

## “从茶叶中提取咖啡因”有机化学实验的教学设计

王爱玲, 崔颖娜\*

大连大学环境与化学工程学院, 辽宁 大连 116622

**摘要:** 以“从茶叶中提取咖啡因”的实验设计和教学实施过程为例, 阐述了如何在增进学生知识的同时, 培养学生的创新能力和对学生进行思政教育。

**关键词:** 有机化学实验; 咖啡因; 提取; 能力; 思政教育

**中图分类号:** G64; O6

## Pedagogical Design for an Organic Chemistry Experiment: Extraction of Caffeine from Tea Leaves

Ailing Wang, Yingna Cui \*

College of Environment and Chemical Engineering, Dalian University, Dalian 116622, Liaoning Province, China.

**Abstract:** This paper presents the pedagogical design and implementation process of an organic chemistry experiment focused on the extraction of caffeine from tea leaves. The study illustrates how this experiment can enhance students' knowledge, foster innovation skills, and incorporate elements of ideological and political education.

**Key Words:** Organic chemistry experiment; Caffeine; Extraction; Ability; Ideological and political education

培养具有高尚思想品质、良好道德素养和创新能力的优秀人才是我国高等教育的重要战略目标, 但思政育人和创新能力的培养不能一蹴而就, 需要所有课程和实践活动在大学全学段中相互配合, 对学生逐步进行基本知识传授, 同时将学生的能力培养和思政教育贯穿到知识的传授过程之中, 实施知识、能力、思政教育三位一体的教学模式<sup>[1,2]</sup>。

为更好地实现“知识面拓宽-创新能力提高-思政育人渗透”三方面的有机融合, 教师需要在课程设计环节融入思政元素, 对教学内容的编排、教学过程的设计、教学内容的传授方式等精心准备和实施, 实现立德树人的根本任务, 在传授知识的同时, 注重学生创新思维和能力的培养及综合素质的提高。

有机化学实验作为化学、化工及相关专业本科生的重要基础课程, 在理工科人才培养中的作用毋庸置疑。此课程对于学生掌握有机化学实验的基础知识、基本技能, 培养学生综合运用理论和实验知识来分析、解决问题的能力, 养成良好科学素养、严谨求实的工作作风等方面都具有举足轻重的作用<sup>[3]</sup>。实验课堂作为教学环节的重要载体, 只有在课堂上同时实现知识传授、能力培养和思政教育一体化, 才更符合高等教育发展的方向。

“从茶叶中提取咖啡因”是基础有机化学实验课程开设的一个经典实验, 是从天然产物中提取有机化合物的典型代表。本文介绍我们如何通过“从茶叶中提取咖啡因”的实验教学, 打破传统实

收稿: 2024-03-29; 录用: 2024-05-15; 网络发表: 2024-06-04

\*通讯作者, Email: cuiyn2008@163.com

基金资助: 辽宁省普通高等教育本科教学改革研究项目; 大连大学教改课题

验的教学模式, 调动学生的学习积极性, 提高学生解决问题的综合能力, 培养学生的创新思维和良好科学素养, 同广大同行交流教学经验, 共同提高有机化学实验的教学质量。

## 1 教学目标

### 1.1 知识传授

- (1) 基于咖啡因的结构和性质, 提出从茶叶中提取咖啡因的方法;
- (2) 掌握索氏提取器的原理、作用和使用方法;
- (3) 学会升华法提纯物质;
- (4) 进一步巩固蒸馏、浓缩等基本操作。

### 1.2 能力培养

咖啡因是一种黄嘌呤生物碱化合物, 生物碱是存在于自然界中的一类含氮的碱性有机化合物, 是中草药中重要的有效成分之一。中草药中的活性成分除了生物碱, 还有黄酮、皂苷、萜类等有效成分, 这些有效成分与其功效和药理作用密切相关。从《神农本草经》记载的365味药发展到明末李时珍《本草纲目》收录的1892味药<sup>[4]</sup>, 人们对中药的认识不断深入。我国中药资源丰富, 为阐明中药化学物质组成及有效成分, 必须首先对中药化学成分进行提取。采用什么样的方法进行提取才更简便高效? 让学生发挥自身的主观能动性, 通过查阅文献对提取方法进行优选, 从而扩展学生的知识面, 增加知识积累, 使学生具有自己鲜明的思想和独特见解。

一般中药有效成分的提取均采用溶剂法, 该法的关键是溶剂的选择, 直接决定提取的成本、收率的高低以及对环境污染的大小。引导学生正确选择溶剂, 是培养学生科学思维和绿色环保意识的重要一环; 采用什么样的提取装置进行提取, 是溶剂法提取的另一重要环节。实验装置的选取离不开研究者对提取过程特点的深刻理解, 提取装置直接决定了装置建设成本和产品生产成本的差异。常压萃取法是实验室最常用的萃取方法, 一般采用回流的方法来实现, 但常规回流浸提存在溶剂用量大、耗时长、效率不高的缺点。由此, 可启发学生进行如下创新思维: 可否仅用少量溶剂实现对中药中有效成分的反复提取? 如何通过对提取装置进行设计, 用手动或自动法实现溶剂的反复利用?

在上述基础上, 指出索氏提取器是实现自动反复提取的一种装置, 此装置有何优点? 有何弊端? 怎样改进索氏提取器的弊端? 通过问题引导, 激发学生的学习兴趣, 培养学生发现问题、分析问题和解决问题能力。

### 1.3 课程思政

“从茶叶中提取咖啡因”的实验, 可以赋予其丰富的思政元素, 以对学生进行“潜移默化”“润物无声”的思想教育<sup>[5]</sup>:

- (1) 以屠呦呦提取青蒿素为例, 培养学生爱国爱家的大爱情怀;
- (2) 中国的茶文化蕴含着很多做人的道理, 唐代陆羽所著的《茶经》是世界上的第一本茶书, 通过对茶文化的介绍, 弘扬中华民族的传统美德, 增强文化自信;
- (3) 通过对萃取效率高、对人体无害且环保的溶剂的选择, 培养学生的环保意识和保护青山绿水的责任感。

## 2 教学设计

### 2.1 课前

教师布置预习任务, 要求学生依据实验教材<sup>[6]</sup>熟悉实验操作步骤, 同时提前2周通过雨课堂发放下列5个预习题目:

- A. 写出咖啡因的结构式, 通过结构预测其物理和化学性质。
- B. 中药有效成分的提取方法有哪些? 基于咖啡因的结构, 你认为提取咖啡因的方法有哪些?

C. 选取提取溶剂时,应该考虑哪些因素?可用于提取咖啡因的溶剂有哪些?你倾向选择哪一种?

D. 设计一种适合提取咖啡因的装置。

E. 提取于溶剂中的咖啡因,应该如何进一步分离提纯?

以上五个预习题目,题目A和E要求全体同学预习,题目B、C、D分组讨论,将学生分为3组,每组一个讨论题目。学生在规定的时间内完成讨论题目,然后由教师通过腾讯会议组织学生在不同小组间交流,点评各小组优选出的方法,上课之前学生完成书面预习报告。

a. 咖啡因的结构及性质。

学生查阅的结构和性质主要包括:咖啡因是一种黄嘌呤生物碱,其结构如图1所示,化学名为:1,3,7-三甲基黄嘌呤或3,7-二氢-1,3,7三甲基-1H-嘌呤-2,6-二酮,其极性较大,在热水、乙酸乙酯、氯仿、嘧啶、吡咯、四氢呋喃、酒精和丙酮中可溶,石油醚、醚及苯中微溶,受热时易升华。咖啡因具有极弱的碱性,因具有酰尿结构,碱性条件下遇热易分解,因此不能用强碱条件下加热提取。在此教师要再次强调“结构决定性质,性质反映结构”是学习化学的重要思维方法,要学会分析化合物的结构,从而去学习它的性质、用途、分离提纯方法等。

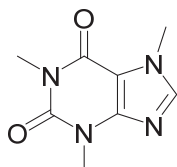


图1 咖啡因结构

b. 中药有效成分的提取方法。

学生提出的提取方法有:溶剂提取法和非溶剂提取法。溶剂提取法包括水煎煮法、溶剂浸渍法、溶剂渗滤法、溶剂回流法、溶剂连续回流法和超临界流体萃取法;非溶剂提取法包括水蒸气蒸馏法和升华法。基于咖啡因的结构和性质,咖啡因的提取主要采用溶剂提取法,最后用升华的方法提纯,但要注意不能在强碱条件下加热提取。

c. 提取溶剂的优选。

选取提取溶剂时,应该考虑的因素有:① 溶剂的萃取能力;② 溶剂的毒性;③ 溶剂的价格。学生查阅的溶剂有:水,以及95%乙醇、乙醚、氯仿、二氯甲烷、丙酮等常用有机溶剂。用热水作为溶剂,其优点是成本低、无溶剂残留、无毒,其缺点是萃取能力较低;氯仿、二氯甲烷等有机溶剂具有一定的毒性,且易造成溶剂残留。由于95%乙醇对咖啡因萃取能力较强、无毒且价格低廉,学生通常一致优选它作为提取溶剂。

d. 提取装置的优选。

学生通过查阅文献,提出可以用常压和超临界萃取法。后者是工业从生物质提取有效成分最先进的方法,因此教师对提出该方法的学生提出表扬。但依据我们基础有机化学实验室现有的实验条件,我们只能选择常压萃取法。对于常压萃取,学生提出的萃取装置有:普通回流冷凝(图2a)、带恒压滴液漏斗的回流(图2b)和索氏提取(图2c)。对于普通回流冷凝装置,学生一致认为,此装置虽然最简单,但因萃取出来的咖啡因与茶叶在萃取系统中始终共存,因而提取率速度慢,提取率也较低;对于装置2b和2c,二者都可实现用纯溶剂反复提取溶质,但在这两种装置的优选上,学生通常有很大分歧。有一部分同学认为,装置2b需要不断手动将恒压滴液漏斗内的提取液放回圆底烧瓶中,而另一部分同学认为,如将恒压漏斗活塞出口调节到合适的位置,使溶剂回流滴入恒压漏斗的速度与经过活塞流回圆底烧瓶的速度相等,则漏斗内溶剂的量就会保持恒定,因而并不需要不断手动。讨论极大地激发了学生的实验兴趣,他们急切地用实验去验证自己的设想。对于索氏提取装置所实现的溶剂自动反复使用,则得到了所有学生的认可。

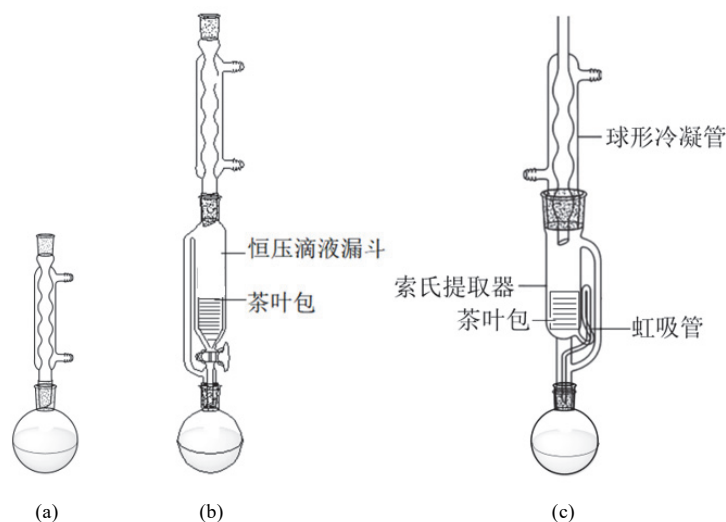


图2 咖啡因提取装置

对此，我们的做法是，让学生可以自行选择2b和2c这两种装置，去体会“实践是检验真理的唯一标准”。

#### e. 咖啡因的分离提纯。

咖啡因的分离提纯需要哪些步骤，此问题在实验教材里写的很清楚<sup>[6]</sup>，所以学生的答案都一致。咖啡因的分离提纯需要蒸馏、焙炒和升华的操作。但教师在此部分要注意引发学生深度思考，蒸馏出的溶剂如何处理？升华之前加生石灰，生石灰有碱性，会不会导致咖啡因分解？对于第一个问题学生的意见很一致，溶剂回收。由此可以看出，学生有一定的节约和环保意识，实现了有机化学实验的思政教育。对第二个问题，学生都回答不会导致咖啡因分解，深入问其原因，大部分同学保持沉默，少数预习深入的同学回答：石灰水的碱性较弱，不会导致咖啡因分解，它还能吸收水分和一些浸提出来的酸性物质。对此部分同学重点表扬和加分。

通过这种预习方式，调动了学生的学习兴趣，提高了共同讨论的积极性，让学生成为学习的主体。提高了学生查阅相关文献资料的能力，带着问题去预习不仅有利于提高学习效果，而且也拓展了相关的背景知识，培养学生的沟通表达能力、创新思维和团结协作精神。

## 2.2 课中

本次实验的课堂课时为4课时，在有限的时间内，教师讲解注重对学生进行思想教育，实验操作注重学生动手能力、发现问题和解决问题能力的培养。

实验讲解中融入课程思政的内容，课程由茶叶引出，讲述中国是茶叶发源地，中国的茶文化里面蕴含着很多做人的道理，唐代陆羽所著的《茶经》是世界上的第一本茶书。中国茶文化反映出中华民族悠久的文明和礼仪，引导学生审视中华民族的传统文化，增强学生的民族自豪感和自信心。

讲解咖啡因的提取时，从我国诺贝尔奖获得者屠呦呦提取青蒿素的故事引入天然产物提取方法的讲解。屠呦呦从东晋名医葛洪《肘后备急方》中的“青蒿一握，水二升渍，绞取汁，尽服之”受到启发<sup>[7]</sup>，意识到高温提取青蒿的方法可能导致有效成分失效。在多次尝试失败后，创新设计了提取方案：用低沸点乙醚提取青蒿素，较低温度不破坏结构且乙醚不影响生物活性，领导团队开创性地从中草药中分离出青蒿素应用于疟疾治疗。从屠呦呦的故事激发学生的民族自豪感，增强文化自信；由此展开引导学生思考如何从天然产物中提取有用物质，培养学生的科学创新精神。挖掘课程思政资源，发挥有机化学实验课程教学的双重育人功能，激发学生独立思考、热爱祖国、服务国家与社会的情怀和抱负。

鉴于实验教材<sup>[6]</sup>中对完整的实验操作步骤已有详细介绍，且学生预习时，对实验操作和过程已

有清晰认识, 实验内容的讲解要简单明了, 留出更多的时间让学生去实际操作。实验中, 实验装置的选择是本实验的一个有争议的问题, 对此, 我们的做法是学生自主选择采用不同的装置进行提取。

以2022–2023学年第二学期化工221班实验为例, 结合学生的预习讨论, 将全班30名学生分为15组, 3组同学采用普通回流装置(图2a), 6组同学采用带恒压滴液漏斗的回流装置(图2b), 6组同学采用索氏提取装置(图2c)。以前的实验课程所有同学做一个相同的实验题目, 按照完全相同的内容和方法进行实验, 同学之间容易互相模仿, 互相依赖, 缺乏主人意识, 不能积极地思考和创新, 没有探索和求知的欲望, 很难实现能力和素质的提升。对此, 此次实验选取不同的实验装置来进行实验课堂的改革。实验中每组详细记录实验操作和实验现象, 特别是溶液颜色的变化、索氏提取器一次虹吸的平均时间、相同时间内的虹吸次数、恒压滴液漏斗溶液内冷凝液的滴入速度与恒压漏斗的放液速度如何调节、能否顺利调节等。通过实验现象, 让学生初步感知实验装置对提取效果的影响, 体会提取装置对产品生产成本的高低的重要影响。通过真切的实验事实, 引发学生对实验装置探究的兴趣, 启发学生的创新思维, 使学生对实验装置具有一定的选择设计及改造能力。

此部分实验装置的搭建由学生自主完成, 对操作成功的学生, 及时给予表扬和鼓励。对于操作能力差或有失误的学生, 首先是肯定, 然后指出其失误, 让每个学生都能自始至终地保持强烈的动手欲望和兴趣, 养成大胆动手的习惯。

为进一步培养学生的动手能力, 训练咖啡因的提纯操作, 包括提取液的蒸馏浓缩和咖啡因的升华, 粗蒸馏浓缩溶液、回收溶剂、焙炒和升华的操作过程, 教师仅教给学生必要的操作步骤, 并指出注意事项, 学生进行具体操作后, 各小组间互相监督, 教师随时观察, 帮助学生寻找操作错误的原因, 探寻最合理的操作程序, 从真正意义上培养学生的动手能力。

实验结束后, 每组同学都将实验结果填入表1中。

表1 三种装置的提取效果比较

提取装置	提取率/%						平均值/%
	第一组	第二组	第三组	第四组	第五组	第六组	
普通回流冷凝装置	0.32	0.38	0.33	–	–	–	0.34
带恒压滴液漏斗的回流装置	0.50	0.52	0.58	0.48	0.56	0.49	0.52
索氏提取装置	0.51	0.53	0.56	0.59	0.53	0.52	0.54

结合表1的数据, 教师和学生一起对本次实验进行总结和分析。由表1的实验结果可以看出, 带恒压滴液漏斗的回流装置和索氏提取装置的提取率比普通回流冷凝装置都要高。同时, 让学生分享操作带恒压滴液漏斗的回流装置及索氏提取装置的感受。使用索氏提取装置的学生表示: 索氏提取装置利用虹吸的原理, 可以保证溶剂顺利回流至烧瓶中, 无需任何操作, 简单易行; 学生对带恒压滴液漏斗的回流装置的感受是: 他们调节好恒压滴液漏斗活塞, 确保冷凝液的滴入速度与恒压漏斗的放液速度一致后, 就不用再反复转动活塞, 直至提取完毕后。但与索氏提取装置不一样的是, 他们始终不敢离开萃取装置, 需要时刻观察滴液速度, 以免回流速度过快, 提取液不能及时回到烧瓶中, 或滴液速度太快, 溶剂不能浸泡茶叶包。此装置不能完全自动化, 必须有人时刻观察。通过学生对装置使用的切身感受, 让他们深刻体会到实验装置的设计对实验的重要性, 从而激发学生的创新能力。

使用普通回流冷凝装置的学生表示他们很遗憾, 没有切身体会滴液控制, 虹吸。在此教师可告诉学生在有机化学综合实验中, 大家可以选择咖啡因提取实验, 根据自己的想法和设计方案自行设计完成咖啡因的提取综合实验题目, 激发学生对后期实验课程的兴趣。

实验全部结束之后, 教师对此次实验做了总结: 中医药是中华民族的瑰宝, 今天我们学习了咖

咖啡因的提取, 李时珍《本草纲目》收录的1892味药和后期又发现的多种药材, 其有效成分提取出来, 明确其结构, 可以更加精确地研究中药的作用机理, 更好地发挥中医药的特色和优势。从这节课的学习中, 我们要学会不同结构化合物的提取方法, 根据其结构和性质, 选择合适的提取方法。通过课程总结, 进一步体现出本次课程的知识传授、能力培养和思政教育的一体化。

### 2.3 课后

课后要求学生完成实验报告, 实验报告根据自己选用的装置进行撰写, 避免了以前单一模式的实验操作, 学生互相抄袭报告的问题。

对于中药有效成分提取的内容, 课后在雨课堂发布教师总结的PPT, 供学生学习, 进一步扩展学生的知识面。同时发布一些习题(如索氏提取的原理、优势及不足, 升华的原理等)供学生课后巩固, 强化知识掌握, 逐步学会对知识结构体系的整理和提炼, 为以后的工作、考研和科研打下坚实基础。

在此基础上, 要求学生完成一个案例——人参皂苷的提取: 人参皂苷的提取方法有哪些? 哪些方法适用于实验室? 如果大规模提取哪种方法更合适? 在实验报告中写成简要的总结汇报, 开拓学生的视野。

学生完成报告后, 任课教师对学生的实验报告进行及时评价分析反馈, 形成教学闭环。为了能更加公正、客观、全面地评价学生的学习成果, 重点强调过程性评价, 对预习中提出超临界萃取、对提取装置提出争议、讨论部分对实验装置和过程提出自己见解的学生要重点表扬和加分奖励。

有机化学实验的最终成绩由平时实验成绩(80%)和期末考核成绩(20%)组成。平时实验成绩根据学生每次实验的预习情况、实验过程情况和实验报告三部分进行综合评分。每部分的成绩组成及所占比例如图3所示。

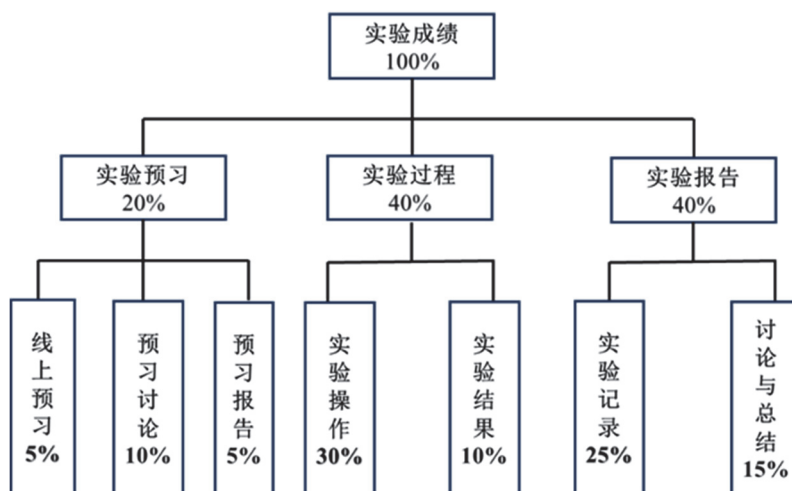


图3 有机化学实验成绩评定

在评阅过程中, 发现学生都很用心地完成了此次报告, 实验记录清晰完整, 特别是讨论部分, 学生对收率高或低的原因、对实验装置的使用感受及人参皂苷的提取等都提出了自己的看法, 培养了学生发现问题、解决问题的能力和敢于质疑的批判精神。

## 3 应用效果

为了充分了解此次课程的教学成效, 对我校2020级化学、化工、制药、生物工程和中药5个专业的296名学生的实验教学采用上述实验方法, 93.2%的同学认同改革后的课程形式, 认为此实验教学效果很好, 自己很乐意接受; 5.1%的同学认同改革后的课程形式, 但自己不愿意接受; 0.7%的同学不认同改革后的课程形式, 自己也不愿意接受, 还有1%的同学弃权。

为验证此次课的教学效果，我们对学生进行了问卷调查。调查内容及结果如表2所示。调查结果表明，改革后的教学模式，实现了知识传授、能力培养和思政教育一体化。

表2 教学效果调查

序号	调查内容	结果
1	咖啡因的提取实验给我留下了很深的印象	是 100%; 否 0%
2	屠呦呦发现青蒿素的艰辛历程对我有很大的触动	是 100%; 否 0%
3	我在以后的学习、生活和工作中会践行环保责任，守护青山绿水	是 100%; 否 0%
4	咖啡因的提取实验提高了我的实验设计能力	是 95.3%; 否 4.7%
5	我对自主设计实验装置很感兴趣	是 94.6%; 否 5.4%
6	我对实验装置的改进很感兴趣	是 93.2%; 否 6.8%
7	我对设计实验过程很感兴趣	是 91.2%; 否 8.8%
8	我很喜欢和同学一起讨论，合作完成实验	是 95.9%; 否 4.1%

改革后的课程形式，较好地实现了以教师为主导、学生为主体的模式，极大地调动了学生的实验积极性，大幅提高了实验教学效果。一方面通过设定的教学内容，促使学生探索深层次的问题，提升其科学思维能力；另一方面，通过该教学内容，“润物无声”地增强学生的文化自信，培养爱国爱家的大爱情怀。

但在实践教学中，也存在一些问题，如部分学生对讨论的问题不感兴趣、参与的深度不够、实验优选流于形式等。进一步提高学生的学习兴趣，是下一步努力的主要方向。

#### 4 结语

以“从茶叶中提取咖啡因”的实验设计和教学实施过程为例，打破传统实验的教学模式，充分调动学生的学习积极性，提高学生解决问题的综合能力，培养学生的创新思维和良好的科学素养。

#### 参 考 文 献

- [1] 樊红霞, 袁文霞, 柯红岩, 柴成文, 韦美菊, 陆慧丽. 大学化学, **2022**, 37 (10), 2204036.
- [2] 臧丽坤, 路丽英, 闫红亮. 大学化学, **2023**, 38 (8), 9.
- [3] 刘刚, 张恒, 马莹, 苑世领, 宋其胜, 徐政虎, 孙继超. 大学化学, **2024**, 39 (4), 70.
- [4] 徐任生, 赵维民. 中国天然药物, **2005**, 3 (6), 322.
- [5] 刘刚, 张恒, 马莹, 宋其圣, 苑世领, 孙国翠. 大学化学, **2020**, 35 (7), 53.
- [6] 高占先, 于丽梅. 有机化学实验. 第5版. 北京: 高等教育出版社, 2016: 201-202.
- [7] 胡万群, 朱平平, 郑媛, 张万群, 邵伟, 吴红, 周强, 杨凯平, 盛翔. 大学化学, **2024**, 39 (2), 203.