



化夢通訊

CHEMICAL NEWSLETTER

No.15

2026年08月15日



CCS
中国化学会

CHINESE
CHEMICAL
SOCIETY



中国化学会 主办
中国科学院长春应用化学研究所



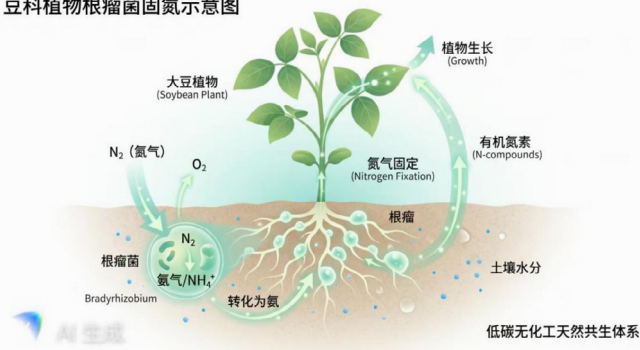
主办单位: 中国化学会 中国科学院长春应用化学研究所
刊期: 半月刊
主编: 杨小牛 (中国科学院长春应用化学研究所)
副主编: 刘正平 (北京师范大学)
总编辑: 孙智权 **副总编辑:** 余婉宁
编辑: 朱真逸 **版面设计:** 许 霞
联系电话: 0431-85262016
电子邮箱: hctx@ciac.ac.cn
公众号: Chemical Newsletter
投稿网址: <https://www.scicloudcenter.com/CN/>
电子刊: <https://www.chemsoc.org.cn/library/newsletters/>
中国化学会秘书处
地址: 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

新闻快递

- 华东理工大学提出有机室温磷光材料全新设计策略 01
来源: 华东理工大学官网
- 电子科技大学纳米岛催化剂通用合成方法登《Nature Protocols》 01
来源: 电子科技大学新闻网
- 2026 年全国高等学校应用化学专业教学研讨会召开 01
来源: 济南大学
- 韩国团队开发新型催化剂, 高效将二氧化碳转化为乙醇 01
来源: 人民网 科技·经济
- 吉林大学第 10 种分子筛拓扑结构获国际认证, 以“吉大”命名 01
来源: 今日头条·吉林之声



豆科植物根瘤菌固氮示意图



23

科技新闻

英国上议院委员会呼吁禁用非处方跳蚤
蜱虫防治药剂 02

来源: CHEMISTRYWORLD

新铁器时代: 金属燃料技术稳步推进 04

来源: C&EN

被严重低估的“护肝饮料”, 每天 1-2 杯,
肝病风险悄悄降低 09

来源: 人民日报健康客户端公众号

曾被质疑“瞎胡闹”的清华团队, 补齐电
力装备最后几块国产“拼图” 12

来源: 中国科学报公众号

ACS 专刊热文: 企业视角谈聚合物产学
合作 | Polymer Science & Technology 16

来源: ACS 美国化学会公众号

科普大赛

※ 氮元素——春雷造肥的大气化学原理 19

作者: 唐子龙

※ 曹丕问瓜记——“浮瓜沉李”里的冷 25
甜科学

作者: 马劲, 高振董

※ 高温天气下, 大棚植物为何不易发生 32
致死性热害

作者: 伏成玉

科研进展

CCS Chemistry 综述推荐 | 超分子聚合 38
物科学的九大挑战和未来机遇

来源: CCS Chemistry 公众号

中石油(上海)新材料研究院携手美国 42
化学文摘社联合发布《全球高分子材料

前沿: 数据驱动的创新趋势全景分析》
报告

来源: ACS 美国化学会公众号



26

来源：华东理工大学官网

华东理工大学提出有机室温磷光材料全新设计策略

近日，华东理工大学化学与分子工程学院费林加诺贝尔奖科学家联合研究中心马骧教授团队，提出主体分子去芳构化的全新有机室温磷光材料设计策略，实现了有机室温磷光寿命的大幅提升。该突破解决了传统纯有机室温磷光材料寿命短、效率低的行业瓶颈，为信息加密、生物成像、有机发光器件等领域的应用提供了全新材料基础。相关研究成果发表于国际顶级化学期刊《德国应用化学》。

原文链接

<https://www.ecust.edu.cn/2026/0809/c809a202588/page.htm>

来源：电子科技大学新闻网

电子科技大学纳米岛催化剂通用合成方法登《Nature Protocols》

近日，电子科技大学材料与能源学院夏川教授团队在《Nature Protocols》发表研究成果，开发出一种通用的纳米岛催化剂合成方法。该方法可精准控制催化剂的尺寸、组成与界面结构，适用于多种金属-氧化物体系纳米岛催化剂的可控制备，为电催化二氧化碳还原、水分解及氮还原等重要反应的催化剂设计提供了标准化的合成方案，将大幅推动相关领域的研究效率。

原文链接

<https://news.uestc.edu.cn/info/1005/42675.htm>

来源：济南大学

2026 年全国高等学校应用化学专业教学研讨会召开

近日，由教育部高等学校化学类专业教学指导委员会主办的 2026 年全国高等学校应用化学专业教学研讨会在济南举行，来自全国 90 余所高校的 300 余名专家学者参会。会议围绕应用化学专业一流建设、产教融合、AI 赋能化学教学和创新人才培养等议题展开深入研讨，同时启动了山东省应用化学“111 计划”，推动全国应用化学专业教学质量与人才培养水平整体提升。

原文链接

<https://www.ujn.edu.cn/info/1047/350773.htm>

来源：人民网 科技·经济

韩国团队开发新型催化剂，高效将二氧化碳转化为乙醇

近日，韩国成均馆大学化学系科学家研制出一种新型铜基复合催化剂，可高选择性地将二氧化碳电化学转化为乙醇，乙醇法拉第效率达到 82%，是目前已报道的最高水平之一。该技术可利用工业排放的二氧化碳与可再生电力生产燃料和化工原料，为“双碳”目标下的碳资源化利用提供了新的技术路径。相关论文发表于《应用催化 B：环境与能源》杂志。

原文链接

<http://finance.people.com.cn/n1/2026/0806/c1004-40774689.html>

来源：今日头条·吉林之声

吉林大学第 10 种分子筛拓扑结构获国际认证，以“吉大”命名

近日，国际分子筛协会 (IZA) 正式审定并授予吉林大学于吉红院士团队研发的新型沸石分子筛 JU-69 全新拓扑结构代码“-JSI”。至此，吉林大学团队累计拥有 10 种以吉大首字母“J”命名、获国际权威认证的分子筛拓扑结构，成为近二十年间全球分子筛合成领域新拓扑结构创制成果最突出的研究团队之一。分子筛是石油化工、环境治理和新能源等领域的核心催化与吸附材料，新型拓扑结构的发现将推动相关产业技术升级。

原文链接

<http://m.toutiao.com/group/7672179719082213929/>



❶ 跳蚤蜱虫防治药剂所含杀虫剂可进入地表水体，导致水生无脊椎动物死亡。图片来源：©betyarlaca/ 盖蒂图片社 (Getty Images)

英国上议院委员会呼吁禁用 非处方跳蚤蜱虫防治药剂

来源：CHEMISTRYWORLD；作者：Mason Wakley；翻译：余婉宁

原文链接：<https://www.chemistryworld.com/news/house-of-lords-committee-calls-for-ban-on-over-the-counter-flea-and-tick-treatments/4023993.article>

英国上议院环境与气候变化委员会 (House of Lords Environment and Climate Change Committee) 呼吁禁用宠物用非处方跳蚤蜱虫防治药剂。该委员会发布的报告指出，这类驱虫药物被广泛过度使用，而该用药现状“并未得到可靠科学证据的支撑”。

目前多数跳蚤蜱虫防治产品，包括驱虫香波、外用滴剂与口服片剂，均采用氟虫腈 (fipronil)、吡虫啉 (imidacloprid) 等新烟碱类杀寄生虫剂 (neonicotinoid parasiticides) 为宠物提供寄生虫防护。宠物主人可通过非处方渠道购得大量此类产品，例如按月订阅的驱虫用品套餐。但这种获取模

式易导致药物滥用，造成相关化学物质在环境中累积至不安全水平。例如，英国境内多条河流的氟虫腈与吡虫啉含量处于较高水平，对水生生物构成威胁。

英国政府于去年7月公布了一项降低环境中此类驱虫剂残留量的路线图。由于该类化学物质会对鱼类、蜜蜂及其他野生生物造成危害，目前英国已禁止其在农业生产中使用。

该委员会于今年5月启动专项调查，旨在扩大监管覆盖范围，对所有品类的宠物用驱虫剂实施规范管理。调查开展以来，兽医、宠物慈善机构、零售商、生态学者及监管主体均就此类药剂的品类、应用场景、销售情况及环境风险提交了佐证材料。

委员会主席沙伊斯塔·希恩(Shaista Sheehan)表示，这份报告针对此类防治药剂的环境影响“提出了严肃的质疑与担忧”。她将此类药剂的过度使用比作“用大锤砸坚果”，直指其投入与防控收益严重不对等。

委员会的报告指出，宠物制药行业正在推动宠物主人使用此类非处方跳蚤蜱虫防治药剂。报告明确提到：“当前既无激励机制，也无强制规定要求兽药行业管控其产品的环境影响”，且“该行业本身

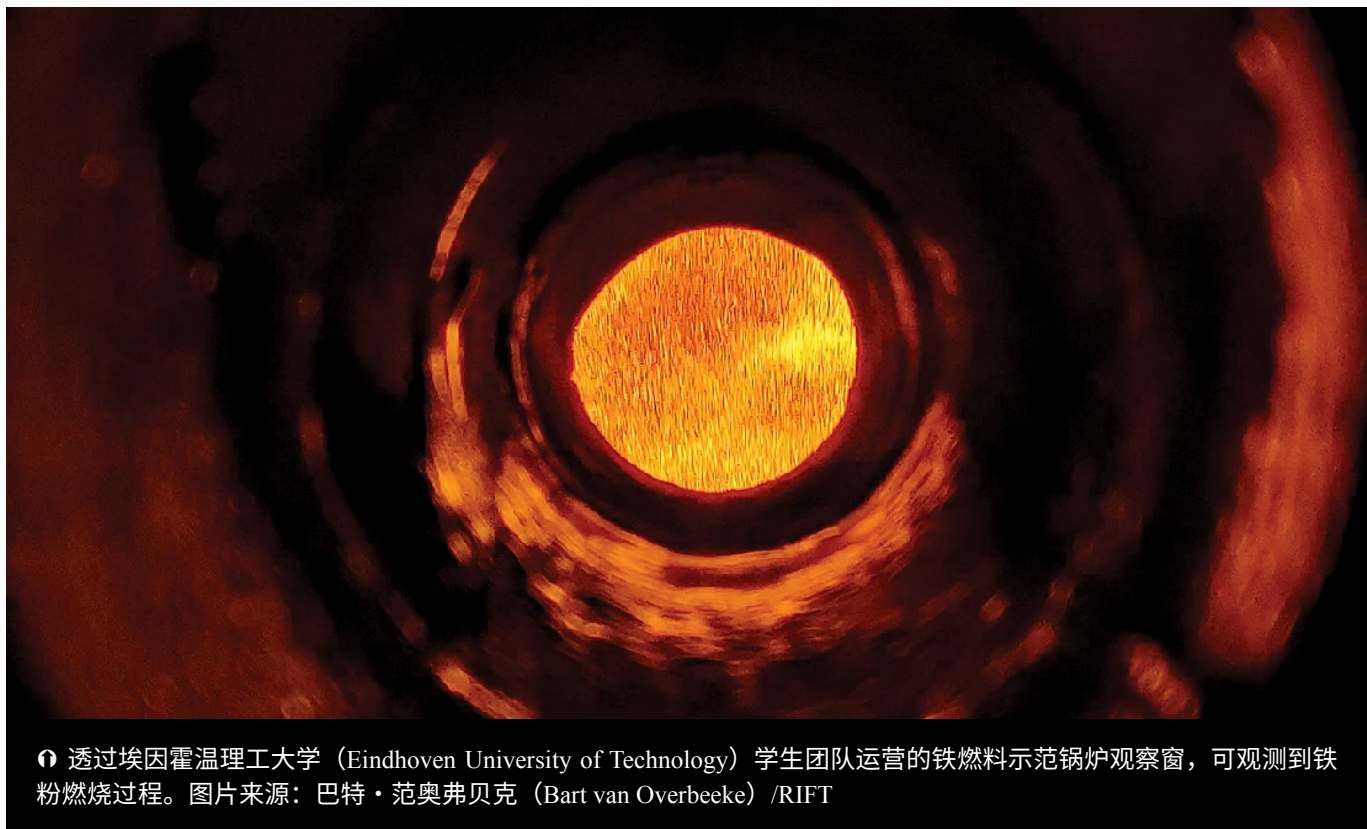
已深度嵌入监管规则与用药建议的制定框架之中”。

报告同时发现，随着异恶唑啉类(isoxazolinolines)等新型驱虫剂进入市场，含氟虫腈、吡虫啉的产品用量正呈下降趋势。但目前学界对这类新型化学物质的生态影响存在“数据缺口”，且该类物质同时属于持久性全氟和多氟烷基物质(per- and poly-fluoroalkylated substances, PFAS)。

为降低此类防治药剂的环境影响，委员会建议政府引导宠物主人与兽医减少非必要的驱虫用药。此外，委员会还提出两项配套策略：对现有及新型化合物开展更严格的环境安全性测试，填补相关研究的证据缺口。

英国伦敦帝国理工学院(Imperial College London)环境政策专家蒂莉·柯林斯(Tilly Collins)表示，上述建议“极具积极价值”。她补充道：“我们需合理使用此类杀虫剂，既要降低环境与人体的暴露水平，也要维持药剂的驱虫效力。偶尔前往兽医处咨询并接受对症治疗，远比定期购买和使用不必要的驱虫剂更为经济。”

希恩指出：“宠物主人有权获得基于实证的准确指引，了解当前临床所用的既有与新型化学药剂的用药必要性、潜在风险，以及其对宠物、居家环境与自然生态的实际影响。”



透过埃因霍温理工大学（Eindhoven University of Technology）学生团队运营的铁燃料示范锅炉观察窗，可观测到铁粉燃烧过程。图片来源：巴特·范奥弗贝克（Bart van Overbeeke）/RIFT

金属粉末已应用于火箭动力，研究人员正探索将其燃烧用于地面零碳能源

新铁器时代： 金属燃料技术稳步推进

来源：C&EN；作者：Prachi Patel；翻译：余婉宁

原文链接：<https://cen.acs.org/energy/iron-fuel-combustion-energy-heat/104/web/2026/08>

人类青睐化石燃料有充分依据：其储量丰富、成本低廉且能量密度极高。但化石燃料燃烧过程会产生大量污染物，其对气候系统与人体健康的负面影响，

已推动全球加快寻找生物质、氨和氢能等替代能源。

但还有一类材料燃烧时可释放大量的热能，且不产生有害排放

物——金属。

金属锭不易被点燃，但金属粉末极易燃烧。烟花手持火花棒的明亮火花，正是金属颗粒燃烧

产生的效果；金属粉末作为推进组分应用于固体火箭，也已有数十年历史。

如今，一群新兴的科学家和初创企业正计划通过燃烧铁粉来发电和供热。今年3月，荷兰初创企业可再生铁燃料技术公司（Renewable Iron Fuel Technology, RIFT）完成近1.31亿美元融资，用于推进其首座商业化铁燃料电站的研发落地。德国达姆施塔特工业大学（Technical University of Darmstadt）下属金属能源研究中心（Metal Energy Hub）计划改造柏林一座已关停的燃煤电厂，改用铁燃料燃烧为区域供热系统提供热源。加拿大的阿尔蒂罗能源公司（Altiro Energy）、FeX能源公司（FeX Energy）与法国的菲尼克斯能源公司（Fenix Energy）等其他初创企业，也在筹备相关示范项目。

在全球各国致力减排、地缘冲突扰动化石燃料供应的大背景下，这些前沿研究者认为，铁正是全球所需的低成本无碳燃料。

“我们将这一技术赛道称为‘新铁器时代’。”金属能源研究中心常务主任马吕斯·施密特（Marius Schmidt）表示。



❶ 铁锭不易被点燃，但铁粉可通过燃烧产生热能，为工厂与住宅供热。
图片来源：金属能源研究中心

铁的绿色化应用

“当我告知他人我在研究铁燃烧技术时，他们往往表示难以置信。”东北大学（Northeastern University）燃烧工程师、可持续燃料技术专家扬尼斯·莱文迪斯（Yiannis Levendis）说道。他表示，长期以来，人类仅将铁及其合金钢用于制造各类器物，“如今我们正探索更具创新性的能源生产路径，最大限度降低污染排放。”

铁是地壳中储量第二丰富的金属，同时也是当前市场上成本最低金属品类。按体积能量密度计算，铁的储能量为煤炭的两倍，略高于柴油与汽油。氢气需在高压或深低温条件下储存，而铁的运输相较氢气更安全、操作

更简便。碳氢化合物燃烧会生成二氧化碳，铁燃烧后仅转化为氧化铁（俗称铁锈）；生成的氧化铁可经还原反应重新制备为铁并重复使用，这使得铁燃料具备无限循环利用的特性。

“将金属用作燃料具备充分的合理性。”麦吉尔大学（McGill University）燃烧与替代燃料专家杰弗里·伯格索尔森（Jeffrey Bergthorson）表示。他曾花费近十年时间研究生物燃料与氢能，于2015年与欧洲空间局（European Space Agency）的同事共同提出了铁燃料的实用化构想。

同年，埃因霍温理工大学燃烧技术教授菲利普·德古伊（Philip

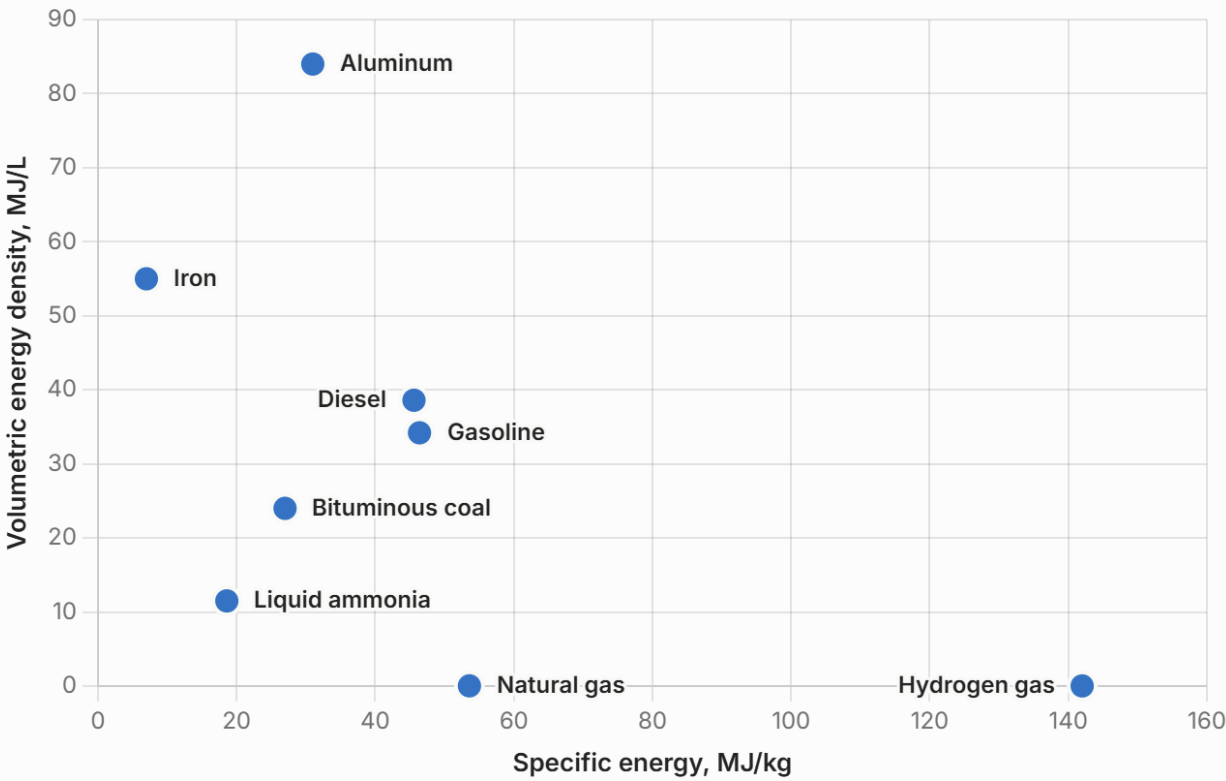
de Goey) 带领学生团队启动了铁燃料研究项目。该团队的研究推动了技术加速器平台 Metalot 的成立, 该平台汇聚学界、产业界与政府多方力量, 推进金属燃料构想的落地发展。2020 年, Metalot 完成一套铁燃烧系统示范, 通过燃烧铁为一家啤酒厂生产蒸汽。

燃烧性能优势

就质量能量密度而言, 氢能表现突出; 但在体积能量密度维度, 金属燃料更胜一筹。铁的单位体积储能量高于当前广泛使用的化石燃料, 制成粉末形态后可直接在燃煤电厂中燃烧。

伯格索尔森及其研究团队还考察了铝等其他金属燃料备选方

案。铝的单位体积储能量接近铁的两倍, 但铝燃点极低, 燃烧过程易发生爆燃。“铝燃烧会生成纳米颗粒, 这类颗粒物难以捕集。”他表示, “铁的燃烧温度与煤炭、天然气等碳氢化合物大致相当, 且燃烧后的颗粒质量增大、粒径变粗。”这一特性意味着现有燃煤电厂的锅炉更易改造以适配铁粉燃烧工艺, 燃烧生成



不同燃料的体积能量密度与质量比能量对比。数据来源:《能量密度》, 维基百科;《Next Energy》2025 年刊, DOI: 10.1016/j.nxener.2025.100371;《可燃物的能量密度》, 载《运输系统地理学》第 6 版, 2024 年, DOI: 10.4324/9781003343196; J.M.K.C. 多涅夫 (Donev) 等人,《烟煤》, 能源教育平台, 2024 年。图片来源: 谢伊·墨菲 (Shea Murphy) /《化学与工程新闻》(C&EN)

的氧化铁也更易收集。

如何还原氧化铁、再生金属铁是该技术领域亟待破解的核心难题，其解决方案将直接决定铁燃料能否实现真正的可持续性。“只有利用可再生能源完成还原工序，这一技术路线才有实际意义，才能真正实现零碳排放。”施密特表示。

RIFT 公司采用氢气作为还原介质。其位于荷兰海尔蒙德（Helmond）的试验电站通过 1 MW 试验锅炉燃烧铁燃料，可为 500 户居民提供供热。随后，该企业将收集到的铁锈（氧化铁）运送至位于阿纳姆（Arnhem）的燃料生产中试装置，在流化床反应器（fluidized bed reactor）中使铁锈与氢气发生还原反应，再生得到可循环利用的铁，副产物仅为水。

这家初创企业由德古伊实验室的 3 名埃因霍温理工大学校友联合创立，3 人分别为化学家、机械工程师与工业工程师。2025 年，RIFT 签下首份商业合同，提供铁燃料锅炉及长期铁燃料供应服务。凭借最新一轮融资，该公司计划建设一座规模化燃料生产工厂，采用氢气工艺制备铁燃料以供应客户的锅炉系统，项目预计 2029 年正式投产运行。

“当我告知他人我从事铁燃烧研究时，他们往往难以置信。我们正探索更具创新性的能源生产方式，最大限度降低污染。”

——
东北大学燃烧工程师、
可持续燃料技术专家
扬尼斯·莱文迪斯

但问题在于，目前市场上的氢气大多由化石燃料驱动的工艺制备。若要实现铁燃料的可持续应用，企业需采用以清洁电力电解水制取的绿氢。但就当前阶段而言，绿氢制备成本仍居高不下，供应规模也十分有限。

还原氧化铁的另一技术路径是电化学工艺。施密特表示，钢铁行业目前正投资布局此类直接还原铁技术，但该技术的成熟度尚不及绿氢制备技术。因此，铁燃料的规模化推广，将大概率与绿氢、绿钢产业协同发展。

应用落地探索

若铁燃料得以推广应用，将助力破解工业供热脱碳这一长期

难题。目前，水泥、钢铁、化工及食品生产所需的高温工况，均依赖化石燃料燃烧实现。“对这类厂区的现有锅炉进行改造，是铁燃料最优的应用场景。”伯格索尔森表示。

燃煤电厂的锅炉改造可作为下一阶段的拓展方向，用于供热或发电场景。金属能源研究中心团队正在评估，以铁燃料替代煤炭后，锅炉部件与燃烧工艺流程需要做出的调整。施密特表示：“尾气治理的需求会有所降低，但需重点强化氧化铁的捕集回收环节。”研究人员测算结果显示，此类改造的成本仅约为电厂原建设成本的 10%。

铁燃料同时为长时储能提供了极具潜力的技术路径。从这一角度而言，它可与可再生能源和氢能形成完美互补。而正在逐步淘汰煤炭的欧洲，是该技术理想的落地试验场。

卡尔斯鲁厄理工学院（Karlsruhe Institute of Technology）能源研究员朱莉娅·舒勒（Julia Schuler）表示，欧洲多国计划通过吉瓦级储能电池存储富余可再生电力，或利用该电力制备氢能。铁燃料电站可对这两种技术路线形成有效补充。利用富余可再生电力或绿氢还原氧化铁，能够以更低成本、

更简便的方式将能量存储于铁燃料中，供后续调用。

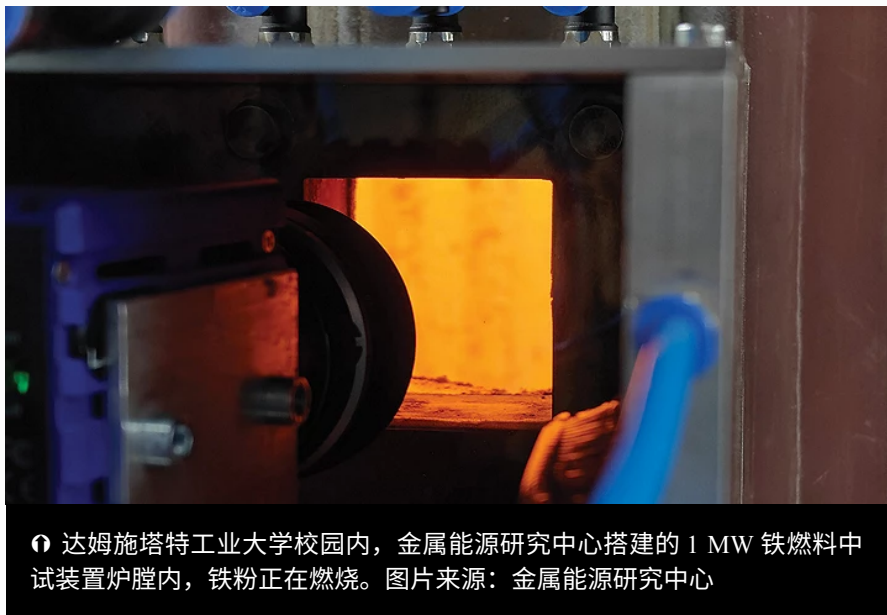
“将金属用作燃料具备充分的合理性。”

——
麦吉尔大学燃烧与
替代燃料研究员
杰弗里·伯格索尔森

舒勒及其团队近期测算得出，在改造后的燃煤电厂中燃烧铁燃料，可对欧洲的氢能发电体系形成补充。在不具备地下储氢条件或水电资源的国家，该技术路线的成本优势尤为突出（《化学循环》2026年，DOI: 10.1016/j.checir.2026.100047）。

多重挑战待攻克

要实现铁燃料对煤炭、天然气的替代，研究人员仍需突破多项技术瓶颈。铁粉点火温度要求高，且燃烧过程稳定性不足。东北大学的莱文迪斯团队正通过研究金属颗粒的燃烧机理，优化铁燃料燃烧技术。他表示，颗粒粒径、点火温度、燃烧温度及燃烧



① 达姆施塔特工业大学校园内，金属能源研究中心搭建的1 MW铁燃料中试装置炉膛内，铁粉正在燃烧。图片来源：金属能源研究中心

时长均为关键影响因素。

燃烧过程会产生主要成分为氧化铁纳米颗粒的烟尘，存在污染风险，莱文迪斯正研究该污染物的控制方案。他指出，现有燃煤锅炉用于捕集颗粒物的袋式除尘器与静电除尘器，经改造后可应用于铁燃料燃烧场景。

企业还需扩大铁粉生产规模以降低成本。但莱文迪斯认为，上述所有技术挑战均具备攻克条件。

铁燃料面临的最大阻碍来自

经济与政策层面。伯格索尔森表示：“当前天然气价格低廉，若没有明确的气候目标，也未面临天然气短缺压力——欧洲曾出现过天然气短缺，且未来极有可能再次发生——铁燃料很难与天然气形成竞争。”

不过他也指出，该技术目前尚处于发展初期，若公众能更多了解其优势，有望推动政策层面的支持。“目前人们甚至不知道金属燃料是一种可行的能源方案。大多数人都了解金属可以燃烧，只有航天领域的研究者清楚金属的燃烧特性。”



AI 生成图

被严重低估的 “护肝饮料”， 每天 1-2 杯，肝病风险悄悄降低

来源：人民日报健康客户端公众号；原文链接：https://mp.weixin.qq.com/s/ky_Yn1YRnO6X2eKpueEl_g

日常生活中，不少人酷爱咖啡，喜欢咖啡的醇香，更享受它带来的头脑清醒感。但大多数人对咖啡的认知仍停留在提神上，对它的其他好处知之甚少。

最近，多项权威研究却得出了一个令人意外的发现：咖啡的好处远不止提神，适量饮用还能降低多种肝病风险，堪称“护肝饮料”。

研究发现：咖啡能帮你降低多种肝病风险

2026 年 7 月，国际权威期刊《临床胃肠病学和肝病学》发表了一项覆盖 35 万余名参与者的研究。这些人在研究开始时都没

有肝硬化、肝癌，经过中位长达 13 年的跟踪随访后，结果令人意外：适量喝咖啡可以显著降低多种肝病风险！^①

研究发现：每天喝 1~2 杯咖啡的人，与完全不喝咖啡的人相比：

- 肝硬化风险降低 20%
- 肝癌风险降低 24%
- 肝病相关死亡风险降低 31%^①

其实，这并不是第一次发现咖啡有护肝效果了。2021 年，《BMC 公共卫生》期刊刊发了一项纳入近 50 万人、随访长达 10 年的大规模研究就发现，适量喝咖啡有护肝功效。与不喝咖啡的人相比，适量喝咖啡的人：

- 慢性肝病风险降低 21%
- 非酒精性脂肪肝风险降低 20%
- 慢性肝病相关死亡风险更是大幅下降 49%^②

喝咖啡为什么能护肝？关键在这“一升一降”

2026 年 7 月，《临床胃肠病学和肝病学》的研究还对 4.4 万人的血浆蛋白组数据做了分析，

Clinical Gastroenterology and Hepatology ▶ aga

Coffee Consumption and Improved Liver Outcomes: Clinical, Imaging, and Proteomic Evidence From the UK Biobank

Hyun-Seok Kim¹, Mohammad Saeid Rezaee-Zavareh², Yufeng Wang³, ... Shelly C. Lu¹, Stephen Pandol¹, Ju Dong Yang^{1,8} ...

Show more

Affiliations & Notes

Article info

咖啡消费与改善肝脏健康结果：来自英国生物样本库的临床、影像学及蛋白质组学证据

研究截图



人民日报健康客户端图 曹子豪 摄

筛选出 74 种同时与咖啡摄入量
和肝硬化风险密切相关的蛋白，描绘出咖啡护肝的分子图景——堪称“双向发力”。

↑ “好蛋白”更多：咖啡喝得越多，反映肝脏合成功能、调控补体炎症的“好蛋白”水平就越高。这些蛋白充足，意味着肝脏的合成能力、抗氧化防御系统都保持在更佳状态。

↓ “坏蛋白”更少：与此同时，那些和肝纤维化、炎症激活

相关的“坏蛋白”，会随着咖啡摄入量增加而明显降低。

一句话总结：咖啡一边“加固”肝脏的正常功能，一边“压制”炎症和纤维化的损伤通路，保护力层层叠加。

更有意思的是，研究发现，含咖啡因的咖啡和脱咖啡因咖啡，护肝效果非常相似。这说明，咖啡因并不是唯一的护肝功臣。研究人员推测，咖啡中丰富的非咖啡因成分同样功不可没，比如绿原酸、多

酚类物质、二萜类化合物，都是天然的抗氧化、抗炎“高手”。^①

咖啡虽好，但每天别超过这个量

看到前面的数据，可能有人 would 想：既然喝得越多护肝效果越好，那是不是可以无上限地加量？

当然不是！日常生活中，不顾上限地敞开了喝，反而会带来风险。

2026 年 7 月，美国心脏协会在《循环》杂志上发布了一份科学声明，全面评估了咖啡因与心血管疾病的关系。声明明确指出：对于大多数成年人，每日摄入量不超过 400 毫克咖啡因是安全的，大约相当于 3~5 杯（每杯 240 毫升）普通黑咖啡。在这个范围内，适量饮用咖啡甚至与冠心病、心力衰竭、房颤、卒中及 2 型糖尿病等风险降低相关。但一旦超量，心血管系统的安全隐患就会明显上升。^③

所以，咖啡虽好，务必要有度，一旦过量摄入带来的可能就不再是健康益处。



① 人民日报健康客户端图 任璇 摄

健康喝咖啡，注意这 4 点

1. 选对咖啡种类

避免添加糖、奶精等高能量咖啡伴侣配料，最好选择黑咖啡。如果觉得黑咖啡口感不好，可以加点牛奶，不仅有了甜甜顺滑的口感，还能补充蛋白质和钙质。

2. 咖啡尽量不要空腹喝

北京潞河医院营养科营养师姜珊曾在健康时报刊文表示，现在有许多人习惯一早起来先空腹喝一杯咖啡，这不仅会降低食欲，而且对肠胃也有刺激，建议可以吃完早餐或午餐以后饮用，

此时喝咖啡可以帮助消化。^④

3. 把握好喝咖啡时间

营养师谷传玲在个人公众号刊文提醒，咖啡因的半衰期大概是 4~6 小时，如果 15:00 喝了杯含有 200 毫克的咖啡因，那么 19:00~21:00 点血液里的咖啡因含量仍然会高达 100 毫克^⑤。午睡前喝咖啡，不影响晚上睡眠，提神效果也更好。

4. 胃不好不要空腹喝

胃不好的人群，尤其是慢性胃炎、胃食道反流等基础疾病的人群，建议最好别空腹喝咖啡。

写在最后：

咖啡不只是提神饮品，更是一杯被低估的“护肝饮料”。不过，只有适量饮用，才能在护肝与护心之间找到最佳平衡。而真正守护肝脏健康，除了咖啡，还需要均衡饮食、规律作息、适度运动和定期体检。

曾被质疑“瞎胡闹”的清华团队， 补齐电力装备最后几块国产“拼图”

来源：中国科学报公众号；原文链接：<https://mp.weixin.qq.com/s/70zfayPfnJE2vuVoy8R6iw>



● 团队部分成员合影（左起依次为党智敏、何金良、梁曦东、张波、李琦）。受访者供图

“你们就像串联电路上的关键元件，每一个都不可或缺，一旦哪个环节出了问题，整个系统都会停摆。”清华大学电机工程与应用电子技术系教授何金良常常这样勉励青年学子。

这句话也成了他所在团队的真实写照。在中国电力能源装备的“串联电路”上，他们正努力补齐最后几块国产“拼图”。

面对高端绝缘材料、关键器件长期依赖进口这把悬在中国电力行业头顶的利剑，清华大学电机工程与应用电子技术系科研团队选择迎难而上。

2020年起，在国家自然科学基金创新研究群体项目（以下简称创新研究群体项目）支持下，由何金良担任学术带头人，曾嵘、梁曦东、党智敏、张波、李琦五位教授为学术骨干的团队围绕高电压与绝缘

技术展开关键基础研究。

接受《中国科学报》采访时，何金良颇感欣慰地说：“在创新研究群体项目的支持下，我们用一系列基础研究成果，摆脱了我国输变电领域关键绝缘材料、核心电力电子及电力传感器件长期依赖进口的局面，把关键技术牢牢掌握在自己手里。”

01 关键核心技术是买不来的

电力能源装备支撑着电力系统的安全高效运行，好比这个庞大系统的骨骼与心脏。然而，随着电力科技不断进步，科学家们敏锐地意识到，现阶段想靠原创的物理原理来实现装备的颠覆性创新，变得愈发困难。而通过材料和器件的原始创新来撬动电力能源装备体系的跨越式发展，则成为破局的最优解。

长期以来，电网设备的研发遵循着一个简单的线性逻辑，即把小尺寸、低电压的设备直接放大，做成更大尺寸、更高电压的版本。但尺寸放大绝非等比例缩放——绝缘、散热、机械结构，每个方面都会冒出意想不到的工程难题。

更为严峻的是，在过去很长一段时间里，中国电力系统虽然发展迅速，但底层关键材料始终受制于人。例如，高端环氧树脂、电容器薄膜以及电缆用的交联聚乙烯等核心材料，均严重依赖进口。

“脆弱的材料供应链让我国的电力系统如同根基不牢的‘沙上城堡’。”何金良和同行们为此深感担忧。近年来，全球贸易格局风云变幻，这些基础材料一旦断供，电力装备将面临“无米下锅”的窘境。

“关键核心技术是要不来、买不来、讨不来的！”何金良强调，“从基础材料、核心器件入手，实现自主可控，是时代赋予我们基础科学研究者的使命

与责任。”

2019年，他们成功获批创新研究群体项目，开启了有组织的科研新征程。

团队聚集了清华大学电机工程与应用电子技术系“先进能源材料与装备研究团队”的资深骨干教师与优秀青年教师，大家各有所长。曾嵘深耕电力电子器件，李琦与党智敏推进电容器研发，梁曦东探索超疏水外绝缘材料，何金良和张波则主攻绝缘材料及电缆、管道等核心装备，并且大家的研究都扎根于共通的基础物理理论之上。

何金良说：“这种有机融合，让实验室设备与平台得以高效共用，也让团队成员在交叉讨论中碰撞出创新的火花，实现了‘1+1>2’的协同效应。”

他们将科研的锚点深深扎根于国家最迫切的战略需求之中，针对我国新型电力系统建设领域被国外垄断的痛点，全面围绕电能传输系统的基础材料、核心器件及高端装备开展系统性、前瞻性的基础研究，誓要打破垄断壁垒，实现自主创新。

02 曾被不少人视为“瞎胡闹”

在创新研究群体项目支持下，何金良带领团队在国际上率先提出“智能绝缘材料”的原创概念，勾勒出电力仿生新材料的发展蓝图。按照这一构想，这类材料具有自适应、自诊断和自修复的功能，如同被赋予生命。他们相信，智能绝缘材料将催生全新的、具有内生智能的电力能源装备。

何金良坦言，这一构想提出之后，曾被不少人视为“瞎胡闹”。然而，经过数年潜心钻研，团队在原理上实现了材料的性能自适应调整、自主诊断与自动修复功能，并将智能绝缘材料加速转化为大

国重器上的实际应用，从概念走向现实。

面对特高压套管这一全球性难题，团队发明了电场自适应调控复合材料，制备出“自均场套管”，实现了高压套管从传统的结构均压向全新的自适应均压的代际突破，堪称一场技术革命。

特高压套管是电力输送的“超级咽喉”，主要应用于换流站和变电站。它如同一根穿过墙壁的巨型绝缘管，内部导体承载着特高电压和大电流，外部则连接零电位的接地金属外壳或墙壁。高压导体与外壳之间的绝缘厚度仅有数十厘米，运行条件极为严苛，是公认的技术制高点。

“强电场与大电流产生的热场相互耦合、交织，导致电场分布极难控制。”何金良表示。传统技术路线在特高压直流工况下已逼近物理极限，难以从根本上解决电场控制难题。

为此，团队独辟蹊径，研发出一种具有非线性特性的智能复合材料。该材料如同为套管装上了“神经系统”，能够敏锐感知内部电场与温度的细微变化，并自动调节自身的电阻率或介电常数。当电压升高或温度剧变时，材料能自动将局部过高的电场“熨平”，实现电场的自适应调控与动态稳定，颠覆传统结构均压模式。

目前，团队已成功研制出 ± 200 千伏自均场套管样机，迈出了“从 0 到 1”的关键一步。何金良满怀信心地说：“我们希望利用‘自适应’的新原理，开发出性能更优、可靠性更高的特高压套管，实现传统技术的换道超车及核心装备的自主原始创新，不再受制于人。”

在地下输电管道领域，团队同样基于智能绝缘

材料理念，研制出国际首台 ± 500 千伏直流输电管道，填补国内外空白。

据了解，深埋地下的直流输电管道主要应用于大规模清洁能源外送与超大城市供电。输电管道绝缘子长期受电、热、机械等多场耦合挤压，加之直流表面电荷积聚，很难长期安全运行。

为此，团队从基本物理规律出发，发现了一系列气固界面电荷输运、积聚和闪络的新现象，并研发出新型绝缘材料，实现输电管道绝缘子表面电荷自适应消散，从根源上化解了风险。

何金良介绍，该材料能抑制表面电荷异常积聚。直流输电管道内部绝缘子表面电荷积聚时，可以通过绝缘子表面电阻率的变化来实现电荷自适应消散，从而消除闪络隐患，保障长期稳定运行。

如今，国际首台 ± 500 千伏直流输电管道产品正推进安装，预计今年 10 月投运。 ± 800 千伏特高压样机也已完成研制并开展试验，预计明年试运行，为雅鲁藏布江下游大规模水电送出提供穿越雪山的最优解。

此外，团队在电缆绝缘材料领域开辟了绿色新赛道，采用热塑性聚丙烯材料替代交联聚乙烯，从源头破解了退役电缆无法回收的环保痛点。

通过分子改性，团队补齐了聚丙烯脆性大、耐紫外老化差等短板，使其绝缘电阻率提升一个数量级，长期运行温度提升到 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。目前，团队联合中国石化北京化工研究院，建成千吨级生产线，10 千伏至 110 千伏电缆已在多省份投运，220 千伏电缆正在进行测试，产业化稳步推进。

团队表示，相关基础研究已取得阶段性进展，

未来将全面推进基于新材料的超特高压套管、电缆及输电管道等核心装备的研发应用。

03 把实验室搬进工厂

在何金良看来，基础研究如同一根强有力的杠杆，可以撬动整个电力装备领域的自主创新发展。

他始终认为：“做科研必须超前一步、居安思危。别人起步时，我们必须思考如何追求卓越；别人领先时，我们则必须追求源头创新。”他强调，好的基础研究成果应当顶天立地，兼具前沿性与极高的实用转化价值。

时间回溯到 20 世纪 90 年代，面对中国电网因工业污染导致的严重“污闪”问题，团队成员梁曦东研发出抗污闪复合绝缘子化解了这一危机。随后，团队又开发出高性能避雷器，大幅降低雷击故障率，守护了万家灯火。

团队历经二十年从实验室到车间的打磨，使我国高端避雷器彻底摆脱进口依赖，跻身世界顶尖水平并出口至全球百余个国家和地区，成为闪亮的中国名片。

回顾这段历程，何金良总结出了一条宝贵的工程科研法则：绝不能为了短期经济利益而做科研，更不能在实验室里盲目追求“完美”而闭门造车。

为消除尺寸放大效应带来的性能骤降风险，团队果断砍掉了冗长的实验室摸索阶段，在验证基本原理可行后，将研发阵地前移至生产一线。在特高

压直流输电管道研发中，他们直接把实验室搬进工厂，利用企业加工与试验能力快速迭代，大幅缩短了从书架到货架的距离。

“将基础研究与工程应用无缝衔接，不仅缩短了研发周期，也实现了教研相长。”何金良表示。

培养青年学生时，何金良最看重的是树立使命感，点燃他们内心的火焰。面对当下部分年轻人的迷茫与倦怠，他认为，这往往是因为他们不知道自己的研究究竟有何用处，缺乏价值感。

何金良坦言：“必须将个人的研究与国家重大工程、重大需求紧密结合起来，让学生感到自己的青春与时代同频共振。”当学生意识到自己正在攻克一项国家急需的重要技术，且这项工作必须完成，否则整个工程就无法推进时，那种沉甸甸的责任感便会油然而生，内生动力便会源源不断。

面向未来，团队确立了“定制化”的先进研发理念。当真正洞悉了事物的底层运行规律，量体裁衣地创造新材料、新器件和新装备便水到渠成。“这就要求我们在进行材料和器件的研发时，应从实际应用场景出发，摒弃冗余，删繁就简，聚焦在核心功能上，将性能提升到极致，做到简约而不简单。”何金良说。

他们期待，未来的绝缘材料与器件不再是千篇一律的工业标准件，未来的电力能源装备是能够根据特定场景按需定制的智能体。一幅电力装备智慧化、个性化的宏伟蓝图，正在何金良团队手中徐徐展开。

《中国科学报》（2026-07-27 第 4 版 自然科学基金）

ACS 专刊热文:

企业视角谈聚合物产学合作 |
Polymer Science & Technology来源: ACS 美国化学会公众号; 原文链接: <https://mp.weixin.qq.com/s/3yUwCbg9MZk2So3yYLeIVQ>POLYMER SCIENCE &
TECHNOLOGY

英文原题: Research Collaborations with Academia in the Polymer and Chemical Industry-Policies and Practices

本文将被作为专刊 “Industry-Relevant Polymer Science and Technology” 的一部分发表。

作者: Jens Rieger

研究背景

德国材料科学家 Jens Rieger 结合其在 BASF 等企业长期参与开放创新项目的经验, 对化工与聚合物行业的产学合作进行了系统反思, 并在 *Polymer Science & Technology* 期刊上发表 Viewpoint 论文 Research Collaborations with Academia in the Polymer and Chemical Industry。



文章亮点

一个事实——大学与企业，本来就在解决不同的问题

关于产学合作，人们最容易产生的误解是认为大学和企业都在做研发，因此双方只是分工不同。实际上，作者认为两者承担的是不同性质的创新任务。对于企业而言，研发的目标是创造社会价值和商业价值。因此**企业必须关注：**

- 市场需求；
- 产品竞争力；
- 成本控制；
- 工艺放大；
- 法规要求；
- 投资回报。

而大学关注的则是：

- 科学发现；
- 理论突破；
- 新知识产生；
- 长期科学问题。

这意味着企业研究首先是目标驱动（mission-driven），而学术研究首先是问题驱动（question-driven）。这种差异既是合作的动力来源，也是合作中大部分矛盾的根源。因为双方需要的恰恰是自己缺少的东西——企业需要新的知识来源，而大学需要真实问题场景。

这一现象背后反映出创新研究中的一个重要规律，产业界擅长优化已知答案，学术界更擅长发现新问题。而新的产业机会，往往首先以新的科学问题形式出现。从这个意义上说，大学最珍贵的资源并不是实验设备，而是其探索未知的能力。

一个挑战——产学合作最大的挑战，在于时间尺度不同

企业通常按照季度、年度甚至资本市场周期运行。然而很多基础研究问题可能需要：

5年、10年、甚至更长时间才能显示出价值。这里存在一种天然张力，即企业希望项目能够快速贡献价值，而研究人员则往往需要时间积累科学认知。当前很多合作项目失败，并非研究质量不高，而是双方对成果出现的时间预期不同。因此作者提出，持续沟通和动态调整目标的重要性，甚至不亚于科研工作本身。

一个观点——Proof of Concept 不等于 Industrial Feasibility

作者专门指出，学术界的概念验证（Proof of Concept）不能自动被解释为工业可行性（Industrial Feasibility）。在学术研究中，证明一种机制存在、证明一种方法有效，往往已经构成重要成果。但在工业环境中，仅仅证明可行远远不够。

企业还必须回答：

- 能否规模化生产？
- 能否稳定运行？
- 能否通过法规要求？
- 是否具有经济竞争力？
- 是否能够长期供应？

作者认为，从实验室发现到商业化应用之间，往往还隔着：

- 工艺开发；
- 工程放大；

- 安全评价；
- 市场验证；
- 生命周期分析等多个环节。

这实际上揭示了科技成果转化中的经典困境。很多人习惯将创新过程理解为：基础研究→应用研究→产业化。但现实远比这条线性路径复杂。很多成果并不是卡在科学问题上，而是卡在工程问题和经济问题上。这也是为什么同样一项技术，论文发表可能只需要几年，而商业成功可能需要十几年。

一个建议——从“产学合作”到“创新生态”

大学和研究机构不应被视为外部服务提供商（service provider），而应被视为战略伙伴（strategic partner）。这意味着：企业购买实验服务，与企业建

设创新生态，完全是两件事。前者追求项目交付，后者追求知识增长；前者关注短期结果，后者关注长期能力。

从全球创新体系的发展来看，越来越多领先企业实际上正在从“项目合作模式”转向“生态合作模式”。他们希望通过大学获得的不仅是一项技术，而是：

- 持续的知识输入；
- 前沿科学视角；
- 人才供给渠道；
- 新兴技术雷达。

换句话说，未来，企业与高校之间最重要的交换对象，可能不是专利，而是认知。

作者简介

Jens Rieger

Dr. Jens Rieger was Senior Vice President Research at BASF SE, Germany until 2019. As Executive Expert in Polymer Research, he was responsible for several of BASF's Academic Research Alliances including partners such as Harvard University, MIT, ETH Zürich, Beijing University of Chemical Technology, and Fudan University. He is former member of the Advisory Boards of Advanced Materials (Wiley VCH) and Soft Matter (RSC) and was co-editor of the Physik Journal (German Physical Society). He is author or co-author of more than 100 scientific publications, contributions to books and patents and gave innumerable presentations at universities and at industrial partners. Since 2019 he is independent consultant for Materials Science & Innovation.

说明：中文内容使用 Copilot 加工润色，仅供参考。请以英文原文为准

Industry-Relevant Polymer Science and Technology 专刊正在征稿：>>>

Polym. Sci. Technol. 2026, ASAP

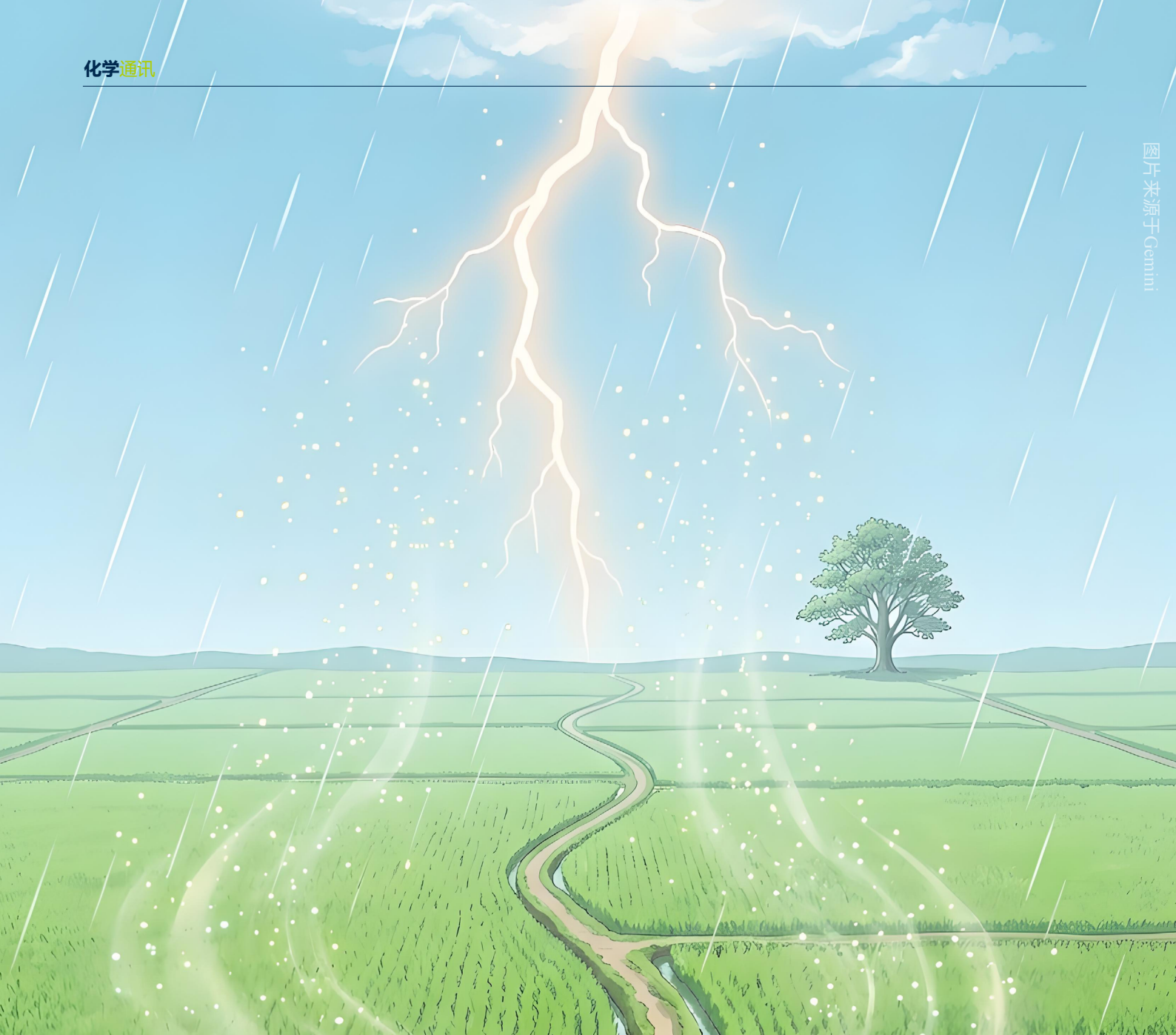
Published July 17, 2026

<https://doi.org/10.1021/polymscitech.6c00098>

© 2026 The Authors. Co-published by Changchun Institute of Applied Chemistry, Chinese Academy of Sciences; American Chemical Society.



扫码阅读原文



氮元素

——春雷造肥的大气化学原理

作者：唐子龙；Email: 3386176363@qq.com



一、引言

“雷雨发庄稼”是我国流传千年的自然农谚，是古人长期观察自然现象总结出的生活经验，这句古老经验背后蕴藏着严谨且精妙的大气化学过程，也就是自然界经典的雷电固氮作用。这一“春雷造肥”的自然过程示意如图 1 所示。

氮(N)元素是构成生命体的核心基础元素。生物体内的蛋白质、遗传核酸以及植物进行光合作用必需的叶绿素，均含有氮元素。同时，氮也是农作物生长发育不可或缺的营养元素，直接影响农作物的长势与最终产量^[1]。地球大气中氮气(N_2)的体积占比高达 78%，氮资源储量极为丰富，但由于 N_2 分子结构稳定、氮氮三键($N \equiv N$)键能极高，常温常压下难以发生化学反应，无法被植物根系直接吸收利用，导致大气中绝大多数氮元素处于惰性闲置状态。春夏季节频发的雷电天气，为惰性 N_2 的活化转化提供了天然高能反应条件，闪电在高空构建起瞬时化学反应环境，打破稳定的 N_2 化学键，通过一系列连续的大气氧化还原反应，将空气中的游离态氮气逐步转化为化合态氮素，伴随降雨落入土壤完成天然施肥过程^[2]。

本文以氮元素为核心研究对象，结合氮元素基础化学性质，分层阐述雷电固氮的完整反应机理、大气转化路径、生态环境效应以及人工固氮技术的发展现状，深度解读春雷造肥的科学本质，明晰自然氮循环的运行规律与生态价值，为大众普及自然大气化学知识，树立科学的自然认知与生态保护理念。

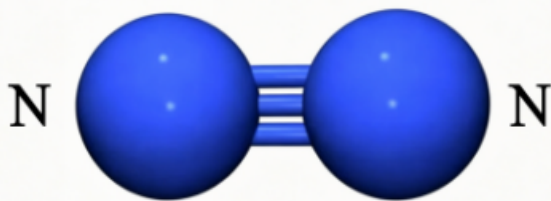
二、氮元素的基础化学性质

2.1 稳定的分子结构特征

氮元素位于元素周期表第二周期第 VA 族，原子序数为 7，最外层拥有 5 个价电子，两个氮原子通



①【图 1】雷雨发庄家示意图（图片来源于豆包 AI 生成）



②【图 2】 N_2 分子的结构示意图（图片来源于豆包 AI 生成）

过共用三对电子形成牢固的 $N \equiv N$ 键，键能可达 946 kJ/mol，意味着 N_2 分子非常稳定，在一般情况下不会发生断键^[3]。 N_2 分子的结构模型如图 2 所示，极强的化学键稳定性让 N_2 在常温、常压的自然环境中几乎不参与化学反应，无法直接被植被吸收利用，这也是大气巨量氮资源难以直接服务于生命生长的核心原因，也为雷电高能固氮提供了专属反应前提。

2.2 多变的化合价体系

氮元素拥有跨度极大的化合价区间，可呈现 -3 、 0 、 $+1$ 、 $+2$ 、 $+3$ 、 $+4$ 、 $+5$ 等多种化合价，能够在大气环境中发生丰富的氧化还原反应，生成 N_2 、一氧化氮（NO）、二氧化氮（ NO_2 ）、硝酸（ HNO_3 ）、硝酸盐等多种含氮化合物^[4]。氮元素具备一定的价态转化能力，能够在雷电高能环境下完成多步连续转化，实现从大气惰性气体到土壤活性养分的形态切换，是春雷造肥过程能够完整发生的核心化学基础。

2.3 生命必需的生态属性

氮是维系地球生命活动的必需元素，是蛋白

质、核酸和叶绿素等核心生物分子的关键组成，参与物质合成、能量代谢等核心生命过程，是支撑生态系统运转的重要营养元素^[1]。氮可在大气、土壤与生物间形成闭环自然循环，天然状态下无原生毒性和无生物富集性。自然中可直接利用的活性氮储量有限，雷电固氮是天然补充活性氮的重要途径^[5]。

三、春雷造肥的完整大气化学机制

雷电固氮，是大自然在闪电瞬间完成的一种氮素转化。闪电放出的高能量打断 N_2 分子的三键，使 N 原子与氧结合生成氮氧化物，再随雨水转化为稀 HNO_3 进入土壤。该过程 4 个环节如图 3 所示，以下分别阐述 4 个环节的具体化学反应过程。



【图 3】雷电固氮的反应环节示意图（图片来源于豆包 AI 生成）

3.1 雷电高能活化氮气

雷电天气发生时，闪电放电通道内的瞬时温度可飙升至 30000 K，搭配超强高压电场，极端高能环境能够直接断裂稳定的 $\text{N} \equiv \text{N}$ 三键和氧气 (O_2) 分子化学键，让原本惰性的 N_2 与 O_2 发生化学反应，生成 NO 气体，完成氮元素从游离态到化合态的第一步关键转化，也是整个雷电固氮过程的启动反应^[6-7]。

核心反应方程式如式 (1) 所示：



3.2 大气氧化生成二氧化氮

反应生成的 NO 化学性质活泼，无法在大气中长期稳定存在，在常温常压的自然条件下，会迅速与空气中的 O_2 发生二次氧化反应，生成红棕色的 NO_2 气体。 NO_2 作为活性氮氧化物，极易与大气中的水汽结合，为后续雨水固氮反应提供中间反应物^[7]。

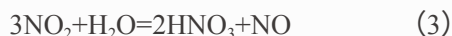
核心反应方程式如式 (2) 所示：



3.3 雨水溶解生成硝酸

伴随降雨过程，大气中的 NO_2 与雨滴中的水分充分接触，发生歧化反应生成稀 HNO_3 和少量 NO ，未完全反应的 NO 可再次参与大气氧化循环，持续提升氮元素的转化利用率，最终生成的稀 HNO_3 随雨水降落至地面，完成氮元素从大气向土壤的迁移过程^[7]。

核心反应方程式 (3) 所示：



3.4 土壤反应形成天然氮肥

落入土壤的稀 HNO_3 会与土壤中天然存在的钙、镁和钾等矿物质发生中和反应，生成水溶性极

强、稳定性良好的硝酸盐类物质，这类化合态氮素能够直接被农作物根系吸附吸收，参与叶绿素合成与蛋白质代谢，有效补充土壤氮素，促进农作物枝繁叶茂、茁壮生长，最终实现“雷雨发庄稼”的自然生态效果^[7-8]。

四、活性氮的环境效应与生态平衡

4.1 自然雷电固氮的良性生态作用

自然雷电固氮产生的氮氧化物总量有限、浓度温和，始终处于生态系统自我调节的可控范围之内，生成的活性氮会快速参与大气循环、土壤循环与生物循环，完全被自然体系消纳利用，不仅不会造成环境污染，还能持续补充土壤稀缺氮素，维系自然生态系统的物质循环平衡^[9]。

4.2 人为活性氮污染的危害

工业废气排放、机动车尾气、农业氮肥过量施用等人类活动，会向环境中输入过量活性氮氧化物，彻底打破自然氮循环的平衡，进而引发大气污染、酸雨、光化学烟雾、水体富营养化和土壤板结等一系列环境问题，对生态系统和人体健康造成负面影响，这也是现代环境治理需要管控活性氮污染的核心原因^[10]。

五、自然固氮局限与人工固氮技术发展

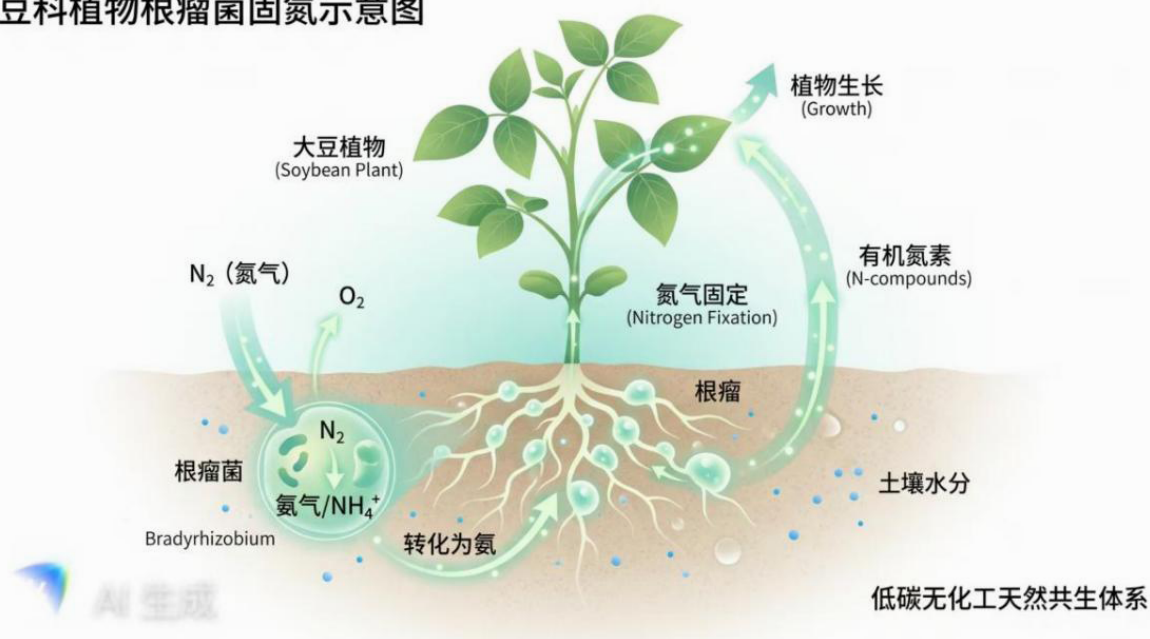
5.1 自然固氮的局限

雷电固氮与微生物固氮是自然界两大核心固氮方式，其中雷电固氮每年可为全球提供数千万吨有效氮素，能够满足原始生态与传统小农农业的氮素需求^[9]。但随着全球人口增长与现代农业规模化发展，自然固氮的氮素供给量严重不足，无法支撑高产农业的发展需求，成为制约粮食增产的重要短板。

5.2 传统人工固氮技术应用

人类依托雷电固氮的高能活化原理，模拟自然

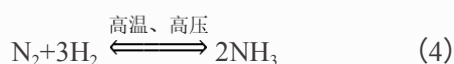
豆科植物根瘤菌固氮示意图



【图 4】豆科植物与根瘤菌共生固氮的作用机制（图片来源于灵光 AI 生成）

反应机制研发出哈伯 - 博施法合成氨，通过人工创设 400~500 °C 高温、10~30 MPa 高压、以铁触媒（以铁为主，混合的催化剂）为核心催化剂的反应条件，实现 N_2 与氢气 (H_2) 的规模化合成氨反应。以此技术加工生产各类农用氮肥，彻底解决了现代农业氮素短缺的难题，大幅提升全球粮食产量，支撑了人口增长与社会发展^[3,11]。

工业合成氨核心反应方程式式 (4) 所示：



5.3 绿色固氮技术发展趋势

传统工业固氮技术能耗高、污染大，不符合绿色低碳的发展理念，现阶段科研人员依托氮元素化学特性与自然固氮原理，持续研发生物固氮、光电催化固氮和常温常压高效固氮等新型绿色技术，复刻自然温和、高效、低耗的转化模式，推动人工固

氮产业向低碳化、绿色化和可持续化方向迭代升级^[9,11]。

豆科植物与根瘤菌共生固氮，是自然界中效率最高的生物固氮体系之一。根瘤菌侵入豆科植物根部后诱导形成根瘤，其内的固氮酶在常温常压下将大气中的 N_2 还原为铵态氮，直接供给宿主植物利用，如图 4 所示。这一过程无需外部能源输入，也不会产生温室气体，该技术已在绿色农业生产中发挥实际作用^[12]。推动绿色固氮技术从“可用”向“高效、广谱、可控”升级，是实现农业减肥增效与耕地可持续利用的重要科技方向。

六、结论

春雷降雨滋养庄稼的自然现象，是大自然依托氮元素化学特性完成的精妙大气化学循环过程，稳定的氮气在雷电高能作用下打破化学键束缚，经过

活化、氧化、水溶和土壤转化四步连续反应，从惰性大气气体转化为滋养万物的天然氮肥，完美印证了传统农谚蕴含的科学真理^[1-2]。

氮元素独特的结构特性、多变的价态体系与良性的循环属性，使其成为连接大气、土壤与生命的核心元素，维系着地球生态系统的稳定运转^[3]。深入探究春雷造肥的大气化学原理，读懂自然氮循环的

运行规律，不仅能够揭开自然现象的科学面纱，更能为现代绿色农业发展、生态环境治理、新型化工技术研发提供重要借鉴^[9,11]。

未来，坚守自然科学规律，合理开发利用氮资源、管控人为活性氮污染和推广绿色固氮技术，能够有效推动生态保护与农业发展协同共进，助力人与自然和谐共生的可持续发展。

参考文献

- [1] 蒋志敏, 王威, 储成才. 植物氮高效利用研究进展和展望[J]. 生命科学, 2018, 30(10): 1060-1071.
- [2] 惊! 雷鸣闪电可“省下”肥料钱? [EB/OL]. 中国气象报, (2017-05-11) [2026-06-16]. https://m.sohu.com/a/139602857_768825.
- [3] 陈咏梅, 周云山, 王桂荣, 等. 以“N₂分子的结构与性质”为例谈元素化学课堂教学的设计[J]. 大学化学, 2019, 34(5): 15-18.
- [4] 宋天佑, 程鹏, 徐家宁, 等. 无机化学(第四版)下册[M]. 北京: 高等教育出版社, 2019.
- [5] 谢腾芳, 薛立, 王相娥. 土壤-植物-大气连续体系中氮的研究进展[J]. 生态学杂志, 2009, 28(10): 2107-2116.
- [6] 袁萍, 赵学燕, 欧阳玉花, 等. 闪电产生一氧化氮(NO)过程的理论研究[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2009, 45(3): 33-37.
- [7] 王保强, 刘方云, 李增坤. 模拟雷雨条件下氮气和氧气反应的数字化实验探究[J]. 化学教育(中英文), 2019, 40(5): 68-70.
- [8] Htwe N M P S, Ruangrak E. A review of sensing, uptake, and environmental factors influencing nitrate accumulation in crops[J]. J Plant Nutrit, 2021, 44(7): 1054-1065.
- [9] Gong C, Kou-Giesbrecht S, Zaehle S. Anthropogenic-driven perturbations on nitrogen cycles and interactions with climate changes[J]. Current Opinion Green Sustainable Chem, 2024, 46: 100897.
- [10] 常运华, 刘学军, 李凯辉, 等. 大气氮沉降研究进展[J]. 干旱区研究, 2012, 29(6): 972-979.
- [11] Zhang X, Winiwarter W, van Grinsven H J M, et al. Integrated assessment of the costs and benefits of reactive nitrogen emission and mitigation: A methodological review and framework proposal[J]. Earth Critical Zone, 2025, 2: 100047.
- [12] Cameron T C, Broad R C, Smith P M C, et al. Opportunities and challenges to optimise symbiotic nitrogen fixation[J]. Trends Microbiol, 2025, 33(12): 1344-1353.

曹丕问瓜记

——“浮瓜沉李”里的冷甜科学

作者：马劲，高振董；Email: 15366538080@qq.com



曹丕在《与吴质书》中写下：“浮甘瓜于清泉，沉朱李于寒水^[1]。”那时没有冰箱，也没有空调，人们把瓜果浸在清泉里，借一口凉意抵挡暑热。清泉、甘瓜、寒水、朱李，短短一句，写尽了古人对夏日清凉的想象（图1）。

如果曹丕来到今天，看见现代人从冰箱里抱出凝结水珠的冰西瓜，他大概会会心一笑，认出这是“浮瓜沉李”的千年回响。但他可能也会好奇：清凉好懂，可为什么现代人常说，西瓜冰过之后，连甜味也更明显了？

故事，就从这场跨越古今的夏日相遇开始。



图1 浮瓜沉李情景（图片来源于 AI 绘制）

【始】曹丕入今：从“浮瓜沉李”到现代冰箱

曹丕醒来时，身侧已无宫室清泉，取而代之的是一间现代厨房。他正疑惑间，目光落在一方白色柜体上。柜门开启，冷气扑面而来，里面静卧着半个冰镇西瓜。绿皮黑纹，红瓤晶亮，切面上凝着细密水珠。

更令曹丕惊讶的是，一旁的孩子正对着屏幕玩植物大战僵尸游戏。画面里，普通西瓜投手尚

可御敌，而冰西瓜投手一出场，寒气四散，竟连僵尸的步伐都为之迟缓。曹丕看着屏幕里的冰西瓜，又看了看案板上的冰西瓜，心中生出疑问：游戏里的冰西瓜威力更胜，现实中的这一块，莫非也有“升级”之妙？

话音刚落，案板上的冰西瓜轻轻一晃，像是刚从屏幕里走出来一般，稳稳站定。它清了清嗓子：“陛下莫急。游戏里的我靠寒气减速僵尸，现实里的我则靠

温度和果糖，让甜味变得更明显（图2）。今日，就由我来讲讲这里的冷甜科学。”

【壹】绿衣红瓤：从植物色素到瓜瓤底色

听到“冷甜科学”，曹丕正要追问“增甜”的缘由，却先被眼前这块西瓜的外貌吸引住了。只见它外皮青翠，内瓤鲜红，正如“翠衣裹红瓤”。曹丕不禁问道：“此瓜外青而内赤，其色从何而来？”



①【图2】冰西瓜变甜卡通图（图片来源于 AI 绘制）

冰西瓜投手答道：“我的绿衣，主要源于叶绿素。叶绿素是植物进行光合作用的重要色素，也让瓜皮显得青翠。至于这一身红瓤，则主要归功于番茄红素。”

曹丕对“番茄红素”一词略感陌生。冰西瓜投手顺势解释：“此物虽以番茄命名，却非番茄独有。红瓤西瓜中也含有番茄红素（图3）。它属于类胡萝卜素，不仅赋予果肉红色，也具有一定抗氧化活性^[2]。不过，您也别把我当成神药。水果的价值在于提供水分、风味和多种营养成分，让饮食更丰富，而不是替代医药。”

它又补充道：“我另一大特点便是水分多。我的水分含量通常在90%左右^[2]，所以夏日咬上一口，最先感受到的便是多汁、清凉和解渴。”

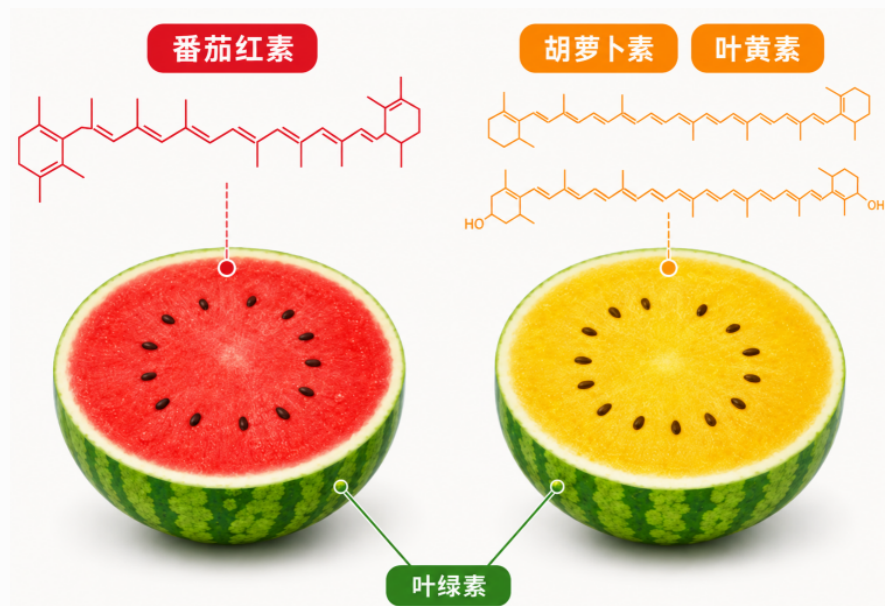
曹丕点头称是，又瞥见桌上一盘黄瓤西瓜，疑道：“黄瓤者，莫非是未熟之瓜？”

冰西瓜投手笑道：“非也。黄瓤只是色素含量不同。红瓤主要由番茄红素主导，黄瓤则更多体现胡萝卜素和叶黄素的

色泽^[3]。”

此时，孩子端来一块无籽西瓜。曹丕更是惊奇：“瓜而无籽，岂非异术？”

冰西瓜投手答道：“陛下有所不知，它并不是一点‘籽’都没有，而是没有发育成熟的黑



①【图3】红瓤与黄瓤的色素差异

籽。若仔细看，有时能见到些白色的小瘪籽。普通西瓜一般是二倍体，染色体可以成双配对。而大部分市售无籽西瓜是三倍体西瓜，三倍体西瓜有三套染色体，形成种子时容易‘对不齐’，种子就难以正常发育成熟^[4]。所以，无籽西瓜并非神怪之术，也不是开了‘转基因外挂’，而是植物育种中的绝妙设计。”

曹丕听罢，恍然大悟。

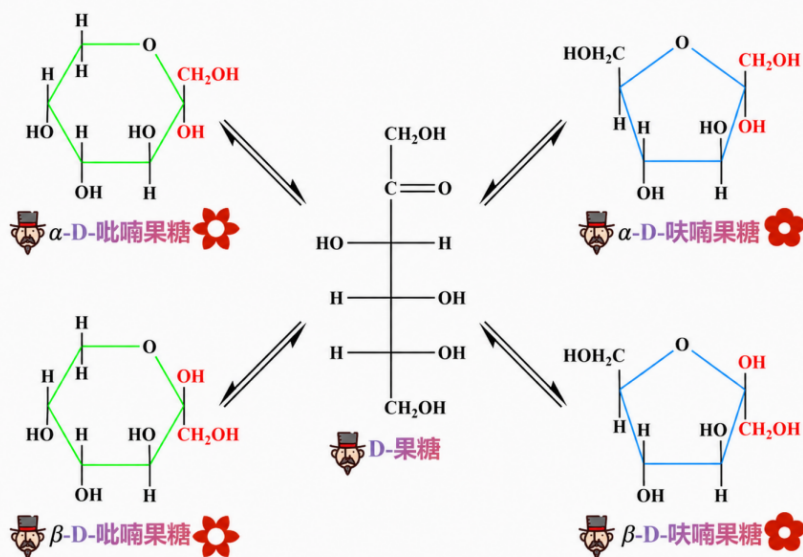
【贰】冰后增甜：从果糖变装到冷甜效应

了解完绿衣红瓢的奥秘，曹丕回到最初的问题：“瓜入寒水而凉，我能理解。可是入冰箱之后，何以更甜？”

冰西瓜投手正色道：“这正是我的核心秘密：果糖的冷甜效应。我身体里的糖并不只有一种，主要包括葡萄糖、果糖和蔗糖。它们都会带来甜味，但果糖最有“温度脾气”。

曹丕问：“果糖，何以温度一变，甜味也变？”

冰西瓜投手道：“因为果糖在水溶液中并不是固定一种样子，而是在几种构型之间不断转换（图4）。它可以短暂地以链式结构存在，也可以形成五元环



④【图4】D-果糖的5种构型

的呋喃型果糖，或者六元环的吡喃型果糖^[5]。”

为了让曹丕听懂，它换了个比喻：“您可以把果糖想成一位会变装的演员。同一个分子，换了不同‘衣裳’，和舌头上的甜味受体打招呼的方式也不一样，带来的甜味感受自然不同。一般认为， β -D-吡喃果糖这类六元环形式甜味更强，而部分呋喃型果糖甜味相对弱一些（图5）。果糖的这些构型处在动态平衡中，温度会影响它们的比例和甜味表现；低温条件下，甜味更强的构型表现得更明显，所以冰镇后的西瓜常常让人觉得更甜^[6]。”

曹丕恍然大悟：“原来是果糖变了样。古人见清凉，今人见

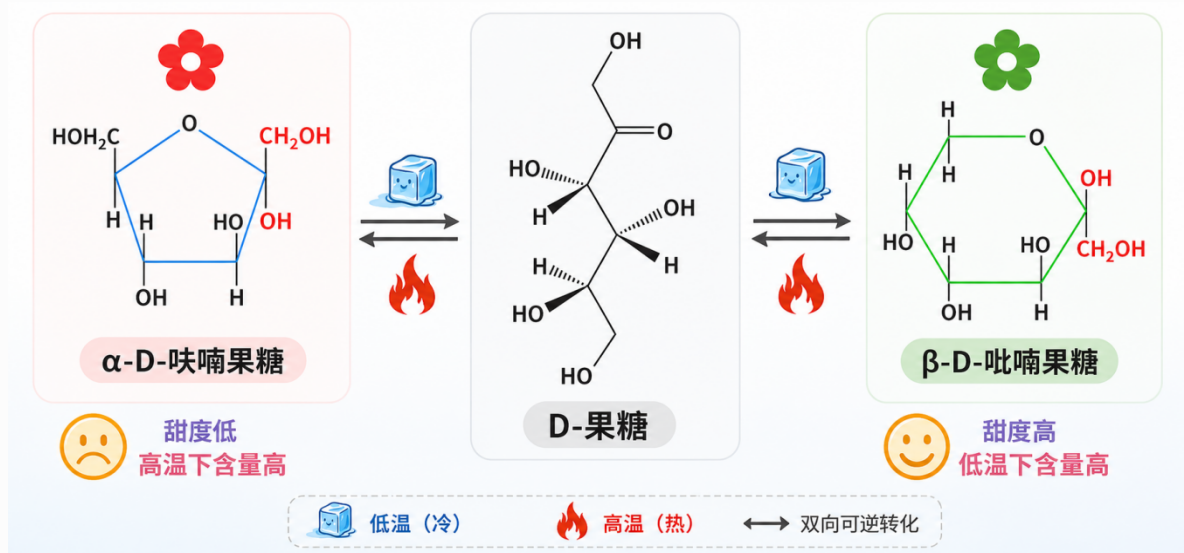
分子。此中妙处，果然不止在口舌之间。”

冰西瓜投手又道：“有时候，西瓜的好吃，并不只靠自己本身的甜。有些地方吃西瓜，会撒一点点盐。”

曹丕听了颇感意外：“甜瓜加盐，岂不相反？”

“这便是风味对比。”冰西瓜投手解释道，“少量盐能抑制细微苦味或杂味，让甜味得更突出、更有层次。盐像舞台上的聚光灯，让甜味站得更清楚。当然，盐只能点到为止，撒多了，西瓜可就成了‘咸菜’了。”

西瓜还有清新的瓜香。那股



【图 5】果糖的冷甜效应

刚切开时扑面而来的气息，并不是糖发出来的，而是来自醛类和醇类等挥发性小分子。西瓜的清香主要和 C6、C9 类挥发性物质有关，它们会带来新鲜、刚切开的瓜果气息^[7]。但香气分子容易挥发，切开时间一长，它们慢慢跑进空气里，香味自然变淡。

冰西瓜投手最后总结道：“一块西瓜好不好吃，不只看甜度，还要看香气、水分、温度和新鲜度一起配合。好吃，是一场合奏，绝非一声独奏。”

【叁】清凉有度：从甜蜜享受到健康边界

曹丕听得兴致渐浓，正欲再取一块冰西瓜大快朵颐。

冰西瓜投手却连忙提醒：“陛

下且慢，美味亦需有度。西瓜水分充盈、入口清爽，也正因如此，很容易让人在不知不觉中吃多。吃几块是尝鲜，若抱着半个用勺挖，总糖摄入便会悄悄增加。高尿酸、痛风或血糖控制不佳的人，要格外注意食用量和频率。”

曹丕问：“果糖之甜，竟也有隐忧？”

冰西瓜投手解释道：“并不是说‘吃西瓜就会痛风’，而是大量摄入果糖会影响尿酸代谢。果糖进入人体后，主要在肝脏代谢。在这个过程中，果糖会快速消耗 ATP（腺苷三磷酸），后续可能促进 AMP（腺苷一磷酸）进入嘌呤代谢途径，最终增加尿

酸生成（图 6）。也就是说，果糖不只负责甜，也会牵动身体里的代谢路线^[8]。”

它顿了顿，又把话题拉回“冰”字：“同样是低温，在西瓜里能让果糖的甜味更明显。可在人体里，低温却可能让尿酸盐更容易结晶。尿酸盐是否容易析出，和血尿酸水平、局部环境及温度等因素有关。温度较低时，尿酸盐溶解度下降，更容易形成晶体^[9]。人体并不是处处同温。脚趾、足弓和耳缘等部位相对远离身体中心，局部温度可能更低，是身体里的‘冷角落’。当血尿酸长期偏高，再遇到受凉、饮酒或饮食不当等因素，尿酸盐结晶就容易沉积，引发炎症反应。”

曹丕听后感慨：“同样是寒，入瓜则增甜，入体则可能生痛。”

冰西瓜投手点头：“这就是科学有意思的地方。同一个低温，在不同系统里会写出不同答案：它可以点亮果糖的甜，也可能压低尿酸盐的溶解度。”

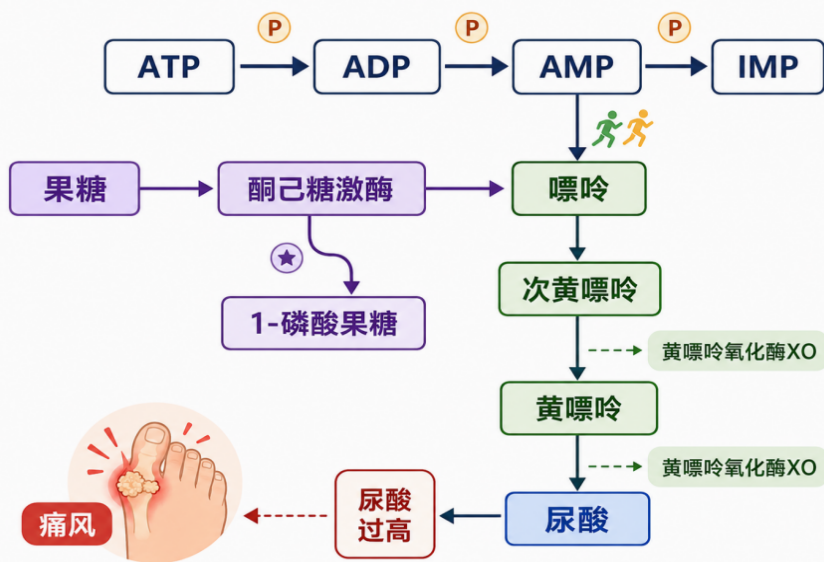
冰西瓜投手接着说：“《中国居民膳食指南（2022）》建议，成年人每天摄入新鲜水果200~350 g，果汁不能代替鲜果。食用水果不仅要适量还要多样，别让一种水果承包一天的份额。”

【肆】瓜皮未尽：从边角料到绿色材料

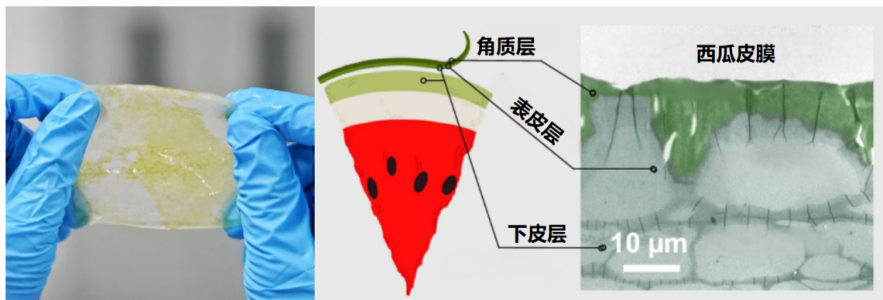
曹丕吃完红瓤，目光落在案板剩下的瓜皮上，问道：“红瓤已食，青皮便弃乎？”

冰西瓜投手摇摇头：“陛下且慢。吃瓜要有度，用瓜也可有方。瓜皮看似只是边角料，其实也藏着不少学问。”

它解释道，西瓜白瓤和瓜皮中含有纤维素、果胶以及瓜氨酸等成分^[10]。在日常生活里，只要清洗干净、处理得当，白瓤可以凉拌、清炒或腌渍，成为一道清爽小菜。这正呼应了中国饮食中“物尽其用”的智慧——瓜瓤



①【图6】果糖代谢与尿酸生成



①【图7】冰西瓜皮剥离图及结构图^[11]

负责消暑，瓜皮负责入菜，一块西瓜从头到尾都有自己的价值。

到了现代，科学家还能从瓜皮里看到材料应用的可能。西瓜皮并不是一层简单的“废皮”，它内部的纤维素、半纤维素和果胶交织在一起，像一张细密的植物纤维网（图7）。有研究者利用“冷冻—剥离”的方法，从西

瓜皮中获得较完整、较均匀的西瓜皮膜；这种膜厚度可达到几十微米量级，并由多层细胞结构组成。西瓜皮膜中的纤维素和果胶能够协同构建微孔与连续氢键网络，有利于水分保持和离子传输，因此被探索用于离子传输膜等材料研究^[11]。所谓离子传输膜，可以简单理解成一扇“选择性通行的小门”：它既要让特定离子顺

利通过，又要维持体系内的物质平衡。

曹丕听罢，不禁惊讶：“一片瓜皮，竟也能入实验室？”

冰西瓜投手答道：“红瓢负责夏天的甜，绿皮也可能走进材料科学的世界。科学并不总是始于稀有材料，有时也从一块被忽略的瓜皮开始。自然从不浪费边角料，只是等待科学重新发现它的名字。”

【终】古今交汇：从一口冰甜到科学答案

红瓢清甜，青皮静卧；刚才还在侃侃而谈的“冰西瓜投手”，此刻也变回了最初的样子。

从红瓢到瓜皮，从甜味到材料，曹丕再看案板上的西瓜，眼中所见已不只是一颗夏日水果。古人借清泉寒水求一口凉意，今人将西瓜送入冰箱，本质上都是对“浮瓜沉李”的延续。清凉的方式变了，但人们对夏日

舒爽的向往从未改变。只是今天的这口清凉，多了一层科学的注脚。我们看见，同样的低温，既能点亮果糖的甜，也可能压低尿酸盐的溶解度。西瓜的红瓢可以解暑，瓜皮也能走进实验室。自然从不浪费细节，只是等待我们用科学的眼睛重新发现。

一边是清泉寒水里的古人智慧，一边是化学分子写下的现代答案。这口冰甜，便是古今交汇的清凉。

参考文献

- [1] 王健. 再谈“冰镇”——兼论冷藏义词语的同音假借与殊途同归[J]. 汉语史学报, 2023(1): 231-239.
- [2] Naz A, Butt M S, Sultan M T, et al. Watermelon lycopene and allied health claims[J]. Excli J, 2014, 13: 650-666.
- [3] Nie H, Zhang H, Dong C, et al. High-quality genome assembly and genetic mapping reveal a gene regulating flesh color in watermelon (*Citrullus lanatus*)[J]. Front Plant Sci, 2023, 14: 1142856.
- [4] 高素燕, 商纪鹏, 王钦, 等. 西瓜染色体易位及少籽西瓜育种研究进展[J]. 中国瓜菜, 2026, 1-10.
- [5] Barclay T, Ginic-Markovic M, Johnston M R, et al. Observation of the keto tautomer of D-fructose in D₂O using ¹H NMR spectroscopy[J]. Carbohydrate Res, 2012, 347(1): 136-141.
- [6] 曹展. 有些水果冷冻后更甜[J]. 农村新技术, 2023, (05): 66.
- [7] Liu Y, He C, Song H. Comparison of fresh watermelon juice aroma characteristics of five varieties based on gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry[J]. Food Res Int, 2018, 107: 119-129.
- [8] Russo E, Leoncini G, Esposito P, et al. Fructose and uric acid: major mediators of cardiovascular disease risk starting at pediatric age[J]. Int J Mol Sci, 2020, 21(12): 4479.
- [9] Ahn H, Lee G, Lee G S. Lower temperatures exacerbate NLRP3 inflammasome activation by promoting monosodium urate crystallization, causing gout[J]. Cells, 2021, 10(8): 1919.
- [10] Volino-Souza M, Oliveira G V, Vargas R, et al. Effect of microencapsulated watermelon (*Citrullus lanatus*) intake on plasma amino acids and glycemic response in healthy adults[J]. Food Biosci, 2022, 46: 101553.
- [11] Liu Q, Tang T, Tian Z, et al. A high-performance watermelon skin ion-solvating membrane for electrochemical CO₂ reduction[J]. Nat Commun, 2024, 15: 5808.

高温天气下， 大棚植物为何不易发生 致死性热害

作者：伏成玉；Email: 550074745@qq.com



引言：大棚里的热，去了哪里

夏天走进大棚，最直接的感觉是闷热。可植物叶片并不像铁片那样只会被动升温。只要根系还能供水，气孔还能适度打开，空气还能流动，叶片就可以一边吸收热量，一边把水分蒸发出去。换句话说，大棚植物不易很快“热死”，不是因为它们不怕高温，而是因为热量被分散、转移和缓冲了（图1）。

这里有一个容易被忽视的细节：棚内空气温度高，并不等于每片叶子的实际温度都一样

高。叶片温度受光照、风速、蒸腾、叶片厚薄和水分供应共同影响。中午同一个棚里，上部受光叶、下部遮阴叶、靠近湿帘的植株和棚角通风差的植株，热负担并不相同。因此，判断热害不能只看温度计，也要观察叶片是否卷曲、午后是否恢复、花和幼果是否脱落。

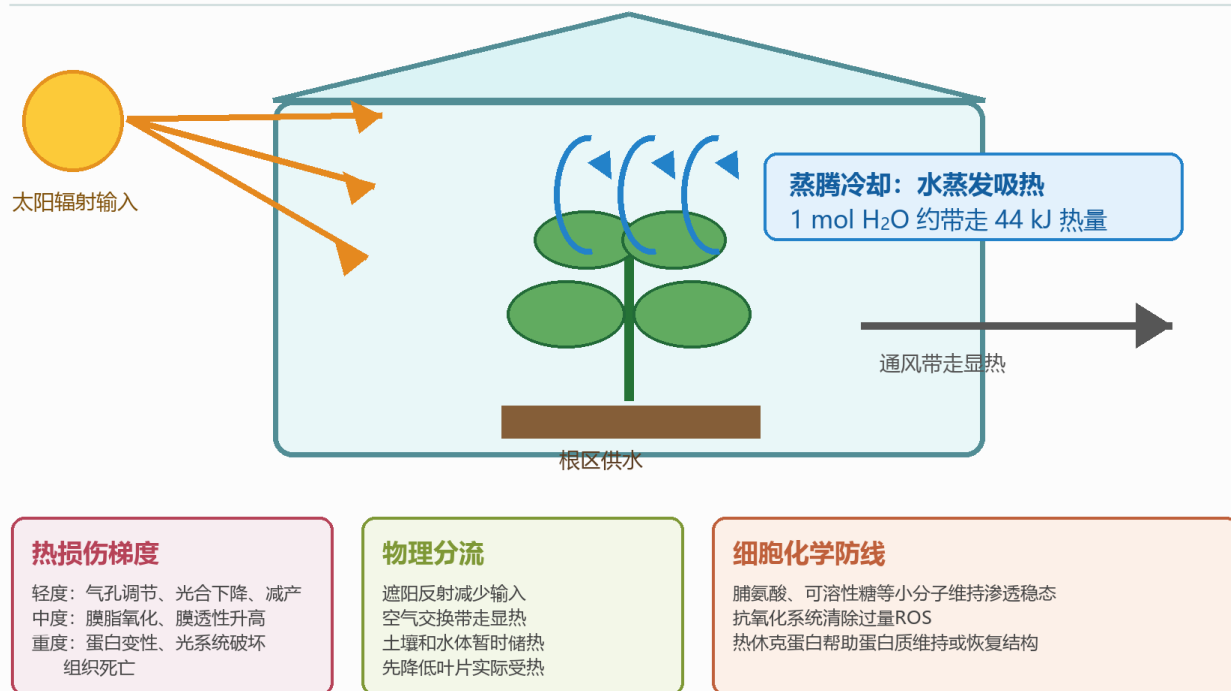
1. 蒸腾带走热量，是最基础的降温方式

水从液态变成水蒸气时要吸收能量。常温附近，1 mol H_2O 蒸发约需 44 kJ 热量^[1]。叶片蒸

腾正是利用这一点：水从根部上行到叶片，再经气孔进入空气，热量也随之离开叶面。生产上使用湿帘、雾化、喷淋和通风，本质上也是让水吸热蒸发，再把湿热空气排出棚外^[2]。如果只加湿而不通风，闷热地区反而可能降低蒸腾动力，病害风险也会增加。

蒸腾降温能否持续，还要看根区。土壤过干时，气孔会逐渐关闭，叶片虽然减少了失水，却也失去了部分散热能力；根区温度过高或盐分过重时，水分吸收

图1 大棚热量分流与植物化学保护机制示意图



注：示意图强调“热量分流—蒸发潜热—细胞化学保护—损伤梯度”的逻辑关系，非按实际比例绘制。

【图1】大棚热量分流与植物化学保护机制示意图^[1-6]

所以，大棚作物常见的问题不是“突然死亡”，而是“还活着却产量下降”。白天高温会削弱光合，夜晚高温又会增加呼吸消耗，相当于白天挣得少、晚上花得多。连续几天后，植株外观看起来变化不大，花芽分化、坐果和果实膨大却已经受到影响。这也是许多菜农在热浪后才发现产量不对的原因。

4. 番茄的例子提醒我们：绿着也可能减产

番茄在开花坐果期对热特别敏感（图3）。高温下，花粉活力、胚珠发育和激素调控都可能受到影响，最后表现为坐果率下降、无籽果增多或商品果减少。Lu等^[9]关于TSP4的研究提示，某些基因像高温坐果过程中的调节旋钮，影响果实能否顺利形成。对普通读者来说，不必记住复杂基因名，只要理解一点：植株看起来还绿，不代表产量系统没有受伤。

这类研究对生产也有启发。棚室管理不能只在叶片萎蔫时才处理高温，更要关注开花前后几天的温度。短时间强热可能不致死，却足以影响花粉和幼果。耐热育种、遮阳降温、水肥管理和授粉期避开极端高温，本质上都是在保护这个最敏感的生殖阶段。

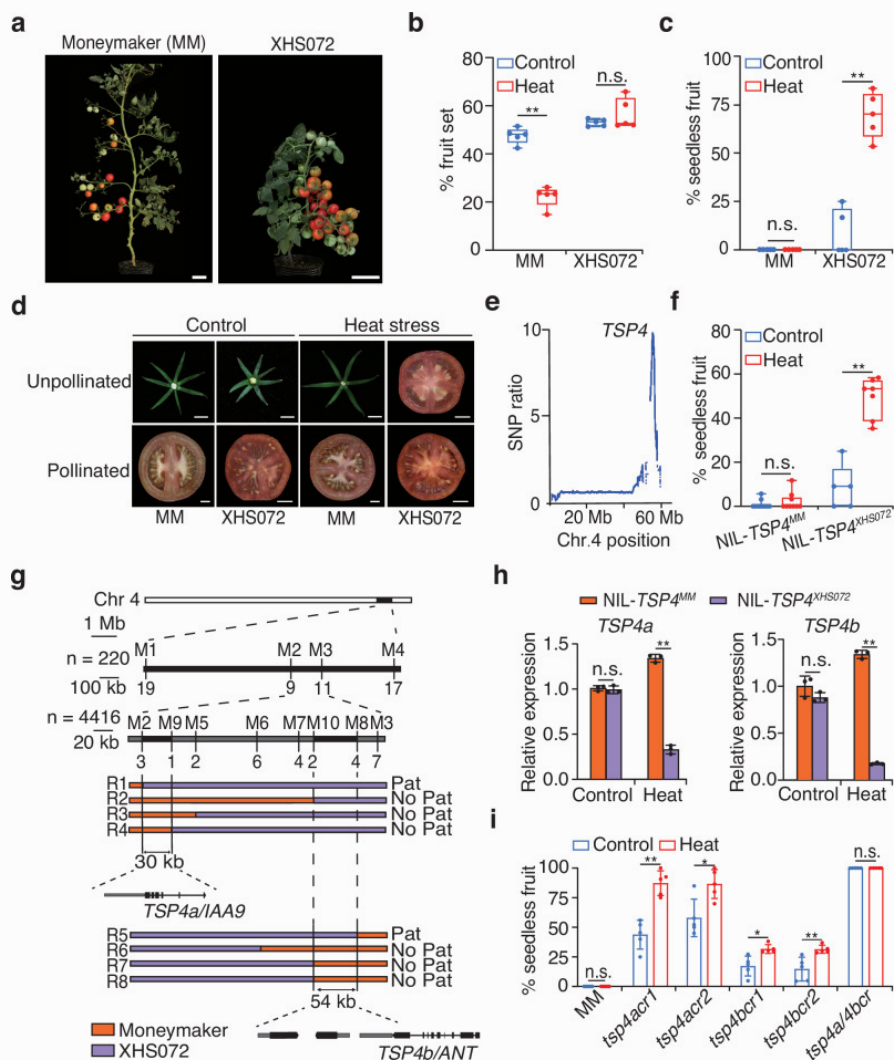


图3 温室热胁迫条件下番茄植株、果实、坐果率 and 无籽果率等表型与数据，显示高温常先造成减产而非立即致死^[9]

5. 气孔像小门，开关要看水和热

气孔由两侧保卫细胞控制（图4）。水分充足时，保卫细胞吸收离子和水，气孔打开，蒸腾降温增强；干旱或热风险升高时，脱落酸（ABA）增加，气孔会趋向关闭，以减少失水。S-type 阴离子通道可以理解为离子外流的

闸口，H⁺-ATPase 则像消耗能量的小泵，帮助建立离子移动的动力^[10]。这些名词很专业，但核心并不复杂：气孔既要让叶片散热，又不能让植物失水过快。

气孔开得太大，水分消耗快；关得太紧，二氧化碳进不来，蒸腾降温也弱。高温天里，植物一直在这两难之间寻找平衡。管

理上保证根区水分、避免午间强光直晒、让棚内空气流动，就是在帮植物把这扇“小门”开在合适的位置。

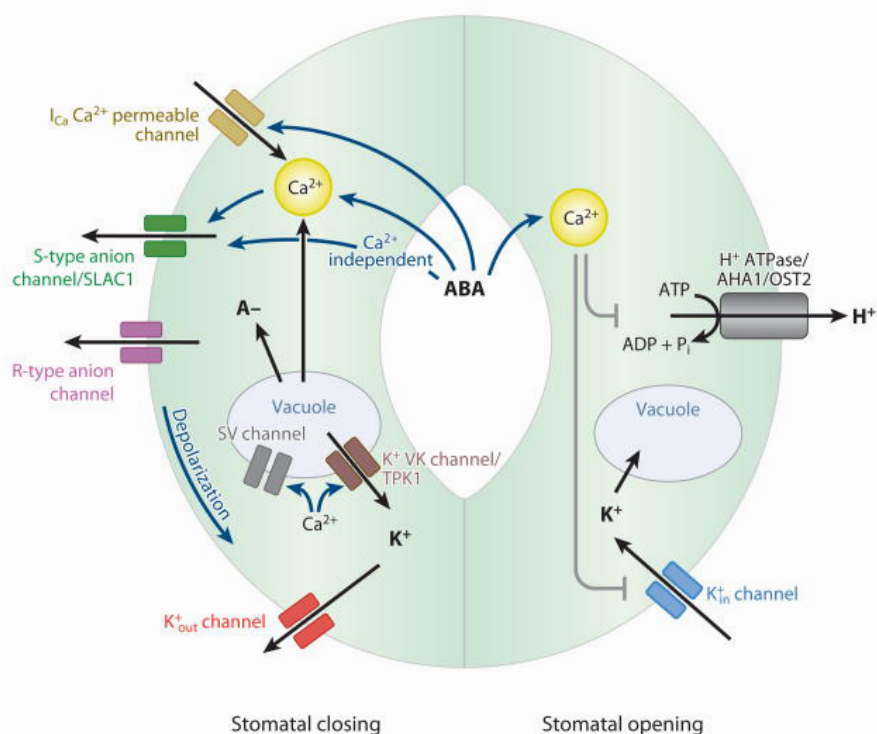
6. 棚室管理要看“热量账”

管理大棚不能只盯一个温度数字。遮阳网减少辐射输入，顶窗和侧窗带走显热，湿帘和雾化利用水蒸发降温，滴灌保证根区有水可供蒸腾^[2]。这些措施要配合当地天气使用。干热环境中，蒸发冷却往往效果好；高湿闷热时，通风比单纯加湿更重要。连续高夜温也不能忽视，因为夜间呼吸会消耗白天积累的糖分，使作物出现“不死但减产”的隐性热害。

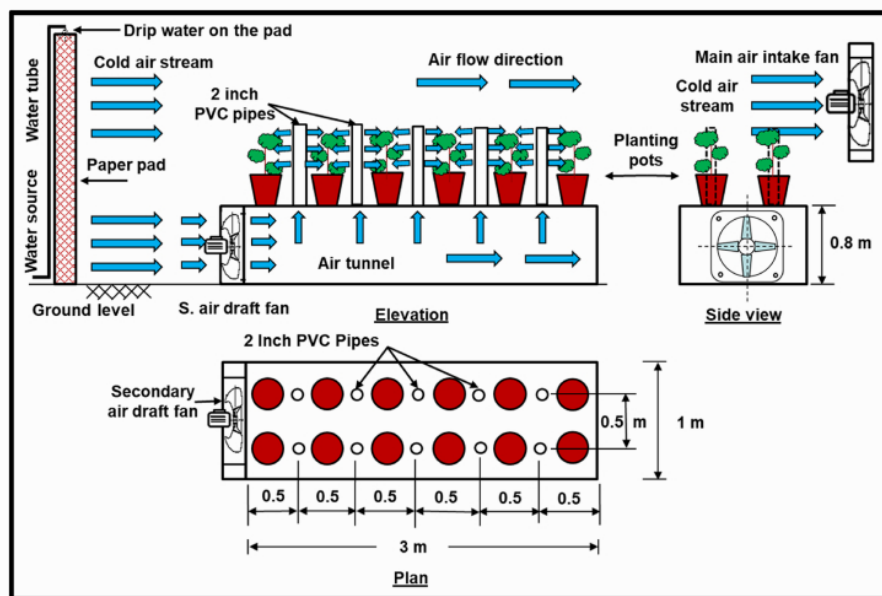
比较稳妥的做法，是把棚温、叶温、湿度、土壤含水量和植株表现一起看。午后短暂萎蔫、傍晚能恢复，说明系统还在调节；若清晨仍萎蔫，或新叶、花和幼果连续受损，就应及时降温、补水和改善通风。大棚里的高温管理，说到底是在帮植物维持一笔热量和水分的平衡账。

结语

大棚植物不易发生致死性热害，是蒸腾散热、通风换气、渗透调节、抗氧化反应、蛋白保护和棚室工程共同作用的结果



【图 4】保卫细胞信号转导与离子通道调控网络，可通俗理解为气孔“小门”的开闭调节系统^[10]



【图 5】改进型温室蒸发冷却系统示意图，体现利用水蒸发潜热降低棚内热负荷的工程思路^[2]

(图 5)。更准确地说，植物和管理措施是在争取把高温影响控制

在可恢复范围内，而不是让热害完全消失。判断高温危害时，既要看叶片是否萎蔫、日灼，也要看坐果、品质和产量。叶片没死，并不等于作物没有受伤。

对种植者而言，热浪来临前

的预防通常比热害发生后的补救更有效。提前检查通风口、遮阳网和湿帘，保持根区水分不过干也不过湿，避开中午高温进行强修剪或重施肥，都能减少作物额外负担。若已经出现萎蔫、落花

或日灼，应先判断是缺水、通风差还是根区吸水受阻，再决定补水、降温或调整通风。把高温看成一笔“热量账”和“水分账”，比简单问棚温多少度更接近实际。

参考文献

- [1] Gates D M. Transpiration and leaf temperature[J]. Annual Rev, Plant Physiol, 1968, 19: 211-238. DOI: 10.1146/annurev.pp.19.060168.001235.
- [2] Rashwan M M, Mahmoud A M, Fath H, et al. Evaluating the thermal performance and energy efficiency of a novel greenhouse evaporative cooling system[J]. Heliyon, 2024, 10(9): e30399. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e30399.
- [3] Zhang H, Zhu J, Gong Z, et al. Abiotic stress responses in plants[J]. Nat Rev Genet, 2022, 23: 104-119. DOI: 10.1038/s41576-021-00413-0.
- [4] Ahmad M, Waraich E A, Skalicky M, et al. Adaptation strategies to improve the resistance of oilseed crops to heat stress under a changing climate: An overview[J]. Front Plant Sci, 2021, 12: 767150. DOI: 10.3389/fpls.2021.767150.
- [5] Hayat S, Hayat Q, Alyemeni M N, et al. Role of proline under changing environments: A review[J]. Plant Signaling Behavior, 2012, 7(11): 1456-1466. DOI: 10.4161/psb.21949.
- [6] Hasanuzzaman M, Nahar K, Alam M M, et al. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants[J]. Int J Mol Sci, 2013, 14(5): 9643-9684. DOI: 10.3390/ijms14059643.
- [7] Berry J, Bjorkman O. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants[J]. Annual Rev Plant Physiol, 1980, 31: 491-543. DOI: 10.1146/annurev.pp.31.060180.002423.
- [8] Salvucci M E, Crafts-Brandner S J. Inhibition of photosynthesis by heat stress: the activation state of Rubisco as a limiting factor in photosynthesis[J]. Physiologia Plantarum, 2004, 120(2): 179-186. DOI: 10.1111/j.0031-9317.2004.0173.x.
- [9] Lu X, Wu J, Shi Q, et al. A feedback loop at the THERMOSENSITIVE PARTHENO-CARPY 4 locus controls tomato fruit set under heat stress[J]. Nat Commun, 2025, 16: 4184. DOI: 10.1038/s41467-025-59522-7.
- [10] Kim T H, Bohmer M, Hu H, et al. Guard cell signal transduction network: advances in understanding abscisic acid, CO₂, and Ca²⁺ signaling[J]. Annual Rev Plant Biol, 2010, 61: 561-591. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042809-112226.

CCS Chemistry 综述推荐 |

超分子聚合物科学的九大挑战和未来机遇

来源：CCS Chemistry 公众号；原文链接：https://mp.weixin.qq.com/s/_450cxX3DI1aGkaDzYcySg

编者按：

如果传统聚合物像由牢固铆钉连接的链条，超分子聚合物就更像由可开合的“分子搭扣”组成：稳定时维持结构，受到特定刺激时又能解离、重组。正是这种可逆性，让材料拥有自修复、环境响应和循环加工的潜力，也带来“如何兼顾稳定与动态”的核心难题。

超分子聚合物科学既拓展了超分子化学的外延，又丰富了高分子科学的内涵，可望成为可持续发展社会的重要科技支撑。由清华大学张希教授、新加坡南洋理工大学陈晓东教授、德国维尔茨堡大学 Frank Würthner 教授、英国剑桥大学 Oren A. Scherman 教授、美国印第安纳大学 Amar Flood 教授、浙江大学黄飞鹤教授、吉林大学孙俊奇教授等来自中国、新加坡、德国、英国、美国等 7 个国家和地区的 37 位国际学者，围绕超分子聚合物科学，从非共价聚合驱动力、聚合方法、物理机制、材料形态以及工程应用五个层面系统梳理了近年来的重要进展。同时，他们针对

未来发展需求，提出了九个亟待回答的基础问题与重大挑战：协同性、定量化、时空观测、理论模拟、数智化、可循环性、健康医疗、能源转化以及规模化制造。他们指出，通过融合人工智能、数据驱动设计、自动化合成和先进制造等新理念、新技术和新方法，超分子聚合物科学有望为可持续发展提供可循环再生的材料、器件和智能系统。这篇综述不仅是一次深度的总结与探讨，更是一封面向全球多学科科研共同体的合作倡议书。

为什么现在需要“动态”的聚合物？

过去一个世纪，共价聚合物

凭借高强度、耐久和易加工，支撑了包装、交通、航空航天和生物医学等众多领域。但今天，材料面对的需求正在转变：它们不仅要“结实耐用”，还要能够感知环境变化、在受损后修复、按需改变结构，并在生命周期结束后重新进入循环。这并不意味着传统共价聚合物将被取代，而是材料科学需要一种新的连接逻辑。超分子聚合物依靠氢键、主客体作用、金属配位等可逆的非共价相互作用维系结构。单个作用可能不强，但多个作用协同后可以形成稳定体系；当温度、光、力、化学环境等条件改变时，这些连接又可能重新组织，材料由此获得“动态适应”的空间。

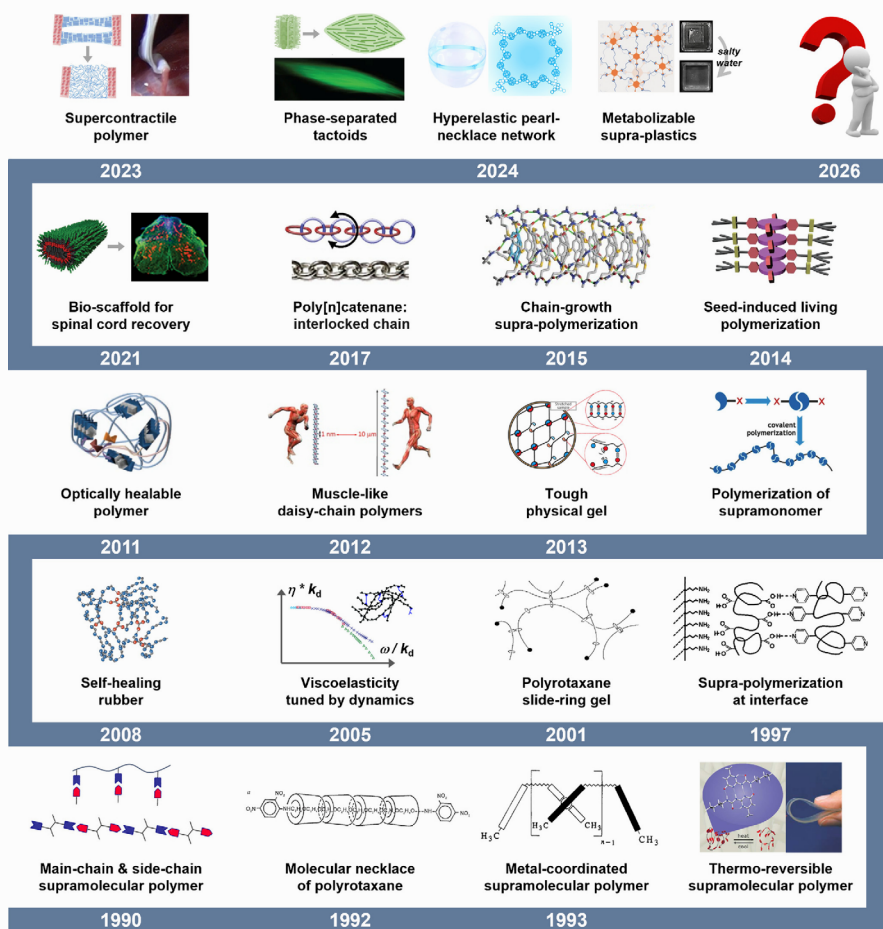
从“大分子”到“可编程材料”

1920年，德国化学家赫尔曼·施陶丁格提出“大分子”学说，开启现代聚合物科学研究。此后，超分子化学把研究视角从“分子内部如何连接”拓展到“分子之间如何识别并组装”。近四十年来，超分子聚合物已从概念探索走向化学、物理、材料、加工和器件的交叉前沿，在组织工程、柔性生物电子、能源存储和可持续材料等方向展现出巨大潜力（图1）。更重要的是，人工智能辅助设计、自动化实验平台和智能制造等正在改变研究方式：超分子聚合物的开发正在从过去“经验试错式探索”走向基于数据和机制的“精准设计与智能编程”，这将加快超分子聚合物领域的发展。

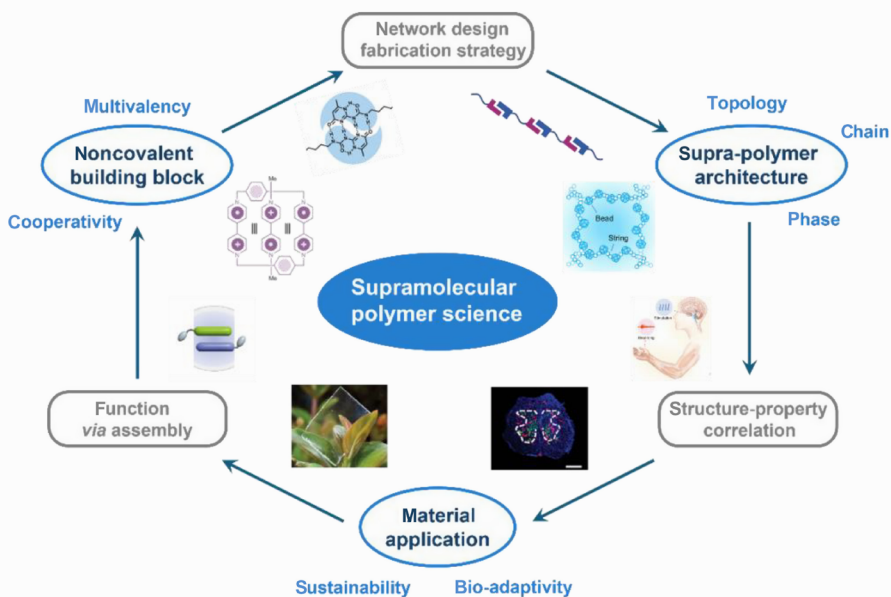
五条前沿，正在汇聚成一门“材料系统科学”

综述将近年来的重要进展归纳为五个彼此相连的层面，它们共同推动超分子聚合物从“能组装”走向“可控制、可理解、可应用”（图2）。

聚合驱动力：让“分子搭扣”更加多样。自由基对、卤键、阴离子二聚、阳离子- π 等相互作用的引入拓宽了构建超分子聚合物体系的物质基础。



【图1】超分子聚合物科学的历史发展概略



【图2】超分子聚合物体系：从分子构筑到功能组装

聚合方法学：让组装过程更加可控。超分子单体的可控聚合、

动力学惰性单体的活性超分子聚合、燃料驱动的耗散聚合以及协

同共价-超分子聚合等聚合方法的建立，为超分子聚合物的可控构筑提供了有效途径。

物理机制：打通从微观到宏观的解释链。将经典高分子物理的理论方法应用于超分子聚合物体系，为深化认识其构效关系开拓了全新的研究视角。

材料形态：从弹性体走向玻璃与晶体。精细调控聚合物内部的短程或长程有序结构，有力推动了超分子聚合物材料形式的创制。

工程应用：进入生命、电子、能源与循环场景。超分子聚合物体系在组织工程、柔性生物电子、锂离子电池、循环高分子回收等领域，更是催生了广阔的应用和转化前景。

真正的分水岭：九大挑战能否被解决

一个新材料方向走向成熟，不能只看“做出了什么”，还要回答“能否测准、算准、稳定复现并规模制造”。综述提出的九个挑战，正对应从基础发现到应用的完整链条。每一个挑战背后，也都藏着新的研究机会（图3）。

1) 协同性：如何从试错法演进为对共价键和非共价相互作用的协同调节来构建结构与性质

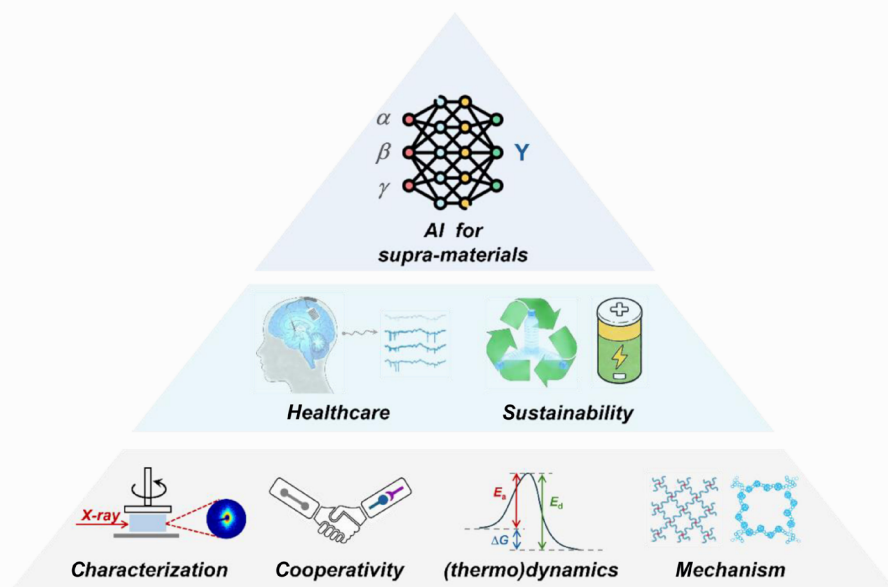


图3 超分子聚合物科学未来发展的挑战与机遇

可控的超分子聚合物；

2) 定量化：如何从半经验性运用到定量选取热力学和动力学性质来编程多层次的超分子聚合物体系；

3) 时空观测：如何集成多种表征工具来原位高分辨探测不同时空尺度下的超分子聚合物结构；

4) 理论模拟：如何在一般性和特异性之间建立可控的妥协来研究多层次动力学，从而搭建超分子聚合物物理的框架；

5) 数智化：如何建立标准化数据库和数据共享平台来赋能数据驱动的超分子聚合物化学；

6) 可循环性：如何发展有

经济价值且环境友好的方法来重新回收并加工超分子聚合物材料；

7) 精准医疗：如何充分利用超分子聚合物的动态适应性和相容性来发展诊断和治疗手段；

8) 能源转化：如何平衡超分子聚合物内部的结合与解离来调控载流子的迁移并实现其高效传输；

9) 规模化制造：如何提升超分子聚合物规模化制备的稳定重复性来促进其转化和应用。

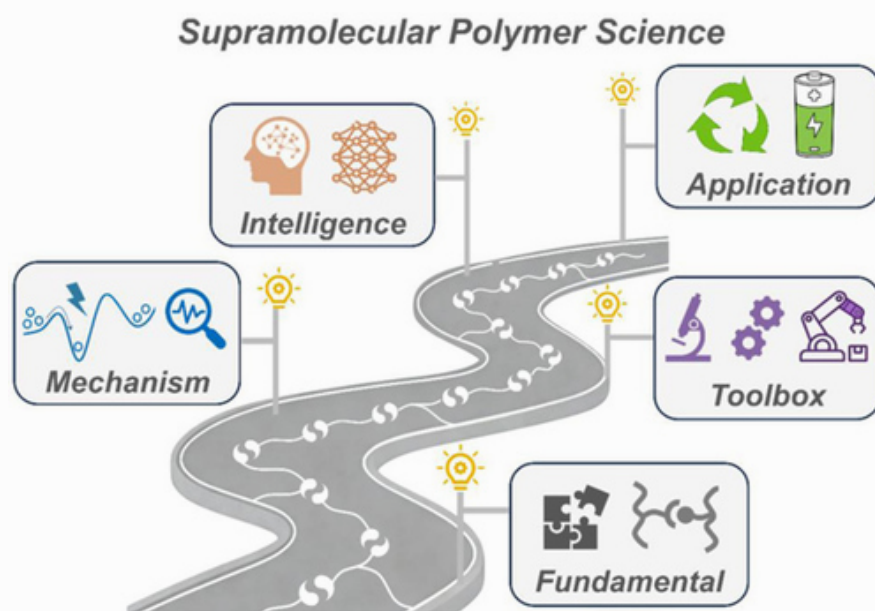
最大的机会，来自学科交叉形成的闭环

超分子聚合物科学未来的突破，很可能不只来自一种更强的非共价作用，而来自“数据-模

型 - 设计 - 实验 - 制造”的闭环，综述从不同维度展现超分子聚合物科学的未来发展路线（图4）。未来，通过与人工智能赋能设计、智能制造和绿色循环理念的深度结合，超分子聚合物科学有望推动聚合物材料从传统的“稳定结构”时代迈向“动态智能”的新纪元，为构建更加可持续的未来材料体系提供重要支撑。

写在最后：材料的未来，不只是“更强”

超分子聚合物科学令人着迷之处，在于它改变了我们对材料的想象：材料不再只是被动承载结构，也可能像一个动态系统那样感知、响应、修复和重组。与此同时，越接近真实应用，问题就越具体：性能如何定量？机制



【图4】超分子聚合物科学的未来发展路线

如何验证？回收是否经济？制造能否重复？安全性如何评估？

因此，这篇综述更像一张路线图：基础科学决定我们能走多深，数据与工具决定我们能

走多快，可持续性与规模制造决定我们最终能走多远。下一代聚合物的竞争，或许将从单纯追求“更强、更耐用”，走向“更聪明、更适应，也更容易回到循环之中”。

文章详情：

Fundamental Questions and Grand Challenges in Advancing Supramolecular Polymer Science

Zixiang Zhou, Zehuan Huang*, Haotian Bai*, Quan Chen*, Xiaodong Chen*, Amar Flood*, Alexandra L. Ramos Figueroa, Zhao Gao, Atsushi Goto*, Han Han, Feihe Huang*, Zhekai Jin, Devika Karolly, Weiheng Lai, Hong Tho Le, Guangfeng Li*, Hongbin Li*, Yixuan Li, Kai Liu*, Ming Liu, Yu Ou, Yunyan Qiu*, Md. Mahamudul Hasan Rumon, Oren A. Scherman*, Junqi Sun*, Wei Tian*, Chao Wang*, Ruibing Wang*, Shu Wang*, Yuanyuan Wei, Frank Würthner*, Jiang-Fei Xu*, Xuehai Yan*, Junqi Yi*, Hang Yin, Chengqian Yuan and Xi Zhang*

Cite this: *CCS Chem.* 2026, 8, 3704–3778

文章链接: <https://doi.org/10.31635/ccschem.026.202607756>



扫码或长按二维码在线阅读



中石油（上海）新材料研究院携手美国化学文摘社联合发布 《全球高分子材料前沿：数据驱动的创新趋势全景分析》报告

来源：ACS 美国化学会公众号；原文链接：https://mp.weixin.qq.com/s/x5x0l1xz0_kMa3mj4GeA2g



中国上海、美国俄亥俄州
哥伦布市, 2026年8月6日——
中国石油天然气股份有限公司
旗下的核心研发机构中石油
（上海）新材料研究院有限公
司（简称“新材料院”）与
美国化学会旗下机构美国化学
文摘社 (CAS), 今日联合发布
重磅报告——《全球高分子材
料前沿：数据驱动的创新趋势
全景分析》。作为双方深化合
作的首项研究成果，该报告融
合了新材料院在材料科学领域
的深厚产业积淀与 CAS 在科学
数据及情报分析方面的核心优
势，系统性地勾勒并解读了全
球聚合物材料的创新版图。

.....

3. 基于数据的全球聚合物研究主题识别与分析

3.1 全球出版动态与竞争格局分析

2015 年至 2025 年，全球聚合物领域展现出强劲的商业吸引力，其创新活动亦呈现出明显的地理区域集聚特征。通过对 CAS 内容合集 (Content Collection™) 中近百万篇文献的分析，我们系统梳理了过去十年聚合物科学的演进历程，并揭示了学术研究探索与工业应用开发之间的深层联动关系。

3.1.1. 聚合物研究的全球出版趋势

在聚合物领域，专利活跃度显著高于期刊论文。统计显示，所有聚合物相关文献中，专利族占比达 72%，期刊论文仅占 28%（图 3），二者比例为 2.5:1，明显高于多数理工科领域的常规水平。这充分反映出聚合物创新成果的商业价值与产业实用属性。从文献分布来看，聚合物领域已步入成熟发展阶段，技术应用落地与知识产权保护的优先级已高于基础机理研究。

从时间维度看，近十年期刊论文与专利文献的演变轨迹呈现明显分化。期刊论文发表量保持高度稳定，年均维持在 2.4 万至 2.6 万篇，反映出该领域已形成稳定的科研队伍与可持续的资金支持体系。相比之下，专利族申请量波动较大：2017 至 2019 年间曾出现显著峰值，年申请量约 6.7 万个；此后从 2020 年起回落，至 2021 年降至约 5.8 万个。这一下降趋势或受多重因素叠加影响，包括新冠疫情对工业研发活动的冲击，以及部分聚合物应用市场趋于饱和。

2025 年初步数据显示论文发表量有所下滑，但鉴于当前分析时点该年度数据尚未完整收录，对此趋势应保持审慎解读。总体而言，全球聚合物研究正从此前的快速扩张阶段转向整合优化期，未来的创新重心从追求数量转向重视成果质量与定向应用创新。

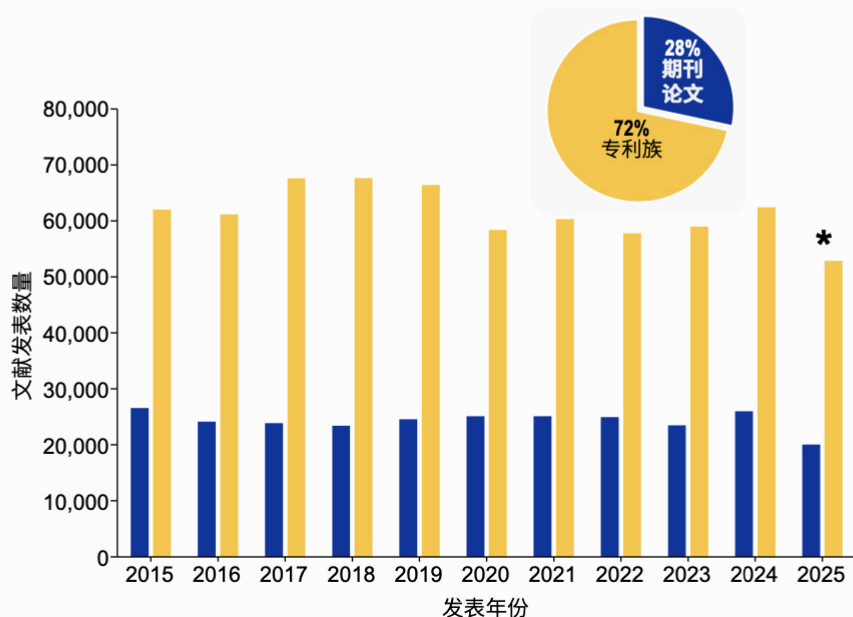


图 3. 2015-2025 年聚合物相关期刊论文与专利族的年度分布。内嵌饼图展示了 CAS 内容合集中专利族与期刊论文的总体占比。

*注：2025 年数据仅涵盖 1 月至 11 月。

3.1.2. 聚合物创新的地域分布

地域分析显示，全球聚合物研发活动高度集中于亚洲地区，尤其是中国，这一趋势从根本上重塑了全球创新版图（图 4）。中国的领先地位尤为突出：在统计期内，中国累计贡献期刊论文超过 10.5 万篇、专利族约 36.5 万个，分别占全球总量的约 40% 和 56%。从绝对规模来看，中国在聚合物创新领域的产出已超过其后四个国家/地区的总和，已是无可争议的全球高分子创新龙头。

日本位列第二位，累计发表约 1.5 万篇期刊论文，拥有 12.5 万个专利族，专利与论文比高达 8:1，凸显其对商业化开发的高度重视。这一特征不仅反映了日本在材料科学领域的深厚工业底蕴，也体现了其在高价值聚合物应用知识产权保护方面的战略聚焦。韩国呈现出相似的发展轨迹，期刊论文发表量约 1 万篇，专利族数量达 4.5 万个，印证了其以产业化为导向的科研生态体系。

相比之下，美国的创新模式更为均衡。统计期内，美国累计发表约 2.2 万篇期刊论文，拥有 3.5 万个专利族，专利与论文比为 1.6:1，显著低于亚洲主要经济体。这表明美国在推动技术商业化的同时，依然保持了对基础研究的持续投入与高度重视。这种差异或源于各国在专利布局战略、学术资助体系以及工业研发侧重点上的差别。

欧洲各国的创新格局则呈现差异化。例如，德国发表了约 1 万篇期刊论文，拥有 2 万个专利族；而法国相对于其期刊产出，专利密集度更高。此外，局部放大数据显示还有一些规模较小但贡献突出的国家/地区。其中，印度作为新兴力量展现出强劲潜力，其 1.6 万篇期刊论文的发表量已与部分成熟研究型国家相当；不过，其专利数量相对偏少，表明该国的科研体系目前仍处于商业化转化能力的建设阶段。

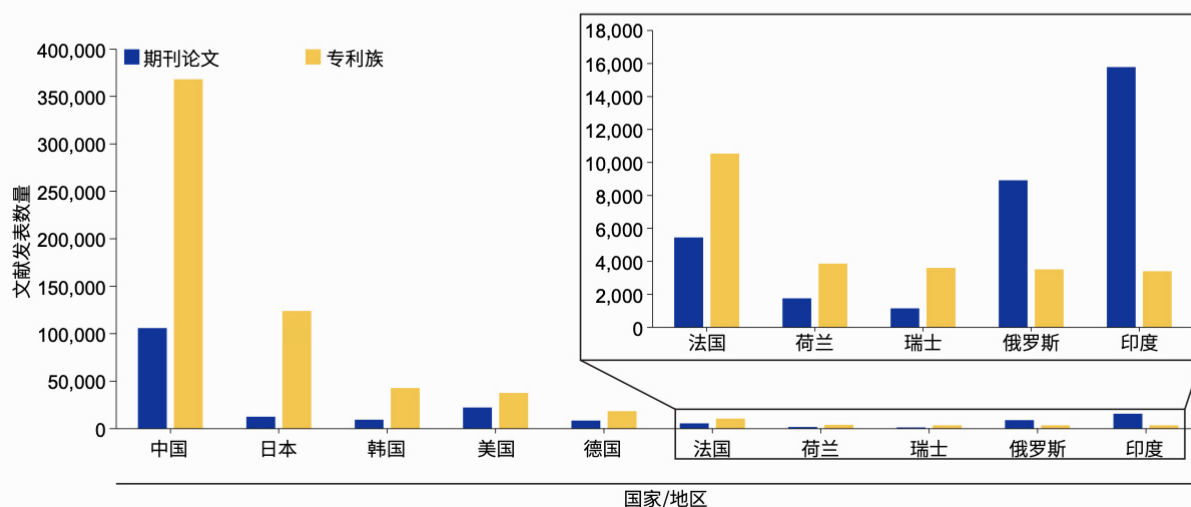


图 4. 2015—2025 年聚合物相关期刊论文与专利族的地理分布（按国家/地区划分）。内嵌柱状图展示了法国、荷兰、瑞士、俄罗斯和印度的局部放大细节。数据涵盖 CAS 内容合集中 2015 至 2025 年间聚合物领域的期刊论文与专利族。

3.1.3. 机构卓越性与研究影响力

对聚合物领域科研机构的分析揭示了一个复杂的创新生态：以被引次数衡量的研究质量与发文规模之间，并非简单的线性正相关（图 5）。对顶尖机构的评估表明，尽管发表策略各有不同，但来自不同区域的科研机构均能建立其全球科学影响力。

从篇均被引次数来看，部分机构展现出极高的学术影响力。新加坡国立大学在统计期内发表论文不足 500 篇，却以约 52 次/篇的篇均被引成绩位居榜首，反映出该校采取高度选择性的发表策略，聚焦于突破性前沿研究。同样，西北大学、麻省理工学院和伦敦帝国理工学院等西方顶尖机构的篇均被引次数也均超过 45 次，表明其研究成果在行业中具有核心引领作用。

在绝对发文规模上，中国科研机构占据主导地位。中国科学院以逾 6,000 篇论文发表量领跑，中国科学技术大学和清华大学紧随其后，发文量均在 1,000 篇左右。然而，这些高产机构的篇均被引表现呈现分化态势：中国科学院篇均被引约为 30 次，而其他部分高产机构的平均影响力则相对偏低。这一现象折射出各机构在科研布局上的差异化战略——部分机构追求高分子研究领域的全面布局，而另一部分则深耕高影响力细分方向。

此外，比利时根特大学、沙特阿拉伯的多家科研机构，以及来自亚洲与西方的各类大学纷纷跻身全球高产机构行列，充分印证了聚合物研究的全球化特征。数据表明，该领域的高水平研究已不再局限于传统科学强国，全球各地新兴研究高地正不断崛起。

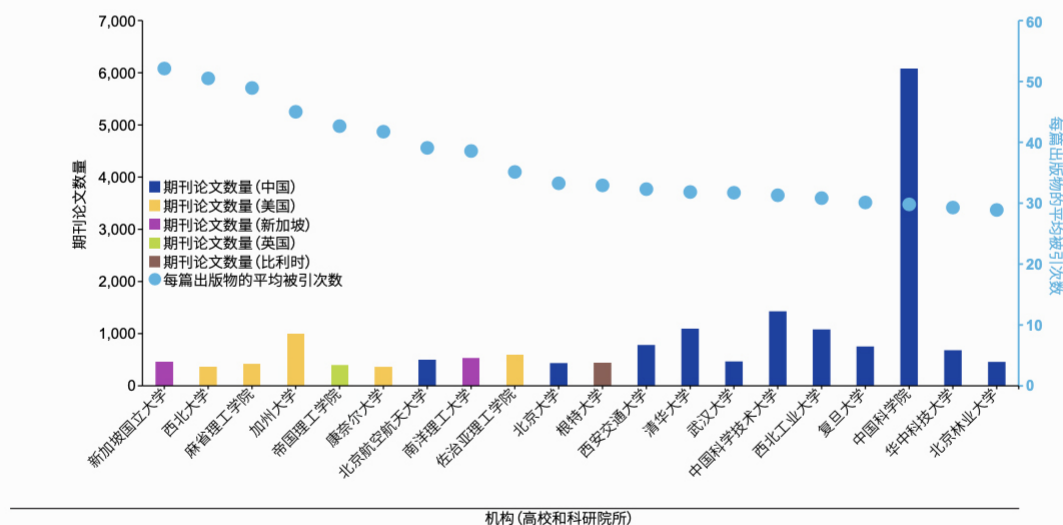


图 5. 聚合物领域领先机构（高校和科研院所）的研究产出（发文量）与影响力（篇均被引次数）。数据涵盖 CAS 内容合集中 2015 至 2025 年期间的期刊论文。

3.1.4. 聚合物技术的商业创新格局

企业专利全景为理解各行业如何推动聚合物创新提供了重要视角（图 6）。在专利申请方面，中国国有企业占据绝对主导地位。其中，中国石化以超过 10,000 个专利族位居首位，中国石油（CNPC）紧随其后，拥有约 4,000 个专利族。石油和天然气巨头庞大的专利组合，深刻反映了中国依托原料优势和垂直整合能力，从基础石化生产向高附加值聚合物材料转型的战略路径。

化工行业的专利龙头呈现更为多元的地域分布格局。韩国 LG 化学以约 6,500 个专利族位居榜首，其后是东丽工业、三菱化学、住友化学等日本企业，各拥有 4,000 至 6,000 个专利族。作为传

统化工行业巨头，这些企业已在各类聚合物应用领域系统构建了全面的专利组合。尽管日本整体的论文产出规模有限，但该国化工企业的专利成果亮眼，彰显了其高效的商业研发体系与清晰的知识产权布局战略。

值得注意的是，跨行业的终端制造商同样表现活跃：富士胶片控股 (Fujifilm Holdings) 和凸版控股 (Toppan Holdings) 来自印刷与成像行业，普利司通 (Bridgestone) 和米其林 (Michelin) 则来自轮胎与橡胶制造业。这些企业均拥有规模可观的专利储备（每家 2,000 至 3,500 个专利族），表明聚合物创新已突破传统化工企业的边界，延伸至为特定场景开发专用材料的终端应用端。

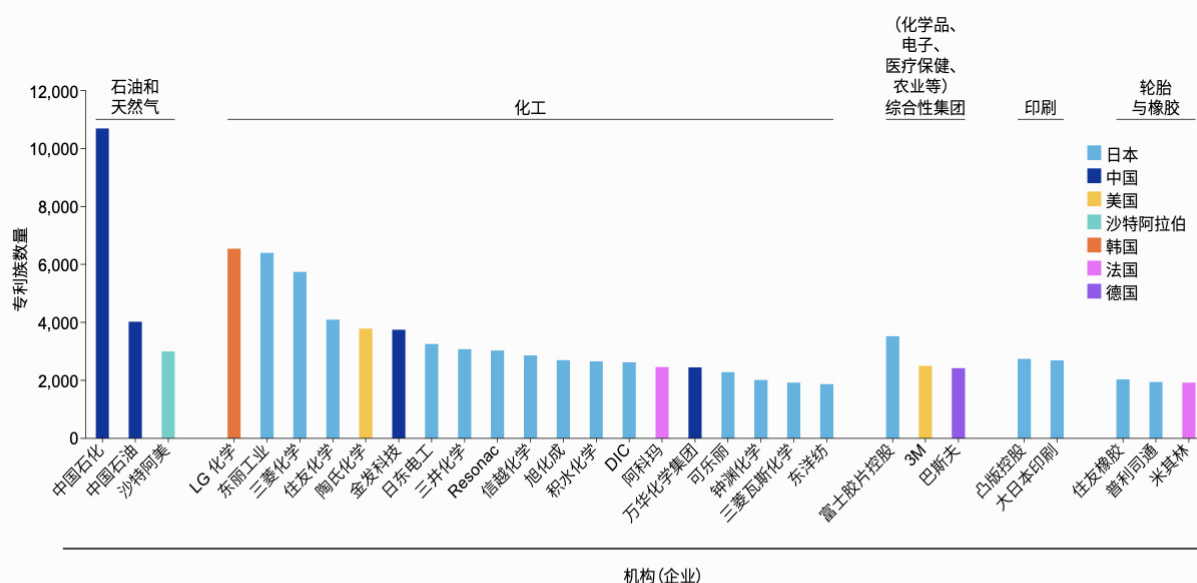


图 6. 按专利族数量排序的聚合物研究领先机构（企业），按行业领域与来源国分类。数据涵盖 CAS 内容合集中 2015 至 2025 年聚合物领域的专利族。

头部企业专利申请人的地域分布，折射出各国不同的创新战略。尽管日本整体科研体量较小，但有多家企业仍跻身顶尖行列，展现出日本将研发投入转化为专利产出效率十分突出。韩国企业（尤其是电子和化工领域）在高附加值应用方面表现出精准的创新力。相比之下，西方企业在专利申请头部榜单中屈指可数——仅有德国巴斯夫(BASF) 及少数美国企业上榜——这可能反映出其在知识产权保护路径上的差异，也预示着全球高分子材料创新中心或许正在转移。

3.1.5. 科研机构的专利活动与技术转让潜力

科研机构申请的专利全景分析为理解产学研合作与技术转让模式提供了重要线索（图 7）。中国科学院尤为突出，拥有近 8,000 个专利族，数量超过了排名其后十家科研机构的总和。这种突出的专利产出表现，反映了中国独特的创新体系：学术机构在政策的有力激励下，不仅承担基础研究职能，同时积极开展具有商业化潜力的应用研究，并主动推动技术成果向产业端转化。

中国高校在科研机构专利布局中占据绝对主导地位，其专利族数量占所有学术类专利族的

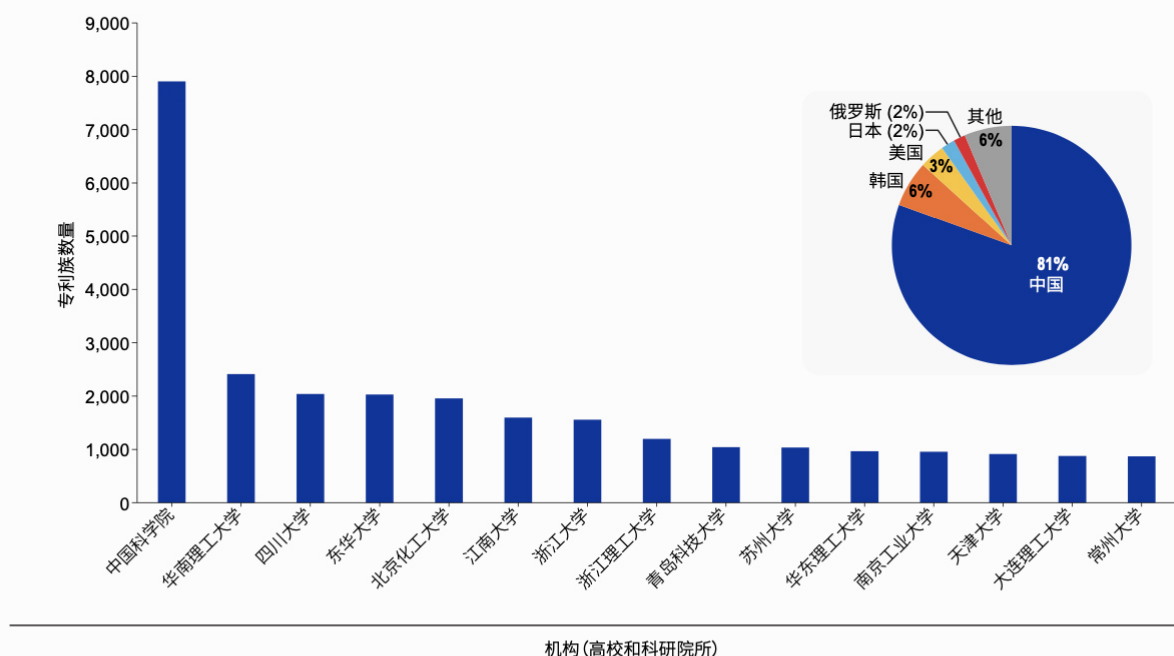


图 7. 按专利族数量排序的聚合物研究领先机构（高校和科研院所）。内嵌饼图展示了其地理分布。数据涵盖 CAS 内容合集中 2015 至 2025 年期间聚合物研究领域的专利族。

81%。华南理工大学、四川大学、东华大学和北京化工大学等高校各自贡献了 2,000 至 2,500 个专利族，显示出高校体系内有一套系统化的知识产权培育模式。这一模式折射出中国独特的科研评价导向：专利申请已被深度融入学术评价体系，各高校也建立了成熟的科技成果转化机制。

相比之下，西方高校在专利申请榜单上占比较低，反映学术创新路径的根本差异。尽管西方高校在基础研究和高影响力论文发表方面表现出色，但它们较少追求直接的专利产出，可能更倾向于通过技术许可或孵化衍生公司来实现商业化。日本、韩国等其他亚洲国家虽然整体科研产出强劲，但除中国外，这些国家专利的申请仍以企业为主，而非高校。

对比企业申请的专利与科研机构申请的专利申请情况，可以看出各国拥有截然不同的创新生态

态与技术转让机制（图 8）。中国企业申请的专利占主导优势，其专利族数量约 28 万个，远高于科研机构申请的 8.5 万个专利族。表明中国企业正以前所未有的规模，积极将聚合物研究成果转化为受法律保护的知识产权。企业申请的专利与科研机构申请的专利比例为 3.3:1，意味着尽管两类专利的绝对数量均十分可观，但产业端研发的专利产出远超学术界。

日本呈现出截然不同的模式：企业申请的专利族约 12 万个，而科研机构申请的专利数量几乎可以忽略不计。40:1 的悬殊比例表明在其创新生态中，专利申请几乎完全是产业界的行为，高校可能更专注于基础研究，而将商业化环节交由企业合作伙伴完成。韩国和美国则处于中间水平，企业专利数量为科研机构专利数量的 5 至 10 倍，表明其创新体系虽更为均衡，但仍以产业界为主导。

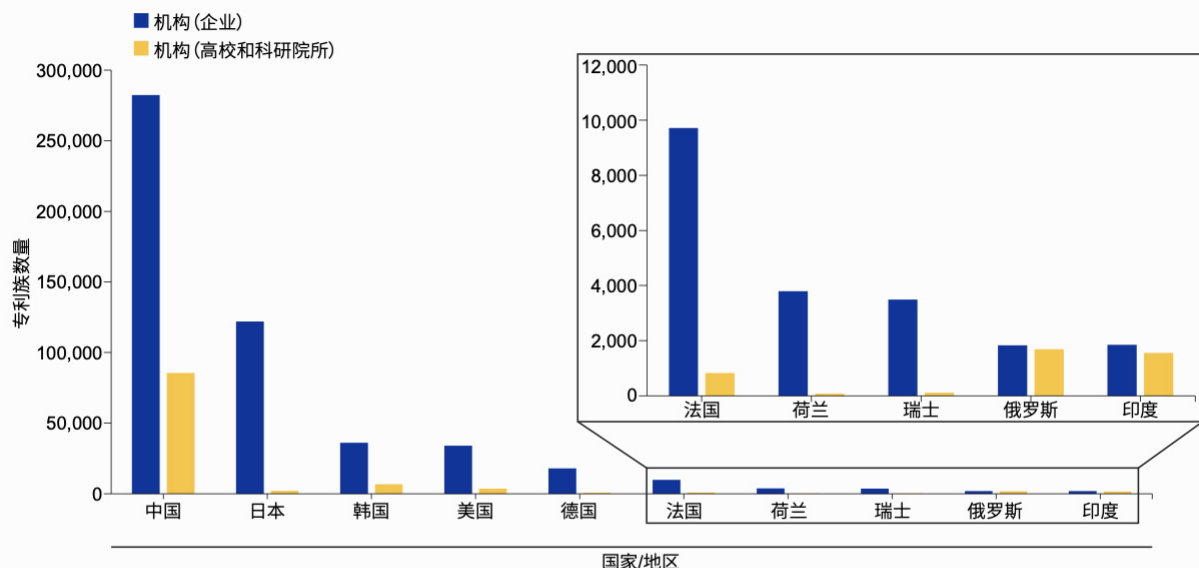


图 8. 各国家/地区研究与学术机构及企业专利族的分布情况（2015-2025 年）。内嵌插图展示了部分国家/地区的详细数据。

【未完待续】

《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



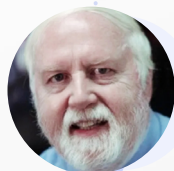
编委：徐海
中南大学



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：欧阳瑞镭
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