



# 化学通讯

CHEMICAL NEWSLETTER

No.3

2026年02月15日



图片来源: www.freepik.com



CHINESE  
CHEMICAL  
SOCIETY



中国化学会 主办  
中国科学院长春应用化学研究所



16



## 资讯汇集

- 58 位会员新晋级为高级会员 01  
来源：中国化学会官网

## 新闻快递

- 东南大学攻克二维半导体单晶量产技术 03  
来源：今日头条·东南大学
- 长城钻探自研海水基压裂液及压驱液助剂实现国产化替代 03  
来源：中国石油报
- 上海石化 3 万吨大丝束碳纤维项目一阶段竣工 03  
来源：中国石化新闻网
- 中化能源物流天津仓储乙醇业务成功落地 03  
来源：中国化工信息周刊公众号
- 广东公示 9 家拟通过复核化工园区名单 03  
来源：中国化工报公众号

## 封面文章

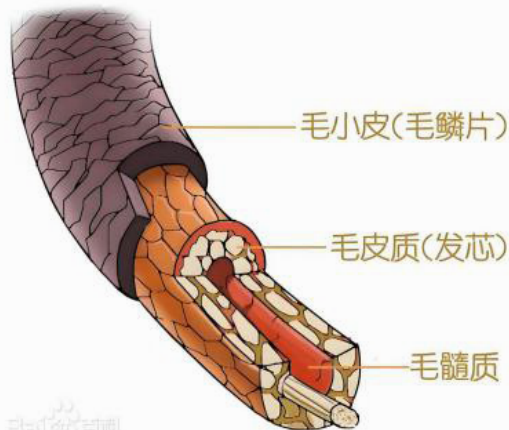
- ※ 从古至今，秀发都是如何养成的 04  
作者：王诗婷，王风霞

## 科技新闻

- 蜘蛛启发科学家研制出不沉金属 08  
来源：scientificamerican
- 微塑料研究存疑，并非就意味着安全 10  
来源：chemistryworld
- “十五五”共 26 个省（区、市）将氢能列为重点培育方向！附解析 14  
来源：能源与原材料工业公众号
- 500 人！2025 年中国“化学”学科高被引学者榜单发布 18  
来源：化学加公众号

## 科普大赛

- ※ 木糖醇的“甜蜜优势”，为什么它是“无糖”食品的常客 27  
作者：李雨格
- ※ 揭秘湛蓝之光：掀开鲁米诺的神秘面纱——鲁米诺发光机理科普 32  
作者：宋修熠<sup>1</sup>，巴恩洋<sup>2</sup>，钱行<sup>1</sup>，王峰<sup>1\*</sup>



05



31

## 科研进展

- 《Nature》：长春应化所在致幻剂作用机制研究方面取得突破性进展 42  
来源：中国科学院长春应用化学研究所公众号
- PS&T：如何通过力敏分子调控聚合物网络的韧性 45  
来源：高分子科学与技术 PS&T 公众号

主办单位：中国化学会 中国科学院长春应用化学研究所

刊 期：半月刊

主 编：杨小牛（中国科学院长春应用化学研究所）

副 主 编：刘正平（北京师范大学）

编辑部主任：王重洋

总 编 辑：孙智权

副总编辑：余婉宁

编 辑：陈雨婷、朱真逸

版面设计：许 霞

联系电话：0431-85262016

电子邮箱：hctx@ciac.ac.cn

公 众 号：Chemical Newsletter

投稿网址：https://www.scicloudcenter.com/CN/

电子版网址：https://www.chemsoc.org.cn/library/newsletters/

中国化学会秘书处

地 址：北京市中关村北一街 2 号

联 系 人：郝江涛、王亚茹

联系电话：010-82449177

# 58 位会员新晋级为高级会员

- 2026 年 2 月，中国化学会新晋级高级会员 58 位。目前，中国化学会现有高级会员共 3507 位。
- 中国化学会高级会员均享有专属会员主页，并可即时自主更新主页，变更信息或添加代表性论文等。



登录网址

<http://www.chemsoc.org.cn/member/senior/> (点击阅读原文)，可查询、浏览每位高级会员个人主页。

## 新晋级高级会员名单

序号	姓名	工作单位
1	蔡旭敏	南京林业大学
2	蔡云飞	重庆大学
3	曹登科	南京大学
4	陈星星	辽宁科技大学
5	董大朋	大连民族大学
6	冯 杰	浙江工业大学
7	郭昌	中国科学技术大学
8	韩文勇	遵义医科大学
9	郝维昌	北京航空航天大学
10	何 炜	中国人民解放军空军军医大学
11	胡 颖	合肥工业大学

序号	姓名	工作单位
12	胡 悦	温州大学
13	黄建设	中国科学院长春应用化学研究所
14	黄闻亮	北京大学
15	贾建华	中山大学
16	贾卫国	安徽师范大学
17	蓝敏焕	中南大学
18	雷新响	兰州大学
19	李安阳	西北大学
20	李金宇	福州大学
21	李思殿	山西大学
22	李文鹏	齐鲁工业大学

## ▶【续表】

序号	姓名	工作单位
23	李园园	重庆第二师范学院
24	李治军	陇东学院
25	李 智	上海科技大学
26	林玉妹	厦门大学
27	刘立杰	河南农业大学
28	刘 敏	中南大学
29	刘 宁	石河子大学
30	刘 森	吉林大学
31	刘志凌	山西师范大学
32	鲁在君	山东大学
33	吕志锋	扬州晨化新材料股份有限公司
34	乔 琰	西南大学
35	尚永辉	咸阳师范学院
36	孙鲁闽	厦门大学
37	唐怀军	云南民族大学
38	王晓瑜	北京科技大学
39	王樱蕙	中国科学院长春应用化学研究所
40	吴志杰	中国石油大学（北京）

序号	姓名	工作单位
41	谢顺吉	厦门大学
42	谢 涛	浙江大学
43	解云川	西安交通大学
44	谢云鹏	华中科技大学
45	徐 晖	南京工业大学
46	徐显朕	青岛大学化学
47	杨庆远	西安交通大学
48	游世海	西南交通大学
49	张东东	西安交通大学
50	张海娇	上海大学
51	张 辉	东华大学
52	张建明	青岛科技大学
53	张 乾	西安理工大学
54	张艳丽	云南民族大学
55	赵相玉	南京工业大学
56	周 燕	中国科学院成都生物研究所
57	周中高	赣南师范大学
58	庄晓松	上海市松江区教育学院

来源：今日头条·东南大学

## 东南大学攻克二维半导体单晶量产技术

1月30日，东南大学王金兰教授团队与苏州实验室、南京大学团队合作，在《Science》在线发表研究成果。团队创新提出氧辅助调控金属有机化学气相沉积生长策略，攻克6英寸过渡金属硫化物二维半导体单晶量产核心技术，解决传统工艺碳污染和晶畴尺寸小等难题，为集成电路等领域应用奠定基础，标志我国该领域跻身国际领先行列。

原文链接

<http://m.toutiao.com/group/7600977398129066548/>

来源：中国石油报

## 长城钻探自研海水基压裂液及压驱液助剂实现国产化替代

2月1日获悉，长城钻探自主研发的高性能海水基压裂液和压驱液助剂2025年累计销量突破千吨，在渤海、南海等区域的90余口井广泛应用，实现该类产品的国产化替代。海洋低渗致密油气藏开发存在淡水运输储存成本高、海水直接使用易导致压裂液性能失效等痛点，长城钻探自2021年起聚焦技术攻关，攻克碱性及中性海水基压裂液和压驱液一体化核心技术，构建适配海上低渗透油藏的储层改造增产液体体系。该技术优势显著，压裂液体系挟砂能力达35%，可在距海岸线超200km的海上平台将支撑剂送至千米裂缝深处；压驱液体系耐受矿化度超3.3万毫克/升的海水，且在160℃高温地层中性能稳定，兼具成本低、原料易获取的特点，为海上油气高效开发提供新方案。

原文链接

<http://news.cnpc.com.cn/system/2026/02/03/030185087.shtml>

来源：中国石化新闻网

## 上海石化3万吨大丝束碳纤维项目一阶段竣工

2月1日，上海石化年产3万吨大丝束碳纤维异地建设项目一阶段提前机械竣工，进入生产准备阶段。一阶段含2条生产线，产能合计6000吨/年，主打48K、60K规格产品，依托自有专利技术与绿电资源，将为风电等新能源领域提供关键材料，项目全面投产后产能将居全国首位。

原文链接

[http://www.sinopecnews.com.cn/xnews/content/2026-02/05/content\\_7142080.html](http://www.sinopecnews.com.cn/xnews/content/2026-02/05/content_7142080.html)

来源：中国化工信息周刊公众号

## 中化能源物流天津仓储乙醇业务成功落地

1月23日，中化能源物流天津仓储乙醇业务顺利落地，标志着其“油转化”战略取得关键突破。天津仓储作为环渤海石化仓储板块核心节点，筹备期间严格遵循乙醇仓储规范，完成储罐及配套设施清洗，并协同上下游资源，打通收储、装卸及周转全链条服务流程。此举丰富了仓储品类，拓宽绿色能源服务范畴，提升天津港区域清洁燃料仓储保障能力，为京津冀石化产业绿色转型提供支撑。未来将深化战略布局，聚焦生物质能源仓储，打造环渤海绿色石化仓储标杆平台。

原文链接

<https://mp.weixin.qq.com/s/xL0MempJ90GA3qjvGBUJg>

来源：中国化工报公众号

## 广东公示9家拟通过复核化工园区名单

1月27日，广东省工业和信息化厅公示第四批拟通过复核化工园区名单，公示期为2026年1月27日至2月28日。此次公示的9家化工园区分别为广州市南沙小虎化工区、东莞市立沙岛精细化工园区、中山市三角镇高平化工园区、江门市（鹤山）精细化工产业园、茂名市茂南石化工业园、清远市英德白沙涂料及涂料配套基地、清远华侨工业园东华精细化工定点基地、云浮郁南产业园区（大湾化工产业基地）和云浮循环经济工业园化工专区。

原文链接

[https://mp.weixin.qq.com/s/1K6eOmBHDkwd6-OAqB-\\_Q](https://mp.weixin.qq.com/s/1K6eOmBHDkwd6-OAqB-_Q)

Image by freepik on Freepik

# 从古至今， 秀发都是如何养成的

作者：王诗婷，王风霞；Email: 276309331@qq.com

## 1. 引言

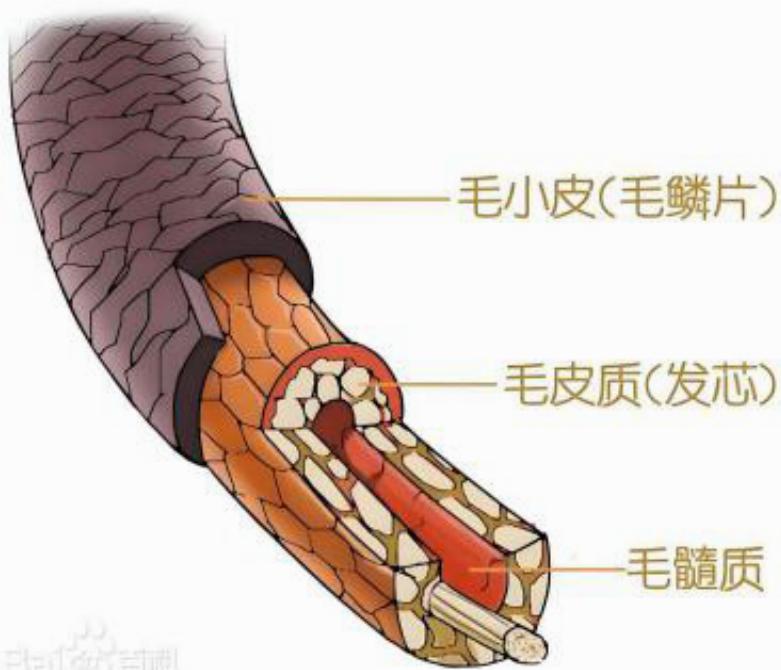
近年来,生活节奏不断加快,人们的生活习惯与生活方式不断改变,快节奏的生活使人们得不到充足的休息,生活工作的巨大压力使人们焦虑、紧张的负面情绪频出,再加之不合理的饮食习惯,严重影响人们身体健康,脱发、白发以及头发干枯毛躁等头发问题随之而来,如何养成一头光滑乌黑的“秀发”逐渐成为大众关注的焦点。

## 2. 怎样的头发算“秀发”,实验室中如何表征发质?

### 2.1 “秀发”应具备的特点

我们的头发的主要成分为角蛋白(约占80%以上),它是由毛干和毛根两部分组成。毛根是位于头皮皮肤内部的部分,被纤维状的毛囊包围;毛干是位于头皮皮肤之外的部分,也就是常说的头发。毛干在纤维结构上又可分为3个主要部分:毛小皮(毛鳞片)、毛皮质(发芯)和毛髓质<sup>[1]</sup>(图1)。

而我们所说的“秀发”通常指的是健康、光泽、柔顺且富有弹性的头发。“秀发”应该具有自然的光泽;摸起来应该顺滑,不会打结;具有良好的弹性,不容易断裂;通常具有适当的密度,既不过于稀疏也不过于浓



❶【图1】毛干的纤维结构(图片来源于 <https://mbd.baidu.com/ma/s/F9ADSuKG>)

密;头发没有明显的分叉、断裂或其他物理损伤。

### 2.2 实验室中表征发质的方法

实验室中常利用模型小鼠进行实验,我们可以通过观察法观察小鼠毛发的变化来直接表征发质,也可以通过检测小鼠中黑素瘤细胞增殖的情况、黑素合成情况、皮肤组织相关蛋白表达水平等来间接表征发质<sup>[2-3]</sup>。此外,我们不仅可以通过扫描电子显微镜观察分析头发发根和发梢的表面形貌来表征发质<sup>[4]</sup>,还可以使用新的DMA测试方法和结构分析仪等其他仪器对人类头发的粘弹性特性进行研究以表征发质<sup>[5]</sup>。

## 3. 中药中的“乌发秘籍”

拥有一头乌黑漂亮的秀发同样是咱老祖宗的梦想,古人早已对此颇有研究,日常常见的中药当中便隐藏着“乌发秘籍”。如我们常吃的桑葚,它可以治疗血亏阴虚造成的须发早白;又如黑芝麻,它虽个头小,但它可是养发的理想药物之一。此外,侧柏叶、何首乌和女贞子等中药材也具有“乌发”的功能<sup>[1]</sup>。我们需要注意的是,服用以上中药时应当注意用量,避免过量使用所造成的不良反应。侧柏叶中含有侧柏烯、侧柏酮等成分,这些成分具有一定的毒性,对我们的消化、神经、循环和泌尿等系统会造成

损害；何首乌中含有蒽醌类化合物，如大黄素、大黄酚等，这些化合物也具有一定毒性，长期或过量服用可能会产生肝脏损伤及胃肠道不适等不良反应；女贞子中含有一定的生物碱，过量使用可能对肝脏造成负担，引发肝功能异常。

#### 4. 为养成秀发，现代人如何放大招

当下，人们为得到一头秀发，养发乌发产品层出不穷。目前市面上的养发乌发产品大概分为梳子按摩器类、精油护发素类、口服营养品类和发际线粉修饰类产品。

##### 4.1 梳子按摩器类

中医认为，“头为诸阳之会”，每天梳头、按摩头部经络、刺激头部穴位能够推动头部血液循环，同时对养发亦有一定功效。我们可以通过按摩头部的百会穴、风府穴和太阳穴等穴位来达到生发的效果（图2）。同时，这些梳子按摩器产品常为曲线设计，这一设计更符合人体工学特点，更贴合头皮。圆形梳齿的设计能更好地保护头皮，达到按摩活络、生发养发的效果。

##### 4.2 护发精油类

目前，市面上护发精油类产品品牌众多，但产品中所包含的



①【图2】人体头部穴位图（图片来源于百度·太极本草）

化学成分却十分相近。精油类产品中的化学成分以异十二烷、聚二甲基硅氧烷和聚二甲基硅氧烷醇为主，它们都能在头发表面形成保护膜或深入毛发间隙，发挥润滑作用，减少头发摩擦、毛躁与静电，让头发更顺滑服帖、有光泽和柔软度。但同时它们又各

有特性：异十二烷不仅能形成透气膜层，还能在高温下保护头发角蛋白，延缓头发角蛋白损伤；聚二甲基硅氧烷有保湿性与渗透性，但需注意用量避免油腻，考虑与其他成分的兼容性；聚二甲基硅氧烷醇主要针对受损头发，提升发丝强韧性。部

分护发精油中还添加少量霍霍巴籽油、刺阿干树仁油和山茶籽油等天然植萃精油，这些成分均可以为头发层提供营养，闭合头发结构中的毛鳞片，抚平和修护受损发丝，使头发变得柔顺有光泽。

### 4.3 口服营养品类

口服营养类产品主要以口服液为主。如国产营养品中的黄芪茯苓乌黑液，其主要成分正是“乌发秘籍”中所提到的黑芝麻、桑葚、黄芪、茯苓、黑枸杞、黑米和黑豆，利用中药材成分养发。进口营养品如 Makal 生发口服液，其主要成分不仅包括黑胡椒和黑芝麻等中药材提取物，而且包括可以改善头皮环境的核蛋白肽，在增强黑色素生成的同时清除毛囊组织自由基，使得乌发效果更加明显。

### 4.4 发际线粉类产品

目前大部分发际线粉类产品只能作为化妆品，通过涂抹和点涂的方式进行填补发缝及发际线空缺，在视觉效果上丰富发量，但部分添加了天然植物精粹的发际线粉可以对头皮进行温和养护。同时，购物平台目前所销售的发际线粉类产品成分大多是化学物质如云母、丁二醇、丙烯酸（酯）类共聚物、苯乙烯/丙烯酸（酯）类共聚物、丙二醇、甘油、苯氧乙醇、辛甘醇、CI77492、乙基己基甘油及鲸蜡硬脂醇聚醚-25，有些还添加滑石粉，滑石粉若长期使用可能带来毛囊堵塞及头皮干燥等风险，得不偿失。只有小部分品牌的发际线粉产品中会添加微量如何首乌根提取物、当归提取物和芝麻籽提取物等天然成分。

## 5. 结语

养发乌发已成为当下大众关

注的健康与美容的重要议题之一，从古人发现的“乌发秘籍”到现代层出不穷的养发产品，人们对养发乌发的追求与探索从未停止。如今的消费者不再盲目追逐“速效乌发”的噱头，而是更在意成分表上的“天然纯度”，就连养发方式也在回归天然，更多人开始用牛角梳代替塑料梳，来实现对头皮的按摩以疏通经络；在日常饮食里添加黑芝麻和枸杞等天然食材，用食疗法来养护头发。随着科技的不断发展与进步，养发乌发领域定将逐步出现更多更高效、天然、安全的产品，把古人的“乌发秘籍”与现代工艺结合，让霍霍巴植物种子的保湿力与修复力、侧柏叶、何首乌的滋养力得到更好的展现，让更多人能安心选到真正有用的养发好物，让更多人可以拥有更健康的、从根源处真正透着自然生命力的“秀发”。

## 参考文献

- [1] 潘晓燕, 林梅, 裴运林. 头皮状况对头发的影响研究[J]. 日用化学品科学, 2025, 48(5): 64-70.
- [2] 张建. 不同中药组方乌发作用的体外实验研究[D]. 广州: 南方医科大学, 2010.
- [3] 朱琳, 王建青, 倪艳, 等. 祛脂生发方及其拆方组对雄激素性秃发模型小鼠毛发生长的影响[J]. 陕西中医, 2025, 46(8): 1030-1035.
- [4] 唐玮, 朱华, 刘重江. 人体头发的摩擦特性实验研究[J]. 摩擦学学报, 2007(6): 588-591.
- [5] Timothy Gao. 头发粘弹性和柔软性的动态力学分析研究[C]. 第十二届国际日用化工学术研讨会. 2009-10-28.



2026年1月9日，在罗切斯特大学 Guo Chunlei 教授的实验室中，一根“不沉式”金属管漂浮于蒸馏水中。图片来源：J·亚当·芬斯特（J. Adam Fenster）/ 罗切斯特大学

# 蜘蛛启发科学家研制出不沉金属

研究人员仿潜水钟蜘蛛锁气机制，打造出穿孔仍可漂浮的铝材料

来源：scientificamerican；作者：DENI ELLIS BÉCHARD；

翻译：余婉宁；原文链接：<https://www.scientificamerican.com/article/unsinkable-metal-discovery-could-build-safer-ships-and-harvest-wave-energy/>

将硬币抛入喷泉，其结果不言而喻。金属因密度大于水会沉入水底，这是连孩子都知道的常识。但一项新研究，却颠覆了这一延续数百年的固有认知。

罗切斯特大学的研究团队通

过蚀工艺对铝管进行改性处理，使其即便受损也不会沉入水底，而这一技术思路的灵感，正是研究人员从蜘蛛身上汲取的。

罗切斯特大学光学与物理学教授、该研究的资深作者 Guo

Chunlei 在新闻稿中表示：“你可以在这些铝管上扎出大洞。我们的研究证实，即便你在管体上尽可能多地打孔，对其造成严重损坏，它们依旧能保持漂浮。”

生活中有许多具有拒水性的物品，比如食用油、雨衣或是橡胶手套。科学家将这种特性称为疏水性——该词源自古希腊语，本意是“惧怕水”，而这款金属管实现浮性的核心奥秘，却在于超疏水性。

Guo Chunlei 的研究团队利用激光在铝材表面刻蚀出可捕获空气的微米级凹槽：不妨想象灯芯绒面料被极度微缩，直至其纹路需要借助电子显微镜才能观察到的状态。

据该新闻稿介绍，“这一机制与潜水钟蜘蛛在水下捕获气泡、维持自身浮性的原理十分相似。”这类蜘蛛几乎终生生活在水下，却仍需要呼吸空气，它们的解决办法就是自带氧气源。蜘蛛的体表覆盖着细密的绒毛，这些绒毛能将气泡吸附在其身体表面，使其不会轻易脱离。

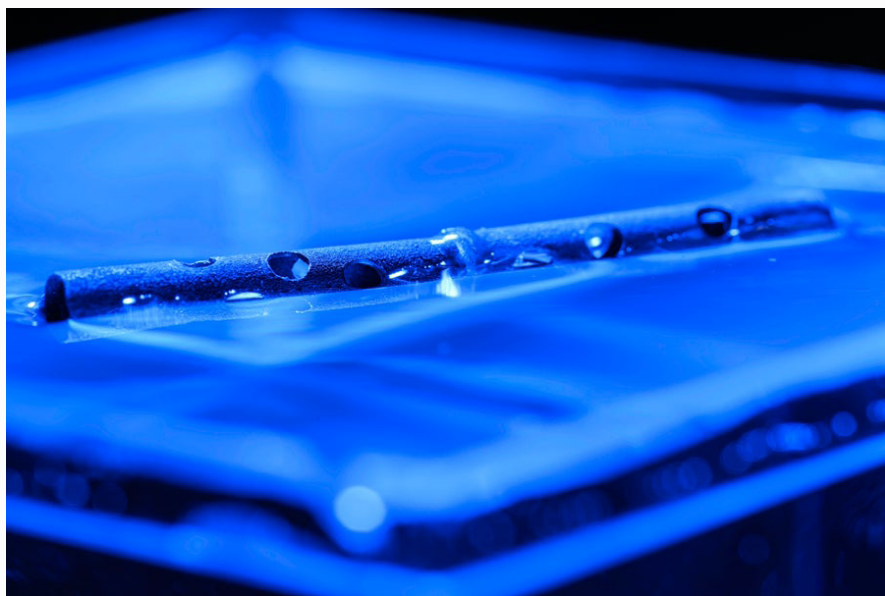
这款金属管模仿了蜘蛛的这类细密绒毛，可自主捕获并封存气泡。正常情况下，水会沿管壁内侧铺展并将空气排出，但其接

触到金属管的超疏水表面结构时,会被直接弹开。表面张力——正是这一特性让水在打过蜡的汽车引擎盖上形成水珠——能阻止水分进入管内,空气也因此得以留存,金属管便始终保持浮性。

该研究于2026年1月27日发表在《先进功能材料》期刊上,是在Guo Chunlei此前设计不沉金属的研究基础上开展的后续工作。2019年,其研究团队利用激光刻蚀圆盘验证了不沉金属的技术理念,然而这类圆盘在湍流水体中会发生倾倒,导致内部空气逸出。

这款新型金属管通过在管体中部增设内置分隔结构解决了这一问题,该结构可将空气封存于封闭腔体内。Guo Chunlei在同一份新闻声明中表示:“即便将金属管垂直压入水中,其内部的气泡仍能被牢牢封存,金属管也会保持漂浮能力。”他还介绍,研究团队在恶劣工况下对该金属管开展了数周的测试,并未发现其浮性出现任何衰减。

在自然界中,超疏水性并非新奇的特性。例如,蚊子的眼部拥有拒水性纳米结构,能保证其眼部视野始终清晰;而红火蚁则会借助自身的蜡质拒水外层与带



2026年1月9日,罗切斯特大学Guo Chunlei教授的实验室中,一根带有孔洞的“不沉式”金属管漂浮于蒸馏水中。图片来源:J. Adam Fenster/罗切斯特大学

有纹理的外骨骼捕获空气,洪水来临时,成千上万只红火蚁相互簇拥,形成具有浮性的活体筏状结构,这类结构可让红火蚁存活12天,甚至更久。

人类并非首次尝试研制可漂浮金属。2015年,纽约大学的研究人员将中空碳化硅球嵌入镁合金中,研制出了密度小于水的金属基复合材料。

但Guo Chunlei团队的这项研究成果,其应用价值早已超越实验室范畴。将这类金属管相互连接,可制成具备承重能力的浮筏或船舶。工程师们长久以来渴

望打造出即便舱体进水仍能保持漂浮的船舶,这一愿景或将成为现实。该材料还有一项出人意料的能源领域应用:Guo Chunlei的研究团队证实,以这类金属管制成的浮筏可收集海浪能量进行发电。

目前这类金属管的长度约为半米,但Guo Chunlei认为,扩大其尺寸并无技术障碍。如今所用激光器的功率,较2019年其团队首次尝试研制激光刻蚀金属圆盘时提升了6倍。他在同一份新闻声明中表示:“这项技术可轻松实现规模化放大,制成更大尺寸的产品。”



研究表明，多种食品包装均会释放微塑料。但究竟有多少微塑料会进入人体呢？来源：© 金加·克热明斯卡（Kinga Krzeminska）/ 盖蒂图片社

## 微塑料研究存疑，并非就意味着安全

来源：chemistryworld；作者：Andy Extance；翻译：余婉宁

原文链接：<https://www.chemistryworld.com/news/questions-over-microplastics-findings-dont-mean-we-are-safe-scientists-say/4022870.article>

**科** 学界针对多项高关注度研究的实验方法存在分歧，这些研究均发现人体各处广泛存在微塑料。开展上述研究的科研人员受到相关质疑后表示，科学界必须在现有研究结果的基础上持续完善相关研究。新墨西哥大学的马修·坎彭（Matthew Campen）向《化学世界》期刊表示：“我不会否定这些已发表的论文——研究人员采用了目前可实现的最优研究方法，且各实验室的研究结果也正逐渐呈现出一致性。”

## 这一研究领域的整体发展仍处于起步阶段。

丹·比格斯塔夫 (Dan Biggerstaff)，英国政府化学家实验室标准部 (LGC Standards)

该问题因《卫报》的一项调查进入公众视野，这项调查重点披露了科学界对这些微塑料研究提出的质疑。提出质疑的科学家们不仅向刊发相关论文的期刊致信，还在社交媒体上对这些研究展开了批评。《卫报》援引批评者的观点称，“这些研究发现很可能是污染和假阳性结果所致”。坎彭表示：“我们完全接受这些批评，但认为相关质疑被过度放大了。对于当下被热议的所有问题，我们早已在论文本身中作出了说明。”

核心问题在于，目前尚无成熟的检测方法，能够对微小、结构复杂且形态高度多变的微塑料颗粒进行检测分析。这些研究人员自身也指出了上述问题，同时正着手研发更完善的检测方法和建立相关行业标准。

与此同时，荷兰阿姆斯特丹自由大学的玛娅·拉莫雷 (Marja Lamoree) 表示，相关批评已演变成了骚扰行为。她向《化学世界》透露，自己收到了多封“带有威胁性且言辞恶劣的邮件”，读完这些邮件后，她始终处于提心吊胆、时刻提防的状态。“这完全是无法接受的。”

### 尚无统一检测方法

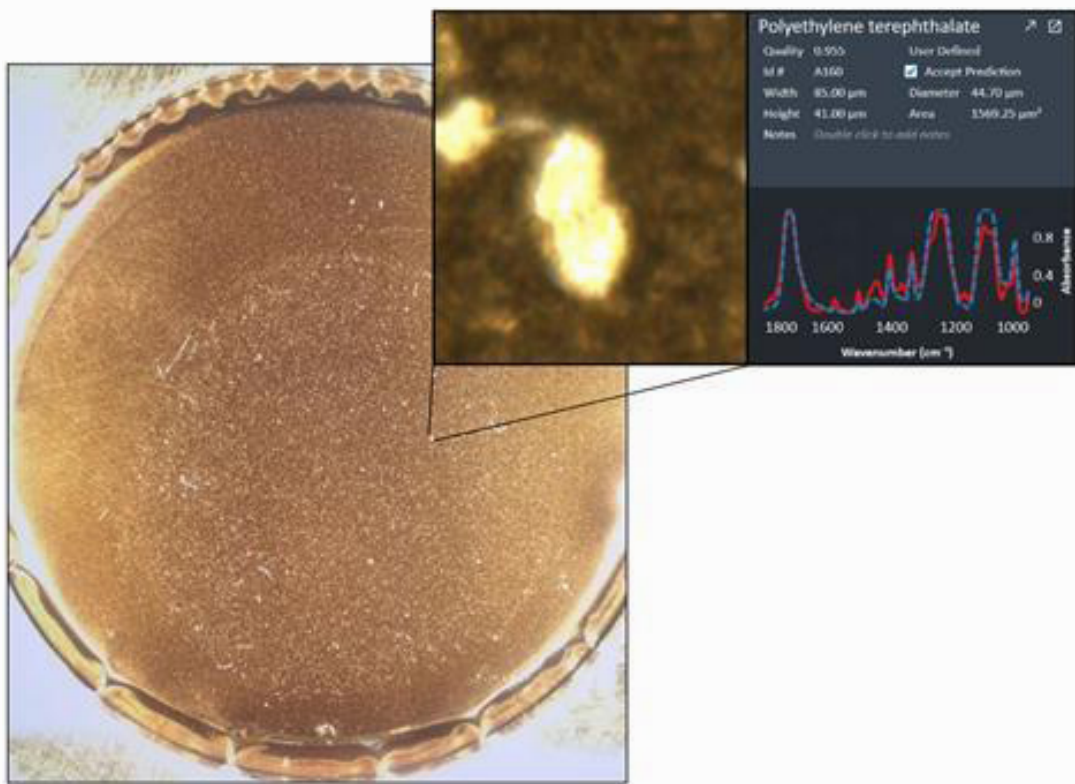
《卫报》的这篇调查报道重点关注了七项研究，后续有科学家致信这些研究论文的原刊发期刊，对其提出了批评。其中两项研究由坎彭及其团队完成：一项研究发现，1997年以来人类脑组织中的微塑料与纳米塑料含量呈上升趋势；另一项研

究则在犬类和人类的睾丸组织中检测到了微塑料，这一发现暗示微塑料可能与精子数量存在关联。另有一篇论文由拉莫雷所在的研究团队完成，该研究对人体血液中的微塑料进行了检测分析。而各类批评的核心观点均指向一点：研究中发现的这些微塑料，有可能是研究人员在实验过程中意外引入的。

## 科学界已形成广泛共识，微塑料属于持久性污染物，且这一污染物引发的全球关注正持续升温。

多罗塔·巴尔奇扎克 (Dorota Bartczak)，国家计量实验室

英国吉尔福德市英国政府化学家实验室旗下国家计量实验室的纳米材料科学领域负责人多罗塔·巴尔奇扎克指出，红外和拉曼吸收光谱成像技术可对微塑料颗粒的粒径进行检测。巴尔奇扎克并非此次争议的批评对象，她解释道，质谱技术则能够检测聚合物的质量。她还补充道，相关法规和标准对微塑料颗粒的定义十分宽泛，例如欧洲化学品管理局将其定义为所有粒径  $< 5\text{ mm}$  的塑料颗粒。巴尔奇扎克强调，正因如此，尽管目前已有多种检测技术投入使用，但没有任何一种技术能够对所有类



① PET 微塑料颗粒经激光红外成像光谱技术（LD-IR，红外成像光谱法）分析检测。微塑料与纳米塑料颗粒的分析方法多种多样，但目前尚无任何一种单一技术能实现对其所有检测指标的全覆盖测定。

来源：© 英国国家计量实验室 / 英国政府化学家实验室

型的微塑料颗粒实现全覆盖检测。

此外，实验室环境中普遍存在微塑料。为排除该因素的干扰，研究人员必须对含有对照物质的空白样品进行检测分析。这类空白样品通常为过滤后的超纯水，且需经过与目标样品完全相同的前处理流程。玛娅·拉莫雷解释道，空白样品中检出的微塑料与纳米塑料含量，会影响任一检测技术的检测限。而检测限的定义是，研究人员能够可靠地宣称实现检出的最小含量或质量。她表示：“我们已经分析了数百份空白样品，而这正是很多研究人员并未做到的。”

### 难以把控的实验变量

拉莫雷的研究团队还遭遇了另一项挑战：他们曾选用两家不同供应商的聚苯乙烯标准物质，对检测结果进行校准，却发现这两种标准物质在检测中产生的响应信号“有时会相差 10 倍”。她表示，这一现象让研究人员很难通过标准物质来准确测定样品中的塑料含量。

此次并未为拉莫雷团队提供标准物质的英国政府化学家实验室标准部技术总监比格斯塔夫解释道，这一问题的根源大概率是不同企业采用了不同的材料表征方法。“如果 A 厂商用检测方法 A 对其标准物质进行表征，而实验室内使用检测方法 B 开

展检测，二者的结果必然无法匹配。这一研究领域的整体发展仍处于起步阶段，这些都是我们目前正着力解决的问题。”

部分批评意见还聚焦于热解气相色谱 - 质谱联用技术 (py-GCMS) 这一特定检测手段的应用难点。常用的液相色谱 - 质谱联用技术并不适用于检测非极性微塑料，因此热解气相色谱 - 质谱联用技术成为了该领域的主流检测方法。

比格斯塔夫解释，热解气相色谱 - 质谱联用技术的原理是通过灼烧塑料聚合物，释放出构成该聚合物的单体及相关化合物，再对这些物质进行检测分析。该技术具备定量分析能力，可检测出样品中塑料颗粒的总质量，但无法确定颗粒的具体数量及粒径大小。“举个例子，50 颗粒径为 10  $\mu\text{m}$  的微塑料，其总质量可能与一颗更大的塑料颗粒完全相同。” 批评者还指出，该技术难以区分人体组织中的聚乙烯、聚氯乙烯与脂肪成分。比格斯塔夫强调，只有当两种不同的检测技术得出一致的检测结果时，研究人员才能对数据产生信服。

2022 年首次受到批评后，拉莫雷与其团队便指出，不同微塑料研究团队所采用的实验方法存在诸多不一致之处。他们还在一篇综述论文中，对不同研究的分析方法进行了可靠性评分。拉莫雷表

示，检测方法的整体问题，部分原因在于期刊编辑和同行评审专家往往缺乏开展相关评审所需的微塑料分析专业知识，难以对投稿论文进行专业评判。

## 值得审慎关注的研究现状

巴尔奇扎克与其团队正通过研发代表性检测材料和质量控制材料为该领域提供助力，同时还制定了微塑料可靠检测的实操指南。她表示：“对于任何未报告实验室空白样品检测结果、未明确检测限与定量限，或未采取恰当质量控制措施的研究，都应持审慎态度。而采用多种正交分析方法开展研究，且能得出一致、趋同结果的研究，其结论才具有最高的可信度。”

巴尔奇扎克介绍，英国国家计量实验室已研发出一套综合检测平台，整合了红外吸收光谱、质谱与光学成像技术，可实现对所有相关粒径和类型的微塑料颗粒的检测。她还强调，其他实验室也在开展高质量的研究工作。“目前已有诸多严谨、系统的研究实例，其公布的检测结果具备可靠性。科学界已形成广泛共识：微塑料属于持久性污染物，引发的全球关注正持续升温；这类污染物可在各类环境介质中累积，且已在饮用水和食物中被检出。不过，微塑料污染问题的实际严重程度，以及其相关的毒理学影响，目前仍在评估之中。”

**补充信息** 比格斯塔夫，英国政府化学家实验室标准部技术总监

# “十五五”共 26 个省（区、市） 将氢能列为重点培育方向！附解析

来源：能源与原材料工业公众号；原文链接：<https://mp.weixin.qq.com/s/gMUwELBk7kHFPAOCIk2JUQ>

“十五五”时期是我国氢能产业从示范探索迈向规模化、商业化发展的关键窗口期，国家氢能战略已逐步转化为地方具体行动纲领。随着各地“十五五”规划陆续进入实施阶段，氢能产业正加速融入能源安全保障、工业深度脱碳与经济增长新引擎的战略布局，为全球能源绿色转型贡献独特的中国路径与中国方案。

记者梳理发现，全国共有 26 个省（区、市）在“十五五”规划中，将氢能列为未来产业或新兴产业重点培育方向。从京津冀、长三角、粤港澳等经济核心区，到东北老工业基地、西部能源富集区，各地立足自身资源禀赋与产业基础，形成了“因地制宜、各具特色、协同推进”的氢能产业发展新格局，区域联动效应持续凸显。

## 01. 区域协同发力 构建差异化发展格局

在区域协同发展层面，京津冀三地形成优势互补、同向共进的产业生态。北京市聚焦能源结构优化，以氢能等清洁能源为突破口，重点构建绿色交通体系，为氢能应用场景落地提供核心场景支撑；天津市将氢能纳入未来

产业前瞻布局，着力推动其成为经济新增长点，同步加码新型能源基础设施建设，筑牢产业发展根基；河北省则锚定绿氢全产业链打造，通过实施前沿创新项目，强化与京津的技术协同与产业联动，完善区域氢能生态闭环。

资源富集的中西部地区，凭



借风光等可再生能源禀赋，重点布局绿氢产能与产业集群建设。内蒙古自治区发力大规模风光制氢技术攻关，持续壮大风光氢储融合产业，全力打造绿氢、绿氨、绿醇产业集群，相关项目已纳入国家氢能试点；青海省坚持风光水氢火储多元协调发展，推动绿色氢能形成新增长点，充分释放清洁能源大省的产业潜力；宁夏回族自治区瞄准未来能源方向，将氢能作为新增长点重点培育，精准衔接区域能源转型需求；西藏自治区则立足生态保护优先原则，有序发展绿色低碳、稳定安全的氢氧产业，探索符合高原特色的氢能发展路径。

东北三省以氢能产业走廊建设为纽带，推动老工业基地绿色转型突破。辽宁省重点培育氢能等未来产业，牵头推进东北地区氢能走廊建设，为老工业基地转型注入新动能；吉林省创新构建“氢能+”产业生态，重点支持氢能城际列车应用，以交通场景示范带动氢能走廊落地见效；黑龙江省前瞻布局氢能产业，规划建设风光水氢多能并举的新型能源体系，夯实区域氢能供给基础。

华东、华南地区凭借雄厚产业基础与广阔市场空间，侧重氢能多元应用拓展与产业链群培

育。江苏省加快壮大氢能等成长型未来产业，坚持安全有序发展原则，健全跨区域氢能协作机制；山东省实施未来产业引领计划，推动氢能可在多领域多元利用，助力产业从技术示范迈向规模化应用；福建省协同推进“风光储氢核”一体化发展，以创新为驱动加快氢能产业链群培育。其中，广东省前瞻布局氢能与核聚变能，海南省重点支持海上风电制氢示范，均依托华南区位优势带动全产业链协同发展。

中部及西南地区因地制宜，探索差异化氢能发展路径。湖北省在氢能与核聚变能等领域抢占新赛道，持续推进“氢化长江”工程，拓展水运场景氢能应用；湖南省统筹推进氢能等清洁能源高质量发展，精准衔接中部产业升级需求；四川省前瞻布局氢能与核聚变能，通过建设孵化器和先导区，强化技术研发与成果转化；贵州省、云南省结合区域能源特点，推动氢能与新型储能协调发展，培育新的经济增长点；重庆市则聚焦加氢站等基础设施网络布局，推动氢能与多能源互补融合发展，为西部陆海“氢走廊”建设提供核心支撑。

## 02. 技术突破提速 核心产业生态日趋完善

在行业共同努力下，“十四五”

氢能产业逐渐实现有序破局。1月30日，国家能源局能源节约和科技装备司副司长边广琦，在国家能源局新闻发布会上介绍，截至2025年底，我国可再生能源制氢项目累计建成产能超25万吨/年，较上年实现翻番式增长。新疆库车、宁夏宁东、内蒙古赤峰、吉林大安和松原等项目建成投运，氢能生产—储运—应用产业流程逐步贯通；一批重大技术装备取得新突破，为氢能产业发展奠定坚实基础。

中国汽车工程学会理事长张进华指出，我国已构建起从氢能制取、储运、加注，到燃料电池电堆、双极板、膜电极等核心部件研发，再到整车制造的完整产业链体系，为规模化发展奠定坚实基础。随着政策支持力度加大和核心技术瓶颈逐步突破，绿氢有望率先在交通领域实现大规模商业化应用。

产业落地层面已呈现多点突破态势。1月10日，广汽领程完成340辆氢燃料电池汽车交付，成为企业推进氢能汽车商业化落地的重要里程碑；1月4日，湖北省科技创新大会发布“61020”全链条攻关成果，东风汽车集团（股票简称：东风集团股份有限公司；股票代码：00489.HK）自主研发的400 kW氢燃料电池电

堆入选湖北省 20 项标志性创新产品，其与本田合作的氢燃料电池商用车已率先在武汉现有物流配送线路开展示范运行。

制氢装备领域，金辰股份(603396.SH)已实现全路线电解槽制造装备量产，绿能氢创推出单堆兆瓦级电解槽及可拆卸阴离子交换膜(AEM)电解槽，希倍优氢能的“山川系列”长压方形电解槽也实现技术突破，制氢技术向多元化、大型化方向迭代趋势明显；核心零部件领域，氢锐科技的新一代膜电极、亿纬氢能的 AEM 膜材料已实现稳定供应，上游关键材料自主创新能力亦稳步提升。

《中国氢燃料电池汽车产业化发展报告(2025)》数据显示，截至 2025 年末，全国氢燃料电池汽车保有量约 3 万辆，核心部件国产化率超 70%，反映出国内燃料电池电堆和系统产能持续扩张。预计到 2027 年，伴随技术改进与产能释放，燃料电池系统成本将降低 40% 以上，进一步加速商业化进程。

与此同时，储运与加注环节配套能力同步升级，杭氧集团、中山低温院等企业的高压气态储氢、液态氢储运设备已实现规模化应用，中天华氢推出全链条氢



能解决方案，英特尔、伟创电气的制氢电源解决方案为系统效率优化提供了有力支撑，推动“制储运输加用”全链条生态闭环加速形成。

### 03. 多方共识引领 2030 年有望跻身全球引领者行列

业内专家普遍认为，“十五五”时期将是我国氢能产业技术迭代、场景拓展、标准完善的关键阶段，有望实现从产业参与者向引领者的跨越。中国产业发展促进会氢能分会会长魏锁表示，“十五五”期间，碱性电解槽、质子交换膜电解槽、固体氧化物电解槽等多条技术路线将并行发展，实现关键性能跃升，这将整体提升我国绿氢制备的技术经济性和供应链安全性，为不同应用场景提供最优解决方案。

在技术自主化与国际化方

面，魏锁预判，到 2030 年，我国氢能全产业链核心技术将实现自主可控，国产电解槽、燃料电池等核心产品性能将达到国际先进水平，在全球市场占据重要份额，中国将从全球氢能产业的重要参与者和贡献者，升级为关键技术和市场模式的引领者之一。同时，“十五五”时期我国将在绿氢认证、大规模储运安全、氢能供应链碳足迹等领域，推动制定更多体现中国技术与市场需求的国际标准，构建包容公正的全球氢能标准新生态，为产业高质量发展提供坚实“软实力”支撑。

中国电子信息产业发展研究院节能与环保研究所所长赵卫东表示，目前氢燃料电池用质子交换膜、催化剂、碳纸已实现国内批量生产，“十五五”时期市场

占有率有望大幅提升，带动氢燃料电池关键核心装备全面国产化；液氢装备已打破发达国家技术垄断，未来五年有望持续升级并实现大型氢液化系统产业化。应用场景方面，绿色氢基能源将从交通燃料逐步向高端化工、化学肥料、储能转化等领域延伸，其中国内绿色合成氨规划产能近 2000 万吨 / 年、绿色甲醇规划产能预计 3000 万吨 / 年，这些项目将在“十五五”期间逐步投产，推动绿色氨醇产业高质量发展。

“我国是全球最大钢铁生产国、化学品生产国、电力生产国、汽车消费国、船东国，发展氢能产业拥有超大规模市场优势。”赵卫东强调，依托超大规模市场牵引、技术进步支撑和政策支持保障，我国氢能产业有望引领全球发展。

华南氢能产业技术创新战略联盟秘书长周宁在接受中国工业



报记者采访时预测，到 2030 年，绿氢应用场景将从交通单一领域拓展至化工、能源、冶金等多元市场，氢能将不再是“未来选项”，而是支撑我国能源体系高质量发展的“核心支撑”。

中国电力工程顾问集团华北电力设计院有限公司高级工程师田江南对中国工业报记者表示，从战略层面看，氢能将成为我国能源结构的重要支撑，国家战略地位持续提升，助力绿色低碳转型，整体而言，氢能产业将

迎来高速发展期，逐步实现规模化、商业化应用。

边广琦表示，“十五五”期间，国家能源局将与国家发展改革委等有关部门通力协作，强化产业规划引领，加大政策支持力度，加强核心技术攻关，推进氢能试点，健全标准认证体系，深化国际交流合作，大力培育氢能未来产业，为加快建设新型能源体系、建设能源强国作出积极贡献。

# 500 人！2025 年中国“化学”学科高被引学者榜单发布

来源：化学加公众号；原文链接：<https://mp.weixin.qq.com/s/07Zl8W6Zxofc2MnSK8SWAg>

## 导读

2026 年 1 月 30 日，爱思唯尔（Elsevier）正式发布 2025 “中国高被引学者”（Highly Cited Chinese Researchers）榜单。2025 “中国高被引学者”上榜共计 6310 人，来自 543 所高校、企业及科研机构，覆盖了教育部 10 个学科领域、83 个一级学科。

化学学科 102 个单位的 500 人上榜，中国科学院上榜人数最多，为 78 人，清华大学 26 人，中国科学技术大学 25 人，复旦大学 24 人、厦门大学 20 人。



“中国高被引学者”（Highly Cited Chinese Researchers）榜单以全球权威的引文与索引数据库 Scopus 作为中国学者科研成果的统计来源，采用上

海软科教育信息咨询有限公司开发的方法，Scopus 收录的科研成果发表署名机构为中国内地（未包含港澳台地区）机构的作者。

Stats

10

SCADC Subject Areas  
教育部学科领域

83

SCADC Subjects  
教育部一级学科

6,310

Researchers  
学者

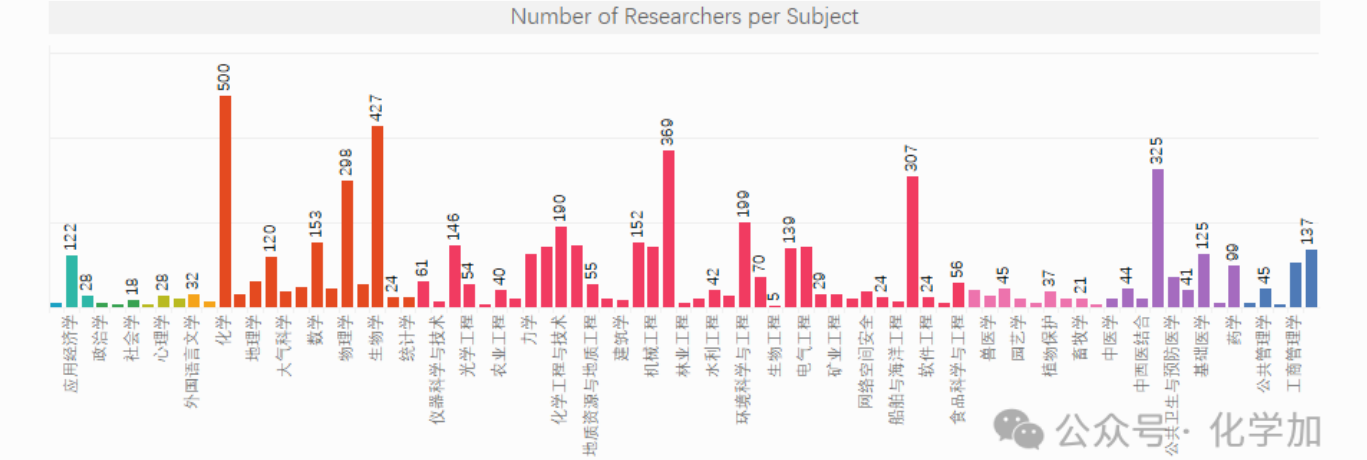
543

Institutions  
机构



公众号·化学加

Overview				
Code	学科领域	Subject Area	# of subjects	# of Researchers
01	哲学	Philosophy	1	11
02	经济学	Economics	2	150
03	法学	Law	3	36
04	教育学	Education	3	58
05	文学	Literature	2	46
07	理学	Science	13	1,819
08	工学	Engineering	36	2,902
09	农学	Agriculture	9	230
10	医学	Medical Sciences	9	756
12	管理学	Management Sciences	5	302



## 2025 “中国高被引学者” 榜单

(Highly Cited Chinese Researchers)

### 化学

序号	单位	人数
1	中国科学院	78
2	清华大学	26
3	中国科学技术大学	25
4	复旦大学	24
5	厦门大学	20
6	上海交通大学	17
7	南开大学	17
8	南京大学	17
9	浙江大学	14
10	北京大学	14

序号	单位	人数
11	中山大学	12
12	吉林大学	12
13	山东大学	11
14	湖南大学	10
15	华东师范大学	9
16	北京理工大学	8
17	武汉大学	7
18	四川大学	7
19	兰州大学	7
20	福州大学	7

## 2025 “中国高被引学者” 榜单

(Highly Cited Chinese Researchers)

## 化学

序号	姓名	单位
1	曹荣	中国科学院
2	曾小亮	中国科学院
3	陈传峰	中国科学院
4	陈春城	中国科学院
5	陈萍	中国科学院
6	陈学思	中国科学院
7	崔冬梅	中国科学院
8	狄重安	中国科学院
9	董绍俊	中国科学院
10	傅强	中国科学院
11	郭国聪	中国科学院
12	郭玉国	中国科学院
13	韩布兴	中国科学院
14	韩艳春	中国科学院
15	洪茂椿	中国科学院
16	侯剑辉	中国科学院
17	侯雪龙	中国科学院
18	胡金波	中国科学院
19	黄远标	中国科学院
20	景遐斌	中国科学院
21	李灿	中国科学院
22	李峻柏	中国科学院
23	李永舫	中国科学院
24	林君	中国科学院
25	林禹泽	中国科学院
26	刘春艳	中国科学院
27	刘国生	中国科学院
28	刘鸣华	中国科学院
29	刘元红	中国科学院
30	刘志敏	中国科学院
31	卢灿忠	中国科学院
32	逯乐慧	中国科学院

序号	姓名	单位
33	毛江高	中国科学院
34	MASAHIKO ARAI	中国科学院
35	梅天胜	中国科学院
36	潘秀莲	中国科学院
37	裴高峰	中国科学院
38	卿凤翎	中国科学院
39	曲晓刚	中国科学院
40	任劲松	中国科学院
41	石峰	中国科学院
42	宋卫国	中国科学院
43	孙文华	中国科学院
44	谭蔚泓	中国科学院
45	汤文军	中国科学院
46	唐芳琼	中国科学院
47	唐永炳	中国科学院
48	唐勇	中国科学院
49	万立骏	中国科学院
50	万梅香	中国科学院
51	汪尔康	中国科学院
52	王爱勤	中国科学院
53	王峰	中国科学院
54	王建强	中国科学院
55	王树涛	中国科学院
56	魏志祥	中国科学院
57	吴小锋	中国科学院
58	吴忠帅	中国科学院
59	夏春谷	中国科学院
60	邢巍	中国科学院
61	徐国宝	中国科学院
62	徐兆超	中国科学院
63	许国旺	中国科学院
64	杨栋	中国科学院

## ▶【续表】

序号	姓名	单位
65	杨维慎	中国科学院
66	杨秀荣	中国科学院
67	姚建年	中国科学院
68	叶松	中国科学院
69	游书力	中国科学院
70	余正坤	中国科学院
71	俞飏	中国科学院
72	张健	中国科学院
73	张新波	中国科学院
74	张新刚	中国科学院
75	赵进才	中国科学院
76	赵永生	中国科学院
77	周永贵	中国科学院
78	朱起龙	中国科学院
79	曹化强	清华大学
80	陈晨	清华大学
81	冯琳	清华大学
82	付华	清华大学
83	焦丽颖	清华大学
84	李宝华	清华大学
85	李春	清华大学
86	李景虹	清华大学
87	李隼	清华大学
88	李亚栋	清华大学
89	林金明	清华大学
90	刘磊	清华大学
91	刘礼晨	清华大学
92	刘洋	清华大学
93	罗三中	清华大学
94	邱新平	清华大学
95	曲良体	清华大学
96	王定胜	清华大学
97	王梅祥	清华大学
98	王泉明	清华大学
99	王训	清华大学
100	危岩	清华大学

序号	姓名	单位
101	徐柏庆	清华大学
102	张洪杰	清华大学
103	张新荣	清华大学
104	朱永法	清华大学
105	陈昶乐	中国科学技术大学
106	陈乾旺	中国科学技术大学
107	崔华	中国科学技术大学
108	杜平武	中国科学技术大学
109	傅尧	中国科学技术大学
110	高敏锐	中国科学技术大学
111	黄伟新	中国科学技术大学
112	江海龙	中国科学技术大学
113	江俊	中国科学技术大学
114	李微雪	中国科学技术大学
115	刘世勇	中国科学技术大学
116	潘才元	中国科学技术大学
117	孙永福	中国科学技术大学
118	唐凯斌	中国科学技术大学
119	汪志勇	中国科学技术大学
120	王官武	中国科学技术大学
121	王鑫	中国科学技术大学
122	吴宇恩	中国科学技术大学
123	吴长征	中国科学技术大学
124	武晓君	中国科学技术大学
125	谢毅	中国科学技术大学
126	徐安武	中国科学技术大学
127	徐铜文	中国科学技术大学
128	俞书宏	中国科学技术大学
129	张晓东	中国科学技术大学
130	包信和	复旦大学
131	曹勇	复旦大学
132	戴维林	复旦大学
133	邓春晖	复旦大学
134	邓勇辉	复旦大学
135	丁建东	复旦大学
136	金国新	复旦大学

## ▶【续表】

序号	姓名	单位
137	孔继烈	复旦大学
138	李明洙	复旦大学
139	刘智攀	复旦大学
140	麻生明	复旦大学
141	聂志鸿	复旦大学
142	彭慧胜	复旦大学
143	施章杰	复旦大学
144	唐颐	复旦大学
145	王永刚	复旦大学
146	王忠胜	复旦大学
147	夏永姚	复旦大学
148	徐昕	复旦大学
149	张凡	复旦大学
150	张俊良	复旦大学
151	赵东元	复旦大学
152	郑耿锋	复旦大学
153	周鸣飞	复旦大学
154	陈明树	厦门大学
155	陈曦	厦门大学
156	程俊	厦门大学
157	范凤茹	厦门大学
158	胡文平	厦门大学
159	孔祥建	厦门大学
160	匡勤	厦门大学
161	李剑锋	厦门大学
162	任斌	厦门大学
163	孙世刚	厦门大学
164	田娜	厦门大学
165	田中群	厦门大学
166	汪骋	厦门大学
167	王伟俊	厦门大学
168	王野	厦门大学
169	徐海超	厦门大学
170	杨勇	厦门大学
171	叶龙武	厦门大学
172	张庆红	厦门大学

序号	姓名	单位
173	郑南峰	厦门大学
174	陈洪渊	南京大学
175	郭子建	南京大学
176	金钟	南京大学
177	鞠熷先	南京大学
178	黎书华	南京大学
179	刘震	南京大学
180	龙亿涛	南京大学
181	史壮志	南京大学
182	孙为银	南京大学
183	夏兴华	南京大学
184	谢劲	南京大学
185	徐静娟	南京大学
186	郑和根	南京大学
187	郑丽敏	南京大学
188	朱成建	南京大学
189	朱俊杰	南京大学
190	左景林	南京大学
191	卜显和	南开大学
192	陈弓	南开大学
193	陈军	南开大学
194	陈永胜	南开大学
195	程方益	南开大学
196	程鹏	南开大学
197	何良年	南开大学
198	焦丽芳	南开大学
199	刘育	南开大学
200	牛志强	南开大学
201	庞代文	南开大学
202	师唯	南开大学
203	汪清民	南开大学
204	赵斌	南开大学
205	赵庆	南开大学
206	周其林	南开大学
207	朱守非	南开大学
208	车顺爱	上海交通大学

## ▶【续表】

序号	姓名	单位
209	陈接胜	上海交通大学
210	崔勇	上海交通大学
211	丁奎岭	上海交通大学
212	樊春海	上海交通大学
213	黄富强	上海交通大学
214	李富友	上海交通大学
215	刘燕	上海交通大学
216	钱雪峰	上海交通大学
217	孙淮	上海交通大学
218	颜德岳	上海交通大学
219	颜徐州	上海交通大学
220	袁望章	上海交通大学
221	张礼知	上海交通大学
222	张万斌	上海交通大学
223	郑思珣	上海交通大学
224	朱晨	上海交通大学
225	来鲁华	北京大学
226	李彦	北京大学
227	刘忠范	北京大学
228	彭海琳	北京大学
229	齐利民	北京大学
230	孙聆东	北京大学
231	王哲明	北京大学
232	徐冰君	北京大学
233	徐东升	北京大学
234	严纯华	北京大学
235	杨四海	北京大学
236	余志祥	北京大学
237	张锦	北京大学
238	张亚文	北京大学
239	高超	浙江大学
240	侯昭胤	浙江大学
241	黄飞鹤	浙江大学
242	金一政	浙江大学
243	陆展	浙江大学
244	彭笑刚	浙江大学

序号	姓名	单位
245	史炳锋	浙江大学
246	王鹏	浙江大学
247	王勇	浙江大学
248	肖丰收	浙江大学
249	徐志康	浙江大学
250	张其胜	浙江大学
251	张玉红	浙江大学
252	朱海明	浙江大学
253	陈龙	吉林大学
254	董庆锋	吉林大学
255	路萍	吉林大学
256	裘式纶	吉林大学
257	苏忠民	吉林大学
258	杨柏	吉林大学
259	杨英威	吉林大学
260	张皓	吉林大学
261	张希	吉林大学
262	赵冰	吉林大学
263	朱守俊	吉林大学
264	邹晓新	吉林大学
265	巢晖	中山大学
266	陈小明	中山大学
267	高松	中山大学
268	匡代彬	中山大学
269	李攻科	中山大学
270	刘俊良	中山大学
271	卢锡洪	中山大学
272	容敏智	中山大学
273	苏成勇	中山大学
274	童明良	中山大学
275	童叶翔	中山大学
276	张杰鹏	中山大学
277	陈代荣	山东大学
278	李春霞	山东大学
279	李兴伟	山东大学
280	李玉良	山东大学

## ▶【续表】

序号	姓名	单位
281	孙颀	山东大学
282	熊胜林	山东大学
283	杨剑	山东大学
284	张进涛	山东大学
285	张茂杰	山东大学
286	赵宝祥	山东大学
287	郑利强	山东大学
288	陈金华	湖南大学
289	段曦东	湖南大学
290	蒋健晖	湖南大学
291	刘艳岚	湖南大学
292	王柯敏	湖南大学
293	王双印	湖南大学
294	俞汝勤	湖南大学
295	袁林	湖南大学
296	张晓兵	湖南大学
297	邹雨芹	湖南大学
298	高恩庆	华东师范大学
299	葛建平	华东师范大学
300	姜雪峰	华东师范大学
301	金利通	华东师范大学
302	李大为	华东师范大学
303	田阳	华东师范大学
304	吴鹏	华东师范大学
305	杨海波	华东师范大学
306	周剑	华东师范大学
307	冯霄	北京理工大学
308	胡长文	北京理工大学
309	唐金魁	北京理工大学
310	王博	北京理工大学
311	吴川	北京理工大学
312	杨国昱	北京理工大学
313	张加涛	北京理工大学
314	赵飞	北京理工大学
315	池毓务	福州大学
316	唐点平	福州大学

序号	姓名	单位
317	王心晨	福州大学
318	杨黄浩	福州大学
319	张贵刚	福州大学
320	张金水	福州大学
321	郑寿添	福州大学
322	丁三元	兰州大学
323	力虎林	兰州大学
324	梁永民	兰州大学
325	涂永强	兰州大学
326	王为	兰州大学
327	许鹏飞	兰州大学
328	杨正银	兰州大学
329	冯小明	四川大学
330	侯贤灯	四川大学
331	胡常伟	四川大学
332	刘小华	四川大学
333	王玉忠	四川大学
334	游劲松	四川大学
335	余达刚	四川大学
336	曹余良	武汉大学
337	胡斌	武汉大学
338	胡胜水	武汉大学
339	雷爱文	武汉大学
340	钱江锋	武汉大学
341	王春江	武汉大学
342	张先正	武汉大学
343	艾智慧	华中师范大学
344	陈加荣	华中师范大学
345	陆良秋	华中师范大学
346	吴安心	华中师范大学
347	肖文精	华中师范大学
348	朱成周	华中师范大学
349	康振辉	苏州大学
350	郎建平	苏州大学
351	李彦光	苏州大学
352	孟凤华	苏州大学

## ▶【续表】

序号	姓名	单位
353	严锋	苏州大学
354	钟志远	苏州大学
355	韩润平	郑州大学
356	侯红卫	郑州大学
357	蓝宇	郑州大学
358	卢思宇	郑州大学
359	麦松威	郑州大学
360	臧双全	郑州大学
361	范楼珍	北京师范大学
362	龙闰	北京师范大学
363	毛兰群	北京师范大学
364	闫东鹏	北京师范大学
365	于吉红	北京师范大学
366	马骥	华东理工大学
367	曲大辉	华东理工大学
368	施敏	华东理工大学
369	张金龙	华东理工大学
370	朱为宏	华东理工大学
371	赤阪健	华中科技大学
372	王得丽	华中科技大学
373	游波	华中科技大学
374	真嶋哲朗	华中科技大学
375	朱丽华	华中科技大学
376	马建方	东北师范大学
377	王新龙	东北师范大学
378	杨进	东北师范大学
379	朱广山	东北师范大学
380	熊仁根	东南大学
381	姚惠峰	东南大学
382	张春阳	东南大学
383	张闻	东南大学
384	马大为	南方科技大学
385	谭斌	南方科技大学
386	谢作伟	南方科技大学
387	张绪穆	南方科技大学
388	董育斌	山东师范大学

序号	姓名	单位
389	唐波	山东师范大学
390	谢俊峰	山东师范大学
391	张建	山东师范大学
392	韩明勇	天津大学
393	马军安	天津大学
394	张兵	天津大学
395	赵广久	天津大学
396	王雪峰	同济大学
397	闫冰	同济大学
398	杨金龙	同济大学
399	赵国华	同济大学
400	贡腾	浙江师范大学
401	何亚兵	浙江师范大学
402	李正全	浙江师范大学
403	杨启华	浙江师范大学
404	宣俊	安徽大学
405	遇鑫通	安徽大学
406	朱满洲	安徽大学
407	卢云峰	北京化工大学
408	孙晓明	北京化工大学
409	卫敏	北京化工大学
410	陈春英	国家纳米科学中心
411	唐智勇	国家纳米科学中心
412	赵宇亮	国家纳米科学中心
413	董斌	中国石油大学(华东)
414	吴传德	中国石油大学(华东)
415	智林杰	中国石油大学(华东)
416	李亚飞	常州大学
417	史一安	常州大学
418	徐艺军	电子科技大学
419	薛冬峰	电子科技大学
420	武培怡	东华大学
421	张彦中	东华大学
422	陈邦林	福建师范大学
423	陈祖亮	福建师范大学
424	汤龙程	杭州师范大学

## ▶【续表】

序号	姓名	单位
425	徐利文	杭州师范大学
426	付宏刚	黑龙江大学
427	井立强	黑龙江大学
428	OSUKA,ATSUHIRO	湖南师范大学
429	杨荣华	湖南师范大学
430	李映伟	华南理工大学
431	张伟德	华南理工大学
432	兰亚乾	华南师范大学
433	李伟善	华南师范大学
434	于京华	济南大学
435	周伟家	济南大学
436	石枫	江苏师范大学
437	屠树江	江苏师范大学
438	狄俊	南京理工大学
439	房建国	南京理工大学
440	李金恒	青岛科技大学
441	王磊	青岛科技大学
442	翟华金	山西大学
443	阴彩霞	山西大学
444	TOSHIO MASUDA	上海大学
445	徐甲强	上海大学
446	胡培君	上海科技大学
447	申文杰	上海科技大学
448	邓力	西湖大学
449	徐宇曦	西湖大学
450	袁若	西南大学
451	周成合	西南大学
452	帅志刚	香港中文大学(深圳)
453	朱世平	香港中文大学(深圳)
454	冯立纲	扬州大学
455	庞欢	扬州大学
456	曾杰	安徽工业大学
457	熊宇杰	安徽师范大学
458	刘明杰	北京航空航天大学
459	卢天	北京科音自然科学研究中心
460	徐宝军	北师大香港浸会大学
461	王秀丽	渤海大学
462	丁黎明	广东工业大学

序号	姓名	单位
463	余长林	广东石油化工学院
464	林伟英	广西大学
465	曾明华	广西师范大学
466	牛利	广州大学
467	姜建壮	贵州大学
468	吴骊珠	国家自然科学基金委员会
469	张占辉	河北师范大学
470	罗德平	河南工业大学
471	王键吉	河南师范大学
472	李振	湖北大学
473	孙予罕	怀柔实验室山西研究院
474	陈填烽	暨南大学
475	万结平	江西师范大学
476	蒲守智	景德镇陶瓷大学
477	胡之德	兰州分离科学研究所
478	张书圣	临沂大学
479	张小勇	南昌大学
480	王国平	南华大学
481	王剑波	内蒙古大学
482	李东升	三峡大学
483	马占芳	首都师范大学
484	吴劼	台州学院
485	刘敬祥	天津工业大学
486	成江	温州大学
487	池振国	五邑大学
488	冯钰琦	武汉纺织大学
489	郑建斌	西北大学
490	张庆华	西北工业大学
491	李健	西北师范大学
492	龚流柱	西南科技大学
493	杨胜韬	西南民族大学
494	张献明	运城学院
495	孙长庆	长江师范学院
496	蒲雄	中国科学院大学
497	郭红超	中国农业大学
498	李志平	中国人民大学
499	袁俊	中南大学
500	黄刚良	重庆师范大学

化学加

# 木糖醇的“甜蜜优势”

## 为什么它是“无糖”食品的常客

作者：李雨格；Email: 1942174133@qq.com



Image by vector4stock on Freepik

## 引言

**木**糖醇 (Xylitol, 化学式:  $C_5H_{12}O_5$ ) 是一种在食品、日化等领域都有广泛应用的物质。它以白色结晶形式存在, 极易溶于水, 天然存在于李子、樱桃等水果以及玉米芯、麦秆等农作物废弃物中。从化学分类来看, 蔗糖属于二糖, 而木糖醇属于五碳糖醇, 并非传统意义上的糖类 (蔗糖、葡萄糖、麦芽糖和果糖), 这一特性使其能够用于标注“无糖”的食品中, 但二者甜度相当, 因此木糖醇是一种良好的代糖<sup>[1]</sup>。

## 一、甜蜜的烦恼：从超市货架到分子世界

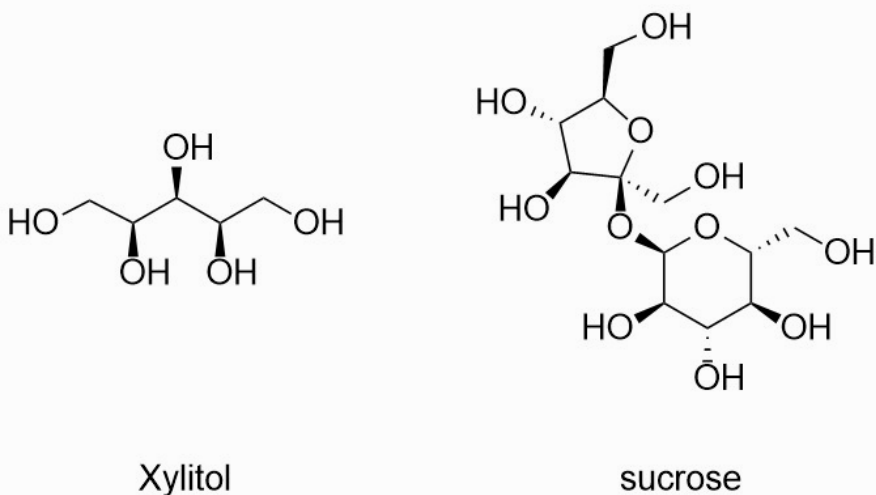
走进超市, 货架上的食品琳琅满目, 标着“低糖”和“无糖”的产品让人眼花缭乱。想要享受甜味, 又怕摄入过多糖分影响健康, 选传统蔗糖还是代糖? 到底哪种甜味剂更适合自己? 这成了很多人在选购食品时的困惑, 本文将以传统代糖“木糖醇”为例, 解释木糖醇为何能成为现阶段应用最广泛的代糖。

从化学本质来看, 糖类是一类多羟基醛 / 酮, 或能通过水解反应生成多羟基醛 / 酮的有机化合物。从定义去观察木糖醇就可以发现, 木糖醇的分子结构虽符合“多羟基”的特征, 但却并不属于醛 / 酮, 且无法通过水解生成含醛 / 酮基的化合物——这就

从化学本质上否定了它的“糖类身份”。既然不是糖类, 为何木糖醇仍能产生甜味呢? 这背后的关键, 在于其分子结构与人体味觉受体的相互作用机制 (图 1)。

从分子结构来看, 木糖醇虽不含醛 / 酮基, 但仍拥有 5 个羟基。这一“多羟基”的特征, 正

是它能产生甜味的核心基础。羟基是使物质变甜的主要官能团, 当木糖醇分子接触到口腔中甜味受体时, 其直链结构上的羟基会与受体蛋白表面的氨基酸残基形成氢键, 这种氢键作用会触发受体的构象变化, 就像钥匙插入锁孔一样, 激活味觉信号通路 (其



①【图 1】木糖醇 (左) 和蔗糖 (右) 的结构示意图

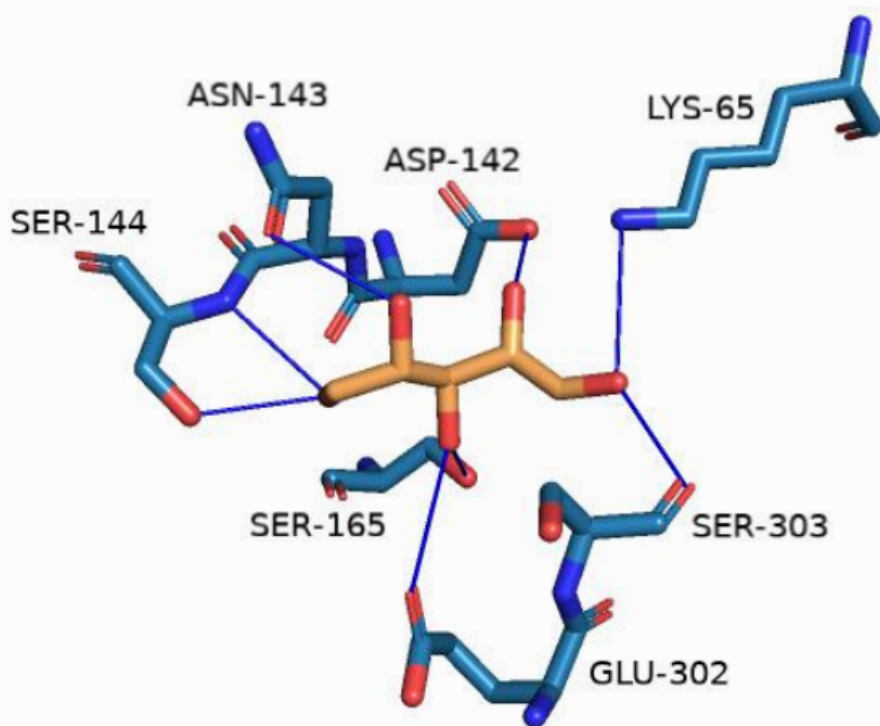
与甜味受体的对接位点见图2)。随后,信号通过神经传递至大脑味觉中枢,最终让我们感知到“甜味”<sup>[2]</sup>。

值得注意的是,木糖醇的甜味体验还与它和蔗糖的“结构相似性”有关。虽然二者分子类型不同,但它们的分子大小、羟基数量与碳原子数量比及空间分布较为接近,这种结构上的“相似性”也使得木糖醇的甜味强度与蔗糖极为接近,这也是它能作为蔗糖替代品,广泛用于食品和日化产品的重要条件。

说完二者间的相似性,我们再来着眼二者作为“甜味剂”的不同之处:要想弄明白蔗糖和木糖醇的区别,还是要从结构入手,蔗糖像一对被紧紧绑在一起的“双胞胎”,是由一分子葡萄糖和一分子果糖通过糖苷键连接而成的二糖,结构相对复杂。反观木糖醇则是个“独行侠”,它是一种五碳糖醇,分子结构是直链的五碳多元醇,不存在需要拆解的糖苷键,结构简单直接<sup>[3]</sup>。正是这种分子结构的差异,为它们在人体内的不同“旅程”埋下了伏笔。

## 二、代谢路径与血糖影响:两者的核心差异

当蔗糖进入人体后,其代谢



①【图2】木糖醇与甜味受体分子的对接位点<sup>[2]</sup>

之旅要从“拆解”开始:由于它是由葡萄糖和果糖通过糖苷键连接而成的二糖,无法直接被细胞利用,必须先在小肠内接受蔗糖酶的“切割”——糖苷键被断裂后,蔗糖才能水解为葡萄糖和果糖这两种单糖,随后才能通过小肠黏膜被吸收进入血液。

相比之下,木糖醇的代谢路径则简洁得多。作为一种结构简单的五碳糖醇,它无需经过水解步骤,就能直接被小肠吸收进入血液循环。而当蔗糖水解产生的葡萄糖与木糖醇一同进入血液,站在同一起跑线时,木糖醇的优势会进一步凸显:葡萄糖要进入

细胞参与代谢,必须依赖胰岛素这个“通行证”,一旦胰岛素分泌不足或作用受阻,葡萄糖就会滞留在血液中,导致血糖水平飙升;而木糖醇就像代谢系统里的“熟面孔”,无需胰岛素“引路”就能直接穿过细胞膜进入细胞,从根本上降低了细胞对胰岛素的依赖<sup>[3]</sup>。

进入细胞后,木糖醇会在酶的催化下转化为木酮糖,悄然融入身体的代谢循环,最终分解为二氧化碳和水排出体外<sup>[4]</sup>。虽然从理论上讲,木糖醇与其他单糖的代谢产物种类相同,热值也同为 16.72 kJ/g,但实际代谢过程

中，它的能量利用率要低得多：研究数据显示，进入人体的木糖醇中，约 50%~60% 会直接以二氧化碳形式排出，20%~30% 会转化为糖原等中间产物储存起来，仅有少量会被直接排出体外。加之它具备肝脏直接代谢和肠道菌群发酵间接分解的双重路径，进一步降低了能量转化效率，实际被身体利用产生的热量远低于同等量的蔗糖，对需要控制热量摄入的人更为友好<sup>[1]</sup>。

这种高效且温和的代谢特点，使得木糖醇在为人体提供甜味的同时，不会引发血糖的剧烈波动，既能满足人们对甜味的需求，又能兼顾控糖人群的健康诉求，堪称平衡甜蜜与健康的理想选择。

### 三、牙齿更喜欢木糖醇：与细菌的“交锋”差异

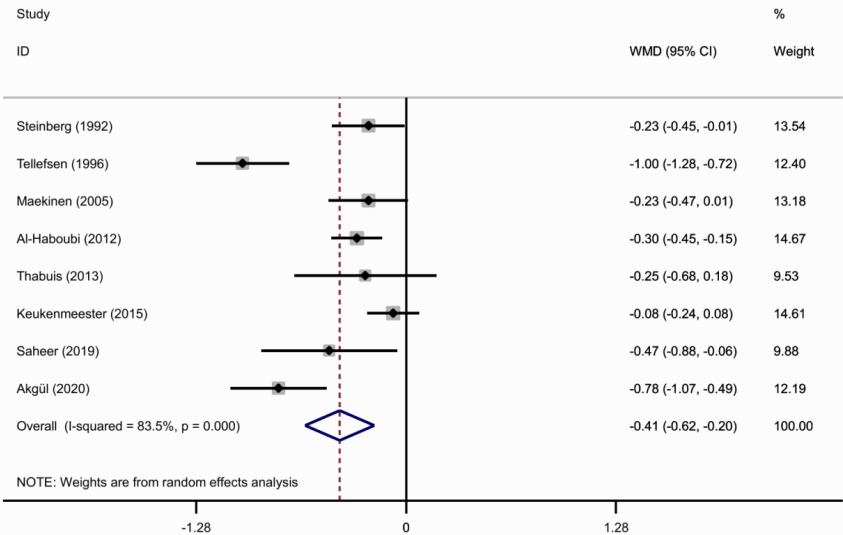
在口腔这个微型生态系统中，木糖醇和蔗糖对待细菌的“态度”截然不同，直接影响牙齿健康。

蔗糖是口腔致龋菌的“最爱”。这些细菌吞噬蔗糖，通过发酵作用将其分解成乳酸等酸性物质。这些酸性物质在牙齿表面积聚，导致口腔 pH 值急剧下降。当 pH < 5.5 时，牙齿表面的牙釉质便开始溶解（脱矿），长期

如此便形成龋齿（蛀牙）。此外，细菌分解蔗糖时产生的黏性胞外多糖，像“胶水”一样将细菌牢固粘附在牙齿上，形成难以清除的牙菌斑，为细菌持续产酸提供“基地”。

木糖醇对致龋菌而言，却是“难以下咽”的“拒食餐”。一项针对 13 个随机对照试验的荟萃分析显示，（相关 Meta 分析数据见图 3），该干预措施在结局指标上呈现显著的负向效应（WMD 加权后为 -0.41）含木糖醇的糖果能显著降低牙菌斑指数（WMD: -0.41）和菌斑数量（WMD: -7.46 mg），尤其在每日剂量 ≤ 20 g、干预时间 < 4 周时效果更明显，儿童群体的改善效果优于成人<sup>[5]</sup>。致龋菌既无法分解木糖醇获取能量，也不能通过

发酵它产生酸性物质，从源头上切断了牙齿被酸蚀的可能。不仅如此，木糖醇还会“迷惑”细菌，使其错误摄取木糖醇却无法代谢利用，反而抑制了细菌自身的生长繁殖。同时，木糖醇能降低牙菌斑中胞外多糖的含量，破坏细菌的“黏附基地”，使其难以在牙齿表面聚集。一项研究曾将 100 名儿童随机分为两组，分别咀嚼含木糖醇和麦芽糖醇的口香糖 5 min。结果显示，木糖醇组的牙菌斑控制记录指数（PCR）从平均 60.9% 降至 43.1%，且个体间效果差异较小，说明对于减少牙菌斑具有较为稳定的效果。同时，唾液的 pH 值也显著升高，从平均 6.86 升至 8，这表明木糖醇能有效提升口腔酸碱度，降低龋齿风险<sup>[6]</sup>。



【图 3】实验相关数据<sup>[5]</sup>

#### 四、科学选择指南：让甜味与健康同行

总的来说，对于健康人群，只要拿捏好分寸，小心过量摄入可能带来的脂肪囤积和血糖升高等问题，食用含蔗糖的甜食也无伤大雅；而对于糖尿病患者、需要严格控糖或是格外关注口腔健康的人，木糖醇显然是更贴心的选择。尤其对于儿童来说，木糖醇在减少牙菌斑和稳定口腔 pH 方面的优势，能更好地保护乳牙健康。

但切记，“无糖”可不等于“无限量”。木糖醇虽好处多多，但也要食之有度，过量食用依然会带来发胖的问题，有研究指出，循环木糖醇水平过高可能增加心脏病和中风风险，单日服用超过 50 g，更是可能造成腹胀和腹泻等健康问题<sup>[7]</sup>。

木糖醇凭借其独特的代谢机理，实现了让人们享受甜蜜的同时保障健康的愿望。它在功能食品和医药等领域仍有巨大的拓展潜力，未来应用场景可能更加广泛。

然而，我们也要理性看待代

糖，不能将木糖醇视为可以无限制享受甜味的“万能钥匙”。在选购食品时，要仔细查看配料表，明确其中的甜味剂成分。根据自身健康状况和需求，合理选择含蔗糖或木糖醇的食品，才能在享受甜味的同时，更好地守护健康<sup>[3]</sup>（图 4）。



【图 4】常见的含有木糖醇的食物（图片来源于豆包 AI 原创）

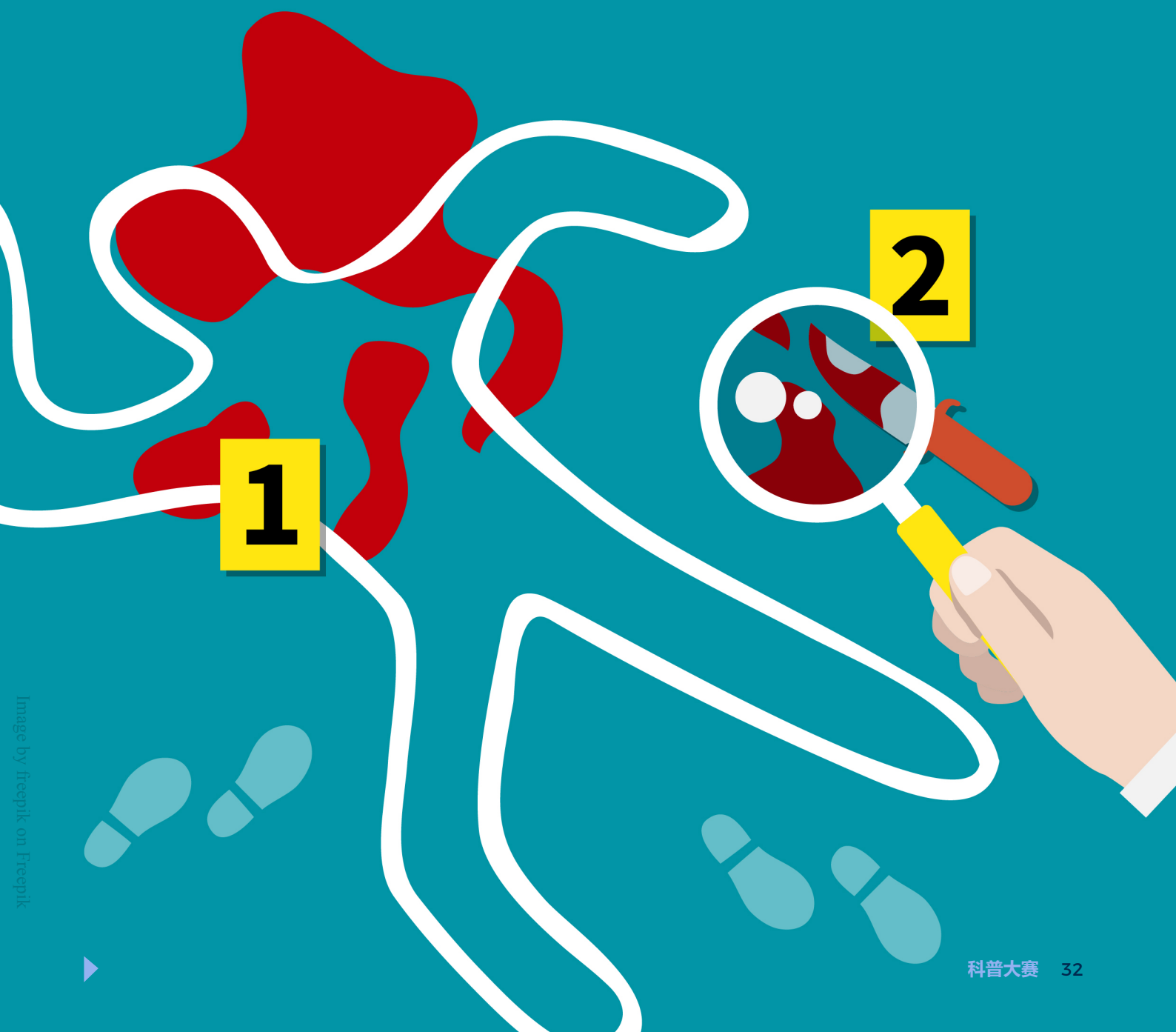
#### 参考文献

- [1] 赵伟, 刘晶, 徐丽, 等. 木糖醇特性及应用研究进展[J]. 农产品加工, 2021(2): 90-92, 95.
- [2] 陈功绩. 甜味剂的呈甜机理及其与消化酶相互作用的分子动力学研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2024.
- [3] 吴琦, 刘清清, 吴嘉雯, 等. 高二化学跨学科项目式教学——“糖类”——为什么糖尿病患者能用木糖醇作为代糖剂[J]. 中学化学, 2024(6): 42-44.
- [4] 刘佳丽, 郑柳萍, 颜桂炀. 高中化学项目式复习——以“探秘食品添加剂中的天然物质茶多酚和木糖醇”为主题[J]. 化学教与学, 2024(14): 62-66.
- [5] Mostafazadehbakhtiyary M, Majidinia S, Sohouli M H, et al. Effects of Xylitol-laced sweets on the accumulation of dental plaque: A systematic review and meta-analysis[J]. Int Dental J, 2025, 75(5): 100842.
- [6] Ludovichetti F S, Stellini E, Rodella C, et al. Effect of Xylitol and maltitol chewing gums on plaque reduction and salivary pH modulation: A retrospective study in pediatric patients[J]. Dent J, 2025, 13: 233.
- [7] 文乐乐. 小心！木糖醇增加心脏病和中风风险[N]. 中国科学报, 2024-06-12(002).

# 揭秘湛蓝之光：掀开鲁米诺的神秘面纱

## 鲁米诺发光机理科普

作者：宋修熠<sup>1</sup>，巴恩洋<sup>2</sup>，钱行<sup>1</sup>，王峰<sup>1\*</sup>；Email: wf3786621 @ 163.com





**顾望：**男，本市刑警队队长。

**王欣雨：**女，在顾望队伍中负责队内数据和文件整理。

**刘艺文：**男，负责和其他科室对接收取文件，检测结果等。

**陈震：**男，队伍中的武力担当，主要负责冲锋抓捕。

**杨鼎硕：**男，新任民警。

**季风：**男，在职多年的老民警。

**李铭龙：**失踪案小孩，和邻居 401 和楼下 203 的孩子是朋友。

**李军：**李铭龙父亲

## 1. “血色”初现

夏日蝉鸣，午后的太阳更显毒辣。

杨鼎硕蹲在路边吃着手上的老冰棍，抹了一把额头上的汗水：“哥，我们在这儿蹲了那么久了……到现在也没发现有谁有什么问题啊？”

在他后面的阴影中，季风抹了一把头上的汗，有些无奈地开口：“我怎么知道？那孩子就在这附近走丢的，其他人也都去别处蹲守了，这里好歹还有些阴影，

就别抱怨了。”

“也是……”杨鼎硕叹了口气，两口吃下了手上快要融化的老冰棍。

两人在这里蹲守了许久，直到太阳渐渐西斜，两人都还没有得到什么有用的信息，便准备给上面报告一声就收队回去了。

恰巧此时，季风看到了一个女子跌跌撞撞地从楼道里冲了出来，神色慌张地四处张望了一番，手忙脚乱地拿出来手机，颤

颤巍巍地不知道在做什么。

他看了一眼杨鼎硕，两人互相心领神会，一同走了过去，询问情况。

……

被局长一通电话叫过来的顾望揉了揉脖子，走过人群掀开包围上的警戒线，询问已经在场的队员：“怎么回事？”

“老大，是盛星小区的一个失踪案。”负责信息汇总的刘艺文翻开自己手上的文件，递给对

方，“楼上402的住户在两天前报案自己孩子失踪，现在超过了24小时也没找回，已经立案了。当时负责的是派出所的季风，他和队员杨鼎硕在蹲守的时候发现的嫌疑人，现在已经和嫌疑人一起去做笔录了。”

“失踪案？那还要叫我们来？”顾望眉头一紧，问道。

刘艺文答道：“说是孩子晚上出去玩，一晚上没回来，直到第二天也不见影子，刚刚有人报案天台疑似有血迹，上头担心是孩子出了危险，就叫咱们来看看。”

“我知道了，先带我去看现场吧。”顾望合上文件塞给对方，三步并作两步地去了天台。

两人先后来到天台，换上保护证物的装备，踏进了天台里面。

刘艺文带着顾望往里走，来到一张此时已是空空如也的桌子旁，指着地上那一小块白色粉笔圈出的标记处。

“报案的是和事发同单元101住户的一个学生，她对化学很感兴趣，看别人做鲁米诺反应的发光实验觉得很美，打算复刻一下，这孩子也怕在家里做有危险，就把仪器都搬到天台了，结果不小心打翻了配好的鲁米诺试

剂，借着太阳照过桌子留下的影子，再加上晚7点多天也快黑了，隐约看到有些蓝光，吓得赶紧报了警，之后还很认真地在蓝光周围圈了标记。”刘艺文开口道。

“鲁米诺啊。”顾望轻笑一声，“这个从1937年就开始用在刑侦上的东西倒是常见，没想到这些学生对它这么感兴趣。”

“行，这里我清楚了……先回去吧。”

两人回到警局，队里负责案件交接的王欣雨和其他同事都凑了过来，众人对这个案件开始了激烈的讨论。

## 2. 渐入迷雾

这个失踪的小孩叫作李铭龙，报案人是他的父亲李军，他对小孩的要求比较高，这是街坊邻居都公认的。

当晚是李铭龙自己跑出去的，离开的时候还带上了自己的书包，然后就此杳无音信。现在正值暑假，一个孩子能去的地方太多了，而且他对附近很熟悉，监控什么都没拍到。

通过现场勘察和问询，确定那个101的学生没有任何作案动机。但是因为鲁米诺荧光持续时间太短，等证物科的人赶到时已

经看不出什么了，据她的描述，配制的溶液仅有两百毫升，撒到地上后只看到了标出的区域有蓝光。

此时王欣雨建议等再晚些时间天彻底黑了再去检测一次吧，夏季晚七八点钟天还没完全黑，万一有阳光照射不好观察荧光怎么办。

“这不用担心，咱们做检测不用那么死脑筋，可以用遮阳伞挡一挡<sup>[1]</sup>，这方法已经有人证实过可行性了。而且时间越久荧光越淡<sup>[1]</sup>，这件事宜早不宜迟，现在就动身！”顾望说罢，便联系技侦人员一同前往天台。

到达现场，几人做好防护举着遮光伞，一人手握装满鲁米诺试剂的喷壶往标记区周围喷洒溶液，检测结果令人大吃一惊，蓝色的荧光面积几乎覆盖了半个天台……

“这面积不对啊！”脾性比较大的陈震搓了搓他下巴上的络腮胡子，说道，“哪有小孩子出血面积那么大的？这形状也不像是摊开的形状吧？而且就连喷溅、拖拽痕迹都没有，怎么会有这么大面积的荧光？”

“按你这么说，鲁米诺反应还能出错？”刘艺文挑起眉头，看向对方，“你还能不清楚鲁米

诺反应是用来测什么的吗？”

“嘿，那你说，哪个十几岁小孩有那么大的出血量？”陈震皱眉看过去，盯着对方，“放干了都不能这么多吧？”

### 3. 蓝光之诗

眼见两个人要在这里打起来，王欣雨赶紧横在两个人之间劝阻：“别吵了，这不就是这个案件的问题所在吗？”

恰好，来送现场物证检验报告的技侦人员来了，听到了他们的争论，便给他们做起了科普。

“鲁米诺的确应用很早，不少人都被它检验血迹的功能所震撼，但是它也有弊端，就是选择性差。”

“选择性差？你的意思是说，能让他发光的不一定是血迹？”

“没错，这和鲁米诺的发光机理有关，目前在刑侦一线常用于检测血迹的方法是在较暗的环境下，将配制好的鲁米诺试剂喷洒在可能存在血迹的地方，观察是否有蓝色荧光产生，如果有，则初步判断可能有血迹。现在常见的鲁米诺试剂配方大多数是由鲁米诺、碱和氧化剂组成，比如鲁米诺( $C_8H_7N_3O_2$ ，结构如图1)、氢氧化钠( $NaOH$ )和过氧化

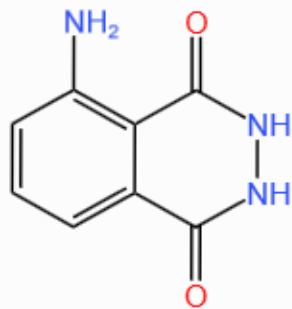
氢( $H_2O_2$ )。”

“这些药品中，由于鲁米诺在水中的溶解性很小，氢氧化钠提供碱性环境能够帮助鲁米诺溶解；过氧化氢做氧化剂帮助鲁米诺氧化，同时也被催化分解释放氧气，进一步帮助氧化鲁米诺；而鲁米诺被氧化后的状态能量高、不稳定，它从能量较高的不稳定态回落到能量较低的稳定态的过程中便会以光的形式释放出能量，这就是荧光，它释放出来的这个荧光对应蓝色光的波段，所以我们能观察到蓝光。”

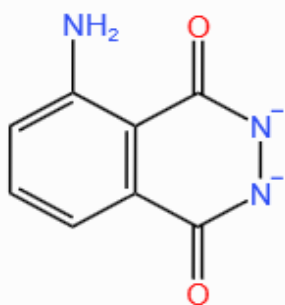
为什么鲁米诺容易被氧化，而且氧化状态又不稳定呢？

这就得从化学的角度来解读了！

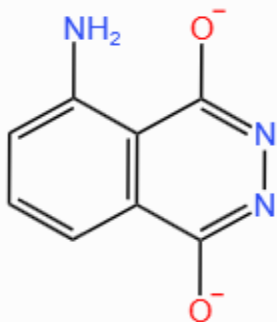
“从化学结构上来看，图1中所示鲁米诺分子中的一个氨基( $-NH_2$ )和两个酰胺基都有N原子，每个氮原子有5个能用于成键的价电子，还具有很强的电负性，能像吸果冻一样将带负电的电子拉向自己，导致它与相邻原子形成的C—N、N—H化学键的电子对都倾向于它，而且造成整体电荷分布不均匀，N原子带负电荷、C或H原子带正电荷，也就是正负电荷中心不重合，使之成为极性基团。单纯从酰胺基中的亚氨基来看，N原子为 $sp^2$ 杂化，3条杂化轨道呈平面型，都各有一个单电子与相邻原子成键，另外一个垂直于此平面的未参与杂化的2p轨道有一对孤对电子，若是在中性或酸性溶液中，这对孤对电子与空有一个原子核的氢离子( $H^+$ )如同拼乐高一般结合形成配位键，表现碱性，同时使整个分子极性降低以致难以溶解。但是在酰胺分子中与氮原子隔碳相连的氧原子的电负性比氮还要更大，它会跟N原子争夺中间碳原子的电子并且胜利了，还会进一步吸引亚氨基N上的电子，所以酰胺基中的N原子所带的负电荷相对单一氨基中减少并且显现出一部分酸性，在碱性溶液中与溶液中游离的氢氧根( $OH^-$ )相互作用脱去 $H_2O$ ，形成不稳定的鲁米诺阴离子a和阴离子b(图2和图3)。过氧化氢作为氧化剂也会推动这一步骤的发生。”说着，他放下手中文件，边说边比划起来。



①【图1】鲁米诺分子结构式



①【图2】鲁米诺阴离子 a 的结构式

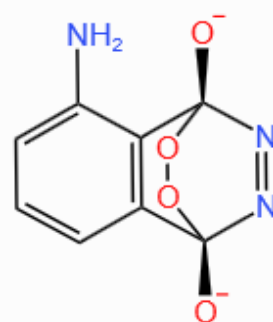


①【图3】鲁米诺阴离子 b 的结构式

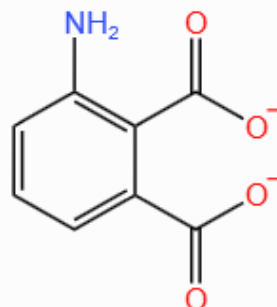
“慢着，为什么阴离子就不稳定了？”

“因为鲁米诺阴离子 a、b 中酰胺基一侧的 C、N、O 各有一条 p 轨道垂直于平面，p 轨道本来是原子各自的电子活动范围，

3 个相邻原子的互相平行的 p 轨道因为距离很近就可能肩并肩重叠形成一个电子可以自由活动的共同区域，这就是离域  $\pi$  键，3 个原子的电子可以在这个区域内自由移动，就好像电子在两个卧室和客厅里来回转；如果在任意时刻固定下来，电子就有在客厅和卧室两种可能，多个电子所在的位置即为双键，即可以形成 C=O 或者 C=N，这两种双键是可以互相转化的，我们称它们互为共振结构。过氧化氢具有强氧化性，特别喜欢把自己的过氧链加合到其他分子上，遇到了鲁米诺阴离子，迅速地链接到鲁米诺分子中的 2 个酰胺碳上(图 4) 形成一个六元环，这就到了鲁米诺的氧化态，这个氧化态并不稳定，它只是反应中间的一个过渡状态，它的两个相邻的带负电的氮原子又因为能形成更稳定的以三键相连的氮气 ( $N_2$ )，所以会继续向稳定状态变化，在此过程中

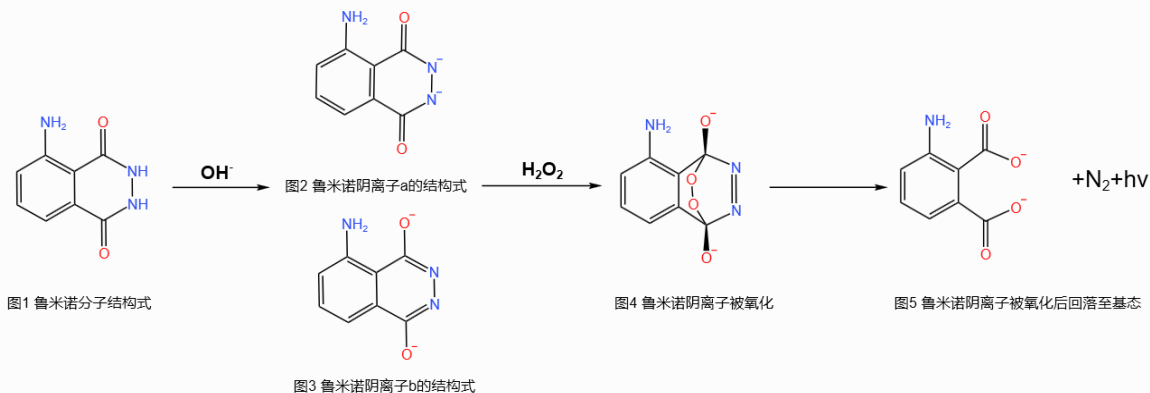


①【图4】鲁米诺阴离子被氧化后的结构式



①【图5】鲁米诺阴离子氧化后回落至基态的结构式

氧原子上的负电荷返回，形成羧酸根离子(图 5)，同时释放光子，该过程多次叠加，当放出光子数达到足够量时，即可观察到蓝色荧光<sup>[2-3]</sup>（整体过程如图 6）。”



①【图6】鲁米诺的发光机理(过渡态理论)

“那如果这么说的话，不光是过氧化氢，用次氯酸钠这样的强氧化剂效果岂不是更好？”

“没错，理论上讲，诸如此类的强氧化剂，只要能氧化鲁米诺的都可以达到这个效果。”

“所以说，如果有人用含氯消毒剂清洗过现场，那么不论是否曾有血迹，都会显现出荧光？那既然氧化剂就可以氧化鲁米诺分子到激发态，当回落至基态时就可以发光，为什么鲁米诺溶液配好后不会自己发光，而是需要喷洒到血迹上才可以呢？还有你刚说的，过氧化氢为什么会分解呢？”

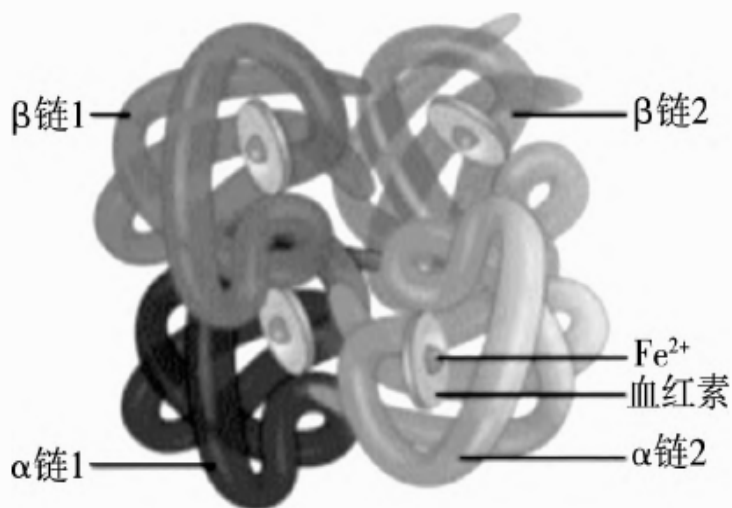
“首先，如果有人曾用强氧化性物质清洗过现场，如含氯消毒剂，过氧化氢会被其氧化成单线态氧，单线态氧可直接将鲁米诺氧化至激发态<sup>[2]</sup>，那的确会对我们判断是否存在血迹造成干扰，这便是鲁米诺试剂的弊端之一——选择性较差，不仅仅有血迹才能看到蓝光；其次，化学反应的发生关系到能量的变化，发生反应的过程就如同翻山越岭一般，只有跨过了最高的山峰才能发生反应，而这个山峰在动力学上叫作——能垒，也叫活化能，鲁米诺自身发光反应的活化能极大，不论使用哪种氧化剂，都几

乎不发生此反应，因此鲁米诺试剂配好后不会因自发光而失效。”

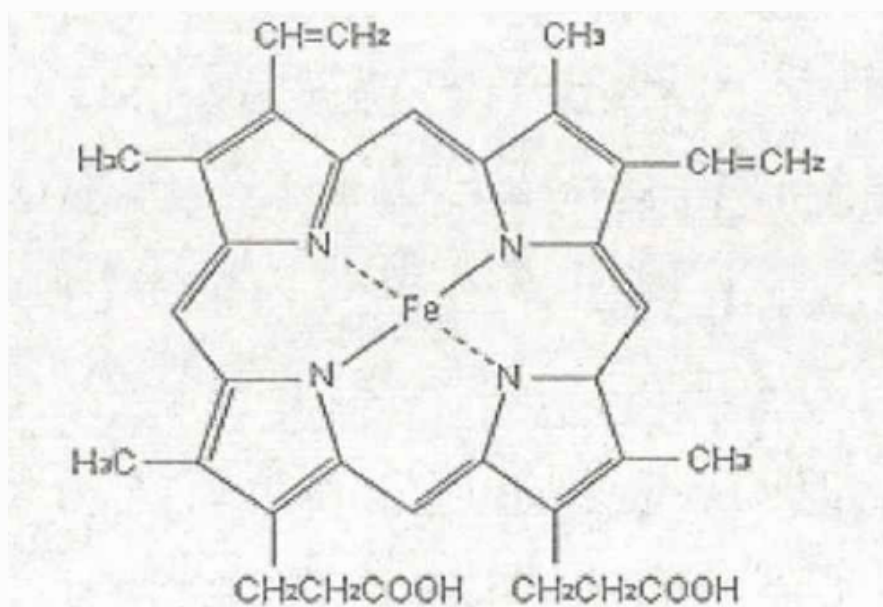
“那么既然反应的活化能极大，为什么接触血液后反应就很容易发生了呢？那是因为人血中有一种物质叫作血红蛋白（图7）<sup>[4]</sup>，它可以作为鲁米诺发光反应的催化剂，降低反应所需活

化能，削平山峰，让反应更容易进行，同时在氧化剂的加持下，使得鲁米诺试剂遇血发光<sup>[5]</sup>。血红蛋白在人体内负责氧的运输，它的功能主要来自于分子结构中的中心离子铁（II），铁以卟啉环形式存在（图8）<sup>[6]</sup>。”

“哦……对了，我听说，在



④【图7】血红蛋白的结构示意图<sup>[4]</sup>



④【图8】铁卟啉的结构示意图<sup>[6]</sup>

那个学生的试剂中还有一瓶铁氰化钾，这是干什么用的？”

“铁氰化钾和血红蛋白的共同特征是铁呀，所以这个催化剂的作用来源于铁。毕竟这个学生只是想做模拟实验，不可能真搞来血液。铁氰化钾( $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ )又叫赤血盐，是鲁米诺发光模拟实验的常用血液替代品，类比于血液中含铁的血红蛋白，其内界铁相对稳定，也可以作催化剂，加快反应速率<sup>[7]</sup>。”

“其实血红蛋白的铁和铁氰化钾的铁也不完全一样，血红蛋白是二价铁，铁氰化钾是三价铁。血液离开人体形成血迹后，血红素中的 $\text{Fe}(\text{II})$ 会逐渐被氧化成 $\text{Fe}(\text{III})$ ，形成氯化血红素，使血红蛋白转变为高铁血红蛋白，血迹也会由红色变为棕色。喷洒鲁米诺试剂后，血迹中的 $\text{Fe}(\text{III})$ 被 $\text{H}_2\text{O}_2$ 氧化为 $\text{Fe}(\text{IV})$ 过渡态；当鲁米诺发生氧化时， $\text{Fe}(\text{IV})$ 又被还原为 $\text{Fe}(\text{III})$ 。换言之，血迹中的 $\text{Fe}(\text{III})$ 对鲁米诺的化学发光反应起到了催化作用<sup>[3]</sup>。”他又补充道。

“当然，这只是推测的一种反应机理，这个技术发展和研究了这么多年，在学术界还有一种应用较广的观点，那便是用自由基历程来解释它的发光机理。自由

基嘛，听名字就知道它很自由，带着一个未配对的电子，有非常高的能量，就像夏天男生刚从球场打完球回来一样，让他立刻安静地坐在那里进入学习状态是很难的，坐在他身边都能感受到他身上散发的热气。就拿那个大学生的模拟体系来举例，其中铁氰化钾的三价铁可以和鲁米诺阴离子发生单电子转移反应，生成 $\text{L}^\cdot$ ，铁由三价变为二价，随后 $\text{L}^\cdot$ 和溶解在溶液中的氧分子或过氧化氢发生反应，生成超氧阴离子自由基 $\text{O}_2^\cdot$ ，同时将 $\text{L}^\cdot$ 激发至激发态<sup>[8-9]</sup>，产生的超氧阴离子自由基可以和其他鲁米诺分子发生反应，六氰合铁(II)酸钾可以被氧气重新氧化到六氰合铁(III)酸钾<sup>[10]</sup>；这时不得不提到一个著名的反应类型——Haber-Weiss反应，该反应中过氧化氢会从超氧自由基身上抢走一个电子，同时需要 $\text{Fe}(\text{III})$ 催化，帮他越过能垒，生成 $\text{O}_2^\cdot$ 和具有极强氧化性的 $\cdot\text{OH}$ <sup>[9,11]</sup>。

“鲁米诺在碱性介质中的去质子产物 $\text{LH}^-$ 与羟基自由基反应生成 $\text{L}^\cdot$ 自由基，它能还原溶液中的溶解氧( $\text{O}_2$ )生成超氧阴离子自由基( $\text{O}_2^\cdot$ )和鲁米诺，而 $\text{L}^\cdot$ 进一步与 $\text{O}_2^\cdot$ 生成 $\text{LOO}^\cdot$ ， $\text{LOO}^\cdot$ 发生重排，它的重排就像是烈日之下突然给你穿上好几层厚棉袄，热得人只想摆脱这些衣服，

因此重排产物( $\text{LOOL}^\cdot$ )很不稳定，只能瞬时存在，分解时就会发出荧光。<sup>[11-12]</sup>”鲁米诺在各种活性氧物质(如超氧阴离子自由基，羟基自由基)作用下可能的发光机理(图9)<sup>[11]</sup>。

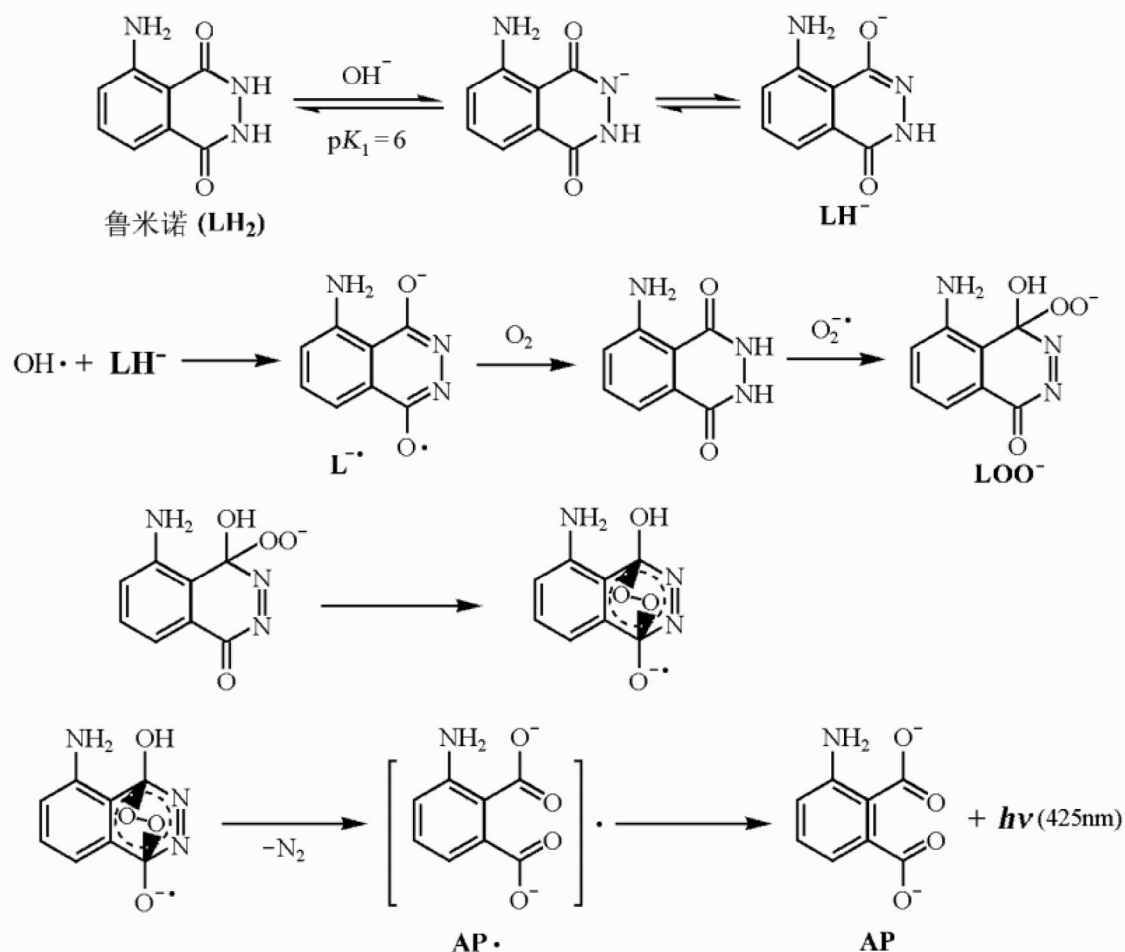
“嗯？那鲁米诺不是碱性溶液吗，怎么这次就不发生沉淀了？”

“碱性条件不假，但不论是铁卟啉还是赤血盐，它们的铁都在稳定的内界，比氢氧化铁还稳定，而真正能发生沉淀的是游离态的或者不太稳定的铁离子；从结构上可以看出，二者的铁都在配合物内界，其中配体的孤对电子就像蟹钳一样，牢牢夹住铁离子，使它不易游离，进而也不能与氢氧根结合生成沉淀。”

“原来如此，听起来还真是复杂。”顾望皱着眉。

“那看来鲁米诺体系也不是很可靠啊，也可能会错判，都老古董了现在还在用啊？”陈震挑眉问道。

“那是当然，除了受漂白剂的影响，还有一些铁以外的其他金属离子也有可能干扰鲁米诺发光。虽然有错判的可能性，但是它灵敏度极高，无论是人血还是动物血液，就算血量极少，都可



❶ 【图 9】自由基历程反应机理<sup>[11]</sup>

以通过制造暗环境和加以紫外线照射来清楚地看到荧光，这也是这么多年此方法一直没有被淘汰的原因，现在仍然是刑侦一线快速定性检测血迹的首选方案；而且鲁米诺的化学发光在实际生活中还被广泛应用于生物工程和环

境分析等领域<sup>[13]</sup>。”

#### 4. 拨云睹日

知道了鲁米诺的弊端，众人的思路不再局限于凶杀案，在挨个邻居彻查了以后，终于在 203 住户的小孩那里得到了一些信

息：四楼的李铭龙和隔壁 401 的小孩是好朋友，有的时候被父亲说的狠了，还去他们家借住。

经过了一些哄劝说服，401 的小孩也终于说出了他去过天台，约着小伙伴去楼上画过画，

但是因为颜料被他们弄得到处都是,他就学着家长用84消毒液(主要成分强氧化剂次氯酸钠)做卫生的样子,一边洒清洁剂,一边用刷子蹭去颜料的痕迹,最后泼了一盆清水冲去污水,被稀释的84就这样分布在半个天台,这也就是后来第二次检测荧光面积巨大的原因。

得到这个消息,刘艺文他们都松了口气,还好是虚晃一枪,但李铭龙依然下落不明,几日后,正在附近例行询问调查的杨鼎硕看到了正提着一大袋食物,看上去有点鬼鬼祟祟的往家反方向走的203家小孩。

杨鼎硕觉得这孩子鬼鬼祟祟的,说不定要做的事情会和失踪案有关,便一路跟过去,同时通知队友一同前往现场。

没想到等大家都到了,看到李铭龙和203的小孩,了解了情况后,才知道李铭龙只是躲在附近的废弃仓库里面给他的父亲做父亲节礼物,这个理由真是让人哭笑不得。

后赶到的顾望看到李铭龙和李军虽然笨拙却有爱的互动,许久没回神,最后也只能是自嘲地笑了一声,转而离去。



⑩【图10】鲁米诺蓝色荧光示意图

鲁米诺反应的故事,恰似生活中诸多事物的缩影。它有独特的化学发光本领,是刑侦等领域的得力助手,但它并非完美无缺,也存在着例如选择性欠佳的不足。就像是再精确的仪器也会出错,再有经验的人也会有失误的时候。每个人每件事都不是完美的,我们应当辩证地面对自己的不足或事情的瑕疵,学会分析问题,在避免缺点的同时发挥出最好的那部分,便是最好的方式。

## 5. 知识科普

### 5.1 鲁米诺发光反应

在刑侦领域用于检验痕量血迹、犯罪现场血迹定位。

#### 检测方法:

主要有两大部分组成,即鲁

米诺试剂和血样;鲁米诺试剂即将鲁米诺粉末溶解于碱性溶液中,再加入氧化剂制得;而所谓血样,可以是类似血液的液体,也可以是干涸的血痕,甚至可以是曾存在过血迹但又被仔细擦去的地方,而这些疑点究竟是什么,便需要使用鲁米诺试剂以及其它刑侦手段,进一步加以鉴别。

在暗环境下,将鲁米诺试剂喷洒在待检测处,若是曾存在过血迹则会放出蓝色荧光(图10),必要时可以用紫外光照射喷洒处以辅助荧光的观察;若是血迹已被仔细擦去,但所残留的极微量的血迹依然可以让鲁米诺试剂产生荧光,不论凶手只是简单擦去血迹,还是用84消毒液、漂白

粉等擦拭过现场，都可以引起鲁米诺的发光反应。

## 5.2 84 消毒液

84 消毒液，是日常生活中常见的一种消毒清洁剂，于 1984 年由北京第一传染病医院（今地坛医院）研制成功，最初用于杀灭肝炎病毒，后更名为“84 消

毒液”。

其主要成分为次氯酸钠（ $\text{NaClO}$ ），溶于水后解离出次氯酸根离子（ $\text{ClO}^-$ ），次氯酸根离子发生水解反应生成强氧化剂次氯酸（ $\text{HClO}$ ），次氯酸可使蛋白质变性，破坏病毒的蛋白质外壳，或使细菌失活，以达到消毒

效果。

次氯酸分子中， $\text{Cl}$  呈 +1 价，因其电负性较强倾向于得电子形成  $\text{Cl}^-$ ；又因其本身为弱酸，会解离出部分氢离子，有利于促进氧化反应的进行，使之分解成  $\text{HCl}$  和  $\text{O}_2$ 。因此，84 消毒液是一种强氧化剂。

## 参考文献

- [1] 刘兆, 钱尊磊, 丛维萱. 利用遮光伞实现强光环境中血痕鲁米诺快速检验的研究[J]. 中国法医学杂志, 2024, 39(5): 596-599.
- [2] 张文骞, 杨智, 吴顺香, 等. 化学发光：炫彩实验探秘[J]. 大学化学, 2025, 40(X): 1-15. <https://doi.org/10.12461/PKU.DXHX202505037>.
- [3] 袁传军. 奇妙的化学发光：鲁米诺检测血迹[J]. 化学教育, 2021, 42(10): 7-10.
- [4] 乐赛军. 深挖教材提升核心素养——以血红蛋白微专题复习为例[J]. 教学考试, 2025(6): 23-25.
- [5] 冯振南, 伍斌, 沈娟. 血催化鲁米诺化学发光与荧光染料能量转移实验[J]. 内江科技, 2015, 36(9): 57.
- [6] 李倩. 大位阻铁卟啉类化合物的合成及其氧结合力的研究[D]. 天津：天津工业大学, 2018.
- [7] 刘卫, 陆明刚, 吕小虎. 铁氰化钾-过氧化氢氧化鲁米诺发光的研究及应用[J]. 科技通报, 1993, 9(6): 392-396.
- [8] Shevlin P B, Neufeld H A. Mechanism of the ferricyanide-catalyzed chemiluminescence of luminol[J]. J Org Chem, 1970, 35(7): 2178-2182.
- [9] 马永. 活性氧的化学发光研究及其在分析化学中的应用[D]. 北京：北京化工大学, 2008.
- [10] 周方钦. 鲁米诺-六氰合铁(II)酸钾-铁(III)化学发光反应体系的研究与应用[J]. 理化检验（化学分册）, 1996, 32(4): 223-224.
- [11] 胡玉斐, 赖榕, 李攻科. 关于化学发光演示实验的探讨[J]. 大学化学, 2011, 26(6): 48-51.
- [12] Parejo I, Petrakis C, Kefalas P. A transition metal enhanced luminol chemiluminescence in the presence of a chelator[J]. J Pharmacol Toxicol Methods, 2000, 43(3): 183-190.
- [13] 于博荣, 张慧姣, 张新瑜, 等. 黑暗中的蓝色精灵——化学发光梯度科普实验[J]. 大学化学, 2024, 39(9): 295-303.

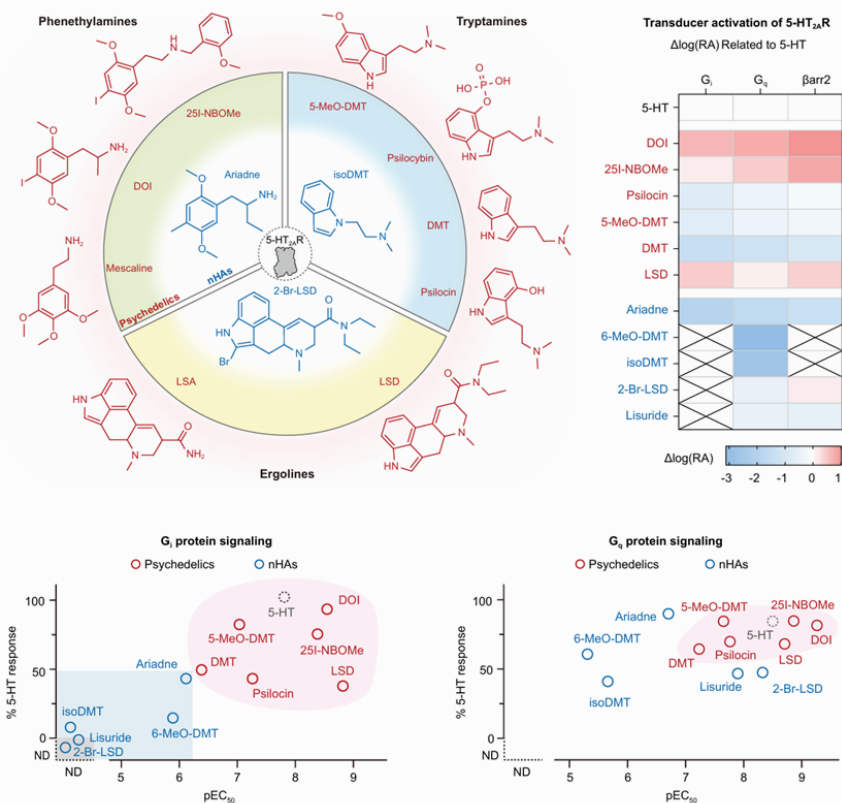
nature

# 长春应化所在致幻剂作用机制研究方面取得突破性进展

来源：中国科学院长春应用化学研究所公众号；

原文链接：<https://mp.weixin.qq.com/s/XYIYRDaul5PDdZ3veAA2xA>

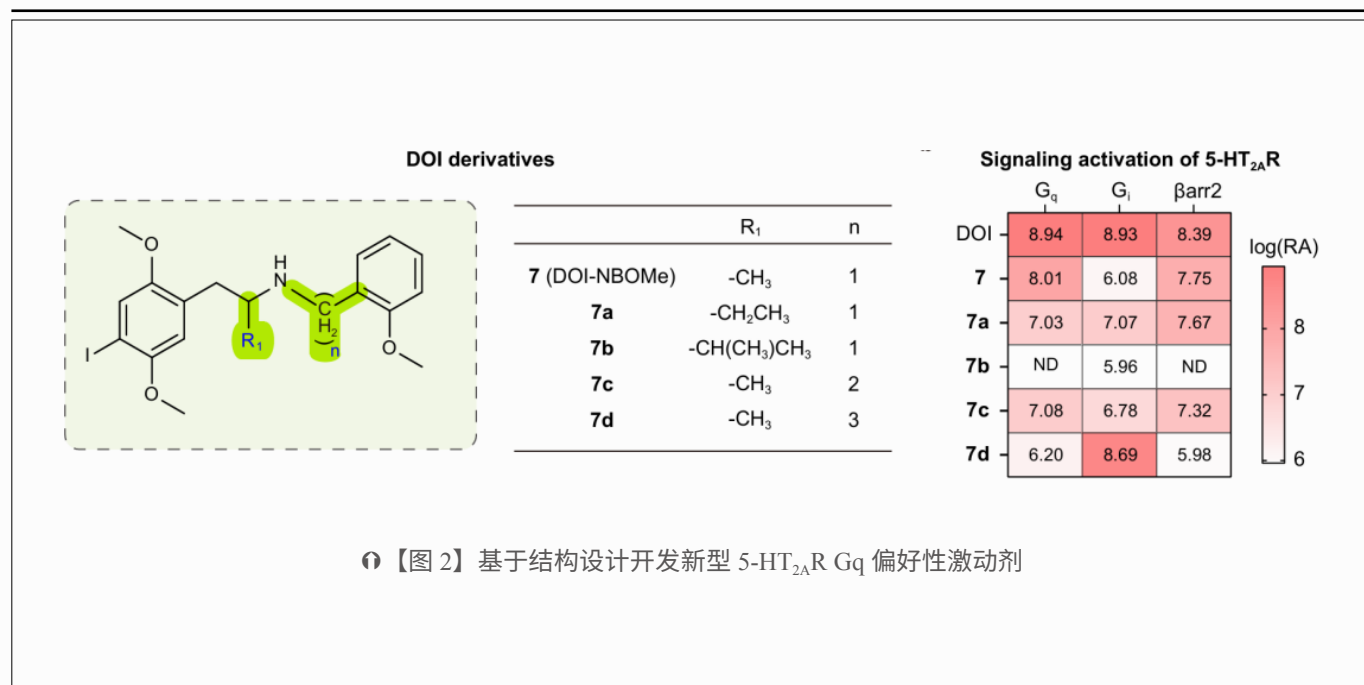
中国科学院长春应用化学研究所在致幻剂作用机制研究方面取得突破性进展。王晓辉研究团队与四川大学（邵振华教授、颜微教授和杨胜勇教授）和华中科技大学（刘剑峰教授）团队合作，发现 5-羟色胺受体 2A 的非经典  $G_i$  信号通路对其致幻性至关重要，相关研究成果以“致幻剂通过 5-HT<sub>2A</sub> 受体介导的  $G_i$  蛋白信号通路发挥其作用”（Psychedelics elicit their effects by 5-HT<sub>2A</sub> receptor-mediated  $G_i$  signalling）为题，于 2026 年 1 月 28 日（北京时间 1 月 29 日）发表于学术期刊《自然》（Nature）。

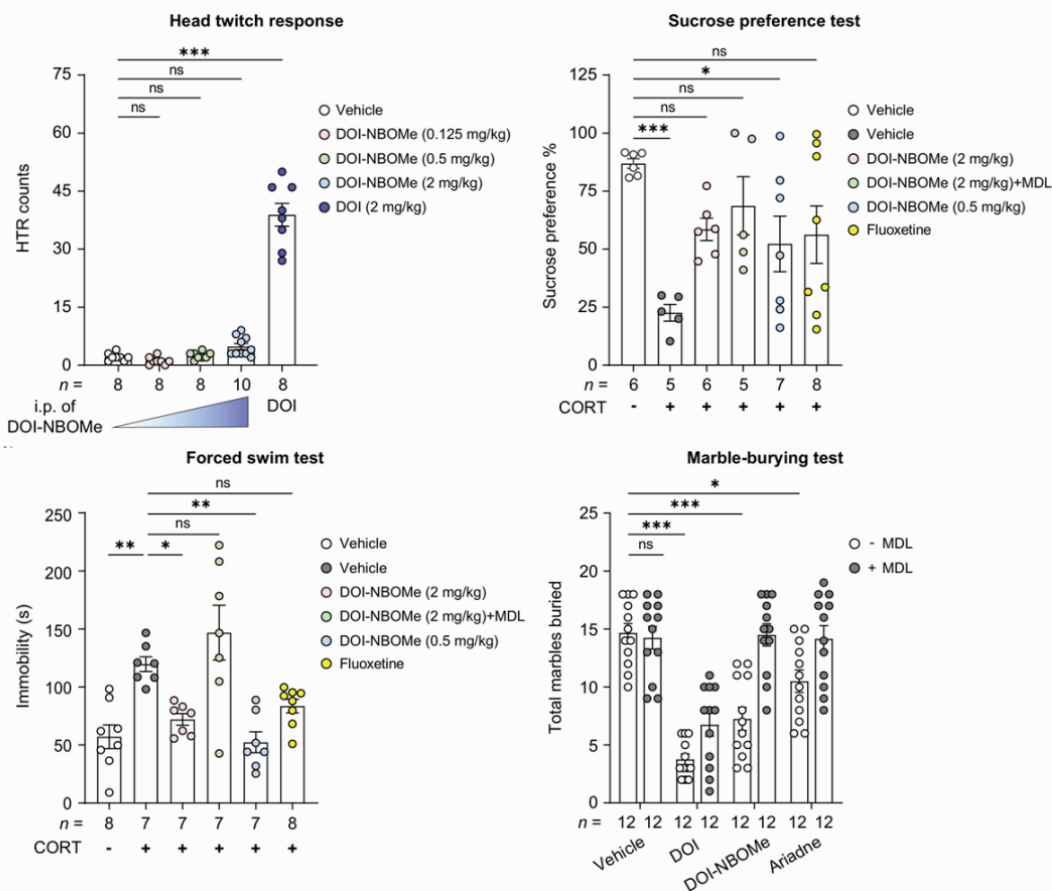


【图 1】靶向 5-HT<sub>2A</sub> 受体的致幻剂及非致幻类似物的药理学特征

长期以来,经典致幻剂如麦角酸二乙酰胺(LSD)、裸盖菇素(psilocybin)等因其显著的精神活性与治疗潜力间的矛盾而备受关注。尽管临床研究显示这些物质在治疗重度抑郁症、难治性抑郁及焦虑相关疾病方面展现出惊人疗效,但其强烈的致幻副作用始终是阻碍其临床转化的主要障碍。传统理论将5-HT<sub>2A</sub>受体激活后的G<sub>q</sub>信号通路过度激活视为致幻主因,然而这一观点难以完全解释其复杂药理特性。该研究通过整合多维度信号通路分析与前沿结构生物学技术,成功揭示了经典致幻剂作用的新机制。研究团队系统表征了5-HT<sub>2A</sub>受体激活后触发的下游信号级联反应(图1),首次确证G<sub>i</sub>信号通路在致幻剂作用中的关键功能,颠覆了传统认知。研究团队采用单颗粒冷冻电镜技术,成功解析了五种不同配体-受体-G蛋白复合物的高分辨率结构,包括DOI和psilocin结合的5-HT<sub>2A</sub>R-G<sub>i</sub>复合物,以及

DOI、ariadne和DOI-NBOMe结合的5-HT<sub>2A</sub>R-G<sub>q</sub>复合物。这些精细结构揭示:配体特异性受体构象是决定G蛋白选择性的关键因素,如同一把钥匙的不同齿形会打开不同的锁。基于这一分子机制,研究团队通过理性药物设计,成功开发出新型5-HT<sub>2A</sub>R选择性G<sub>q</sub>偏好性激动剂DOI-NBOMe(图2)。在临床前模型中,DOI-NBOMe展现出类抗焦虑和类抗抑郁功效,却未诱发致幻样效应(图3),实现了致幻剂的治疗效益与致幻副作用的有效分离;该化合物已由中国科学院长春应用化学研究所与四川大学联合申请专利(CN120204186A)。这项研究不仅为理解致幻剂的作用机制提供了全新理论框架,更开创了基于受体信号偏好性进行精准药物设计的新范式,为开发新一代非致幻型精神疾病治疗药物奠定了坚实基础。





【图 3】Gq 偏好性激动剂 DOI-NBOMe 在动物模型中展现类抗焦虑与抗抑郁作用，同时未检测到致幻样效应

长春应化所是国内致幻剂研究领域的主要推动力量。近年来，王晓辉研究员团队围绕致幻剂的结构改造、受体药理、脑区环路机制、及临床前转化等方向，已在 *Nature*、*National Science Review*、*Molecular Psychiatry*、*Brain* 等国内外高水平期刊发表致幻剂相关论文三十余篇，在国际上产生了广泛影响。基于上述研究积累与学术共同体的逐步形成，在国家自然科学基金委员会的支持下，第一届致幻剂

专题研讨会于 2023 年 8 月 27-29 日在长春成功召开；在吉林省科学技术协会和吉林省院士专家联合会等单位支持下，第二届会议已于 2025 年 11 月 19-21 日在长春顺利举行。与此同时，“致幻剂诱导神经可塑性调控逆转晚期阿尔茨海默病认知障碍研究”近期获国家自然科学基金委 2025 年专家推荐类原创探索计划资助，进一步巩固了长春应化所在我国致幻剂基础研究与转化研究领域的学术高地地位。

研究成果详见《Nature》期刊：

<https://www.nature.com/articles/s41586-025-10061-7>

Psychedelics elicit their effects by 5-HT<sub>2A</sub> receptor-mediated Gi signalling

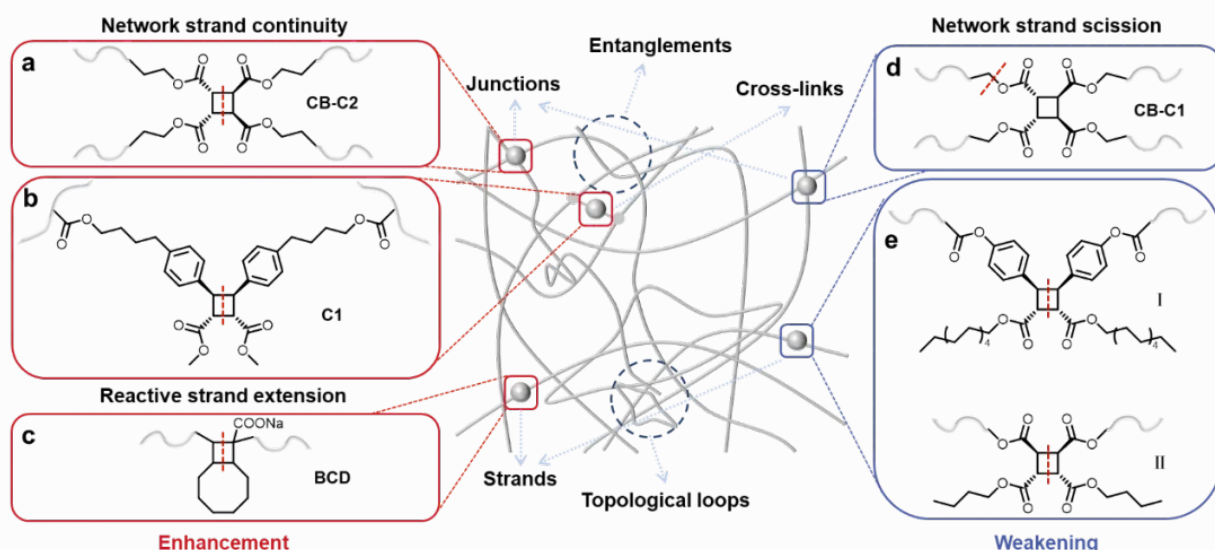
# PS&T: 如何通过力敏分子调控聚合物网络的韧性

来源：高分子科学与技术 PS&T 公众号；原文链接：[https://mp.weixin.qq.com/s/OrfrlXX\\_vA6nBJOKbdt1NQ](https://mp.weixin.qq.com/s/OrfrlXX_vA6nBJOKbdt1NQ)

## »» 一、研究背景 ««

聚合物网络是由交联点连接聚合物链段所构成的三维结构，其力学响应主要由受限链段的熵弹性所支配（图 1）。经典橡胶弹性理论将网络的弹性模量与弹性有效链段的密度直接关联。然而，实际聚合物网络往往由于拓扑缺陷、链长分布不均以及链缠结等因素而显著偏离理想模型，从而使力在网络中的传递过程呈现出明显的非均一性。相较于单纯的弹性刚度，聚合物网络的韧性及其失效行为更依赖于机械应力在连续承载路径中的分布与传递方式，而非仅由交联密度所决定。其中，链段连续性起着至关重要的作用，它决定了外加应力是被有效集中到特定共价键上，还是通过网络结构的重排而被逐级耗散。

力响应型分子（即力敏分子）的引入为聚合物网络的力学性能赋予了化学可编程性。这类分子能够调控沿网络链段的力传递过程，并将局部的力学响应放大为对整体网络行为具有决定性影响的宏观响应（图 1）。在具备力化学活性的网络中，位于力传递路径上的力敏分子——无论是嵌入于聚合物链段内部，还是作为网络结点（交联点）的一部分——均可在外加载荷作用下被选择性激活，从而直接揭示力在网络中的局域化分布，并在特定条件下主动调控其传递方式。以力敏分子为核心的研究视角凸显了网络结构在力学稳健性与应力诱导化学反应性中的关键作用，尤其强调了链段与结点之间的协同关系，为构筑高韧性、自适应的聚合物网络提供了新的设计原则。



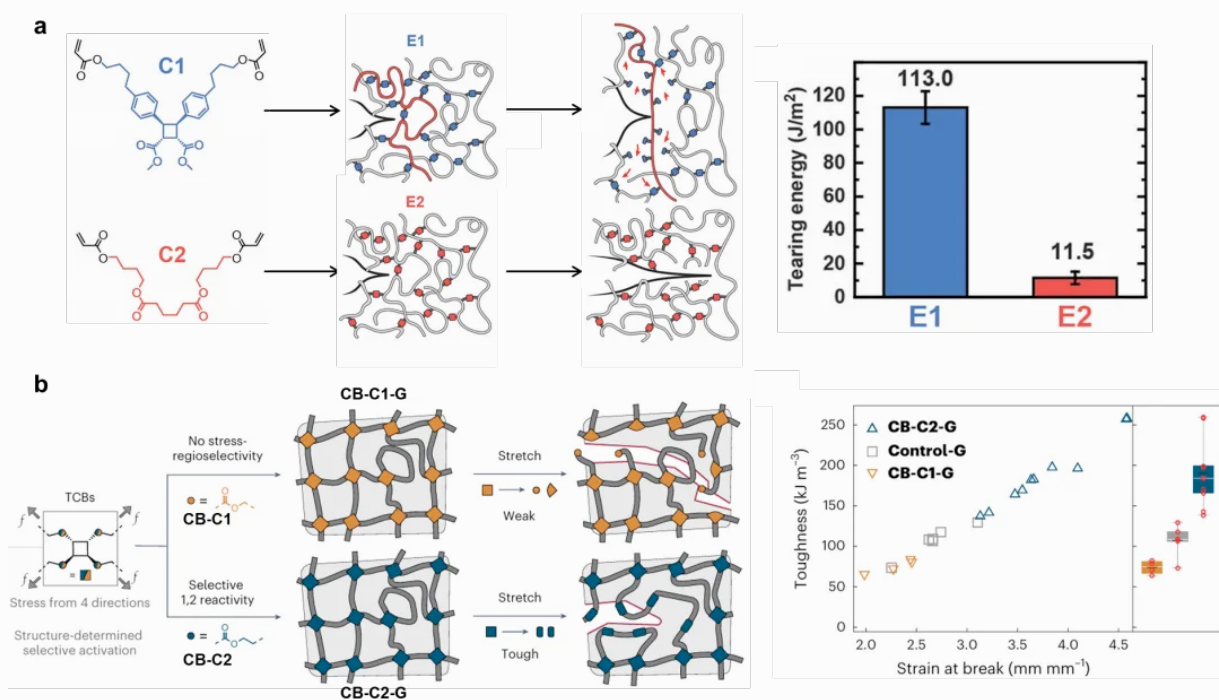
【图 1】示意图展示了通过将力敏分子嵌入聚合物网络的结点（交联点）（a、b 和 d）或聚合物链段内部（c 和 e）来调控聚合物网络性能的策略。

## 二、文章简介

复旦大学千海团队对近期发表在 *Nature Chemistry* 的研究工作 (DOI: 10.1038/s41557-025-01984-9) 进行了简要概述, 并通过系统回顾该领域的代表性成果与新兴设计原则, 进一步凝练并提出了更具宏观层次的研究视角。该研究表明, 力敏分子在聚合物网络中的作用机制及其宏观效应高度依赖于其结构位置与反应类型。当四官能环丁烷 (TCB) 被嵌入网络结点时, 其应力选择性反应能够调控链段连续性, 从而实现对网络韧性的独立调节: 其中, CB-C2 型结点通过建设性环消除反应维持链段连续性, 使材料韧性提升约 3 倍; 而 CB-C1 型结点的断裂反应则破坏连续性, 导致力学性能显著下降 (图 2b)。相比之下, 传统双官能环丁烷作为

侧链接枝型交联点时, 可通过耗散型断裂延长桥联链段, 从而同步提升弹性体的强度与韧性 (图 2a); 但当其嵌入凝胶链段内部时, 优先断裂反而削弱了网络整体性能。上述差异的根本原因在于链段连续性对力传递路径的决定性影响: 连续性受损会使应力重新集中至网络结点, 尤其是在裂纹尖端区域, 从而显著促进该位置力敏单元的局域激活。对于 C1 或 CB-C2 等特定力敏分子, 这种局域激活能够有效提升材料的抗撕裂能力与撕裂能。

此外, 将力敏分子嵌入聚合物网络链段内部时, 其弱键会优先断裂导致网络强度下降。为此, 反应型链延伸 (RSE) 设计策略被提出: 其核心在于通过力触发反应释放隐藏链长, 从而主动延伸承力链段



【图 2】(a) 作为侧链交联点嵌入聚合物网络中的力敏分子 (C1) 可显著提高材料的抗撕裂性能。(b) 嵌入于聚合物网络结点处的力敏分子 (TCB) 可调控材料的韧性。

而非使其断裂。这种力诱导的链延伸机制能在不破坏主链完整性的前提下耗散能量，显著提升网络的延展性与韧性，而对材料弹性模量影响甚微。通过调控力敏单元的稠环尺寸，可精确控制所释放的隐藏链长，从而实现网络韧性的可预测调节。

该评述以 “How Strand Continuity Governs the

Toughness of Polymer Networks via Mechanophores” (《如何通过力敏分子调控聚合物网络的韧性》) 为题，于 2026 年 1 月 6 日发表在中国科学院长春应用化学研究所与美国化学会共同出版的期刊 *Polymer Science & Technology* 上。复旦大学 2024 级博士研究生程鑫为该论文的第一作者，复旦大学千海青年研究员为该论文的通讯作者。

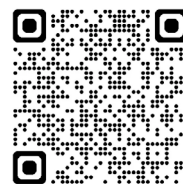
### 三、论文信息

How Strand Continuity Governs the Toughness of Polymer Networks via Mechanophores

Xin Cheng, and Hai Qian\*\*

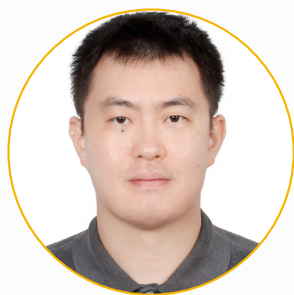
通讯作者单位：复旦大学，高分子科学系

原文链接：<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/polymscitech.5c00145>



扫码阅读原文

## 四、作者团队



### 千海，博士

2021 年底加入复旦大学聚合物分子工程国家重点实验室、高分子科学系任青年研究员、博士生导师、课题组 PI。

毕业于南开大学，师从刘育教授。2018 年在美国达特茅斯学院获得博士学位，导师 Ivan Aprahamian 教授。随后，于 2018 至 2021 年在美国伊利诺依大学香槟分校从事博士后研究，合作导师为美国科学院院士 Jeffrey S. Moore 教授。自实验室于 2022 年秋投入使用以来，课题组的研究主要聚焦于高分子机械力化学的原创基础探索和应用，包括调控化学反应性、构建智能分子机器，以及开发可降解聚合物材料等。以通讯或（共同）第一作者在 *Nat. Chem.* (1 篇)，*Chem* (2 篇)，*JACS* (4 篇)，*Angew* (1 篇)，*Chem. Rev.* (1 篇) 等权威期刊上发表论文多篇，主持国家自然科学基金海外优青项目 (2021)、面上项目、上海市海外领军人才项目、陶氏项目等。

千海课题组常年招收有较强合成背景的博士后、博士生以及硕士生，研究聚焦于高分子机械力化学的原创基础探索和应用，包括不限于调控化学反应性、构建智能分子机器，以及开发可降解聚合物材料等。欢迎对本课题组研究感兴趣的博士后、博士、硕士及本科生联系 (haiqian@fudan.edu.cn) 并加入我们！

《化学通讯》—— 科普教育类

## 编委会成员



编委：莫尊理  
西北师范大学



编委：陶胜洋  
大连理工大学



编委：姜雪峰  
华东师范大学



编委：薛斌  
上海海洋大学



编委：李艳梅  
清华大学



编委：徐海  
中南大学



编委：宋卫国  
中国科学院化学研究所



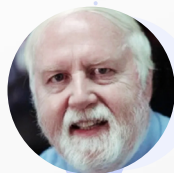
主编：杨小牛  
中国科学院长春应用化学研究所



副主编：刘正平  
北京师范大学



编委：邱晓航  
南开大学



编委：戴伟  
北京化工大学



编委：胡文兵  
南京大学



编委：欧阳瑞镭  
上海理工大学  
材料与化学学院



编委：杨天林  
中国科普作家协会会员  
宁夏作家协会会员



编委：卞江  
北京大学



编委：朱平平  
中国科学技术大学



编委：孙亚飞  
中国科学院自然  
科学史研究所



编委：董川  
山西大学



编委：蒋尚达  
华南理工大学