

•教学研究与管理•

doi: 10.3866/PKU.DXHX201707030

www.dxhx.pku.edu.cn

## 有机化学实验教学方法探索与实践

李厚金\*, 陈六平

中山大学化学学院, 广州 510275

**摘要:** 近年来, 我们对有机化学实验的教学方法进行了积极探索与实践, 通过拓宽授课知识面、运用比较教学法、情境教学法、渗透化学史教育等途径, 提升学生实验兴趣, 调动学生学习积极性, 激活学生科学思维, 增强创新意识, 提高了实验教学质量。

**关键词:** 有机化学实验; 教学方法; 教学质量

**中图分类号:** G64; O6-3

## Exploration and Practice of the Teaching Methods of Organic Chemistry Laboratory

LI Houjin\*, CHEN Liuping

School of Chemistry, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, P. R. China.

**Abstract:** In recent years, we actively explored and practiced the teaching methods of organic chemistry laboratory. Some teaching methods, such as broadening the teaching knowledge, using comparative teaching method, situational teaching method, and chemical history education, were developed. These methods can largely stimulate students' experimental interest, arouse the enthusiasm of scientific thinking, enhance innovation consciousness, and obviously improve the teaching quality of organic chemistry laboratory.

**Key Words:** Organic chemistry laboratory; Teaching method; Teaching quality

有机化学实验是大学化学实验课程体系的重要组成部分, 是化学类专业学生的必修课程, 同时也是近化学类专业学生必修的重要基础实验课程之一。在国内, 多数重点高校化学专业的人才培养方案中, 有机化学实验课程的学分数均在 3 以上, 高于无机化学、分析化学等其他专业化学实验课的学分要求。有机化学实验的教学目的不仅是验证有机化学基础知识和理论, 更重要的是训练学生的实验动手操作能力, 熟悉有机化合物的基本合成方法、分离提纯、结构与性质鉴定技术, 形成多维度的科学思维, 培养在实验过程中发现问题、分析问题、解决问题的能力; 通过有机化学实验使学生的专业知识、实验技能和创新能力得到全面培养。有机化学实验的教学效果和教学质量将影响学生对化学学科的学习兴趣以及后续专业课程的学习, 也决定了高素质的化学创新人才的培养质量。学科知识在不断发展, 实验设备和技术也在不断进步, 传统有机化学实验的教学方法已不能完全满足现实教学要求。近年来, 我们在不断地进行有机化学实验教学方法的改革与创新, 旨在进一步提高实验教学质量, 培养高素质化学人才。

收稿: 2017-07-26; 录用: 2017-09-05; 网络发表: 2017-09-12

\*通讯作者, Email: ceslhj@mail.sysu.edu.cn

基金资助: 广东省高等教育教学改革项目; 中山大学本科教学改革研究项目

## 1 有机化学实验教学的现状与困境

目前,国内高校普遍存在“重科研、轻教学”的现象,而在教学中又是“重理论、轻实验”,甚至在一些高校,实验教学仍处于理论教学的附属地位;而且,学校制订的教学工作量考核标准中,实验教学的工作量加权系数也低于理论教学。这种大环境导致了实验教学处于不利地位的现状。

通过对国内十余所重点高校和地方院校的有机化学实验教学情况进行调研,我们发现在教学内容、教学仪器、通风设备、实验台位、师资配备等诸多方面,各校之间的差距比较大。相比而言,重点高校的实验教学条件普遍较好,部分地方院校的实验条件仍然落后,实验室没有良好的通风设施、实验内容相对简单、分析检测手段落后,再加上近几年扩招,导致学校的生师比急剧上升,实验教学投入严重不足,有些学校还采取大班授课、两人一组,实验学时也相对要少。

此外,目前在国内已有不少有机化学实验教学研究改革的论文发表,在很多论文中,对有机化学实验的评价着实令人担忧,例如:教材内容陈旧、教学方法死板、照方抓药、依葫芦画瓢、灌注式保姆式的实验教学模式、实验报告八股式、成绩评定随意性大、重结果轻过程、缺乏科学性,这严重制约了学生学习的积极性和主动性,很难达到培养学生的实践能力、创新能力及科学素质的目的,使学生普遍对有机化学实验缺乏足够的兴趣。我们知道传统的有机化学实验教学依然培养了一大批从事有机化学科研与生产等各界的精英,这样一边倒地批判传统有机化学实验教学,并非完全客观公正。但作为有机化学实验的从教人员,此时也确实应该警醒。学科在发展,有机化学实验在教学内容和教学方法等方面也应顺应潮流,不断地变革创新,这也是大势所趋。

## 2 有机化学实验的教学方法概述

近年来,国内很多同行都在积极开展有机化学实验教学方法的探索,以提高实验教学效果。LBL、PBL及TBL教学法是有机化学实验中最常用到的教学方法。LBL (lecture-based learning)教学法是以教材为基础,以课堂为中心,以教师为主导,系统讲解各知识点。PBL (problem-based learning)教学法由美国神经病学教授 Barrows H. S.于1969年首次提出,是以学生为主体,是以问题作为导向的教学方法。强调学习的主动性,将学生置身于复杂的、有意义的问题情景中,学生通过解决问题来学习隐含在问题背后的科学知识,进而培养自主学习能力和创新能力。问题可以是教材中容易找到答案的,或者是由教师精心设置的启发性问题,能引导学生去主动思考<sup>[1]</sup>。PBL教学法近年来较流行。TBL (team-based learning)教学法是以团队为基础、以学生自主学习为主的教学方法,由美国教育学家 Michaelsen L. K.于2002年正式提出。TBL教学法有助于促进学习者团队协作精神,是注重人的创造性的新型教学模式,注重学生在教学中的参与度,不仅教授学生基础知识,而且教导其如何运用基础知识。LBL、PBL及TBL教学法也有不足,LBL教学法限制了学生的自主思维和主观能动性,PBL、TBL教学法的系统性与条理性相对较差,学生讨论问题时容易偏离主题,且获取的信息量有限。

将比较教学法运用在有机化学实验教学中,也能达到良好的效果。将具有某种联系和区别的实验内容,如常压蒸馏、水蒸气蒸馏、分馏、减压蒸馏、旋转蒸发,有机溶剂重结晶和含水混合溶剂重结晶,以及乙酸正丁酯制备与苯甲酸乙酯制备,放在一起进行“有比较”的教学,在比较过程中提出疑问,达到“有鉴别”的效果,从而提高有机化学实验的教学质量<sup>[2]</sup>。

信息化技术在有机化学实验教学中也得到广泛使用,将有机化学实验教学内容分解为不同知识点、单元操作,制作相关微视频资源,建设微课(Micro Learning Resource)、慕课(Massive Open Online Course, MOOC)等,引导学生利用微视频资源进行实验预习与准备,可以有效提高学生的学习兴趣,促进学生对实验内容的理解,帮助学生更好地掌握相关实验仪器的规范操作与使用,优化教学过程,提升教学效果<sup>[3]</sup>。

将思维导图引入有机化学实验教学中,制作包括基础知识、基本操作、性质实验、合成实验等有机化学实验内容的总思维导图,探索学生预习、教师指导、实验评估等诸多环节与思维导图相结

合,也能提高实验兴趣和教学效果<sup>[4]</sup>。

### 3 有机化学实验教学方法探索与实践

近年来,我们积极开展有机化学实验的教学方法探索与实践,旨在进一步提高教学质量。

#### 3.1 以点带面,抛砖引玉,拓宽知识面

硝酸氧化环己醇制备己二酸是经典实验项目,该实验训练学生重结晶、固体的干燥、回流反应、滴加原料、测量反应温度、有毒气体吸收、红外光谱的测定与解析等操作。己二酸结构简单,且为进一步反应,如果讲解不好,实验效果将大打折扣。己二酸是有巨大用途的有机化工原料,其合成研究一直是国际研究热点。己二酸的主要用途、国际国内市场现状及发展、合成方法进展等可作为实验讲解内容。近年来,以己烷、环己烷、环己烯、环己酮、环己醇或其混合物为原料,用  $\text{H}_2\text{O}_2$ 、 $\text{O}_2$  或  $\text{O}_3$  作为清洁氧化剂,以钨酸盐、过氧钨酸盐-有机羧酸配合物、杂多酸及其盐和三氧化钨等作为新型催化剂或催化体系,制备己二酸的研究取得巨大进展<sup>[5]</sup>,研究成果发表于 *Science*<sup>[6]</sup>, *Nature*<sup>[7]</sup>, *Angew. Chem. Int. Ed.*<sup>[8-10]</sup>, *J. Am. Chem. Soc.*<sup>[11]</sup>等国际顶级刊物。20世纪90年代,利用葡萄糖、植物淀粉或纤维素等各种可再生的天然糖类资源,采用酶催化法,实现了绿色环保生产己二酸,产率很高,发展前景好<sup>[12]</sup>。这些研究进展的介绍,大大拓宽了学生的知识面,使学生学习兴趣猛增,很多学生还能主动去查阅相关文献,对科研产生向往。

以苯肼和苯乙酮为原料,通过Fischer合成法制备2-苯基吡啶的实验,其操作包括回流、控温、重结晶、干燥、熔点测定、薄层色谱、红外光谱和核磁共振图谱的解析等<sup>[13]</sup>。吡啶类化合物是广泛存在的天然化合物,有重要的生物活性,大量上市药物也属于吡啶类化合物,其合成研究一直受到格外的重视。在有机人名反应中,有关吡啶的合成方法最为引人注目,有Bartoli、Bischler-Möhlau、Fischer、Gassman、Hegedus、Larock、Madelung、Mori-Ban、Nenitzescu吡啶合成法等。我们要求学生课前对吡啶化合物的合成、应用进行文献调研,实验课上学生进行汇报、讨论,该教学方法对学生实验兴趣、实验能力的培养和教学效果有显著提高。

#### 3.2 对比分析,归纳总结,提高实验探究意识

辅酶VB1催化安息香缩合反应制备苯偶姻的实验,国内实验教材中有要求反应液pH须控制在8-10<sup>[14]</sup>、9-10<sup>[15]</sup>、10左右<sup>[16]</sup>、9.4-9.6<sup>[17]</sup>等。由于反应液是有机物和无机物共存的多组分体系,学生实验时碱液往往会加过量,碱液过量会使VB1中噻吩环开环而失效,导致实验产率低或反应失败。经过系列比较实验,我们进一步优化确定了产率处于峰值时NaOH用量的最佳区间在4-5 mL (pH范围为9.4-9.6)。通过这一对比性讲解和实验,学生对VB1中噻吩环上2-位在碱性条件下会生成碳负离子,该碳负离子催化苯甲醛合成苯偶姻的反应机理也有更深的理解;对碱液用量与VB1的结构不稳定(易被氧化和受热破坏)这一量变到质变的电子转移本质有了精准把握。能够确保学生实验全部成功,更重要的是都知道如何去做好反应。

利用 Cannizzaro 反应由呋喃甲醛制备呋喃甲醇和呋喃甲酸的实验,不同实验教材对该实验操作的描述有不同,有呋喃甲醛往 NaOH (或 KOH) 溶液中添加<sup>[16]</sup>或 NaOH 溶液往呋喃甲醛中添加<sup>[17]</sup>两种,前者在反应过程中碱过量,而后者则是呋喃甲醛过量,这两种不同的原料添加方式,对产物和产率是否有影响呢? 现有教材对此均没有予以阐述。为明确这一问题,我们在保证其他实验条件相同的情况下,将学生按两种不同的加料方式分组实验,反应完成后的反应混合液用 HPLC 分析产物的含量、原料转化率,产物结构用核磁共振波谱仪测定。实验结果显示,只要搅拌和反应温度控制得足够稳定、均一,原料转化率和产物含量、纯度差别不大。经过这样一个比较、检测、讨论的环节,学生的科学探究意识得到增强。

二苯叉丙酮的制备与鉴定、扁桃酸的制备、苯甲醇和苯甲酸的制备,用到的原料都有苯甲醛和 NaOH 溶液,可将这三个反应放在一起进行比较,分析异同(表1)。学生们通过这类比较,对这三个反应的实验原理、操作要求更加清楚,也明白了如果反应条件控制不好会产生何种副产物。此外,

可以将所做过的实验就反应温度、反应装置、产物后处理方法等进行归纳总结、比较差异,对有不同要求的要深究其原因。通过这种教学方法,使复杂的实验内容变得更加简明、条理化,也培养了学生的观察力、想象力、分析归纳能力,提高了学生的学习兴趣。

表1 以苯甲醛和NaOH溶液为原料的反应比较

| 反应          | 反应类型                          | 试剂                                             | 温度     | 反应装置              | 反应时间  |
|-------------|-------------------------------|------------------------------------------------|--------|-------------------|-------|
| 二苯叉丙酮的制备与鉴定 | 克莱森-施密特(Claissen-Schmidt)缩合反应 | 苯甲醛, 0.5 mol·L <sup>-1</sup> NaOH溶液, 95%乙醇, 丙酮 | 25 °C  | 圆底烧瓶、电磁搅拌         | 0.5 h |
| 扁桃酸的制备      | 相转移催化反应                       | 苯甲醛, 50% NaOH溶液(滴液漏斗慢慢滴加), TEBA, 氯仿            | ~65 °C | 三颈圆底烧瓶、机械搅拌、滴加、回流 | 1.5 h |
| 苯甲醇和苯甲酸的制备  | 康尼查罗(Cannizzaro)反应            | 苯甲醛, 50% NaOH溶液                                | 25 °C  | 锥形瓶, 电磁搅拌         | >24 h |

### 3.3 生活化、情境化教学, 提高学生实验兴趣

在讲解辣椒红素的提取、分离、与鉴定实验时,围绕辣椒这一生活必需品,可以展开很多的话题。中国人最喜欢的味道是辣味,全国吃辣人口占 70%,近四成的人每天都吃辣。在开始讲解实验时,可以搞个调查、讨论:你吃辣椒吗?吃辣椒有哪些好处?有人认为辣椒的红色和辣味有关联,越红的辣椒越辣,对吗?待学生回答后顺势介绍辣味成分辣椒素和辣椒红素的结构差异、研究及应用开发情况,有关辣椒研究的中外文文献有 2 万多篇,适当选取重要文献讲解可开阔学生视野。此外,色谱学操作是本实验的训练重点,将薄层层析和柱层析操作制作成微视频,提供给学生在课前观看、预习。在课堂讲解中,色谱柱的分离原理可以用运动员们在跑道上跑步比赛来做比喻进行讲解,具体操作讲解和演示中,可设置多个提问,如:本实验成功或者失败的关键步骤是哪些?薄层层析时,点样有哪些要求?展开剂可以把点样点浸泡住吗?展开效果如何分析?柱层析时,要注意哪些细节,才能装填出一根均匀的色谱柱?装柱溶剂或者洗脱剂可以低于硅胶平面吗?怎样收集洗脱液才能得到较纯的色素成分?学生们积极思考、踊跃回答,注意力也能高度集中,从而提高实验成功率。

我们也开展了槐花米中芦丁的提取与鉴定实验。槐树主要生长在黄土高原和华北平原,槐花米主要用于提取药用成分“芦丁”、天然食用色素和染料。开始讲课时,让学生聆听童声朗读小学三年级课文《槐乡的孩子》,很多学生曾读过这篇课文,它会引起学生儿时槐花带来的美好记忆和思念,安排学生分享与讨论。有些学生来自槐乡,认识槐花米,亲自摘过槐花、嚼过槐花,尝过用槐花做成的各种糕点、小吃。然而,也有学生并不了解槐树、槐花米,而且学生也不知道槐花的化学成分和药用。这导语可大大活跃课堂气氛,激发学生的实验热情。芦丁是心血管疾病治疗的药用天然产物,其他一些天然药物,如青霉素、头孢菌素、青蒿素、吗啡、麻黄碱、东莨菪碱、利血平、紫杉醇等的研究发现,也堪称光辉典范,对人类健康起到持久性的巨大影响。本次实验运用的碱溶酸沉法属于经典方法,是经多年反复实验得出的高效提取纯化活性成分芦丁的方法。实验讲解中可以设置多个提问环节,比如:加入石灰水的目的是什么?用 15%盐酸溶液调酸度时为何需控制 pH 大小?加入硼砂的目的是什么?黄酮类化合物还有哪些提取方法?芦丁还可用什么方法提取?快速柱色谱和薄层色谱原理的核心要素是什么?解释化合物结构与  $R_f$  值的关系。芦丁和槲皮素的化学鉴别方法有哪些?巧妙地设问,一环扣一环,提高学生的实验兴趣和注意力。

### 3.4 渗透化学史教育, 启迪学生创新思维

有机化学实验,很多是人名反应。如:克莱森-施密特(Claissen-Schmidt)缩合反应制备二苯叉丙酮、Diels-Alder 反应制备 9,10-dihydroanthracene-9,10- $\alpha,\beta$ -succinic acid anhydride、格氏(Grignard)反应制备三苯甲醇、傅-克(Friedel-Crafts)反应制备苯乙酮、康尼查罗(Cannizzaro)反应制备呋喃甲醇和

呋喃甲酸、珀金(Perkin)反应制备肉桂酸、维悌烯(Wittig)反应制备 1,2-二苯乙烯、Pictet-Spengler 合成法制备 1,2,3,4-四氢- $\beta$ -咔啉、Fisher 合成法制备 2-苯基吡啶、Baker-Venkataramann 重排法合成黄酮化合物 2-苯基苯并吡喃酮<sup>[18]</sup>等。这些人名反应都可挖掘出人物历史故事、反应的发现与机理认知的曲折过程、合成方法的应用与发展, 这些故事、实例, 学生非常感兴趣, 对创新思维有启迪, 对科研素质的培养有促进作用。

#### 4 结语

有机化学实验的教学水平、教学效果跟很多因素有关。教师要上好有机化学实验课, 应该具备广博的知识视野, 不必拘泥于教材内容, 可大胆地引入新的知识体系; 同时, 还要有精心的备课、幽默的讲解、巧妙的设问、精彩的演示、细致的指导。“教学有法, 教无定法, 贵在得法”。每个教师应了解教学规律, 根据实验内容、自身特点, 灵活运用各种教学方法和教学手段, 形成自身的教学优势和特色。我们的有机化学实验教学方法, 如拓宽授课知识面、运用比较教学法、情境教学法、渗透化学史教育等, 经多年实践, 可大大提高学生的实验兴趣, 有机化学实验的教学效果、教学质量也历来得到师生一致好评。

#### 参 考 文 献

- [1] Barrows, H. S. *Med. Edu.* **1986**, 20 (6), 481.
- [2] 傅晶, 邓惠文, 张富青, 黎俊波. 化学工程与装备, **2011**, No. 12, 219.
- [3] 温燕梅. 广东化工, **2014**, 41 (18), 180.
- [4] 惠岑峰, 周宜君, 王文蜀, 孙洪波, 冯金朝. 实验室研究与探索, **2013**, 32 (3), 153.
- [5] 李晓洁, 李厚金, 赖榕, 朱可佳, 李莲云. 大学化学, **2016**, 31 (5), 1.
- [6] Hwang, K. C.; Sagadevan, A. *Science* **2014**, 346 (6216), 1495.
- [7] Thomas, J. M.; Raja, R.; Sankar, G.; Bell, R. G. *Nature* **1999**, 398 (6724), 227.
- [8] Dugal, M.; Sankar, G.; Raja, R.; Thomas, J. M. *Angew. Chem. Int. Edit.* **2000**, 39 (13), 2310.
- [9] Raja, R.; Sankar, G.; Thomas, J. M. *Angew. Chem. Int. Edit.* **2000**, 39 (13), 2313.
- [10] Yu, H.; Peng, F.; Tan, J.; Hu, X. W.; Wang, H. J.; Yang, J.; Zheng, W. X. *Angew. Chem. Int. Edit.* **2011**, 50 (17), 3978.
- [11] Raja, R.; Sankar, G.; Thomas, J. M. *J. Am. Chem. Soc.* **1999**, 121 (50), 11926.
- [12] 韩丽, 陈五九, 元飞, 张媛媛, 王钦宏, 马延和. 生物工程学报, **2013**, 29 (10), 1374.
- [13] 李厚金, 朱可佳, 郑赛利, 陈六平. 大学化学, **2014**, 29 (5), 75.
- [14] 吴美芳, 李琳. 有机化学实验. 第 1 版. 北京: 科学出版社, 2013.
- [15] 汪志勇, 查正根, 郑小琦. 实用有机化学实验高级教程. 第 1 版. 北京: 高等教育出版社, 2016.
- [16] 丁长江. 有机化学实验. 第 1 版. 北京: 科学出版社, 2011.
- [17] 李厚金, 石建新, 邹小勇. 基础化学实验. 第 2 版. 北京: 科学出版社, 2015.
- [18] 李厚金, 朱可佳, 陈六平. 大学化学, **2013**, 28 (5), 47.