



# 实验小鼠吃什么？他们质疑 50 年“金标准”

■本报记者 王昊昊

一排排小鼠的食盒里，装着颜色、质地高度一致的“标准餐”——由酪蛋白、玉米淀粉、蔗糖等高度提纯成分配制成的纯化日粮。这是生物医学实验室里常见的场景。

过去 50 年来，生命科学领域绝大多数研究以纯化日粮喂养小鼠，这被誉为动物实验的“金标准”。近 3 年，在以高脂饮食构建的小鼠模型中，高达 80% 的已发表 SCI(科学引文索引)论文采用了纯化日粮。

湖南农业大学教授文利新团队近日在《细胞-代谢》发表文章，对这一“金标准”提出质疑和挑战。他们用系列研究证实，动物实验的“金标准”可能在一定程度上扭曲了我们对人类疾病和生命科学的理解，改写了实验动物日粮模型的研究格局。

## 沿用了 50 年的“金标准”

喂养实验动物的饲料不仅关乎动物健康，也影响实验结果，最终影响对人类疾病等的理解。实验小鼠的日粮主要是纯化日粮和全食日粮。前者相当于人工精准配制的一种营养组合，特点是成分清晰、配方稳定，开展研究的重复性好。而全食日粮则好比人们日常吃的五谷杂粮，由玉米、小麦、豆粕等天然原料制成，成分复杂，但更接近人类真实的饮食结构。全食日粮除了含有蛋白质、碳水化合物等基础营养，还天然含有大量膳食纤维、植物雌激素等“边角料”成分。

论文第一作者、湖南农业大学博士生郭芳瑞介绍，过去 50 年里，研究者在开展动物实验时主要采用纯化日粮。早在 1962 年，美国国家科学委员会就发布了《实验动物营养需要》，这被称为第一张“营养地图”，为后续的饲料标准化打下基础。真正让纯化日粮走上“餐桌”的是 1976 年美国国立卫生研究院推出 AIN-76 配方，让诸多国家的实验室第一次用上同一种小鼠“标准餐”，成为沿用至今的全球“金标准”。该配方于 1993 年升级为 AIN-93 系列。

“动物实验中小鼠饲料的选择，似乎是方法论上的盲区。”长期开展畜禽健康养殖研究的中国科学院亚热带农业生态研究所研究员李铁军表示，纯化日粮价格比全食日粮贵 10 倍左右，为什么大家还是爱用它？就是因为它成分干净，实验可重复度高。鲜有研究者对如何选用两种饲料进行深入探究，即使



纯化日粮(左)和全食日粮对比。  
王昊昊/摄

有质疑声，最终也归于沉寂。

## 10 年追索一个疑问

文利新团队关于实验动物饲料的研究，源于实验中的一个奇怪现象。2016 年，团队在做豆油和猪油对比时发现，用天然全食日粮和纯化日粮开展糖脂代谢研究时，得出的结果居然互相矛盾。

例如，许多基于纯化日粮的动物模型研究显示，猪油是一种不利于健康的“坏”食物。然而，团队基于全食日粮开展的研究发现，适量摄入猪油实际上有益于机体的代谢稳态调控。

“我们联想到，不少药物研究在实验阶段效果良好，在临床应用中却效果不佳，甚至没效果。”文利新说，团队猜想，有没有可能实验阶段就出错了。

纯化日粮这种人造“标准餐”有一个根本缺陷，就是把天然食物里成千上万种非必需但有用的成分都剔除了，比如膳食纤维、植物雌激素、多酚类物质。这些成分虽然不是必需营养素，却是连接饮食、肠道菌群和人体代谢的关键纽带。

为了验证这个猜想，团队从 2018 年开始做了一系列对比实验。首先是全食与纯化日粮对小鼠糖脂代谢的影响差异及其机理研究。团队成员、湖南农业大学博士生张琳玉证实了之前的猜想，用近 4 年时间，首次发现利用纯化日粮饲养的实验动物模型开展糖脂代谢类研究，得出的结论存在系统误差或错误，而用全食日粮做小鼠饲料更贴近人类真实饮食，得出的结论更可信。该成果 2022 年发表于《食品与功能》，并被选为封面文章。

有没有可能小鼠糖脂代谢的结果是孤例？团队紧接着开展了基于纯化和

全食日粮对低聚木糖的功能评价研究。“结论也是矛盾的。”论文共同通讯作者、湖南农业大学青年教师王吉说。

虾青素在多种阿尔茨海默病的动物模型中显示出明确的神经保护作用，且认知改善效果，但目前人体临床试验尚无足够的证据证实其在患者群体中有显著疗效。

“我们同步开展了纯化和全食日粮的虾青素对神经炎症效果评价研究，发现虾青素在纯化日粮模型中，对小鼠认知功能障碍的改善作用效果极为显著，而全食日粮模型却没有效果。”王吉表示，这可能解释了虾青素对阿尔茨海默病预防和改善效果为何在动物实验中十分显著，在临床实践中却不理想。

换句话说，同一种功能成分在不同饲料模型下，可能得出截然相反甚至互相矛盾的结论。

意识到问题的严重性后，团队花了近两年时间，检索了国际权威医学文献数据库 PubMed 中 19581 篇关于高脂饮食小鼠的论文，重点分析研究了 2023 至 2025 年间发表的 4904 篇。结果发现，80% 的研究用的是纯化日粮，只有 7% 用了全食日粮，剩下的甚至没说清楚用的是哪种饲料。

“更让人担心的是，饲料的选择正在系统性地影响研究结论。比如，抗癌药物他莫昔芬在富含植物雌激素的天然饲料组里，药效被明显削弱了，但在没有这种成分的纯化饲料组里，就没有这种干扰。”郭芳瑞说。

## 慎重选择饲料 而非仅追求实验效果

“我们希望通过这篇论文，呼吁慎

重选择饲料模型，重新审视实验动物的饲料使用。”文利新表示。

前述研究案例都指向了一个科研方法论上的“盲区”，即当研究涉及饮食模式、肠道菌群或功能性成分时，如果还习惯性地用纯化日粮，相当于把一个重要的生物学变量当成了可以忽略不计的常量。简单来说，就是漏了一个关键因素，得出的结论自然也就不严谨，甚至相反。

“《细胞-代谢》编辑部高度关注这一重要学术观点，特邀美国麻省理工学院和加拿大蒙特利尔大学的 Charles Bennett 和加拿大蒙特利尔大学的 Gilles Brassard，以表彰他们在“奠定量子信息科学基础，并推动安全通信与计算转型”方面所发挥的关键作用。这是图灵奖首度颁发给量子科学相关的工作，标志着量子信息理论首次获得计算机科学界的最高认可。”

美国学者的论文提出，纯化日粮为营养研究提供了成分明确的研究平台，能提高研究中因果推断的准确性。当研究设计与生物学问题相契合时，纯化日粮可开展靶向性的营养素功能缺失研究，进行实验性、系统性的脂类来源替换实验，并助力发现饮食-微生物组-药物间的相互作用。

文利新团队的论文则重点强调了全食日粮不可替代的优势，纯化日粮虽然精准，却缺失了天然食物中各种成分之间复杂的相互作用。相关结论只有在更贴近人类真实饮食的模型中验证，才能真正应用到临床实践中。

“美国学者的论文提出，为最大化研究转化价值，建议在谷物型基础饲料或贴近人类饮食模式的饮食体系中开展补充验证实验。”文利新介绍，两篇论文各有侧重，但最终的结论高度一致，即科研人员应根据研究的科学问题和目的，慎重选择饲料模型。

畜禽保健湖南省工程研究中心主任、湖南农业大学动物医学院院长易金娥表示，两篇同期发表的论文，敢于质疑沿用半个世纪的实验动物日粮“金标准”，其价值不是给出非此即彼的答案——没说纯化日粮不好，也不说全食日粮是万能的，而是希望科研人员在追求实验可重复性的同时，能进一步认识到方法的精确不等于结论的正确，实验室的标准化也不等于临床转化的可靠性，科学的严谨更在于理解每个变量背后的生物学意义。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1016/j.cmet.2026.01.004>  
<https://doi.org/10.1016/j.cmet.2026.01.010>

# 全球高精度长时序冻融数据集发布

本报讯(记者高雅丽)近日,中国科学院空天信息创新研究院研究员赵天杰团队联合北京师范大学教授蒋玲梅团队及国内外多家科研机构,成功研制并发布了全球高精度长时序冻融数据集,系统实现了对全球特别是青藏高原地区冻融过程的连续、精细和长时序观测,刻画了青藏高原在气候“暖湿化”背景下的冻融响应过程,为评估寒区水资源演变趋势、预警未来供水风险提供了科学依据。

土壤冻融是指土壤中的水分随着温度变化在固态冰与液态水之间反复变化的过程。这一过程深刻影响着地球表层的能量平衡、水循环和碳通量,被形象地称为地球表层的“呼吸”。

此次发布的数据集包含两个部分。其中,全球近地表土壤冻融数据集时间跨度为 2002 年至 2023 年,空间分辨率约为 5 公里,清晰呈现全球陆地土壤冻结与消融的动态变化。青藏高原近地表土壤冻融数据集(TP-DFA-STa)时间跨度为 1979 年至 2023 年,空间分辨率约为 25 公里,为青藏高原近半个世纪的冻融演变提供了高一致性的历史档案。

青藏高原冻土的稳定性直接影响着亚洲多条大江大河的水源涵养与释放节奏。在全球变暖背景下,该数据集的分析表明,自 1988 年以来,青藏高原地表冻结日数呈明显减少趋势,平均每

年减少 0.19 天,这一变化主要由秋季冻结开始日期推迟导致。研究还发现,高海拔地区冻结日数的减少速率约为低海拔地区的两倍,多年冻土区变化较季节性冻土区更为剧烈。

赵天杰表示,这种以“冻结推迟、冻期缩短”为特征的变化,短期内可能增加河流水量,但长期来看将削弱土壤的水分调蓄能力,可能对区域未来的水资源稳定供给构成潜在挑战。

土壤冻融循环直接影响春季植被返青、农作物播种等关键物候节点。该数据集分析发现,21 世纪以来,在北纬 45 度以北地区,约 14.35% 的区域土壤冻结持续时间明显缩短,约 9.1% 区域冻结开始日期明显推迟。

此外,土壤中冰反复相变引发的冻融侵蚀已成为我国高寒地区不可忽视的生态威胁。数据分析显示,青藏高原约 13.26% 的区域冻结日数明显下降,局部地区降幅超过 30 天,并且这种变化主要集中在脆弱性的多年冻土区。

冻融循环带来的挑战还延伸至工程建设领域。此次发布的数据集总体精度达到 83.78%,有助于界定多年冻土与季节性冻土的分布范围,识别冻融交替频繁、状态波动剧烈的工程敏感地带,为青藏高原及类似区域的重大工程选址、设计和长期运维提供基础数据支撑。

# 图灵奖首度授予量子信息科学家



本报讯 3 月 18 日,美国计算机协会(ACM)宣布,将 2025 年度图灵奖授予美国 IBM 研究院的 Charles Bennett 和加拿大蒙特利尔大学的 Gilles Brassard,以表彰他们在“奠定量子信息科学基础,并推动安全通信与计算转型”方面所发挥的关键作用。这是图灵奖首度颁发给量子科学相关的工作,标志着量子信息理论首次获得计算机科学界的最高认可。

“在长达 40 余年的时间里,Bennett 和 Brassard 紧密合作,弥合了物理学和计算机科学这两个原本截然不同的学科之间的鸿沟。他们将量子原理融入计算模型,其研究成果广泛而深远地影响了密码学、算法设计、计算复杂性、学习理论、交互式证明和数学物理等诸多领域。他们的研究也激励了一代物理学家和计算机科学家跨越学科界限开展合作。”ACM 在颁奖词中表示。两位获奖者将共同分享 100 万美元的奖金。



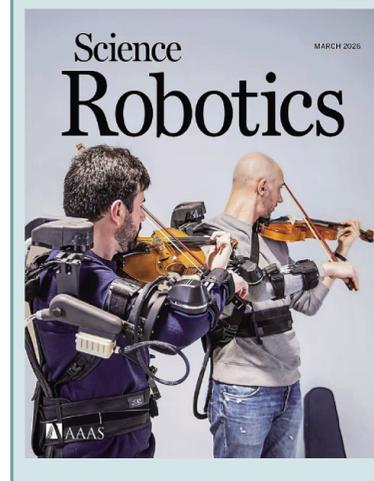
Charles Bennett(左)和 Gilles Brassard。图片来源:Lise Raymond

这两位获奖者的研究背景看似毫无关联:Bennett 是一位物理学家,而 Brassard 是一位计算机科学家。早在 20 世纪 70 年代,Bennett 和 Brassard 便开始探索那些超越了经典信息技术手段的现象。“当时人们觉得这有点疯狂。”Bennett 说,“大家根本没想过,量子效应竟可以用来完成那些经典手段无法实现的任务。”

Brassard 表示,获此殊荣让他感到“无比喜悦”。他说:“如果在我职业生涯的任何阶段,让我从中挑选一项最渴望获得的荣誉,那非图灵奖莫属。”(王铄)

## 看封面

## 外骨骼“协奏”曲



在最新一期《科学-机器人》封面中,两位小提琴手佩戴外骨骼,演奏特制的乐曲。这些外骨骼能够根据搭档之间动作的差异,向演奏者的肩部和肘部施加作用力。

研究人员将上肢外骨骼引入合奏情境,探究了触觉反馈在传统依赖听觉和视觉反馈的合奏中所起的作用。结果显示,与传统合奏相比,触觉反馈显著增强了演奏者之间的协调性。(王铄)

图片来源:《科学-机器人》

# 常压镍基超导起始转变温度突破 60K

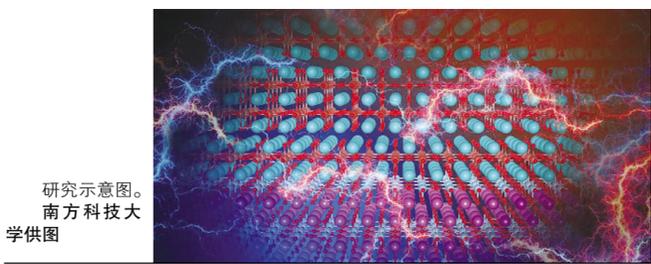
本报讯(记者刁雯蕙)近日,南方科技大学、粤港澳大湾区量子科学中心的薛其坤、陈卓昱团队实现了常压下最高达 63 开尔文(K)的超导起始转变温度,以及最高达 37K 的零电阻温度,迈斯纳抗磁性的起始温度也较此前纪录大幅提升,各项指标均为新的世界纪录。相关研究成果发表于《国家科学评论》。

如何克服镍基超导在常压下的热力学不稳定性,并实现更高的超导转变温度,成为领域亟须攻克的难题。为此,团队通过改进自主研发的强氧化原子逐层外延方法,提供比常规方法高出约 1000 倍的强氧化环境,并配合更高的生长温度,有效解决了镍基超导相合成中结构稳定性和超导相所需的精准氧化态之间的热力学矛盾,实现了高质量超导薄膜的一步法

原位生长。

团队在 SrLaAlO<sub>3</sub>(钐酸锶镧)衬底上成功制备出高质量的(La,Pr)<sub>2</sub>Ni<sub>3</sub>O<sub>7</sub>(镧镨镍氧化物)外延薄膜,创造了常压起始转变温度最高达 63K,以及零电阻温度最高达 37K 的性能新纪录。他们发现,超导性能的提升与正常态的“奇异金属”行为存在直接关联。当薄膜达到最优氧化状态时,其输运特征表现为典型的非费米液体行为,这一发现直接将镍基超导的高温超导电性与奇异金属物理联系在一起。

与具有极精准二维特性的铜氧化物不同,该镍基体系表现出极强的层间耦合特征,具有较为显著的三维超导特性,为理解镍基超导的宏观形成机制提供了关键的实验证据。此外,迈斯纳抗磁性的强度显著提升,且起始温度达到



研究示意图。南方科技大学供图

23K,远超前者的 10K 左右。该研究不仅创下了常压镍基超导转变温度的新纪录,还通过高质量的薄膜样品搭建了一个理想的实验平台,可用于探索高温超导的普遍规律。这一

进展标志着常压镍基超导研究进入了“60K 时代”,向更高温度的常压超导迈出了坚实一步。

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1093/nsr/nwag151>

# 科学家精确厘定关键地磁倒转事件时限

本报讯(记者朱汉斌 通讯员孔令竹)约 1.2 亿年前的早阿普特期,地球遭遇“多事之秋”:全球最大规模海底火山喷发、长达 3800 万年的白垩纪正性极时(CNS)开启,引发海洋生态巨变的全球大洋缺氧事件(OAE1a)相继发生。早阿普特期持续约 59 万年的地磁倒转事件 M0r 对此至关重要。

精确厘定了关键地磁倒转事件 M0r 的时限,为理解 OAE1a 期间全球碳循环异常提供了全新视角。相关成果近日发表于《科学进展》。

研究团队对燕山科学钻探项目 YS-DP-4 钻孔开展高分辨率磁性地层学与旋回地层学研究,并结合钻孔中两层凝灰岩的高精度 CA-ID-TIMS 铀石 U-Pb 定年结果,首次在陆相沉积层中精确厘定 M0r 顶界年龄为 121.26±0.38 Ma(百万年)。结合前人研究,他们推算出 M0r 底界

年龄为 121.85±0.38 Ma。这一成果为阿普特期边界与 CNS 起始时间提供了来自陆相沉积层约束的绝对年龄标尺。

这一精确时间框架带来了新发现。研究表明,在 OAE1a 启动阶段,陆地碳同位素负偏事件明显滞后于海洋记录。具体而言,从 M0r 顶界到陆相碳同位素异常开始,间隔约 1.24±0.4 Ma,而海相记录显示的时间间隔仅为 0.3 至 0.69 Ma。这意味着海洋和陆地并非同时响应此次全球性环境事件。

研究揭示了在地球系统剧烈变动的关键时期,海洋与陆地系统碳循环可能并非始终同步演化。理解这种“不同步”,有助于重新审视火山活动、二氧化碳变化与气候响应之间的复杂关系。该研究为完善地磁极性年表与国际地层年表提供了高质量数据支撑,也为重建白垩纪全球古环境与古气候演化图景补上了关键一环。

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1126/sciadv.aea8374>

# 我国力争到 2030 年全国燃料电池汽车保有量达 10 万辆

据新华社电 记者 3 月 16 日获悉,工业和信息化部等三部门日前印发关于开展氢能综合应用试点工作的通知,提出到 2030 年,城市群氢能可在多元领域实现规模化应用,终端用氢平均价格降至每千克 25 元以下,力争在部分优势地区降至每千克 15 元左右;全国燃料电池汽车保有量较 2025 年翻一番,力争达到 10 万辆,推动氢能应用技术、工艺、装备创新突破,推动氢能成为新的经济增长点。

工业和信息化部节能与综合利用司负责人介绍,我国氢能产业已实现从“0”到“1”的突破,进入到跨越技术经济拐点、快速规模化发展的关键阶段。同时,氢能应用面临场景少、绿氢成本尚贵以及储运加注难等问题,商业模式尚未形成,市场需求有待释放,需要国家层面持续发力、重点支持,通过应用牵引,在“用”中发现问题、解决问题。

通知明确,各城市群应优先选择具备条件的燃料电池汽车、绿色甲醇、氨基化工原料替代、氢冶金以及在多元领域实现规模化应用,终端用氢平均价格降至每千克 25 元以下,力争在部分优势地区降至每千克 15 元左右;全国燃料电池汽车保有量较 2025 年翻一番,力争达到 10 万辆,推动氢能应用技术、工艺、装备创新突破,推动氢能成为新的经济增长点。

工业和信息化部节能与综合利用司负责人介绍,我国氢能产业已实现从“0”到“1”的突破,进入到跨越技术经济拐点、快速规模化发展的关键阶段。同时,氢能应用面临场景少、绿氢成本尚贵以及储运加注难等问题,商业模式尚未形成,市场需求有待释放,需要国家层面持续发力、重点支持,通过应用牵引,在“用”中发现问题、解决问题。

通知要求,氢能综合应用试点以城市群为主体开展申报,城市群立足自身资源条件,因地制宜、宜氢则氢,避免各场景一拥而上、低水平重复建设。中央财政将采取“以奖代补”方式,对城市群给予奖励资金支持,奖励标准根据各场景终端产品应用情况或用氢规模分档设置,每个城市群试点期限为 4 年,单个城市群试点期内奖励上限不超过 16 亿元。(周圆)