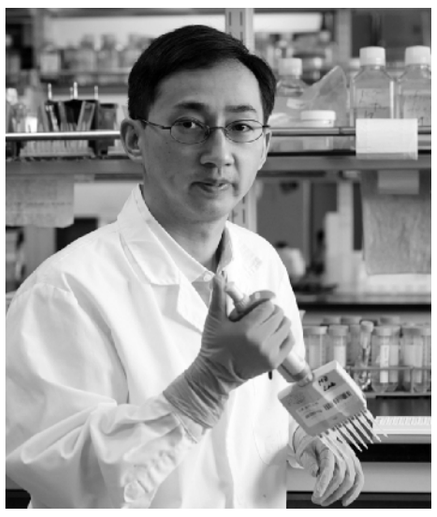
科学家揪出“捣乱分子”，解答——

为何高血糖人群抗病毒免疫力低

■本报记者 杨晨

病毒流行期间，为何高血糖人群更容易“中招”、更容易发展为重症？这个问题，困扰了临床医生很多年。

电子科技大学医学院、四川省人民医院教授郑慧团队的一项研究揭开了谜底的一角。他们在国际上首次发现了一种名为“蛋白丙酮酸化修饰”的全新蛋白质修饰方式，并指出在高血糖环境下，糖代谢产物丙酮酸干扰了抗病毒免疫信号通路的关键蛋白，让抗病毒防线“失守”。近日，相关研究成果发表于《细胞》。



郑慧在实验室。 受访者供图

“两副面孔”

“病毒来了，准备战斗！”当病毒入侵人体时，免疫系统会迅速拉响警报。在机体抵抗病毒感染第一道防线中，有个重要的细胞因子“I 型干扰素”负责通知身体各部位。

郑慧解释，I 型干扰素从细胞释放后，会与身体各处组织细胞的细胞膜表面受体结合，进而“激活”相关信号通路，启动一系列抗病毒基因的表达，最终合成众多抗病毒蛋白来发挥抗病毒效应。

而 I 型干扰素信号通路的传递和运行，离不开 STAT1 蛋白这个分子。STAT1 蛋白要与另一个叫 STAT2 的蛋白紧密合作，像两把钥匙同时转动，才能启动细胞核内的抗病毒基因表达，让已经感染病毒的细胞进入“战斗状态”，并使尚未感染病毒的细胞进入“战备状态”。

在血糖偏高的人群中，这个 I 型干扰素信号传递过程却出了岔子。研究发现了其中的一个重要“捣乱分子”——丙酮酸。

丙酮酸是糖酵解的终末产物。此前的研究认为，丙酮酸主要承担能量供给的基础作用。不过，这家伙有“两副面孔”，能显著抑制干扰素免疫信号通路，突出表现为限制细胞内干扰素活性，使细胞产生的抗病毒蛋白减少。

这个过程就像“糊”住了 STAT1 蛋白的“手脚”，让它无法与 STAT2 顺利“联手”，导致抗病毒信号传不下去，免疫系统反应变慢、强度变弱。

“更令人吃惊的是，丙酮酸是以蛋白修饰的方式影响这一信号通路的。”郑慧指出，丙酮酸并非与 STAT1 蛋白简单物理碰撞、擦肩而过，而是能与之发生共价结合，形成一种全新的蛋白质修饰——蛋白丙酮酸化修饰。

在高血糖环境下，糖酵解通路异常活跃，丙酮酸的含量升高，蛋白丙酮酸化修饰的水平随之升高，信号传输“路径”越堵塞。这也解释了为什么糖尿病患者或血糖偏高人群更易感染病毒，且在感染病毒后更容易出现重症。

多次验证

此次研究于 2020 年底启动，团队的初衷就是想解答：为什么血糖高的人抗病毒能力差？这一现象在新冠疫情期间尤为凸显。大量临床研究表明，血糖高的人群感染新冠后更易发展为重症。

I 型干扰素是临床不可或缺的抗病毒药物。但临床研究发现，即便在空腹血糖不大于 6.1 毫摩尔 / 升的正常人群中，血糖数值的细微差异也会影响 I 型干扰素治疗的反应性。

郑慧想到，既然高血糖会影响抗病毒免疫，那会不会是糖代谢产物影响了干扰素免疫信号通路？于是，团队将目光投向糖代谢通路中的多种代谢酶和代谢产物，逐一筛选和测试。最终，丙酮酸引起了他们的注意。

作为小分子物质，丙酮酸如何影响干扰素的信号通路，具体作用于哪个蛋白，机制是什么？带着这些问题，团队成员、论文第一作者左宜波首先给丙酮酸做了生物素标记，发现其可以与 STAT1 蛋白结合。

曾有研究发现乳酸对蛋白质进行修饰，而乳酸又是丙酮酸的下游代谢产物，二者的分子结构非常相似。因此，郑慧大胆推测，丙酮酸或许存在对蛋白质的修饰作用。

抱着试试看的心态，郑慧团队设计了一系列实验进行反复验证，得到的结果与设想高度吻合。尽管如此，他们并没有轻易下结论，而是反复请教质谱领域的专家学者，并与专业生物技术公司进行合作。

为了进一步确认蛋白丙酮酸化修饰的功能，他们培育了一组小鼠，通过基因改造，让它们的 STAT1 天生就没法被丙酮酸“糊”住“手脚”。结果显示，相对于正常对照组，这些小鼠的干扰素免疫活性更强，被病毒感染后的存活率显著提升。

不仅如此，团队还分析了高血糖志愿者的血液样本，发现血糖越高，STAT1 被丙酮酸修饰的比例就越高。

打开思路

研究论文完成后，郑慧将其投给了《细胞》。

“所有科研人员都希望自己的文章能发表在知名期刊，投稿过程遇到挫折也是常态。”心态平和的他未曾预料到文章不仅被接收，还获得了三位审稿人的高度评价。不过，郑慧更在意的是研究能否为基础科学和临床治疗带来真正的价值。

“未来或许可以采取针对性措施，改善高血糖人群的抗病毒免疫状态。另外，在临床使用干扰素治疗被病毒感染患者时，也可将血糖水平及蛋白丙酮酸化修饰情况纳入考量，以期实现精准干预。”左宜波展望道。

尽管此次研究找到了高糖导致抗病毒免疫力下降的重要分子机制，但郑慧指出：“机体信号调控网络十分复杂，高糖抑制抗病毒免疫可能存在多种途径。”

值得一提的是，首次报道的蛋白丙酮酸化修饰，或许并非 STAT1 蛋白的“专利”。

“糖酵解是细胞最底层的生命活动，其中丙酮酸是糖酵解的终末产物，而非一过性的代谢产物，它对于细胞的能量供给至关重要。因此，蛋白丙酮酸化修饰可能广泛存在于各类细胞的生命过程中，对正常生理活动起到调控作用。”郑慧解释。

让郑慧感到高兴的是，成果发表后，就有国外学者来信告知，在 T 细胞白血病研究中，调控丙酮酸等相关分子能引起肿瘤表型的显著变化，提示这一修饰或许能为 T 细胞白血病的治疗提供全新的思路。

近期，郑慧与国内相关生物技术公司展开了深入沟通。“希望能研发出泛丙酮酸化（丙酮酰化）抗体，即不论何种蛋白质，只要存在丙酮酸化修饰，都能被检测到。”

接下来，郑慧团队的研究仍将聚焦抗病毒免疫领域，并希望拓展合作，寻找蛋白丙酮酸化修饰在不同疾病中的存在、作用及价值。“毕竟此次研究的发现，也是合作的结果。”

他表示，蛋白丙酮酸化修饰有望为免疫学、肿瘤学、神经生物学、发育生物学等众多领域的学者提供新的研究思路。“通过检测他们关注的蛋白是否存在这种修饰，以及如何影响细胞生理或病理功能，希望能帮助他们在相关研究领域取得突破。”

相关论文信息：
https://doi.org/10.1016/j.cell.2026.01.023

太赫兹技术离我们有多远

■本报见习记者 江庆龄

微波炉加热食物、手机接收信号、体检时拍胸片……不同波段的电磁波深刻影响着我们的日常生活。

然而，介于微波与红外线之间的特殊波段，因为缺乏稳定光源与成熟的探测技术，被喻为“电磁波段上最后一块未开垦之地”。科学家将这个特殊波段称为太赫兹波，其频率在 0.1THz 到 10THz 之间，具有穿透力强、低能辐射、分辨率高的特性，在通信、医疗、军事等领域具有应用潜力。自 20 世纪 80 年代以来，随着半导体与光电子技术的不断发展，太赫兹技术逐渐从实验室走向工业应用。当前，作为新一代信息技术与先进制造技术融合的重要方向，太赫兹相关研究和应用也是我国抢占未来科技竞争制高点、培育新质生产力的重要抓手。

近日，2026 太赫兹高峰论坛暨太赫兹创新联盟成立大会在上海复旦大学举行。其间，中国科学院院士、中国科学院上海技术物理研究所研究员褚君浩和孙胜利分享了发展太赫兹技术的重要意义。

找到物理和技术的连接点

问：太赫兹科学与技术被评为“改变未来世界的十大技术”之一，在过去 20 多年间备受各国政府重视。太赫兹技术有何特点，为什么如此重要？

褚君浩：太赫兹这个概念最早是由中国科学家张希成提出的。太赫兹的波长在 3 毫米到 30 微米左右。相比于其他波段，该波段研究相对较少，但其中蕴含着很多科学问题，且有着广阔的应用前景。目前，太赫兹高频段（0.3THz 到 10THz 之间）的研究仍存在较多难点，谁先取得颠覆性突破，谁就能够占领该领域科技制高点。

孙胜利：太赫兹之所以被称为“电磁波段上最后一块未开垦之地”，就是因为研究起来有难度。在开发这个频段时，我们需要摒弃原有思路，用研究电磁波的思维来探索其与物质的相互作用。这也意味着，要想让太赫兹技术走向产业化，需要开发出配套的理论、方法、器件，这中间必然存在相当多的不确定性。

问：我国的太赫兹技术在国际上处于怎样的水平？

褚君浩：我国太赫兹的研究起步不算晚，中国科学院上海技术物理研究所（以下简称上海技物所）原本也设有专门的毫米波实验室，研究所创办的学报刊名就叫《红外与毫米波学报》。近年来，国内多家高校、科研院所以及企业都在开展太赫兹技术相关研究，也在不同方向产出了一定成果。

孙胜利：我国在太赫兹辐射源、成像与探测、远距离通信等领域都取得了较为瞩目的突破。整体上来说，我国太赫兹研究与国际前沿并驾齐驱，但在基础理论、核心器件等领域仍有不小的追赶空间。

问：太赫兹创新联盟将如何推动我国太赫兹技术的发展？

褚君浩：发展至今，我国布局太赫兹技术的单位不在少数。联盟有助于将这些力量形成合力，瞄准国家重大需求，开展目标牵引下的自主探索，抢占太赫兹领域的科技制高点。

接下来，我们尤其需要关注太赫兹技术的新原理、新结构，并在此基础上研发出全新的核心器件。这些工作必然是“领跑”的工作，也将推动其他领域的发展。举例而言，如果我们能够研制出太赫兹波段的天文望远镜，就能够观测到更多新奇的现象，更好地认识宇宙。

孙胜利：过去，物理学家往往更强调理论的优美性，而不去考虑其应用价值。而近 10 年间，科技对产业推动、民生变革的作用越发凸显。在国家大力发展新质生产力的今天，太赫兹技术也将是一个重要突破点。

因此，即便太赫兹很多研究仍处于基础前沿阶段，也有必要提前布局，找到物理和技术之间的连接点，加速从实验室到产业的转化进程。

太赫兹技术大有可为

问：看来太赫兹技术必然会影响人们的日常生活。但目前大众对太赫兹并不熟悉，我们可能在哪些场景用上这个前沿技术？

褚君浩：事实上，太赫兹技术离人们的日常生活并不遥远，最典型的就是安检系统。

大家可能留意到，在上海一些地铁站安检处，配备有一个白色的小房间，这就是被动式太赫兹安检系统。乘客进站时，除了将书包、行李箱等放在安检履带上进行安检，本人需要自行穿过这个小房间，如果随身携带危险品，就会引发报警装置。

虹桥火车站商务座休息区也有一套太赫兹安检系统。我有一次在安检时胸口放着一个保温杯，仪器也能检测出来。未来随着太赫兹技术进一步发展，成像会更加清晰。

另外，由于太赫兹能够穿透人体，且不会对人体产生辐射影响，在医疗诊断领域也将起到重要作用。上海技物所目前正在和医院合作开展研究，寻找肿瘤在太赫兹波段的“指纹光谱”。未来，我们或许可以通过体外拍片来判断肿瘤是恶性还是良性，无需再借助于病理检查。这既能帮助医生快速诊断、确定后续治疗方案，又能减轻患者的身体负担和心理压力，减少侵入性检查带来的痛苦与风险。

太赫兹技术也有望推动 6G 等下一代通信技术的发展。机器人、工业互联网、星际通信等，都需要更快速的通信手段。太赫兹频段具有更高的绝对带宽，有望满足未来高数据传输率的无线通信需求，支持更高的用户密度、更少的延迟、更好的频谱利用率。

孙胜利：太赫兹技术在极端天气预警、检测药物毒副作用等场景也存在一些爆发点。当然，一项技术的发展并不仅仅和科技水平相关，还涉及政策、社会发展、大众需求等方方面面。太赫兹技术与其他技术之间也并非互相替代的关系，而是优势互补，共同推动社会进步。

问：预计何时能够看到这些应用？

褚君浩：我想应该是再过五年左右开始规模化应用，到 2035 年迎来蓬勃发展。我们并不是完全从零起步，前期已经有了相当多的积累——不仅是科研成果，还包括人才队伍建设、实验室平台体系、科研经费等。在太赫兹创新联盟这一纽带下，大家各取所长，共同推动太赫兹技术的全链条发展。

孙胜利：我们在关注新技术应用的同时，也不可忽视前沿基础研究的重要性。社会应尊重、倡导一批科学家开展自由探索。尽管这些旨在揭示自然规律的工作在短期内看似“无用”，但长远来看，新方法、新技术正孕育其中。

集装箱

“高活性益生菌制品数智化生产关键技术研发及产业化”通过鉴定

本报讯（记者朱汉斌 通讯员蒋先志）3 月 6 日，“高活性益生菌制品数智化生产关键技术研发及产业化”项目科技成果鉴定会议在广州召开。经专家鉴定，该项目成果整体技术达到国际先进水平。

记者了解到，该项目由广东正当年生物科技股份有限公司、华南理工大学、华大精准营养（深圳）科技有限公司合作完成。在筛选技术体系构建上，项目成功构建了益生菌基因组靶向筛选技术体系，将基因组学与人工智能深度融合，大幅提高筛选效率、降低成本，并成功构建多健康方向益生菌矩阵。

在制备与递送技术研发方面，项目开发出多功能益生菌制剂全链条稳态化制备与靶向递送技术，实现全过程自动化智能化。其中，创新造粒及菌－元协同技术使物料利用率达 95%以上，造粒合格率不低于 90%，定植率提升超 40%，片剂活菌保留率不低于 60%，粉剂活菌保留率不低于 80%，各项指标远超市场同类产品。

在溯源体系建立上，项目建立益生菌保健食品全链路可信溯源体系，结合 SHA-256 加密与区块链存证技术，溯源覆盖率达 100%，菌落特征识别准确率不低于 99%。此外，攻克了益生菌保健食品全链条活性稳态调控与多剂型柔性制备技术，可实现多剂型快速切换，有效降低活性波动、提升产品合格率，全方位支撑益生菌向产业化、标准化、高品质方向发展。

该项目成功研发的益生菌胞外多糖开拓了抗抑郁天然功能分子新应用，并研制出益生菌固体饮料、益生菌压片糖果等多款系列产品。其中，“复合益生菌固体饮料”和“功能性复合益生菌压片糖果”被列入“广东省名优高新技术产品”。

首款基于飞行时间质谱法的肿瘤伴随诊断试剂盒获批上市

本报讯（记者赵广立）近日，记者从中源协和细胞基因工程股份有限公司获悉，该公司控股子公司中源维康（天津）医学检验所有限公司自主研发的“人 EGFR/KRAS/BRAF/ERBB2/PIK3CA 基因突变检测试剂盒（飞行时间质谱法）”获国家药品监督管理局批准上市。据介绍，该产品是国内首款获批的基于飞行时间质谱技术的肿瘤伴随诊断试剂盒，标志着我国在肿瘤精准诊疗领域实现重要技术突破。

此次获批的试剂盒可用于体外定性检测非小细胞肺癌（NSCLC）、结直肠癌（CRC）患者经福尔马林固定的石蜡包埋（FFPE）组织样本中 EGFR、KRAS、PIK3CA、BRAF 和 ERBB2 基因变异；针对 NSCLC 可用于盐酸厄洛替尼片和甲磺酸奥希替尼片的伴随诊断检测；针对 CRC 可用于西妥昔单抗注射液的伴随诊断检测。相关药物均已纳入国家医保目录。

临床研究显示，通过对 EGFR、KRAS 等肿瘤关键驱动基因变异的精准检测，临床上能够实现“有靶打靶，无靶免打”的个体化治疗，将客观缓解率从 20%~30%提升至 60%~80%，进而实现疗效最大化与损伤最小化的双重目标。

相关负责人表示，作为国内首款基于飞行时间质谱法获批上市的肿瘤伴随诊断试剂盒，该产品可为 NSCLC、CRC 患者提供精准诊疗支持，有助于进一步提升相关疾病诊疗可及性。

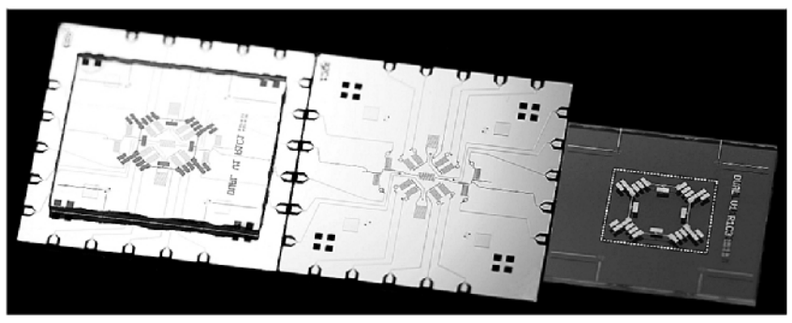
按图索技

科学家首次实现基于双轨编码的逻辑多量子比特纠缠

本报讯（记者刁雯蕙）3 月 6 日，深圳国际量子研究院钟有鹏、俞大鹏团队在超导量子计算领域首次实现了基于双轨编码的逻辑多量子比特纠缠。相关研究成果发表于《自然－物理》。

近年来，擦除量子比特作为一种新兴的硬件高效方案受到广泛关注。在超导量子电路中，实现擦除量子比特的一种重要方案是双轨编码。该方案在单比特逻辑操作中具备优势，但如何在多量子比特层面实现高质量的逻辑纠缠和逻辑门操作，仍是核心挑战。

为此，研究团队基于双轨超导量子比特架构，在可扩展的平面 transmon 量子芯片上，首次实现了逻辑多量子比特的高保真度纠缠生成。每个双轨逻辑量子比特由一对可调 transmon 组成，利用其单激发子空间进行信息编码。该设计可将能量弛豫错误转换为可检测的擦除错误，同时利用两个 transmon 之间的强耦合产生类似被动动力学解耦的效果，显著抑制退相干噪声。实验测得逻辑量子比特的相干时间接近 1 毫秒，较底层物理量子比特提升一个数量级以上；逻辑单比特量子门误差低至 10^{-5} 量级。



双轨量子比特芯片。 研究团队供图

团队进一步实现了逻辑量子比特之间的可调耦合，首次演示了双轨架构下高保真度的逻辑两比特门，并基于这些逻辑门生成了逻辑贝尔态和三量子比特 GHZ 纠缠态。值得注意的是，逻辑贝尔态的纠缠寿命较物理贝尔态提升约一个数量级，充分体现了双轨编码结合擦除检测对量子信息的保护能力。

该研究首次在多量子比特层面实现了超导量子电路中双轨量子比特的逻辑纠缠与逻辑门操作，证明该体系不仅在单比特层面具备噪声偏置优势，而且能够扩展到多比特逻辑操作，向可扩展容错量子计算迈出了关键一步。

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41567-026-03211-9

“红房子·启元”AI 妇产科垂直大模型发布

本报讯（见习记者江庆龄）3 月 6 日，复旦大学附属妇产科医院举行“红房子·启元 AI 妇产科垂直大模型”发布会。该模型由复旦大学附属妇产科医院与阿里云联合研发，有效破解妇产医疗人工智能（AI）应用分散、数据不统一、专业度不足的行业痛点，推动 AI 在妇产医疗中的应用从“单点智能”走向“系统智能”。

在底层基座上，模型基于异构算力与通义千问构建国产基座，具备多模态理解与推理能力，同时严格保障医疗数据安全可控。目前，基于该模型研发的“小红”AI 患者助理已完成上海市首个医疗服务领域生成式 AI 备案。

在中间知识层，模型以高质量妇产专科数据为核心，整合了百万级临床病例，千余篇指南共识、内部教学与专科资料，实现知识形态的跨越升级，使模型具备专科能力。同时，通过专科对齐训练，模型将妇产科的诊疗路径、质控规则和红房子资深医师的临床诊疗思维模式深度植入全流程中，从源头构建起规范化、循证化的妇产科医学回答体系。

在上层场景应用方面，模型除了可广泛适配医疗机构、基层妇幼保健院外，也为未来科研院所、企业等多元应用场景提供了接口。

目前，依托“红房子·启元”底座，院方围绕智慧管理、智慧服务、智慧医疗三大方向，构建了覆盖多场景的 AI 生态圈。“基于多模态人工智能的遗传性妇科肿瘤精准咨询与风险评估应用系统”“AI 驱动的孕产妇心理健康数字化工具开发与验证”“智慧供受精人脸匹配系统”等一批应用也相继落地。

“烈焰二号”刷新世界电循环火箭发动机推力上限

本报讯（记者张双虎）近日，星火空间公司完成“烈焰二号”电循环火箭发动机首次全系统试车。“烈焰二号”泵功率达 414.6 千瓦，单发推力达 10 吨，刷新了世界电循环火箭发动机推力上限。本次试车验证了电动泵循环技术路线在国产发动机上的可行性及其在系统设计方面的正确性、各组件间的协调匹配性，为中国火箭设计提供了新的动力系统选择。

“烈焰二号”发动机用电动泵代替传统的涡轮泵驱动，解决了占发动机故障 50%至 70%的燃气涡轮和副系统故障问题。这种结构同时省去 70%的阀门和 80%的管路，降低了阀门失控和管路泄漏风险。因此，大幅降低“烈焰二号”火箭发射成本，提升整箭可靠性。

另外，“烈焰二号”电循环火箭发动机采用轻质化设计，3D 打印的发动机零部件不但让其减重 40%，同时可以有效降低总装难度并缩短工时，有利于工业化批量生产。

以“烈焰二号”为动力系统，星火空间研制了“进化一号（JH-1）”电循环液体火箭。火箭一级采用 9 台海平面版“烈焰二号”并联，二级采用 1 台真空版“烈焰二号”，近地轨道运力 1.5 吨，为我国卫星发射提供低成本、高可靠、快速响应的发射解决方案。

据悉，“进化一号”是国内首款、目前全球在研最大的电循环液体运载火箭，由星火空间自主研制。全箭总长 27.5 米，起飞推力达 90 吨，可灵活定制，成本更低，堪称“太空特惠快车”，预计 2027年首飞。