

## 中国红! ——基于化学与思政的文化探索

任悦<sup>1</sup>, 朱奕萱<sup>1</sup>, 惠朝晖<sup>2</sup>, 林青青<sup>3</sup>, 张伟<sup>3</sup>, 谢钢<sup>3,\*</sup>, 赵军龙<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> 西北大学医学院, 西安 710069

<sup>2</sup> 陕西科学技术馆, 西安 710004

<sup>3</sup> 西北大学化学与材料科学学院, 化学国家级实验教学示范中心(西北大学), 西安 710127

**摘要:** 以红色物质科普为主线, 以红色浪漫传承为副线, 以红色信仰思政为隐线, 涉及浪漫情怀、历史文化、革命信仰、科技进步、科普实践等元素, 挖掘红色背后蕴含的化学与思政元素, 多层次、多角度展现中国人对“红色”的独特感情。

**关键词:** 中国红; 化学科普; 思政教育

**中图分类号:** G64; O6

## Chinese Red: A Cultural Exploration through Chemistry and Ideology

Yue Ren<sup>1</sup>, Yixuan Zhu<sup>1</sup>, Zhaohui Xi<sup>2</sup>, Qingqing Lin<sup>3</sup>, Wei Zhang<sup>3</sup>, Gang Xie<sup>3,\*</sup>, Junlong Zhao<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> School of Medicine, Northwest University, Xi'an 710069, China.

<sup>2</sup> Shaanxi Science & Technology Museum, Xi'an 710004, China.

<sup>3</sup> National Chemistry Experimental Teaching Demonstration Center, College of Chemistry and Materials Science, Northwest University, Xi'an 710127, China.

**Abstract:** This article intertwines the popularization of red materials, the legacy of red romance, and the ideological and political beliefs associated with red. It delves into elements such as romanticism, historical and cultural narratives, revolutionary ideals, technological advancements, and practices in popularization of science. By uncovering the chemical and ideological dimensions behind the color red, this work presents a multi-dimensional exploration of the unique sentiments of the Chinese people towards “Chinese Red”.

**Key Words:** Chinese Red; Popularization of chemistry; Ideological and political education

在广博的华夏大地上, 赤阳悬空高挂, “燧明国有大树名燧, 屈盘万顷。后有圣人, 游至其国, 有鸟啄树, 粲然火出, 圣人感焉, 因用小枝钻火, 号燧人氏”。赤焰如日, 传递着光芒与热量, 红芒似血, 接受着尊崇与信仰。赤铁矿的发现与使用让信仰得以传承, 红色的氧化铁在石壁上描绘着神人的故事、古人在红陶中诉说着对生活的向往, 华夏文明就此展开, 对红色的信仰也由此绵延传承, 在徐徐展开的历史画卷中熠熠生辉。

### 1 “百年恩爱双心结, 千里姻缘一线牵” ——汉代嫁娶中的中国红

月老的红绳影影绰绰, 系住了一对新人, 促成了一段佳话。汉代都城长安, 一处府邸红花似锦,

收稿: 2024-04-25; 录用: 2024-07-03; 网络发表: 2024-11-01

\*通讯作者, Emails: zhaojunlong327@163.com (赵军龙); xiegang@nwu.edu.cn (谢钢)

基金资助: 国家自然科学基金科学传播类项目(52342312); 西北大学2023年本科人才培养建设项目(XM05232377)

花香氤氲着每一个角落。晨曦下，牡丹与芍药交相辉映，这对儿在《诗经》之中，溱洧之河，牵起男女姻缘的爱情之花，高昂着的花苞微微摇动，祝福着今天这对新人。明艳的红色娇艳欲滴，积蓄已久的花青素初绽风采。作为黄酮类多酚化合物家族之一的花青素(图1)，起始于植物中的苯丙氨酸，在一系列酶的催化下，最终诞生并储存在液泡中<sup>[1]</sup>。作为一种水溶性色素，它的颜色随着液泡中pH的变化而改变，当pH为1.0–2.0时，它便可展现出最清纯可人的红色<sup>[2]</sup>。牡丹之“丹”便是由此而来。

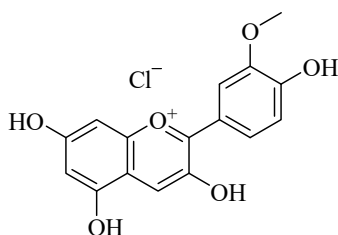


图1 花青素(芍药色素)结构式

今日大喜，府内早早地便开始忙碌，大红灯笼下进进出出的脚步不停。屋内，身着红色嫁衣的待嫁少女，端坐在铜镜前，轻轻地晕开脸上的胭脂，使得婴儿肥的脸颊更显红润，再以口脂轻点朱唇，用石黛浅画双眉。抬眼间，眉目含情，一抹羞匿藏于其中，恰是“桃之夭夭，灼灼其华”般绝代。姑娘所用的口脂，如汉代《释名·释首饰》一书中所言“唇脂，以丹作之，像唇赤也”。“丹”即朱砂，被称为红色之王，其天然形式，比如矿物辰砂(图2)，自古以来便是一种颜料，其中的红色来源于一种名为硫化汞(HgS)的化学物质。朱砂虽然有一定的毒性，但爱美之心人皆有之，自商周时期起，用朱砂点唇的风俗逐渐形成，这种披着美丽外衣的“毒口红”也一直深受女子追捧。当然，朱砂的用处也远不止于此：制药、炼丹、绘画、印章……比比皆是。

妆成着衣，身穿玄纁婚服的身影轻摇裙摆，黑红相间的嫁衣沉淀了少女的稚气，铜镜中的新娘优雅端庄，落落大方。彼时，嫁衣中的红色已不仅来自于茜草(图3)这一种植物<sup>[3]</sup>。随着张骞出使西域，许多奇珍异宝便沿着丝绸之路传入中原，其中便包括一种同样可以染制出红色布料的植物——红花(图4)。



图2 辰砂



图3 茜草



图4 红花

茜草具有绿色叶兼淡黄花，无红的“外表”却能染“红”的奥秘，在于其红黄色根部，其中包含茜素、茜紫素、伪茜紫素等多种色素<sup>[4]</sup>(图5)。它们均为蒽醌衍生物，具有大量的酚羟基，可与织物上的—OH和—COOH等基团在媒染剂的作用下，发生络合反应，从而起到很好的上染效果<sup>[5]</sup>。与之相比，刚“崭露头角”的红花，不仅可以直接染色，而且染出的红色更加鲜艳。红花内含有红花黄色素和红花红色素，它们以红花甙(图6)形式存在。少女身上这件婚服中的红色，便是用了这两种植物作为染料，当真是华丽而不失典雅。

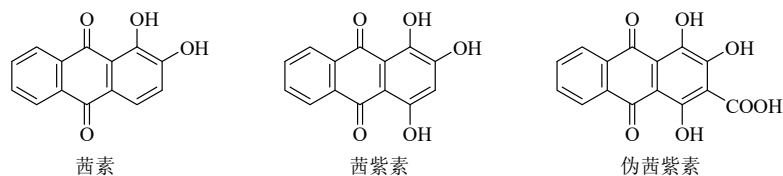


图5 茜草主要色素结构式

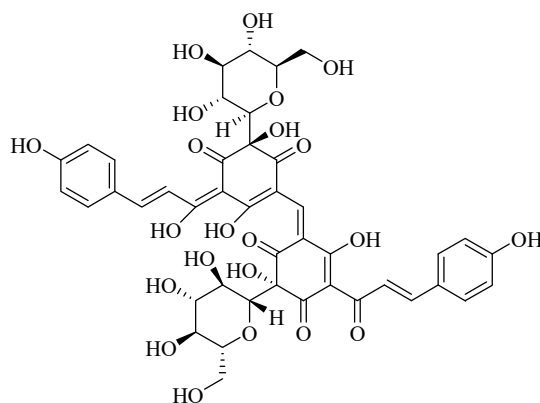


图6 红花甙结构式

迎亲的马车到了门口，女子在母亲的搀扶下走出家门，她回身向父母拜别，在抬头的瞬间，泪如雨下。拜别了父母，她便转头登上了迎亲的马车，她的未来，应是甜蜜且幸福的吧……

## 2 “爆竹声中一岁除，春风送暖入屠苏”——明朝春节中的中国红

大清早，鸡鸣声刚起，孩子们一睁眼便猛得起身，“过年喽，过年喽！”叽叽喳喳的，好不热闹。许是期盼已久的除夕到了，孩子们向长辈讨糖的手伸得毫不客气，一副要将好吃的、好玩的统统拿来的架势。家家户户张灯结彩，大门口，两人正合力贴着大红春联，这项“大工程”必须整整齐齐，往后的一年才能顺顺利利。写春联用的红纸在明代已不是稀有物件，普通纸张经过如红花、茜草等红色染料的浸染，再加之能与其中的水溶性色素形成稳定络合物的媒染剂，如明矾( $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ )、绿矾( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ )、蓝矾( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ )等，便可让春联中那抹“吉祥如意”的红历久弥新<sup>[6]</sup>。

大人们拿出了从集市上买的红腐乳，它不仅红色喜庆，还十分美味，发酵的独特魅力让人醇醉。红腐乳与平常腐乳不同之处在于把红曲米当配料加进了调味汁中，这才使得它显出了这独特的红色。红曲米之所以有此妙用，是因为其中含有一种特殊的天然色素——红曲色素(图7)，它是红曲霉发酵产生的一种类聚酮混合物，除了赋予食物诱人的色泽，它还兼具防腐的效用，与让人闻风丧胆的亚硝酸盐相比，它具有更高的安全性。特殊的特性基团和共轭结构，还使其具有抗氧化、降血脂、降血糖等生物功能，以及改善体内脂、糖代谢、抗氧化、抗炎等作用<sup>[7,8]</sup>。

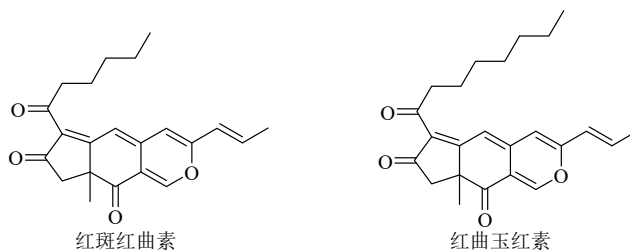


图7 部分红曲色素的结构式

案几上的花馍形态各异，红枣镶嵌在白花花的面里，香脆可口，却不如当中的一点艳红惹眼，这是花馍与红曲霉素如同艺术与科学般的完美交融，是极具意义的“中国红”。妇人虽不明白具体的机理，但也赞叹个中巧思。

团团圆圆的一大家子准备了丰盛的年夜饭，享受着大自然对他们一年来辛勤劳作的馈赠。“新年团圆聚，亲人笑语浓”，幸福洋溢在每个人的脸上。饭后，大家便聚在一起，点燃屋内的火烛，开始了“守岁”这一传统项目，一起等待着迎接新一年的到来。外面，鞭炮声此起彼伏，烟花的绽放将夜空点缀得绚丽多彩。这些烟火背后，是人类对美好未来的憧憬。鞭炮的起源可追溯至唐代，其中的爆炸声带来的惊喜和光芒，象征着新一年的好运与福祉。鞭炮曾被用作驱赶邪兽、祈求福运，也是表达了古人对恶与旧的抵御，对善与新的期盼。鞭炮中的化学原理并不复杂，它主要由火药、纸皮、竹木等组成。当火药受到火焰点燃时，瞬时释放巨大的能量，生成的气体急速扩张，从而产生爆炸声和火花效果<sup>[9]</sup>：



这种声光效果不仅烘托了节日气氛，更承载着人们对美好未来的希冀。明明灭灭，时间流逝的轰鸣；红红火火，新年伊始的风貌。

### 3 “红军不怕远征难，万水千山只等闲。”——中国人心中的中国红

起来！不愿做奴隶的人们！

把我们的血肉，筑成我们新的长城！

入侵的警钟长鸣，国家危难间，无数英勇战士奋勇向前。炮火伴随着硝烟，厮杀合并着呐喊，终于让“红色”在这片土地上取得了胜利。抛头颅，洒热血，浸染国旗满目红。1949年10月1日，第一面五星红旗在北京天安门广场的开国大典上竖起，从此，“红色”遍布中国。

一场红色革命成功了，但另一场“红色革命”刚刚起步。国旗上鲜艳的红色随风飘扬，代表着新生的希望，象征着国家的兴旺，传递着人民努力奋斗的拼搏干劲。遗憾的是，新中国成立之初，百废待兴，化工基础薄弱，染料工业也不例外，当时国内尚没有适合五星红旗的红色染料，还需要从国外进口。在经济与国际形势的双重压力，以及中国人凡事靠自己的信念等多重因素影响下，1950年1月16日，一项任务交到了沈阳化工研究院——研发“国旗红”染料。

“猩红G-色基”是合成染料过程中关键的有机中间体，它本身是黄色晶体，无法单独显色。只有在冰水的环境条件下与棉布上浸过的打底剂耦合后，棉布才会显现出经久不褪的红色。当时没有如今的科研条件，甚至没有自来水、没有化学试剂、没有搅拌器、没有制冷设备、没有高压釜等有机合成实验的必备条件。

没有自来水？他们一桶一桶扛，解决冷凝器用的循环水。

没有化学试剂？他们一点一点提，从各种旧货杂物中去分离提纯。

没有搅拌器？他们一架一架拆，自行车的传动装置就可以搅拌。

没有制冷设备？他们一箱一箱加，不断地搬来冰块来控制实验温度。

没有高压釜？他们一夜一夜熬，硬是根据手里陈旧的资料造出了高压反应设备，哪怕开始只是一个简单的密封铁罐。

终于，色谱准确、牢固度高、耐光热、耐水洗、不褪色的红色染料制成了，属于中国人自己的“国旗红”染料出现了。1952年9月下旬，一面崭新的五星红旗在沈阳化工研究院升起，红色依旧同往常那样鲜艳，但站在红旗下的每一个人都知道，这面红旗是真真正正的“中国红”，象征着一个新的开端<sup>[10]</sup>。

弹指一挥间，此后几十年我国的染料工业高速发展，从无到有，从有到优，已成为当之无愧的世界染料大国，不断创新，追求高产能、高科技、高智能等全方面发展<sup>[11]</sup>。五星红旗的“红色”早已不拘泥于“国旗红”染料，更红更纯正的染料屡见不鲜，技术的进步、设备的精进促使各种各样

的新型化工染料层出不穷，并应用于各个领域<sup>[12]</sup>。

到了21世纪，不断增强的国力已让中国有足够的自信邀请全世界人们来到这片土地一睹风采。2001年7月13日，北京申奥成功，获得承办2008年奥运会的资格。

奥运会举办前一年，由北京奥组委授权的特许奥运藏品“奥运瓷·中国红”作为百年奥运史上首次发行的陶瓷纪念品在首都博物馆正式典藏亮相。通体纯正的“中国红”釉引人注目，却不想这抹“中国红”的出现，经历了多少次的失败，又耗费了多少人的心血？

古代的红釉瓷分为低温红釉瓷和高温红釉瓷，前者以铁(Fe)为着色剂，后者则以氧化铜(CuO)为着色剂，在还原气氛中烧制而成。高温铜红釉的制作困难之处在于铜的显色受多重因素的影响，这个问题在一代代的传承中逐渐被攻克，最后不仅可以稳定地烧制出铜红釉，还研制出诸如郎窑红、豇豆红等多种多样的红釉品种<sup>[13]</sup>。

然而，纵使技艺越发精进，瓷器的红色种类不断丰富，千百年来也未曾有人能成功烧制出纯真正正的大红色。大红瓷器的研发于是成了几代人的愿望。硫硒化镉( $\text{Cd}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})$ )成为瓷器呈现大红色的关键。硫硒化镉也叫做镉红，其工业生产常采用煅烧法、沉淀-煅烧法等。

煅烧法是以碳酸镉、硫和硒为起始原料，直接经煅烧制取镉红(图8)。

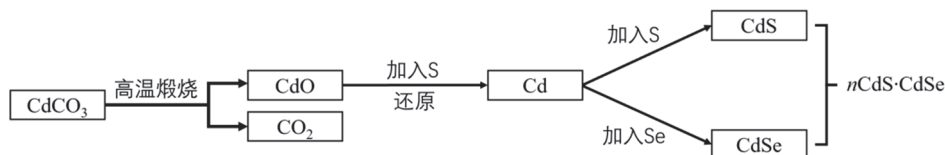


图8 煅烧法生产硫硒化镉流程

沉淀-煅烧法则是先将镉盐(如 $\text{CdCO}_3$ 、 $\text{CdSO}_4$ )与硫化钠( $\text{Na}_2\text{S}$ )和硒化氢( $\text{H}_2\text{Se}$ )溶液反应生成硫硒化镉沉淀，然后将沉淀物于高温煅烧制得镉红。按制造镉红的起始原料不同，沉淀-煅烧法可分为难溶性镉盐法(如碳酸镉法)和易溶性镉盐法(如硫酸镉法)两种。

碳酸镉法是以难溶性的碳酸镉为原料，经沉淀，煅烧后制取镉红(图9)。

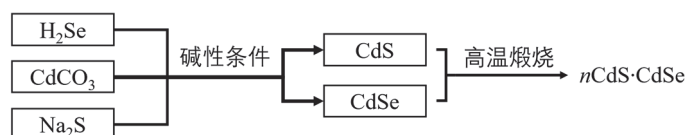


图9 碳酸镉法制取硫硒化镉流程

硫酸镉为可溶性盐，可直接与硫硒化钠反应生成硫化镉(CdS)与硒化镉(CdSe)沉淀。再经煅烧过程制取镉红<sup>[14]</sup>：



烧制陶瓷必须要经历高温入炉，硫硒化镉这个无机物却不耐高温——当温度达到550 °C时，硒元素就会受热分解，与氧气反应生成氧化硒；当温度进一步升高到900 °C时，硫元素也会与氧气发生反应生成硫酸盐。经过无数次的失败，终于，通过采用氧化锆——二氧化硅——五氧化二钽( $\text{ZrO}_2\text{-SiO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5$ )熔体系统的高温大红色釉料配方和惰性气体的高温保护，成功在1260 °C高温成批量地烧出了颜色鲜艳、发色均匀、光泽度高的大红色瓷器<sup>[15]</sup>。高温红色瓷器无标准红色的历史自此打破，“中国红”陶瓷成为现实。大红陶瓷时常出现在外交舞台，独有的颜色及特殊的含义使其常作为“东方礼物”送给外国友人，来往之间，表达了本国友好，展现了文化自信，让外国领略和赞叹中国之魅力。此刻，“奥运红”以中国为起点，走向了全世界！

## 4 “立志而圣则圣矣，立志而贤则贤矣”——科普活动中的中国红

2023年10月1日，西北大学“化未来”科普实验室开展了以“中国红，赤血心”为主题科普课程，一场别开生面的“庆生活动”就此开始。

### 4.1 红的来源

在讲解完化学实验安全须知之后，老师向同学们提出了一个问题：“今天是祖国母亲74岁的生日，鲜红的国旗在全国各地冉冉升起。老一辈常说，国旗上的红，是用无数先烈的鲜血染制而成，但中国人对红的热爱其实在很早之前就种下了因果，有人知道为什么我们这么热爱红色吗？”同学们的回答五花八门，有的说是因为朱砂红得好看，有的说是因为红色喜庆，还有的说是因为红色纯度高、足够亮眼的。

这时老师解释说，中华民族对红色的特殊感情要追溯到远古时期。当时依赖狩猎为生的人们，深知猎物的血液是红色的，并且人类的血液也是红色的，所以红色与生命自然就链接在一起。红色还是火焰的颜色，火焰给予了人类温暖与光明，让人类摆脱了茹毛饮血的时代，步入了文明社会。血与火中的红色，也因此成为中华民族所喜爱且推崇的颜色之一。

### 4.2 实验一：赤血丹心

老师接着介绍道，人类对红的使用还要从赤红的赭石( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )开始讲起。早在34亿年前的早太古代，海洋中就富含大量的铁元素。但早期的地球表面充斥着还原性的甲烷，缺乏氧气，难以将 $\text{Fe}^{2+}$ 氧化为 $\text{Fe}^{3+}$ ，而 $\text{Fe}^{2+}$ 的溶解度又远高于 $\text{Fe}^{3+}$ ，大量铁元素以 $\text{Fe}^{2+}$ 的形式存在于海水之中。后来，以蓝藻为主的原核生物开始通过光合作用生产氧气，海洋中的 $\text{Fe}^{2+}$ 才得以被氧化并以氧化铁( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )的形式沉淀下来，深埋于地下<sup>[16]</sup>。数万年前，智人将沉睡的赭石从地底挖出，将它做成颜料。赭石也就成了已知最早被人类用来描绘世界的颜料。而朱砂的发现要略晚于赭石，但其靠着鲜亮的朱红颜色在中国早期先民中受到特殊重视。不过在含铁的化学物质中，氧化铁并不是最亮眼的存在，接下来让我们用一种更亮眼的含铁化合物，为祖国母亲送上生日的礼物吧(图10)。

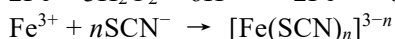
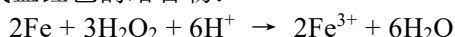


图10 实验赤血丹心效果图

实验材料：铁丝、稀盐酸、铁氰化钾、双氧水、培养皿。

实验步骤：将10%铁氰化钾溶液10 mL、5%稀盐酸2 mL和5%双氧水3 mL混合，倒入培养皿中。将铁丝折成心形，放入培养皿中，可以观察到铁丝的周围慢慢晕出鲜红色，形成一个心的形状。

待到实验完成，老师向同学们讲解其中的原理：这个实验跟成铁纪氧化铁的形成，有着异曲同工之妙。双氧水的强氧化性可以将铁丝中的铁单质氧化成 $\text{Fe}^{3+}$ ，而 $\text{Fe}^{3+}$ 又可以与铁氰化钾溶液发生反应，生成血红色的络合物：



### 4.3 实验二：纸短情长

之后的课程中，老师又给同学们讲了很多关于“红”的故事，有染于服饰上的红色，也有绘于丹青中的红色；有独立自强的国旗红，也有大国风范的瓷器红。中国红，历经数千年的演变，从天

然的赭石( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )、朱砂( $\text{HgS}$ )，到植物提取的茜草和红花染料，再到人工合成的银朱( $\text{PbO}$ )、铅丹( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ )、镉红( $\text{Cd}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})$ )等无机颜料<sup>[17]</sup>，其化学成分不断丰富的时候，也承载着深厚的文化内涵，在绘画、染织、陶瓷等领域都展现出了广泛的应用价值。听完这些故事，同学们在感叹先辈的聪明才智的同时，又深深地被这其中所蕴涵的“中国红”精神震撼。老师看着同学们满脸写着想畅所欲言的冲动，便让同学们用化学的方式将对祖国母亲的嘱咐记录下来(图11)。



图11 实验纸短情长效果图

实验材料：姜黄、乙醇、滤纸、碳酸钠、毛笔

实验步骤：10 g姜黄粉末浸泡在100 mL乙醇中，提取其中的姜黄色素。再将滤纸放入其中进行染色，晾干。用毛笔蘸取饱和碳酸钠溶液，写在姜黄纸上，即可留下鲜红色的笔迹。

等到大家停笔之后，老师解释道：姜黄之所以会变成红色，是因为姜黄色素是一种酸碱指示剂<sup>[18]</sup>，它在酸性条件下呈黄色，遇到碱性物质(例如碳酸钠)时会变为红色(图12)。

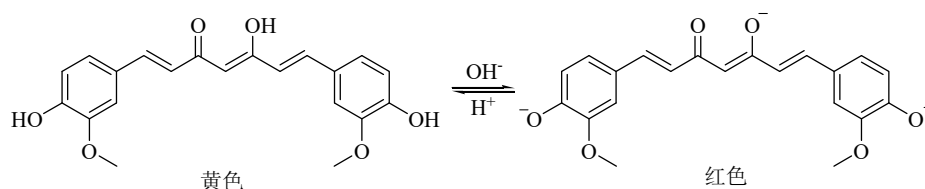


图12 姜黄素变色原理

#### 4.4 实验三：流光溢彩

临近下课，同学们眼中还存着几分不舍之情。老师又拿出一个装有闪亮红色晶体的瓶子，向大家介绍道，这是用甲基橙制作而成的红晶雨，它是将甲基橙(图13)加热溶解，再冷却析晶获得的。最后，老师带领同学们自制红晶雨，作为今天课程的小小纪念品(图14)。

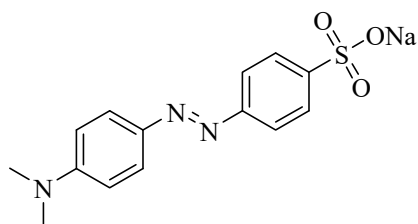


图13 甲基橙结构



图14 红晶雨

实验材料：甲基橙、样品瓶

实验步骤：取1.0 g甲基橙加入烧杯中，再加入30 mL水，搅拌下加热溶解甲基橙。待甲基橙全部溶解后，停止加热，等待溶液析晶，期间可以时不时搅拌溶液，方便细小晶体析出。完全析晶后，分装到样品瓶中，进行密封保存。

最后，老师分享道，同学们，在这短短的一节课里，我们溯本逐源，探寻着中国红的脉络；我们回忆往昔，感受着中国红的精神。对生命以亿为单位的地球来说，我们只是“寄蜉蝣于天地，渺沧海之一粟”，但红的根源、红的故事、红的精神，会随着人类文明的存在，一直延续到我们触不可及的未来。所以，同学们，我们不仅要缅怀先烈，记住他们的红色故事，也要活在当下，为了自己的理想而拼搏到底，抒发属于你们的豪情壮志，在未来，写下独属于你们的红色诗篇。

### 参 考 文 献

- [1] 刘淑华, 臧丹丹, 孙燕, 李金霞, 赵恒田. 土壤与作物, **2022**, *11* (3), 336.
- [2] Zhang, Y.; Butelli, E.; Martin, C. *Curr. Opin. Plant Biol.* **2014**, *19*, 81.
- [3] 陶玉琴. 汉代婚俗礼仪中的视觉形象设计研究[硕士学位论文]. 长沙: 湖南师范大学, 2021.
- [4] 唐秀琴, 王志意, 唐旺, 姚金波, 姜会钰. 印染, **2020**, *46* (4), 17.
- [5] 魏娴媛, 贺晓亚. 上海纺织科技, **2024**, *52* (1), 17.
- [6] 何秋菊. 古书画施胶剂的作用机理及中性铝盐施胶沉淀剂的研发[博士学位论文]. 西安: 西北大学, 2020.
- [7] 李沅达, 邓秀娟, 吴婷, 李亚莉, 黄刚骅, 周红杰. 食品安全质量检测学报, **2022**, *13* (3), 688.
- [8] 张莎莎, 林华. 福建轻纺, **2024**, No. 2, 31.
- [9] 潘功配. 花炮科技与市场, **2013**, No. 3, 31.
- [10] 郭平. “国旗红”染料沈阳诞生始末. 辽宁日报, 2023-08-04 (12).
- [11] 田利明. 染料与染色, **2023**, *60* (1), 1.
- [12] 韩永奇. 上海染料, **2021**, *49* (2), 24.
- [13] 牛骥良, 吴申年. 颜料工艺学. 第2版. 北京: 化学工业出版社, 2002: 261.
- [14] 戴佳璐. 东方收藏, **2022**, No. 12, 86.
- [15] 李双双. “中国红”的文化传播研究[硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2014.
- [16] 王文远. 河北地质学院学报, **1984**, No. 1, 1.
- [17] 曹简. 现代中国画颜料研究[博士学位论文]. 杭州: 中国美术学院, 2023.
- [18] 潘玉珍, 薛淞匀, 张健平, 毛诗雨, 张文珠. 大学化学, **2023**, *38* (7), 223.