DOI:10.19789/j.1004-9398.2023.01.011
文献引用:彭浩南,李红.科学前沿在非化学化工专业普通化学实验课程改革初探:以光催化技术为例[J].首都师范大学学报(自然科学版),2023,44(1):75-80. PENG H N,LI H. Preliminary study on introducing science frontier into the reform of general chemistry experiment for non-chemistry and non-chemical engineering majors:taking the photocatalysis as the example[J]. Journal of Capital Normal University(Natural Science Edition),2023,44(1):75-80.

科学前沿在非化学化工专业普通化学实验课程改革初探:以光催化技术为例*

彭浩南[1**]，李　红[2]

(1. 陕西师范大学化学化工学院，应用表面与胶体化学教育部重点实验室，陕西 西安　710119；
2. 西安石油大学化学化工学院，陕西 西安　710065)

摘要:为了提高高等院校非化学化工类专业学生学习普通化学课程的效果,本文以光催化技术教学实验为例,尝试将前沿科学研究内容引入到普通化学实验中。以授课教师所在课题组新研发的WO_3纳米材料为例,在光催化作用下,引导学生将其应用于降解刚果红实验,并从教学设计、实验设计和教学效果等方面对该实验进行分析。实现通过科学前沿实验拓展学生的科学视野,激发学生的求知欲和探索欲。

关键词:普通化学实验;科学前沿;WO_3;光催化;教学改革
中图分类号:G642.0;G633.8　　**文献标识码**:A

Preliminary study on introducing science frontier into the reform of general chemistry experiment for non-chemistry and non-chemical engineering majors:taking the photocatalysis as the example*

PENG Haonan[1**]，LI Hong[2]

(1. Key Laboratory of Applied Surface and Colloid Chemistry of Ministry of Education, School of Chemistry and Chemical Engineering，Shaanxi Normal University，Xi'an Shaanxi　710119；2. College of Chemistry and Chemical Engineering, Xi'an Shiyou University，Xi'an Shaanxi　710065)

Abstract: In order to improve the teaching effect of the students of non-chemistry and non-chemical engineering majors in colleges and universities in learning general chemistry courses, this article introduces new scientific research content of the photocatalysis into general chemistry experiments. Taking the example of the lab-prepared WO_3 nanoparticles as the example, the students will conduct the experiment of photocatalytic degradation of Congo red, and discusses the experiment mainly from the aspects of the teaching design, experimental design, and teaching effect, to expand students' scientific

收稿日期:2022-02-21
* 国家自然科学基金项目(21972084)
** 通信作者:phn@snnu.edu.cn

horizons, and stimulate students' thirst for knowledge and desire for exploration through the scientific frontier experiment.

Keywords: general chemistry experiments; scientific frontier; WO_3; photocatalysis; teaching reform
CLC: G642.0; G633.8 **DC**: A

0 引 言

当今社会,化学学科发展迅猛,科学研究前沿日新月异。化学学科创新发展的基础和源泉在于化学实验,因此,化学实验的教学在整个学科教学过程中具有重要作用。化学是一门具有实践性的实验学科,也是材料学、农学、地质学和医学等专业的基础学科。因此,化学学科在整个人才培养过程中具有非常重要的地位。普通化学是一门高等院校理工科非化学化工类专业的必修基础课程,也是培养"基础扎实、知识面宽、能力强、素质高"的高级工程人才所必需的素质教育课程[1-2]。并且,其与各类理工科专业课紧密相关,是一门由基础课向专业课过渡的重要桥梁课程[3]。该课程主要包括物质结构及性质、化学热力学与动力学等化学反应的基本原理、水溶液化学和电化学等内容,辅助化学实验教学,目标在于使学生了解并掌握现代化学的基本理论、基本知识和基本技能。一方面,本课程涉及的概念多、公式多和内容多,使得课时少与其冲突凸显[4];另一方面,非化学化工类专业的学生化学基础知识储备参差不齐,加大了课程的教学难度。这些因素造成普通化学的授课进展困难和场面尴尬,学生严重缺乏学习兴趣和学习主动性[5-6]。因此,如何提高学生尤其是非化学化工类专业学生的学习兴趣,进而提升教学效果,是广大授课教师需要思考的一个重要问题[7-9]。

目前已有部分高校进行了很多针对化学专业的基础化学实验改革,如:周德志等[7]利用网络学习平台,进行线上、线下混合式教学,通过学生自主探究实施"学生中心"的普通化学实验教学模式;曹占奇等[9]针对农林类高校的农科类专业的普通化学课程,从教学模式和评价模式等方面进行了改革尝试;沈晓静和周红[10]从改变学生学习态度和创新考核方式等角度进行了普通化学实验教学改革的探索;宋小利和高立国[11]根据油气储运专业学生的特点,调整普通化学实验课程的教学内容、发挥学生的主体作用和改革实验考核方法,取得了较好的教学成效。然而,很少有将科学前沿的改革应用于非化学化工专业的普通化学实验课程中的案例。目前,普通化学实验存在与材料、能源和环境等专业相关的实验缺乏,内容更新迭代较少,验证性实验较多,设计性实验较少,实验仪器老旧,无法准确地反映化学学科的发展现状及学科前沿内容,不利于培养大学生的创新能力。常规授课流程为:教师讲解实验目的、实验原理、实验步骤及实验数据处理的流程,学生按照教师指导的步骤完成实验,这种授课模式极大地抑制了学生学习的主动性和探索性,无法激起学生学习普通化学课程的热情[12-14]。为了改善现有教学现状,当前迫切需要在传统普通化学实验的基础上,增加紧跟学科前沿研究方向、与生产和生活实际相贴近的、基于现代大型分析仪器的新颖普通化学实验课程内容[15]。催化剂和氧化物的性质等内容是普通化学课程的重点内容,目前并没有针对这些基本理论的实验教学内容。为了填补这一空白,完善普通化学实验课程,本文尝试在普通化学实验课程有关光催化技术内容方面进行教学改革。

1 教学设计

1.1 教学内容

光催化技术是一种新型的高效清洁技术,其能够利用太阳能将有机污染物降解为水和CO_2等小分子物质,此类反应具有反应条件温和、节能和无二次污染等特征[16-18],而发展光催化技术的关键在于设计与合成高效的光催化剂材料。常用光催化剂材料主要有TiO_2、WO_3、ZnO、ZrO_2和CdS等。其中,WO_3是一种重要的N型半导体材料,带隙宽度为2.4~2.7 eV,与TiO_2相比,其带隙宽度约窄0.6 eV,电子更容易由价带被激发到导带,本征载流子浓度高,电导率高。WO_3还具有光电流信号强、光敏性好等特点,使其在光催化降解污染物领域展示出较大的应用前景[19-22]。因此,本文从普通化学课程中的催化剂、氧化物的性质等知识点切入,引入WO_3纳米粒子光催化降解典型有机染料分子刚果红为例,进行科学前沿在实验课程应用的研究,以期提高学生学习课程的内驱力,提升课程教学效果。

1.2　教学安排

本实验项目在2019—2021级本科一年级学生中试行开展3年。其属于普通化学课程实验课,总课时为40学时,理论授课32学时,实验实践8学时,本实验时间为4学时。以WO_3纳米粒子进行刚果红含量的鉴定与分析实验的教学设计流程如图1所示。本实验采用启发式、开放式的教学方法,以学生自主研究和探索为教学中心。实验前,要求学生查阅文献和书籍了解光催化技术发展现状和WO_3纳米材料的最新研究进展,重点掌握WO_3纳米粒子光催化降解有机染料的基本原理,了解依据朗伯-比尔定律,梳理紫外-可见光分光光度计的测定原理,初步设计实验过程。学生以小组为单位协作进行实验探索,按照3~4人/组,确定实验方案,实验操作、讨论和撰写实验报告等。根据朗伯-比尔定律,在吸收层厚度一定的前提下,物质的吸光度与其浓度成正比。因此可得刚果红溶液吸光度随浓度变化的标准曲线。在光催化实验中,除了观察溶液颜色的变化外,主要使用紫外-可见光分光光度计进行定量测量。根据标准曲线计算各反应液的浓度和降解率,即可绘制降解率曲线。

1.3　教学考核

采取形成性评价办法,对学生的学习态度、安全和绿色化学理念、团队精神、诚信意识和创新精神等5个方面进行评价。学习态度的考核包括课前预习情况,实验过程中的参与程度,如实验现象观察与记录、仪器设备调试等情况;安全和绿色化学理念主要侧重实验操作规范方面的考察,如有无违规操作、倾倒废液、回收与丢弃药品等;团队精神重点关注实验过程中学生参与小组内协同分工、问题讨论及汇报等情况;诚信意识主要侧重数据是否属实、独立完成报告等方面;创新精神考察学生在整个实验过程中积极参与讨论,善于提出并发现问题,引导小组推进实验等。综合考虑学生课内课外的学习情况,最终成绩由预习、操作、报告以及实验素养4个模块组成,成绩所占比例分别为10%、40%、40%和10%。统计学生实验完成情况、分析平均得分。

2　实验设计

2.1　实验试剂

本实验所使用的WO_3纳米粒子是本课题组创

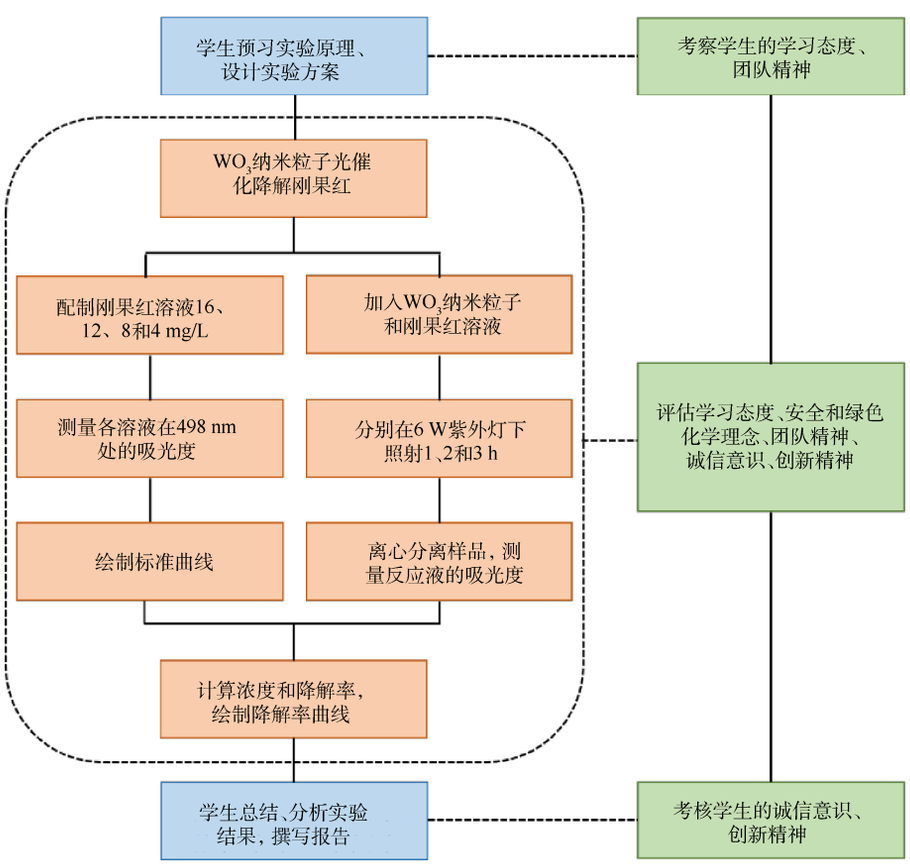


图1　教学设计流程

新性地使用多巴胺与典型的杂多酸分子磷钨酸为构筑基元在实验室自制得到[23],二者通过静电吸引和氢键等超分子相互作用组装形成花状分级纳米结构,通过进一步在氧气条件下600 ℃高温煅烧2 h制备得到黄色的WO_3纳米材料。WO_3纳米材料扫描电子显微镜图像如图2所示,其维持了花状分级纳米结构的整体形貌,高倍下观察可以观察到其表面光滑、直径约为30 nm、尺寸分布均匀。刚果红购自科密欧化学试剂有限公司,实验用水均为超纯水。

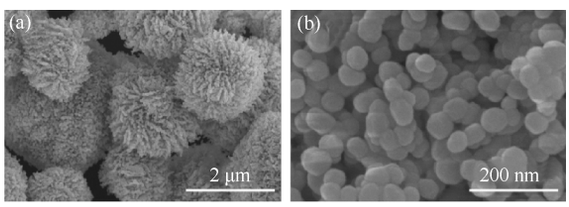


图2　WO_3纳米粒子扫描电子显微镜图像

2.2　实验仪器

使用长沙英泰仪器有限公司生产的TG16型高速离心机进行样品离心处理,离心速度10 000 r/min、离心时间10 min;使用日本岛津公司生产的UV-2600型号紫外-可见光分光光度计测量溶液的吸光度,最大吸收波长498 nm;使用上海嘉鹏科技有限公司生产的WFH-203B型暗箱式三用紫外分析仪进行光催化实验,灯泡强度是6 W,波长254 nm,距液面照射距离为10 cm;使用德国赛多利斯公司生产的BSA2245型号分析天平称量样品,称量精度0.1 mg;使用海门市其林贝尔公司生产的VORTEX-5型号振荡器进行混合操作,震荡频率1 000 r/min。此外,实验还需准备烧杯、量筒、石英比色皿、移液枪和5 mL离心管等。

2.3　绘制标准曲线

配置20 mg/L的刚果红溶液作为储备液。取一定体积的储备液逐级稀释至16、12、8和4 mg/L,作为标准溶液。选择超纯水作为参比溶液,采用紫外-可见光分光度计测量各标准溶液的吸光度,绘制标准曲线。

2.4　WO_3纳米粒子光催化降解刚果红

(1)取一定体积的上述20 mg/L的刚果红储备液,稀释至20 mL 10 mg/L刚果红溶液;(2)在4支石英比色皿中,分别加入3 mL刚果红溶液和5 mg WO_3纳米粒子,混合均匀;(3)将混合液置于光催化反应的暗箱中30 min,之后紫外灯照射,光照时间分别为0、1、2和3 h;(4)将样品转入离心管中离心,取上清液分别置于5 mL离心管中,采用紫外-可见光分光光度计分别测量溶液的吸光度。

2.5　刚果红浓度的定量测定

记录上述4个样品的吸光度,带入标准曲线中计算样品的质量浓度,得到刚果红溶液的降解率(D_t),绘制降解率随时间变化的曲线。降解率计算公式为

$$D_t = [(\rho_0 - \rho_t)/\rho_0] \times 100\%, \quad (1)$$

式中:ρ_0和ρ_t分别为初始和光照t h时刚果红的质量浓度。

2.6　数据处理

采用Excel或Origin软件进行标准曲线和降解率随时间变化曲线的绘制。

3　教学效果

3.1　实验结果及分析

“TiO_2光催化降解甲基橙”是化学化工类专业典型的基础实验之一,已有文献对TiO_2的合成方法及实验装置进行一定的优化设计与改良,从而提高TiO_2的纯度、尺寸分布、分散性并缩短实验时间。尽管如此,TiO_2仍然存在催化效率低、难以回收等缺点[24]。为了将光催化等化学科学前沿的研究成果引入到普通化学的实验教学中,本文以WO_3纳米粒子为主要原料,对经典实验进行改进。

本实验的重点在于刚果红溶液标准曲线的绘制以及WO_3纳米粒子光催化降解刚果红,难点在于光催化降解的实验操作以及绘图软件的学习与使用。该实验的开展,有利于培养学生精准掌握一定浓度化学溶液的配置、光催化降解操作等基本实验技能;从颜色的变化即可观察到实验现象,并且与紫外可见光吸收具有对应关系,有利于提高学生对化学知识的学习兴趣;此外,还培养了学生化学实验的基本绘图和计算能力。由于课时有限,考虑到学生专业为非化学化工类专业,因此,实验所用WO_3纳米粒子由教师提前准备,一方面降低了学生实验的难度,确保了在较少的实验课时下有效地完成实验;另一方面增加了前沿科学实验在基础实验的普及度。

刚果红样品的紫外-可见光吸收标准曲线、不同反应时间样品的颜色变化情况和降解率随时间变化曲线如图3所示。刚果红溶液吸光度随质量浓度变化表现出相当高的线性关系,R^2=0.998 9;随着降

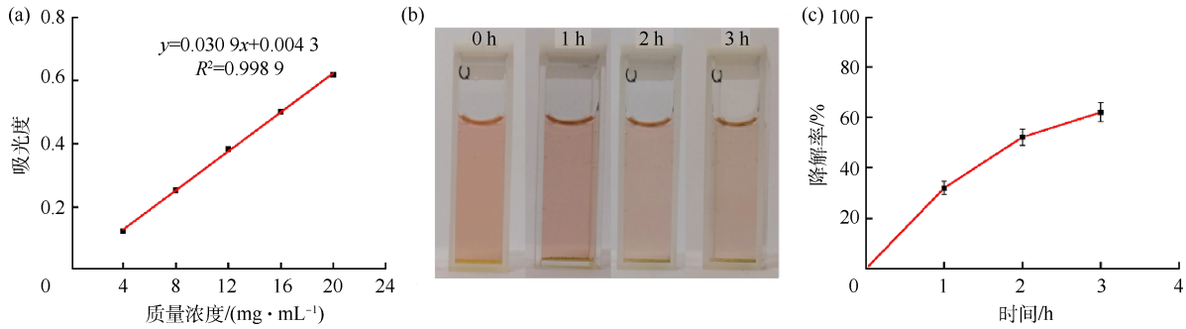


图 3　刚果红溶液降解实验现象

(a)标准刚果红溶液吸收曲线;(b)不同反应时间样品的颜色变化;(c)降解率随时间变化趋势

解时间的延长,刚果红溶液颜色越来越浅;刚果红溶液的降解率随时间的延长而逐渐增加。

此外,本实验也适合于对专业程度要求较高的物理化学或综合实验等课程,届时可增加 2 学时,或将小组人数减少甚至个人开展实验,将 WO_3 纳米粒子的制备过程纳入到实验环节中,加深学生对该实验及相关化学原理的认知。

3.2　考核结果

学生成绩考核是教学效果评价中的重要环节,具有导向、规范、激励等作用。本实验评价采取形成性评价办法,结合主观定性评价与客观定量评价,引导学生运用所学理论知识发现和解决实际问题。在实验教学的各个环节中,注重对学生的 5 个方面进行评价。学生实验成功率 > 95%,即绝大多数学生均能完成整个实验;实验平均得分为 89 分,与做常规普通化学实验的平行班 10 个班(78 分)相比,平均得分提高了 14%,取得了较为理想的教学效果。

本实验采用启发式、开放式的教学方法,具有研究和探索性质,学生积极性比其他同类实验明显提高。在实验过程中,学生能够实现团队协作式的主动学习、自主探索、分析讨论、评判实验结果和提出实验的改良方案等。以学生为中心的教学模式,教师是学习过程的辅助者和引导者,实现了师生之间关系的平等与和谐,教学氛围轻松有趣,提高了学生的责任感和使命感,进而实现了教学相长。课程面向大一学生,增加了学生之间的相互了解,为其更好地适应大学生活打下良好基础。以小组合作的方式,学生相互协作完成实验,培养了学生之间的团队协作能力,这对今后的学习、团队精神的深层次培养具有重要意义。本实验与生产实际中的环境污染问题紧密相连,有助于提高学生对理论知识的学习兴趣;提升学生化学实验技能,培养其独立分析、解决问题的能力。

4　结束语

本文将光催化的纳米科技科学前沿实验引入到普通化学实验课程中,在确保学生掌握相关仪器测量原理和操作方法的同时,增加了化学实验的趣味性、缓解了实验课时少的矛盾、提升了实验的成功率。通过启发式教学,学生积极性比其他同类实验明显提高,学生实验成功率和平均得分均有所提升,且学习效果良好。此外,本实验还有很多可以拓展的空间,如:在现有教学设计基础上,对不同专业学生设计不同难度的实验要求;分组实验,将 WO_3 纳米粒子应用于多种染料,比较光催化效果;改性修饰 WO_3 纳米粒子,改善其光催化性能等。未来,将根据学生专业、实验室条件的不同因材施教,灵活调整实验设计和难度。

参 考 文 献

[1] 何名芳,周德志,曹小华,等.“以学生为中心”的普通化学课程教学模式探索与实践[J].化学教育(中英文),2020,41(16):24-28.

[2] 顾雪凡,魏君,苏碧云,等.《普通化学》授课教师信息化教学技能培养研究[J].中国教育信息化,2019(24):77-79.

[3] 孙丹,胡兵,聂龙辉,等.工科院校普通化学课程教学改革初探[J].广州化工,2018,46(5):159-160.

[4] 衡利苹,王祖彬.普通化学教学改革与探索[J].大学化学,2017,32(2):29-32.

[5] 陈文瑾.《普通化学》探究式小班教学改革探索与思考[J].教育教学论坛,2019(8):106-107.

[6] 李雪梅,李爱霞,孙友敏.“成果为本”教学法在“普通化学”教学中的应用与思考[J].中国建设教育,2017(6):8-17.

[7] 周德志,何名芳,曹小华,等.普通化学实验“学生中心”教学模式改革与探索[J].大学化学,2021,36(1):

129-135.
[8] 党君.普通化学教学改革的几点体会[J].广州化工,2019,47(10):169-170.
[9] 曹占奇,孟磊,谢黎霞,等.农林类高校普通化学教学改革实践与探索:以河南农业大学为例[J].大学教育,2021(5):96-98.
[10] 沈晓静,周红.改革普通化学实验教学切实提高学生实践创新能力[J].化工管理,2016(3):73-84.
[11] 宋小利,高立国.油气储运专业普通化学实验的教学改革与实践[J].广州化工,2015,43(18):187-188.
[12] 蒋赟.关于"基础型-设计型-创新型"分析化学实验教学模式的研究[J].发明与创新(职业教育),2020(11):53-54.
[13] 李秋艳,王晓军,朱倩,等.物理化学实验翻转课堂教学模式的设计及实践[J].大学化学,2021,36(7):94-100.
[14] 王君,冯熙云,母伟花.物理化学综合设计型实验初探:纳米Ag的制备及表征[J].广州化工,2020,48(24):146-148.
[15] 王涛,薛探龙,王志华.应用化学专业综合实验设计:光电子转移可行性判断[J].化学教育,2020,41(22):54-57.
[16] 李龙飞,杜芳林.WO_3/g-C_3N_4异质光催化剂的合成及其对染料废水的降解[J].青岛科技大学学报(自然科学版),2020,41(2):35-42.
[17] 施东臣,沈宗昆,郑军亮,等.WO_3/TiO_2降解亚甲基蓝的光催化性能研究[J].辽宁化工,2019,48(7):615-617.
[18] 蒲文杰.氧化钨基光催化剂的设计及性能研究[D].镇江:江苏大学,2020:1-56.
[19] 何原子,丁春华,姜宏,等.银修饰WO_{3-x}薄膜的制备及光催化性能的研究[J].化工新型材料,2021,49(5):129-133.
[20] 王川川,温普红,郭晶晶,等.三氧化钨纳米粒子的改性研究进展[J].化学与生物工程,2019,36(6):1-4+39.
[21] 赵红建,徐地红,马富,等.$BiPO_4$的合成及负载WO_3改善其光催化降解罗丹明B[J].应用化工,2020,49(8):1949-1952.
[22] BHUYAN B, PAUL B, DHAR S S, et al. Facile hydrothermal synthesis of ultrasmall $W_{18}O_{49}$ nanoparticles and studies of their photocatalytic activity towards degradation of methylene blue [J]. Materials Chemistry and Physics, 2017, 188: 1-7.
[23] LI H, ZHAO Y Y, YIN C, et al. WO_3 nanocrystal prepared by self-assembly of phosphotungstic acid and dopamine for photocatalytic degradation of Congo red [J]. Colloids and Surfaces A (Physicochemical and Engineering Aspects), 2019, 572: 147-151.
[24] 李彦琴,张洁,王卫,等."双一流"建设背景下科教融合实验教学探索:以TiO_2光催化降解染料废水实验为例[J].大学化学,2021,36(6):150-157.

(责任编辑:王 媛)