

## 化学生物学专业多元化人才培养导向的课程体系优化探索

陈方方, 樊海明, 李延, 和媛\*

西北大学化学与材料科学学院, 化学国家级实验示范中心, 西安 710127

**摘要:** 针对化学生物学专业课程体系多学科课程相互独立、知识融合度不够, 导致学生解决实际问题能力不足的问题, 团队教师以优化课程体系为主导, 采取了重构课程模块构建螺旋上升的知识体系、强化实验训练构建三层次进阶的技能体系、优化教学策略建立创新人才持续培养机制等措施, 有效提高了教学质量, 增强了学生的创新能力和实践技能, 为探索多元化人才培养新机制提供了参考。

**关键词:** 化学生物学; 多元化人才培养; 课程体系

**中图分类号:** G64; O6

## Exploration of Curriculum System Optimization for Diversified Talent Cultivation in Chemical Biology

Fangfang Chen, Haiming Fan, Yan Li, Yuan He \*

National Chemistry Experimental Teaching Demonstration Center, College of Chemistry and Materials Science, Northwest University, Xi'an 710127, China.

**Abstract:** To address the challenges in the chemical biology curriculum system—particularly the fragmentation of interdisciplinary courses, insufficient knowledge integration, and students' limited ability to solve practical problems—our teaching team has implemented comprehensive curriculum optimization. Key initiatives include restructuring course modules to establish a spirally progressive knowledge framework, enhancing experimental training through a three-tiered (basic-comprehensive-advanced) skill development system, and refining teaching strategies to create a sustainable mechanism for innovative talent cultivation. These measures have significantly improved teaching quality while strengthening students' innovation capacity and practical skills, offering valuable insights for developing new approaches to diversified talent cultivation.

**Key Words:** Chemical biology; Diversified talent cultivation; Curriculum system

化学生物学是利用化学的理论、研究方法和手段来探索生物和医学问题的科学<sup>[1]</sup>, 是一门化学、生命科学和医学高度融合交叉的新兴学科, 不仅有助于阐明细胞过程的细节和调节机制、增进在分子水平上对生命的认识, 而且对于创制和发展新颖药物都具有重要意义。20世纪90年代, 哈佛大学的Stuart L. Schreiber首先提出了化学生物学这个概念, 随后美国著名的化学研究机构和大学相继建立了化学生物学研究中心<sup>[2]</sup>。我国在2000年后开始设立化学生物学本科专业, 第一批高校包括厦门大学、清华大学、北京大学等<sup>[3]</sup>。为了适应该学科快速发展, 全国共计23家本科院校(包括西北大学)开设了化学生物学专业。尽管化学生物学学科蓬勃发展, 但化学生物学专业仍然相对年轻, 国家教育部尚未发布相关培养方案的指导性意见。课程体系建设是专业建设的核心内容, 化学生物学专

收稿: 2024-09-25; 录用: 2024-11-22; 网络发表: 2025-04-30

\*通讯作者, Email: yuanhe@nwu.edu.cn

基金资助: 西北大学本科人才培养教学改革研究项目(XM05222002); 陕西基础科学(化学、生物学)研究院科学研究计划项目(23JHQ048)

业作为新型前沿交叉学科，课程体系设置上可借鉴的经验较少。因此，开展化学生物学专业课程体系建设对于精准培养能够综合运用多学科知识解决生物医药、生命健康等国家新兴战略产业问题的多元化创新型人才具有重要的意义。

学科交叉融合是科技发展的趋势，也是新时期人才培养的重要方向<sup>[4]</sup>。为满足化学生物学学科发展和当今国家科技发展对交叉学科创新人才的需求，化学生物学专业课程体系建设也需要加强与生物、医学等相关学科的融合与创新<sup>[5]</sup>。针对我校化学生物学专业现有课程体系多学科课程相互独立、知识融合度不够，导致学生在解决生物、医学实际问题中，专业知识迁移能力不足、实践能力不强、创新意识薄弱的问题，团队教师围绕三个“如何”：如何重构课程模块、如何进阶提升实践以及如何持续教学创新，以交叉融合为改革核心，通过构建“螺旋上升”的知识体系、“基础-综合-拓展”多层次进阶的实验训练体系和“课内课外-线上线下-校内校外”多样化教学模式，形成了具有鲜明西北大学特色的化学生物学专业课程融合建设体系(见图1)。



图1 化学生物学专业课程融合探索

## 1 确定核心知识单元，重构课程模块，构建螺旋上升的知识体系

合理的课程设置及与时俱进的课程内容是培养化学生物学人才知识结构的基本前提。化学生物学作为一门新兴交叉学科，并不仅仅是化学与生物学的单纯结合，也非简单的求同存异，需要课程之间彼此渗透，形成一种系统性紧密的新型学科体系。传统的化学生物学教学体系中多学科课程相互独立，导致学生的多学科知识融合度不够，从而欠缺解决交叉学科问题的逻辑思维与视角<sup>[6]</sup>。针对这一问题，首先通过深度研究每个课程模块之间的内涵逻辑关系，确定化学生物学专业的核心课程群包括有机化学、生物化学、分子生物学、化学生物学、高分子化学、蛋白质与酶化学等课程以及相应的实验课程。接着，梳理每个课程模块的核心知识单元，按照知识单元的相关性和学习过程统筹安排各课程模块的教学内容、重难点及排列顺序，将相关知识点进行有机串联，由易到难，从简到繁，层层递进，构建“化学基础课程-化学生物学交叉基础课程-化学生物学交叉进阶课程”三级别螺旋上升的理论课程模块体系(见图2)。学生在第一和第二学年重点夯实化学基础学科知识的学习，掌握坚实的化学理论知识和核心技能。第三和第四学年，学生将逐步深入探索化学生物学的交叉领域，开展更高层次的知识拓展与应用，培养其在化学和生物学实验中的熟练技能，最终能够灵活运用所学知识解决实际问题，引导学生运用化学的视角不断探索生命的奥秘。以蛋白质、核酸、酶这几个知识单元为例(表1)，我们将相关课程分为0-3级，通过梳理各章节主要内容及教学重点和难点，使每门课程都能充分反映其自身特点的同时，又能对其他课程知识点进行支撑与补充，使知识内容在前后反复出现，逐步加深，形成融合性的教学内容，后面的学习过程是对前面知识的扩展和深化，帮助学生建立完整系统、层层递进的知识网络。值得说明的是，几乎每个知识单元的知识点都会涉及到众多课程领域的化学以及生物等知识，所以这里只是摘取了几个例子。本专业领域或者其他有兴趣的老师可以借鉴我们的探索路径去进行相关的知识梳理，加强本专业学生对学科知识的理解。

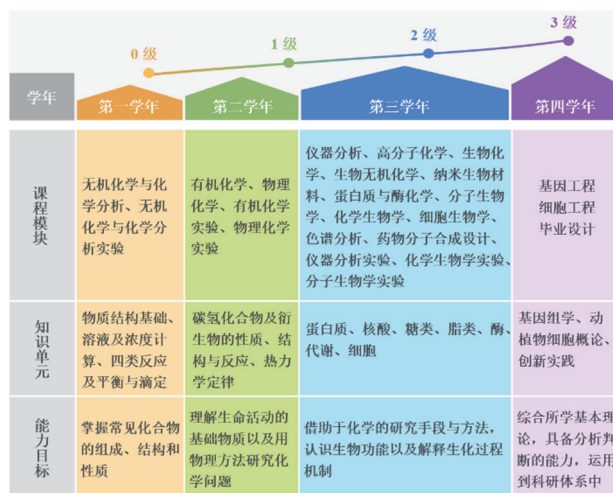


图2 三级别螺旋课程模块构建体系

表1 螺旋上升教学内容安排

知识单元	关键知识点	教学内容	
		螺旋级别	内容安排
蛋白质	蛋白质生物分子结构与功能、蛋白质合成	0级	原子结构和元素周期表、化学键与分子结构、溶液的物理性质、酸碱平衡与酸碱滴定
		1级	有机化合物的表示方法和分类、碳碳单键、双键和叁键的形成和特点、手性碳原子、分子构象与构型、对映异构、化学反应(加成反应、取代反应、氧化反应)、质子酸碱理论、分子轨道理论
		2级	显色反应、色谱技术、高分子化合物相关的基本性质、氨基酸的结构及理化性质、蛋白质结构及稳定蛋白质空间结构的作用力、蛋白质结构与功能关系、蛋白质的理化性质、金属离子与氨基酸和蛋白质的相互作用、无机纳米生物材料及其生物应用、纳米生物材料临床应用、蛋白质的改造与修饰以及蛋白质或多肽作为药物的应用、蛋白质的合成和运转、细胞骨架、蛋白质分选与膜泡运输、小分子和生物大分子分离分析常用方法、多肽药物的合成路线设计
		3级	克隆动物、基因工程与生物安全、植物细胞工程的基本原理和技术基础
核酸	核酸生物分子结构性质、DNA复制损伤与修复、DNA转录与RNA翻译	0级	溶剂的极性、溶剂化作用、水合作用、分子间作用力、配位化合物
		1级	杂环化合物的分类和命名、吡啶、吡咯和噻吩的性质及反应、范德华力、氢键、焓和熵增原理
		2级	光的吸收定律与吸收光谱、配位聚合、核酸的化学组成、结构和功能、DNA二级结构和高级结构、RNA的结构与功能、核酸性质和研究方法、DNA的变性、复性与杂交、DNA碱基顺序测定、金属离子与核酸相互作用的方式和位点、有机纳米生物材料及其生物应用、生物大分子的相互作用、DNA的转座、遗传密码的破译、基因表达调控的原理、基因克隆与敲除、细胞生物学研究方法、生物质谱法、核酸药物的合成方法、核酸药物的药效原理
		3级	介绍基因工程技术的建立过程及其理论基础、分析基因工程技术的方法体系和研究内容、分析基因表达的调控序列、宿主细胞和载体、目的基因的克隆方法、基因组改造、基因工程应用、植物的胚胎培养和离体受精、动物细胞工程概论
酶	酶的共性、酶动力学、酶催化机制	0级	分子结构、价键理论、化学热力学初步与化学平衡、酸碱理论
		1级	亲核取代反应、亲电加成反应、氢键、活化能、疏水作用、化学反应热力学、化学反应动力学、化学平衡
		2级	紫外检测、酶的特异性(专一性)、酶原激活、酶的活性中心、酶竞争性抑制作用、酶变构调节、酶共价修饰调节、米氏方程、米氏常数、酶工程、生物氧化还原反应中的金属蛋白和金属酶、固氮作用及其化学模拟、光合作用及化学模拟、生物催化剂的设计、酶的化学修饰
		3级	基因工程技术中使用的工具酶

同时,注重教学内容与思政教育深度融合,从培养学生的科学素养、创新意识、职业素养、社会责任感和绿色发展理念等多个维度在教学过程中实施思政教育。通过借助化学生物学探索生命,攻克生物医药领域的挑战,将“探索求知、科技报国”的思政理念贯穿教学全过程,深度挖掘各课程蕴含的思想政治教育元素和所承载的思想政治教育功能,构建全面覆盖、类型丰富、层次递进、相互支撑的课程思政体系,实现价值引领。首先深度挖掘提炼该课程体系的思政素材,例如“科学史话”和“诺贝尔科学奖”等素材,形成全面覆盖且类型丰富的思政素材库,保证课程思政素材的知识性、人文性、引领性、时代性和开放性。接着根据课程特点将思政素材按照层次递进、相互支撑的规律科学合理地分布于几门课程中。最后确定合适的课程思政教学切入点,巧妙设计,使课程思政内容有机地融入课程教学,力求达到润物无声的育人效果。通过在课堂中“渗透”式的引导,培养学生的道德观念、社会责任感和国家意识,激发学生对伦理道德、科学研究的思考,从而关注科学研究的影响和可持续发展的重要性,引领他们成为具有高尚品德和专业素养的社会主义建设者和接班人。

## 2 确定核心技能单元,设计交叉融合的实验内容,构建三层次进阶的技能体系

实验课程教学在化学生物学创新人才培养中占有举足轻重的地位<sup>[7]</sup>,是学生从学习理论知识向实践运用能力转换的一个关键环节,也是化学与生物基础知识从交叉向融合的转变点。为了提升学生的知识运用能力,激发创新意识,我们提出“基础-综合-拓展”三层次进阶的实验训练体系(图3),并在此框架下按照模块化的方式重新编排“化学生物学实验”和“分子生物学实验”实验课程,加强实验课程与基础课程相关知识单元之间的紧密联系,帮助学生树立从分子、细胞、动物不同层面开展化学生物学研究的理念。具体包括如下:

① 基础性实验围绕“蛋白质、核酸、细胞、细菌、动物、计算”六大核心技能单元进行编排设计,包括常见生物分子的分离、纯化、鉴定、结构表征等,重点夯实学生的基础操作技能和理论知识;

② 综合实验根据学院现有教师团队的前沿研究方向,围绕生物分子探针、纳米生物学和合成生物学等重点方向进行设计,旨在强化学生综合运用不同领域的知识探究化学生物学前沿问题的实验技能,建立利用化学工具解决生物和医学领域问题的跨学科思维方法,增强课程时代适应性和特色性。

③ 拓展实验包括两部分,一方面采用以赛代练的方法进一步加强拔尖研究型人才培养。以“互联网+”、大学生创新创业大赛等竞赛为抓手,组建导师团队,以项目为纽带将不同知识背景的学生聚拢,营造自由探索、包容合作的学科交叉环境,打破学科壁垒。学生在参与课题设计、实验操作、数据分析和论文撰写等过程中,强化实战能力、沟通交流能力、问题解决能力和知识迁移能力,并树立了为实现中华民族伟大复兴而努力奋斗的情怀。

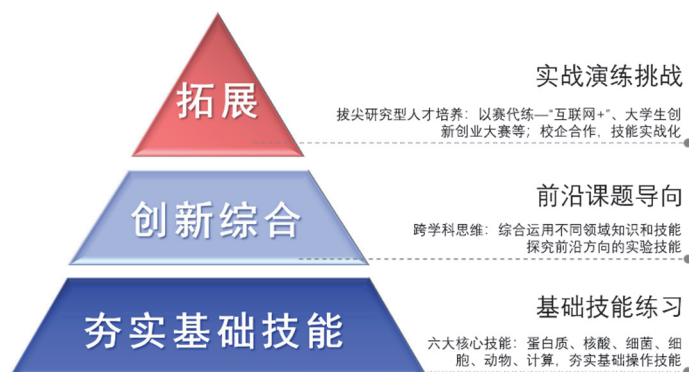


图3 三层次进阶实验训练体系

### 3 整合优势资源，优化教学策略，建立交叉学科多元化创新人才持续培养新机制

面对交叉学科创新人才培养对教学资源 and 教学组织的挑战，团队教师整合教学资源，优化教学策略，形成了“课内课外”“线上线下”和“校内校外”多样化教学模式(见图4)，建立了多元化创新人才持续培养新机制。



图4 多样化教学模式

① 探索反转课堂、线上线下混合课堂等多种教学形式，建立多元、互动、立体化的教学模式：如开展思维导图制作、短视频创作、模型折纸、专题辩论等活动，鼓励学生就当前热点话题进行展示，在被动输入学习的过程中增加主动输出的创新授课方式，开阔学生科学视野的同时，激发学生学习探索的积极性和对知识的掌握与运用。

② 科研反哺，前沿引领：以现有教材为基础，最新科技进展和文献报道为补充，形成教学课件和教学内容，聚焦于化学生物学领域新方法、新技术、前沿进展以及在医药健康中的应用实例，将 *Nature Chemical Biology*、*Angewandte Chemie International Edition*、*Journal of the American Chemical Society*、*ACS Chemical Biology* 等权威期刊杂志列为课外阅读材料，丰富课程教学内容，提升知识的前沿性。

③ 资源融合、优势互补：通过定期的学术报告、科技讲座、学术会议、国际交流等形式，打破教育资源的时空壁垒，实现优质教学资源的交叉融合与互通共享。

### 4 多元化融合教学实例展示

下面以蛋白质知识单元为例，介绍螺旋式上升课程模块在教学中的实际应用思路(见图5)。



图5 以蛋白质知识单元为例构建螺旋上升知识体系示意图

从教学内容总体设计上,蛋白质知识单元的内容主要包括基本结构、理化性质、功能与作用以及代谢过程。第一学年“无机化学与化学分析”课程提供最基本的原子结构、成键原理、化学平衡理论等,如成键理论、键长、键角和s、p、d轨道电子云图、pH及其酸碱平衡等。第二学年“有机化学”课程进一步介绍共价键的成键原理,分子间的相互作用力以及三维空间结构,如杂化轨道理论、共价键特征、双键形成原理、分子构象,还有氨基、羧基等官能团的化学性质和反应等内容,为进一步认识氨基酸及蛋白质的分子结构奠定基础。第三学年进入提高和拓展专业知识的阶段,“生物化学”课程重点学习蛋白质的组成、结构与功能,通过二硫键的生成位置影响烫发的形状等实例加深对“结构决定性质”的理解;“分子生物学”课程重点学习蛋白质的生物合成过程,理解蛋白质的合成和运转机制;“细胞生物学”课程强调蛋白质的装配及其介导的生命活动,如微丝与它的结合蛋白以及肌球蛋白三者构成化学机械系统,利用化学能产生机械运动;“蛋白质与酶化学”课程侧重蛋白质的化学改造和调控,涵盖蛋白质结构预测、蛋白质设计、蛋白质工程等知识点,进一步拓展对蛋白质“结构决定性质”的认知;“药物分子合成设计”通过对不同类型药物合成路线和设计思路的讲解,使学生掌握多肽类药物的设计合成原理,如氨基保护及脱保护、缩合剂法、混合酸酐法等合成肽键的方法;“化学生物学”课程重点介绍小分子与蛋白质的相互作用、了解金属蛋白中金属离子的作用方式与功能、掌握化学物质对蛋白质侧链基团的共价修饰作用以及采用分子光谱探针对蛋白质的定量分析;“纳米生物材料”课程侧重基于蛋白质的纳米载体的设计和制备,以及这些材料在生物医学领域的潜在应用,如白蛋白纳米粒子、纳米晶等临床上已经获得批准的纳米药物的研发历史、基本的药用原理和现存不足。

为了将理论知识与实践拓展相结合,学生在大一和大二学年的基础四大化学实验中进行了基本的化学实训操作,具备化学实验的基本知识。在大三学年通过“化学生物学实验”和“分子生物学实验”进阶提升蛋白质的制备、分离纯化、结构与活性表征等实验技能。例如“金属 $\beta$ -内酰胺酶L1的表达及动力学表征实验”会复习酶促反应、米氏方程、反应热力学等知识,还会学习基因重组技术制备蛋白质、十二烷基硫酸钠聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS-PAGE)鉴定目标蛋白分子量、等温滴定微量热法和紫外-可见光谱法表征酶活性等实验技能;“多维色谱与基质辅助激光解吸电离飞行时间质谱(MALDI-TOF-MS)联用技术对人血清中低丰度蛋白的分离与鉴定实验”中,学生会复习到蛋白质变性的知识,并学习排阻色谱、反相色谱分离蛋白质, MALDI-TOF-MS分析蛋白质分子量等实验技术;“表面等离子共振技术测定叶酸与叶酸受体蛋白结合常数实验”,强化学生对蛋白质与小分子相互作用的理解,并掌握等离子共振仪用于结合常数测定的原理及操作。通过以上理论知识与实验技能的紧密联系,加深学生对蛋白质相关知识的理解与应用,提升了学生实验技能,强化了学生运用化学工具解决生物、医学问题的能力和思维方法,并增强了其实验伦理与安全意识,促进了跨学科知识的整合。

思政育人方面,本单元以“2017年诺贝尔化学奖授予了三位杰出的生物物理学家,表彰其利用三维冷冻电镜法准确测定了蛋白质的三维结构”作为其中一个事例<sup>[8]</sup>。通过讲述三位生物物理学家采用三维冷冻电镜法准确测定蛋白质的三维结构,被赞扬为“用物理学家的才思推动生物化学革命”这个例子,鼓励学生积极探索学科交叉领域,激发学生锐意创新的勇气。虽然我国在生命科学领域的研究起步较晚,然而也不能忽视我国科学家在该领域取得的伟大成就。比如吴宪先生早在1931年提出的“蛋白质变性学说”是中国科学家在世界范围生物化学领域的伟大贡献<sup>[9]</sup>,融入爱国主义,鼓励学生向老一辈科学家志存高远、勇攀高峰的科学家精神,激发他们进行创新的热情和动力。

## 5 融合探索效果

西北大学的化学系于1937年建立,该学科被列为国家“211”工程的重点建设学科,同时也是陕西省的优势学科。随着学科交叉融合的发展需求,西北大学化学系于2007年设立了化学生物学本科专业,是全国首批、西部最早设立化学生物学专业的高等院校,是地方综合性大学大化学背景下建

设化学生物学专业的一个典型代表。随后，2009年该专业入选西北大学“新办专业建设计划”。在不断完善建设、教研相长的过程中，2017年化学生物学专业入选陕西省高校一流专业建设项目。在国家“211工程”、“十三五”学科平台、“陕西省一流专业”等政策下，化学生物学教学平台的硬件设施不断提升，已成为化学与材料科学学院国家理科基础科学研究和教学人才培养基地和国家级化学实验教学示范中心的创新实验室平台，为化学生物学实验教学、科研训练、学科竞赛等活动的开展提供了有力支撑(见图6)。2015年，学院在科学出版社出版实验专用教材《化学生物学创新实验》。2019年，开发了省级虚拟仿真实验“金属 $\beta$ -内酰胺酶L1的表达及动力学表征虚拟仿真化学生物学创新实验”，采用了虚实结合的教学模式，线上打基础，线下做延伸，既拓宽了学生的视野，培养了动手能力和创新意识，也提高了教学质量和课程管理<sup>[10]</sup>。近年来，我们以交叉学科多元化创新人才培养为出口，专业素养为导向，多样化教学模式为路径，采取了重构课程内容、强化实验训练、优化教学模式等措施，探索建立了完整融合的专业课程体系，有效提升了学生的创新实践能力。学生学习热情高涨，积极参与科研训练，参与撰写高水平科研论文和专利，并先后获得全国大学生化学实验邀请赛一等奖、全国大学生化学实验创新设计大赛西北赛区一等奖、日本京都大学生创业大赛二等奖、中国“互联网+”大学生创新创业大赛省级奖励等多项荣誉，涌现出一批具有从事交叉课题能力、创新能力强的化学生物学研究型人才。



图6 “线上线下”培养平台及成果

## 6 结语

在国家积极推动学科融合创新人才培养的大背景下，我们的教学改革遵循推进本校“十四五”规划中对于促进学科交叉融合的部署，通过探索构建紧密相连的化学生物学知识体系、化学生物学技能体系和交叉学科多元化教学创新人才持续培养机制，优化资源配置，提高教学质量，提升了学生的综合实践与创新能力，为培养具备解决复杂生物医药问题能力的高素质人才奠定了基础。未来将继续探索更高效的人才培养模式，致力于培养更多能够适应新时代挑战的创新人才，为国家的科技进步和社会发展作出更大的贡献。

参 考 文 献

- [1] 王世敏, 宋功武, 李玲. 化学与生物工程, **2002**, *19* (4), 1.
- [2] 张艳, 郑企雨, 杜灿屏, 陈拥军. 中国科学: 化学, **2021**, *51* (4), 11.
- [3] 娄兆文, 陈勇, 赵春红. 大学化学, **2002**, *17* (2), 13.
- [4] 王淑芳, 宋存江, 丁丹, 赵强, 张钧, 杨超. 高校生物学教学研究(电子版), **2016**, *6* (2), 7.
- [5] 刘扬. 大学化学, **2019**, *34* (10), 5.
- [6] 蔡菲, 秦小雨, 贺利贞, 许利耕, 马丽, 陈填烽. 大学化学, **2023**, *38* (12), 32.
- [7] 舒广文. 高教学刊, **2017**, No. 6, 69.
- [8] 林水啸, 林默君. 化学教育(中英文), **2018**, *39* (8), 6.
- [9] 季鸿崑. 扬州大学烹饪学报, **2011**, *28* (2), 7.
- [10] 和媛, 张焯, 王梦琛, 崔斌, 李延, 樊海明. 大学化学, **2022**, *37* (12), 2112046.