



## 基于综合能力培养的“结构生物学”教学改革\*

李颖杰<sup>1,2)\*\*</sup> 郭婷婷<sup>1,2)</sup> 王明钰<sup>1,2)</sup> 武大雷<sup>1,2)</sup> 高翔<sup>1,2)</sup> 王禄山<sup>1,2)\*\*</sup>

(<sup>1)</sup> 山东大学微生物技术国家重点实验室(研究院), 青岛 266237; (<sup>2)</sup> 山东大学生命科学学院, 青岛 266237)

**摘要** 结构生物学作为迅速发展的前沿学科, 已渗入到生命科学各个研究领域。“结构生物学”课程的开设对拓展本科生知识体系、培养学生科学精神、创新能力等具有重要作用。为满足“新工科”人才培养需求, 教学团队基于“价值塑造、知识传授、能力培养”的三位一体教育理念, 以培养学生思维能力、创新意识和工程实践能力为目标, 设计进阶式教学内容, 挖掘思政元素; 基于问题导向学习(problem-based learning, PBL)建立多样化教学模式、学生评价体系和教学评价体系, 培养学生分析问题和解决问题能力, 建立一套适合生命学科各专业本科生的“结构生物学”教学体系。学生参与的评估数据结果表明, 该教学改革实践效果良好, 有助于“新工科”背景下研究型综合创新人才的培养。

**关键词** 结构生物学, 教学改革, 新工科, 本科生培养, 课程思政, 问题导向学习, 多元化评价体系

**中图分类号** Q67, G642

**DOI:** 10.16476/j.pibb.2024.0381

结构生物学一般指通过可视化方式来深入理解生物学中亚细胞结构以及生物分子个体发挥某种(些)关键作用的科学。从20世纪50年代起, 人们已经认识到蛋白质结构对其功能的重要作用, 即结构是蛋白质发挥功能的基础, 而功能是蛋白质结构的表现特征。蛋白质结构的解析不但有助于人们从分子水平阐明生物反应原理, 而且对医药工业的发展具有关键作用。如今, 结构生物学已渗入到包括生物化学、细胞生物学、遗传发育、微生物学、神经生物学以及病理药理等在内的各个生命科学研究领域。随着人工智能的迅速发展, 谷歌旗下DeepMind公司联合欧洲分子生物学实验室(European Molecular Biology Laboratory, EMBL)旗下欧洲生物信息学研究所(European Bioinformatics Institute, EBI)于2021年公布了AlphaFold2软件预测的100万个物种超过2亿个蛋白质的结构, 对结构生物学的发展起到了巨大的推动作用。2024年, 谷歌公司推出的新一代AlphaFold3更是涵盖了前所未有的预测广度, 能够高精度预测蛋白质与其他各种分子相互作用的复合物结构<sup>[1]</sup>。因此, “结构生物学”课程作为山东大学生命科学学院生物技术和生物科学专业本科生的专业限选课, 该课程的开设对拓展本科生知识体

系、培养学生科学精神、创新能力等具有重要作用。然而, 由于结构生物学知识相对较为微观、抽象且复杂, 对学生专业背景要求相对高, 且大多数本科生对结构生物学基本理论了解极少, 导致很多学生在结构生物学学习过程中对关键知识的理解比较困难, 学习效果不佳。

为适应新一轮科技革命和产业变革的新趋势, “新工科”建设要求“树立创新型、综合化、全周期工程教育理念, 优化人才培养全过程、各环节, 培养学生对产品和系统的创新设计、建造、运行和服务能力。着力提升学生解决复杂工程问题的能力, 加大课程整合力度, 推广实施案例教学、项目式教学等研究性教学方法, 注重综合性项目训练”(源自教育部、工业和信息化部、中国工程院2018年发布的《关于加快建设发展新工科实施卓越工程师教育培养计划2.0的意见》)。因此, 亟待将新技术、新知识引入到结构生物学课程教学内容中, 创

\* 山东大学基本科研业务费专项资金(2019HW022)和山东大学教育教学改革项目(2024Y271)资助。

\*\* 通讯联系人。

李颖杰 Tel: 18561851726, E-mail: yingjie.li@sdu.edu.cn

王禄山 Tel: 13156155829, E-mail: lswang@sdu.edu.cn

收稿日期: 2024-08-27, 接受日期: 2024-09-26

新教学模式, 培养学生的逻辑思维能力和创新能力, 进而提升学生解决复杂问题的能力。基于此, 教学团队依据“价值塑造、知识传授、能力培养”的三位一体教育理念(源自教育部2020年印发的《高等学校课程思政建设指导纲要》), 以培养学生思维能力、创新意识和工程实践能力等综合能力为

目标, 从教学内容设置、思政案例挖掘、教学模式构建以及评价系统设计等方面, 对结构生物学的课程内容与教学方式进行了系统的改革。经过三年教学实践, 建立了一套适合本校生命科学各专业本科生的“结构生物学”教学体系(图1)。

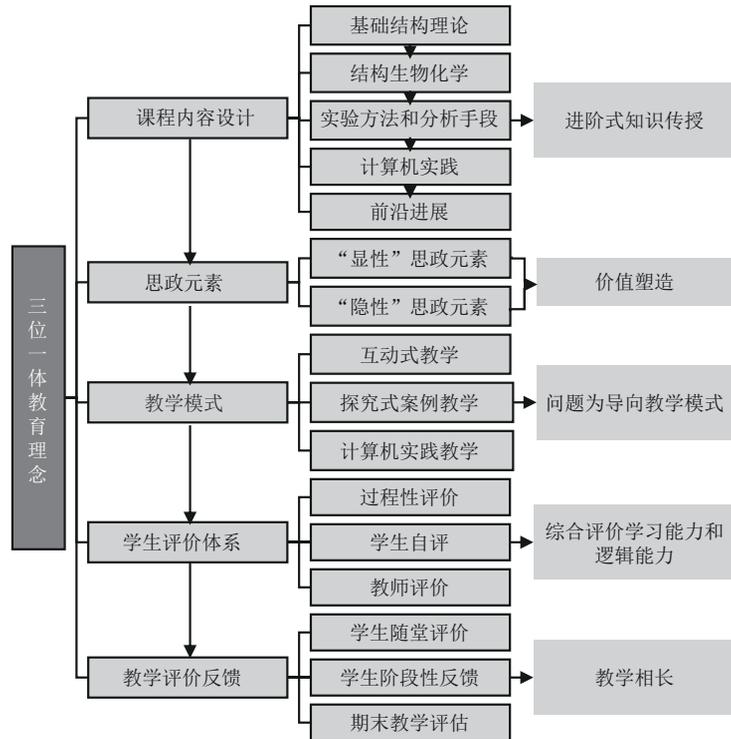


Fig. 1 Curriculum reform model of “Structural Biology” course based on trinity education concept  
图1 基于“三位一体”教育理念的“结构生物学”课程改革模式

### 1 基于“三位一体”理念设计多模块进阶式教学内容

在山东大学本科生培养计划中, “结构生物学”作为生命科学类专业限选课, 课程对象主要为生物技术和生物科学专业三年级本科生, 其在选课前均进行了生物化学、细胞生物学、微生物学、分子生物学等相关基础专业课的学习。该课程总学时32学时, 课时频率为1次/年, 选课人数不低于5人即可开课。前期调研显示, 学生普遍对结构生物学缺乏了解, 课程学习效果不佳。另一方面, 随着人工智能的飞速发展, 结构生物学研究也进入了一个全新的时代。基于此, 教学团队依据三位一体教育理念, 以生物化学为核心, 遵循由浅入深的原则, 设计了“基础结构理论—结构生物化学—实验设计和

分析—计算机实践—前沿进展”五大模块的教学内容(表1)。

在课堂讲授中, 通过进阶式地讲解结构生物学知识, 使学生在相对熟悉的“生物化学故事”中学习并掌握相关的结构生物学课程内容。在基础结构理论方面, 主要介绍结构生物学基础元件, 如常见基序、结构域的主要差异和结构特征。同时, 通过典型基序和结构域的深入讲解, 让学生能够初步认识蛋白质的基础结构, 即看到和了解“组成蛋白质结构的基本元件是什么样子”。在此基础上, 教学团队通过不同生物学过程的系统讲解, 主要包括基因转录与调控、蛋白质合成、信号转导、免疫系统、病毒结构和致病机制等, 在巩固和拓展学生理论知识的基础上, 对关键蛋白质的结构及其作用机理进行详细讲解。通过该部分知识的学习, 使得学

生对蛋白质结构有了较为全面的认识,不但能够读懂“蛋白质长什么样子”,而且能够深刻感受到蛋白质结构和功能之间的密切关系。此外,课程还引入了结构生物学相关的一系列实验方法和基本研究手段,主要包括不同蛋白质表达系统、蛋白质纯化策略、获取蛋白质结构的常用手段等。同时,借由计算机实践操作,使理论与实践相结合,让学生独立完成一个蛋白质从核酸序列的检索、基础理化性质分析、结构建模预测,到使用蛋白质可视化软件PyMOL对其结构进行分析。

前沿进展包含“结构生物学与蛋白质工程”和“结构生物学与人类疾病”两部分内容,主要结合团队老师自身课题研究方向,给学生介绍结构生物

学在相关领域的一些重要研究进展。此外,课程还设置了“随堂前沿进展”内容,即根据课程内容给学生分享与之相关的重要发现,如新碱基分子X和Y介导的“非天然”氨基酸合成、cAMP介导的细菌信号转导、细菌/古菌免疫系统CRISPR (clustered regularly interspaced short palindromic repeats)的蛋白质结构和作用原理、新冠病毒刺突蛋白的结构和致病机制以及新冠病毒mRNA疫苗的作用原理、与T4噬菌体结构相似的细菌六型分泌系统(type VI secretion system, T6SS)结构和作用机制等,进一步开拓学生的学术视野,让学生了解结构生物学在基础科学研究、蛋白质工程和药物开发等领域发挥的关键作用。

Table 1 Teaching content design based on trinity education concept

表1 基于“三位一体”教育理念的教学内容设计

进阶式知识模块	具体内容	教学改革和实践典型案例
基础结构理论	生物大分子结构和功能	价值塑造: 设置“蛋白质基序和结构域: 个体与整体的关系”思政元素, 培养学生的社会主义核心价值观
	可溶性蛋白质基序和结构域	能力培养: 让学生总结蛋白质常见基序结构共性, 培养学生的归纳演绎能力
	蛋白质折叠与柔性 细胞膜和膜蛋白结构	
结构生物化学	基因转录与调控	价值塑造: 设置“牛胰岛素的合成”、“糖丸爷爷顾方舟”和“艾滋病零号病人”等显性思政元素, 以及“信号转导: 1+1>2的团结协作”隐性思政元素, 培养学生的家国情怀和专业自信, 树立勇于探索的科学家精神
	蛋白质合成	能力培养: 通过互动式案例教学, 让学生从已知实验数据推测实验结果和共性理论, 培养学生解决复杂问题的逻辑分析能力
	信号转导途径	
	免疫系统	
实验方法和分析手段	病毒结构和致病机制	能力培养: 通过翻转课堂, 以抗体与抗原相互作用为例, 让学生根据学习内容, 设计实验方案探究抗体与抗原的相互作用机制, 培养学生提出问题、分析问题和解决问题能力
	蛋白质表达与纯化	
	蛋白质互作常用方法 结构生物学基本研究手段	
计算机实践	蛋白质结构预测与分析	价值塑造: 设置“人工智能AlphaFold2: 开放共享的科学精神”思政元素, 培养学生开放共享的科学精神
	蛋白质可视化软件PyMOL应用	
前沿进展	结构生物学与蛋白质工程	能力培养: 通过蛋白质工程设计案例, 采用互动式教学, 培养学生解决复杂问题的能力
	结构生物学与人类疾病	

## 2 挖掘思政元素, 培养学生的科学家精神

课程思政是落实立德树人根本任务的重要途径, 但是如何在生物学相关课程中进行有效的思政教育, 而非“道德说教”, 对于自然科学课程来说历来都是一个难点<sup>[2]</sup>。为切实发挥思政教育的作用, 让学生有代入感, 教学团队在教学改革中主要挖掘了两种思政元素: a. 以科学家科研事迹为核心的“显性”思政元素; b. 以结构生物学知识价值内涵发掘为核心的“隐性”思政元素。

### 2.1 “显性”思政元素

根据授课内容, 课程共设置3个思政案例, 主要包括“牛胰岛素的合成”、“糖丸爷爷顾方舟”和“艾滋病零号病人”。为避免思政教育流于形式, 出现学生学习兴趣低、甚至抵触的现象, 教学团队设计了不同授课形式。如, 在蛋白质生物合成讲解过程中, 对学生比较熟悉的牛胰岛素合成, 主要通过翻转课堂的方式让学生自己查资料, 讲故事, 了解中国牛胰岛素化学合成的时代背景、艰苦环境、课题艰难度以及研究工作者之间的合作等, 让学生感

受奋斗、团结合作等科学精神,提升学生的自豪感和使命感;在“免疫系统”疫苗工作原理讲解中,采用视频资料(<https://tv.cctv.com/2020/05/17/VIDEEx186u5zUn18O0YXpVku200517.shtml?spm=C55953877151.PjvMkmVd9ZhX.0.0>)让学生了解“糖丸爷爷顾方舟”研制小儿麻痹症疫苗的生平事迹,体会科学家研究的艰辛与伟大,学习科学家的责任感和爱国精神等;在“病毒结构和致病机制”课程中,以漫画形式介绍“艾滋病零号病人”整个事件过程,引出网络暴力的危害性,并通过互动式教学引导学生设计实验方案澄清有关零号病人的错误结论<sup>[3]</sup>。此外,教学团队会在不同内容讲解过程中系统介绍中国科学家在结构生物学领域取得的重大成就,提升学生的自信心和自豪感。

## 2.2 “隐性”思政元素

相较于科学家精神“显性”思政,以提升知识内涵价值为核心的“隐性”思政元素挖掘更为困难。教学团队在实践中共挖掘了3个“隐性”思政元素,主要包括“蛋白质基序和结构域:个体与整体的关系”、“信号转导:1+1>2的团结协作”和“人工智能AlphaFold2:开放共享的科学精神”。在“蛋白质基序和结构域”讲解中,团队借鉴了吴伟等<sup>[4]</sup>的思政课程思路,通过单一蛋白质基序可与其他基序组成不同功能结构域、同一蛋白质结构域可与其他结构域形成不同功能蛋白质的结构生物学现象,引申出个体与整体的关系,即整体的发展要靠个体的努力,而个体的价值取向应与整体利益相一致,每个人都需要在实现“中国梦”这个整体价值的前提下去实现“个人梦”。在“信号转导途径”单元,信号转导过程主要包括分子信号的产生、传播、放大以及下游生理活动的响应等。如,胰岛素作为人体糖代谢的重要信号分子,通过与细胞受体结合,引发胞内激酶级联反应,将信号放大并传递给下游代谢过程,从而实现对细胞糖代谢的精准控制。这种作用模式类似科研和其他工作中的团队协作,团队成员围绕核心科学问题发挥不同的作用,彼此优秀的协作犹如信号放大过程,达到1+1>2的效果。在蛋白质结构预测分析方面,教学团队通过介绍非生物专业研究人员跨界设计出解决生物学难题的AlphaFold2人工智能,激发学生的交叉创新思维,同时通过DeepMind公司后期公开AlphaFold2源代码的例子教育学生开放共享的科学精神,即科研成果的共享能够使科学技术的发展更为迅速。综上所述,教学团队通过“润物细无声”的方式将课

程思政有机地融合到结构生物学的教学实践中,培养学生的家国情怀、全球视野和专业自信,树立精益求精的大国工匠精神和勇于探索与团队合作的科学家精神。

## 3 构建多样化教学模式,充分发挥学生的主观能动性

为充分发挥学生的主体作用,将教学模式从“以教为主”转变为“以学为主”,教学团队基于问题导向学习(problem based learning, PBL)教学法,在传统讲授式教学的基础上,整合多种教学模式,主要包括互动式、案例探究式和实践沉浸式等,结合现代化教学平台,如慕课、雨课堂、问卷星等,充分利用有限的课堂教学时间,增强学习效果,提升学生的逻辑分析能力和创新能力。

### 3.1 互动式“课前预习—课堂学习—课后巩固”教学模式

为全面提高学生学习兴趣的持久性和主动性,教学团队借助雨课堂、问卷星和网上资源库等教学平台,从“课前预习—课堂学习—课后巩固”3个阶段进行互动式教学。a. 课前预习:将课程纲要和辅助视频资料等通过共用邮箱和“山大网盘”等方式共享给学生,在课堂授课前先让学生进行同伴式和师生互动“问和答”,提高课前预习效率,弥补部分学生因专业背景知识掌握不牢而影响课堂学习效果;b. 课堂学习:充分发挥“雨课堂”多通道互动功能,通过课堂考勤、随机点名、弹幕互动、关键知识点随堂测试等设置,调动课堂氛围,提高学生的学习积极性,同时利用“雨课堂”数据统计功能对学生的课堂表现进行分析,及时了解每名学生对课程内容的掌握情况,并针对普遍性问题进一步深入讲解,提高课堂学习效果;c. 课后巩固:针对课堂掌握不牢固的知识点,通过“问卷星”和学习微信群等开展课后作业发布和提交、知识难点互动解答和教学效果反馈等,进一步了解并提高学生的学习效果。

### 3.2 以问题为导向的探究式案例教学模式

在“前沿进展”蛋白质工程介绍中,教学团队借由三个案例设计,包括增强蛋白质pH耐受性的理性设计、用于致病菌生物被膜(biofilm)降解的蛋白质结构域拼接/组装以及蛋白质从头合成,从“方法应用—实验设计—逻辑推理”3个层次培养学生分析问题和解决问题的能力。在增强蛋白质pH耐受性设计案例中(知识应用能力),教学团队

以增强酶制剂木聚糖酶pH耐受性的理性改造为例<sup>[5]</sup>,首先在知识讲解过程中介绍蛋白质理性设计的通用解决方法,即给出实验设计的备选项。在此基础上引出增强嗜热木聚糖酶pH耐受性理性设计案例,让学生利用蛋白质工程改造的基本原则和课堂知识,给出增强木聚糖pH耐受性的理性设计方案和实验验证方法,并通过雨课堂分享交流。同时,通过与案例论文方法的比较,让学生自己找出设计的不足。在蛋白质拼装/组装工程设计案例中(实验设计能力),教学团队以耐药菌铜绿假单胞菌生物被膜的生物降解为例<sup>[6]</sup>,首先为学生提供研究背景,即致病菌铜绿假单胞菌为多重耐药菌,常规抗生素疗法效果不佳,而噬菌体裂解酶疗法更为有效,能够将细菌细胞壁降解。但铜绿假单胞菌会利用生物被膜阻止噬菌体裂解酶的进入,导致杀菌效果差。在此基础上提出科学问题,即“如何通过蛋白质工程改造使噬菌体裂解酶进入细菌细胞质?”大多数学生对此都能够给出解决问题的正确方法,设计思路主要包括两种:a.把噬菌体裂解酶与可以降解生物膜的蛋白质拼接;b.把噬菌体裂解酶与能够进入细菌胞内的结构域进行拼接。在蛋白质从头合成案例中(逻辑推理能力),教学中以David Baker团队<sup>[7]</sup>新蛋白质LOCKR的设计和应用为例,首先给出实验设计目的,即构建一个新蛋白质组合,使其能够通过一个类似笼子-门闩的设计实现蛋白质功能的开-关控制。该系统“笼子”和“门闩”蛋白之间的结合力既不能太弱(笼子关不上),也不能太强(笼子打不开)。通过让学生分析讨论论文案例中的实验数据,推理出适合设计目标的正确结果。

### 3.3 以人工智能AlphaFold2为核心的计算机沉浸式实践教学模式

随着人工智能的飞速发展,结构生物信息学已成为结构生物学研究一个必不可少的部分。据此,教学团队在基础理论讲解基础上,进一步加入了以人工智能AlphaFold2为核心的蛋白质结构预测和分析实践实验,使学生在计算机实践中进一步深刻了解蛋白质结构特征以及蛋白质结构与功能的相关性和作用机理。鉴于山东大学生命科学学院大多数三年级本科生已进入不同课题组开始实验实践,课前让学生根据实验课题找一个自己感兴趣的蛋白质,在课堂实践过程中,授课教师仅介绍相关数据库和软件的功能,通过让学生自己携带电脑在课堂进行计算机实践,对目标蛋白质进行系统的结构生

物信息学分析。首先是蛋白质基本理化性质的预测,主要包括理论分子质量、等电点、信号肽预测、结构域组成等。在此过程中,学生不但学会了利用数据库(NCBI和UniProt)进行蛋白质序列的搜索和比对等,而且还能够掌握一系列生物学基础分析软件的使用方法,如ProtParam、SignalP、SMART等。在此基础上,让学生分别利用SWISS MODEL和AlphaFold2进行蛋白质结构建模和预测,并结合蛋白质结构数据库(RCSB Protein Data Bank, PDB)信息,通过可视化软件PyMOL对感兴趣蛋白质的结构、表面电势、活性中心、作用配体等进行分析,最终“画”出一个专业的蛋白质结构图。教学实践表明,这种“发现问题—分析问题—解决问题”的探究式课程设计不但能够显著增强学生的课堂参与度、学习主动性、科学研究积极性,而且有助于培养学生解决复杂问题的逻辑能力和创新能力。

## 4 建立多元化的学生评价体系

为避免学生学习的功利主义,如仅通过考试突击追求最高分数,教学团队建立了学生学习的多元评价体系,通过不同类型过程性考核内容,综合评价学生的学习能力和逻辑能力等。

### 4.1 过程性考核

相较改革前,本课程加强了对学生学习过程的考核与评价,增大了过程性考核的比例(60%),并借助雨课堂对学习过程进行量化考核,主要包括:a.考勤签到,主要考察学生上课出勤率和迟到早退等情况;b.课堂提问和讨论,主要考察学生知识理解和运用能力;c.课堂小测验,主要考察学生课堂知识的掌握情况;d.课堂实验设计,主要考察学生利用所学知识去发现问题、解决问题的创新能力。

### 4.2 期中和期末考核

在期中和期末考核中,教学团队将考查内容的设置从“以知识考试为主”变为“以综合能力评价为主”,突出对学生发现问题、分析问题、解决问题等科研创新能力的培养。其中,期中考核主要以知识的掌握和灵活运用为核心,采用闭卷考试方式进行,集中考查学生前半学期的学习效果,不但有助于督促学生的学习积极性,而且能够较为全面地了解学生对知识的掌握情况。期末考试主要考查学生对知识融会贯通的综合应用和创新能力,采用开卷考试方式进行。考试内容共包含3个进阶式模

块: 基础归纳模块 (占比 50%)、知识应用模块 (占比 30%) 和理论实践模块 (占比 20%)。基础归纳模块题目难度较低, 以简答题为主, 重在考察学生对课程中基础知识点的理解和归纳总结能力。知识应用模块, 以论述题为主, 主要考察学生对知识的融会贯通能力, 即是否能够利用所学知识去解决问题。理论实践模块往往需要学生根据给出的实验数据或科学问题去自行分析数据、设计实验、解决问题, 该部分主要考察学生的逻辑思维和创新能力。

### 4.3 成绩构成

学生学业成绩由上文提到的 3 个结构化成绩构成, 按照过程性考核占比 60%、期中考核占比 10%、期末考核占比 30% 的权重计算出学生的最终成绩。为保证过程性考核的公平性, 过程性考核具有明确的赋分标准和足够的区分度, 主要包括考勤 (10%)、课堂提问和讨论 (30%)、课堂小测验 (30%) 和课堂实验设计/实践 (30%)。其中, 每项考核过程均以雨课堂和纸质表格的形式记录在案, 并允许学生进行成绩查询。

## 5 建立多元化的教学评价体系

为全面提升课程的教学质量, 教学团队还设置了不同的教学反馈和评价体系, 主要包括教学考评、随堂调查问卷、阶段性教学质量反馈等。其

中, 教学考评体系为山东大学本科生院设置, 主要包括学生评价和教学督导评价两个方面。随堂调查问卷主要设置两个环节: 一个是学生自评环节, 即自评知识的掌握情况; 二是课程内容反馈, 即随堂反馈出难以理解的知识点, 通过学生自评和难点反馈等反映课程内容设置的难易程度和教学效果, 并针对学生自评率较低或知识点较难的课程内容, 及时进行授课形式和内容的调整。阶段性教学质量反馈, 主要通过问卷星设置调研问卷, 从课程难易度、喜爱度、最喜爱课程内容以及课程建议四个方面深入了解学生的需求 (图 2), 以便帮助教学团队更好地对课程内容和授课方式等进行优化, 提高课程质量。从图 2a, b 可以看出, 随着课程的不断优化, 学生对课程喜爱度明显提高, 且学习效果良好。其中, 计算机实践和免疫系统单元的课程最受学生欢迎 (图 2d)。课程改革后, 选课人数逐年增加, 由改革前选课学生人数占生命科学专业学生比例不到 7% 增加到 2024 年的 40% (图 2c)。此外, 对授课学生的随访发现, 学生能够运用所学知识进行相关科研实践, 并取得一定成果。以教学团队教师作为项目指导老师为例, 2022~2024 年期间, 指导授课学生参与结构生物学相关研究课题 10 余项, 获得“大学生创新创业训练计划项目”国家级资助 1 项, “全国大学生生命科学竞赛”全国二等奖 2 项、省二等奖 3 项, 发表第一作者 SCI 论文 3 篇。

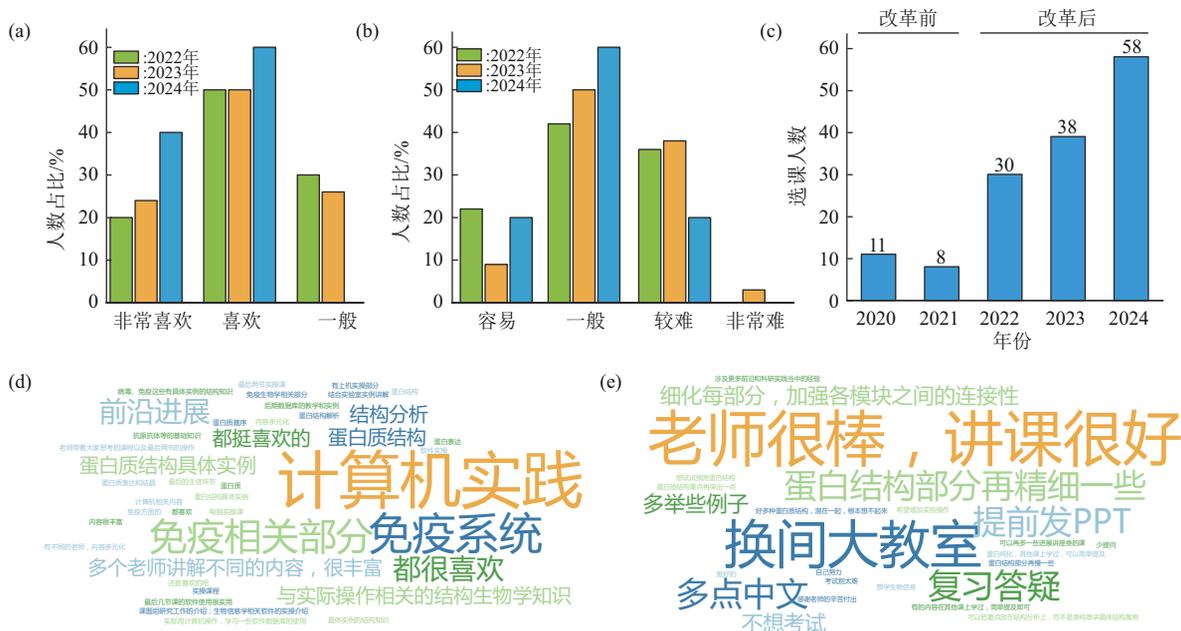


Fig. 2 Students' learning effect and course feedback after reform

图2 课程学习效果统计及课程反馈

(a) 改革后学生对课程的喜爱度; (b) 改革后课程难度统计; (c) 改革前后选课人数比较; (d) 学生感兴趣的课程内容; (e) 课程建议。

因此,学生参与的评估数据结果表明,这种基于自主能力驱动创新意识培养的教学改革效果是良好的,有助于“新工科”背景下研究型综合创新人才的培养。

## 6 总结与展望

项目团队基于三位一体教育理念,以培养学生逻辑思维能力和创新意识及工程实践能力等综合能力为目标,对我校生命科学专业本科生的专业限选课“结构生物学”课程进行了系统改革和实践,学生参与的评估数据结果显示教学改革效果显著。然而,学生学业成绩和课程反馈信息显示,仍然有少数学生存在知识掌握不理想、课堂参与度不高等问题。基于此,教学团队将进一步尝试以下改进措施:a.建设SPOC(Small Private Online Course)线上课程,让学生通过提前预习和课后巩固等方式,对关键结构生物学知识进行自主学习,增强学习效果;b.丰富探究式教学案例,通过翻转课堂和案例互动式教学模式,充分利用课堂时间,提高学生学习的积极性和能动性;c.更新计算机实践内容,系统介绍最新一代人工智能AlphaFold3的改进功能及其应用范围;d.完善过程性考核评价体系,增设学生内互评模式,充分发挥学生主体的作

用,为“新工科”背景下综合性研究人才的培养奠定基础。

## 参 考 文 献

- [1] Abramson J, Adler J, Dunger J, *et al.* Accurate structure prediction of biomolecular interactions with AlphaFold 3. *Nature*, 2024, **630**(8016): 493-500
- [2] 张美玲,贾彩凤,杜震宇.见微知著溶盐于汤——浅谈高校微生物课程思政的探索与实践. *生物学杂志*, 2019, **36**(4): 102-104  
Zhang M L, Jia C F, Du Z Y. *J Biol*, 2019, **36**(4): 102-104
- [3] Worobey M, Watts T D, McKay R A, *et al.* 1970s and ‘Patient 0’ HIV-1 genomes illuminate early HIV/AIDS history in North America. *Nature*, 2016, **539**(7627): 98-101
- [4] 吴伟,李慧涵.生物类专业课程思政教学改革初探——以生物化学为例. *微生物学通报*, 2020, **47**(4): 1191-1195  
Wu W, Li H H. *Microbiol China*, 2020, **47**(4): 1191-1195
- [5] Wu X, Zhang Q, Zhang L, *et al.* Insights into the role of exposed surface charged residues in the alkali-tolerance of GH11 xylanase. *Front Microbiol*, 2020, **11**: 872
- [6] Heselpoth R D, Euler C W, Schuch R, *et al.* Lysocins: bioengineered antimicrobials that deliver lysins across the outer membrane of gram-negative bacteria. *Antimicrob Agents Chemother*, 2019, **63**(6): e00342-19
- [7] Langan R A, Boyken S E, Ng A H, *et al.* De novo design of bioactive protein switches. *Nature*, 2019, **572**(7768): 205-210

## Teaching Reform of “Structural Biology” Course Based on The Ability Cultivation\*

LI Ying-Jie<sup>1,2)\*\*</sup>, GUO Ting-Ting<sup>1,2)</sup>, WANG Ming-Yu<sup>1,2)</sup>, WU Da-Lei<sup>1,2)</sup>, GAO Xiang<sup>1,2)</sup>,  
WANG Lu-Shan<sup>1,2)\*\*</sup>

<sup>(1)</sup>State Key Laboratory of Microbial Technology, Shandong University, Qingdao 266237, China;

<sup>(2)</sup>College of Life Sciences, Shandong University, Qingdao 266237, China)

**Abstract** As a rapidly developing frontier discipline, structural biology has penetrated into every field of life science research. The course of “Structural Biology” plays an important role in expanding the knowledge system of undergraduate students and promoting students’ scientific spirit and innovation. For the high-quality training of highly skilled talents, we aimed to promote the original innovation of students, the ability of thinking, and the ability of engineering practice. The trinity education concept, including shape of the value, passing on knowledge, and ability cultivation, was applied. During the reform, we explored a step-by-step course content and searched for factors involved in ideological and political education. Based on the problem-based learning (PBL) method, a hybrid teaching model was designed to cultivate the problem-thinking and problem-solving skills of students. Meanwhile, a number of evaluation systems for students and teachers were established, which may be generally adopted for the course of “Structural Biology”. The survey data suggested that the exploration has a good effect on teaching and training and is conducive to the cultivation of research-oriented, comprehensive, innovative talents under the background of “New Engineering”.

**Key words** structural biology, education reform, new engineering, undergraduate cultivation, ideological and political education, problem-based learning, diversified evaluation systems

**DOI:** 10.16476/j.pibb.2024.0381

---

\* This work was supported by grants from the Fundamental Research Funds of Shandong University (2019HW022) and the Teaching Reform Research Project of Shandong University (2024Y271).

\*\* Corresponding author.

LI Ying-Jie. Tel: 86-18561851726, E-mail: yingjie.li@sdu.edu.cn

WANG Lu-Shan. Tel: 86-13156155829, E-mail: lswang@sdu.edu.cn

Received: August 27, 2024 Accepted: September 26, 2024