

项目制学习(PBL)在本科有机化学教学中的应用与成效分析

卢训博, 黄国玲*

岭南师范学院化学化工学院, 广东 湛江

收稿日期: 2025年5月24日; 录用日期: 2025年6月23日; 发布日期: 2025年6月30日

摘 要

本研究探讨了项目制学习(PBL)在本科有机化学教学中的应用及其对学生学习效果的影响。针对有机化学教学中知识点抽象、理论与实践脱节、学生学习主动性不足等问题, 随机选取一个班级中的30名学生作为PBL组, 另30名学生作为非PBL组进行对照研究。PBL组学生通过多步有机合成与反应机理探究项目, 结合李景宁主编《有机化学》第六版相关章节内容开展学习。研究表明, PBL组学生在期末考试成绩、机理推导、合成设计等方面均优于非PBL组。此外, 访谈与教师观察结果显示, PBL组学生在文献查阅、实验设计、时间管理及跨学科知识整合能力方面有显著提升。本研究为本科有机化学教学改革提供了数据支持, 并提出在后续课程中加强PBL与化学信息学、实验课程的融合, 以进一步提升学生的科学思维与实践能力。

关键词

项目制学习, 有机化学教学, 教学改革

Application and Effectiveness Analysis of Project-Based Learning (PBL) in Undergraduate Organic Chemistry Education

Xunbo Lu, Guoling Huang*

School of Chemistry and Chemical Engineering, Lingnan Normal University, Zhanjiang Guangdong

Received: May 24th, 2025; accepted: Jun. 23rd, 2025; published: Jun. 30th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 卢训博, 黄国玲. 项目制学习(PBL)在本科有机化学教学中的应用与成效分析[J]. 教育进展, 2025, 15(6): 1445-1452. DOI: 10.12677/ae.2025.1561153

Abstract

This study explores the application of Project-Based Learning (PBL) in undergraduate organic chemistry education and its impact on students' learning outcomes. In response to challenges such as the abstract nature of concepts, the disconnection between theory and practice, and the lack of student engagement in organic chemistry, a comparative study was conducted by randomly selecting 30 students as the PBL group and another 30 students as the non-PBL (traditional instruction) group from the same class. Students in the PBL group engaged in multistep organic synthesis and reaction mechanism exploration projects, aligned with relevant chapters in the 6th edition of *Organic Chemistry* edited by Li Jingning. The results indicate that the PBL group outperformed the non-PBL group in final exam scores, mechanism deduction, and synthesis design. Furthermore, interviews and classroom observations revealed that students in the PBL group demonstrated significant improvements in literature research, experimental design, time management, and interdisciplinary knowledge integration. This study provides empirical support for the reform of undergraduate organic chemistry education and suggests further integration of PBL with chemical informatics and laboratory instruction to enhance students' scientific thinking and practical abilities.

Keywords

Project-Based Learning, Organic Chemistry Education, Teaching Reform

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 研究背景

本科有机化学教学的核心挑战

(1) 知识点抽象复杂, 理解难度大

有机化学涉及大量微观反应机理(如亲电取代、电子转移路径)和立体化学概念, 但传统教学方式主要依赖静态板书或课件, 难以直观呈现分子结构及其动态变化。学生往往停留在表层记忆, 难以真正理解分子间相互作用的本质。

(2) 学生学习动机与参与度不足

被动接受知识的学习模式削弱了学生的主动探索能力, 部分学生因缺乏实际应用情境, 仅依靠机械记忆进行学习。这不仅难以激发兴趣, 也不利于培养批判性思维和问题解决能力, 导致学生在面对陌生有机反应时难以推导合理机理或进行逻辑推演。

(3) 理论与实践教学脱节

有机化学教学多集中于理论推导与概念记忆(如官能团命名规则、反应类型分类), 但缺乏基于真实问题的实验训练, 学生难以将课堂知识迁移至实验设计或工业合成应用。尽管实验课程是教学体系的重要组成部分, 传统实验设计主要以验证性实验为主, 而缺乏创新性和问题导向的实验任务。

(4) 实验教学模式限制知识迁移能力

现有实验课程类型较为单一, 综合设计型和探索创新型实验占比较低, 学生较少有机会接触多步骤合成路线设计(如构建复杂有机分子)、反应条件优化(如催化剂筛选、绿色溶剂开发)、纯化与分析(如柱色

谱分离、光谱解析)等。这导致学生在独立设计实验方案时逻辑断裂, 难以将理论知识应用到实际科研或工业生产中。

(5) 实验反馈机制未能促进理论深化

实验报告的评价通常侧重于操作规范性(如产率计算、装置搭建), 而忽略理论分析与实验数据的深度结合。例如:

- 学生可能仅记录实验产物结构, 但未结合电子效应、空间位阻等理论解释副产物的生成原因。
- 传统实验通常指导学生采用电热套、酒精灯等传统热源进行加热反应, 并通过蒸馏等方法进行产物纯化, 但缺乏对控温式磁力搅拌器、旋转蒸发仪、冷阱等现代科研常用设备的应用培训, 限制了学生的实验条件控制和现代实验技术应用能力。
- 亲核取代反应实验中, 学生往往只是按照实验手册完成步骤, 而未主动探讨不同取代基如何影响反应活性, 错失将实验现象转化为机理认知的机会。

2. 研究方法

2.1. 研究对象与分组

本研究在本科有机化学课堂中随机选取 60 名学生, 分为 PBL 组(30 人)和非 PBL 组(30 人)。PBL 组接受项目制学习方式, 非 PBL 组按照传统教学模式学习。

2.2. 项目设计与实验内容

项目制学习结合《有机化学》第六版相关章节内容, 开展以下实验:

1) **靛红 N-甲基化反应&烯丙基胺的合成**(第十四章&第九章)内容主要涉及胺的性质、卤代烃的性质等(见图 1)。研究认为不同碱(NaH 、 K_2CO_3 、 DBU)对亲核取代反应的影响, 可以帮助学生理解碱强度对去质子化能力的影响, 进而影响亲核试剂的活性。探讨溶剂效应在亲核取代反应中的作用, 不同溶剂对亲核取代反应的影响可帮助学生掌握极性溶剂与反应速率之间的关系。这些实验不仅涉及基本的合成与分离技术, 还要求学生优化反应条件, 使其更深入理解有机反应机理。此外, 实验综合了第九章卤代烃的亲核取代和第十四章胺的性质, 帮助学生建立更系统的知识框架。

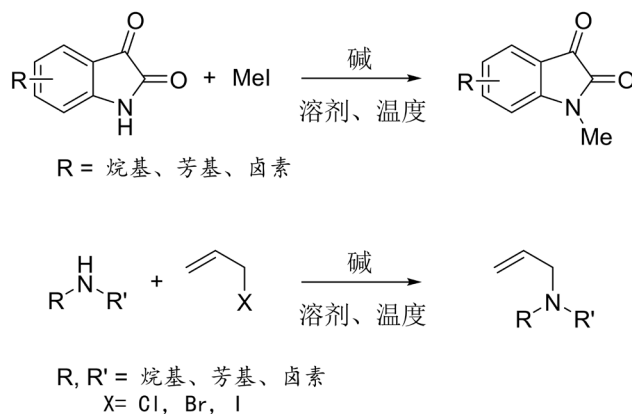


Figure 1. Representative nucleophilic substitution reaction

图 1. 典型的亲核取代反应

2) **脞的合成**(第十章)内容主要涉及醛酮的缩合反应。通过加热脱水反应合成脞, 无需催化剂。通过本实验帮助学生掌握羰基化合物的亲核加成与脱水反应机制。培养学生在无催化条件下的合成能力, 提

高对实验操作的理解。此外, 脞的合成是后续水解反应的前提, 使学生能够系统性理解重氮盐的形成(见图 2)。

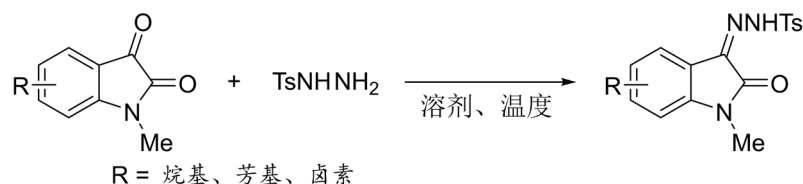


Figure 2. Condensation of ketone with hydrazine to form hydrazone

图 2. 酮与肼的缩合反应

3) 脞的水解直接生成重氮盐(第十章)主要涉及脞的性质。本项目主要让学生研究脞在碱性条件下直接水解生成重氮盐, 而非经过氧化步骤, 与教科书内容存在些许差异(见图 3)。

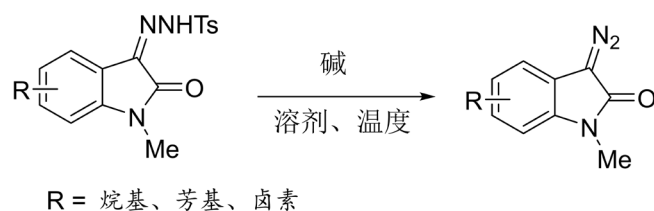


Figure 3. Base-promoted hydrolysis of hydrazone

图 3. 脞的水解反应

4) [2,3]- σ 键迁移反应的机理分析(第十七章)涉及周环、迁移反应, 教科书中主要提及光、热对反应的影响, 致使学生对周环、迁移反应的认识有一定局限性。本项目研究重氮盐与烯丙基胺的偶联反应, 探究非光、热条件下进行的迁移反应, 并让学生结合 Woodward-Hoffmann 规则分析反应的电子对称性。帮助学生掌握 Woodward-Hoffmann 规则在迁移反应中的应用, 通过优化催化条件, 使学生理解反应选择性的调控。并鼓励学生筛选不同溶剂和催化剂, 探索绿色合成条件(见图 4)。

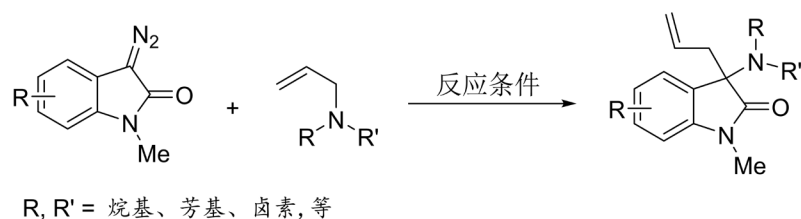


Figure 4. [2,3]-sigmatropic rearrangement

图 4. [2,3]- σ 重排反应

2.3. 本研究实验设计的整体优点如下

- 1. 系统性与层次性强:** 实验从简单的脞合成, 到水解形成重氮盐, 再到后续的迁移反应, 形成一个完整的多步有机合成链条, 有助于学生建立系统性的有机化学知识体系。
- 2. 机理探究价值高:** 脞的水解过程在传统课本中通常涉及氧化步骤, 而本实验直接在碱性条件下实现水解, 这一偏差为学生提供了批判性思考和机理推导的机会。
- 3. 强化实验技能:** 学生需要掌握多种有机合成与分离纯化技术, 包括反应条件优化、溶剂筛选、催

化剂作用分析等, 这有助于提升他们的实验操作能力。

4. 结合跨学科知识: 实验涉及有机化学(亲核加成、水解、周环反应)、物理有机化学(电子效应、对称守恒规则)以及化学信息学(文献查阅、数据分析)等多个领域, 提升学生的综合素养。

5. 培养数据分析与科研思维: 实验中鼓励学生收集 pH 变化、产物收率、光谱数据等信息, 并结合已有理论解释实验结果, 培养数据驱动的科学思维。

6. 绿色化学与可持续性: 实验中涉及催化剂筛选和绿色溶剂应用, 符合现代化学实验可持续发展的趋势, 提高学生对环保和可持续化学的认知。

2.4. PBL 模式实施过程

为了提高研究的可操作性, 本研究对 PBL 模式的具体实施流程进行了系统设计, 分为以下五个阶段:

(1) 项目准备阶段: 教师根据课程进度和知识点制定项目主题, 明确学习目标、任务分工、预期成果等。项目内容结合教材章节(如胺类反应、腈合成、周环反应等), 确保知识覆盖全面[1]。

(2) 资料搜集与文献研读: 学生利用《化学信息学》课程中掌握的数据库检索技能, 查阅中英文文献, 整理相关反应机理、先例和实验条件, 为后续实验提供理论依据[2]。

(3) 实验设计与方案优化: 小组成员根据查阅结果, 撰写实验方案, 包含反应路线、试剂用量、溶剂选择、温度控制等, 并在教师指导下进行方案评审和优化[3]。

(4) 实验操作与数据记录: 学生分组完成实验任务, 采用规范的实验记录方式记录原始数据, 包括 pH、收率、色谱图谱、NMR 图等, 并按项目节点提交中期汇报。

(5) 项目总结与展示: 项目结束后, 学生需提交完整实验报告, 并通过课堂汇报形式展示实验成果, 内容涵盖反应设计、机理分析、实验优化与创新点。

通过以上流程, PBL 模式在教学中的实施更具系统性和可重复性, 也便于在其他课程中推广应用[4]。

3. 研究评价与数据分析

3.1. 期末成绩对比及统计检验

如表 1 示, PBL 组的平均期末成绩为 87.30 分, 非 PBL 组为 82.63 分, 差值为 5.67 分。为检验该差异的统计显著性, 采用独立样本 t 检验, 结果显示 $p < 0.05$, 表明该差异具有统计学意义[4]。这表明项目制学习在提升学生有机化学整体成绩方面具有显著效果。该差异可能源于 PBL 组学生在学习过程中主动参与实验设计、机理推导和跨章节知识整合, 而非单纯依赖课本记忆, 这与已有关于项目化学习成效的研究结果一致[5]。

Table 1. Comparison of final exam scores between the two groups

表 1. 两组期末分值对比

组别	期末成绩平均分
PBL 组	80.30
非 PBL 组	74.63

3.2. 题型得分分析与显著性检验

如表 2 示, PBL 组在合成题和机理推导题中得分均高于非 PBL 组。对两类题型分别进行独立样本 t 检验, 结果显示合成题得分差异的 p 值为 0.032, 机理推导题得分差异的 p 值为 0.045, 均小于 0.05, 具

有统计显著性。PBL 组学生在合成设计、实验优化、反应路径推导、电子效应分析等方面具有更强的理解和应用能力。这一结果表明, PBL 组学生在实验方案设计、反应条件优化、产物分离与纯化等实际技能方面有更高水平的掌握。由于 PBL 学习模式强调自主探索、实验数据分析和团队讨论, 使学生能够更深刻地理解反应路径及其背后的理论基础。

Table 2. Comparison of question-type scores between the two groups
表 2. 两组题型得分值比较

组别	合成题平均得分(20 分)	机理推导题平均得分(10 分)
PBL 组	17.2	8.5
非 PBL 组	14.1	6.8

3.3. 定性分析

3.3.1. 学生访谈结果

访谈结果显示, PBL 组学生在中英文文献查阅、实验设计、时间管理等方面有明显提升。相较于传统学习方式, PBL 促使学生更加主动地分析不同反应路径, 并能根据实验现象调整实验方案, 而非被动接受教师讲解。团队合作和自主实验进一步提升了学生的跨章节知识整合能力, 例如在机理推导过程中, 学生能够结合多个章节的知识点, 以更系统的方式理解和推演反应过程。

3.3.2. 教师观察结果

教师课堂观察表明, PBL 组学生在《有机合成化学》课程的讨论中表现出更强的逻辑推理能力, 能够自主归纳出反应规律, 并在机理推导时展现出更深层次的思考, 结合实验数据提出合理解释。在《有机化学实验 II》中, PBL 组学生展现出更高的实验规划能力, 能够有效减少实验误差, 并通过数据分析优化实验过程。同时, 在《化学信息学》课程中, PBL 组学生的上机操作能力较强, 对知网、ACS、RSC、SciFinder、Reaxys 等数据库的应用更加熟练, 能够高效进行文献检索和信息提取。

3.3.3. PBL 与《化学信息学》的结合

PBL 组学生在学习过程中更善于利用《化学信息学》课程中的工具, 如知网、ACS、RSC、SciFinder、Reaxys 等数据库进行文献调研。同时, 在实验过程中, 学生充分利用 ChemDraw 软件进行化学结构绘制、反应机理推导及 NMR 预测, 提升了实验记录的规范性和专业性。结合信息学方法, 学生在数据分析和实验设计上更具逻辑性, 使其在实验条件优化、机理推导等方面表现更为成熟。

3.4.4. 教师量化评分结果

为进一步分析学生能力发展, 教师对两组学生从实验设计能力(满分 10 分)、团队协作(满分 10 分)、资料查阅能力(满分 10 分)三个维度进行了评分(见表 3)。

Table 3. Quantitative evaluation by instructors
表 3. 教师量化评分

维度	PBL 组平均得分	非 PBL 组平均得分
实验设计能力	8.9	7.1
团队协作能力	9.2	7.4
资料查阅能力	9.0	6.8

采用 Mann-Whitney U 检验后, 三项能力得分在两组间差异均具有统计学意义($p < 0.05$)。此结果进一步验证了 PBL 模式在综合能力培养方面的优势[5]。

3.4. PBL 组的优势总结

本研究结果表明, 项目制学习(PBL)在本科有机化学教学中的优势主要体现在以下几个方面:

PBL 组学生在知识掌握与理解能力方面表现突出。期末考试成绩对比显示, PBL 组学生相较于非 PBL 组有更好的整体表现, 表明他们能够通过实验和讨论更有效地理解有机化学知识, 并建立完整的知识体系。实验实践的引入, 使学生能够更深入地理解有机合成的各个步骤, 提升其对反应机理的掌握。

在实验操作与数据分析能力方面, PBL 组学生在合成题中的得分显著高于非 PBL 组, 说明他们在实验操作、反应条件优化及实验变量控制等方面更具熟练度。该模式强调实际动手能力的培养, 使学生能够在实验过程中掌握数据记录、分析和优化的技能。

PBL 组在机理推导与逻辑思维能力方面表现更优。机理推导题的高分表明, PBL 组学生在复杂反应机理的推导、电子效应和空间效应的理解、以及反应选择性分析等方面更具优势。通过实验观察结合理论分析, 学生能够更深入地理解有机反应的本质, 并自主推导可能的反应路径。

在跨章节知识整合与综合应用能力方面, PBL 组的实验设计涉及多个有机化学核心章节, 促进了学生知识迁移能力的提升。例如, 在[2,3]- σ 键迁移反应实验中, 学生不仅需理解重氮盐的形成, 还需结合 Woodward-Hoffmann 规则进行电子对称性分析。实验过程中, 学生能够结合不同章节的知识点, 建立系统的认知结构, 增强对有机化学整体框架的理解。

PBL 组学生在团队协作与自主学习能力方面也有显著提升。通过文献查阅、团队讨论、实验优化等方式, 学生能够更主动地学习, 并培养自主解决问题的能力。在团队合作过程中, 他们学会如何交流科学思想、分工合作, 提高解决复杂科研问题的能力。

此外, PBL 组学生在数据分析与科研素养方面的表现尤为突出。研究过程中, 他们需要分析实验数据, 如反应收率、光谱数据(NMR, IR)、pH 变化等, 并结合理论进行实验验证。通过运用化学信息学工具, 如知网、ACS、RSC、SciFinder、Reaxys 数据库进行文献调研, 以及使用 ChemDraw 软件绘制化学结构和反应机理, PBL 组学生的实验数据处理能力得到了显著提高, 为未来科研工作奠定了坚实的基础。

4. 存在的困难与挑战

在访谈过程中, 部分学生反映 PBL 学习模式需要额外的时间投入, 尤其是在初期阶段, 学生需要掌握高效查阅文献、使用 ChemDraw 绘制反应机理、优化实验条件等技能, 而这些能力的培养需要一定的适应时间。此外, 由于 PBL 强调团队协作, 学生在分工模式、实验技能和研究方向上的差异可能影响整体学习效率, 部分小组在实验推进过程中遇到了实验进度不均衡、数据整理困难等问题。与此同时, 实验任务的复杂性使得部分学生在数据分析和机理推导方面仍需进一步训练, 以便更准确地解释实验现象并优化实验设计。因此, 在 PBL 的实施过程中, 如何合理规划任务、提高学生的时间管理能力、加强数据分析训练, 仍是需要进一步优化的关键问题。

5. 展望

已有研究指出, 引入多元量化评价手段有助于全面衡量项目化学习的教学成效[5]。未来本科有机化学教学中, 可进一步优化 PBL 的实施方式, 以提高其适应性和推广价值。通过合理分工, 使学生在团队合作中各司其职, 如负责文献调研、实验设计、数据分析等, 从而提高协作效率, 并减少实验进度不均衡的问题。此外, 在 PBL 课程初期, 应提供针对性指导, 帮助学生掌握高效查阅文献、规范绘制化学反

应(ChemDraw)、实验数据分析等关键技能, 使其能更快适应项目制学习模式。

PBL 的适用范围也可进一步扩展。例如, 在本科有机化学课程中, PBL 可涵盖多步有机合成策略、反应条件优化、绿色化学等内容, 使学生不仅掌握实验操作, 还能更系统地理解有机合成的思维逻辑。同时, 结合光谱解析(如 NMR、GC-MS), 提升学生的实验表征能力。此外, 可在课程中增加科研实践环节, 如查阅文献设计实验、参与小型科研项目, 帮助学生提前接触科学研究, 提高其科研思维和问题解决能力。

教学评估体系的优化也是 PBL 进一步发展的关键。评价方式不仅应关注考试成绩, 还应结合课堂表现、实验操作、数据分析能力、团队协作等多维度考核 PBL 学习成效。在实验报告的评价中, 建议增加机理推导的深度分析、实验优化建议等环节, 以鼓励学生从更全面的角度思考实验设计与数据解释。通过不断改进 PBL 模式, 提升学生的科学思维能力, 使其更好地适应未来的学术研究和行业应用。

基金项目

岭南师范学院 24 校教改“项目制学习理念下有机合成化学实验教学的应用与改革研究”资助项目。

参考文献

- [1] 梁秋霞, 孙嫣霞, 董华青, 等. 项目制研究性学习在化学实验教学中的应用[J]. 实验室研究与探索, 2024, 43(9): 110-116.
- [2] 何冰, 杨敏, 王洁雪, 等. 化学专业“项目制和导师制”双创模式探索[J]. 广州化工, 2021, 49(6): 175-177.
- [3] 蒋灵斌, 邓张升. 基于“项目制-课赛融合”模式的高校创新创业教育探索研究[J]. 创新, 2025, 19(2): 93-100.
- [4] 黄佳仪, 钱扬义, 吴锬敏, 等. 国内外化学项目式学习课例比较与建议[J]. 化学教育(中英文), 2025, 46(5): 113-117.
- [5] 王玮, 刘雪莲. 项目化学习在高校课程教学中的应用成效研究[J]. 教育与教学研究, 2023, 41(3): 112-117.