

大自然的“绿色化学”——真菌如何在常温常压下“捕获”二氧化碳？

■本报记者 朱汉斌 通讯员 谢文燕

在工业领域，二氧化碳与环氧化物偶联生成五元环碳酸酯，被视为二氧化碳资源化利用最具技术可行性和经济前景的路线之一。然而，现有催化过程依赖有机溶剂、过渡金属催化体系以及高温高压条件——这些都是高能耗、高成本的代名词。

一项新研究发现，无需这些工业界费尽心力仍难以摆脱的“标配”，一种深海真菌在水溶液中就悄然完成了这一过程。

中国科学院南海海洋研究所研究员闫岩团队与海南师范大学副教授黎婉珊团队完整解析了深海真菌天然产物 cytosporin 的生物合成路径，并首次发现其中五元环碳酸酯结构可在中性水溶液中通过环氧介导的二氧化碳偶联反应自发形成。近日，相关研究成果在线发表于《美国化学会志》。

“这项研究的意义远不止于解开一个真菌天然产物的生物合成之谜。”论文共同通讯作者闫岩告诉《中国科学报》，该发现颠覆了人们对二氧化碳与环氧化物偶联必须依赖苛刻条件的传统认知，揭示了自然界在温和水溶液中实现二氧化碳固定的精妙化学策略。

一个“热门”的难题

二氧化碳，这个被全球气候变暖议题推上风口浪尖的“罪魁祸首”，在化学家眼中却是一座尚未被充分开发的“碳矿”。如果能将它高效转化为有价值的化学品，不仅能缓解碳排放压力，还能变废为宝。将二氧化碳高效转化为有机碳酸酯，是绿色化学和可持续能源领域的热门方向。

论文第一作者、中国科学院南海海

洋研究所助理研究员肖华告诉《中国科学报》，在众多转化路径中，有一条格外诱人——将二氧化碳与环氧化物偶联生成五元环碳酸酯。他解释说，环状碳酸酯是一类重要的化工原料，在锂离子电池电解液、聚碳酸酯塑料、医药中间体等领域应用广泛。更令人心动的是，这条反应路径具有百分百的原子经济性——原料中的所有原子都进入了最终产物，不产生任何副产物，堪称“零浪费”的理想反应。

然而，要让化学性质极其“高冷”的二氧化碳和环氧化物“心甘情愿”地走到一起，需要满足苛刻的条件——高温、高压、有机溶剂、过渡金属催化剂。几十年来，全球无数研究团队致力于开发高效、绿色的催化剂，但始终因对严苛条件的依赖，陷入高能耗、高成本和潜在重金属污染的困境。这如同三道“紧箍咒”，阻碍了该技术的规模化应用。

那么，有没有一种更“聪明”的办法？大自然或许早已给出了答案。

肖华表示，近年来，科学家从微生物和植物中陆续分离出多种天然环碳酸酯化合物，但它们的生物合成机制，尤其是五元环碳酸酯如何在生物体内形成，是一个未解之谜。

揭示真菌的“秘密工厂”

研究团队将目光投向了一类名为 cytosporin 的真菌天然产物。它由一株深海真菌产生，其分子结构中含有一个罕见的五元环碳酸酯。

这种真菌是如何在常温、常压、水溶液的环境中制造出这个五元环碳酸酯的？为回答这一问题，研究团队

对产生菌进行了基因组测序，从中锁定了一个约 46.8kb 的候选基因簇 cyt，它包含 15 个基因。这就像获得了一个“秘密工厂”的完整设计图纸，接下来的任务就是搞清楚每个“车间”具体做什么。

论文共同通讯作者黎婉珊介绍，好比把不同“车间”的设备搬到另一个工厂单独测试，研究团队通过一系列精巧的异源表达和饲喂实验，逐一鉴定了 cyt 基因簇中每个后修饰酶的功能。经过十多个酶的接力催化，一个复杂的前体分子最终被组装完成。

然而，“悬案”出现了。整个 cyt 基因簇中，没有任何一个酶能够催化碳酸酯环的形成。“‘图纸’翻遍了，所有‘车间’都排查完了，却找不到生产最终产品‘五元环碳酸酯’的那道工序。”黎婉珊说。

答案指向了唯一可能性——这道“工序”不是由酶催化的，而是自发完成的。

大自然的“绿色化学”

通过比较前体分子与最终产物的结构差异，研究团队推测，碳酸酯环很可能源自无机碳酸氢盐，也就是二氧化碳在水溶液中的主要存在形式。

研究人员将前体分子在 pH 值 6.0 至 8.0 的水溶液中与碳酸氢钠一起孵育，发现当 pH 值达到 7.0 及以上时，前体分子显著转化为含有五元环碳酸酯的产物。

这一验证实验的结果令人振奋。“这意味着在常温、常压、纯水、无需任何催化剂的近中性条件下，以碳酸氢根形式存在的二氧化碳就能与前体分子‘自发’偶联，生成化学家长期追求的五

元环碳酸酯。”肖华说。

为证实碳酸酯环中氧原子的来源，团队使用了 ¹⁸O 标记的碳酸氢盐进行示踪实验，相当于给碳酸氢盐中的氧原子贴上“发光标签”，追踪其最终去向。结果显示，产物中有两个氧原子被成功标记，核磁共振波谱确认这两个氧原子分别位于碳酸酯环的两个关键位置——它们全部来源于碳酸氢盐。这一结果确凿证实了二氧化碳确实被“捕获”并固定到产物分子中。

团队进一步提出了详细的反应机理：在近中性条件下，碳酸氢根离子首先进攻前体分子上的环氧结构，打开三元环，随后分子内部邻近的羧基对中间体羧基发起进攻，脱水后形成五元环碳酸酯。动力学研究表明，反应速率对底物和碳酸氢根浓度均呈一级动力学依赖关系，室温下反应速率常数为 0.15 升每摩尔每小时。

更令人惊讶的是，这一反应并非 cytosporin 的“独家秘籍”。团队测试了多种结构类似物，发现只要具备特定的双环或三环骨架结构，都能在中性水溶液中与碳酸氢盐反应生成相应的五元环碳酸酯。这表明这一非酶促二氧化碳偶联机制在天然产物生物合成中可能具有相当广泛的普适性。

“这一发现不仅拓展了我们对天然产物生物合成中二氧化碳固定化学的认知，还为开发环境友好的有机碳酸酯绿色合成路线提供了极具价值的启示。”闫岩说，或许在不久的将来，化学家能从这种深海真菌的“智慧”中汲取灵感，设计出更温和、更绿色的二氧化碳转化工艺。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1021/jacs.6c12612>

于海鹏：把科研答卷写在西部寒旱大地上

■本报记者 叶满山

西藏那曲海拔 4600 米，氧气含量不足平原的 60%，冬季最低气温可达零下 40 摄氏度，被称作“无树之城”，也是过去高原气候观测的资料盲区。

由于冬季难以长期驻留，每到夏季窗口期，中国科学院西北生态环境资源研究院（以下简称西北研究院）研究员于海鹏便会带队奔赴那曲高寒气候环境西藏自治区野外科学观测研究站（以下简称那曲站），在生命禁区开展野外观测、站点巡检与科学实验。高寒缺氧、强紫外线、瞬息万变的恶劣天气是他科研路上的常态。

一路走来，无论是战机起降的气象保障，还是高原“野”的科学探索，他始终坚守同一个信念：国家需要什么，就做什么。

因多年矢志报国的坚守与深耕科研的卓越表现，于海鹏荣获第三届中国科学院青年五四奖章。

携笔从戎，在祖国需要处找准人生方向

2005 年，于海鹏从山东考入兰州大学，成为一名国防生。初到西北，令他印象最深刻的便是干旱缺水。“我意识到，干旱与水资源是这片土地上非常关键的科学问题。”正是这份对干旱的切身体验，悄然催生了于海鹏日后深耕寒旱区研究的念头。

大学期间，于海鹏的成绩稳居学院年级第一，本可获得国家公派赴美留学资格。但身为国防生，他毕业之后要奔赴部队服役。面对海外深造的机遇与祖国国防建设的召唤，他毅然选择后者，奔赴西部部队。“既然是国防生，就要服从国家需要。”他说。

于海鹏携笔从戎的先进事迹被央视军事频道《军旅人生》专题报道，在全国青年群体中引发反响。他也被共青团中央、教育部授予“全国三好学生”称号。

2009 年本科毕业后，于海鹏进入空军某部服役。他扎根基层部队一线，圆

中国科学院召开国科大教育科技人才一体发展工作推进会

本报讯 近日，中国科学院召开中国科学院大学（以下简称国科大）教育科技人才一体发展工作推进会，深入学习贯彻习近平总书记关于教育科技人才工作的重要论述和对中国科学院的重要指示批示精神，研究推进国科大教育科技人才一体发展示范区建设的思路举措。中国科学院院长、党组书记侯建国出席会议并讲话，中国科学院副院长，国科大党委书记、校长周琪主持会议并作报告，中国科学院副秘书长王华出席会议。

会上，周琪介绍了国科大教育科技人才一体发展示范区建设进展，分析了存在的问题和挑战，提出了加强统筹和区域协同、加快构建教育科技人才一体发展工作格局的考虑。中国科学院各分院分党组书记结合前期座谈调研，介绍了所联系研究所推进教育科技人才一体发展的工作进展、面临问题和后续工作建议。

侯建国在讲话中充分肯定了近年来国科大、各分院和研究所在认真贯彻落实院党组决策部署，在深入实施“一特区两工程”、加快推进教育科技人才一体发展示范区建设等方面取得的阶段性成效，深入分析了面临的挑战，对国科大以更大力度、更实举措推进教育科技人才一体发展示范区建设提出要求。

侯建国指出，习近平总书记在国家科学技术奖励大会、两院院士大会、中国科协第十一次全国代表大会上的重要讲话，作出我国正从全球科技参与者、贡献者向开拓者、引领者加速转变的重大战略判断，并从增强科技创新体系化攻关能力、大力培养优秀青年科技人才等六个方面，对“十五五”时期的教育科技人才工作提出明确要求。深入推进科教融合培养人才，必须要明确“为什么培养人”“为谁培养人”的根本问题，锚定 2035 年建成科技强国宏伟目标，坚持为党育人、为国育才，以自然科学和工程科技领域博士研究生为重点，加快培养具有家国情怀和国际竞争力的拔尖创新人才。

侯建国强调，教育科技人才一体

首届全国科普创作者大会举行

本报讯（记者胡琰琦）近日，由中国科学技术协会指导、中国科普作家协会主办的首届全国科普创作者大会在浙江德清召开。本次大会是国内首次面向各领域科普创作者举办的全国性行业大会，以“科学有光 科普共创”为主题，共举办十余场专题论坛及分享活动。

中国科普作家协会理事长王春法表示，大会名称中的“者”字，体现的正是中国科普作家协会在价值理念和工作导向上的重要变化：不仅关注科普作品，更关注科普创作者；不仅展示科普创作成果，更助力科普创作者成长；不仅考虑科技工作者能做什么，更

发展涉及的要素多、主体多，是一项需要多方协作、深度协同的系统工程。国科大是一所与院属研究机构在师资队伍、学生管理、教学培养、科技创新等方面高度融合的学校，要充分发挥自身优势，把立德树人要求融入“两段式”培养全过程，着力加强学生党建和思政工作，加强基础课教学，培养德智体美劳全面发展的社会主义事业接班人；要推动人才培养与科研布局的协同、与重大科技任务组织实施和重大创新平台布局建设的衔接，持续提升人才培养的体系化、规范化水平；要加强各类科研资源、教育资源的有效整合和开放利用，组织开展更多跨单位、跨领域的学术交流、社会实践、文体活动等，让学生在更广阔的学术平台和更多元的交流场景中开阔眼界、增长才干。

侯建国要求，国科大作为教学任务组织与科教融合统筹责任主体，要深入推进“一特区两工程”等重大任务实施，统筹协调各方力量做好培养方案实施、课程开发、教材编写等共性、基础性工作，严格把好课程标准和教学质量规范，加快打造教育科技人才一体发展示范区。各研究所作为科研任务组织与科教融合协同育人责任主体，所党委要履行好立德树人、思政育人的重要职责，强化党建引领，优化教学育人的条件和环境，推动在高水平科研实践中培养拔尖创新人才。研究生导师作为研究生培养的第一责任人，要把立德树人作为首要职责，关心关爱学生，构建和谐导学关系，做好学生成长成才的引路人。各分院分党组要把贯彻落实党中央关于教育科技人才一体发展的战略部署和院党组工作要求作为重大政治任务，一级抓一级、层层抓落实，切实发挥好科教融合育人中的指导督促和统筹协调作用。院机关相关部门要加强政策统筹和服务保障，为协同育人创造良好条件。通过各方共同努力，加快探索跨单位、跨学科、跨领域协同育人的有效模式和实践路径，为加快抢占科技制高点提供更加坚实的优秀后备人才支撑。（柯讯）



荷兰新闻媒体因“推广”减肥药被罚款



本报讯 据《科学》报道，近日，荷兰卫生与青年护理监察局（IGJ）对出版商 DPG Media 处以 5.1 万欧元的罚款，因其旗下媒体刊登的报道违反了欧盟范围内禁止向公众推广处方药的规定。

2025 年 1 月，《自然－医学》发表了一篇论文，显示常用减肥药的使用者罹患多种疾病的风险有所降低。荷兰知名报纸、DPG Media 旗下的《人民报》是全球众多报道这一消息的媒体之一。

其中一篇报道指出，胰高血糖素样肽-1（GLP-1）受体激动剂“不仅能让人减掉许多公斤体重，还具有令人惊讶的健康益处”。该报道同时解释称，该研究属于观察性研究，且该药物有 19 种不同的副作用。该报编辑认为，这是一篇客观、平衡的报道。

然而，荷兰的法官官员对此持有不同意见，认为报道“违规”。此外，IGJ 还因 GLP-1 受体激动剂报道，对其他几家荷兰知名报纸、一本生活类杂志以及一档热门脱口秀节目开出了巨额罚单。

荷兰各报总编辑以及荷兰新闻工作者工会均对 IGJ 的决定表示愤慨，警告此举将使新闻业产生“寒蝉效应”。“文章完全符合我们所有的新闻标准和规范。”《人民报》总编辑 Pieter Klok 表示，“如果连这篇文章都不允许发表，我们今后就再也无法报道药品相关内容了。”

“我们只是描述和分析现实。这样做并不等于在推广它。”《鹿鹿特丹商报》科学记者兼副主编 Lucas Brouwers 补充道。该报因两篇类似报道也被处以罚款。

国际律师事务所 CMS 的律师 Gertie Lintjens 表示，在法律层面，报道基调至关重要。“任何关于处方药的传播，只要给人留下推广该产品的印象，就一律不被允许。”

德国汉诺威医学院的药理学专家

Roland Seifert 认同 IGJ 的观点，认为荷兰的一些报道“过于积极”，且“可能让公众产生不切实际的期望”。

一项 2001 年出台的欧盟指令禁止所有“旨在向公众推广”处方、供应、销售或消费药品”的活动，作为官方疫苗接种活动一部分的疫苗除外。

欧盟法院 2009 年的一项裁决确立了关键判例。在一宗针对一名丹麦记者在网站上发布玫瑰果粉信息的案件中，法院裁定即使是“源自独立第三方的信息也可能构成广告”，且信息不一定非要“在商业或工业活动的背景下传播”才算作推广。

Lintjens 说，存在问题的表述包括反复使用药品的品牌名而非通用名、使用夸张修辞，以及采用过于积极的语气。“往往只需一两句话，就会让内容越界。”但她也承认，信息传递与产品推广之间的界限有时并不清晰。

DPG Media 表示将对罚款提出上诉，但该媒体过去已经在两起类似案件中败诉。（文乐乐）



满完成数千架次重大军事任务气象保障工作，多次妥善处置特情，获军队科学技术进步奖等多项荣誉。

2019 年底，随着军队编制体制调整，于海鹏面临转业选择。与多数军转干部选择公务员岗位不同，他选择投身科研，进入西北研究院开展科研工作。

就这样，脱下军装的于海鹏从守护战鹰翱翔的气象卫士，转变为守护西部生态的科研人员。

军营淬炼塑造了于海鹏的行事底色。“部队教会我最重要的就是服从国家需要。来到西北研究院，寒旱区研究是国家战略需求，我就沉下心来钻研这片土地的气候问题。”于海鹏坦言，部队锻造的坚毅品格，让他能够坦然面对科研路上的枯燥、艰苦与挫折。

扎根生命禁区，填补寒旱高原观测空白

寒旱区气候变化研究对我国西部生态安全、防灾减灾有不可替代的价值。“我的导师黄建平院士常说，只有荒凉的沙漠，没有荒凉的人生。地域的劣势恰恰是科研的优势。这块土地的问题，亟待人们来研究。”于海鹏说。

受制于极端恶劣的自然条件，藏北高原长期是气候观测的盲区，大量关键科学问题缺少实地观测数据支撑。那曲站就坐落于藏北高原腹地，是高原气候观测的关键点位。2023 年，于海鹏接过了那曲站站长的接力棒。

于海鹏曾多次带队参与第二次青藏高原综合科学考察，他们穿越可可西里、翻越唐古拉山口，背负数十公斤观测设备，开展点位勘察、样品采集。汗水浸透的衣物遇寒风迅速结冰，强烈的紫外线把皮肤晒得红肿脱皮，这些都是野外科考的日常。

“模型想要调优、得到更可靠结果，离不开扎实的野外观测数据做支撑。”于海鹏表示，西北、青藏高原地域广袤，下垫面类型复杂，观测数据稀缺是科研的一大瓶颈。数据不足直接造成气候模型模拟、预测结果误差偏大。

为破解数据难题，于海鹏带领团队一方面持续开展野外实地采样、台站观测，积累第一手地面实测资料；另一方面融合卫星遥感数据，构建高精度数据集并无偿开放共享。

寒旱区研究周期长，很难短时间产出大量成果。面对科研路上的寂寞，于海鹏坚持坐“冷板凳”。靠着一步一个脚印的坚守，于海鹏带领团队搭建起藏北高原多圈层综合观测网络，填补藏北气候环境观测空白，系统揭示藏北高原能量水分交换、大气边界层与冻土水热传输规律，优化陆面过程模式参数化方案。台站积累的观测数据直接服务那曲机场适航论证、跑道优化；针对青藏铁路冻土安全，他们依托台站长期观测数据完成沿线精细化气候模拟，为轨道运维提供科学依据。（下转第 2 版）

