

## 科研成果转化助力前沿交叉学科实验课程建设 ——以“化学生物学综合实验”为例

陈欣妍<sup>†</sup>, 肖梦<sup>†</sup>, 蔡菲, 郭俊贤, 陈填烽<sup>\*</sup>, 马丽<sup>\*</sup>

暨南大学化学与材料学院, 广州 511443

**摘要:** 随着教育部新增交叉学科门类, 如何培养交叉学科复合创新型人才日益受到各大高校的重视。本教学团队基于多年的交叉学科研究基础和教学改革探索经验, 以化学生物学人才培养为切入点, 探索交叉学科复合创新型人才培养的道路。化学生物学作为化学、生物学、医学、药学等多学科交叉结合的新兴科学, 是前沿交叉学科的典型代表, “化学生物学实验”是引导学生交叉思维形成必不可少的实践环节。如何进行化学生物学实验课程内容设计, 引导学生融会贯通多学科知识, 是课程面临的重大挑战。基于此, 教学团队通过将含硒的科研成果进行转化助力化学生物学实验课程建设, 依据化学生物学前沿研究领域构建多模块综合性实验, 引导多学科知识在实践中灵活运用, 为交叉学科人才培养探索一条可行的道路。

**关键词:** 化学生物学; 综合性实验; 前沿交叉学科; 含硒产品转化

**中图分类号:** G64; O6

## Transformation of Scientific Research Achievements Facilitating the Construction of Experimental Courses in Frontier Interdisciplinary Disciplines: A Case of “Comprehensive Experiments in Chemical Biology”

Xinyan Chen <sup>†</sup>, Meng Xiao <sup>†</sup>, Fei Cai, Junxian Guo, Tianfeng Chen <sup>\*</sup>, Li Ma <sup>\*</sup>

College of Chemistry and Materials Science, Jinan University, Guangzhou 511443, China.

**Abstract:** Following the Ministry of Education's establishment of interdisciplinary disciplines as a distinct academic category, higher education institutions have placed increasing emphasis on cultivating interdisciplinary innovators. Drawing upon extensive interdisciplinary research experience and pedagogical reform insights, our team uses chemical biology education as a starting point to explore innovative approaches for cultivating interdisciplinary, versatile talents. As an emerging discipline integrating chemistry, biology, medical science, and pharmacology, chemical biology represents a paradigm of modern interdisciplinary science. The Comprehensive Chemical Biology Laboratory course serves as a crucial practical component for developing interdisciplinary thinking competencies. The primary pedagogical challenge lies in designing experimental curricula that enable students to synthesize multidisciplinary knowledge effectively. Our team addresses this challenge by translating selenium-related research achievements into instructional content, establishing multi-module experimental systems aligned with cutting-edge chemical biology research. This approach promotes practical application of cross-disciplinary knowledge and proposes an effective pedagogical framework for interdisciplinary talent development.

收稿: 2024-08-24; 录用: 2024-11-07; 网络发表: 2025-04-21

<sup>†</sup>共同第一作者, 对本文工作同等贡献

<sup>\*</sup>通讯作者, Emails: tchentf@jnu.edu.cn (陈填烽); chem\_mali@jnu.edu.cn (马丽)

基金资助: 暨南大学教学质量与教学改革工程项目(JG2024008, JG2024016)

**Key Words:** Chemical biology; Comprehensive Experiment; Frontier interdisciplinary discipline; Transformation of selenium-containing products

在科学技术快速发展的今天,传统学科的界限已经越来越模糊,以解决科学问题为中心的多学科交叉合作,成为了推动从基础研究到应用研究各个领域发展的主要动力,并由此诞生了各新兴前沿交叉学科<sup>[1]</sup>。化学生物学是其中的典型代表。作为一门高度交叉的学科,充分发挥了化学、生物学、医学各自的优势,利用化学的理论和方法研究生命体系与生命过程,从分子水平认识生命现象的本质。从化学的视角解锁生命的本质,以生命的活力,丰富化学的内涵<sup>[2]</sup>。但与此同时,也对化学生物学人才培养和教学提出了前所未有的挑战。

前沿交叉学科人才培养和教学过程中,要求学生具有多学科基础知识储备,并能融会贯通。以化学生物学为例,要求学生学会运用化学的理论、方法和技术研究生命、医学科学中的重大科学问题。教育教学过程中,合理设计配套的综合实验内容,引导学生在实践中融会贯通多学科知识是必不可少的。如何进行化学生物学实验课程内容设计,引导学生形成交叉学科思维,是课程面临的重大挑战。基于此,教学团队通过科研成果转化助力化学生物学实验课程建设,依据化学生物学前沿研究领域,如生物正交反应、创新药物、纳米酶、纳米疫苗、分子探针等构建多模块综合性实验,引导多学科知识在实践中灵活运用,为交叉学科人才培养探索一条可行的道路。

## 1 科研成果转化助力化学生物学实验建设

化学生物学实验是一门结合了传统的化学实验技能和相关的基因工程、细胞工程、酶工程、计算化学、蛋白质化学等众多领域的实验技术而形成的新兴交叉课程<sup>[3]</sup>。尽管化学生物学实验的课程一直与理论课程并肩走在交叉学科发展的前沿,但由于学科仍在不断地被探索和发展,导致整个课程体系目前仍不完整,不似传统化学和生物学一样有成套的理论和实验体系。目前能使用的课程书籍较少,且书籍间内容差异较大,不利于学生全面掌握化学生物学的实验知识和技巧,不利于交叉学科复合型创新人才的培养。根据课程特性,结合教育部、科技部科教融合等系列指导思想,我们尝试探索通过科学成果转化来助力化学生物学实验建设的道路。将科研成果转化为教学资源,并融入实验教学中,不仅可以锻炼学生面对实际科研问题的解决能力,而且化学生物学实验作为一门学科交叉课程,还可以满足学生对高阶性、前沿性和创新性的学习要求,满足高质量人才培养的需求<sup>[4,5]</sup>。

## 2 综合性实验引导学生交叉学科思维形成

化学生物学的特点在于其涉及的研究领域多元化,知识的发展与更新极为迅速,但目前成熟的各学科的实验内容设计相对独立,偏重各自的学科内容,不能满足对交叉学科人才的培养要求。针对当下所面临的情况,我们通过设计综合性实验,将科研成果融入到实验教学中,探索交叉学科人才培养道路。我们将化学生物学实验课程所涉及的实验技能分为六大专题(如图1)。

### 2.1 专题一: 化学物质的合成与表征

包括无机化合物合成、有机小分子化合物的合成、金属配合物合成和聚合物合成,训练学生掌握和理解合成方法(水热法、固相合成、气相合成等)、原理和产物的分离提纯技术,培养学生学会运用红外光谱法、紫外-可见分光光度法、核磁共振波谱法、粒径表征等表征方法。该模块旨在培养学生面对不同化合物时的合成能力,以及在面对不同性质化合物时能够使用适当表征手段的能力<sup>[6]</sup>。

### 2.2 专题二: 化学生物学实验基本操作

包括细胞培养技术、离心技术、层析技术、电泳技术、聚合酶链式反应(PCR)技术和DNA测序技术。例如:在进行细胞培养技术教学时,安排细胞培养基础知识,细胞培养器皿的清洁与消毒,培养基配制,无菌操作技术,细胞传代、冻存、复苏以及计数等教学内容,引导学生通过学习实践上

述内容来了解细胞培养的整个过程，锻炼细胞培养技术。该模块旨在使学生了解化学生物学实验常用的基础实验知识，培养学生在基础实验中的动手能力<sup>[7,8]</sup>。



图1 化学生物学实验课涉猎的实验技能

### 2.3 专题三：化学生物学中的酶催化实验技术

酶催化是化学和生物学中常应用到的技术，且其也有着广泛的研究，课程模块设计包括酶的分类学习、酶催化实验和催化剂比较。根据酶促反应的类型，酶被分为六大类：氧化还原酶、转移酶、水解酶、合成酶、异构酶和裂解酶(如图2)。根据酶的种类进行实验的安排，例如：酰化酶催化的Markovnikov加成反应、酶催化Michael加成反应和金属卟啉模拟的生物氧化过程。以酶催化Michael加成反应实验为例，本实验可以利用水解酶催化咪唑、嘧啶衍生物与丙烯酸甲酯、丙烯酸乙烯酯的Michael加成，从而合成C—N键的加成产物，与此同时，还可以与其他化学催化剂进行比较，体会酶催化的优势，了解影响酶催化的因素。在该模块中学生通过对化学层面和生物层面的酶催化反应的学习，从而了解酶在化学生物学中的重要性，为后续实验开展奠定基础<sup>[3]</sup>。

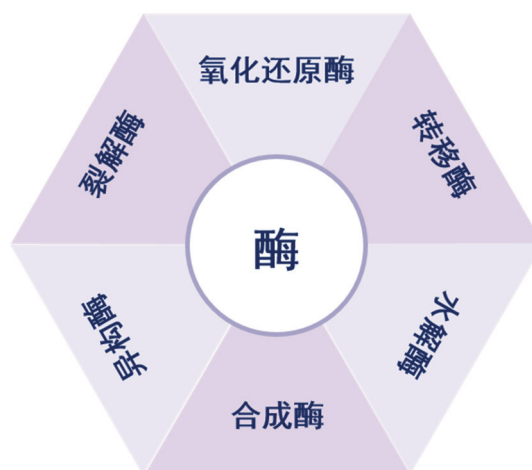


图2 酶的种类

### 2.4 专题四：化学生物学中的活性测试实验技术

包括抗氧化活性检测实验、清除羟基自由基活性实验、细胞增殖实验和细胞周期实验。以细胞增殖实验为例，本课程设计了通过四甲基偶氮唑盐比色法(MTT法)来进行细胞增殖实验，MTT法作为一种检测细胞存活和生长的方法，具有操作简便，原理简单等优点，在细胞增殖实验中被广泛使

用。其可作用于活细胞线粒体中的呼吸链，并还原为水不溶性的蓝紫色结晶甲瓚沉积在细胞中，而死细胞无此功能。通过二甲基亚砷溶解细胞中的甲瓚，并运用酶联免疫检测仪测定其光吸收值，可间接反映活细胞数量。而MTT检测法在评价细胞毒性方面应用广泛，是学生必须掌握的化学生物学活性检测技术。该模块旨在使学生学习化学生物学的更深层的知识，培养学生面对复杂实验的条理性思维能力，使学生熟练掌握化学生物学的实验操作<sup>[9]</sup>。

### 2.5 专题五：化学生物学中蛋白质间的相互作用

包括生物大分子的固相合成与质谱分析、蛋白质连接反应与蛋白质半合成、非天然氨基酸的定点嵌入与标记、DNA模板控制的点击化学反应、蛋白质聚集及小分子对其抑制作用<sup>[10]</sup>。例如：“非天然氨基酸的定点嵌入与标记”实验包含了非天然氨基酸定点引入的原理及应用、生物正交反应、点击化学的机理。以生物正交反应为例，实验课程会以实验背景和原理的讲解为基点，多角度去引出蛋白质多样化的修饰策略，让学生初步认识化学修饰、荧光标记的修饰策略，从而对生物正交有初步的认识。该模块属于一项高阶的模块学习，旨在使学生能够更加深入和精准地阐明生命体内的分子功能与作用机制，并开拓学生以化学的视角在生物学应用上研究的视野<sup>[11]</sup>。

### 2.6 专题六：化学生物学中的药物应用

向学生展示药物的产业化应用起源与发展进程，并带领学生亲身体会药物产业化的生产动线。该模块旨在让学生学以致用，了解化学生物学的现状与未来发展情况，明确自身的发展方向。

在交叉学科人才培养过程中，单一学科的实验技能设计，不利于学生多学科知识的融会贯通。为了引导学生学会运用多学科知识，培养学生的交叉学科思维，合理设计综合性实验更有利于人才的培养。下面我们将以“化学生物学综合实验”为例，阐述教学改革过程中，我们通过科研成果转化设计化学生物学综合实验的感悟。

## 3 以“化学生物学综合实验”为例

结合化学生物学前沿交叉领域研究方向，我们通过将科研成果转化助力实验课程，构建了化学生物学综合实验体系。在实验课程的设计中，我们将其分为五大模块(如图3)：微量元素的化学生物学、生物分子的化学生物学、小分子探针的设计与应用、生物合成化学的机制与应用、药物化学生物学。

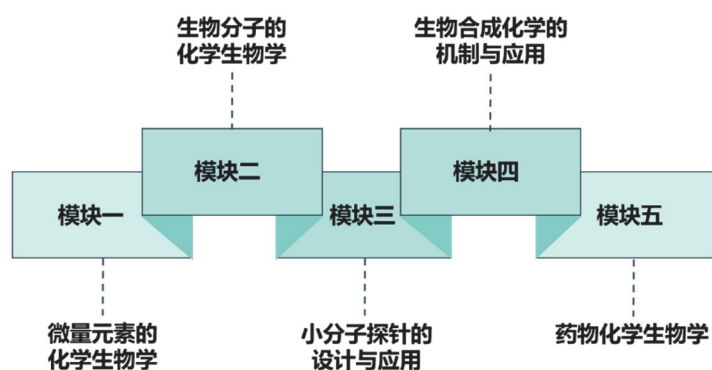


图3 化学生物学综合性实验模块

### 3.1 模块一：微量元素的化学生物学

以模块一：微量元素的化学生物学为例，展开阐述科研成果助力转化实验课程的设计。该模块设计立足于教学团队前沿交叉学科研究成果，将小分子药物设计，如含硒化合物的合成、纳米医学如含硒纳米药物的应用，将纳米药物从实验室转化为公司产品、纳米材料影像诊断、肿瘤靶向治疗等领域的研究成果融入到教学之中。基于教学团队的研究特长，以人体必须微量元素为切入点，围

绕硒的广泛生物学功能，将交叉学科科研成果融入到课程的开发中，将化学生物学实验的各个模块设计成综合性大实验，使学生直观感受到化学元素(以硒为例)在前沿交叉学科——化学生物学中的应用(如图4)。

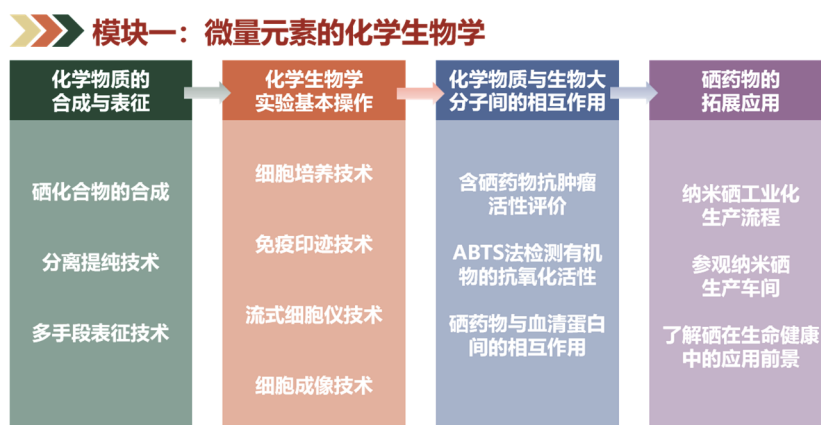


图4 微量元素的化学生物学综合实验课程设计

(1) 在化学物质的合成与表征方面，学生分为三组，每组合成不同形态硒的化合物。三种不同硒形态分别为：小分子有机硒化合物、含硒金属配合物和纳米硒(如图5)。

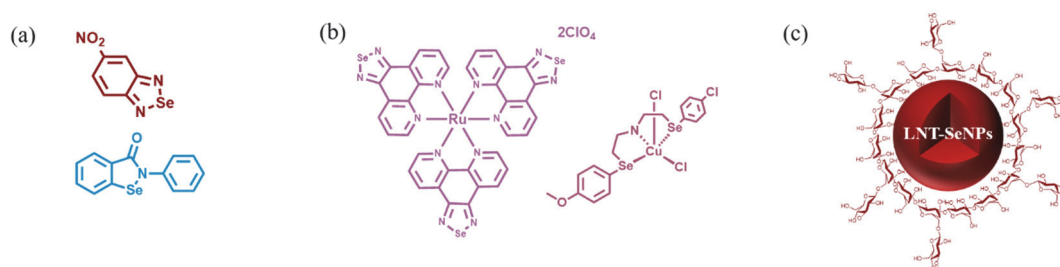


图5 不同形态的硒化合物

第一组是小分子有机硒的合成；第二组是 $\text{Ru}(\text{PhenSe})_3(\text{ClO}_4)_2$ 含硒金属配合物的合成；第三组是纳米硒的合成。合成出来的产物常通过重结晶、离心和层析法等进行分离提纯。在小分子化合物有机硒和含硒金属配合物的表征上，常使用红外分光光度分析法、紫外-可见分光光度法、质谱法、荧光分光光度法和圆二色谱法对产物进行表征。在纳米硒表征上，常用动态光散射法和透射电子显微镜来测定产物粒径、紫外-可见分光光度法测定物质元素和X射线衍射法测定产物晶型。在该模块上，实验设计了多种类型的含硒药物的合成，让学生掌握多种合成方法和产物处理方法，同时还让学生初步掌握红外、紫外、质谱和粒径等常用表征方法的应用。

(2) 在化学生物学实验基本操作方面，实验课程设计了细胞培养、免疫印迹、流式细胞仪和细胞成像的使用等环节。本实验课程带领学生一起培养人源肿瘤细胞系，如HeLa、MCF-7和人源正常细胞系，如HK2、E6E7，让学生学会观察辨认细胞形态，锻炼动手能力；开展蛋白提取实验，为学生掌握免疫印迹技术打下基础；此外其他课程安排了电子显微镜、细胞成像仪器、流式细胞仪的培训。本课程设计的化学生物学实验基本操作，使学生从化学向生物学迈出第一步，为后续化学生物实验中更深层次的实验要求打下基础。

(3) 化学物质与生物大分子间的相互作用方面，教学团队设计了有机硒小分子和纳米硒的抗肿瘤活性评价和自由基清除能力测定法(ABTS法)检测抗氧化活性实验以及 $\text{Ru}(\text{PhenSe})_3(\text{ClO}_4)_2$ 硒金属

配合物与血清蛋白间的相互作用。抗肿瘤活性评价是利用MTT法来实现的,目前该法已广泛用于一些生物活性因子的活性检测、大规模的抗肿瘤药物筛选和细胞毒性试验等,在此过程中可以锻炼学生细胞铺板能力,了解含硒药物抗肿瘤活性评价的原理。ABTS检测法是常用的有机物抗氧化活性检测方法,此实验可以让学生了解抗氧化的机理以及锻炼学生的计算能力,培养学生化学生物学实验技能。此外,Ru(PhenSe)<sub>3</sub>(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>硒金属配合物与血清蛋白间的相互作用的实验内容属于高阶的蛋白质相关内容,涉及到蛋白质的体内运输、构型转变以及与身体其他物质作用的变化,通过这一部分的实验内容可以让学生初步了解蛋白质的结构、性质等相关知识,为后续更深入的蛋白质研究打下基础。

(4) 硒药物的拓展应用。含硒产品是本教学团队的研究核心,当前主要的产品有:富硒茶叶和富硒保健品。在实验课程中,我们将为学生讲述含硒产品产业化的相关知识,带领学生参观纳米硒生产车间,将科研成果进行转化,拓宽学生的视野,帮助学生了解社会需求,为后续学生自身发展提供帮助。

### 3.2 其他模块

模块二:生物分子的化学生物学。实验课程将设计为两大部分,包括生物分子定义的学习和在使用含硒化合物后,生物分子如蛋白质、核酸、糖类在细胞中的变化情况。生物分子,目前泛指生物体特有的各类分子,是构成生物体的基本组成部分,包括蛋白质、核酸、碳水化合物等。对细胞使用含硒化合物后,可以设置检测生物分子变化情况的实验,例如,通过免疫印迹试验检测特定蛋白质在细胞中的表达情况;通过吡罗红、甲基绿与核酸进行染色反应,观察核酸情况。

模块三:小分子探针的设计与应用。根据教学团队在硒元素上的研究,本模块将围绕对硒有特异性响应的荧光探针来展开。小分子探针,一般是指小分子荧光探针,常通过某种物质的物理或化学作用判别某种未知物。实验课程将带领同学们认识并了解目前用于硒的小分子探针包括罗丹明、香豆素等,并学习荧光探针设计的机制,例如用于检测SeC的荧光探针是基于迈克尔加成反应机理。最后将用于硒的小分子探针应用到细胞实验中,通过荧光显微镜观察荧光探针在细胞中的分布情况。

模块四:生物合成化学的机制与应用。教学团队将模块一中合成的含硒化合物运用到人源肿瘤细胞上,带领学生了解含硒化合物对肿瘤细胞的影响,探究对肿瘤细胞杀伤的机制,例如活性氧(ROS)介导的细胞凋亡,让学生了解ROS生成的化学途径,了解氧化应激的机制。

模块五:药物化学生物学。教学团队将科研成果如纳米硒应用到该模块的实验内容设计中,实验内容包括纳米硒的合成、药代动力学、毒性测试和简单的生物实验,让学生了解完整的药物设计开发的过程。此外还带领学生简单了解从药物研发到上市的过程。

本综合性大实验涵盖化学合成、多手段表征、化学生物学实验操作、合成产物与生物大分子间相互作用情况、拓展应用等多部分内容,使学生熟悉基本的化学生物学前沿研究情况,将科研成果转化从而助力化学生物学实验课的建设,同时培养学生的交叉学科知识运用能力,开拓学生的视野。

总的来说,化学生物学实验课程,尽量通过实验课程设置与日常生活关联密切,提高学生的学习兴趣,增强学生对知识的理解。同时,根据课堂反馈、课后回访和成绩考核了解学生对基本课程内容的掌握情况,以及对课程实验内容的运用情况。

## 4 化学生物学实验课程的思政教学

化学生物学作为前沿交叉学科的典型代表之一,在不断发展所产生的新发现和新成果为人类的健康做出突出贡献。我们在课程设置过程中时刻牢记为党育人、为国育才的初心使命<sup>[12]</sup>,在综合实验内容中融入思政,讲好中国历史、中国故事、中国科学家故事。习近平同志在全国高校思想政治工作会议上强调,要把思想政治工作贯穿教育教学的全过程,开创我国高等教育事业发展的新局面<sup>[13]</sup>。对此,我们也深刻明白课堂思政教育这个途径的重要性,在教育中更要坚持利用好课堂思想政治教育这个主渠道,使各类专业课程或者基础知识课程与思想政治理论课程同向同行<sup>[14]</sup>。

在此大格局下,在课程设计上,我们也对化学生物学实验课程的思政教学进行了探索。在实验内容上,介绍硒微量元素的起源等相关背景知识,可以增加学生对课程学习的兴趣,培养学生的综合素质。引入社会热点和生活中的实际案例,例如在过去缺硒会导致克山病、大骨节病等的发生,而中国医学家杨光圻通过补硒的方法使这些疾病消失或者减少,并获得了国际施瓦茨奖;于树玉教授向世界揭示了硒与肝炎、癌症的关系,开创了硒研究的又一个全新领域;徐辉碧教授在艰难条件下首创国内首个硒酵母药物,填补了中国硒酵母研制的空白,让学生体会到本专业对社会的贡献,进而培养学生正确的价值观,心系国家的发展。引入科研成果、产业成果,如带大家了解含硒药物在科研上的发展情况,在产业上的发展历程,培养学生的创新思维和提高创新能力,培养学生树立科技报国的意识,激励学生投身于创新型国家的建设。

## 5 结语

随着前沿科学研究和应用的高速发展,交叉学科复合型创新人才的需求日益凸显。我们以化学生物学实验为例,通过科研成果转化助力交叉人才培养,为串联多学科内容、融会贯通多学科知识、引导学生形成交叉学科思维,探索了一条可复制的道路。

## 参 考 文 献

- [1] 《学术前沿》编者. 人民论坛·学术前沿, **2023**, No. 21, 4.
- [2] 刘扬. 大学化学, **2017**, 32, 68.
- [3] 曾秀琼, 吴起, 浙江大学化学系. 化学生物学实验. 北京: 科学出版社, 2013.
- [4] 白立改, 刘玢, 乔晓强. 色谱, **2024**, No. 42, 487.
- [5] 蔡菲, 秦小雨, 贺利贞, 许利耕, 马丽, 陈填烽. 大学化学, **2023**, 38, 32.
- [6] 赵智勇, 邓澄, 张雄志. 广州化工, **2023**, 51, 134.
- [7] 刘磊, 陈鹏, 李宜明. 化学生物实验. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2015.
- [8] 王筱冰, 王海萍, 张坤, 王攀. 实验室科学, **2018**, No. 21, 120.
- [9] 张保新, 范卓, 于晨昕, 刘喆, 沈永雯, 惠新平, 房建国. 大学化学, **2022**, 37, 2111072.
- [10] 洪歆怡, 薛太玲, 徐洲, 谢恩蓉, 吴明凯, 王青青, 吴丽娜. 大学化学, **2024**, 39, 351.
- [11] 朱婷玉, 张晖, 章文伟, 叶德举, 李金波, 谢然. 大学化学, **2022**, 37, 2109028.
- [12] 周卫红, 苗志伟. 大学化学, **2021**, 36, 2011025.
- [13] 齐伟, 沈静林, 朱树芸. 教育教学论坛, **2023**, No. 38, 121.
- [14] 朱贵明, 欧沙, 代杰, 贾义, 隆耀航. 高教学刊, **2023**, No. 9, 181.