲座计划, 每年 10 月举办微生物制造工程蠡湖论坛, 邀请合成生物学、酶工程、AI 计算、物理化学等不同学科的国内外“四青人才”举办讲座, 从而突破学科壁垒, 构建“发酵工程+X”研究生知识体系。

2.3.2 依托学科平台, 构建了一支学科交叉国际接轨的高水平导师队伍

研究中心已建成一支学科门类齐全、年龄结构合理、国际视野广阔、产业经验丰富的导师队伍, 并入选 2023 年江苏省高等学校优秀科技创新团队。团队成员来自发酵工程、代谢工程、酶工程、物理化学、有机化学、生物化学等 6 个二级学科门类, 5 人有一年以上海外学习和工作经历, 5 人获国家人才称号。依托国家外专局和教育部“应用微生物及其生物制造技术学科创新引智基地”项目, 采用松紧双轨方式特聘美国科学院外籍院士 Jens Nielsen 教授、韩国科学院院士 Sang Yup Lee 教授、美国工程

院院士 Jay D. Keasling 教授和美国伊利诺伊大学 Huimin Zhao 教授等 15 名海外大师加入导师队伍, 定期进行报告交流, 探讨国际前沿热点, 并联合培养研究生。上述由多学科背景教师、国家拔尖人才和海外学术大师组成的联合导师队伍营造了良好的学术环境, 推动了学科间的交叉, 为提升研究生学术创新能力奠定了良好的基础。

2.3.3 创新指导模式, 形成了培养研究生敏锐科学视角的多元矩阵导学机制

为了解决发酵工程的关键前沿问题和国家重大项目中的交叉难题, 建立了开放交叉的指导体系、团队育人的培养模式和多层次的交流机制。在培养模式上, 基于国家重大项目学科交叉性强、研究方向多样化的特点, 实行研究方向的双向选择, 给予研究生自主调整研究方向的空间, 实现任务与兴趣的统一。在学术指导上, 采取跨方向、开放、动态的组织方式, 研究生自由选择导师组, 组成学术小组和日常管理小组, 形成“一个中心, 多点开花”的多级开放交叉管理模式。在学术交流过程中, 安排不同学术小组共处一室, 了解其他小组的研究方向与意义, 打破各研究方向之间的壁垒, 形成“学术小组每周讨论、跨方向每月交流、团队每季对外交流”三个层次的定期交流制度, 通过资源共享和思维碰撞提升了团队的学术水平。形成了“开放交叉-团队育人-多层交流”的多元矩阵导学机制(图 4), 也创造了团队之间相互合作的契机, 锻炼了研究生的沟通协作能力, 为学术创新能力培养提供了新思路、新方法^[14]。

2.3.4 聚焦前沿问题, 在“真研究问题”中锤炼研究生学术创新能力

问题是创新的起点和动力源, 创新的过程就是发现问题、研究问题、解决问题的过程^[15]。团队带领研究生们用“真研究问题”的态度来

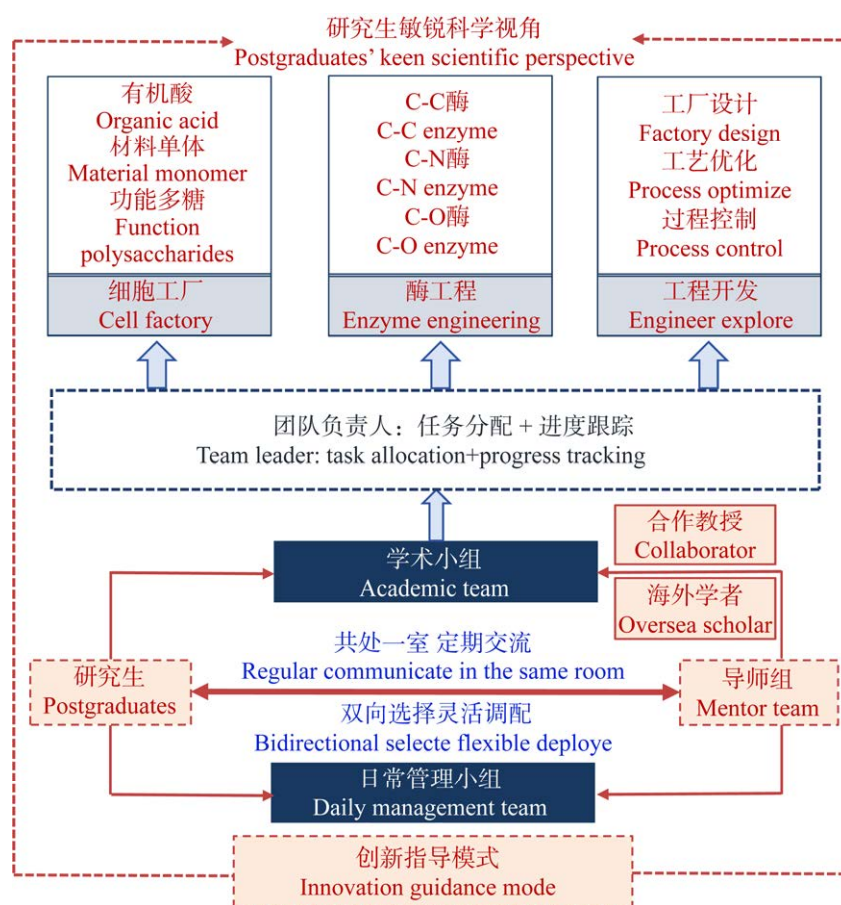


图 4 培养研究生敏锐科学视角的多元矩阵导学机制

Figure 4 Multivariate matrices guiding mechanism for cultivating graduates' acute scientific perspective.

“研究真问题”，从国家重大需求中凝练“真问题”，不断尝试学科交叉融合，推进科研解决“真问题”，锤炼研究生学术创新能力。以微生物固定二氧化碳为例，在 2015 年 11 月第 21 届联合国气候变化大会召开之际^[16]，研究团队敏锐地意识到微生物将在封存二氧化碳过程中发挥重要作用，提出了“代谢工程改造微生物捕集 CO₂ 合成高值化学品”研究方向，当年就开始安排博士生着手研究，先后引导 12 名博士、硕士研究生围绕微生物封存 CO₂ 的两个关键科学问题，即如何设计构建高效的 CO₂ 固定途径和如何为 CO₂ 转化途径提供足够的能量，进行持续攻关，先后设计和建立了 7 条高效 CO₂ 固定新途径，构建了 5 套能

量供给系统，将 CO₂ 固定效率提高到目前国际上异氧微生物最高水平 $[55.96 \text{ mg}/(\text{g DCW}\cdot\text{h})]$ ^[17]，获得了高效封存 CO₂ 合成丁二酸、苹果酸、乙偶姻的“碳负性”细胞工厂，在 *Nature Catalysis*、*Nature Communications*、*Metabolic Engineering* 等生物工程学科主流学术期刊上发表 SCI 论文 20 篇，授权发明专利 104 件。

3 生物工程类研究生创新能力培养的实践成效

通过积极开展“课程-项目-导师”交互提升生物工程类研究生创新能力的探索与实践，在

学校的关心和研究中心师生的不懈努力下,研究生创新能力全面提升,涌现出一大批服务国家重大需求和国民经济主战场的创新型人才,在突破国外技术封锁、解决国家重大需求、支撑学科跨越发展等方面成效显著。

研究中心先后培养发酵工程博士生 17 人、硕士生 87 人,其中教育部科学技术进步奖获得者 2 人、江苏省自然科学奖获得者 2 人、闵恩泽能源化工奖(青年进步奖)获得者 1 人、国家优秀青年基金获得者 1 人、中国科协青年科技人才托举工程入选者 1 人、江苏省优秀博士论文获得者 5 人、江苏省优秀硕士论文获得者 10 人、国家奖学金获得者 22 人次、江南大学校长特别奖获得者 2 人。通过提升学术创新能力,研究生以第一作者身份在 *Nature Catalysis* (2 篇)、*Nature Communications* (8 篇)、*Angewandte Chemie International Edition* (3 篇)、*Metabolic Engineering* (16 篇)、*Biotechnology and Bioengineering* (18 篇)等发酵工程主流学术期刊发表论文 150 余篇,有力支撑了合成生物学、蛋白质工程等学科新增长点和发酵工程“双一流”“A+”学科建设,研究中心入选江苏省高等学校优秀科技创新团队。15 位博士毕业生在清华大学、西北农林科技大学、江南大学、南京师范大学等国内外高校担任教职,逐渐成长为生物、化工、食品等学科的教授或学术带头人。

通过提升工程创新能力,多名毕业生走进产业界,成长为行业中的中流砥柱,担任恒瑞医药、药明康德、苏州艾博生物科技有限公司等行业知名公司研发总监、车间主任或技术骨干。研究中心 2010 届硕士毕业生汪军担任恒瑞医药子公司苏州盛迪亚生物医药公司生产高级总监,与制药设备提供商利德科技有限公司联合攻关“国产全自动在线配液系统的研发及在大规模抗体生产工艺应用”项目,通过工业

互联网、数字建模等先进技术,精准测算原料需求比例,抓取后直通生产设备,进行闭环操作,实现了生物制药中最为关键和繁琐的一道工序——“配液”的自主可控,不仅有效减少了人为误差,还极大降低了物料成本,一批次“配液”节省成本近百万元,成为恒瑞医药“50 年·50 人”荣誉最年轻获得者^[18]。

15 年来,在研究生创新能力培养过程中,研究中心瞄准重要工业菌种和酶制剂创制中的关键难题,主持承担国家重点研发计划、国家自然科学基金重点项目、国家自然科学基金创新研究群体科学基金等在内的国家和省部级课题 50 余项,企业横向项目 100 余项,体现了创新人才优势对科技、经济发展的有力支撑。以丁二酸高产菌种创制为例,丁二酸是生物可降解塑料聚丁二酸丁二醇酯 (polybutylene succinate, PBS) 的重要单体,年销售量在 20 万 t 以上^[19],但因其位于三羧酸循环的碳氮代谢平衡调控的关键节点,调控复杂,成为中心代谢途径中难以实现工业化生产的四碳有机酸,为突破这一难题,组建了由 2 名博士研究生和 3 名硕士研究生组成的科研小组,由高校和企业构成的导师组进行联合指导,2 名博士生围绕代谢流调控和菌种抵御高渗胁迫进行技术攻关,3 名硕士生进驻企业的合作科研基地进行发酵工艺控制和培养基优化的科研工作,对丁二酸高产菌种创制进行接力棒式创新研究,经过 3 年的刻苦攻关成功突破了丁二酸的工业生产技术,打破了国际知名公司对我国进行的菌种封锁,大大提升了相关产业的国际竞争力,产生了显著的经济和社会效益。

研究中心将创新人才培养模式在安徽科技学院、盐城工学院推广应用,有力支撑安徽科技学院获批硕士学位授予单位,得到安徽省教育厅肯定。多次应邀在中国海关、江苏省研究

生导师研修班、南京农业大学、华东理工大学等单位介绍提升研究生创新能力的实践,产生了引领示范效应。

4 展望

生物工程是当代高新技术的前沿领域之一,是生命科学通向应用领域的桥梁,得益于国家政策的支持,发酵工程产业已成为我国战略性新兴产业的关键一环,其高质量发展离不开高水平的人才。面对激烈的国际竞争,唯有立足国家战略需求、学校发展目标、学科专业基础,瞄准经济社会发展对发酵工程领域高水平人才的需求,合理确定人才培养途径,完善科教结合、产学研融合、校企合作的协同创新育人模式,聚力培育一批面向工程应用的创新型人才,努力成为地方创新驱动的策源地,打造高质量创新人才培养高地。

REFERENCES

- [1] 习近平对研究生教育工作作出重要指示[EB/OL]. [2020-07-29]. https://www.gov.cn/xinwen/2020-07/29/content_5531011.htm.
- [2] 梁传杰. 深刻领会发展思路内涵 引领研究生教育高质量发展[J]. 学位与研究生教育, 2020(11): 7-11.
LIANG CJ. Deeply understand the connotation of development ideas and develop graduate education with high quality[J]. Academic Degrees & Graduate Education, 2020(11): 7-11 (in Chinese).
- [3] 李文涛, 张帆, 江凌, 高振. 生物工程专业校企协同人才培养模式的创新与实践[J]. 生物工程学报, 2023, 39: 4730-4741.
LI WT, ZHANG F, JIANG L, GAO Z. Fostering talents in biotechnology major through the university-enterprise collaborative training mode[J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2023, 39: 4730-4741 (in Chinese).
- [4] 马莉, 沈思怡, 饶玉春. 新时代背景下创新型专业人才培养模式的探索及实践[J]. 生物工程学报, 2024, 40: 292-303.
MA L, SHEN SY, RAO YC. Exploring the innovative talents training mode in new era[J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2024, 40: 292-303 (in Chinese).
- [5] 奚文静, 李强, 夏立. “新工科”背景下人才培养模式改革的探索研究: 以南京理工大学为例[J]. 工业和信息化教育, 2023, 3: 1-5, 10.
XI WJ, LI Q, XIA L. Exploration and research on the reform of talent training model under the background of new engineering: taking Nanjing University of Science and Technology as an example[J]. Industry and Information Technology Education, 2023, 3: 1-5, 10 (in Chinese).
- [6] 李冰, 刘侠, 李巍. 新工科背景下创新人才培养模式的探索与实践[J]. 黑龙江教育(高校研究与评估), 2023, 10: 41-43.
LI B, LIU X, LI W. Exploration and practice of innovative talent training models under the background of new engineering[J]. Heilongjiang Education (Research and Evaluation of Higher Education), 2023, 10: 41-43 (in Chinese).
- [7] 金黎明, 权春善, 张艳梅, 刘宝全, 许永斌. 生物工程学术学位型研究生创新人才培养研究[J]. 科技风, 2019, 34: 224.
JIN LM, QUAN CS, ZHANG YM, LIU BQ, XU YB. Research on cultivating innovative talents for academic degree based postgraduates majoring in biotechnology[J]. Technology Wind, 2019, 34: 224 (in Chinese).
- [8] 周苏, 余强. 创新思维与方法[M]. 2版. 北京: 中国铁道出版社, 2021.
ZHOU S, YU Q. Innovative Thinking and Methods[M]. 2nd ed. Beijing: China Railway Publishing House, 2021 (in Chinese).
- [9] 郑丽娜, 姜子娇, 雷庆. 新时代卓越工程师核心能力: 基于扎根理论的探索性研究[J]. 中国高教研究, 2022(9): 38-45.
ZHENG LN, JIANG ZJ, LEI Q. Key competencies for outstanding engineers in the new era: an exploratory grounded theory study[J]. China Higher Education Research, 2022(9): 38-45 (in Chinese).
- [10] 三部门关于印发《制造业人才发展规划指南》的通知[EB/OL]. [2017-02-24]. https://www.gov.cn/xinwen/2017-02/24/content_5170697.htm.
- [11] 增强创新意识, 培养创新思维-推进党和国家各项事业的科学思想方法[EB/OL]. [2023-09-18]. https://paper.people.com.cn/rmrb/html/2023-09/18/nbs.D110000renmrb_05.htm.

- [12] 孙士茹. 跨学科: 博士生创新能力培养的基本路向[J]. 当代教育论坛, 2023(1): 25-34.
SUN SR. Interdisciplinarity: the basic way of cultivating doctoral students' innovative ability[J]. Forum on Contemporary Education, 2023(1): 25-34 (in Chinese).
- [13] 袁文杰, 姬芳玲, 赵婷婷, 杨君, 贾凌云. 新经济形势下的生物工程一流专业建设与实践[J]. 生物工程学报, 2022, 38(12): 4789-4796.
YUAN WJ, JI FL, ZHAO TT, YANG J, JIA LY. Development of first-class biotechnology major under new economic situation[J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2022, 38(12): 4789-4796 (in Chinese).
- [14] 王扬, 刘景超, 王显凌晨, 王文文. 博士生导师关系影响机制与导学共同体优化策略[J]. 研究生教育研究, 2022, 6: 53-58.
WANG Y, LIU JC, WANG XLC, Wang WW. On the influence mechanism of supervisor-doctoral student relationship and the strategy for optimizing supervisor-doctoral student community[J]. Journal of Graduate Education, 2022, 6: 53-58 (in Chinese).
- [15] 程强. 生物制造: 一场新的产业革命[N]. 中国石化报, 2023-09-06: 5.
- [16] 第26届联合国气候变化大会开幕 2021年全球气候状况报告发布[EB/OL]. [2021-11-02]. <http://m.tanpaifang.com/article/80328.html>.
- [17] HU GP, LI ZH, MA DL, YE C, ZHANG LP, GAO C, LIU LM, CHEN XL. Light-driven CO₂ sequestration in *Escherichia coli* to achieve theoretical yield of chemicals [J]. Nature Catalysis, 2021(4): 395-406.
- [18] 创新助推跨越 健康筑梦未来: 恒瑞医药举行成立五十周年总结暨表彰大会[EB/OL]. [2020-11-09]. https://www.huaxuejia.cn/huaxuejia/news/html/news_3198.html.
- [19] 杜树清, 张鑫, 崔峥嵘, 李凤生, 杨旭, 张健康, 陈颖. 聚丁二酸丁二醇酯(PBS)的合成工艺及其产业现状浅析[J]. 聚酯工业, 2023(36): 1-4.
DU SQ, ZHANG X, CUI ZR, LI FS, YANG X, ZHANG J, CHEN Y. Synthesis process and industry status of polybutylene succinate (PBS)[J]. Polyester Industry, 2023(35): 1-4 (in Chinese).

(本文责编 陈宏宇)