

•科普•

doi: 10.3866/PKU.DXHX202305046

www.dxhx.pku.edu.cn

揭开指纹的神秘面纱

刘雨嘉, 黄志辉, 李静, 胡锴*

武汉大学化学与分子科学学院, 武汉 430072

摘要: 以化学指纹显影法为基础, 设计了多种不同的科普实验, 全面地向科普对象展示化学指纹显影的原理和特点。在科普模式上, 项目创新性地将“线上+线下”模式相结合, “居家+实验室”环境相结合, 打破了传统科普中受到时间、空间和仪器设备的局限, 将科普的范围和广度大大扩大。另外在具体科普项目实施中, 注重科普对象的科学和文化素养的提升, 开拓公众视野并实现科学有效的辟谣。

关键词: 阴离子聚合反应; 指纹显影; 502胶水; 梯度科普

中图分类号: G64; O6

Demystify Fingerprints

Yujia Liu, Zhihui Huang, Jing Li, Kai Hu *

School of Chemical and Molecular Sciences, Wuhan University, Wuhan 430072, China.

Abstract: Based on the chemical fingerprint development method, this science popularization project has designed a variety of different science experiments to show the principle and characteristics of chemical fingerprint development to the science popularization target comprehensively. In the mode of science popularization, the project innovatively combines “online + offline” mode and “home + laboratory” environment, which breaks the limitation of time, space and equipment in traditional science popularization and greatly expands the scope and breadth of science popularization. In addition, in the implementation of specific science popularization, the project focuses on the improvement of scientific and cultural literacy of science popularization targets, opening up the public's vision, and achieving scientific and effective disinformation.

Key Words: Anionic polymerization reaction; Fingerprint development; 502 glue; Gradient science popularization

化学是一门与人类社会、日常生活息息相关的基础学科, 为人类生活方式的便利和改变做出了巨大贡献。但是随着时代的发展, 社会上有关化学的负面新闻报道越来越多, 化学时常被无知和盲从所抹黑、亵渎甚至妖魔化。因此, 做好化学科普工作对于青少年的科学启蒙、提高公众的基本科学素养、纠正公众对化学的误读与国家新时代人才的培养都发挥着重要的意义和作用。

近年来, 随着科学技术不断进步, 指纹识别相关的便捷操作手段已广泛进入大众视野。与此同时, 由指纹引发的生物信息安全问题接踵而至, “指纹信息易被盗取”的报道也加剧了公众的恐慌。为了向公众更好地传递生物信息保护的重要性并消除过度恐慌, 以指纹为载体的生物信息及其安全防护知识的普及显得尤为重要。

指纹所携带的生物信息通过接触后会将指纹部分皮肤分泌的水、氨基酸和油脂^[1]附着到载体

收稿: 2023-05-15; 录用: 2023-06-26; 网络发表: 2023-07-07

*通讯作者, Email: kaihu@whu.edu.cn

上, 因此可以通过与水、氨基酸或者油脂发生的物理或化学过程使指纹显影。本科项目以化学指纹显影法为基础, 利用居家易得的“502胶水”为熏显剂, 从指纹显影的影响因素如水、氨基酸与油脂分别进行探究。除此, 还设计了碳量子点染色、荧光书法、荧光画等互动实验及指纹胶水熏显和碳量子点吸附显影效果对比等探究实验, 极大地丰富了科普实验的趣味性和可操作性。

为了更好地实现科普目的, 项目创立“名侦探小队”科普公众号, 介绍指纹和显影相关的内容。这种科普模式集线下与线上于一体, 突破了传统科普受时间、空间和场地的局限, 创新性地将科普实验集“居家+实验室”环境于一体, 针对不同家庭实验条件设计合适的实验方案, 并通过家庭易得的实验装置完成指纹和字画等的显影。希望通过线上+线下相结合的科普模式, 最大化地实现科普的目的。

1 实验部分

1.1 实验原理

1.1.1 以水为引发剂的502胶水熏显指纹原理

目前刑侦工作中应用较多的是502胶水熏显指纹法^[2]。该方法利用502胶水进行阴离子聚合反应, 在指纹纹理上形成一层白色聚合物进而完成显影。所谓阴离子聚合反应是以带负电荷的离子或离子对为活性中心的一类连锁聚合反应^[3]。常用502胶水的主要成分为 α -氰基丙烯酸乙酯(分子结构如图1), 其带有强吸电子的氰基($-\text{CN}$), 与氰基相连的碳原子可以在微量水的引发下形成阴离子活性中心, 进而进攻下一个烯烃分子中带正电的碳原子(图2), 从而使单体分子相连。随着反应进行, 聚合物的分子量逐渐增大, 由最初的无色液体变为乳白色固体聚合物(图3)。

人的指纹汗液中含有水分和多种氨基酸, α -氰基丙烯酸乙酯挥发到指纹附近后, 在水和氨基酸的作用下发生阴离子聚合, 在指纹上生成白色固体聚合物, 从而显现出指纹的纹理^[4], 具体原理示意图如图4所示。

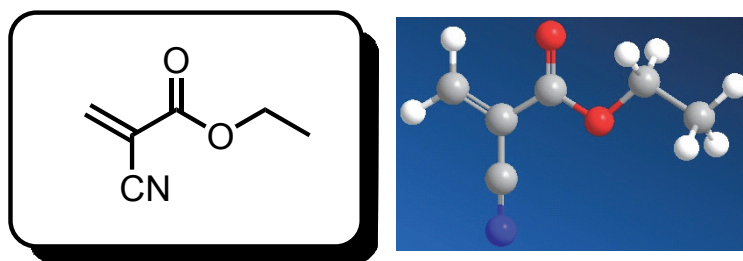


图1 α -氰基丙烯酸乙酯的分子结构

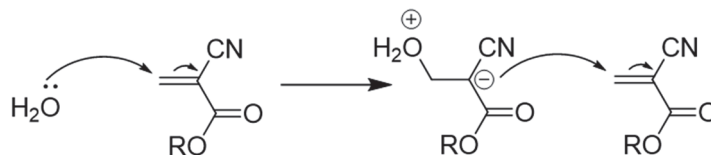


图2 α -氰基丙烯酸乙酯的聚合原理

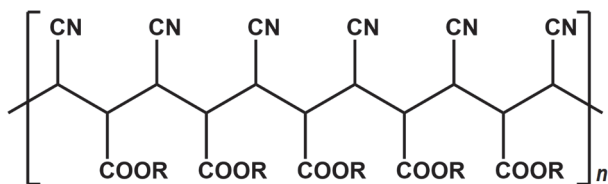


图3 502胶水聚合物的分子结构

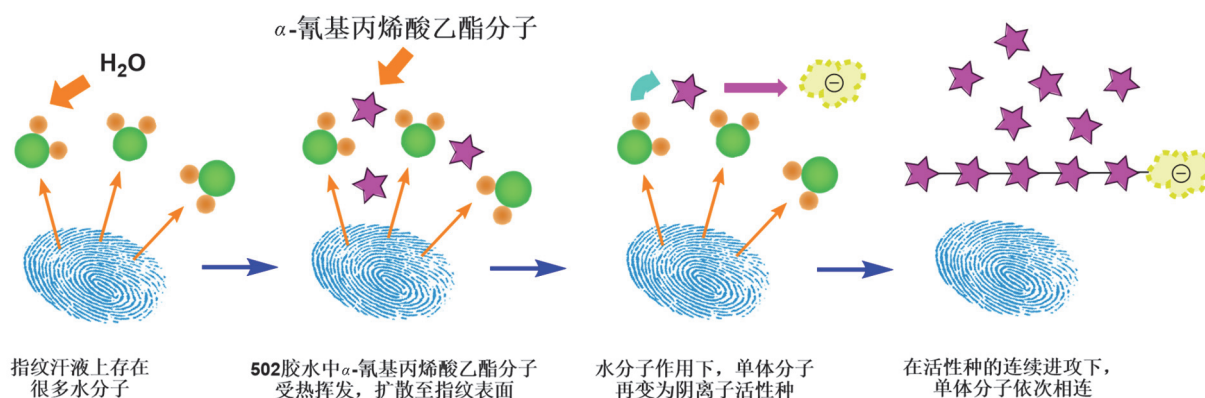


图4 502熏显指纹的原理示意图

在深色客体上，熏显后的指纹清晰辨认；但在浅色客体上，由于熏显后的白色聚合物与背景颜色相近而使指纹辨认困难，这时可选用合适的染色剂对指纹进行染色。常用的染色剂如罗丹明、龙胆紫(结晶紫)，其分子中含有的正电性基团和“502”胶中的负电性基团通过静电作用相互吸引，从而使染色剂分子附着于“502”聚合物上使其染色^[5]。

1.1.2 与油脂相互吸引的碳量子点粉末显影法

传统的指纹染色方法普遍有着操作复杂、荧光背景干扰大、指纹的细节部分难以显现^[6]等缺点，而纳米尺寸的碳量子点能很好地解决这些问题，并显著提高指纹显现灵敏度。碳量子点是一种新型的纳米材料，具有很强的荧光性能。碳量子点的尺寸小，通常只有几纳米。这种小尺寸使得碳量子点具有很高的表面积和量子限制效应^[7,8]。这些特性使得碳量子点能够吸收和发射光子，而大多数吸收峰带集中在260–320 nm，通常表现出荧光最大发射波长、激发波长依赖性等光学特征，因此可以产生荧光(图5)。碳量子点通常由碳、氧、氮等元素组成，其中氧和氮的含量对其荧光性能有很大的影响，氮元素的引入可改变碳量子点的表面电荷分布从而显著提高其荧光性能^[9]。碳量子点使指纹显影的原理是利用碳量子点中特定基团与指纹残留物中油脂发生物理吸附作用^[10]，在激发光源的照射下通过发出荧光显现指纹轮廓。

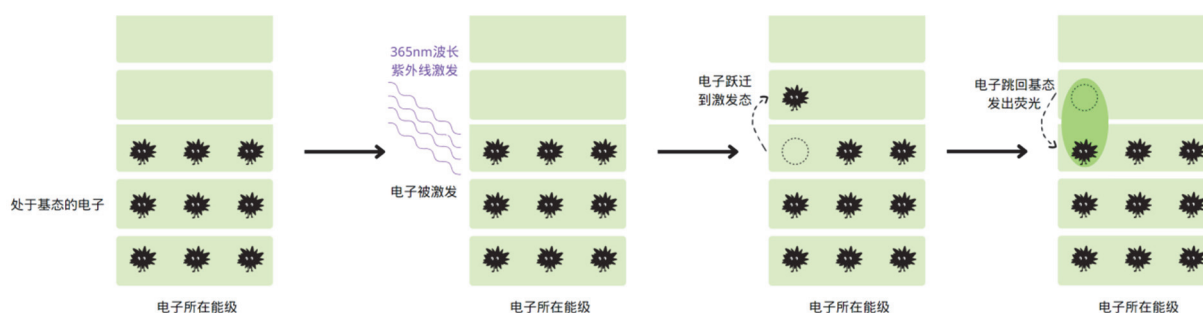


图5 碳量子点的荧光原理示意图

1.2 试剂或材料

实验中所用试剂规格见表1。

1.3 仪器和表征方法

250 mL烧杯、100 mL量筒、90 mm塑料培养皿、1 mL塑料滴管、250 mL塑料洗瓶、陶瓷蒸发皿、玛瑙研钵，均为市售，主要购于北京玻璃集团有限责任公司。实验其他所用仪器的型号与生产厂家见表2。

表1 实验中所用试剂规格

名称	规格	生产厂家
乙醇	分析纯	国家集团化学试剂有限公司
罗丹明6G	95%	上海迈瑞尔生化科技有限公司
还原铁粉	分析纯	国家集团化学试剂有限公司
结晶紫	分析纯	中国医药(集团)上海化学试剂公司
柠檬黄	85%	上海迈瑞尔生化科技有限公司
502瞬间胶	市售	得力集团有限公司
尿素	分析纯	国家集团化学试剂有限公司
柠檬酸钠	分析纯	国家集团化学试剂有限公司

表2 实验中所用仪器的型号与生产厂家

名称	型号	生产厂家
紫外灯	52	深圳神炎照明有限公司
便携式电陶炉	GL01	潮州市潮安区彩塘镇荣雅无尽电器厂
电子天平	JE202	上海浦春计量仪器有限公司
电热恒温鼓风干燥箱	DGG-9030BD	上海森信实验仪器有限公司
毛笔	—	得力集团有限公司

1.4 实验步骤/方法/现象

1.4.1 水分子“大显身手”——502胶阴离子聚合熏显指纹

适用范围：适用于较为湿润的指纹或湿润环境下的陈旧指纹。

1.4.1.1 实验一：实验室探索——502胶熏显实验室方案

- (1) 搭建装置：装置如图6所示。烧杯中倒入适量水并加热，以此为水蒸气加热装置。将蒸发皿放置在烧杯上，准备熏显。
- (2) 倒胶：向陶瓷蒸发皿内加入0.5–1.0 mL (10–20滴) 502胶。
- (3) 密闭熏显：将印有指纹的塑料培养皿倒置扣在蒸发皿上面，利用水蒸气加热装置加热熏显。
- (4) 观察：熏显几分钟后，装置内充满白烟，培养皿上的指纹已被熏显出，纹路清晰。
- (5) 冷却：停止加热，取下塑料培养皿，用盖子盖在陶瓷蒸发皿上防止502胶挥发污染环境，待装置自然冷却。
- (6) 拍照：将取下的塑料培养皿放置在黑暗背景下，观察白色指纹并拍照。

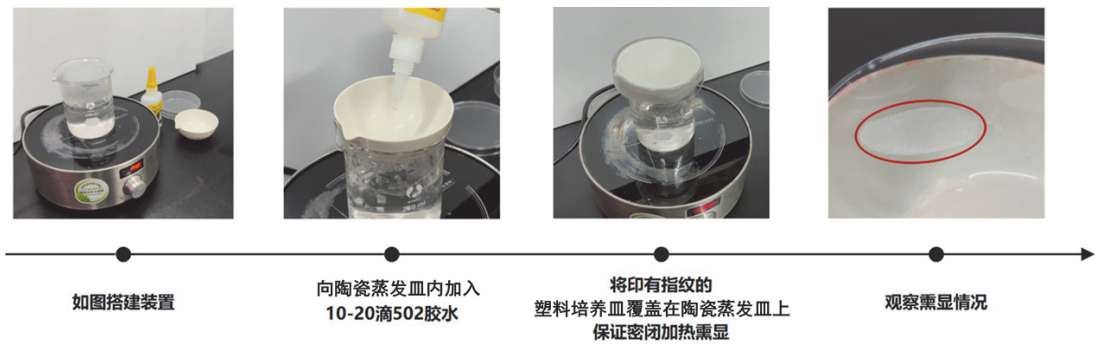


图6 502胶熏显实验室装置及改进方案操作流程

注意：熏显加热时，烧杯中水不可超过容器体积的2/3 (250 mL烧杯)，且电加热炉温度不超过100 °C，当烧杯中水煮沸后1 min停止加热，防止沸腾过程剧烈水蒸气冲入熏显体系，影响装置的平稳性及熏显效果。

1.4.1.2 实验二：指纹显色——荧光剂“大显神通”

考虑到502胶指纹显影法需要熏显在深色客体上才可以更好地将白色的指纹与背景区分，项目引入荧光试剂，使502胶指纹熏显法的应用范围扩大效果更明显。

实验一所述502胶熏显操作后，分别利用不同的荧光试剂粉末^[5,11-14]进行了8组染色荧光实验。将荧光粉末轻轻覆盖在指纹上静置30 s后用毛刷将余粉轻柔扫去，重复三次后在波长为365 nm的紫外灯下观察指纹。使用软刷蘸取溶液对指纹染色时，应避免将背景染色，将染液用软刷刷染在熏显好的指纹上，染色一次后用清水轻轻冲洗掉后再用毛刷进行下一次染色。具体实验显色结果如图7所示，其中使用罗丹明6G粉末+无水乙醇(h组)染色，而后经过一夜晾干后，指纹最为清晰。以本组实验为例，重复染色2次后荧光效果最佳。

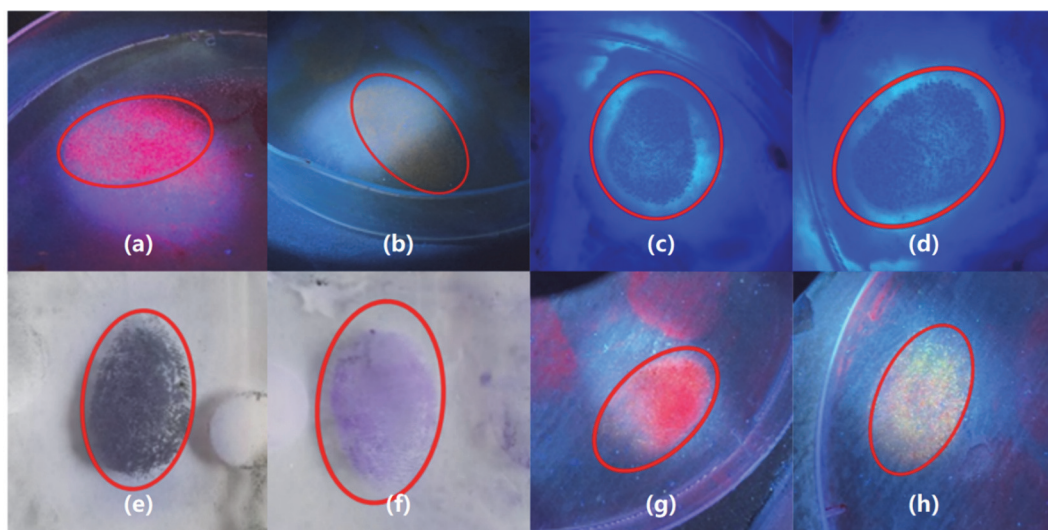


图7 使用传统荧光粉末指纹的显影情况

(a) M-05荧光粉+还原铁粉；(b) 荧光黄+还原铁粉；(c) 柠檬黄荧光染料+无水乙醇；(d) 柠檬黄荧光染料+甲醇；
(e) 龙胆紫粉末+还原铁粉；(f) 龙胆紫粉末+无水乙醇；(g) 罗丹明6G粉末+还原铁粉；(h) 罗丹明6G粉末+无水乙醇

502胶熏显法在实验室能达到好效果，但若面向人群进行居家推广，则面临胶中含有的二氯甲烷具有一定毒性、实验装置不易在家庭中实现等问题。因此，该项目改进了实验装置，使材料更易得，密封性更好。

1.4.1.3 实验三：居家熏显——502胶熏显居家实验方案

- (1) 搭建装置：取出一只大碗，盛满温热的水(60–80 °C)。准备一个润喉糖铁盒和保鲜膜。
 - (2) 倒胶：向铁盒中倒入0.5–1.0 mL约10–20滴502胶。
 - (3) 密闭：在保鲜膜上印好指纹，并用保鲜膜将装有502胶的铁盒包裹密封，放置在热水中。
 - (4) 观察：熏显5 min后，可以看到保鲜膜上出现白色指纹，装置内充满白烟。
- 拍照：将保鲜膜取下，仔细观察指纹纹路并拍照记录。

注意：居家实验，须在家长的监护和帮助下如图8的流程进行，以免发生热水烫伤。同时实验结束后，应待502胶水自然凝固或直接加水加速其聚合后再对铁盒及实验废料进行处理。此外，使用502胶时也需小心，避免胶粘在皮肤上。

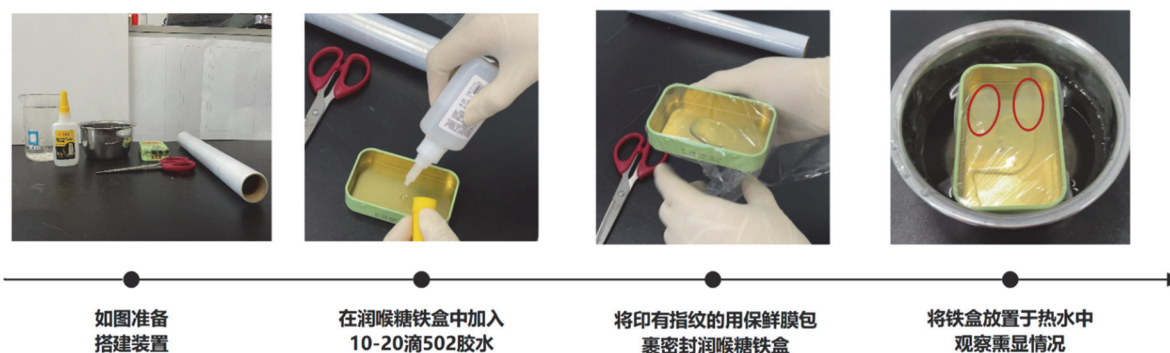


图8 502胶熏显居家实验方案流程图

1.4.1.4 实验四：原理追寻——毛笔下的“高光时刻”

为了证明水分子作为引发剂引发502胶单体(α -氰基丙烯酸乙酯)发生阴离子聚合反应, 本项目结合书法作品灵感, 将毛笔书写与502胶熏显实验相结合(图9), 用“发光的书法”证明502胶阴离子聚合的实验原理, 效果如图10所示。

1.4.2 油脂分子的暗号——氮掺杂碳量子点指纹荧光显影

适用范围: 氮掺杂碳量子点指纹荧光显影适用于油脂含量较高的指纹。

Ren等^[15]改良了氮掺杂碳量子点的实验方案, 利用低成本、低毒害、易得的柠檬酸钠(1 g)和尿素(2 g), 于DMF (10 mL)的溶剂环境下, 放入反应釜后在160 °C的烘箱中反应6 h, 用无水乙醇多次离心后干燥, 收集到米黄色粉末固体。

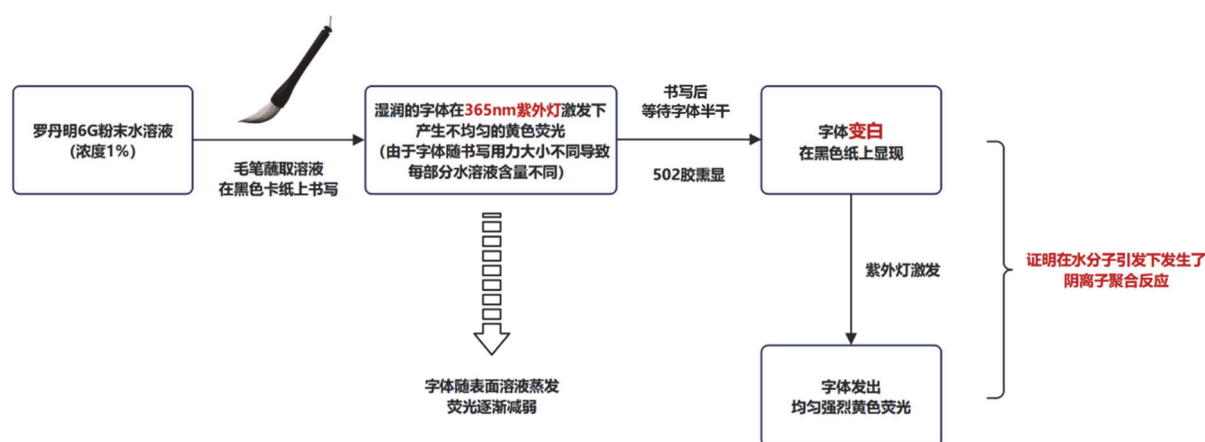


图9 “发光的书法”实验流程

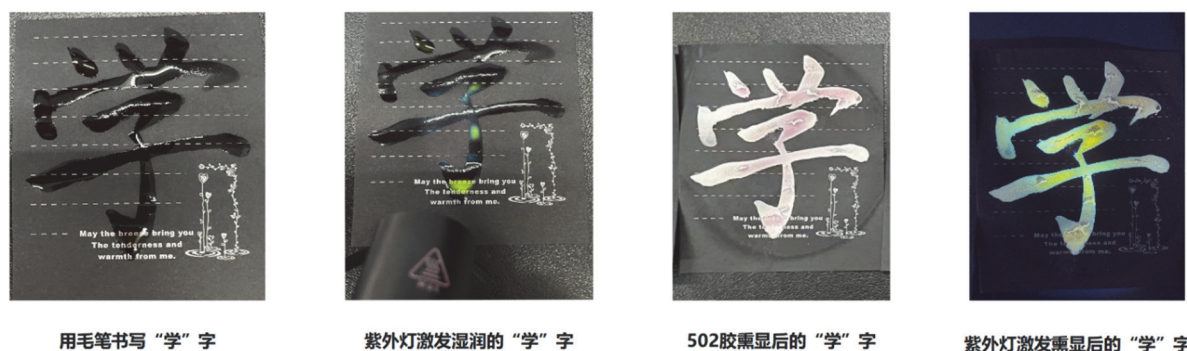


图10 “发光的书法”实验现象展示

氮掺杂碳量子点粉末在波长365 nm的紫外灯激发下可以发出绿色荧光，从而使指纹在紫外灯下呈现为绿色。实验流程如图11所示。

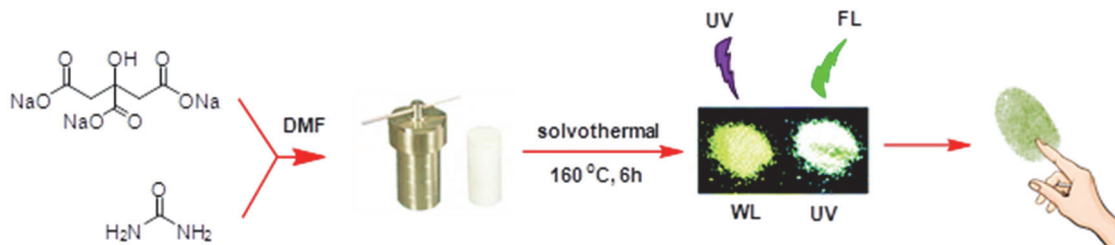


图11 氮掺杂碳量子点粉末的制备及指纹显影流程图

制备的氮掺杂碳量子点粉末由于其粒径较大，不利于指纹显影，使用前应用研钵将碳量子点粉末研磨至面粉状，而后再将粉末(约100 mg)覆盖在待显影的指纹上停留30 s，并用手振动承载指纹的客体，使粉末均匀覆盖在指纹上。30 s过后，回收碳量子点粉末，并用洗耳球将指纹周围的余粉吹净。最后，使用波长为365 nm的紫外灯照射指纹，观察其显影效果(图12)。

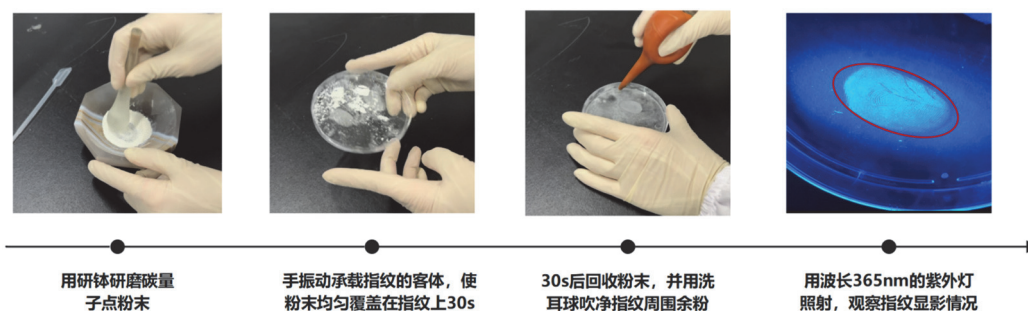


图12 氮掺杂碳量子点粉末的处理及氮掺杂碳量子点指纹荧光显影过程

本实验结果可以清晰显示出指纹的分歧、结合、小眼、小点、终点、短棒、勾、小桥、起点等细节特征，

但出于实验室安全角度考虑，本实验重在科普相关知识和生活常识，故仅引入实验效果展示图

2 科普互动方案

本科普实验借助现有的互联网资源，将微信公众号、B站视频号等大众喜闻乐见的宣传手段融入科普之中，可进一步实现线上线下融合式的资源共享学习。从而打破了传统科普受时间、空间和场地仪器等的限制，最大程度地扩大了科普的受众面。此外，实验遵循层次递进的原则，针对不同人群实现梯度化科普；最后，本科普实验加入了相关的互动环节，旨在初步培养青少年合作的优秀品质和青少年的化学科学素养。下面针对不同人群，简要介绍科普具体的实施内容及目标。

2.1 面向初中及以下群体：原创科普动画+指纹画/荧光书法显影互动+阴离子聚合原理互动实验

通过科普动画放映等形式，向幼龄群体介绍不同类型的显影技术，建立显影技术的基本概念。同时在科普过程中传递与生活息息相关的信息安全观念。除此之外，利用阴离子聚合反应原理设计“手拉手聚合游戏”，通过游戏向小朋友讲解什么是阴离子聚合反应，同时在游戏中传达众人拾柴火焰高、团结合作力量大的道理。

对于初中生群体，还可以增加互动实验环节，如在实验组成员演示下观看指纹显影过程，将自己的指纹按在显影处观察显影效果，绘制指纹画(图13)、书写荧光毛笔字、制作502胶指纹熏显绘画作品(图14)等。让小朋友们通过安全、简易和快乐的动手实践，感受“玩中学”的乐趣，并在思考科学问题中成长。



图13 指纹画效果图

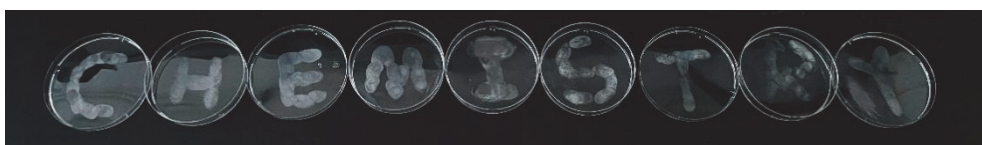


图14 502胶指纹绘画熏显效果图

2.2 面向高中生：讲解实验原理+实际操作“502胶指纹熏显法”

在2.1小节的基础上，针对中学生已有的化学知识，增加互动与探究实验。通过讲解指纹熏显主要是502胶分别与油脂和水两部分作用而产生的现象，以及碳量子点显影是因其特定基团对油脂物理吸附而产生的现象，对油脂与水分别探究并展示相应的效果。对于水的部分，开展荧光熏显书法(图15)，探究水对于阴离子聚合反应的影响；对于油脂部分，利用碳量子点荧光对指纹进行显影(图16)。通过实验现象与原理相结合的方式，使学生在实验中领略化学之美、化学之趣，激发他们探究科学的热情。更重要的是，在解决问题的过程中通过互动提问引导学生培养分析问题、解决问题的科学思维，提高其科学素养。



图15 502熏显“荧光毛笔字”效果图



图16 碳量子点指纹绘画荧光显影效果图

2.3 面向本科生：模块化实验内容，设计不同层次的合成探究实验

对本科生可利用教学实验仪器，独立完成熏显法实验，若居家，则学生可以利用居家简易装置完成实验。内容上增加科普的广度与深度，开展探究实验。探究502胶用量、水浴温度、油水混合物比例等条件对于显影效果的影响。同时可以开展碳量子点制备合成实验，从原料为起点合成碳量子点并对指纹进行荧光显影，与传统显影方法进行对比，完成全部实验探究流程。学生既是科普实验的开发者也是科普实验的推广者，有利于增强社会服务意识和社会责任感。

2.4 面向社会大众：挖掘社会热点，提升公众科学素养，消除公众恐慌

以网络为载体，拓展强化科普服务功能。利用微信公众号+B站视频号等流行宣传手段(图17)，结合目前社会热点——公众对于指纹信息泄露等安全问题存在恐慌，借助指纹科普消除大众恐慌心理。这部分科普工作将着重从如何保护指纹、指纹提取条件、指纹信息安全泄露的科学原理等方面展开。如在日常生活中，可用脂溶性的溶剂(如酒精或湿纸巾)擦拭指纹残留的客体表面，甚至可以用手抹去我们在手机上残留的完整的指纹，从而防止被他人窃取。与此同时，指纹提取也与客体材质、环境温度、湿度、指纹残留时间等条件相关。项目旨在通过科普向社会大众介绍指纹等个人安全信息的价值及保护个人生物信息的重要性，同时也避免对信息泄露过度担忧和恐慌。



图17 微信公众号视频宣传及B站视频宣传截图

本系列科普实验在原502胶熏显刑侦实验的基础上进行了全新的设计和改造，使其更适合于科普。在相应基本条件保障下整个实验操作过程安全可行：少年儿童可在家长的陪同和监护下进行居家实验；青年学生可在观看相关实验视频和了解试剂使用规范之后独立开展实验。

3 结语

科普的意义在于寓教于乐、传递真相、终结谣言，向公众反映化学之趣、化学之美和化学之用等。本科普实验以指纹信息安全这一社会热点问题为切入点，基于阴离子聚合反应，运用生活中最为常见的粘合剂“502胶水”进行指纹熏显。此外，项目还引入了荧光染色剂和新型纳米材料碳量子点等对指纹进行更精细的显影。科普项目的开展，采用线上+线下相结合的模式以及实验室+居家实验相结合的模式，大大拓展了科普的受众对象。另外，也更大程度上拓展了我们科普的广度和深度。此外，项目还针对不同人群设立不同的科普方案，多方位展现化学的美丽与魅力，激发受众对化学的热情和兴趣。另外，我们注意以生动有趣的动画、通俗易懂的语言解释科学概念，揭示指纹显影机理，在传递科学理念的同时，帮助公众树立指纹等生物信息十分重要的安全意识，消除公众对于指纹信息安全泄露问题的过度恐慌，真正让科普起到改变公众误解、造福社会大众的根本作用。

参 考 文 献

- [1] Cooper-Dunn, A.; Jones, O.; Bond, J. W. *J. Forensic Sci.* **2017**, 62 (5), 1314.
- [2] 林大波, 谢国深, 郑哲崇, 赵勇兴. 刑事技术, **2018**, 43 (5), 428.

- [3] 江波. 高分子化学教程. 北京: 科学出版社, 2019: 177–178.
- [4] 陈洪福, 邓裕东, 宋健. 手印检验技术实训指导. 北京: 中国人民公安大学出版社, 2008: 67–72.
- [5] 辛翠, 刘佳俊. 山东化工, **2021**, *50* (21), 4.
- [6] Prete, C.; Galmiche, L.; Quenum-Possy-Berry, F.-G.; Allain, C.; Thiburce, N.; Colard, T. *Forensic Sci. Int.* **2013**, *233* (1–3), 104.
- [7] Chan, C. W.; Nie, S. M. *Science* **1998**, *281* (5385), 2016.
- [8] Bruchez Jr, M.; Moronne, M.; Gin, P.; Weiss, A.; Alivisatos, A. P. *Science* **1998**, *281* (5385), 2013.
- [9] Miao, X.; Yan, X. L.; Qu, D.; Li, D. B.; Tao, F. F.; Sun, Z. C. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2017**, *9*, 18549.
- [10] Algarra, M.; Bartolić, D.; Radotić, K.; Mutavdžić, D.; Pino-González, M. S.; Rodríguez-Castellón, E.; Lázaro-Martínez, J. M.; Guerrero-González, J. J.; Esteves da Silva, J. C.; Jiménez-Jiménez, J. *Talanta* **2019**, *194*, 150.
- [11] 王宇全, 颜芳, 宋毅. 广东公安科技, **2015**, *23* (2), 56.
- [12] 刘丽, 陈虹宇, 尹晓婧. 中国刑警学院学报, **2019**, *147* (1), 84.
- [13] 邵银林, 高文渊, 张小红, 汤日元, 钟平. 化学试剂, **2014**, *36* (4), 361.
- [14] 王文琛, 刘丽. 广东化工, **2017**, *44* (4), 28.
- [15] Ren, G.; Meng, Y.; Zhang, Q.; Tang, M.; Zhu, B.; Chai, F.; Wang, C.; Su, Z. *New J. Chem.* **2018**, *42* (9), 6824.