

Exploration and Practice of Green Chemistry in Organic Chemistry Experimental Teaching in Universities

Junjun Zhang Jiangbo Xi Wei Chen*

Wuhan University of Engineering, School of Chemistry and Environmental Engineering, National Environmental and Chemical Clean Production Experimental Teaching Demonstration Center, Wuhan, Hubei, 430070, China

Abstract

The basic organic chemistry laboratory in universities is an important place for practical teaching of organic chemistry, playing a crucial role in cultivating innovative talents and promoting the development of the organic chemistry discipline. In order to improve the quality of talent cultivation and practice the concept of green chemistry, the author's school has conducted some beneficial explorations and practices in the management of basic chemistry laboratories, as well as in the design of teaching content such as experimental miniaturization, resource utilization of experimental products, green reaction reagents, and atomic economic reactions. The implementation of green organic chemistry experimental teaching has reduced environmental pollution from the source, cultivated students' awareness of green chemistry, effectively stimulated their learning interest and innovative thinking, and improved the effectiveness of experimental teaching.

Keywords

chemistry laboratory; green chemistry; chemistry experiment teaching; organic chemistry

绿色化学在高校有机化学实验教学中的探索与实践

张俊俊 奚江波 陈伟*

武汉工程大学化学与环境工程学院国家级环境与化工清洁生产实验教学示范中心, 中国·湖北 武汉 430070

摘要

高校基础有机化学实验室是有机化学实践教学的重要场所, 在培养创新型人才、促进有机化学学科水平发展等方面起着至关重要的作用。为了提高人才培养质量, 践行绿色化学理念, 笔者所在学校在基础化学实验室管理方面以及实验微型化、实验产品资源化、反应试剂绿色化、原子经济性反应等教学内容设计方面进行了一些有益探索和实践。绿色有机化学实验教学的实施, 从源头上减少了环境污染, 培养了学生的绿色化学意识, 有效激发了学生的学习兴趣和创新思维, 提升了实验教学效果。

关键词

化学实验室; 绿色化学; 实验教学; 有机化学

1 引言

2017年10月18日, 习近平总书记在党的十九大报告中指出: “坚持人与自然和谐共生, 必须树立和践行绿水青山就是金山银山的理念, 坚持节约资源和保护环境的基本国策。”在环境保护的巨大压力下, 化学行业作为传统高耗能高污染的行业, 其生存和发展受到了严峻的挑战。践行绿水青山就是金山银山的理念, 走绿色化学路线, 是化学学科发展的必然选择, 是适应人类的需求而逐步形成的意识形态^[1]。绿色化学, 又称环境友好化学或清洁化学, 它倡导用化学的

技术和方法减少、停止或消除对人类健康、社区安全、生态环境有害的化学品的使用或生产过程。绿色化学与污染控制化学不同, 污染控制化学强调的是恢复和治理, 绿色化学则是倡导从源头减少问题的发生, 将传统的事后治理转化为事前预防, 更加重视人与自然和谐相处。从绿色化学十二条基本原理来看, 绿色化学的内涵包括三个方面: 从科学角度, 绿色化学是化学和化工科学基础内容的创新, 是基于环境友好条件下的融合和拓展; 从经济角度, 绿色化学是合理利用资源和能源, 降低生产成本, 符合可持续发展的要求; 从环境角度, 绿色化学是保护生态环境的新科学和新技术, 从根源解决生态环境日益恶化的问题, 从而实现环境的无害化和可持续发展^[1]。

有机化学实验是高校有机化学教学中的重要组成部分, 也是有机化学教学探究的最佳方式, 它对提升学生的学习兴趣、操作技能、观察思考能力和开拓创新能力有着重要的作

【作者简介】张俊俊(1988-), 女, 中国江苏丰县人, 硕士, 工程师, 从事材料制备及性能研究。

【通讯作者】陈伟(1975-), 男, 中国湖北黄石人, 博士, 教授, 从事手性分离材料的制备及色谱分析研究。

用^[2]。有机化学实验室承担了全校各类有机化学的实验教学任务,在进行有机化学实验的过程中会使用、产生和排放各类有毒有害物质,尽管数量较少,但仍可能会对人体健康和环境安全造成不良影响。随着当前环境问题的日益突出,践行绿色化学理念已经成为当前高校有机化学实验教学的必然趋势。在当前绿色化学实验的研究中,研究者的目标主要集中在:减少化学品的使用来达到绿色化学的目的^[1-4]。

笔者在开展有机化学实验教学中,我们按照绿色化学理念要求在实验室管理理念和实验教学内容方面做一些改进。在实验室管理理念中渗透绿色化学思想,进而培养学生绿色环保理念;在实验教学内容上,优化实验教学内容,除了通过减少化学品的使用,还强调通过废弃物回收以及再利用来实现绿色化学目的。将绿色化学贯穿实验教学过程始终,激发学生的创新思维、引导学生树立绿色化学思想观念和增强环境保护意识的目的。

2 在实验室管理过程中融入绿色化学的理念

在制定实验室管理计划和规章制度时,应从安全、环保、健康的角度出发,评估整个过程中影响人身健康和安全的因素、预测过程中的绿色、环保、节能的可行性,从源头上预估和排除各种对人体和环境的不利因素,并提出风险应急预案,可以参考企业 HSE (Health、Safety、Environment) 体系的建立。其次实验员在执行规章制度和实验计划时,也需要按照 HSE 的理念去评估和细化每一样具体工作,并将绿色化学的意识渗入其中^[5]。例如,实验室三废的处理过程中,需自身做好安全防护,在确保自身和学生使用安全的前提下,尽可能地做到回收实验过程中产生的废物,并将回收的可以利用的三废的量作为实验成绩的考核指标。

笔者所在学校基础有机化学实验课程设有苯甲酸乙酯的制备实验,在反应后处理的过程中使用乙醚作为萃取剂,萃取液经洗涤、干燥等处理后,再蒸馏去溶剂乙醚。在以前,蒸馏得到的乙醚我们会作为废弃物倒掉。如今,我们要求学生将所得的溶剂乙醚进行回收再利用,并将学生回收乙醚的量的多少,作为成绩考核的指标之一。我们通过将新教学方法使用前一学年及新教学方法使用后的一学年,笔者所在学校实验中心乙醚的使用量进行了统计,得到了新教学方法使用前一学年乙醚的使用量及排放量对比数据,如表 1 所示。

该方法不仅减少了试剂的使用和废液的排放,也使学生环保意识得到加强,践行了绿色化学的理念。另外,对于不能回收利用的废液,我们要求在废液桶上标明废液来源、成分,并严格按照废液收集和储存规定进行处理。

3 实验教学内容的优化

3.1 实验微型化

笔者所在学校应用化学等长学时专业开设了甲基橙的制备实验。在以前,实验中原料二水对氨基苯磺酸的投料量为 6.3g (0.03mol), *N,N*-二甲苯胺的投料量为 3.63g (0.03 mol), 反应的最终产物甲基橙为固体产品,产量约为 8g,产物较多,产物一般作为废弃物处理掉。近两年,我们对反应原料的用量进行了调整,将各反应物的量降至原来的五分之一,即二水对氨基苯磺酸的投料量为 1.26g (0.006 mol), *N,N*-二甲苯胺的投料量为 0.73g (0.006 mol), 反应过程中甲基橙粗产品也能够顺利析出,产品的量约为 1.3g。我们通过对新教学方法使用之前一学年及新教学方法使用之后的一学年,原料的使用量以及学生得到的产品甲基橙的量进行了统计对比,如表 1 所示。我们通过减少反应物的用量使反应微量化,既从源头减少了对环境的污染,又节约了资源和能源,践行了绿色化学理念。

3.2 实验产品资源化

在有机化学实验过程中,学生会制备出许多的产品,虽然单个学生的产品量不多,但有机化学实验作为笔者所在学校应用化学、环境工程、精细化工、制药工程、生物工程、生物工程、生物技术、包装材料、食品科学与工程等 12 个专业的专业基础实验课,上课人数多、实验产品总量大。一般情况下,学生所制备的产品作为废弃物进行处理,这样既浪费资源,又会对环境造成污染。因此,我们考虑将实验产品资源化。在设置实验内容的时候,考虑将前面所做的实验产品作为后面实验课的原料进行使用。例如,笔者所在学校基础有机化学实验课对所有相关专业均开设了由苯胺和乙酸制备乙酰苯胺的实验,以及重结晶、过滤、干燥、熔点测定的实验。其中应用化学等长学时专业还另外设有乙酰苯胺水解制备苯胺的实验。因此,我们将学生在乙酰苯胺制备实验中得到的粗产品,作为重结晶、过滤及熔点测定实验中

表 1 新教学方法使用前后一学年部分原料使用量及废弃物排放量对比

| 原料使用量 | | | 废弃物排放量 | | |
|------------------|----------|---------|--------|----------|---------|
| 原料名称 | 传统教学方法 | 新教学方法 | 废弃物名称 | 传统教学方法 | 新教学方法 |
| 乙醚 | 9000 mL | 5400 mL | 乙醚 | 9000 mL | 5400 mL |
| 乙醇 | 25200 mL | 9600 mL | 乙醇 | 18000 mL | 0 mL |
| 苯胺 | 6000 mL | 4000 mL | 乙酰苯胺 | 4800 g | 0 g |
| <i>N,N</i> -二甲苯胺 | 570 mL | 114 mL | 甲基橙 | 1200 g | 195 g |
| 二水对氨基苯磺酸 | 945 g | 189 g | | | |

注:数据来源于学生药品投料量及产物回收量的统计。原料使用量:即实验中心有机化学实验每年消耗的试剂量;废弃物排放量:丢弃的反应产物或反应中排放到环境中的溶剂。

的原料；又将经重结晶实验纯化后的精乙酰苯胺，用作应用化学等专业的乙酰苯胺水解实验中的原料；而乙酰苯胺水解实验的产物苯胺，又可以作为乙酰苯胺制备实验的原料。该实验教学内容的设置，成功地打造了由苯胺→乙酰苯胺→苯胺的循环过程，使实验过程中资源消耗量和污染物排放量得到最大限度的减少。此外，笔者所在学校在蒸馏、分馏及沸点测定的有机实验课过程中，使用的蒸馏溶剂为水和乙醇。前面班级蒸馏出的乙醇回收后，继续作为后面班级开展此实验的原料试剂，从源头上践行绿色化学的理念。

3.3 反应试剂绿色化

有机化学实验课过程中，在不影响实验效果的基础上，应尽量使用低毒或无毒的化学试剂（包括反应物及催化剂）。例如，笔者所在学校有机化学实验开展了乙酸乙酯的制备实验，该实验由乙醇和乙酸作原料，浓磷酸作为催化剂，加热回流反应制备乙酸乙酯。我们可以将反应中的催化剂由质子酸浓磷酸换成路易斯 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ，使用 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 作为催化剂该反应也能够顺利进行，并且能够以较高的收率获得反应产物乙酸乙酯^[4]。用 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 替换浓硫酸作为反应的催化剂，既能够很好地完成实验内容，又减少了环境的污染。

3.4 原子经济化反应

美国化学家 B. M. Trost 在 1991 年提出了原子经济性的概念^[5]。原子经济性反应，是指反应底物的所有原子均转化为反应产物的原子，反应过程中不涉及原子的损失。在设置有机化学实验教学大纲时，可以根据有机化学所学习的内容，挑选原子经济性反应，作为实验教学内容。例如，对苯二醌与环戊二烯的 Diels-Alder 反应，两种反应原料的所有原子都转化为产物，该反应是一个很好的原子经济性反应^[6]。学生通过学习化学反应中的原子经济性、原子利用率等知识，既可以培养学生的学习兴趣和主观能动性，又可以加深对绿色化学理念有更加深入的理解。

4 结语

在高校有机化学实验教学过程中，要注重培养学生的绿色化学意识，使学生在实验操作过程中，自发主动地注重绿色操作、绿色排放，有效降低化学原料的消耗，从细节上将污染降至最低。应将绿色化学的理念贯穿有机化学实验教学始终，只有培养出学生自发的绿色化学意识，校园的“绿色化学”才能走向社会，进而为整个社会创造更可持续的未来。

本研究对于培养学生绿色化学意识，激发学生的创新思维有较大的帮助。但不同的专业，学生有机化学实验的学时数不一致，开设的实验项目也有区别，如甲基橙制备实验，仅应用化学专业 5 个班开设，导致研究范围较小，导致存在一定的局限性和偏差，因此，研究视野及普适性上有待进一步研究。此外，该研究主要从减少原料使用量和废弃物回收再利用两个角度，对绿色化学反应方法和实验教学多元化方面的研究较少，后期有待加强。

参考文献

- [1] 张贺,李雅洁.绿色化学理念下的化学实验室安全管理[J].科教导刊,2023(26):11-13.
- [2] 李清寒,刘强,杨路,等.绿色化学课程互动式教学应用与实践——以“化学反应的原子经济性”为例[J].化学工程与装备,2023(5):277-299.
- [3] 李秋莲,万宏,刘嵩.开放性、绿色化有机化学实验教学内容的优化与实践[J].实验室科学与技术,2016,14(5):160-162.
- [4] 孙琦,李猛,王刚,等.创新绿色理念融入有机化学综合设计实验的实施路径[J].实验室研究与探索,2021,40(11):177-180.
- [5] 金祝年,胡玲霞.马来酸酐和呋喃的Diels-Alder反应研究[J].化工时刊,2006,20(9):70-72.
- [6] 兰州大学.有机化学实验[M].三版.北京:高等教育出版社,2010.