

古菌“单干”，吃脂肪酸吐甲烷

■本报记者 李晨 田瑞颖

一瓶来自胜利油田地下油藏的微生物培养物，在 70 多摄氏度的培养箱里静静放两三个月，瓶内的变化肉眼几乎察觉不到。但中国农业科学院厌氧微生物前沿交叉研究中心研究员承磊知道，古菌正在瓶内慢慢生长。

承磊团队与北京大学教授陆雅海团队合作，从胜利油田地下油藏样品中分离得到嗜热古菌新种 *Methanoglobus dolicholiphagus* AA-75。他们在纯培养条件下证实，单一古菌细胞能够独立完成中长链脂肪酸氧化并生成甲烷。这是科学家揭示的第六条古菌产甲烷途径——“脂基型产甲烷途径”。相关研究成果近日在线发表于《自然》。

5 年前，承磊团队曾在《自然》发表成果，发现古菌可直接氧化长链烷烃产甲烷，提出第五条产甲烷途径。从第五条到第六条途径，承磊团队让产甲烷古菌的“食谱”又扩展了一点。论文审稿人评价，该研究挑战了长期以来认为产甲烷古菌仅限于利用氢气/二氧化碳、乙酸和 C₁ 化合物等简单底物的观点，证明了一种单一生物可以直接将脂肪链转化为甲烷。

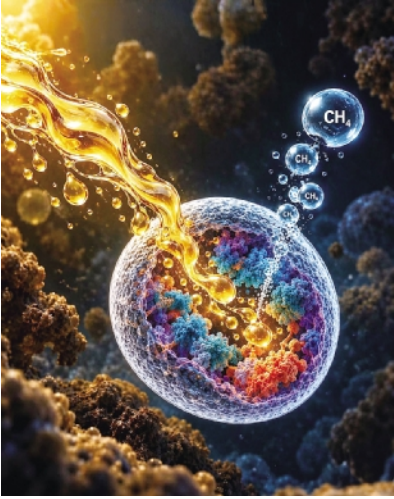
“养菌不能着急”

产甲烷古菌是一种独特的厌氧微生物，35 亿年前就存在于地球上，是最古老的微生物类群之一。

甲烷是全球碳循环的关键节点，也是第二大温室气体。过去学界认为，复杂有机物厌氧降解时，细菌先把大分子拆成乙酸、氢气、二氧化碳，而古菌只是接过“最后一棒”，把这些简单底物变成甲烷。5 年前，承磊联合国内外团队发现了第五条古菌产甲烷途径——利用长链烷烃产甲烷，推翻了上述传统认知。

论文通讯作者陆雅海说，这就提示，地下厌氧环境里，微生物或许能把液态原油组分转成气态甲烷，实现“油变气”。传统采油物理驱替、化学驱替后，仍有过半原油留在地下。产甲烷古菌的研究有可能带来延长油藏寿命、提高采收率的应用前景。

然而，产甲烷古菌对生存条件要求极高，需要特定的温度、酸碱度、营养条件。论文第一作者、农业农村部成都沼



嗜热古菌新种 AA-75 独立完成中长链脂肪酸氧化并生成甲烷。

受访者供图

气科学研究所(以下简称沼科所)助理研究员易悦告诉《中国科学报》，古菌通常在空气中暴露几分钟就会死亡。此外，它们生长缓慢，需要与其他微生物互相交换营养物质或代谢产物，通过共培养或者共生才能生存。

易悦说，这种生存方式使厌氧微生物在实验室环境中难以存活，想把它们培养成纯菌状态就更难了。

论文通讯作者承磊常对团队成员说：“养菌不能着急。我们看微生物，不要老盯着‘它在班里排第几名’，要看它今天是否比昨天生长得更好。”

沼科所 40 多年积累的厌氧微生物保藏平台共保存了 1500 多种厌氧微生物模式物种，这正是承磊团队最实在的家底。承磊现在任职的中国农业科学院厌氧微生物前沿交叉研究中心由沼科所与中国农业科学院深圳农业基因组研究所共建。

承磊从 2005 年起开展原油降解产甲烷研究。经过多年打磨，团队建立了一套成熟的厌氧微生物研究体系。2023 年前后，承磊团队对保存数十年的地下油藏样品进行了宏基因组测序。易悦就是在那时加入团队的。她发现样品中有一种具有降解脂

肪酸产甲烷潜力的古菌。

这种古菌喜欢生存在 75 摄氏度的高温环境里，他们暂且给它编号 AA-75。

“鸡尾酒法”让提纯有把握

真正让 AA-75 从复杂群落里“走出来”，靠的是团队自创的“鸡尾酒法”。厌氧微生物的分离提纯像一场短跑比赛。传统思路是让目标菌一开始就长得最快，一步压垮所有竞争者。但这种方法并不适用于 AA-75 这样的“慢热型”古菌，它们往往一开始就被快生长的杂菌淹没了，想要分离提纯非常困难。

后来，承磊团队反其道而行之，他们让所有菌的生长一起慢下来，只要目标菌在每个阶段都比伴生菌快一点点，就能逐步占据相对优势。

团队把生长曲线当“指挥棒”，定期监测目标菌和杂菌的数量变化，再像调鸡尾酒一样，通过组合稀释、限氧、控温、控气、加抑制剂等手段，逐步把非目标微生物“请走”。该方法 2025 年发表于《自然－方法学》。

有了“鸡尾酒法”，AA-75 的提纯不再碰运气。易悦带着论文共同第一作者、沼科所硕士研究生曹佐蓉通过基因组分析预测了菌株的最适生长温度，随后利用“鸡尾酒法”将非目标微生物去除，进一步研究证实该培养物为单一古菌体系。至此，这种嗜热古菌终于“独白亮相”。

接下来还要对纯化的 AA-75 进行验证。易悦和曹佐蓉用硬脂酸作为它的唯一碳源，结果发现 AA-75 产出了甲烷。而在稳定同位素标记实验里，硬脂酸分子中的¹³C 直接出现在古菌的最终产物¹³C 甲烷中。这表明，AA-75 真的可以靠“吃”硬脂酸产生甲烷。系统测定底物谱发现，这株古菌能吃 C7 到 C18 的多种饱和、和不饱和中长链脂肪酸，也能利用甲醇，但氢气/二氧化碳、乙酸、甲酸、甲胺这些经典产甲烷底物反而“养”不活它。

论文共同第一作者、沼科所博士后丁恒武介绍，他们通过基因组研究揭示了背后的机制：AA-75 的基因组编码了完整的脂肪酸 β-氧化与产甲烷代谢通路的全套基因，可在同一个细胞内实现

这两套代谢过程。同时，AA-75 还携带甲醇－甲醛代谢模块，作为辅助通路与经典代谢并行。转录组数据显示，这些基因在培养过程中均高度活跃。

“原来需要细菌和古菌联手干的活儿，现在一种古菌就全干了。”承磊说。传统教科书里，脂肪酸降解产甲烷必须由细菌先进行 β-氧化，再由古菌收尾，而 AA-75 在自己的细胞内就完成了中长链脂肪酸降解到产甲烷的全过程。

可能涉及地球早期生命起源的问题

AA-75 不只是“食谱”奇特。陆雅海介绍，从应用看，AA-75 给高油脂废弃物处理、地下油藏“油变气”提供了新的想象空间。而餐厨废油、藻脂、污泥里也有大量中长链脂肪酸，能单菌独立完成降解脂肪酸产甲烷的古菌，有成为合成生物学底盘微生物潜力。

“我们做的基础研究工作落地还有很长的路要走。”承磊跟团队成员说，“在我退休的时候能看到工程化的可能，就知足了。”

承磊说，团队现在面临更难的问题。AA-75 里催化碳氢键形成的甲基辅酶 M 还原酶(Mcr)是整条流水线的最后一关，也是最难的一关。无论古菌吃的是氢气/二氧化碳、乙酸、甲醇，还是中长链脂肪酸，所有产甲烷途径最后都会汇到一个共同中间体——甲基辅酶 M。Mcr 要做的就是“咔嚓”一下形成碳氢键，放出甲烷。

然而甲烷的碳氢键是自然界最惰性的化学键之一，常规条件下几乎没法直接生成。Mcr 的厉害之处在于能在温和、含水、厌氧、近中性的生理环境里完成碳氢键的定向形成。

“这个过程的到底是怎么发生的，还有很多未解之谜。”承磊说，这可能涉及地球早期生命起源的一些问题。

论文审稿人强调，该研究进一步佐证了一个观点，即微生物学家严重低估了产甲烷古菌的分类多样性，也低估了驱动甲烷产生的底物种类，以及这些古菌所栖息的生境范围。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41586-026-11207-x>



卢拉连任巴西总统，科学家松了一口气



本报讯 当地时间 10 月 25 日,巴西总统卢拉成功连任。许多科学家松了一口气,因为此前他们担心,如果候选人博索纳罗胜出,巴西科研事业前景堪忧。

据《自然》报道,最近几周,包括巴西科学院在内的多家巴西顶尖科研机构发布公开信声援卢拉,公开征集到超过两万人签名。巴西圣保罗大学的 Paulo Artaxo 说:“很难用语言形容科学界及巴西民众得知卢拉获胜时有多么欣喜。”

很多人担心,博索纳罗当选后可能会效仿其父雅伊尔·博索纳罗的做

法——削减科研经费,给巴西科研带来重创。雅伊尔·博索纳罗曾在 2019 年至 2023 年担任巴西总统。

卢拉此次胜选获得了 51.8% 的选票。这是卢拉第四次出任巴西总统,创下巴西纪录。他最早在 2003 至 2011 年两届执政,2023 年开启本届任期。任期内,他大力推动联邦大学扩容、扩大高等教育的覆盖面,并承诺继续推进相关政策。2024 年,他还推出一项人才计划,吸引约 600 名巴西科学家回国,他们此前为寻求更好的经费与科研条件远赴海外机构。

“卢拉在胜选演讲中明确表态,要壮大大学与科研院所,大幅提升青年人储备,以迎接人工智能与机器人技术的新时代。”巴西北里奥格朗德联邦大

学的 Sidarta Ribeiro 表示。

而博索纳罗此前表示,要把巴西 69 所联邦大学的管辖权从教育部划转至科技部,科技部预算规模远小于教育部。此外,他主张优先发展应用科学,弱化基础研究。Ribeiro 说,这一点让不少科研人员感到担忧,因为那些在科学领域取得重大突破的国家都拥有极其扎实的基础研究根基。

科研界关注的另一核心议题是巴西环境政策走向。卢拉执政期间,巴西境内亚马孙雨林的毁林率降至 1988 年有监测以来最低水平。卢拉在近期竞选活动中表态,力争在 2030 年实现巴西毁林清零,并依照《巴黎协定》削减本国温室气体排放。“卢拉的施政纲领十分清晰,即推动亚马孙零毁林,推进能源

转型项目,逐步淘汰巴西化石能源。”

Artaxo 说。科学家期待卢拉在新一届任期能进一步加大科研投入。一份分析数据显示,在雅伊尔·博索纳罗执政时期科研经费持续缩水,卢拉上台后经费开始回升,2023 年上涨约 23%,2024 年再增 9%。但不少科研人员认为增幅依旧不足。巴西科学院院长 Helena Nader 说:“卢拉恢复了教育与科研经费,但资金缺口依旧存在。”

巴西科学促进会主席 Francilene Garcia 表示:“卢拉新任期最大的挑战是把科学政策转化为可持续的发展成果,确保巴西不再只是全球变革的旁观者,而是知识创造者、塑造地球未来的决策参与者。”

(王方)

许家窑人“认亲”成功

揭开丹尼索瓦人相貌之谜

本报讯(见习记者蒲雅杰)中国科学院古脊椎动物与古人类研究所(以下简称古脊椎所)研究员付巧妹团队与研究员邢松联合多家单位,证实了河北阳原许家窑人化石属于丹尼索瓦人,并系统总结出丹尼索瓦人在颅骨、下颌骨和牙齿上的典型形态组合。相关研究成果近日发表于《自然》。

2010 年,一根来自西伯利亚丹尼索瓦洞穴的指骨,曾让一个未知的古人类支系——丹尼索瓦人从迷雾中现身。如今,长期只靠分子证据辨别的丹尼索瓦人终于在形态上显露出真容。研究团队运用古蛋白质组学研究从许家窑人遗址 20 件人类化石标本中选出 6 号顶骨和 14 号下颌骨,在破损伤面钻取微量骨粉,获取了内源性蛋白质并以此重建了贝叶斯系统发育树,证实许家窑人属于丹尼索瓦人。以此为基础,研究团队系统总结出丹尼索瓦人在颅骨、下颌骨和牙齿上的典型形态特征,发现其既保留了一些与直立人相近的原始特征,如低矮宽阔的脑颅、较厚颅骨、顶骨矢状旁凹、短而内曲的乳突、不对称下颌切迹等,也出现了一些与后期人属成员相似的特征。

研究人员介绍,最能定义丹尼索

瓦人的,是一组不同于直立人和现代人以及尼安德特人的特征,表现为脑颅低矮且后面侧观壁近平行或轻微内收,枕鳞近垂直但不圆,鼓板中轴不沿冠状轴方向且向岩部转折、角圆枕弱、枕圆枕呈中等线状发育且上中门齿舌侧指状突减少等。

研究团队将许家窑人与哈尔滨人、夏河人、澎湖人等已经明确的丹尼索瓦人,以及金牛山、大荔、华龙洞、龙牙洞、桐梓、盘县大洞等分类地位未明的东亚古老型人类进行了横向对比。结果显示,东亚中更新世其他古人类很可能也属于丹尼索瓦人。这一研究将丹尼索瓦人的分布范围实质性地扩展到几乎整个东亚大陆,提示其生态适应能力可能远超尼安德特人,涵盖高原、亚热带岛屿环境。

该研究以许家窑人为锚点,首次从丹尼索瓦人自身视角建立形态学辨识框架,使这一主要依赖分子证据识别的“神秘群体”,推进为形态学上可识别、可比较、可分类的古人类群体,深化了东亚中更新世人类演化格局的认识。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41586-026-11132-z>

2026 世界青年科学家峰会落幕

本报讯(见习记者郑浩威)近日,由中国科协、浙江省人民政府、世界青年科学家联合会主办的 2026 世界青年科学家峰会在浙江温州落下帷幕。60 多个国家和地区的近 800 名科学家、教育家、企业家等代表参加了此次会议。大会以“汇聚天下英才,共创美好未来”为主题,围绕“AI 时代的全球青年行动——构建可持续发展未来”年度议题,汇聚全球青年智慧、深化国际科技合作,共同回应 AI 时代的“青年之问”“科学之问”“世界之问”“未来之问”。

会上,2026 可持续发展青年科学家奖揭晓。美国宾夕法尼亚大学校长特聘副教授塞萨尔·德拉富恩特,同济大学特聘教授汪湜田,北京大学公共卫生学院流行病与卫生统计学系研究员刘珏,意大利特伦托大学教授尼古拉·塞加诺获奖。

此外,大会聚焦未来制造、量子信息、具身智能、脑机智能、环境科学、深海资源、生命健康等领域,设置了 12 场平行论坛;举办了“万有引力 π”未来技术与概念产品展示交流活动,地方主题配套活动和科技人文参访,进一步搭建跨学科、跨地域、跨领域的青年科技交流合作平台。

我国电力行业面临三重挑战

■刘吉臻

当前,新一轮能源革命正在全球范围深入推进,开发利用新能源、推动绿色低碳转型已成为世界各国应对气候变化、保障能源长远安全的共同选择。立足能源安全新战略和“双碳”目标,我国也在持续推动能源结构调整,加快构建以新能源为主体的新型电力系统。

经过多年持续建设,我国电力事业实现跨越式发展,多项指标稳居全球首位。但在看到亮眼成绩的同时,我们也不能忽视转型路上的深层次矛盾,多重挑战的叠加也需要我们认清形势、找准路径,稳妥有序推进能源电力高质量转型。

电力行业的三重挑战

从宏观上看,我国能源的保供根基持续夯实,能源结构不断优化。2025 年,我国一次能源生产总量达到 51.3 亿吨标准煤,一次能源消费总量达 61.7 亿吨标准煤,能源自给率保持在 80%以上。其中,煤炭消费占全球一半以上,非化石能源消费占比提升至 21.7%,达到并高于世界平均水平。

具体到电力领域,我国已建成世界规模最大的清洁能源供应体系。在技术装备领域,我国已形成完整自主的产业链条,多数核心装备不再受制于人。火电、电网、新能源等主流装备实现国产化,支撑庞大电力系统稳定运行。

成绩来之不易,但转型之路也不轻松。对照“双碳”目标和新型电力系统建设要求,我国电力行业面临三重挑战,这也是我们推进能源转型必须直面的现实难题。

首先,电力需求持续快速增长,增量叠加存量替代,转型任务异常艰巨。这是我国电力转型独有且最突出的难点。按照当前研判,我国全社会用电量在 2030 年有望达到 13 万亿千瓦时,2035 年或将达到 16 万亿千瓦时,这还是相对保守的测算。这一数字意味着短短 5 年内,我国需要新增 3 万亿千瓦时的可靠电量。作为参照,美国当前全年的发电量也仅 4.2 万亿千瓦时。在碳达峰约束下,新增电量不能简单依靠扩建煤电,新能源同时肩负承接用电量增量和替代化石能源存量这两大任务。短周期内依靠新能源形成稳定的 3 万亿千瓦时供电能力,难度极大,社会各界对这项任务的艰巨性需有更充分的认识。

其次,关键资源对外依存度偏高,能源转型的资源底盘存在短板。我国“富煤、贫油、少气”的资源禀赋长期没有改变,叠加日趋复杂的地缘博弈,油气供给持续承压。而新能源看似取之于风光,产业落地却高度依赖关键矿产资源。而在我国,很多关键原材料依然依

赖海外供给。这意味着新能源产业链的稳定运行极易受国际市场和地缘冲突冲击,绿色转型的基础并不稳固。

最后,高比例新能源接入增加电力系统安全风险。一方面,我国要在碳达峰之后约 30 年内实现碳中和,时间窗口紧、减排体量大,在全球范围内没有先例可循;另一方面,风光发电具有间歇性、波动性的特点,大规模的并网对电力系统调频、调压、备用调节能力提出了更高要求,极端天气下电力保供压力显著加大。过去适配传统火电为主的调度、控制、保护技术体系,难以完全适配以新能源为主体的新型电力系统,系统脆弱性逐步凸显,安全稳定运行面临全新考验。

能源电力转型根基在人才

面对挑战,我们要坚持系统观念,围绕构建新型能源体系、新型电力系统,找准发力方向,走出一条符合中国国情的转型道路。

总体思路上,要坚持以电为中心推进能源转型。在“十五五”期间,我们的核心方向就是大力发展新能源,加快构建新型电力系统,推动全社会再电气化。

在科技创新上,分层布局技术攻关清单,兼顾近期落地技术和长远前沿方向。近期重点攻关包括四代堆、小型堆、深远海风电、先进光伏光热、新一代高效燃煤发电、柔性直流输电、智能微电网、氢能与绿色燃料等技术;面向更远期未来,布局可控核聚变、太空电站、高温超导输电、无线传能、极地深海能源等前沿方向。

同时,我们要抢抓数字能源机遇,推进人工智能+能源、算力-电力协同双向赋能,保障大数据、人工智能产业高品质用电,推动智能矿山、智能电厂、数字化油气管网、智慧电网建设,用数字化、智能化手段提升系统调节能力。

值得一提的是,能源电力转型的根基在于人才,必须一体推进教育、科技、人才协同发展。

当前,国内人才供给仍存在产教脱节、产业需求和人才培养错位等问题,需要持续优化人才培养结构、改革培养机制、完善布局。同时深化校企协同育人,推广订单式培养、联合学院共建等模式。能源电力事业长远发展离不开工程教育持续发力,持续培育能够攻克“卡脖子”技术、懂系统、懂产业的复合型人才,为能源强国建设提供持久支撑。

(作者系中国工程院院士、新能源电力系统全国重点实验室主任,本报特约陈彬根据其在新时代“能源强国·电亮未来”育人共同体成立大会上的发言整理)