



化学通讯

CHEMICAL NEWSLETTER

No.5

2026年03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



资讯汇集

57 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

中国科学院化学研究所在高性能有机热电材料
方面取得重要突破 03
来源：中国科学院化学研究所官网

中国石油大学（华东）电解水制氢催化剂研究成
果登上《德国应用化学》 03
来源：中国石油大学（华东）化学化工学院官网

中国加强消耗臭氧层物质和氢氟碳化物管理 03
来源：中华人民共和国生态环境部

甘肃省 18 家化工园区拟通过复核 1 家化工园区
拟新设立 03
来源：中国化工报微信公众号

中国石化完成国内首次生物基苯碳足迹核算 03
来源：中国石化石化官网

封面文章

- ※ 蘑菇中毒，藏在“美味”背后的致命陷阱 04
作者：欧阳美璇，张曾栋，李敏，梁浩

科技新闻

- 绿氢如何驶向规模化应用蓝海 13
来源：中国化工报公众号

- 生态环境法典草案对烧秸秆、“家门口”油烟恶臭噪声等作出规定 16
来源：新华社公众号

- 13万人43年数据证实，每天喝2到3杯咖啡可降低痴呆风险 18
来源：中国科学报公众号

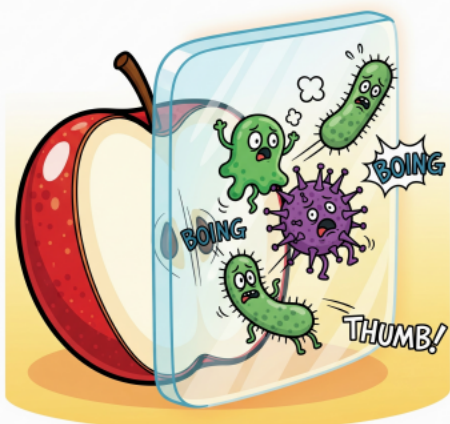
- 回收实验手套能捕集二氧化碳吗 20
来源：C&EN

- 食用色素冲突真的值得担心吗 22
来源：chemistryworld

科普大赛

- ※ 防腐剂：食品里的“安全卫士”，你真的了解它吗 24
作者：张坤婷，严文锦，赵静

- ※ 豆腐：解码千年食材的化学密码 33
作者：秦章嘉，王为贺，孙冉翔宇



29



38

- ※ 沙利度胺药物的发展与影响 40
作者：李成彬，蒋丁晓，马一鸣

科研进展

- 【CCS Chem.】浙江大学化学系史炳锋团队：钕催化分子间不对称碳氢烷基化同时构建中心手性和轴手性 45
来源：CCS Chemistry 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

57 位会员新晋级为高级会员

- 2026年3月，中国化学会新晋级高级会员57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	安存彬	首都师范大学
2	白大昌	河南师范大学
3	毕 赛	青岛大学
4	陈 郑	安徽师范大学
5	崔春华	电子科技大学
6	戴正飞	西安交通大学
7	封 顺	西南交通大学
8	冯 磊	大连医科大学附属第二医院
9	高敏锐	中国科学技术大学
10	洪良腾	福建省晋江市养正中学

序号	姓名	工作单位
11	胡超权	中国科学院过程工程研究所
12	胡 睿	中国科学院化学研究所
13	金首文	浙江农林大学
14	李 昆	湖南大学
15	李培洲	山东大学
16	李 崎	中国石油天然气股份有限公司大港油田分公司
17	林世贤	浙江大学
18	刘宝全	大连民族大学
19	刘锦斌	华南理工大学

▶【续表】

序号	姓名	工作单位
20	刘明哲	沈阳药科大学
21	刘太宏	陕西师范大学
22	刘文博	四川大学
23	刘益林	怀化学院
24	吕美玲	安捷伦科技(中国)有限公司
25	马贵军	上海科技大学
26	马纪亮	大连工业大学
27	买尔哈巴·阿不都热合曼	新疆大学
28	毛舜	同济大学
29	敏世雄	北方民族大学
30	彭浩南	陕西师范大学
31	钱航	陆军军医大学
32	钱坤	江西中医药大学
33	饶立	华中师范大学
34	任浩	中国石油大学(华东)
35	单云	南京晓庄学院
36	谭丽丽	西北工业大学
37	田雪林	中山大学
38	王东红	中国电子科技集团公司第三十三研究所

序号	姓名	工作单位
39	王健	江苏师范大学
40	王杰	苏州大学
41	王刘彬	河北大学
42	王朋	山东大学
43	王威	哈尔滨工业大学(深圳)
44	吴则星	青岛科技大学
45	徐丽	江苏大学
46	许颜清	北京理工大学
47	杨滨	华南师范大学
48	杨欣	中山大学
49	殷雄	北京化工大学
50	余颖	华中师范大学
51	曾宪海	厦门大学
52	张涛	中国科学院上海硅酸盐研究所
53	赵建	天津理工大学
54	赵耀	中国科学院化学研究所
55	郑明彬	深圳市第三人民医院
56	周东东	中山大学
57	周彦波	华东理工大学

来源：中国科学院化学研究所官网

中国科学院化学研究所在高性能有机热电材料方面取得重要突破

3月5日，中国科学院化学研究所朱道本/狄重安团队在高性能有机热电材料研究领域取得关键成果，相关研究为可穿戴电子设备、贴附式物联网所需的柔性能源、便携式制冷技术提供了全新材料支撑，可实现人体或环境热能的高效发电，也能逆向完成薄膜制冷，丰富了有机功能材料的应用体系。

原文链接

http://www.ic.cas.cn/news/kyjz/202603/t20260305_8149486.html

来源：中国化工报微信公众号

甘肃省 18 家化工园区拟通过复核 1 家化工园区拟新设立

3月6日，甘肃省工业和信息化厅等8部门联合公示拟通过复核和新设立化工园区名单，其中金塔工业集中区北河湾循环经济产业园化工产业园区等18家化工园区拟复核通过，平凉灵台化工园区拟新设立，公示结果将进一步规范甘肃省化工园区管理，推动化工产业绿色安全高质量发展。

原文链接

<https://mp.weixin.qq.com/s/mBU8U0E-D-ZjYsqVaX3F1w>

来源：中国石油大学（华东）化学化工学院官网

中国石油大学（华东）电解水制氢催化剂研究成果登上《德国应用化学》

3月9日，中国石油大学（华东）化学化工学院研究成果在《Angewandte Chemie International Edition》刊发，开发的新型非贵金属电解水制氢催化剂，在碱性条件下实现 1000 mA/cm² 大电流密度下的低过电位与长稳定性，为氢能产业提供低成本技术路径。

原文链接

<https://cce.upc.edu.cn/2026/0309/c2641a484163/page.htm>

来源：中国石油石化官网

中国石化完成国内首次生物基苯碳足迹核算

3月5日，中国石化化销华中协同中韩石化及中石化碳科公司成功完成国内首次生物基化工品——生物基苯的碳足迹核算，结果获欧洲、日本和韩国等国际客户认可，标志着国内石化产业在绿色低碳领域迈出关键一步。

原文链接

http://www.chinacpc.com.cn/info/2026-03-05/news_11024.html

来源：中华人民共和国生态环境部

中国加强消耗臭氧层物质和氢氟碳化物管理

2026年2月9日，中国生态环境部根据《消耗臭氧层物质管理条例》发布《关于进一步加强消耗臭氧层物质和氢氟碳化物管理的通知》，提出强化生产配额许可管理，严格销售备案管理，加强使用配额许可或备案管理，完善维修、报废处理、回收、再生利用和销毁备案管理，规范副产管控物质管理，建立健全资料保存和数据报送制度，严格监督执法和加强组织实施等多项举措，旨在进一步加强消耗臭氧层物质和氢氟碳化物全链条监管。

原文链接

https://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk/xxgk03/202602/t20260212_1144083.html



藏在“美味”背后的致命陷阱

作者：欧阳美璇，张曾栋，李敏，梁浩；Email: oyangmx@163.com



①【图 1】形态各异蘑菇（图片来源于豆包 AI 生成）

红伞伞，白杆杆，吃完一起躺板板——蒋崇伟、蒋崇俊《红伞伞白杆杆》

每年雨季，山林间、草地中总会冒出形态各异的蘑菇，它们有的洁白如玉，有的色彩艳丽（图 1），是自然馈赠的“颜值代表”。然而，在这看似无害的外表下，却隐藏着致命风险。全球每年因误食有毒蘑菇导致的中毒事件超百万起，其中部分剧毒蘑菇的致死率可达 90% 以上。很多人误以为“颜色鲜艳的才有毒”“虫子吃的蘑菇安全”，这些误区让悲

剧反复上演。本文将从蘑菇中毒的核心机理入手，拆解不同毒素的致病路径，同时科普科学识别、急救与预防知识，帮你远离“致命美味”。

一、蘑菇中毒的“罪魁祸首”

蘑菇中毒的本质，是其含有的天然有毒代谢产物进入人体后，干扰正常生理功能。根据毒素的化学结构和致病靶器官的不同，可将其分为五大类（表 1 和图 2），每类毒素的毒性、潜伏期和致死风险差异极大，且广泛存在于常见的毒蘑菇中。

表 1 常见的蘑菇毒素

名称	主要来源蘑菇种类	来源蘑菇形态与生长环境	毒素类别	核心毒性特征
鹅膏毒素	致命鹅膏（俗称白毒伞）、灰花纹鹅膏、鳞柄鹅膏（图 2a）	通体洁白或带浅灰、褐色花纹，与可食用的平菇、杏鲍菇外形相似（图 2f、2g）	环肽类（含 α 、 β 、 γ -鹅膏毒肽）	口服致死量极低，体重为 50 kg 的成人摄入 5 mg 即致命 ^[1] ，稳定性极强，100 °C 煮沸 1 h 不分解、耐酸碱，误采后致死率高 ^[2]
毒蝇碱	毒蝇鹅膏（俗称红伞伞）杯伞属部分种类（图 2b）	色彩艳丽（红色菌盖带白色斑点），外形独特，生长在针叶林或混交林	生物碱类（异恶唑衍生物类） ^[3]	分子结构与乙酰胆碱高度相似，可快速结合神经细胞 M 受体，结合后不易解离，持续激活受体，属于“急性神经毒性” ^[4] ，误食后腺体过度分泌，死亡率低，抢救及时有可能恢复较好

▶【续表】

名称	主要来源蘑菇种类	来源蘑菇形态与生长环境	毒素类别	核心毒性特征
裸盖菇素	裸盖菇属: 墨西哥裸盖菇 (图 2c)	菌盖小, 菌褶呈黑色或灰色, 易被误认成“野平菇” (图 2h)	吡啶生物碱类	可通过血脑屏障进入中枢神经系统, 误食后致幻, 易引发自残、攻击行为或幻觉导致的意外 ^[4]
鹿花菌素	鹿花菌 (俗称马鞍菌) (图 2d)	菌盖呈马鞍状或大脑状, 颜色从黄褐色到红褐色不等, 与食用的羊肚菌相似, 生长于松树林 (图 2i)	甲基胍类化合物	本身毒性较弱, 进入人体后在肝脏被细胞色素 P450 酶代谢为剧毒的“鹿花菌毒素”, 直接破坏红细胞膜上的蛋白质和脂质, 会造成贫血、肾衰竭 ^[4]
奥来毒素	奥来伞属: 秋生盔孢伞 (图 2e)	菌盖呈褐色, 菌柄细长, 与可食用的金针菇外形相似 (图 2j), 生长于秋季阔叶林	聚酮类化合物	快速抑制肝脏细胞中的 RNA 聚合酶 I, 导致肝细胞无法合成蛋白质, 进而引发细胞坏死 ^[4] , 24~48 h 内出现肝衰竭, 且无特效解毒剂



①【图 2】常见的毒蘑菇与相似蘑菇。a) 白鹅膏菌; b) 毒蝇伞; c) 裸盖菇; d) 鹿花菌; e) 秋生盔孢伞; f) 平菇; g) 杏鲍菇; h) 野生平菇; i) 羊肚菌; j) 金针菇 (图片来源于百度新闻网, 百度百科, 搜狐网。)

二、毒蘑菇中毒素的致命路径

不同蘑菇毒素的中毒机理差异极大，有的专攻神经系统，有的破坏肝肾，有的直接攻击红细胞，但其核心逻辑都是“干扰细胞关键功能”——或抑制酶活性，或模拟神经递质，或破坏细胞结构，最终引发器官衰竭，鹅膏毒素、毒蝇碱和裸盖菇素等毒素的结构式（图3）。

1. 鹅膏毒素

(1) 机制概述

鹅膏毒素(核心为 α - 鹅膏毒肽)以靶向破坏肝细胞蛋白质合成为核心：经消化道吸收后优先富集肝脏，结合并抑制肝细胞内 RNA 聚合酶 II 活性，阻断 mRNA 合成，导致凝血因子等关键蛋白无法生成^[1]；

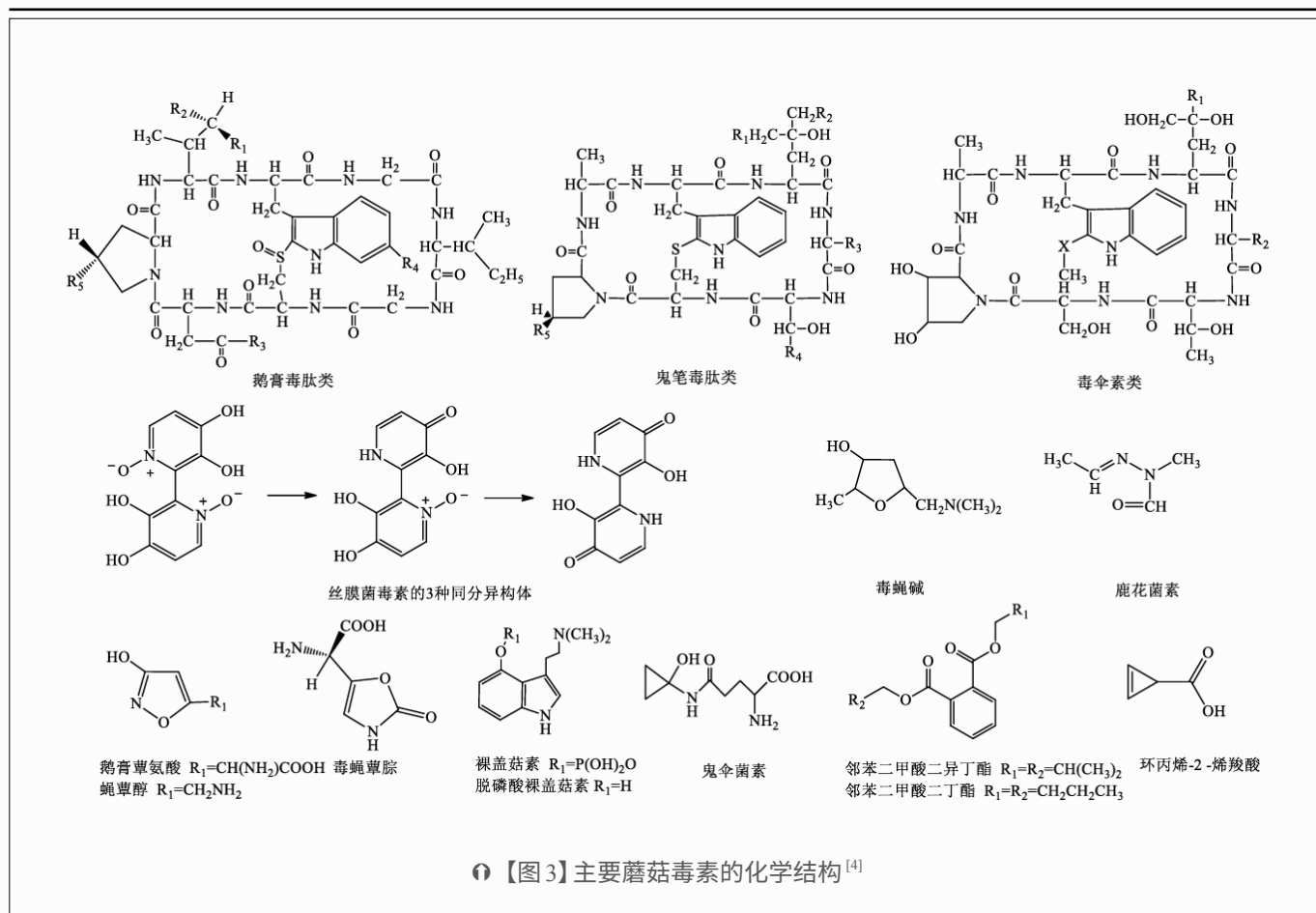
后续肝坏死释放的毒素攻击肾脏，引发“肝损伤→肾损伤→多器官连锁崩溃”，最终危及生命。

(2) 关键步骤与对应典型症状

① **毒素吸收与肝脏蓄积：**误食后小肠快速吸收毒素，经门静脉入血，肝脏主动摄取使肝细胞内毒素浓度达血浓 10~100 倍。症状仅轻微恶心，易误诊为“消化不良”，错过早期干预。

② **蛋白合成停滞与肝坏死：** α - 鹅膏毒肽与 RNA 聚合酶 II 结合形成稳定复合物，使酶活性丧失 90% 以上^[1]，阻断 mRNA 合成致蛋白合成停滞，肝细胞肿胀坏死，肝酶（ALT、AST）骤升。

症状：恶心、呕吐、剧烈腹痛、水样腹泻，伴



乏力、食欲丧失及肝酶指标数倍升高。

③ **肝肾衰竭与多器官障碍 (24~72 h)**：肝坏死毒素入血攻肾，抑制肾小管上皮细胞 RNA 聚合酶致肾小管坏死、急性肾衰竭；肝肾衰诱发代谢废物蓄积，引发肝性脑病、弥散性血管内凝血 (DIC)。

症状：少尿 / 无尿、水肿、意识障碍、皮肤出血和高热，部分伴呼吸困难。

2. 毒蝇碱

(1) 机制概述

毒蝇碱核心中毒机制为竞争性持续激活 M 受体 (分布于腺体、平滑肌和心脏)：正常生理状态下乙酰胆碱与 M 受体结合后被乙酰胆碱酯酶快速分解，信号精准^[5]；而毒蝇碱与 M 受体结合力是乙酰胆碱的 10 倍，且难被分解，致 M 受体过度激活，引发腺体分泌亢进、平滑肌异常收缩和心脏抑制等多系统反应，严重时影响循环，但极少致死。

(2) 关键步骤与对应典型症状

① **毒素结合 M 受体 (启动阶段)**：经消化道 / 黏膜吸收后，优先结合全身 M 受体，结合力强且难分解，受体持续激活。

症状：腺体分泌亢进、流涎 (口水不受控)、多汗 (全身汗湿) 和流泪 (无法控制，伴眼灼热)。

② **平滑肌异常收缩 (进展阶段)**：M 受体持续激活致胃肠、支气管、膀胱平滑肌强烈收缩，支气管腺体黏液增多。

症状：胃肠阵发性绞痛、呕吐腹泻 (易脱水)；膀胱尿频尿急，重者尿失禁；支气管胸闷气喘 (似哮喘)，重者咳痰 (白泡沫状)、肺水肿 (端坐呼吸、咳粉痰)。

③ **心脏功能抑制 (严重阶段)**：激活心脏 M2 受体，抑制传导与收缩功能，致心率慢 (< 60 次 / min，重者 < 40 次 / min)、血压降 (收缩压 < 90 mmHg)，心输出量下降。

症状：心慌、头晕乏力、面色苍白；极少数引发源性休克 (意识模糊、尿少)，但发生率低、预后好且致死率低。

3. 裸盖菇素

(1) 机制概述

裸盖菇素核心中毒机制为特异性激动中枢 5-HT2A 受体 (分布于大脑皮层、杏仁核、视觉皮层)^[6]：正常时 5-羟色胺结合该受体调节情绪、睡眠及感知；裸盖菇素口服后快速穿透血脑屏障，与 5-HT2A 受体结合力是 5-羟色胺的 2~3 倍，致神经细胞异常放电 (尤其干扰视觉信号)；长期 / 大量摄入耗竭大脑 5-羟色胺，引发情绪认知异常，但无永久神经损伤，症状多短期缓解。

(2) 关键步骤与典型症状

① **毒素吸收与入脑 (启动阶段, 30 min 内)**：口服后肠道快速吸收入血，因分子小、脂溶性强，可穿透多数毒素难突破的血脑屏障，优先结合中枢 5-HT2A 受体。

症状：轻微感知异常 (皮肤发麻、对光声敏感)、短暂情绪波动 (兴奋 / 紧张)，部分伴轻微头晕恶心。

② **受体激活与神经异常 (核心阶段, 0.5~6 h)**：裸盖菇素持续激活 5-HT2A 受体，致神经细胞无序放电，视觉皮层受影响最显著 (打乱视觉信号传递)，大脑皮层与杏仁核功能受扰。

症状：视觉幻觉 (物体变形、颜色异常、出现

虚拟图案), 伴思维混乱、情绪骤变 (兴奋 / 焦虑 / 恐惧) 及头晕、步态不稳、轻微肌肉震颤。

③ **5-羟色胺耗竭(后续阶段, 中毒后 1~2 天, 长期 / 大量摄入者)**: 持续激活受体加速 5-羟色胺消耗, 短期无法补充致储备耗竭, 影响情绪、睡眠及记忆中枢。

症状: 情绪低落、失眠多梦、记忆力下降、注意力不集中; 少数人数周后闪回幻觉 (持续数秒至数分钟), 症状 24~48 h 缓解, 无永久损伤。

4. 鹿花菌素 (图 3) 本身毒性较弱, 但进入人体后会“变身”为剧毒代谢产物

(1) 机制概述

鹿花菌素核心中毒机制为肝脏代谢激活产毒^[7]: 正常时鹿花菌素本身毒性微弱, 口服后经肠道吸收进入血液, 转运至肝脏被细胞色素 P450 酶系 (主要为 CYP3A4、CYP2C9) 催化, 脱酰基后转化为剧毒代谢产物甲基胂; 甲基胂毒性是原药数十倍, 可穿透细胞膜, 破坏肝细胞线粒体、抑制神经递质合成及红细胞稳定性, 引发肝、中枢神经、血液系统损伤; 代谢过程不可逆, 产物蓄积致中毒症状渐进加重, 严重时可危及生命。

(2) 关键步骤与典型症状

① **启动阶段 (口服后 12~24 h, 潜伏期)**: 肠道吸收后经血转运至肝脏, 启动代谢转化过程, 暂未生成足量甲基胂。

症状: 无明显不适, 或仅轻微乏力、食欲不振, 易被忽视。

② **核心阶段 (中毒后 24~72 h, 症状峰值期)**: 甲基胂大量生成并蓄积, 持续损伤靶器官。

症状: 消化系统 (剧烈呕吐、腹痛、腹泻、黄疸)、

中枢神经系统 (剧烈头痛、头晕、意识模糊、抽搐)、血液系统 (面色苍白、乏力、出血倾向), 伴心率加快、血压波动, 严重者出现肝衰竭、昏迷。

③ **后续阶段 (中毒后 3~7 天, 未及时治疗者)**: 甲基胂持续发挥毒性, 器官损伤进一步加重。

症状: 肝肾功能指标持续升高、凝血功能障碍、意识障碍加深, 部分出现多器官功能衰竭; 经有效治疗后, 轻度损伤可逐步恢复, 重度损伤可能遗留慢性肝肾功能不全。

5. 奥来毒素

(1) 机制概述

奥来毒素核心中毒机制为靶向阻断肝细胞蛋白质合成, 致快速不可逆肝损伤^[4]: 口服后小肠速吸收, 因肝脏主动摄取特性, 毒素在肝细胞内快速富集达中毒阈值; 其与肝细胞内 RNA 聚合酶 I 形成不可逆复合物, 彻底阻断 rRNA 合成 (rRNA 是核糖体组装核心), 致蛋白质合成全面停摆; 后续肝细胞因缺结构蛋白、酶蛋白及凝血因子, 快速肿胀坏死并继发肝性脑病, 未及时肝移植死亡率达 70%。

(2) 关键步骤与典型症状

① **启动阶段 (口服后 1~4 h)**: 小肠速吸收入血 (1 h 内进入体循环), 肝脏主动转运优先摄取毒素, 4 h 内肝细胞内毒素达中毒阈值, 启动结合 RNA 聚合酶 I。

症状: 轻微恶心、食欲降, 短暂乏力, 易误为肠胃不适, 无明显肝损伤体征。

② **进展阶段 (口服后 4~24 h)**: 奥来毒素与 RNA 聚合酶 I 形成不可逆复合物, 酶活性全失, 阻 rRNA 合成致核糖体无法组装, 肝细胞蛋白合成停摆, 蛋白消耗后结构功能崩溃。

症状：牙龈出血、皮肤瘀斑（凝血因子缺），乏力加重、轻微黄疸（代谢 / 胆红素受抑），右上腹隐痛。

③ **危重阶段（口服后 24 h 内）：**蛋白停摆超 12 h，肝细胞无支撑肿胀破裂，24 h 内大面积坏死；肝酶（ALT、AST）骤升 100~200 倍，氨蓄积致肝性脑病，白蛋白减少或伴腹水。

症状：黄疸加重（皮肤眼白深黄、尿浓茶色），

右上腹压痛；意识模糊、嗜睡至昏迷（肝性脑病）；消化道 / 黏膜广泛出血，部分伴呼吸困难。

（3）预后提示

奥来毒素致肝细胞损伤不可逆，无特效药阻断，仅对症支持延缓病情；肝性脑病前肝移植可降低死亡风险，延误则深度昏迷 / 严重出血时死亡率近 100%；早期识别“出血倾向 + 快速黄疸”是救治关键。

三、科学应对：蘑菇中毒的“黄金急救时间”与正确处理步骤

蘑菇中毒的救治效果，关键在于“是否及时”——不同毒素的潜伏期不同，急救措施也有差异，但核心原则是“尽快排出毒素、对症治疗、保护器官功能”^[8]。以下是针对不同毒素的急救指南，以及普通人可操作的“通用急救步骤”^[7]，记住“**催吐、就医、留样**”三原则，黄金时间 3 h 内无论误食哪种毒蘑菇，只要出现不适，都应立即采取以下措施，这是降低死亡率的关键：

第一步：立即催吐，减少毒素吸收（中毒后 3 h 内有效）

催吐的核心是“尽快排出胃内未吸收的毒素”，适用于所有蘑菇中毒（除出现抽搐、昏迷的患者，避免呕吐物堵塞气道）。注意：不要使用“硫酸铜、硫酸锌”等催吐剂（可能导致二次中毒），仅用温开水催吐即可。

第二步：立即就医，携带关键信息

催吐后，立即将患者送往最近的医院急诊科，务必携带以下信息：① 剩余蘑菇样本（若有）或蘑菇照片（清晰拍摄菌盖、菌柄、菌褶、生长环境）；② 误食时间、食用量、出现症状的时间和具体表现（如呕吐次数、是否腹泻、有无幻觉）。这些信息可帮助医生快速判断毒素类型，制定针对性治疗方案。

第三步：保留呕吐物或排泄物，辅助诊断

若患者出现呕吐或腹泻，可收集少量呕吐物或排泄物（用干净容器装好，准确标注采集时间），送往医院检验科，通过“毒素检测”确认毒素类型，可提高诊断准确性。



四、预防为先：避开这些“致命误区”，学会科学识别毒蘑菇

蘑菇中毒的根本原因是“误采误食”，而多数误采源于“民间偏方”的误导。以下是最常见的5个误区，以及普通人可操作的“安全识别原则”，帮你远离风险。

1. 破除5个致命误区：这些“经验”其实不靠谱

① 颜色鲜艳的才有毒，白色蘑菇安全

致命鹅膏（白毒伞）通体洁白，却是“毒王”，致死率超过95%；而可食用的红菇（如正红菇）颜色鲜艳，却无毒。颜色不是判断毒性的标准，切勿以“颜值”定生死。

② 虫子吃、动物吃的蘑菇，人也能吃

毒蝇鹅膏含有毒蝇碱，虫子（如蛞蝓）、松鼠对其不敏感，可正常食用；但人误食后会引发严重神经中毒。不同生物对毒素的耐受性不同，动物能吃的，人未必能吃。

③ 高温烹饪（煮沸、油炸）能去毒

鹅膏毒素、奥来毒素耐高温，100℃煮沸1h仍不分解；毒蝇碱耐油炸，200℃高温也无法破坏其结构。常规烹饪无法去毒，不要抱有“煮熟就安全”的侥幸心理。

④ 有“特殊气味”（如香味、苦味）的才有毒

致命鹅膏无特殊气味，与可食用的平菇气味相似；而可食用的苦粉孢牛肝菌有苦味，却无毒。气味无法区分毒性，凭“味道”判断极易误采。

⑤ 用“银器、大蒜、大米”能检测毒性

民间传言“毒蘑菇煮银器会变黑”“煮大蒜会变紫”，但实际上，银器变黑是因蘑菇含硫化物（可食用蘑菇也可能含硫），大蒜变紫是因色素反应，与毒性无关。这些“检测方法”毫无科学依据，

只会误导判断。

2. 安全识别三原则：普通人能掌握的“保命方法”

原则 1：不采“不认识”的蘑菇

原则 2：购买渠道要正规

原则 3：牢记“毒蘑菇四特征”，辅助排除风险（符合任一特征，大概率为毒蘑菇）：

- ① 菌盖有鳞片、黏液或花纹（如毒蝇鹅膏的白色斑点、致命鹅膏的褐色花纹）；
- ② 菌柄基部膨大（如致命鹅膏的菌柄基部呈“球形”）；
- ③ 菌褶白色，且与菌柄连接处有“菌环”（如鹅膏属蘑菇的白色菌环）；
- ④ 受伤后菌肉变色（如鹿花菌受伤后变蓝色）。

五、总结：敬畏自然，拒绝“野蘑菇”的诱惑

蘑菇中毒的每一场悲剧，从来不是“运气不佳”的偶然，而是源于人类对自然规律的轻视与越界——我们总以为“凭经验能辨”、“倒霉事不会轮到自己”，用主观的“经验滤镜”低估了自然的复杂，又用盲目的侥幸，无视了毒蘑菇早已亮出的“危险信号”。

自然从不对生命吝啬馈赠，但也从不对轻视它的人宽容。全球已发现的1000余种毒蘑菇中，50多种致命品种大多长着“迷惑性外表”：它们模仿可食用蘑菇的颜色、形态，甚至生长环境，这种“拟态”不是自然的“恶意设计”，而是千万年演化出的生存防御——就像玫瑰带刺、河豚含毒，毒蘑菇的“致命伪装”，本是自然划下的“安全边界”，提醒人类“勿越雷池”。可现实里，我们总试图用“肉眼观察”“长辈经验”去挑战这道边界，却忘了：即便是深耕真菌领域的专业学者，也需借助显微镜解析孢子结

构、通过分子检测验证物种，普通人仅凭“看颜色、闻气味”的主观判断，无异于在自然的“生死考题”中盲目作答。

其实，自然早已把安全答案摆在眼前：不采、不买、不食野外不明蘑菇。这“三不”从来不是简单的“避险指南”，而是对自然最基本的敬畏——不采，是尊重自然的“生态秩序”，不随意惊扰野外物种的生存平衡；不买，是接纳自然的“警示信号”，不纵容那些漠视风险的野生采摘与贩卖；不食，是清醒认知自身的“认知局限”，承认人类对自然的了解远不及它的复杂，

不凭侥幸赌上生命。

自然的美，从来都与“敬畏”共生。春日林间的蘑菇或许形态可人、秋日草甸的菌子或许香气诱人，但这份“美味”的背后，藏着自然对“边界感”的坚守。所谓“致命美味”，不过是人类突破边界后，自然给予的生存教育。希望每一个人都能读懂这份警示：远离野外不明蘑菇，不仅是守护自己与家人的健康，更是守护对自然的敬畏之心——毕竟，在广袤的自然面前，人类的经验永远有限，唯有保持谦卑与敬畏，才能在与自然的共处中，真正远离风险，拥抱安全。

参考文献

- [1] Wu Z, Dai J, Fan J, et al. Determination of protein-bound α -amanitin in mouse plasma: A potential new indicator of poisoning with the mushroom toxin α -amanitin[J]. *Toxicon*, 2023, 226(4): 107067-107078.
- [2] 陈冲贵, 钟加菊, 余成敏, 等. 一起致命鹅膏中毒死亡事件调查[J]. *中国工业医学杂志*, 2024, 37(6): 646-649, 665.
- [3] 苏玉婷, 张平. 毒蝇鹅膏[J]. *科学启蒙*, 2024, (Z1): 114.
- [4] 楚建芝, 崔琪, 杨树德, 等. 蘑菇毒素毒性作用机制的研究进展[J]. *中草药*, 2022, 53(24): 7925-7932.
- [5] Alexander D, Zuzana V, Alexander T, et al. Analysis of the Ibotenic acid, muscimol, and ergosterol content of an amanita muscaria hydroalcoholic extract with an evaluation of its cytotoxic effect against a panel of lung cell lines *in vitro*[J]. *Molecules* 2023, 28(19): 6824-6833.
- [6] Thomann J, Kolaczynska K E, Stoeckmann O V, et al. *In vitro* and *in vivo* metabolism of psilocybin's active metabolite psilocin[J]. *Front Pharmacol*, 2024, 15(44): 124-141.
- [7] Vohra V, Dirks A, Bonito G, et al. A 19-year longitudinal assessment of gyromitrin-containing (*Gyromitra spp.*) mushroom poisonings in Michigan[J]. *Toxicon: Official J Int Soc Toxinol*, 2024, 247(7): 107825-107833.
- [8] Kinga B, Kinga P, Gracjan R, et al. Management of confirmed mushroom poisoning[J]. *J Educ, Health Sport*, 2023, 13(1): 197-202.



Image by Freepik on Freepik

绿氢如何驶向 规模化应用蓝海

来源：中国化工报公众号；原文链接：<https://mp.weixin.qq.com/s/KiIN9ZSJxsQdmsG0s-VlPA>

在“十五五”规划建议中，氢能被列为未来产业。绿氢这一由太阳能、风能等可再生能源制成的零碳氢气，正成为推动能源转型不可或缺的力量。然而，成本高昂、关键技术待突破、安全认知不足等挑战依然摆在眼前，绿氢产业应如何破局，驶向规模化应用的蓝海？近日，《中国化工报》记者采访了多位业界专家。



实现“双碳”目标的必然选择

按制取方式和碳排放水平划分，氢能主要有灰氢、蓝氢、绿氢三种技术路线。其中，在制取过程中几乎不产生碳排放的绿氢正成为实现“双碳”目标的关键抓手。

近期，绿氢被写入多省份的政府工作报告中，如吉林省做强绿电、绿氢、绿色化工和装备制造全产业链，推动“绿氢+”产业发展；青海省围绕“以绿制绿”，加快推进实施绿电直连工程，做强绿氢等品牌；辽宁省促进绿氢氨醇全链条发展，打造东北亚绿色船燃储运加注中心，争创国家绿色氢能及氢基能源基地。

为何选择绿氢？航天长征化学工程股份有限公司氢能事业部总经理殷雨田将绿氢比作连接新能源与传统工业的“路由器”。她指出：“绿氢把新能源转化成化工、冶金、交通等领域可用的绿色动力，起到了桥梁和纽带的作用。”中国能源经济研究院常务副院长魏秋利则认为，发展绿氢的意义已超出单纯的能源范畴，成为建设绿色生产生活方式的重要组成部分。

北京派瑞华氢能源科技有限公司总经理王庆斌坦言，发展绿氢在一定程度上是“双碳”目标“倒逼”的结果，也是融入世界经济环境、避免未来贸易壁垒的战略选择。

规模化应用面临三大挑战

尽管政策保障和标准指引清晰，但绿氢产业的规模化应用却远未达到预期。专家指出，经济性不足、技术成熟度有待提高与安全性存在考验是产业发展道路上的三道坎。

经济性不足是绿氢规模化应用的首要障碍。魏

秋利直言：“目前绿氢还处于商业化早期，最大的问题就是成本经济性不够。”殷雨田进一步分析，电力成本在绿氢生产成本中占了60%~70%，再加上折旧、运维以及其他可变成本，导致绿氢终端价格短期高企。

王庆斌算了一笔账，即便在内蒙古等风光资源丰富区域，将制氢生产成本控制在每公斤20~30元，经过长途危化品运输、加氢站运营、加注、税费等一系列环节后，终端成本可能飙升至每公斤50~80元以上，在与价格更低的工业副产氢的竞争中毫无优势。他认为，长期依赖国家补贴和政策指令不可持续，最终必须依靠市场及时调节，建立适合产品的市场机制。“就好比一吨有绿证的钢材能比普通钢材更热销，在这样的市场机制下，企业才有真正的动力去发展绿氢。”他说。

其次，绿氢在技术成熟度方面仍有待提升。殷雨田指出，在装备端，运行时间短，问题暴露不充分，尚不足以指导产品高效迭代；工程端则还没有形成工程与装备的全面系统耦合，至于能够驾驭不稳定绿电从而高效制氢的“智能大脑”更需细致打磨。她呼吁业界秉持谦虚谨慎的态度对待绿氢装备及工程技术，聚焦产品可靠性和技术升级，而非盲目陷入价格内卷。

魏秋利同样表示，电解槽技术仍需完善，容量、效率、能耗需进一步优化，要因地制宜发展更具经济性的制氢技术，更高效地生产绿色氢气。

储运方面的安全性同样存在考验。魏秋利指出，绿氢在储运过程中仍存在较大的安全风险，很多材料或储运装置尚不能完全保证绿氢的安全性。氢气在专业化工领域虽可控，但民用端的储运和使用风险同样不容忽视。此外，公众科普不

足,缺乏应对氢气泄漏等突发状况的专业能力。“要让公众想到氢能就像想到油车一样,在出现小问题时能被轻松处理。这样氢能才能在民用领域真正推广开。”他说。

“传统能源与新能源发展并非替代关系,而是需要融合发展。绿氢虽然是行业发展的必然趋势,但眼前更多的是要解决生存问题。无论是制度设计还是规则设置,都要量力而行、因地制宜。”王庆斌指出。

找准定位创造确定性需求

面对重重挑战,魏秋利建议:“业界要找准市场定位,将绿氢的定位从‘能源’转向‘工业原料’,优先在化工、冶金领域作为绿色原材料使用,创造大规模、高价值的确定性需求,通过规模化应用拉动产业链成熟,为后续的降本和技术突破争取时间。”

为了从根本上降低储运成本,他提出两种解决方案:一是“就近消纳”,将产业直接布局在风光资源丰富的西部、北部区域,实现产氢但不运输;二是“孤岛系统”,在风电和海上资源丰富的岛屿,利用风力发电或海洋发电就地制氢,用于本地能源补给点,最大限度减少中间环节的成本负担。

为规避氢气储运的高成本与高风险,将绿氢转化为绿氨醇已成为行业“新宠”。魏秋利指出,目前行业比较关注的方向是“绿色氢氨醇”,其中绿色氨醇因其安全性高,且在船运加注方面可用于将

目前的油或气部分“绿化”,在航空运输、船运及煤电等领域应用潜力巨大。

尽管前路漫漫,但业界对于绿氢终将实现规模化应用已形成共识。“目前来看,未来的绿氢产业会实现规模化应用,这是可以肯定的。”王庆斌提出,从日本、韩国、欧洲到中东产油国如沙特、阿联酋、伊朗,再到澳大利亚、智利、巴西,以及东南亚国家,全球范围内都在积极推动减排降碳,这为绿氢创造了巨大的国际市场空间。

对于产业爆发式增长的时间点,业界则需保持理性与耐心。王庆斌认为,绿氢产业链涉及领域广泛,不仅涉及制氢本身,还包括氢气的储存、运输、分配及利用等环节,其能得到广泛应用的成熟周期可能在未来30年甚至50年之间。“十五五”期间,绿氢产业的主体仍是打基础、理体系,行业需要严谨务实地继续攻关,在技术研发、标准制定、商业模式探索上扎实推进,为“十六五”的长足进步积蓄力量。

殷雨田用“蓬勃发展”四个字来概括绿氢的未来趋势。她提出,“十五五”期间尤其是中后期,产业整体将呈现健康向好态势。这种“向好”并非无序扩张,而是行业经过一次洗礼后逐步走向理性,围绕绿色化工、绿色冶金以及绿色燃料等核心场景展开扎实探索,最终迈进高质量发展的新阶段。

本文刊登于《中国化工报·能源与材料》周刊

生态环境法典草案

对烧秸秆、“家门口”油烟恶臭噪声等作出规定

来源：新华社公众号；原文链接：<https://mp.weixin.qq.com/s/um1t9q6Oa9xPson-clBhRA>

编纂生态环境法典是以习近平同志为核心的党中央部署的重大政治任务和立法任务

关于生态环境法典草案的说明指出，编纂生态环境法典是以习近平同志为核心的党中央部署的重大政治任务和立法任务。党的二十届三中全会明确提出“编纂生态环境法典”。生态环境法典的编纂，是通过对现行生态环境法律制度规范进行系统整合、编订纂修、集成升华，形成一部以习近平新时代中国特色社会主义思想特别是习近平生态文明思想为引领，具有中国特色、体现时代特点、反映人民意愿、系统规范协调的法典。这是一项系统的、重大的立法工程。

环境保护法等 10 部法律将纳入生态环境法典

关于生态环境法典草案的说明指出，生态环境法典编纂采取了适度法典化的模式，编纂工作分三类情况分别处理，具体考虑是：第一类情况，将现行的环境保护法等 10 部法律经编订纂修，全部纳入

生态环境法典。法典编纂出台后，上述法律不再保留。第二类情况，将现行有关流域、区域、自然资源、生物多样性等生态要素、生态系统方面和循环经济、节约能源等方面的法律制度规范，择其要旨要则纳入或者体现到生态环境法典之中。这些法律

在生态环境法典编纂出台后将保留。第三类情况，考虑应对气候变化、碳达峰碳中和、绿色低碳发展等方面的法治需求，而目前这些方面尚未制定专门法律。编纂生态环境法典，宜就此作出一些原则性、引领性规定，为今后我国相关法律制度建设和实践发展确定原则、奠定基础、留有空间，以体现法典的时代性、前瞻性。

生态环境法典草案共 5 编 1242 条

关于生态环境法典草案的说明显示，草案共 5 编、1242 条，各编依次为：总则、污染防治、生态保护、绿色低碳发展、法律责任和附则。第一编“总则”规定生态环境领域的重要法律原则和基础性、综合性、普遍性的法律制度，统领其他各编。

生态环境法典草案对新领域污染防治问题作出规定

关于生态环境法典草案的说明介绍，草案污染防治编对现行大气污染防治法、水污染防治法、土壤污染防治法、固体废物污染环境防治法、噪声污染防治法、放射性污染防治法和环境保护法、海洋环境保护法等法律中关于污染防治的规定，进行系统整合、编订纂修、集成优化。一是将现行法律规定的污染防治共性制度总结提炼为通则、一般规定，并将实践证明行之有效的成熟的污染防治经验上升为法律制度规定。二是在体例结构上，首先考虑蓝天、碧水、净土保卫战三大污染防治攻坚战，其次是固体废物、噪声、放射性污染源的治理，然后是对化学物质、电磁辐射、光等新领域污染防治问题

作出针对性制度规定。

生态环境法典草案对烧秸秆、“家门口”油烟恶臭噪声等作出规定

关于生态环境法典草案的说明显示，草案增加规定地方各级人民政府应当科学精准加强秸秆、落叶等焚烧的组织、指导和管理，明确禁止在人口集中地区、机场周围、交通干线附近以及省级以上人民政府划定的其他区域和规定的时段露天焚烧秸秆、落叶等产生烟尘污染的物质。同时，解决老百姓“家门口”的油烟、恶臭等问题，增加规划、选址等要求。加强建筑施工噪声污染防治，解决老百姓“家门口”的噪声问题。

生态环境法典草案明确城乡绿化应当科学选择树种草种

关于生态环境法典草案的说明介绍，草案强调开展生态修复应当尊重自然规律，遵循宜林则林、宜草则草、宜沙则沙、宜荒则荒的原则。针对绿化树种草种选择不当损害人体健康问题，明确城乡绿化应当因地制宜，科学选择绿化树种草种。

生态环境法典草案建立健全绿色消费制度

关于生态环境法典草案的说明指出，草案充实废弃物循环利用制度，增加新型废弃物、低值可回收物回收利用，以及再生金属加工利用、再生材料推广应用等有关规定。建立健全绿色消费制度，增加绿色消费激励机制、政府绿色采购、二手商品流通交易等有关规定，明确公民和企业的相关义务。

13 万人 43 年数据证实， 每天喝 2 到 3 杯咖啡可降低痴呆风险



来源：中国科学报公众号；原文链接：https://mp.weixin.qq.com/s/vnVFsaQARk7eLL_voUzs2Q

人们都喜欢咖啡因。茶是全球第二大饮料，仅次于水，而大多数美国成年人都以咖啡开启新的一天。尽管许多人摄入咖啡因是为了获得能量，但 2 月 9 日发表于《美国医学会杂志》的一项研究

表明，咖啡因对大脑也有长期益处，能够帮助我们保持思维敏捷。

这项研究提供了迄今咖啡因摄入与认知关系的

最长期数据。研究发现，从咖啡和茶中适量摄入咖啡因，与降低痴呆风险、减缓认知衰退相关。专家在称赞该研究规模庞大的同时，也指出应谨慎解读研究结果。

“就现有数据而言，这是一项设计严谨的研究。然而，由于它采用的是观察性证据而非实验性证据，因此研究结果只能被视为具有启发性的。”英国格拉斯哥大学的 Naveed Sattar 表示。

许多研究都探讨了咖啡因与认知能力之间的联系。但论文第一作者、美国哈佛大学的张宇（音）表示，以往的研究对参与者的追踪时间相对较短，而罹患痴呆症是一个长达几十年的过程。

张宇的研究团队利用了两项长达 20 年的健康研究，追踪了 13 万多名医护人员 43 年的咖啡因摄入习惯。这些参与者每隔几年便会记录他们的饮食情况，还填写了关于认知功能的问卷，并接受了需要复述单词串的测试，以作为衡量认知能力的客观指标。

研究团队发现，摄入适量咖啡因（相当于每天 2~3 杯咖啡或 1~2 杯茶），可以显著降低痴呆风险和认知衰退速度；即便摄入较低水平的咖啡因，也有益大脑健康。

与以往的研究相反，咖啡因摄入量与认知健康

之间的关联，即使在大量喝咖啡的人群中也依然存在——咖啡因摄入量最高组（每天最多喝 5 杯咖啡），患痴呆症的风险比很少或不喝咖啡的人低 18%。

即便对于携带 APOE4 基因变异的人来说，这种保护性关联依然存在。仅携带一个 APOE4 基因变异拷贝，就能使一个人患阿尔茨海默病的风险增加两到三倍。携带 APOE4 基因的人群受到的保护令美国斯坦福大学的神经学家 Shannon Kilgore 感到惊讶，并表示该研究结论“符合观察性关联研究的范畴”，既强化了一些已有的结论，也提供了新的线索。

由于该研究的设计局限，研究人员无法得出喝咖啡可降低痴呆症风险的结论，而且作者也没有为他们的发现给出任何机制。张宇表示，令团队感兴趣的一点是，饮用脱咖啡因咖啡的人并没有像饮用含咖啡因咖啡的人那样获得认知方面的益处。这表明，这些益处可能与咖啡因有关，而非咖啡中其他被认为有益的化合物，如多酚和生物碱。

张宇指出，尽管研究团队试图控制生活方式选择、饮食质量等混杂因素的影响，但药物等其他因素也可能在起作用。“这种影响很小，而且随着年龄增长，有很多途径可以保护认知功能。我们的研究表明，饮用含咖啡因的咖啡或茶可能只是其中的一个环节。”张宇说。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1001/jama.2025.27259>

《中国科学报》(2026-02-12 第 2 版 国际)



❶ 丁腈橡胶可用于制造手套等多种制品，但这种材料难以回收利用。图片来源：米哈伊尔·德米特里耶夫 (Mikhail Dmitriev) / 阿拉米图片社 (Alamy)

化学家升级改造丁腈橡胶，制备出可固碳的多胺材料

回收实验手套能捕集二氧化碳吗

来源：C&EN；作者：Brianna Barbu；翻译：余婉宁

原文链接：<https://cen.acs.org/environment/recycling/recycled-lab-gloves-capture-carbon/104/web/2026/02>

全球正同时面临气候危机与塑料垃圾危机。奥胡斯大学 (Aarhus University) 化学家特罗尔斯·斯基德斯特鲁普 (Troels Skrydstrup) 和他的团队认为，或许存在一种能同时解决这两大问题的方法。

斯基德斯特鲁普表示，要达到政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 提出的二氧化碳移除预期需求，“我们需要数百万吨碳捕集材料”。而据联合国环境规划署数据，全球每年塑料产量超过 4 亿吨。斯基德斯特鲁普设

想，或许可以将这些“我们不知该如何处理的海量材料”，转化为碳捕集材料。

斯基德斯特鲁普团队近期公布了相关研究：将实验手套、医用手套所用的丁腈橡胶，转化

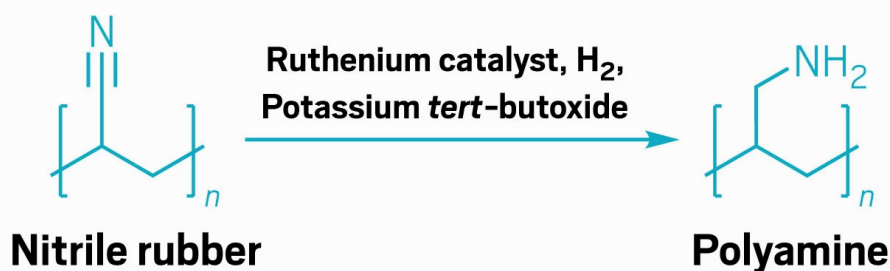
为可封存二氧化碳的多胺薄膜 (《Chem》2026年, DOI:10.1016/j.chempr.2025.102918)。

多数碳捕集系统都依靠胺类物质捕获二氧化碳分子, 形成氨基甲酸酯和碳酸氢盐。丁腈橡胶之所以适合升级改造, 是因为它含有的腈基只需一步加氢反应, 就能转化为胺基。

博士后研究员西蒙·基达尔 (Simon Kildahl) 筛选了多种催化剂, 测试它们对丁腈橡胶的加氢能力, 最终选定了一种市售的钉钳形配合物, 它对实验手套中的交联橡胶转化效率最高。

基达尔还研究了相应的制备流程: 在加氢反应之前, 先通过氢氰化反应, 在聚合物的碳碳双键上引入额外的腈基。氢氰化反应也让原料范围得以拓宽, 还可以使用苯乙烯丁二烯苯乙烯橡胶, 这种橡胶广泛用于鞋底等各类产品。

基达尔表示, 真正的考验是: 用手套制得的多胺, 能不能作为碳捕集材料正常工作。他说结果让他很惊喜: “尽管它们没有多孔结构, 却确实能捕集相当多的 CO₂。”



通过对腈基进行加氢反应, 可将丁腈橡胶转化为多胺。

在典型工业烟气条件 (90 °C、CO₂ 体积分数 10%) 下, 这种升级改造的多胺碳捕集容量为 0.50~1.25 mmol/g, 与相同条件下一种名为 CALF20 的金属有机框架材料 (MOF) 的已报道容量接近。基达尔称, 这种 MOF 在多数条件下整体性能更优, 但这种回收制得的薄膜在高温下表现出很好的应用潜力。

基达尔和斯基德斯特鲁普提出假设: 当温度超过约 80 °C 时, 二氧化碳分子能在胺基之间轻松移动, 最终扩散进入聚合物内部, 从而提升材料的捕集容量。他们表示, 计划继续优化这种升级改造的碳捕集材料, 包括研发效率更高、成本更低的催化剂, 并提升多胺材料的氧化稳定性。

巴黎化学研究所的雷吉斯·高文 (Régis Gauvin) 专注于可持续

高分子化学与催化研究, 他表示, 作为一项概念验证研究, “这项工作做得非常出色”。他指出, 该工艺需要使用较大量的贵金属催化剂, 这会成为其规模化应用的阻碍, 不过这也是学术领域升级改造研究中普遍存在的问题。“这项研究有助于推动人类科学知识的进步, 但我们希望能实现更进一步的突破。”

斯旺西大学的化学工程师恩里科·安德烈奥利 (Enrico Andreoli) 专注于多胺碳捕集研究, 他认为该研究为诸多复杂难题提供了创新性的解决思路。他曾研究过将同类多胺用于直接空气捕集, 在他看来, 这类材料若能由塑料废弃物制备而成, 将是“非常好的消息”。“我认为, 未来的研究方向就是不断深耕升级改造领域。”



① 合成染料呈现出的鲜亮艳丽色彩，常被用于甜品及主要面向儿童的产品中。来源：© 梅利莎·洛马克斯·斯皮尔曼 (Melissa Lomax Speelman) / 盖蒂图片社 (Getty Images)

食用色素冲突真的值得担心吗

来源: chemistryworld; 作者: PHILLIP BROADWITH; 翻译: 余婉宁

原文链接: <https://www.chemistryworld.com/opinion/are-food-colour-clashes-worth-the-worry/4023048.article>

食用色素 (food colourings) 是一类能集中体现诸多文化争议的化学物质，这些争议均围绕物质的本质与安全性展开。天然色素是否比合成色素更安全、更优质？一种化合物在极大暴露剂量下（如给大鼠喂食高剂量该物质）会产生一定危害，这一事实是否等同于其在食物中低剂量存在时，会对人类

造成实际伤害？监管机构又该如何划定监管界限？

当添加这类色素的产品以儿童为营销对象时，情况变得更为复杂。儿童更容易被鲜艳的色泽吸引，也很少会停下来思考其安全性。当儿童接触到这类与行为多动、癌症风险升高等一系列危害相关的化

合物时，家长对于相关风险的担忧自然会更为谨慎。

直到近期，美国对合成食用色素的管制一直相对宽松。在欧洲和加拿大等地区，橙味饮料等产品使用的色素，通常提取自橙子本身，或是胡萝卜等橙色植物，其色泽明显比美国产品的艳丽色调更柔和。但细看监管规定会发现，欧盟和英国允许使用的多种色素，同样从未通过美国的监管审查。

如今，在政治色彩浓厚的“让美国再次健康”（Make America Healthy Again）运动推动下，美国领导层已着手全面取缔合成食用色素。部分举措与其他地区的监管规则一致，这些地区要么禁用相关色素，要么要求产品标注可能存在不良影响的警示标签。但另一些色素几乎没有危害证据，相关产品被下架仅因属于合成品类。美国政府将这类色素称作石油基有毒化合物的说法，实则迎合公众的恐慌情绪，而非基于科学依据。

问题在于，确凿的研究证据十分匮乏。动物研究虽能提供参考，但啮齿动物的生理机制无法直接类推到人类身上。此外，针对儿童开展试验（需足够大的样本量、严格的控制条件，才能甄别出轻微的健康影响）在伦理和实操层面存在诸多限制，相关研究几乎没有开展的动力。少数探究人工色素对儿童行为影响的高质量独立试验，发现了轻微但可察觉的作用，这对英国和欧洲的监管政策产生了重大影响，不过试验证据仍不足以推动全面禁令出台。

归根结底，食品中常用的各类色素大多存在替代品。从植物、藻类中提取的替代色素，或许无法呈现出同样浓烈鲜亮的色泽，价格也可能略高。但一旦合成色素被取缔、产品完成配方调整，在公众普遍反对的背景下，几乎不会有政客主张重新启用。如此一来，这类合成色素的安全性争议也就失去了实际意义。





防腐剂： 食品里的“安全卫士”， 你真的了解它吗

作者：张坤婷，严文锦，赵静；Email: 3196578369@qq.com

引言：

“民以食为天，食以安为先”，食品质量与安全始终是大众关注的核心议题。随着社会进步与经济发展，人们对食品的要求愈发严格，然而过去几十年里，三聚氰胺、“吊白块”、苏丹红和瘦肉精等由不当使用食品添加剂引发的食品安全事件频发，让大众对食品添加剂产生排斥、恐惧心理，甚至抵制其使用，这种情绪在食品防腐剂领域体现得尤为明显。事实上，食品防腐是保障食品安全的关键手段。据不完全统计，全球约 20% 的粮油食品因霉变、腐败被浪费^[1]，同时还威胁着人们的健康；在美国，沙门氏菌等致病菌引发的食源性疾病，每年导致 7000 人死亡、2400 万~8000 万人肠胃中毒，直接经济损失高达 50 亿~170 亿美元^[2]。因此，为了帮大家真正了解食品防腐剂，这篇文章会聊聊山梨酸钾、苯甲酸钠这些‘老面孔’，看看它们到底是什么、安不安全、都用在哪些地方，希望能帮你科学地看待它们。

你是否曾在吃包装零食、喝饮料时，总被妈妈唠叨：“哎呀，这里面全是防腐剂，一点都不健康，多吃我做的饭才好”？听到这样的叮嘱，你或许会忍不住疑惑：防腐剂究竟是什么？它真的像妈妈说的那样，对健康有那么

大危害吗？其实，在现代食品工业中，防腐剂扮演着重要角色，只是大众对它的认知还存在不少误区，而解开这些误区，需要从了解它的真实“身份”开始。

一、食品防腐剂第一弹：山梨酸钾——“全面优等生”的守护之道

提到常见的食品防腐剂(图 1)，山梨酸钾绝对是“明星选手”。我们先从它的名字拆解，看看这位“卫士”的真面目。



①【图 1】生活中的山梨酸钾

山梨酸钾的核心是“山梨酸”——这才是真正的“防腐主力”。山梨酸最早在 20 世纪中叶，从欧洲一种名为“花楸”(Sorbus)的浆果中被发现，是天然存在的

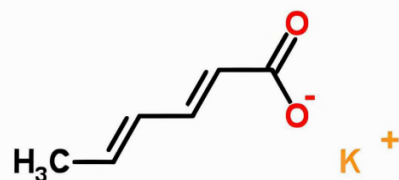
物质。不过现在食品中使用的山梨酸，基本通过人工合成生产，其化学结构与天然山梨酸完全一致，就像维生素 C 既能从橙子中获取，也能工业合成，效果并无差异。那为什么是“山梨酸钾”而非“山梨酸”？因为山梨酸本身在水中溶解度差，很难均匀添加到食品中；而与钾结合形成山梨酸钾后，水溶性大幅提升，能更轻松地在食品中“施展拳脚”，这是食品工业中常见且巧妙的化学改性手段。

所以，山梨酸钾的本质，就是一种高效、安全的食品防腐剂。

它在食品里做什么？——“微生物的克星”

它的化学名称为“2,4-己二烯酸钾”，其结构式如图 2 所示，通过抑制微生物的酶活性来抑制微生物生长发育，从而达到保藏食品的目的。

食品为什么会腐败变质？罪魁祸首是微生物，比如霉菌、酵母菌和细菌。它们在适宜的环境



①【图 2】山梨酸钾结构式（图片来源于网络）

下会疯狂繁殖，分解食物中的营养，导致食物发霉、酸败、变质，不仅影响口感和风味，更可能产生对人体有害的毒素。山梨酸钾的使命，就是抑制这些微生物的生长和繁殖。它的工作原理非常巧妙：想象一下，微生物就像一个需要不断消耗能量来维持生命的“小工厂”。山梨酸钾能够穿透微生物的细胞壁，进入其内部，干扰其关键的酶系统，相当于破坏了“工厂”的“发电系统”，让微生物无法获得能量，从而“饿死”或停止繁殖。

最关键的一点是：山梨酸钾对人体的代谢系统几乎没有影响。因为人体内存在一套完善的代谢机制，可以像代谢脂肪酸一样，将山梨酸钾最终分解为二氧化碳和水，安全地排出体外。它对微生物的“毒性”是选择性的，对人类则非常友好。

山梨酸及其钾盐类防腐剂在防止食物腐烂和保持食品新鲜的过程中不会破坏食品中原有的营养成分及食品口感、风味等，且山梨酸(钾)为酸性防腐剂，对中性或酸性食品的防腐效果最佳。

它安全吗？——“被严格监管的优等生”

这可能是大家最关心的问题。答案是：在国家标准规定的

使用范围内，山梨酸钾是公认的安全的。

全球公认的“GRAS”：山梨酸钾的安全性得到了全球权威机构的广泛认可。美国食品药品监督管理局将其列为“一般公认安全”(GRAS)物质^[3]。山梨酸、山梨酸钾是一类毒性作用低、危害十分小的食品防腐剂，其毒性为苯甲酸的1/4、食盐的1/2，防腐效果却是苯甲酸的5~10倍^[4]，每日允许摄入量(ADI)为0~25 mg/(kg·bw·d)^[3]。因此，山梨酸及其钾盐类是公认为最安全、最有效的食品防腐剂之一。与此同时，山梨酸钾不存在致突变的作用，不会损害我们的DNA，也没有潜在的致癌风险^[4]。因此，山梨酸钾是一种非常安全的防腐剂。世界卫生组织和联合国粮农组织的联合食品添加剂专家委员会也对其进行了严格评估，认为它是安全性很高的防腐剂。

“少而精”的高效选手：山梨酸钾的防腐效率非常高。通常只需要添加食品总量的千分之零点几(0.05%~0.2%)就能起到很好的防腐效果。这意味着，我们通过食品摄入的量其实非常非常低，远低于可能对健康产生影响的水平。

在中国，山梨酸钾的使用受到严格规范。依据《GB 2760-2024 食品安全国家标准食品添加剂使用标准》，相关规定极为细致^[5]：明确了允许使用的食品类别，像酱油、醋、酱料、面包、糕点、果酱、饮料和肉制品等众多品类皆涵盖其中。针对不同食品，设定了精准的最大使用量，例如，蜜饯凉果的最大使用量为0.5 g/kg，干酪和再制干酪及其类似品是1.0 g/kg，熟肉制品和预制水产品(半成品)则为0.075 g/kg，这些限量值均是历经大量严谨科学实验评估后确定的，可确保使用的绝对安全性。标准中还清晰划定了不得使用的食品范围，像新鲜的水果、蔬菜和鲜肉等，明确严禁添加山梨酸钾，从源头保障食品的天然与安全属性。

所以，只要是在正规渠道购买、符合国家标准食品，其中的山梨酸钾含量都在安全可控的范围内，无需过度恐慌。

二、常见食品防腐剂第二弹：苯甲酸钠——“偏科但实用”的守护能手

了解了“全面优等生”山梨酸钾，我们再来认识一位食品界的“老朋友”——苯甲酸钠。炎炎夏日里，冰镇汽水的清爽、早餐桌上酱油的鲜香，这些熟悉的

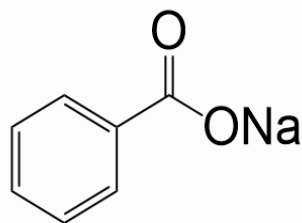
味道背后，可能都藏着同一个“食物保镖”——苯甲酸钠。当你拿起包装细看配料表，这个白色、带点甜咸味的结晶粉末（图3），其化学式为 $C_7H_5O_2Na$ （图4）总会时不时映入眼帘。它就像食品界的“保镖”，默默阻挡着细菌、霉菌和酵母的“入侵”，让我们钟爱的食物能多留几天新鲜。不过，这位“保镖”的工作方式和安全程度，却一直是大家热议的话题。

苯甲酸钠的“守护秘籍”：靠“变身”打怪

苯甲酸钠的防腐本领，藏在一场巧妙的“变身戏法”里。它本身很容易溶解在水里，就像盐溶于汤一样，但真正能发挥威力的，是它在酸性环境下的“变身形态”。比如你喝的柠檬汁（ $pH \approx 2.5$ ）、吃的醋泡黄瓜（ $pH \approx 3.5$ ）这类偏酸的食物中，苯甲酸钠会迅速变成苯甲酸分子。这个“变身”后的苯甲酸可不简单，它像个身手敏捷的特工，凭着亲油性的“特长”，能轻松穿过微生物的细胞膜。一旦钻进细胞内部，它就开始“搞破坏”：一方面让细胞内环境变酸，打乱微生物的“生活节奏”；另一方面精准打击呼吸作用的关键酶，就像掐断了微生物的“能量管道”。要知道，乙酰辅酶A的缩合反应是微生物能量代谢的“核心工序”，



①【图3】苯甲酸钠外观（图片来源于化工网）



②【图4】苯甲酸钠结构式

这一步被阻断，它们就像没油的汽车，再也跑不动了，自然无法繁殖，食物也就不会发霉变质。不过，这位“特工”也有弱点。如果食物是碱性的，比如松花蛋（ $pH \approx 9.0$ ），它就很难“变身”，防腐效果会大打折扣。而且，它还会和一些“同伴”闹矛盾——比如和氯化钙、氯化钠同时存在时，能力会被削弱，就像两个保安抢着站岗，反而漏了破绽。

进入人体后，它会经历怎样的“旅程”？

当我们吃下含苯甲酸钠的食物，比如喝了一罐加了它的可乐，它会先在消化道被快速吸收，然后顺着血管被送到肝脏——人体的“解毒工厂”。在这里，苯甲酸钠先变回苯甲酸，接着和辅酶A结合成“苯甲酰辅酶A”，再在酶的“催化”下，与体内的甘氨酸“牵手”，变成马尿酸。

马尿酸是个“乖孩子”，毒

性很低，会随着血液来到肾脏，最终跟着尿液排出体外。对于一个健康的成年人来说，只要摄入量正常，1~2天就能把它彻底“送走”。就像我们吃进去的蔬菜纤维会被排出一样，这套代谢系统已经运行了很久，算得上成熟可靠。

关于安全的“争议点”：哪些担忧值得关注？

根据中国《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》（GB2760-2024），苯甲酸钠在以下代表性食品中的最大使用量（均以苯甲酸计）为：碳酸饮料中限量为 0.2 g/kg，酱油、食醋及腌渍蔬菜中限量为 1.0 g/kg，蜜饯凉果类限量为 0.5 g/kg，浓缩果蔬汁（仅限食品工业用）限量为 2.0 g/kg，而糕点和肉类制品等未列入许可范围的食品中禁止添加。即便有这些规定，它的“安全性”仍存在不少讨论：

对神经系统的影响：有些研

究发现，长期大量摄入可能让人出现头痛、失眠等神经衰弱症状。动物实验中，高剂量甚至会让小鼠变得神经过敏，视力也受影响。不过这些情况，都远超过正常饮食能达到的量。

与维生素 C 的“化学反应”：

这是大家最关心的一点。当苯甲酸钠遇到饮料里的维生素 C，在高温、光照下可能生成微量的苯——一种明确的致癌物^[6]。但别太担心，正规厂家生产的饮料会严格控制剂量，而且储存时会避免暴晒，实际生成的苯量极少，远低于《GB 2762-2024 食品安全国家标准食品中污染物限量》中规定的食品苯残留限值（ $\leq 10 \mu\text{g}/\text{kg}$ ）^[7]，人体完全能代谢掉。就像家里炒菜偶尔产生的油烟，虽然有有害物质，但只要通风好，就不用过度恐慌。

代谢负担与潜在风险：如果长期大量吃含苯甲酸钠的食物，肝脏可能忙不过来。甘氨酸被大量消耗后，未代谢的苯甲酸或中间产物可能在体内积累。近年来有研究发现，积累的苯甲酰辅酶 A 可能参与“赖氨酸苯甲酰化”过程，影响基因表达，甚至和胰岛炎症有关^[8]。这仍是前沿研究，其实际健康意义尚需更多确证。

科学界和监管部门的共识是：在规定范围内使用，苯甲酸钠是安全的。就像过马路时遵守红绿灯很安全，但闯红灯就有风险一样，关键在“适量”和“规范”。苯甲酸钠就像一把“双刃剑”。用好了，能让食物保鲜更久，减少浪费；用多了，可能带来健康隐患。现代食品工业离不开它，但也在不断寻找更优的替代品。作为消费者，我们不必因它恐慌，也不能掉以轻心——看懂配料表，合理搭配饮食，在享受便利的同时守住健康，才是对待食品添加剂的明智态度。毕竟，食物的新鲜与安全，始终是我们共同的追求。

三、常用食品防腐剂第三弹——亚硫酸盐——“多才多艺的隐形卫士”

除了山梨酸钾的“全面守护”、苯甲酸钠的“针对性防护”，食品界还有一位“多面手”——亚硫酸盐。当我们享受美味的干果、小酌一杯葡萄酒时，其美好风味与诱人色泽的背后，往往离不开一种名为亚硫酸盐的默默付出。它就像一位“隐形卫士”，兼具漂白、抗氧化和抗菌防腐等多重功效，因此被广泛应用于食品工业。那么，这位“卫士”究竟是什么？它又是如何在我们的食物中工作的呢？

揭秘“隐形卫士”：亚硫酸盐的身份与用途

亚硫酸盐并非特指某一种化学物质，而是 SO_2 及能产生 SO_2 的一类无机含硫化合物的总称。作为一种常见的食品添加剂，亚硫酸盐早在 19 世纪就已在美国获准使用，至今仍在世界范围内广泛流通。在中国，根据《食品安全国家标准食品添加剂使用标准》（GB2760-2024）亚硫酸盐被允许用于干制蔬菜、经表面处理的水果、食用淀粉和饮料等多种食品中^[5]。在这些食品中，它主要扮演着漂白剂、防腐剂和抗氧化剂的角色。

探秘亚硫酸盐的“保鲜”组合拳

亚硫酸盐在食品领域有一个响亮的外号——多面手，因为它并非依赖单一的“绝技”，而是通过一套精妙的“组合拳”，从多个维度上延缓了食品的变质过程。

第一拳：微生物驱逐令（抗菌防腐）

亚硫酸盐的防腐本领，主要靠的是它强大的“还原性”，简单来说，它能抢走食物里的氧气，相当于断绝了微生物的“口粮”，并抑制其生长所需的酶，从而阻止它们在食物中“安营扎寨”（图 5）。这个功能在酸性环境下会变得更强大，因此，在本身酸度较高的水果、蔬菜等食品

中，亚硫酸盐就成了一位效率极高的“守护者”。

第二拳：青春永驻术（抗氧化）

在葡萄酒、果蔬汁这类对风味和颜值要求极高的饮品中，亚硫酸盐扮演着“青春保鲜师”的角色。它能有效抑制氧化酶的活性，保护酒体中的单宁、色素以及宝贵的维生素 C 等成分不被氧化，从而防止饮品变得浑浊或失去营养价值。

第三拳：颜值守护者（抑制褐变）

切开的苹果或土豆很快就会“人老珠黄”（图6），这背后是“酶促褐变”在作祟。亚硫酸盐能精准抑制引发褐变的多酚氧化酶，让果蔬切面保持鲜亮。不仅如此，它还能与食物中的某些特定化合物结合，有效抑制在干果中常见的“非酶褐变”（即美拉德反应），守护食物诱人的外观。

第四拳：色素橡皮擦（漂白）

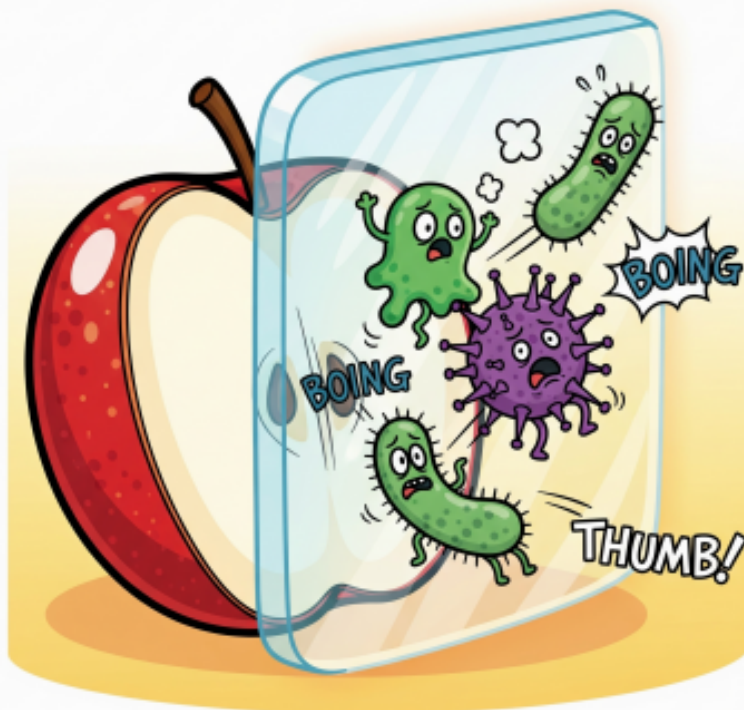
亚硫酸盐的漂白作用源于可产生强还原性的二氧化硫，它能够与食物中的有色物质“手拉手”变成一种没有颜色的新物质，从而达到改善食物色泽的目的，但这种“手拉手”的关系不太牢固，时间长了可能会“分手”，食物又恢复成原来的颜色^[9-11]。

亚硫酸盐在人体内的代谢之旅

当我们食用了含有亚硫酸盐

的食物后，它们会被胃肠道迅速吸收，进入血液并快速分布到全

身各组织器官中。不过无需过分担心，因为我们的身体里有一位



①【图5】亚硫酸盐的防腐机制（图片来源于 geminiAI 生成）

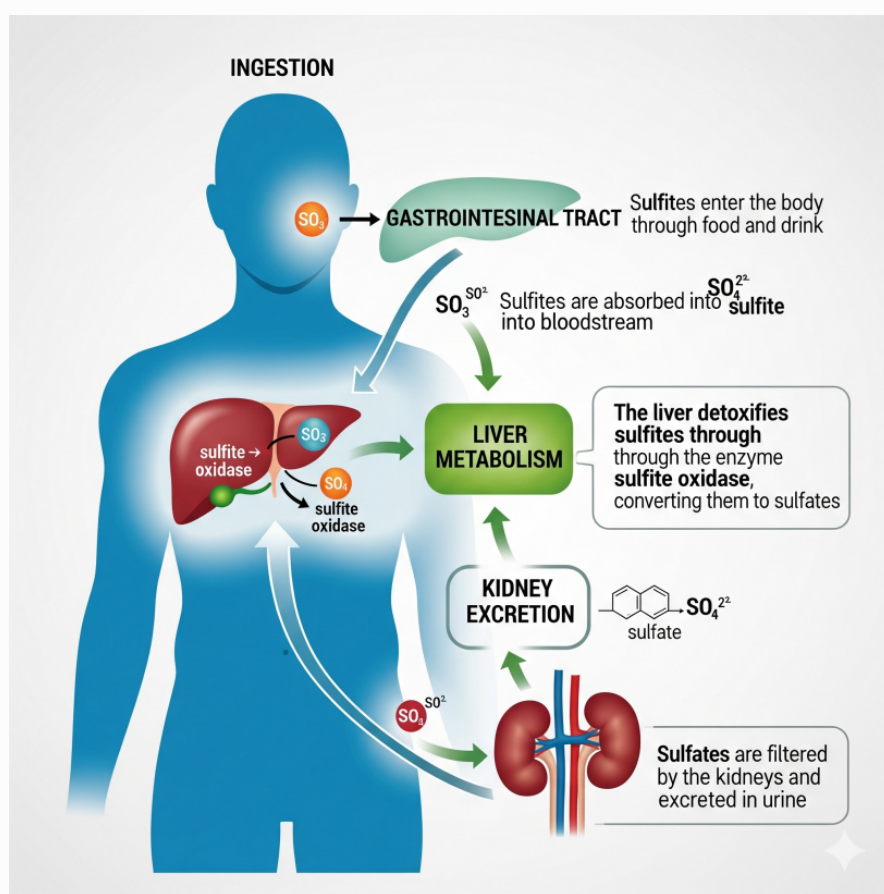


①【图6】苹果的“酶促褐变”（图片来源于豆包 AI 生成）

专门负责处理它的“清洁工”——亚硫酸盐氧化酶。这种酶主要存在于肝脏、心脏和肾脏中，能高效地将亚硫酸盐氧化成无害的硫酸盐，后者会迅速通过尿液排出体外，只有极少量会随粪便排出（图 7）。正因有这个强大的代谢系统，对于绝大多数人来说，摄入符合国家标准的亚硫酸盐是安全的。但值得特别注意的是，极少数体内缺乏或亚硫酸盐氧化酶活性较低的人群，可能对亚硫酸盐更为敏感。特别是哮喘患者、过敏体质者、儿童及老年人，属于亚硫酸盐敏感高发人群。这些敏感人群在食用了含亚硫酸盐的食品后，可能出现哮喘发作、呼吸道痉挛、皮肤瘙痒、荨麻疹等过敏症状^[12]。因此，建议这些敏感人群在购买食品时，需重点查看配料表。亚硫酸盐在配料表中可能标注为二氧化硫、焦亚硫酸钠、亚硫酸氢钠、低亚硫酸钠和焦亚硫酸钾等，本质均属于亚硫酸盐类添加剂。避开含有这些成分的食品，是保护自己的有效方式。若不慎食用后出现不适，应及时就医。

科学看待“隐形卫士”：亚硫酸盐安全吗？别慌，合规使用就放心

很多人看到食品配料表上的“亚硫酸盐”，第一反应可能是“这东西安全吗？”咱们先揭晓



【图 7】亚硫酸盐在人体的代谢（图片来源于 geminiAI 生成）

答案：只要在国家标准规定的范围内使用，亚硫酸盐是安全的。联合国粮农组织和世界卫生组织联合成立食品添加剂专家委员会（JECFA），早就对亚硫酸盐做过严格评估，最终设定了它的“每日允许摄入量（ADI）”—— $0\sim 0.7\text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{bw})$ （按二氧化硫的量来算）^[13]。简单说，一个体重 60 kg 的成年人，每天从食品中摄入的亚硫酸盐（折成二氧化硫）不超过 42 mg ，长期吃也不会有健康风险（根据 JECFA 食品添加剂评估报告）。这个数字听起

来可能依然抽象。实际上，要达到这个上限，需要 1 天内吃下相当可观的食物。例如，这 42 mg 二氧化硫，约等于 120 g 符合标准的蜜饯（按最大残留量 $0.35\text{ g}/\text{kg}$ 计算），或是 168 mL 符合标准的葡萄酒（按最大残留量 $0.25\text{ g}/\text{L}$ 计算）。因此，只要是均衡的日常饮食，我们离这个安全上限其实还很远。而且目前没有明确证据显示，合规使用的亚硫酸盐会导致突变、影响遗传，或是有致癌风险。再说说它的使用量，其实特别“省”。亚硫酸盐是个“低量

高效”的多面手，通常只要在食品中添加 0.01%~0.2%（同样按二氧化硫残留量算），就能同时搞定好几件事：比如防止果汁、蜜饯长霉变质，延缓果蔬干、果脯发黑褐变，还能帮葡萄酒稳住口感和风味。这么低的添加量，我们通过日常吃的食品摄入的量，远远到不了前面说的“每日允许

摄入量”，安全余量很足而且我国也给它划了“安全红线”。《GB 2760-2024 食品安全国家标准食品添加剂使用标准》里写得明明白白，哪些食品能加（比如果干、蜜饯、葡萄酒和速冻蔬菜）、加多少算上限（像葡萄酒里二氧化硫残留不能超 0.25 g/L，蜜饯里不能超 0.35 g/kg）、哪些绝对不能加

（新鲜水果、蔬菜、生肉及鲜牛奶这些，杜绝滥用），都有严格规定。所以大家不用谈“亚”色变。只要是从小超市、便利店这些正规渠道买的合格食品，里面的亚硫酸盐含量肯定在安全范围内。多了解一点亚硫酸盐的知识，再看食品标签时就心里有数了，也能更安心地享受现代食品带来的便利。

四、三大“食品卫士”实力大比拼

三大“食品卫士”的情况如表 1 所示。

表 1 三大“食品卫士”实力大比拼

	山梨酸钾	苯甲酸钠	亚硫酸盐
原理	直接干扰微生物的酶系统，使其无法获得能量而停止繁殖或“饿死”	在酸性环境下“变身”为苯甲酸，穿透微生物细胞膜，破坏其内部酸碱平衡并阻断能量代谢	“组合拳”出击：抑制微生物生长、防止氧化、抑制酶促和非酶褐变、漂白有色物质
安全亮点	被美国 FDA 评为“一般公认安全”（GRAS）物质、毒性极低，约为食盐的 1/2、人体可将其代谢为二氧化碳和水，安全排出、无遗传毒性或致癌风险	在肝脏中与甘氨酸结合，生成毒性很低的马尿酸后随尿液排出、在国家标准范围内使用，一般是安全的。	人体内的亚硫酸盐氧化酶可将其高效氧化为无害的硫酸盐，通过尿液排出
潜在风险	安全性高，在规范使用下几乎无明显风险	在特定条件下（如高温、光照）与维生素 C 共存时，可能产生微量致癌物苯，长期超量摄入可能加重肝脏代谢负担	极少数体内缺乏或亚硫酸盐氧化酶活性较低的人群，可能对其较为敏感
“性格”特点	“全面优等生”：高效、安全、应用广，几乎没有短板，是国际公认最安全的防腐剂之一	“性格鲜明的偏科生”：依赖酸性环境发挥作用，经济高效，但存在一些争议点，需严格规范使用	“多才多艺的功能大师”：集防腐、抗氧化、护色、漂白于一身，功能全面，尤其在果蔬和葡萄酒加工中表现出色

五、总结

读到这里，相信大家对食品防腐剂已经有了一番全新的认识！想当初，只要一看到“防腐

剂”这三个字，不少人心里就像拉响了警报似的，满是排斥与恐惧呢。可现在不一样，随着咱们了解了山梨酸钾、苯甲酸钠和亚

硫酸盐这些如同“食品卫士”般的防腐剂的工作原理，还有那完善的安全监管体系后，是时候换一换视角，用科学、理性的眼

光，去和它们这位现代食品工业里的“好伙伴”友好地“握手言和”喽。这防腐剂的存在那可是有它的道理的，它可是食品安全的“守护天使”！食品要是腐败变质了，那背后的“大坏蛋”就是微生物，它们就像一群调皮捣蛋的“小恶魔”，不仅会把食物原本的好风味搅得一团糟，更可怕的是，还可能悄悄地制造出有害毒素。而咱们的防腐剂，就像是勇敢的“战士”，在这些微生物还没来得及大规模“搞破坏”之前，就把它们的活动给抑制住了，

靠着这份“本领”，食品的保质期得以延长，食物浪费的情况也能减少，咱们的饮食安全也就稳稳地有了保障。再说说安全这一块儿，那可是有着严格的“规矩”给咱们消费者吃“定心丸”！不管是山梨酸钾、苯甲酸钠，还是亚硫酸盐，它们的使用都被咱们中国的《食品安全国家标准》牢牢地“管”着。在这个标准里，明明白白地写着它们能在哪些食品里使用，最多能用多少量。这些用量的限定，那可都是经过了大量像“探秘”一样的科学实验，还有全面细致的风险评估

后才确定下来的，这就保证了咱们平常正常吃东西的时候，摄入的防腐剂剂量，远远够不着能产生健康风险的那个“警戒线”。所以，咱们消费者可别再“谈防腐剂色变”啦！得建立起科学的认知，去正规的地方买合格的食物，还要学会像个“小侦探”一样，仔细看看食品标签，搞清楚自己吃进嘴里的到底都是啥玩意儿。这样一来，咱们既能把食品安全稳稳地攥在手里，心里踏实，又能开开心心、安安心心地享受科技进步给咱们生活带来的那些美味和便利。

参考文献

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food loss and food waste[EB/OL][2024-08-30]. <https://www.fao.org/platform-for-action-on-food-loss-and-waste/en/>.
- [2] Centers for Disease Control and Prevention. Burden of Foodborne Illness: Findings[EB/OL]. (2023-11-01) [2024-08-30]. <https://www.cdc.gov/foodborneburden/2011-foodborne-estimates.html>.
- [3] Lück E, Jager M. Antimicrobial food additives: characteristics, uses, effects[M]. Berlin: Springer, 2012: 197-208.
- [4] 吴得海, 张思维, 李东梅, 等. 山梨酸及其钾盐类在食品中的应用[J]. 农业科技与信息, 2023, (7): 149-152. DOI:10.15979/j.cnki.cn62-1057/s.2023.07.013.
- [5] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. GB 2760-2024 食品安全国家标准食品添加剂使用标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2024.
- [6] Gardner L K, Lawrence G D. Benzene production from decarboxylation of benzoic acid in the presence of ascorbic acid and a transition-metal catalyst[J]. J Agric Food Chem, 1993, 41(5): 693-695.
- [7] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. GB 2762-2022食品安全国家标准食品中污染物限量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- [8] 谢跃生, 马建强, 陈宪福, 等. 食品防腐剂苯甲酸含量的荧光光谱分析[J]. 广西师范学院学报(自然科学版), 2003, (1): 54-57. DOI:10.16601/j.cnki.issn1001-8743.2003.01.015.
- [9] 汪新, 钱立武. 雕白粉与食品亚硫酸盐漂白剂[J]. 化学教育, 2002, 23(7): 1-5.
- [10] Taylor S L, Higley N A, Bush R K. Sulfites in foods: Uses, analytical methods, residues, fate, exposure, assessment, metabolism, toxicity, and hypersensitivity[J]. Adv Food Nutrit Res, 1986, 30(1): 1-76.
- [11] 朱春红. 亚硫酸盐在食品加工中的作用与危害[J]. 技术与市场, 2012, 19(3): 95-96.
- [12] Varga-Venczel M, Manciu C, Oltean M, et al. The pathogenesis of sulfite hypersensitivity[J]. Int J Mol Sci, 2022, 23(7): 3534.
- [13] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Evaluation of certain food additives and contaminants: forty-first report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives[R]. Geneva: World Health Organization, 1993.

豆腐： 解码千年食材的化学密码

作者：秦章嘉，王为贺，孙冉翔宇；Email: yanjing@nwpu.edu.cn



Image by topnhp26 on Freepik

引言

在中国人的饮食谱系中，豆腐（图1）是极其特殊的存在——它并非如山珍海味般难得的珍馐，却能跨越两千余年时光，从汉代丹炉旁偶然诞生的造物，成为渗透三餐四季、联结民俗情感的“国民食材”。从“二十五，磨豆腐”的传统习俗，到剑门关、长平古战场里承载历史记忆的故事，再到寻常人家的一日三餐，豆腐早已超越“食物”的单一定义，成为凝结着文化密码与生活智慧的载体。然而，当我们惊叹于豆腐的风味万千时，往往忽略了其背后的科学原理：为何豆浆遇盐卤、石膏会凝固成软嫩的豆腐？不同凝固剂如何造就南、北豆腐的口感差异？这些藏在豆腐软嫩肌理里的化学奥秘，恰恰是理解这一“国民食材”的关键。基于此，本文将从历史、化学和饮食三个维度展开：先追溯豆腐从汉代起源到融入民俗的发展脉络，还原其作为“文化印记”的形成过程；再深入解析豆浆凝固的科学原理，破解豆腐形成之谜；最后聚焦家常餐桌，展现不同种类豆腐的风味特色与烹饪应用。通过文化叙事与科学解析的结合，一起来了解豆腐背后的千年人文底蕴和化学智慧，全方位认识这一兼具“烟火气”与“科学性”的经典食材。



①【图1】日常豆腐

一、从历史深处走来

纪录片《风味》如是说道：“两千多年前，一次豆浆与盐卤的意外相逢，我诞生了。从此，大豆的命运被彻底改变，没有哪一样食物能像我一样，深入中国人的内心世界与日常生活。我有着最中国的口味，也有着最中国的意味。”

蒸笼的缝隙里水汽氤氲，像

被惊动的云絮猛地漫过灶台。竹箪子上的豆腐块表面残留着粗布的肌理，颤巍巍的，仿佛刚从山溪里捞出来的鹅卵石，温润细腻，诉说着千年炎黄血脉的家长里短。

据史料记载，“豆腐”最早的历史可以追溯至汉代。明代李时珍（约公元1518~1593年）于《本草纲目》记载“豆腐之法，始

于汉淮南王刘安”，宋代朱熹（约公元1130~1200年）也在《豆腐》诗中自注“世传豆腐本乃淮南王术”，由此可见，豆腐的诞生，归功于淮南王刘安（约公元前179~122年）炼丹求仙时无意中促成的那场豆汁与石膏的际遇。自此，豆腐悄然融入中华民族的日常生活，与炎黄子孙休戚与共，相濡以沫。

民俗有言“二十五，磨豆腐”。传说灶王上天后要向玉皇大帝汇报人间情况，便在农历腊月二十五这天会下界视察，查看人间善恶，决定来年福祸。人们为了祝愿来年的风调雨顺，便在腊月二十五这天谨言慎行，并且磨豆腐，吃豆渣以表清苦，希望求得玉皇大帝降福。因此，豆腐便寄予了人们对美好未来的无限向往与憧憬。

豆腐富含大量蛋白质，对人体的营养作用媲美肉类，因此豆腐便成了古时贫穷百姓的肉类“代餐”，也承载着百姓的喜与怒，笑与泪，成为人们铭记历史、抒发情感的独特载体。秦朝末年，长平百姓用火烧水煮之法烹饪豆腐，将烧豆腐谓之“白起肉”，怒斥秦军的暴行；三国时期，剑门关

百姓以豆腐慰劳败退的蜀兵，“剑门关豆腐”随姜维率军反败为胜而名声大噪。

豆腐，是从丹炉中诞生的奇迹，它早已越过餐桌的边界，在寻常巷陌的“卖豆腐嘞”的一声声吆喝中获得新的生命，摇身一变成为中华民族的文化胎记。

二、破解豆腐凝固的化学密码

豆腐制作工序依次为泡豆、磨浆、煮浆、点卤和压制（图2）。古时农人精心挑选饱满黄豆，以清水浸发至圆鼓饱满，研磨成乳白浆液。经细滤去渣，再用文火慢熬出醇厚豆香，待豆浆微微转凉，兑入卤水轻轻搅动。待到最后乳浆渐凝，便聚成温润如玉、清香沁人的豆腐。豆浆本是流动

的液体，为何会在石膏点化的霎那褪去流水般的流动，凝固成宛若羊脂般的质地？

凝胶形成是豆腐凝固的关键过程。其形成机制目前普遍认为是大豆贮藏蛋白（包括大豆球蛋白和 β -伴大豆球蛋白）在加热条件下分子内部疏水基团暴露，聚集形成大豆蛋白聚集体；聚集体在盐离子、氢质子或酶等凝固剂作用下，形成致密、有序和稳定三维蛋白网络结构，呈宏观豆腐凝胶^[1-3]。

(1) 豆浆热处理

煮浆是豆腐加工中必不可少的工序，也是豆腐凝胶形成必需过程。首先，豆浆富含丰富水分与蛋白质，极易滋生大量微生物，如芽孢杆菌、乳酸菌和大肠



图2 豆腐制作工序（图片来源于豆包 AI）

杆菌等^[4]，易造成豆腐腐败变质。豆浆的热处理可以高温杀灭污染腐败的微生物，延长豆腐产品的保存时间^[1]。

其次，豆浆中含有凝集素等抗营养因子，他们这些“小障碍”，会拦着身体吸收蛋白质。抗营养因子可以抑制胰蛋白酶的活性，使蛋白质难以分解生成多肽，并影响后续多肽进一步分解生成氨基酸，从而妨碍人体对于蛋白质等营养物质的吸收，极大削弱了豆腐的营养效果。同时，豆浆中的内源性蛋白酶、脂肪酶、脂氧合酶等催化氧化进行，产生挥发性异物成分，它们就像一些“怪味制造者”，使豆浆产生难闻的气味。热处理通过高温破坏抗营养因子、酶的空间结构，使得胰蛋白酶抑制剂失活，同时

脂氧合酶催化的脂质酶促氧化过程被抑制，醛、酮等挥发性异味成分含量降低，大大改善了豆浆的保存期限与风味口感^[1-2]。

最后，豆浆热处理工序对豆腐凝胶形成起重要作用^[2]。热处理最重要的作用在于使蛋白质“做好聚集准备”。豆浆的蛋白质（主要是大豆球蛋白和 β -伴大豆球蛋白），平时就像裹着件“防水外套”，也就是疏水基团，这“外套”都藏在里面，蛋白质之间各玩各的，互不搭理。蛋白质在热处理作用下发生热变性，“防水外套”露了出来，而且蛋白质表面的-SH（巯基）也变多了，利于蛋白分子之间聚集作用，这样蛋白质就愿意凑到一块儿了。简单说，加热就是给蛋白质“松绑”，让它们之后能顺利

凝成豆腐。

(2) 凝固剂点化

豆浆想变成豆腐，得先让里面的大豆蛋白“动起来”——加热后蛋白会发生变性，原本藏在内部的疏水基团露出来，有了聚集的苗头，但这些变性蛋白只是偶尔碰撞聚结，形成松散的“预备团队”，想变成有弹性、能成型的豆腐，还得靠凝固剂来“牵线搭桥”，推动蛋白们进一步有序交联，搭起稳固的空间网络，这个过程就是胶凝作用^[2]。

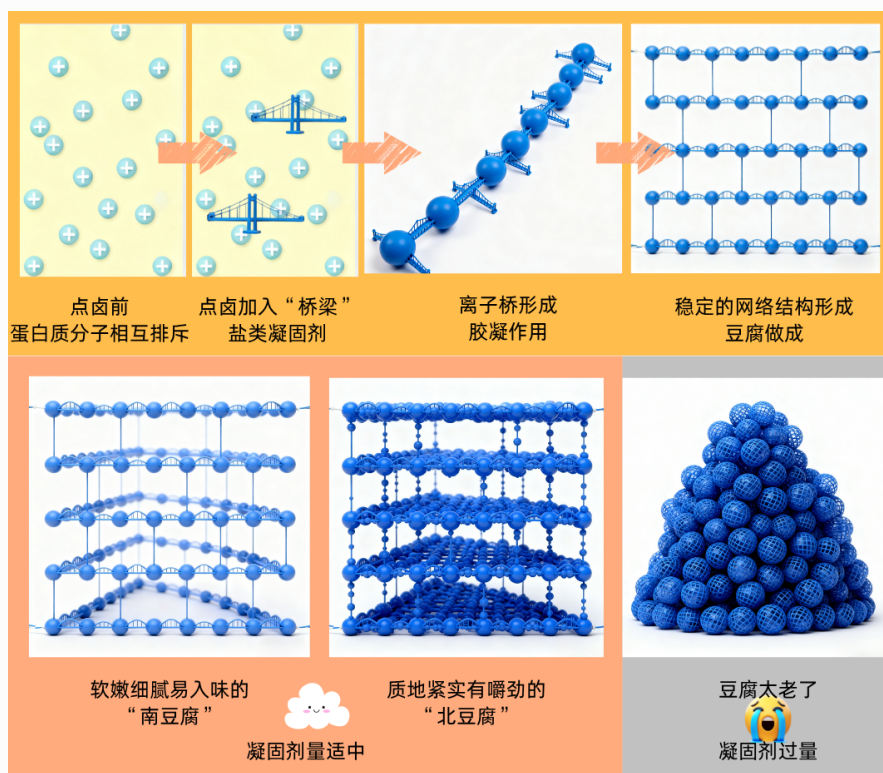
如表1所示，目前常见的凝固剂主要有3大类：盐类凝固剂、酸类凝固剂与酶类凝固剂^[2-3]。它们各有专属“搭网技巧”，原理不同，做出来的豆腐口感也大不一样。

表1 制作豆腐用的凝固剂类型、作用机理及口感特征

凝固剂类型	常见凝固剂代表	化学式	作用机理	常见豆腐类型	风味口感
盐类凝固剂	卤水(氯化镁等)和石膏(硫酸钙)	MgCl ₂ (氯化镁) CaSO ₄ (硫酸钙)	通过离子中和蛋白表面电荷、破坏相互斥力促使聚集	南豆腐 北豆腐	风味最为大众接受，南豆腐软嫩细腻，易入味；北豆腐质地紧实、有嚼劲
酸类凝固剂	葡萄糖酸- δ -内酯	C ₆ H ₁₀ O ₆	通过降低pH破坏大豆蛋白胶体稳定性使其凝固	内酯豆腐	内酯豆腐口感嫩滑，质地细腻，豆香清淡爽口
酶类凝固剂	木瓜蛋白酶和谷氨酰胺转氨酶	蛋白质类酶其分子结构极其复杂(包含一级结构、二级结构、三级结构甚至四级结构)	通过催化蛋白交联或水解形成凝胶网络	酶豆腐	质地Q弹，口感近似果冻，豆香味也比较清淡

第一类是盐类凝固剂，它是传统豆腐加工也是传统豆腐加工的“老搭档”，主要包括盐卤（有效成分为六水氯化镁、硫酸镁、氯化钙）和石膏（有效成分为硫酸钙），用它们做的南豆腐、北豆腐最受大众喜爱。盐类凝固剂的核心“魔法”，也就是盐类凝固剂促使豆腐凝胶生成的作用机理主要有3种：阳离子桥学说、盐析作用和pH降低效应，其中阳离子桥效应认可度较高^[2]。根据阳离子桥效应（图3），做豆腐就像搭积木需要连接件，加入的盐里的钙、镁离子就像一个“小桥梁”，把原本互相排斥、各飘各的豆浆里的蛋白质分子连到一块儿，让流动的豆浆慢慢凝成软嫩的豆腐。

如图3所示，点卤前，豆浆中的蛋白质分子带同种电荷，互相排斥着“各飘各的”，很难聚在一起，加入凝固剂后，凝固剂中的钙、镁离子与蛋白质分子之间形成“钙桥”或“镁桥”连接方式，这些“小桥梁”会把不同蛋白分子连起来，使得正负电荷得以通过“桥梁”传递，实现电荷中和，破坏了胶体粒子的电性，使蛋白质之间的静电斥力减弱，使得蛋白质分子之间结合更为紧密，进一步加快蛋白质凝胶形成速度，增加蛋白网络结构稳



【图3】盐类凝固剂豆腐凝胶生成机理示意图，展示豆腐制作中蛋白质分子在不同盐浓度下的变化过程

定性，进而凝固生成豆腐^[3]。不过“桥梁”多少很关键：盐离子浓度太高，蛋白网络，豆腐就会“变老”，吃着干涩粗糙；倘若盐离子浓度过高，“桥梁”搭得太密，蛋白质网络挤成一团，此时的豆腐凝胶保不住水分，吃着干涩粗糙，俗称“老了”；浓度刚好时，“桥梁”疏密适中，要么形成软嫩细腻、易入味的南豆腐，要么变成质地紧实、有嚼劲的北豆腐。所以，我们通常称豆腐“嫩”或“老”，往往取决于所加的凝固剂（即我们俗称的“盐卤”和“石膏”）的剂量^[4]。

第二类是酸类凝固剂，代表有食用醋、柠檬酸和葡萄糖酸- δ -内酯。它们的“魔法”更偏向“环境调节师”，通过降低豆浆的pH值、提高酸度，打破蛋白质原本的电荷平衡——原本带着同种电荷、互相排斥的蛋白，电荷消失后就会主动相互吸引，慢慢聚集形成凝胶。这种凝固方式温和，做出来的内酯豆腐口感嫩滑如布丁，质地细腻无颗粒，豆香清淡爽口，特别适合直接凉拌或做汤。

第三类是酶类凝固剂，比如

木瓜蛋白酶、谷氨酰胺转氨酶，它们的“魔法”堪比“精准剪刀手”。这些酶会精准剪断蛋白质的部分结构，让蛋白分子的活性位点暴露出来，促使它们有序聚集，搭成更细腻的凝胶网络。用这种凝固剂做的酶豆腐，质地Q弹得像果冻，豆香味清淡却很纯粹，口感很独特。

三、在现代餐桌盛大登场

豆腐富含优质植物蛋白、低脂低胆固醇，是健康饮食的重要组成部分。作为“植物肉”的代表，它含有的大豆蛋白属于完全蛋白，氨基酸组成与人体需求高度匹配，且经加热加工后消化吸收率较生大豆显著提升，能高效为人体补充组织修复所需的蛋白质原料。因此，豆腐在各大菜系中不乏其身影。石膏南豆腐温润似晨露白荷，翡翠白玉汤中吸尽鲜醇，入口沁脾（图4）；而盐卤北豆腐方正如糙青砖，麻婆豆腐里吸足辣香脂鲜，配饭尽显江湖豪情（图5）。还有徽州毛豆腐裹雪白菌丝，煎焦蘸辣酱，菌鲜与豆醇交织；云南石屏豆腐紧实耐烤，炭火烤出焦斑，抹腐乳鲜香能佐三碗饭；更有绍兴臭豆腐青灰藏奇臭，炸后外酥里嫩，蘸甜辣酱香气勾人（图6）。

豆腐富含优质植物蛋白、低脂低胆固醇，是化学赋能健康饮



④【图4】翡翠白玉汤



④【图5】麻婆豆腐

食的绝佳代表。豆腐的妙处，正在于它的不争。它既吸得进山珍

海味的浓厚，也守得住粗茶淡饭的拙朴，在千滋百味里，始终透

着一股温润的底气，恰如中国人的骨子里的处世哲学。



➤ 【图 6】绍兴油炸臭豆腐

参考文献

- [1] 李倩如. 豆腐加工过程中蛋白质的结构转变、相互作用以及胶体性质的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2024. DOI:10.27169/d.cnki.gwqgu.2024.002361.
- [2] 王宸之, 陈宇, 万重, 等. 豆腐凝胶成型机理研究进展[J]. 东北农业大学学报, 2017, 48(10): 88-96. DOI:10.19720/j.cnki.issn.1005-9369.2017.10.011.
- [3] 卢森. 盒装豆腐腐败菌来源分析及减控技术研究[D]. 新乡: 河南科技学院, 2023. DOI:10.27704/d.cnki.ghnkj.2023.000110.
- [4] 王锦娟, 薛亮, 焦桓. 以“豆腐的制作”畅谈胶体知识与水凝胶的前沿应用[J]. 化学教育(中英文), 2021, 42(17): 1-4. DOI:10.13884/j.1003-3807hxjy.2020080086.

沙利度胺药物的 发展与影响

作者：李成彬，蒋丁晓，马一鸣；Email: jdx013@ciac.ac.cn



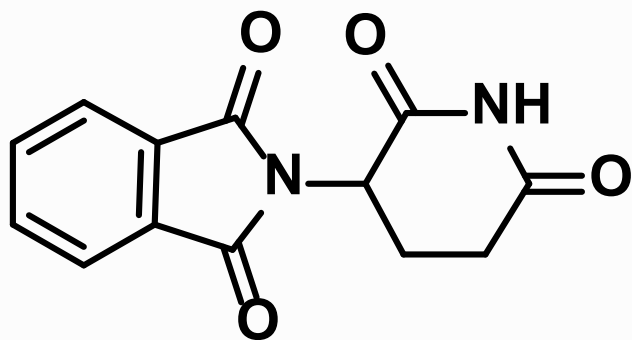
如果盘点历史上重大的药物安全事件，那么一定绕不开反应停事件。该事件的影响范围之广，对用药者伤害之深，不仅引起了全球范围内的恐慌，也极大地推动了全球范围内的对药物监管的规范。

反应停的灾难

1954年，德国制药公司 Grünenthal 公司的研究人员 Wilhelm Kunz 博士和 Herbert Keller 博士在谷氨酸研究的副产物中发现了沙利度胺（图 1 和图 2）^[1]。该化合物在随后的动物实验及临床试验中展现出良好的中枢抑制效果。然而在 20 世纪 50 年代，德国乃至大多国家对上市药物并没有严格的监管与审查，因此沙利度胺并没有在怀孕动物身上进行测试，这也为后续的悲剧埋下伏笔。1956 年，沙利度胺以商品名 Contergan 获得了生产授权，并于次年作为无成瘾性的非巴比妥类镇静剂在德国全国范围内进行销售。沙利度胺一经上市，便迅速成为最受欢迎的助眠剂之一。当时市面上的所有助眠剂都存在明显的毒性，过量的助眠剂会导致使用者死亡。相较之下，沙利度胺只会导致疲劳与镇静而无明显毒性，这在当时被认为是一项重要的药物发现。正因如此，医生

也向孕妇推荐使用沙利度胺治疗失眠、焦虑乃至孕吐，服用沙利度胺很快成为了欧洲、南美等 20 多个国家和地区抑制孕期身体不适的重要手段之一。

1960 年 9 月，Grünenthal 公司向美国 FDA 申报沙利度胺，由于临床数据不足，美方拒绝了 Grünenthal 公司的上市请求。正在双方胶着之时，欧洲的婴儿畸形率达到前所未有的新高。在这些畸形婴儿中，四肢畸形最为普遍，由于四肢极短形似海豹，这些孩子们被称为“海豹儿”，其罪魁祸首正是沙利度胺。然而直至 1961 年 11 月，德国医生 Widukind Lenz 和澳大利亚医生 William McBride 终于找到了这灾难的源头。当月，沙利度胺便在世界范围内的市场下架。但此时沙利度胺距离上市已经过去了 4 年，期间导致了超过 10,000 名特征性畸形患者出生。尽管获得了赔偿与经济支持，但药物带来的痛苦伴随了各国沙利度胺幸存者的一生。



①【图 1】沙利度胺的结构式^[1]



①【图 2】沙利度胺糖浆^[1]

而在这场医疗灾难中，只有美国幸免于难。得益于美国食品和药物管理局（FDA）的严格审核，直到 Grünenthal 公司从市场撤出沙利度胺产品的时候，沙利度胺在美国的药物许可申请仍处于审理中。而在这场灾难的影响下，各国均通过了法律以加强对医疗产品的监管和标准化测试。例如美国于 1962 年通过了《科夫沃 - 哈里斯修正案》^[2]，明确规定了新药必须完成三期临床试验才能上市。该框架性规定影响深远并沿用至今。而德国也在 1978 年通过了新的《药品法》，建立了统一且全面的医疗产品控制流程，同时也建立起完善的药品损害责任制度。

药物机制

沙利度胺是如何造成这场惨剧的呢？目前药物的作用机制依然在不断探索中。而 2010 年东京工业大学的 Hiroshi Handa 团队发现了沙利度胺的靶点是 E3 泛素连接酶复合物中的 Cereblon（CRBN）蛋白，由此基本阐明了沙利度胺的作用机制（图 3）。首先，沙利度胺是易溶于水的谷氨酸衍生物，其存在 S 与 R 两种旋光异构体。沙利度胺的一种异构体具有致畸性，且两种异构体会在生理 pH 条件下快速相互

转化，这意味着生理环境下各种用药方式都不能阻止沙利度胺的致畸作用^[3]。而沙利度胺的致畸性，来自于它独特的作用机制。沙利度胺的靶蛋白 CRBN 像是人体内的“清道夫”，可以对特定的蛋白进行标记，被标记的蛋白最终会被蛋白酶体降解。Sall4 和 p63 是两种非常重要的转录因子，它们像是基因的开关，可以控制胎儿肢体的发育。在正常生理环境下，CRBN 与两种转录因子并没有结合能力。但在孕妇服用沙利度胺后，药物的活性物质可以进入胎儿体内，进而促进 CRBN 与 Sall4 和 p63 的结合。这种异常的结合会导致 Sall4 和 p63 蛋白被泛素化标记并降解。而以上两种转录因子的缺失，最终会影响胎儿四肢和特定器官的发育^[4]。

新发展

经历了如此重大的药物安全事件，沙利度胺便在药物市场上消失。尽管期间不断有研究发现沙利度胺对免疫性疾病以及癌症有着良好的治疗改善效果，但人们对于沙利度胺显然更加谨慎了。一直沉寂到 20 世纪末，沙利度胺才被 FDA 重新批准用于治疗特定类型的麻风病和多发性骨髓瘤^[5]。而再度出山的沙

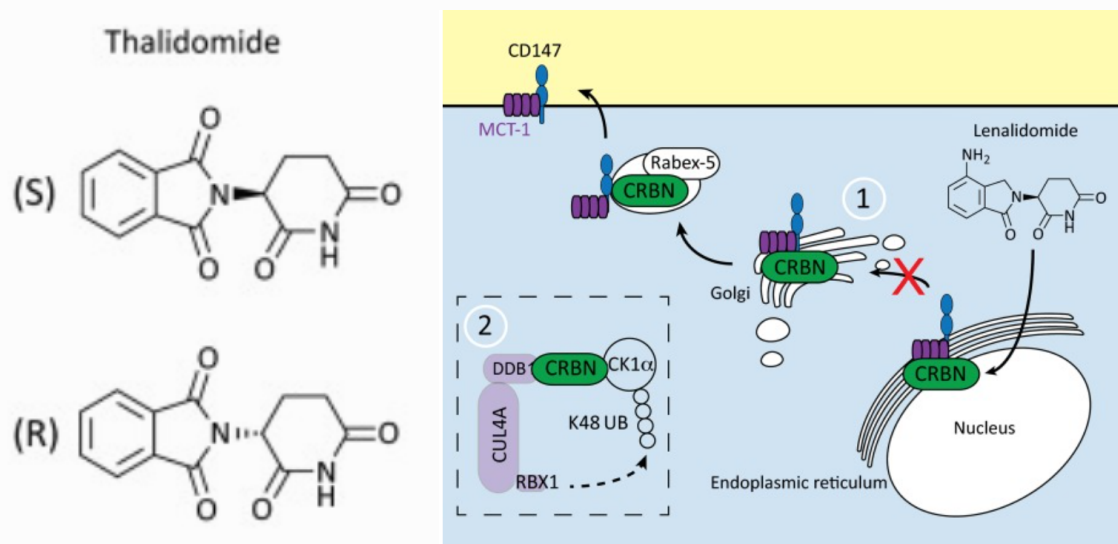


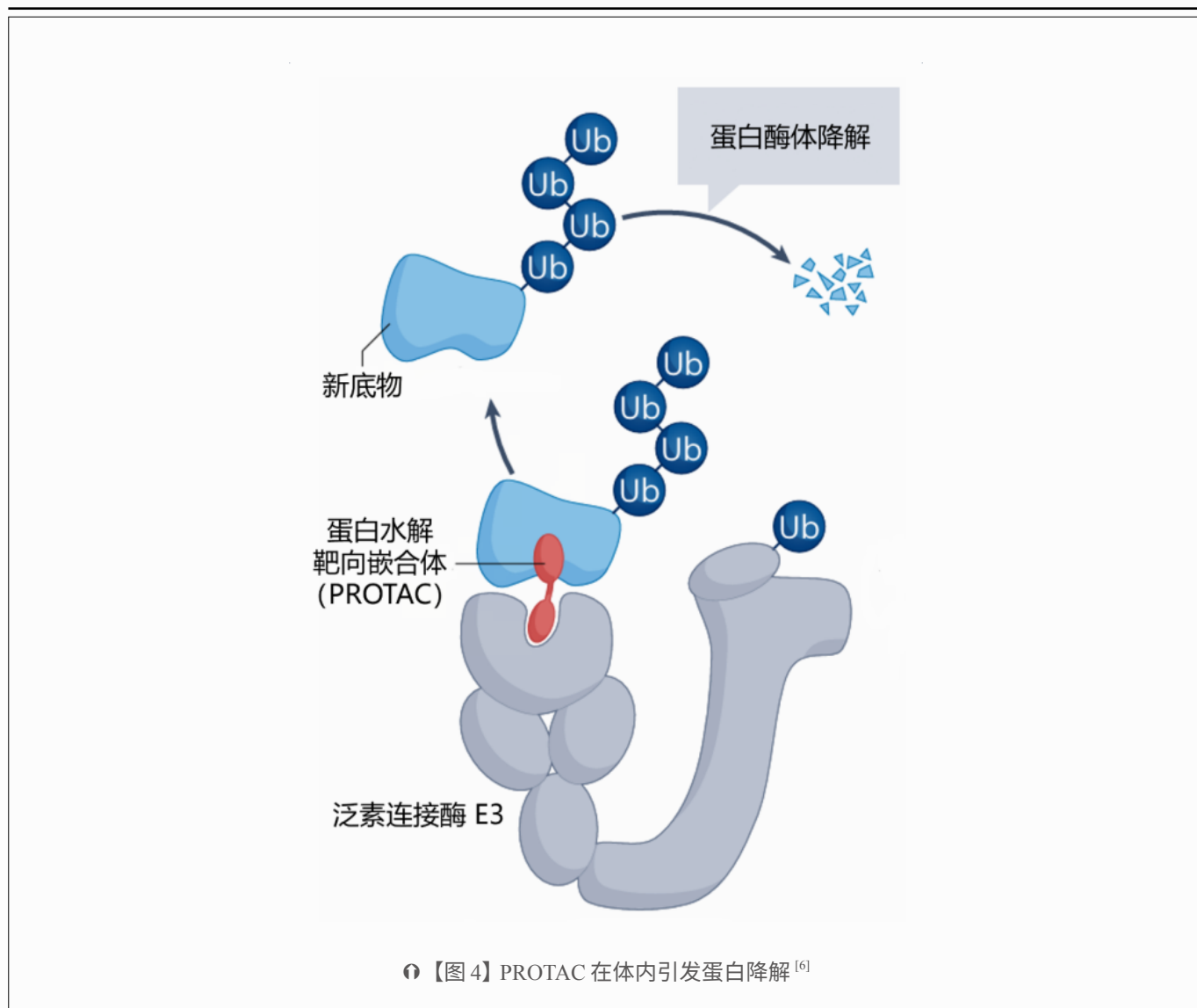
图 3 沙利度胺的两种构象与其在体内的作用^[5]

利度胺，在经历了严格的药物审查，规范了药物的使用范围后，终于不再制造悲剧，而是在新的医学领域发光发热。

沙利度胺作为药物回归大众的视野，源于 1964 年的偶然发现。麻风病是由麻风分枝杆菌引起的皮肤和周围神经的慢性肉芽肿性感染。尽管沙利度胺对麻风分枝杆菌没有杀菌或抑菌的作用，但其能够通过调节促炎细胞因子 $\text{TNF-}\alpha$ 的水平实现对临床症状

的减轻。最终沙利度胺于 1998 年 8 月在美国获准用于麻风结节性红斑的治疗^[5]。

在新药物发展中，沙利度胺也有着独特的位置。正如之前所介绍的，沙利度胺的靶点 CRBN 具有标记蛋白使其降解的功能，据此发展出一系列被称为蛋白水解靶向嵌合体（PROTAC）的模式药物（图 4）。PROTAC 是一种双功能的分子，它的三部分包括细胞内靶蛋白的配体、连接子和以沙利度胺



为代表的 E3 泛素连接酶配体。药物通过形成稳定的三元复合物，驱动靶蛋白靠近 E3 连接酶，引发靶蛋白泛素化并随后被蛋白酶体识别与降解。与传统药物相比，PROTAC 的用药量少、选择性高。与传统小分子相比，PROTAC 不太容易增加目标过度表达或突变，可以解决由传统抑制剂引起的获得性耐药性。此外，PROTAC 的治疗靶点十分广泛，一些不可成药的靶点同样可以实现降解治疗。目前已经有 3 种 PROTAC 药物进入了 III 期临床试验，同时有超过 50 种候选药物也在推进着试验评估^[7]。

结语

从历史上恶名昭彰的致畸毒药到如今的药物新星，沙利度胺的历史不仅体现了人类对药物深入认知的历程，也证明了药物再评价体系的重要性。这段惨痛的历史告诫我们，药物再评价体系在药品的整个生命周期中起到至关重要的作用，它是保障公众用药安全和效果、促进合理用药以及提升药品质量的“生命线”。只有对药物作用机制进行深入且全面的研究，并在临床上实现严格且周密的审查，人类才能把握好药物这把“双刃剑”，避免沙利度胺的悲剧再度发生。

参考文献

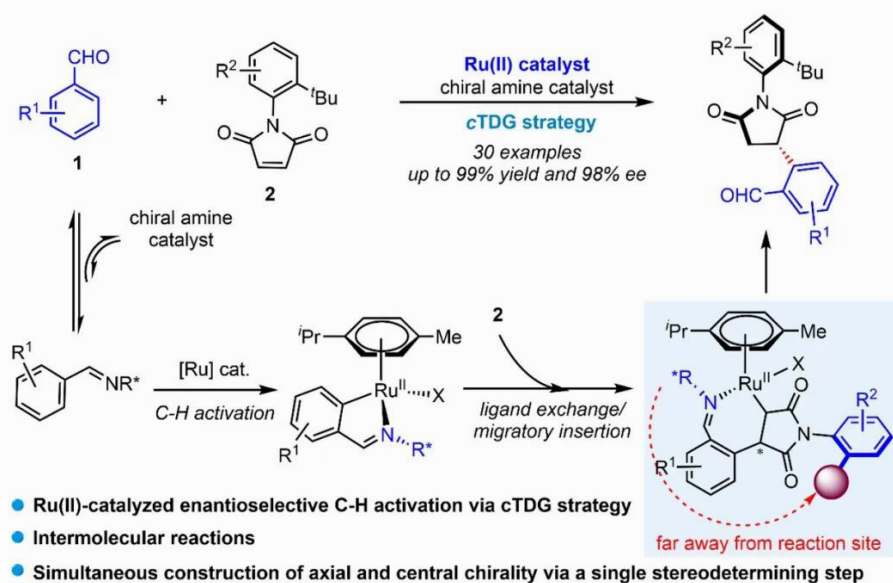
- [1] <https://www.thalidomide-tragedy.com/the-history-of-the-thalidomide-tragedy#Development>.
- [2] 丁锦希, 姚雪芳, 刘莹芳, 等. 科夫沃-哈里斯修正案(连载二)[J]. 中国食品药品监管, 2018, (4): 37-44.
- [3] <https://www.thalidomide-tragedy.com/thalidomide-the-active-substance-in-contergan-and-its-consequences>.
- [4] Ito T, Ando H, Suzuki T, et al. Identification of a primary target of thalidomide teratogenicity[J]. Science, 2010, 327(5971): 1345-1350.
- [5] Teo S, Resztak K, Scheffler M, et al. Thalidomide in the treatment of leprosy[J]. Microbes Infect, 2002, 4(11): 1193-202.
- [6] Millrine D, Kishimoto T. A brighter side to thalidomide: its potential use in immunological disorders[J]. Trends Mol Med, 2017, 23(4): 348-361.
- [7] Cai H, Zhang T, Hu Y. Global landscape of PROTAC: Perspectives from patents, drug pipelines, clinical trials, and licensing transactions[J]. Europ J Medi Chem, 2025, 299: 118055-118069.

【CCS Chem.】

浙江大学化学系史炳锋团队： 钌催化分子间不对称碳氢烷基化同时 构建中心手性和轴手性

来源：CCS Chemistry 公众号；原文链接：<https://mp.weixin.qq.com/s/AcuYJDD5fuiY-TTzWv1dAA>

近日，浙江大学化学系史炳锋课题组报道了一种基于手性四氢-1-萘胺为瞬态导向基团的钌催化不对称碳氢键活化新策略，成功实现了苯甲醛类化合物与 *N*-芳基马来酰亚胺的分子间不对称碳氢键烷基化反应，通过单一立体决定步同时构建中心手性和轴手性。该反应展现出优异的底物普适性和良好的官能团兼容性，克级规模反应及后续合成转化实验进一步验证了该方法的合成实用性。在机理研究方面，作者分离并表征了关键的环钌中间体，并通过系列实验证实碳氢键活化步骤为可逆过程，推测反应中可能存在 1,5-钌迁移路径。基于实验证据与文献支持，作者提出了合理的催化循环模型及立体选择性控制模式。该研究为发展钌催化不对称碳氢键活化反应提供了新思路。



①【图 1】本文设想：以手性胺为配体基于瞬态导向策略的不对称碳氢键活化

背景介绍:

过渡金属催化的不对称碳氢键活化是构建手性分子的一种高效、原子经济性策略。近年来,瞬态导向策略因无需预安装和脱除导向基团,在碳氢键官能团化反应中展现出显著优势。然而,该策略目前主要集中于钌催化体系,并在构建单一手性中心方面得到应用,在其他金属催化体系中的应用

仍相对有限。钌(II)催化剂因价格低廉、对水和空气稳定等优点,在碳氢键活化中备受关注。将瞬态导向策略与钌催化结合,有望发展出兼具高效率与高步骤经济性的不对称合成方法。

本文亮点:

由于手性胺配体通常位阻较小、空间构象灵活,且配体手性

中心距离反应位点较远,因此基于瞬态导向策略的钌催化不对称碳氢键活化此前仅局限于分子内反应,分子间反应尚未实现。本研究首次将该策略成功拓展至钌催化的分子间不对称碳氢键活化反应,不仅实现了广泛的底物适用性,还能够兼容含药物分子骨架的苯甲醛衍生物(图2)。通过克级制备及多种合成转化研

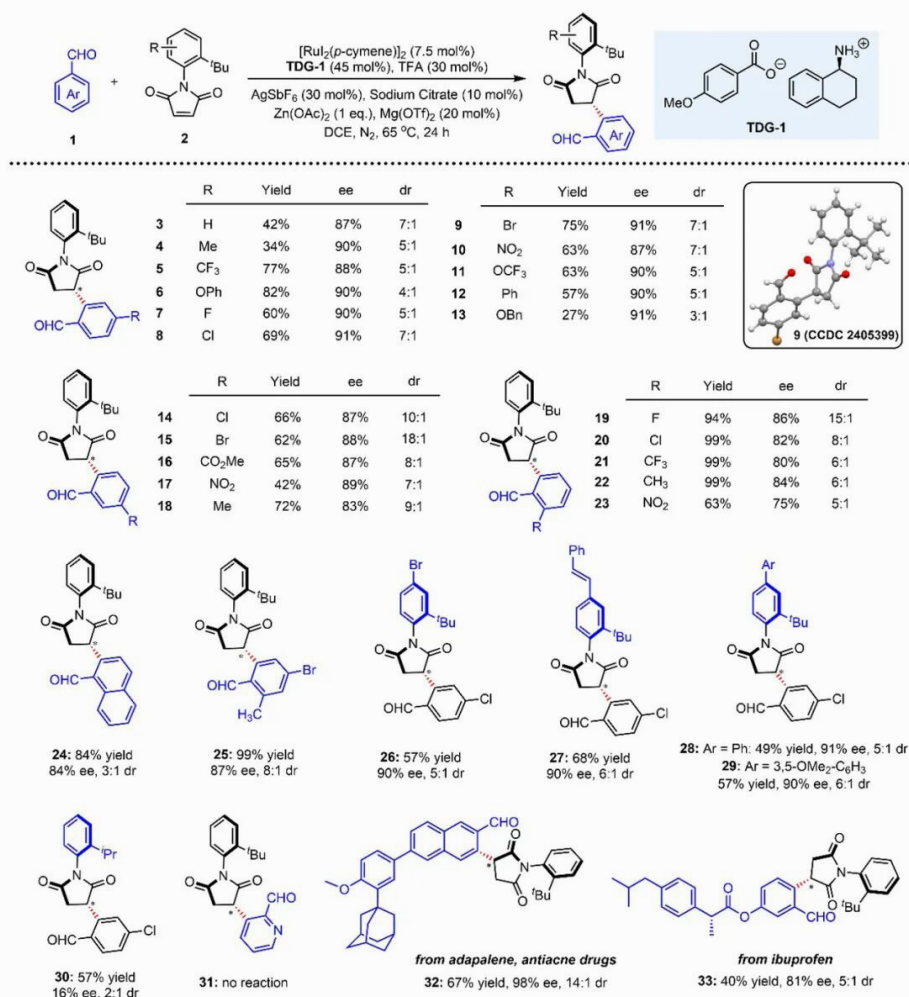


图2 底物范围

究, 作者进一步验证了该方法的合成潜力。机理实验表明, 碳氢键活化步骤为可逆过程, 并提示可能存在 1,5- 钌迁移路径。基于上述发现及文献基础, 作者提出了合理的催化循环与手性控制模型 (图 3)。

总结与展望:

浙江大学化学系史炳锋课

题组基于钌 / 手性瞬态导向策略 (cTDG) 实现了苯甲醛类化合物与 N- 芳基马来酰亚胺的不对称碳氢键烷基化反应, 高效构建了系列兼具中心手性和轴手性的 N- 芳基马来酰亚胺衍生物。该方法底物适用范围广, 合成转化潜力强。关键环金属中间体的分离与机理研究为理解反应路径及立

体选择性控制提供了重要依据。

相关研究成果以 Research Article 形式发表在 *CCS Chemistry*, 论文的第一作者为浙江大学研究生惠馨赏, 浙江大学求是特聘教授史炳锋为通讯作者。该研究获得了国家重点研发计划、国家自然科学基金、浙江省科技厅、中央高校基本科研业务费等项目的支持。

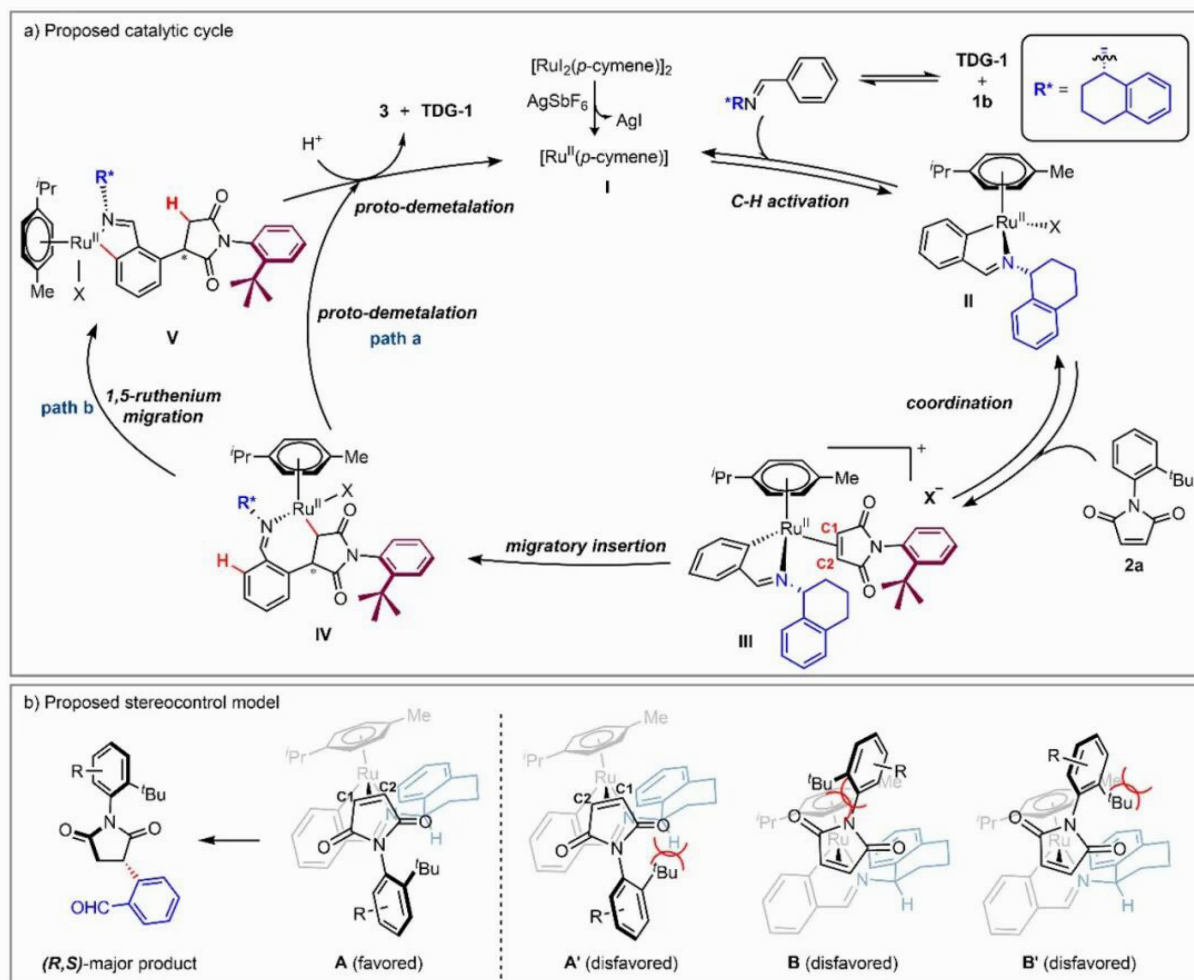


图 3 可能的催化循环和手性控制模型

文章详情:

Simultaneous Construction of Axial and Central Chirality via Ru(II)-Catalyzed Enantioselective Intermolecular C–H Alkylation

Xin-Shang Hui, Liang-Yi Bao, Yi Ding, Ke-Xin Kong, Tao Zhou, Qi-Jun Yao, Tian-Yu Jiang and Bing-Feng Shi*

Cite this: *CCS Chem.* 2026, 8, 793–802文章链接: <https://doi.org/10.31635/ccschem.025.202505595>

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