

硝基烯参与构建四氢噻吩并喹啉酮的综合实验教学研究：实践与反思

王国进, 曾华斌, 叶利娟, 容伟超, 惠永海*, 张永飞, 余彪

岭南师范学院化学化工学院, 广东 湛江

收稿日期: 2026年6月2日; 录用日期: 2026年7月16日; 发布日期: 2026年7月28日

摘要

本文将一项真实的合成研究课题——“硝基烯参与构建四氢噻吩并喹啉酮”——转化为本科生的科研训练内容, 并从教师视角记录了学生在完整科研流程中的学习体验。实践表明: 学生在认知上从“按步骤做”转向“追问为什么”, 在操作上从“机械执行”转向“基于信息做决策”, 在态度上从“害怕失败”转向“分析失败”。真实的研究情境比任何模拟练习都更能激发深度理解。本文同时反思了实践中的不足, 并提出改进方向, 为有机化学综合实验教学改革提供一种可参考的路径。

关键词

教学研究, 科研训练, 硝基烯, 四氢噻吩, 串联环化, 学习体验

Comprehensive Experimental Teaching of Tetrahydrothienoquinolinone Construction via Nitroalkenes: Practice and Reflection

Guojin Wang, Huabin Zeng, Lijuan Ye, Weichao Rong, Yonghai Hui*, Yongfei Zhang, Biao Yu

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

Received: June 2, 2026; accepted: July 16, 2026; published: July 28, 2026

Abstract

This paper transforms a real synthetic research project—the construction of tetrahydrothienoquinolinone via nitroalkenes—into an undergraduate research training experience, and documents students’

*通讯作者。

文章引用: 王国进, 曾华斌, 叶利娟, 容伟超, 惠永海, 张永飞, 余彪. 硝基烯参与构建四氢噻吩并喹啉酮的综合实验教学研究: 实践与反思[J]. 创新教育研究, 2026, 14(7): 501-510. DOI: 10.12677/ces.2026.147542

learning experiences throughout the complete research process from the instructor's perspective. The practice reveals that students transitioned cognitively from "following procedures" to "asking why", operationally from "mechanical execution" to "decision-making based on information", and attitudinally from "fear of failure" to "analysis of failure". Authentic research contexts stimulate deeper understanding more effectively than any simulated exercise. This paper also reflects on the limitations of the current practice and proposes directions for improvement, offering a referable pathway for the reform of comprehensive organic chemistry laboratory teaching.

Keywords

Pedagogical Research, Research Training, Nitroalkenes, Tetrahydrothiophene, Cascade Cyclization, Learning Experience

Copyright © 2026 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. 引言

实验教学是化学类本科人才培养的核心环节,也是提升教学质量的关键抓手[1]。综合化学实验作为基础实验的延伸、科研训练的过渡课程,是培养本科生创新能力与科研素养的重要载体。有机化学综合实验更是衔接基础实验与科研实践的关键课程,旨在强化学生合成、分离、表征及机理分析等综合能力。传统基础实验多为单一单元操作,内容相对独立,难以体现现代有机合成的连贯性、系统性与前沿性。为检验我校化学类本科生教学质量、提升学生创新实践能力,我校紧扣应用化学专业培养目标,开设综合化学实验课程,聚焦天然产物、能源化工、功能材料、药物分析与有机合成等前沿方向。我院应用化学系依托“导师科研团队”模式,鼓励教师将科研成果转化为教学资源,构建“基础-综合-研究”多层次实验教学体系,引导学生在掌握基础理论与实验技能的同时,综合运用专业知识开展科研探索,有效提升实践能力、创新思维与科研综合素养。

四氢噻吩骨架广泛存在于生物素、抗菌药物、抗肿瘤分子及荧光材料中,是一类重要的含硫杂环[2]。硝基烯烃因强吸电子效应,是构建杂环的高活性合成子;而硝基烯参与稠杂环构建是近年研究热点,具有成环高效、条件温和、底物多样等特点[3]。基于此,本实验以邻氨基苯甲醛与硝基乙酸乙酯为起始原料,先合成 3-硝基喹啉-2-酮,再与 2,5-二羟基-1,4-二噻烷发生串联 Sulfa-Michael/Henry 反应[4],一步构建四氢噻吩并喹啉酮衍生物。在整个训练过程中,综合运用了回流、萃取、重结晶、柱层析、减压浓缩和真空干燥等基本单元操作,同时用核磁共振手段对化合物进行检验。实验路线简洁、兼具基础性与前沿性,适合作为本科综合创新实验,实现“科研成果课堂化、能力训练系统化”。

2. 实验内容

2.1. 实验目的

通过合成 3-硝基喹啉-2-酮,再与 2,5-二羟基-1,4-二噻烷发生串联 Sulfa-Michael/Henry 反应,达到以下的教学目的:

- 1) 掌握邻氨基苯甲醛与硝基乙酸乙酯一锅合成 3-硝基喹啉-2-酮的原理与操作和机理;
- 2) 理解硝基环烯与二噻烷发生 Sulfa-Michael/Henry 串联环化的反应机理;
- 3) 熟练运用 TLC 监测、萃取、柱层析、重结晶等分离纯化技术;

4) 能够熟练掌握 ChemDraw 绘图软件, 并学会核磁共振氢谱/碳谱的解析方法, 建立结构与谱图的对应关系;

5) 培养文献检索、方案设计、条件优化、数据分析的综合科研能力。

2.2. 机理探究与批判性思维培养

通过对 3-硝基喹啉-2-酮结构的了解, 有针对性地进行文献收集和总结, 确定实验方案如图 1 所示。实验原理为: 以邻氨基苯甲醛(1)和硝基乙酸乙酯(2)为原料, 通过 Knoevenagel 缩合[5] + 环化反应生成 3-硝基喹啉-2-酮(3)。然后以 3-硝基喹啉-2-酮(3)和 2,5-二羟基-1,4-二噻烷(4)作为反应原料, 通过发生 Sulfa-Michael/Henry 串联环化合成四氢噻吩并喹啉酮化合物(5)。反应机理如图 2 和图 3 所示。

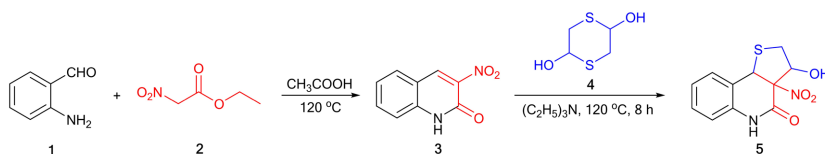


Figure 1. Synthetic route to tetrahydrothienoquinolinone

图 1. 四氢噻吩并喹啉酮的合成路线

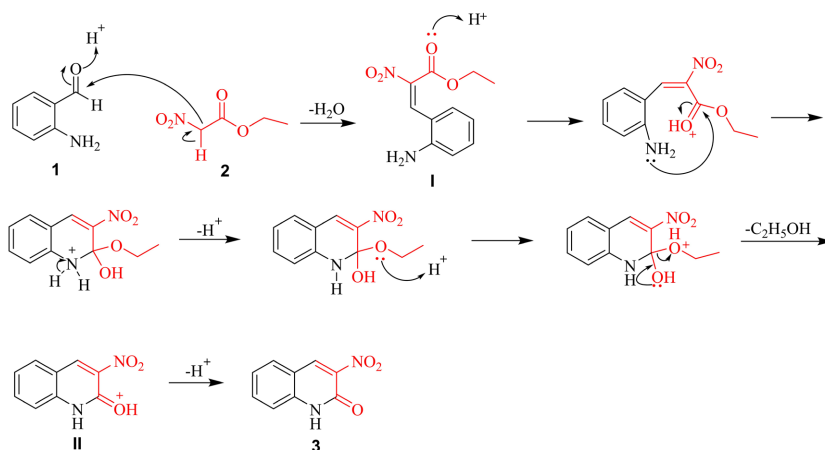


Figure 2. Reaction mechanism for the synthesis of 3-nitroquinolin-2-one

图 2. 3-硝基喹啉-2-酮的合成反应机理

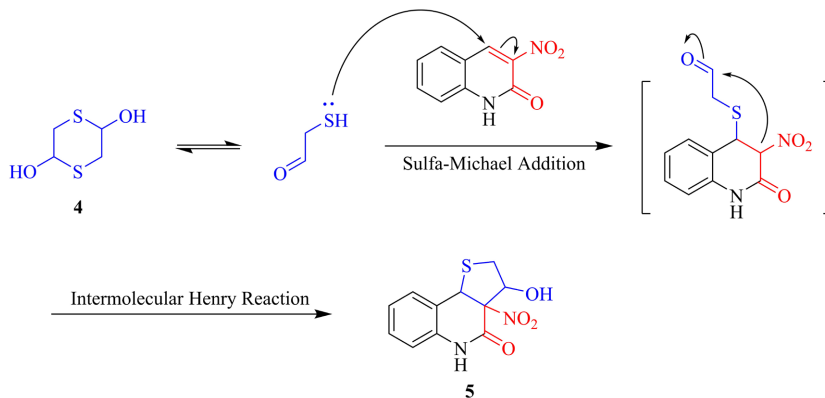


Figure 3. Reaction mechanism for the synthesis of tetrahydrothiophene derivatives

图 3. 四氢噻吩类衍生物合成机理

本次综合实验以 3-硝基喹啉-2-酮及四氢噻吩并喹啉酮衍生物为研究对象，重点探究硝基环烯参与的串联环化反应过程。实验过程中，学生必须先理解整个反应的机理。首先讨论图 2 机理，根据文献报道 [6]，硝基乙酸乙酯与邻氨基苯甲醛反应在碱性条件下 Friedländer 环化反应合成 3-硝基喹啉-2-酮(3)。但我们现实提供的是乙酸条件下反应，酸会促进邻氨基苯甲醛的氨基质子化，然后氨基作为亲核试剂进攻酯羰基，与合成设计相驳。随后，也有文献报道弱酸条件下可以促进醛与活泼亚甲基发生 Knoevenagel 缩合反应 [7]，我们认为该反应在 AcOH/AcO⁻ 缓冲体系下，邻氨基苯甲醛与硝基乙酸乙酯首先发生 Knoevenagel 缩合，形成中间体 I。中间体 I 中的氨基(-NH₂)与酯羰基发生分子内亲核加成-消除，形成六元环含氮杂环骨架 II。环化产物 II 经脱水、异构化等步骤发生芳构化，形成稳定的芳香性喹啉酮体系，最终得到 3-硝基喹啉-2-酮(3)。

第二步反应中，老师需要给学生强调图 3 机理理解的几个阶段。首先，在加热条件下，2,5-二羟基-1,4-二噻烷(4)的环状二硫醚结构不稳定，发生开环异构化，生成两分子硫代乙醛(HS-CH₂-CHO)。在这里，学生常忽略“二噻烷开环”这一步，容易误以为 2,5-二羟基-1,4-二噻烷直接作为亲核试剂进攻。教师需强调实际的亲核试剂是开环后形成的硫负离子。硫代乙醛同时含有巯基(-SH)和醛基(-CHO)，是后续串联反应的关键中间体。在三乙胺(Et₃N)提供的弱碱性环境下，硫代乙醛的巯基被部分去质子化，生成亲核性较强的硫负离子(-S⁻)。这一步是整个串联反应的“启动步骤”。

然后，硫代乙醛衍生的硫负离子作为亲核试剂，对底物 3-硝基喹啉-2-酮(3)中的 α,β -不饱和硝基烯烃结构发生 Michael 加成。这一阶段中，3-硝基喹啉-2-酮的 C=C 双键与强吸电子的硝基(-NO₂)直接相连，形成典型的缺电子烯烃；硫负离子进攻该双键的 β -碳(远离硝基的一端)，形成一个新的碳负离子中间体，该碳负离子受到相邻硝基的共轭稳定作用(通过共振结构将负电荷部分离域到硝基的氧原子上)，从而具有足够长的寿命，以参与下一步反应。

最后，在 Michael 加成生成的碳负离子中间体作为亲核试剂，分子内进攻同一个分子中的醛羰基，发生 Henry 反应(即硝基烷烃对羰基的亲核加成)，形成一个新的 C-C 键。紧接着，通过质子转移(从溶剂、水或三乙胺的共轭酸获得质子)，得到最终的四氢噻吩并喹啉酮产物(5)。

学生理解了上述串联机理后，对接下来做实验有什么具体的指导作用呢？学生刚学的这个机理要点会在实验的哪一步用到？老师可以建议学生在开始实验前梳理机理要点与实验关键步骤的对应关系(表 1)。

Table 1. Mechanistic highlights and assessment of experimental reasoning
表 1. 机理要点与实验思维评判

机理要点	对呀的实验操作	学生的关注点
2,5-二羟基-1,4-二噻烷开环生成硫代乙醛	第二步反应加热至 120℃	为什么要加热到 120℃？(促进开环)
三乙胺使巯基去质子化生成硫负离子	第二步反应中加入 0.3 mL 三乙胺	碱的用量不足会怎样？(亲核试剂浓度低，反应慢)
硫负离子对硝基烯烃进行 Michael 加成	TLC 监测反应进程	如何判断 Michael 加成是否完成？(原料点是否消失)
碳负离子进攻醛羰基发生 Henry 环化	反应时间控制(8 h)	为什么需要较长时间？(环化成 C-C 键需要合适取向)
产物含羟基和四氢噻吩环	核磁共振氢谱解析	反应在谱图中寻找哪些特征信号？ (δ 6.73 的 -OH, δ 1.26-1.30 的 CH ₂)

在机理梳理过程中，暴露了学生“知其然、不知其所以然”的普遍问题。多数学生能复述反应步骤，却难以建立机理与操作的对应关系，例如，不理解“为何第二步需加热至 120℃”与“二噻烷开环”之间的因果联系。教师未直接讲解，而是要求学生先预测：若降低温度或碱量不足，TLC 行为将如何变化？

某组在预习报告中写道：“原来加热不是‘老师规定的条件’，而是为了让硫代乙醛生成。”这一认知转变——从“按步骤执行”到“为机理目的操作”——正是科研素养萌芽的标志。

2.3. 试剂和仪器

实验药品：邻氨基苯甲醛，硝基乙酸乙酯，乙酸，石油醚，乙酸乙酯，2,5-二羟基-1,4-二噻烷。所有试剂均为分析纯，购自上海泰坦科技股份有限公司。

实验仪器：FA2104 型分析天平(上海舜宇恒平科学仪器有限公司)、DF-101D 型集热式恒温加热磁力搅拌器(河南巩义市予华仪器有限公司)、RE-52AA 型旋转蒸发仪(上海亚荣生化仪器有限公司)、SZCL-3B 型磁力搅拌器(巩义市科华仪器设备有限公司)、DZF-6020 型电热真空干燥箱(巩义市予华仪器有限责任公司)、ZF-1 型紫外灯(上海精科实业有限公司)、Bruker 400 MHz 型核磁共振仪(布鲁克股份有限公司)。

2.4. 实验步骤

2.4.1. 3-硝基喹啉-2-酮制备

在加有磁力搅拌子的 100 mL 圆底烧瓶中加入 0.3028 g (2.5 mmol) 2-氨基苯甲醛和 0.3328 g (2.5 mmol) 硝基乙酸乙酯，随后加入 15 mL 乙酸和去离子水混合溶剂(体积比 1:1)，在 110℃ 下回流反应 12 h。反应结束后，冷却到室温，有黄色晶体 3 生成，减压抽滤，用水洗涤三次。产物在 60℃ 下真空干燥，产率 65%。

2.4.2. 四氢噻吩衍生物合成

在加有磁力搅拌子的回流试管中加入已合成的 0.03802 g (0.2 mmol) 3-硝基喹啉-2-酮和 0.03040 g (0.2 mmol) 2,5-二羟基-1,4-二噻烷，随后加入三乙胺 0.3 mL 和去离子水 0.2 mL，在 120℃ 下回流反应 8 h。反应结束后，将反应混合物用 5 mL 二氯甲烷萃取三次，收集、合并有机层，浓缩后通过柱色谱纯化，即可得到纯净四氢噻吩类衍生物 5，产率 48%。

2.5. 产物表征与数据分析

学生在完成实验之后，教师建议学生用 ChemDraw 进行化合物结构的预测，并进行核磁氢谱和碳谱验证，通过文献查询对化合物谱图进行验证。

1) 化合物 3 核磁氢谱谱图解析

根据 3-硝基喹啉-2-酮的氢谱如图所示(图 4)，酰胺-NH 处的 1 个氢原子 a 受到羰基的吸电子诱导效应和共轭效应，导致去屏蔽作用很强，其化学位移值增大，在 δ 12.65 ppm 出现单峰。f 位的 H 由于相邻的碳原子与硝基相邻，硝基是强吸电子基团，强烈的吸电子诱导和共轭效应，让 f 位 H 的电子云密度大幅降低，去屏蔽效应极强，化学位移向低场大幅移动，由于 f 位是烯氢，相邻碳上没有氢，所以没有耦合分裂，为单峰，化学位移值为 δ 8.95 ppm。b 位、c 位、d 位、e 位均为苯环上的 H。

^1H NMR (400 MHz, DMSO- d_6): δ 12.65 (s, 1H), 8.95 (s, 1H), 7.93~7.91 (m, 1H), 7.75~7.71 (m, 1H), 7.41~7.31 (m, 2H).

2) 化合物 5 核磁氢谱谱图解析

对比 3-硝基喹啉-2-酮与 2,5-二羟基-1,4-二噻烷反应后，生成四氢噻吩衍生物 ^1H NMR 谱图(图 5)，-NH 的化学位移下降，为 δ 11.78 ppm。f 由不饱和氢变为饱和氢，与新生成的 h 在相同的化学环境，化学位移为 δ 5.44 ppm。化学位移为 δ 6.73 ppm 是新生成-OH 的峰。 δ 7.02~7.35 ppm 区间的多重峰为苯环骨架信号。g 为四氢噻吩环上的亚甲基氢，化学位移为 δ 1.26~1.30 ppm，证实了四氢噻吩衍生物成功构建。

^1H NMR (400 MHz, DMSO- d_6) δ 11.78 (s, 1H), 7.35 (d, J = 7.6 Hz, 1H), 7.19 (d, J = 7.9 Hz, 1H), 7.13 (td, J = 7.6, 1.3 Hz, 1H), 7.07~7.01 (m, 1H), 6.73 (s, 1H), 5.44 (s, 2H), 1.28 (d, J = 16.2 Hz, 2H).

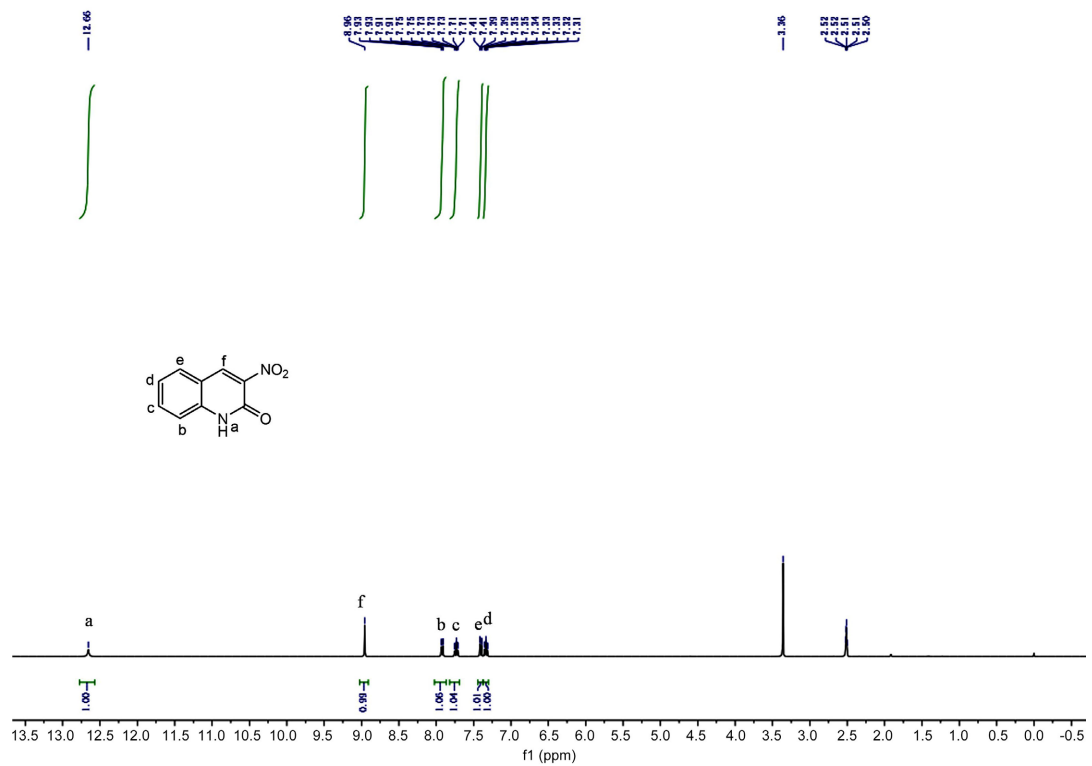


Figure 4. ¹H NMR spectrum of 3-nitroquinolin-2-one
图 4. 3-硝基喹啉-2-酮 ¹H NMR 谱图

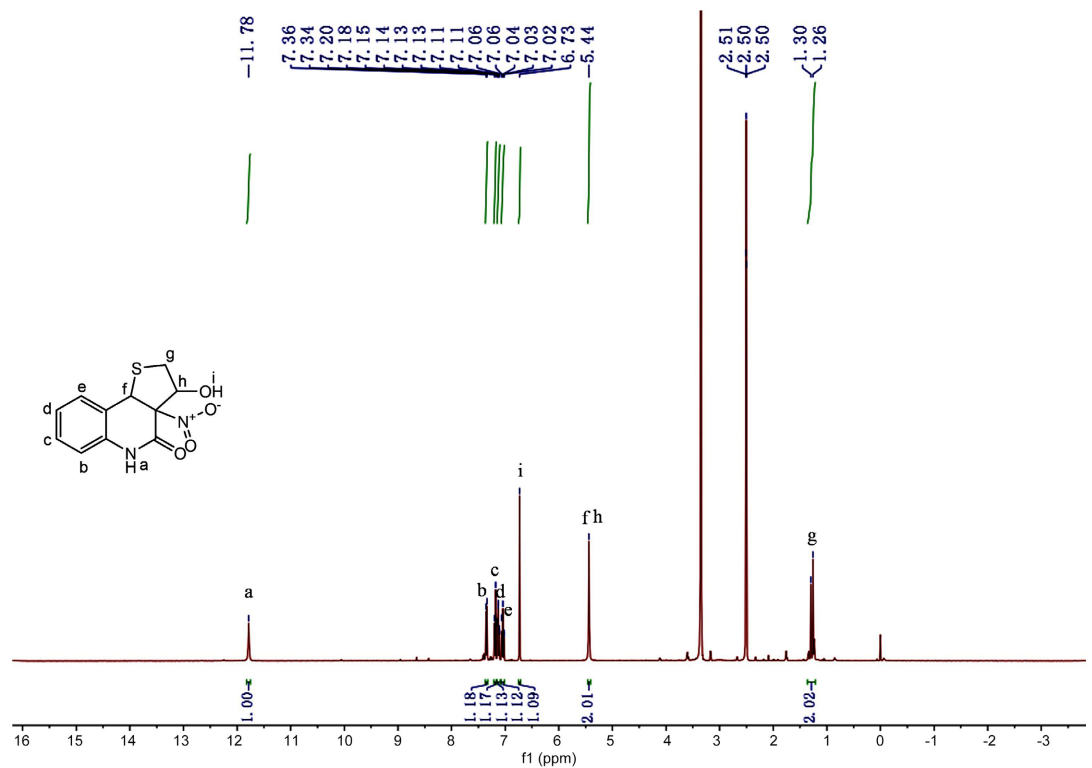


Figure 5. ¹H NMR spectrum of tetrahydrothiophene derivatives
图 5. 四氢噻吩衍生物 ¹H NMR 谱图

谱图解析环节直接暴露出学生“重操作、轻分析”的惯性。几组同学能准确归属苯环信号，但对 δ 6.73 ppm 处-OH 基团和 δ 1.26~1.30 ppm 处四氢噻吩环 CH₂ 的识别存在困难，常误将后者判为杂质峰。教师未直接纠正，而是追问：“产物比原料多了哪些结构单元？这些新结构在谱图中该有怎样的响应？”引导学生建立“结构预测→谱图验证”的逆向思维。一学生在记录本中写道：“原来谱图不是‘对答案’，而是‘找证据’”。这一转变印证了过程性评价的设计意图——将学习重心从“结果正确”转向“证据推理”。

3. 教学总结

3.1. 实验过程及思考

针对实验设计，通过提出系列问题引导学生深入思考：

- 1) 本实验第一步是通过 Friedländer 反应，还是通过 Knoevenagel 缩合-环化反应进行？酸和碱条件下，硝基乙酸乙酯和邻氨基苯甲醛会发生什么反应？水的加入对反应选择性与产率有何影响？
- 2) 串联环化机理：三乙胺在 Sulfa-Michael/Henry 串联反应中的作用是什么？表现上是硝基烯和 2,5-二羟基-1,4-二噻烷是一步构建四氢噻吩并喹啉酮骨架，实际上经历了几个阶段反应？
- 3) 纯化策略：柱层析时如何选择洗脱剂比例以实现产物与杂质有效分离？TLC 监测如何指导反应进程判断与纯化终点控制？

3.2. 教学实施策略及评价

本实验并非一门独立的“综合实验课程”，而是依托课题组科研项目，面向应用化学专业大三本科生开展的研究型教学实践。学生以“科研助理”的身份，在教师的指导下完整参与一项真实、小型、前沿的合成研究课题。整个过程为期 5 周，共计约 10 学时的集中实验时间，此外还包括课前的文献调研与课后的数据分析、报告撰写。

- 1) 实施流程。整个科研训练分为三个阶段，具体安排如表 2。

Table 2. Implementation process of scientific research training
表 2. 科研训练实施流程

阶段	主要内容	学生任务	教师角色
第一阶段：课题引入与方案设计 (第 1 周)	教师介绍研究背景(含硫杂环、硝基环烯、串联反应)，提供 3~5 篇关键文献；学生分组查阅文献，理解反应机理，设计初步实验方案	撰写预习报告(包括反应机理图、预期产物、可能的副反应、安全注意事项)	提供文献线索，审核方案，指出设计缺陷，引导而非直接给出答案
第二阶段：实验实施与过程记录 (第 2~4 周)	学生以 3~4 人小组形式独立开展全部实验：原料称量→反应搭建→TLC 监测→后处理→柱层析纯化→核磁送样	如实记录实验现象(颜色变化、TLC 行为、产率波动)，遇到异常时先小组讨论，再寻求教师指导	观察操作规范性，在关键节点(如 TLC 判读、柱层析分段)进行启发式提问，不直接代替学生决策
第三阶段：数据分析与成果总结(第 5 周)	获取核磁谱图后，学生使用 ChemDraw 预测谱图，与实测谱图对比，完成归属分析；撰写研究报告，总结成功与失败经验	独立完成谱图解析，分析产率偏低或杂质来源，提出可能的优化方向	组织小组汇报与互评，点评共性问题(如谱图归属错误、产率分析不深入)

- 2) 教学组织方式采用小组协作机制和教师介入原则相结合。

小组协作机制：每组 3~4 人，初期观察到组内存在“主力操作、他人旁观”的分化现象。为促进全员深度参与，从第 2 周起实行“轮值负责人”制度——每位成员轮流担任当周的主操作与决策记录者，负责当天的 TLC 判读、柱层析分段收集等关键决策，并记录决策依据。实践表明，这一制度有效提升了“边缘参与者”的投入度。

教师介入原则：教师不提前给出“标准答案”，而是在学生遇到困难时以提问方式引导。例如，当学生问“反应是否完全”时，教师反问“你怎么从 TLC 上判断？原料点和产物点的相对强度变化了吗？”；当学生问“柱层析用什么比例”时，教师反问“你刚才点板时产物和杂质的 Rf 值分别是多少？”。

安全与规范：本实验涉及硝基化合物、二噻烷及柱层析洗脱剂(石油醚/乙酸乙酯)，教师在第一周集中强调安全注意事项，并在实验过程中抽查通风橱使用、废液分类等规范。

3) 学习效果评价方式。评价不再以“产率高低”或“报告厚度”为核心，而是采用过程性评价与成果性评价相结合的方式，具体构成如下：

① 过程性评价(60%)，包括：

预习报告质量(15%)：机理理解正确性、方案可行性、安全考虑是否周全；

实验记录规范性(20%)：是否如实记录现象、TLC 图是否保存、异常是否分析；

小组协作与轮值表现(15%)：是否承担负责人职责、是否参与决策讨论；

教师观察的独立思考表现(10%)：在卡顿时是否主动提出假设并验证。

② 成果性评价(40%)，包括：

核磁谱图归属准确性(15%)：能否合理解释每个信号；

研究报告完整性(15%)：是否包含机理分析、产率讨论、问题反思；

小组汇报与互评(10%)：逻辑清晰度、回答问题能力。

这种评价方式旨在鼓励学生关注“我是否真正理解了”，而不是“我是否做对了”。

3.3. 教学实施效果

从这一综合实验实施情况看，学生普遍反馈“这是第一次完整做完一个真实的课题”。最令教师印象深刻的不是高产率，而是学生在以下方面的成长：

1) 从“按步骤做”到“追问为什么”：起初学生只关心“下一步做什么”，后期开始主动问“如果我改变溶剂比例会怎样？”

学生在完成第一步反应后，对反应机理产生了深度讨论。某组在研究报告的“问题与讨论”部分写道：“教材中强调氨基的亲核性强于亚甲基，因此我们最初认为应发生 Friedländer 环化。但查阅文献[7]后发现，弱酸条件下 Knoevenagel 缩合可被促进。我们推测在 AcOH/AcO⁻缓冲体系中，两种路径可能存在竞争，氨基质子化都可能是关键控制因素。建议后面可以考虑不同 pH 环境对反应的影响”。这段反思表明，学生已不满足于“记住正确答案”，而是开始建立基于证据的论证意识——这正是批判性思维的核心特征。值得注意的是，该组提出的“对照实验”设想已超出本实验的既定框架，体现了真实科研情境对探究延伸的激发作用。

2) 从“害怕失败”到“分析失败”：某组第二步反应产率仅 20%，他们没有简单归因于“操作失误”，而是通过 TLC 追溯发现是柱层析损失过大，并提出改用重结晶尝试。

有学生在记录本的备注栏写道：“今天中午 15:00 过柱后 TLC 跟踪板上没有显示有产物，沮丧。观察反应结束后的 TLC (v 石油醚:v 乙酸乙酯 = 3:1)显示原料消失，说明反应进行的很好。16:00 继续对柱层析试管进行跟踪板多次点样(每根试管点 3~4 根毛细管的样)，成功发现产物试管。教训：样品在柱层析提纯时，被稀释分配到十几根试管中，使产物浓度变的极低，导致荧光无法显现。”这个段原始记录完整呈现了“假设-验证-弥补”的决策链条。教师在此过程中的角色仅是追问：“产物会去哪里呢？荧光跟浓度有关吗？当一碗糖水倒入西湖里，西湖的水就会变甜吗？”——这种脚手架式提问既避免了直接给出答案，又为学生提供了推理方向。

3) 从“等答案”到“自己查”：在谱图归属遇到疑难时，多数组不再第一时间举手问老师，而是先

查阅文献或与别组讨论。

某组在归属化合物 5 的 ^1H NMR 谱时, 对 δ 5.44 处单峰(2H)的积分产生分歧——该信号对应新生成的两个非等价 CH, 但化学环境高度相似导致峰形重叠。组员起初倾向于直接询问教师, 但组长提议“先查文献中类似四氢噻吩并杂化的耦合常数”。经检索相关报道[8], 对比发现该位置实为 AB 系统($J \approx 12$ Hz), 因化学位移接近而呈现假单峰。该组据此修正归属, 并在报告中注明“查阅文献后确认为非对映异位的亚甲基氢”。教师观察到这一过程中, 学生从“求助权威”转向“文献求证”, 自主解决问题的能力显著增强。

4) “允许失败”的环境确实促进了学生归因方式的内控化转变

实验结束后, 老师与学生进行了一个结束谈话。老师围绕“最困难环节”“如何解决”“与基础实验的区别”三个主题进行了探讨。主题一: 决策焦虑与成长。学生 A 说: “以前实验课就像跟着菜谱做饭, 这次老师总说‘你自己决定’, 一开始很慌, 但后来发现犯错也能学到东西。”学生 B 说: “最难受的是柱层析那段, 没人告诉我该用几比几, 我们试了整整半天才找到合适的配比。但之后遇到类似问题, 我会先查文献猜极性, 而不是直接问老师。”主题二: 失败重构。学生 C 说: “产率低的时候, 第一反应不是‘我搞砸了’, 而是‘哪里可以优化一下’。这种心态转变我自己也没想到。”……这些谈话也与课堂教学观察相印证, 从外部的“操作失误”转向内部“策略可优化”。

当然, 也存在明显不足: 少数学生基础较弱, 在机理理解和谱图解析上仍然依赖同伴; 5 周时间对完整的“条件优化”探究仍显仓促, 大部分学生只能完成既定路线, 未能自主尝试变量调整。这些将在后续教学中通过增设“开放探究周”等方式加以改进。

4. 结语

本教学实践将一项真实的合成研究课题——“硝基烯参与构建四氢噻吩并喹啉酮”——转化为本科生的科研训练内容。让学生在“做科研”而非“做题目”的过程中完成从文献调研、实验操作到谱图解析的完整训练。实践表明: 当学生面对的是存在优化空间、允许失败的真实任务时, 他们的认知参与度和思维深度远超验证性实验。学生从“按步骤做”转向“追问为什么”, 从“怕失败”转向“分析失败”, 这正是科研素养成长的标志。同时, 我们也意识到 5 周的时长对自主探究仍显不足, 少数学生在机理迁移和谱图解析上仍需更多支持。后续将通过增设开放探究周、分层任务等方式改进。将真实科研课题转化为教学资源, 核心是在“科研逻辑”与“教学规律”之间找到平衡。希望本实践能为有机化学综合创新实验的改革提供一个可参考的案例。

基金项目

2025 年度广东省本科高校教学质量与教学改革工程建设项目(粤教高函[2026] 4 号); 岭南师范学院 2025 年校级教学质量与教学改革工程建设项目(教务[2025] 120 号); 化学化工学院 2026 年智慧课程培育建设项目。

参考文献

- [1] 惠永海, 张永飞, 余彪, 韩冰, 李程鹏. 浅谈地方本科院校有机化学实验课程的教学模式改革探索[J]. 创新教育研究, 2024, 12(8): 205-211.
- [2] Przybylski, P., Pyta-Klich, K., Pyta, K. and Janas, A. (2018) Cascade Reactions as Efficient and Universal Tools for Construction and Modification of 6-, 5-, 4- and 3-Membered Sulfur Heterocycles of Biological Relevance. *Tetrahedron*, 74, 6335-6365. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2018.09.022>
- [3] Ziyaei Halimehjani, A. and Ghaffari, Z. (2023) The Chemistry of 2-Hydroxy- β -Nitrostyrenes: Versatile Intermediates in Synthetic Organic Chemistry. *Organic & Biomolecular Chemistry*, 21, 2653-2688. <https://doi.org/10.1039/d3ob00015j>

- [4] Hao, Y., Li, Z., Lian, P., Li, Q., She, Y., Ma, Z., *et al.* (2023) Stereoselective Sulfa-Michael/Aldol Reaction Promoted by an Axially Chiral Styrene-Based Organocatalyst. *Organic Letters*, **25**, 6913-6918. <https://doi.org/10.1021/acs.orglett.3c02690>
- [5] Voskressensky, L.G., Festa, A.A. and Varlamov, A.V. (2014) Domino Reactions Based on Knoevenagel Condensation in the Synthesis of Heterocyclic Compounds. *Recent Advances, Tetrahedron*, **70**, 551-572. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2013.11.011>
- [6] Marco-Contelles, J., Pérez-Mayoral, E., Samadi, A., Carreiras, M.D.C. and Soriano, E. (2009) Recent Advances in the Friedländer Reaction. *Chemical Reviews*, **109**, 2652-2671. <https://doi.org/10.1021/cr800482c>
- [7] Abdolahi, S. and Soleiman-Beigi, M. (2025) Exploring the Catalytic Activity of $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$ Functionalized Natural Asphalt: A Sustainable and Efficient Catalyst for Condensation Reactions in Water. *RSC Advances*, **15**, 9280-9294. <https://doi.org/10.1039/d5ra00870k>
- [8] 刘颖, 陈立功, 廖上腾, 刘登科. 新型 N-取代四氢噻吩并[3,2-c]吡啶类衍生物的合成及其抗血小板聚集活性[J]. 合成化学, 2013, 21(4): 387-392.