

教 - 学 - 研结合的专业实验课程改革与实践

——以“绿色萃取”为例

刘 瑜¹, 李 犇^{2*}

¹辽宁科技大学材料与冶金学院, 辽宁 鞍山

²辽宁科技大学化学工程学院, 辽宁 鞍山

收稿日期: 2026年9月6日; 录用日期: 2026年10月7日; 发布日期: 2026年10月14日

摘 要

专业实验作为化工、冶金和材料等本科专业的核心课程, 在提升学生实验技能和工程应用能力两个方面发挥着重要作用, 对培养具有良好专业背景和科技创新能力的工科人才具有重要意义。本文以“教 - 学 - 研”为核心理念, 将“绿色萃取”技术引入本科专业实验教学, 完善了绿色化学导向的创新性实验教学改革方案, 推进实验教学高效绿色转变, 培养学生的环保意识和科研创新精神, 促进高校学科专业评估与工程认证相关的实验教学改革进展与绿色升级。

关键词

专业实验课程, 教学改革, 绿色萃取, 教 - 学 - 研结合

Reform and Practice of Specialized Experimental Course

—A Case of Green Extraction for the Combination of Teaching, Studying and Researching

Yu Liu¹, Ben Li^{2*}

¹School of Materials and Metallurgy, University of Science and Technology Liaoning, Anshan Liaoning

²School of Chemical Engineering, University of Science and Technology Liaoning, Anshan Liaoning

Received: September 6, 2026; accepted: October 7, 2026; published: October 14, 2026

*通讯作者。

文章引用: 刘瑜, 李犇. 教-学-研结合的专业实验课程改革与实践[J]. 教育进展, 2026, 16(10): 292-300.
DOI: 10.12677/ae.2026.16102111

Abstract

As the core part of the undergraduate curriculum for majors including chemical engineering, metallurgy, material science, etc., the specialized experimental course plays a key role in improving both student's experimental skills and the capability of engineering application, which is significant and meaningful for cultivating the qualified engineering talents characterized by professional background and innovative researching ability. The present article takes the combination of "teaching-studying-researching" as the core idea, to introduce the green extraction technology into the specialized experimental course for undergraduates, to establish a well-developed, comprehensive and innovative experimental teaching plan to cater for the requirements of green chemistry, to realize the high efficient green transformation of experimental teaching method, to foster student's environmental awareness as well as their innovative spirits of scientific research, to boost the discipline evaluation for domestic universities and engineering accreditation related experimental teaching reform and green updating.

Keywords

Specialized Experimental Course, Teaching Reform, Green Extraction, Combination of Teaching, Studying and Researching

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

根据“工程认证”建设与“本科教学评估”背景下课程体系改进的要求,专业实验课程逐步向“绿色、创新、节能”方向全力发展。2019年《教育部关于一流本科课程建设的实施意见》¹中明确提出:“课程是人才培养的核心要素,课程质量直接决定人才培养质量。”在此背景要求下,专业实验课程面临着从重复的、指令性的实验操作向绿色的、创新的实验教学改革转变的迫切转变[1]。

专业实验是化工、冶金、材料等专业的必修课。在各专业课程体系建设中处于重要地位,也是支撑工科专业发展的重要基础实践课程。萃取是专业实验课程的基本操作,但传统萃取实验内容相对简单,实验过程气味大,教学方法枯燥、单调、重复[2]。而遵循绿色化学理念,在满足教学目标和保证教学效果的前提下,专业实验可尝试替换传统溶剂,并寻找绿色、高效、安全的实验技术方法来提高实验课程质量和学生的学习兴趣。在专业实验中,对实验教学内容进行调整和改进是势在必行的举措,指导教师应将其科研实验中所掌握的先进萃取方法和分析技术导入实验教学,唤醒学生对学习新知识、新技术的内心渴望,如“超临界 CO₂ 萃取、微波辅助提取、离子液体萃取”等绿色技术,使实验过程更加绿色、新颖,拓宽学生思路,提升学生的绿色创新意识和科研兴趣[3]。

为此,本文以绿色萃取为例,参考文献中报道的项目式学习[4]、研究导向型教学[5]等相关教育理论,提出“教-学-研”结合的理念为导引,探索将“绿色萃取”技术方法引入本科专业实验教学,构建面向绿色化学导向的创新性实验教学改革方案。学生通过现代绿色萃取的独立设计与实验操作,提升自身的绿色萃取认知,转变专业实验课程中固有的学习思维模式,提高实验操作过程中的安全保障。

¹http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201910/t20191031_406269.html

2. 专业实验课程中存在的问题

专业实验课程在实验内容、教学方法与仪器设备等方面尚存在改进之处。在实验内容上,多采用以“传统实验项目”为主的重复性实验内容,操作步骤固定、实验报告参数单一,缺乏时效性和创新性,导致学生的学习兴趣低,主动思考实验内容的态度消极[6]。在实验教学方式上,教师多碍于实验安全考虑,侧重讲解的专业实验目的、原理、内容等方法,为了保护学生安全而不得不使学生在实验中按部就班地执行老师的指令,导致学生缺乏对自身实验能力提升与绿色技术需求的深入理解。此外,传统萃取实验中仍在使用的诸如醇、醚、氯仿、烷烃、芳烃等有机溶剂,尽管操作相对成熟,但这些溶剂具有易燃、气味重、有毒有害等安全隐患,有悖于绿色化学所倡导的“无害、环保、节能”原则,与可绿色发展导向的化学教育理念矛盾。设备层面上,由于实验装置仪器老旧,学生仅能完成仪器设备界面对话层面的指令操作,缺乏原理性理解及对实验装置结构与参数设定的系统掌控。以上提到的几方面问题均制约了学生在专业实验训练中的积极性与探索性,不利于其实验环保意识、创新能力以及绿色化学理念的全面培养[7]。

基于上述发现的问题,我们在专业教学中提出“教-学-研”结合的专业实验改革思路,从实验理论中拓展出研究课题,通过创新性实验内容开展理论紧密结合实践的实验教学过程,提高学生理论联系实际的科研能力,使其能够独立提出问题并找到解决方法,从实践中体会绿色化学的重要性和必要性。

3. 专业实验课程之绿色萃取的教学改革思路

针对专业实验课程的特点和学生需求,围绕“教-学-研”相结合的教学理念进行了专业实验教学内容的整合和管理。以绿色萃取为例,围绕绿色萃取溶剂、绿色萃取方法及辅助强化技术和学生共同拓展专业实验教学内容与核心知识体系,如图1所示。

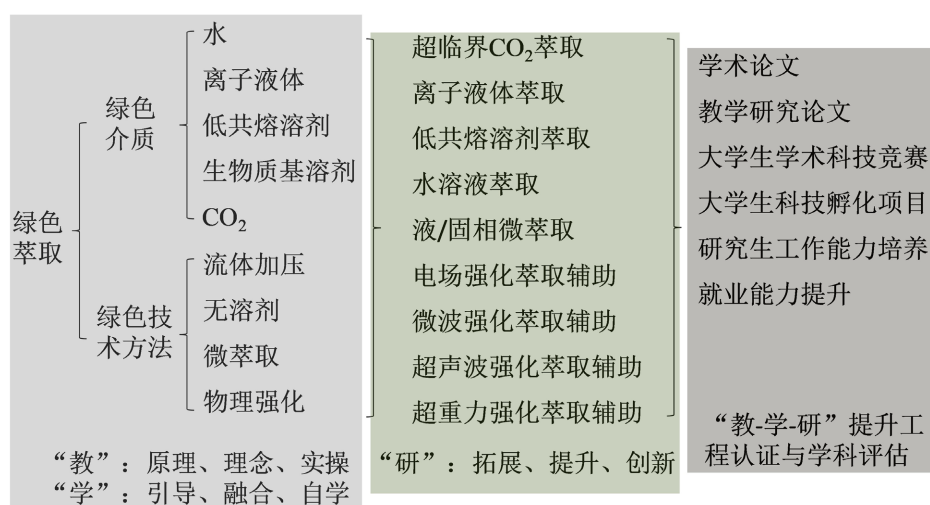


Figure 1. Schematic diagram of “teaching-studying-researching” specialized experimental design for green extraction
图1. 绿色萃取的“教-学-研”专业实验设计

4. 以“绿色萃取”为例的专业实验课程教学改革实践

随着绿色化学理念认知的提升与高等教育信息化水平的不断发展和传播,实验教学正逐步从实验室内的操作学习模式向虚拟考核与实操拓展相结合的教学模式转变。在以绿色溶剂为应用介质的专业实验中,实验教学内容往往需要考虑各绿色溶剂的物化特性和操作原理,萃取设备要求与操作参数等方面。

一方面, 教师课上结合专业实验重点、难点及学生预习存在问题进行讲授、演示, 教师要培养学生基本操作技能, 培养学生观察实验现象的能力, 使学生获得实验理论、基本知识的感性认识; 提高学生独立思考、分析问题、解决问题的能力; 培养学生根据化工对象特性, 选择研究路线, 设计实验方案的能力。另一方面, 学生需认真进行线上线下预习, 上传实验预习报告; 预测实验现象、结果及实验安全问题; 学生能根据实验对象特性, 选择研究路线, 设计实验方案; 采集实验数据后, 正确描述并解释实验现象、得出正确结论, 独立撰写并上传实验报告, 使学生具有能够根据化工对象特性, 选择研究路线, 设计实验方案的能力。

然而, 已有的实验方案多用于工艺性能评估或原理演示, 鲜有对比分析探讨如何在课程目标设计、学生绿色化学素养提升等方面进行的融合创新。特别是在“教-学-研”结合的教学目标框架下, 尚缺乏以“绿色萃取”为核心要素、贯穿绿色理念与工程能力训练的实验教学改革案例。因此, 本文尝试从教学设计出发, 探索融合“教-学-研”绿色萃取的专业实验教学途径, 以满足绿色工程人才培养的新要求和新任务。

4.1. 萃取理论教学和实验过程结合的绿色设计

根据绿色化工的发展需要, 对溶剂利用与清洁生产提出了更高的要求, 对分离技术要求越来越严格, 进而推动绿色新型萃取技术的快速发展。由于传统的萃取分离过程能耗高, 污染物处理方式固化, 因此, 绿色萃取分离势在必行。绿色萃取技术主要包括两种途径, 一是改进和优化传统萃取技术, 二是研发新型绿色萃取技术, 共同的目的在于提高萃取效率、降低能耗、减少或消除环境危害。相对而言, 后者是更可取的研究途径, 但需要兼顾萃取溶剂和检测技术, 并适时参考绿色化学和绿色分析化学 12 条原则 [8]。绿色萃取的核心是在生产和使用化学品时从源头上防止污染危害, 实现萃取分离的可持续发展。其目的是实现萃取介质的绿色化、萃取技术的绿色化以及获取最终产物的绿色化。

4.2. 教-学-研相结合的绿色萃取设计

4.2.1. “教”环节

传统的萃取方法常用到的萃取试剂大多是具有挥发性和毒性的有机试剂, 如乙醇、甲醇、氯仿、烷烃等, 会产生废液、废气等有害问题。虽然实验教学过程中产生的废弃物排放量相对较小, 但学校每年在处理废弃化学品上的支出不菲, 逐年累计而产生的连锁效应也不能忽视。实验教学中, 教师往往更关注学生对知识原理、实验操作的掌握, 而对实验试剂是否够绿色的关注不够, 难以对学生产生潜移默化的影响。因此, 将绿色理念渗透到专业实验教学的各教学环节中, 对培养学生的可持续发展意识, 牢固树立和践行绿色萃取发展理念具有重要的实际意义。

而工业生产过程中萃取分离过程所消耗的大量挥发性有机溶剂更是污染环境和危害人类身体健康的主要原因。因此, 在学生阶段就应确立绿色化学理念, 探讨如何发展和使用环境友好、低能耗、可持续发展的绿色溶剂便成为当前迫切的实验教学任务。绿色溶剂的有效设计与利用不仅可以降低有害溶剂用量, 减少环境污染, 并且能通过其自身物化特性优化化工过程, 降低能耗, 提高物料利用率, 实现传统条件下难以进行的分离、分析、检测, 为学习新型高效绿色分离分析技术、解决传统溶剂无法有效解决的难题提供新的思路。表 1 列举了 5 种常用的绿色溶剂及其特性, 下面以超临界 CO₂ 萃取豨莶草为例来简要说明绿色萃取在实验教改过程的应用与评价, 见图 2。

4.2.2. “教-学-研”结合的实验改革

本文通过将绿色萃取引入本科实验教学, 并构建教学设计与综合评价方法, 为专业实验课程的绿色教学改革提供了可参照、可借鉴的实践案例, 推动专业实验教学的绿色转型与升级。

Table 1. Composition and properties of green solvents [9]
表 1. 绿色溶剂组成与特性[9]

名称	组成	特性
超临界 CO ₂	CO ₂ 分子	实践表明, 超临界 CO ₂ 可有效替代传统有机溶剂, 大幅降低污染物排放。超临界 CO ₂ 过程联用技术作为一种绿色、清洁、高效技术, 已成功在萃取、分离、材料制备等诸多领域得到广泛应用。
离子液体	由阴、阳离子组成、在常压下、不超过 100℃ 时呈液态的有机盐化合物。	离子液体具有可控性, 可根据萃取组分的特性选择设计离子液体的分子结构。
低共熔溶剂	与离子液体具有类似的物化性质, 主要由 H 键供体和 H 键受体组成, 在室温下呈液态。	由两种或两种以上的物质混合, 通过分子间作用力而形成的混合溶液, 混合物的熔点低于其任一组分的熔点。
水	H ₂ O 分子	地球上分布广泛的自然资源, 水作为溶剂在农业生产、化工分离等领域内广泛应用。
生物质基溶剂	聚乙二醇、聚丙二醇、甘油及其衍生物、醚类、脂类等化合物。	利用生物质为原料制备得到的溶剂, 与水互溶, 可设计为两相体系, 通过引入有机萃取溶剂或水实现产物分离。

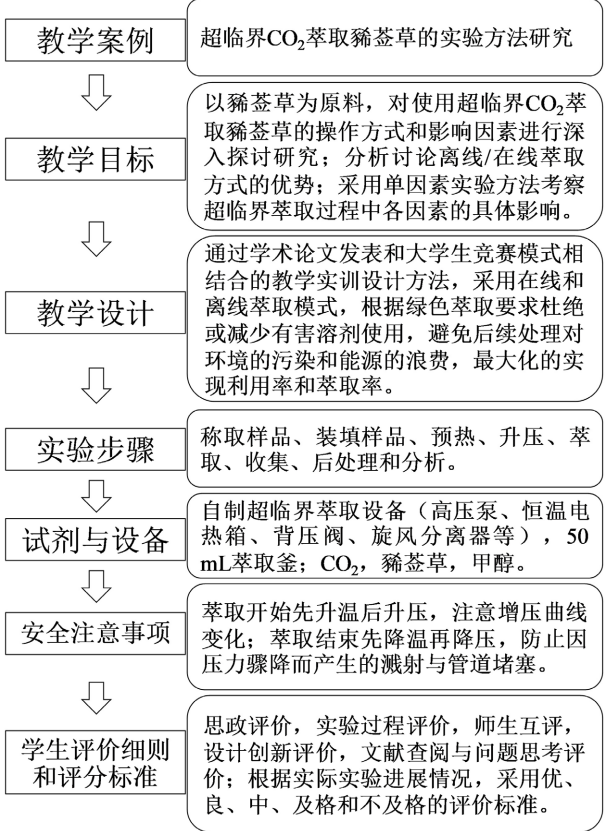


Figure 2. An experimental study of green extraction: supercritical CO₂ extraction of Glandularstalk
图 2. 绿色萃取实验之超临界 CO₂ 萃取稀荳蔻的实验研究

“教”转变：首先是转变教学理念和实验教学方法，由传统实验教材中的案例内容优化为绿色化学为导向的、自适性的实验学习过程。通过绿色化学试剂和方法的选择思考并改进实验技术方法，对预习报告设置多种实验技术可能性的指示问题，对实验报告设置与文献中实验现象、结果、应用等多方面的

横向分析比较, 并纵向探讨同种技术类型应用中“大学生科技类竞赛、论文发表、大学生孵化项目”等领域内的进展和获奖原因, 引导学生主动思考, 进一步完善实验目的。

“学”转变: 学生无法再依靠教师提供的教学资源而完成实验任务, 更不能通过抄袭来完成实验内容, 每名学生需要查相关资料、归类整理、对比分析、横向纵向思考, 总结实验报告内容与创新点, 通过实验操作来谋划未来更具有挑战性的实践任务, 例如, 准备竞赛、论文、发明专利等任务。对学生而言, 专业实验考核不再是提交实验报告和课内评价的“一次性”学习过程, 而是不断提升实验技术和科研能力的起点。

“研”转变: 通过“教”和“学”两个过程的实验训练和文献查阅, 使学生能够了解实验任务之外的提升空间, 着手准备学术论文发表和科技类专利申请, 确定大学生教学科研竞赛的准备方向, 参与科研项目 and 大学生科技孵化项目, 使学生切实感受到教师科研能力的提高不如学术科研能力的提高。

学生在“教”中“学”、“学”中“研”, 用理论指导实践应用, 由实践促进理论创新。例如, 每种绿色溶剂都有各自特点, 在萃取实验中学生就发现单一的超临界 CO_2 萃取已无法满足科研与工程生产的需要, 而超临界 CO_2 与其它绿色溶剂所混合形成的溶液则会表现出特殊的物化性质, 并广泛应用于化学反应、样品分析、萃取分离等领域中, 并取得了令人满意的结果, 见表 2。

Table 2. Features and applications of mixture of green solvents and supercritical CO_2 [10]

表 2. 超临界 CO_2 与绿色溶剂混合溶液的特点与应用[10]

混合体系	特点	应用举例
超临界 CO_2 /水	超临界 CO_2 为弱极性分子, 超临界 CO_2 对非极性分子的溶解度大于极性分子, 从而限制其具体的应用领域, 需要加入极性夹带剂或混合溶剂。	超临界 CO_2 /水混合体系有利于萃取物分离, 且无液体酸碱排放, 符合绿色化学要求。增加超临界 CO_2 的萃取压力会降低有机物在水中的溶解度, 使其在水和超临界 CO_2 间转移富集, 从而影响分离。
超临界 CO_2 /离子液体	离子液体极性极强、挥发性弱, 而超临界 CO_2 极性弱、易挥发; 离子液体几乎不溶于超临界 CO_2 , 而超临界 CO_2 却可以大量溶解于离子液体, 故二者混合所构成的绿色体系为反应、分离/分析带来新的机遇。	利用超临界 CO_2 从离子液体中萃取有机物是没有交叉污染的绿色过程, 无需使用有机溶剂。例如, 将离子液体吸附在硅藻土上, 然后置于超临界 CO_2 中催化合成环状碳酸酯, 使 CO_2 同时作为反应物和反应溶剂。
超临界 CO_2 /PEG	PEG 在超临界 CO_2 中的溶解度较低, 低分子量的 PEG 具有相对较大的溶解度。超临界 CO_2 /PEG 溶剂对空气敏感的催化剂的应用具有优势。	室温下 PEG1500 为白色固体, 混合超临界 CO_2 后升温至 40°C 转变为液体, 反应产物由超临界 CO_2 萃取分离, 减压后可直接获得, 催化剂在固体 PEG 中, 避免与空气接触。

4.2.3. 教 - 学 - 研相结合的绿色萃取拓展

教师的“教”是引领学生了解并掌握实验要完成的目标、要求、实验原理、设备原理及操作流程等方式来完成。学生的“学”是实验前的引导式学习、实验过程中的观察式学习和实验后的独立思考式学习。师生间的“研”是根据专业实验要求和目标, 拓展实验原理和应用, 挖掘更多的实验参数, 反思实验步骤和数据结果, 构想学术论文雏形, 联系实际科研项目的立意与目的。

专业实验具有连续性、深入性和创造性的特点。完成教学要求的实验内容后, 讨论其延伸性实验的开展, 对教学实验进行补充和拓展, 进一步培养学生的科学素养和探索精神, 对比分析实验内容和参数条件, 探索可行的其它实验路径, 为下一届学生提供思路和可行性意见。近 3 年的萃取实验中由学生提出并完成的拓展实验项目如下。

拓展一 超临界 CO_2 萃取技术

根据相图理论, 了解超临界流体特性, 并提出以超临界 CO_2 作为绿色介质替代传统有机溶剂, 显著

降低溶剂使用量和污染物排放量。超临界 CO₂ 萃取不仅提高萃取效率和选择性, 而且降低萃取能耗, 该萃取技术将是未来绿色分离分析技术发展的方向和研究的热点, 见表 3。

Table 3. Samples of supercritical CO₂ extraction [8]
表 3. 超临界 CO₂ 萃取样品[8]

类别	特性
大气样品	索氏提取法耗时长、溶剂用量大; 热脱附则需考虑目标样品的热稳定性, 应用范围受限。超临界 CO ₂ 萃取因其自身特点, 对目标样品的富集浓缩适用于环境复杂和组分易变的样品。
土壤样品	超临界 CO ₂ 萃取技术在环境保护与(新)污染物检测领域有明显优势, 对于不同污染物的处理过程, 可采用超临界 CO ₂ 直接萃取污染物, 也可采用先吸附、后超临界萃取的两步法。
中药样品	与传统的提取方法相比, 超临界 CO ₂ 萃取技术在中药有效成分的提取具有明显优势, 在缩短工艺流程的同时又可满足不同规模的生产需要。
食品与天然提取物	水汽蒸馏在加热提取过程中可能使天然产物中某些热敏性或化学不稳定性成分被破坏, 溶剂浸渍法除了溶剂残留还可能污染样品, 改变天然产物原来的气味。超临界 CO ₂ 萃取可在接近常温下操作, 适合于热稳定性差的天然产物和活性物质的分离精制, 成为超越传统萃取方法的新型、绿色、高效的提取工艺方法。
塑料样品	降解方法主要有利用微生物对塑料进行降解、光降解以及溶剂降解等方法, 但这些方法存在着成本高、降解缓慢等不足。超临界 CO ₂ 具有良好的传质性能与溶解能力, 使其应用于废弃塑料降解, 可实现成本低、周期短、可循环利用的目标。

拓展二 离子液体/低共熔溶剂萃取技术

从水中萃取金属离子时, 金属离子较强的水合作用使其更稳定分散于水相中。因此, 直接采用离子液体从水中萃取金属离子的萃取效率较低, 需要引入螯合剂(冠醚)或根据萃取对象的特性优化离子液体结构。前者将离子液体作为稀释剂, 对金属离子螯合物的萃取效率更佳; 后者将具有配位结构的基团嫁接到离子液体的阳离子上或直接应用具有配位功能的化合物作为离子液体的阴离子, 使离子液体在萃取过程中既作为萃取剂又作为溶剂, 从而解决萃取剂与有机相不混溶的问题(类似衍生化反应)。

与离子液体类似, 低共熔溶剂在混合物萃取分离领域有广泛的应用。低共熔溶剂能够实现煤焦油中苯酚类化合物的模拟分离, 将模拟煤焦油中的苯酚类化合物与季铵盐形成低共熔溶液, 使其不溶于油相而分离。该方法萃取效率高、季铵盐可循环回收利用、无含酚废水排放。生物柴油目前存在的主要问题是有效地使生产过程中副产物甘油与未反应物料的分离。可采用加入氯化胆碱与甘油形成低共熔溶剂, 将甘油从生物柴油中分离出来, 再加入正丁醇从低共熔溶剂中反向萃取氯化胆碱, 最终除去甘油副产物。

拓展三 物理场强化萃取技术

物理场主要包括微波、超声场、超重力场、电场等, 且彼此场间亦可协同作用。利用物理场强化可显著增加传质面积或产生剧烈的湍流, 进而强化萃取传质, 是一类环境友好的辅助分离技术, 见表 4。

Table 4. Features and applications of physical intensification [11]
表 4. 物理强化特性与应用[11]

强化方式	强化特性与应用
微波强化	微波萃取是指使用适当的溶剂在微波反应器中从天然产物中提取目标物质的技术方法。微波加热的效果取决于溶剂的极性, 溶剂分子的偶极矩(极性)越大, 加热越快; 对于非极性溶剂分子, 微波吸收弱, 升温慢。
超声波强化	超声对萃取分离的强化源于超声空化作用。超声波萃取是利用超声波辐射产生强烈的空化效应和搅拌混合作用, 增大萃取组分运动频率和混合速率, 增加溶剂穿透性, 从而加速目标组分溶解。

续表

电场强化	电场强化是利用电场强度和交叉频率对液滴的聚合和分散的影响而增加萃取效率。电场强化可大幅提高萃取效率, 降低能耗成本, 且易于过程控制。
超重力强化	超重力技术是强化多相流传递及反应过程的新技术, 超临界萃取的原理是利用旋转床连续旋转产生离心力, 即利用超重力克服液体表面张力提高分散度, 增强相间的混合程度与传质速率, 达到加快相间传质的目的。在超重力环境下, 分子间扩散和相间传质过程比正常重力场下的要快得多, 使相间传质速率提高, 微观混合和传质过程均得到强化。

拓展四 微萃取技术

由于在萃取过程中极大减少了有机溶剂和有毒、有害试剂的使用并防止后处理废物产生, 微萃取技术被认为是环境友好的提取分离技术。微萃取技术通过使用有效的吸附剂和相对较少的萃取溶剂, 具有高富集因子、操作简便、低成本等优势[6]。固相微萃取包括两步操作, 首先是将目标物吸附到涂覆的空隙材料表面, 然后再将目标物脱附到色谱或光谱进行定性/定量分析。液相微萃取包括分散液-液微萃取和单滴微萃取两种。前者是在样品溶液中目标物能够快速聚集到萃取溶剂的液滴中, 经离心分离后, 分析过滤后的沉淀相物质。

4.2.4. 小节

本节内容以绿色萃取为载体, 将“教-学-研”理念相结合融入本科专业实验教学, 提出了一种面向绿色化学导向的绿色实验教学改革方案, 符合高校“工程认证”与“本科教学评估”中对学生的培养与评价要求。为此, 本文以“绿色萃取”为例, 探索面向绿色化学理念的专业实验课程改革方法。该实验融合绿色分离技术与工程设计思想, 引导学生主动理解设备运行原理, 掌握提取工艺参数调控方法, 开展定量分析与优化设计。在教学目标设定上, 结合“教-学-研”课程建设标准, 突出专业知识掌握、实验能力提升与绿色意识培养的有机统一; 根据专业特点不断探索行之有效的实验教学方法, 激发学生的创新实践能力, 提升实验课程的教学质量[12]。

4.3. 实验课程改革的挑战与反思

依据专业实验课程实操性强和技术参数多的特征, 开展了以绿色萃取过程为例的实验课程, 即改革实践研究, 有别于传统的纯理论性讲解和假设推导分析过程, 此次案例分析主要通过实际具象的科学研究辅助理论指导进行教学过程的开展。在实施过程中, 学生能够自主选择研究问题, 进行文献调研、实验设计和数据分析, 从而提升独立思考与学习研究结合的能力。此外, 评价方法由“师生互评”替换了之前的老师对学生的单方面评价, 在实验过程中倾听学生的反馈意见, 使学生通过变换“角色”体会专业实验课程内容的变化本质, 同时还促使学生在评价过程中学习如何有效地与师生讨论、沟通, 培养合作意识和项目管理能力。“教-学-研”结合能够弥补传统实验教学的不足, 激发学生的学习研究潜能, 提高学生综合实验技能, 促进学生专业发展。

适时更新实验设计、科学分配实验任务和评价方式的相应改进是确保教-学-研结合在专业实验教学改革实施过程中取得期望成果的关键。本实验改革方案在 2024 至 2026 年间的专业实验课堂内外均收获了较好的教学效果, 但在实际教学开展中仍发现存在一些待解决的问题, 主要体现在实验改革所必须的实施条件与软硬件方面的局限性。例如, 教师团队在设计实验过程中所掌握的软硬件资源和经费有限, 无法完成全部的实验内容, 而无法完成的部分只能通过提问的方式引导学生拓宽思路; 部分学生对 CNKI 和 Web of Science 等学术类网站的了解不够, 导致学生在结束实验后整理数据和撰写实验报告时, 未能及时更新现有的学习资料, 无法完全掌握文献所报道的最新实验技术方法, 需教师在课后进行多次指导帮助其消化所学内容; 部分学生对实验教学环节与竞赛、论文发表、项目申请等方面的联系不够紧密, 在实

验中遇到的问题多数还是以应试型的惯性思维方式解决, 而不是通过科研应用的角度思考, 因此, 需要更多学时的实验训练或通过参加竞赛、参与论文发表等方式产生“蜕变”。

上述问题无法在短时间内有效解决, 需要师生间的持续努力才能形成良性的发展道路, 而解决问题的关键还是在于“学生-教师-学校”间的需求与协助关系。首先, 通过“教-学-研”结合的专业实验课程提升教学质量, 提高学生的科研创新能力; 其次, 指导学生积极参与大学生课外竞赛、科研项目、创业实践等活动, 让学生亲身感受到真实的学术交流与科研形式, 完成“工程认证”和“学科评估”对课程评价的要求; 最后, 由所获得的成果奖项申报校级以上的教改项目, 获取学校对专业实验课程更多方面的支持与帮助, 如此往复构建“教-学-研”结合的良好循环教学模式, 使得“问题”消融其中。

5. 结语

基于“工程认证”和“学科评估”教育理念开展专业实验课程改革与实践探索对推动和提升本科教育的发展至关重要。本文旨在通过“教-学-研”结合的专业实验改革来促进工科教育理念的发展和实施, 以绿色萃取为例, 深入浅出地分析讨论了“教-学-研”结合理念在提高学生学习能力、绿色化学认知、科研技能等方面的重要作用。未来将持续收集学生对专业实验反馈的意见和建议, 更进一步完善课程内容与教学方式, 拓展实验项目的开放性与应用性, 不断提升专业实验教学的创新性与绿色性, 以期成为可复制、可持续的专业实验教学绿色案例。

参考文献

- [1] 韩海涛, 沈广宾, 王庆兵. 超临界流体萃取技术在天然产物分离实验中的教学改革实践——以青蒿素绿色提取工艺为例[J]. 应用化学, 2026, 43(4): 617-625.
- [2] 黄艳丽, 沈广宾, 王庆兵, 等. 基于探究式学习的萃取实验教学设计[J]. 化工时刊, 2025, 39(4): 72-75.
- [3] 张少宝, 曹思思, 黄怀义. 绿色化学理念在天然药物化学实验教学中的实践与探索——以丁香挥发油萃取及其分析为例[J]. 广东化工, 2025, 52(2): 154-156.
- [4] 荆俊. 基于项目式学习的高校化学教学模式创新研究[J]. 现代盐化工, 2025, 52(4): 172-174.
- [5] 戴克清, 宋恩扬, 张刚, 等. 研究导向型智慧课堂效果评价及路径优化——基于高校学生创新能力视角[J]. 皖西学院学报, 2025, 41(2): 14-21.
- [6] 孙艳涛, 王琦璇, 廖苑君, 等. HTML5 技术在项目式教学中的应用——“橙精油的提取和测定”综合实验[J]. 化学教育, 2024, 45(22): 52-61.
- [7] 徐静, 葛牧, 肖国勇, 等. 应用化学专业实验课程教学改革与创新[J]. 教育进展, 2026, 16(6): 646-652.
- [8] 依班娜, 西弗恩特斯. 绿色萃取技术原理、进展及应用[M]. 杨飞, 邓惠敏, 译. 北京: 中国轻工业出版社, 2021.
- [9] 王键吉, 卓克磊. 绿色溶剂[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- [10] 韩布兴, 刘会贞, 吴天斌. 绿色化学与可持续发展[M]. 北京: 科学出版社, 2021.
- [11] 张锁江, 张香平, 王均凤. 绿色介质与过程工程[M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- [12] 王松林, 王振杰, 李元超, 等. 新工科背景下化工专业实验课程教学研究[J]. 当代化工研究, 2024(6): 123-125.