



“养猪博士”的科研日常

■本报记者 王昊昊



胡炫在动物房喂猪。



王昊昊 / 摄

高静霞怀抱一头仔猪。

受访者供图

早上 8 点多赶到实验动物房，准备饲料、检查饮水设备、记录饲喂量……一套流程下来，胡炫的工作早已沾满饲料、污物。

“两年前我几乎没碰过猪，现在早习惯了。”胡炫一边说着，一边轻松地拎起一袋几十斤的饲料扛到猪舍料槽旁，“这批猪有近 20 头，已到育肥后期，每头三四百斤重，采食量很大，饲喂时一定要多巡栏及时补料，保障好一日三餐”。

胡炫是中国工程院院士、中国科学院亚热带农业生态研究所(以下简称亚热带生态所)首席研究员印遇龙的学生，由该研究所与湖南农业大学联合培养。1 月 28 日除夕当天，他仍留在亚热带生态所畜禽养殖污染控制与资源化技术国家工程实验室的动物房里忙碌着。此后一周多的时间里，胡炫每天都准时赶到动物房喂猪、打扫卫生。

博士生怎么去喂猪了？博士生为什么一定要养猪？都做哪些工作？……蛇年新春之际，《中国科学报》记者走进猪舍、实验室，探访“养猪博士”的科研日常。

臭中作乐的“铲屎官”

博士生一定要自己养猪才能做好养猪研究吗？

“我们都是这么过来的。”印遇龙说，他要求硕士研究生就要养猪，至少在猪场待 100 天、养两批猪。只有真正全流程养过猪，才能对猪的习性、采食习惯、各阶段成长特征等有清晰的认识，并在此过程中通过猪采食的饲料、排出的粪便等获得大量重要的科研原始资料。

胡炫至今已养了 5 批猪，他的养猪“首秀”在 2023 年。

养猪前，胡炫给自己做好了心理建设。“不怕苦、不怕累、不怕脏，这是养猪研究最基础的。”然而，第一次做实验的经历，还是给了胡炫“很大的心理冲击”。

当时，科研团队正在开展仔猪相关研究。“一上来就要抱着出生没几天的仔猪喂奶，我根本没经验，不敢上手抱，怕伤到它们。”胡炫说，在师兄吴宇梁的指导下，他慢慢学会了如何抱小猪、给仔猪喂奶等操作细节。

胡炫主要研究肠道微生物如何影响断奶仔猪脂肪吸收及其机制，旨在解决仔猪断奶引起的肠道健康损伤、腹泻等生产养殖问题。

胡炫介绍，由于母子分离、环境变化、饲料变化等原因，仔猪断奶期间十分容易产生应激反应，导致腹泻、采食量下降、死亡率上升等问题。

2023 年初，胡炫和同学邓志颖合作，开始

养第一批猪。这批猪饲养在湖南省浏阳市的一家猪场，都是小猪，有 200 多头。

“猪的进食规律和人差不多，一天吃三四顿。没有饲养员，从配饲料到喂食，所有工作都由我们完成。”胡炫说。为了养好猪，他和邓志颖向附近的饲养员学了更多养殖经验。“仔猪和小孩一样，容易拉肚子、感冒发烧等。年初气温低，更不好照顾，及早发现仔猪的相关症状并采取措施很关键。”

除了日常喂猪，他们每天还要和猪粪打交道。猪粪是重要的实验材料，对其进行检测，才能得出各种饲料原料的营养成分在猪体内的消化利用率，从而进行评估、配制出最佳的饲料。

当时他们做的是大群实验，猪圈里有很多猪，如何收集粪便？“我们只能像‘铲屎官’那样戴着手套蹲守在栏舍旁，看到猪有排便动作，就用手接粪便，再将其放入采样试管。”胡炫说。

一开始最难接受的是猪圈的臭味，现在早已对臭味免疫了。“喂猪过程中，胡炫不戴口罩、不掩口鼻，他告诉中国科学报，其实团队成员都养了不止一批猪，研究方向偏生产实际的一年要养几批。“养好猪是做好生猪研究的关键，只有迈过这个坎，才能走好科研路”。

在印遇龙的指导下，通过比较腹泻仔猪和未腹泻仔猪的肠道菌群，胡炫发现了其中的差异微生物，将其筛选、培养出来并加入饲料中，能有效缓解仔猪腹泻。

不怕被笑，只怕没成果

扎起丸子头、穿上工作服、带着记录本，高静霞熟练地检查着自动喂粮设备的运行情况。

今年 27 岁的高静霞也是印遇龙的博士生，由亚热带生态所和湖南师范大学联合培养。和胡炫一样，一开始最让高静霞难以接受的是气味很大的养猪环境。“我们要频繁清理猪舍的粪便，每天还要搬运沉重的饲料，工作既费时又劳累。”

让高静霞头痛的还有“猪不听话”，一些“调皮”的猪会趁她不留神溜出猪舍。这时，她就得到处找猪，直到把它们重新关回栏中。“清理槽槽时要注意，一些猪会咬人，收集剩余饲料时也要格外小心。”高静霞说。

(下转第 2 版)



揭开地球碳循环“黑匣子”

研究发现古菌和细菌的第四种互赢共生机制

■本报记者 李晨

地球深处，既没有阳光也没有氧气，却存在着这个地球上最古老的生命体——拥有奇特生活习性的古菌。

在这些单细胞微生物中，产甲烷古菌备受关注，因为它们能产生天然气的主要成分甲烷。

神秘古菌究竟如何产生甲烷？农业农村部成都沼气科学研究所(以下简称沼气所)研究员承磊和日本国立海洋研究开发机构等团队合作，发现了古菌及其“亲密邻居”细菌互赢共生的第四种生存模式，即种间甲醇转移，并鉴定出一条甘氨酸-丝氨酸循环介导的甲醇生成新途径。近日，相关研究成果发表于《自然》。

论文审稿人、丹麦技术大学教授 Pablo Ivan Nikel 指出，这是一种此前未知的、由甲醇介导的古菌和细菌的共生关系。论文阐述了这种一碳醇如何促进代谢物的交换，从而有助于油藏中的碳循环，加深了人们对代谢相互作用和微生物生态学的理解。

《自然》高级编辑 George Caputa 表示，这项研究揭示了一种新的微生物关系，并强调了甲醇不仅仅是微生物代谢的碳源。

爱喝“酒”的神秘嗜热古菌

传统观点认为，细菌与古菌合作产甲烷只能利用简单的一碳或者二碳化合物，并且主要依赖 3 种模式：种间氢转移、种间甲酸转移和种间直接电子传递。这里所说的种间，一般是指细菌和古菌之间。

广泛分布于地球多种生态环境中的甲基营养型产甲烷古菌，能将甲醇以及其他含甲基化学基团的化合物转化为甲烷，其背后机制和上述 3 种都不一样。“它们到底如何产生甲烷，是否也通过类似种间电子传递的方式参与地下碳循环，是一个非常值得探究的问题。”承磊说。

承磊所在的沼气所厌氧微生物实验室已有 40 余年历史，拥有专业的厌氧微生物研究平台和技术，保藏了 1400 多种厌氧微生物模式物种。其中，一株 2007 年分离自我国胜利油田深层油藏的产甲烷古菌，让承磊看到了揭秘甲基营养型产甲烷古菌的希望。

这株产甲烷古菌是一个新物种，由于分离自胜利油田且能在 65℃ 高温下存活而得名胜利甲烷嗜热球菌。它对工作人员“投喂”的甲醇表现出强烈依赖，并能产生甲烷。“这是生长温度最高的甲基营养型产甲烷古菌。”承磊说。

研究人员当时提出一个假设——地下细菌



厌氧细菌和产甲烷古菌的第四种共生模式——种间甲醇转移示意图。沼气所供图

在分解有机物时，可能也会产生电子，并传递给甲基营养型产甲烷古菌。

2016 年，承磊团队启动了这项研究，但是能用于产电的细菌主要是中温菌。所以，第一步需要寻找新的高温产电细菌。

“幸运的是，我们那时已经开发了新型的厌氧、无菌、可控温的手套箱，以及半自动化的挑菌仪和快速鉴定系统，突破了厌氧微生物高通量分离筛选的技术瓶颈。”承磊说，他们做了大量的共培养实验，在不断的失败中坚持下来。

论文第一作者、沼气所副研究员黄艳在那时加入了团队，并接手了这个课题。经过两年努力，他们终于建立了细菌和古菌共培养产甲烷体系。

其中的细菌来自承磊团队前期从地下油藏中分离的新物种，它能在高温下生存，而且爱“吃”甲酸，是胜利甲烷嗜热球菌的“好邻居”。为了纪念中国厌氧微生物学奠基人、沼气所研究员赵一章，他们将这一细菌命名为嗜甲酸赵氏杆菌。

2018 年，承磊和时任日本产业技术综合研究所(AIST)研究员 Masaru K. Nobu 交流了研究进展和想法，并达成合作共识——通过联合培养博士研究生，让黄艳带着这个课题读博，进一步开展细菌和古菌互作的分子机制研究。

一个酿“酒”一个买“醉”微生物的共营奇缘

“从 2019 年到日本读博起，我与合作者想尽各种办法，验证古菌和细菌是通过种间直接电子传递方式产生甲烷的。”黄艳说。

然而，“花式”验证了一年多，实验却毫无进展。“我挺发愁的，一度觉得这个课题要‘挂掉’。”黄艳说。

一天夜里，黄艳再次回想起白天的实验，在厌氧菌里添加了导电材料，但是并没有出现文献报道的情况——如果古菌和细菌通过种间直接电子传递方式产生甲烷，应该可以看到产甲烷速率增加的趋势。

一个模糊的念头一闪而过：“难道它们之间不是依靠直接电子传递方式？”这个想法在黄艳脑中越来越清晰。她决定第二天用不能导电却可以透过一些物质的渗透膜把古菌和细菌分开，看看它们还能不能产甲烷。

实验结果出乎意料，古菌依然可以正常产电出甲烷。

黄艳猜测，如果古菌和细菌之间不是通过种间电子传递，那么极有可能是一种新的互作机制。她兴奋地向导师、AIST 上级主任研究员 Souichiro Kato 提出新猜想。不料，Kato 非常淡定地说：“去证明它。”

“我们通过热力学计算提出地下微生物可能代谢甲酸——地下另一种常见的单碳化合物，从而生成甲醇。热力学特征表明，将甲酸盐转化为甲醇的微生物，需要与利用甲醇的微生物建立紧密的共生关系，这涉及互营代谢作用。”黄艳说，于是研究团队尝试从培养、基因表达情况、代谢分析等角度证明这个假设。

“甲酸盐的消耗和甲醇的生成符合预测的化学计量比例，但在少量甲醇积累后，代谢就停止了。”承磊说。

黄艳发现，在他们构建的细菌和古菌共培养产甲烷体系中，嗜甲酸赵氏杆菌对甲酸盐的降解直接与产甲烷古菌的甲烷生成相耦合。

“这就像细菌酿了一壶‘假酒’，自己喝不下，古菌却甘之如飴。”承磊解释道，“这种互作不仅突破了热力学限制，还开辟了第四种产甲烷模式。我们证明了甲醇从细菌转移到产甲烷古菌，从热力学角度可定义为一种新的互营代谢模式——种间甲醇转移。”

应用前景：从“地下沼气”到碳中和

但是，嗜甲酸赵氏杆菌与胜利甲烷嗜热球菌的生存模式和此前发现的共营模式都不一样，其背后的代谢机制依然是一个“黑匣子”。

(下转第 2 版)



“机器狗”舞狮闹元宵

近日，“机器狗”舞狮亮相江苏苏州狮山文化广场，科技与传统碰撞，未来感十足。大批市民驻足欣赏，喜迎元宵佳节。

图片来源：视觉中国

预算削减殃及墨西哥科学研究



本报道 去年，墨西哥新当选总统克劳迪娅·辛鲍姆宣布，将把政府的主要科学资助机构升级为一个更“强大”、级别更高的秘书处。墨西哥的科学家为此欢欣鼓舞，认为这种“升级”将有助于扭转由于前总统实施财政紧缩政策，导致政府研究资助出现持续下降的局面。

据《科学》报道，在辛鲍姆上任 5 个月后，该国经济复苏的希望却在减小。去年底，墨西哥政府确定了 2025 年的支出计划，要求将新成立的科

学、人文、技术和创新秘书处的预算削减 2%，至 13 亿美元左右。墨西哥政府资助的 24 个研究中心的总体资金则下降了 11%，这迫使一些研究中心降低研究人员工资或裁员。有负责人表示，目前没有足够的资金维持研究中心的全年运营。

墨西哥国立自治大学的研究员 Brenda Valderrama 说，研究中心正在以不同方式应对这种压力。墨西哥国家天体物理、光学和电子研究所(INAOE)的预算削减了 9%。1 月，INAOE 所长宣布，150 名员工、行政人员和技术人员月底前会被解雇。但一位要求匿名的 INAOE 研究人员透露，这种情况尚未发生。

1 月 14 日，墨西哥经济研究与教育中心(CIDE)的研究人员收到一封电子邮件，通知他

们将不会收到每月的奖金，后者基于出版物和其他产出指标发放。CIDE 研究员、历史学家 Catherine Andrews 说，这些奖金通常占研究人员工资的 20% 至 30%。该中心后来同意支付研究人员 1 月的全额工资，但在 1 月 27 日举行的一次会议上，该中心主任表示资金问题尚未得到解决。

而其他 3 个机构——墨西哥国家生态研究所、光学研究中心(CIO)和北部边境学院的负责人告诉科学家，现有资金只够运营到 9 月底。

一位要求匿名的 CIO 研究人员表示，秘书处已告知 CIO，如果需要，该中心可以在 9 月申请更多资金，以维持今年剩余时间的运转。但该研究人员认为，该中心的前景仍然难以预料。

(文乐乐)

研究提出单晶超晶格制备新策略

本报讯(见习记者江庆龄)上海交通大学教授崔勇团队联合美国加利福尼亚大学洛杉矶分校教授段锋团队、浙江工业大学教授朱文涵团队，围绕配位模板驱动原位组装策略，利用锆(Zr)基金属有机框架(MOF)模板实现了金属卤化物亚晶格的定向成核生长，成功构筑了一系列新型多维单晶多孔超晶格框架，并实现了超晶格材料的手性转换与手性光功能调控，为手性材料的构筑与应用提供了新的思路与方法。近日，相关研究成果发表于《自然》。

超晶格材料能够通过设计和调控周期性势能及高精度层状结构，实现可调的电子和光学特性，在二维电子气、高电子迁移率晶体管、量子级联激光器等领域有广泛应用。如今，超晶格材料正从传统的半导体超晶格向多尺度构筑单元的自组装体系转型。发展新的合成策略，实现单晶超晶格的制备与结构解析，是配位化学、合成化学和材料化学等交叉学科面临的关键挑战之一。

研究团队提出了“MOF 模板”策略，基于

Zr-MOF 配位模板，利用 Zr 簇不饱和配位节点的导向作用，成功合成了多系列高度有序的单晶多孔超晶格框架。在不同三维 Zr-MOF 框架内，原位限域生长的金属卤化物与 MOF 模板晶格精准复合，成功制备出多晶体的单晶超晶格框架。MOF 孔道环境，如腔体的大小和形状以及相邻结合位点的方向在调整金属卤化物亚晶格的维度方面发挥了关键作用，且该框架具有精确原子坐标的高阶超晶格结构。

为进一步探究限域成核的生长机制，研究团队进行了时间依赖的核壳控制实验，跟踪和监测碘化铅在 MOF 中的原位生长过程。结果显示，在不同胺类分子的修饰下，类钙钛矿超晶格表现出维度依赖的光致发光和手性诱导的圆偏振发光性能。这种结构/维度依赖的光电性能可以极大推动光子学的发展，在量子计算、安全通信和高效显示器方面具有潜在应用价值。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41586-024-08447-0>

科研人员观测到最强逻辑形式量子关联

本报讯(记者王敏)中国科学技术大学郭光灿院士团队的李传锋、许金时教授研究组与合作者发展了适合研究单体高维量子系统的可扩展光学体系，成功观测到最强的逻辑形式量子关联。近日，相关研究成果发表于《科学进展》。

量子力学允许出现超越经典物理学的关联，其中逻辑形式量子关联无须违背不等式，能够更明确地展示与经典关联的不同，引发了广泛关注。1989 年，研究人员首次预言了态依赖的逻辑形式量子关联，揭示了量子力学和经典物理学在实验中 4 个条件概率预言上出现确定性的矛盾，即著名的 GHZ 悖论。逻辑形式量子关联的强度与所使用的条件概率组合数有关，条件概率组合数越少，量子关联越强。自 GHZ 悖论发表以来，更强的逻辑形式量子关联研究一直未取得进展。

为解决这一开放性课题，研究团队发展了

适用于逻辑形式关联的图论方法，通过搜索图论常数，在 37 维空间中发现了仅使用 3 个条件概率组合的量子关联。研究进一步表明，条件概率组合的数量已无法进一步减少，证明了该结果就是逻辑形式量子关联的极限。

为观察高维空间中的量子关联，研究团队设计了一个基于直和空间编码与时间维度复用的可扩展光学体系，将高维空间中的制备-测量实验分解为多个低维空间中的实验。团队在该体系中以超过 8 个标准差的置信度，观测到高维空间下的逻辑形式量子关联。

该研究将为寻找更强的其他形式的量子关联提供重要线索，同时实验中观测到的量子关联将在量子计算和量子通信领域发挥重要作用。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1126/sciadv.abd8080>