

科研驱动天然药物化学本科教学的探索与实践

涂文超, 李干鹏, 吴兴德*

云南民族大学民族医药学院, 云南 昆明

收稿日期: 2026年8月3日; 录用日期: 2026年9月2日; 发布日期: 2026年9月9日

摘要

针对天然药物化学本科教学中理论与实践脱节、教材内容更新滞后、学生科研创新能力培育体系缺失等共性教学痛点, 开展科研驱动、科教融合一体化教学改革实践。依托情境学习理论、维果茨基最近发展区理论构建科教融合理论框架, 建立筛选 - 简化 - 嵌入三级标准化流程, 将学科前沿、原创科研成果、科研平台与科研经验系统融入课堂教学; 依托实验室与科研项目, 设计三层梯度教学案例、四级阶梯式科研培养支架, 指导本科生开展药用植物化学成分分离、结构鉴定与活性评价, 形成“前沿成果进课堂、科研实操进实验室、创新成果驱动全过程教学”的一体化模式。采用解释性序贯混合研究法(定量统计 + 质性深度访谈)开展教学成效评估, 通过对照组/实验组成绩对比、结构化深度访谈三维数据交叉验证改革效果。实践表明: 该模式可在保障学生基础理论掌握水平不变的前提下, 显著提升学生课堂参与度、分项平时学习表现与自主科研创新产出; 本文客观剖析模式落地的师资、仪器、经费三类约束条件, 构建分院校层级资源降维适配对照表, 配套差异化落地实施方案, 可为药学、制药工程、中药学同类专业核心课程教学改革提供标准化、可差异化复制的实践范式。

关键词

科研驱动教学, 天然药物化学, 本科教学, 创新人才培养, 科教融合

Exploration and Practice on Scientific Research-Driven Undergraduate Teaching of Medicinal Chemistry of Natural Products

Wenchao Tu, Ganpeng Li, Xingde Wu*

School of Ethnic Medicine, Yunnan Minzu University, Kunming Yunnan

Received: August 3, 2026; accepted: September 2, 2026; published: September 9, 2026

*通讯作者。

文章引用: 涂文超, 李干鹏, 吴兴德. 科研驱动天然药物化学本科教学的探索与实践[J]. 教育进展, 2026, 16(9): 510-521. DOI: 10.12677/ae.2026.1691928

Abstract

To address common teaching bottlenecks in the undergraduate course of Medicinal Chemistry of Natural Products, including challenges of integrating theoretical knowledge with scientific practice, outdated textbook content, and the absence of a systematic training system for fostering students' scientific research and innovation capabilities, this study explored a research-driven teaching reform model and the integration of teaching and research. Guided by situated learning theory and Vygotsky's zone of proximal development theory, a comprehensive theoretical framework for teaching-research integration was constructed. We established a standardized three-stage transformation workflow (screening-simplification-embedding) to systematically integrate cutting-edge top-journal advances, original research findings from our research group, large-scale research platforms and frontline academic experience through the full teaching chain of pre-class preparation, in-class lectures and after-class extension. Relying on the college's specialized laboratories and ongoing research projects on ethnic medicinal plants, we developed three-tier gradient teaching cases (basic consolidation - extended advancement - innovative inquiry) and a four-level ladder training scaffold for scientific research. Undergraduates received phased guidance to complete full-cycle research training covering the extraction and separation of chemical constituents from medicinal plants, spectral structural identification, and *in vitro* biological activity evaluation, forming a closed-loop integrated education model: "Bring frontier advances into classrooms, embed scientific research operations in laboratories, and drive whole-process teaching with innovative research outcomes". The explanatory sequential mixed-methods approach (quantitative statistics + qualitative in-depth interviews) was adopted for comprehensive evaluation of teaching effectiveness. Parallel experimental and control groups from the same major were set up. Three-dimensional datasets—itemized course scores, students' research outputs, and layered structured in-depth interviews—were combined with independent sample t-tests and chi-square tests to quantify disparities and cross-verify the practical effects of the reform. Practical results demonstrate that while maintaining students' mastery of fundamental theoretical knowledge at a stable level, this model can markedly boost students' active classroom engagement, segmented formative academic performance, and independent research innovation outputs. This paper objectively analyzes three core restrictive factors limiting model implementation: faculty resources, precision instruments, and special research funding. We construct a comparison table for hierarchical dimensionality reduction adaptation tailored to universities with varying resource endowments, and propose differentiated tiered implementation schemes. The research can provide standardized, flexibly replicable practical paradigms for the teaching reform of core courses for majors such as Pharmacy, Pharmaceutical Engineering, and Chinese Materia Medica.

Keywords

Scientific Research-Driven Teaching, Medicinal Chemistry of Natural Products, Undergraduate Teaching, Innovative Talent Cultivation, Integration of Scientific Research and Education

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

天然药物化学是药学、制药工程、药物制剂等专业的核心课程，以天然产物的提取分离、结构鉴定、结构修饰与生物活性评价为核心内容，是连接基础药学与新药研发的关键桥梁学科[1]。传统教学以教材

理论讲授为主, 存在内容更新滞后于学科前沿、学生科研思维与实践能力的培养薄弱等问题, 难以满足新时代创新型药学人才培养需求[2][3]。教育部明确提出推动科研驱动教学, 强化科研与教学协同育人, 将前沿科研成果转化为教学资源, 支持本科生参与科研实践, 提升创新与实践能力。天然药物化学学科发展迅速, 新结构、新活性、新机制与新技术不断涌现, 为科研驱动教学提供丰富素材与实践载体[4][5]。

本研究依托两大教育学理论构建实施逻辑: 一是情境学习理论, 主张知识需嵌入真实科研场景完成内化, 破解传统课堂割裂“成分-分离-活性”研发链条的问题; 二是维果茨基最近发展区理论, 通过阶梯式科研支架逐步缩小本科生现有能力与独立科研的差距, 实现分层递进育人[6][7]。本文创新设计: ① 构建混合式教学成效评估体系; ② 建立科研成果标准化教学转化流程并配套完整课时教案; ③ 剖析模式局限, 提出分层次资源降维适配方案, 提升研究普适性。本研究依托科研平台、原创成果与项目资源, 系统开展科研驱动天然药物化学本科教学的探索与实践, 构建“科研成果进课堂、本科生进实验室、能力培养进全程”的教学模式, 以期同类课程教学改革提供借鉴[8][9]。

2. 学科前沿成果标准化教学转化设计

2.1. 前沿成果筛选 - 简化 - 嵌入三级转化流程

建立标准化转化流程把复杂顶刊、课题组原创科研成果直接用于本科课堂, 适配本科生认知最近发展区: 筛选环节优先选取贴合教材萜类生源合成章节、基础知识点关联紧密、难度适配本科教学且兼具趣味前沿突破的研究内容; 再通过简化层对原始科研数据、复杂酶促反应细节、冗余蛋白结构信息开展教学化裁剪, 留下生源合成核心步骤, 精细动力学参数、菌株遗传背景等繁杂内容划为课后选学拓展, 原始科研图重构为课堂教学示意图; 全程依托「教材知识点铺垫→前沿矛盾点抛出→科研成果解答→课堂互动讨论」四段式逻辑完成内容嵌入。

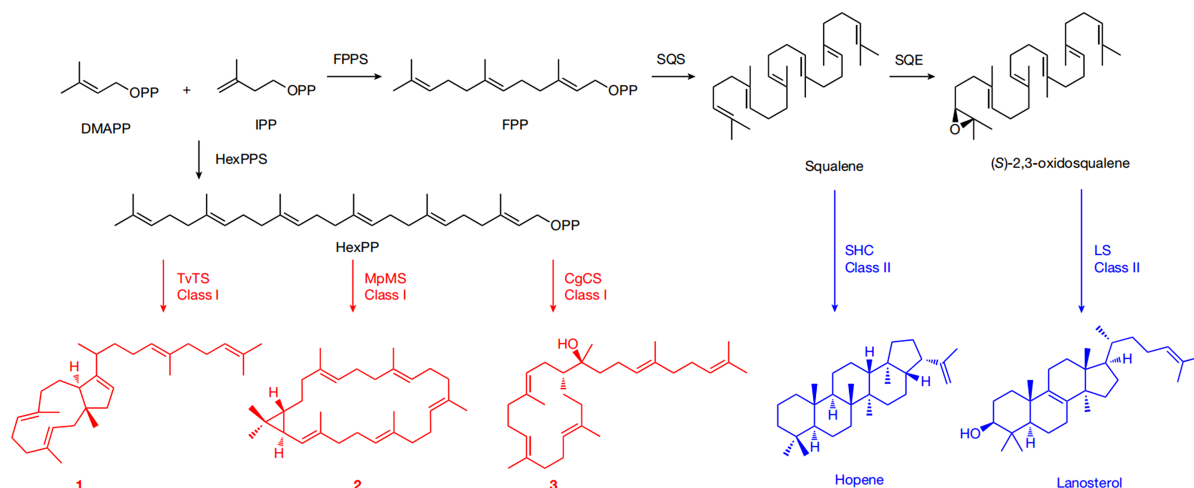


Figure 1. The canonical biosynthetic pathway of triterpenoids features squalene as an intermediate. Three bifunctional triterpene synthases (TSs) derived from fungi were identified. These enzymes catalyze the condensation of dimethylallyl pyrophosphate (DMAPP) and isopentenyl pyrophosphate (IPP) via a hexaprenyl pyrophosphate (HexPP) intermediate to ultimately produce triterpenoids. [10]

图 1. 三萜类化合物经典合成途径以角鲨烯为中间产物。鉴定出三种真菌来源的双功能三萜合酶(TS), 该类酶可催化二甲基烯丙基焦磷酸(DMAPP)与异戊烯基焦磷酸(IPP)经己烯焦磷酸(HexPP)中间体, 最终生成三萜类化合物[10]

例如: 将天然药物化学领域顶刊(Nature 和 Natural Product Reports)研究成果引入课堂, 严格遵照筛选层、简化层、嵌入层三重教学转化规范, 更新教材核心知识点。其中, 三萜类天然产物种类繁多, 已发现

两万余种、四百余种入药，药用价值突出。传统机理观点长期认为：三萜合成先由角鲨烯合酶将两分子法尼基焦磷酸(FPP)转化为角鲨烯，再经氧化得到环氧角鲨烯，继而在三萜合酶作用下环化生成霍烯或羊毛甾醇，后续多样骨架由各类修饰酶催化衍生。刘天罡团队发现丝状真菌来源 I 型嵌合萜类合酶 *Talaromyces verruculosus* talaropentaene synthase (TvTS) 和 *Macrophomina phaseolina* macrophomene synthase (MpMS) 能够直接以异戊烯焦磷酸(IPP)和二甲基烯丙基焦磷酸(DMAPP)或者六戊烯焦磷酸(HexPP)为底物，合成三萜核心骨架。以此内容抛出认知冲突：教材界定角鲨烯是三萜合成唯一前体，真菌中却存在无需角鲨烯的全新三萜生源路径，该研究颠覆了长期以来陆续揭示的所有三萜化合物都是以角鲨烯为唯一起始单元合成的固有认知，发现了多个三萜化合物都是由 I 型萜类合酶催化而来，填补了这一庞大类群的天然产物合成机制多样性的认知空白，拓宽了新型三萜化合物深度挖掘和精准发现的空间[10](图 1)。在课堂上引入最前沿和改变认知的发现，极大地提升了课堂氛围和对科研的兴趣，课后增设课堂互动研讨环节，围绕萜类生源途径多样性展开交流探讨。

2.2. 萜类前沿知识体系教学化重构

2.2.1. 三萜生源合成前沿的课堂实施设计

传统机理观点长期认为：三萜合成先由角鲨烯合酶将两分子法尼基焦磷酸(FPP)转化为角鲨烯，Nature 报道三萜合成新通路颠覆了长期以来固有认知。

教学实施设计：课前推送 100 字简化版论文导读 + 简化通路；课中采用分组辩论互动：甲组依据教材阐述经典三萜生源途径，乙组结合前沿成果提出质疑，教师总结生源途径两类分支，完成教材内容与前沿突破的融合；课后布置拓展任务：检索 1 篇天然产物顶刊其他生源新发现，撰写 200 字科普笔记，打通课前 - 课中 - 课后闭环教学。

2.2.2. 二倍半萜教学内容补充设计

二倍半萜是一类以香叶基法尼基焦磷酸(GFDP)为生源前体的珍稀类异戊二烯天然产物，现存资源稀缺、结构独特，目前仅发现约 1300 种，其中绝大部分来源于海洋生物，仅 15% 分布于唇形科、龙胆科等少数陆生植物。二倍半萜是以 GFDP 为生源前体的稀有天然产物，本科教材完全缺失该部分教学内容，属于学生知识盲区，对应学生最近发展区空白区间。植物源二倍半萜具有高度氧化的复杂环系骨架，兼具细胞毒、抗炎、抗菌等多种生物活性，是创新天然药物的优质先导资源[11]。

落实专属教学转化策略开展教学设计：课堂仅选取陆生药用植物来源、具备成药潜力的二倍半萜作为授课案例，海洋来源稀缺种类设置为课后拓展阅读内容；教学重点讲解“结构稀缺性 - 抗炎先导价值”内在关联逻辑，弱化复杂环系立体结构精细解析工作。目前该类化合物的植物分布特征、生物合成及演化机制仍尚不明确，存在较大研究潜力。将其前沿研究成果融入天然药物化学教学改革，引导学生建立“小众天然产物是新药发掘宝库”的创新思维，可有效弥补传统教学萜类知识体系片面、内容滞后的不足，完善学生的专业知识架构，依托学科前沿与科研空白践行科研驱动教学，助力学生开拓学术视野、培养创新科研思维、夯实专业应用能力，契合新时代天然药物学科创新发展与医药人才培养的核心需求。

3. 原创科研成果分层教学案例开发

根据最近发展区理论教学要求，按照基础巩固型、拓展提升型、创新探究型三层梯度开发教学案例，匹配不同层次学生认知水平，搭建分层学习支架。

3.1. 木脂素、醌类分层教学案例设计

将团队原创发现按照基础巩固型、拓展提升型、创新探究型三层梯度案例架构作为典型案例融入教

学。基础巩固型案例：在三瓣木兰中首次发现厚朴酚多酚通过碳碳键(C-5'-C-5'')连接的新木脂素类二聚体，其中2个化合物具有抗炎作用[12](图2(A))；教学设计中仅保留厚朴酚碳碳偶联核心结构，依托该结构讲授木脂素分类、酚类波谱特征，紧密贴合教材木脂素章节全部基础考点，要求全体本科生熟练掌握。拓展提升型案例：首次在教学过程中提出螺环二烯酮型新木脂素结构类型，该类化合物此前在自然界中仅发现2个，团队研究扩展到5个，并发现3个化合物具有神经保护作用[13]；借助该罕见骨架拓展木脂素小众结构类型知识，剖析骨架结构衍生规律与神经保护活性之间的内在关联，设置议题交由课堂分组交流讨论。以上两类内容分层扩充木脂素章节内容，分别对应基础知识识记与课堂思辨研讨，用于逐层讲解结构鉴定与偶联机制。创新探究型案例：由于菲醌类化合物在天然药物化学教材中介绍较少，引入笔者近期从鸡脚参中发现的菲醌类二聚体(松香烷二萜二聚体)，该类化合物具有良好的抗寨卡病毒活性[14](图2(B))；完整保留活性导向分离、结构解析鉴定、抗病毒作用机制整条科研完整链条，将其设置为课后自愿参与的微型科研任务，面向具备科研钻研兴趣的学生开放探究学习。

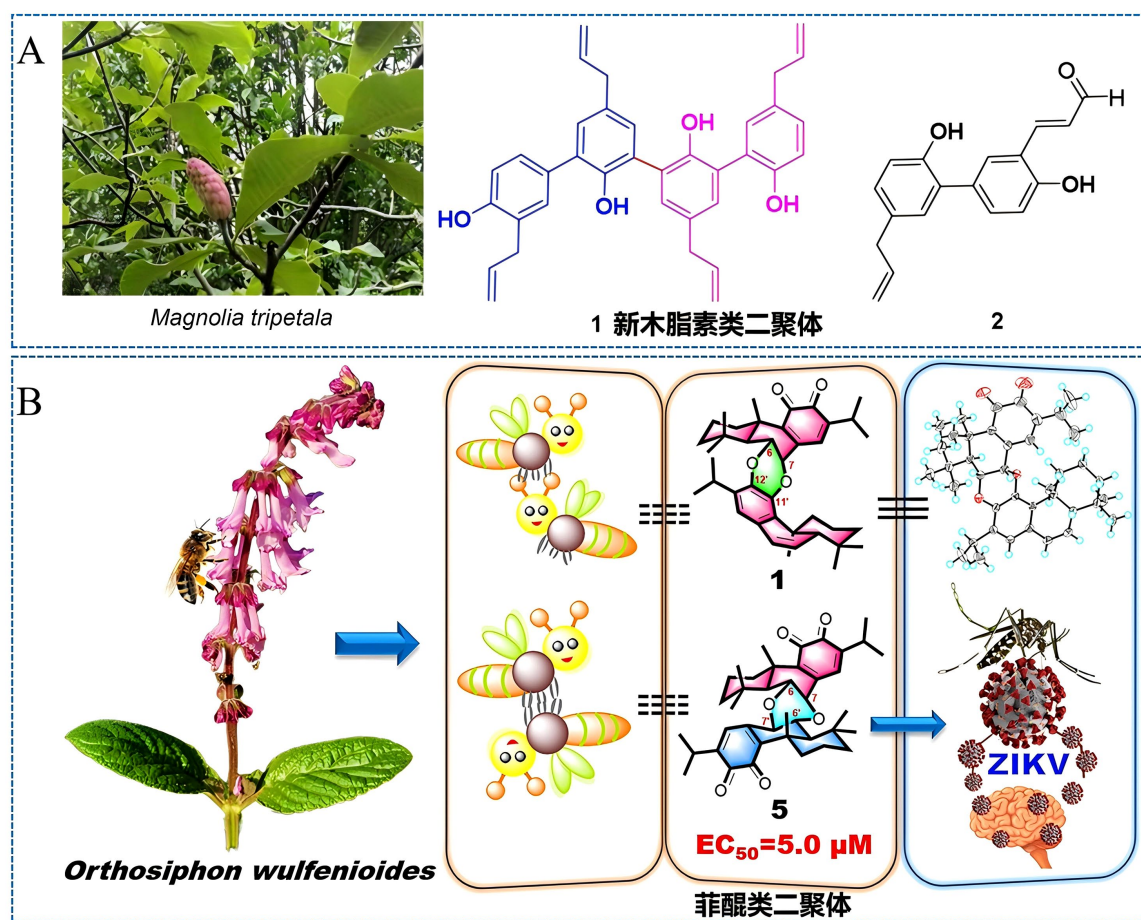


Figure 2. (A) A novel neolignan dimer was first discovered in *Magnolia triloba*. (B) A phenanthraquinone dimer was isolated from *Orthosiphon wulfenioides*

图 2. (A) 三瓣木兰中首次发现新木脂素类二聚体 (B) 鸡脚参中发现菲醌类二聚体

3.2. 萜类原创成果教学化改造

八角倍半萜案例教学设计

萜类化合物是天然产物中数量最多的一类化合物，分布广泛、骨架庞杂，具有多少样的生物活性。

现有《天然药物化学》教材仅简要记载莽草毒素具有人体毒性，但未具体阐释其毒性类型与作用特征，仅简单提及莽草毒素毒性，缺失结构分类、活性拓展相关内容，形成明显知识点断层。针对这一教学短板，本团队依托三层阶梯式教学改造方案，在该章节授课过程中，融入课题组关于八角属植物倍半萜的最新研究成果，补充完善相关知识点，实现教学内容的拓展与深化。

基础层：教学中系统梳理指出，八角倍半萜为八角属植物特有成分，以 *seco-prezizaane* 型为核心骨架，主要可分为 *anisatin*, *pseudoanisatin*, *majucin*, *minwanensin*, *pseudomajucin*, 和 *cycloparvifloralone* 等 6 个亚型(图 3)，依托六大核心骨架体系讲解该类成分神经毒性产生的分子基础，补足教材断层知识点；拓展层：课堂讲授课题组从红毒茴、小花八角中获得的两类新型八角倍半萜骨架，基于所得化合物中 4 个组分具备显著神经保护活性的实验结果[15][16]，着重讲解有毒骨架能够衍生神经保护先导物的辩证科研思想。探究层：课后布置小组研讨任务，安排学生检索八角属植物药用价值与毒性相关文献，自主设计安全的提取分离工艺方案，以此锤炼学生科研问题提炼与凝练能力。将上述分层设计的前沿科研成果融入课堂，有效弥补了教材内容的局限性，让学生循序渐进掌握八角倍半萜的结构分类、毒性特征与生物活性，实现科研前沿与课堂教学的深度融合。

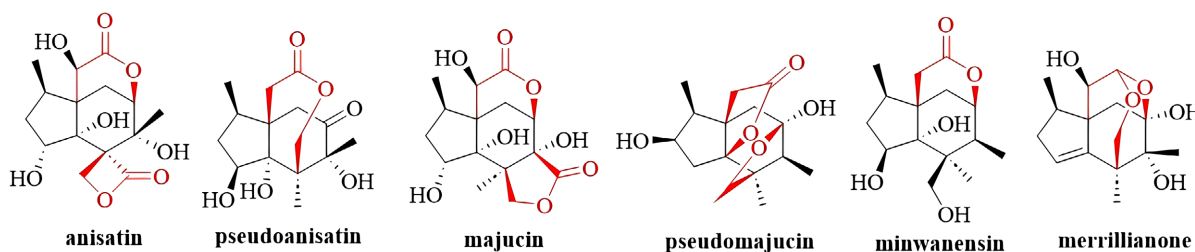


Figure 3. Six major subtypes of *seco-prezizaane* sesquiterpenes

图 3. 八角倍半萜六大亚型

现行《天然药物化学》教材对二萜类化合物的相关内容更新滞后，知识点仍停留在十年前。授课过程中，笔者引入本人 2025 年发表于《Chinese Chemical Letters》的综述论文《Highly anticipated natural diterpenoids as an important source of new drugs in 2013-2023》，教学设计以“上市药物”为核心锚点串联二萜结构分类体，将不同类型二萜骨架与临床上市、在研药物一一对应，构建“结构-活性-药物应用”三维关联认知体系，摒弃传统教学单一罗列骨架的讲授模式，系统梳理二萜类化合物结构分类及该类成分中已上市、临床在研药物与先导化合物资源[17]。教材在阐述三环二萜中的雷公藤甲素、雷公藤乙素时，仅简要介绍其植物来源与药理活性，并未明确二者均属于松香烷型二萜结构类型。课堂教学中，笔者针对性补充该结构类型知识点，并围绕松香烷型三环二萜开展拓展教学，结合丹参中丹参酮IIA 磺酸钠、库页云杉来源伊卡倍特钠等临床常用二萜药物实例[17][18]，强化学生对二萜结构药用价值的认知。

笔者长期开展中草药中功能性松香烷二萜的研究，教学中融入最新科研成果，以抗炎活性为导向，从鸡脚参中分离得到一系列结构新颖松香烷二萜，并具有显著抗炎、抗寨卡病毒活性(图 4)[19]-[22]，课堂选取 2 个代表性化合物开展精讲，完整讲授活性筛选、NLRP3 炎症小体抑制机制的经典科研范式，其余系列衍生物统一整理为课后案例库，供学生自主查阅学习，不占用课堂核心授课时长。依托核心案例引导学生立足中草药临床应用价值，掌握活性导向分离策略，学习新颖活性天然产物的发掘思路。针对教材中四环二萜仅局限于对映-贝壳杉烷型、知识点覆盖面较窄的问题，授课时补充课题组最新研究发现，引入从枪刀药中分离得到的重排壳梭菌素型四环二萜新骨架[23]、杉木来源的半日花烷型二萜二聚体等新颖结构实例[24]，依托前沿化合物案例讲解波谱解析、结构推导及生物活性筛选的完整研究流程，实

现科研成果与课程知识点的深度融合。

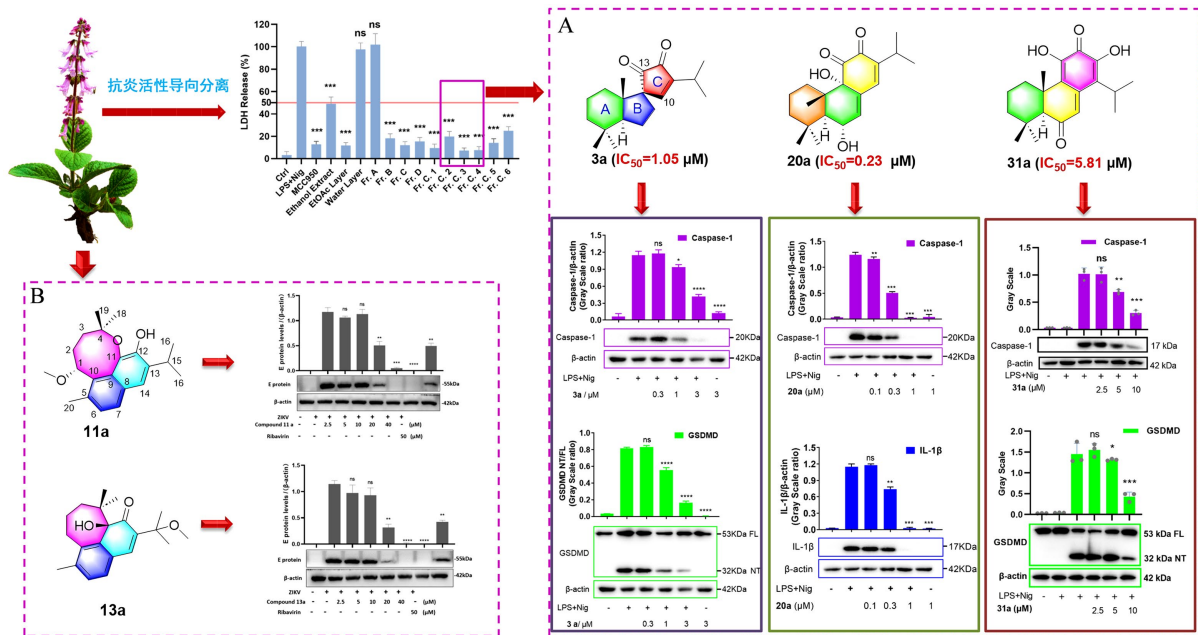


Figure 4. (A) Anti-inflammatory activity-guided isolation of novel abietane diterpenoid representative compounds from *Orthosiphon wulfenioides* and their anti-inflammatory mechanisms, (B) Representative rearranged abietane diterpenoids isolated from *Orthosiphon wulfenioides* and their anti-Zika virus mechanisms

图 4. (A) 抗炎活性导向从鸡脚参中分离得到新颖松香烷二萜代表化合物及其抗炎活性机制, (B) 鸡脚参中分离得到重排松香烷二萜代表化合物及抗寨卡活性机制

4. 科研平台与科研实践的教学实施体系

4.1. 大型科研平台分层教学应用方案

依托教育部重点实验室 6000 万元精密仪器平台, 打破教学、科研实验室壁垒, 按照演示观摩层、实操训练层分层设计仪器教学, 适配不同阶段学生能力:

(1) 演示观摩层(理论课全体学生): HPLC、NMR、液质联用线上虚拟仿真演示, 讲解仪器原理与天然产物分析用途;

(2) 实操训练层(科研兴趣小组/大创项目): 开放实验室小型中压色谱、高压液相色谱设备; 开放核磁、圆二色谱等大型仪器, 由教师全程指导微量样品的制备及其结构解析。

4.2. 本科生阶梯式科研实践完整教案

《天然药物化学·萜类活性导向分离》完整课时教案(90 分钟理论) **教学三维目标:** (1) 知识目标为掌握活性导向分离完整流程, 熟悉松香烷二萜结构分类与抗炎、抗病毒活性关联; (2) 能力目标为能够从中草药资源凝练科研问题, 设计简单分离实验路线, 读懂活性 IC₅₀ 和 EC₅₀ 数据; (3) 素养目标为建立科研创新思维, 理解中草药新药发掘价值, 掌握规范科研图表、文献阅读方法。 **教学重难点:** (1) 以活性导向分离科研范式、二萜结构与生物活性关联为重点; (2) 难点是如何将科研成果转化为可落地的本科生微型实验方案。 **课前准备:** 推送简化版课题组鸡脚参二萜研究论文摘要、虚拟分离仿真视频; 发放预习问卷: 梳理教材中二萜结构分类, 标记不懂的科研术语。 **课堂教学步骤:** (1) 导入(10 min): 情境创设 - 寨卡病毒、炎症疾病临床需求, 抛出“彝药鸡脚参中发掘活性先导物”真实科研问题(情境学习理论落地); (2) 教

材知识点回顾(20 min): 二萜分类、松香烷母核结构、提取分离基础方法; (3) 前沿科研案例分层讲解(30 min): 基础层(已知二萜上市药物)→拓展层(鸡脚参新颖二萜骨架)→探究层(NLRP3 炎症小体抑制机制); (4) 分组互动任务(20 min): 4 人一组, 基于本节课内容设计 1 套“彝药鸡脚参抗炎成分分离”微型实验方案, 绘制流程草图; (5) 总结 + 课后任务(10 min): 梳理科研范式完整链条; 课后撰写 300 字文献综述。

4.3. 本科生全流程科研阶梯培养设计

以课题组在傣药云实和青牛胆、彝药鸡脚参等 30 余种云南特色中草药的科研项目为载体, 同时依托教师多年中草药科研积累, 搭建四级科研支架, 逐步跨越学生科研最近发展区: 一级支架(课程内): 文献检索、图表规范、基础色谱实验训练; 二级支架(课程实训): 微型提取分离、薄层活性预筛选小实验; 三级支架(大创项目): 完整小型课题, 独立完成成分分离、活性初筛; 四级支架(成果产出): 论文图表整理、SCI 摘要撰写、学科竞赛材料制备。

5. 混合式教学成效评估体系

本研究采用解释性序贯混合研究方法, 先开展定量数据统计分析, 再通过质性访谈深度解释定量结果, 多维度交叉验证教改模式成效。

5.1. 定量评估方案

5.1.1. 研究对象分组

选取本校 2023 级、2024 级制药工程专业共 114 名学生, 采用准实验研究设计, 分为:

实验组(60 人): 采用本研究科研融合教学模式; 对照组(54 人): 传统教材讲授 + 常规实验教学, 不引入前沿科研案例、无开放科研实验室实训。两组均为制药工程专业学生入学基础化学成绩、前期药学核心课程成绩无统计学差异($P > 0.05$), 两组为同一授课教师且课时、教材、总学时完全统一。

5.1.2. 定量观测指标与统计方法

(1) 课程学业成绩指标: 期末理论笔试成绩、平时成绩(课堂互动、考勤、课后作业)得分, 采用独立样本 t 检验对比两组差异;

(2) 科研产出量化指标: 大创项目立项数量、SCI 论文、学科竞赛获奖数量, 采用卡方检验对比两组产出差异。

5.1.3. 定量初步结果

(1) 课程成绩: 实验组期末理论平均分 61.35 ± 15.70 , 对照组 59.22 ± 1.01 , $t = 0.86$, $P > 0.05$, 无显著差异; 平时成绩得分实验组 43.23 ± 5.12 , 对照组 34.54 ± 6.82 , $t = 7.78$, $P < 0.001$, 差异极显著;

(2) 科研产出: 实验组累计获批国家级大创 3 项、省级 2 项, 学生一作 SCI 论文 1 篇, 国家级竞赛一等奖 1 项、二等奖 1 项, 省级竞赛二等奖 2 项; 卡方检验 $\chi^2 = 9.64$, $P < 0.01$, 对照组无高水平科研产出与竞赛奖项。

5.2. 质性评估方案

(1) 访谈对象: 分层抽样实验组学生 15 名(成绩优/中/差各 5 名);

(2) 访谈提纲核心维度: ① 科研案例对知识理解的实际帮助; ② 开放实验室科研实践的难点与收获; ③ 模式改进建议、资源受限场景下可简化的环节;

(3) 分析方法: 提炼共性主题, 补充解释定量数据背后的学生真实学习体验, 弥补量化量表无法捕捉

的主观感受。

典型访谈摘录：学生1(优等生，国家级大创负责人)：“教材里二萜骨架只能死记硬背，课堂结合鸡脚参抗病毒科研案例后，能直接把骨架和药效对应起来，做实验设计时思路清晰很多。”学生2(中等成绩学生)：“以前上课只会低头记笔记，分组辩论三萜全新生源通路时必须主动查文献、发言，平时课堂得分明显提高。”学生3(学困生，未参与科研项目)：“分层案例难度梯度很友好，基础层厚朴酚木脂素内容完全能听懂，拓展内容可以课后慢慢看，不会跟不上课堂节奏。”

5.3. 评估综合结论

在两组学生入学基础与前期课程成绩基线均衡的前提下，对比验证了科研驱动教学模式与传统教学模式的应用效果。学业成绩层面，两种教学模式对学生期末基础理论知识的掌握效果无显著差异，但科研驱动教学模式可显著提升学生平时过程性学习表现与课堂学习主动性($t = 7.78, P < 0.001$)；科研实践育人层面，该教学模式有效打破理论与实践脱节的教学壁垒，促使实验组学生产出大创项目、SCI论文、学科竞赛等多项高水平创新成果，而传统教学模式下学生无相关科研竞赛产出，提示科研驱动教学模式可能有助于培养学生科研思维与创新实践能力。同时，研究结合分层质性访谈方案，可进一步补充学生真实学习体验与教学优化建议，弥补单一量化评价的不足。总体表明，科研驱动教学模式在保障学生基础理论学习质量的基础上，可有效强化学生过程性学习能力与专业创新实践素养，育人效果优于传统教学模式，具备良好的专业教学推广价值。

6. 模式局限性与资源适配降维实施路径

本文完整科教融合教学模式依托充足科研师资、千万级精密仪器平台、专项教改经费支撑落地，存在明确资源准入门槛，全国不同层次院校直接完整复制存在落地障碍，三大核心约束。**师资约束**：完整模式要求授课教师具备在研纵向科研项目、原创天然产物研究成果，普通专任教师缺乏可转化前沿科研案例；课外分层科研指导工作量巨大，无配套教学工作量认定机制易降低教师参与积极性；**仪器平台约束**：核磁、液质联用、圆二色谱等大型精密仪器购置、年度维护成本极高，多数地方本科、高职院校无配套科研平台；**经费与时间约束**：本科生批量科研实训需要持续试剂耗材经费，课外科研指导占用教师大量课余时间，缺乏专项经费支撑难以长期可持续运行。为提升模式普适推广价值，建立三级差异化资源降维实施方案，适配不同办学资源院校。

6.1. 资源充足院校(双一流、省属重点民族/医药类本科)

完整落地全套教改体系：前沿顶刊成果标准化课堂转化、大型仪器分层次实操实训、四级阶梯科研全流程培养、大创项目全程培育、混合式成效完整评估体系，配套完整分层案例、课时教案全部资源。

6.2. 中型资源院校(普通地方本科，仅配备基础色谱仪器)

实施中度降维改造：共享本文开源前沿科研案例库，依托线上虚拟仿真平台替代核磁、液质大型仪器线下实操；以文献调研、虚拟课题方案设计替代完整实体活性筛选实验，仅保留薄层、提取分离基础实体实训，大幅降低仪器耗材成本。

6.3. 资源薄弱院校(高职高专、无科研平台无纵向课题师资)

实施深度降维简化方案：舍弃教师原创前沿成果，采用全球公开经典天然药物科研案例开展课堂教学；删减课外实体科研实训，仅保留课堂分组科研模拟研讨环节；依托网络免费学术资源、跨校共享标准化课件降低教师备课难度，最低成本实现科教融合基础落地。

6.4. 长效可持续推广保障机制

制度保障：高校完善科研成果转化教学工作量认定制度，将本科生科研指导、教改案例开发折算教学课时，激励教师参与；**资源保障：**全国药学专业共建科教融合共享资源库，统一开放标准化科研转化案例、全套课时教案、虚拟仿真教学视频；**师资保障：**定期开展分层教改专项师资培训，普及科研成果三级转化流程、分层案例教学设计方法，缩小院校师资能力差距。

6.5. 本研究自身局限性客观讨论

本实证研究存在客观局限，后续可进一步完善。**样本局限：**仅选取本校制药工程单一专业、2个年级学生开展对照实验，未覆盖中药学、生物技术等相关专业，样本覆盖面有限；**跟踪周期局限：**仅完成单学期教学成效评估，未开展长期跟踪(毕业生读研深造科研能力、就业岗位创新表现回访)，长期育人效果仍需持续验证；**评价维度局限：**未量化统计教师教改额外教学负担、仪器平台排期冲突等管理层面问题，后续可增加教师调研问卷完善评估体系；**地域局限：**教改案例全部依托云南本土中草药资源，面向东部、北方道地药材产区院校落地时，需替换对应地域药用植物科研素材。

7. 科研驱动教学成效

依托学院科研平台与四级阶梯科研培养支架，构建“理论课堂学习-实验室分层实操-实验数据深度分析-学术论文/竞赛成果产出”完整本科生科研培育闭环，指导学生围绕玉兰、鸡脚参、八角属、密花莢蒾等云南特色药用植物开展系统化学成分研究：学生独立完成中外文献调研、课题研究价值论证、实验分离工艺路线自主设计；完整训练提取、柱色谱分离纯化、波谱结构解析、体外抗炎/抗病毒活性评价全套实验技能，同步规范整理实验数据、绘制标准科研图表。教改落地以来学生代表性创新成果：**学术论文：**指导本科生以第一作者在 *Phytochemistry Letters* 发表玉兰化学成分 SCI 学术论文 1 篇[25]；**大创项目：**2024、2025 年国家级大学生创新创业训练计划 3 项，2025 年省级大创项 2 项；**学科竞赛：**第 11 届全国生命科学竞赛国赛一等奖、二等奖各 1 项；云南省赛区二等奖 1 项；云南省第十二届“挑战杯”课外学术科技作品省赛二等奖 1 项。上述系列成果充分证实：本教改模式可系统性培育本科生科研思维、独立实验操作、创新课题设计能力，具备显著实践育人成效。

8. 结论

本研究完整构建适配天然药物化学本科课程的一体化科教融合教学体系，覆盖标准化科研成果教学转化、三层梯度原创案例课堂实施、四级阶梯科研实训培养、定量-质性混合教学成效评估、分层次资源降维推广五大完整模块。一学期教改实证数据表明：该模式在稳定学生教材基础理论掌握水平的前提下，可极显著提升学生课堂参与主动性、课后过程性学习表现，常态化产出大创项目、本科生一作 SCI 论文、国家级学科竞赛等高水平创新成果。相较于国内现有同类教改研究，本文三大改进突破：建立筛选-简化-嵌入前沿科研成果的教学转化流程；搭建定量统计+分层访谈的混合式多维教学评价体系；针对不同办学资源院校设计差异化降维落地路径，解决传统教改模式普适性弱、落地门槛高的行业痛点。针对模式依赖优质科研师资、高端仪器平台的落地约束，配套三级资源适配实施方案与长效制度保障机制，大幅提升全国范围内推广应用价值。本套科教融合教学体系可系统化培育药学本科生创新科研综合素养，建立天然药物研发领域本科生后备人才长效储备机制，为全国药学、制药工程、中药学专业核心课程教学改革提供标准化、差异化可落地实践范式。

基金项目

云南民族大学审核评估教育教学研究与实践项目(2022JYJX-05)。

参考文献

- [1] 匡海学, 冯卫生. 中药化学[M]. 第4版. 北京: 中国中医药出版社, 2021.
- [2] 李霞, 徐冰, 褚福浩, 等. 学科前沿进展融入天然药物化学课堂教学的思考[J]. 药学教育, 2023, 39(5): 32-36.
- [3] 王丽莉, 邓雁如, 邱峰, 等. 以培养创新型人才为导向的中药化学课程教学模式[J]. 药学教育, 2023, 39(6): 51-54.
- [4] 王鸿蕴, 戴国琳, 马爽. “双一流”学科背景下科研反哺教学的理论和实践探讨[J]. 卫生职业教育, 2022, 40(3): 10-13.
- [5] 程秀, 霍强. 科研案例融合混合式教学方法在天然药物化学教学中的应用[J]. 蚌埠医科大学学报, 2025, 50(6): 826-830.
- [6] 高文. 维果茨基心理发展理论与社会建构主义[J]. 全球教育展望, 1999, 29(4): 10-14.
- [7] 钟启泉. 最近发展区: 课堂转型的理论基础[J]. 全球教育展望, 2018, 47(1): 11-20+34.
- [8] 靳美娜, 陈莹, 唐铖, 等. 以“三全育人”为目标的天然药物化学课程改革与实践[J]. 中医教育, 2024, 43(2): 56-60.
- [9] 周光礼, 马海泉. 科教融合: 高等教育理念的变革与创新[J]. 中国高教研究, 2012(8): 15-23.
- [10] Tao, H., Lauterbach, L., Bian, G., Chen, R., Hou, A., Mori, T., *et al.* (2022) Discovery of Non-Squalene Triterpenes. *Nature*, **606**, 414-419. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04773-3>
- [11] Guo, K., Liu, Y. and Li, S. (2021) The Untapped Potential of Plant Sesterterpenoids: Chemistry, Biological Activities and Biosynthesis. *Natural Product Reports*, **38**, 2293-2314. <https://doi.org/10.1039/d1np00021g>
- [12] Nie, W., Ding, L., Lei, T., Liu, Z., Li, J., Song, L., *et al.* (2021) Biphenyl-Type Neolignans with NO Inhibitory Activity from the Fruits of *Magnolia tripetala*. *Phytochemistry Letters*, **44**, 222-226. <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2021.06.026>
- [13] Wu, X.D., Hu, J.L., Nie, W., Hu, M., Li, J., Shen, Y., *et al.* (2022) Spirocyclohexadienone-Type Neolignans with Neuroprotective and Neurite Outgrowth Enhancing Activities from *Magnolia liliiflora*. *Chemistry & Biodiversity*, **19**, e202200618. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202200618>
- [14] Tu, W.C., Huang, Y.X., Kong, Y., Li, B., Wang, B., Dong, T., *et al.* (2024) Bisulfenoidins A-E, Dioxxygen-Bridged Abietane-Type Diterpenoid Dimers with Anti-Zika Virus Potential from *Orthosiphon wulfenoides*. *Organic Chemistry Frontiers*, **11**, 3614-3623. <https://doi.org/10.1039/d4qo00619d>
- [15] Nie, W., Ding, L., Lei, T., Pan, Z., Song, L., Wu, X., *et al.* (2021) Illilanceolide A, a Unique Seco-Prezizaane Sesquiterpenoid with 5/5/6 Tricyclic Scaffold from the Fruits of *Illicium lanceolatum* A. C. Smith. *Tetrahedron Letters*, **70**, Article ID: 153022. <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2021.153022>
- [16] Lei, T., Liu, Z., Bao, Y., Ding, L., Song, L., Wu, X., *et al.* (2022) Four Highly Oxygenated Sesquiterpenoids from the Fruits of *Illicium micranthum* Dunn. *Chemistry & Biodiversity*, **19**, e202200429. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202200429>
- [17] Wang, Y., Tang, P., Tu, W., Gao, Q., Wang, C., Tan, L., *et al.* (2025) Highly Anticipated Natural Diterpenoids as an Important Source of New Drugs in 2013-2023. *Chinese Chemical Letters*, **36**, Article ID: 109955. <https://doi.org/10.1016/j.ccl.2024.109955>
- [18] Fang, J., Little, P.J. and Xu, S. (2018) Atheroprotective Effects and Molecular Targets of Tanshinones Derived from Herbal Medicine Danshen. *Medicinal Research Reviews*, **38**, 201-228. <https://doi.org/10.1002/med.21438>
- [19] Tu, W.C., Zhang, X.J., Zhao, Y., Chen, W., Zhang, X., Yang, C., *et al.* (2023) Diterpenoids with a Novel 6/5-5 Spiro Tricyclic Skeleton from *Orthosiphon wulfenoides* and Their NLRP3 Inflammasome Inhibitory Activity. *Organic Chemistry Frontiers*, **10**, 2898-2906. <https://doi.org/10.1039/d3qo00247k>
- [20] Tu, W., Zhao, Y., Yang, C., Zhang, X., Li, X., Sakah, K., *et al.* (2023) Abietane Diterpenoids from *Orthosiphon wulfenoides* with NLRP3 Inflammasome Inhibitory Activity. *Bioorganic Chemistry*, **136**, Article ID: 106534. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2023.106534>
- [21] Tu, W.C., Yang, P.Y., Zhang, X.J., Kong, Y., Li, B., Wang, H., *et al.* (2025) Bioactivity-Guided Isolation of Potent Inflammasome and Mitochondria Damage Inhibitory Diterpenoids from *Orthosiphon wulfenoides*. *Phytochemistry*, **230**, Article ID: 114335. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2024.114335>
- [22] Tu, W., Huang, Y., Li, B., Jiang, Y., Yang, Q., Zeb, M.A., *et al.* (2023) Wulfenoidins D-N, Structurally Diverse Diterpenoids with Anti-Zika Virus Activity Isolated from *Orthosiphon wulfenoides*. *Journal of Natural Products*, **86**, 2348-2359. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.3c00543>
- [23] Wu, X.D., Ding, L.F., Li, W.Y., Cheng, B., Lei, T., Zhou, H., *et al.* (2022) Hypoestins A-D: Highly Modified Fusicocane Diterpenoids with Promising Cav3.1 Calcium Channel Inhibitory Activity from *Hypoestes purpurea*. *Organic Chemistry Frontiers*, **9**, 3075-3083. <https://doi.org/10.1039/d2qo00265c>
- [24] Wu, X.D., Ding, L.F., Chen, B., Li, X., Peng, L. and Zhao, Q. (2021) Cunlanceolic Acids A-D: Unprecedented Labdane

-
- Diterpenoid Dimers with AChE Inhibitory and Cytotoxic Activities from *Cunninghamia lanceolata*. *Organic Chemistry Frontiers*, **8**, 5777-5784. <https://doi.org/10.1039/d1qo00999k>
- [25] Ding, L.F., Zhang, X.Y., Wang, Q.H., Zhao, Q., Yin, S., Song, L., *et al.* (2025) Two New Phenolic Derivatives with Neuroprotective Activities from the Fruits of *Magnolia denudata*. *Phytochemistry Letters*, **68**, Article ID: 102980. <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2025.102980>