

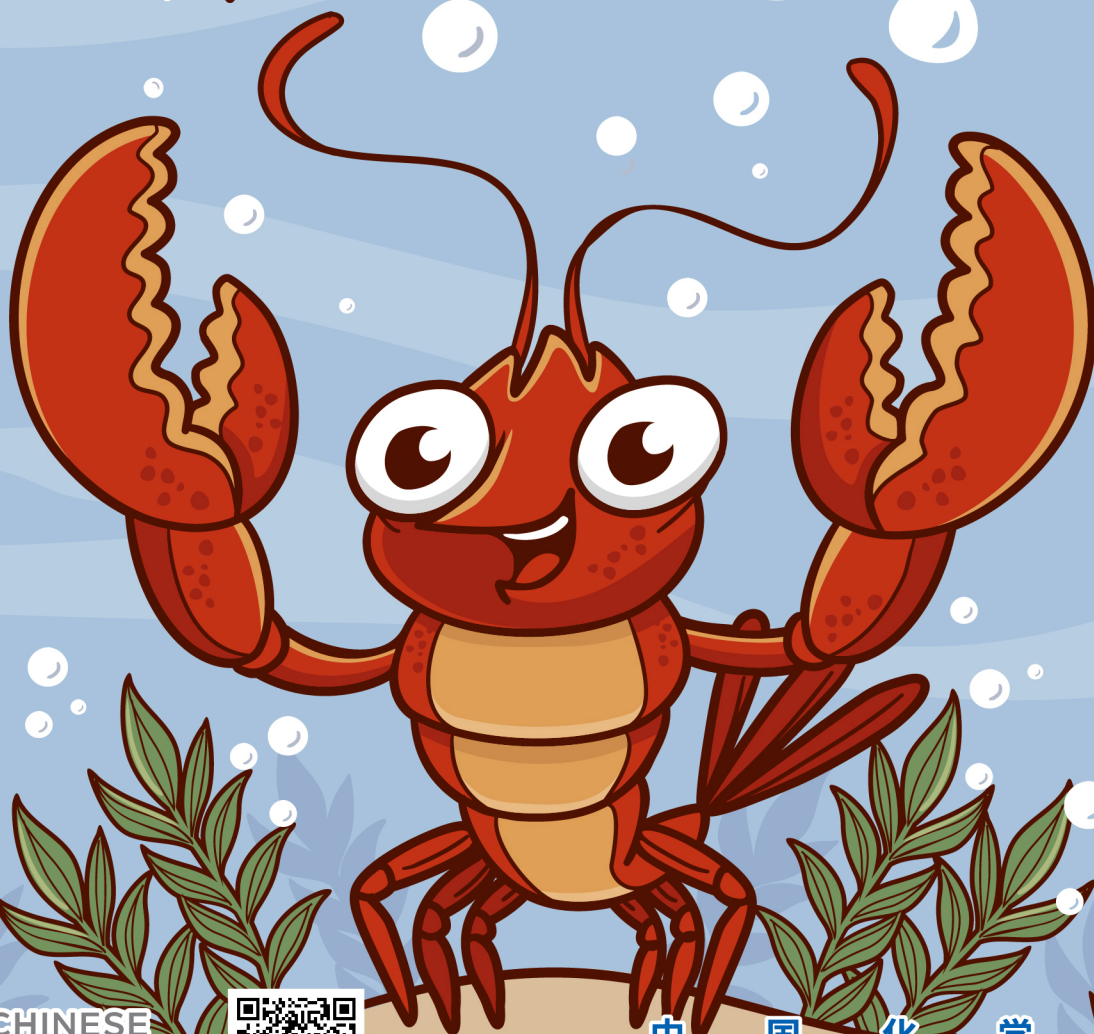


化学通讯

CHEMICAL NEWSLETTER

No.11

2026年06月15日



图片来源 · www.magnific.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



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

资讯汇集

90 位会员新晋级为高级会员 **01**
来源: 中国化学会官网

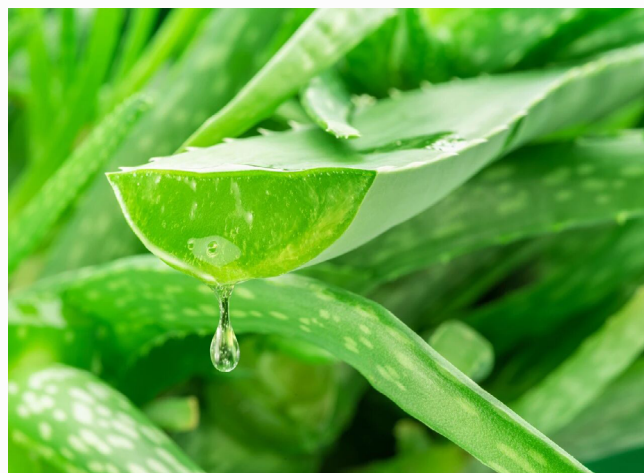
新闻速递

我国氢煤混烧技术实现 50% 绿氢大比例掺烧 **03**
来源: 科技日报

中国科学院福建物质结构研究所成功构建 30 组分巨型氢键有机笼 **03**
来源: 中国科学院

云南贵金属集团在钨 / 铋光氧化还原催化领域取得系列进展 **03**
来源: 今日头条·新浪财经

吉林石化建成中国石油首套 24 万吨 / 年双酚 A 装置并一次开车成功 **03**
来源: 吉林日报



10



24

天津大学举办第二届化学与合成生物学
国际研讨会

来源：天津大学新闻网

科技新闻

从纺织纤维到多功能材料：羊毛化学解
锁跨领域可持续价值

来源：CHEMISTRYWORLD

它被称为“天然青霉素”，夏天常用，
抑菌消炎、抗衰老，但要吃对

来源：人民日报公众号

固体洗涤剂强势回归：如今以片状、块
状与片剂形态面世

来源：c&en

“算力金属”，价格大涨

来源：人民日报公众号

《人民日报》刊发：北京推广科研经费包
干制——“买酱油”的钱可以“买醋”了

来源：北京国际科技创新中心公众号

科普大赛

※ 戴着一次性手套吃小龙虾为啥还是满
手油？一文看懂高分子材料的阻隔性

作者：张玉茹，谢科锋，彭杰源

※ “胶”个朋友：解码红藻的“Q弹魔法”

作者：王媛，谈诗雅，王新昌，李琳

※ “入夏不吃酸，苦夏人难安”——解码
酸爽解暑的化学奥秘

作者：蔡习悦

科研进展

【CCS Chem.】中国科学技术大学李闯：
基于螺噻喃的光控动态共价化学

来源：CCS Chemistry



40

90 位会员新晋级为高级会员

- 2026 年 6 月，中国化学会新晋级高级会员 90 位，祝贺新一批成功晋级的各位高级会员！
- 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	蔡金明	昆明理工大学
2	曹小华	九江学院
3	陈超	清华大学
4	陈城	中国科学院福建物质结构研究所
5	陈东	浙江大学
6	陈良安	南京师范大学
7	陈远均	北京师范大学
8	樊新元	北京师范大学
9	冯光	华中科技大学
10	付鹏	中国海洋大学
11	高章华	浙大宁波理工学院
12	关荣锋	盐城工学院
13	官万兵	中国科学院宁波材料技术与工程研究所
14	桂柳成	广西师范大学
15	何剑	中国化工橡胶有限公司
16	华煜晖	深圳市基石化学有限公司
17	黄汉雄	华南理工大学

序号	姓名	工作单位
18	江瑞斌	陕西师范大学
19	李保林	中国科学院大学
20	李国良	北京化工大学
21	李海金	安徽工业大学
22	李茂	吉林大学
23	李明洙	复旦大学
24	李溱	中国农业大学
25	李现山	河南师范大学附属中学
26	李新进	山东理工大学
27	李亦舟	重庆大学
28	李玉玲	郑州工程技术学院
29	李忠安	华中科技大学
30	林厚文	上海交通大学医学院附属仁济医院
31	刘斌	深圳大学
32	刘翠	辽宁师范大学
33	刘立成	中国海洋大学
34	刘艺伟	安徽师范大学

▶【续表】

序号	姓名	工作单位
35	刘永畅	北京科技大学
36	刘志伟	北京大学
37	马 丽	暨南大学
38	马紫峰	上海交通大学
39	孟红敏	郑州大学
40	孟庆勇	西北工业大学
41	孟苏刚	淮北师范大学
42	欧阳证	清华大学
43	卿光焱	中国科学院大连化学物理研究所
44	邱兴华	北京大学
45	任翠领	兰州大学
46	孙 晶	长春理工大学
47	孙 茜	华东师范大学
48	谭宏亮	江西师范大学
49	唐海涛	广西师范大学
50	唐永炳	中国科学院深圳先进技术研究院
51	汪 磊	南开大学
52	王成名	中国科学技术大学
53	王丹红	南开大学
54	王恒山	广西师范大学
55	王家钧	哈尔滨工业大学
56	王立开	山东理工大学
57	王琳琳	上海大学
58	王全德	中国矿业大学
59	王 义	郑州大学
60	王云侠	山西大学
61	魏学锋	河南科技大学
62	吴英杰	哈尔滨工业大学

序号	姓名	工作单位
63	吴 瑛	塔里木大学
64	相国磊	北京化工大学
65	许苏英	北京化工大学
66	许文菊	西南大学
67	许运华	天津大学
68	阳耀月	西南民族大学
69	杨继兴	天津大学
70	杨 军	中国科学院过程工程研究所
71	殷焕顺	天津科技大学
72	曾 林	南方科技大学
73	张海磊	河北大学
74	张 锴	天津医科大学
75	张平玉	深圳大学
76	张树辰	中国科学技术大学
77	张中海	华东师范大学
78	张尊华	武汉理工大学
79	赵建强	成都大学
80	赵 磊	哈尔滨工业大学
81	赵永青	兰州大学
82	郑刘春	华南师范大学
83	郑亚荣	合肥工业大学
84	钟林新	华南理工大学
85	周 立	重庆质谱科技有限公司
86	周强辉	武汉大学
87	周一歌	湖南大学
88	周永云	云南民族大学
89	朱玉长	苏州大学
90	朱增奎	江西师范大学

来源：科技日报

我国氢煤混烧技术实现 50% 绿氢大比例掺烧

6月7日，国家能源集团旗下科环集团烟台龙源公司的大容量氢煤混烧中试试验装置，在40 MW 燃煤锅炉上首次实现50%热量比绿氢掺烧与100%纯氢燃烧。该项目依托专业工程实验室，采用自主研发的氢煤混燃低氮燃烧器，并搭建全流程安全防护体系，可实现节煤减碳50%，同时降低氮氧化物排放。此项技术为燃煤机组大规模减碳提供可行路径，助力煤电行业绿色低碳转型与“双碳”目标推进。

原文链接

https://www.stdaily.com/web/gdxw/2026-06/07/content_528797.html

来源：中国科学院

中国科学院福建物质结构研究所成功构建 30 组分巨型氢键有机笼

6月8日，中国科学院福建物质结构研究所团队在《美国化学会志》(JACS)发表研究，提出协同共价键与氢键相互作用的组装策略，一锅法精准合成由30个组分构成的截角立方体氢键有机笼HSC。该笼具有超大空腔和优异的富勒烯包合能力，能从C₆₀/C₇₀混合物中优先萃取C₇₀，展现出作为富勒烯分离材料的应用前景。

原文链接

http://www.cas.cn/syky/202606/t20260605_5111853.shtml

来源：今日头条·新浪财经

云南贵金属集团在钨 / 铽光氧化还原催化领域取得系列进展

6月5日，云南贵金属集团下属省实验室公司与华中师范大学肖文精教授团队合作，在可见光催化环化与不对称官能化方向取得重要突破，相关成果先后发表于《Organic Letters》和《ACS Catalysis》。该研究破解了传统催化工艺能耗高、选择性差等痛点，为高端贵金属催化剂的国产化替代提供了技术支撑。

原文链接

<http://m.toutiao.com/group/7647837059712811574/>

来源：吉林日报

吉林石化建成中国石油首套 24 万吨 / 年双酚 A 装置并一次开车成功

6月1日，中国石油吉林石化公司年产24万吨双酚A装置实现一次开车成功，稳定产出纯度99.95%以上的合格产品。该装置是中国石油旗下首套双酚A生产装置，全套引进离子交换树脂法工艺，采用两段式加合物结晶提纯技术，可满足光学级聚碳酸酯等高端下游需求。项目投产后将完善“丙烯—苯酚 / 丙酮—双酚A”产业链，推动企业从“燃料型”向“化工材料型”转型。

原文链接

<https://cj.sina.cn/articles/view/3287140335/c3edc7ef00101dnxc>

来源：天津大学新闻网

天津大学举办第二届化学与合成生物学国际研讨会

6月4日，2026年第二届化学与合成生物学国际研讨会在天津大学召开。来自比利时、德国、日本等7个国家的顶尖学者及国内80余名专家齐聚，围绕“基础发现与产业加速”主题，探讨合成生物学前沿突破与产业化路径。会议由合成生物技术全国重点实验室承办，旨在推动全球合成生物学领域的学术交流与合作。

原文链接

<https://news.tju.edu.cn/info/1003/600929.htm>

从纺织纤维到多功能材料： 羊毛化学解锁跨领域可持续价值

来源：CHEMISTRYWORLD；作者：VICTORIA ATKINSON；翻译：余婉宁

原文链接：<https://www.chemistryworld.com/features/wools-complex-chemistry-unlocks-sustainable-applications-beyond-textiles/4023578.article>

羊毛曾是工业财富的基石，数十年来却在与合成纤维的竞争中举步维艰。如今，其具有角蛋白螺旋和富硫交联键特征的多功能蛋白质结构，正催生传统纺织领域之外的各类创新应用。

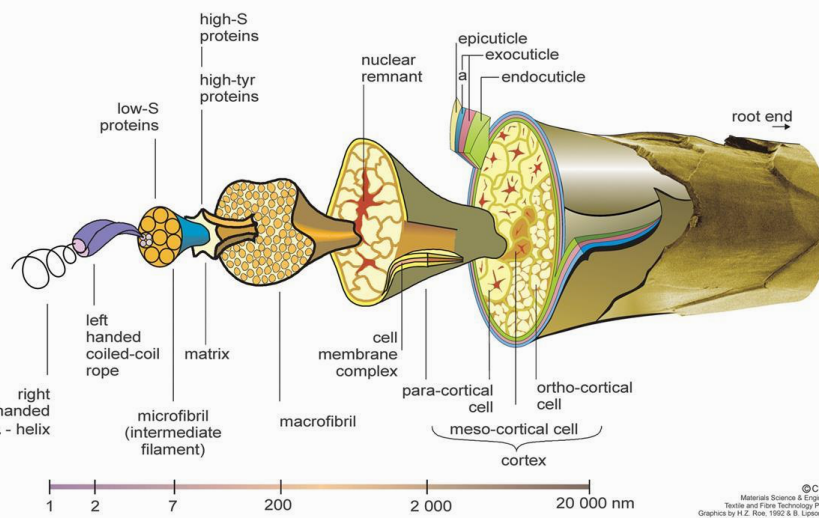
羊毛是人类历史上最重要的材料之一。从绵羊、山羊及其他有蹄类动物毛发中获取的纤维，被用于生产纺织品的历史已超过 3500 年。羊毛制品的贸易与制造（尤其是在英国工业革命时期），既是巨大的财富来源，也是科学创新与社会变革的核心驱动力。羊毛服装曾在社会各阶层无处不在，而羊毛等级和后整理工艺的差异，使制造商能够生产出种类繁多的其他纺织产品，包括地毯、家具面料和工业毛毡。

这种多功能性根植于纤维的化学结构之中：一个由相互交织的蛋白质鞘层和油脂类有机分子构成的、出人意料的复杂网络。英国羊毛协会（British Wool）的市场主管路易莎·纳普（Louisa Knapp）解释道，尽管不同品种

羊毛的整体纤维结构基本一致，但这些单个组分的排列方式和组成差异，赋予了不同类型羊毛令人惊叹的多样性能组合。

每根羊毛纤维的最中心是螺旋状卷曲结构——紧密排列的角

蛋白 α -螺旋，它赋予纤维整体弹性，并将张力均匀分布在纤维上以防止断裂。这一核心结构被复杂的角蛋白相关蛋白基质所包围，这些富含硫的小分子单元在相邻角蛋白丝之间形成交联



羊毛的复杂结构造就了它的诸多优异性能，同时也带来了相应的缺陷。图片来源：© 澳大利亚联邦科学与工业研究组织（CSIRO）

键，进一步增强纤维强度。纳普解释说：“硫原子赋予了羊毛一种天然特性：能够吸收水分子却不会让人产生湿感。羊毛可吸收相当于自身质量 30% 的水分，而穿着者完全不会察觉到潮湿。这一特性同时还使羊毛具有抗静电和阻燃性能。”

出色的螯合特性还能帮助羊毛在加工过程中吸附并固着染料，并且使织物在穿着时能够导汗、吸附异味，从而减少洗涤次数。

再放大来看，羊毛的皮质层由正皮质细胞和副皮质细胞混合构成，纤维的大部分力学性能都源于这两种细胞。这些由紧密排列的 α -角蛋白组成的螺旋链赋予纤维强度和弹性，而不同蛋白质之间的充气空隙能够截留空气，使羊毛成为优良的隔热材料。正皮质细胞和副皮质细胞的化学结构略有差异——含硫量较低的正皮质结构比副皮质结构更柔软、更具柔韧性——这种差异在纤维内部形成了一种被称为卷曲度的内在波纹。至关重要的是，不同品种绵羊的皮质细胞分布和比例各不相同：美利奴羊等高卷曲度品种产出的羊毛柔软且富有弹性，非常适合制作贴身衣物；而林肯长毛羊的羊毛波纹更平缓，形成的羊毛更坚韧、更粗

糙，适用于地毯和纹理织物。

但不同品种羊毛差异最大的是最外层的表皮层。表皮层将纤维固定在绵羊身上，由被称为鳞片的重叠细胞构成。表皮层主要由角蛋白 β -折叠组成，起到屏障作用，保护内部更脆弱的蛋白质结构，同时也是许多羊毛制品使用寿命长、耐磨特性的来源。鳞片结构上的孔隙允许水蒸气进出纤维，而一种名为羊毛脂的蜡质脂质涂层能够排斥多余水分。纳普表示：“这与羊毛服装的舒适性和透气性有关，也使其易于清洁，并能天然防污。”

她补充道，然而，精确的鳞片结构是决定羊毛性能及其最终用途的最重要单一特征。美利奴羊等温暖气候品种产出的纤维较细，单个鳞片更小，因此质地柔软，非常适合制作保暖衣物。与此同时，苏格兰黑脸羊等寒冷气候地区饲养的绵羊，其纤维要粗得多，鳞片数量更少、尺寸更大，产出的羊毛保暖性好、耐用性强，但相对粗糙，更适合制作地毯等坚韧织物。

利用酶实现羊毛混纺织物的回收

尽管羊毛具备这些多功能特性，但随着聚酯、尼龙等廉价、易护理合成纤维的出现，羊

毛的竞争力逐渐下降，自 20 世纪 50 年代以来，这种纺织纤维的需求量大幅下滑。如今，人们对快时尚造成的巨大影响日益担忧，这意味着许多消费者开始回归天然面料，制造商也开始针对羊毛的一些局限性提出创造性解决方案。

混纺织物或许是最显而易见的解决方案：将羊毛与其他纤维混合，以提升最终材料的整体性能。然而，这也在产品生命周期末期带来了严重的可持续性问題。英国拉夫堡大学 (Loughborough University) 由纺织专家转型的生物技术专家切特纳·普拉贾帕蒂 (Chetna Prajapati) 解释道：“由于各种纤维紧密缠绕在一起，目前尚无技术能够有效分离不同的纤维成分，而且在回收过程中，通常会有一种纤维被破坏。”因此，大部分纺织废弃物只能进行机械降解，其中不足 1% 能够重新用于制作服装。

然而，针对每种聚合物分别进行处理能够实现这一循环闭环，普拉贾帕蒂正在研究通过酶法回收羊毛混纺织物中的各组分。她解释道：“蛋白酶会水解羊毛纤维中的多肽，将其分解为大小不一、聚合度各异的小分子多肽。”“这样一来，其他纤维



① 可从回收的羊毛碎片中提取染料 图片来源：切特纳·普拉贾帕蒂提供

就会作为完整的织物留存下来，我们可以对其进行加工并重新纺成纱线。”该研究团队已对多种不同混纺面料开展了实验，包括聚酯、聚丙烯、大麻纤维和亚麻纤维，在每种情况下都成功回收了完整的聚合物，可用于其他领域的再利用。

反应后得到的酶解液中含有浓稠的混合羊毛多肽分散液，其中仍保留着染料发色团。普拉贾帕蒂表示：“我们可以将染料分子从破碎的羊毛片段转移到未染色的原生纤维上，在回收羊毛的同时也回收了染料。”去除染料后，研究团队可按粒径对羊毛多肽进行分离，这些经过过滤的片段会直接应用于原毛处理，以可持续的方式改善纤维本身存在缺陷的性能。

其中最主要的问题是羊毛水洗后容易缩水的固有特性。普拉贾帕蒂解释道：“羊毛缩水是因为鳞片结构。水洗时的搅拌和水分会产生差动摩擦效应，导致鳞片相互作用并卡锁在一起。”为

了让羊毛可机洗，行业曾采用赫科塞特（Hercosett）工艺等化学处理方法——先用氯侵蚀鳞片结构，再用阳离子聚合物包覆纤维——但这类处理会使羊毛产生令人不适的合成质感。

与之不同，普拉贾帕蒂正在探索将回收的羊毛片段重新交联到原生羊毛制品的鳞片表面的方法。这种天然涂层能有效阻断差动摩擦效应，防止织物缩水，同时不会产生人工质感，还能额外改善粗支羊毛的粗糙手感。普拉贾帕蒂表示：“我们希望这能让羊毛保持可回收性。我们已经完成了一些早期试验，目前正在扩大这项技术的规模。我认为这为羊毛的使用和回收开辟了新的途径。”



① 并可重新用于给原毛染色。图片来源：切特纳·普拉贾帕蒂提供

羊毛作为水过滤器

尽管生物技术为羊毛带来了新的机遇，但仍有许多农民将羊毛视为负担而非商业机会。尤其是在英国，绵羊主要用于产肉而非产毛，出售羊毛的收入几乎不足以支付剪毛成本。

斯洛伐克尼特拉康斯坦丁哲学家大学(Constantine the Philosopher University in Nitra)的分析化学家玛丽亚·波鲁布斯卡(Mária Porubská)表示，显然需要开发羊毛在传统纺织行业之外的应用，而羊毛纤维的优异性能——特别是角蛋白的螯合能力——使其非常适合开发为分子结合剂。她指出：“角蛋白的组成多样性是其能够通过多种相互作用(氢键、静电相互作用和配位键)结合物质的基础。对角蛋白进行定向改性，可以增加或提高其对我们想要从环境中分离的特定物质的亲和力。”

波鲁布斯卡的大部分研究聚焦于废水中常见的污染物——金属阳离子。不过，她的团队并未采用仅能改变表面性质的化学方法处理羊毛，而是专门研究电子束辐照技术。这种技术能够穿透羊毛的整个结构，修饰硫基团的配位环境。

我们已验证该技术可用于净化有毒垃圾填埋场的渗滤液。

她解释道：“羊毛吸收的能量首先会将其 α -螺旋结构转化为角蛋白 α -螺旋-折叠结构。”进一步提高能量会断裂结构中较弱的化学键，尤其是将角蛋白双螺旋连接在一起的二硫键。这些断裂的化学键会形成硫自由基，迅速与大气中的氧气反应，生成多种硫氧化物种，包括半胱氨酸一氧化物($-S-SO-$)和S-磺酸盐($R-S-SO_3$)。在足够的辐照剂量下，这一系列反应最终会生成氧化终产物半胱氨酸($R-SO_3H$)，其含有的六价硫能够在水环境中与金属离子配位结合。

然而，这些处理过程的结果十分复杂。研究团队评估了不同辐照剂量处理后的羊毛，对二元溶液中铜(II)离子和铬(III)离子的吸附能力及选择性差异。这两种离子都能轻易与角蛋白形成络盐，但调整辐照剂量会改变吸附选择性——提高一种离子的吸附量的同时，另一种离子的吸附量会相应降低。波鲁布斯卡解释道：“我们发现，在较低的吸收

能量剂量下，羊毛优先吸附铜离子；而在较高剂量下，则优先吸附铬离子。这与更高剂量辐照下更多二硫键断裂生成的半胱氨酸浓度升高有关，同时也与铬-半胱氨酸络合物形成所需的空位阻有关。”

总体而言，这项初步研究使团队能够实现单一离子的选择性截留，他们认为更精准的定向改性可以定制羊毛对其他金属甚至硝酸盐等有机污染物的吸附性能。波鲁布斯卡表示：“我们已验证该技术可用于净化同时含有有机物质(包括禁用农药和除草剂)的有毒垃圾填埋场渗滤液。”短期内，团队正在开发一种简单的羊毛预处理工艺，以实现最大吸附效率，并最终希望将该工艺规模化应用于商业水处理领域。

羊毛角蛋白作为牙齿修复支架

虽然吸附应用通常使用完整的羊毛纤维，但羊毛的组成成分在纺织行业之外也找到了令人惊喜的应用场景。英国伦敦国王学院(King's College London)的口腔修复学专家谢里夫·埃尔沙卡维(Sherif Elsharkawy)表示，角蛋白天然的生物相容性，结合其结构刚性和多样的化学活性位点，使其成为医学仿生应用的绝

佳材料。这种复杂的蛋白质支架能够有效充当组织再生的模板，尤其适用于骨骼和牙齿这类坚硬或生长缓慢的组织。

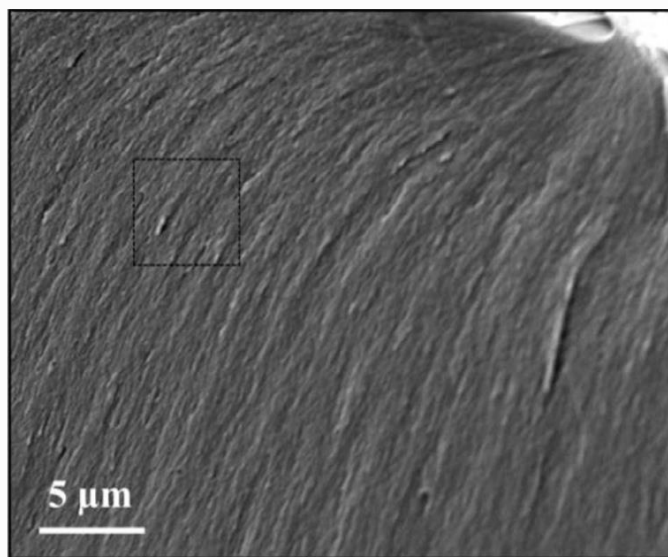
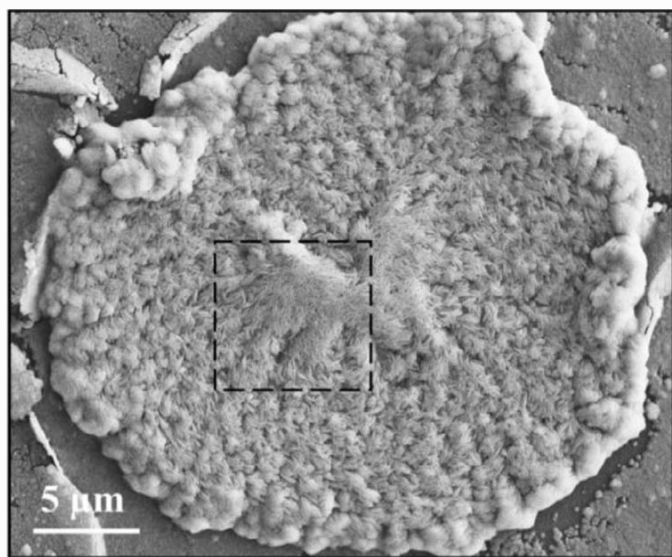
牙釉质就是一个典型例子，据估计，三分之二的英国成年人存在一颗或多颗牙齿的龋坏或损伤问题。埃尔沙卡维表示：“牙釉质是我们体内唯一无法自我再生的组织。牙齿发育完成后，负责生成牙釉质的成釉细胞 (ameloblast) 就会完全死亡。”牙齿最初形成时，这些细胞会产生一种名为釉原蛋白 (amulogenin) 的复杂蛋白质基质，为牙釉质的矿物成分提供组装和结晶的支架。

受这种生物模板法的启发，埃尔沙卡维的团队利用直接从羊毛纤维中提取的角蛋白，开发出了这种关键支架的生物相容性仿生材料。研究人员首先在还原条件下分解复杂的羊毛结构，经过过滤得到纯化的短链角蛋白片段。随后，团队将这些更简单的蛋白质单元溶解在超纯水中，通过形成选择性交联来调控其二级结构，制备出能够同时吸引钙离子和磷酸根离子的响应性角蛋白膜。埃尔沙卡维解释道：“角蛋白中带负电的氨基酸首先通过静电相互作用吸引钙离子，这些带正电的离子再吸引磷离子，从而形成初始晶核并开始晶体生长。钙离子结合后，蛋白质的构象会转变为 α -螺旋结构，这种

结构能够引导生成的羟基磷灰石 (hydroxyapatite) 晶体定向排列，实现分级矿化。”

整个结晶过程在数秒内即可完成，修复后的牙釉质会成为原生组织的完全整合部分，可恢复约 70% 的原始力学性能。埃尔沙卡维表示，该制备工艺本身具备可规模化潜力，团队目前正致力于将这项技术开发为两类产品：家用美容产品和专业牙科治疗产品。

羊毛或许已不再是昔日的工业巨头和财富象征，但尽管近年来其名声平平，这种天然纤维无疑仍是一种宝贵的资源，而化学与生物技术正帮助释放它的全部潜力。



角蛋白可用作支架，实现牙釉质的矿化。图片来源：©2025 萨拉·加梅亚 (Sara Gamea) 等

它被称为“天然青霉素”， 夏天常用，抑菌消炎、抗衰老，但要吃对

来源：人民日报公众号；原文链接：<https://mp.weixin.qq.com/s/h0n4QN7kl-SNqkm2vHJCUA>

芦荟号称“天然医生”
它能抑菌、减轻炎症反应
被称为“天然青霉素”
还能美容养颜、抗衰老、润肠通便
推荐吃法：芦荟百合芒果捞
快一起来看看吧
“天然医生”芦荟

1. 抑菌、减轻炎症反应：

芦荟富含蒽醌类化合物（如芦荟素、芦荟大黄素）、多糖、皂苷等活性成分。这些成分对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌等多种细菌具有抑制作用。

芦荟还能减轻炎症反应，帮助促进伤口愈合。对于轻度烧伤、烫伤、划伤、皮肤炎症，使用芦荟都能帮助身体恢复健康。因此芦荟也被称为“天然青霉素”。

2. 美容养颜、抗衰老：

芦荟中富含芦荟多糖，其对于抗衰老、提高人体免疫功能具有积极作用。

芦荟具有抑菌作用，其对于杀菌消炎、排出毒素、美容养颜具有积极作用。

3. 润肠通便：

芦荟中富含芦荟素、芦荟多糖，它们可以通过刺激肠道蠕动、软化粪便、促进肠道水分分泌等方式帮助缓解便秘、润肠通便。

4. 适合“三高”人群：

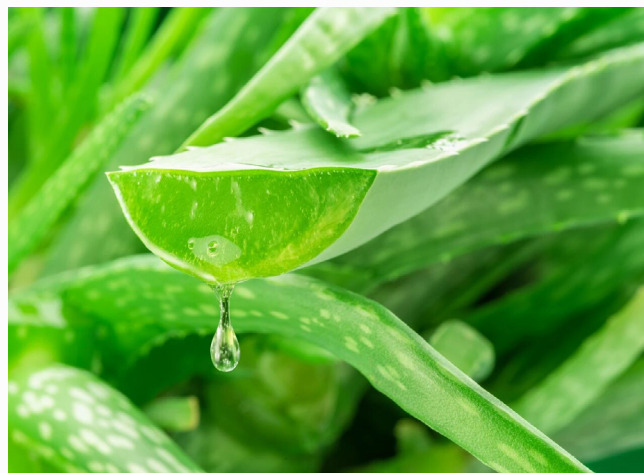
芦荟还是低升糖、高膳食纤维的植物，它的钾元素也很丰富，适合“三高”人群（高血糖、高血脂、高血压人群）食用。

5. 清肝、抑菌、泻火：

《中国药典（2025年版）》中记载，芦荟具有“泻下通便、清肝泻火、杀虫疗疔”的功效。目前研究表明，芦荟中含有大黄素等蒽醌类化合物，它具有一定的清肝、抑菌、泻火的作用。

6. 凉血止痛：

《生草药性备要》中记载，芦荟凉血，止痛，治内伤，洗痔疮如神。敷疮疥，祛油腻。它的意思是，芦荟可以清泻血分热邪，缓解热症引发的疼痛。比如气血瘀滞、脏腑功能紊乱引起的慢性损伤以及外力导致的气血经络损伤，对应药物可以理气活血、调理脏腑、改善相关症状。



推荐你这样食用芦荟

芦荟的品种很多，目前已知的芦荟品种有近400种，再加上其变种，芦荟的品种共有500余种，但目前可食用的芦荟，只有库拉索芦荟这一个品种，所以大家想要食用芦荟，可专门购买库拉索芦荟，对于不确定具体品种的芦荟，则不要食用。

1. 芦荟百合芒果捞：

好处：芦荟：润燥、润肠通便；百合：滋阴润燥、养阴润肺、清心安神；芒果、酸奶：滋阴；赤小豆：消暑、利水消肿、解毒排脓；山核桃碎：补肾、温肺、润肠。

制作方法：

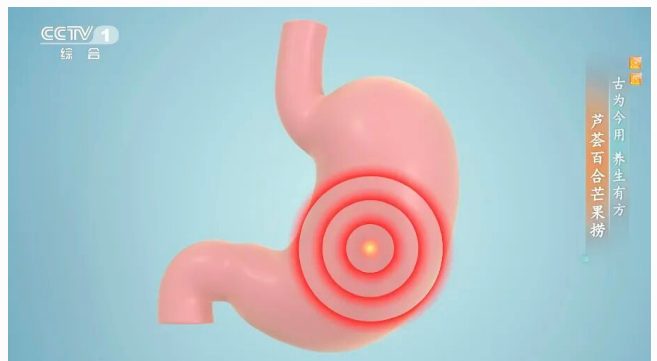
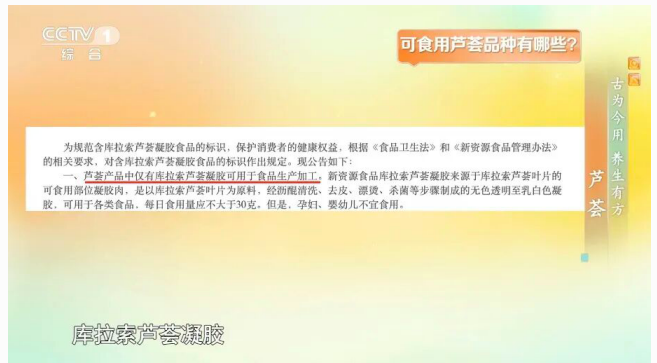
1. 冷冻好的赤小豆中加入适量清水，小火慢煮30~40分钟备用；
2. 将可食用芦荟去皮切小块，放入淡盐水中浸泡20分钟；
3. 将浸泡好的芦荟焯水3~4分钟，然后用清水过凉备用；
4. 碗中放入切好的芒果块、百合块，以及提前处理好的赤小豆、芦荟块，淋上适量酸奶和山核桃碎即可。

2. 芦荟黄瓜饮：

取适量可食用芦荟肉，切成粗条，将芦荟条放入榨汁机中，加入适量清水与黄瓜片，制成芦荟黄瓜饮，还可以加入少量蜂蜜，帮助改善味道。

营养小贴士：

1. 芦荟性质偏凉，成人每日食用新鲜芦荟凝胶建议不超过30克，过量食用容易引起肠胃不适。



2. 孕妇、婴幼儿、芦荟过敏人群不宜食用芦荟。

推荐你这样使用芦荟

1. 芦荟外敷法：

将芦荟捣烂外敷，有助于清热解毒、消肿止痛、促进炎症消退。

2. 辅助治疗痔疮：

将芦荟用水煮后，用芦荟水洗屁股或者坐浴，有助于治疗痔疮，缓解便血、肿痛。

3. 修护皮肤晒后损伤：

取适量芦荟凝胶涂抹在皮肤上，再搭配维生素E乳一起使用，既能帮助抵御紫外线伤害，也能修护日晒带来的肌肤损伤，温和呵护皮肤。



📍 固体洗涤剂的新型剂型在洗衣和自动洗碗机洗涤领域势头正盛。图片来源：©《化学与工程新闻》/Shutterstock

固体洗涤剂强势回归： 如今以片状、块状与片剂形态面世

覆盖洗衣、洗碗及更多场景，各大品牌与化工企业围绕无水剂型展开创新

来源：c&en；作者：Craig Bettenhausen；翻译：余婉宁

原文链接：<https://cen.acs.org/business/specialty-chemicals/solid-detergents-back-sheets-tiles/104/web/2026/06>

走进美国任何一家普通杂货店的清洁用品区，你会发现洗涤剂货架被洗衣凝珠和大瓶装液体洗涤剂占据。一盒孤

零零的洗衣粉被放在最底层货架，标签上还在恳请消费者试试凝珠。洗碗机洗涤剂区是凝珠的天下，洗衣区则是液体洗涤剂

领跑。

不过，在视线平齐的货架上有一小块区域，出现了一类新产

品：洗涤剂片和洗涤剂块。它们在杂货店里不起眼的陈列，掩盖了这些新型洗涤剂递送方式的实际受欢迎程度。市场研究公司英敏特集团 (Mintel Group) 的清洁行业分析师杰米·罗森伯格 (Jamie Rosenberg) 表示，尤其是洗涤剂片，乘着清洁产品送货上门的强劲消费趋势，2025 年已成为 21% 美国家庭的主要洗衣洗涤剂。

这些固体洗涤剂采用快速溶解的聚合物基质将成分粘合在一起，与几十年前那些常常溶解失败、最终市场遇冷的小块洗涤剂完全不同。大多数制造商使用聚乙烯醇 (PVA) 来粘合固体产品，但也有企业避开这种有争议的成分，转而采用生物基材料。固体清洁产品的市场胜负，可能取决于谁能掌握最佳的粘合技术。

最早的洗衣洗涤剂片出现在 2010 年代，但热度远不及同期推出的软糯多彩的洗衣凝珠。大型营销商联合利华 (Unilever) 和切迟 - 杜威公司 (Church&Dwight) 分别通过旗下七世代 (Seventh Generation) 和艾禾美 (Arm&Hammer) 品牌推出了洗涤剂片，但该品类的大多数产品由小型自有品牌销售。

今年年初，这种格局发生了变化。清洁产品巨头宝洁公司

(P&G) 加入战局，在全美推出了一款名为汰渍 evo (Tide evo) 的固体产品。它们严格来说不是片状——宝洁称之为块状——但同样满足了消费者对紧凑、固体和无水洗涤剂的需求。这种洗涤剂块面积约 49 cm²、厚 1 cm，质地柔软丝滑。

宝洁于 2024 年在西南偏南 (SXSW) 音乐、文化与科技节上首次发布汰渍 evo，随后将科罗拉多州作为试销市场，今年 4 月在全美正式上市。宝洁织物护理业务科学传播总监詹妮弗·阿霍尼 (Jennifer Ahoni) 表示，公司研发汰渍 evo 已超过 10 年。

这种洗涤剂块的主要清洁成分是传统的洗衣洗涤剂表面活性剂，包括月桂醇硫酸酯钠、月桂醇聚醚硫酸酯钠和直链烷基苯磺酸钠。其创新之处在于，宝洁找到了一种将表面活性剂与 PVA 共同纺成纤维的方法，这种纤维同时赋予了洗涤剂块结构和柔韧性。“这款产品的魔力就在于这些纤维，”宝洁研发负责人马克·西维克 (Mark Sivik) 说。

阿霍尼和西维克曾在 2024 年西南偏南发布会后接受《化学与工程新闻》(C&EN) 的深度专访，但宝洁仅为本文提供了有限的书面评论。

由这些纤维制成的织物构成了洗涤剂块的外层，以及内部用于分隔不同活性清洁成分的多层结构——这些成分包括酶、分散剂、污垢释放剂和抗再沉积剂，若混合在一起可能会相互干扰。西维克表示，使用时，纤维的毛细作用会将水吸入并穿透各层，加速溶解。“我们去除了大量惰性成分和填料，使其成为我们目前最紧凑的产品。”

宝洁的宣传称汰渍 evo 由 100% 浓缩清洁成分组成，但其配方确实含有无清洁作用的聚乙烯醇。宝洁在给《化学与工程新闻》的书面回复中表示，这种聚合物用作结构助剂。尽管这种洗涤剂块比标准液体洗衣洗涤剂（约含 75% 的水）浓缩得多，但该公司 2024 年向《化学与工程新闻》透露，每块洗涤剂块约含 5% 的 PVA。这一比例与洗衣凝珠包膜所用的 PVA 量相当，约为许多洗涤剂片所用 PVA 量的 1/4。

宝洁还强调，汰渍 evo 采用纸质包装，替代了液体洗涤剂所用的笨重塑料瓶，从而减少了塑料使用。同时，无需运输大量水分也大幅降低了产品的碳足迹。

大多数独立专家认为，清洁产品中使用的这类 PVA 易于生物

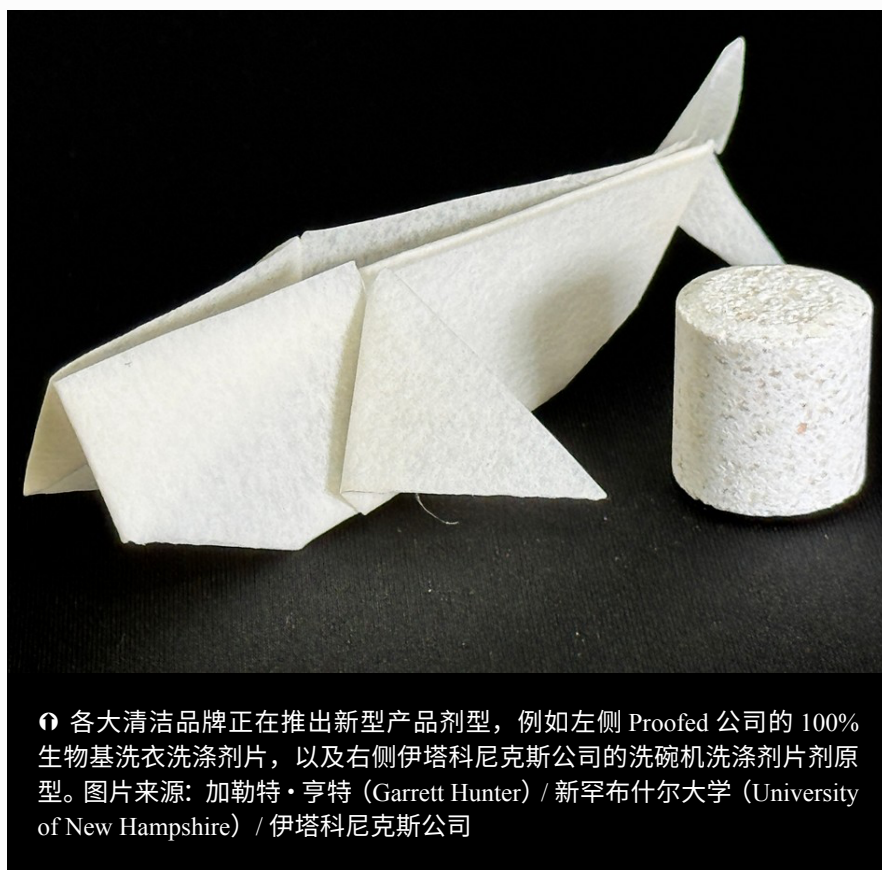
降解，但一些组织质疑该材料在尚未适应其存在的废水系统中的降解效果。近年来，这些争议引发了人们对这种合成聚合物的担忧，并导致纽约市在 2024 年提出禁令提案，欧洲也即将出台法规，限制聚合物膜质量占比达到 10% 及以上的配方。

寻找 PVA 之外的清洁产品新型基质材料

无论这种担忧是否合理，针对 PVA 的舆论压力，正推动行业探索能够让固体洗涤剂超越传统洗衣粉形态的其他材料。今年 5 月初，洗涤剂片制造商 CleanlyEco 公司从化学技术授权企业索恩材料公司 (Soane Materials) 获得技术许可，将微纤化纤维素用作洗衣洗涤剂片的结构组分。

CleanlyEco 首席执行官埃里克·瓦尔加 (Erik Varga) 表示，公司目前已在斯洛伐克乡村的工厂，以白标代工模式为多个欧洲品牌生产基于 PVA 的洗衣洗涤剂片。公司与索恩材料公司合作研发该材料已有约 1 年时间，这种材料由直径 1~5 μm 、长度达数百微米的纤维素丝组成。

瓦尔加称，更换基质材料最初面临不小挑战。但在更换了“大量设备部件”后，CleanlyEco 现



各大清洁品牌正在推出新型产品剂型，例如左侧 Proofed 公司的 100% 生物基洗衣洗涤剂片，以及右侧伊塔科尼克斯公司的洗碗机洗涤剂片剂原型。图片来源：加勒特·亨特 (Garrett Hunter) / 新罕布什尔大学 (University of New Hampshire) / 伊塔科尼克斯公司

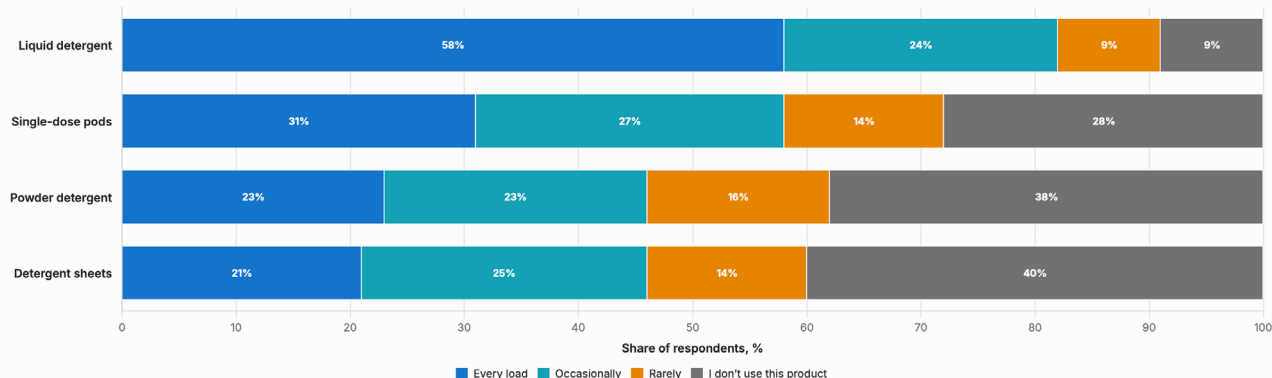
已能够使用纤维素替代 PVA 进行连续数日的生产运行。他表示，该工厂的年总产能可达数千万片洗涤剂片，且已准备好根据市场反应扩大新型纤维素洗涤剂片的生产规模。与索恩材料公司的初始授权覆盖欧洲地区的洗衣洗涤剂片业务，未来可选择扩展至其他地区和应用领域。

索恩材料公司总裁利奥·卡塞哈根 (Leo Kasehagen) 表示，除了满足市场对全生物基产品的需求外，这种纤维素材料还具备化学层面的优势。微纤化纤维素既可以作为其他成分的粘合剂，遇

水后又能充当分散剂。他指出，公司的核心技术贡献在于，使这种洗涤剂片能够在各种水温和水硬度条件下快速溶解。

卡塞哈根称，与 PVA 相比，纤维素与表面活性剂等碱性材料的化学兼容性更好，每克纤维素能够多承载 50% 的清洁成分。因此所需的基质材料用量更少：新型洗涤剂片中纤维素含量仅为 15%~23%，而同类竞品的 PVA 含量高达 40%。另一大优势是，该工艺主要在室温下进行，无需像 PVA 加工那样加热至 80 $^{\circ}\text{C}$ 。这不仅节约能源、提升生产安全

洗衣习惯



数据来源：英敏特（Mintel）2025年3月对1793名18岁及以上、会洗衣的美国互联网用户开展的调查。图片来源：谢伊·墨菲（Shea Murphy）/《化学与工程新闻》

性，更有利于保护酶制剂——酶能大幅提升清洁能力，但在高温环境下会发生变性。

洗衣房之外的固体洗涤剂剂型

清洁行业的一些高管正在思考，能否利用洗涤剂中已有的活性成分聚合物来粘合固体产品。

其中一个候选方案是一系列源自发酵化学品衣康酸的聚合物，美国能源部已将其推崇为替代石油化工产品的潜力基础原料。

聚衣康酸已作为分散剂、螯合剂和防斑剂应用于多款市售洗碗机洗涤剂中，这些都是聚合物的常规功能。在洗衣洗涤剂中，

聚衣康酸同样发挥着防止污垢再沉积和处理硬水的作用。目前洗涤剂配方中使用的主流活性聚合物大多是合成聚丙烯酸酯。

今年1月，在美国清洁协会年会上，聚衣康酸生产商伊塔科尼克斯公司（Itaconix）首席执行官约翰·R·肖（John R. Shaw）分享了一款洗碗机洗涤剂片剂的样品配方。该公司在其新罕布什尔州的工厂，利用进口衣康酸生产低相对分子质量聚合物及其衍生物。肖展示的片剂中，聚衣康酸的质量占比约为15%，同时还含有碳酸钠等成分——碳酸钠是一种皂化油脂的清洁剂。

肖表示，传统乙氧基化和丙

氧基化表面活性剂在洗碗机中的主要作用之一是防止餐具产生斑点和水垢，因此增加伊塔科尼克斯聚合物的用量可以减少表面活性剂的使用。事实上，他展示的样品配方中表面活性剂含量不足10%，且仅使用了槐糖脂——这种新兴表面活性剂此前大多仅作为辅助成分使用。

在片剂生产线上，聚衣康酸还能帮助将所有成分粘合为稳定的形状，无需使用可溶包膜或单独的粘合剂。这种多功能合一的设计简化了成分表，并将片剂质量降至8g，约为主流凝珠和片剂质量的一半。

肖表示，这款洗碗机洗涤剂

可以说是洗衣洗涤剂的预演。洗碗机的运行温度较高，有助于成分溶解。而在洗衣领域，冷水洗涤模式正越来越受欢迎。这种模式既能节约能源，又能延长衣物使用寿命，但也给洗涤剂的溶解带来了挑战。

对于洗涤剂的早期使用者来说，溶解问题并不陌生。第一代洗衣凝珠以及近期的洗涤剂片，都曾因PVA溶解不完全而产生结块和残留污渍的问题饱受诟病。行业专家指出，溶解不完全是数十年来液体洗涤剂击败洗衣粉的主要原因，在美国市场尤其如此。

清洁电器之外的固体剂型

新型固体剂型在个人护理领域也逐渐兴起。对于初创公司Capsule Minimal来说，推出固体产品的核心优势在于能够销售浓缩液和补充装。该公司首批推出的是洗发水和泡沫洗手液等个人护理产品，联合创始人阿米·克鲁皮克 (Ami Krupik) 表示，他计划将业务拓展至家居护理产品和涂料领域。

该公司的片剂和颗粒并非简单地在可重复使用的瓶子中遇水溶解，而是会经历一系列预设步骤，整个过程可能需要数小时。

Capsule Minimal通过分层设计、孔隙率变化和热力学调控，在家庭环境中模拟了原本需要在工厂完成的生产过程。

例如，克鲁皮克介绍，泡沫洗手液片剂的外层会先用乙二胺四乙酸 (EDTA) 预处理水质，中和金属离子。外层溶解后，不同粒径的颗粒和3D打印通道会帮助成分按受控顺序释放。溶剂化热还能在不同步骤产生冷热效应。

克鲁皮克表示，与传统产品相比，这种家庭混合的方式能将最终产品的碳足迹降低95%，成本降低50%。与洗涤剂制造商对新型固体剂型的宣传类似，这种环保和成本优势的很大一部分来自于无需运输大量的水。

尽管新型固体剂型似乎正在流行，但清洁行业的一些人士认为这只是一时的热潮。

洗衣粉生产商查理肥皂公司 (Charlie's Soap) 总裁泰勒·萨瑟兰 (Taylor Sutherland) 表示：“我可以证实，市场对洗衣机用洗涤剂片确实存在热情，这无疑得益于单剂量洗衣洗涤剂市场多年来的整体增长。但根本问题在于，它们的清洁效果并不好，这一点已经得到第三方测试的验证。”

萨瑟兰说：“或许会有某个品牌解决功效问题，但除非出现这种情况，否则我认为洗涤剂片很快就会触及增长上限。”

事实上，社交媒体洗衣科普博主、职业干洗工扎卡里·波兹尼亚克 (Zachary Pozniak) 的测试显示，洗涤剂片的表现参差不齐。他在多个视频中表示，PVA粘合剂占比高的小尺寸洗涤剂片，很难装入足够量的表面活性剂。

一片3.5 g、粘合剂占比40%的洗涤剂片，仅能容纳约1.4 g清洁成分。波兹尼亚克在最近的一个视频中说：“这根本不够用。等有12 g的洗涤剂片时再叫醒我吧。”宝洁的汰渍evo块状洗涤剂质量为22 g，完全符合标准洗衣剂量建议，在波兹尼亚克的排名中得分很高。

英敏特的数据显示，仅美国的洗衣洗涤剂市场年规模就达114亿美元，自动洗碗机洗涤剂市场规模为20亿美元。尽管表现参差不齐，但新型固体剂型已经占据了相当大的市场份额。随着各大品牌的入局和原料供应商带来的新化学技术，固体洗涤剂或许有望将液体洗涤剂挤到底层货架，与传统洗衣粉为伍。

“算力金属”，价格大涨

来源：人民日报公众号；原文链接：https://mp.weixin.qq.com/s/hH-6P_YZVl47X8bUISH1CA

我们常说物以稀为贵，在金属世界里，有一种金属——锡，因为具有导电性好、熔点低、焊接稳定性强等特点，成为半导体先进封装工艺中的关键基础材料，算力越强、芯片堆叠越密集、锡消耗量就越大，因此被称为“算力金属”。

半年上涨 40% —— “算力金属” 锡价格处历史高位

随着人工智能产业的快速发展，金属锡的价格，出现明显上涨，从去年 11 月的每吨 30 万元，涨至目前的每吨 42 万元左右，半年上涨 40%，处在历史高位。锡价高企的背后，折射出行业怎样的供需变局？

在位于广西来宾的一家锡冶炼厂的成品库，记者看到工作人员正将一捆捆重达一吨的成品锡锭调运到卡车上，完成点检后，这批锡锭即将发往下游企业。由于下游企业对锡需求旺盛，目前该公司的生产线正 24 小时不间断运转。

冶炼端产销两旺，但上游矿山开采却难以快速增量。记者来



到位于云南个旧的大屯锡矿，矿山负责人告诉记者，锡矿山产能受开采系统、安全规制硬性约束，常年维持均衡开采，即便下游需求激增，也无法快速扩产。

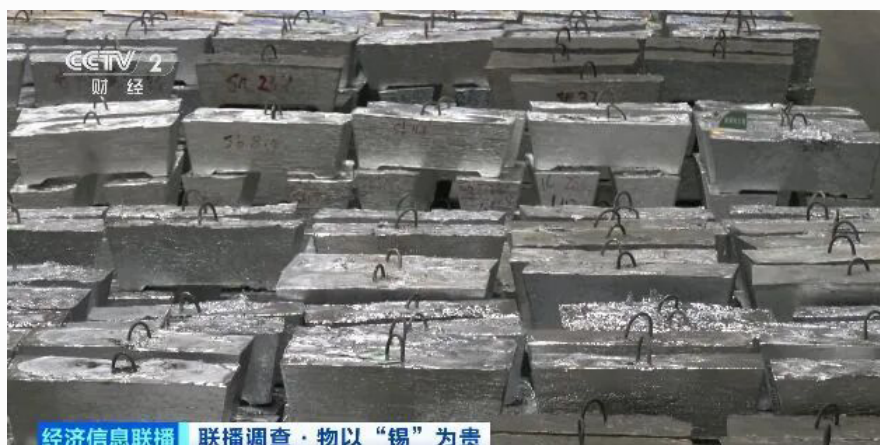
据了解，我国是全球最大的

精炼锡生产国和消费国，但受国内锡矿资源品位下滑等因素影响，目前，国内冶炼用锡矿大约三分之二依赖进口。

从去年开始，缅甸、印度尼西亚、刚果（金）等锡主产国受

到出口限制、地质灾害等因素影响，锡供应出现紧缺。业界普遍认为，未来一到两年，锡价上涨将是长期态势。

分析人士认为，从中长期看，锡作为“算力金属”，价格具备坚实的上行支撑基础。

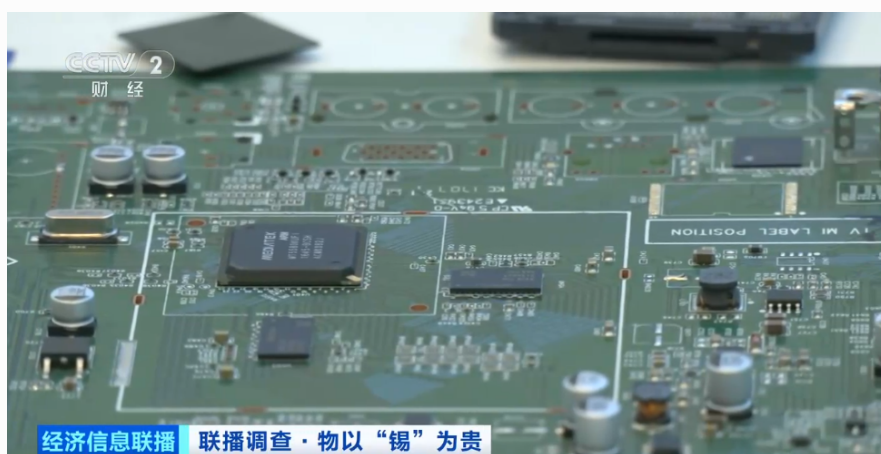
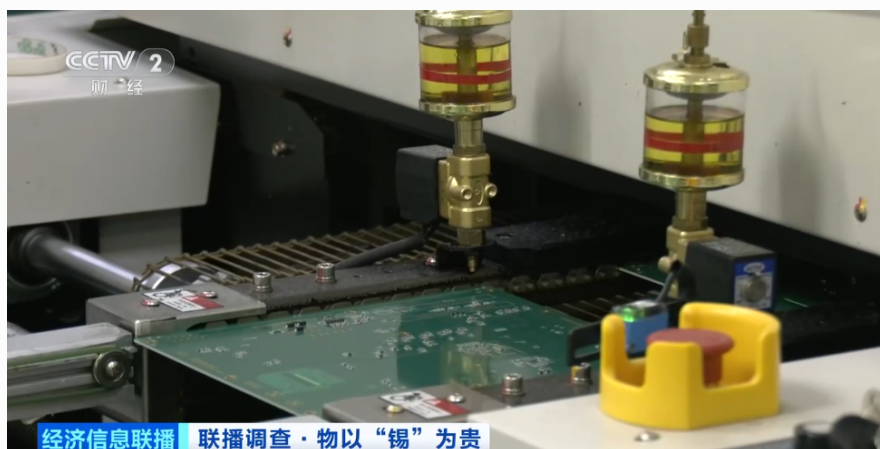


新需求强势崛起——锡产业加速技术迭代

长期以来，锡的用途主要集中在传统消费电子、镀锡钢板等领域，而如今，AI服务器、光模块、半导体先进封装成为锡需求最大增量来源。新兴赛道不仅带动锡整体消费量持续攀升，也倒逼中下游企业加速技术升级与高端化转型。

在深圳一家从事印刷电路板组装的企业中，记者看到，生产线正在24小时满负荷生产AI服务器、光模块所需要的电路板组件。企业负责人告诉记者，AI赛道订单的爆发，直接带动他们的锡采购量大幅攀升。

行业调研显示，AI单台服务器用锡量是传统服务器的3倍以上，而和传统消费电子对锡价高度敏感不同，新兴高端赛道产品由于具备更高的附加值，具备更强的价格承受能力。



新兴需求支撑锡价走高的同时，也在倒逼锡中下游企业开启

技术迭代与高端化转型。

记者走访调研发现，不少从事锡粉、锡膏、锡球领域的中下游企业正在努力突破技术瓶

颈，向超微化、高纯化、高精度方向发展。

采访中不少企业负责人也表示，随着下游需求结构的变化，

金属锡产业链将逐步向高研发投入、高技术输出方向发展，这也意味着产业链将迎来新一轮洗牌。

资源存量趋紧——锡产业链加速向循环化发展

全球锡矿可开采资源有限，在需求持续增长的背景下，锡产业链将迎来怎样的发展变局？

业内预计，按当前开采速度，全球锡矿仅够开采 15 年，国内

锡矿仅够开采 12 年左右。由于原生资源存量不足、海外供给不确定性增强，很多生产企业开始转向金属锡回收。

目前，我国头部锡企已全面

布局循环产业链，打造“矿山开采、冶炼加工、废料回收、再生利用”的闭环，通过技术攻关提升废旧电路板、锡渣、尾矿的回收利用率，持续提高再生锡供给占比。



来源：人民日报微信综合央视财经
本期编辑：郑薛飞腾、林帆

《人民日报》刊发：

北京推广科研经费包干制 ——“买酱油”的钱可以“买醋”了

来源：北京国际科技创新中心公众号；原文链接：<https://mp.weixin.qq.com/s/tT0WqB8DfJZq9ExMI1Uqwxw>

5月29日，《人民日报》专版《让有真才实学的科技人员英雄有用武之地（人民眼·深化科技体制改革）》聚焦北京探索推广科研经费包干制，刊发《北京推广科研经费包干制——“买酱油”的钱可以“买醋”了》。以下为全文——

北京推广科研经费包干制——“买酱油”的钱可以“买醋”了

申请上千万元的科研经费，做预算有啥要求？北京市中关村泛联移动通信技术创新应用研究院专职副院长金毅敦拿出一份今年刚签署的合同，细看“资金支持相关约定”这项，只填了一个数字——3000万元。

“科研经费包干制，让科研人员从预算填表等事务性工作中解放出来，更能心无旁骛做科研。”金毅敦负责的“6G关键技术研发和产业生态培育”项

目，总经费1.5亿元，周期5年，一年一拨付，“放在过去，申请这样规模的项目，编预算就得1个月。”

科研经费管得过细，曾颇受科研人员诟病。

“一份三四百页的项目申请书，2/3都是预算相关说明，得按12个科目编制。”金毅敦记忆犹新，“有的项目执行时间长，连出差目的地和天数，都要

提前一两年列出来，只得绞尽脑汁‘编’。有同事开玩笑，‘要做课题组长，先要学会财务’。”

科研工作具有灵感瞬间性特征，科研过程存在诸多不确定性，面对技术路线优化调整、实验材料更新迭代、人员需求动态变化，经费预算需要及时调整。

“以前，每项支出都规定得很细，执行过程中调整预算很麻烦，得跟财务人员反复协调。”

中国矿业大学（北京）能源与矿业学院教授张新敬说。

相较于制度层面看得见的条条框框，张新敬更担心看不见的思维束缚，“由于已编报预算的限制，面对科研过程中新出现的前沿点，一些科研人员宁愿保守一点。因为一旦预算执行出问题，科研项目很可能面临无法结项的风险。”

打破条条框框，亟须为科研人员松绑。2018年，北京探索科研经费包干制改革，以信任为基础，以成果为导向，建立负面清单，划定制度红线，赋予项目单位和科研人员经费使用自主权，免去了费时费力的算账环节。

“‘买酱油’的钱可以‘买醋’了，只要跟‘做菜’相关就行。”张新敬打着比方，并拿自己负责的“风—储耦合机理及减碳研究”举例：项目2023年获得50万元资金支持，得益于经费“包干”，劳务费可灵活发放，张新敬的10名在校学生得以参与研究。2025年底结项时共获得5项专利，部分专利实现转化落地。

“充分放权，可不是要做‘甩手掌柜’。”北京市科委、中关村管委会资管处处长申昊星说，既要“放得活”，还要“管得住”，

以人民日报·深化科技体制改革

技术总师负责制、经费包干制、信用承诺制推行情况怎样？记者在北京、山西、四川等地探访

让有真才实学的科技人员英雄有用武之地

年的131人次增长40余倍。同年，德国莱茵技术奖获得者排名世界第九位，较2012年提升11个位次。
今年5月30日第十次全国科技工作者代表大会，在重庆大礼堂、山、四川等地探访，新技术总师负责制、经费包干制、信用承诺制如何落地科技一线“一亩三分地”，助力科技强军人才队伍建设。

山西探索科研信用承诺制——
“一纸承诺”取代“一摞材料”

北京推广科研经费包干制—— “买酱油”的钱可以“买醋”了

本报记者 李晔

在科研经费包干制改革中，科研人员从过去“花钱如流水”的紧张状态，转变为“花钱有底气”的从容状态。科研人员不再为“买酱油”的钱“买醋”，而是可以“买醋”了。

四川试点技术总师负责制—— 请专家“当家”，向总师“放权”

本报记者 李晔

在四川试点技术总师负责制中，专家“当家”，向总师“放权”。总师负责制让专家在科研项目中发挥更大的作用，提高了科研效率。

在山西探索科研信用承诺制中，科研人员只需签署一份信用承诺书，即可申请科研经费。这种“一纸承诺”取代了以往繁琐的审批流程，大大缩短了科研经费的到账时间。

在科研经费包干制改革中，科研人员不再为“买酱油”的钱“买醋”，而是可以“买醋”了。这种改革让科研人员更加专注于科研工作，提高了科研效率。

在山西探索科研信用承诺制中，科研人员只需签署一份信用承诺书，即可申请科研经费。这种“一纸承诺”取代了以往繁琐的审批流程，大大缩短了科研经费的到账时间。

在四川试点技术总师负责制中，专家“当家”，向总师“放权”。总师负责制让专家在科研项目中发挥更大的作用，提高了科研效率。

在山西探索科研信用承诺制中，科研人员只需签署一份信用承诺书，即可申请科研经费。这种“一纸承诺”取代了以往繁琐的审批流程，大大缩短了科研经费的到账时间。

在四川试点技术总师负责制中，专家“当家”，向总师“放权”。总师负责制让专家在科研项目中发挥更大的作用，提高了科研效率。

在山西探索科研信用承诺制中，科研人员只需签署一份信用承诺书，即可申请科研经费。这种“一纸承诺”取代了以往繁琐的审批流程，大大缩短了科研经费的到账时间。

在四川试点技术总师负责制中，专家“当家”，向总师“放权”。总师负责制让专家在科研项目中发挥更大的作用，提高了科研效率。

在山西探索科研信用承诺制中，科研人员只需签署一份信用承诺书，即可申请科研经费。这种“一纸承诺”取代了以往繁琐的审批流程，大大缩短了科研经费的到账时间。

在四川试点技术总师负责制中，专家“当家”，向总师“放权”。总师负责制让专家在科研项目中发挥更大的作用，提高了科研效率。

在山西探索科研信用承诺制中，科研人员只需签署一份信用承诺书，即可申请科研经费。这种“一纸承诺”取代了以往繁琐的审批流程，大大缩短了科研经费的到账时间。

在四川试点技术总师负责制中，专家“当家”，向总师“放权”。总师负责制让专家在科研项目中发挥更大的作用，提高了科研效率。

在山西探索科研信用承诺制中，科研人员只需签署一份信用承诺书，即可申请科研经费。这种“一纸承诺”取代了以往繁琐的审批流程，大大缩短了科研经费的到账时间。

在四川试点技术总师负责制中，专家“当家”，向总师“放权”。总师负责制让专家在科研项目中发挥更大的作用，提高了科研效率。

在山西探索科研信用承诺制中，科研人员只需签署一份信用承诺书，即可申请科研经费。这种“一纸承诺”取代了以往繁琐的审批流程，大大缩短了科研经费的到账时间。

在四川试点技术总师负责制中，专家“当家”，向总师“放权”。总师负责制让专家在科研项目中发挥更大的作用，提高了科研效率。

在山西探索科研信用承诺制中，科研人员只需签署一份信用承诺书，即可申请科研经费。这种“一纸承诺”取代了以往繁琐的审批流程，大大缩短了科研经费的到账时间。

在四川试点技术总师负责制中，专家“当家”，向总师“放权”。总师负责制让专家在科研项目中发挥更大的作用，提高了科研效率。

在山西探索科研信用承诺制中，科研人员只需签署一份信用承诺书，即可申请科研经费。这种“一纸承诺”取代了以往繁琐的审批流程，大大缩短了科研经费的到账时间。

在山西探索科研信用承诺制中，科研人员只需签署一份信用承诺书，即可申请科研经费。这种“一纸承诺”取代了以往繁琐的审批流程，大大缩短了科研经费的到账时间。

在山西探索科研信用承诺制中，科研人员只需签署一份信用承诺书，即可申请科研经费。这种“一纸承诺”取代了以往繁琐的审批流程，大大缩短了科研经费的到账时间。

在山西探索科研信用承诺制中，科研人员只需签署一份信用承诺书，即可申请科研经费。这种“一纸承诺”取代了以往繁琐的审批流程，大大缩短了科研经费的到账时间。

在山西探索科研信用承诺制中，科研人员只需签署一份信用承诺书，即可申请科研经费。这种“一纸承诺”取代了以往繁琐的审批流程，大大缩短了科研经费的到账时间。

在山西探索科研信用承诺制中，科研人员只需签署一份信用承诺书，即可申请科研经费。这种“一纸承诺”取代了以往繁琐的审批流程，大大缩短了科研经费的到账时间。

在山西探索科研信用承诺制中，科研人员只需签署一份信用承诺书，即可申请科研经费。这种“一纸承诺”取代了以往繁琐的审批流程，大大缩短了科研经费的到账时间。

在山西探索科研信用承诺制中，科研人员只需签署一份信用承诺书，即可申请科研经费。这种“一纸承诺”取代了以往繁琐的审批流程，大大缩短了科研经费的到账时间。

在山西探索科研信用承诺制中，科研人员只需签署一份信用承诺书，即可申请科研经费。这种“一纸承诺”取代了以往繁琐的审批流程，大大缩短了科研经费的到账时间。

在山西探索科研信用承诺制中，科研人员只需签署一份信用承诺书，即可申请科研经费。这种“一纸承诺”取代了以往繁琐的审批流程，大大缩短了科研经费的到账时间。

多款产品填补行业空白。

经费“松绑”并不意味着科研人员可以“松口气”。金毅敦直言，“感觉比原来压力还大。”他负责的6G项目经费使用灵活，但考核很“硬核”。每年年初，团队要和北京市科委、中关村管委会共同商定年度目标，年底由专家验收。

“每年都要拿出标志性成果。”金毅敦说，目前，所在单位申请的6G技术专利已超过64项，项目相关成果连续三年入选中关村论坛年会重大科技成果。

减少过程干预，强化结果导向，这种“松绑+增压”的设计，正是北京市科研经费包干制的改革逻辑。“科研人员不再被预算科目捆住手脚，但必须拿出实实在在的科研成果。”申昊星表示。

科研减负，创新加速。北京市科研经费包干制改革覆盖面持续扩大，目前已在全市自然科学基金项目全面推行，惠及近千家单位3.5万余名科研人员。

专家观点

北京科技审评中心主任李晓磊：

科学研究是一项探索未知的事业，不可能“未卜先知”，必



北京晶格领域半导体有限公司科研人员在做实验。晶格领域公司供图

须充分尊重科学研究灵感瞬间性、方式随意性、路径不确定性等特点规律。

作为科研领域重要改革举措，经费包干制赋予科研人员充分的经费使用自主权，最大限度简化经费使用过程中的管理环节。经费管理时间成本减少，有助于科研人员将更多精力投入科研主业。

无需编制详细预算，取消经费使用科目比例限制，可根据实际需求动态调整经费投向……科研经费包干制实施后，资源配置更灵活，有助于资金真正用在刀刃上。

经费包干制不是一包了之，管理松绑不意味着放任自流。北京市探索建立负面清单机制，明确权责划分和禁止性支出，消除政策执行中的模糊地带，经费使用“放得开、守得住”，帮助科研人员走好管理“平衡木”。

深化经费包干制改革，未来仍需在放管结合、精准施策上持续发力。为避免“一刀切”式管理，建议立足项目类型、研究领域的不同特点，采取“全包干”和“部分包干”相结合的灵活模式，推动经费包干制与“揭榜挂帅”“赛马制”等模式结合，构建协同增效的科研创新生态。

来源：人民日报 王昊男

戴着一一次性手套吃小龙虾为啥还是满手油？

一文看懂高分子材料的阻隔性

作者：张玉茹，谢科锋，彭杰源；Email: 3136700278@qq.com

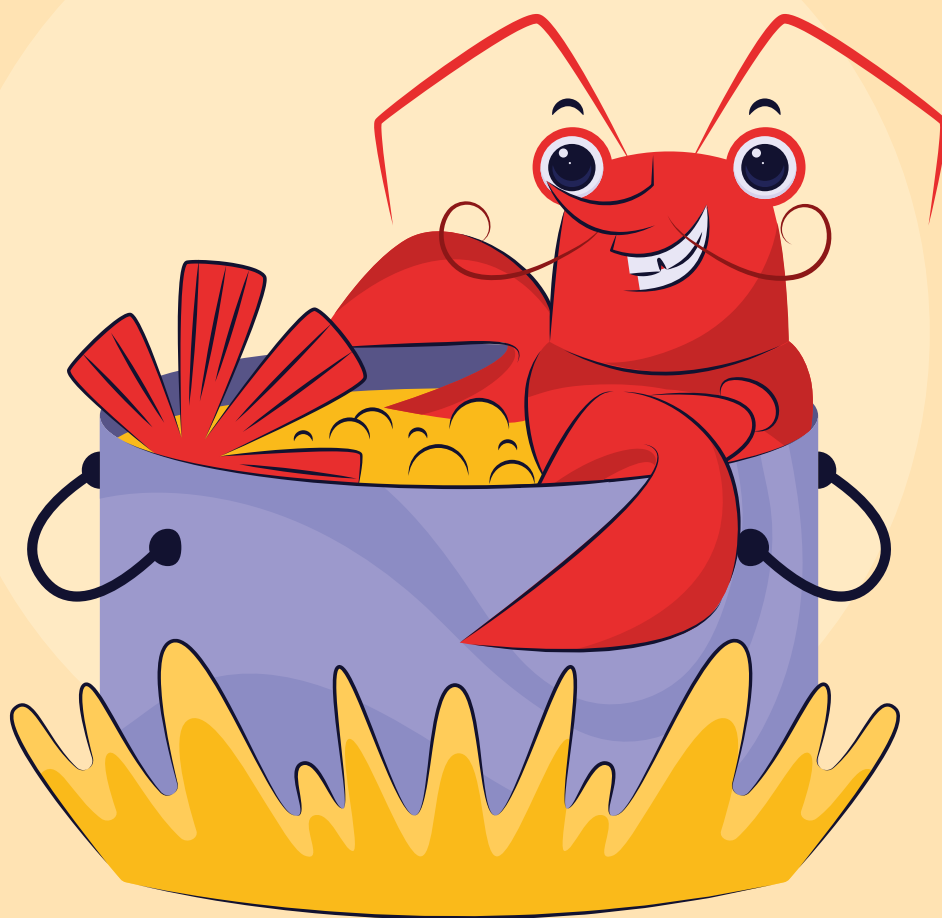


Image by freepik on Magnific

引言

夏季来临，终于到了可以畅吃美味小龙虾的季节(图1)。吃小龙虾时，一次性手套是必不可少的，但是很多人可能都会有疑问：为什么戴了一次性手套，吃完之后手上还是会有油呢？是不是在剥壳的过程中，小龙虾把手套给刺破了？其实不一定，一次性手套的“特殊”结构与性质，本身就可能给油分子的穿越提供可乘之机。这一生活中常见现象的背后隐藏着高分子材料的阻隔性奥秘。



①【图1】小龙虾(图片来源于小红书)

一、什么是高分子材料的阻隔性？

简单来说，高分子材料的阻隔性，就是它挡住其他物质(比如油、水和气体)穿过自己的能力，就像一层“防护墙”，墙够严实，东西才透不过去。高分子材料的阻隔能力可用渗透系数 P 来表示， P 值越大，阻隔性越弱，其决定于扩散系数 D 和溶解系数 S ($P=DS$)^[1]。通常，国际上以氧气透过率来评判高分子材料的阻隔性，厚度 $25.4\ \mu\text{m}$ ，温度 $22.8\ ^\circ\text{C}$ 条件下，氧气透过率在 $194 \times 10^{-5}\ \text{cm}^3 \cdot 20\ \mu\text{m}/\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{Pa}$ 以下的高分子材料称为阻隔性材料^[2]。阻隔性材料有多种分类方式，可以按阻隔物质分为气体阻隔材料(如氧气、二氧化碳等)、液体阻隔材料(如水、油、溶剂等)、

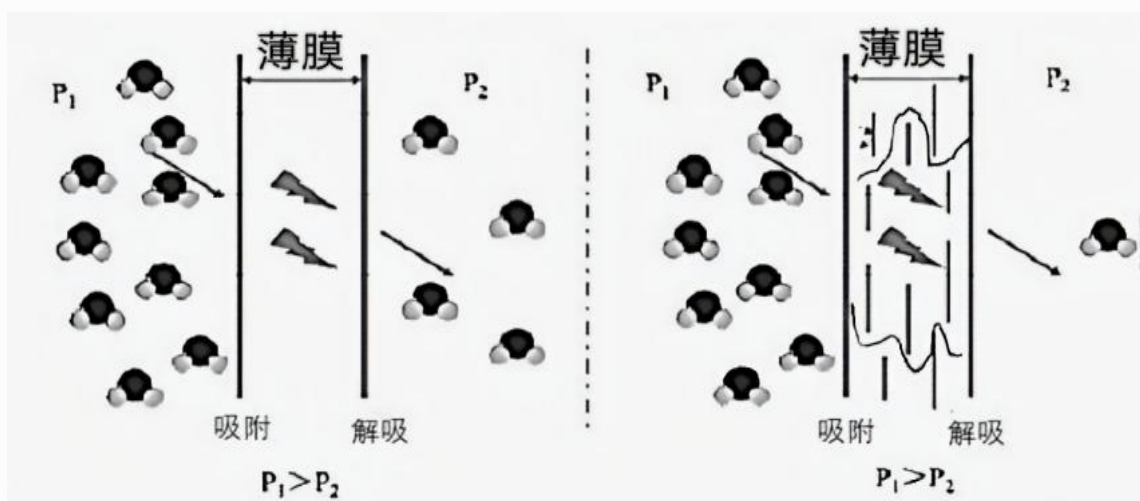
水蒸气阻隔材料等；也可以按阻隔原理分为物理阻隔材料(如通过材料的紧密结构阻挡物质渗透)、化学阻隔材料(如通过化学反应阻挡物质渗透)、生物阻隔材料(如利用生物大分子的特性进行阻隔)等；还可以按阻隔效果分为高阻隔材料、中阻隔材料、低阻隔材料等^[3]。

二、高分子材料如何“挡住”或“放走”物质？——阻隔机理

氧气、水蒸气和油脂等小分子穿越高分子材料的微观过程遵循“吸附—溶解—扩散—解吸”机制^[4]，如图2所示，主要分为以下几个过程：(1)小分子吸附在聚合物表面；(2)小

分子与聚合物表面发生作用相互溶解；(3)小分子在较高压强的一侧达到溶解平衡后开始向较低压强的一侧扩散(扩散作用)；(4)小分子扩散至聚合物另一侧后，从聚合物表面释放，即解吸。这个过程的快慢，由材料的分子结构和小分子的性质共同决定。

高分子材料的阻隔性首先和它的聚集态结构密切相关。高分子材料由长链分子缠绕堆积而成，如果长链分子排列紧密形成结晶区，就像“混凝土墙”，几乎没有空隙，很难让小分子穿过；如果长链分子形成了排列松散的无定形区，就像“竹篱笆”，空隙大，小分子容易钻过



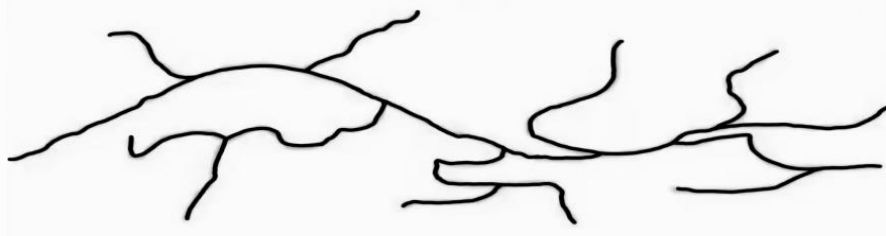
①【图2】小分子渗透与阻隔机理^[2]

去。市面上常见的一次手套的主要成分低密度聚乙烯(LDPE)就属于后者(图3)。它的分子链上布满了支链,就像一根长绳上长出许多分叉,导致分子链堆积时无法紧密排列,结晶度只有40%~60%,大量非晶区形成的疏松结构,成了油脂分子渗透的“高速通道”^[5]。想象一下,当油脂接触手套时,就像一群小虫子钻进稀疏的竹篱笆,轻松穿过材料到达皮肤。而聚四氟乙烯(PTFE)则截然不同,其分子链规整且极少有支链干扰,如同排列整齐的“钢铁阵列”,能紧密堆积形成高结晶度结构(结晶度可达90%以上)^[6]。这种高结晶度让PTFE内部几乎难以寻找明显非晶区空隙,油脂分子要想渗透进去,就像试图穿越密实的“金刚石墙”,毫无可乘之机。PTFE凭借其优

异的阻隔性,常被用于对防渗漏要求严苛的场景,像高端厨具不粘涂层、化工耐腐蚀密封件等,不过它价格昂贵,用来吃小龙虾,确实有点“屈才”啦。

高分子材料的阻隔性还和高分子与小分子之间的“化学亲和性”有很大的关系。以聚乙烯(PE)手套为例,长链聚乙烯是非极性分子(电荷分布均匀),油脂也是非极性分子,两者就像“同类人”,遵循“相似相溶”的原

理。当油脂接触PE手套时,会逐渐溶解进分子链的空隙中,就像糖溶于水一样,导致PE分子链间的作用力被削弱,链段运动能力增强,宏观上表现为手套溶胀(变膨胀)^[7],空隙进一步扩大,让更多油脂分子进入。这也是为什么戴PE手套吃小龙虾时,一开始感觉不到油,几分钟后却发现手上逐渐渗油——渗透过程需要时间积累。而丁腈橡胶和聚氯乙烯(PVC)在极性表现上与PE手套差异明显。丁腈橡胶分子链



①【图3】低密度聚乙烯分子结构示意图

里，因含有极性的氰基(-CN)，整体呈现一定极性^[8]；PVC的分子链带有极性的氯原子(-Cl)，极性特征突出^[9]。当面对非极性的油脂分子时，它们和油脂的“化学亲和性”远不如PE手套与油脂那般“投缘”。所以在接触油脂场景中，丁腈橡胶和聚氯乙烯制成的手套（图4），渗油情况比PE手套轻很多，油脂渗透慢且难，成为吃小龙虾、处理重油污场景的实用选择。

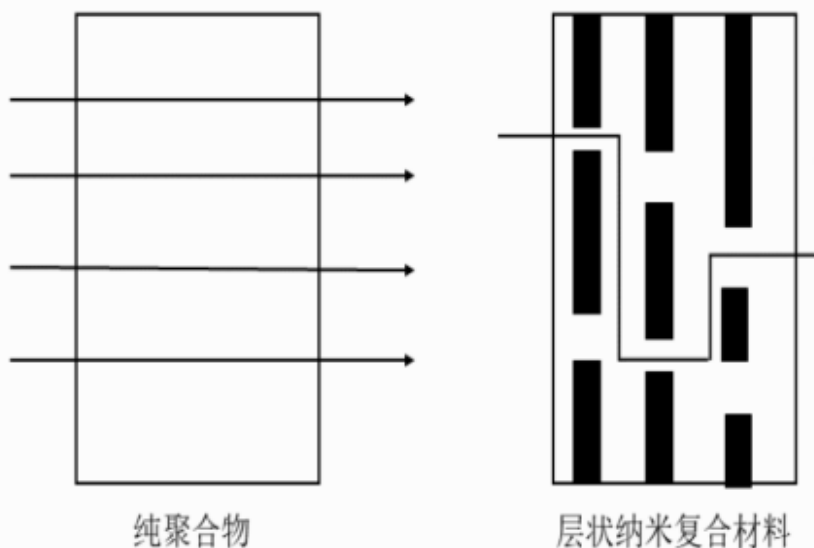


④【图4】丁腈橡胶手套（左）和聚氯乙烯手套（右）（图片来源于小红书）

高分子材料的阻隔性与温度也有很大关系。众所周知，所有分子都在不停地做无规则运动。温度升高时，高分子链的运动加剧，分子内部空隙增大，自由体积变大，油脂等小分子物质更容易透过，阻隔性减弱。小分子物质与大分子物质间的多种作用力也会影响小分子物质在大分子中的溶解与扩散^[5]。因此，高分子材料的阻隔性是物理结构（分子堆积紧密性）、化学作用（极性匹配、分子间力）与环境条件共同作用的结果。

三、如何从材料端解决“漏油”问题？提升材料阻隔性的手段

为提升高分子材料的阻隔性，科学家们从材料技术方面开发了多种技术：



④【图5】纳米复合改性示意图^[3]

1. 多层共挤技术：把不同材料交替堆叠，构建出“迷宫式”结构，材料界面能打乱渗透分子的运动轨迹，让它们在层层穿梭中“迷失方向”，阻隔效果显著提升^[10]。比如PE、乙烯-乙烯醇共聚物(EVOH)、PE三层共挤薄膜，可让小分子的渗透路径相比单层膜

延长10倍以上，大大降低漏油概率。

2. 纳米复合改性：在聚合物基体中添加蒙脱土、纳米氮化硼片层等纳米填料，构建多级阻隔网^[4]。如图5所示，这些纳米填料形成物理屏障，让油脂分子扩散路径

变得狭窄又曲折，降低渗透率。比如往PE里添加相关纳米材料，可使渗透率降低60%~80%。

3. 表面涂层处理：在材料表面涂覆高阻隔材料，如在PE薄膜上涂覆聚偏氯乙烯、EVOH、二氧化硅、全氟聚合物等涂层，涂覆后形成致密屏障，有效提升材料的阻隔性能^[11]。比如全氟聚合物涂层表面能极低，让油脂等难以附着渗透；二氧化硅涂层可借助微纳粗糙度减少油污留存，常用于手套、包装材料等，提升对液体、气体的阻隔性。

结语

下次聚餐吃小龙虾时，不如换一双丁腈橡胶手套，既能享受剥小龙虾的过程，又能让双手保持清爽。毕竟，吃完不用狂搓手洗油渍，才是对这顿美食最后的尊重。戴着手套吃小龙虾还是满手油这一现象，背后蕴含着丰富的高分子材料科学知识。通过了解一次性手套的材料特性和高分子材料的阻隔性，我们不仅能明白其中的原因，还能找到一些有效的解决方法。科学家研发的这些提升阻隔性的技术，不仅仅是为了解决吃小龙虾的“困扰”，更多的是希望高分子材料成为高

新技术领域的基石，在空天领域，为各种需要受保护的精密仪器打造出隔绝极端环境的保护罩；在生物医药中，疫苗冷链运输的包装将温度与微生物全部阻隔在外，保证疫苗活性。从餐桌的小场景，到科技前沿的大领域，高阻隔性高分子材料不断进步，拓宽着我们探索未知的边界。说不定哪天，这些技术不光能让我们清爽吃虾，还能助力更多创新。让我们借着科学的力量，去触及更多未知的新可能，把材料科学的价值，延伸到人类生活的各个方面，为人类和社会造福。

参考文献

- [1] 丁运生, 张志成, 史铁钧. 阻隔性高分子材料研究进展[J]. 功能高分子学报, 2001(3): 360-364.
- [2] 刘依君. 阻隔性高分子包装材料的研究进展[J]. 塑料助剂, 2022(4): 44-48.
- [3] 谢文波. 食品包装——关键在于阻隔性材料的选择[J]. 中国食品工业, 2000(3): 39-40.
- [4] 何宏伟. 聚乙烯醇基高阻隔复合材料的制备及应用[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2023.
- [5] 李沛, 张嘉琪, 刘巍, 等. 4种低密度聚乙烯树脂的链结构及其性能[J]. 应用化学, 2019, 36(11): 1237-1247.
- [6] 王美慧, 郝新敏, 郭亚飞, 等. 聚四氟乙烯微孔膜复合材料及其防护应用进展[J]. 棉纺织技术, 2024, 52(1): 85-92.
- [7] 郑娟, 刘麟. 明胶-乙烯接枝共聚物生物降解性能和溶胀性能研究[J]. 明胶科学与技术, 2008(3): 143-151.
- [8] 吕同策, 李铁柱, 陈东平, 等. 国产高回弹性丁腈橡胶3306G的结构与性能研究[J]. 橡胶科技, 2024, 22(9): 503-507.
- [9] 孙立科, 林洋, 关彦军, 等. PVC合成树脂技术及性能改进研究进展[J]. 化工新型材料, 2024, 52(12): 74-80.
- [10] 吴淑芳, 蚁明浩, 陈循军, 等. 高分子材料阻隔性能的研究进展[J]. 化工新型材料, 2019, 47(1): 24-27.
- [11] 常培硕. 基于高耐磨性的涂层刀具表面处理研究[D]. 济南: 山东理工大学, 2021.

“胶”个朋友： 解码红藻的“Q弹魔法”

作者：王媛，谈诗雅，王新昌，李琳；Email: wyclaire1227@163.com



Image by freepik on Magnific

1. 引言

食品安全乃是人类得以生存以及持续发展的根本基石，它属于关系公众健康以及社会稳定状况的重大民生问题，步入新时代之后，习近平总书记针对食品安全工作发表了一系列意义重大的论述。并且随着全球化进程不断向前推进，以及食品供应链变得日益复杂多样，食品安全问题已经跨越了地域和国界的限制，成为世界各国都需要共同面对的挑战。从农田一直延伸至餐桌，从生产加工环节直至流通消费阶段，其中的每一个环节都有可能存在风险，像是农药残留、微生物污染、添加剂被滥用、转基因引发的争议以及假冒伪劣等诸多问题，持续不断地冲击着消费者的信任底线。

3.15 期间暴露出来的一系列食品安全问题进一步加剧了公众对食品安全的担忧，并引发社会大范围的激烈讨论，其中像“海克斯科技”“三花淡奶”“薯片中的 TBHQ”^[1]等相关报道，致使大量消费者对食品添加剂产生恐慌的情绪，本次实验的研究对象卡拉胶也首当其冲。近些年来，有关卡拉胶可能致癌的报道出现后，消费者对它的认知仅仅停留在潜在危害这个层面。但实际上，卡拉胶凭借其独特的溶解性、胶凝性、增稠性以及协同性等特

性，已经在生物医药、环境保护和化妆品等多个领域有着广泛的应用，比如用于制作胶囊外壳^[2]、应用于治疗阿尔茨海默症的卡拉胶五塘 (KCPS)^[3]、凝胶型空气清新剂、环保型生物卡拉胶等等。

卡拉胶来自天然的红藻，比如鹿角菜、麒麟菜等，属于天然高分子多糖^[4]。它在食品中的应用可以追溯到 600 多年前，那个时代的爱尔兰人便常用海边的苔藓来制作奶冻。后经科学家考证，这种苔藓实际上是一种名为“皱波角叉菜”的海藻，其中含有的卡拉胶可以使奶冻形成类似果冻的口感，因而广受欢迎。到了 18 世纪，由于爱尔兰土豆大饥荒的爆发，大量爱尔兰人逃难到美国，红藻的种植技术也跨越了大西洋来到新英格兰地区^[5]。1837 年，卡拉胶分离技术的问世；20 世纪 30 年代，卡拉胶的工业化生产加工于美国东海岸地区逐渐发展起来^[6]，与此同时，卡拉胶命运的新转折点也出现了。在此之前，琼脂是食品工业主要使用的海藻提取物，其主要产地集中在日本，而在二战期间，琼脂的货源被阻断，因而作为替代品的卡拉胶需求量激增，卡拉胶的产量也随之增加并在战后渐渐成为全球食品工业用量最多的海藻提取物。我国最初使用的同样是琼脂，大约在上世纪 70 年代才

着手生产卡拉胶，不过其发展速度较快，浙江、福建等主要生产地的产量持续上升，当前我国每年卡拉胶出口量已超 2.5 万吨，并远销至欧美地区。

为帮助读者更加全面地了解食品添加剂的制作情况及其利弊，我们选定以卡拉胶这一常见的食品添加剂作为研究对象，通过呈现卡拉胶的制备工艺以及它在实际中的应用，以此来澄清卡拉胶的相关谣言，并消除消费者对食品添加剂所存在的误解与偏见。

2. 卡拉胶的提取分离

从常见海洋红藻中提取卡拉胶的方法大致如下：准确称取一定量的海藻原料，用蒸馏水洗净后剪碎并将碎片完全浸入浓度为 14% 的 KOH 溶液中，60 °C 下恒温搅拌 4 h。搅拌结束后，过滤去除碱液，用自来水冲洗藻体至 pH 值为中性。再向藻体中加入足量的蒸馏水煮沸 50 min 后，用 74 μm 纱布过滤，得到棕黄色滤液。待滤液冷却至 40 °C 以下，按一定体积比向胶液中缓慢加入浓度为 5% 的 KCl 溶液进行盐析，同时不断搅拌至有凝胶析出。将所得凝胶置于 200 mL 乙醇中挤压过滤，滤饼烘干后即得卡拉胶粗产品 (图 1)。

为进一步验证制备所得产物

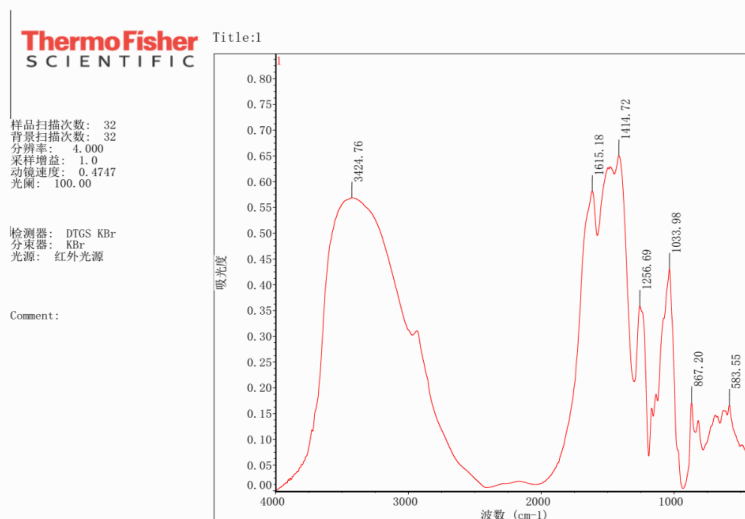
为卡拉胶，对粗产品与卡拉胶标准样同时进行傅里叶红外光谱 (FTIR) 分析^[7]。卡拉胶标样 (图 2) 在 $1250\sim 1370\text{ cm}^{-1}$ 附近出峰，该峰归属于硫酸基团的振动吸收。对比实验制备样品的 FTIR 图谱 (图 3)，在相同波数范围内观察到相应的特征峰，说明成功提取出了卡拉胶。

3. 不同类型卡拉胶凝胶性质对比

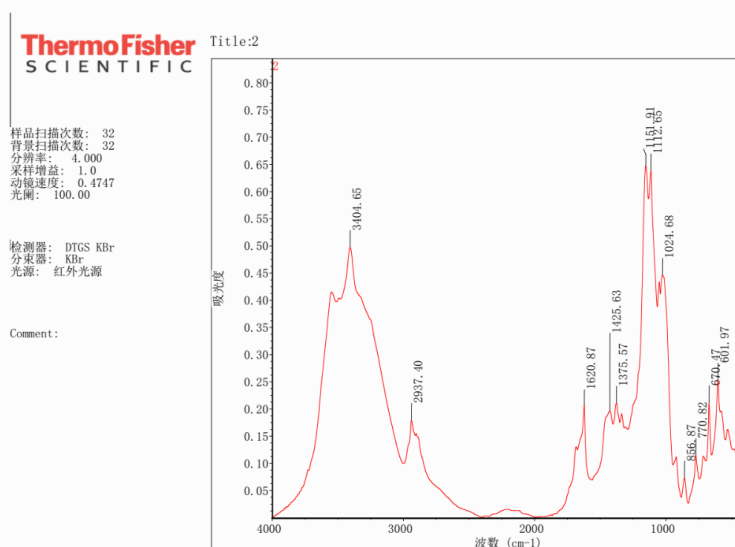
从鹿角菜中提取的卡拉胶属于 κ 型卡拉胶，而卡拉胶家族的常见成员还包括 i 型和 L 型卡拉胶。由于具有不同的分子结构，它们各自的凝胶性能也出现了明显差异。为使三者的凝胶性能差异直观可视，按如下方案再次进行对比实验：取 3 份 150 g 的牛奶于烧杯中，分别加入约 2 g 的 κ 型、 L 型和 i 型卡拉胶，加热溶解后冷却凝固。随后将凝固的样品倒扣，观察其凝胶强度差异 (图 4)。实验现象如下： κ 型卡拉胶与牛奶中的 Ca^{2+} 结合形成的凝胶固体具有一定弹性，但易破裂成块； i 型卡拉胶与牛奶中的 Ca^{2+} 结合形成的凝胶固体强度与弹性都较高并呈现“Duang Duang”的颤动感；而加入 L 型卡拉胶的牛奶冷却后其溶液粘度增加但并无固体出现。这下，大家对卡拉胶家族主要成员作用效果的特点是不是更了解了呢？下次在食品或实



① 【图 1】卡拉胶粗产品



① 【图 2】卡拉胶标样 FTIR 图



① 【图 3】卡拉胶制备样 FTIR 图

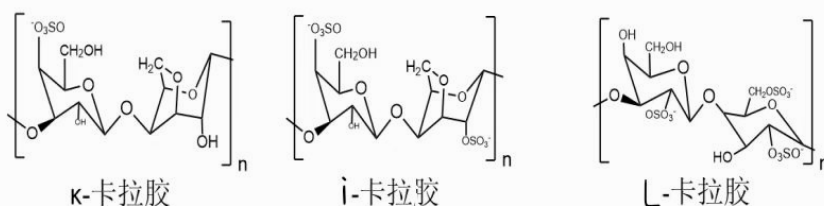


①【图4】不同结构的凝固态卡拉胶

验里遇到它们，就能轻松“对号入座”啦！

4. 实验原理大揭秘

卡拉胶是一类来源于红藻类海洋植物的亲水性胶体多糖，从化学组成来看，它主要是由D-半乳糖以及3,6-脱水-D-半乳糖残基所构成的多糖硫酸酯盐组成(图5)，在其组成当中，阳离子成分包括钙、钾、钠和铵等多种元素。依据硫酸酯基团结合方式的不同，该物质可划分为3种主要类型κ型、i型和L型，各类型在增稠性能与胶凝特性方面存在着明显的差异。具体来说，κ型在钾离子存在下可形成刚性凝胶结构，而i型与钙离子作用则产生质地柔软且弹性良好的凝胶，相比之下L型的性质基本不受盐类影响^[8]。从物理形态与性质来看，卡拉胶呈现出白色至淡黄色的粉末状(图6)，具备水溶性的特点，不过它不能溶解于有机



①【图5】不同类型卡拉胶的分子结构



①【图6】不同结构的卡拉胶粉末

溶剂，同时没有任何气味。卡拉胶的水溶液有着较为显著的黏度增强效果，并且能够借助与蛋白质之间的相互作用，起到乳化稳定的功能^[9]。

作为一种具有凝胶化、增稠、乳化、保湿、成膜及稳定分散等

多重功能特性的天然多糖，卡拉胶在食品工业、轻工业、化学工业以及医药卫生等众多应用领域均展现出广泛的实用价值^[10]。我国卡拉胶生产过程中的碱处理工艺，主要运用KOH和KCl处理体系，其中NaOH处理工艺较为成熟，成本也相对较低，属于当下

主流的生产方式, 不过与 NaOH 相比, KOH 处理工艺存在一定优势: 它的碱性相对温和, 对海藻细胞结构造成的破坏程度较小, 可有效减少胶质成分的流失^[11], 产品收率可以提高 10%~15%, 并且所得到的卡拉胶在凝胶强度和透明度等品质指标方面更为优良。但鉴于 KOH 原料成本较高, 其工业化应用受到了一定程度的限制。近些年来, 部分企业开始尝试采用 NaOH-KOH 梯度处理新工艺, 前期利用 NaOH 实现快速破壁, 后期转用 KOH 进行精细处理, 这种工艺兼具经济性和品质方面的优势。

本实验采用碱处理方法提取鹿角菜中的卡拉胶, 置鹿角菜(图 7)于碱水中温浸煮 4 h 后水洗去碱性, 再次浸煮提胶, 过滤后盐析胶液并脱水干燥得到卡拉胶粗产品。其中, 碱处理用于破坏海藻的细胞壁以释放卡拉胶, 对提高卡拉胶的产率有很大影响; 同时碱液可以使卡拉胶的 1,4-连接的 *D*-半乳糖-6-硫酸酯脱去 C_6 上的硫酸基转变为 1,4-连接的 3,6-内醚-*D*半乳糖, 促使 μ -卡拉胶(κ -卡拉胶的前体)转变为 κ -卡拉胶, 进而提高目标产品—— κ -卡拉胶的产率^[12]。在脱水提取时, 我们选用 KCl 与无水乙醇结合的方法进行 KCl 提供 K^+ 与卡拉胶中的硫酸基团结合促



①【图 7】鹿角菜

进其三维网络结构的构建使之析出^[13], 乙醇与卡拉胶极性不同作为沉淀剂改变溶液极性进而实现卡拉胶的脱水沉淀。

5. 卡拉胶的应用

5.1 食品工业

在食品工业当中, 卡拉胶堪称“多功能帮手”, 具有胶凝剂、悬浮剂、增稠剂、乳化剂以及稳定剂等多重身份, 在多种美食中发挥着不同作用。夏天必备的冰淇淋, 就离不开它的助力。已有相关研究结果显示, 在冰淇淋的制作过程中, 卡拉胶分子结构中所包含的阴离子糖苷键, 能够与乳制品中含有的阳离子之间产生静电相互作用^[14], 形成一张立体的三维凝胶网络结构, 因而能够显著地改善冰淇淋产品所具备的热稳定性、机械强度以及形状保持能力, 也即让冰淇淋在常温下不容易快速融化, 吃的时候有扎实的口感, 即便冰箱停电也能在

一定时间内保持原有的形状, 不会轻易塌掉。在火腿肠的加工环节中添加卡拉胶, 能够对产品的质构特性起到显著的改善作用, 具体表现为凝胶强度、弹性模量以及持水能力这几个方面的同步提升, 通过这样的改善, 火腿肠更有韧性, 咬起来弹牙不松散, 还能牢牢锁住水分, 避免切开流汁, 不管是直接吃还是炒菜, 口感和风味都更稳定。在果冻(图 8)的生产过程中, 卡拉胶更是“凝固高手”, 它可以使果冻在室温条件下实现凝固, 而且所得到的成品具有透明度高、不易出现倒塌现象、富有弹性以及保水性能良好等特点。就连厨房常用的虾膏、蚝油和酱油等调味品, 也有卡拉胶的身影。添加卡拉胶后, 这些调味品的质地更浓稠均匀, 也不易出现油水分层的情况, 炒菜时还能更好地附着在食材表面, 使饭菜更入味, 吃

起来口感也更细腻顺滑。

5.2 医药领域

作为一种不可消化的大分子多糖，卡拉胶具有可溶性膳食纤维的特性，能够调节肠道生态平衡并抑制肥胖；其硫酸多糖结构还具有杀灭病毒的作用。此外，卡拉胶还具有降血压、抗凝血等功效^[15]。它还具有良好的生物相容性、可调的粘弹性、简单的凝胶机理和热可逆凝胶化，因而具有良好的释药能力，成为了理想的“药物运输车”。例如用卡拉胶做成的微球包覆需要缓释的药剂制得的卡拉胶缓释微球^[16]，可以实现良好的药剂缓释效果。卡拉胶还表现出较高的延展性，作为伤口敷料时，它能像“隐形创可贴”一样紧紧贴合皮肤保护伤口不被感染，同时还能透气保湿，助力伤口愈合。近年来，卡拉胶在智能科技领域更是大放异彩，基于其研发所得的水凝胶可应用于智能可穿戴传感设备生产。研究人员把它加入聚丙烯酰胺中制备成一种双网络水凝胶^[17]，这种材料不仅能快速自我修复还具备良好的导电性。用它做成的应变传感器，柔韧性超强，戴在身上完全不影响活动，还能快速、稳定地捕捉人体的微小动作，比如手腕的弯曲、手指的伸展，甚至是脉搏的跳动，为健康监测提供了更灵活、更精准的新方案，让



①【图8】利用卡拉胶制作的布丁果冻

智能穿戴设备离我们的生活越来越近。

5.3 化工领域

卡拉胶作为天然生物质材料，契合绿色化学的发展需求。卡拉胶中所含的硫酸酯基团可通过与金属离子相结合，表现出一定的阻燃作用。通过将卡拉胶与其他材料进行复配，可合成拥有生物基质的阻燃材料。研发人员利用其将易燃成分包裹起来制成一颗颗高效的复合型阻燃小球，可广泛应用于家具、建材以及电子设备，为安全更添一份保障。此外，卡拉胶还具有优异的成膜性、

无毒性以及可降解性，与仙草胶等复配制备所得的可食性包装膜^[18]，可减少白色污染，满足绿色、环保的时代发展需求。

5.4 能源环保领域

卡拉胶作为一类天然且无毒性特性的碳源材料，在能源的存储与转换这一重要领域当中，展现出了极为广阔的应用前景。其分子链所具有的独特“双螺旋”结构，使得该物质成为制备高性能锂/钠离子电池、超级电容器以及燃料电池的理想材料^[19]，进而对海藻资源与新能源材料之间的协同发展起到了积极的促进作用。在功能涂

层这一研究领域,卡拉胶凝胶与水性环氧树脂所形成的复合体系,能够对因水分快速挥发而导致的微孔道缺陷产生显著的抑制效果,这一研究方向已然成为当前学术界与产业界共同关注的热点。除此之外,该材料在环境工程领域同样具有不可忽视的重要价值。一方面,其可被用于制备高效的水渗透膜,进而应用于污水处理环节;另一方面,通过改善聚乙烯醇(PVA)固化微生物小球的成球性能^[19],能够有效避免颗粒团聚现象的发生,从而显著提升污水处理的效率。

5.5 化妆品领域

卡拉胶在护肤品生产过程中的应用,能够使产品呈现出多样化的质地形态,无论是清爽的乳液、滋润的乳霜,还是细腻的喷雾、绵密的泡沫,都能靠它调出理想的质地状态以满足不同肤质的需求。在面膜、洗发水等日化产品当中,卡拉胶常常被用作增稠剂与凝胶剂,可有效提高相关产品的稳定性,同时增强其在使用过程中的便利性。在敷面膜时,它能让精华液牢牢锁在膜布上,不会轻易滴落弄脏衣服;洗头发时,它能让洗发水保持均匀的浓稠度,搓揉时更容易起泡,也能让营养成分更稳定地附着在发丝上,用起来方便又省心。近年来,学术界对于卡拉胶寡糖及其经过结构修饰之后所形成的产

物(图9),在生物活性方面的研究给予了高度关注。多项实验所得到的数据结果证实,其产品的抗氧化能力极为出色,且吸湿、保湿效果比我们熟悉的传统保湿剂甘油还要厉害!这一重要的研究发现,为新型功能性材料的研发工作提供了具有关键意义的理论支撑。除此之外,研究还发现红藻硫酸多糖具备抑制人体皮肤红斑产生的作用^[20],这一特性使其在相关领域展现出了巨大的应用潜力。

卡拉胶因其独特的性质,被越来越多地应用于各个行业,并且近年来有越来越多的研究人员在不断开发其新的应用方式。卡拉胶作为极具潜力的天然材料,相信在未来能在各个领域得到更好地应用。

6. 总结

相信大家看到这里,就明白了所谓的致癌谣言其实是莫须有罪名,整个制备过程中仅通过物理方法从天然植物鹿角菜中分离提纯有效成分卡拉胶,其中危害性较大的KOH在碱洗阶段便被除去,不存在人工合成的未知成分。在人体摄入卡拉胶后,其在胃酸作用下将发生部分降解,生成的低分子片段被肠道菌群代谢,最终以二氧化碳和水的形式排出体外;未降解的高分子片段则通过排泄过程排出体外,并不会在体内蓄积,国际权威机构也已认定食品级卡拉胶的安全性。

与之命运相同的还有来自海藻的琼脂,来自动物皮骨的明胶和由微生物发酵产生的黄原胶等天然食品添加剂和以苯甲酸钠、阿斯巴甜为代表的一些人工合成的食



⑨【图9】基于卡拉胶开发的护肤品(图片来源于豆包AI创作)

品添加剂。前者通过物理方法或生物方法从天然物质中提取,可被人体消化代谢,而后者则是经过严格的生理测试确认其无毒无害性后才能添加到食品中。

但由于信息在供需双方之间的不对称,再叠加社会公众对于“天然”这一概念的过度追捧,导致消费者群体对于食品添加剂常常抱持着预设性的偏见,并且在日常认知过程中容易受到网络上流传的各类不实谣言

的干扰与左右。

为了尽可能消除预设性偏见,除了科研人员所开展的专业性科普传播工作,消费者自身也需要主动修正其在食品安全认知层面存在的偏差:所谓的食品安全,其判定标准并非取决于食品当中是否含有添加剂这一单一因素,而是由所使用添加剂的具体种类、实际使用剂量是否严格契合相关标准要求,以及食品生产的整个流程是否遵循规范化操作

这几方面共同决定的。

在判断食品安全与否时,我们固然可以借鉴过往积累的经验,但更为关键的是应当相信科技的力量。因为科学所蕴含的强大能量,不仅使整个世界的运行逻辑更为透明,也让消费者对食品生产的信任更为稳固与坚定。当下次我们享用布丁时,大家也不要忘了:这一美味食物实际上是一份分子级别的精妙“盛宴”哦。

参考文献

- [1] 薯片因含TBHQ引恐慌食品添加剂再“背锅”[N]. 中国食品报, 2025-04-07(006).
- [2] 黄耀江, 仵缘. 植物明胶卡拉胶的提取工艺研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2015, 34(4): 349-354.
- [3] 刘洋. K-卡拉胶五糖减弱A β 25-35所诱导的SH-SY5Y细胞的凋亡及可能机制[D]. 重庆: 重庆医科大学, 2016.
- [4] Doyle J P, Giannouli P, Rudolph B, et al. Preparation, authentication, rheology and conformation of theta carrageenan[J]. Carbohydr Polym, 2010, 80(3): 648-654.
- [5] Usov A I. Polysaccharides of the red algae[J]. Adv Carbohydr Chem Biochem, 2011, 65: 115-217.
- [6] 徐强, 管华诗. 卡拉胶研究的发展及现状[J]. 青岛海洋大学学报, 1995(S1): 117-124.
- [7] 史升耀. 一种用途广泛的海藻多糖——卡拉胶[J]. 海洋科学, 1981(2): 47-53.
- [8] Yang Z, Yang H, Yang H. Effects of sucrose addition on the rheology and microstructure of κ -carrageenan gel[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 75: 164-173.
- [9] 韩杰. 适合湿法纺丝的卡拉胶提取工艺及卡拉胶稀溶液构象的研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2021.
- [10] 袁超, 桑璐媛, 刘亚伟. κ -卡拉胶的功能特性及其应用研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2016, 37(4): 118-123.
- [11] 李春海, 蔡德泉. 卡拉胶氢氧化钾碱处理工艺的研究[J]. 食品科技, 2003(11): 48-49, 57.
- [12] 黄耀江, 仵缘. 植物明胶卡拉胶的提取工艺研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2015, 34(4): 349-354.
- [13] 孟凡玲, 罗亮, 宁辉, 等. 辉-卡拉胶研究进展[J]. 高分子通报, 2003(5): 49-56.
- [14] 郑瑞峰, 王晓娟, 吴秋艳, 等. 卡拉胶凝胶保水机理及其应用研究[J]. 食品安全导刊, 2022(8): 186-188.
- [15] 刘鹏燕, 邢慧敏, 徐胜贤, 等. κ -卡拉胶和黄原胶复合凝胶及其载药抗菌性能研究[J]. 济宁医学院学报, 2020, 43(2): 77-82.
- [16] 葛晶, 于帅. 生物基材料——卡拉胶的研究进展[J]. 河南建材, 2018(6): 117-118.
- [17] 刘盼盼, 张书俐, 高莉, 等. 卡拉胶水凝胶在生物医学领域中的应用进展[J]. 功能材料, 2022, 53(3): 3066-3073.
- [18] 王帅棋, 李裕. 卡拉胶凝胶性能及应用的研究进展[J]. 当代化工研究, 2020(22): 125-126.
- [19] 李道浩, 杨东江, 夏延致. 基于卡拉胶的能源材料的可控合成及应用[C]//2017第一届天然材料研究与应用研讨会论文集. 海口, 2017: 51-52.
- [20] 于国友, 王天琦, 吴海歌, 等. 海洋糖类物质的性质及其在化妆品中的应用[J]. 时珍国医国药, 2013, 24(12): 2981-2982.

“入夏不吃酸, 苦夏人难安”

——解码酸爽解暑的化学奥秘

作者: 蔡习悦; Email: caixiyue@ciac.ac.cn





❶【图 1】苦夏：人体因为高温而出现的乏力、疲惫和食欲不振不良体征（图片来源于豆包 AI 生成）

夏日炎炎，人们时常会因为高温而感到乏力、疲倦、精神不振和食欲不振^[1]。中医将这一因为季节变化而引发的不适症状称为“苦夏”（图 1）。这种现象并非单纯的怕热，更是人体在高温高湿环境下一系列生理和代谢反应的结果。为了应对这种不适，民间流传着一句俗语——“入夏不吃酸，苦夏人难安”。一些特殊风味的酸味美食总能在酷暑中唤醒味蕾，带来清凉酷爽的感受。其实，这种食物带来的酸爽感不仅仅来自于口味，它们酸味的来源以及在人体中发挥的作用更是蕴含着无限的生物化学奥秘。

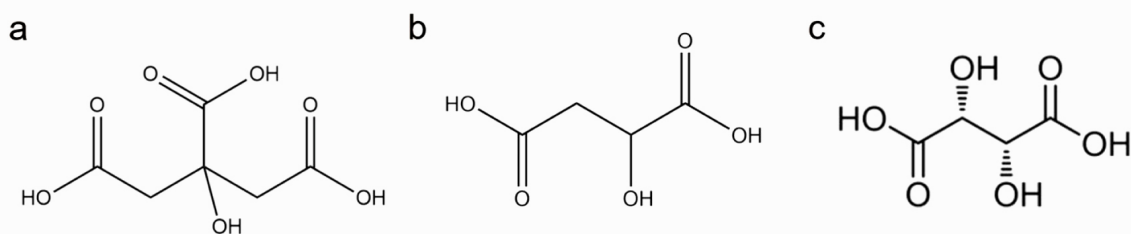
一、自然的馈赠——水果中的酸味

酸味是五味中的基本味，酸性物质解离出的氢离子刺激人口腔中的味觉神经而产生这种特殊的味觉^[2]。人类从远古时代就有着嗜酸的本能，大自然也

毫不吝啬地将具有特殊酸甜味的水果作为礼物赠送给人们。我们日常生活中食用的多种水果（图 2）或多或少都具有独特的酸味，这些酸味的来源是水果中的有机酸类，是水果能量代谢的中间产物。不同种类的天然有机酸含有的阴离子决定了酸味的特征。水果中的有机酸常常以一种主要有机酸和少量其他有机酸组成，造就了各种水果的不同风味。柑橘类水果中含有的主要有机酸为柠檬酸，其化学结构如图 3a 所示，味道刺激而爽快淋漓，作为一种需氧生物新陈代谢（三羧酸循环）的中间产物在水果中积累；仁果类（苹果、梨等）和核果类（桃、杏、李等）水果中的主要有机酸为苹果酸，其化学结构如图 3b 所示，带有刺激性的爽快酸味；浆果类水果中的主要有机酸为酒石酸，化学结构如图 3c 所示，酸味带有独特的香味。这些水果中的酸味来源不仅丰富了口感口味，同时也能促进由高温导致的代谢低下的消



【图 2】美味的酸味水果，例如柠檬 (a 和 c)、柑橘 (b) 和杨梅 (a) 等 (图片来源于 (a) 豆包 ai 生成；(b) unsplash；(c) 苹果绿养生网)



【图 3】(a) 柠檬酸结构式；(b) 苹果酸结构式；(c) 酒石酸结构式

化腺正常运转，帮助人们克服高温带来的食欲不振。

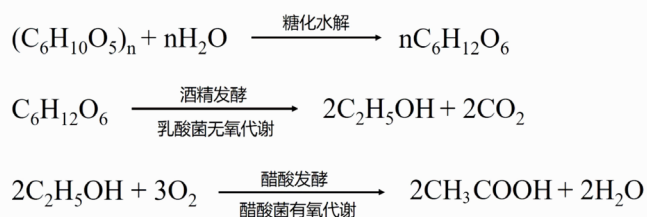
二、古老的智慧——神奇的发酵过程

除了天然的酸味食物以外，人们对美食和酸爽味道的不断追求促使了人类食物历史中最神奇技术之一的诞生——发酵。在漫长的时间长河中，人们通过发酵——借助微生物在有氧和无氧条件下来制

取微生物菌体本身或者其代谢产物的过程——制备了具有独特风味的发酵酸产品。按照食物的种类划分，发酵酸可以被划分为 1) 以谷物或水果作为发酵底物的调味品醋酸；2) 以蔬菜作为发酵底物，具有特殊酸味可以长期存储的酸菜和 3) 以奶类作为发酵底物的酸奶。

(1) 醋酸

食用陈醋的制备早在《周礼》中就有所记载, 遗漏的粮食在自然发酵后变成酒, 继续发酵就形成了醋。从化学角度分析醋酸形成, 发酵过程可以解释为淀粉在微生物酶的催化作用下水解为葡萄糖, 后进一步转变为醇类, 再经进一步发酵转化为醋酸, 整个过程的化学变化(图4)。传统固态发酵食醋 (traditional solid-state fermented vinegar, TSSFV) 以糯米、大米、高粱和麦麸等高淀粉含量的物质为主要原料, 使用酒曲、麦曲作为糖化发酵剂, 种醅作为多菌种发酵剂, 经液化糖化、酒精发酵、醋酸发酵、陈酿步骤制取^[3-5]。



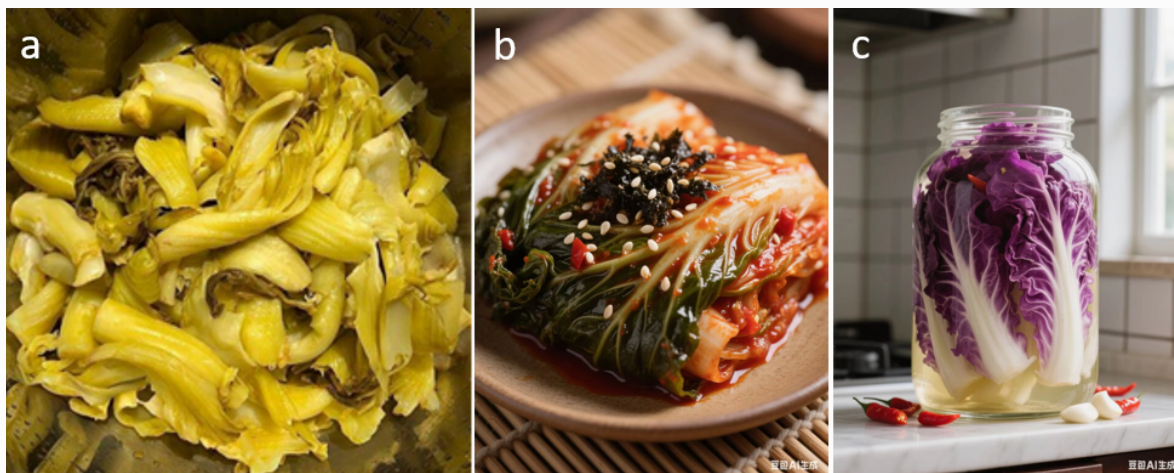
④【图4】醋酸制备过程的化学方程式

(2) 酸菜

发酵酸菜(图5)作为一种食物保存手段被劳动人民创造出来, 其爽口解腻的酸爽风味则是意外之喜^[6]。相传古代有一位带兵打仗的蒋将军, 有一次刚煮好一锅野菜, 就接到敌情警报, 士兵们匆忙将吃剩的馒头撒到煮菜的锅中后上了战场。3天后战罢回营, 将士们饥饿难耐, 发现营房里发了酸的剩菜味道酸中带甜, 非常爽口, 还能解渴。这便是酸菜浆水的来源传说, 据说后来蒋将军经常让厨子做些浆水酸菜, 将士们吃了后疲乏顿消, 胃口大增。这种做法很快传到老百姓家里, 成了家常便饭。

酸菜的风味和质地是由多种微生物的共同作用形成的, 蔬菜中的碳水化合物经过乳酸菌等微生物的代谢形成了新的风味物质, 如谷氨酸和天门冬氨酸, 在酸菜的酸味之余更添一丝鲜甜。

值得注意的是, 传统方法制作发酵酸菜往往采用粗放的作坊式制备, 容易出现发酵环境不稳定、杂



④【图5】各种酸菜, 其独特的酸爽滋味均来自于微生物的代谢发酵(图片来源于(a)下厨房; (b)、c)豆包ai生成)

菌污染的问题。现代的发酵酸菜制作工艺中往往会通过控制发酵菌种，改变发酵剂投放方式来控制发酵过程中的不稳定因素。

(3) 酸奶

酸奶是牛奶在乳酸菌作用下发酵制备得到的酸味乳制品（图6）。其发酵过程主要依赖于保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌两类乳酸菌，嗜热链球菌在牛奶中快速繁殖，分解牛奶中的乳糖并产生少量乳酸，为保加利亚乳杆菌营造适宜的繁殖环境，保加利亚乳杆菌进一步代谢产生乳酸并释放一些具有特殊风味的氨基酸（如赖氨酸等），两种乳酸菌协同作用，共同完成酸奶的酸化和凝固。酸奶中的乳酸便是其美味酸味的来源，化学式如图7所示。除了提供酸味风味以外，乳酸的存在使得牛奶的pH值降低至其中存在的酪蛋白胶束等电点以下（ $\text{pH}=4.6$ ），使得酪蛋白由胶束状态转变为三维的蛋白网络凝胶，赋予了酸奶独特的口感^[7]。

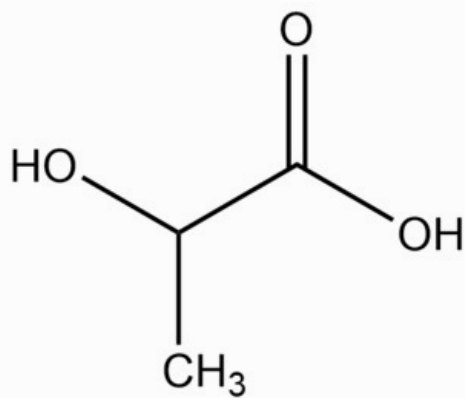
随着食品工业的发展，在现代的酸奶制作工艺中往往会添加其他益生菌（双歧杆菌等），尽管这些益生菌并不直接参与酸奶的发酵过程，但其作为人体有益菌群一方面有助于维持人体肠道中的菌群平衡，另一方面其自身的代谢会产生一些独特的风味产物，有助于改善酸奶制品的风味和口感。

三、清热解暑——酸性食物在人体中的生理化学作用

夏季酷暑难耐，来一口酸梅汤，一杯柠檬水，甚至是一碗酸汤面都有着沁人心脾的爽快感。商周时期人们就用梅子提取酸味来调味，并把酸梅汁当作解暑饮料。《尚书·说命》中提到“若作和羹，尔惟盐梅”，说明当时梅子已作为一种调味品。唐朝时，梅子蜜饯被誉为“梅煎”，成为进贡朝廷的佳物。到了清朝，酸梅汤已经风行宫闱，特别受



①【图6】美味的酸奶，其味道酸甜甘醇（图片来源于豆包AI生成）



①【图7】乳酸结构式

到乾隆皇帝的喜爱。《道咸以来朝野杂记》记载：“北京夏季凉饮，以酸梅汤为佳品。系以乌梅和冰糖水

熬成，外用冰围之，久而自凉，不伤人，且祛暑也。”这种清凉感不仅仅是酸梅汤酸爽口味带来的心理作用，更是有着生理学机制和化学原理的支撑。

在高温条件下，人体维持正常体温的耗能增加必须通过出汗进行散热，一方面增加了心血管负担，另一方面使得人体中的水分和电解质大量流失，增加了炎热环境中的不适情况。同时，酷热的环境使得消化酶活性降低，人体消化系统罢工，胃酸分泌减少，肠道蠕动缓慢，使得人们在酷暑环境中往往会出现食欲不振的不良体征。

而酸味食物富含有机酸，刺激口腔中的味觉感受器，促使唾液腺分泌更多唾液，同时酸味信号由神经传导至胃部促进胃酸（HCl）和消化酶分泌，从而激发食欲，而酸奶等发酵酸味食物中富含的益生菌更是能平衡肠道菌群，促进消化系统正常运转；其次，酸味食物中的小分子有机酸解离出的阴离子

能够作为钠、钾离子的抗衡离子可以平衡人体中的电解质，使得人体因为高温而流失的电解质得到有效补充，维持体液平衡，对脱水性乏力起到了有效预防作用；最后，部分有机酸直接参与人体三羧酸循环的能量代谢过程，能够加速分解人体中由高温引起的堆积的代谢废物，缓解疲劳感，辅助人体高效利用能量，减少因高温导致的代谢紊乱。除此之外，酸味刺激还能够激活人体的散热调节机制，血管轻微扩张使得体表散热更加高效，从而获得“清凉”的感官反馈^[8]。

四、结语

“入夏不食酸，苦夏人难安”不仅仅是祖先们给我们留下的生活经验，更是有着丰富生物化学知识支撑的科学结论。酸味食物是自然赋予我们的天然空调，对其背后科学原理的探究使得我们能更有效的利用这些食物来改善生活质量，在炎热中收获更多舒爽，让夏日不再“苦”，而是酣畅酸爽。

参考文献

- [1] 王翔. 夏季要多吃四类食物[J]. 肉类工业, 2014(7): 55.
- [2] 李心平. 奇妙的味道——酸味[J]. 中老年保健, 2019(9): 34-35.
- [3] 程思远, 周子惠, 许梓涵, 等. 产香酵母的筛选及其在镇江香醋酿造中的应用[J]. 粮油科学与工程, 2025, 39(1): 28-35.
- [4] 罗珍岑, 杨宗朋, 赵艳军, 等. 乳酸菌对固态发酵食醋品质提升的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(21): 217-224.
- [5] Luzón-Quintana L M, Castro R, Durán-Guerrero E. Biotechnological processes in fruit vinegar production[J]. Foods, 2021, 10(5): 945. <https://doi.org/10.3390/foods10050945>
- [6] 李佳佳, 唐延东, 郝惠阳, 等. 中国传统发酵蔬菜中微生物多样性研究进展[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(8): 218-224.
- [7] 朱洪博. 发酵工艺优化对酸奶营养与功能提升的作用机制研究[J]. 中外食品工业, 2025(10): 7-9.
- [8] 周海伦, 文婧婧. 防苦夏, 怎么吃[J]. 中医健康养生, 2021, 7(5): 36-37.

CCS Chem.

中国科学技术大学李闯： 基于螺噻喃的光控动态共价化学

来源：CCS Chemistry；原文链接：https://mp.weixin.qq.com/s/p_5oJhpqXfiLP-nWFw5v-Q

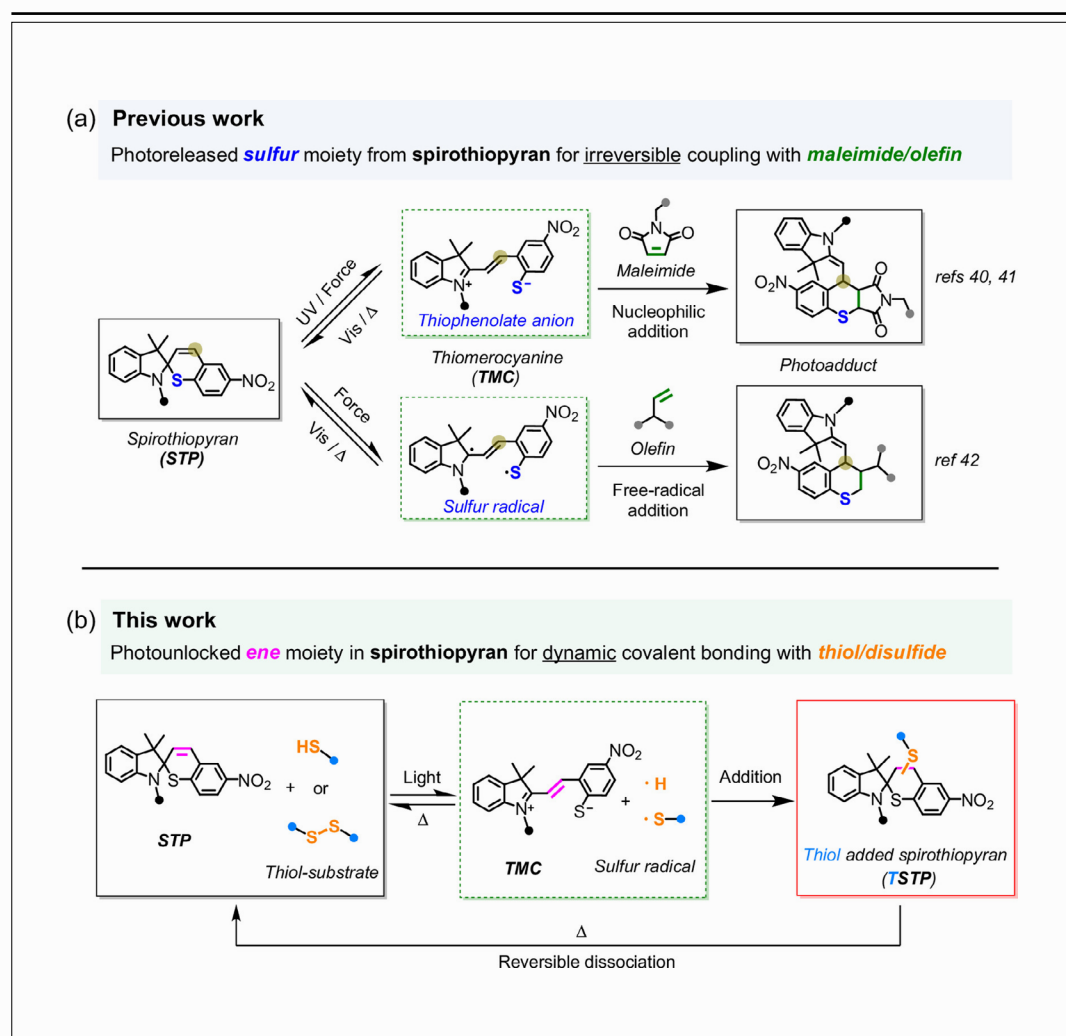
近日，中国科学技术大学化学与材料科学学院李闯课题组开发了一种基于螺噻喃的新型光控动态共价体系。在统一光照条件下，体系中的螺噻喃（STP）分子可发生可逆异构化反应，转化为硫代部花青（TMC）构型并暴露高活性烯键；该活性烯键能够与光照原位生成的硫自由基发生高效的硫醇-烯点击反应，形成硫醇-螺噻喃加合物（TSTP）。研究表明，光激活偶联生成的 TSTP 可通过热驱动作用发生可逆重构，恢复为初始的 STP 分子构型，具备优异的热可逆特性。同时，在引入外源硫醇的条件下，TSTP 可实现 C-S 键的可逆交换，充分证实了该体系优异的动态共价响应性能。基于这一独特的光控动态共价特性，研究团队进一步将该体系应用于聚合物网络的原位标记，成功实现了材料微观荧光信息的可控写入、擦除以及动态色彩切换。该工作所构建的光可控动态共价化学体系，为精准构筑性能可调的动态网络、智能响应材料及自适应聚合物体系提供了高效、可行的全新策略。



>>> 背景介绍 <<<

动态共价键（如亚胺键、二硫键、硼氧键等）可在温度、机械力、pH 值等外界刺激下发生可逆的断裂与重组，推动化学反应在时间与空间维度上实现定向动态演变。凭借这一独特特性，可控动态共价化学（DCC）能够赋予材料体系自修复、结构自适应、可重构等优异性能，有效弥补了传统静态材料在环境适配性与制备加工层面的固有缺陷。在众多调控手段中，光是一种清洁、高效的 DCC 调控方式，可对化学键的形成与交换过程实现高分辨率、非侵入式的精准控制。在此基础上，将分子光开关与动态共价体系耦合，能够精准调控动态共价键的反应活性，进一步实现复杂、时序可区分的精细化化学键动态

调控。螺噻喃是性能优异的刺激响应型分子光开关，在光照或机械力作用下可发生可逆开环异构化，由闭环 STP 构型转化为开环 TMC 构型，该过程会释放高活性硫阴离子或自由基。现有研究已证实，上述活性物种可与马来酰亚胺发生加成反应、与烯烃发生偶联反应（图 1a）。但目前学界普遍认为该类反应稳定且不可逆，使得 STP 对动态共价化学的调控潜力始终未被挖掘与探索。除此之外，STP 光开关开环后生成的 TMC 异构体含有暴露的高活性不饱和烯基，具备优异的反应调控潜力，却尚未得到研究领域的充分关注与深入研究。



【图 1】(a) 已有研究中 STP 通过光/力释放硫物种（阴离子或自由基）并与马来酰亚胺或丁二烯发生不可逆加成的反应示意图。(b) 本研究示意图：STP 光解锁的烯基可与硫醇/二硫化物底物发生自由基介导的动态硫醇-烯偶联反应。

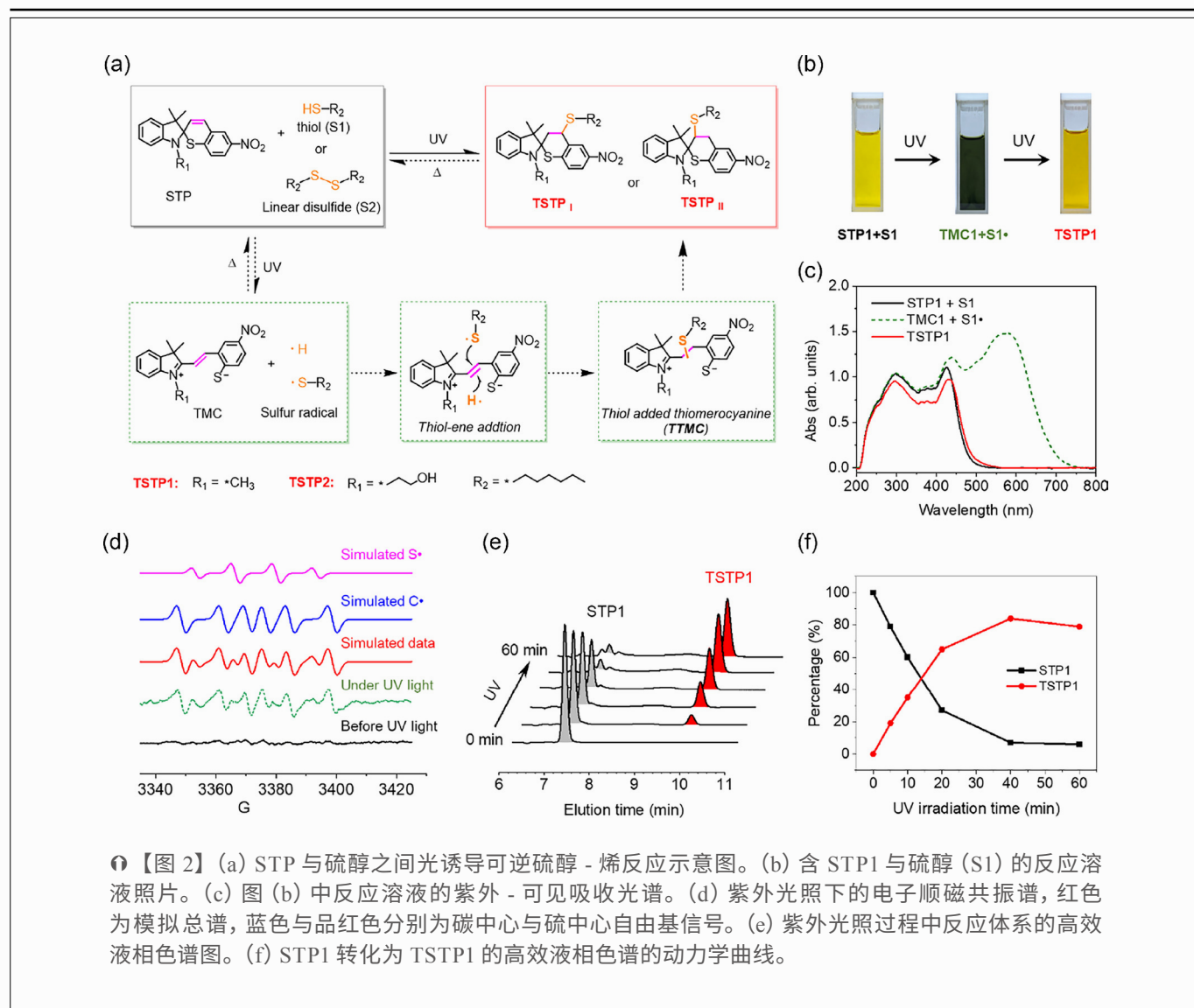
>>> 本文亮点 <<<

1. 光触发可控加成反应：当螺噻喃（STP）与硫醇 / 二硫化物共存时，恒定光照使 STP 异构成 TMC 并释放活性双键，与光照原位产生的硫自由基发生加成反应，精准生成光加成产物 TSTP。

2. 可循环的热可逆结构重构：产物 TSTP 具备优异的热响应可逆特性，加热条件下可触发 TSTP 分子中 C-S 键可控断裂，使体系恢复为初始 STP 分子结构，且该异构 - 复原过程可多次循环往复，稳定性与可逆性优异。

3. 室温下可调控的动态键交换：在室温无加热干预条件下，TSTP 可与外源竞争硫醇发生可逆 C-S 键交换反应，赋予了室温动态可调的共价响应特性。

4. 多场景智能材料应用：STP 接枝水凝胶可经光掩模实现荧光图案化，并可进行加热擦除、硫醇交换重编程；以 STP 接枝的线形聚合物可与四臂硫醇交联构建动态水凝胶，实现热 / 硫醇触发的凝胶 - 溶胶可逆转变。



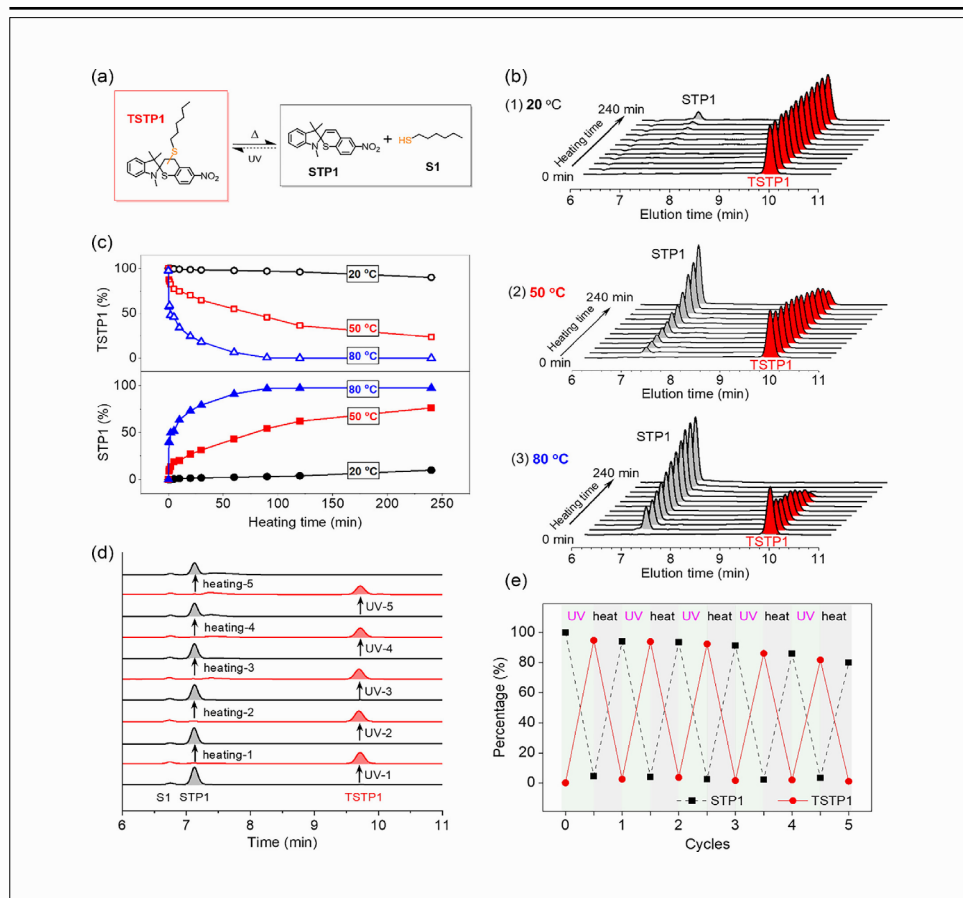
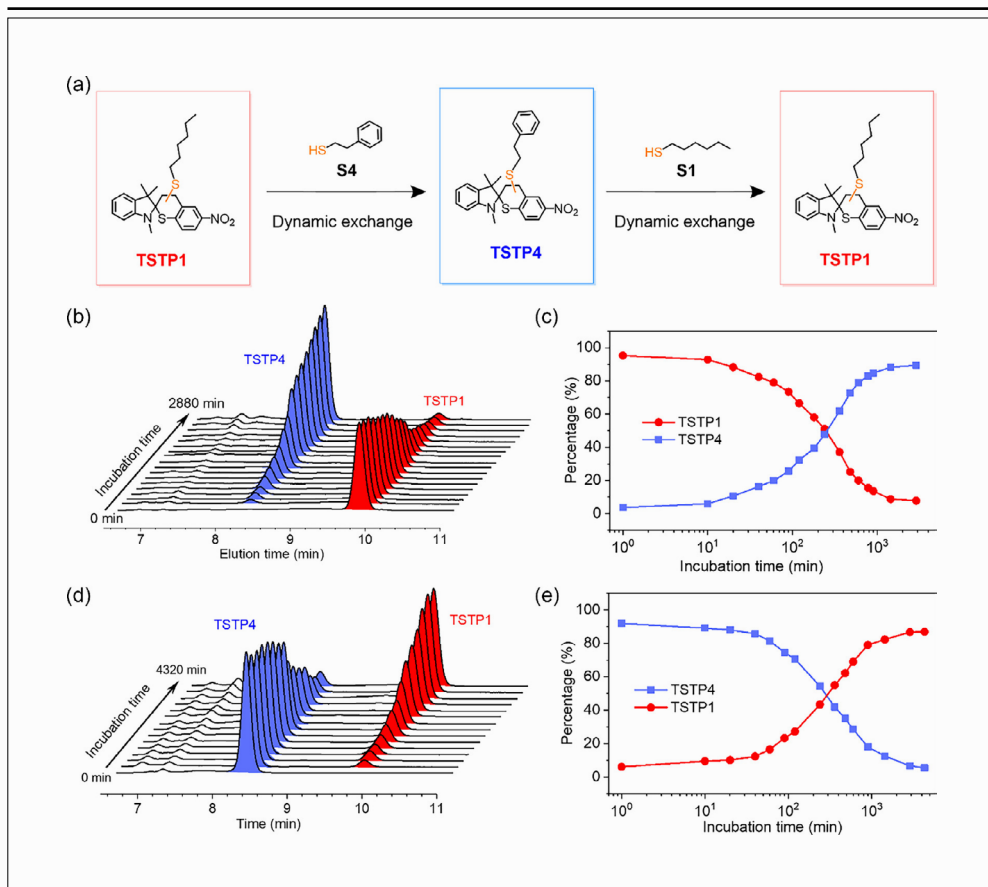
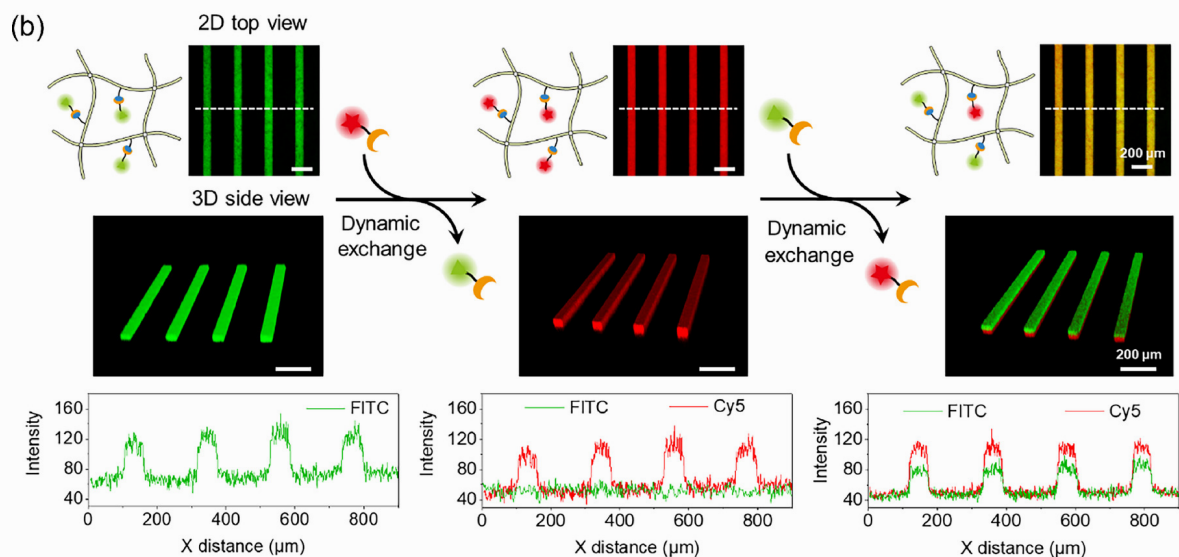
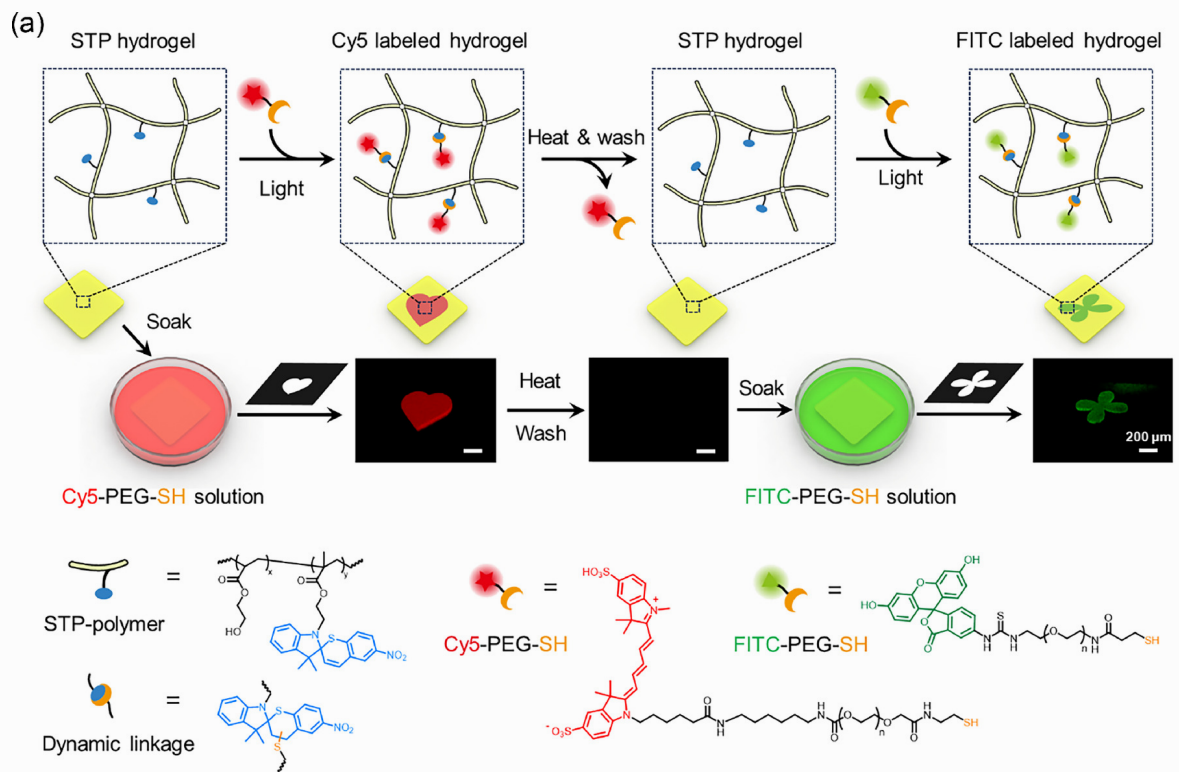


图4 (a) TSTP1 与 STP1+S1 可逆偶联 - 解离平衡的化学结构示意图。(b) TSTP1 在不同温度下加热后的高效液相色谱图。(c) 不同温度下 TSTP1 解离与 STP1 恢复的定量曲线。(d) 交替光照与加热下 STP1 与 TSTP1 相互转化的高效液相色谱监测。(e) 5 次循环中 STP1 和 TSTP1 含量的定量变化。

图5 (a) 光加合物 TSTP1 与 TSTP4 的化学结构, 展示竞争硫醇存在下的动态共价键交换。(b) TSTP1 在竞争硫醇 S4 存在下转化为 TSTP4 的高效液相色谱图。(c) TSTP1 与 S4 交换反应的动力学曲线。(d) TSTP4 在竞争硫醇 S1 存在下转化为 TSTP1 的高效液相色谱图。(e) TSTP4 与 S1 交换反应的动力学曲线。





【图 6】(a) 螺噻喃水凝胶经紫外光照与加热交替循环, 先后标记 Cy5 与 FITC 荧光探针的示意图、共聚焦显微镜图像与化学结构。(b) 螺噻喃水凝胶在过量巯醇官能化荧光探针下发生动态共价键交换的二维与三维共聚焦显微镜图像及荧光强度分布曲线。

»» 总结与展望 ««

综上所述,本文构建了一种基于螺噻喃(STP)与硫醇/二硫化物体系的新型光控动态共价化学(DCC)平台。在单一光照条件下,STP可发生可逆开环异构化生成TMC构型并暴露高活性烯基,同步诱导体系内硫醇/二硫化物产生活性硫自由基。依托该光照双重激活效应,体系可高效发生自由基介导的硫醇-烯点击反应,定向生成TSTP光加成产物。生成的TSTP分子含动态C-S共价键,兼具热可逆解离与室温硫醇交换的双重动态特性,可实现热驱动的结构复原与硫醇配比调控的动态键重塑。基于该优异特性,本研究将STP功能化改性应用于水凝胶体系,成功实现了材料表面荧光微图案的可控光写入、热擦除以及硫醇介导的动态重编程,构筑了可多

重调控的光响应图案化智能材料。

综上,本研究开发的光可切换动态共价平台突破了传统STP体系反应不可逆的瓶颈,兼具光控精准性、热可逆稳定性与化学可调性,为构筑可编程动态共价网络、研发新型可重编程智能自适应材料提供了全新的技术路径与设计思路。

该研究工作以Research Article形式发表于*CCS Chemistry*,由中国科学技术大学李闯教授担任通讯作者,博士研究生周帅龙为第一作者。研究成果得到了国家自然科学基金、国家重点研发计划和中国科学技术大学的资助。

文章详情:

Light-Gated Dynamic Covalent Chemistry with Spirothiopyran for Spatiotemporal Control of Bond Formation and Exchange

Shuailong Zhou, Hanbo Xu, Yingjie Liu, Jun Lin and Chuang Li*

Cite this by DOI: 10.31635/ccschem.026.202607612

文章链接: <https://doi.org/10.31635/ccschem.026.202607612>



扫码或长按二维码在线阅读 ▶



《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：宋卫国
中国科学院化学研究所



编委：李艳梅
清华大学



编委：徐海
中南大学



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：戴伟
北京化工大学



编委：邱晓航
南开大学



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：胡文兵
南京大学



编委：卞江
北京大学



编委：欧阳瑞镯
上海理工大学
材料与化学学院



编委：朱平平
中国科学技术大学



编委：董川
山西大学



编委：蒋尚达
华南理工大学



编委：孙亚飞
中国科学院自然
科学史研究所