

Pathways Exploration to Cultivate Research Literacy of Undergraduate Students in Basic Chemistry Experimental Teaching—Take Determination of Trace Iron by Phenanthroline as an Example

Shuju Zhao Yingchun Zhao Yongzhuo Liu

College of Chemical Engineering, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao, Shandong, 266042, China

Abstract

Addressing the disconnect between cultivating experimental skills and fostering research literacy in the current undergraduate training process, improvement measures is proposed in this paper from three aspects: optimizing experimental teaching objectives, innovating experimental teaching content, and embedding research mindset training. Based on an analysis of the technical specifications of the traditional teaching model, this study constructs a spiral cultivation pathway centered on “Technical Specifications - Technical Transfer- Research Immersion - Innovative Practice” by integrating information literacy training, generic skill, and efficient research concepts. This pathway not only overcomes the unidimensional limitation of traditional experimental teaching, which predominantly emphasizes hands-on experimental skills, but also effectively enhances students’ research literacy. Furthermore, it provides a replicable and scalable practical paradigm for cultivating innovative talents in the new era.

Keywords

research literacy; technical specifications; information literacy; generic skill; research mindset

基础化学实验教学中本科生科研素养培养的路径探索——以《邻二氮杂菲测定微量铁》为例

赵书菊 赵迎春 雷研 刘永卓

青岛科技大学化工学院, 中国·山东 青岛 266042

摘要

针对当前本科生培养过程中实验技能与科研素养培育脱节的问题, 本文从优化实验教学目标、创新实验教学内容和植入科研思维训练三方面提出改进措施。在传统教学模式技术规范基础之上, 通过融入信息素养训练、通用技能迁移和高效科研理念, 构建了以“技术规范-技术迁移-科研浸润-创新实践”为核心的螺旋式培养路径。这一路径不仅能够突破传统实验教学侧重实验操作的单维局限, 而且能够有效提升学生的科研素养, 进而为新时代创新型人才的培养提供可复制、可推广的实践范式。

关键词

科研素养; 技术规范; 信息素养; 通用技能; 科研思维

1 引言

在创新型国家建设的背景下, 高等教育正在经历从传统的“知识容器”模式向“思维孵化器”模式的深刻转型。这一转型的核心在于培养学生的创新能力和批判性思维, 而不仅仅是传授既定的知识体系。作为高等教育的重要组成部分

分, 高校实验教学扮演着至关重要的角色。它是理论学习与实验研究之间的桥^[1-2], 不仅能够帮助学生将课堂上学到的理论知识应用于实际操作, 还为他们提供了探索未知、解决复杂问题的机会, 并促使他们对学术与职业规划实现早定位与适时调整^[3], 从而为我国创新型人才的培养奠定坚实的基础。

高校实验教学过程中普遍存在实验技能与科研素养脱节现象。尽管学生能够掌握基本实验操作技能, 但缺乏对科学研究方法的深刻理解, 以及运用这些方法解决实际问题的能力^[4-5]。随着就业形势日益严峻和研究生教育规模持续扩大, 越来越多的学生进入研究生阶段时, 实验操作基础薄弱

【作者简介】赵书菊(1983-), 女, 中国山东德州人, 博士, 中级, 从事应用化学研究。

【通讯作者】刘永卓(1985-), 男, 中国山东菏泽人, 博士, 副教授, 从事清洁能源研究。

和数据分析能力不足的问题愈发凸显^[6-7]。这些问题反映了本科阶段实验教学中存在的系统性缺失,尤其是在科研素养培养方面的明显短板。

为了应对这一挑战,高校需要重新审视并优化实验教学的设计与实施。通过系统性改革和完善,真正实现从“知识容器”到“思维孵化器”的转变,为国家和社会培养出更多具有创新能力的高素质人才。本文以大一上学期实验《邻二氮杂菲分光光度计法测定铁含量》为例,从优化实验教学目标、细化实验教学内容、深化科研思维培养等方面深入探索本科生科研素养的培养路径(如图1所示)。并以铁元素含量的测定为出发点,为本科实验教学提供一个可操作、可迁移的科研思维渗透案例。下面分别从优化实验教学目标、细化实验教学内容、深化科研思维培养三方面展开讨论。

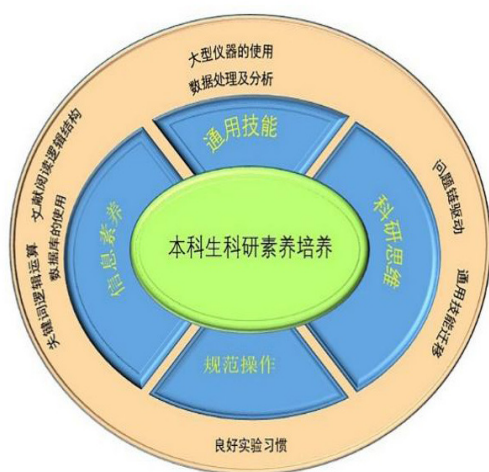


图1. 本科生科研素养培养

2 优化实验教学目标

传统实验教学目标要求了解并会使用仪器,掌握仪器测定原理并能按照实验操作步骤独立完成实验。优化后实验教学目标增加了了解文献查阅步骤及关键词布尔逻辑运算;掌握科研通用技能的迁移应用,涵盖但不限于分光光度计法、电感耦合等离子体发射光谱法(ICP)、原子吸收光谱法(AA)等仪器分析方法;以及具备实验方案制定与优化能力。模块化和层次化实验教学是适应新时代发展的必然趋势^[9],与传统演示授课方式相比,本课题中对大一学生的课程设置主要从以下三个方面进行了改进。

2.1 信息素养培养

科学研究过程实际上是通过信息交流实现信息创新的过程,包括对科研信息的敏锐感知,以及对信息的提炼和整合。本实验中给定课题邻二氮杂菲测定水样中铁含量,设计查阅文献→制定方案→方法论证的进阶式任务链,具体要求小组在Web of Science、CNKI、Weily等数据库中查阅文献,逐步了解关键词布尔逻辑运算符号的使用、文献结构化解析方法以及对文献比较分析技巧。

2.2 科研通用技能迁移

先进的设备仪器是科研创新的重要工具,其在本科生创新实践能力和科研思维培养中具有重要的意义^[10]。本实验以铁元素的测定为切入点,整合分光光度计、原子吸收光谱(AA)及等离子体质谱仪(ICP-MS)等多种检测仪器,建立仪器原理、仪器检出限、以及待测物质的特殊性矩阵图谱,使学生理解问题的多解性和最佳方案选择与物质特性之间的关系。

2.3 试验方案制定

根据所查阅文献以及对科研通用仪器的了解,选择相应的实验方案,仪器包括且不限于传统邻二氮杂菲分光光度计法、原子吸收光谱(AA)及等离子体质谱仪(ICP-MS)等多种检测仪器的使用;实验数据的处理方法手绘标准曲线,或使用Excel, Origin等数据处理软件。

3 细化实验教学内容

实验教学内容是提升化学教学质量、培养学生创新能力和实践能力的重要方法^[8]。本课题要求学生按组考察显色时间、显色温度、酸度调节、实际用量等实验条件,培养学生分析问题、解决问题的能力,从而激发学生的科研兴趣和探索精神。同时,通过融合科研通用仪器以及相关科研数据处理方法等相关科研通用工具,帮助学生在本科阶段熟悉并初步掌握科研基础技能。

3.1 规范化操作

规范化的实验操作是所有实验研究的基础。根据在研究生培养过程中发现的实验操作问题,有针对性地与本科生进行讨论,进而加深学生对规范化操作的重视。此外,还要加强对工科班分析概念的培养,如强调思考能力。

3.2 试验方案制定

1) 强调吸量管的基本操作,尤其是专管专用原则。禁止100 mg/L和10 mg/L的吸量管混用;禁止将吸量管移液管随意置于桌面。

药匙专用的重要性以避免试剂污染,并在必要时指导学生利用现有工具(如称量纸)自制称量器具,以此培养学生在实验中的主动

2) 在比色管配制标准溶液时,需确保视线与比色管刻度线保持水平一致,严禁蹲或手捧比色管进行操作,以保证溶液配制的精确性。

3.3 试验方案制定

基于问题的学习理念能够有效培养学生的自主学习能力和综合思考能力^[9]。教师与学生之间的互动是最直接、最频繁的沟通方式,同时也是提升课程育人质量的关键环。通过课堂中的问题探究式互动,可以逐步引导学生开拓科研思维。如表1所示,本课堂探究从仪器原理、方法设计、质量控制、技术迁移四个角度设置梯度化问题,进行校准曲线法、仪器校准、质量控制等科研通用技能的培养。

表1 渐进式问题链驱动内容

问题维度	能力培养	问题	示例
仪器原理	技术原理	朗伯-比尔定律、仪器分析原理	分光光度计采用波长: 紫外/可见光, 本实验中采用的那种仪器
			λ_{\max} 的寻找实际的目的和分析仪器的最大灵敏度之间的关系
			测定 λ_{\max} 的溶液选取中间浓度而不是最小和最大浓度的原因
方法设计	实验方案论证	标准溶液浓度梯度设计依据	标准溶液浓度设计梯度与实验样品浓度之间的关系
质量控制	科研规范意识	Blank/control 在分析化学中的普适性	Blank/control 的配制与其他溶液的不同点; 仪器操作中每一步均需按键“zero”与 blank 的关系
		校准曲线在定量分析中的注意事项	线性校准曲线的适用范围
			绘制曲线至少五个点, R ² 至少大于 0.98, 甚至对于仪器分析来说至少 0.99
科研技能迁移	知识迁移能力	不同无机元素定量分析仪器的选择策略	分光光度计
			原子吸收光谱法
			质谱仪

3.4 数据分析与实验方案改进

1) 数据异常与归因分析: 该实验中中学生最常见的数据异常包括以下几类: 一是在测定 λ_{\max} 实验环节中, 标准溶液浓度的选取; 二是横坐标浓度的计算, 通常学生会将 X 轴步长设置为 1、2、3、4、5。但实际所用浓度需计算所得, 如 0.4、0.8、1.6、3.2; 三是仪器故障的处理。2) 数据处理环节: 除手绘图以外, 还可以利用 Excel 或者 Origin 等常用科研软件绘图。3) 实验总结: 实验可以实验报告的形式提交, 包括实验目的、实验原理、实验对象与耗材、实验步骤、实验结果、实验讨论与分析等; 也可以科研论文的形式提交, 包括中文摘要、关键词、绪论、实验仪器及方法、结果讨论与分析、结论。4) 扩展实验内容: 加入 ICP-MS 测量自来水中的铁元素。

4 深化科研思维培养

4.1 因材施教

根据学生专业对实验的要求不同, 进行不同侧重点训练设计。例如, 生物专业的学生将来科研和工作过程中样本处理量大。在实验过程中引入实验设计 (Design of Experiments, DOE) 理论, 培养高通量技术的思维, 进行流程优化训练, 提升对样本的批处理效率。例如邻二氮杂菲实验过程中配制校准溶液时, 需依次加入铁标液、盐酸羟胺、醋酸钠和邻二氮杂菲溶液, 引导学生采用“流水线”思维配制标准溶液。针对化学、化工专业中偏注重工程工艺的优化, 而对细节型实验把控不到位, 很难找到实验失败的原因。在实验过程中进行细节导向型科研思维培养, 制定标准操作规程 (Standard Operating Procedure, SOP), 强化其实验规范化意识。

4.2 时间管理意识

高效的时间管理是顺利完成大量科研实验的前提。在教学过程中, 要求学生在实验前合理规划实验顺序, 并贯穿于每一堂实验课, 旨在培养学生对有序高效实验重要性的认识, 并将其应用于日常实验及科研工作中。在本实验中, 配制一系列校准溶液时采用流程化操作, 在测定最大波长 (λ_{\max}) 时, 可一次性将所有标准溶液放置到相应的比色池内, 从而有效节省时间。

5 结语

综上所述, 本科生科研素养的培养是一个多层次、多阶段的过程, 需要学校、教师和学生的共同努力。通过构建合理的实践平台、强化批判性思维训练以及推进教学改革, 我们可以有效促进学生知识迁移能力和创新思维的内生性发展, 为他们未来的学术研究和职业发展提供强有力的支撑, 同时, 教师应持续提升自身科研能力与素养, 以适应新时代对高校教师提出的更高要求。本论文对基础实验教学中科研素养培养进行了系统地探索, 并构建了以“技术规范-技术迁移-科研浸润-创新实践”为核心的螺旋式培养路径, 在高校实验教学环节为解决本科生培养过程中实验技能与科研素养培育脱节问题提供一个可复制、可推广的实践范式。

参考文献

- [1] 郑双凌, 徐珺. 面向本科生的科研实验教学探索与实践[J]. 实验室研究与探索, 2017, 36 (9), 160-162.
- [2] 朱江, 张萍. 科研素养培养在医学实验技术本科生中的实践[J]. 中国继续医学教育, 2022, 14 (1), 175-178.
- [3] 周露茜, 黎晓莹, 关力理, 等. 浅谈医学新生科研思维的培养[J]. 广州医学院学报, 2016, 6 (44), 59-60.
- [4] 王昭昀. 化学类本科生科研能力培养模式研究——以安徽师范大学本科生创新实验氟硼酸的合成及表征为例[J]. 广东化工, 2021, 48 (8), 310-312.
- [5] 肖桂元, 雷云, 陈学军. 本科生科研思维养成的卓越工程师培养模式研究[J]. 教育教学论坛, 2015, (11), 181-183.
- [6] 胡骞, 黄峰, 刘静, 等. 浅谈材料类专业本科生实验教学中科研素质的培养——以金属腐蚀实验为例[J]. 教育教学论坛, 2017, (34), 264-265.
- [7] 况婷, 周皓楠, 刘海星, 等. 材料专业本科生实验教学与创新实践能力培养[J]. 广东化工, 2022, 49 (24), 268-271.
- [8] 赵兴红, 谷铁军, 孙博, 等. 科研实验室对本科生的开放与管理[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34 (4), 221-223.
- [9] 刘小莉, 林玉萍, 普春霞, 高倩. 以科学素养为目标的中药学专业研究生课程建设——以中药资源学进展课程为例[J]. 大学教育, 2024, (02):29-32