

## 水杨醛席夫碱的合成与聚集诱导发光(AIE)性能研究综合实验的课程思政设计

李艳阳, 张宗培, 李恺\*, 臧双全\*

郑州大学化学学院, 郑州 450001

**摘要:** 水杨醛席夫碱的合成与聚集诱导发光(AIE)性能研究是郑州大学化学学院针对化学专业本科学生设计并开设的一个综合实验项目, 已经开设了5个学年, 经过不断的改进和完善, 形成了具有代表性的实验教学课程思政案例。案例以AIE这一由中国人原创的前沿科学理论为载体, 通过AIE现象发现过程的学习、在不同条件下分组亲身实践AIE的合成操作、观察AIE的发光性能等过程, 将AIE现象与国家科技发展、社会需求相联系, 把“民族自豪感”“科研创新精神”“社会担当精神”“辩证唯物主义思维”等课程思政元素融入到实验教学中, 让学生在提高“发现问题、分析问题、解决问题”综合能力的同时, 充分了解荧光材料在国民经济和社会发展中的重要作用, 提升学生的民族自尊心和自信心, 坚定“见所未见, 思人所未思”的科研理念, 激发服务国家发展的热情。

**关键词:** 课程思政; 聚集诱导发光; 综合实验

中图分类号: G64; O6

## Ideological and Political Design for the Comprehensive Experiment of the Synthesis and Aggregation-Induced Emission (AIE) Performance Study of Salicylaldehyde Schiff-Base

Yanyang Li, Zongpei Zhang, Kai Li\*, Shuangquan Zang\*

College of Chemistry, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China.

**Abstract:** The synthesis and aggregation-induced emission (AIE) performance study of salicylaldehyde Schiff-base is a comprehensive experimental project designed and offered by the College of Chemistry of Zhengzhou University for undergraduate chemistry students. This project has been implemented for five academic years. Throughout this period, several ideological and political education elements have been gradually incorporated into the teaching of this experiment. Through continuous improvement and refinement, it has formed a representative case of experimental teaching with ideological and political education. The case study employs AIE, an advanced scientific theory pioneered by Chinese researchers, as its foundation. It connects the AIE phenomenon with national technological development and societal needs. Through the learning process of discovering the AIE phenomenon, hands-on practical experience with AIE synthesis under various conditions, and the observation of AIE's properties, this case integrates national pride, innovative research spirit, social responsibility, and dialectical materialist thinking into experimental teaching. This approach not only enhances students' comprehensive problem identification, analysis, and resolution skills but also provides them with a deep understanding of the pivotal role of fluorescent materials in the national economy and social development. It elevates students' sense of national self-esteem and self-confidence, reinforces the research philosophy of "seeing what nobody has seen and thinking what nobody has thought", and ignites their enthusiasm to contribute to the country's development.

收稿: 2023-07-10; 录用: 2023-09-21; 网络发表: 2023-10-10

\*通讯作者, Emails: likai@zzu.edu.cn (李恺); zangsqzg@zzu.edu.cn (臧双全)

基金资助: 郑州大学校级教育教学改革研究与实践项目(2022ZZUJG165, 2022ZZUJG037, 2022ZZUJG004); 河南省高等教育教学改革研究与实践项目(2021SJGLX001, 2021SJGLX050)

**Key Words:** Course ideology and politics; Aggregation-induced emission; Comprehensive experiment

## 1 引言

利用Reimer-Tiemann反应合成水杨醛和对羟基苯甲醛是一个经典的有机化学实验，该实验涉及机械搅拌、水蒸气蒸馏、重结晶等多种操作，对实验技能的要求较高，郑州大学化学学院对该实验进行了进一步拓展，将所得产物水杨醛进一步衍生，合成具有聚集诱导发光(Aggregation-induced emission, AIE)特性的水杨醛席夫碱分子<sup>[1]</sup>。通过对产物分子不同状态下发光行为的观察，让学生了解AIE现象，探索其产生的机理。

AIE作为一种由中国科学家首先提出并被世界所公认的前沿科学理论，为化学学科思政教育提供了一个极佳的载体<sup>[2-4]</sup>。该实验开设5年来，经过不断的改进和完善，形成了具有代表性的实验教学课程思政案例<sup>[5-7]</sup>。本案例将AIE的发现、发展过程融入实验教学，引导学生思考AIE现象发现与发展过程中体现的辩证唯物主义思维，并领悟其内涵的爱国情怀和科学精神。同时，通过半开放的实验设计，激发学生科研兴趣，培养其深入思考的习惯和勇于探索的科研素养，从而将价值观塑造、知识传授与能力培养相融合，全面体现了“提升人才培养质量”的目标。

## 2 课程思政案例的设计与实施

### 2.1 案例的导入

荧光材料在化学传感、光电器件、生物成像等领域有广泛应用。然而，传统有机荧光分子虽能在溶液中表现出良好的荧光性能，但在固态下却难以避免发生聚集诱导淬灭(ACQ)，这严重限制了其在平板显示器、太阳能电池等固态材料和水相主导的生物体内的应用<sup>[8]</sup>。数百年来，人们普遍认为ACQ效应是自然界广泛存在的、无法避免的现象，鲜有人从这一现象产生的根源着手，探索解决这一问题的方案。2001年，中国科学家唐本忠院士带领其科研团队发现了一类与传统ACQ分子不同的新型荧光分子——聚集诱导发光分子，从根本上颠覆了传统观念认为的聚集体形成不利于物质发射荧光的观点<sup>[9]</sup>。此观点一经提出，便引起了科学界的广泛关注和讨论，从最初的受到质疑到现在的广泛接受，AIE理论经历了20余年的漫长发展。在这20余年间，以唐本忠院士为代表的广大中国科学家以严谨求实、坚忍不拔的科研态度，聚焦“分子发光的基本原理”和“提高AIE材料综合性能”这两个根本问题，通过大量的材料合成、性能检测、理论模拟等实验，不断地开拓创新，极大丰富了AIE理论的内涵。如今，AIE材料在光电器件、化学传感、临床诊疗、生物抗菌等领域中表现出了独特的优越性，有望突破我国在相关领域的技术瓶颈<sup>[8]</sup>。例如，中国显示面板行业目前所用的高端有机发光二极管(OLED)材料主要由外国企业供应，我国研究者已使用AIE材料组装出高转化效率的OLED器件，推进了新型超高清屏幕的研发<sup>[10]</sup>。

从AIE的发现与发展过程入手，由教师设计并提出以下问题，引导学生在课前通过自主查阅资料，自主掌握AIE的原理、发展历程和研究现状。

问题一：传统有机荧光分子有哪些优势和不足？AIE材料为什么可以克服这些不足？

问题二：AIE材料的发现与发展过程？

问题三：AIE材料在哪些领域有潜在的应用？在光电器件和医疗健康领域的应用前景是什么？

问题四：改变AIE材料的合成条件对荧光性能可能有什么影响？

问题五：将AIE材料分散在溶剂中，溶剂的性质(极性、粘度等)对AIE材料的荧光性能有什么影响？

通过这些问题，提升学生的学习兴趣，激发实验热情，引导学生深刻领会中国科研工作者的创新精神和使命担当，体会前沿科技发展对国家经济和人民医疗健康的重要性，坚定服务国家发展的信念。

## 2.2 实验的基础内容

通过Reimer-Tiemann反应得到水杨醛(图1), 将其与4-*N,N*-二甲氨基苯胺进一步反应, 得到水杨醛席夫碱分子(4-*N,N*-dimethylaminoaniline salicylaldehyde, DAS), 并观察DAS的AIE性能<sup>[1,5]</sup>。具体地, 在烧瓶中加入氢氧化钠、水和苯酚, 搅拌下滴加氯仿。滴加完毕后加热回流, 使苯酚和氯仿在碱性条件下反应生成水杨醛和对羟基苯甲醛的混合物, 用水蒸气蒸馏出过量的氯仿。待体系冷却后, 酸化溶液至弱酸性, 进一步水蒸气蒸馏直至无油状物蒸出, 得到含有水杨醛的混合液体。使用NaHSO<sub>3</sub>与水杨醛形成加合物, 对水杨醛进行提纯。随后, 将水杨醛加入4-*N,N*-二甲氨基苯胺的乙醇溶液中, 搅拌回流后自然冷却至室温, 过滤、洗涤后即得橙黄色的DAS分子。通过对比DAS分子和经典荧光分子在聚集态和分散态下的发光特性, 了解AIE荧光分子和ACQ荧光分子的不同性质。进一步地, 将DAS分子分别溶解于高粘度的甘油和低粘度的二氯甲烷中, 比较二者荧光强度, 验证DAS分子的发光行为是否由分子内旋转受限所导致。

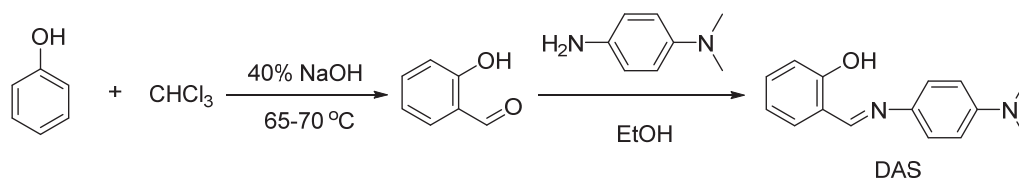


图1 实验中涉及的合成反应

## 2.3 半开放式的实验创新设计

将经典的Reimer-Tiemann反应和DAS合成反应中的关键实验步骤进行分解, 设计两个实验方案供学生选择和设计, 形成一个半开放的综合创新实验, 引入探究式学习的理念, 加强学生的主体参与和相互交流。方案一, 纯化水杨醛, 再将其与4-*N,N*-二甲氨基苯胺进行反应, 观察所得产物的AIE性能; 方案二, 使用水蒸气蒸馏出的含杂质的水杨醛和水的混合液直接与4-*N,N*-二甲氨基苯胺进行反应, 观察所得产物的AIE性能。无论方案一或二, 均可以得到具有AIE性能的DAS分子。不同的是, 方案二所得DAS分子堆叠时会受到反应体系中大量水分子的影响, 所得的聚集态产物的荧光颜色与方案一所得产物不同。另外, 方案二省去了复杂的纯化过程, 在大规模的生产中更符合绿色化学的要求。在此步骤中, 学生可以提升辩证思考的能力, 根据实验目的和应用场景进行方案的设计优化。进一步地, 将DAS分子分散于不同粘度的溶剂中, 观测溶剂粘度对荧光行为的影响。学生结合不同溶剂下的荧光行为, 分析荧光性质的差异, 思考其中原因。

根据课前的预习和教师的指导, 学生按照自己的认识和理解来设计具体的实验方案, 增强自主学习的能力, 并讲述方案选择所基于的考虑。合成结束后, 计算所得产物的收率, 观测并对比所得DAS分子和经典荧光分子罗丹明6G在分散态和聚集态下的发光特性。实验结束后, 根据本小组所得DAS分子的收率、聚集态下的荧光强度和荧光颜色, 对比不同方案之间的差异性, 小组间进行讨论总结。教师引导学生思考, 培养学生基于实验目的来设计实验方案的能力, 提升其辩证思考能力和综合科研素养。教师对整个过程进行点评。

## 2.4 案例的实施

学生根据课前设置的问题, 通过学习实验平台提供的与AIE相关的新闻报道、文献和视频等资源, 自主掌握AIE的原理、发展历程和研究现状。利用国人在该领域的引领优势来提升学生的民族自尊心和自豪感, 激发学习兴趣, 了解AIE对我国科技发展和民生健康的重要性, 体会科学研究“面向国家重大需求, 服务国家发展”的重要使命。以2-3人的小组为单位, 进行讨论, 并形成报告。实验课前各小组间对相关问题进行沟通, 互相提问, 教师进行总结和点评, 针对重点部分进行提醒, 提升预习效果。对学生进行课堂提问, 引导其在了解相关背景知识的基础上进行思考, 培养学生“见

人所未见，思人所未思”的科研理念和量变引发质变的哲学思想。设置的课堂问题有：(1) 乔治·斯托克斯(George Stokes)在1853年的一篇文章中写道，一些无机氰化铂盐在固态时“发光”，但它们的溶液看起来不发光。为什么之前观测到反常聚集发光现象的研究者没有提出AIE理论？(2) AIE聚集体作为一个整体不只是个体分子的线性组合，前者的行为或性质并非是后者的简单外推，体现了什么样的马克思主义哲学思想？教师对学生拓展学习的情况和研讨的深入程度评分。

在充分预习并研讨的基础上，依托实验安全培训手册和教学录像等学习材料，掌握AIE的实验合成操作，明确实验的关键点和安全注意事项，使学生在实验中能够规范地完成各项操作，压缩课堂的讲解时间，确保实验安全，提高实验成功率和效率。课堂上，学生根据自己的理解和实验目的，讨论后选择所属小组的实验方案，以实验过程为载体，充分发挥学生的自主学习能力和自主探究能力。督促各小组独立选择，避免完全一致。每小组2人，5-7组学生同时进行实验。在独立完成AIE材料合成的基础上，各组同学可共同观测不同组别的AIE性能，并分享、对比各组的产物收率、荧光颜色、荧光强度等实验结果，培养学生的团队合作意识和协作理念。

实验结束后，各实验组一同进行交流研讨，根据该次实验中不同小组的实验结果，参考之前课程中实验小组的数据，分析并讨论不同实验方案对实验结果造成的影响，并进行归纳总结，增加实验的研究属性。在理解各步骤意义的基础上，尝试回答所设置的问题，深入感受以目的需求为导向的实验优化过程。引导学生独立思考每个实验步骤和参数背后的意义，培养研究思维，注重思考和实践的深度。

## 2.5 课后拓展

课后，学生在实验记录的基础上，得出实验结论，回答所设置的思考题，并提交实验报告。同时，要求学生在课后进行AIE最新研究进展的调研，对比国内和国外的AIE进展情况，了解我国在AIE研究领域的引领作用，激发学生的国家荣誉感；了解AIE在光电器件和医疗成像等领域的应用对我国发展的重要性，例如，AIE研究有可能实现我国在OLED屏幕技术上的弯道超车，激发学生服务国家发展的热情。通过调研过程帮助学生理解基础研究应以社会需求为导向，同学们作为基础学科的研究人才，须尽力瞄准国家战略需求，开展科学研究工作。线上撰写小组调研报告。教师批改纸质的实验报告和线上小组调研报告，对学生的素质和能力进行综合评价。选取部分优秀的实验报告和调研报告发布在学生课程微信群等社交媒体上，以期对做该实验或同类型其他实验的学生有所启发。

## 3 实施建议与效果考核

教师通过对小组讨论、实验表现、实验报告、调研报告等形式所体现的素质和能力进行评估，采用多样化考核手段，对课程思政教育目标的达成情况和学生综合素质的提升情况进行考核(表1)。该实验项目开设五年以来，累计有超过600名郑州大学化学专业三年级本科生参与了实验的学习。在教师预做实验的前提下，学生能够比较顺利地顺利完成半开放式实验的相关操作。学生在整个过程中均能保持较高的学习和探索热情，锻炼了实验操作并掌握了相关的理论知识，提升了科学思维能力和综合素养。大部分学生能认真地完成研讨过程、实验报告和小组调研报告。学生对AIE产生浓厚兴趣，关心AIE的研究近况和实际用途，关心AIE相关的光电器件和生物诊疗等国家重要领域的最新进展，达到了较好的思政教育目标。

该实验项目对学生的引导作用已经陆续显现，受到该实验项目的影响，超过30名本科生在自己的毕业设计环节中选择了AIE相关研究方向，取得了丰富的成果，先后参与发表了多篇高水平AIE科研论文<sup>[11-15]</sup>。此外，多名本科生以AIE为载体，开发了不同的实验作品，申请了多项相关专利，参加“全国大学生化学创新实验设计大赛”、“挑战杯”等竞赛活动取得了优异的成绩<sup>[16-18]</sup>。此外，还有多名本科生在研究生阶段，选择AIE研究相关课题组继续深造。

表1 课程思政教学目标达成度的考核设计

课程思政教学目标	考核形式	考核标准
科学素养：分工协作、团队精神、深入思考、实事求是	研讨和实验过程中打分；实验报告	操作熟练；记录规范；能够分析和解决实验中出现的问题；能够正确地解释实验现象，进行研讨，回答思考题目
关心国家：关心国家科技发展和应用需求	研讨过程打分；课后小组调研报告	能够了解目前我国在AIE领域的发展近况，体会科技发展对国家的重要性
服务社会：面向社会需求，AIE材料的应用前景	研讨过程打分；课后小组调研报告	能够说明AIE在社会各方面的用途，阐述其相比现有技术所具有的优越性

#### 4 结语

本实验课程思政案例以培养科研思维、科学精神和爱国情操为出发点，对水杨醛席夫碱的合成与AIE性能研究实验进行了改进。将AIE现象的研究与国家科技发展、社会需求相联系，凸显我国在AIE研究领域的引领作用，明确AIE在新一代光电器件等领域的重要应用前景，提升学生的自豪感和责任感；将实验内容半开放化，引导学生思考实验方案背后的意义，设计自己的实验过程，加强思考和实践的深度，培养科学思辨能力。该课程思政内涵丰富、教学效果理想，具有良好的推广应用价值。

#### 参 考 文 献

- [1] 李恺, 李媛媛, 臧双全, 唐本忠. 化学教育, **2017**, *38* (22), 38.
- [2] 何亚珂, 张思怡, 黎雅珊, 何本钊. 大学化学, **2023**, *38* (4), 134.
- [3] 何田, 顾峥烨, 尹守春. 大学化学, **2019**, *34* (1), 48.
- [4] 颜红侠, 张运生, 何嫣赞, 王艳丽, 闫毅. 化学教育, **2023**, *44* (4), 41.
- [5] 李恺, 卢会杰, 李媛媛, 臧双全, 唐本忠. 大学化学, **2020**, *35* (1), 53.
- [6] 李恺, 何占航, 张宗培, 臧双全. 化学教育, **2020**, *41* (22), 29.
- [7] 李恺, 何占航, 李中军, 臧双全. 大学化学, **2021**, *36* (3), 257.
- [8] Zhao, Z.; Zhang, H.; Lam, J. W. Y.; Tang, B. Z. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2020**, *59* (25), 9888.
- [9] Luo, J.; Xie, Z.; Lam, J. W.; Cheng, L.; Chen, H.; Qiu, C.; Kwok, H. S.; Zhan, X.; Liu, Y.; Zhu, D.; et al. *Chem. Commun.* **2001**, No. 18, 1740.
- [10] 韩鹏博, 徐赫, 安众福, 蔡哲毅, 蔡政旭, 巢晖, 陈彪, 陈明, 陈禹, 池振国, 等. 化学进展, **2022**, *34* (1), 1.
- [11] Peng, Q. C.; Luo, X. M.; Qin, Y. J.; Wang, T.; Bai, B.; Wei, X. L.; Li, K.; Zang, S. Q. *CCS Chem.* **2022**, *4* (12), 3686.
- [12] 汪婷, 李天浩, 张雨, 魏禧龙, 白冰, 刘园园, 李恺, 臧双全. 发光学报, **2021**, *42* (3), 303.
- [13] Xing, C.; Liu, J. X.; Chen, F.; Li, Y. Y.; Lv, C. J.; Peng, Q. C.; Hou, H. W.; Li, K. *Chem. Commun.* **2020**, *56* (30), 4220.
- [14] Qing, Y. J.; Peng, Q. C.; Chen, F.; Liu, Y. Y.; Li, K.; Zang, S. Q. *Chem. Res. Chin. Univ.* **2021**, *37*, 123.
- [15] Peng, Q.; Yang, L.; Li, Y.; Zhang, Y.; Li, T.; Qin, Y.; Song, Y.; Hou, H.; Li, K. *J. Phys. Chem. C* **2020**, *124* (41), 22684.
- [16] 曾芑誉, 白冰, 兰佳琦, 刘园园, 张宗培, 李恺. 大学化学, **2023**, *38* (4), 207.
- [17] 李恺, 张雨, 白冰, 魏禧龙, 李天浩, 汪婷. 斜底多口烧瓶: 中国, ZL 2021 2 0437062.4[P]. 2021-11-05.
- [18] 李恺, 刘园园, 李媛媛, 汪婷, 彭秋晨. 一类双吡啶大环化合物、制备方法及其在构筑荧光粉中的应用: 中国, ZL 2021 1 1653474.2[P]. 2023-02-24.