

•教育专题•

doi: 10.3866/PKU.DXHX201909019

www.dxhx.pku.edu.cn

有机化学实验课程优化及教学实践 ——围绕拔尖学生培养

孙兴文*, 高翔, 匡云艳

复旦大学化学系, 上海 200433

摘要: 介绍了复旦大学化学系有机化学实验课程在围绕拔尖人才培养的背景下进行的课程内容优化和实践, 对十年来该课程的变化进行了总结, 对该课程在人才培养方面的作用做了分析。

关键词: 拔尖学生; 有机化学实验

中图分类号: G64; O653

Reorganization and Teaching Practice of Organic Chemistry Laboratory Course for Cultivating Top Talents

SUN Xingwen*, GAO Xiang, KUANG Yunyan

Department of Chemistry, Fudan University, Shanghai 200433, P. R. China.

Abstract: This paper introduced the reorganization of organic chemistry experiment course in the Department of Chemistry of Fudan University with the view of training top talented students in basic subjects. The changes of this course and its application in the cultivation of innovative talents in the past ten years were discussed.

Key Words: Top talents; Organic chemistry laboratory

拔尖人才是基础研究及前沿发展的领军人物, 拔尖人才培养是高等学校教育强国建设的重大战略任务。作为教育部“拔尖学生培养试验计划”(简称“拔尖计划”)首批试点高校, 复旦大学一直把培养拔尖人才作为本科教育的重要使命。复旦大学化学学科“拔尖学生培养计划”于2009年下半年启动, 至今已整十年。十年来, 化学专业“拔尖计划”始终围绕着为拔尖学生培养和成长创造最佳的学习条件, 为他们参与科学研究搭建平台, 努力将学生培养成具有深厚专业知识和科学研究能力的优秀人才, 成长为未来化学学科的领军人物。经过十年来的探索、思考和总结, 我们越来越强烈地意识到, 怎样为学生的学习和成长创造有利条件和科学的土壤, 使那些有潜质的、热爱基础研究并致力于基础研究的学生冒出尖来, 是“拔尖学生”培养的重要内容。因此, 建设“既能夯实基础又能衔接基础研究需求的课程”成为了教学一线最核心的任务。

在化学的各分支学科中, 有机化学由于其强大的合成创造力, 成为了人类认识世界和改造世界的最有力手段; 而且它还通过与其他学科的交叉与融合, 衍生出越来越多的交叉前沿领域, 成为化学拔尖人才基础研究的主战场^[1,2]。因而, 在化学及近化学专业人才培养过程中, 有机化学的教学都是核心内容之一。在拔尖人才的培养过程中, 作为有机化学对应的实践课程, 有机化学实验课程不

收稿: 2019-08-31; 录用: 2019-09-16; 网络发表: 2019-09-25

*通讯作者, Email: sunxingwen@fudan.edu.cn

基金资助: 教育部基础学科拔尖学生培养计划研究课题(20180602)

仅仅是培养学生有机合成动手能力的一门专业基础课程，还可以通过科学设置实验内容、合理融入在基础研究中涌现出的新的有机合成技术，有效地培养学生的创新精神和实践能力^[3,4]。

1 课程挑战和定位

随着有机学科的迅猛发展，有机合成新反应、新试剂和新技术迅速涌现，结合拔尖学生培养的需求，要求当下的有机实验教学既要夯实学生的基础，还要创造条件让拔尖学生学习现代有机合成的思路、手段、新型反应的发展、新试剂的特点及其应用等方面知识；增强化学类学生有机合成知识掌握，开阔思路，提高有机合成的技巧，培养他们在从事新化合物的设计和合成、合成工艺路线的选择和改进等工作中具有分析问题、解决问题的能力，为拔尖学生从事基础研究奠定较为扎实的基础。要完成上述目标，不可回避的挑战是：怎么在有限的教学时间内完成培养拔尖化学人才的实践培养工作？

为实现这一目标，我们教学团队进行了积极的尝试、思考和改变。在长期的教学实践中，课程秉着如下主旨建设：通过基础操作教学提高学生动手能力；通过设计实验方案、验证想法、确定最佳路线、最终得到要合成的化合物等系统的培养，提升学生的手脑并用和创新性思维能力；通过多任务教学培养学生“做事”“统筹”“协调”等重要的综合能力；为学生创造、设置与学科发展紧密相关的实践内容，从而全面提升学生的综合素质和能力；最终通过有机化学实验的教学，为拔尖学生打下良好的有机化学基础研究需要的学习、思考和科研习惯。

2 课程优化及教学实践

2.1 课程内容梳理和优化

传统的有机化学实验教学分上下两个学期完成，通常第一学期教学围绕着核心单元操作，第二个学期进行合成训练。在教学时间充足的情况下，这种教学模式可以有效保证学生在接触复杂合成过程之前掌握基本操作，对夯实基础非常有效；但在拔尖学生培养的需求下，不仅要加强学生基本技能，同时还要求学生现代有机合成的新技术新方法有了解和学习，为进入科研实验室进行研究工作奠定基础，为未来的基础研究或实际工作做好衔接。

那么课程如何有效捏合、优化提升从而更加有利于拔尖人才培养呢？我们教学团队集思广益对有机合成实验教学内容深入剖析，结合现代有机合成科研工作实际，提炼出有机实验教学必须完成的教学内容：有机合成反应基本操作、反应跟踪检测、分离、化合物纯化及表征等重要环节；涉及的单元操作和现代合成技术包括合成(含不对称合成)、手性化合物拆分、蒸馏(含常压蒸馏、减压蒸馏、水蒸气蒸馏、简单精馏等)、萃取、洗涤、过滤、重结晶(单一溶剂重结晶和混合溶剂重结晶)、薄层层析(反应 TLC (thin-layer chromatography)跟踪及大板分离技术)、升华、快速柱层析、无水无氧反应等；同时要掌握化合物基本表征手段：包括熔点测定、纯度测定(液相色谱、气相色谱)、比旋光测定、核磁共振(^1H NMR, ^{13}C NMR, ^9F NMR)、红外光谱及质谱等重要现代分离分析手段。

2.2 教学实践

2.2.1 以合成实验带动单元操作训练

为解决庞杂的教学内容与有限教学时间的矛盾，我们将单元操作及分离纯化操作与有机合成训练结合起来，通过“复杂化”的实验教学载体，让学生在“用”中“学”，强化化学类学生有机合成的基础，在学生动手能力得到锻炼的基础上，从培养学生整体入手，结合现代化学前沿研究对有机化学实验教学的要求，科学遴选实验教学内容，统筹化学类学生在本科阶段所能接受的有机化学实验的训练，以系统、科学的有机化学实验为载体，使学生不仅熟练掌握有机合成基本操作、熟悉现代有机合成新技术，更拓展视野、了解有机合成最新成果。

2.2.2 以有机合成带动单元操作教学

通过筛选经典的合成反应或天然产物分离纯化实验，有针对性地训练重要单元操作，夯实有机

合成基本操作,做到单元操作难度递进。例如以往蒸馏与精馏是经典的独立教学单元,我们可以通过合成不同沸点的液体化合物,在锻炼学生合成能力的同时,把蒸馏操作作为一个液体纯化方法教授给学生;而在重结晶、熔点测定等相关教学中可以选择产物为固体的合成操作训练学生,诸如反应监测相关的 TLC 技术则第一次教学就讲授,并应用于整个实验教学的全过程;同时考虑到学生刚开始接触有机合成,在达到培养目的的同时兼顾趣味性,选择一些香料分子或者和生活关系密切的液体化合物为合成对象。

例一:将重结晶的教学融入肉桂酸的合成及表征实验中,该实验重结晶需要的溶剂乙醇与水的比例在以往的教学是明确告诉学生的,而在新的教学过程中,将重点讲解重结晶的原理、操作、单一溶剂及混合溶剂的选择以及化合物分离提纯中的重要用途,让学生通过混合溶剂重结晶操作找到水与乙醇的比例,把学生“推到”科研面前,通过该单元教学,相信学生不仅很好地掌握了重结晶操作,而且更好地理解重结晶的科学实质,并将这个重要的纯化手段用于后期的实验中。例二:以往对蒸馏和减压蒸馏进行单独的教学,将上述两个蒸馏单元操作融入到苯甲酸乙酯的合成及表征中,通过在原料乙醇中人为添加一些“杂质”,让学生首先通过常压蒸馏纯化,然后再进行合成操作,并在反应过程中对常压蒸馏详细讲述减压蒸馏的原理及操作,学生就非常容易理解和接受,并将减压蒸馏作为最终产物苯甲酸乙酯的纯化手段进行训练,前后呼应。例三:将薄层层析等以前独立教学的部分融入整个教学的全过程,将该操作作为学生实验过程中跟踪反应和监测反应的工具进行要求,并通过安排二茂铁类化合物的合成及快速柱层析分离等教学内容强化色谱在有机合成中的应用,使学生能较好掌握这一重要的分离纯化手段。我们在教学事件中,不断遴选、丰富教学内容,增加合成产物的实用性及趣味性。

2.2.3 多任务操作结合现代分析技术,强调产物“合成-表征全过程”

选取多步骤操作、微量及半微量实验,训练学生现代合成技术及分离分析手段在有机合成中的应用,如无水无氧反应、快速柱层析、不对称合成及表征等,着眼学生综合能力的提升。教学内容在难度、深度及强度上都有所增大,并对学生的有机化学知识提出更高的要求,通过开放式教学锻炼学生在多任务操作时的统筹能力、协调能力,强化学生对有机化学研究“合成、检测、分离、纯化、表征”的全过程的认识。

例如要求学生在 8 小时内完成 1-苄基环戊醇的合成及脱水反应,而且必须对中间产物 1-苄基环戊醇进行熔点测定,完成表征的产物才能进行下一步脱水反应,并要求学生对获取的脱水产物通过气相色谱法表征两种烯烃的比例;再如在安息香系列反应中,同时提供 5 个实验所需的全部药品,学生自由组织时间,要求在两次教学单元(2×8 小时)中完成安息香的制备、还原及脱水成缩酮、氧化及缩合成喹啉,而且要求薄层层析跟踪所有反应过程,寻找反应终点并通过核磁对最终产物进行表征。通过类似的教学环节,全面提升学生的动手能力。

2.2.4 教改新的科研成果,拓展新技术训练

教学团队还遴选重要的科研成果或新的合成技术,如无水无氧反应、金属催化偶联、不对称合成^[5]等作为有机化学实验重要的教学研究内容,通过认真科学的教改研究(时长、成本及安全性等),使其适合于本科生的实验教学。结合开放实验室建设,提供菜单式开放实验内容,让学生相对“独立”地去解决前人已经解决的问题,实验内容选材既互相独立又彼此紧密联系、系统。通过这一形式的培养,可以全面培养学生综合分析能力和解决问题的能力,鼓励学生深入研究在开放实验过程中碰到的“意外”,进一步激发其创造性及科研热情。通过这一层次的教学,学生基本具备了解决实验室常见问题的能力,可以独立完成合成操作并完成分离纯化,同时可以通过选择恰当的仪器手段表征产物。该部分教学内容完全动态化,通过集中讲授解决知识盲点,然后让学生阅读文献信息,提出自己的想法和建议,设计并探讨实验的可行性及意义。这些内容是课程重组的重点也是极有挑战性的部分,需要教师投入大量精力进行前期筛选工作以便更好地引导学生,通过这一环节的建设,可进一步提高学生的创新能力,培养学生的科学素养。

3 收获和展望

通过上述实验教学模式进行拔尖学生培养,在以下几方面取得了积极的结果。

1) 提高了学生动手能力及解决问题的能力。通过系统的教学,学生基本掌握了有机合成的思路、重要的分离纯化方式方法以及重要的表征手段。通过敞开及启发式教学,学生带着问题进行探索,增强了学生发现问题、解决问题的能力,还促进了学生学习和实验操作的主动性;在教师的启发下,举一反三,触类旁通,锻炼了学生统筹及多任务操作的能力,让学生在学中用,不仅全面提升学生的学习及探究能力,同时进一步促进其理论知识的掌握。

2) 建立了从实验到科研的纽带。教学理念与科研实际相结合,撷取现有科研成果与学生“复盘”科研过程,制造“意外”及挑战激发学生科研的兴趣和科研创新意识,促进了学生科研思维习惯的养成,探索人才培养的新模式。

3) 教学相长,促进教学研究。通过对现有教学内容进行更新、教改或组合,对教师的教学工作提出了更高的要求,开放性实验及科学训练实验需要依托学科团队协作,形成重视教学研究的氛围。

综上,教学团队积极探索了有机化学实验在培养化学拔尖学生创新精神和实践能力中的作用,通过教学内容的优化和组合,从实验切入使本科生在大学完整“参与”“有机化学研究”的过程,提升了学生的创新能力,使其熟悉有机合成领域的新技术、新理念。通过这些教学实践,在传授学生基本的有机合成实验技能的同时,努力创造与“有机合成”相关的科研环境,通过基础实验与科研前沿的衔接,最大限度地调动学生的潜能和积极性,激发学生对有机合成化学的科研兴趣,为进一步的基础研究工作奠定基础。同时,积极探索培养化学拔尖人才的新方式方法,为培养具有综合型、研究型与创新型素质的化学拔尖人才做出贡献。

参 考 文 献

- [1] 徐光宪. 大学化学, **2003**, *18* (1), 1.
- [2] 21 世纪化学科学的挑战委员会(美). 超越分子前沿——化学与化学工程面临的挑战. 陈尔强, 等译. 科学出版社, 2004.
- [3] 吴毓林, 龙亚秋. 大学化学, **2001**, *16* (3), 1.
- [4] Noyori, R. *Nat. Chem.* **2009**, *1*, 5.
- [5] Chen, X. Y.; Sun, L. S.; Gao, X.; Sun, X. W. *J. Chem. Edu.* **2015**, *92* (4), 714.