

染发剂三家族的竞争

郝温昕, 刘煊赫*, 李知芯, 聂渝芯, 邓璐, 吴静

中国地质大学(北京)数理学院, 北京 100083

摘要: 随着时代的发展和人们生活质量的不断提高, 人们对头发美感的要求也越来越高, 染发已成为一种普遍的现代化妆手段。老年人将白发染成黑发以显年轻, 青年人把黑发染成各种颜色搭配衣服和妆容以显时尚和个性。本文通过一个小故事对染发剂进行了分类, 并分别介绍了不同染发的组成、染发机理和安全性问题等。

关键词: 染发剂; 染发机理; 分类; 发用品

中图分类号: G64; O6

Comparison of Three Types of Hair Dyes

Wenxin Hao, Xuanhe Liu *, Zhixin Li, Yuxin Nie, Lu Deng, Jing Wu

School of Science, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China.

Abstract: The continuous pursuit of beauty has increased the popularity of hair dyes. Hair dye has become more popular with both the elderly and young people. This report classifies hair dyes and introduces the composition, mechanism, and safety of different hair dyes through an interesting story.

Key Words: Hair dyes; Hair dye mechanism; Classification; Hair supplies

理发店中有三大家族赫赫有名, 他们是暂时性染发剂家族、半永久性染发剂家族和永久性染发剂家族。三大家族听说今天有“染发效果”活动, 目的是为了评选出在头发中闯过关卡最多的勇士, 于是认真地研究了举办方给的头发的结构图(图1)。

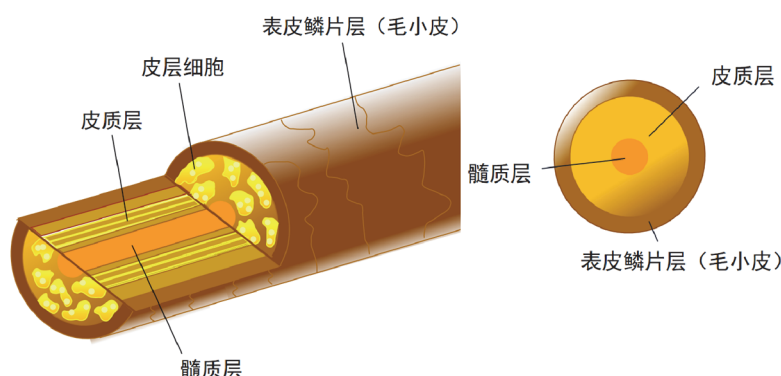


图1 发干结构示意图

收稿: 2022-05-17; 录用: 2022-06-29; 网络发表: 2022-09-07

*通讯作者, Email: liuxh@cugb.edu.cn

基金资助: 中国地质大学(北京)2021年度优秀基层教学组织建设项目(JCJXZZ202108); 中国地质大学(北京)2022年大学生创新创业训练项目

1 出师未捷

最先出战的是暂时性染发剂家族，他们装备齐全，雄赳赳气昂昂地乘坐着喷雾飞艇出现在头发上空。随着打开舱门的滋滋声响，五彩缤纷的暂时性染发剂纷纷打开自己的降落伞，背好背包，随着空气飘飘荡荡，安全着陆在头发上。他们快速前进，来到了第一个关卡——表皮鳞片层。

关卡的入口是无数个小孔，装饰得非常气派，结构像巨大的鱼鳞片一层层堆积。每个入口都守着蛋白质卫士。他们拦在入口命令道：“检查装备！”暂时性染发剂家族纷纷打开背包给卫士们查看，背包里有水溶性的酸性、碱性、分散性大分子染料，其中有蒽醌、三苯甲烷、偶氮类与吡啶胺类物质^[1]。卫士们还对他们身上进行了仔细的检查，不得不说暂时性染发剂非常谨慎，他们将自己裹上了丙二醇和异丙醇这些调湿剂、匀发剂和防冻剂^[2]出门，外套是液体、流动性不强的胶状物。卫士们有些缺乏经验，这些物质可能造成过敏，但犹豫了一阵还是决定放行。卫士们放行后，暂时性染发剂家族高兴地前进，却听到有地方传来惊呼：“哎呀，我被卡住了！”随后越来越多的成员卡在了入口处。蛋白质卫士急忙去拽他们，可他们有粘性的外套和巨大的体形堵住了入口，进退不得。卫士们无能为力，眼睁睁看着表皮鳞片层渐渐被他们的外套染色(图2)。

突然，有洪流冲了过来，原来是关卡中不定时的水流攻击。在水流冲刷下，入口鱼鳞样的鳞片打开了，但是暂时性染发剂家族在洪水的冲刷下身体开始松动，他们无法抵御，于是赶紧顺着水流离开。离开头发后，暂时性染发剂家族非常沮丧，因为他们连第一关都无法通过。但是为了看到真正的勇士夺下桂冠，他们回去后还是告诉了半永久性染发剂家族和永久性染发剂家族，关卡中有水流的攻击，让他们做好充分的准备。

为了公平起见，卫士们正在清理赛道。他们发现暂时性染发剂分子们在皮肤上踩出了一个红点点，关卡的墙壁看起来也脆弱粗糙了许多，失去了头发一开始的美感。顺着头皮毛囊往下清理，他们还发现了几个想要作恶的癌细胞，急忙开始清理铲除，如果放任不管，癌细胞会扩散到各个部位。卫士们窃窃私语，又往关卡里输送了一些蛋白质卫士修补墙面，觉得暂时性染发剂家族能夺冠的可能性不大。尤其是在关卡里停留太久的染料分子，真是非常危险，最好用水流马上洗掉。

2 再次挑战

半永久性染发剂家族经过调整也出发了。他们选择了较为稳妥的登录方式，乘坐着瓶瓶罐罐，通过梳子作为桥梁来到头发上。遇到蛋白质卫士，他们早早打开背包提供检查，背包里装着的是硝基苯二胺、硝基氨苯和偶氮型酸性染料等原料，同样有致敏性。但与暂时性染发剂家族相比，他们的体形很有优势，较小的身形和简单的装备使他们轻松跨进了入口，朝着第二关——皮质层前进。

在第二关卡里除了蛋白质卫士还有硫军官，两个硫军官手拉手连在一起站在卫士中，让卫士们的队伍站得更加神秘复杂。半永久性染料分子们边走边注意着周围的情况，脚下的脚印留下了和他们自身一样的颜色(图3)。但是头发内部实在太暗了，他们散开寻找着路却什么看不清，顺着脚印走也很难辨认的情况让他们有些一筹莫展。

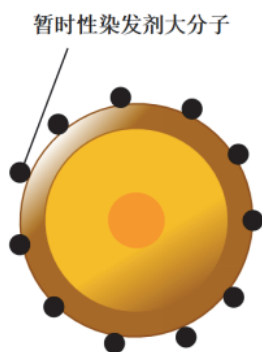


图2 暂时性染发剂染发原理示意图

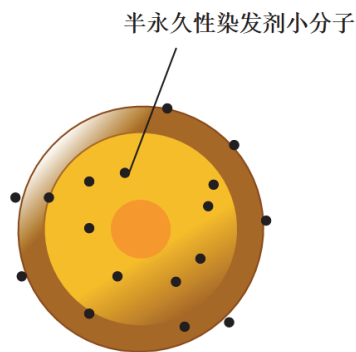


图3 半永久性染发剂染发原理示意图

突然有大水冲来，好在他们经过暂时性染发剂的提醒有所准备，紧紧拉住了入口的边缘。水流里有许多拉着手的离子在水的溶解下分开了，随水流到了别处。但是经过六次左右的水流攻击，半永久性染发剂的家族成员大部分由于体力不支离开了头发，只有少数坚持到十二次以后才离开。他们的脚印也随着水流冲刷消失了痕迹，头发内变得干净如初。但有了第一次检查的经验，卫士们排队去细心搜查有没有对头发造成损害的物质。他们感觉脚底烫了一些，出现发热症状，同时地面还有一些间歇的起伏，军官告诉他们，呼吸不是很规律，前进时要小心。他们一面走一面清理着残留的苯二胺，难闻的气味让卫士们都有些昏昏欲睡。路边还有一些水肿性的团块，他们凑过去一看，有许多残留的具有炎症活性的化学介质凑在一起，让头发的皮肤产生瘙痒感。卫士们让医生一起帮忙，终于清理好了赛道。

3 胜利曙光

相较于其他染发剂家族，永久性染发剂家族的家族历史更加悠久，成员也更加复杂。此次参赛成员有无机染发剂、合成染发剂和天然染发剂^[3]。他们个个身手不凡，为了证明自己的能力，他们决定在活动中大放光彩。

永久性染发剂家族因为成员太多，选择了分批进行。然而无机染发剂却萌生了不同的想法，“我们是过去染发剂的主流，已经快被时代淘汰，”无机染发剂分子们悄悄密谋着，“如果不争取破坏头发环境，要参加这种挑战，谁会在家族里看得起我们这样的小角色？”一位提议道，“我们在背包里装上铅和银盐，听他们说入口的军官不是有硫吗？我们趁机劫持，就可以为所欲为了！”

于是他们赶在第一批成员到达之前偷偷溜了出来，穿好黑色的服饰隐匿在头发中。看见硫军官的出现，他们蜂拥而上，几个分子围住一个硫，将背包里的铅和银盐一股脑倒在了硫的身上，只见硫慢慢与其反应，硫变成了硫化铅(图4)。

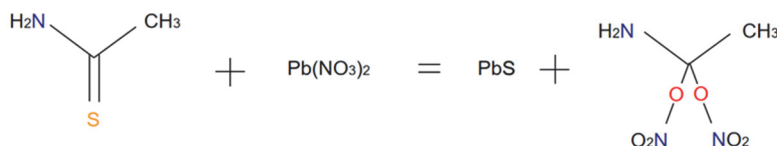


图4 无机染发剂染发机理

硫化铅不断下陷，渗入了头发下面的头皮中。头皮部分出现了红点，出现过敏症状，此时四处兵荒马乱，卫士们急急忙忙扛起水枪与无机染发剂搏斗，将他们驱赶出去。无机染发剂本想趁乱入侵，却被主办方警告失去成为勇士的资格。哎，真是偷鸡不成蚀把米，无机染发剂灰溜溜地走了。卫士们一路清理渗入的铅，就连他们碰到这些物质都会感到疲倦、食欲不振，更别说还有体质弱的人类接触以后贫血、视觉出现障碍。要知道重金属积累有害无益！卫士们多冲了几次水，彻底扫除了无机染发剂。医生告诫卫士们，一定不要再放他们进来了。

正式选手合成染发剂终于登场，他们派出的代表是现在成员最多的氧化永久性染发剂。除此之外，永久染发剂家族还在这个队伍中安插了精英，以备不时之需。

氧化永久性染发剂队伍中，一半成员是透明色的显色剂(通常为双氧水)、碱剂和少量螯合剂(间苯二胺、间苯二酚、间氨基苯酚等)，一半是颜色各异的染料。

氧化永久性的队伍果然实力不凡。在表皮鳞片层时，碱剂站了出来，他们让进入头发的洞口膨胀，来保证所有成员小分子都能进入第二关卡。行进到皮质层，氧化剂纷纷发挥了自己的作用，他们寻找着头发中的黑色素，打开黑色素小灯的开关，瞬间照亮了头发内部。此时的头发从外观看起来近白色，染料分子们的脚印很容易就印在白色的地面上。但这个光照有些刺激性，照过的地方出现了表皮脱落，皮肤组织也变得有些萎缩脱水。染发剂分子们在有光照的地方走过会留下轻微的红

点痕迹，在光暗一些的地方就不明显了。

在一切顺利进行的时候，不定时的水流攻击出现了。然而，氧化永久性染发剂的大家族深谙团结的重要性，在凶猛的水流面前，一半试剂与另一半染料分子紧紧拥抱着，不再分开，变成了大的分子染料，竟然不费力气就堵住了道路，不容易被水流冲走。同时，染料分子还伸出手，拿出自己携带有准备好的氧化染料中间体的氨基与多肽链上的羧基勾在一起，固定在不容易移动的蛋白质上。耦合剂也来帮忙，他不用和氧化剂拥抱也可以灵活地和染料中间体缩合，起到调节发色和提亮发色的作用^[4] (图5)。

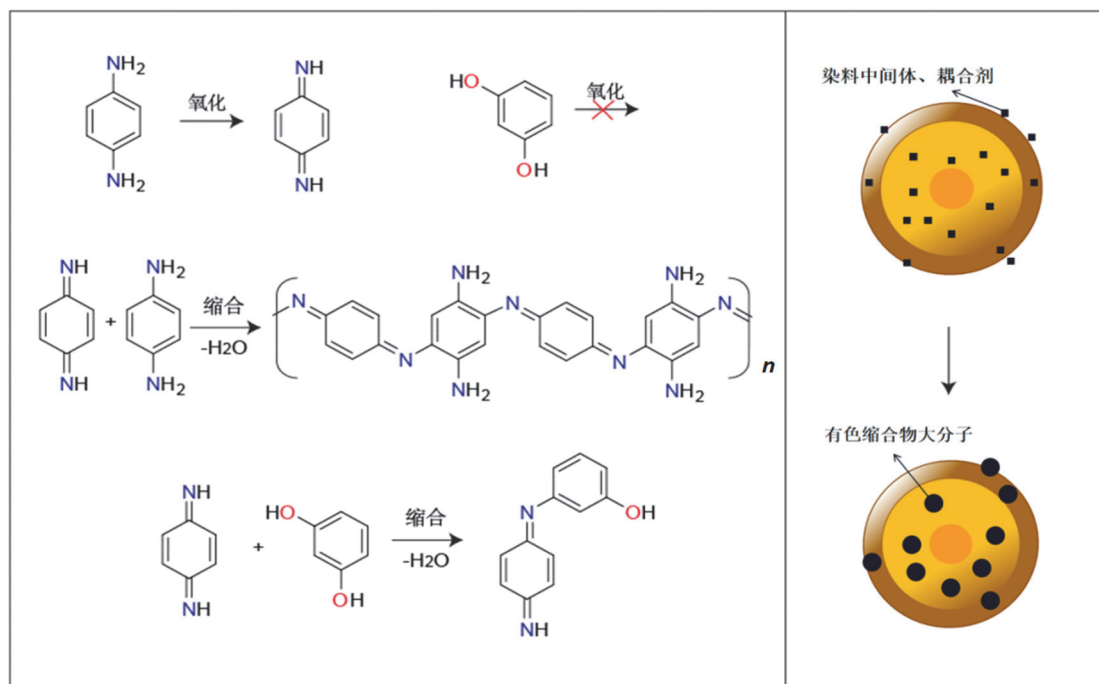


图5 合成染发剂染发原理

大分子不方便移动，氧化永久性染发剂在一次次水流的间隙里与蛋白质们闲聊着，“那皮质层里面的髓质层又是什么？”

“那里你们就不能去啦。你知道人体里的骨骼吗，髓质层的作用就和骨骼类似，里面都是空洞性细胞，可以帮助头发散热，支撑起头发的结构，不属于比赛场地的。”

闲聊之时，新一批的卫士和军官到了。经过上一轮无机染发剂的偷袭，他们严厉翻检着氧化永久性染发剂的背包。一声哨响，所有卫士进入一级戒备。军官指着背包里的苯胺物质问道，“这些容易造成皮肤过敏，并具有一定的致癌性，一旦通过头发毛囊进入血液，会引发缺氧性损害，造成高铁血红蛋白败血症，你们还有什么话狡辩？”氧化永久性染发剂分子面面相觑，正不知所措时，暗处传来声音：“那看看我们精英队如何？”

“哦？你们又有什么特殊！”长官好奇地询问。

暗处的精英们现身了，原来是新秀——人造黑色素染发剂。他们的结构组成与氧化永久性染发剂相似，只不过由于携带物质的帮助，更加先进和安全。为首的一个黑色素染料分子清了清嗓子，侃侃道来：“我能模拟黑色素的形成，发色逼真，适合黑色发质，也可添加一些耦合剂获得更多颜色。背包中携带的物质是5,6-二羟基吲哚，一般由酪氨酸为原料，经氧化剂氧化、酪氨酸酶催化和分子重排制备而成(图6)。”

更神奇的是，在氧化剂帮助下我们可以变身。在进入表皮鳞片层的入口时，我们是黑色素前体

小分子，能迅速扩散开来进入头发皮质层。在这里，经过氧化剂的帮助我们又可以变成黑色素大分子，使染发效果更持久(图7)。由于大分子的我们不能更好地行动，因此影响染色效果，还没有被大规模的使用。”

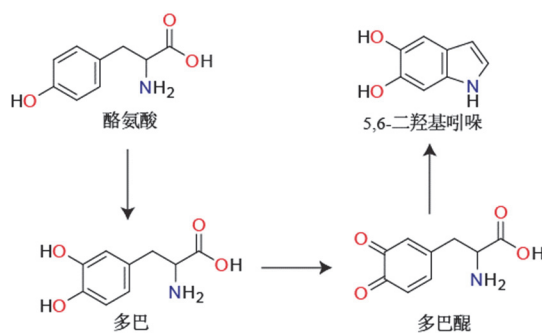


图6 5,6-二羟基色氨酸的合成

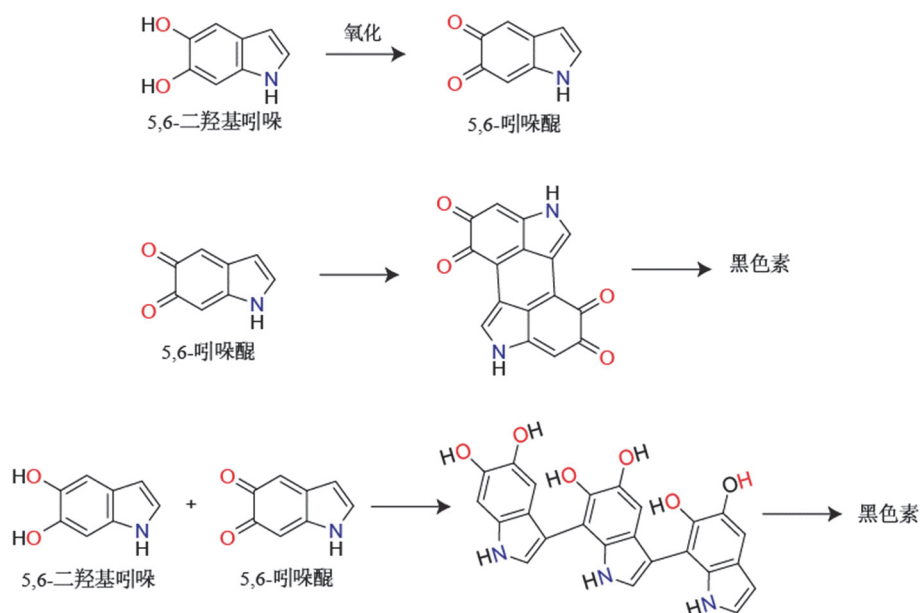


图7 5,6-二羟基色氨酸合成黑色素类染发剂可能的缩合机理

氧化永久性染发剂的表现十分优异，且有精英的相助，勇士的桂冠非他莫属。人造黑色素染发剂也发表了获奖感言：“随着科技的发展，生物兼容性好的其他人造黑色素染发剂，也就是我的兄弟们，相继被开发。2020年，以Battistella为代表的人类报道了一种多巴胺为原料、 $\text{CuSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ 做金属催化剂和氧化剂、温和条件聚合成聚多巴胺作为的染发剂(图8) [5]。透射电镜表征表明，聚多巴胺主要包覆在头发上(图8箭头所指位置)，进入毛皮质的很少，不破坏头发的机械性能和内部结构，且洗涤18次后也未明显褪色，”他又继续道，“也许在不久的将来，我们会崭露头角，发挥出自己更大的作用。”

而永久性染发剂里的天然染发剂由于成员太少，并不能被很好地观察到，目前还没有资格参加活动，但他们并不气馁。据他们介绍，天然染发剂同样不含二元胺及其衍生物等对人体有害的物质，且原料都来自于大自然，安全无毒，包括植物染料、动物染料和矿物染料[6]。植物染料是将植物的花、茎、叶、果实中的染色物质用热水或其他方法提取出来并作为原料，通过物理、化学等方法完成染色；动物染料包括虫胶等；矿物染料指金属盐类。天然染发剂由于安全性和练习时独特的闯关方式导致其出场身价也很高。不过他们为在场的选手表演了一番：只见一部分染料分子湿润并吸附

在表皮鳞片层，一部分小分子快速进入皮质层，找到皮质细胞，通过皮质细胞的细胞膜孔隙向内运输，然后进入皮质层深处，简言之就是借用皮质层的交通工具，达到内外共同作用进行固色(图9)^[7]。”天然染发剂的演示引起大家的啧啧称奇，安全的染发剂，这才是头发的好伙伴。都希望他们的成员增加，能够在以后的活动中崭露头角。

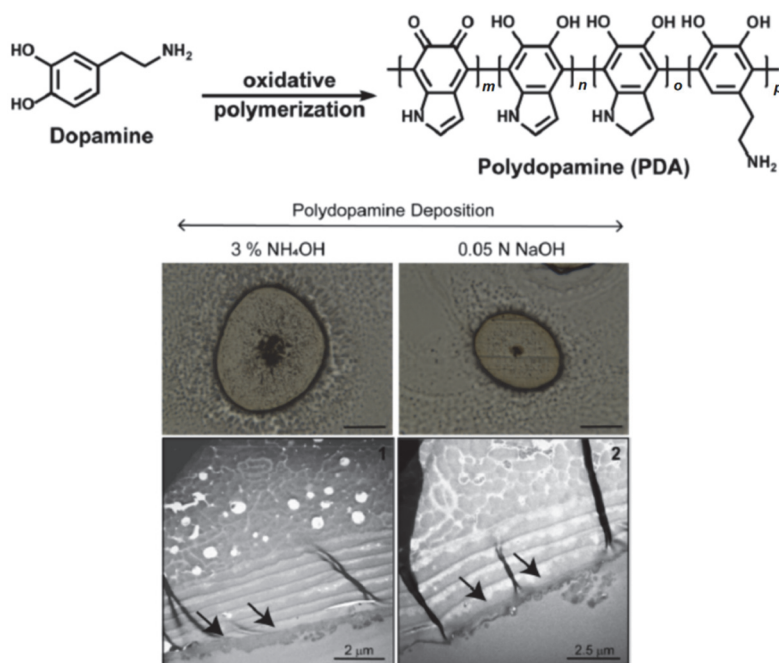


图8 聚多巴胺的合成和染发后头发透射电镜图

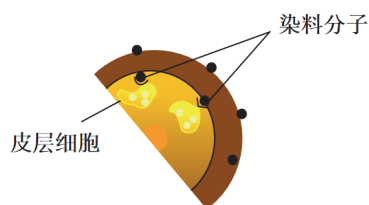


图9 天然染发剂的染色原理

活动虽然结束了，染发剂家族的竞争还远没结束。我们期待更多新星的出现……

参 考 文 献

- [1] 吴燕. 职业与健康, 2017, 33 (16), 2287.
- [2] 贾果禧. 丙二醇对鸡蛋全蛋液物料特性的影响[硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2021.
- [3] 耿思然. 科技传播, 2016, No. 3, 101.
- [4] 叶孝轩, 王明召. 化学教学, 2008, No. 1, 52.
- [5] Battistella, C.; McCallum, N. C.; Gnanasekaran, K.; Zhou, X.; Caponetti, V.; Montalti, M.; Gianneschi, N. C. *ACS Central Sci.* 2020, 6 (7), 1179.
- [6] 刘文晶. 超声波法天然染料染色性能提升技术研究[硕士学位论文]. 大连: 大连工业大学, 2010.
- [7] 穆伟伟, 李志洲. 广州化工, 2015, 43 (19), 8.