

1845年创刊·以科技见证世界改变

环球科学 SCIENTIFIC AMERICAN

《科学美国人》杂志独家授权

邮局订阅代号：80-498
2017年5月号 总第137期
定价：¥18



制造治病
的细菌

用病毒杀灭
致病菌

未来医疗专题

微生物角色： 从破坏者到守护者

科学家可以筛选有益的细菌，改善人体肠道健康；还可以通过合成生物学手段，把微生物改造成活体工厂，在人体特定位置持续生产药物，治疗癌症、感染、遗传疾病等。

港币：30.00元 美元：5元

ISSN 1673-5153



9 771673 515177



绿色印刷产品

版权信息

主管单位 **Authorities in Charge**

中华人民共和国教育部 Ministry of Education of the People's Republic of China

主办单位 **Sponsor**

中国大学出版社协会 China University Presses Association

出版单位 **Publisher**

《环球科学》杂志社有限公司 GLOBAL SCIENCE MAGAZINES Co. Ltd

社址 **Address:**

北京市朝阳区秀水街1号建外外交公寓4-1-21 Office 4-1-21,
Jianguomen Diplomatic Residence Compound, No. 1, Xiu Shui Street,
Chaoyang District, Beijing, China.

邮编:

100600

社长 / 总编辑 **Editor-in-chief**

陈宗周 Chen Zongzhou

副社长 / 副总编辑 **Deputy Editor-in-chief**

刘芳 Liu Fang

编辑中心 **EDITORIAL DEPARTMENT**

执行主编 Executive Editor

褚波 Wave Chu

首席记者 chief Reporter

刘洋 Liu Yang

资深编辑 Senior Editor

韩晶晶 Han Jingjing / 吴兰 Wu Lan / 罗凯 F. leocas

编辑 Editor

廖红艳 Glorious Liao / 吴非 wu Fei

助理编辑 Assistant Editor

龚聪 gong cong
审稿编辑 Reviewing Editor
禾苗 He Miao
特约编辑 Contributing Editor
徐寒易 Xu Hanyi
特约记者 Contributing Reporter
陈耕石 Chen Gengshi / 吴好好 Wu Haohao

国际标准刊号：ISSN 1673-5153
国内统一刊号：CN11-5480/N
邮局订阅代号：80-498
广告经营许可证号：京朝工商广字第8144号

版权说明：版权所有，《环球科学》杂志社保留所有权利。未经本社许可，不得为任何目的、以任何形式或手段复制、翻印、传播及以其他任何方式使用本刊的任何图文。

目录

CONTENTS

前言

[《环球科学》新媒体平台
专帮科研人找工作](#)
[2017年《环球科学》国际科学夏令营招募](#)

编者的话

[与细菌赛跑](#)

国际版本

[《科学美国人》国际版本速览](#)

研究

[全球学术期刊概览](#)

前沿

[【天体物理】Virgo 引力波探测器重新上线](#)
[【神经科学】鸭子的大脑缺陷与认亲行为](#)
[【地球科学】利用声波预测海啸](#)
[【材料科学】纳米纱窗可过滤90%的有害颗粒物](#)
[【生态学】为地衣搬家](#)
[【简讯】全球科技热点](#)
[【环境】煤电厂污染物会使作物减产](#)
[【资讯】力学生物学：皮肤抗衰老的新思路](#)
[【新技术】机器人帮脑瘫婴儿学习爬行](#)
[【健康】美国能应对未来疫情吗](#)
[【生物学】膳食脂肪能延长寿命？](#)
[【能源】亚麻荠油替换传统飞机燃料？](#)
[【古生物学】来自侏罗纪的章鱼化石](#)

深度

[【封面故事】微生物角色：从破坏者到守护者](#)
[【封面故事】制造治病的细菌](#)
[【封面故事】噬菌体疗法：用病毒杀灭致病菌](#)
[【封面故事】微生物九大应用](#)
[【天文学】追踪暗物质：常进的20年](#)
[【天文学】现场直击：黑洞吞噬恒星](#)
[【技术】自动驾驶的社交障碍](#)

[【科学史】苏联炭疽惨案：尘封38年的真相](#)

[【健康】PFC污染：全球健康隐患](#)

[【健康】老年痴呆的生活疗法](#)

[【演化】毒泉孕育新鱼类](#)

[【社会科学】回声室效应：网络谣言的自我增强](#)

专栏

[【健康科学】切大脑，治癫痫？](#)

[【技术档案】用户手册去哪了？](#)

[【科学评论】别碰科学家的邮件](#)

[【反重力思考】掉地上的食物还能吃吗](#)

[【怀疑论者】说到底，什么才是真理？](#)

[【图表科学】文学作品隐藏着数学奥秘](#)

读来编往

[读来编往](#)

经典回眸

[经典回眸](#)

创新地标

[创新地标](#)

天文学专刊

[天文学专刊](#)

《环球科学》新媒体平台



官方微信：
环球科学（[huanqiukexue](#)）
讨论最热科学话题，推出“《自然》（*nature*）新闻·一周精选”栏目，还能收听最有趣的英文广播“科学60秒”。



新浪微博 [@环球科学杂志社](#)



腾讯微博 [@环球科学杂志社](#)



官方网站
www.huanqiukexue.com

科研圈

专帮科研人找工作



科研求职，就到科研圈招聘频道

www.keyanquan.net/recruit

携手数百家科研院校与机构，第一时间发布职位需求；高层次人才、博士后、教职、技术人员、企业岗位.....多职位全覆盖；地域、领域、行业等多级筛选，高效搜索。

高校、机构及企业发布科研岗位招聘，请联系：
jobs@keyanquan.net



010-85321181



2017年《环球科学》 国际科学夏令营招募

德国、美国，“科学梦想季”即将开启！



美国NASA

NASA太空科技夏令营

马歇尔太空飞行中心是美国航天器推进、设计以及建设国际空间站的重要基地，也是目前世界上最重要的宇航研究中心及高科技军事中心之一。《环球科学》将带领全国对航空航天领域有着浓厚兴趣的中学生

们，一起深入“火箭之城”的亨茨维尔基地，接受六大模块训练，全方位体验前沿空间探索技术。夏令营结束后，将会获得由美国宇航中心负责人颁发的权威证书。

时间：2017年8月3日~8月16日

地点：亨茨维尔、华盛顿、洛杉矶

招生对象：12-17岁优秀初高中学生，对航空航天领域有浓厚兴趣



德国哥廷根大学

XLAB国际科学夏令营

《环球科学》& 哥廷根大学XLAB联合举办的国际科学营已成功举办了10届。哥廷根大学曾诞生过45位诺奖得主，以纯正的诺贝尔式科学教育和实验化教学享誉全球。每年来自全球的上万青年聚集于此，接收最高水准的科学训练。营员将接受全英文授课，并在世界一流实验室中与科学家面对面交流，还将获得院长亲笔签字的结业证书。

时间：2017年7月28日~8月14日

地点：哥廷根、柏林、慕尼黑

招生对象：16~23岁优秀青年学生，热爱科学实验，英文熟练



扫码了解更多详情

编者的话 FROM THE EDITOR

与细菌赛跑



【未来医疗技术】

微生物角色： 从破坏者到守护者

很多微生物就像看不见的魔鬼，它们会导致各种感染和传染性疾病，威胁人类的健康，甚至曾夺走无数人的生命。但在今天，一些微生物的角色正在发生改变：科学家可以筛选对人类有益的细菌，改善人体肠道健康；甚至还可以通过合成生物学手段，把一些微生物改造成活体工厂，在人体的特定位置持续生产药物，治疗癌症、感染等。微生物的应用也不仅限于医学领域，农业、食品、环境、能源等领域，都有来自小小细菌的助力。

p24 制造治病的细菌

p32 噬菌体疗法：用病毒杀灭致病菌

p38 微生物九大应用

这些新型抗菌手段距离上市还有不短的时间，在此之前，我们需要更加合理、科学地使用抗生素，延长这种抗感染武器的使用期限。否则，等不到新武器的出现，我们的伤口感染将再次变得致命。

吉罗拉摩·法兰卡斯特罗（Girolamo Fracastoro），这个名字可能并不为公众所熟悉，但在15、16世纪的意大利，他可是一位大师级学者。

法兰卡斯特罗在医学、数学、地质学、植物学等多个领域都有很深造诣，甚至还是一位著名诗人。

在我所熟悉的医学史领域，我就知道，这位意大利学者的一首长诗和一篇论文曾对医学的发展贡献不小。

1530年，法兰卡斯特罗发表长诗《西佛里斯或高卢病》（*Syphilis sive de morbo Gallico*），讲述了一位名叫西佛里斯（*Syphilis*）的年轻牧羊人被太阳神阿波罗陷害，身患奇怪疾病的故事。在诗中，他详细描述

了西佛里斯所患的疾病，以及这种疾病造成西佛里斯全身溃烂的情形——这是人类对梅毒的最早描述，而且因为这首长诗流行甚广，Syphilis后来成为梅毒的正式英文名称。

法兰卡斯特罗在1546年发表的论文《传染：传染性疾​​病和它们的治疗》，更是具有划时代的意义。他在这篇论文中提出，有些疾病是会传染的，而导致传染的是一种“微粒状物质”。这种物质可以在病人体内自行繁殖，也可以通过直接接触，或衣物、毛巾、床单，甚至空气等媒介，从一个人传播给另一个人。

所以，从整个医学史来看，法兰卡斯特罗这篇文章的发表就像一道分水岭。在分水岭这边，人类在数千年的时间里，一直把疾病、瘟疫的发生归因于鬼神之类的神秘力量，面对各类传染性、感染性疾病毫无还手之力，无数人被夺走性命。

而在分水岭的另一边，又是另一番景象。正是受到法兰卡斯特罗的启示，人类在随后几百年里认清了疾病的本质，列文虎克、詹纳、巴斯德、科赫、弗莱明等科学家不仅通过显微镜等现代科学工具，让人们看到了一个极度复杂的微生物世界，还发明了大量疫苗、抗病毒药物和抗生素，让人类拥有了对抗疾病的强力武器。

到了20世纪晚期，除了极少数病毒外，人类已经可以凭借手中的武器控制大部分病毒和几乎所有病菌，在与这些病原体长达数千年的对抗中，终于取得了全面而明显的优势。

但是，故事接下来的发展或许很多读者都已经知道了：病毒和病菌并未缴械投降，它们一直在迅速演化，尤其是病菌，在人们滥用抗生素的背景下，很多病菌都已演化出了耐药性，我们依靠抗生素建立的优势正在瓦解。

而且最近几年，优势瓦解的速度似乎越来越快。一个多月前，世界卫生组织发布了一份充满警告意味的清单，单子上罗列了12类细菌的名字，这些细菌已经对多种抗生素产生了耐药性，再次对人类健康产生了严重威胁。而在世界卫生组织发布这份清单之前，全球很多地方已经发生过多次超级细菌感染事件，比如2010年那次著名的、发生在印度和英国等国家的NDM-1感染。

尴尬的是，我们手中并没有新的抗生素来对付这些耐药菌，而且，

开发新型抗生素的难度也越来越大。世界卫生组织总干事陈冯富珍曾在接受媒体采访时表示，“在已经过去的半个世纪中，只有两种新的抗生素进入市场”。

还好，科学家没有放弃努力。本期封面专题《微生物角色：从破坏者到守护者》就介绍了一种全新的抗感染疗法：通过基因技术，改造噬菌体，让它们去攻击各类病菌。噬菌体是专门感染细菌的病毒，通过恰当的改造，这些病毒不仅能直接杀灭病菌，而且还能瓦解细菌的防御系统，让它们失去应对抗生素的能力。

但是，这些新型抗菌手段距离上市还有不短的时间，在此之前，我们需要更加合理、科学地使用抗生素，延长这种抗感染武器的使用期限。否则，等不到新武器的出现，我们的伤口感染将再次变得致命。

我们是在和细菌赛跑，这是一场不能输的比赛，因为在这场关乎健康与生命的比赛中，落后的代价实在太太大。

执行主编 

1 日本版
太空帆船



2010年5月21日，日本发射了世界上第一艘太空帆船“伊卡洛斯”号。“伊卡洛斯”号由H-2A运载火箭发射升空，它的太阳帆于2010年6月9日顺利展开，太阳帆为正方形，边长约14米，厚度是头发直径的1/10，可通过反射太阳辐射获得加速度。2010年12月8日，“伊卡洛斯”号在距离金星80800千米处飞掠经过，顺利完成第一阶段的飞行任务。目前，“伊卡洛斯”号依然在太阳系内航行，按照预期，它将于本世纪40年代中期离开太阳系，进入广阔的宇宙空间。日本宇宙航空研究开发机构现在正致力于设计制造新的太空帆船，希望可以利用太空帆船对木星轨道上的小行星等星体进行探测。“伊卡洛斯”号也为霍金2016年提出的“突破摄星计划”提供了技术原型。（译/赵维杰）

2

法国版

“爆炸”的液滴



最近，巴黎工业物理化学学校的艾蒂安·雷萨特（Étienne Reyssat）领导的团队做了一个实验——1滴乙醇和水的混合物落到高温表面后，爆裂成无数细小的液滴。研究人员发现，如果乙醇的质量超过总质量的1/3，这个混合体系会变得不稳定。首先，液滴会向四周铺展，几秒钟内直径达数厘米。然后，液滴边缘会向外喷射大量直径小于1毫米的微小液滴。最后，混合物液滴的半径开始减小并最终消失。研究人员认为，乙醇的蒸发改变了混合物液滴局部的表面张力，造成了这种不稳定运动。由于液滴的边缘厚度最薄，因此边缘是乙醇蒸发量最大的地方。随着乙醇的蒸发，马拉高尼效应（Marangoni Effect）会使混合物液滴内形成由中心向外的“马拉高尼径向流”。从某一点开始，混合物液滴边缘

变得不稳定，并且崩溃瓦解形成无数微小的液滴。“马拉高尼流”的流速是1cm/s，这使得喷溅出的微小液滴看起来就像是被大液滴“驱逐”出去的。这种不稳定现象的机制或许能应用于污水处理领域。（译/孙荣奇）

3

德国版

利用疟原虫抗疟疾



在非洲，疟疾是一种危害健康的严重疾病，估计有两亿人感染疟疾，每年有50万人因此丧命。2014年，研究人员使用减毒疟疾病原体来制造疫苗，但该疫苗并不能充分调动人体的免疫反应。2015年研发出的一种实验性疫苗也只能达到50%的有效率。现在，德国图宾根大学和生物技术公司Sanaria合作开发了一种预防疟疾的方法，在第一次临床试验中，该方法的有效率达到了100%。参与试验的9名受试者此前从未感染过疟疾。研发人员在两个月内分3次向受试者注入高剂量的疟疾病原体（疟原虫），同时让受试者每周一次使用抗疟药——氯喹。两个月结束后，研究人员再次给受试者注射疟疾病原体。结果受试者无一感染疟疾，而对照组（13人）则全部感染了疟疾（后来这些感染者都接受了治

疗)。但是，由于疟疾病原体是从感染疟原虫的蚊子身上提取的，这种方法成本很高。为了有效抵抗疟疾，医护人员还需要更多的研究。
(译/陈禾)

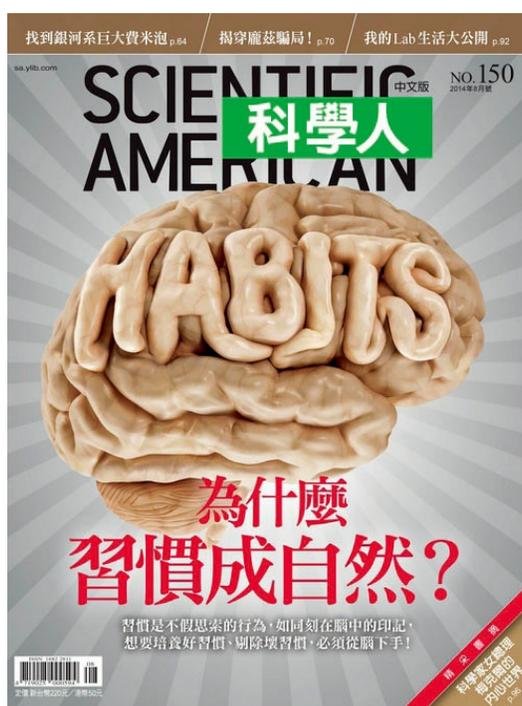
《科学美国人》国际版本速览

责任编辑：廖红艳

4

中国台湾版

高熵合金



传统合金配方以一种金属元素为主，再添加少量其他元素来改变材料特性。现在，研究人员发现，多种元素以等原子比混合会产生一种高熵效应，反而能得到延展性更佳的新合金。1995年，中国台湾清华大学教授、被誉为“高熵合金之父”的叶均蔚首度提出了高熵合金的构想，并在2004年研发出了第一代高熵合金——含5种以上金属元素，每种元素以相同比例的原子数混合而成，不仅强度和坚韧度更高，而且耐高温、腐蚀、辐射、磨擦。随后，叶均蔚又研发出了第二代高熵合金，每种元素的原子数以不同比例调配，性能更优于第一代的高熵合金。高熵合金开创了全新的材料研究及应用领域，具有广泛的应用前景，可作为高温炉的内衬和超轻量太空材料。（译/廖红艳）

研究 RESEARCHES

责任编辑：龚聪

全球学术期刊概览

生命科学

多肽帮助小鼠清除衰老细胞



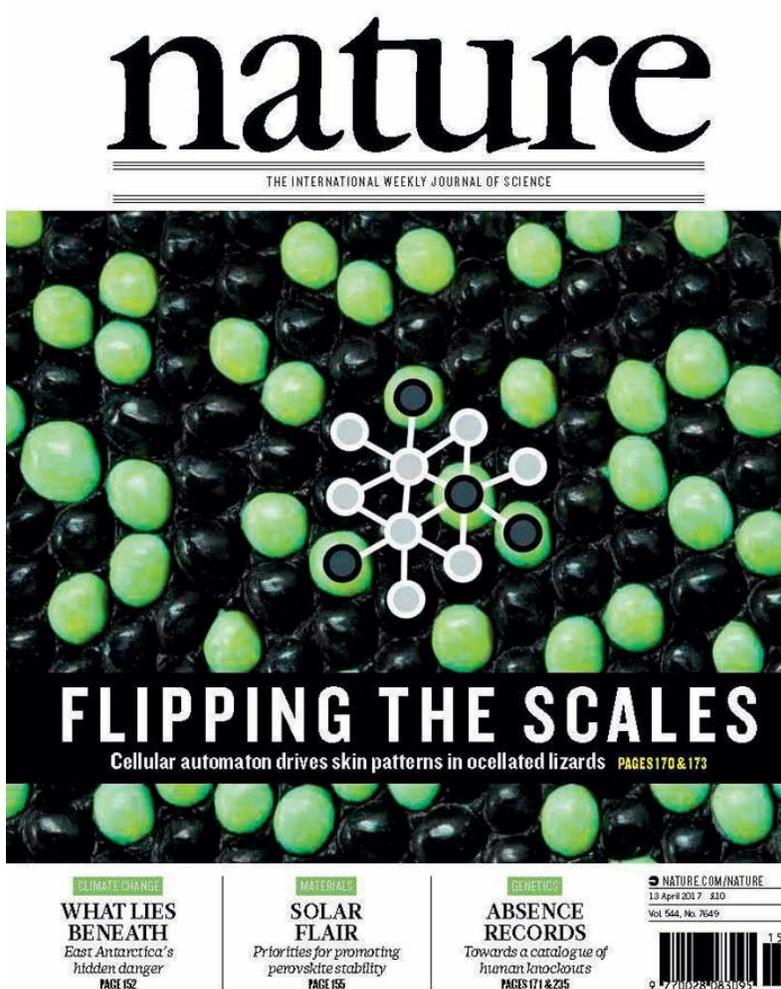
DOI: 10.1016/J.CELL.2017.02.031

在人体生长发育的各个阶段，始终都有新细胞产生，衰老细胞不断凋零死亡。这样人体器官、组织才能不断更新，保持活力。但显然，在

不同阶段，细胞的更新速率是不同的。当人们步入老年，细胞的更新速率下降，人体的衰老细胞增多，器官和组织功能就会退化。近日，荷兰鹿特丹伊拉斯姆斯大学的研究团队可能找到了衰老细胞在人体累积的原因。在正常情况下，一种名为p53的蛋白会诱导衰老细胞正常凋亡，但当人体衰老时，细胞内产生的FOXO4蛋白会与p53结合，让后者无法启动正常的细胞凋亡程序。于是，研究人员设计出一种多肽，使其与p53结合，这样FOXO4蛋白便无法再与p53蛋白结合了。同时，这种多肽还不会影响p53蛋白的正常功能。研究人员将这种多肽注射到早衰小鼠体内后，证实这种多肽确实有修复效果。不仅如此，将这种多肽注射到正常衰老的小鼠体内，小鼠的毛发状况和肾脏功能也得到了改善。

生命科学

修复肿瘤血管，增强免疫疗法



DOI: 10.1038/NATURE21724

肿瘤细胞能在人体内疯狂分裂增殖，离不开新形成的血管为它们提供的氧气和营养物质。所以，目前治疗肿瘤的一个策略——“饥饿疗法”，便是利用物理方法切断肿瘤细胞的血液供应，或利用化学物质防

止肿瘤血管的生成。虽然“饥饿疗法”在治疗一些肿瘤上取得了成功，但在其他肿瘤上并未取得预期的效果。同时，研究人员还发现，肿瘤血管的功能并不健全，无法为肿瘤组织提供足够的氧气和营养物质，并促使一些肿瘤细胞通过破损的血管转移到身体的其他部位。为此，美国贝勒医学院的张翔带领的研究团队尝试先修复肿瘤血管，在此基础上应用其他治疗策略来对抗肿瘤。小鼠实验发现，能够分泌 γ -干扰素的一种T细胞可以帮助肿瘤血管恢复正常，这不仅防止了肿瘤细胞的转移，同时有望改善“饥饿疗法”、免疫疗法等的治疗效果。这项研究为肿瘤治疗提供了一种全新思路。

研究 RESEARCHES

责任编辑：龚聪

生命科学

衰老让免疫系统的协作能力下降



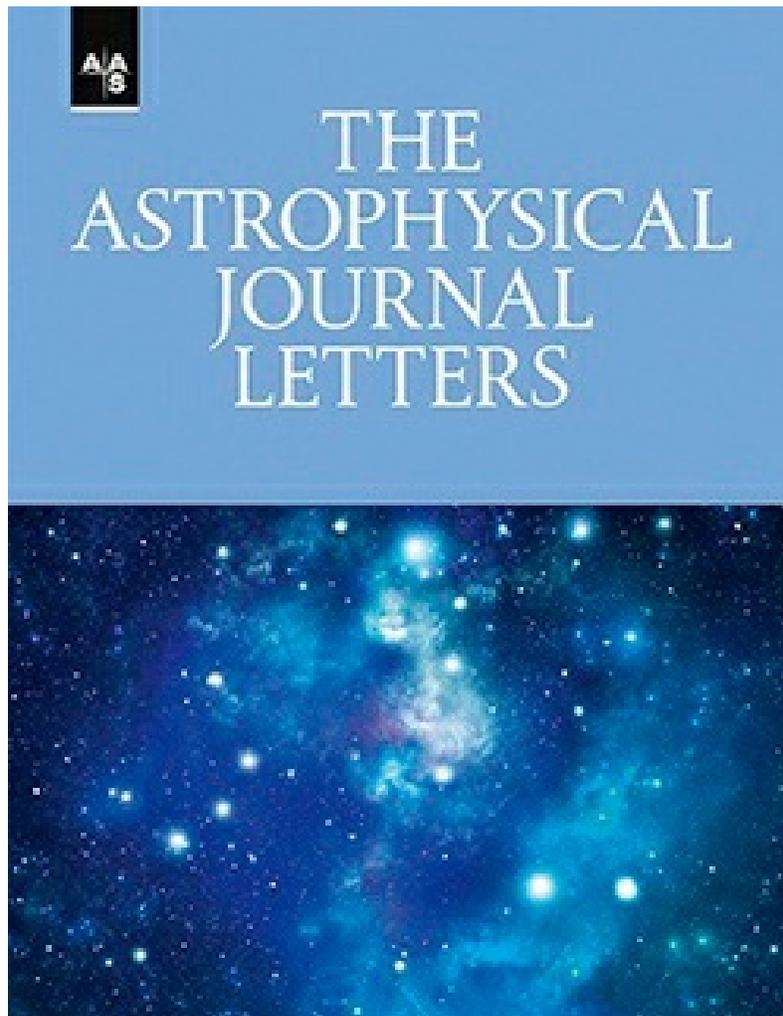
DOI:10.1126/SCIENCE.AAH4115

人体的免疫系统是由器官、组织、细胞和蛋白质组成的庞大而复杂的防御系统，帮助我们战胜环境中各种有害的病原体。但当人体逐渐衰老时，免疫系统的防线也在不断后退。为了弄清楚衰老和退化的免疫系统之间的联系，一支跨学科的国际团队开始从分子水平上研究免疫组织

的衰老机制。他们发现，当人体衰老时，即使单个细胞的免疫功能没有减弱，但由于各个成员之间的整体协作水平下降，以至于免疫系统无法像以前那样有效抵御感染。同时，通过对小鼠进行单细胞测序，研究人员还发现衰老增加了免疫细胞基因表达的多样性，而不再受到严格调控的基因表达可能正是衰老的特征之一。

天文学

太阳耀斑爆发前夕的“小动作”



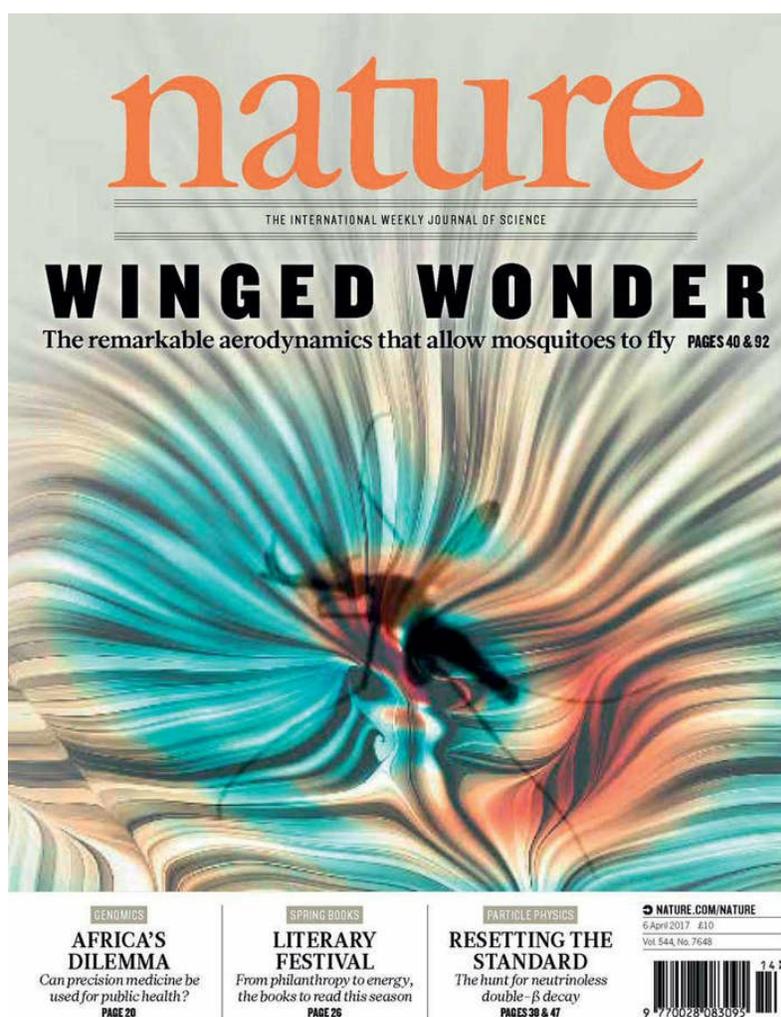
DOI: 10.3847/1538-4357/835/1/43

在太阳耀斑爆发前，太阳表面的活跃区域会发生一些小规模活动。但受之前望远镜分辨率的限制，研究人员未能确定这些小规模活动与耀斑的关系。近日，中国科学院新疆天文台的研究人员利用高分辨率望远

镜观测到，在太阳耀斑爆发前夕，耀斑活动区形成了S形结构的日冕大气以及热通道磁流绳，证明耀斑爆发前夕发生了复杂的磁重联和能量释放过程。这是科研人员首次观测到磁流绳的形成过程，以及耀斑脉冲相快速爆发导致的收缩的耀斑环。这一发现可以帮助科学家进一步理解了太阳耀斑的触发机理。

化学

新型催化剂高效产出氢气



DOI: 10.1038/NATURE21672

氢能作为最有应用潜力的清洁能源，在实际应用环节仍然面临着储存和运输的巨大困难。目前，一种间接利用氢能的方法是从液态甲醇中获取氢气。原理是在重组器中，让甲醇与水在较高的温度下发生甲醇重

组反应，生成氢气和二氧化碳。氢气进入燃料电池，与氧气反应，生成水并释放能量。近日，北京大学和中国科学院大学的研究人员开发出一种新型铂-碳化钼双功能催化剂，能在较低温度下（150~190℃）高效催化甲醇重组反应，大大提高了产氢效率。在这种催化剂中，研究人员在碳化钼基底上实现了金属铂的原子级分布，为甲醇重组反应提供了巨大的反应面积。研究结果显示，新型铂-碳化钼双功能催化剂比传统的铂基催化剂的效率提高了两个数量级。这项研究成果不仅提高了氢能利用的安全性，并且降低了成本，让我们离氢能源的实际应用又近了一步。

社会学

儿童易习得社会偏见



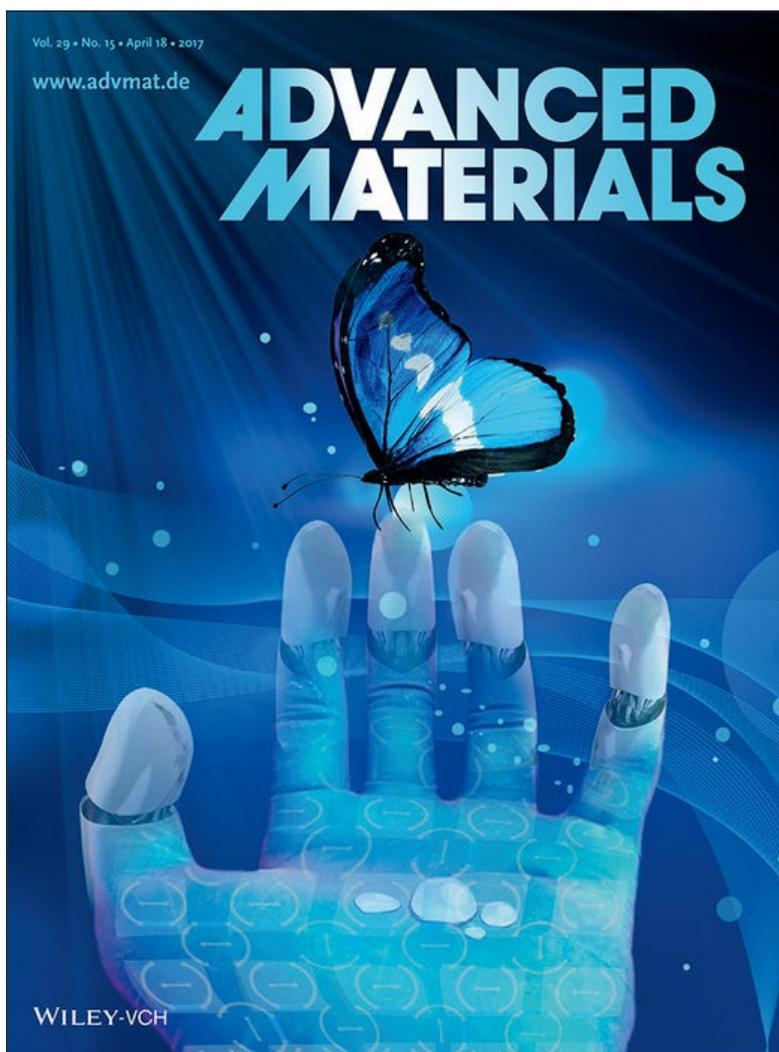
DOI: 10.1177/0956797616678930

一些非语言信号，比如说紧绷着脸、露出笑容，可以传递出人们在人际交往中对另一个人的态度。四、五岁的儿童通过观察成年人交往中的非语言信号，能够理解人们对交往对象的态度，并倾向于表现出与父

母相同的偏见。意大利帕多瓦大学的研究人员设计了一个实验，让一名儿童观察一位白人演员对一位黑人演员表现出非语言偏见，他们的谈话内容是友好或中立的。之后研究人员调查了这名儿童对待黑人的态度，发现儿童忽略了白人演员和黑人演员的谈话内容，对黑人演员表现出一定程度的负面态度。这项研究表明，儿童能够观察到人际关系中的非语言信号，并且非语言信号会影响他们对人际关系的认知和理解。在生活中，为人父母，不仅要注重“言传”，“身教”同样重要。

材料科学

更便宜的钾离子电池



DOI: 10.1002/ADMA.201700519

虽然锂离子电池已经在便携式电子设备、储能电池领域获得广泛应用，但受电极材料的制约，进一步提高现有锂离子电池能量密度非常困难。近日，中国科学院深圳先进技术研究院研制出基于钾离子电解液的

锡-石墨双离子电池，能量密度接近现有的锂离子电池，同时原材料廉价易得，产业化前景巨大。这种新型钾离子电池采用锡箔作为电池负极和集流体，用石墨作正极，将六氟磷酸钾溶于有机溶剂中作为电解质溶液。充电时，钾离子运动到锡箔负极表面，反应形成钾锡合金，六氟磷酸根离子运动到石墨正极。放电时，负极上的钾锡合金钾离子脱离，同时正极石墨中的六氟磷酸根回到电解液中。实验结果表明，这种钾离子电池的能量密度能达到155Wh/Kg，并且在充放电循环中容量丢失较小。目前，这种新型钾离子电池还有很大的改进空间，但有望借助价格优势在一些领域上替代传统的锂离子电池。

研究 RESEARCHES

责任编辑：龚聪

遗传

科学家发现“夜猫子”基因



DOI: 10.1016/J.CELL.2017.03.027

你是否比其他人睡得更晚？你是否在别人都已经进入梦乡的时候仍然感到精力充沛？很多人把这些现象归因为个人生活习惯，但来自美国洛克菲勒大学的研究人员认为基因突变也能影响一个人的睡眠行为。他

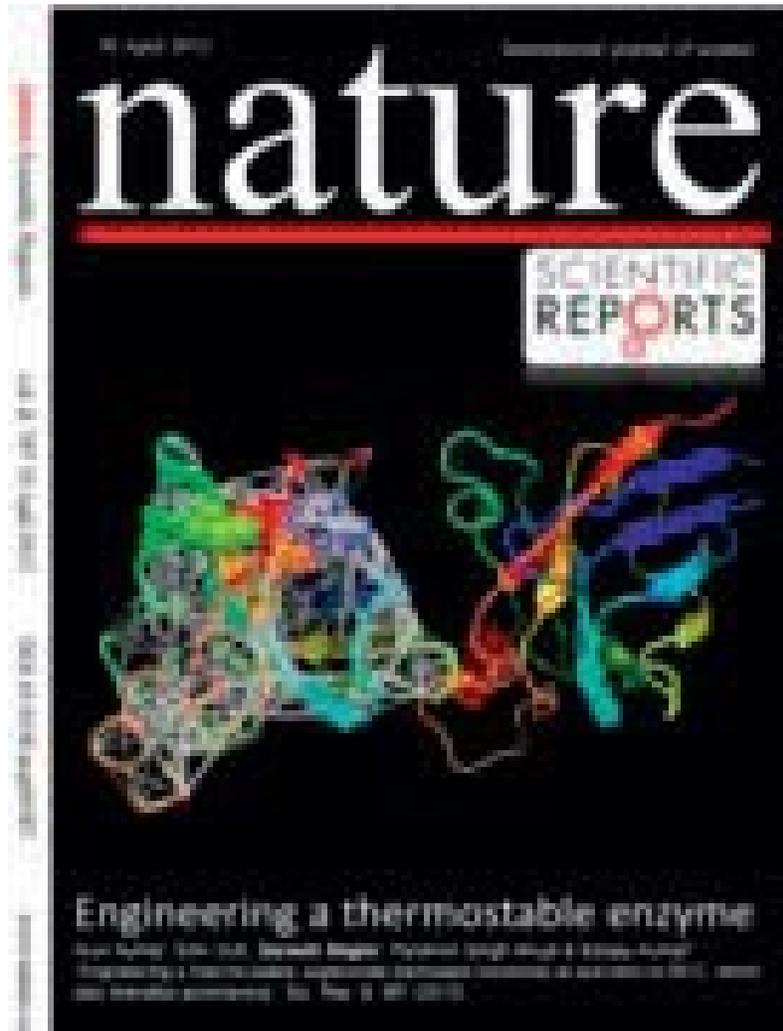
们发现，当人体的CRY1基因的特定位点发生变异时，人体的生物钟会比正常人延后2到2.5小时。这是因为，在正常情况下，与生物钟相关的基因在24小时的周期内打开或关闭，而CRY1基因编码的蛋白质负责抑制一些生物钟基因的表达。但是当CRY1基因出现异常，CRY1蛋白质变得更加活跃，它们对生物钟基因的抑制时间延长。因此，携带CRY1基因变异的个体通常比其他人更晚睡觉。但是，研究人员在一些夜猫子身上并没有发现CRY1基因突变，说明还有其他遗传因素能影响睡眠。

研究 RESEARCHES

责任编辑：龚聪

考古学

人类祖先同类相食，没什么营养



DOI: 10.1038/SREP44707

一些考古发现表明，在历史更久远的旧石器时代，站在食物链顶端的人类祖先同类相食的现象其实并不罕见。那么，远古时期的人类祖先是出于什么原因要同类相食呢？英国布莱顿大学的研究人员在决定从营

养价值角度来分析古代人类祖先“吃人”的行为。他们发现，同样重量的人肉提供的热量，仅仅不到熊肉或野猪肉的1/3，猛犸肉的65%。不考虑捕食同类存在的高风险，单从“营养学”考虑，人类祖先捕食自己的同类不是一个划算的选择。研究表明，生存不应该是人类祖先同类相食的主要理由，也许是我们低估了石器时代我们祖先所处社会（也许只能叫群落）的复杂程度，亦或自相残杀就是人类祖先的天性。

天体物理

Virgo 引力波探测器重新上线

Virgo引力波探测器于今年春天重新上线，与LIGO一起帮助科学家搜寻引力波源。

撰文 凯瑟琳·莱特（Katherine Wright） 翻译 李想



意大利比萨城附近的Virgo 引力波探测器于今年春天重新上线，由此，3台坐落在世界不同角落的探测器将开展至少一个月的联合探测。

图片来源：Virgo Collaboration

一年半前，人类第一次探测到了拂过地球的引力波。激光干涉引力波天文台（LIGO）的两台具有极高灵敏度的探测器（分别位于美国华盛顿州和路易斯安娜州）捕获到了两个黑洞合并所引起的时空扭曲。5个月后，科学家宣布了这一消息。世界为之轰动，这一发现成为了2016年最重要的一则物理学新闻。自1916年爱因斯坦首次预言引力波以来，物理学家已经努力了近百年的时间，希望能找到引力波的直接证据。

与突破相伴而来的还有不少亟待解答的疑问。首当其冲的是，这些引力波从何而来？如果一切进展顺利，科学家很快就能追踪到引力波源，开始进一步探测。

今年春天，物理学家们一直忙着让第三台引力波探测器——Virgo（位于意大利比萨城旁）重新上线运行。2015年9月，也就是LIGO收到两个引力波信号的时候，Virgo正处于线下升级中。科学家希望三台大型探测设备能有效地提高寻找引力波源的工作效率。如果“一击三中”（即三个探测器都探测到了同一个引力波），那么陆基望远镜就能瞄准探测器锁定的三角区域，也就有可能找到激发引力波的碰撞地点。



Virgo 成直角的双臂（图中仅显示了其中一支），每臂长逾3千米，在真空环境下运行，保证其中的光学系统不受干扰。这套系统对引力波造成的时空扭曲极为敏感。

引力波探测器的外形就好比一个双臂张开数千米的大写字母“L”，它们能探测到引力波引发的比质子直径还小的臂长变化。但如果只有一台超灵敏探测器，科学家就无法区分引力波导致的时空扭曲和环境中的其他振动导致的臂长变化。此外，每台探测器还要负责一片不小的星空范围：其视野需要覆盖地球周围40%的星空——类似于你站在一片沙漠里，抬头、原地转圈所看到的星空范围，然后试图从这片星空中找到一颗暗弱的恒星。这就好比一个人身处广袤的沙漠，一边打转一边还要找到一颗晦暗不明的星星。

LIGO需要两台探测器一起工作还有另一个原因。引力波以光速传播，但除非引力波同时正对着两个探测器，否则两个探测器检测到的扭曲信号总会有毫秒级的时差。科学家就可以利用这个时间延迟计算出碰撞所在的方向，这样便可以缩小寻找引力波源的范围。根据2015年的观测数据，该范围已经缩减到星空的2%，但对于目标搜寻而言这个范围还是太大了。

升级后的Virgo即将加入。升级之前，Virgo的灵敏度连能量最高的引力波也无法探测到。而现在，能提高灵敏度的新反射镜、真空泵还有激光器（皆用于探测设备臂长的微小变化）都一一安装，电路设备也一再检修。新的硬件设施安装完毕，正在进行调试，可能干扰引力波信号的普通振动也将被滤除。科学家正夜以继日地工作，争取让Virgo在今年夏天前投入使用，此后LIGO的探测器就能停机检修了。

罗马大学物理学家、Virgo发言人富尔维奥·里奇（Fulvio Ricci）说，一旦升级后的Virgo开始运行，引力波源在星空中的范围应该能再缩小5倍。埃多·伯杰（Edo Berger）是哈佛大学的一位天体物理学家，他用望远镜研究了LIGO和Virgo发现的引力波，并做了修正分析。伯杰认为：“第三个探测器加入探测网络后，引力波源的位置应该会更清楚，波源的寻找将从一项不可能的任务变成一项艰巨的任务。”

不过事情并不是毫无希望。黑洞碰撞并不是唯一一种能扭曲时空的天文事件。与黑洞不同，一些天文事件会辐射可见光或者其他能被望远镜观测到的电磁波。比如超新星爆发的余波，或者从正在合并的黑洞视界边缘发出的高能射线，又或者两颗中子星相撞时及中子星被黑洞俘获时发出的可观测信号。目前引力波探测器还没有检测到这类事件导致的时空涟漪，但只要一经发现，伯杰和其他天体物理学家便会将他们早已准备好的望远镜，转向那片由3个而非两个探测器锁定的星空。更小的搜索范围意味着更小的天文望远镜也能加入战场，记录下这些事件可能发出的令人眼花缭乱的电磁波。

目前的计划是让3个探测器共同运行至少一个月的时间。即便没有罕见的天文事件发生，这段时间也足以观测到来自黑洞合并发出的引力波了。

合作可能会让LIGO和Virgo的运营团队考虑延长设备的运转，LIGO团队的成员、宾夕法尼亚大学物理学家B·S·沙蒂阿普拉喀什（B.S.Sathyaprakash）说，“如果结果令人兴奋，计划就可能变更”。这将是天体物理学翻开新篇章的一个好兆头。

神经科学

鸭子的大脑缺陷与认亲行为

小鸭的印刻现象只在每次用单边眼睛观察时才会发生。

撰文 贾森·G·戈德曼（Jason G.Goldman） 翻译 林清



图片来源：唐·法拉尔（Don Farrall），Getty Images

2015年夏天，牛津大学动物学家安东尼·马蒂纽三世（Antone Martinho III）和亚历克斯·卡塞尼克（Alex Kacelnik）做了一个很巧妙的实验——研究小鸭和眼罩之间的关系。他们想看看幼禽对妈妈的铭记程度是否取决于它们用哪只眼睛观察。为什么呢？因为鸟类大脑和人类大

脑并不相同，一些我们想当然具有的功能，鸟类并不具有。

人类大脑的左右半球之间是通过胼胝体连接的。胼胝体是大脑半球中最大的横行神经纤维束。就像一座桥梁，让左右两边半球可以快速传递信息，使大脑在机能上成为一个连贯的整体。虽然鸟类大脑的两个半球并未完全分开，但它们却没有享受到这条通道带来的好处。为了解开这个鸟类神经解剖学上的谜团，科学家开展了一项自然实验。“我在伦敦的圣詹姆斯公园，看到湖里有些小鸭子和它们的父母一起戏水，”马蒂纽说，“于是我就想，也许我们可以看看在印刻现象（imprinting，刚出生的小动物追逐它们最初看到的能活动的生物，并产生依恋之情的现象）中，信息是如何即时传递的。”

研究人员把64只小鸭的一只眼睛蒙上，然后在它们面前放一只假的、红色或蓝色的成年鸭。于是，这只彩色鸭子就变成它们的“妈妈”，小鸭子都紧跟其后。

但是，把一些小鸭子的眼罩换到另外一只眼睛时，也就是说它们只能用之前遮住的那只眼睛观察外部世界时，它们似乎没有认出自己的“妈妈”。相反，在这种情况下，小鸭对红、蓝两色的成年鸭表现出了同等的亲昵行为。在一起相处三个小时后，小鸭才会表现出相关的认亲行为。同时，每只眼睛记住不同鸭子的小鸭在摘掉眼罩后，并未显示出任何认亲偏好。该项研究发表在了近期的《动物行为》（*Animal Behaviour*）杂志上。

研究结果表明，鸟类大脑的左右半球间缺乏基本的快速信息交流，很明显，一只眼睛所接收到的信息只传到该侧的脑半球。或许在大脑的不同半球储存记忆并非良策，但意大利特伦托大学（University of Trento）的神经科学家乔治·瓦洛提格拉（Giorgio Vallortigara，未参与此项研究）认为，没有胼胝体可能也是一种生存优势：大脑左右半球可能会各司其职，分别擅长某种类型的记忆。

鸟类通常使用双眼观察外部世界，这样可以让大脑的两个半球和谐工作。“这意味着，它们正在努力进行行为适应，整合两个间断的信息流并做出决定，”马蒂纽说，“我们原来对鸟儿的认识可能和真实情况有很大的差异。”

地球科学

利用声波预测海啸

引起海啸的地震会产生一种独特的声波，利用这种声波可以缩短海啸预警时间。

撰文 瑞安·F·曼德尔鲍姆（Ryan F.Mandelbaum） 翻译 宋娅



2005年1月2日，印度洋海啸后，印度尼西亚苏门答腊岛一片狼籍。

海啸浮标是当前最先进的海啸预测系统。官方可以通过地震数据知

道水下地震的发生。当地震强度可能引发海啸时，专门安置的漂浮传感器就会发出预警。即便如此，预警也只能在海啸发生前几分钟发出。为了给疏散工作争取更多时间，科学家开始研究海底地震所产生的一种声波。声波在水中的传播速度可达1500m/s,这比海啸发生的速度快10倍。

乌萨马·卡德里（Usama Kadri）是英国卡迪夫大学和美国麻省理工学院的一位应用数学家和工程师。他也参与到了利用声波预测海啸的研究之中。他最感兴趣的是引发海啸的地震所产生的“声重力波”（acoustic gravity wave）。这种水下声波的频率非常低，以至于当压力发生瞬间变化时，重力会改变声波的波长和速度。理论上说，因为这种独特性，科学家能从海洋的各种声音中辨认出这种声波。卡德里表示：“如果没有声重力波理论，我们可以探测出海底的地震，但不能对海啸进行准确预测。”

卡德里对2004年12月的印度洋海啸（这一海啸夺走了几十万人的生命）进行了数据模拟，并发表在《地球物理研究杂志》（*Journal of Geophysical Research*）上。模拟表明，从地震声波产生到海啸袭击斯里兰卡，中间应该有两小时疏散时间，但这个岛在当时却没有收到任何海啸预警。根据这项研究的计算，如果一个带有水听器的声重力波探测站距离震中1000千米，预警时间可以多达90分钟。

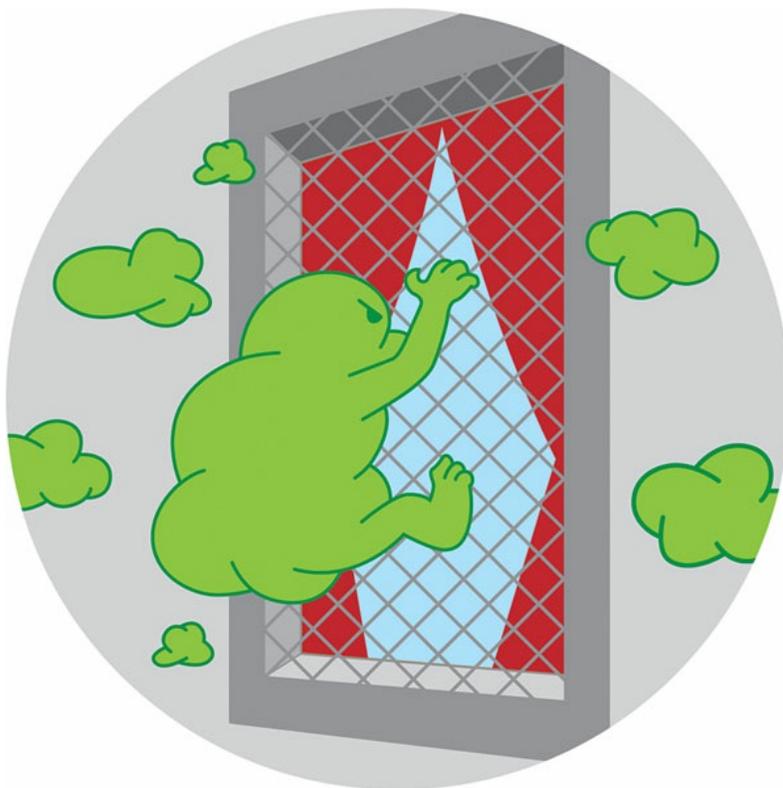
美国特拉华大学应用沿海研究中心的博士后研究员阿里·阿卜杜拉利（AliAbdolali）同样也试图破译水下声波，预测地震引发的海啸。阿卜杜拉利认为，卡德里的研究成果意义重大，但仍处于理论阶段——其中一些假设过于简化。伍兹霍尔海洋研究所（Woods Hole Oceanographic Institution）的博士后研究员蒂亚戈·奥利韦拉（Tiago Oliveira，卡德里曾经的同事）表示，实际上，研究人员早在60多年前就已经知道水下地震会发出特殊的声音，但直到更灵敏的水听器和更高速的计算技术问世后，才重新点燃了研究人员的研究热情。不过，奥利韦拉表示，想要研发出依赖声音的海啸预警系统，可能还需要十年或更长时间。

材料科学

纳米纱窗可过滤**90%**的有害颗粒物

在空气污染严重的情况下，喷涂了聚丙烯腈纳米纤维的纱窗能够有效过滤掉**90%**的有害颗粒物。

撰文 阮进（Tien Nguyen） 翻译 王舟



制图：托马斯·富克斯（Thomas Fuchs）

喷涂了纳米纤维的新型纱窗，或许能让生活在空气污染严重城市的人呼吸到新鲜空气。这些可捕获污染物的纤维由含氮聚合物组成，可以通过吹制纺丝（blow-spinning）技术喷涂到纱窗上，也就是利用气流，吹出高分子溶液液滴，使其在纱窗上形成极薄的纳米纤维层。

近日，斯坦福大学与清华大学的研究人员在《纳米快报》（*NanoLetters*）上发表了这项最新研究，他们开发出的多种吹制纺丝高分子材料（原材料就是橡胶手套、帐篷常用的材料）可以过滤空气中超过90%的有害颗粒物。通常，这些有害颗粒物会穿过普通纱窗，进入室内。在把柔性尼龙网卷成卷的过程中进行喷涂的话，喷涂速率可接近1米/分钟。此外，研究人员还在覆盖有金属涂层的网状物上喷涂纤维薄膜，并在吸附大量污染物之后，用纸巾将薄膜擦去。

研究人员在北京进行了长达12小时的实地测试，在空气污染严重的情况下，喷涂了聚丙烯腈纳米纤维的纱窗能有效过滤90%的有害颗粒物，这些颗粒物可导致肺癌与心脏疾病。装上这扇“绿网”，我们又可以呼吸到新鲜空气了。

生态学

为地衣搬家

一些稀有物种受到海平面升高的威胁，植物学家计划将它们迁移到海拔较高的地区。

撰文 罗杰·德劳因（Roger Drouin） 翻译 杨风丽



图片来源：贾森·霍林格（Jason Hollinger）

据预测，由于气候变化的影响，海水不久就会淹没北卡罗来纳州的大部分沼泽森林，破坏生物多样性。但美国鳄鱼河国家野生动物保护区（Alligator River National Wildlife Refuge）的某些生物或许可以获得一次逃生的机会。一支由地衣植物学家组建的团队，正计划将覆盖在当地树表的某些地衣，小心地剥离，转移到新的生长地。

对于这些不同寻常的生物来说，移植的风险是很高的。就目前所知，在保护区内，戴氏牛皮叶（dey's moon lichen）的分布面积只有数平方英里（1平方英里约为2.6平方千米），其他稀有的当地特产的地衣也濒临灭绝。海水入侵最终将毁灭低洼地带的沿海森林，例如鳄鱼河流域的沼泽森林。因此，重新安置可能是拯救当地许多地衣的唯一办法。

如果不采取拯救行动，地衣的分布面积很可能在50年内消失一半；若遭遇到最恶劣的气候，剩余的一半也会在之后的50年内消失。为了阻止这种情况发生，纽约植物园助理馆长、地衣植物学家詹姆斯·伦德默（James Lendemer）和同事正在为重新安置整个地衣群落筹划一个宏伟的计划。

地衣是真菌和藻类或蓝藻（蓝细菌）的共生体，它们为蜘蛛、线虫和飞蛾提供了庇护所，也能为田鼠、北美驯鹿和其他有蹄类动物提供食物。地衣有助于调节森林小气候，还可以从雾气、露珠和雨水中吸收水分，然后再将水分释放到森林的树冠层，从而使森林湿度保持稳定。

从2012年到2016年，伦德默和植物园的研究人员杰西卡·艾伦（Jessica Allen）考查了从新泽西州南部一直延伸到南卡罗来纳州的广大地区，记录了包括戴氏牛皮叶在内的、丰富的地衣生物多样性。在中大西洋海岸平原（Mid-Atlantic Coastal Plain），该团队已经规划出了辅助地衣迁移的可行性方案，并且在南阿巴拉契亚山脉成功地对多种地衣的移植方法进行了测试。艾伦用镊子小心地取下地衣，然后放置于麻布、纱布和塑料网的表面以便于运输。目前，该团队正在研究相关策略，将地衣群落从它们危险的生长地（包括中大西洋海岸平原的沼泽森林），移植到附近的保护区或该物种早前的分布区域。他们的研究成果发表在2016年10月的《生物保护》（*Biological Conservation*）杂志上。

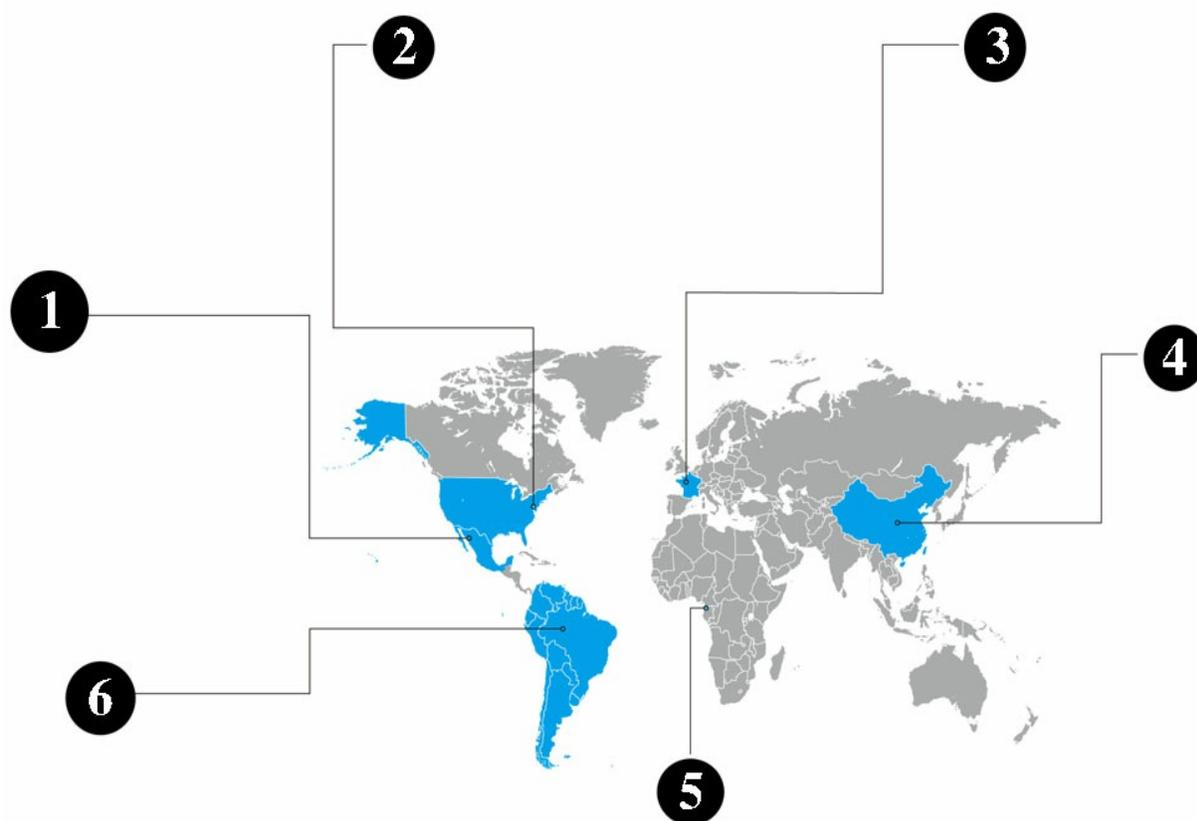
英国爱丁堡皇家植物园（Biological Conservation）的地衣学家克里斯托弗·埃利斯（Christopher Ellis）表示，地衣学家过去对地衣个体进行过移植，但移植整个群落的确是一种保护地衣的新方法。地衣创造的理想环境，例如拥有稳定的湿度，是每一个个体共同作用的结果。因此，

移植地衣群落中的多个物种是它们能够长期存活的关键。北美在群体移植方面取得的进展，很可能给研究人员在苏格兰部分海岸沿线进行的类似工作带来启发。埃利斯解释说，苏格兰正在着手实施一项宏伟的“稳步后撤”计划，生物学家会将沿海地区的地衣从海岸线迁移到重建的生长地，主动应对海平面升高带来的威胁。

简讯

全球科技热点

翻译 李春艳



1 墨西哥

近期报道显示，一种仅栖息于加利福尼亚湾的小头鼠海豚——野生加湾鼠海豚，如今仅剩30头。野生加湾鼠海豚常被用于捕捞加利福尼亚湾石首鱼（totoaba fish，也是濒危物种）的非法刺网所困。

2 美国

一部有关太空旅行的芭蕾舞剧将于本月在约翰·肯尼迪表演艺术中心（John F.Kennedy Center for the Performing Arts）首演。为完成该作品，古典芭蕾巨星伊桑·施蒂费尔（Ethan Stiefel）还到美国航空航天局总部进行了考察。

3 法国

布列塔尼地区的儿童或许正遭受来自拟除虫菊酯类杀虫剂的危害。尿液中含此类化学物质或胎儿时期母亲的尿液中含此类物质的6岁儿童，出现行为异常的可能性更大。

4 中国

一项近期研究指出，1961至2010年间，雹暴、雷暴、狂风及其他灾害性天气在中国出现的频率平均下降了近一半。这或许和气候变化及大气污染有关。

5 赤道几内亚

疟原虫已经对“万能”的抗疟药物青蒿素形成了耐药性，不过，一个新发现或许有助于控制疟疾的传播。通过基因测序，研究人员发现，导致首例耐青蒿素疟疾的基因突变最早出现在非洲西部。

6 南美洲

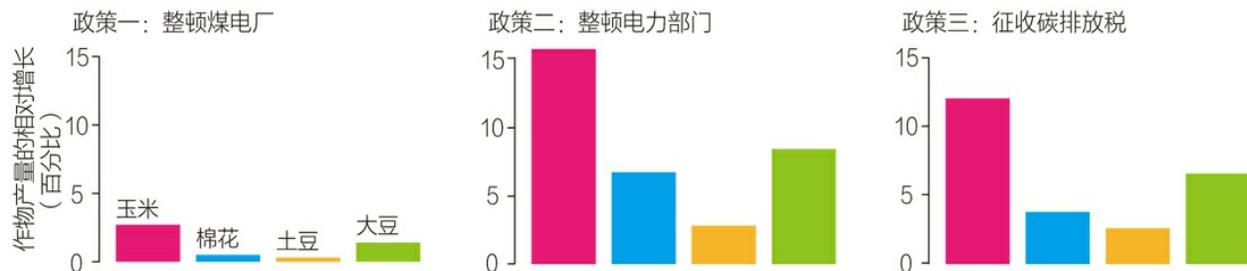
原住民对亚马孙热带雨林的影响或许远大于早前的推测。来自1000个林区的数据表明，在亚马孙盆地，曾由人工种植过的树木，如可可、巴西莓及巴西果，比从未被栽植过的树木更常见。

环境

煤电厂污染物会使作物减产

除了排出二氧化碳，煤电厂也会排出大量其他污染物，从而形成地表臭氧，也就是人们熟悉的烟雾污染。

撰文 阿什利·布劳恩（Ashley Braun） 翻译 黄安娜



研究人员计算了每一种政策在减轻“作物潜在生产力损失”（potential productivity loss, PPL）方面的效果。PPL 是指到2020年时，烟雾对作物产量危害的预计值。由图可见，政策二的效果与《清洁能源计划》的预测结果最为接近。

资料来源：“Estimating potential productivity cobenefits for crops and trees from reduced ozone with U.S. coal power plant carbon standards,” by Shannon L.Capps et al .,in Journal of Geophysical Research : Atmospheres , Vol. 121, No. 24; December 27, 2016

美国前总统奥巴马推行的《清洁能源计划》（*Clean Power Plan*），旨在降低发电厂的二氧化碳排放量，以减轻对气候变化的影响，目前全美近20个州已经开始实施该计划。

尽管在过去一年里，各方对《清洁能源计划》意见不一，导致该计划处于法律上的三不管地带。但现在，科学家发现了该政策的另一后果：如果它被取消，作物的产量将下降。实际上，除了排出二氧化碳，煤电厂也会排出大量其他污染物，从而形成地表臭氧，也就是人们熟悉的烟雾污染。科学家早已证实，烟雾污染会导致哮喘发病率和过早死亡率升高。新研究关注的是另一个方面：如果按照《清洁能源计划》实施前的政策，到2020年，烟雾污染将导致4种主要作物（玉米、棉花、土

豆和大豆)减产。

这个由环境工程师香农·L·卡普斯(Shannon L. Capps, 现就职于德雷塞尔大学)领导的研究团队, 还比较了3种国家层面的应对农作物减产的政策。政策一是提高单个发电厂效率; 政策二与《清洁能源计划》相似, 即设立国家标准, 控制电力部门的二氧化碳排放量; 政策三是建立碳排放收税制度。研究人员通过模型预测发现, 实行政策三碳排放量最低, 但实行政策二污染物排放最少, 作物产量最高。

资讯

力学生物学：皮肤抗衰老的新思路

生物体每天感受外界的各种刺激，人每天接受的按压、拉伸、推挤等直接作用于身体和细胞的机械刺激——即通常所说的“力”，大都十分微小，不会造成外伤与内伤等显著影响。因而，这类研究长期以来并未受到广泛重视。但近年间，力学生物学（Mechanobiology）——一个汇集物理学、生物学、工程学背景的新兴交叉学科，开始致力于研究生物组织与机械刺激（震动、扭转或拉伸）之间的关系，并探索微小刺激下生物组织的反应。

经过多年基础研究，力学生物学首先在抗皮肤衰老领域展露应用潜力。欧莱雅研发与创新团队研究发现，机械按摩震动可以改善两项重要的皮肤组织机能：强化真皮至表皮连接、提高细胞外基质的分泌，并显著改善面部、颈部、前胸等多个部位的皮肤衰老临床指标。相关研究

《皮肤按摩装置对离体人真皮蛋白表达以及活体面部皱纹的作用》（*Effects of a skin-massaging device on the ex-vivo expression of human dermis proteins and in-vivo facial wrinkles*）于2017年3月1日发表在美国《公共科学图书馆·综合》（PLOS ONE）上。在此基础上，欧莱雅于2017年4月4日正式发布“科莱丽（Clarisonic）智能多效声波美容仪 Smart Profile Uplift”，推出具有三个触点设计按摩头的全球首款声波抗老美容仪，经临床证实，可明显改善15种皮肤衰老迹象。

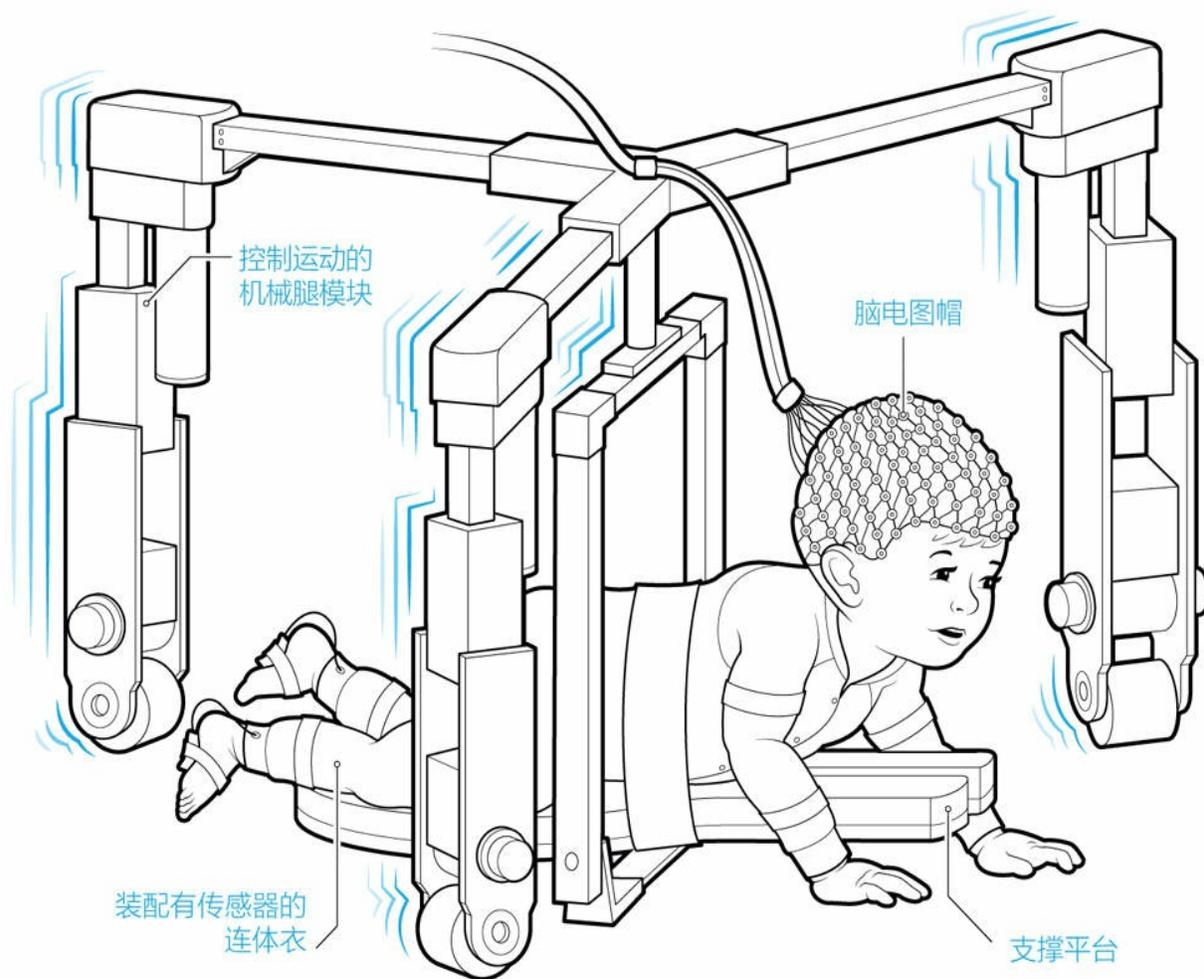
欧莱雅与新加坡力学生物学研究所、新加坡医学生物学研究所、法国朗之万研究所和巴黎第七大学四大全球力学生物学专业研究中心展开研究合作。欧莱雅全球科学总监雅克·勒克莱（Jacques Leclair）评价道：“在非侵入式对抗皱纹和松弛的可能性方面，力学生物学领域的前沿研究成果引领我们进入实质性飞跃拓展，并激发我们进一步开创全球美妆界颠覆性创新。”

新技术

机器人帮脑瘫婴儿学习爬行

在机器的帮助下，疑似脑性瘫痪的婴儿能够更早学习爬行，爬得也更远。

撰文 科努瓦尔·谢赫（Knvul Sheikh） 翻译 张哲



在婴儿学着探索周边环境时，SIPPC 机器会帮助他们爬行。

资料来源：“Novel Assistive Device for Teaching Crawling Skills to Infants,” by Mustafa A. Ghazi et al., in *Field and Service Robotics*, EDITED BY DAVID S. WETTERGREEN AND TIMOTHY D. BARFOOT. SPRINGER INTERNATIONAL PUBLISHING, 2016

美国俄克拉何马大学研究者、理疗师图比·科洛比（Thubi Kolobe）称，对于脑性瘫痪的婴儿来说，爬行是件很困难的事。这些孩子的大脑受到损伤，对肌肉的控制力较差，所以往往无法在地上爬行。相应地，与运动技能和空间定位相关的神经连接的发育也会由此停滞，这将导致患者日后遇到更多与运动有关的问题。科洛比解释道，“用进废退，这就是大脑的格言”。

之前的研究表明，早期干预可以改善运动控制，科洛比及同事已经开发出了一种旨在助力婴儿爬行的新设备。该设备被称作“自启动俯卧式前进爬行器”（Self-Initiated Prone Progression Crawler, SIPPC），包括一个高科技婴儿连体衣，以及一个三足、有轮、使用机器学习算法的机器。连体衣中的传感器，能够探测婴儿踢腿的动作，或者重心的偏移，机器会据此朝着相同方向给出一个支撑平台，从而在婴儿想去的方向上提供助力。

在为期12周的初步试验中，研究人员观察了28名疑似脑性瘫痪婴儿，这些婴儿每两周使用一次SIPPC练习爬行（通常只有在婴儿一岁以后才能确诊脑性瘫痪）。和对照组的婴儿（使用的机器不提供辅力）相比，试验组的婴儿几乎早一个月就能围着屋子爬一周。跟踪调查表明，在这些婴儿14个月时，受到辅助的婴儿也更可能独立爬行。

该研究团队正在扩大试验规模，计划招募近80名疑似脑性瘫痪婴儿。研究的合作者之一、生物工程教授安德鲁·法格（Andrew Fagg）称，“我们希望最终能开发一个机器人疗法，让这些孩子更多地活动，从而提高他们长大后参与社会活动以及独立生活的能力。”

健康

美国能应对未来疫情吗

美国疾病控制与预防中心前主任汤姆·弗里登接受《科学美国人》采访时称，如果发生紧急公共卫生事件或者爆发疫情，CDC没有权力调动经费。

撰文 迪娜·法恩·马龙（Dina Fine Maron） 翻译 张文韬



2016年9月，印度尼西亚的司马威（Lhokseumawe）开展烟熏灭蚊行动，防止寨卡病毒传播（1）。一名技术人员正在包装尿液样本，以进行寨卡病毒检测（2）。

图片来源：比尔·奥利里（Bill O’Leary），Getty Images（弗里登）；法赫尔·雷扎（Fachrul Reza），Getty Images（1）；乔·雷德勒（Joe Raedle），Getty Images（2）



汤姆·弗里登（Tom Frieden）是美国疾病控制与预防中心（Centers for Disease Control and Prevention, CDC）的前主任，在他7年半的任期中，CDC历经多次风波：政府停摆、H1N1流感疫情、实验室安全事故、海地地震、埃博拉病毒和寨卡病毒爆发。为了更好地处理突发疾病、防止疫情蔓延到全球，CDC目前正与许多国家合作，提高诊断和检测能力。

在其任期的最后一周，弗里登接受了《科学美国人》的采访，谈到了美国未来会面对的卫生挑战，以及他任期内的一些难忘瞬间。

《科学美国人》：当前，特朗普政府主要面临的公共卫生问题是什么？

汤姆·弗里登：首先，寨卡病毒还没有消灭，在几个月或几年内，很有可能蔓延到拉丁美洲和加勒比海地区。我们仍然没有完全搞清楚，寨卡病毒会造成哪些出生缺陷。第二，美国的抗生素耐药性对现代医学造成了很大威胁。第三，在美国，阿片类药物的过量使用造成的死亡病例是以往的4倍。我们还需密切关注流感的情况。

另外，我们鉴定出了一些新的病原体，发现了一些病原体的新藏身之所，并由此得知，在全世界范围内，蜚传播的病原体分布极为广泛，范围比之前预想的要大得多，包括会引发克里米亚—刚果出血热的一种

病毒。

《科学美国人》：CDC准备如何处理这些问题？

汤姆·弗里登：我们面临的最大问题是，威胁来临时，因为没有额外的研究经费和法律授权，我们不能迅速作出反应。如果发生地震，美国联邦突发事件管理局（Federal Emergency Management Agency）不必去国会，就能获得更多经费。但是CDC必须通过国会才能拿到钱。目前，我们已经开始与70个国家合作，共同努力加强实验室系统、快速反应和现场监控系统，不过，要建立全球监控网络，尚需一段时间。任何一个盲区都会带来灾难。

《科学美国人》：在你的CDC任期之内，哪些经历使你难忘？

汤姆·弗里登：当然是在美国联邦政府停摆期间，我们的8500名工作人员不得不休假，无法有效保护美国人民，这是一段可怕的时间。

在海地地震期间，CDC一位年仅31岁的员工黛安娜·卡夫斯（Diane Caves）殉职，当时她在海地入住的酒店坍塌了。我永远不能忘记，我是怎么把这个消息告诉她的丈夫和父亲的。

不过，也有一些鼓舞人心的时刻：当我们基本控制西非埃博拉疫情时；当我们确切地看到我们的禁烟活动帮助了超过1万人时；当我们能断定寨卡病毒会引起小头畸形和其他出生缺陷时；当数据显示，我们的工作使青少年怀孕人数下降时。青少年怀孕与贫困之间是互为因果关系，通过减少青少年怀孕人数，我们也在减少贫困人口。

《科学美国人》：能谈谈你未完成的任务和遗憾吗？

汤姆·弗里登：我希望能达成根治脊髓灰质炎的目标。在尼日利亚，我认为已经达到了目的，但在一些中东地区，脊髓灰质炎还在流行，这是一个问题，我们还需要努力。

生物学

膳食脂肪能延长寿命？

给线虫喂食更多的单不饱和脂肪酸，可以让线虫的寿命延长约1/3。

本刊记者 陈耕石



放大的秀丽隐杆线虫
图片来源：en.wikipedia.org

长生不老是人类永恒的追求之一。2016年发表的一篇研究报告似乎让人类离这个目标进了一步：通过对秀丽隐杆线虫（*C.elegans*，一种以细菌为食、寿命很短的简单多细胞动物）的研究，科学家发现，降低一种名为H3K4me3组蛋白甲基转移酶的蛋白质的活性，能够延长这种线虫的寿命，但这其中的机理尚不得而知。

近年来，大量研究证明，在不改变DNA序列的前提下，一些对染色质的修饰也能暂时或永久性地改变基因的表达，这种现象被称作表观遗传学（epigenetics）。而H3K4me3的作用，就是给组蛋白（histone，在染色质中，DNA都缠绕在组蛋白上）上的某个赖氨酸分子添加三个甲基，这种修饰可以直接影响线虫某些基因的表达。

最近，美国斯坦福大学的安妮·布鲁内特（Anne Brunet）及同事可能发现了抑制H3K4me3的活性能延长线虫寿命的原因——他们将这一现象和脂肪的积累联系起来。降低H3K4me3甲基转移酶的活性后，线虫在寿命延长的同时，肠道内的单不饱和脂肪酸（MUFA）的积累也相应增加。为了确定肠道脂肪的积累与线虫寿命延长的因果关系，科学家使用了一种名为RNA干扰（RNAi）的方法，特异地抑制了线虫体内某些与脂肪代谢相关的基因的表达，得到的结果与抑制H3K4me3的活性相似：线虫肠道内MUFA增加，寿命延长。

为了得到更直观的结论，布鲁内特和同事直接在线虫的食物中额外添加了油酸及棕榈酸，结果发现，线虫的寿命延长了约1/3。相关研究结果发表在2017年4月的《自然》杂志上。

虽然与人类等高等动物相比，秀丽隐杆线虫要简单得多，但它们的组蛋白甲基化修饰和脂肪代谢途径却和高等动物非常相似。长期以来，人们一直将富含单不饱和脂肪酸的高油饮食视为血管粥样硬化、高血压、糖尿病的诱因，也许现在该重新审视单不饱和脂肪酸的功能了。

最后，告诉大家哪些食物含有较高的单不饱和脂肪酸：猪肉牛肉等红肉、坚果、橄榄油和鳄梨等。

能源

亚麻荠油替换传统飞机燃料？

使用含有亚麻荠油的燃料时，飞机在巡航速度下排放的颗粒物显著减少。

本刊记者 陈耕石



十字花科植物亚麻荠

图片来源: plantillustrations.org

作为当前最常用的航空器，飞机在飞行过程中不但会排放二氧化碳，还会排放能形成气溶胶的颗粒，影响地球气候——据估计，人类对气候的影响，近5%是航空器“贡献”的。

为了减少航空器排放的污染物，美国航空航天局（NASA）的理查

德·摩尔（Richard Moore）和同事最近试用了一种由亚麻荠油和航空煤油制成的混合燃料，结果发现，大型喷气式客机使用这种混合燃料后，引擎排放的颗粒物更少。相关研究发表在2017年3月的《自然》杂志上。

在研究中，摩尔使用了一架属于NASA的DC-8型大型4引擎喷气式飞机，飞机燃料有3种：两种纯化石燃料（高硫航空煤油和低硫航空煤油）和一种低硫航空煤油和亚麻荠油1:1混合燃料。在巡航高度，飞机会切换工作引擎，从而测试三种燃料的表现。而尾气收集则由另一架尾随在DC-8后的HU-25猎鹰飞机完成。实时收集的数据表明，使用含有亚麻荠油的燃料时，飞机在巡航速度下排放的颗粒物显著减少，不完全燃烧的碳颗粒数量下降了50%以上。同时，DC-8的飞行员在使用混合燃料飞行时，完全没有发现发动机和飞机有任何异常情况。而且，使用混合生物燃料目前也没有发现会对飞机引擎造成任何损害。摩尔告诉《环球科学》记者，从分析数据来看，除了含有更少的硫和芳香族化合物外，混合生物燃料不论从黏度、比重、耐低温性等物理性质还是燃烧值方面，都和传统的飞机燃料接近。

尽管航空燃油燃烧产生颗粒物的详细机制还没有科学定论，但摩尔认为，芳香族化合物的不完全燃烧是飞机排放颗粒物的主要原因之一，而在亚麻荠油为代表的生物燃料中，芳香族化合物的含量极低。

研究中使用的亚麻荠油来自十字花科植物亚麻荠（*Camelina sativa*）的种子。因为有着更高产量的油菜类作物的崛起，亚麻荠在亚洲和欧洲曾几乎绝迹。但近年来，人们发现亚麻荠对盐碱、贫瘠、干旱、病虫害有良好的抵御能力，同时生长迅速，因此和麻风树（*Jatropha carcas*）等油料植物一起成为了重要的生物能源的来源，因为种植这些作物可以不占用耕地。摩尔说，亚麻荠油的好处是，很多性质和传统喷气飞机燃料接近，飞机可以直接使用。

近年来，低迷的油价和纯电动汽车的崛起似乎让生物燃料的前景变得暗淡了许多，也许不久的将来，很多加油站会被充电站取代。但是，飞机和远洋轮船将在很长时间内使用燃料作为动力，而亚麻荠油这样的生物燃料，也许会未来的重要选择。

古生物学

来自侏罗纪的章鱼化石

古生物学家为一个保存完好的头足纲动物合成了新照片。

撰文 布赖恩·斯维特克 (Brian Switek) 翻译 李春艳

完好的头足类动物化石非常少见。尽管菊石壳体、箭石外壳及其他由头足类动物的坚硬部分形成的化石数量众多，但古生物学家极少见到由这类生物软体部位形成的化石。相关发现如此匮乏，所以1982年在法国发现的一个来自16500万年前的章鱼化石至今仍备受瞩目。

J·C·费舍尔 (J. C. Fischer) 及B·里乌 (B. Riou) 将这个有8条腕足的无脊椎动物命名为*Proteroctopus ribeti*，并对它的吸盘作了极为详细的描述，令其他古生物学家有如亲见。然而，尽管已经取得前所未有的了解，但这个化石看上去是平的，就像原有肉体的“压瘪版”，因此很难对它的结构进行细致研究，也无法弄清它与其他章鱼的关联。不过，30多年后的今天，巴黎第六大学 (Pierre and Marie Curie University) 的古生物学家伊莎贝尔·克鲁塔 (Isabelle Kruta) 及同事利用一种高清成像技术——同步辐射显微层析 (synchrotron microtomography) 技术，以3D模式重塑了这个生物的模样，让人们对这个具有象征意义的头足类动物生前的外观有了更多了解。

修复后更为饱满的外观显示，*Proteroctopus*最有可能属于一种名为八腕总目 (Vampyropoda) 的大类，该总目仅分为两个目：章鱼目与幽灵蛸目 (现生的幽灵蛸只有一种，即吸血鬼乌贼)。通过最新成像，研究人员发现，虽然存在一定差异，*Proteroctopus*与如今的深海幽灵蛸较为相似。举例来说，这种来自远古的生物也有8个腕足，身体两侧也各有一个突出的鳍，并且和现代的幽灵蛸一样，也没有墨囊。不过，这个来自侏罗纪的无脊椎动物的吸盘是错开排列的，不像大多现存章鱼的吸盘那样并行排列。这项研究于2016年秋季发表在了《古生物学》

(*Palaeontology*) 杂志上。

*Proteroctopus*能为我们提供哪些有关远古章鱼的信息？这取决于是否能发现更多化石。不过上述化石样本已让古生物学家达成一个共识：早在16400万年前，章鱼就已经演化出了多种差异巨大的外观。克鲁塔说：“之前我们认为章鱼的一些特征，比如吸盘的形状，是近期才演化出的，但现在我们知道这些特征其实在侏罗纪就已经存在了。”

这个化石中究竟还隐藏着什么秘密？古生物学家将不遗余力，努力揭开它的神秘面纱。

深度

【未来医疗技术】

微生物角色：从破坏者到守护者

很多微生物就像看不见的魔鬼，它们会导致各种感染和传染性疾病，威胁人类的健康，甚至曾夺走无数人的生命。但在今天，一些微生物的角色正在发生改变：科学家可以筛选对人类有益的细菌，改善人体肠道健康；甚至还可以通过合成生物学手段，把一些微生物改造成活体工厂，在人体的特定位置持续生产药物，治疗癌症、感染等。微生物的应用也不仅限于医学领域，农业、食品、环境、能源等领域，都有来自小小细菌的助力。



深度

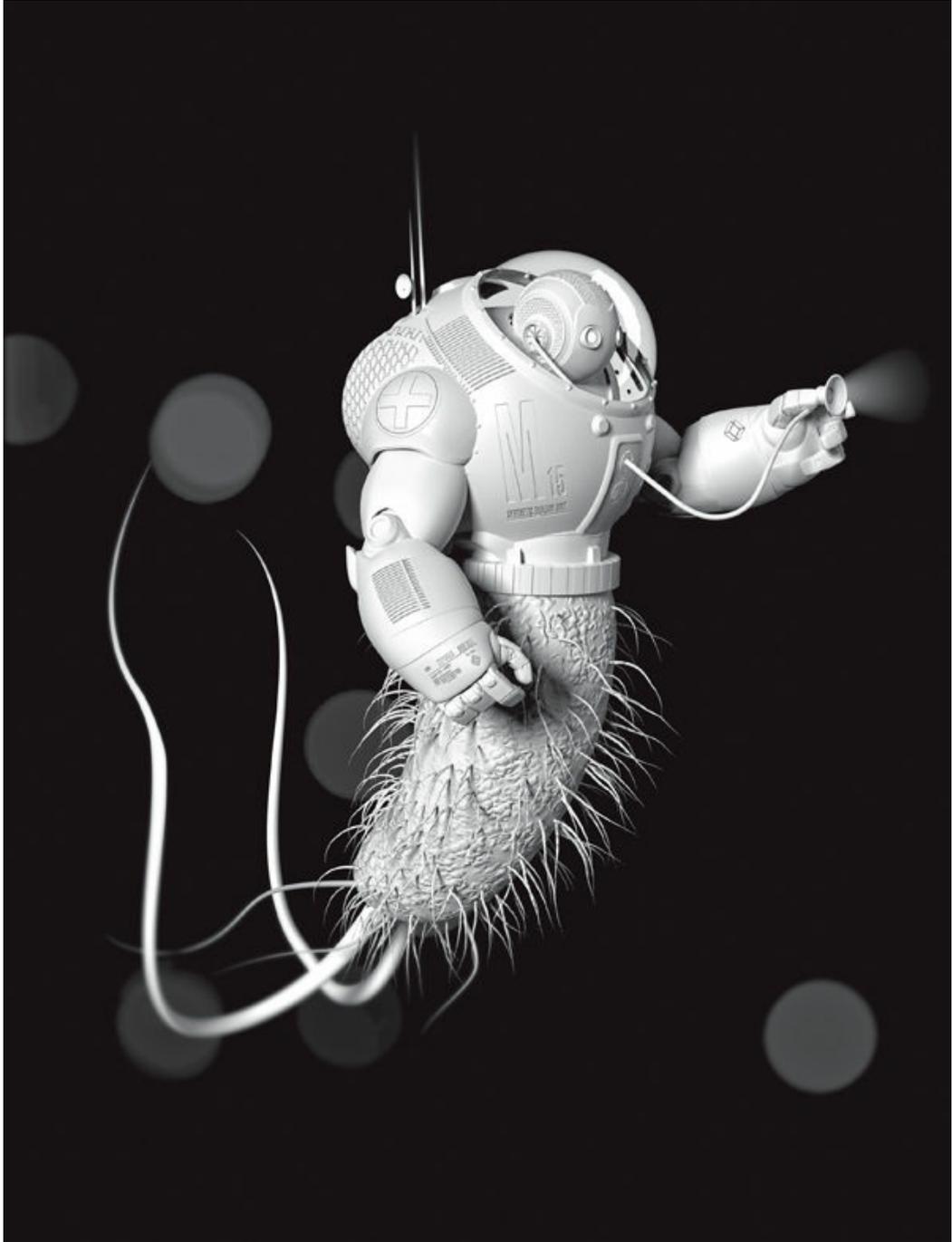
责任编辑：廖红艳

封面故事 COVER STORY

制造治病的细菌

现在，生物学家能够改造细菌的DNA，让它们变成可以自我繁殖、在人体内长期有效的药物。

撰文 迈克尔·瓦尔德霍兹（Michael Waldholz） 翻译 赵瑾



图片来源：GUYCO



迈克尔·瓦尔德霍兹是一位科学记者，1997年他组织一批记者对艾滋病进行的报道，获得了普利策奖。他目前居住在美国纽约州的哈德逊河谷（Hudson Valley）。

精彩速览

通过控制微生物的基因回路，生物学家能够将微生物变成活体药物，并可在特定情况下打开或关闭这些回路。

就像连接导体、电阻和电容，形成电路一样，生物学家也可以把编码蛋白的基因、控制基因表达的开关连接起来，对微生物进行基因改造。

现在，通过改造细菌的基因，插入新的基因回路，科学家正在将微生物变成能治疗遗传疾病、肿瘤以及检测抗生素的活体生物医疗产品。

在未来几个月里，一组自愿者将吞下数十亿个微小的毒素清除装置，来治疗一种严重的疾病。这些装置并不是用普通的金属机械零件、电线或塑料做成。它们属于重组生物体（rebuilt organism）：里里外外都被改造、用于执行复杂医疗任务的细菌。

Synlogic公司是一家位于美国马萨诸塞州剑桥市的生物技术创业公司，这里的研究人员会每天给病人一剂含有数十亿大肠杆菌的药丸或药水。大肠杆菌是一种通常存在于我们内脏中的微生物，虽然它们偶尔会导致细菌感染，但在一般情况下对身体无害。这些大肠杆菌的不同之处在于，科学家对它们的DNA进行了大规模重组，将这些微小的细胞变成了不停运作的机器，以清除病人体内大量累积的有害氨分子。

这些病人所患的疾病，名为尿素循环障碍（urea cycle disorder, UCD），是因为肝脏缺乏一种酶产生的，能够导致新生儿死亡以及成人患病。这些病人天生携带一种错误的基因，会产生不正常的酶，无法正确处理高蛋白食物（如肉类、蛋类和奶酪）中的氮。正常的酶会将多余的氮转化成尿素，通过尿液排出。然而，患有这种遗传病的人，他们体内多余的氮无法通过尿液排出，而是以氨的形式累积在体内，导致血液中氨浓度达到有害水平，当这样的血液到达大脑时，就会对大脑组织造成严重损害。

Synlogic公司的这种大肠杆菌能够消耗人体内多余的氨。肠道细菌本来就会吸收少量氨，将其中的氮元素用于自身生长。经过科学家的改造，这些微生物获得了新的基因“回路”，就像电子产品中的晶体管一样，一系列基因及其控制因子连接在一起，控制着回路的开关及强度。插入大肠杆菌常规基因组中的基因回路，取代了细菌体内原本缓慢的氨代谢机制，将其变成了一个能在人类肠道特有的缺氧环境下启动的除氨器。

如果Synlogic公司改造的细菌能够清除人类肠道中累积的氨（就像它们在小鼠试验中表现的那样），那么UCD患者今后只需每天摄取这种细菌制剂，就能消除病症。目前，这种疾病尚无有效的疗法，在美国每年都有100多个新增病例，而经过改造的细菌有望治愈这种严重的遗传疾病。Synlogic公司的首席科学家保罗·米勒（Paul Miller）谈道：“我们利用一种全新的疗法来替代人体缺失的某些生理机能。这种治疗方法拥有惊人的强大力量。”米勒的公司正在针对其他更普遍的疾病（如肠易激综合征、炎症、免疫疾病，甚至癌症），研制类似的基因回路。

对于传统的化学合成药物，医生能调整的只有药物剂量。相比之下，经过基因改造的细菌有一个重要优势。科学家可以方便地对细菌的基因回路进行微调，以增强药效、延长或缩短作用时间，或在出现问题时，完全关闭回路。细菌拥有感知外界环境并做出相应反应的自然能力，这使它们具有标靶特异性：科学家能够通过设定，让它们将治疗物质释放在特定病灶部位。由于具有这种选择性，改造后的细菌不会像普通药物那样，因缺乏目标性而产生副作用。

这些细菌还能在人体内进行自我更替，这是传统药物无法做到的。不过在上市前，这些细菌还必须通过安全测试，研究人员必须证明这些经过基因改造的细菌不会对环境造成威胁。美国食品及药品管理局（FDA）已经准许Synlogic公司开展人体试验，因为在很早之前，用于

治疗UCD的大肠杆菌就作为口服益生菌（probiotic），用来治疗炎性肠道疾病了。如果这项人体试验成功，Synlogic公司的细菌疗法将是首项应用于临床的合成生物学（基因工程的一个较新分支）成果。

DNA操控技术的进步，推动了合成生物学的蓬勃发展。新的实验室工具让科学家能够将多个DNA片段连接起来，其影响力比改变单一基因要大得多。詹姆斯·柯林斯（James Collins）是美国麻省理工学院的医学工程教授，也是合成生物学领域的领军人物之一。他谈道：“当今的合成生物学研究成果十分丰硕。”例如，可以向人体细胞植入经过强化的DNA回路，准确地把胰岛素释放到糖尿病人的血液中，这比每天注射胰岛素方便多了；经过基因重组后，可导致食物中毒的沙门氏菌，能够接近癌细胞并释放抗肿瘤药物。DNA回路还能用于疾病诊断。最近，美国波士顿的研究人员对一种微生物进行了基因重组，利用这些微生物，医生能在败血症还处于萌芽状态时，就在住院病人的血液中发现端倪。而现有的检测方法，往往只能在病人病情严重到难以治疗时，才能够确诊败血症。

新技术不仅赋予了细菌新的功能，对医学本身也产生了深远的影响。林行建（Wendell Lim）是美国加利福尼亚大学旧金山分校系统及合成生物学研究中心（Center for Systems and Synthetic Biology）的主任，他说：“生物医学正处于新一轮医疗改革的前沿，微生物和人类细胞正成为多功能的治疗机器。”现在，合成生物学的前景可以说是一片光明，然而在以前，情况则没有这么乐观。

合成基因回路

在过去40年间，科学家利用基因工程技术来发现并操控基因，以揭示基因调控生命体的复杂机制。但对于不同基因的协作，以及它们在生命体中的实际运作机制，科学家的了解非常有限。很多在实验室条件下可以成功的东西，放到真正的细胞或动物中往往就不适用了。柯林斯也承认，在合成生物学的起步阶段，出现了过多的炒作。但大约17年前，柯林斯和一些志趣相投的生物学家在测序技术和DNA合成技术进步的推动下，开始利用新发现的基因和其他DNA元件，将它们作为可互换的组件，设计并构建一些能够运用于实际医疗中的新装置。

一些像工程师一样热衷于敲敲打打的科学家也为合成生物学的发展注入了活力。美国加利福尼亚大学圣迭戈分校生物回路研究所

（BioCircuits Institute）的联合创始人杰夫·黑斯蒂（Jeff Hasty）说：“在过去几年里，涌现出了一大波新想法，推动了合成生物学的发展。”黑斯蒂的科学事业开始于20年前，当时他拥有物理学博士学位。他半开玩笑地说自己现在是一名“计算/分子生物学家”（hybrid computational/molecular biologist）。在合成生物学领域，聚集了很多黑斯蒂这样的科学家，他们都满怀工程师的造物情结。

柯林斯说：“就像电子工程师利用导体、电阻和电容来创造新的电子装置那样，我们将各种生物元件（基因、蛋白、RNA、转录因子及其他DNA片段）组装在一起，赋予它们新的功能。”

柯林斯认为，可以借助电子设备模型，来理解基因回路。就以空调的恒温装置来说吧：当它检测到热空气时，就会发出信号启动空调；当空气冷却下来后，恒温装置就会关闭空调电机。细菌这样的单细胞微生物，其生命机制也是如此。它们对输入信号十分敏感，例如出现竞争细菌时，它们就会发出相应的输出信号，分泌天然抗生素来杀死竞争对手。

因为柯林斯与另一个团队在研究方向上的巧合，构建基因回路的研究人员从基因工程领域脱离了出来。2000年1月，《自然》杂志刊发了两篇关于合成基因网络的文章，其中之一，就来自柯林斯在美国波士顿大学的实验室，他们研制出了一种基因开关（genetic toggle switch）。另一篇文章来自普林斯顿大学的研究团队，学术界一般认为，这两篇文章标志着合成生物学的建立，就像柯林斯所说，这些研究表明，“我们能够从细胞中提取部分结构，再将它们连在一起，像工程师那样制造出新的回路”。这两篇文章发表后，“回路建造师”（circuit builder）作为一类专门的研究人员开始受到重视，他们有别于传统的基因工程研究人员（当时的柯林斯专注于各种回路的研究，并非出于偶然。那时，他领导的生物工程实验室正致力于为残疾人士设计机械义肢。目前，柯林斯供职于剑桥地区3家不同的研究机构，从事着合成生物学研究。柯林斯培养的20多位科学家都已经拥有了自己的研究团队，黑斯蒂就是其中之一）。

第一批原始DNA开关问世后的几年中，合成生物学家在他们的小圈子里，展开了一场互相赶超的角逐，制造越来越复杂的回路，操控细胞天然的感知一应答行为。美国加利福尼亚大学旧金山分校的林行健说：“经过进一步研究，我们发现，细胞的多功能性比我们最初意识到的更加惊人。”他将细胞比作可调节的汽车底盘，研究人员能够在这一

基础上添加不同的基因引擎，执行不同的治疗功能。

2006年，美国加利福尼亚大学伯克利分校的杰伊·基斯林（Jay Keasling）领导的研究团队推出了一项研究成果，这也是合成生物学最早进入商业应用的研究成果之一。借助比尔及梅琳达·盖茨基金会（Bill & Melinda Gates Foundation）提供的4260万美元研究资金，基斯林的实验室利用基因回路，改造了普通酵母的代谢途径让酵母将糖分子转化成抗疟疾药物的关键成分——青蒿素（artemisinin）。在此之前，用于制造青蒿素的前体分子是从一种亚洲植物——青蒿（sweet wormwood）中提取的。由于这一提取过程花费巨大，那些疟疾泛滥的贫穷地区根本负担不起这种药物。柯林斯说：“这是一个突破。科学家第一次利用人造遗传物质网络（而非单一基因），将微生物（酵母）变成了一种解决方案，应对现实世界的重要问题。”

原理

基因回路

基因回路基因和其他控制基因表达的DNA片段，能够以多种方式连接起来，就像家用电器中的电路那样。不同的是，这些基因回路能够植入活的生物体（例如细菌），控制生物体的行为。借助这种调控机制，合成生物学家能够将微生物变成活体药物。

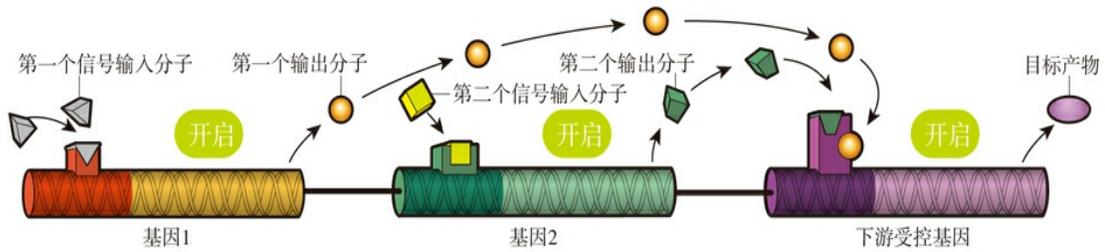
原理简易开关

在一个基本回路中，基因能够由特定信号激活，生成有用的物质。下图中的基因（黄色）与一个调控区域（红色）相连。当这个区域没有信号输入时，回路就是关闭的，不会生成任何物质。但如果这个调控区域受到输入信号分子（灰色）刺激，它就会激活基因，生成相应的输出分子。



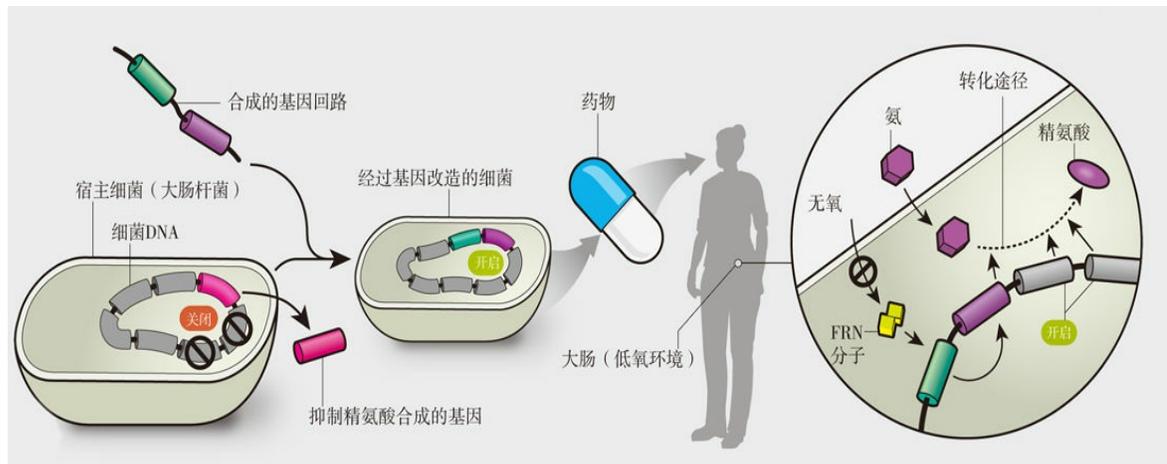
添加复杂的逻辑回路

控制基因表达的开关还可以连接其他元件，让生物学家对微生物的行为进行更高级的调控（逻辑回路）。下面以“AND”回路为例：当基因1（黄色）被激活时，会生成输出分子，对下游的受控基因（紫色）进行调控。基因2（绿色）也被输入信号分子激活，生成输出分子，对下游的受控基因进行调控。而这个受控基因只有在受到基因1和基因2的同时刺激时，才会被激活。



对付酶紊乱疾病患

尿素循环障碍的病人缺乏一种酶，导致氨在其体内不断累积，达到有害水平。生物学家通过构建噬氨的大肠杆菌来治疗这种疾病。这种经过基因改造的微生物需要消耗氨来制造大量的精氨酸。首先，抑制精氨酸合成的基因（粉红色）被关闭。接着，另一个基因（绿色）被插入，它能被FNR蛋白（黄色）激活。而FNR蛋白只会是在低氧环境（如人体肠道内）下激活这一基因。植入整个合成回路后，细菌就变成了只在低氧环境下被氨激活的精氨酸制造机器。这个双重调控机制保证这种细菌只在体内执行这一功能，细菌排出体外到达高氧的外界环境后，将不能继续工作。



从生物柴油到活体药物

但合成生物学界并没有由此掀起一场革命。J·克雷格·文特尔（J. Craig Venter）是一位著名的基因组学家，也是合成基因学公司（Synthetic Genomics）的联合创始人。那个时候，他也投入了合成生物学的研究热潮，并第一次使该技术成为公众心中耀眼的“明星”。2009年，文特尔提出了一个高调的研究目标：用从池塘中发现的藻类制造汽油，该项目获得了艾克森石油公司（Exxon）3亿美元的投资。2010年，基斯林从美国能源部获得了1.34亿美元的资金，用于改造酵母，进而利用糖料作物的某些化学物质，合成柴油。此前，基斯林已经和合作者在加利福尼亚州的爱莫利维尔市，创立了一家名为Amyris的生物技术公司，专注于替代燃料技术的商业化。

这两个项目最终让合成生物学受到了严厉的批评。4年后，艾克森石油公司、文特尔，以及Amyris公司都放弃了合成燃油的研究项目。目前石油和天然气价格低迷，而规模化商业生产替代燃料成本又过于高昂，迫使Amyris公司和其他多家生物燃料创业公司暂时搁置了此类研究计划。这些公司对于投资者来说，无疑是一场灾难。虽然Amyris公司和其他一些在2005~2010年间创立的、希望用微生物生产燃油的合成生物学公司在生物回路设计方面仍然取得了很多进展，但这些新的基因回路并没有得到广泛关注。目前，这些曾经的“明星公司”主要利用基因回路改造微生物，生产溶剂和润滑剂中所需的化合物，以及化妆品、香水、洗涤剂和处方保健品的的主要原料。

就在华尔街投资者和科学媒体把大部分注意力放在吸引眼球的微生物产油梦想，以及不那么梦幻的现实时，柯林斯及同事花费大量时间，低调地在21世纪的头10年攻克了这一技术在医学领域的应用障碍。2010年，经过多年繁复的实验，柯林斯终于构建出了一种细菌，它们能在实验室条件下，让某些耐药菌变得非常脆弱，无法抵抗现有的抗生素。

大约在同一时期，柯林斯实验室的另一名博士后研究员卢冠达（Tim Lu，他不仅拥有美国麻省理工学院电气工程及计算机科学的博士学位，还拥有美国哈佛大学的医学学位）将基因回路植入一种能感染细菌的病毒中。一些感染病例之所以难以治愈，是因为细菌菌落将自己包裹在一层黏黏的保护性生物膜内。这种生物膜可能是细菌为了抵御噬菌体（bacteriophage）而演化形成的。卢冠达利用一种编码生物膜分解酶的基因，来设计植入噬菌体的基因回路。拥有这种基因回路的噬菌体能感知生物膜的存在，并侵入细菌的防御体系，释放出破坏生物膜的酶。

虽然卢冠达和柯林斯深知，要让噬菌体具备抗感染的实战能力，还需要多年努力。不过他们相信，他们改造的细菌，也许可以很快走上另一条商业化道路。在2013年于阿特拉斯风险投资公司召开的一次会议上，柯林斯和卢冠达告诉一帮生物技术投资者，他们改造的增强型微生物，可以变成活的检测元件，对人体疾病或空气、水中的污染物进行早期检测。

然而，阿特拉斯风险投资公司的决策者们却想到了另一个思路。他们认为，如果这些细菌经过基因改造后不仅能用于检测，还能感知人体肠道中存在的健康问题，并进行相应治疗，那么这一技术将会产生更大的利润。于是“Synlogic”公司的概念就此诞生。2015年初，就在Synlogic公司雇佣首批研究人员大约6个月后，他们利用柯林斯和卢冠达的发明研制的UCD疗法就初具雏形了。

Synlogic公司的顾问伯哈拉特·乔里拉（Bharatt Chowrira）谈道：“我在制药工业工作了很长时间，从没看过一种药物在这样短的时间内，就从科学家的想法变成了进入临床试验的药物。”

更多案例

制造氮肥的细菌

撰文 文森特·叶拉尼（Vincent Jelani） 翻译 廖红艳

“绿色革命”极大地促进了农业的发展，作为绿色革命的一个组成部分，大量使用化肥在解决全球粮食危机问题上功不可没。但全球人口还在攀升，且新增人口将主要分布在最贫穷的国家。要养活地球上越来越多的人，一个有效的办法是，在不扩大耕地面积的前提下提高产量。哈佛大学化学与生物化学系教授丹尼尔·诺塞拉（Daniel Nocera）及其团队发明的一种仿生系统，或许可以帮助我们实现这一目标。这种仿生系统可以利用细菌、阳光、水和空气直接制造出肥料，让土壤变得更肥沃。

诺塞拉最有名的发明是“仿生树叶”，这个装置可模仿自然界中的叶片，将水分解成氢气和氧气。2016年，诺塞拉的团队成功地将“仿生树叶”与基因改造过的罗氏真养菌（*Ralstonia eutropha*）组合成一个系统，在这个系统中，基因工程细菌可以将二氧化碳（来自于空气中）和氢气（来自于仿生树叶）转化成液态燃料。

随后，诺塞拉的团队又将目光转向另一种名为自养黄杆菌（*Xanthobacter*

autotrophicus) 的细菌，这种微生物本身含有一种固氮酶。研究人员对这种细菌进行基因改造，然后将细菌与仿生树叶组合成一个能制造肥料的“生物塑料”的系统。这个系统能利用仿生树叶生成的氢气，和空气中的氮气，制造氨——肥料的起始材料。

研究人员将上述研究成果用在实际种植上，经过5个作物生长周期后，以“生物塑料”系统作为肥料来源的实验组蔬菜（萝卜），个头是对照组（没有使用生物塑料及其他肥料）的1.5倍。诺塞拉说，“接下来的目标是进一步提高产量，这样印度和非洲撒哈拉沙漠以南地区的农民以后就能自己生产肥料了”。

制造精氨酸的工厂

“治疗元件”是一个设计极为巧妙的基因回路，集成了大肠杆菌的很多基因元件——这都是生物学家在过去几十年的研究中在大肠杆菌中发现的。Synlogic公司设计的这种基因回路，改变了细菌将氨转化成生长所需氮源的正常机制，并将细菌变成了制造精氨酸的工厂。研究人员选择精氨酸是因为细胞在制造这种氨基酸时，消耗的氮比制造其他氨基酸多。细菌为了制造精氨酸，对氮元素充满渴望，成了疯狂吞噬氮的机器。Synlogic公司总裁乔斯-卡洛斯·古铁雷斯-拉莫斯（Jose-Carlos Gutiérrez-Ramos）谈道：“将这种回路植入细菌的基因组中后，细菌合成精氨酸的量比普通细菌高5000倍。”

控制这个回路的开关是一段能与FNR蛋白结合的DNA序列。就像空调里的温控装置，FNR蛋白对于细菌周围的环境变化十分敏感。这种蛋白可以让大肠杆菌对缺氧环境做出相应反应。当FNR蛋白检测到细菌处于低氧环境中（如人类大肠内），就会激活微生物的相关基因，让微生物能在低氧环境中生长。当细菌被排出体外时，由于环境中的氧气又变得充足起来，细菌中的FNR蛋白就会失去活性。这一安全机制能够防止快速繁殖的微生物外泄。一旦通过粪便排出体外，接触到外界高氧环境，整个基因回路体系就会关闭，使大肠杆菌无法在体外存活。

但是，Synlogic公司的米勒认为，还有一个问题需要解决。大肠杆菌的基因组存在一种“阻遏蛋白开关”（repressor switch）。当细菌体内合成的精氨酸足够多时，argR基因编码的蛋白就会阻止精氨酸继续合成。因此，设计人员需要在基因回路中加入一种机制，来阻止大肠杆菌本身的argR基因表达。Synlogic公司的应对方案是，敲除大肠杆菌argR基因及其前后序列，代之以一段前后序列几乎完全相同的DNA，只是在这段DNA中，argR基因已被敲除。

为了将抗癌药物直接送达肿瘤内部，合成生物学家还发明了一些其他基因回路。美国加利福尼亚大学圣迭戈分校的黑斯蒂在一种对人类无害的沙门氏菌菌株中，引入了一套特别的基因指令。最新研究发现肿瘤中存在一些细菌，黑斯蒂的实验性抗癌疗法就利用了这一发现。虽然还没有确凿的证据，但科学家认为天然存在于血液中的细菌会特别偏爱肿瘤，因为那里的环境可以保护这些细菌不受人体免疫系统的攻击。

黑斯蒂对沙门氏菌进行基因改造，让它们执行两个任务。首先，他们设计了一种基因回路，插入沙门氏菌后，能让它们合成抗癌药物。其次，这个回路可以引导沙门氏菌，通过血液进入肿瘤内部，因为肿瘤需要血液提供养分。这种沙门氏菌还能在基因回路的指挥下自我毁灭。当它们分崩离析时，就会释放大量药物。黑斯蒂说：“这些细菌就像在执行自杀性攻击任务一样。”

这个基因回路的设计还有另一个巧妙之处：黑斯蒂在其中添加了很多基因元件，使沙门氏菌能够进行自我更替。他说：“我们在细菌中引入了‘群体感应’（quorum-sensing）系统，沙门氏菌繁殖到一定数量时，这个系统就能感知到。”当沙门氏菌的数量繁殖到足够高的密度时，群体感应分子（quorum sensor）就会发出信号，让沙门氏菌释放一种蛋白，从内而外地让前者解体，放出抗癌药物。这一自杀机制会杀死大部分沙门氏菌，但小部分存活下来的细菌又会开始繁殖，让这个不断循环。

这种从内部攻击肿瘤细胞的想法之所以颇具吸引力，是因为大多数肿瘤化疗药物都是通过破坏肿瘤细胞的外层结构来杀死肿瘤的。虽然小鼠实验表明，单独使用这种细菌疗法时，疗效并不比普通的化疗好，但黑斯蒂指出：“当细菌疗法与化疗结合使用时，我们发现患有转移性癌症的小鼠体内的肿瘤缩小了，小鼠的存活时间也延长了50%。”

等待FDA的审批

用沙门氏菌治疗癌症的研究还有待进一步完善。相比之下，Synlogic公司的UCD疗法则走在了前面：FDA正在严格审查这项首次涉及基因改造微生物的疗法。FDA已经颁布相关条规对微生物疗法进行管制，并把它划分到一类名为“活体生物医疗产品”（livebiotherapeutic product）的新种类中。与其他药物（除了某些免疫疫苗）不同，这种新的疗法是由活的生物体组成，而且在繁殖时有可能发生突变。正因如

此，FDA需要确保这种新疗法的组分不会随批次不同而发生变化。另外，FDA还需要证实这些微生物像Synlogic公司所保证的那样，不会在人体外存活。黑斯蒂说：“我们很多人都在关注监管机构对于Synlogic公司产品的审查结果，如果他们的疗法没能获得批准，那么我们可能都会有麻烦。”

与用于医疗的基因改造细菌相比，FDA对那些仅用于疾病检测，不会在人体内合成化合物的基因改造细菌的审核可能会快一些，花费也会更少。因此，很多合成生物学的新项目都致力于通过基因改造，让细菌能够在第一时间检测出就诊者是否患病。帕梅拉·西尔弗（Pamela Silver）是美国哈佛大学系统生物学系的奠基人之一，她说：“通过基因改造，肠道细菌能够在经过肠道时对周遭情况进行检测、记忆和报告。”西尔弗的实验室已经研制出了一种验证性的诊断工具，其中的基因回路能够让细菌识别小鼠消化系统中是否存在一种抗生素。感知到该抗生素存在时，基因回路会在小鼠排泄物中产生可见的荧光信号。

西尔弗说：“这个检测抗生素的基因回路是一个很好的例子，展现了我们制造活体诊断工具的能力。”研究的最终目标是利用这项技术检测肠道内的潜在疾病。西尔弗说：“人体肠道是个‘黑暗’的地方，难以探索，却又是各种影响日常健康的生理活动及疾病发生的地方，炎症就是其中一种最常见的病症。”目前，针对消化系统疾病的诊断方法都是侵入性的，而且价格昂贵。

西尔弗认为活体诊断（living diagnostic）可能是一种更便宜且灵敏度更高的方法。如果它能通过审查，后续还可以加入新的功能。“我们相信通过进一步改造，这种诊断回路还能够用于肠道疾病的治疗，把药物送达发炎部位，”西尔弗说，“功能强大的基因回路为我们提供了各种可能。

本文译者 赵瑾在新加坡国立大学取得基础医学博士学位。

扩展阅读

Engineering Life. Ahmad S. Khalil, Caleb J. Bashor and Timothy K. Lu in *The Scientist*, Vol. 27, No. 8; August 2013. www.the-scientist.com/?articles.view/articleNo/36724/title/Engineering-Life

Principles of Genetic Circuit Design. Jennifer A. N. Brophy and Christopher A. Voigt in *Nature Methods*, Vol. 11, pages 508–520; May 2014.

The Era of Synthetic Biology and Genome Engineering: Where No Man Has Gone Before. Timothy K. Lu et al. in *Journal of Molecular Biology*, Vol. 428, No. 5, Part B, pages 835–836; February 27, 2016.

Engineering Synthetic Gene Circuits in Living Cells with CRISPR Technology. Barbara Jusiak in *Trends in Biotechnology*, Vol. 34, No. 7, pages 535–547; July 2016.

Synthetic Life. W. Wayt Gibbs; May 2004.

深度

责任编辑：廖红艳

封面故事 COVER STORY

基因改造的风险与收益

合成生物学在给我们带来惊喜的同时，也带来了相应的风险。

撰文 凯文·M·埃斯维特 (Kevin M. Esvelt)



凯文·M·埃斯维特是一位生物学家，在美国麻省理工学院的媒体实验室（Media Lab）领导“演化雕刻”（Sculpting Evolution）研究小组。

合成生物学家有一个梦想，有朝一日能对任何一种生物体进行切实有效的改造，以帮助任何有需要的个体。他们希望利用遗传学给生物体编程，以实现前述梦想：“如果达到条件A，就采取B行动。”例如，细菌只会在某一特定疾病指标存在的情况下，合成相应的蛋白药物。

为什么要采用活体系统，而不是使用合成药物呢？因为自然体系常规进行的一些复杂化学反应，科学家无法复制，而且这些反应可以在室温或体温条件下进行，无需有毒化合物或外界的助力。更大的优点是，活体工厂的能效比任何电子装置都高。生物体系中进行的化学反应更加快速、安全和环保。我们应该使用这样的系统，因为人体和生态系统都是活的，生物体最好是用另一种生物体来修复。要对抗不断演化的病原体，最好的策略是使用一种能随之演化的药物。

但让自然来满足我们的自身需求还存在一些问题。利用一种生物体为我们服务，就意味着这会占用该生物体本来用于繁殖的能量，所以这些经过改造的生物体的繁殖能力往往不及环境中的其他竞争物种。演化会青睐那些繁殖速度较快却不再满足我们需求的个体。生物最强大的能力就是繁殖和演化能力，但这也是我们面临的最大挑战。

解决这个挑战的一种方法是引入某种机制，限制微生物演化的能力，特别是在我们所改变的基因可能扩散到外界的情况下。比如，我们可以利用非天然的氨基酸作为限制性条件：细菌必须依赖一种自然界不存在的物质，才能合成必要的蛋白质。如果我们限制这类氨基酸的供给，蛋白质就无法正常合成，这些细菌就无法过度繁殖。另外，我们在构建基因回路时，就考虑好限制细菌演化的条件：目前，我们对细菌的设置是，一释放完一大波复杂的分子就死亡，这样就可以避免细菌释放的产物引起的自然选择。这种对基因进行重构的方法，能够消除大部分不良副作用。改造后的噬菌体能够杀死入侵的细菌，并且会继续繁殖，直至入侵细菌全部被消灭。最后，噬菌体停止繁殖，而病人则完好如初。

我们必须非常谨慎小心，确保对生物体进行基因改造给人类带来的利益大于风险。错误是在所难免的。因此这些项目必须足够有价值，才值得我们为这些风险买单，特别是那些最早期的应用，必须向世人证明

这种技术的价值。通过改造细菌，我们能够获得稍微便宜一点的香草味剂，但是这对人类或环境是否有重要价值呢？这类基因回路显然不足以成为这种新技术的先锋范例，并促进其用途的合理化。但是，构建能够选择性杀死癌细胞或治愈糖尿病的细菌，则会得到每个人的支持。

对于人类文明来说，来自生物的最大风险，是传染病的流行。直至今天，传染病还是无法避免，但我们可能很快就能利用生物技术来阻止疾病传播。人体在面对入侵的流行病原体时，会启动自身防御系统，制造一系列抗体，来有效杀灭这些入侵者。这是一个耗时的反复试错的过程；这就是为什么在你病情好转之前会病三四天。有时这个过程太长，病人在病情好转之前就死了。一个更好的策略是让人体抢占先机：将多种已知的保护性抗体基因植入无害的病毒外壳内，再将这种病毒注入人体。当这些病毒进入人体后，人体就会针对病原体，提前产生大量已经优化的保护性抗体，使病原体对人体不再具有威胁。

最后，作为科学家，我们需要尊重很多人并不接受基因改造的这一现实。这意味着我们在考虑技术风险时，还必须考虑社会风险。我们不能只解释我们在做什么，那样只对其他科学家有说服力。我们应该展示我们为什么关心、谁是受益者，以及存在什么风险。除此以外，我们应该从研发早期就积极主动地征集来自各方面的疑虑和批评，因为无论我们的专业知识多么广博，我们也无法仅凭一己之力准确预料每一种后果。科学是全人类的共同事业，如果要对生物体进行改造，就让所有人一起来决定如何进行吧。

深度

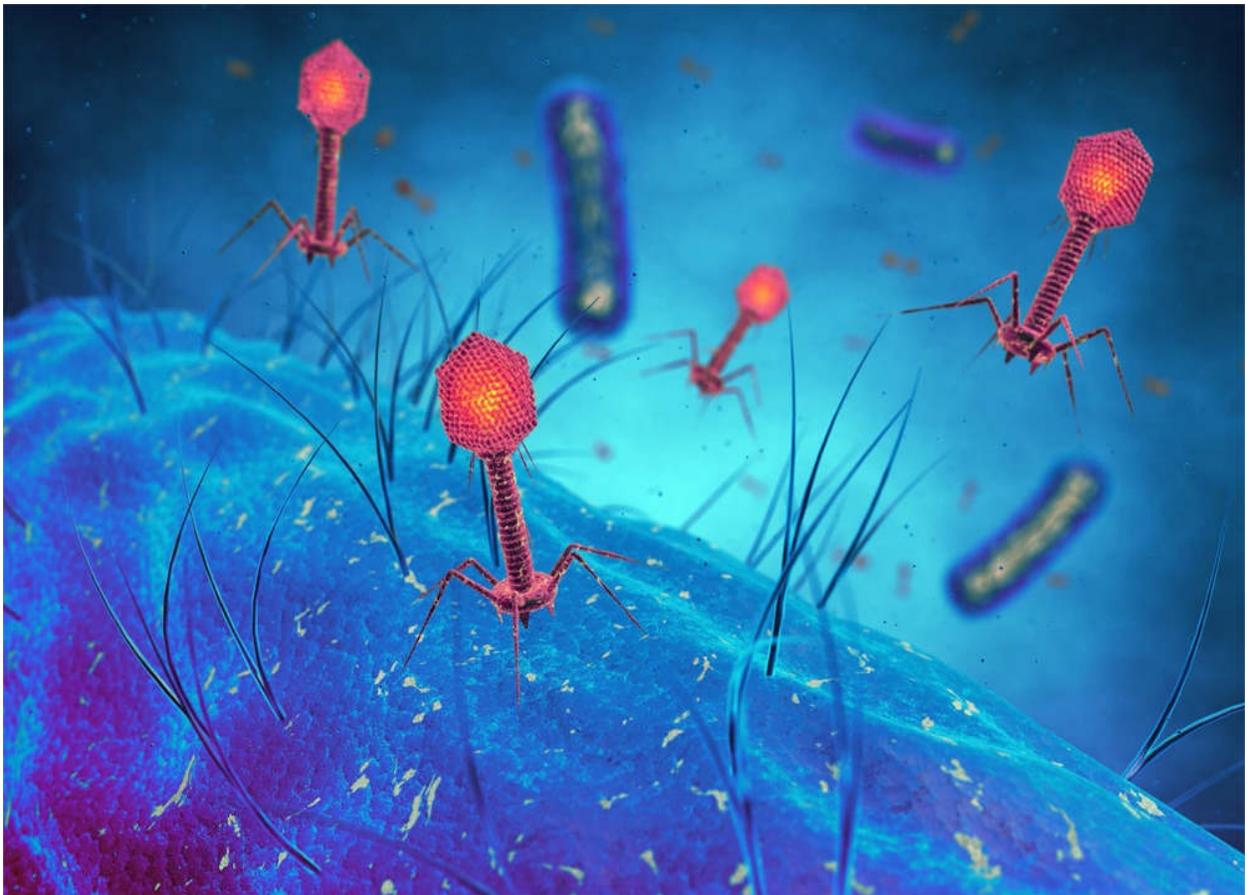
责任编辑：韩晶晶

封面故事 COVER STORY

噬菌体疗法：用病毒杀灭致病菌

随着抗生素耐药性问题越发严重，《科学美国人》法文版介绍了一种重新崛起的疗法：用病毒来对抗致病菌。

撰文 洛朗·德巴比约（Laurent Debarbieux） 翻译 徐寒易





洛朗·德巴比约是法国巴斯德研究所微生物学系的研究员，他是动物体内噬菌体与细菌相互作用课题组的负责人。

精彩速览

噬菌体是只感染细菌的病毒，它们是在大约一个世纪以前被发现的。

噬菌体曾被用来治疗细菌感染，但抗生素的诞生使得这种疗法迅速边缘化。

抗生素耐药性的泛滥，让噬菌体疗法重新变得热门起来。目前，第一批针对肺部感染的临床前试验成绩斐然。

把噬菌体与抗生素等疗法结合起来，有望帮助我们击败最棘手的细菌感染。

人们通常把病毒视为致病源，一般没人会认为它们是治病的灵丹妙药。但有一些病毒对于人类和动物来说是无害的，它们就是噬菌体，这类病毒只会攻击细菌。只要选择正确的噬菌体，我们就有可能治愈某些细菌感染，这就是一个世纪前出现的噬菌体疗法的指导思想。现在，由于细菌产生了抗生素耐药性，这种疗法又再次被摆上桌面。

1917年，法国巴斯德研究所的费利克斯·德赫雷尔（Félix d'Hérelle）发表了一项研究，这位具有法国、加拿大双重国籍的科学家证明了一种能够杀灭细菌的“活性物质”的存在。他把这种东西命名为“噬菌体”。不久，一些意图诋毁他的人称，德赫雷尔的研究剽窃了一个名为弗雷德里克·图尔特（Frederick Twort）的英国研究者在两年前发表的一篇论文。

还有人提出，从1896年开始，就有一个叫做欧内斯特·汉金（Ernest Hankin）的英国军医在印度工作时就描述了一种类似现象。看起来，噬菌体的发现很难归功于任何个人。

但毫无争议的是，提出噬菌体疗法的第一人是德赫雷尔而不是别人。他在1917年发表的那篇文章里就简略地介绍了一个用噬菌体对动物进行治疗的实验。换句话说，过不了多久我们就可以庆祝噬菌体疗法诞生100周年了。

但在1917年，还没有人清楚噬菌体的本质是什么。那时的人们只知道噬菌体非常小。直到20世纪40年代电子显微镜诞生之后，噬菌体的研究才有了一些突破。

虽然都是病毒，但噬菌体和人们熟知的流感病毒、HIV不太一样，因为噬菌体并不攻击真核细胞（有细胞核的细胞），而是只攻击细菌。在人体内，尤其是在我们的消化道里就居住着数十亿个噬菌体，它们起到了平衡人体内细菌菌落的作用。

在第一种抗生素（弗莱明于1928年发现的青霉素）出现前的十几年中，噬菌体疗法曾被短暂地吹捧为奇迹疗法，因为噬菌体仅以病原体为目标，并不会损害其他细胞。

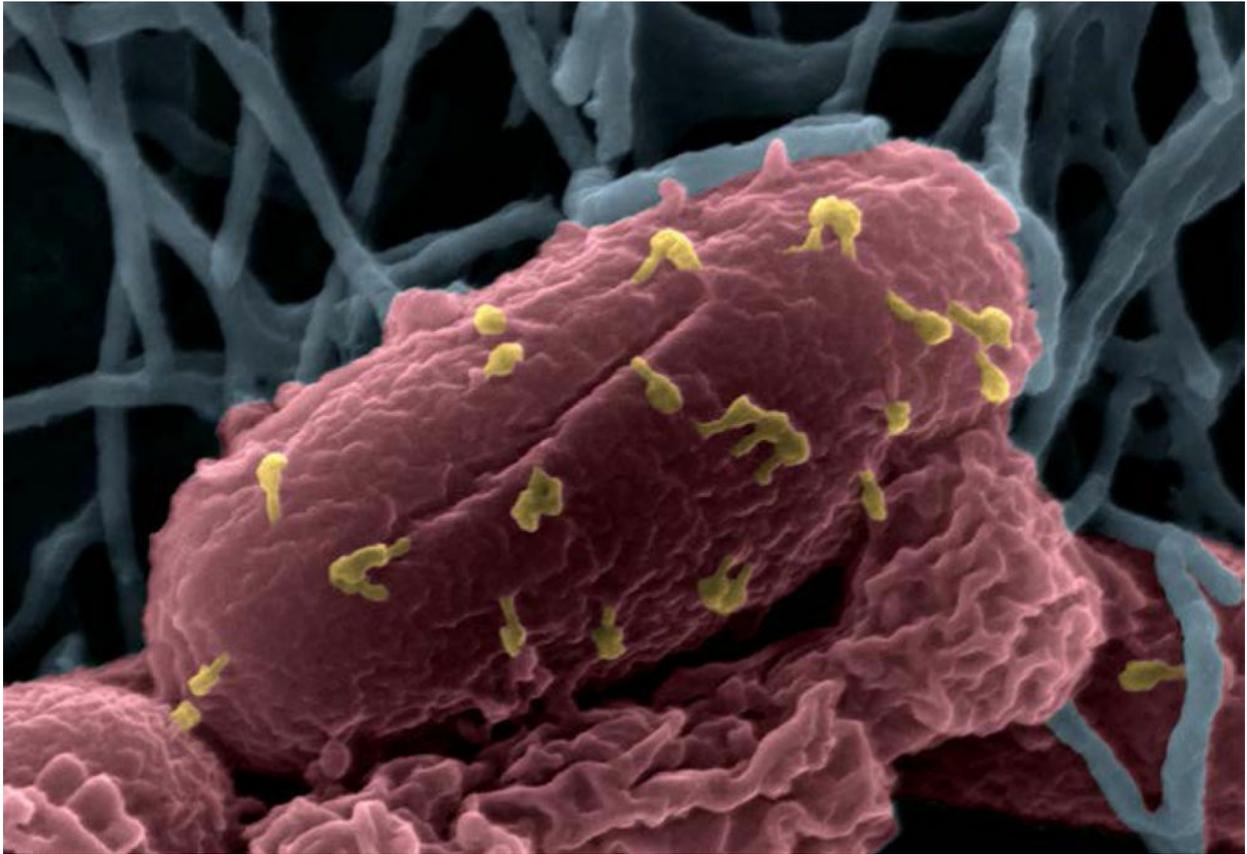
但是，由于缺乏对噬菌体及其作用机理的认识，当时实际上没有办法实践这一疗法。当时的人还无法熟练制取噬菌体溶液，一些溶液中可能只有数量微乎其微的噬菌体。对于当时的人们来说，抗生素更容易大规模制造，而且抗生素的效果也如人们期望的一样理想。

被遗弃的疗法

虽然噬菌体疗法在那个年代几乎被弃之不顾，但在基础研究中，噬菌体本身一直维持着热度。噬菌体是细胞机制研究的模板，它对分子生物学的诞生及其腾飞做出了重大贡献。

1943年，萨尔瓦多·卢里亚（Salvador Luria）和马克斯·德尔布吕克（Max Delbrück）借助噬菌体证明基因突变是随机的，并不会随着环境压力而变化。1952年，艾尔弗雷德·赫希（Alfred Hershey）和玛莎·蔡斯（Martha Chase）用带有放射性元素标记的噬菌体证明，它们的DNA携

带着遗传信息，并且能够钻入细菌细胞内部。



在这张扫描电子显微镜拍摄的彩色照片中，大肠杆菌（粉色）被多个噬菌体（黄色）感染。

噬菌体除了帮助科学家发现了很多重要的生命奥秘之外，还促进了一些生物技术和纳米技术工具的研发，噬菌体展示技术（Phage display）就是其中最著名的例子。这项技术是在1985年发明的，采用经过基因编辑的噬菌体来研究蛋白质和DNA之间的相互作用。

某些常用噬菌体（如T4噬菌体）在分子生物学中得到了非常透彻的研究。但这些噬菌体只是变化多端的细菌病毒中的一小部分。如果想要研究它们的增殖过程，就需要区分两种主要的噬菌体：烈性噬菌体（或称裂解性噬菌体）和温和噬菌体（或称溶源性噬菌体）。

这两类噬菌体在感染周期的早期都是一样的：识别靶细菌，吸附到靶细菌表面，然后将遗传物质注射到细菌的细胞质中。

接下来，裂解性噬菌体就会牺牲细菌细胞以实现快速增殖。它们会劫持细菌的细胞运行机制，复制自己的DNA，并在细菌细胞内不断增

殖，直到细菌细胞膜破裂（或者说裂解），释放出新一代噬菌体。新的噬菌体会继续寻找和感染其他细菌。

溶源性噬菌体的增殖周期则更为复杂。当它们进入细菌细胞后，DNA会和宿主的DNA结合，成为原噬菌体。

当细菌的遗传物质复制时，噬菌体也会同步复制。溶源性噬菌体因此处于一种“休眠”状态，但是某些外部的信号可以激活它们，产生如裂解性噬菌体一般的行为，即增殖并杀死宿主细菌。

溶源性噬菌体在噬菌体和细菌的演化中承担着重要角色。实际上，原噬菌体阶段有利于宿主细菌和噬菌体交换遗传物质。

有时，噬菌体错误吸收了细菌的遗传物质，并通过“转导”过程把这些遗传物质带给其他细菌。这个机制可以使噬菌体和细菌的遗传物质混合。分子系统发生学的研究发现，这种遗传物质的交换过程实际上非常频繁，对细菌和噬菌体的演化有着至关重要的意义。

噬菌体的感染过程本身就是演化的动力。在感染周期中，细菌细胞每次裂解时，噬菌体的数量会激增。随着时间推移，细菌宿主数量不断减少直至近乎全军覆没。此时细菌受到了强烈的选择压力，这可催生出一批对噬菌体免疫的突变体。

与此同时，当噬菌体增殖时，遗传物质复制时出现差错也会导致一批变异的噬菌体出现。在这些变异噬菌体中可能存在能够感染新一代细菌的个体。细菌和噬菌体就这样互相牵制，处在一个动态的平衡中，就如同在进行军备竞赛一般。

整个自然界中，有20%~50%的细菌死亡是噬菌体导致的。可以说噬菌体在生态系统中发挥着关键作用。

对噬菌体的介绍已经结束，让我们再回到噬菌体疗法的话题。虽然在历史上，噬菌体疗法并没有如抗生素疗法一般大行其道，但它也并没有被完全摒弃。格鲁吉亚生物学家乔治·埃利亚瓦（George Eliava）曾在上世纪20年代和德赫雷尔共事，他把噬菌体疗法带回了祖国。他在格鲁吉亚建立了一个研究机构，其研究对象之一就是噬菌体。

尽管埃利亚瓦后来在苏联政治风波中被杀害，而格鲁吉亚也在20世

纪经历了剧烈动荡，但这家现在名为“乔治·埃利亚瓦噬菌体、微生物学和病毒学研究所”的研究机构一直在坚持研究噬菌体疗法。

格鲁吉亚人民也因此在近80年里有幸享受噬菌体疗法。实际上，在苏联时代，苏联所有的加盟共和国都在使用这种疗法。而在其他国家中，现在只有波兰一个在使用噬菌体疗法。波兰这家提供噬菌体疗法的机构名为“路德维克·希尔斯菲尔德免疫学及实验疗法研究所”，位于弗罗茨瓦夫市。另外，目前在俄罗斯有一家名叫Microgen的公司也在制造噬菌体鸡尾酒药物，它的产品会在药房出售。

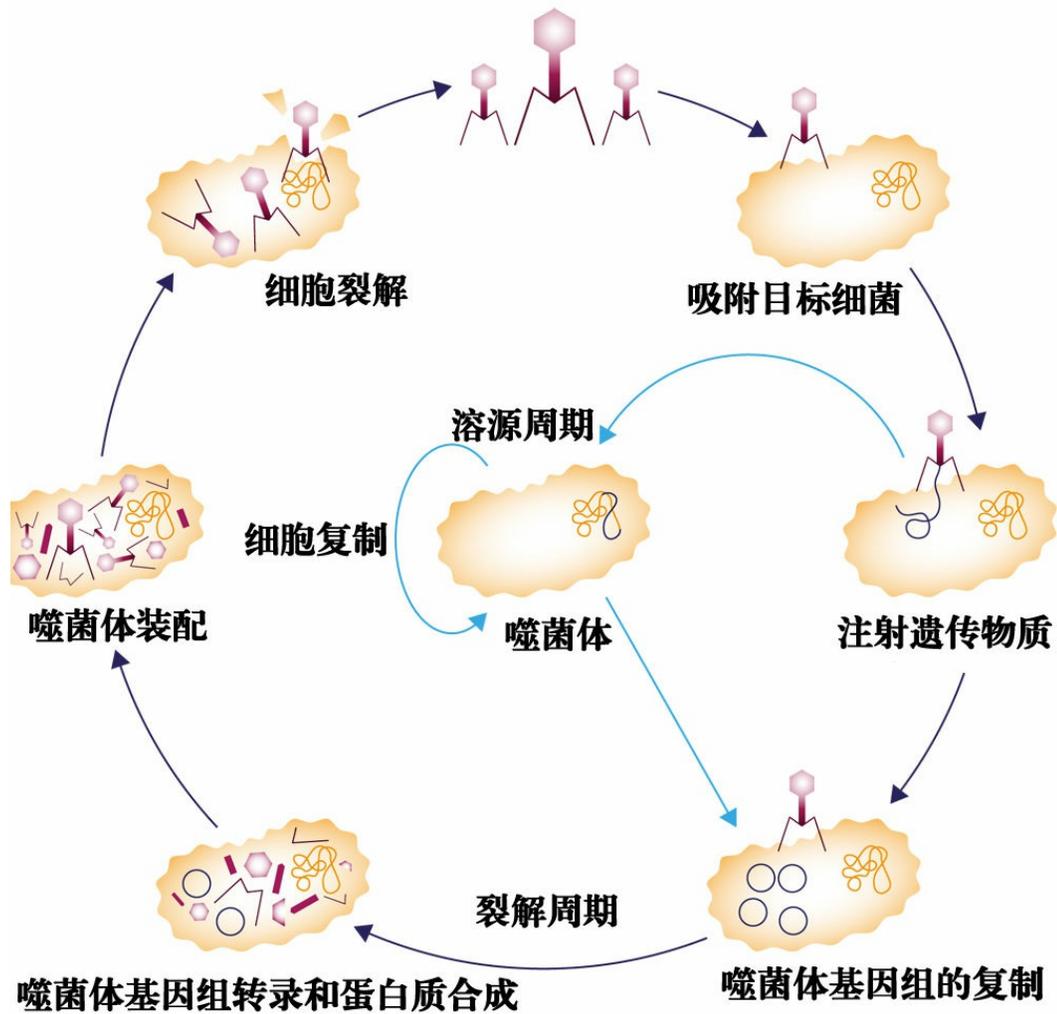
杀菌机制

噬菌体生命周期

噬菌体和所有病毒一样，能够将其他生物的细胞挪为己用，以实现增殖的目的。噬菌体仅以细菌为感染对象。它们有两种不同的生命周期。裂解性噬菌体的生命周期更短，会直接导致细菌裂解（或者说死亡）。

溶源性噬菌体的生命周期中有一段休眠期，其遗传物质会与细菌的遗传物质融合，形成原噬菌体。当细菌增殖时，原噬菌体也会同时复制。

外部信号可导致原噬菌体从溶源周期中觉醒，并像裂解性噬菌体一样进行增殖，最终导致细胞裂解。



重新崛起

令人惊讶的是，直到20世纪80年代，法国还一直有噬菌体溶液制剂出售，当时的医生只要愿意就可以为病人开相关处方。这种疗法最终被叫停的原因并不明朗，但一般认为，经济因素是导致该疗法夭折的主要原因，因为法国卫生部门慢慢提高了药品生产制造过程的安全标准。

这些安全标准对于制造一般的药物分子（如抗生素）来说是可行的，但对于通过大量杀死细菌来制造生物溶液的方法来说，情况就过于复杂了。目前由于缺乏满足安全标准的制造工艺，噬菌体疗法只是纸上谈兵。不仅在法国是这个情况，全世界的大部分国家亦是如此。

但是，由于具有抗生素耐药性的细菌给人类带来了严重威胁，为了应对顽固的细菌感染，噬菌体疗法又被提上议事日程。该疗法的第一步就是选择某个或某些噬菌体，而这些噬菌体必须能够对抗导致疾病的特定菌株。最关键的是，要选择能够使目标细菌快速裂解的噬菌体。

细菌防御机制

当细菌被噬菌体感染时，它有好几种防御手段。其中一种防御机制成为了一种非凡的基因编辑技术的基石。

最简单的防御方法依赖的就是细菌基因组的自发突变。如果某个突变导致噬菌体可以识别的受体发生改变，那么噬菌体就无法找到目标细菌，自然也就无法感染它了。

其他防御手段则需要特定的分子机制，如1970年发现的限制修饰系统。这种系统有几个不同的版本。在最简单的版本中，细菌会合成两种蛋白质：限制酶以及修饰酶。其中的限制酶能够识别噬菌体的一段DNA序列并把它切开，这样就能防止感染。

如果细菌的DNA里也有同样的序列，那么就有可能造成误伤。为了避免不必要的麻烦出现，修饰酶能够改变细菌DNA中相同序列的位点，保护这段序列不受限制酶的影响。在分子生物学中，一些基因克隆技术用的就是这两种酶。

细菌的另一种防御噬菌体的分子机制是在最近被发现的。这种防御方式和人类的免疫系统有些类似，因为它也是基于对过去事件的记忆。这个系统叫做CRISPR（规律成簇的间隔短回文重复），就像一个有许多保险箱的银行。

每个“保险箱”对应着一段细菌曾遇到过的外来DNA序列，这些DNA序列只含有几十个核苷酸。一些名为Cas的酶守卫着这些保险箱。当某段外来DNA进入细菌细胞内的时候，如果它和已经存在于保险箱的序列不匹配，那么细菌就会为它单独制造出一个保险箱；如果某个保险箱里已经记录了这种序列，那么Cas酶就会使其降解。

2012年，加利福尼亚大学伯克利分校的詹妮弗·杜德纳（Jennifer Doudna）的团队以及当时在瑞典于默奥大学工作的埃马纽埃尔·卡彭蒂耶（Emmanuelle Charpentier）发现了Cas蛋白质的分子机制，并开启了利用该蛋白质进行基因编辑的大门。

CRISPR/Cas9这种基因工程技术已经成为真正的分子剪刀，用它可以在基因组的精确位点上实现基因的敲除或替换。该项技术并不仅限于细菌，还可被用在真核生物上——实际上可以应用的物种非常多。因此该技术有广阔的应用前景，在基因工程、基础研究以及基因治疗方面都有用武之地。

该方向的第一批研究针对的是常见疾病，如皮肤伤口、耳道或是肠道感染。2009年，美国生物技术公司Biocontrol在伦敦开展了一次临床试验，这次试验的目的在于评估一种噬菌体鸡尾酒疗法对绿脓杆菌引起的慢性耳炎的疗效。所有接受噬菌体疗法的患者的病情都得到了改善。不过，细菌数量虽然显著降低，但并未完全清除。

最近，雀巢公司也在孟加拉展开了一项旨在减少婴儿腹泻的噬菌体疗法临床试验。该试验证明这项疗法是安全的，但遗憾的是也没有任何作用。因为导致腹泻的关键细菌被搞错了，因此疗法中的噬菌体并没有起到应有的作用。这个试验证明，噬菌体的精准选择是疗法成败的关键。

2013年，法国、比利时和瑞士也启动了一项由欧盟资助的噬菌体疗法临床试验。该试验的目标是治疗受到绿脓杆菌和大肠杆菌感染的烧伤。最近几年这两种细菌的抗生素耐药性显著提升。这项名为Phagoburn的研究将于明年结束。我们希望它能将噬菌体疗法的临床潜力确凿无疑地展示出来。

在巴斯德研究所，我的团队有两个噬菌体疗法研究课题，一个是治疗囊性纤维化患者的肺部感染，另一个是治疗重症监护室病人因使用辅助呼吸设备而引发的肺炎。

囊性纤维化患者的首要死因是绿脓杆菌导致的感染。我们估计，80%的囊性纤维化成人患者受到了这种细菌的感染。这种病原体极难根除，因为它已经产生了针对多种常用抗生素的耐药性。并且这种慢性感染常常持续数年，因为患者肺部充满黏液，成了这种细菌的温床。

我们首先在实验室里对多种会杀灭绿脓杆菌的噬菌体进行了细致研究，以便确定它们对人体没有毒性。接着，我们进行了动物实验。我们在实验中发现，动物肺部细菌的数量减少了，感染状况也得到了改善。这些现象说明，我们挑选的噬菌体对绿脓杆菌是有效的。

接下来我们想要了解，这些噬菌体能否穿透囊性纤维化患者呼吸系统内黏稠的黏液并发挥疗效？我们用10种噬菌体制成了一种鸡尾酒药物，这些噬菌体能够使绿脓杆菌裂解；我们还证明，这些噬菌体能够深入黏液内部杀死细菌。

我们还比较了抗生素疗法和噬菌体疗法对大肠杆菌感染的疗效。现

在有越来越多的重症监护病人因感染大肠杆菌而患上肺炎。抗生素疗法需要多次给药，而噬菌体疗法只需给药一次即可，因为噬菌体会在目标细菌内部增殖。

最近我们和巴黎公立医院集团（Hôpitaux de Paris）的一个团队合作，分离出了一种能在10分钟内产生300个新病毒的噬菌体。该噬菌体的目标细菌是一种异常顽固的大肠杆菌。下一阶段我们将要展开临床试验。

噬菌体的其他医疗应用也还在研发中。其中最值得注意的是与抗生素搭配以增强后者药效的应用。比如，细菌常常会形成生物膜（biofilm），而抗生素无法在这种膜上扩散开来。但是，一些噬菌体会产生能够降解生物膜的酶，这有利于药物分子的扩散。

噬菌体还能充当杀菌活性成分的载体，或者让细菌重新对某种抗生素产生敏感性。

治疗手段

噬菌体疗法的多种应用

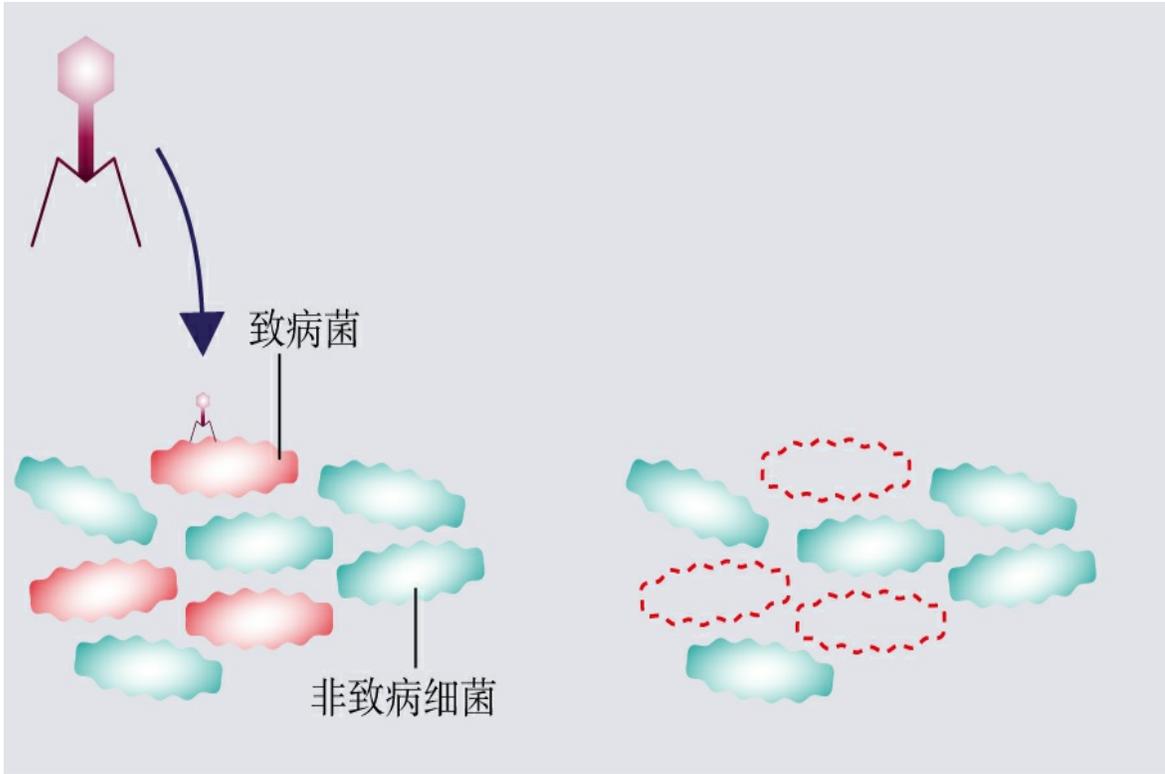
我们有许多方法来利用噬菌体对付细菌。最直接的方法是，利用以单一细菌为目标的噬菌体感染这种细菌，使该噬菌体在细菌细胞内增殖，最终让细菌裂解死亡¹。

另外一种方法是识别噬菌体破坏细菌细胞壁所用的酶，把这种酶分离出来，然后直接使用²。

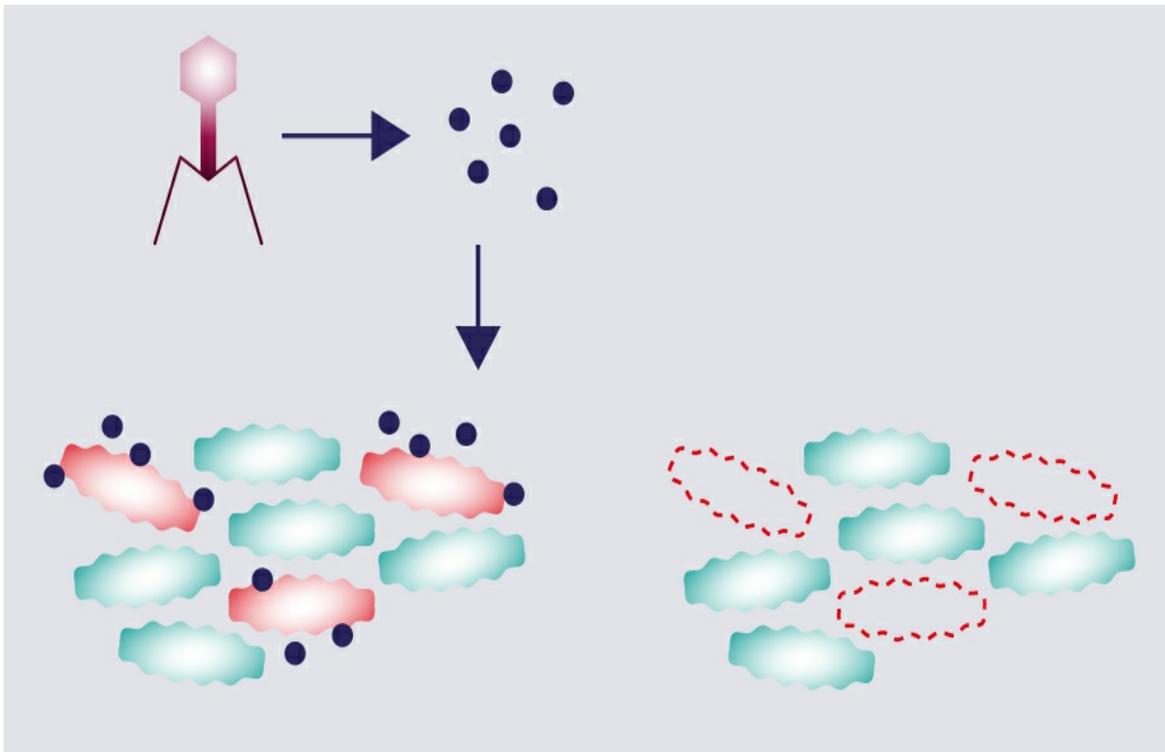
一些噬菌体的酶能够破坏保护细菌产生的生物膜，让抗生素更容易扩散开来³。

最后，溶源性噬菌体能够在产生了耐药性的细菌的基因组中插入某个基因，该基因能够让细菌对抗生素重新产生敏感性⁴。

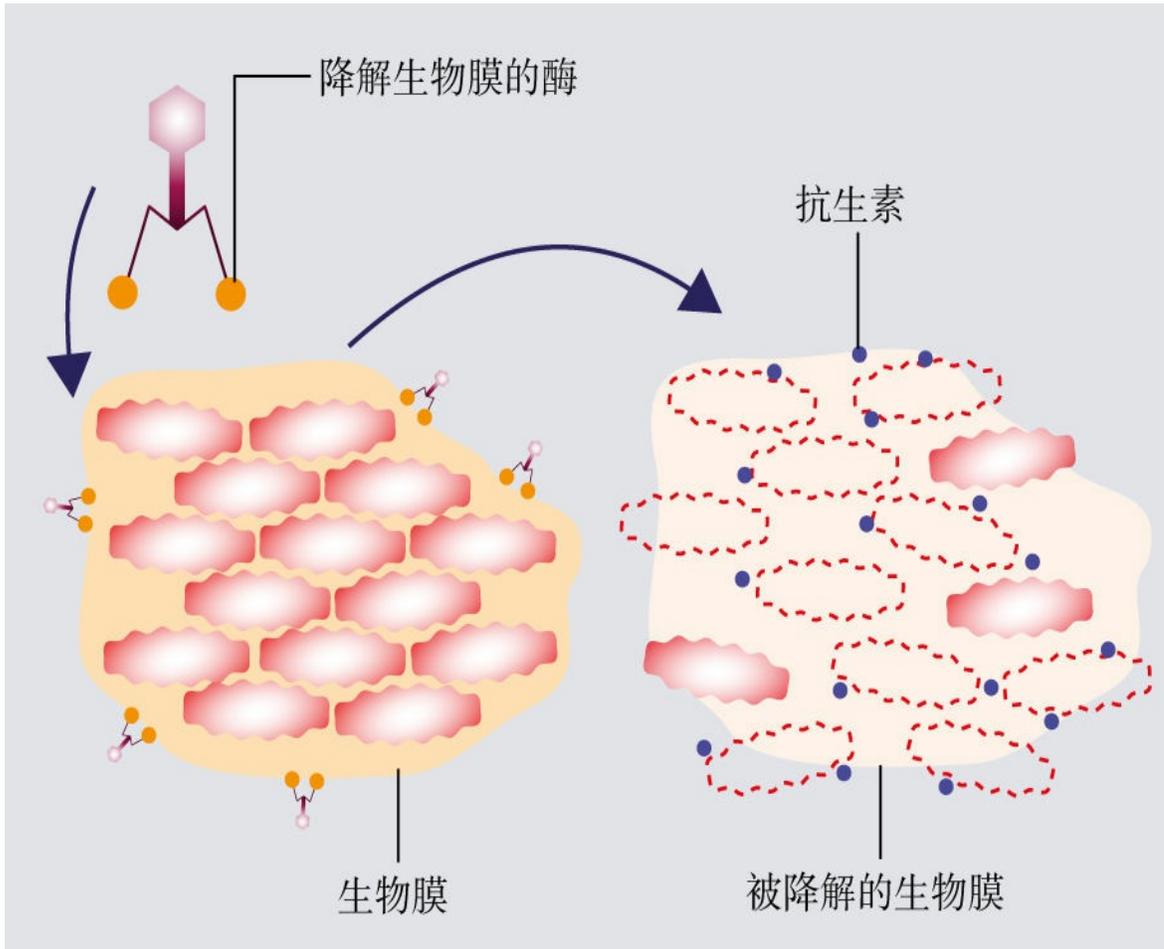
¹ 噬菌体的直接作用



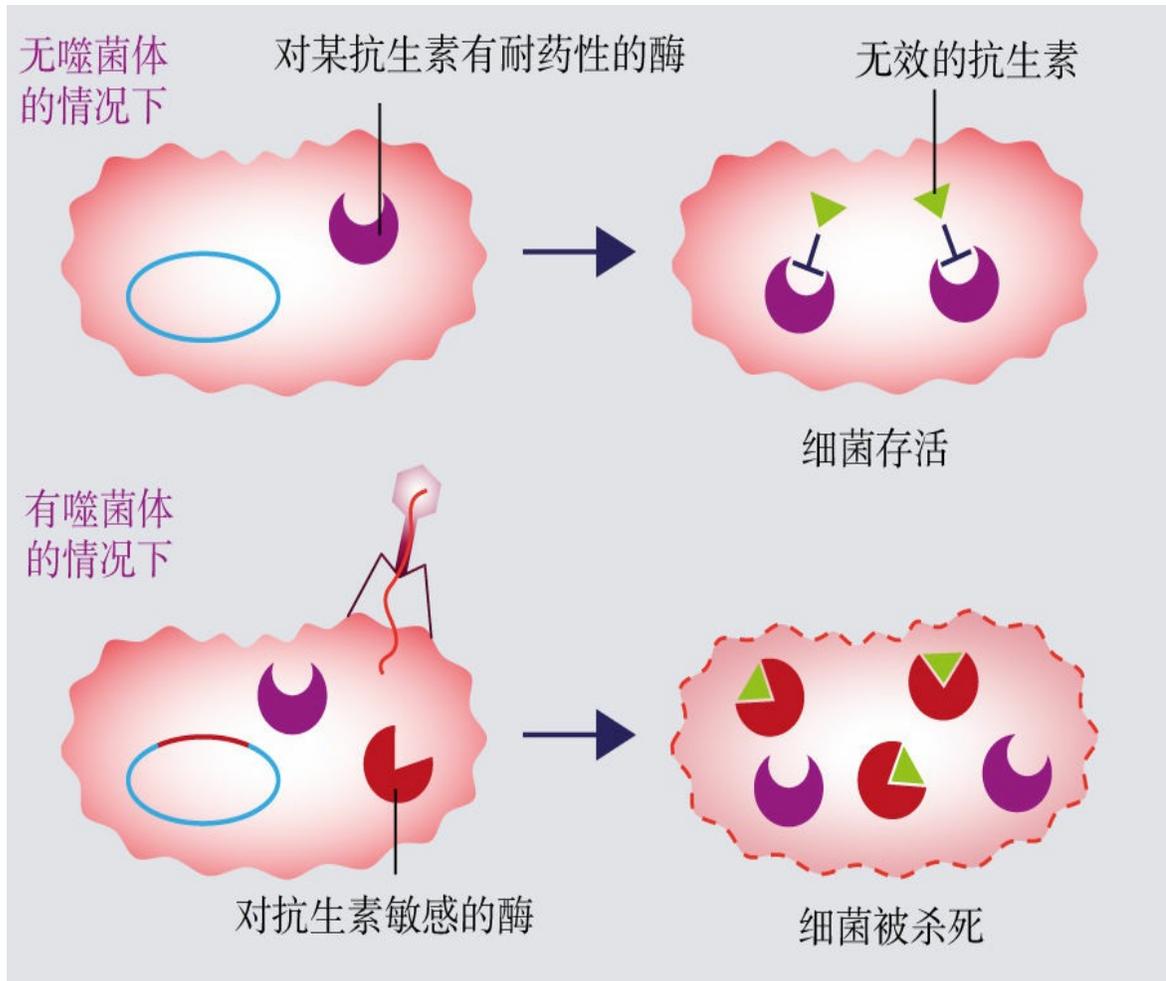
2 噬菌体酶



3 生物膜消失



4 对抗生素的敏感性



团结就是力量

用现代医学手段对噬菌体疗法展开的研究尚处于萌芽阶段，但初步的结果让人充满了希望。

随着抗生素耐药性问题变得越来越严峻，我们得在噬菌体疗法这条道路上加快前进。而为了对付那些最棘手的细菌感染，抗生素和噬菌体需同心协力才能发挥更好的作用。

深度

责任编辑：韩晶晶

封面故事 COVER STORY

微生物九大应用

在我们的印象中，病毒、细菌和其他微生物的名声可不怎么样，但如今它们在我们的生活中却有着越来越大的用处：制造药物、培育良种、医治疾病……

撰文 埃莱娜·杰罗（Hélène Gélot） 玛丽娜·波兰德（Marine Bollard） 翻译 徐寒易

益生菌食品



人们很关心自己的肠道。2015年出版的《不为人知的肠道魅力：关于一个不受人重视的器官的一切》（*Le charme discret de l'intestin : Tout sur un organe mal aimé*）的大卖就很说明问题。为什么我们这么关心肠道呢？因为那里面居住着大约100万亿个细菌，这些细菌参与了我们的消化过程，也是抵御致病菌的屏障，还能强化人体的免疫系统。

肠道微生物群的平衡很容易打破。为了保护这个生态系统的健康，益生菌被认为是最理想的帮手。益生菌指的是那些在大量服用后对身体有益的细菌和酵母。益生菌常被制成药物、膳食补充剂，或者直接添加到食品（如酸奶）中。

目前，许多益生菌产品是针对健康人群设计的，这些产品能够

缓解肠道微生物群紊乱造成的问题，比如抗生素导致的便秘、腹痛、腹泻。

现在许多研究人员正在研发用于治疗特定疾病的益生菌。通过分析某人粪便样本中的DNA，研究者就能够了解他的肠道微生物群的构成。接下来，就可以分析此人所患的疾病和某种细菌数量之间是否存在联系。

有些研究证明，对于肥胖症或是2型糖尿病患者，体内的肠道细菌 *Akkermansia muciniphila* 越多，在节食后健康状况的改善就越明显。目前测试该细菌疗效的临床试验正在进行中，它们有望成为一种能够治疗肥胖症和2型糖尿病的益生菌。

微生物制药



酵母菌可以用来发面、酿葡萄酒、酿啤酒，那么它们能不能制造吗啡？2015年，加拿大康考迪亚大学（Concordia University）的文森特·马丁（Vincent Martin）的团队和加利福尼亚大学伯克利分校的研究人员合作，成功地让转基因酵母利用糖制造出了吗啡。

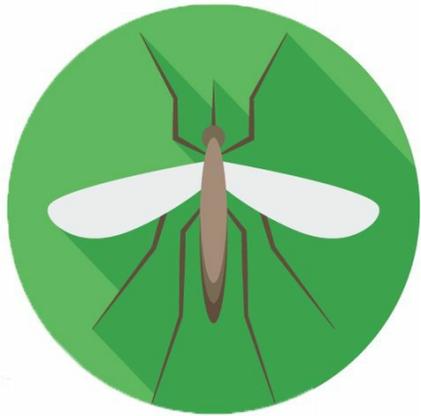
这项技术的原理就是在酵母菌的基因组中插入能生产吗啡分子中间体的基因。吗啡常用于缓解疼痛，一般是从罂粟中提取的。1982年开始，转基因微生物就用于制造药物，比如面向糖尿病人的胰岛素。

但是许多细菌并不需要经过基因编辑就能制造药物。为了遏制其他微生物的生长、获得更多的资源，这些微生物会自发生产这类物质。有时，它们为了传输信号也会生产药物分子。

第一种抗生素——青霉素是在1940年发现的。从那时起，人们利用微生物陆续制造出了不下2.3万种生物活性物质，其中包括激素、抗癌药物以及免疫抑制剂。其中42%的生物活性物质是由真菌制造的，32%是由丝状的细菌（即放线菌）制造的。

人类还在不停地探索、开发微生物世界，希望发现新的药物分子。前景是广阔的，因为依照目前的技术水平，在实验室中只能培养现存细菌中的1%~15%。

消灭传染病



向蚊媒传染病发起的战争已经进入白热化状态。在这场战役中，微生物承担着好几个角色。比如为了消灭登革热，澳大利亚的研究人员把目光投向了沃尔巴克氏体（Wolbachia）。许多昆虫的体细胞中天然存在着这种细菌。

伊蚊是登革热病毒、寨卡病毒和切昆贡亚热病毒的传播媒介。而沃尔巴克氏体却可以阻止这些病毒在昆虫体内复制。这些研究者在实验室中用某个沃尔巴克氏体菌株感染伊蚊，使携带沃尔巴克氏体的雌性伊蚊对上述传染病免疫。这么一来，当这些伊蚊叮咬人类的时候就不会传播疾病了。并且，它们还可以把沃尔巴克氏体传给

下一代。

一年来，研究者在登革热肆虐的地区放飞了许多被沃尔巴克氏体感染的蚊子。这些蚊子携带的沃尔巴克氏体有望逐步感染所有的野生伊蚊。

一个美国团队则利用CRISPR/Cas工具对蚊子进行了基因编辑。这种基因编辑技术来自一种对抗病毒感染的细菌防御机制。研究者在传播疟疾的按蚊体内植入了编码疟原虫抗体的基因，这种抗体能够保护按蚊不受疟原虫感染。

另外，借助于“基因驱动技术”（genedrive），这种基因可以迅速地在蚊子种群中扩散开来。虽然这些转基因蚊子还没到实际应用的程度，但CRISPR/Cas技术已经成了研究人员用来对付蚊媒传染病的常规武器。

“我们会研究哪些基因和蚊子的嗅觉有关，”法国蒙彼利埃发展研究所（l' Institut de recherche pour le développement）的生物学家弗雷德里克·西马德（Frédéric Simard）表示，“在与蚊子以及蚊媒传染病的战争中，任何方法都不该被束之高阁。必须要建立一套工具箱，并因地制宜地把这些方法结合起来。”

治病的病毒



在法国，人们可以接种21种疾病的疫苗，比如黄热病、麻疹、

水痘、乙肝.....在这些疫苗中，9种是用来预防病毒感染的。这些疫苗用的是已被减毒的病毒。当这类疫苗被注射到人体内，人体免疫系统就能学会识别病原体并开始主动防御。不过，病毒本身也可以用来治病。

一个世纪以来，人们一直在研究用噬菌体治疗细菌感染的方法。噬菌体是只攻击细菌的病毒（见《噬菌体疗法：用病毒杀灭致病菌》）。研究者最近还发现，病毒的某些性质能用来治疗癌症。斯泰西·埃尔沃兹（Stacy Erholtz）就是一个被成功治愈的病例。

2013年6月，这位美国人患上了一种多发性骨髓瘤。大多数情况下这种癌症无药可治，因此她决定参加美国梅奥诊所（Mayo clinic）的史蒂芬·拉塞尔（Stephen Russell）领导的临床试验。试验中，医生为埃尔沃兹注射了超过1000亿个减毒后的麻疹病毒（就是MMR三联疫苗中含有的那些）。

几周后，她的身体里一点肿瘤都没有了，从那以后一直没有复发。到底发生了什么事？原来减毒后的麻疹病毒能够通过一种特殊的通道——CD46受体进入细胞。癌细胞的细胞膜上存在超量表达的CD46受体，但正常细胞并不是这样。

因此，麻疹病毒仅感染癌细胞，在其内部增殖最终将其杀死。在死亡的同时，这些癌细胞还会释放出激活免疫系统的信号。

收到信号的免疫系统会开始攻击那些顽固的癌细胞。让-弗朗索瓦·丰特诺（Jean-François Fonteneau）表示：“由于近30年来基因工程的进步，我们才能实现对病毒的改造，让它们仅以癌细胞为目标而不感染正常细胞，并且让它们刺激免疫系统，触发更强的抗肿瘤反应。”丰特诺是法国南特国家健康与医学研究院（INSERM）的研究员，他的研究方向是抗肿瘤病毒疗法。

全世界有二十几个科研团队从事这个领域的研究，他们的研究对象涉及多种不同的病毒。有3个实验室目前正在进行临床3期试验。第一个溶瘤病毒已经于2015年上市。这是一种经过基因编辑的疱疹病毒，被用于治疗转移性黑色素瘤。

丰特诺估计：“将来病毒可能会成为抗癌工具箱中的主要武器。”

高效农业的助手



从远古时候开始，微生物就成为了农民们的亲密战友。植物和微生物之间其实存在着多种多样的共生关系，其中不少已经服务于传统农业生产。

如果用豆科植物和玉米混种，那么玉米就会获得更多的氮和磷，这是因为和豆科植物共生的细菌能够释放出一种酸性物质，使土壤里的氮、磷元素更易被玉米利用。

最近，科学家发现了更加五花八门的“微生物-植物”共生策略。木霉属（*Trichoderma*）的真菌就是一个例子。它们释放出的毒素能够直接作用于病原体，并能促进植物防御系统的活性。

细菌的作用也不差。中华根瘤菌属（*Sinorhizobium*）的细菌能够将大气中的氮固定在豆科植物的根部，而根瘤菌（*Rhizobacteria*）则能通过释放激素或维生素促进植物生长。

法国国家自然历史博物馆的马克-安德烈·瑟罗斯（Marc-André Selosse）认为：“未来几年的关键趋势将是重新挑选那些能够利用这些微生物的植物品种。因为目前的植物品种适合于肥沃的土壤，而它们利用微生物的能力不强。”

里昂高等师范学校（*École Normale Supérieure de Lyon*）的彼得·洛高夫斯基（Peter Rogowsky）则表示，在发展高效农业的进程中，微生物已经成为了生物技术实验室的重要工具。

其中，根癌农杆菌（*Agrobacterium tumefaciens*）成了改造植物的首选细菌。

根癌农杆菌发现于1977年，它原本是一种能够导致植物冠瘿瘤的病原菌，会向目标植物的基因组插入质粒使其病变。后来科研人员成功地使该质粒失去毒性，并利用它来插入有益的基因，比如那些能够使植物免遭虫害，或者耐受除草剂的基因。

40年来，农杆菌渗入法（Agroinfiltration）经受住了时间的考验。在这项技术中，植物的碎片首先浸泡在农杆菌悬浮液中，然后再生为完整植物。

2014年，农杆菌成为了当之无愧的大明星、精准基因组学的平民化代表。它能高效地将先进的基因编辑工具（如CRISPR/Cas9）导入植物的细胞中。广西大学王富军的团队在2016年就培养出了一种转基因水稻，可以抵抗对水稻威胁最为严重的致病真菌。

生物学研究的基石



不研究微生物的实验室存在吗？这对生物学家来说是无法想象的。如果没有微生物，许多科学发现都根本不可能存在。真菌、酵母，还有各种细菌（如大肠杆菌）都是生物学研究的模式生物。

对这些生命体的研究使我们理解了基因的结构和表达，以及DNA的复制、重组和修复的机制。

法国斯特拉斯堡大学的分子生物学家埃里克·马华（Éric Marois）补充道：“有丝分裂、减数分裂一类的细胞机制在多细胞生物中难于研究，但微生物却为遗传学研究提供了一个取之不竭的工具箱。”

细菌在防御病毒入侵时合成的限制酶能在病毒DNA的精确位点实行切割。利用这种酶就能在进行克隆或转基因操作时分离出所需的基因。

质粒这种环状的细菌DNA能够作为基因的载体，将特定基因传输到目标生物（转基因操作）或者需要克隆的宿主细胞（如大肠杆菌）中。

另一个不得不提的技术就是聚合酶链式反应（PCR）。该技术能够利用少量样本扩增出大量的DNA，而扩增DNA所使用的酶，就来自古细菌或细菌。上述技术，以及最先进的基因编辑技术CRISPR/Cas极大地促进了基础研究的发展。

理解演化的机制、重建生命的历史、研究疾病都离不开微生物的辅助。虽然微生物本身毫不起眼，甚至都不能被肉眼看见，但它们带给我们的知识是无穷无尽的，就像微生物世界一样浩瀚无边。

香味的源泉



如果没有微生物“助兴”，法国料理将一无是处。法国的面包、

葡萄酒、奶酪这些美食里都藏着细菌、酵母或真菌的身影。它们和食物的味道有着千丝万缕的联系。

酵母天然存在于葡萄上，通过发酵，它们能将葡萄里的糖转化为乙醇和二氧化碳，这就是我们喝的葡萄酒了。葡萄酒的香气也是在发酵的过程中产生的。

法国农业科学研究院（INRA）的微生物学及酿酒学研究员让-米歇尔·萨蒙（Jean-Michel Salmon）解释道：“一些白葡萄酒，比如长相思（sauvignon blanc）就带有一些黄杨木的香气和热带水果的风味，这是因为它们含有硫醇，这种分子是在发酵过程中产生的。”市场上有超过200种不同的酵母，想要酿造出带有某种香味的葡萄酒就需要挑选相应的酵母。

奶酪的香味则是由丙酸杆菌创造的。格鲁耶尔奶酪（gruyère）的风味就是丙酸杆菌在奶酪成熟的过程中制造出来的。洛克福羊奶酪特有的刺鼻气味和蓝色斑纹就是洛克福乳酪菌（*Penicillium roqueforti*，一种青霉菌）制造出来的。

我们甚至能够利用微生物定制食物的香味。比如黄油的香味实际上是乳酸乳球菌（*Lactococcus lactis*）制造的双乙酰的味道。根据监管要求，厂家可以在通过这种方式生产出的产品标签上标注“天然香味”，而通过化学合成制造的不行。

清除污染



2010年4月的墨西哥湾上，钻井平台“深水地平线”发生爆炸事故，造成66万吨石油泄漏。彼之砒霜，此之蜜糖，一些细菌把石油污染物当成了美餐。据估计，大约20万吨石油以及水下天然气是被微生物降解的。

法国治理碳氢化合物污染的历史可以追溯到20多年前。那时的专家就已经知道利用细菌来清除土壤和水体中的碳氢化合物及其衍生物、燃烧产物和其他污染物。

法国地质研究与矿产局研究员斯特凡·高隆邦（*Stéfan Colombano*）解释道：“生物去污染的主要优势在于，这类方法的成本比化学或热学方法要低廉很多。”

实际上，许多细菌可以直接就地取材，我们需要做的仅仅是刺激它们的生长，比如添加氮、磷一类的营养物质。如果是好氧菌则需要添加氧气。

如果是那些能够分解某些氯化物溶剂、多氯联苯（PCB）等污染物的厌氧菌，则要避免添加氧气。

但是高隆邦表示：“遗憾的是，生物去污染的方法并不总是有效，因为多数细菌无法耐受高浓度污染。”

另一种去污染的方法则是将特意挑选出，或是经过基因编辑的细菌撒入被污染的地方。这种细菌能够消灭特定污染物，比如砷。不过这种方法并非万无一失，因为更适应当地环境的土著菌会阻止新细菌完成清洁任务。

生产燃料



为了从石油向绿色燃料转型，“白色”生物技术（欧洲对工业生物技术的称呼）已经蓄势待发。20多年来，利用微生物制造生物燃料的研究领域呈现出一派欣欣向荣的景象。

一些细菌或酵母菌能够利用木质纤维素生产生物燃料，而这些木质纤维素常常是农业、林业废弃物，比如秸秆、树枝。纤维素经过水解得到的糖能被微生物通过发酵作用转化为乙醇。

这种方法产生的燃料被称为第二代生物燃料。它们的优势就在于不会因使用耕地而挤占农作物的空间。美国、巴西和意大利已经建立了5个第二代生物燃料工厂，这些工厂利用上述发酵过程生产汽油发动机用的乙醇。

不过，这个方法也有缺陷——乙醇和其他物质混杂在一起。另一个研究方向是利用微生物生产直接能用的生物燃料。这个方向利用的是合成生物学技术。在这方面，加利福尼亚大学伯克利分校的杰伊·基斯林（Jay Keasling）就是第一个吃螃蟹的人。

2011年，凯斯林的团队在大肠杆菌中植入了一个人工代谢通路。经过改造的大肠杆菌能够用生物质直接生产柴油。法国公司 Global Bioenergies 的首席执行官马克·德尔古（Marc Delcourt）表示：“我们用同样的原理研发了一种生产异丁烯的全新技术，而且这个产品的衍生物异辛烷则是汽油的完美添加剂。”今年，该公司在德国启动了使用该技术的示范性工厂。

还有一些研究人员正醉心于研发第三代生物燃料——用富含脂类的藻类培养物制造燃料。虽然最近一些生物燃料项目受到了油价下挫的冲击，但毫无疑问，生物燃料是一座等待开采的金矿。

本文译者 埃莱娜·杰罗和玛丽娜·波兰德是法国的自由科学记者和编辑。

扩展阅读

Hélène GÉLOT et Marine BOLLARD sont journalistes et éditrices scientifiques indépendantes.

P. S. Bisen, M. Debnath et G. B. Prasad, Microbes : Concepts and applications, Wiley-Blackwell, 2012.

I. Ahmad et al. (dir.), Microbes and microbial technology :Agricultural and environmental applications, Springer, 2011.

深度

责任编辑：褚波

天文学 ASTRONOMY

追踪暗物质：常进的20年

2015年12月17日，中国暗物质粒子探测卫星“悟空”号发射升空。作为暗物质间接探测领域中的第一利器，“悟空”在过去一年多时间里传回了大量数据。通过分析这些数据，科学家可以回答很多问题。在“悟空”团队即将公布首批分析结果之时，《环球科学》采访了该项目的首席科学家常进等人，深入讲述“悟空”及其背后的故事。

本刊记者 刘洋



2015年12月17日，酒泉卫星发射中心，长征二号丁运载火箭发射升空，把暗物质粒子探测卫星“悟空”送入太空。

供图：中国科学院紫金山天文台

精彩速览

寻找暗物质粒子一直是物理学研究的前沿，世界多个国家都在开展相关的项目，但到目前为止，都还没有探测到暗物质粒子存在证据。

探测暗物质粒子有3种方式：让高能粒子相互碰撞，模拟宇宙大爆炸，将暗物质粒子碰撞出来，然后去探测；检测原本静止的原子核，如果原子核动了，就可能是暗物质碰撞引起的；在太空探测暗物质粒子与暗物质粒子碰撞以后产生的可见粒子。

目前，“悟空”号就是第三种探测方式。运行一年多来，“悟空”号已经向地面传输了大量数据，暗物质谜题的答案，可能就藏在这些数据里。

科学家总能从怪异现象中找到灵感。上世纪30年代，瑞士天文学家弗里茨·兹维基（Fritz Zwicky）发现，星系团的总质量远大于根据发光度计算的结果，最多可能有99%的质量无法解释。也就是说，星系运动速度太快，仅靠发光物质束缚不住这些星系。兹维基因此推测星系团中存在大量不发光的物质，善于创造新名词的他把这种物质称为暗物质。

这为物理学开创了新的研究领域。从上世纪70年代开始，这种神秘物质就一直处于物理学研究的最前沿。但长期努力未能求得理想结果，科学界只是知道这种物质不仅“看不见”，其特性和标准物理模型中的任何基本粒子也都不相同，是一类全新的物质形态。

很多科学家都希望自己能揭开这种神秘物质的面纱。不过，如果时光倒流20年，常进应该不会想到自己会成为这些科学家中的一个。当时，刚过而立之年的常进提出了一种新的电子宇宙射线探测方法。在随后的南极实验中，正是这种新方法帮助当时的科学界发现了电子宇宙射线数据中的异常，这给暗物质探测带来了希望，常进的事业随之迎来转折。

新的希望虽然妙手偶得，但成功绝非轻而易举，常进的对手数量众多且都实力不俗，包括欧洲大型强子对撞机、锦屏山地下实验室和丁肇中领导的阿尔法磁谱仪都为全球所关注，他们都是暗物质探测领域的核心力量。但当常进主导的“悟空”号暗物质探测卫星在2015年12月顺利升空后，他和他的团队终于进入暗物质间接探测竞赛的前沿。

51岁的常进现在是紫金山天文台的副台长，出生于江苏泰兴的他衣

着朴素，步履迅速，总是斗志昂扬。他需要这样的状态，他有太多工作需要完成，还有一个牵涉多个国家的团队需要带领，任何懈怠都可能影响目标的实现。过去几年，他一直在北京、上海、南京和其他几个城市之间穿梭，所有工作的目标都高度一致：寻找暗物质。最近，数据上的突破终于让他少了紧张，多了兴奋，“我们还在按部就班地分析，要确保数据准确。”常进说：“观测数据的确令人振奋，但其意义还需要物理学家、天文学家分析和解读。”

等待二十年

现代科学越来越需要天文数字般的经费，科学家需要用这些钱建造精度更高的设备，聘请最优秀的人才。只有这样，他们才能和全世界最优秀的科学家竞争。但遗憾的是，并不是每个科学家都能获得这种机遇，常进就是如此。事实上，他那一代科学家都是如此。

1992年，常进在中国科学技术大学拿到硕士学位后，来到紫金山天文台，进入这里的空间天文实验室。从经济角度看，那不是属于科学家的黄金时代。当时，中国正在几乎所有经济部门推动大规模的结构性改革，所有机构的经费都在削减，科学领域也不例外。1992年，研发支出和国内生产总值的比例还有0.71%；到了1994年，这个比例竟然降到了0.5%。要不是经济增速尚可，两年时间中出现的如此降幅足够摧毁很多人的科学理想。

“国家没钱，我们就要创新，”常进仔细研究了欧美的科学计划，发现要绕过哈勃望远镜和红外及X射线空间望远镜建立的科研壁垒，研究高能粒子和伽马射线是最好的选择，他决定调整研究方向，“如果继续跟着欧美，我们这一代科学家可能什么成就都没有。我们后来才发现，10 GeV（10亿电子伏特）以上的能段正好是探测暗物质的最佳窗口”。

常进并没有等太久。1998年在德国做访问学者时，常进得知美国要在南极开展一个名为ATIC的宇宙射线观测项目。根据自己的新方法，常进认为ATIC完全可以在不改动硬件的情况下观测高能电子和伽马射线，这可能会让自己的方法得到一个难得的验证机会。他成功说服美国科学家把探测器送到瑞士加速器上试验，试验结果证明他的方法完全可行。

2000年底，当几千立方米的气球在南极上空升起，并在37千米高的

天空完成高能粒子观测时，惊喜出现了。常进发现，观测到的高能电子流量远远超出模型预计的流量。这些异常就像太空打出的惊叹号，每个曾试图窥探宇宙奥秘的物理学家都知道这意味着新的发现。

常进本能地想到了暗物质，这是一个已经萦绕在他脑海中太久的词汇。根据理论预测，暗物质的反物质就是其本身，两个暗物质粒子碰撞会产生电子、伽马射线等高能粒子。如果监测到的高能电子和伽马射线远超预期，不明来历的那部分很可能就源自暗物质。

这次意外让常进找到了事业新方向。2008年，他在《自然》上发表文章，介绍了宇宙高能电子的异常发现，这被美国物理学会和欧洲物理学会评为当年物理学领域的重大研究进展。科学界认为，该观测如果被证实，有可能是人类第一次发现暗物质粒子湮灭的证据——湮灭意味着可观察，可观察又意味着可寻找和可理解，暗物质研究至此迎来曙光。

ATIC的气球留在空中的时间确实太短了——只有20多天，而且精度也不够高。与名声大噪的引力波探测不同，证明暗物质存在的最主要依据不是一个特异信号，而是要通过大数据分析避免统计涨落，从而证明一种具有完全不同性质的新物质存在于这个世界上。

要实现这些目标，最好的工具就是卫星。“没有X射线，伦琴就不会轻松看到夫人的手骨。”常进知道这对科学意味着什么，“不同波段可以看到不同的物理构成，卫星总会让我们看到没有看到过的新东西，我们肯定可以因此看到另一个世界。”新世纪之后，常进就不断申请太空暗物质探测计划，“从2002年算起，申请次数怎么也得十来次”。

回应最初很不乐观。这牵扯到对待科学研究的方式：科学史让人相信伟大的发现总是依赖于科学家的个人兴趣和意外发现，但现代科学研究也证明，科学家的个人兴趣要想变成伟大的科学发现越来越依赖于投入、设备——越来越大的投入和越来越高精尖的设备。

但当时的中国有太多迫切的科学和技术问题需要解决，少数几个大型科学项目所需要顾及的因素也太多。2003年，中国总计研发投入只有1539亿元，其中投向基础研究领域的经费总计只有87.7亿元，对大型科技基础设施的支持很容易就能让其他领域捉襟见肘。



“悟空”团队曾在欧洲核子研究中心做束流试验，这是试验期间，项目首席科学家常进等人与欧洲核子研究中心的科学家合影。

供图：中国科学院紫金山天文台

事情好的一面是，虽然探测卫星的计划一直没有得到明确支持，情况仍然在不断改善。这几年间，常进参与了载人航天和探月工程，对神舟系列飞船、嫦娥系列卫星的研发做出了重要贡献。他甚至还参与了日本的暗物质探测器——量能器电子太空望远镜（CALET）的研发，受邀对探测器进行新的物理设计，他的技术路线正一步步地获得国际认可。

“国际上几个同类探测器使用的都是常进的方法，只是做了适度的改进。”同样在紫金山天文台工作的伍健，在苏黎世工作期间参与过AMS01的工作，这块永磁体是阿尔法磁谱仪最核心的部件之一：“这种方法让探测器的重量降低了三分之一，观测灵敏度提升了50%以上，探测器的效率相当于翻了一番。而且，项目需要的费用也大幅度降低了。”

2011年5月，正是在阿尔法磁谱仪被送上太空后，这场围绕暗物质探测的竞争渐入高潮。当年，中国的研发投入达到8687亿元，其中基础研究投入达到了411.8亿，中国科学院也开始启动一系列大型的科学项目。很快，间接探测暗物质就入选了中国科学院的战略先导专项空间科学项目，一直在做这项工作的紫金山天文台和常进终于从幕后走到前台。

三条路线

科学进步就是这样。有人发现异常，就有人提出新理论去解释这种异常，又会有人用更新的现象去验证前人提出的理论并寻求新发现。在曲折反复中，人类的认知不断丰富。不过，要想真正揭开暗物质的面纱，科学家就必须找到这种神秘的物质。其实，早在常进第一次提交太空暗物质探测计划的2002年，关于暗物质的理论猜测就已经相当成熟了。

很多物理学家相信，暗物质是由大质量弱相互作用粒子组成的。关于暗物质粒子最有吸引力的一个理论是超对称理论，该理论认为每种已知粒子都有一种对应的伙伴粒子，而大质量弱相互作用粒子就是这些伙伴粒子中最轻的。物理学家喜欢这种假设，因为大质量弱相互作用粒子总量的理论预测值刚好和暗物质总量差不多——巧合有时就意味着希望。

根据科学家的推测，可见物质的总质量大约只能占到宇宙总质量的5%，另外95%都是不可见物质——暗物质和暗能量，其中暗物质可以占到宇宙总质量的27%。科学家还推测出了暗物质的某些物理性质：不发光、数量多（每平方厘米每秒就有约100000颗暗物质粒子飞过）、寿命长（否则暗物质粒子早就在宇宙形成后的漫长岁月中衰变成了其他物质）、速度快（每秒运动速度可以达到220千米，相当于子弹速度的600倍）。

尽管听起来清晰明了，但要通过实验手段观测到这些物质从而证明科学界的猜测，其难度之高就完全是另外一事情了。暗物质完全不会与任何可见物质发生作用，科学家也就不能做出一个容器来捕捉这些暗物质。但暗物质并没有暗到无法被发现的地步，它的湮灭会放出伽马射线、中微子和其他带电高能粒子，这就为暗物质的发现提供了理论依据。

原本，科学界认为通过加速器就可以找到暗物质。从本质上说，加速器探测就是通过高能粒子碰撞模拟宇宙大爆炸，将暗物质粒子打出来，然后再观测其性质。在瑞士，当今世界上最大的加速器上有两个大型的实验装置——ATLAS和CMS就一直在做这方面工作。

这种方法在理论上简单直接，实现起来却困难重重，迄今为止都没有任何大型对撞机能给出让人兴奋的答案。其实，在发现新的粒子方面，对撞机的重要性似乎越来越不那么令人满意了：继希格斯玻色子以后，大型强子对撞机就再没碰撞出任何新的基本粒子了。

针对暗物质的第二种探测方法因此得到了大范围的应用。这种方法基于一种假设：暗物质粒子会和普通原子核碰撞（目前得到普遍应用的三种候选原子分别是硅、氙和氩），如果静止的原子核动了一下，就可能是暗物质碰撞引起的。之后，只要把这个碰撞转化成光信号、电信号或者热信号，科学家就能推断出暗物质的存在，进而研究它的性质。

另外，由于地球绕太阳公转，太阳又围绕着银河系的中心转动，地球在不同季节和暗物质的相对运动速度就不同，接触频率就不一样，据此绘制的曲线就有明显的季节特征。在南北半球各设置一个实验室，观测结果又能基本排除温度、湿度和大气差异导致的细微变化，科学家就能确定暗物质是否存在并在此基础上分析这种神秘物质的性质。

但这种观测方法有着非常苛刻的要求。因为地面上使用的材料里都有很微量的放射性元素，这些放射性元素衰变的时候，发出的辐射的能量范围和暗物质粒子碰撞时一样；另外，天上也有大量高能粒子，高能粒子和大气作用产生的次级粒子也会影响对暗物质的观测。

要解决这些问题，最好的办法就是把检测装置埋藏在非常深的地下。实验室越深，宇宙射线对观测的干扰就越小。在四川的雅砻江锦屏山隧道里，中国就建成了世界上最深的地下实验室，在这个位于2500米厚的山体下面的实验室里，宇宙射线通量可以降到地面水平的亿分之一。即便如此，在实际运行了6年时间之后，这里仍然没有发现暗物质的踪迹。

常进率领“悟空”团队选择了第三条路线，到空间探测暗物质粒子相互碰撞后产生的可见粒子。星系中，普通物质是盘状的，只有暗物质相互作用才可能产生云状的伽玛射线分布。因此，只要在GeV以上级别的能段上探测到伽马射线谱线，或者发现了球状或云状分布的伽马射线辐

射，那就是宇宙在向人类发出强烈暗示：我们可能找到了暗物质。

最先进的探测卫星

地处南京市中心的紫金山天文台，距离南京的著名景点——总统府、江宁织造府都很近。秦淮河在这座被称为“六朝金粉”的古都缓缓流过，粗壮的梧桐树站立在城市每一条主要的街道两侧。相比于几百千米外的上海和苏州，节奏缓慢的南京让人感觉格外惬意。

不像很多科研机构，紫金山天文台没有独立的院子，但那座建于上世纪80年代的七层建筑还在提醒大家这个机构曾经的光荣。1928年，紫金山天文台的成立，标志着中国现代天文学研究的开始。大部分时间，常进就在这座楼里分析“悟空”号搜集到的数据。



常进（右）与团队成员分析、讨论“悟空”传回的数据。

供图：中国科学院紫金山天文台

几乎所有科学家得到的关于宇宙的知识都是来自电磁波段实验积累的数据。400年前，伽利略用自制的望远镜开始探索可见光世界。从那时开始，天文学家把观测设备的能力不断提升。他们学会了观测无线电波、微波、红外线、紫外线、X射线以及伽马射线等，从而揭示了船底座星云中恒星的诞生，土星卫星上面喷泉的喷射，找到了银河系的中心位置，探测到了类似地球的行星。但是，95%的宇宙是无法用传统的天文学手段观测到的。要想了解到这部分宇宙，科学家就必须借助不断升级的技术积累下的大量数据。

于是，当“悟空”号每天飞过中国，北京密云、新疆喀什和海南三亚的三个接收站就会接收数据，平均16G的数据会从500千米高的天空传回地面。之后，相当于10部高清电影的数据会被传送到北京的空间科学中心。在这里，来自不同接收站的数据经过还原和拼接，变成超过100G的数据包。接下来，这个数据包会传送到紫金山天文台供科学家分析。

在紫金山天文台三层的办公室，排满三面墙的17个显示器昼夜不停，科学家就从这里看到卫星的状况和数据分析的结果，数据的存储和运算则在隔壁几间被封锁起来的办公室进行。另外一面墙上安装了大屏幕，这样，世界各地的科学家就可以随时举行视频会议。

“卫星刚上天时，这个屋子坐满了来自各个机构的科学家和工程师，大家就担心万一出了问题，该怎么解决。”伍健是暗物质卫星科学应用系统的总设计师。高中时，他的理想是通过核聚变解决能源问题，这是一个在当时看来充满希望却直到现在都未能解决的问题。相反，那个在当时看来遥不可及的问题——发现暗物质却有了希望，伍健不想错过这样的机会。现在，他最大的理想就是“悟空”能平稳地在天上飞行，从而传回更多数据。

“悟空”代表着中国最高超的制造工艺。1立方米的探测器集成了75916个子探测器，4个核心部件——塑闪阵列探测器、硅微条探测器、BGO量能器和中子探测器——各有用处又互为备份。通过将高能粒子能量转化为光信号和电信号，这些部件可以精确测出粒子的能量、发射方向和其他性质。连接这些核心部件的是616支光电倍增管、616路高压电缆、1848路信号电缆、4.5万个高压焊点、16块电子学板、92个接插件和136路热电偶。

很多不起眼的部件背后都有极为严苛的标准，例如分压板只有两枚硬币大小，但要控制18万倍的电压范围，硅微条探测器上的硅微条只有100多微米宽，重量接近卫星总重量一半的BGO量能器上的BGO晶体边长达到了60厘米，这比之前的世界纪录长了整整一倍。除此之外，还有35000行代码，每一行代码的错误都有可能让这个探测器遭受灭顶之灾。

目前，“悟空”是暗物质间接探测领域中的第一利器，它对入射粒子的位置测量精度可以达到头发丝直径的百分之一。由于可以探测电子、伽马射线和质子的能量、方向、携带电荷和到达时间等12个变量，“悟空”的价值远远超过任务本身，它可以回答科学界的很多疑问。除了暗物质，它还有望告诉人们宇宙射线究竟来自哪里，这同样非常重要。

但以传统视角观察，这颗卫星太不安全了。它的重量是1.8吨，但载荷重量超过了1.4吨，载荷和卫星平台的质量比达到了3:1。经过多年发展，中国确实不缺少卫星发射能力，但把一颗载荷与卫星平台质量比超过1的卫星送上天，对中国来说还是第一次。不只紫金山天文台，上海的微小卫星创新研究院、中国科学技术大学、中国科学院的近代物理研究所和高能物理研究所，都参与了研发，他们还请来了专门研究雷达和系统的工程师。

为了保证卫星能够顺利走过最初的三个月——那意味着卫星没有设计问题，伍健和来自其他机构的同事做了超过100个重要预案，又让每个岗位的人思考如何紧急处理各自岗位上出现的棘手问题。他们检查了每一件设备，校准了每一个零件，分析了每一行代码，“光是操作手册就有这么厚”，伍健双手括出一段距离，大概有十几厘米，“每个礼拜，我们还要开一次视频会议。”就算这样，他们还是不放心：“总觉得会出点什么问题。”

他们担心的问题最终也没有出现，“效率是100%”，因为有更好的探测能力，“悟空”号搜集的数据量迅速超过了更早被送上太空的日本量能器电子太空望远镜。想着“悟空”号每6个月就能巡天一次，大量数据正源源不断被传到南京，常进终于放松了一点。

一定有更大的惊喜

按照最初的规划，“悟空”号将在升空后的两年时间内完成一次全天

扫描；之后一年，“悟空”号将对暗物质较多的地方进行针对性扫描。这样，在三年设计寿命到期前，“悟空”号将给出很多关于暗物质的证据，由此积累的大量数据也是进一步分析的基础。

为了保证“悟空”项目的顺利进行，紫金山天文台有一个严格的排班表。项目开始之初，由于担心无法及时解决很多突发问题，很多人甚至凌晨三点就会来到实验室。到后来，随着一切都走上轨道，排班的频率才逐渐降低到每个人的体力可以支撑的程度。

现在，这颗卫星已经运行超过一年，搜集到的几万GB数据让这一代科学家距离梦想近了很多。从统计学的角度来说，他们已经可以排除许多干扰和噪声，已经接近看到谜题的答案。去年十月，常进的团队就在简单的数据分析后初步确定，他们有了新的发现。但放松仍是个奢侈品，所有科学家都保持着相当的谨慎，“这只是万里长征的第一步”。

常进尤其如此，他完全没办法放松下来。卫星升空后，还在发烧的他一回到南京就“教训”了实验室所有的人，他觉得大家的状态不对，“万里长征才刚开始啊”；他不断出差协调各方，他希望所有人都能在统一框架下精诚合作，他不想这个过程有丝毫耽搁；他甚至还提到了日本那颗用来研究黑洞的卫星“瞳”的解体和SpaceX火箭的爆炸，这都让他有点后怕，事故的原因显而易见——前者因为代码错误，后者因为液氧罐故障，但避免差错就是很难，“我来自泰兴农村，这颗卫星可相当于泰兴几个乡农民的年收入啊”。

但这已经是成本最低的暗物质探测卫星了，“费用大概只有阿尔法磁谱仪的二十分之一”。建造各种尖端探测器时，科学家常有这样的说法，“只有建造一个不完美的探测器才能学习如何建造一个更好的探测器”。但常进和伍健都说，他们没机会这样做，他们必须做一个完美的东西出来，结果当然如愿。他们说，这要归功于这个团队已经详细思考了所有细节，并且参与了非常多的国际合作，还采用了最成熟的设计理念和最先进的技术。

不只常进，甚至不只紫金山天文台和这个机构的合作伙伴，所有关注暗物质的科学家都在关注这个团队的进展，即便大家使用的是完全不同的研究方法。因为，这三种方法在理论上来说可以互为补充。如果“悟空”号找到的暗物质粒子的质量超过现有加速器的能量上限，加速器的能量就必须提高，地下直接探测实验的方案也就有了明确的努力方向。

这一点在去年更加明显了。2016年3月，丁肇中宣布最快可能在2024年通过观测证实暗物质的存在；4个月后的7月21日，中国锦屏地下实验室PandaX的负责人季向东宣布，在3.3万千克/天的曝光量下，实验室没有发现暗物质粒子踪迹，实验室在此前100天记录的3000万次事件中仅有一个可疑，这个事件最后也被证实源自材料的放射性。越来越多的人都从那时开始等待南京的声音，大家都期待这个团队能给这项事业带来好消息。

常进领导下的庞大的数据团队——包括仪器设计者在内的全球100多位科学家都没机会放松。第一个阶段的工作小有收获，卫星状况也出乎意料的好，数据分析与研究都进展顺利，这些让常进轻松了很多，他开始能开开玩笑，愿意和人交流自己在过去几个月的得失。当然，最让他高兴的是，卫星的设计寿命还剩两年多时间，他可以在这段时间里得到大量数据，这就像倾听一个来自未知世界的交响乐——不只动听，还很迷人，而且神秘。

“我们还是做好自己的工作，”常进想了想说：“我们已经触碰到新的世界，一定有更大的惊喜等着我们。”

深度

责任编辑：廖红艳

天文学 ASTRONOMY

How to Swallow a Sun

现场直击：黑洞吞噬恒星

在新技术和巡天项目的帮助下，天文学家目睹了超大质量黑洞撕碎恒星的整个过程。

撰文 S·布拉德利·岑科（S.Bradley Cenko） 尼尔·格雷尔斯（Neil Gehrels） 翻译 董燕婷 李东悦
审校 苟利军



图片来源：罗恩·米勒（Ron Miller）

S·布拉德利·岑科是美国航空航天局戈达德太空飞行中心（NASA Goddard Space Flight Center）的天体物理学家，担任雨燕（Swift）任务的副项目科学家。他利用大面积地基和空间巡天项目来研究时变宇宙。



尼尔·格雷尔斯是美国航空航天局戈达德太空飞行中心的天体物理学家，是天体粒子物理实验室主任、雨燕任务的项目负责人和大视场红外巡天望远镜（Wide-Field Infrared Survey Telescope, WFIRST）、费米伽马射线空间望远镜（Fermi Gamma-ray Space Telescope）的项目科学家。2017年2月，就在《科学美国人》即将刊出这篇文章时，尼尔·格雷尔斯永远离开了我们。



精彩速览

一颗十分靠近超大质量黑洞的恒星将被潮汐力撕扯成碎片，然后被黑洞吞食掉。

新的广角望远镜可以帮助天文学家细致地研究这类灾难性天文事件。

通过观测黑洞吞噬恒星的过程，天文学家对黑洞如何“进食”，如何将物质加速到接近光速，以及黑洞的生长如何影响周围的星系都有了更为深入的了解。

在银河系和其他几乎每一个大星系的中心，都潜藏着一个深层的宇宙奥秘——一个超大质量黑洞。这些天体把数百万至数十亿个太阳的质量压缩到比太阳系还小的区域内，它们是如此奇怪，以至于看起来非常神秘。还没有科学家能够解释，自然界是如何将这么多物质压缩到如此小的空间中。但可以肯定的是，超大质量黑洞伸出了无形的“引力之手”，以深刻而微妙的方式影响周围星系的形成。科学家希望通过研究这些幽灵般的黑洞的生长及行为，揭开星系诞生和演化的秘密。

但问题是，超大质量黑洞不发光，它们大部分时间都在休眠，我们看不见。只有当它们“进食”时，才会苏醒过来，但超大质量黑洞的食物极其少有，因为围绕它们旋转的大多数气体、灰尘和恒星都待在稳定的轨道上，超大质量黑洞根本吃不到。它们总是很饥饿，每当有数量可观的东西恰巧掉入时，超大质量黑洞就会“疯狂进食”，这一现象从非常非常远的地方就能看到。

在过去半个世纪的大部分时间里，科学家主要通过观测类星体来研究这类正在享受盛宴的黑洞。类星体在1963年由天文学家马腾·施密特（Maarten Schmidt）发现，它们是活动星系的超亮中心，每一个都比数十亿个太阳还亮，无论你处在宇宙的哪个角落，都可以观测到它们。当大量气体尘埃冲向一个超大质量黑洞，绕黑洞转动时，会发热发光，持续数十万或数百万年，在这个时候就被认为形成了类星体。然而，类星体并不是理想的研究对象。它们是一些极端事件，通常都相当遥远且相对罕见，其生命周期只构成了超大质量黑洞一生的一小部分。因此，它们提供的视角很有限，天文学家无法由此获知我们星系的超大质量黑洞平常是如何“进食”和生长的。虽然研究人员还可观测围绕超大质量黑洞快速转动的恒星，通过计算恒星的速度来研究它们，但这种方法只适用于非常近的天体——比如位于银河系和临近星系中的天体，只有在这个范围内，当前的望远镜才可以分辨出单个恒星。

1988年，英国天文学家马丁·里斯（Martin Rees）提出了研究超大质量黑洞的第三种方法——直到最近，这种方法才真正显示出了它的优越性。天文学家可以通过寻找来源于黑洞附近短暂而明亮的光芒，而非通过观察类星体持续不断的发光或绕黑洞转动的恒星来研究黑洞。这类爆发被称为潮汐瓦解事件（tidal disruption event, TDE），当一个超大质量黑洞吞噬一颗不幸的恒星时就会发生。潮汐瓦解事件会持续几个月而非几千年，研究人员可以完整地见证从“进食”开始至结束的整个过程，并且在这个过程中黑洞周围足够明亮，不管是发生在附近还是遥远的星系中，我们都能够观测到。

潮汐力瓦解恒星

潮汐瓦解事件非常剧烈，远非海岸边冲走游客浴巾的潮水能比。不过，两者在原理上有相同之处。地球上的潮汐主要由月球的引力拖拽引起，即在靠近月球的一侧，地球受到的拉拽更强。月球对地球远端和近端的引力差被称为潮汐力。在地球朝向月球的一侧，潮汐力会产生一个

高潮，有点反常的是，它也会在相反的一面产生一个高潮，当然潮汐力也会产生一个相应的低潮，不过是在与地月轴线的夹角为90度的地方。当一颗恒星在一个超大质量黑洞附近时——可能是被附近另一颗恒星的引力推到那里的——强烈的潮汐力可以将它撕成碎片。



类星体是宇宙的灯塔，它们形成于超大质量黑洞“进食”星系气体时，但对研究超大质量黑洞是如何“进食”的天文学家来说，此类罕见、遥远并迟缓的事件，并不是理想的研究对象。天文学家现在正在监测那些吞食单个恒星的巨大黑洞。

图片来源：NASA, JPL/Caltec

这颗恒星将以哪种方式消亡，取决于恒星和超大质量黑洞的大小。一个小而致密的天体，例如白矮星，抵抗潮汐力的能力远比一个更大、更蓬松的类太阳恒星强，这类似于一个保龄球比一团棉花糖更难撕裂。最大的超大质量黑洞具有数十亿倍太阳质量，它们太大了，大到无法引起潮汐瓦解事件——在潮汐力撕裂恒星之前，它们就已经吞噬了整个恒星。相反，数百万个太阳质量的黑洞周围的潮汐力将会撕裂距它约5000万千米（约为水星与太阳的距离）内的大多数恒星。

虽然撕裂一颗恒星这样的大规模事件已经够壮观了，但这还只是一场烟花表演的开始。在恒星被撕裂之后，碎片将分散开，逐渐偏离恒星的原始轨道。基础轨道力学指出，大约一半的碎片将被排出，成为从黑洞附近流出的纤长细丝，而另一半则旋绕黑洞，形成一个吸积盘——一

种缓慢落入黑洞的螺旋环结构。当吸积盘的物质落入黑洞时，会加速至接近光速，并在引力和摩擦力的压缩和加热下，温度不断升高，在接近250000℃时会开始发光。在几周或几个月的时间内，一次典型的潮汐瓦解事件将导致先前休眠和看不见的黑洞暂时比星系中的所有恒星都要亮。

宇宙中最亮的焰火

虽然理论学家在几十年前就预言了潮汐瓦解事件的存在，但直到20世纪90年代和21世纪初，天文学家才真正观察到这一现象。之所以花了这么长时间才观察到，是因为潮汐瓦解事件非常稀有——据估计，在银河系这样的星系中，每10万年才发生一次潮汐瓦解事件。这类事件也很难观测到。简单的理论模型表明，潮汐瓦解事件中，吸积盘的发光峰值应该在电磁光谱上所谓的软X射线或远紫外部分。但由于星际尘埃和地球大气的干扰，科学家难以从地面上对这个波段进行观测。同样的模型还表明，天文学家可以利用潮汐瓦解事件对黑洞质量进行相对精确的估计。质量是一个关键数据，可以帮助天文学家解释黑洞的大小是如何影响自身行为及所在星系环境的。要测量黑洞的质量，天文学家只需简单测定潮汐瓦解事件达到峰值亮度所花的时间（它揭示了吸积盘形成和黑洞“进食”的速度）。潮汐瓦解事件是如此明亮，研究人员可以利用它们确定更遥远的超大质量黑洞的质量，这一点其他任何已知现象都办不到。

根据伦琴X射线天文台（ROSAT）和星系演化探测器（Galaxy Evolution Explorer）紫外空间望远镜的数据，天文学家发现了第一批潮汐瓦解事件候选者。它们是一些爆发事件，持续时间从几周到几个月，而且位置处于先前休眠的星系中心。作为早期理论预测的现象的首批潜在观测证据，这些发现对建立一个全新的研究领域格外重要。然而，由于这些证据主要是从旧数据中发现的，天文学家错失了在多个波段上实时研究它们的时机，无法揭开最深层次的秘密。而要想在潮汐瓦解事件刚发生时就发现它们，天文学家必须非常幸运，或是持续不断地在广阔的天空搜寻。

幸运的是，过去10年中，数据存储和传感器的稳步发展使这种雄心勃勃的巡天项目成为可能。现在，一台高端光学相机能在单次快照中对一平方度或更多的天空区域成像，这种情况类似于在通过“管窥”的方式观察研究天文事件多年后，突然用全景镜头去观察天空。通过反复进行

大面积巡天，并以数字化的方式合并得到的图像，剔除暗弱的临时特征，天文学家现在能更容易地发现和研究潮汐瓦解事件和一系列其他暂现天体物理现象。这些新的大视场巡天，例如全景巡天望远镜和快速响应系统（Panoramic Survey Telescope and the Rapid Response System, Pan-STARRS，简称泛星计划）、帕洛马暂现源工厂（Palomar Transient Factory, PTF）和全天空自动超新星巡天（All-Sky Automated Survey for Supernovae, ASAS-SN）主要设计用于识别超新星和小行星，但除此之外，它们还可以做更多。因为它们每晚可以对数百万个星系成像，对潮汐瓦解事件这类更奇异的暂现现象也很敏感。

目睹黑洞吞噬恒星

2010年，在Pan-STARRS开始运行后不久，美国天文学家苏维·吉扎里（Suvi Gezari）带领的团队发现了一次潮汐瓦解事件（被称作PS1-10jh），这一事件发生在质量约为200万个太阳的黑洞周围，所在星系距离地球约27亿光年。由于这次事件是在数据收集后很短时间发现的，吉扎里和同事第一次能够在后续的光学和紫外波段观测和研究它。他们的发现非常令人吃惊。

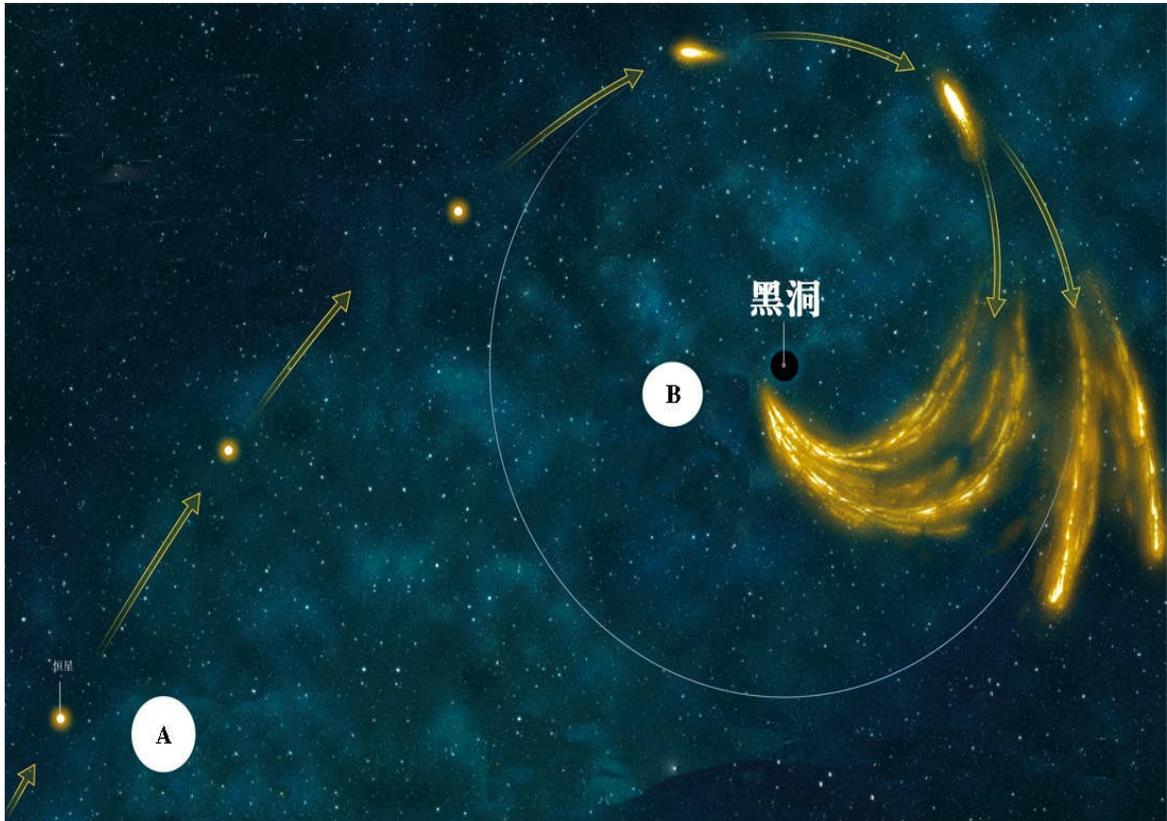
从光谱来看，这次特殊的潮汐瓦解事件显得非常“冷”，温度大约在30000℃，还不到大多数吸积盘基本理论预言的1/8。而且，PS1-10jh并没有随着吸积盘的冷却和消散在数周内逐渐消失，而是在初次发现后的很多个月内都维持温度不变。最奇怪的是，Pan-STARRS在PS1-10jh的余辉中探测到了电离氮的信号——这只有在温度超过100000℃时才可能产生。此外，虽然天文学家在这一潮汐瓦解事件中探测到了大量的氮，但似乎没有探测到氢——宇宙中丰度最高的元素，同时也是恒星的主要元素。理论学家已经开始着手研究，是什么机制产生了如此让人困惑的结果。

过程

黑洞吞噬恒星

黑洞不会发光，但仍然可以产生宇宙中最明亮的一些现象。最亮的现象来自于超大质量黑洞，这些潜伏在大多数星系中心的神秘天体，质量比太阳重数百万至数十亿倍。

当流浪的恒星过于靠近这些宇宙怪物时，会被强烈的引力场撕裂，将气体流送入黑洞；气体在掉入黑洞的过程中会被压缩和加热，同时发光。这类爆发被称为潮汐瓦解事件，在整个宇宙中都可以看到，通过观测这类事件，天文学家对超大质黑洞如何“进食”和生长有了更深入的理解。



图片来源：马修·通布利（Mathew Twombly）

A 开始……

超大质量黑洞对恒星的近侧施加的引力远强于远侧时，就会产生潮汐瓦解事件。这些“潮汐力”的强度取决于黑洞的质量和恒星的密度。一颗质量与太阳相当的恒星靠近一个质量为100万颗太阳质量的黑洞时，会向太妃糖一样被拉伸。

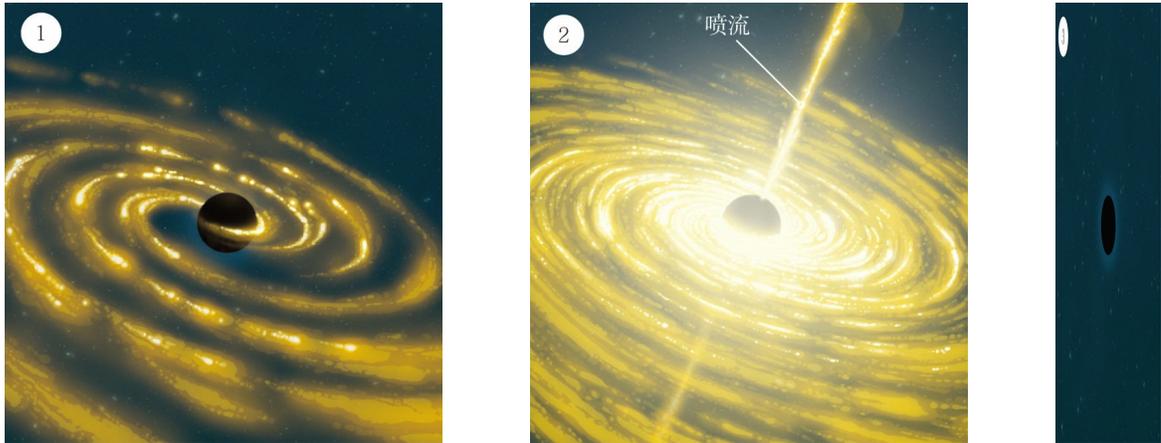
B ……结束

潮汐力随着恒星越来越接近黑洞而增强，最后潮汐力克服恒星的自引力，并将恒星撕裂成弧形的气体细丝。一半细丝飞离黑洞，再也不会回来。其余的气体旋绕成为衰减轨道，形成一个白热的吸积盘，将恒星碎片送入黑洞。天文学家通过黑洞苏醒时的发光吸积盘，来探测潮汐瓦解事件。

宇宙焰火

潮汐瓦解事件是天体物理学家见证超大质量黑洞苏醒①、大快朵颐②后又恢复平静

③的唯一已知方式。通过跟踪吸积盘形成、达到峰值亮度和逐渐变暗分别所需的时间，科学家可以估算出被吞噬恒星的大小，以及黑洞的质量和自旋情况。研究人员还可以监测黑洞“进食”时产生的吸积盘中的激波，以及相对论性喷流（以接近光速从黑洞两极喷射的粒子流）。没有其他宇宙事件能像潮汐瓦解事件这样，为天文学家研究黑洞周围的极端动力学过程提供如此详尽的信息。



为了解释PS1-10jh为何缺乏氢元素，Pan-STARRS团队提出，这个被瓦解的恒星可能在之前的某一个时刻，比如在和黑洞相互作用的过程中，已经失去了厚厚的氢包层，只剩下富含氦的核为吸积盘提供物质。但这样还不足以解释这次潮汐瓦解事件中非常奇怪的热矛盾——惊人的低温与大量需要很高温度才能产生的电离氦。为了解答这个谜团，其他理论学家提出一个假定，那就是在PS1-10jh中，黑洞周围的吸积盘实际上并没有被直接观测到。相反，天文学家观测到的是距离黑洞更加遥远的一层类似于面纱状的气体，它们吸收了由吸积盘产生的强烈辐射，然后以更低的温度重新辐射出来。这层面纱的额外好处是可以解释氢的缺乏，而不需要一个奇怪的、富含氦的星核作为这个潮汐瓦解事件的主角。只要温度合适，密度也较高，这样一层面纱完全有可能遮掩氢的存在，把氢隐藏起来。

但问题是，如果处在上文所说的距离上，这层厚厚的面纱状气体是不稳定的——随着时间流逝，这些气体要么掉入黑洞，要么消散得无影无踪。面纱状气体的起源也是激烈争论和研究的焦点，总的来说，面纱状气体的起源有两种可能性，这两种可能都与吸积黑洞的动力学有关。当被瓦解的恒星残留物围绕黑洞转动，形成一个逐步增长的吸积盘时，激波会像涟漪般从盘中向外传播，阻止外围的一些残留物直接掉落，形

成一个临时的物质屏障。或者，一个刚发生的潮汐瓦解事件的吸积盘也许最初向内提供了非常多的物质，以至于在短时间内超过了黑洞吸积的极限，在黑洞外围形成的暂时的风或者外流，将恒星的一些残留物推出吸积盘，停留在更远的距离上。

天文学家提出了各种假设来解释PS1-10jh和接下来发现的其他潮汐瓦解事件，并试图自圆其说，他们越来越意识到：潮汐瓦解事件是一个比之前任何人预想的都要复杂的现象。但他们没有料到的是，更大的意外还在后面。

新发现

一顿超长的盛宴

撰文 迈克·沃尔（Mike Wall） 编译 廖红艳

发表于2017年2月《自然·天文学》（*Nature Astronomy*）杂志上的一项新研究表明，一个超大质量黑洞撕碎了一颗恒星，然后花了十多年时间吞噬它的遗骸，时间长度大概是以前观测到的此类潮汐瓦解事件的10倍。研究人员说，进食时间如此之长，意味着这颗恒星非常巨大，或者与其他掉入超大质量黑洞的恒星相比，这颗恒星被吃得更干净。这次潮汐瓦解事件发生在距地球18亿光年的一个星系中，美国航空航天局的钱德拉X射线望远镜、“雨燕”空间望远镜以及欧洲空间局的XMM-牛顿卫星都观测到了它发出的X射线（XJ1500+154）。

2005年7月，XMM-牛顿卫星第一次发现这一X射线源，然后钱德拉X射线望远镜和“雨燕”空间望远镜也加入了观测的队伍，并一直到今天。来自钱德拉X射线望远镜的数据表明，XJ1500+154事件发生在一个星系的中央，这意味着这一事件极有可能与超大质量黑洞有关。黑洞的强烈引力引起的潮汐力会撕碎过于接近的物体，比如恒星。恒星被撕碎后，一些恒星碎屑会被高速抛出，其余的碎屑落入黑洞。当越来越接近并最终落入黑洞时，恒星碎片会被加热到几百万度并发出X射线。

“我们目睹了一颗恒星壮观而漫长的死亡，”这项研究的负责人、新罕布什尔大学的林达成（Dacheng Lin）说，“自20世纪90年代以来，天文学家已经发现了几十次潮汐瓦解事件，但是它们持续的时间远没有这个久”。

3台望远镜的观测结果还显示，这个吃货黑洞正在迅速长大。这个事件可以帮助我们理解，早期宇宙中超大质量黑洞是如何形成的。如果超大质量黑洞可以通过潮汐瓦解事件或其他方式快速生长，就可以解释为什么超大质量黑洞能够在宇宙只有十亿岁时质量就比太阳高出约十亿倍。“这个事件表明，黑洞真的可以以非常快的速度增长，”论文合

作者、黔南民族师范学院的客座教授斯蒂芬妮·科莫萨（Stefanie Komossa）说，“这可能有助于理解超大质量黑洞是如何形成的。”

当然，这顿超长的盛宴也有结束的一天。研究团队通过模型预测，未来几年，XJ1500+154的X射线亮度将逐渐减弱，并在接下来的10年内完全消失。

来自“雨燕”的震撼

这个意外在2011年3月28日凌晨到来，一条自动产生的提示信息发送到了全世界多位天文学家的手机上。“雨燕”（Swift）刚刚探测到了来自深空的高能辐射脉冲。雨燕是一个灵活的空间望远镜，由美国航空航天局和意大利及英国的研究所合作建成，用于研究天空中所有类型的爆发天体。但雨燕的主要目标是伽马暴——一类灾变性恒星爆发，也是宇宙中最亮的天体物理事件。每当有伽马射线流进入雨燕的传感器，这个望远镜会迅速重新定位并在X射线和光学波段观测这个射线源，同时通知地面，触发一连串的地面观测项目。一收到雨燕的提示信息，天文学家就会争相利用世界上最大、最强有力的望远镜，赶在伽马暴永远消失之前寻找任何与此相关的天文现象。自2004年发射以来，雨燕已经发现了1000多个伽马暴，但是这一次特殊事件（后来被称为Swift J1644+57），与这个望远镜之前发现的任何事件都不同。

就像它们的名字所示，伽马暴通常是短暂的，持续时间一般在零点几秒到几分钟之间。那年3月的清晨，我们将望远镜指向Swift J1644+57，本来期盼看到一个来自短时标伽马射线暴的、典型且逐渐消失的余辉，然而我们观测到了明亮、持续了一天的不规则伽马射线暴，之后是持续数月的剧烈且逐渐衰减的X射线辐射。很快，我们就确定这次爆发来自于38亿光年外、位于天龙座（constellation of Draco）的一个星系。我们的一位同事，加利福尼亚大学伯克利分校的约书亚·S·布卢姆（Joshua S. Bloom），注意到这个伽马射线源位于星系的中心——超大质量黑洞的栖息地，并且认为我们目睹了一次潮汐瓦解事件。尽管之前所有的潮汐瓦解事件都是在波长更长、能量更低的波段探测到的（这时，观测者看到的热辐射来自于由碎片恒星形成的吸积盘），但这次事件却完全不同。

一个潮汐瓦解事件是如何产生伽马射线的？我们能够想到的最好回答是：黑洞是个邈邈浪费的吃货。黑洞会吞噬被撕裂恒星的大部分气

体，把它们永远锁定在事件视界（黑洞周围的一个边界，通过这个边界之后，包括光在内的任何物质都无法逃逸）之内。但所有黑洞可能都会自旋，因此可能把被撕裂恒星中百分之几的气体推向黑洞的两极方向（位于事件视界之外），在这里气体被加速，并以一束准直的、接近光速运动的粒子束的形式抛射出去。快速运动的粒子束急速穿过宇宙时，会辐射伽马射线和X射线。显然，雨燕碰巧处在Swift J1644+57粒子束的传播路径上。这一次，我们的运气很好——并不是所有的潮汐瓦解事件都能产生这样的相对论性外流，并且大多数相对论性外流的确很可能出现在我们的观测视线之外。

探测到Swift J1644+57鼓舞了雨燕团队，他们开始努力寻找更多的类似事件。2017年初，又有两个辐射伽马射线喷流的潮汐瓦解事件被发现。这是恒星的“临终哭泣”，是最罕见和强烈的天文现象，为天文学家研究相对论性粒子喷流的产生和行为（这也是当代高能天体物理中最前沿的研究课题之一）提供了一种新方式。

一个世界的消亡

潮汐瓦解事件给科学家提供了一个新窗口，他们可以通过观测来自吸积盘的热辐射，以及黑洞的喷流流出的伽马射线，来研究超大质量黑洞及其周围环境。最重要的是，类星体的喷流和吸积盘是大量气体云团在非常长的时标上，混乱地冲向超大质量黑洞时形成的，它们的尺度更大、持续时间也更长，而潮汐瓦解事件是短暂的、干脆利落的事件，更容易被研究。没有一个人的一生能够长到足以见证一个类星体的完整生命过程，但天文学家已经见证了20多个潮汐瓦解事件从爆发到结束的整个过程，并对此进行了研究。在这些恒星灾变的细节中，天文学家已经瞥见了一些诱人的奇怪现象，有待进行更深入的研究。通过精确观测来自潮汐瓦解事件的波动性耀发，天文学家不只可以研究黑洞，也可以研究几十亿光年之外被撕裂的恒星的细致组成和内部结构。

天文学家甚至还可以研究恒星的伴星——被黑洞吞没的行星。任何一个来自遥远星系中心的倏忽一闪都可能标志着一个世界的消亡。我们对银河系的恒星巡天显示，几乎每一个恒星周围都存在行星。所以，在其他星系中，即使不是全部，多数恒星周围也是存在行星的。如果发生潮汐瓦解事件，即使行星没有被直接撕裂，也有可能处在潮汐瓦解事件产生的暂现性相对论性喷流的路径上，这些喷流会在黑洞外延伸数光年。任何一个行星系统如果被这样的气体束击中，其上的生命都会很快

灭亡（如果有生命的话）。或许有一天，天文学家也会在我们的“宇宙后院”中目睹潮汐瓦解事件——当某个恒星误入潜藏在银河系中心、有着400万个太阳质量的黑洞周围时，潮汐瓦解事件就会发生。届时，银河系中央将会变得非常明亮，但幸运的是，我们距离银河系中心足够远，潮汐瓦解事件最危险的影响不会波及到我们这里。

随着更为强大的巡天项目即将建成，越来越多潮汐瓦解事件将被发现，一个新时代即将到来。大口径全天巡视望远镜（LSST）是一个正在建设中的8米望远镜，位于智利，视场为10平方度，预计在它启用的第一个10年内，就将独自发现数千个这样的爆发。对于大口径全天巡视望远镜来说，它面临的最大的科学挑战将是，如何对发现的数量巨大的暂现源进行挑选。计划建造中的射电观测站（例如正在澳大利亚和南非建造的“平方千米阵列”）尤其适合用来发现相对论性喷流，即使这样的喷流是“偏轴”的（意味着它们没有直接沿着我们的视线方向传播）。在不远的将来，天文学家也许可以组建一个包含数千个潮汐瓦解事件（这比任何一个人一生可以研究的数目都要多）的星表，从而能够揭示这些超大质量黑洞的质量和行为，使它们不再是躲藏在星系中心无法接近的神秘幽灵。随着天文学家对潮汐瓦解事件的了解越来越深入，积累的知识越来越多，未来或许会出现革命性的发现。

本文审校 苟利军是中国科学院国家天文台研究员、恒星级黑洞爆发现象研究创新团 组负责人。

扩展阅读

Tidal Disruption of Stars by Black Holes of 106–108 Solar Masses in Near by Galaxies. Martin J. Rees in *Nature*, Vol. 333, pages 523–528; June 9, 1988.

A Possible Relativistic Jetted Outburst from a Massive Black Hole Fed by a Tidally Disrupted Star. Joshua S. Bloom et al. in *Science*, Vol. 333, pages 203–206; July 8, 2011.

An Ultraviolet–Optical Flare from the Tidal Disruption of a Helium-Rich Stellar Core. S. Gezari et al. in *Nature*, Vol. 485, pages 217–220; May 10, 2012.

PS1-10jh Continues to Follow the Fallback Accretion Rate of a Tidally Disrupted Star. S. Gezari et al. in *Astrophysical Journal Letters*, Vol. 815, No. 1, Article No. L5; December 10, 2015.

Portrait of a Black Hole. Avery E. Broderick and Abraham Loeb; December 2009.

Burning Rings of Fire. Joseph Polchinski; April 2015.

深度

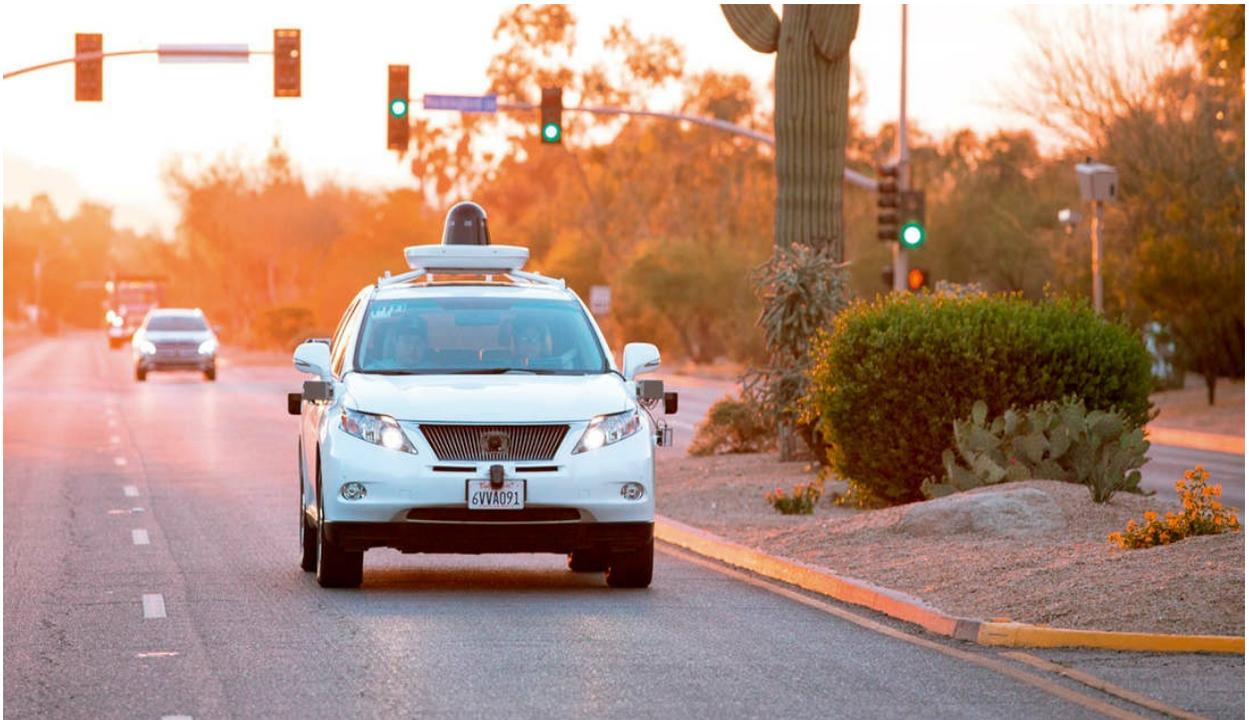
责任编辑：龚聪

技术 TECHNOLOGY

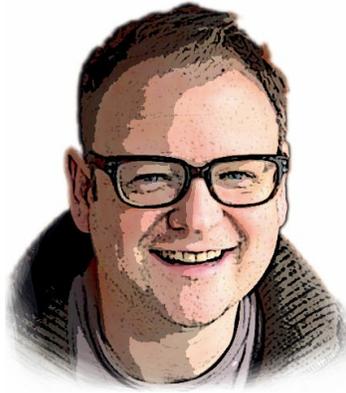
自动驾驶的社交障碍

所有汽车实现完全自动驾驶的那天，人们的要求就不仅仅是安全和高效了，自动驾驶汽车还得理解人类驾驶员，并以一种自然的方式与人类交流，否则仍会有很多问题。

撰文 巴里·布朗（Barry Brown） 翻译 刘大明



正在进行路面测试的谷歌无人车。
图片来源：Waymo



巴里·布朗是斯德哥尔摩大学计算机与系统信息系人机交互学教授，最近的研究方向是社会学和娱乐计算机系统设计。

精彩速览

自动驾驶汽车正变得越来越流行，科技公司正在不遗余力地开发更先进的自动驾驶技术以抢夺市场。

尽管自动驾驶汽车越来越会驾驶，但是在完全占领道路之前，它们应该如何跟人类司机沟通？它们能否正确理解人类司机表达的信息，并准确传达自己的意图？

通过研究自动驾驶汽车在道路上的行为，以及它们与人类司机打交道的方式，我们希望自动驾驶汽车不仅更加安全、高效，同时能够以一种自然的方式与人类交流。

目前，像特斯拉S和沃尔沃XC90这样的汽车都配备了高级自动驾驶功能，成千上万辆这样的汽车正行驶在全球的道路上，并且这个数字每年都在增长。此外，包括特斯拉、德尔福和谷歌在内的公司正在美国的道路上测试全自动驾驶汽车，测试里程已达数百万英里。

在全世界范围内，自动驾驶技术的道路测试正在如火如荼地进行，然而测试结果只在公司手里，很少对公众披露。但是，自动驾驶技术的缺陷偶尔会被行车记录仪和乘客拍摄的手机视频记录下来，并上传到视频社交网站YouTube上，引发媒体的讨论和争议。举个例子，2016年12月份，Uber公司在旧金山投放一队配有人类监管员的自动驾驶汽车的当天，一名监管员的行车记录仪拍到一辆自动驾驶汽车不仅闯了红灯，还差点撞上一位行人。这段视频上传到YouTube上几小时之后，美国加利

福尼亚州政府强令Uber公司在获得适当许可之前立即停止测试。

在瑞典斯德哥尔摩大学，我们开发出一种新方法，利用公共视频，帮助大众快速了解自动驾驶。这些视频揭示了自动驾驶汽车在适应人类社会时面临的一些挑战。

YouTube是世界上最大的第三方视频存储平台。我们做的第一个研究，就是用一系列关键词，在YouTube上搜索与半自动驾驶汽车和全自动自动驾驶汽车有关的视频。剔除了大部分推广视频后，我们将注意力集中在评论和行驶日志上——行驶日志通常是长时间的、无声的驾驶画面，以及系统行为的实时情况。

我们收集了分别在美国、英国、德国、法国、瑞典、中国香港、冰岛和加拿大录制的93段视频，总时长达到10.5小时。平均下来，每段视频将近7分钟，其中7段视频的长度超过30分钟。大多数视频跟特斯拉的驾驶辅助系统——Autopilot的讲解有关，有3段视频展示了在沃尔沃XC90和本田思域上搭载的类似的自动驾驶系统。还有总计11分钟的9段视频记录了谷歌自动驾驶汽车的行驶情形。另外，在西南偏南音乐节（South by Southwest）上，谷歌自动驾驶汽车项目也展示了一些有趣的事情。

驾驶与社交

我们借鉴成熟的语言学和社会学研究方法，通过分析枯燥单调的人类驾驶视频，深入理解驾驶行为以及自动驾驶汽车带来的潜在问题。研究自动驾驶汽车如何与人类司机互动或许能够带来新的启示。

先来看看特斯拉的Autopilot系统，它主要有三大功能：

- 自适应巡航控制功能：根据与前车的距离加速或减速；
- 自动转向功能：根据路面标识，或在没有路面标识的情况下根据前方的车辆情况，保持车辆位于车道内；
- 变道辅助功能：在保证安全的前提下，驾驶员发出变道指令后，车辆移动到邻近车道。

虽然说这些功能还远算不上完全自动驾驶，但特斯拉自动驾驶汽车

已经能够在相当长的时间内执行自动驾驶。

在我们收集的YouTube视频中，Autopilot自动驾驶系统在大部分时间里都在正常行驶，没有出错。然而，受限于自身简单的操作机制，Autopilot自动驾驶系统有时会对人类司机的行为作出误判。通常情况下，人类可以根据汽车的速度、方向等因素来判断司机的行驶意图，以及他们的情绪或性格，是咄咄逼人还是犹豫不决。但是Autopilot自动驾驶系统缺乏这项本领。

这里描述的就是一个相当普遍的情况（参见“变道与不变道”）。在一条有隔离带的双向四车道的高速公路上，特斯拉司机处于交通拥挤的右侧车道。在他的前方，他看到右侧连接道路上出现一辆轻型货车即将要进入高速公路。特斯拉司机打出左转信号，表明他希望移动到左侧车道为卡车腾出空间。后方左侧车道的银色汽车司机看到左转信号后停止了加速，为特斯拉汽车变道留出空间。但是，Autopilot自动驾驶系统没能理解这个礼貌的“姿态”，并继续保持在右侧车道上。银色汽车司机认定特斯拉司机拒绝了他的好意，重新开始加速。但是，Autopilot自动驾驶系统仍然认为此时变道是安全的，并驶入左侧车道。

对另一辆自动驾驶汽车来说，特斯拉汽车的机器协调行为或许不会产生“困扰”，但银色汽车司机将其理解为双重“粗鲁”也是可以理解的：特斯拉司机首先对他的好意嗤之以鼻，紧接着又在最后一秒变道，跑到他前面。特斯拉司机在视频中承认了这个粗鲁的行为：“嗯，我们加塞到那个人前面时，我能看出他的脸色并不好看。”

这个例子表明，即使自动驾驶汽车能做到安全可靠，它们却无法理解“道路社交”。虽然人类驾驶员之间并不总是“合拍”，但他们跟算法代理的区别在于，在大多数情况下，人类驾驶员能够察觉到人际互动中的微妙线索。

让红色汽车加塞

除了不能理解人类驾驶员在道路上的行为，自动驾驶系统也无法判断自身行为传递给人类驾驶员的信息。谷歌自动驾驶汽车项目首席工程师克里斯·厄姆森（Chris Urmson）在西南偏南音乐节上谈到了这个问题（参见“自动驾驶汽车之间”）。

在这个例子中，一名人类司机横向驶入一条四车道高速公路，并进入左转车道，前方就是一个十字路口，问题是他把他的红色汽车强行驶入两辆相邻的自动驾驶汽车中间，并且这两辆汽车之间的间隔很窄。厄姆森滑稽地模仿红色汽车驾驶员的行为：“啊，没错，我有时真的理解不了一些人在路上的举动，就像这个司机还能把车开到两辆自动驾驶汽车中间。想啥呢？”逗得观众哈哈大笑。



(a)



(b)

变道与不变道：当特斯拉汽车司机想为一辆要上高速的轻型货车腾出空间并发出左变道的信号后，特斯拉Autopilot自动驾驶系统表现出的“粗鲁”行为。（a）后方左侧车道的银色汽车开始减速，方便特斯拉汽车向左变道（左图），因为此时，一辆货车从特斯拉汽车前方进入右车道（右图）。（b）银色汽车的司机认为特斯拉汽车的司机拒绝了他的好意，因此开始加速缩短与前车的距离（左图），但此时Autopilot自动驾驶系统依旧执行了左变道的命令，挡住了银色汽车司机的路（右图）。

图片来源：Garth Woodworth，特斯拉Autopilot 自动驾驶系统的变道行为，2015.11.12，www.youtube.com/watch?v=e14OdwgzNk

不过，尽管红色汽车司机做出了或许并非最佳的判断，他的行为也是能被理解的。司机都清楚与前车保持安全距离的重要性，这一原则理所当然也被自动驾驶系统采用。在这个案例中，第二辆自动驾驶汽车缓

慢靠近十字路口，同时在自己跟第一辆自动驾驶汽车中间留出了一个间隔。然而，跟特斯拉自动驾驶汽车的那个例子一样，道路上的间隔有时不仅仅是安全跟随距离，也可能被其他司机理解成可以加塞的空档。这里的人类司机或许就把自动汽车之间留出的间隔当成可以加塞的空档了。

但也有可能，红色汽车司机就是想强行加塞。人类司机的驾驶行为并不总是明智的、合法的，尤其是在容易导致愤怒、困惑情绪的情形下，比如说行驶在施工区域或遇到交通堵塞。在拥堵的道路上，有些司机会钻进他们看到的每一个空档。在这种情形下，靠近十字路口的自动驾驶汽车的应对方式算得上中规中矩：减速慢行，让红色汽车加塞。

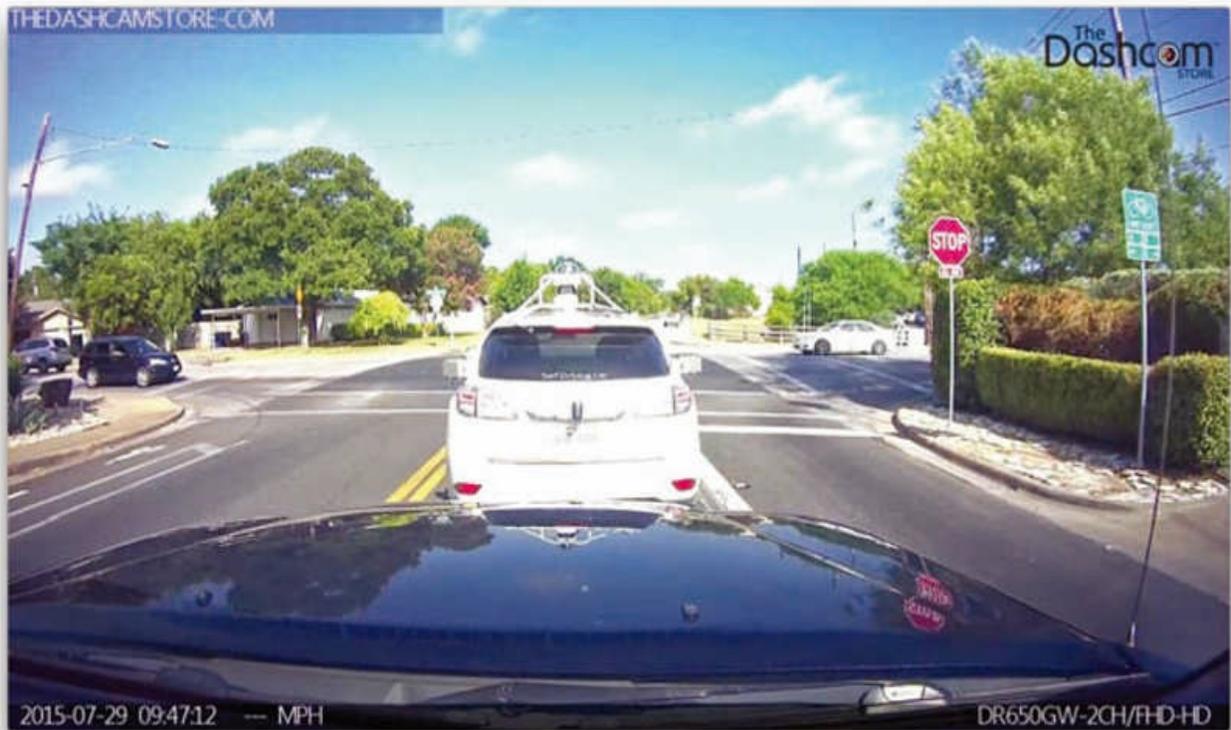
自动驾驶汽车的“恐怖谷”

人类司机同样会对其他驾驶员的不作为作出自己的理解，这也可能为自动驾驶系统带来新的问题（参见“十字路口的遭遇”）。

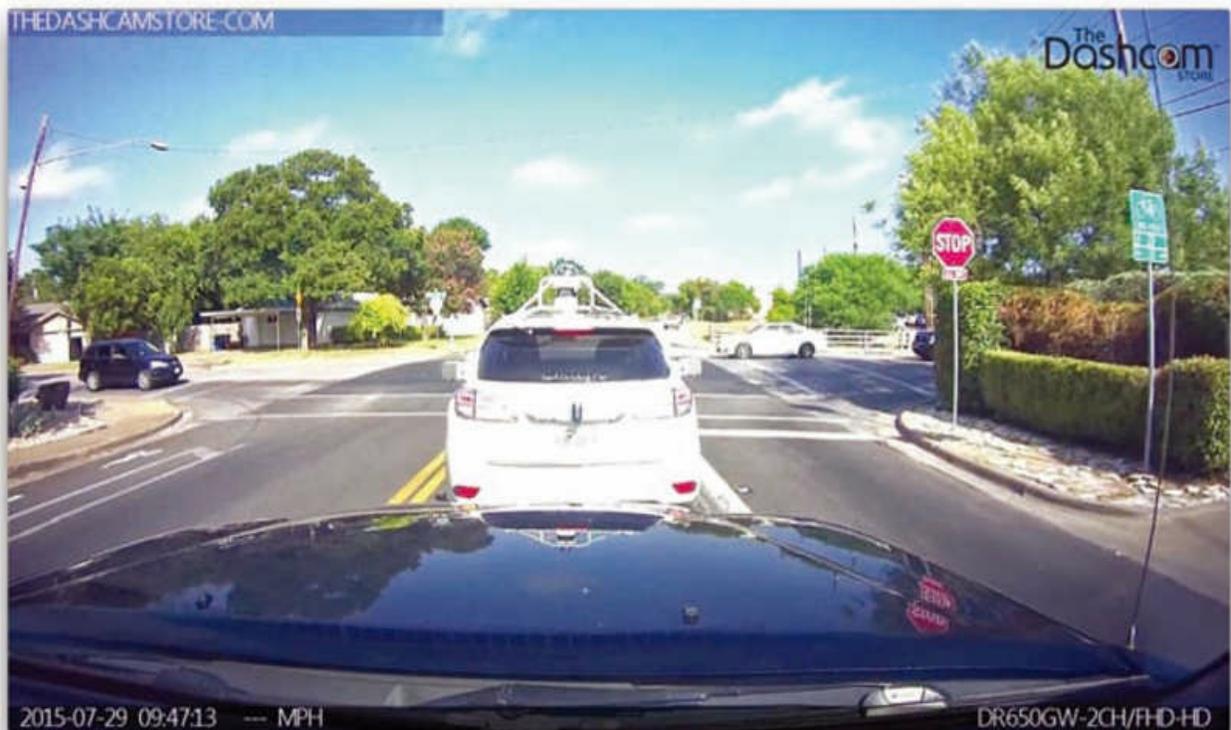
在这个案例中，一辆谷歌自动驾驶汽车比前方十字路口右侧的一辆白色汽车先到达十字路口。对十字路口的研究表明，在交叉路口减速并缓慢向前行驶非常重要，因为这会让其他司机明白你此刻正全神贯注，随时会穿过路口。尽管谷歌自动驾驶汽车在往前靠，但它的动作显然不足以表明它迫切地想要先通过路口。十字路口右侧的白色汽车司机认定谷歌自动驾驶汽车司机在犹豫，并提前进入路口。这导致谷歌自动驾驶汽车跟一个新手一样紧急制动刹车，后面跟着的车辆也紧急停下来避免追尾。

同时，视频还显示，司机们对动作缓慢的谷歌自动驾驶汽车十分不满，常常紧贴在汽车后面“逼迫”谷歌自动驾驶汽车快速通过路口。

对人类社交的研究表明，我们的许多行为，包括抱怨、邀请等，都是先通过“预行为”来传达我们的意图，从而让他人为我们即将要做的事情做好准备。举例来说，把手放在立式麦克风就是发布声明的预行为。由于驾驶环境的复杂性，汽车司机采取很多预行为来避免潜在的碰撞事故，以及在交通拥挤时表明立场。



(a)



(b)

十字路口的遭遇：自动驾驶技术带来的侵略性行为。（a）一辆谷歌自动驾驶汽车比路口右边的

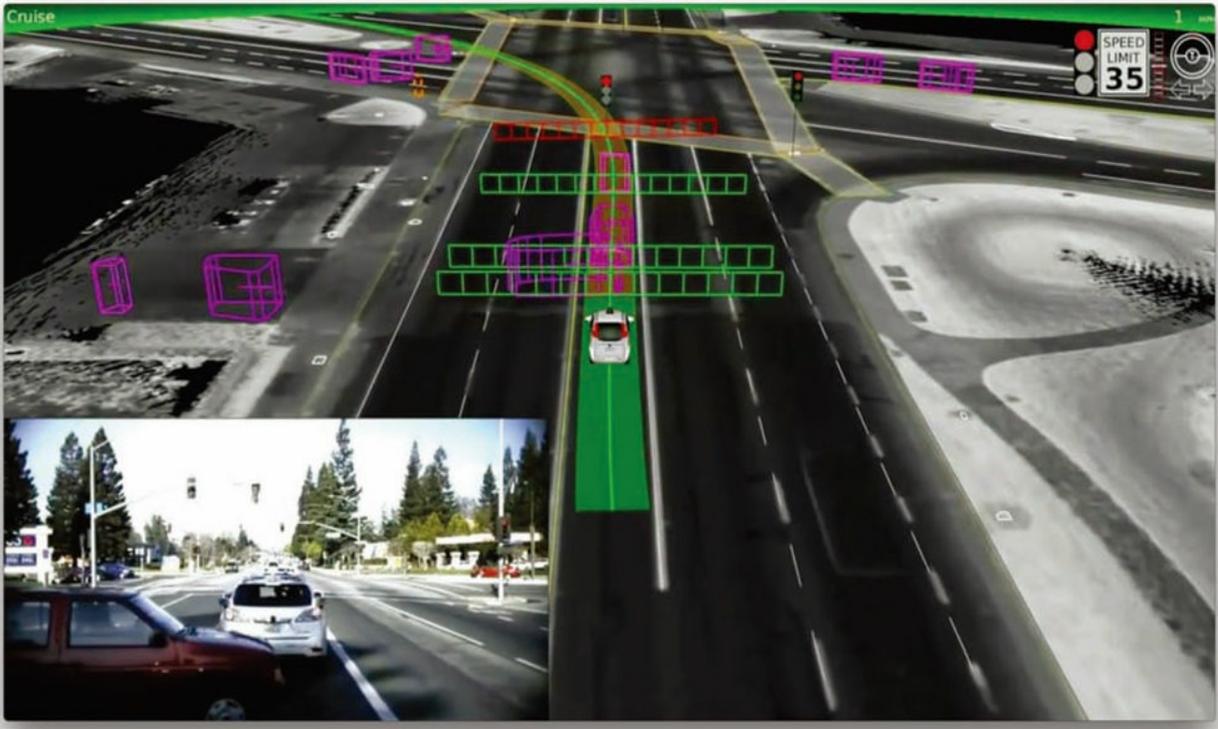
白色汽车提前达到路口。(b) 自动驾驶汽车表面上的犹豫鼓励了白色汽车司机抢先通过路口，造成谷歌自动驾驶汽车紧急刹车，差点跟后面的一辆车撞上。

图片来源：www.youtube.com/watch?v=FbSQm3YaAzA

通过编程让自动驾驶汽车执行和识别通常很细微的预行为是非常困难的，这让自动驾驶汽车的设计师陷入一个窘境，类似于计算机图形和机器人领域的“恐怖谷”问题。“恐怖谷”问题是指当计算机生成的人类形象和人形机器人不再卡通化，而是越来越真实的时候，它们身上残余的缺点也变得越来越明显，甚至让人引起不适或反感。同样，当自动驾驶汽车对驾驶越来越熟练，但行为仍不能跟人类司机一样，会让人产生愤怒或挫折情绪。举个例子，减速避免碰撞在统计学上是安全的，但并非总是最佳的应对措施，因为它会鼓励人类司机在遭遇自动驾驶汽车时的加塞或超车行为，而这只会增加事故的风险。

在汽车发展早期，汽车前方必须有一个人手持红旗，警示路上行人。那么在自动驾驶汽车能驾驭“社交道路”之前，是否应该给它们配备一个系统用于提醒人类司机，或在不明确的情形下（比如十字路口）传达意图？由此引发的问题是，自动驾驶汽车会对人类司机产生什么影响？人类司机是会更加谨慎和耐心，还是会占“有点呆”的自动驾驶系统的便宜？

我写这篇文章的目的不是批评当今的自动驾驶汽车，它们还处于发展的初期阶段。我想说的是，驾驶不仅仅是机械操作，同时也是一项复杂的社会活动。在所有汽车都实现完全的自动驾驶之前，自动驾驶汽车不但要追求安全高效，还必须能够理解人类驾驶员，并以一种自然的方式与人类司机交流。只要道路上大部分汽车还是由人操作，自动驾驶汽车的设计者就必须考虑他们的选择会对其他司机以及自己汽车上的乘客产生什么影响。否则，“社交道路”就会有点颠簸。



自动驾驶汽车之间：对自动驾驶技术产生困惑的人类司机。一名司机驾驶红色汽车横穿马路，挤到两辆谷歌自动驾驶汽车中间狭窄的间隔里，进入左转车道。红色汽车司机或许错误地把自动驾驶汽车留下的安全跟随距离当成可以加塞的空间。

深度

责任编辑：韩晶晶

科学史 HISTORY

**TIME TO
WORRY
ABOUT
ANTHRAX
AGAIN**

苏联炭疽惨案：尘封38年的真相

38年前，一种生物武器从苏联秘密军事基地泄露，导致了多人死亡。事件发生后，真相被掩盖，直到最近才为人所知。

撰文 保罗·S·凯姆（Paul S. Keim） 戴维·H·沃克（David H. Walker） 雷蒙德·A·济林斯卡斯（Raymond A. Zilinskas） 翻译 赵瑾



保罗·S·凯姆是美国北亚利桑那大学病原体和微生物组学研究所的执行理事。



大卫·H·沃尔克是美国得克萨斯大学加尔维斯顿医学分校生物防御和新兴传染病研究中心的执行理事。



雷蒙德·A·济林斯卡斯是美国蒙特利国际关系研究所 (Institute of International Studies) 化学和生物武器不扩散项目的主
任。



精彩速览

1979年春天，一个中亚城市有多人死于炭疽热。后来人们才知道，这次炭疽热暴发是由一个苏联生物武器生产设施发生的事故所导致的。

导致炭疽热的细菌叫炭疽杆菌 (*Bacillus anthracis*)，它特别适于制造非常规武器。经证实，前苏联的这个项目有一部分在20世纪90年代被废弃了。

最近曝光的一些内幕消息表明，俄罗斯政府可能违背了1972年签署的国际公约，正在重新启动生物武器项目。

1979年4月2日，莫斯科以东1400千米的一座苏联军营内，一种神秘粉末

从25米高的烟囱悄然飘散到了空中。在接下来的几周内，军营所在的中亚城市——斯维尔德洛夫斯克（Sverdlovsk，也叫叶卡捷琳堡）中有至少有80位居民病倒了，他们的初期症状与普通流感相似。但几天后，他们的症状升级为严重的内出血以及其他并发症，最终至少有68人死亡。

只有这个军事基地（19号营区）里的少数人员知道当时发生了什么：该营区设有一个秘密的军事研究和生产设施，空气过滤器的缺失导致数量不明的细菌孢子从该设施泄露出来。这些孢子源于一种炭疽杆菌（*Bacillus anthracis*）。这种细菌自然存在于世界的很多地区，能够导致一种叫做炭疽热（anthrax）的疾病。但当这些细菌孢子被碾磨成了细微粉末，就更容易被动物和人类吸入肺中，从而对机体造成最大程度的伤害，并导致死亡。

这些细菌孢子一旦进入人体内，就会萌发，呈现原本的杆状形态。接着，它们会开始增殖，扩散到血液中，攻击各种组织。实际上，如果病人没有及时接受合适的抗生素治疗，吸入性炭疽一般能够在几天内导致病人死亡。但是，苏联军方当时并没有向任何人（包括当地的卫生部门）透露导致这些疾病暴发的原因，而如果当地的卫生部门知道他们面对的是什么疾病，就可能挽救更多病人的生命。

虽然克格勃（KGB，苏联国家安全委员会）极力隐瞒事件真相，但这次事故最终还是在1979年秋天对外界曝光，令西方的情报分析人员以及各界人士为之震惊。之前他们完全没有察觉苏联正在制造生物武器材料，这直接违反了禁止生物武器研发、生产、储藏或使用的国际公约。这个《生物武器公约》（Biological Weapons Convention）是在1972年由近100个国家（包括苏联和美国）共同签署的。而即便如此，美国并没有依据公约条款，对苏联提出正式申诉。

在20世纪70年代，遗传工程革命已在很多国家兴起，因此西方的情报分析人员怀疑，当时苏联的研究者可能已经对斯维尔德洛夫斯克的炭疽杆菌进行了基因改造，使其具备比普通菌株更强的杀伤力。这个推测在35年之后才被证实是错误的。当时，苏联为了提升炭疽杆菌的杀伤力，只是在其中添加了一些化学物质并做了其他一些改进，使炭疽孢子更易扩散。

虽然苏联最终承认，在斯维尔德洛夫斯克及其周边地区有多人因感染炭疽死亡，但却否认出现任何异常情况。他们声称导致这一不幸事件的真正原因是屠宰和食用自然感染炭疽孢子的动物。但国际专家在对当

地病理学家所保存的尸检样本进行检测后，驳斥了这一说法。

1992年，时任俄罗斯总统鲍里斯·叶利钦（Boris Yeltsin）终于承认，苏联时期确曾设立并一直维系着一个研制生物武器原料的大型项目。虽然叶利钦称他已经下令立即关闭该项目，但解密文件清楚显示，俄罗斯军方其实对政府领导层隐瞒了保留下来的项目。无论如何，1999年弗拉基米尔·普京（Vladimir Putin）任总统后，官方政策又发生了变化。新的国家领导层坚称，苏联和后继的俄罗斯政府都从未开展过任何攻击性生物武器的研制项目。之前他们所进行的或继续开展的任何研究都是出于防御性目的（即用于防御敌方攻击，而非对他国展开攻击），而这些活动属于《生物武器公约》所允许的范畴。

今天，当重新崛起的俄罗斯在国际舞台展示实力时，对这个很久以前发生在斯维尔德洛夫斯克事故再次进行评估和了解，就显得更加重要了。我们与其他研究人员在这几十年的时间里所进行的深入研究显示，即使是一个仅拥有少量生物工业能力的国家（或者恐怖组织），要建立或隐藏一个生物武器项目也并不困难。然而，在1971年前就取消了所有生物武器研制项目的美国，却仍旧没有积极地去确保其他国家也如实履行了公约。

致命的孢子

过去，在自然条件下，炭疽热主要威胁的是放牧者、羊毛工和制革工人。但在19世纪研究人员发现这种致病细菌后不久，军方就意识到能用这种病原体制造杀伤力极大的新武器。

19世纪晚期，德国科学家罗伯特·科赫（Robert Koch，由于对病原体研究领域的贡献，科赫常被称为细菌学之父）是第一个用实验证实一种特定细菌（炭疽杆菌）能够导致一种特定疾病（炭疽热）的人。几年之后，法国科学家路易斯·巴斯德（Louis Pasteur，病菌学说之父）研发了一种有效的炭疽疫苗。

科赫发现，这种细菌在适合快速生长的环境中（例如水分、养料充足的动物体内），会呈现杆状形态。但在恶劣的环境中，这种微生物就会产生坚韧、几乎无法杀死的孢子，它们能在很长时间里处于休眠状态。当科赫把这些细菌孢子注入健康的小鼠体内时，孢子就会变回杆菌形态，导致疾病，使小鼠死亡。

对炭疽热来说，及早确诊和治疗是病人存活的关键。在未接受治疗的情况下，这种细菌感染的死亡率取决于细菌进入体内的部位：如无适当的治疗，肺部即使吸入很少的孢子，病人几乎都必死无疑。没有获得治疗的炭疽皮肤感染，死亡率大约为10%，消化道感染炭疽，死亡率未知，但估计为25%~60%。

炭疽杆菌用来充当非常规武器的优势是显而易见的。由于炭疽孢子在低温干燥的条件下可以存活很多年，所以很适于工业化大规模生产，并能在投入战场前长期储存。此外，任何接触到孢子的土壤都会被污染数十年，因此炭疽杆菌可以沉重打击敌方在污染区的畜牧业。

对于那些不仅想要造成敌国平民伤亡，还要制造恐慌的人来说，吸入性炭疽还有另一个巨大的优势，那就是它的初期症状很容易被误诊。炭疽热的初期症状通常较轻微，引起的发烧、疲乏和肌肉酸痛，与流感或肺炎相似。但感染炭疽热的病人会在数日后突然出现呼吸困难、嘴唇发青、胸部积液等症状，当病情发展到这个地步，死亡通常已很难避免了。对炭疽热病人进行尸检，通常会在他们肺部周围的淋巴结和脑周组织中发现特征性的内出血症状。

意外事故

从未有外国人被准许进入19号营区的大门，更别提事故发生地——营区内的微生物研究所了。但在过去几十年间，特别是1991年苏联解体之后，我们和其他同行拼凑出了这次事故的时间线。我们采访了很多科学家、医生和技术人员，他们当时在斯维尔德洛夫斯克工作或曾与该研究所的工作人员共事过。下文中所叙述的很多事实，之前都已经由我们或一些苏联叛逃者发布过。



微生物杀手：实验室里生长在琼脂培养基上的炭疽杆菌菌落。

基于这些信息，我们认为苏联的生物武器计划开始于1928年。在巅峰时期（20世纪80年代晚期），参与该计划的人员大约有6万人。炭疽杆菌很快成为了该计划中最重要的病原体之一。早期研究显示，炭疽杆菌很容易“武器化”，也就是说它能以稳定状态生产，且易于广泛扩散。

1949年，在斯维尔德洛夫斯克附近的一个陆军学校旧址上，一个军用实验室建立起来了，当时该设施距离城区还很远。但在15年之后，城市已经扩张到了这一秘密设施周围。虽然这个实验室已经变得紧邻城市居民，但苏联国防部还是在20世纪60年代决定对设施进行升级，从而使其具备吨级孢子的生产能力，以便为生物武器研究项目提供必需的原料（我们现在知道，20世纪50年代中期，在美国的阿肯色州也曾有过类似的生产设施，只是后来废弃了）。

苏联在斯维尔德洛夫斯克的一座4层建筑中，安装了生产炭疽杆菌的发酵桶以及促使细菌产生孢子的干燥设备，对于任何专门生产活体生

物的工业设施来说，这些都是标准设备。其真正的创新在于接下来的几个生产步骤。工作人员会把某些化学物质（我们仍不清楚具体是什么物质）添加到孢子中，以防止它们结团，以至于颗粒过大而难以吸入肺部。接着，工作人员会把这种混合物再次干燥，碾磨成细末，使其可以被吸入肺部的深处。最后的成品会储存在不锈钢罐中。

在干燥和碾磨过程中，致命的炭疽孢子会不可避免地散布到建筑物各处。这里的工作人员都穿着厚重的生化防护服以确保自身安全，设施内的空气也必须在排放到外界之前进行消毒。废气的处理方法比较直接。例如，干燥器排出的所有被污染的废气都会经过一系列过滤器，以去除大颗粒（如普通灰尘）和小颗粒（如炭疽孢子）。

1979年4月2日的某一时刻，生产车间的日班员工在干燥器关闭时，取下其中两个过滤器，以检查其运作情况。这批员工后来声称，他们通知过实验室的管理中心，在装回过滤器前要停止使用那台干燥器。但由于某些原因，晚班的员工没有接到这个通知，并照常启动了生产和干燥循环。由于生产线上缺少了部分过滤器，剩下的一个过滤器在堵塞后破裂了，导致空气处理系统的气压骤然上升。一个工人立即发现了这一变化，当时，30~40名员工立即快速启动了整个系统的关闭程序。但由于这个生产过程十分复杂，无法立即全面停止，一共花了3个小时才关闭了整个系统。在这3个小时里，不明数量的炭疽孢子已通过烟囱排到了外界。

当夜班员工意识到发生了什么时，领班向19号营区的指挥官，V·V·米哈伊洛夫（V. V.Mikhaylov）将军汇报了这一事故。米哈伊洛夫向苏联国防部总部通报这一事故后，被告知要对此保密。后来，克格勃没收了所有受害者的医疗记录和尸检报告。

虽然没有人知道在这次事故中有多少炭疽孢子从19号营区泄露出去，但一些专家后来估计，污染物大约有0.5~1千克（其中包含几毫克到1克炭疽孢子）。假设这些孢子都具有活性，并广泛扩散，它们可能导致几十万斯维尔德洛夫斯克居民（当时该地区的总人口为120万）感染炭疽热。值得庆幸的是，当时的风向是背离市中心的，吹向的是人口稀少的地区。

事故余波

通过点滴积累，我们对造成斯维尔德洛夫斯克惨剧的炭疽杆菌的了解不断加深。例如，在20世纪90年代，美国哈佛大学的研究者马修·梅塞尔森（Matthew Meselson）就带领一组专家，对斯维尔德洛夫斯克进行了两次不同的医学和流行病学调查。

生物技术的进步也让研究人员能对俄罗斯医生当时分享给国际团队（20世纪90年代美俄两国的合作交流要比现在密切）的尸检样本进行更全面的分析。

本文作者沃克在梅塞尔森的第一次调查期间，跟随梅塞尔森会见到了当地的病理学家，以更好地了解这一事故。后来，其中一位俄罗斯医生列夫·格林贝格（Lev Grinberg）将受害者的尸检样本（经过福尔马林处理，安全地封固在石蜡中）带到了美国，进行深入研究。本文作者凯姆与美国洛斯阿拉莫斯国家实验室（Los Alamos National Laboratory）的保罗·杰克逊（Paul Jackson）合作，从这些样本中提取DNA，证实这些病人的确死于炭疽热。后来其他科学家的研究发现，斯维尔德洛夫斯克菌株（又称炭疽杆菌836菌株，*B. anthracis* 836）具有一个独特的遗传特征。

利用这个分子标记，科学家现在能够在全球范围内追踪这一菌株。2001年，研究人员（包括凯姆）确认，伊拉克生物武器项目和美国国内的炭疽信件攻击（共导致5人丧生）所使用的菌株都不是斯维尔德洛夫斯克菌株。但当时我们只检测出了该菌株的一小部分基因组，还有很多问题没有答案。

病理学

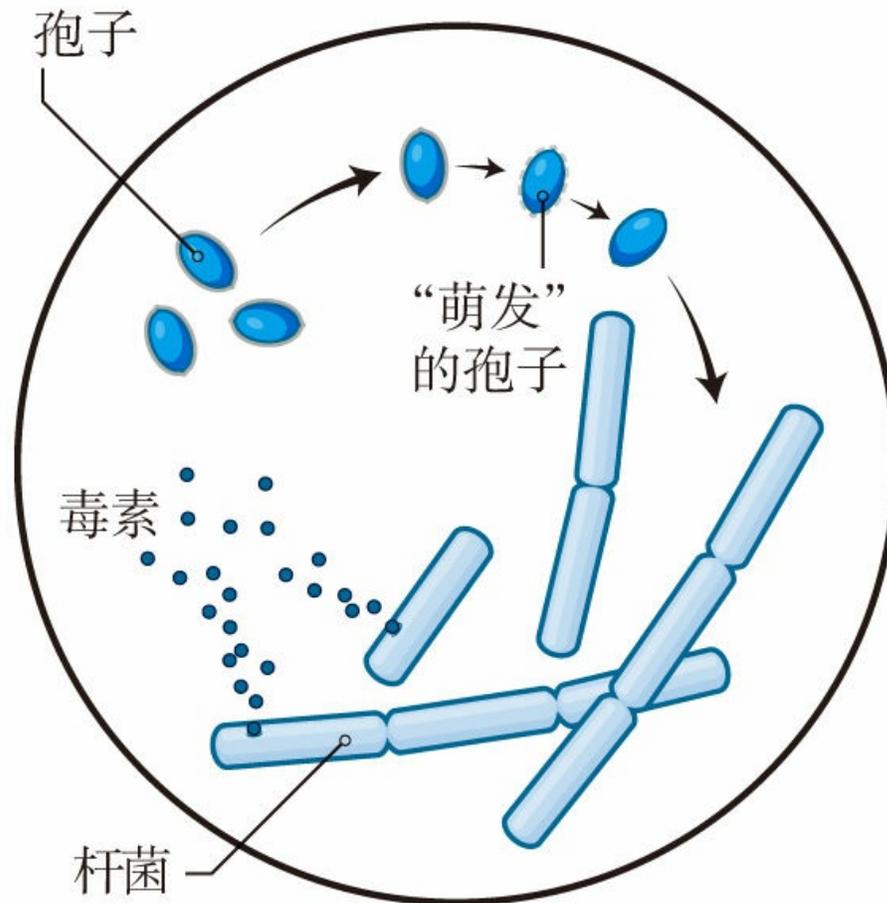
三种炭疽热

根据进入人体的不同途径，炭疽杆菌能以不同方式导致疾病（见右图）。然而，一旦炭疽杆菌扩散到血液中，就会很快导致病人死亡。炭疽杆菌自然分布于世界各地，它的多项特点使其具备成为高效生物武器的潜质，例如，其耐久的孢子能够接受化学处理，被碾磨成微小颗粒，从而侵入肺脏深处，诱发最致命形式的炭疽热。

生存伎俩：假死状态

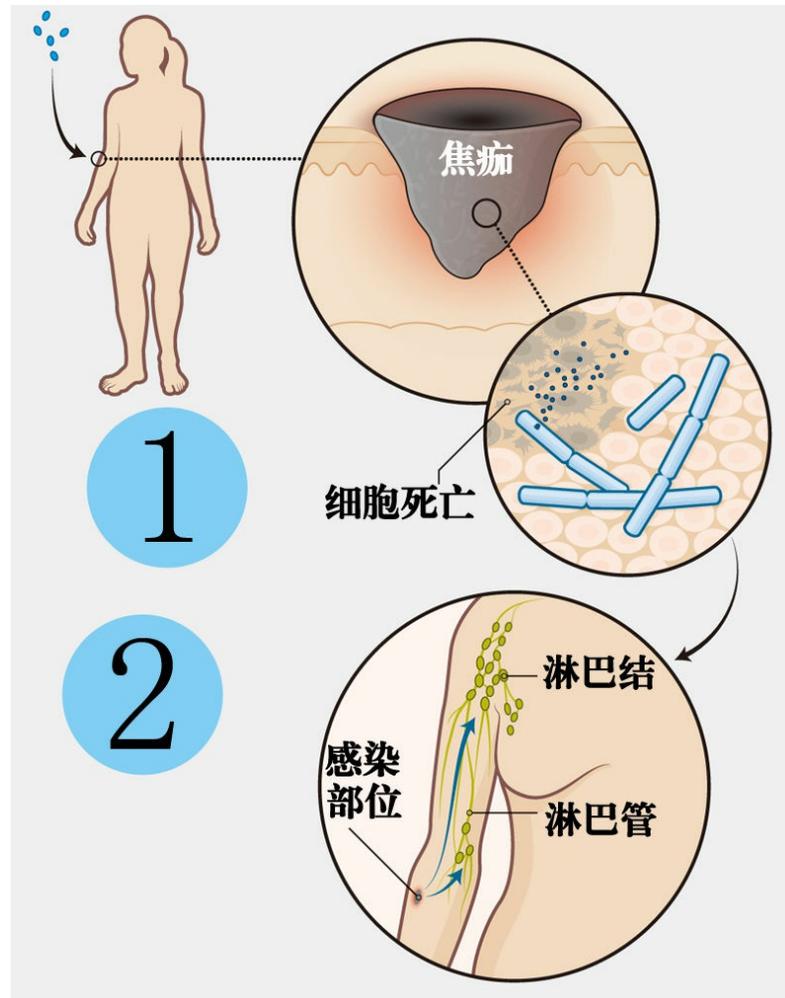
导致炭疽热的病原体能以两种不同的形态存在：具有繁殖能力并会释放破坏组织的

毒素的杆菌形态，以及处于假死状态的强韧孢子。当环境变得过于干燥，杆菌就会产生孢子。但是一旦环境条件好转（如进入水分养料充足的人体内部），孢子就会“萌发”，形成具有感染性的杆菌。



炭疽皮肤感染

几个世纪以来，直到今天，炭疽皮肤感染都是炭疽杆菌最常见且致死率最低的一种致病形式，这种感染所造成的皮肤损伤，在初期类似蜘蛛咬伤。



1 细菌繁殖并生成破坏皮肤细胞的毒素，导致黑痂（也叫焦痂，eschar）的形成。

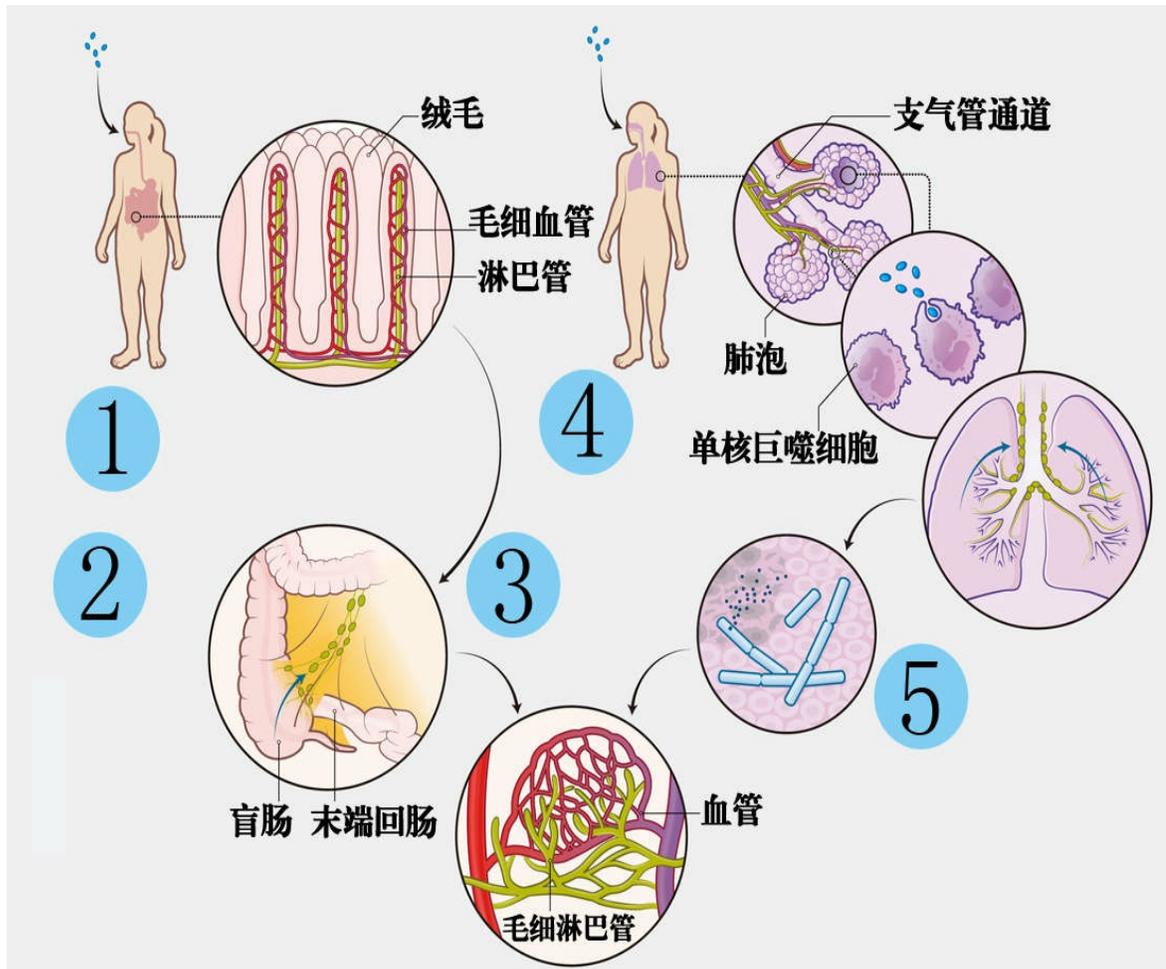
2 炭疽杆菌可以通过淋巴管扩散到临近的淋巴结中。虽然细菌可能会在淋巴结中进一步破坏组织，但是感染通常不会扩散到血液中。

炭疽消化道感染

畜牧动物特别容易感染炭疽。因此，人在食用了病畜的肉之后（特别是没煮熟的肉），可能在消化道中发生感染。

吸入性炭疽感染

吸入炭疽孢子所导致的感染是炭疽热最致命的形式。死于1979年斯维尔德洛夫斯克炭疽暴发的病人的尸检样本，证实了病患的确死于炭疽感染。



- 1** 虽然具体机制还不明确，细菌首先感染接近小肠末端（末端回肠）的绒毛。
- 2** 炭疽杆菌有时会通过淋巴管扩散到消化道之外。
- 3** 炭疽杆菌透过淋巴管，进入到血液中，扩散到全身。
- 4** 孢子进入肺泡中后，会被一种叫做单核巨噬细胞的免疫细胞吞噬。
- 5** 孢子一旦进入胸部的淋巴结内，就会变成杆菌，开始繁殖并释放毒素。

到了2015年，技术的进步终于让凯姆和其他研究人员能够重建涉事炭疽杆菌的完整基因序列。他们研究的细菌取自斯维尔德洛夫斯克两位炭疽热死者的尸检样本，两个细菌样本被证实都是的炭疽杆菌836菌株。2016年，凯姆等人发表论文，公布了遗传学分析结果：该菌株属于著名的“跨欧亚”（Trans Eurasia）品系。此外，论文作者提到，他们没

有发现任何证据显示，该菌株曾经过基因改造，以提升毒力、抗生素耐受性或对疫苗的抵抗力。换句话说，苏联军方的科学家当时发现并培养了一种在自然状态就极具杀伤力，非常适合用于武器制造的细菌。

我们对于斯维尔德洛夫斯克事件所了解到的一切，同样也警醒我们：减少炭疽攻击伤亡的最佳方法，是在细菌孢子扩散前就采取行动。虽然美国政府在有关生物武器防御的研究上花费了数十亿美元，但在防御生物武器威胁时，要把任务和目标各不相同的多个机构整合起来并确定行动优先次序，还是很困难的。在美国，唯一一种能在接触炭疽杆菌后有效预防该疾病的疫苗，需要在数月中多次注射，之后还需定期接受补强注射。

没有人知道前苏联生产的这些炭疽杆菌是否还存在。20世纪90年代，美国与乌兹别克斯坦、哈萨克斯坦签订协议，在各国科学家的监督下，销毁了至少30吨含有炭疽杆菌孢子的材料，并将一些苏联的军用生产设施改建为民用。但是，俄罗斯境内参与研究和制造生物武器原料的3个原隶属于苏联国防部的研究所和5个“民间防疫”研究所，还没有允许任何国外团体进去实地参观，更别说审查了。

自2003年以来，美国国务院发布了9个武器控制报告，其中都提及俄罗斯可能正在支持那些违反1972年《生物武器公约》的活动。这些报告中并没有给出支持这些指控的详细信息（可能属于机密信息而无法公开）。但我们已经有充分的理由担忧俄罗斯的生物武器研发。例如，谷歌地球卫星照片显示，19号营区内的某些建筑进行了扩建，安装了新设备，而且看起来像是通风设备；营区内还增建了一些其他建筑。此外，普京于2012年在俄罗斯报纸上发表的一篇文章中提到，“基于新原理（射线、地球物理学、声波、遗传学、心理物理学和其他技术）的武器系统”可能会在不久的将来出现；俄罗斯国防部部长也在之后表明，国防部在这些方面已取得进步。最后，在一个相关行动中，普金批准了一个美国和俄罗斯合作近25年的项目，积极销毁一些在2015年到期的核军备。

尽管出现了这些令人担忧的公开信号（以及西方政府掌握的任何其他机密信息），最近的几届美国政府并没有就俄罗斯可能违反《生物武器公约》的问题与其对质。而现任一届的美国政府也似乎没有打算对此采取任何行动。然而，美国政府的无所作为，实际上可能给了俄罗斯开发先进生物武器的机会，而一旦开战，其他国家将对此措手不及。

扩展阅读

The Soviet Biological Weapons Program: A History. Milton Leitenberg and Raymond A. Zilinskas. Harvard University Press, 2012.

Assessing the Bioweapons Threat. Crystal Boddie et al. in *Science*, Vol. 349, pages 792–793; August 21, 2015.

A History of Anthrax. Centers for Disease Control and Prevention. Published online August 15, 2016. www.cdc.gov anthrax/resources/history

Attacking Anthrax. John A. T. Young and R. John Collier; March 2002.

深度

责任编辑：吴非

健康 HEALTH

DON'T
DRINK
— THE —
WATER

PFC污染：全球健康隐患

在美国，越来越多的地区的饮用水正在遭受一种化学物质PFC的污染。在这类化合物身上，存在着太多未解的疑团。PFC会对人体健康造成哪些影响？饮用水中PFC的安全标准是什么？我们该怎样保障受影响区域居民的安全呢？

斯·施密特（Charles Schmidt） 翻译 邓述波 孟萍萍



摄影：杰西·布尔克（Jesse Burke）



查尔斯·施密特是现居于美国波特兰的自由撰稿人，报道方向包括全球健康及环境。施密特也是《环球科学》2016年7月刊文章《橙剂：延续50年的越战创伤》的作者。

精彩速览

在美国，越来越多地区的饮用水被检测出含有高浓度的全氟化合物（PFC）。根据美国环境保护局建议的饮用水标准，PFC浓度应当小于70 ppt。

PFC广泛用于制造业。由于难以被降解，它们在环境中无处不在，甚至在人体血液中富集。

已有研究表明，高浓度的PFC可能导致人体免疫力下降、肝脏肿大等问题，但目前仍没有直接的证据。

目前，科学家无法确定PFC的有害浓度，因为PFC对不同生物潜在的危害程度不同，在对人体的研究中，也难以排除其他因素的干扰。目前PFC的“不安全”浓度标准依旧是一个未知数，这使得人们无法确定是否应当采取应对措施。

皮斯国际贸易港（Pease International Tradeport）办公园区位于美国新罕布什尔州朴次茅斯市（Portsmouth）一个布局整齐的郊区，包括250家公司、一个高尔夫球场和两个托儿所。每天，都有近万人前往此地工作，但在他们脚下的土地里，却藏着大量的有毒物质。

1988年以前，这里一直是美国空军基地，消防队员在日常训练过程中会点燃废旧飞机，随后练习用泡沫灭火剂灭火。然而，渗入地下的泡沫灭火剂从未引起人们的重视。这些下渗的废液对地下水造成了污染，在长达几十年的时间里，当地居民一直在饮用受污染的地下水。

3年前，科学家在皮斯园区采集了饮用水样本，从中检测到了灭火剂中的全氟化合物（perfluorochemicals, PFC），浓度高达美国环境保护局（Environmental Protection Agency, EPA）制定的安全浓度的35倍。过去几十年中，PFC广泛用于几百种商品的生产，如今普遍存在于世界各地的地下水及土壤系统中。事实上，在这个工业化社会，每个人的血液中都含有一些PFC。人们从日常的饮用水、谷物、鱼、肉等食物中摄入PFC。尤其令人担忧的是，在PFC的生产地或使用PFC的地区，PFC可以在当地环境中高度富集。相应地，生活在这里的人们血液中的PFC也远高于平均值。

令人担忧的是，PFC重污染地区的范围正在扩大。2016年5月，由于相关证据表明PFC对儿童健康的影响尤为严重，EPA将饮用水中PFC的标准浓度进一步降低至70 ppt（part per trillion，兆分之），这个浓度相当于向20个奥运会标准泳池那么大的水池中加入两三毫升水。美国20多个州的居民都声称，当地PFC浓度超过了这个新的限值。随着人们对PFC污染关注度的提升，越来越多的城镇开始意识到这一问题。

PFC污染的发现引发了人们对饮用水安全问题的担心，除了铅和其他化学品的污染，饮用水中还存在许多安全隐患。由于PFC广泛存在于饮用水中，而且这一摄入方式成为除食物和消费品外的又一种污染源，人们对PFC的担忧日益增加。2013年至2015年期间，EPA检测了全美所有用户超过1万人的水厂，以及800家规模较小的水厂中的PFC浓度。在其中66家水厂中，都至少一次检测出高于EPA标准的PFC，涉及600万人的饮用水安全。

针对PFC的污染问题，许多州已开始采取相应措施。去年7月，卫生官员向阿拉巴马州北部的10万居民建议，在提供临时供水之前，停止饮用被污染的自来水。在宾夕法尼亚州的巴克斯和蒙哥马利县，截至去年10月，政府已经关闭了22个公共水井和150个私人水井。在俄亥俄州和西弗吉尼亚州，有3500人已经向PFC的主要制造商杜邦公司提起了诉讼，称该公司设在两州边界的化学工厂发生药品泄露，导致了癌症及其他疾病患病风险增加。在一年多前，纽约州的官员就告诉胡西克福尔斯的居民不要饮用污染水源，但问题仍未得到彻底解决。华盛顿特区环境工作组的资深科学家戴维·安德鲁斯（David Andrews）表示：“我们远远低估了PFC污染造成的影响，目前我们掌握的污染地区数量还浮于表面，实际的数量可能更惊人”。

血液中高浓度的PFC不仅引发了人们对癌症的担忧，还使得人们担

心，免疫和生殖能力是否会受到影响。但是，究竟多高的PFC浓度会影响人类的健康依旧是个未知数，这也引起人们关于PFC安全使用量的争论。

难以降解的分子

20世纪40年代，美国明尼苏达矿务及制造业公司（现在的3M公司）发明了PFC。随后，PFC大量用于制造业。PFC的分子结构与拉链类似，碳原子骨架与氟原子交错，形成耐用且不透气的薄膜。作为涂层使用时，PFC能够在雨衣、地毯甚至计算机芯片表面形成坚硬而光滑的薄膜，有利于水、油、泥土等脏物滑落。它们也被用作厨具和食品贮藏器具的添加剂，如不粘锅、比萨盒的衬里和爆米花包装袋，PFC的添加使得特氟龙等涂层能够均匀地分布在与食物接触的表面上。一些公司试图在添加涂层之后去除残留的PFC，但已有研究显示，PFC的去除效果仍有争议，这意味着PFC可能残留在不粘锅的涂层中，并在加热时释放。

数十年来，很多公司一直在制造、使用PFC。直至今日，全球市场中仍有3000多种PFC。然而，PFC稳定的化学结构在对涂料工业产生巨大帮助的同时，也对人类健康和自然环境产生了负面影响。C - F键在自然界中并不存在，全部来源于工业生产，不能被微生物分解，无法进行光降解，也无法经代谢作用，转化成土壤、植物、人类或动物体内的任何物质。人类制造出的绝大多数PFC分子仍在地球的某个角落存在着。科学家已经在北极熊、鲸、鱼类以及美国人的食物中检测出了PFC。正如瑞典斯德哥尔摩大学化学教授伊恩·卡曾斯（Ian Cousins）所言：“PFC无法在环境中降解，只能被稀释和扩散。”

多年来，PFC的生产以长链化合物为主，其碳骨架至少含有8个碳原子。其中两种使用最广泛的化合物是全氟辛酸（perfluorooctanoic acid, PFOA）和全氟辛烷磺酸（perfluorooctane sulfonic acid, PFOS）。其中PFOA也被称为C8，是制备特氟隆和戈尔特斯（Gore-Tex）的原料，而PFOS曾是思高洁（Scotchgard，一种防油、防水面料）面料和灭火剂泡沫中的关键成分。不同于二噁英或DDT等会在脂肪组织中积累的污染物，PFC在血液中累积，然后通过尿液排出。但长链PFC会在肾脏中被再次吸收，使得它们能在血液中循环数年之久。

因此，在本世纪初，美国、欧洲和日本的大多数PFC制造商均主动

停止生产长链PFC。按照设定的目标，到2010年，95%的长链PFC生产将要停止，剩余部分也将在2015年全部停止生产。当然，家里的旧产品仍可能含有PFC，还有一些不在终止计划中的公司仍在继续生产、进口和使用长链PFC。停止使用长链PFC的公司已选择其他替代品，包括在几天内就能通过代谢排出体外的短链PFC。由于短链PFC不会在血液中积累，因此对人类的危害程度较低，但它们在环境中依旧难以降解。2015年5月，超过200名科学家签署了一项“马德里声明”，声称对于目前市场上用于室内装潢的短链PFC，其化学结构、性质、用途和生物效应几乎没有公开信息。



安德烈娅·阿米克的丈夫和孩子都被检测出含有高浓度的PFC。她的丈夫在PFC的“热点”地区

——皮斯贸易港工作，孩子也在当地上托儿所。

卡曾斯表示，在长链PFC被淘汰之前，PFOS和PFOA主要来自食品包装和织物加工。而现在，PFC主要来自受污染鱼类等产品。随着来源的减少，人体血液中的PFC浓度也有所下降。1999年，美国疾病控制与预防中心开始观测时，美国人血液中的PFOA平均浓度超过5 ng/mL。到了2012年，根据美国疾病控制与预防中心发布的数据，血液中的PFOA平均浓度已下降一半以上。同期，美国人血液中的PFOS浓度更是从30 ng/mL降至6 ng/mL。

尽管整体情况有明显好转，但对于生活在PFC污染热点地区的人们来说，形势仍不容乐观。他们血液中的PFC浓度可能远高于平均值。去年6月，新罕布什尔州的官员报告称，在皮斯开展的一项研究显示，在近1600名受试者中（其中四分之一是污染地托儿所的儿童），他们体内的PFC浓度远高于目前全美的平均值。在西弗吉尼亚州伍德县的杜邦化工厂附近，当地人的血液中检测出了惊人的PFC浓度。当地7万名居民血液中的平均PFOA浓度为28 ng/mL，但其中一半人高于82 ng/mL。埃默里大学罗林斯公共卫生学院的流行病学教授凯尔·斯廷兰（Kyle Steenland）表示，接触污染最多的人，血液PFOA浓度甚至高于1000 ng/mL。数十万美国居民生活在军事设施、化工厂和废水处理设施周围的PFC污染热点区，更不用说数百万生活在其他国家的受污染者。

不确定的毒性

然而，确定环境中多高的PFC浓度会给人体造成危害，却是一项棘手的工作。隶属于美国疾病控制与预防中心的国家环境卫生中心主任帕特里克·布雷斯（Patrick Breyse）说：“我经常被问及PFC将如何影响一个人的生活，但是答案并不简单。我们只能对PFC进行检测，但暂时无法解释它们对人体具体有何影响”。

PFC毒性不确定的原因之一是，有关PFC毒性的数据非常复杂。这种物质可能对动物产生多种影响，但不同物种对污染物的毒性敏感度却有所不同。同样，大量研究显示，PFC对人类个体的影响也不尽相同。一些人受到了PFC的危害，而其他人却安然无恙。“结果完全不一致，”新罕布什尔州卫生与公众服务部的流行病学家本杰明·占（Benjamin Chan）说，“人们希望将自己血液中的PFC浓度与研究中产生健康影响的PFC浓度进行对比，但每一项研究的质量都不够高，我们

需要整体评价文献中相关证据的重要性，以衡量PFC对健康的影响，但结论往往令人困惑。”

自2000年以来，科学家已经发现，接触PFC的大鼠可能患肝癌、睾丸癌和胰腺癌，而这些癌症没有在进行类似试验的猴子身上出现。科学家在多种受PFC污染的动物身上观察到肝脏肿大、免疫系统受抑制、神经功能改变、肥胖和乳腺发育延迟等问题。EPA的研究发现，受PFC污染的母鼠生出的小鼠容易出现体重偏低、骨骼发育异常和性早熟等问题。基于此项研究，EPA公布了新的PFC建议浓度标准。

研究人员可以在实验室的可控条件下将PFC添加至动物饲料中，但是他们不能用同样的方法在人类身上进行试验。因此，他们必须通过流行病学手段，研究PFC污染较严重的社区是否具有更高的发病率。流行病学研究需要排除一些潜在的复杂因素，例如吸烟、不良饮食和其他污染物的影响，这些因素均有可能掩盖PFC造成的影响。斯廷兰表示，最好的研究群体是接触了大量污染的人群，科学家更可能从中发现癌症等疾病发病率的变化。对美国西弗吉尼亚州杜邦化工厂附近人口的研究就是一个案例，在超过50年的时间里，该化工厂持续将PFOA排入俄亥俄河，污染了附近数英里深的地下水，污染浓度达到3000 ppt甚至更高。

根据2004年达成的诉讼和解协议，杜邦公司同意资助3500万美元用于调查PFC潜在的健康危害。这项被称为C8的研究招募了69 000名当地居民，最终揭示了饮用水中的PFOA与6种疾病之间的可能联系：肾癌、睾丸癌、溃疡性结肠炎、甲状腺疾病、高胆固醇血症和妊娠高血压。

主持此项研究的斯廷兰说：“PFOA暴露与这些疾病存在关联的概率均超过50%，但现在说PFOA导致了这些疾病还为时过早。我们的数据相当可信，但是一项大型研究还不足以下定论。我们需要在其他人口中也建立相应的联系，以获得更具说服力的结论。

此外，我们需要通过更多的研究明确低浓度PFC对儿童免疫系统发育的影响。当孩子接种疫苗以预防麻疹等疾病时，身体会产生抗体，从而识别病原体。此后，孩子接触真正的病原体时，他们的免疫系统已经准备就绪，迅速形成一套反击系统。有证据表明，PFC可能会阻碍机体对疫苗的反应，使其效果减弱。2012年，哈佛大学的一项备受瞩目的研究表明，随着PFC血液浓度的升高，白喉和破伤风疫苗产生的抗体水平逐渐下降。他们在法罗群岛开展了这项研究，当地人从包括鲸在内的海洋饮食中摄入了大量PFC。其中，孕妇和儿童体内的PFC水平与美国普

通人相似。哈佛大学公共卫生学院的教授菲利普·格朗让（Philippe Grandjean）领导了这项研究，他说，这项研究表明，该浓度水平的PFC可能使儿童抵抗传染病的能力下降。

美国国立卫生研究院的毒理学家安德鲁斯·鲁尼（Andrew Rooney）说：“我们在小鼠身上开展的研究得到了同样的结果：PFOA和PFOS都能抑制动物体内抗体的产生，我们正在对这两项研究进行比较。事实上，PFC对动物和人体免疫系统的影响相似，这增加了结果的可信度，我们预计体内PFC浓度较高的人对疫苗的响应效果更差。”

然而迄今为止，PFC抑制抗体产生的动物学证据仅限于小鼠，大鼠和猴子身上都没有出现同样的现象。C8研究的科学家试图在俄亥俄州和西弗吉尼亚州PFC污染较为严重的社区中寻找这样的证据，他们在评估3种流感病毒时发现，受到C8影响后，人体对其中一种病毒的抗体产生水平受到轻微抑制，但他们并没有找到感冒或流感增多的证据。C8研究计划的负责人之一、伦敦卫生及热带医学学院的流行病学家托尼·弗莱彻（Tony Fletcher）表示，目前尚不清楚C8和格朗让的研究结果为何存在差异。他说：“当污染水平较高时，预期得到的机体反馈应该更明显。”

流行病学研究需要一个缓慢的过程。斯廷兰表示，全球各地的研究结果将有助于我们对该问题的理解。但是，卫生官员只能利用他们手头的数据来制定PFC的安全标准，而且他们往往对数据有不同的解释。例如，新泽西州的官员最近提出了14 ppt的饮用水PFOA标准，远低于EPA的标准浓度。他们认为，更严格的标准可以防止肝脏肿大及乳腺发育延迟——这些正是在低剂量的情况下，小鼠最容易出现的症状。EPA为何不采取同样的标准？当被问到这个问题，EPA一位发言人通过电子邮件回复称，前述研究并没有表明，啮齿动物的肝脏重量会给机体造成不利影响，而且小鼠的肝脏肿大可能是由某种人类不具备的生物反应导致的。这位发言人还表示，乳腺发育的延迟不会影响动物的正常哺乳或者喂养幼仔。但格朗让正在倡导的饮用水PFC浓度低至1 ppt，以保护儿童的免疫系统发育不受影响。

监管失效

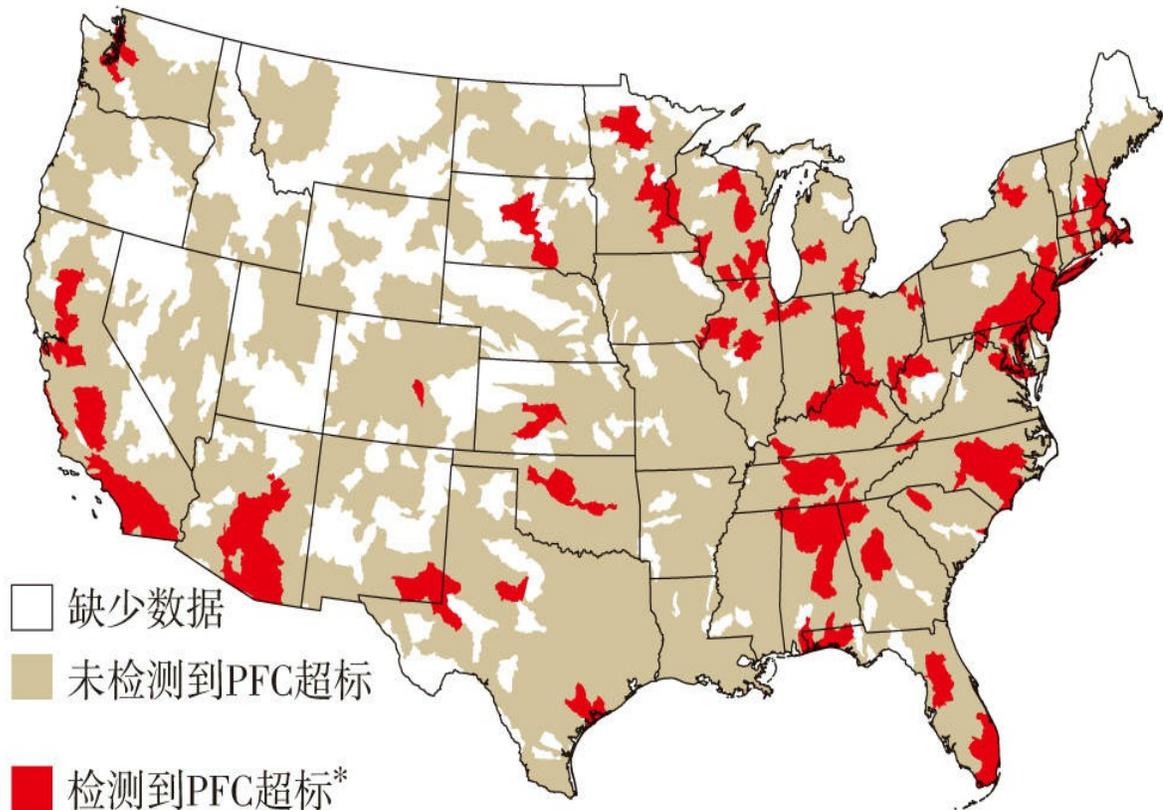
受制于资金及人员短缺、议会的频繁反对以及环保团体和相关行业之间的利益竞争，EPA为饮用水污染物制定强制标准的行动始终无法推

进。环境工作组的安德鲁斯说：“化学健康评估通常会无限期地延迟，但是EPA必须完成这些评估，才能按照《安全饮用水法案》（Safe Drinking Water Act, SDWA）制定监管标准。”事实上，近20年来，EPA始终没有制定针对任何污染物的强制标准。EPA提出的PFC健康标准仍然不受任何机构监管，而仅仅是一个警告值。自来水公司并不需要对PFC进行抽查，但随着宣传的不断增加，现在很多自来水公司已经开始了抽查。

检测结果

PFC热点地区

根据EPA的检测数据，哈佛大学的和同事分析得出结论，超过600万美国居民的饮用水中的PFC浓度超过建议标准。由于数据来源不包括人口少于10000的城镇和私人水井，所以实际的受威胁人数还会增加。



* 在2013~2015年期间，在每个邮政编码覆盖的范围内，若在至少一处水体中检测到超出

EPA标准的PFC值，该区域即标注为红色。但红色并不意味着该区域内所有饮用水源的PFC均超标。

数据来源：“Detection of Poly- and Perfluoroalkyl Substances (PFASs) in U.S. Drinking Water Linked to Industrial Sites, Military Fire Training Areas, and Wastewater Treatment Plants,” by Xindi C. Hu et al., in *Environmental Science & Technology Letters*, Vol. 3, No. 10; October 11, 2016

地图：Mapping Specialists

同时，对其他不受制约的饮用水污染物的监督也在增强，包括1,4-二氧六环、六价铬和高氯酸盐（一种火箭推进剂，按原计划应在2014年8月11日纳入SDWA的监管范围）。由于对该物质的毒性存有分歧，EPA错过了该期限，并被自然资源保护协会（Natural Resources Defense Council, NRDC）起诉。NRDC的律师埃里克·奥尔森（Erik Olson）抱怨说，SDWA强加在EPA身上的研究耗费了太多的资源，给相关企业提供了太多干扰的机会。他表示：“EPA的权力受到了限制。”在一封电子邮件中，EPA的官员称，他们正在根据SDWA的要求对PFOA和PFOS的标准进行评估，但他们无法确定是否能随即制定出相关标准。

几十年来，受制于管理或禁止工业化学品生产的相关法律，EPA的作用微乎其微。当《有毒物质控制法》（Toxic Substances Control Act, TSCA）于1976年制定时，它适用于商业生产中的所有6万多种工业化学品，包括PFC。TSCA使得EPA将更多的关注投向新化学品。目前在华盛顿特区的律师查利·奥尔（Charlie Auer）表示，他协调企业自愿将PFOA和PFOS撤出市场时，并没有通过相关法律：“长链PFC基本上已不再用于商品生产，人类血液中的PFC浓度在EPA干涉之前就已有所下降，这表明尽管TSCA在当时存在明显不足，但仍取得了显著成效。PFC的生产使用问题在15年内就在很大程度上得到了解决，考虑到这项工作的困难性，已经相当快了。”

[更多信息](#)

中国的PFC

作为PFC的主要生产国及使用国之一，我国环境中的PFC污染同样不容忽视。尽管与美国相比，我国企业开始生产和使用PFC的时间较晚，但一些地区的水体中也显现出明

显的PFC污染。

由于对PFC的研究较晚，中国地表水及自来水中PFC浓度的数据还很缺乏。根据已有研究，我国东南沿海地表水中的长链PFC浓度较高，普遍超过100 ppt。而在自来水中，上海和深圳等城市的PFOA或PFOS浓度较高（其中，上海的PFOA浓度最高达到78 ppt）。这些热点地区的高浓度的PFC与相关工业的分布密切相关。

在本世纪初，3M等公司停止生产PFOS。此后，我国成为重要的PFOS生产及出口国。清华大学环境学院邓述波教授介绍说：“据不完全统计，我国每年的PFOS生产量大于100吨，其在镀铬和消防等领域有广泛应用。”

由于难以降解、可全球迁移并且具有潜在毒性，2009年，《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》将PFOS及其盐类和全氟辛基磺酰氟（PFOSF）新增为持久性有机污染物，要求各国在一定期限内停止生产、使用PFOS类化合物。

目前，我国是唯一一个仍在生产PFOSF的国家，也是为数不多的PFOS生产国之一。但作为公约的缔约方，我国也在积极采取行动，力争在赦免期内履行公约。2016年年底，我国环境保护部与世界银行共同开发的“中国PFOS优先行业削减与淘汰项目”获得批准，将于今年正式启动。该项目旨在削减PFOS的生产行业，并削减PFOS在3个重点行业（金属电镀、泡沫灭火剂和红火蚁杀虫剂）中的应用。

对于PFOA及其他长链PFC，由于缺乏明确的病理学证据、尚未被列入国际公约的禁止名单，它们在我国的生产及使用仍未受到限制。对于包括PFOS在内的各类PFC，我国也未建立起它们在饮用水中的含量标准。相比于美国已经由EPA建立起PFC在饮用水中的含量标准，并且开始采取措施对受污染的环境进行修复，我国仍处于相对滞后的状态。只有在政策、系统研究和公众认识上全方位提升，才能避免在PFC的问题上再次出现“先污染后治理”的困境。（整理 吴非）

去年6月，美国国会终于对TSCA作出修订，使得EPA对现有化学品拥有更大的决定权。在一封电子邮件中，一名EPA官员表示他们将根据修订的法律，考虑对PFC进行风险评估。但他们也表示，不会将对PFC的评估作为优先事项考虑，因为在EPA的带头努力下，市场上长链PFC的使用已经被禁止。

监管和科学上的不确定性意味着，美国城镇居民对饮用水中PFC的安全浓度是多少，以及是否需要采取相应的措施还不清楚。安德烈娅·阿米克（Andrea Amico）只想知道，PFC对她家人的健康，尤其是对她的孩子们的健康有何影响。阿米克是一名住在朴次茅斯的职业治疗师，在PFC污染问题被发现之前，她的丈夫在皮斯贸易港工作了7年，而她的两个孩子也在当地上托儿所。在她丈夫和孩子的血液中，都检测出PFC偏高。2015年，阿米克组织建立了一个皮斯社区行动小组，呼吁

CDC官员对350名在贸易港受到PFC污染影响的儿童进行长期健康研究。阿米克说：“其中一些孩子在6周时就开始饮用被PFC污染的自来水，我们无法确定这对他们健康的影响，我们需要一个切实的计划来获得答案。”

阿米克表示，这个计划应当成为一项纵向研究，长期进行血液抽样和医疗监测，直至孩子们成年。阿米克强调，有关PFC对儿童健康影响的数据太少，尤其是长期研究的数据。她和小组其他人士表示，希望通过长期追踪为PFC的研究作出贡献，因为没有人能告诉他们，从长期来看，接触PFC对他们的健康是否有害。

但是在去年8月份与皮斯小组的会议上，美国有毒物质与疾病登记署（Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR）的官员们没有给出明确的回复。ATSDR的主任布雷斯解释说，虽然他们考虑进行一项交叉研究，以检测一些健康效应在某个时间点的变化，但纵向研究是不切实际的，因为皮斯当地受到PFC污染影响的孩子人数太少，无法通过统计学手段研究健康状况的变化。布雷斯说，更好的选择是，把这些孩子纳入涵盖了全美PFC污染人口的大规模研究。他说：“现在，我们正在讨论这项研究的具体形式，同时努力解答社区居民关心的问题。”

阿米克最关心的问题仍然没有答案。她说：“PFC的污染正在影响我们所有人。我常常夜不能寐地思考，这将对我的孩子造成什么影响。”

本文审校 邓述波是清华大学环境学院教授，研究方向包括新兴污染物的污染和控制技术，环境吸附材料的研发及应用。
孟萍萍是清华大学环境学院博士研究生，研究方向为全氟化合物的吸附去除技术。

扩展阅读

Changing Interpretation of Human Health Risks from Perfluorinated Compounds. Philippe Grandjean and Richard Clapp in *Public Health Reports*, Vol. 129, No. 6, pages 482–485; November-December 2014.

Perfluorinated Chemicals (PFCs). Factsheet. National Institute of Environmental Health Sciences, July 2016. www.niehs.nih.gov/health/materials/perfluorinated_chemicals_508.pdf

Immunotoxicity Associated with Exposure to Perfluorooctanoic Acid or Perfluorooctane Sulfonate. National Toxicology Program. U.S. Department of Health and Human Services, September 2016. <http://ntp.niehs.nih.gov/pubhealth/hat/noms/pfoa/index.html>

Gauging the Effects of Lead. Ellen Ruppel Shell; July 2016.

深度

责任编辑：吴非

健康 HEALTH

A RARE SUCCESS AGAINST ALZHEIMER'S

老年痴呆的生活疗法

临床试验表明，更好的饮食、锻炼习惯能够有效预防认知衰退。

撰文 米亚·基维佩尔托 (Miia Kivipelto) 克里斯特·霍克尔松 (Krister Håkansson) 翻译 朱机



米亚·基维佩尔托是瑞典卡罗林斯卡医学院临床老年流行病学教授，在该院主持记忆障碍的临床试验。她也是东芬兰大学神经流行病学部的研究主任。



克里斯特·霍克尔松是瑞典卡罗林斯卡医学院的一名研究人员，供职于神经生物学、护理学及社会学部。他也是瑞典林奈大学的一名讲师。



精彩速览

过去30年里，200多种针对阿尔茨海默病的实验药物宣告失败。如果没有新的疗法，到2050年时，全世界阿尔茨海默病患者的数量将会剧增。

一项临床试验最近带来了希望之光：重视饮食、锻炼等生活习惯或可预防痴呆症。

研究中，当受试者遵循一系列保健措施时，他们的记忆、思维灵敏度等认知活动上取得显著进步。

这项研究的结果足以从饮食、锻炼和社会融入程度等多个途径为人们提供预防痴呆的参考意见。

越来越多的人口正迈入高龄阶段。19世纪早期，人类的预期寿命只有45岁，如今在大部分欧洲国家、日本、加拿大、澳大利亚，以及更多国家的人口预期寿命已经超过80岁了。如果保持同样的趋势，这些国家出生的大部分婴儿会在未来活过100岁。

伴随长寿而来的还有一些负面消息。尽管我们比上几代人活得更

久，但多活的那些年并不意味着活得更健康了。世界各地的多项研究显示，超过60岁的人群中多数人至少患有一种慢性病，比如心脏病或糖尿病。最近，一项关于瑞典人群的基础研究发现，只有10%的人，到80岁后还没有慢性病。事实上，研究显示80岁以上的人群中大部分患有至少两种慢性疾病。

现代医学在治疗和控制这些疾病方面逐渐开始发挥作用。但是，目前少数几种常见的老年病依然没有预防或者治愈的方法，其中最显眼的就是引起痴呆的罪魁祸首——阿尔茨海默病。阿尔茨海默病的疾病进程令人痛心，它会让患者不断丧失记忆和自我认知感，这种丧失不仅对患者本人是一种折磨，对家人朋友也是残酷的打击。

以美国为例，85岁以上的人大约有32%被诊断为阿尔茨海默病。通常，患病时还会伴有其他类型的痴呆，比如由脑血管疾病引起的痴呆。据估算，全世界范围内，痴呆症人数已经接近5000万。假如到2050年仍然没有新的治疗方法有效延缓痴呆，到时将有超过1.3亿人患不同类型的痴呆症。阿尔茨海默病患者将占总痴呆人数的60%~70%，还有20%~25%属于血管型痴呆。

尽管在全世界范围内开展的相关临床试验已经有100多项，可惜，还没有任何一项发展出了能够终止阿尔茨海默病进程的疗法或药物。过去30年里，200多种针对阿尔茨海默病的药物宣告失败。但是，这并不意味着我们只能坐以待毙。本文两位作者参与的一项标准临床试验发现，即使没有新药，积极改变生活习惯和控制血管危险因素，也能预防和延缓认知衰退。

我们开展的这项研究源自于流行病学调查，目的在于寻找降低阿尔茨海默病风险的方法。这类研究被称为“关联研究调查”，通过测量一种健康变量（如抑郁、高血压）或一种行为（可能是饮食和运动），然后跟踪调查（一般来说要过很多年）受试者是否患上某种疾病。如果正在观察的变量和疾病之间出现了很强的关联性，就表明某类健康变量或者行为可以被看作是危险因素；同样，如果发现我们所观察的一种变量与较低的疾病风险存在相关性，就可以认为这种变量是一种标志，可能对身体起到保护作用。

饮食、运动和社交

过去15年的关联研究提醒我们，保持心血管健康和采取特定的措施（健康饮食、运动、积极社交以及提高受教育程度），或许可以降低患上阿尔茨海默病或其他类型痴呆症的风险。这些措施对一些特定人群也是有帮助的，即便他们携带了会增加患病风险的基因。流行病学家还渐渐找到了一些可能起保护作用的因素，比如与伴侣共同生活，采取地中海式膳食（以鱼类、蔬菜、水果和橄榄油为主）。有一些研究表明，可以把控制血压、控制糖尿病等措施作为一级预防，也就是说，这些措施可以防止痴呆的发生。其他措施或许还可以提供二级预防，也就是说在症状还不明显的初级阶段，可以延缓记忆丧失等各种症状。

试验设计

预防痴呆的**FINGER**研究

从2012年开始，“芬兰预防老年人认知损伤与认知障碍的干预研究”（简称**FINGER**）就启动了。这项临床研究一共招募了1260名年龄在60到77岁的男女受试者，其中629人被随机安排到对照组（组1），631人被安排到治疗组（组2）。所招募的两组受试者本身都已存在稍微偏高的痴呆风险。治疗组成员首先进行了训练，然后根据要求遵循特定的膳食安排、运动安排和认知训练。在两年时间里，每3个月护士就会为治疗组的受试者检查一次各种身体指标，还会安排3次内科医生的诊疗，这些措施都是为了确保他们能够很好地跟上研究人员安排的日常生活计划。对照组受试者则只能定期获得一些基础健康咨询。



尽管关联研究表明，这些手段可能有保护作用，但并不能直接证实采用这些手段就一定可以预防痴呆症。比如，在研究有些人（以地中海膳食为主的人，或是每周锻炼三次的人）为什么能够躲开疾病时，流行病学家很可能忽略了其他方面的变量造成的影响。

现在，流行病学家试图通过统计校正来解决这个问题。但是，要排除一个人生活中所有可能干扰研究结论的因素，几乎是不可能的。流行病学家永远没法保证他们已经完全排除了每一项干扰因素，因为，有时甚至连干扰因素的相关资料都不存在。比如说，个体出生头几年的经历或许非常重要，可能会影响将来高血压的发展情况，也可能影响其他引发阿尔茨海默病的健康问题。然而，要获得有关童年经历的可靠资料却十分困难。由于缺少必要的资料，强行总结变量与结果之间的关系，可能得出虚假的联系，也可能导出错误的结论。此外，当需要同时考虑大量变量时，统计方程本身也会不堪重负。

2010年，如何根据关联研究建立因果关系的难题得到了更多关注。美国国立卫生研究院也因此发声，他们表示，目前没有足够证据表明哪些建议一定能起到降低认知衰退风险的作用。为了克服这一难题，美国国立卫生研究院建议，研究阿尔茨海默病的科学家开展随机对照试验，在研究的同时注意检测各种相关因素：相比于只检测单个可能与预防痴呆症有关的因素，研究人员应该更多地把自己的注意力投入到多种相关因素的联系上去。

随机对照试验是用于检测一种疗法是否有效的金标准，在这个案例里，可以把检测的变量（例如饮食和运动）与结果（例如预防痴呆症）之间的关系，表现得更明确。在这样的试验中，受试者会随机分配到治疗组和对照组。为避免结果发生偏差，研究者和受试者都不知道谁被安排到哪一组。

过去，很少会实施长期随机对照试验，从而研究生活方式的改变如何影响个体健康状况。因为要准确监测受试者的日常行为难度太大，工作量也太大。尽管如此，出于对高质量数据的需求，美国国立卫生研究院还是建议要把长期随机对照试验看作最有必要开展的研究，因为过去只关注单一变量的随机对照试验出了很多问题，要么失败要么结果含混不清。另一方面，研究阿尔茨海默病的人也渐渐认识到，有必要借鉴心脏病和糖尿病的最新预防策略，也就是说，最好针对多重危险因素同时开展研究。

开启大规模试验

2010年以来，已经有好几项长期随机对照研究逐渐开展，相关研究的发现也会在近期陆续公布。其中，最早发表结果的是我们的项目——“芬兰预防老年人认知损伤与认知障碍的干预研究”（简称FINGER）。这项研究重点分明，主要是想在定期提供健康咨询，及时观测患者心血管健康的前提下，评估改善饮食、锻炼身体以及训练思维是如何对认知健康产生影响的。

受试者年龄都在60到77岁之间，包括由631人组成的治疗组和629人组成的对照组。我们希望通过历时2年的研究，观察他们在整体认知上会不会有所不同。当然，对照组的受试者也会接受健康咨询，定期检查心血管健康。如果发现健康问题，比如血压偏高，也有相应的治疗方式。为提高试验成功率，我们优化了受试者人群的结构：参照评测痴呆风险的一项检验标准（综合心血管危险因素、衰老和痴呆，即CAIDE，老年痴呆风险评分）后，我们会选择认知功能减退的风险已升高的个体。

预防步骤



肢体活动是FNGER 项目的重要组成部分。



相比对照组，治疗组得到的护理包括：营养指导、认知训练和体育锻炼，受试者心血管健康状态也会得到更严格的管控。其中，营养指导依照芬兰国家营养理事会推荐的方法执行，重点关注蛋白质、脂肪、碳水化合物、膳食纤维和盐类的营养均衡，并严格限制反式脂肪酸、精制糖和酒精的摄入。研究人员给受试者推荐的膳食的主要成分为：水果、蔬菜、全谷物和菜籽油，再加上一周至少两次的鱼肉。其中，维生素D是唯一需要单独提供的膳食补充剂。

体育锻炼则包括肌肉力量训练、有氧运动和姿势平衡。受试者的锻炼项目因人而异，前6个月由理疗师带领，之后在团体内各自独立练习。推荐量从最初的一周去健身房1到2次、每次30到45分钟肌肉力量训练。经过6个月循序渐进，逐渐增加到一周去健身房2到3次、每次60分钟，并在接下来的18个月里保持相应的运动量。受试者还会根据建议进行有氧训练，从一开始的每周2次逐渐增加到每周3到5次。依照个人情况，他们可以选择北欧式健走、水下健身操、慢跑或体操等有氧运动项

目。

治疗组还利用计算机程序完成了多项认知任务的训练，从而增强执行功能（包括计划任务和组织任务）、记忆和内心推理的速度。训练项目每6个月为一期，在两期的时间中，他们要在心理学家的带领下完成6次团体入门训练，接着每周参加2到3场训练，每场持续10到15分钟。此外，还会安排关于老年人认知变化，以及如何改善记忆等主题的集体讨论。

我们也会定期检查受试者在代谢方面和血管健康方面的情况，临床研究护士曾先后6次测量了受试者的体重、血压、臀围和腰围。在这2年时间里，内科医生还对受试者的多项检查结果进行评估。在先后4次的评估工作后，医生会根据评估结果提出改善日常生活习惯的建议。

无论从哪种标准来看，FINGER项目对大部分受试者来说都属于强化干预。在开展研究的这两年时间中，受试者的生活方式出现了巨大的变化。在严格要求下，大部分受试者成功坚持到了最后，只有12%的人在途中提出因健康状态要退出试验。此外，治疗组中的631名参与者中只有46人表示，在完成任务的过程中遇到了困难。最普遍的问题在于体育锻炼带来的酸痛感。从试验结果来看，我们可以认为，这些标准和要求可以切实改变个人的日常生活方式，使受试者在认知健康方面受益。

不过，还有更重要的问题值得关注，这些改变有没有真正达到维持认知能力的目标？

两年后，治疗组的受试者在认知方面表现出明显的进步：平均来说，治疗组和对照组的整体认知均有提高，但治疗组的提高程度比对照组高25%。另一项分析认为，可以把受试者中出现认知恶化的人数作为指标，结果也同样令人惊讶：两年后，对照组中受试者认知衰退的风险要高30%。

在随机对照实验中，对照组的参数得以提高往往是由多种原因造成的，比如，在第二次参与同样的测试时，受试者通常会取得更好的成绩。还有，FINGER并没有传统意义上的对照组。实际上，对照组的受试者也会定期接受健康咨询和心血管监控，这算是一种小型干预。

定期检查和交流也会对受试者起到一定的作用，这些经历可能促进他们在一定程度上改变自己的生活习惯，从而改善认知功能。我们知

道，尽管这种安排可能会缩小两组结果的差异，但是，我们有伦理上的义务，需要确保试验对对照组的受试者有一定的好处。当然，在拿到试验数据后，我们一点也没有对采取干预手段所取得的成果丧失信心，因为治疗组的进步程度确实比对照组更加显著。

治疗组的受试者在其他方面也有显著进步，比如一些在日常活动中要用到，但常常随着衰老而逐渐退化的一些功能。相比对照组，治疗组的执行能力改善明显，高出了83%；内心加工速度（完成思维任务所需的时间）更显著，比对照组高了150%；复杂记忆任务的表现（例如记住较长的清单）则高出了40%。

根据进一步研究得出的数据，我们还发现，这些措施对特定类型的受试者也有好处。因为携带基因突变（APOE e4），部分受试者患阿尔茨海默病的风险更高，对这些人来说，参与试验对他们有很明显的作用。在遵循医生建议，接受一系列生活方式的改变后，他们的认知评价数据显著提高。这就证明了干预的有效性。不仅如此，测量生物标记物——端粒（位于染色体末端的特殊结构）之后发现，在治疗组中，携带风险基因的受试者出现了一些有趣的现象：他们的细胞的老化速率变慢了。

深入验证

现在，我们获得了相当充足的证据，即使年过60，综合改善饮食、加强锻炼、积极开展思维训练和社交活动，并控制心血管问题，也可以改善患者的认知情况。不过，这还只是初级结果，接下来还有很多工作需要开展。

在两年后，受试者的一些认知功能有所提高，这只能说明改变膳食与运动习惯对痴呆的形成有影响，并不能证明这些措施能够预防痴呆。为了研究能否延缓痴呆症的发病时间，我们必须考虑跨度较长的症状前时期。要知道，不同类型的痴呆症，有不同类型的症状前特征。比如，在诊断出认知问题的前15到20年，阿尔茨海默病患者就已经开始进入病程了。因此，我们有必要跟踪更长的时间段。不过，从实际操作的角度出发，我们必须考虑多长的时间是可行的，经济上也是可以承受的。拉长时间，有利于我们了解整个过程，但操作难度会提高，费用也会相应增加。

我们还希望解决另一个问题。有些患者的大脑已经开始出现变化了，但他们还没有向医生报告自己出现认知衰退的现象。对于他们来说，是不是可以通过抵抗生理变化来延缓疾病发展？比如在FINGER项目中，那些改变生活方式的措施是不是可以推迟认知问题的发生，是不是可以达到二级预防的目的？如果能将症状延迟2到5年，那么对于公共卫生来说，已经是重大的推动了。这种延缓意味着许多人很可能不会接到痴呆的诊断书，因为他们可能会在此之前死于别的原因。

为此，我们已经展开了FINGER项目的扩展研究。在下一阶段，我们计划在7年时间内，运用大脑成像技术，不断检验良好的生活方式是不是可以抵消神经元之间的连接丢失或者某些脑区萎缩的现象，而后两者正是阿尔茨海默病的主要特点。通常，阿尔茨海默病患者的脑部尸检结果会显示有炎症、细胞应激或者一些必不可少的蛋白质明显不足等病理特征，我们也希望通过血液测试来确认，那些看起来能够改善认知的行为是不是真的有助于减少病理特征。

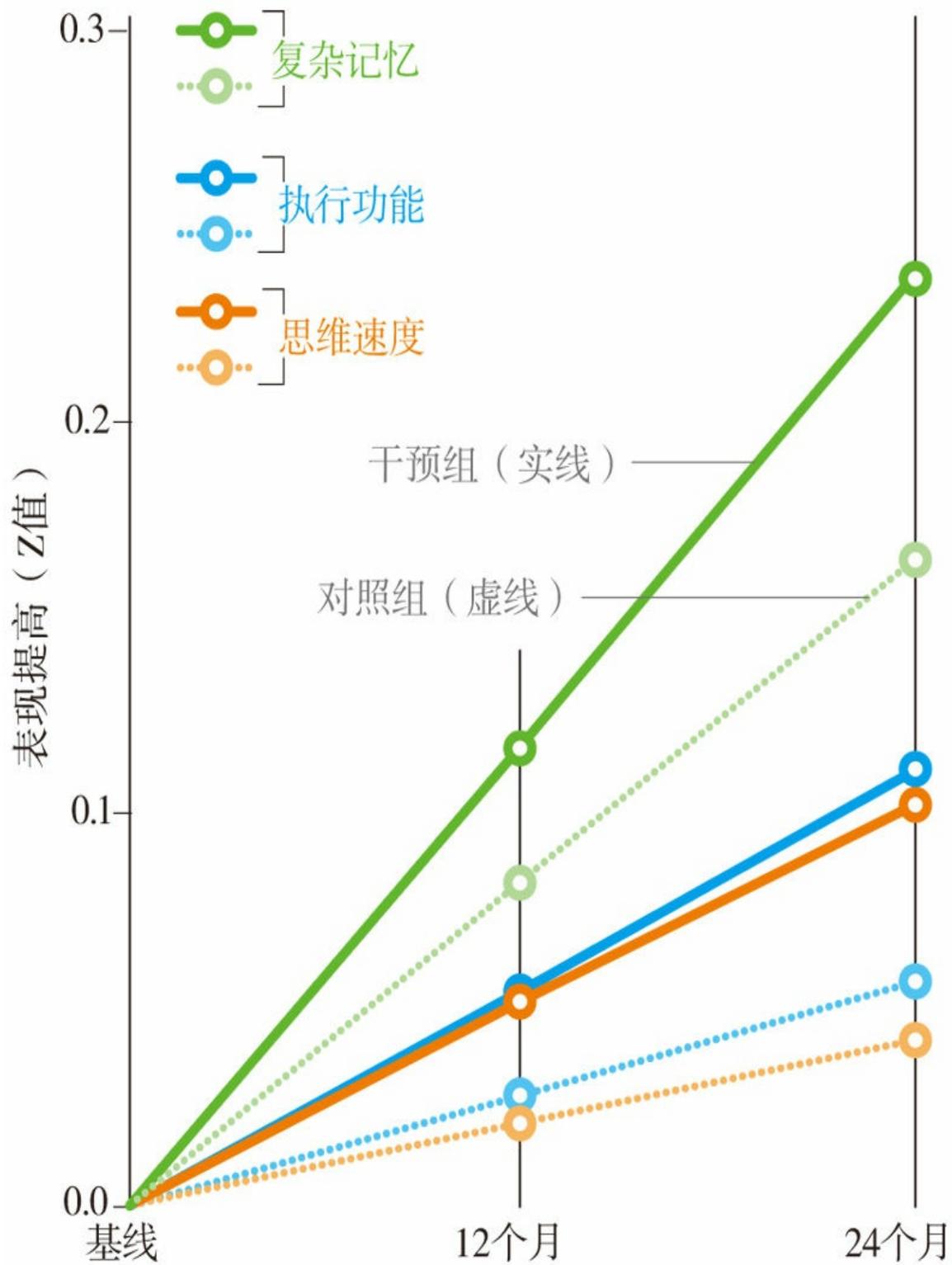
此外，我们也会和别的研究团队合作，把其他国家开展的、与我们项目类似的研究结果放到一起比较。通过对比，我们就可以判断研究中的发现是不是可以推广到不同人群中。结合不同的研究结果，我们也可以改善统计效果，获得细节更清晰的及时干预方案。比如，我们可以比较不同研究中治疗组接受的锻炼强度，找到保持大脑健康的最佳锻炼强度。

从FINGER中得到的经验还可以为类似的研究提供模型，挖掘流行病学文献，找出多重危险因素，并采用随机对照试验予以检验。目前，我们有两项这类合作项目：“欧盟老年人互联网健康咨询计划”（the European union's Healthy Aging through Internet Counseling in the Elderly），以及“多模态策略促进老年人大脑健康”（the Multimodal Strategies to Promote a Healthy Brain in Aging）。

现在，我们不需要再等上十年，让卫生保健专业人员为病人制定建议了，FINGER项目提供的证据表明，病人完全可以采取我们之前提到的一些措施。7年前，美国国立卫生院在召集的会议上提出，当时没有任何证据支持的预防措施；现在，如果再召集一次会议，结论就会比当时的积极多了。

改善更明显

FINGER项目中，治疗组和对照组在记忆、执行功能和思维速度等各项认知测试上的表现均有提高。不过，治疗组在经过24个月的干预后，得分比对照组更高。



美国国立卫生院或许也可从近期发表的研究结果论证，阿尔茨海默病发病率在下降，美国和几个欧洲国家各种痴呆症发病率都在下降。之所以会有这样的趋势，或许是因为人们得知改变生活方式有助于改善大脑健康后，更自觉地采取了各种措施。

面对众多失败的药物，预防或将成为控制老年痴呆蔓延的最佳途径。而这就像针对其他类型的慢性病一样，预防非常重要，需要放在首位。FINGER的研究告诉了我们一些关键信息：为了预防阿尔茨海默病，什么时候采取行动或许都不算早，也不会太晚；改变生活方式就可以帮助那些已经出现认知衰退苗头的人。

扩展阅读

A 2 year Multidomain Intervention of Diet, Exercise, Cognitive Training, and Vascular Risk Monitoring versus Control to Prevent Cognitive Decline in At-Risk Elderly People (FINGER): A Randomised Controlled Trial. Tiia Ngandu et al. in *Lancet*, Vol. 385, pages 2255–2263; June 6, 2015.

Defeating Alzheimer's Disease and Other Dementias: A Priority for European Science and Society. Bengt Winblad et al. in *Lancet Neurology*, Vol. 15, No. 5, pages 455–532; April 2016.

Alzheimer's: Forestalling the Darkness. Gary Stix; June 2010.

深度

责任编辑：吴非

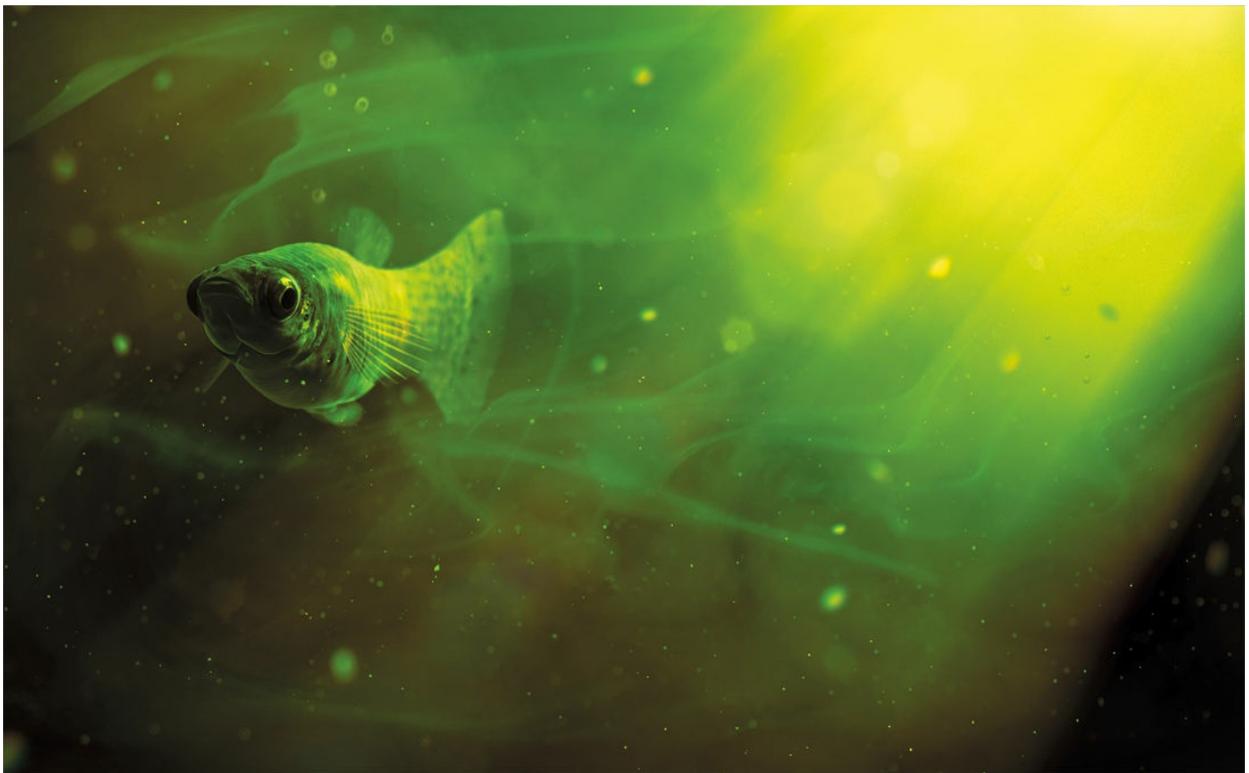
演化 EVOLUTION

EVOLUTION AT THE LIMITS

毒泉孕育新鱼类

含有硫化氢的有毒水体，是令绝大多数生物望而却步的地狱。然而，一些不起眼的小鱼却在这样的极端环境中生存、繁衍。

撰文 吕迪格·里希（Rüdiger Riesch） 马丁·普拉特（Martin Plath） 翻译 李昱 审校 郭宝成



制图：马克·罗斯（Mark Ross）

吕迪格·里希是伦敦大学皇家霍洛威学院的演化生物学讲师，他致力于研究生物多样性的产生、维持及其限制因素，特别是当一个种群进入一个新生态位导致新物种形成的情况。



马丁·普拉特是中国西北农林科技大学基础与应用动物学教授。他的研究方向包括动物行为、行为演化、局部适应与物种形成。



精彩速览

花鲮科中的几个物种能够在含有硫化氢的小溪和河流中生存。

这几种鱼具有一些相似特征，包括硕大的头部和个头更大的后代，这些特征能够帮助它们在致命的环境中生存。

DNA分析表明，它们通过不同的分子途径获得了这些相似的适应性。极端环境很可能促进了新物种的形成。

去年9月的一个下午，我们穿越墨西哥南部塔巴斯科州的雨林，随着流水的声音去寻找一种很小却十分重要的鱼。亮蓝色的闪蝶从我们身边飞过，吼猴在头顶的树枝上咆哮，雨林动物的热情欢迎让我们在酷热和潮湿中得到一丝安慰。很快，我们就看到一只翠鸟一头扎进了附近的小溪，随即飞回树枝上享用食物。这只翠鸟抓到的就是我们要找的鱼：短鳍花鲮（*Poecilia mexicana*）。短鳍花鲮属于花鲮科，雌鱼直接产下小鱼而非鱼卵，雄鱼则拥有亮丽的色彩，使其成为世界各地水族馆的常客。

那一刻，我们回想起前些天的工作。当时，我们在距离这里几千米的阿罗约—克里斯塔尔（Arroyo Cristal）研究短鳍花鲮，那个地方得名于它水晶般透明清澈的水流。在那里开展研究简直就是享受——我们可以坐在石头和原木上，把腿放在水中驱散炎热，而我们的研究对象就在我们的脚边游来游去。

然而，这一天的野外工作注定是不同的。在距离目的地很远的地方，空气中就弥漫着臭鸡蛋的味道，逐渐印入眼帘的水也浑浊不清——水里悬浮着大量的硫磺颗粒。站在水边，我们看到水下的石头上都附着黏滑的硫细菌，许多鱼张大着嘴聚集在水面附近，大口呼吸空气。

不了解的人可能很难将这些鱼与我们之前在阿罗约—克里斯塔尔观察到的鱼联系起来。毕竟，这个栖息地与之前截然不同，这些鱼的头部更大，而且具有独特的水面呼吸行为。但毫无疑问，它们是同一种鱼。

终于，我们走到了这一天的工作地点：埃尔阿苏夫雷（ElAzufre），有毒气体硫化氢含量很高的一条小溪。正是在这样严酷的环境中，短鳍花鲮演化出了独特的生存能力。

富含硫化氢的环境可以在几分钟甚至几秒钟内杀死大多数不具备适应性的生物，包括人类。因此我们不难理解，科学家为什么对生活在这种环境中的生物如此痴迷。从20世纪60年代开始，科学家就已经在研究适应硫化环境的花鲮。但直到过去15年间，得益于基因测序技术的发展，研究人员能够从分子水平上揭示生物对环境的适应性，对花鲮的生态和演化研究才大量涌现。结合野外观察和DNA分析，对于演化的关键机制——自然选择的作用机理，我们和合作者取得了引人瞩目的新见解。除了进一步揭示自然选择的机理，这项研究也使科学家能够探索鱼类对极限环境的适应性。有了这些知识，也许有一天，我们能够预测，面对污染和其他由人类造成的栖息地改变，物种的命运将会走向何方。

极端栖息地

花鲮科不是唯一一种能够适应极端环境的生物。在我们的地球上，存在大量极端环境——从滚烫的热泉到水压极大的深海，再到盐土荒漠和不见阳光的地下洞穴，这些环境中都有生命存活。然而，与这些极端环境相比，在硫化水体中生存尤为艰难。

硫化氢是一种广泛存在的有毒物质，可以在自然状态下进入硫化泉、深海热液、沿海泥滩和盐沼。硫化氢的自然来源有两类，一类是通过地质运动，从地球内部释放出来（例如我们研究的硫化溪水），另一类由大量有机物的分解过程产生。

硫化氢也可以作为一种人类生产活动排放的污染物进入水环境，如造纸、皮革鞣制加工、天然气和地热能的开发。即使是微量的硫化氢，对大多数动物也具有急性毒性，因为它可以和氧气结合，使得机体可呼吸的氧气减少。硫化氢还会抑制血红蛋白的活性，而血红蛋白是血液中运输氧气的蛋白。通过以上途径，硫化氢可以引起窒息并导致死亡。此外，硫化氢还会阻断细胞从食物中提取能量的过程。

而鱼类无需直接摄入硫化氢即能造成上述危害，因为通过渗透作用，硫化氢可直接穿过纤弱的腮部的细胞膜。人类在吸入硫化氢气体后也会产生毒害效应，因此，我们得尽可能缩短在硫化氢中的暴露时间。如果需要长时间在有硫化氢的环境附近工作，就需要穿上防护服。无论是自然界产生的还是人类活动排放的硫化氢，都导致了全世界大量鱼类和其他生物的死亡。

然而许多硬骨鱼（现今海洋和淡水中的主要鱼类，花鲮科也属于硬骨鱼类）已经适应了含硫化氢的环境。其中一些有趣的物种，例如体型蜿蜒的绵鲈（eelpout）和比目鱼（flatfish），生活在海底的热液口和冷泉附近。只是，接近这些动物难度很大且花费高昂，光是潜艇这一项，就已经让大多数试验计划难以为继。因此，我们的研究转向了更易接近的花鲮科，尤其是在美洲数十条溪流与河流沿途的硫化泉中的十多个物种，包括黑花鲮（molly）、孔雀鱼（guppy）、剑尾鱼（swordtail）和食蚊鱼（mosquitofish）。

应对机制

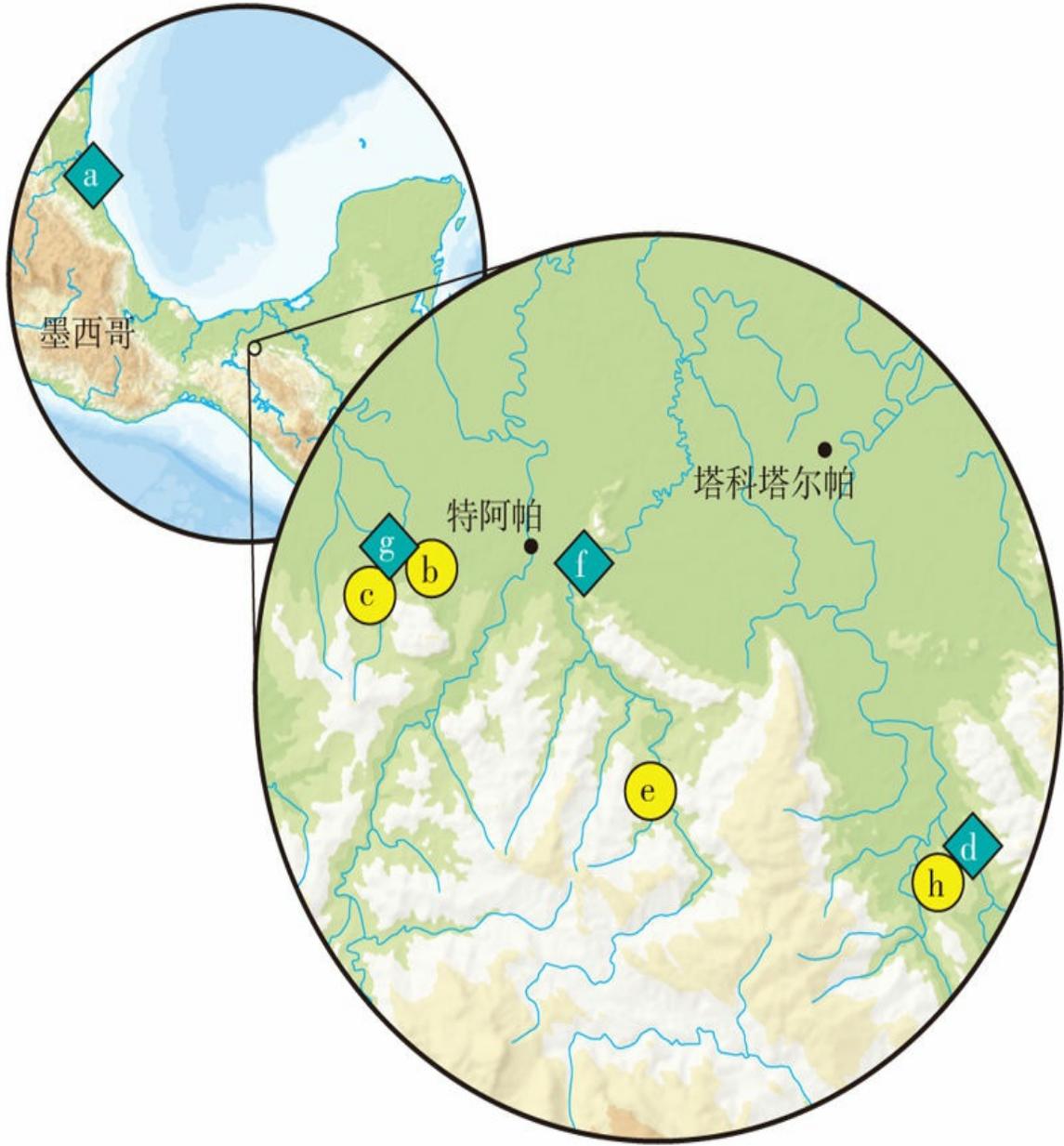
适应硫化环境的花鲮为了在有毒环境中繁衍生息，演化出了一系列特征。其中一些是行为学特征。例如，由于含硫水体中的含氧量很低，它们增加了停留在水面附近的时间，因为表层水体的含氧量更高（虽然这些鱼类在水面呼吸的行为很像在呼吸空气，但其实它们并不能呼吸空气，而是在吞进富含氧气的水）。这种行为限制了用于觅食等其他活动的时间，但保证它们能吸收足够的氧气。

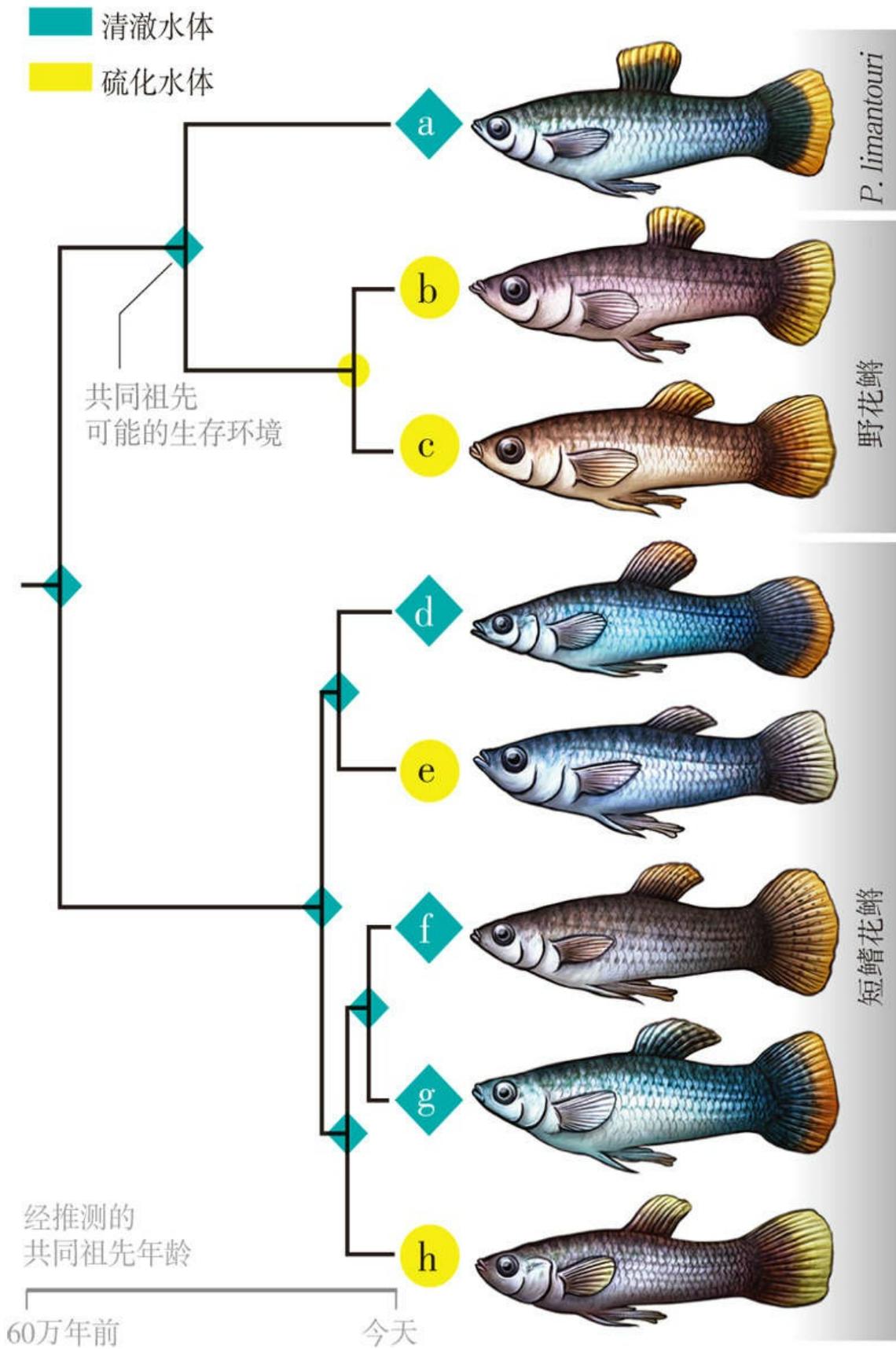
生活在缺氧的有毒水体中，这些鱼类的生理学特征也得到了重塑。最显著的变化是，硫化泉中的花鱂拥有硕大的头部。这一变化的原因是它们的鳃部变得更大，而鳃的膨大则有助于吸入更多的氧气。分布在墨西哥塔瓦斯科州和恰帕斯州的野花鱂（*Poecilia sulphuraria*）甚至演化出了一种奇特的下唇附件。从生活在全球其他缺氧环境中的鱼类身上，人们同样发现了类似的突起结构，这种结构能够增大口部表面积，帮助吸收表层水体中的氧气。

发现

特征演化

大量花鱂科的鱼类生活在南、北美洲的硫化溪流和河流中。它们拥有一些共同的特征，来应对这种极端的环境，包括较大的头部和嘴部。DNA分析表明，它们是由周围清澈水体中的祖先演化而来的，通过不同的基因突变，它们独立获得了这些相似的适应性特征。





地图：Mapping Specialists，制图：吉利恩·沃尔特斯（Jillian Walters）

除了演化出提升氧气吸收能力的性状，生存在硫化泉附近的花鳞还演化出了一种解除硫化氢毒性的适应机制。几乎所有生物都能够产生硫醌氧化还原酶（sulfide:quinone oxidoreductase, SQR），这种酶可以与硫化氢结合，形成无毒的化合物。但一旦硫化氢的浓度过高，例如在硫化泉附近，SQR无法结合所有的硫化氢，过量的硫化氢就开始影响细胞生成能量的能力。而我们研究的鱼类演化出了一种修饰SQR的途径，使其在高浓度硫化氢的环境中同样能够发挥解毒作用。

与其他同类相比，生活在硫化环境中的花鳞生育的幼鱼个头更大。虽然后代个体增大意味着数量的减少，但这种策略与它们的生存环境相符。当个体的体积增大时，它们的体积与表面积比值随之增大。这样，只需略微增加暴露在毒物中的表面积，身体就有更多的组织可以解毒。

或许最令人震惊的是，这些适应硫化环境的鱼类有着大量相同的适应性特征。我们从生活在不同地理区域的众多花鳞身上发现，相比其生活在无硫环境中的祖先，硫化环境中的种群都演化出了相同的新特征。

不同谱系的花鳞具有高度相似性，这带来了一个问题：当它们独立地演化出对硫化氢的适应性时，是经历了同样的基因突变，还是通过不同的分子途径演化出了相同的适应性特征？我们决定同德国法兰克福生物多样性和气候研究中心的马库斯·普芬宁格（Markus Pfenninger）及其他合作者一起揭开谜底。我们分析了来自墨西哥南部两条平行河流中，适应硫化环境而非硫化环境的数百条短鳍花鳞的DNA。

通过统计，我们可以推测基因组中的任意基因存在多少种突变型。同时，我们也可以找出有利于生存和繁衍的突变。与随机突变相比，在自然选择的作用下，这些有利突变出现的频率更高。

我们发现，每个适应了硫化环境的种群的基因突变都是独特的。随后，我们利用一个数据库（涵盖了不同基因的功能、相互作用关系等数据），对比了两个已适应硫化环境的种群的基因。结果发现，尽管不同种群的基因发生了改变，各不相同，但这些基因大多参与了相同代谢途

径的调控（这里所说的代谢不仅包括鱼从食物获取能量的过程，也包括这一生化过程中不同蛋白质为了维持生命而发挥的种种作用，这些代谢机制可能与各种适应性都有关）。我们得到的数据表明，生物体可以通过多种遗传途径，演化出相似的适应性特征，以应对同一种环境压力。

近日，由华盛顿州立大学的乔安娜·凯利（Joanna Kelley）和堪萨斯州立大学的迈克尔·托布勒（Michael Tobler）领导的一项研究进一步证实了我们的观点。他们发现，在墨西哥南部，适应了硫化环境的短鳍花鲮种群中，基因表达（遗传信息经过转录、翻译，生成蛋白和其他分子的过程）的模式不尽相同。但是，涉及代谢调节的基因表达都有所上调，而且上调程度几乎相同。这种基因表达模式的变化，与我们对基因序列的分析结果恰好对应得上：为了在有毒水体中生存，这些花鲮利用不同的分子途径，最终找到同一种解决方案。



墨西哥南部的小溪埃尔阿苏夫雷，其中悬浮着大量硫磺颗粒。

对这些花鲮的研究，与演化生物学上的另一个基本问题息息相关。一些专家认为，面对相同的环境压力，不同种群通过演化发生的改变应当类似；而另一些专家则认为，演化的顺序也会影响最终的演化结果。后一种看法认为，如果某一种随机变异恰好是帮助花鲮适应硫化环境的

关键变异，这种变异在花鲮种群中的传播速度显然会更快。而起始的适应性变异不同，也会改变后期变异的选择优势，从而影响该种群的演化轨迹。我们的结果支持了这种想法。我们研究了3个适应硫化环境的种群，其中两个种群通过一个关键基因获得了对硫化环境的适应性，这个基因可以编码细胞产能过程中的一种关键蛋白——细胞色素C氧化酶（cytochrome c-oxidase）。而第3个种群没有获得这个起始适应性，只能通过其他的演化途径保障产能过程。

演化的温床

在如此恶劣的环境中生存，挑战是非常大的，大到让人怀疑自然选择究竟为何会对这些挑战者青睐有加。但这样也有一个优势：这里缺少其他物种，包括花鲮的竞争者和天敌。例如，在墨西哥南部的硫化溪流中就只有特殊的花鲮生存，周围水域中数量庞大的其他鱼类在这里完全不见踪迹。



孔雀花鲮俗称孔雀鱼，常被用作观赏鱼。一些孔雀鱼同样能够在美洲的硫化水体中生存。
摄影：Alice Chaos

事实上，在环境恶劣的硫化水体中，花鱗不仅没有窒息而死，还演化出了新的生命形态。传统的物种形成观点认为，如果原先相互联系的种群因地理障碍而长期分离，这些种群会沿着各自的轨迹演化，直至形成新的物种。但现在，越来越多的证据表明，即使不存在地理隔离，对不同环境的适应性也可以促进新物种的形成。对花鱗的研究就证明了这种观点。

我们发现，对一种栖息环境的适应性，不论是硫化环境还是非硫化环境，都限制了个体向另一种栖息环境的自由迁移。这种自然选择的最终结果是，适应硫化环境的种类只会出现在含硫的环境中，即使另一种栖息环境近在咫尺，只有几十或几百米远。

其他产生并维持生殖隔离的因素同样重要，例如捕食（无法适应环境的个体更容易被捕食）。即使出现跨栖息地的迁移，或者不同生态型的个体在过渡地带相遇，也不会出现交配现象。

择偶实验表明，非硫化水体中的雌鱼倾向于与同一生态型的雄鱼交配。而雌鱼是否表现出这种偏好、程度如何，似乎取决于自然选择的强度：我们发现，当适应了硫化环境的雄鱼迁徙时，如果排斥它们的自然选择作用较弱，雌鱼更倾向于同一生态型的雄鱼。也就是说，当雌鱼接触外来雄鱼的几率较高时，经过不断演化，它们会更加厌恶外来者，因为生下的杂交后代很可能无法适应环境。相反，排斥硫化环境中雄鱼的自然选择作用较强时，雌鱼接触外来雄鱼的几率较低，也就不太会对外来者产生敌意。

花鱗在硫化环境中形成的新物种数量还不能确定，因为在很多情况下，我们不知道遗传分化的程度如何，或者是否存在与附近种群的杂交行为。但是遗传谱系显示，所有这些适应性都是在大约10万年前出现的，从演化角度来看可谓相当年轻。它们在相对较短的时间内演化出这些独特的特征，以及一定程度的生殖隔离，这表明硫化水体这种极端环境能够加速物种形成。我们近期的一项研究支持了这一理论。我们发现，花鱗的生殖隔离程度与环境中的硫化氢浓度直接相关。

既然花鱗能够快速适应自然环境中的有毒物质，那它们可以适应人类活动产生的化学物质吗？去年，美国康涅狄格大学的诺厄·里德（Noah Reid）和同事在《科学》上发表文章指出，在北美污染区域的鲤齿鱗科（killifish，与花鱗科有亲缘关系的鱼类）总能快速演化出对人类工业污染物的适应性。论文作者认为，这可能是由于鲤齿鱗科存在大

量的基因突变，这使得它们在面临来自污染物的选择压力时，有很多预存的基因工具可以选择。花鲮是否储备着类似的工具还是未知数，然而我们的研究表明，相比长时间存在的变异，新的基因突变对它们更加重要。对鲤齿鲮科和花鲮科的研究表明，在特定的环境下，至少有一些体型较小、寿命较短（一年之内能够繁殖数代）的鱼类，能够在人类污染导致的极端环境中存活。

与此同时，还有许多谜题未能解开。例如，我们还不知道硫化氢为什么在一些环境中会导致可预测的适应性变化和生殖隔离，在另一些环境中却不能起到同样的作用。幸运的是，DNA测序技术正在飞速发展，成本也在不断降低。在这样的趋势下，加之近期的研究公布了几个花鲮科物种的基因组，我们有理由期待，对于这些出现在致命水体中的独特演化模式，我们可以在不久的将来更深入地解读其遗传机制。

本文审校 郭宝成是中国科学院动物研究所的研究员，主要从事鱼类分子进化及基因组学研究。

扩展阅读

Colonisation of Toxic Environments Drives Predictable Life-History Evolution in Livebearing Fishes (*Poeciliidae*). Rüdiger Riesch et al. in *Ecology Letters*, Vol. 17, No. 1, pages 65–71; January 2014.

Parallel Evolution of COX Genes in H₂S-Tolerant Fish as Key Adaptation to a Toxic Environment. Markus Pfenninger et al. in *Nature Communications*, Vol. 5, Article No. 3873. Published online May 12, 2014.

Unique Evolutionary Trajectories in Repeated Adaptation to Hydrogen Sulphide-Toxic Habitats of a Neotropical Fish (*Poecilia mexicana*). Markus Pfenninger et al. in *Molecular Ecology*, Vol. 24, No. 21, pages 5446–5459; November 2015.

Extreme Evolution. Axel Meyer; April 2015.

深度

责任编辑：罗凯

社会科学 SOCIAL SCIENCE

INSIDE THE ECHO CHAMBER



沃尔特·夸特洛西奥奇是意大利卢卡IMT高级研究所的计算社会科学实验室的负责人。他主要研究社会动力学的量化特征，比如观点如何形成、信息是怎么传播的。夸特洛西奥奇对网络语言和社会流行趋势的来源、产生和传播尤其感兴趣。

精彩速览

尽管还有乐观的人谈论“群体智慧”，但网络却催生了一个回声室，滋生着错误的信息。

实际上，骗局、阴谋论以及其他错误或缺乏根据的信息的病毒式传播，是21世纪早期最令人不安的社会趋势之一。社会科学家正在应用计算方法分析人们在脸书、推特等平台上留下的痕迹，研究网络回声室。通过这项工作，他们发现只要错误的信息强化了用户的既存信念，用户就会愉快地接受它。

面对复杂的全球议题，教育水平各不相同的人都会选择相信简洁的、能够明确指定一个责任人的解释。不幸的是，消除错误观点的尝试似乎只会强化错误观点。因此，如何阻止错误信息的传播这个问题似乎没有明确而简单的答案。

2015年夏天，美国得克萨斯州州长格雷格·阿博特（Greg Abbott）给州警卫队下达了一项不同寻常的命令：监视“翡翠头盔15”军演，看看它是否真的像谣言所说的那样。这次军演实际上只是一项日常军事演习，持续8周，由得克萨斯和其他6个州共同举行。然而在网络上，它的性质要恶劣得多，有谣言称它是奥巴马发起的一项军事行动的序幕。

阴谋论不是什么新事物，但在民粹主义猖獗、键盘侠盛行的年代，阴谋论获得了新的力量，足以影响真实事件的进程，而且会将它推向最坏的方向。2013年，一项全球风险报告中，世界经济论坛将无根据或错误信息的病毒式传播列为当今最危险的社会趋势之一，与恐怖主义并列。随着整个西方世界中反民主政客的崛起，我们正在目睹错误信息病

病毒式传播成为现实。然而，人们分辨可靠信息和谎言的能力却低得令人惊讶。根据经济合作与发展组织（OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development）的估计，在意大利，15到65岁的公民中超过一半人读写能力低下。社交媒体让信息能在几乎一瞬间传遍世界，不幸的是，其中也包括那些错误信息。

最近，社会科学家在信息的传播和消费、信息传播对意见形成的影响、人与人之间的相互影响等方面的研究上，取得了重要的进展。技术的进步让我们得以挖掘社交媒体上的海量数据，包括人们在网络上选择、分享和评论时留下的痕迹，从而以较高的精度分析社会动力学。这种方法叫做计算社会科学，结合了数学、统计学、物理学、社会学和计算机科学，目标是用量化的方式研究社会现象。

通过计算社会科学方法分析人们在脸书、推特等媒体上留下的痕迹，我们能够以一种前所未有的精度研究阴谋论的传播。多亏这些研究，我们发现人们并不像自己认为的那样理性。面对未经过滤的信息，人们会认同那些与他们的想法相符的部分。这种效应就是证实性偏差（confirmation bias），会促进那些明显是错误的论点的传播——包括全球性的阴谋论，疫苗与自闭症之间的联系，以及其他许多无稽之谈。不幸的是，似乎没有一个简单的方式能够打破这个循环。

网络回声室

在卢卡IMT高级研究所，我和同事们用了5年的时间分析信息和谣言在社交网络上的传播。研究小组包括两位物理学家——奎多·卡达雷利（Guido Caldarelli）和安东尼奥·斯卡拉（Antonio Scala），一位统计学家——南加利福尼亚大学信息科学研究所的亚历山德罗·贝西（Alessandro Bessi），一位数学家——米科拉·德尔·维卡里奥（Michela Del Vicario），以及两位计算机科学家——我和菲比安娜·佐罗（Fabiana Zollo）。我们非常关注信息的病毒式传播过程，以及观点在网络空间中的形成和强化。

早在2012年，我们就开始从事这方面的研究了，当时的研究结果是在2015年发表见刊的。在研究中，我们分析了社交媒体用户如何对待三种不同类型的信息：主流新闻、其他新闻和网络政治活动。第一类信息是无须解释的：它来自在意大利全国性新闻报道的媒体平台。第二类信息来源于自称要报道被主流媒体“隐瞒”的信息的平台。最后一类指的是

激进团体发布的内容，他们将网络当成一种政治动员工具。

为收集研究所需的信息，我们要耗费了大量的时间，推进过脸书用户和群组的页面收集了不同的指示标记，并对这些标记进行人工验证。通过研究的50个脸书主页，我们分析了超过200万意大利用户的在线行为，他们在2012年9月到2013年2月间与这些主页有过互动关系。我们发现，网上那些完全不同的帖子，受到的待遇却非常相似：喜欢与这些帖子互动的用户基本上是同一拨人，他们会在社交媒体上分享、讨论这些帖子。换言之，不管是来自主流日报，还是其他新闻源或政治激进网站，信息的传播方式几乎都是一样的。

有两种不同的猜想能解释这个结果。第一种可能是，无论信息的准确性如何，所有用户都用同样的方式对待所有的信息。第二种可能是，无论真实与否，某些利益团体的成员会用同样的方式对待那些能加强他们原有信念的信息。在我们看来，第二种猜想更有意思，它暗示了证实性偏见（即过于关注支持自己决策的信息）在错误信息的传播过程中扮演着重要角色。这种猜想还认为，尽管我们都知道“群体智慧”等较乐观的说法，但实际上，是人们大量聚集的网络导致了“回声室”现象的产生——被认同的部分信息不断传播，不断被加强。

关键差别

下一步要做的就是对这两种猜想进行测试。在这项研究中，我们决定将两类人的在线行为进行对比，一类阅读科技新闻，一类通常关注其他新闻和阴谋论。我们之所以选择这两类内容，是因为它们之间存在一个非常特别的差异：信息是否有明确的发出者，也就是说，一条信息到底有没有管理者。科技新闻主要介绍发表在科技期刊上的研究，有明确的作者和机构。相反，阴谋论信息没有明确的发出者，这些信息产生的目的是强化不确定性，其主题通常是一个秘密计划，或某人故意对公众隐瞒的事实。

科技新闻和阴谋论之间还有一个重要差异。无论是否真实，科技新闻都有理性思考的传统，一般建立在实验证据上。而阴谋论的产生是因为人们无法为眼前复杂的不利局面作出简单解释。当面对极其复杂的议题，比如多元文化论、全球经济系统不断增加的复杂性，以及技术进步背后的推动力时，无论受教育程度如何，人们都更倾向于选择相信简洁的、能够明确指出一个责任人的解释。伦敦政治经济学院的一名社会心

理学家、研究阴谋论动力学的马丁·鲍尔（Martin Bauer）将阴谋论思想称为一种“准宗教心态”。这有点像在人类文明的早期，人们用神灵来解释暴风雨。

我们把《科学与阴谋：谣言时代的集体叙事》（*Science vs Conspiracy: Collective Narratives in the Age of Misinformation*）发表在了《公共科学图书馆·综合》（PLOS ONE）上。整个研究中，我们关注了73个脸书主页，其中39个充斥着阴谋论，另外34个发布科技新闻。从2010年到2014年，访问这些页面的意大利用户超过100万人。我们发现，这两组页面吸引的读者都非常专一，他们极少离开自己的“回声室”。阅读科技新闻的人极少阅读阴谋论消息；反之，阅读阴谋论的人也极少阅读科技新闻。但是，阴谋论相关页面吸引的用户数量是科技新闻页面的3倍。

在脸书谣言的传播过程中，产生回声室的趋势扮演着重要角色。我们研究了4709篇讽刺阴谋论的帖子（比如“飞机尾迹含有伟哥”）后发现，阅读“真正”的阴谋论消息的读者，要比科技新闻的读者更喜欢阅读这类讽刺性的文章。我们还发现，关注阴谋论的用户更倾向于广泛分享自己看到的内容。

通过重新构建这两个群体（科技新闻读者和阴谋论爱好者）的社交网络，我们发现了一个令人惊讶的统计规律：当某种内容的点赞数越来越多后，一个具有共同特征的虚拟用户网络的规模也越来越大。换言之，你接触某一类信息越多，你的脸书好友具有相同新闻偏好的可能性就越大。要理解这种现象的病毒特征，关键在于理解社交网络如何划分出同质的群体。这些群体的特征明显，都倾向于排除一切不符合他们世界观的内容。

无法阻止

2014年，我们决定开始探索如何阻止谣言在社交媒体上传播。不过，揭露这些消息有用吗？为了回答这个问题，我们专程测试了阴谋论读者的辟谣“抗性”：当读者暴露在辟谣的言论中，他们会不会因为沉浸在阴谋论中太久，而继续选择相信他们经常接触到的内容。目前，研究结果还没发表，但我只能说，并不乐观。在接触过辟谣信息后，人们继续阅读阴谋论消息的可能性增加了30%。换言之，对一些用户来说，辟谣实际上强化了他们对阴谋论的信念。

在一项针对5500万美国脸书用户的研究中，我们也观察到了同样的现象。用户会阅读支持他们观点和信念的信息，从而避免认知冲突。他们也会广泛传播这些信息。而且，我们还发现，随着时间的推移，接受某一领域阴谋论（比如把疫苗与自闭症联系在一起的阴谋论）的人会在其他领域寻找类似的理论。一旦进入了这种自我增强的“回声室”，他们就更倾向于全盘接受各种阴谋论。

这些现象表明，我们很难在网络上阻止这些错误信息的传播。所有理性讨论的尝试都会在双方的网络交流中沦为极端分子之间的战争，最终导致观点的两极分化。在这种环境下，要为人们提供准确的信息非常困难，而要阻止一条没有根据的信息的传播，几乎是不可能的。

在社交媒体上，很有可能还会继续充斥各种关于全球性大型阴谋论的争论。人人急于分享这些看似被隐藏的信息，但它本身的真假已经不重要了。或许，我们应该停止将今天称为信息时代，转而称之为轻信的时代。

扩展阅读

Computational Social Science. David Lazer et al. in *Science*, Vol. 323, pages 721–723; February 6, 2009.

Science vs Conspiracy: Collective Narratives in the Age of Misinformation. Alessandro Bessi et al. in *PLOS ONE*, Vol. 10, No. 2, Article No. e0118093; February 23, 2015.

Collective Attention in the Age of (Mis)information. Delia Mocanu et al. in *Computers in Human Behavior*, Vol. 51, Part B, page 1198–1204; October 2015 .

The Spreading of Misinformation Online. Michela Del Vicario et al. in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 113, No. 3, pages 554–559; January 19, 2016.

A Study of the Anti-Scientific Attitude. Bernard and Judith Mautner; February 1955.

专栏 COLUMN

责任编辑：罗凯

健康科学

切大脑，治癫痫？

近一半的癫痫患者无法通过现有的药物治疗，他们该忍受疾病发作，还是切除一部分大脑？

撰文 戴维·努南（David Noonan） 翻译 贾明月



戴维·努南是一位自由科学撰稿人，写作领域主要包括科学和医学。



和很多癫痫患者一样，56岁的理查德·谢恩（Richard Shane）记忆力有些问题。但他清晰记得自己第一次发作时的情景——那是34年前的事了。谢恩说，“我正在和父亲通电话，突然发现自己开始呻吟，然后逐渐失去意识。”三周之后，他又经历了一次类似的情况。去医院看了医生后，他才知道自己患有癫痫。这是一种由脑部异常电活动导致的神经系统疾病。当时，他拿到的第一个处方药是大仑丁，这种药并没能阻止癫痫发作，甚至连减少发作的效果都没达到。然而，第二种和第三种药也是这样。结果证明，他的癫痫具有耐药性。

接下来的22年里，谢恩每个月会经历20多次发作，同时还受到抑郁

症（癫痫的常见并发症）的困扰。他和医生尝试了每一种新出现的抗癫痫药，但没有一种有效。直到2004年，在万不得已的情况下，一位神经外科医生摘除了引发谢恩癫痫病的一小块脑组织。“问题的关键在于哪种选择危害小一点，”谢恩说，“是接受脑部手术还是经受癫痫发作。”

从那以后，谢恩的癫痫再也没有发作过。他说，“我试着感激命运的安排。尽管现在依然会在一定程度上受到抑郁的困扰，但我能接受。”

在美国，多达300万人患有癫痫，其中超过30%的人用药后没有效果。从1990年起，有十几种新的抗癫痫药物出现，但这个比例始终没变。虽然手术可以帮助像谢恩这样的患者。不过，那些不受控制的癫痫依然像噩梦一般折磨着患者，对于临床医生和研究者来说，这些病例也是棘手的敌人。“虽然不想承认，但我们确实不知道为什么同样的药物对有些病人就是无效，”加利福尼亚大学戴维斯分校研究癫痫疗法的迈克尔·罗格斯基（Michael Rogawski）说。然而，只要这个核心难题没有解决，研究人员就会继续寻找治疗这种疑难病症的新方法。

不完美的方法

在公元前3000多年的巴比伦文书中，就已经提到了癫痫的发病现象。从那时起，癫痫就一直折磨着人类。历史上，哲人先贤曾给癫痫找过很多病因，比如脑中存在多余的黏液（古希腊）、被恶灵附身（中世纪）。过去的治疗方案很不着调，包括在颅骨钻洞、动物献祭，以及驱魔。

19世纪50年代，第一种对癫痫有效的药物溴化钾问世，它的机制是抑制神经细胞兴奋。服用溴化钾的患者中有一半的人不再发病，后来，溴化钾被苯巴比妥和其他副作用较少的疗法替代，不过，在治疗犬类的癫痫时，溴化钾依然是一种可选的药物。正如罗格斯基所说，到现在，服用第一种药物就不再发病的患者比例还是50%。因此，某种意义上说，“我们并没有多大进步”，他指出，还有20%新确诊的患者可以通过尝试第二种或第三种药物，控制住大部分癫痫发作。

除了病情能得到控制的患者，还剩下大约100万癫痫患者。对他们来说，现有的20多种药还没有吃一把糖豆的效果好。罗格斯基和这个领域的专业人士相信，手术可以惠及更多患者。接受过手术后，大约有

60%的患者在术后10年都没有再发病。然而，只有不到四分之一的耐药患者能达到接受手术的医学标准。其中最重要的一个标准是，诱发患者产生癫痫的只是大脑中的一个独立位点（可以通过脑部扫描和脑电图来确认），而且不能与涉及重要功能的区域重叠，比如语言区等。

研究人员发现，很多患者都像谢恩一样，即使符合标准，也是在发病20到25年后才选择接受手术。很多人决定推迟，是因为害怕手术可能带来的并发症，比如脑部感染和永久性瘫痪。

奥林·迪温斯基（Orrin Devinsky）是纽约大学朗格医学中心（Langone Medical Center）综合癫痫中心的主任。剩下的这些疑难癫痫病症迟迟得不到解决，对他来说也有一定的讽刺意味。他说：“25年前我就进入了癫痫（研究）领域，荒唐的是，我干这行是因为在神经病学里，癫痫是少见的可以治疗的疾病。”他的患者中有三分之一对药物无响应。而当癫痫不受控制地长期发作，只会让患者的情况雪上加霜。迪温斯基说，“经常发作癫痫的人可能会出现进行性的认知损伤，记忆力、注意力、执行功能都会出现问题，甚至人格也会改变。”他认为，之所以会引发这些并发症，是因为癫痫发作会破坏正常大脑的功能，留下长期影响。除了抑郁，患者还会出现其他心理问题，包括焦虑、偏头痛和睡眠障碍。

癫痫也可能致命。除了疾病发作本身，发病的后续影响也会引发其他事故。迪温斯基说，“我估计，每年美国至少有6000人死于癫痫。”其中大约一半死亡事件的原因无法确认，另一半的原因是由癫痫引发的溺水、交通事故、坠落、烧伤等。

电刺激法

要治疗一名癫痫患者，首先面临的挑战是确认患者的癫痫到底属于哪一个种类。癫痫分为两大类：全身性癫痫和局灶性癫痫。如果患有全身性癫痫，发病时的影响范围会波及患者的整个大脑；而患有局灶性癫痫时，只是从大脑的一块特定区域开始发作的，比如颞叶。这两大类又可以细分为不同的亚类，包括一种罕见的遗传病——Dravet综合征（Dravet Syndrome），通常在婴儿出生12个月后内发作。

癫痫还有很多不同的发作类型，比如强直阵挛发作，患者会失去知觉，经历全身肌肉痉挛；再比如失神发作，这种发作历时比较短，患者

会在15秒左右的时间里大脑一片空白，不知自己身在何处。

迪温斯基和一些癫痫专家决定，根据患者经历的发病类型、病史，以及年龄、性别、体重等细节，选择适合患者的药物。这些药物能够作用于大脑内的多种分子靶标，其中包括神经细胞上的特定分子，这些分子能调节钠离子、钙离子和钾离子在细胞内外的活动，帮助神经细胞彼此联络。

不幸的是，无法通过现有药物治疗的患者，近期可能很难看到有效的新药出现了。“目前，并没有任何重要的药物处于研发阶段，”罗格斯斯基说。2013年，一项来自美国和国际顶尖癫痫研究机构的联合报告指出，对于新疗法的缺席，他们深感惋惜。“因为市场上已经充斥着各类抗癫痫药，很多医药公司对于昂贵的新药研发工作都非常谨慎”。

面对这种障碍，很多患者和家属选择自己开展实验。近些年，美国许多州都批准了大麻医用，Dravet综合征患儿的家长开始给孩子使用大麻二酚。这是大麻中的一种成分，可对神经产生影响，一般制备成油剂使用。有些家庭报告，这种疗法明显减少了孩子发病的次数。但是，这只是在网络论坛和媒体上报道的经验性证据，缺乏严谨临床试验的科学可靠性。

2014年，英国GW制药公司收到了美国FDA的特殊许可，可以试验用pidiolex治疗癫痫。这是GW制药研发的植物版大麻二酚。当时，这家公司已经取得了不错的成绩，报告了三项随机双盲安慰剂对照临床试验的正向结果。在这样的试验里，研究者和患者都不知道哪些人接受了真正的药物治疗。最近，这项涉及225名患者的试验终于在2016年9月完成，服用这种药物的受试者（同时也在服用其他类型的癫痫药物）的发病几率减少了42%，使用安慰剂的参与者则减少了17%。

现在，治疗癫痫的手术也有所进步。考虑到新药试验和批准可能花费大量时间，有专家提出，还有很多不断经受癫痫折磨的患者可以从手术中获益；一些新的方法也会刺激神经元，减少它们的不稳定性，对治疗带来益处。迪温斯基估计，多达20%的患者适合选择这样的手术，因为他们属于局灶性癫痫发作，发病的源头可以追溯到大脑中一个特定的、药物可作用的位点。

近20多年，还出现了另一种选择：大脑起搏器。这种疗法的思路是，用电极连接植入胸腔的电池组，刺激颈部的迷走神经，从而预防癫

痫发作。在发病时，起搏器会发出一道预先设定好的温和电流，起到压制大脑异常电活动，恢复大脑平静的作用。2011年，一项综合分析纳入了74项临床试验的数据，涉及3300多名受试者。分析发现，对于相当部分无法通过药物治疗的患者，使用迷走神经刺激疗法可以使癫痫发作的情况减少一半。

NeuroPace公司的RNS系统是一套更新的设备，在2013通过FDA的审批。这套系统需要在头皮下的颅骨里植入一个神经刺激仪。当神经刺激仪探测到大脑出现异常电活动时，就会通过两个电极发送一个电信号，阻止甚至预防癫痫发作。迪温斯基说，在难以通过前面提到的方法控制癫痫的病情中，有10%到15%的患者也许可以使用这种疗法。临床试验显示，在3到6年的随访中，植入了神经刺激仪的患者情况有所好转，癫痫发病率平均减少了66%。

与此同时，在实验室里，研究者通过小鼠、果蝇、蠕虫和电脑模拟开发出了更好更新的动物癫痫模型，从而加速药物研发。2016年，佛罗里达大西洋大学（Florida Atlantic University）和斯克里普斯研究所（Scripps Research Institute）的研究人员首次在线虫中引入了癫痫，这种小虫子只有302个脑细胞。随后，研究者利用现有的抗癫痫药物，成功治疗了线虫的癫痫。这意味着，线虫有可能成为快速有效测试新药的工具。

现在，谢恩拥有自己的旅游公司。对他来说，癫痫依然是生活的一部分。虽然不再发病了，但还有别的事让他烦恼，“有时候我会想，假如我的脑子里没有这些异常的电活动，我会是什么样的人呢？癫痫是如何改变了我的人生轨迹？”

然而这个问题并没有答案，它也只是耐药癫痫的诸多未解之谜周围的谜题之一。但是约翰斯·霍普金斯大学癫痫中心主任格雷戈里·伯吉（Gregory Bergey）等医生在面对癫痫带来的无数疑问时，会试着鼓励患者：“我们决不放弃。”

专栏 **COLUMN**

责任编辑：罗凯

技术档案

用户手册去哪了？

谷歌出现了，从此我们失去了某样重要的东西。

撰文 戴维·波格（David Pogue） 翻译 薄锦



戴维·波格是雅虎技术频道的专栏作家，也是美国公共广播公司（PBS）几个新星短剧（nova miniseries）的主持人。



在以前，比如说上世纪80年代的时候，当你买下一件科技产品时，总会随附一份纸质的用户手册。这是制造方为你解说工程师设计思路、传达设计师和营销人员想法的大好机会。

提供文档资料，在当时看来，对各方面似乎都是个好主意。熟练运用产品让顾客开心，而开心的顾客就意味着回头客。但事情并没有这么简单。印刷、装订，都需要时间和金钱——而客户似乎也没有真的阅读那些用户手册。

于是，渐渐地，纸质手册开始从我们的软硬件包装盒中失去了踪

影。也许你能看到一张单页的“快速入门”，但是其他的内容就得上网看了。

为了弥补因此造成的信息断层，独立出版商们开始自己编制相关书籍。书店里设立了占地宽广的计算机类书籍区。有那么一阵子，比如说上世纪90年代，这门生意确实做得很不错。

在当时，据我的科技类书籍经纪人戴维·罗杰伯格（David Rogelberg）说，“几乎随便出版一本书都能卖掉7000册——哪怕是特别烂的书。计算机类的畅销书，一种就能卖掉几十万册。整个业务简直就跟在印钞票一样。”接着谷歌就来了。

在网上，你可以搜索特定的名词，发布问题等候他人回答。网络社区和问答网站遍地开花。YouTube上的迷你教程开始为大家展示如何完成一项工作。而且这一切都是免费的。

同时，我们所用的技术种类也发生了改变。“人们在界面相当简单的移动应用和社交网站上所花的时间越来越多，”蒂姆·奥莱利（Tim O'Reilly）对我说（他是奥莱利媒体公司的创始人，我有一套入门系列书籍就是他家出版的），“你不用读上一整本书，也会用Facebook。”

这就是计算机类书籍走上没落的开始。小型独立出版商一个接一个地关门，或者被更大的出版商吞并。“许多老印刷品（出版品牌）仍然在大出版商旗下活了下来，但是编辑队伍就遭到了大量裁员。简单地说，那些曾让印刷品独一无二的功臣们早就不在了。”罗杰伯格说。

据奥莱利的研究部门统计，计算机类书籍的销量自2007年以来已经下滑了54%。理论上，由专业人员筹备的辅助材料逐渐消失，并不应该引起任何困扰。这只是互联网带来的又一项突如其来的变化而已，不过是在纸质百科全书、报刊分类广告、音乐光碟??这一串伤亡名单上又添了一笔。

但就实际情况而言，科技行业的所有教授渠道——手册、计算机类书籍、网上资源——却没有一个是通用又高效的。迄今为止，我们对自己的手机、电脑和软件的了解依然少得惊人。曾有多少人跟你弱弱地承认过，他们只大概了解自己手机或电脑10%的功能？

曾有一名微软的产品经理跟我说——而且语气中颇为不忿——用户

建议Microsoft Office添加的种种功能，实际上大多都是这款办公软件套装中已经包含了的。

而在网上寻求帮助的体验往往充满了挫败感。你千辛万苦找到的帖子，可能并不包含你所要的软件版本号或产品型号。又或者帖子内容跟你所遭遇的问题多少有些出入。最糟糕的是，它们根本无法教给你奥莱利所说的“结构素养”，也就是懂得该如何寻找自己想要找的东西。“站在消费者的角度，这意味着在一套新系统中，即使各个旋钮、手柄的位置都变了，但你仍能知道它们的功用，以及如何找到它们。你在开车时就会遇到类似的情形：‘打开油箱门的把手在哪里？’”

软硬件的制造商还在摆弄他们那套传统的商业模式：每过一年左右，就发售一个新版本，默认卖点就是更多功能。如此一来，随着时间渐增，我们的软件和应用变得越来越复杂——但是使用文档的获取方式依然散乱无序，总有缺失。

在我心目中的完美世界里，设计师会将科技产品设计得足够简单，重要的功能足够明显，让大众仅凭自己的推断就能掌握使用方法。而在那到来之前，在我们想要的功能与厂商已经实现的成果之间，始终存在着一条仍在不断扩大的信息鸿沟。

专栏 COLUMN

责任编辑：罗凯

科学评论

别碰科学家的邮件

验证科学结论正确与否，需要的是实验和观测，而不是政治调查。

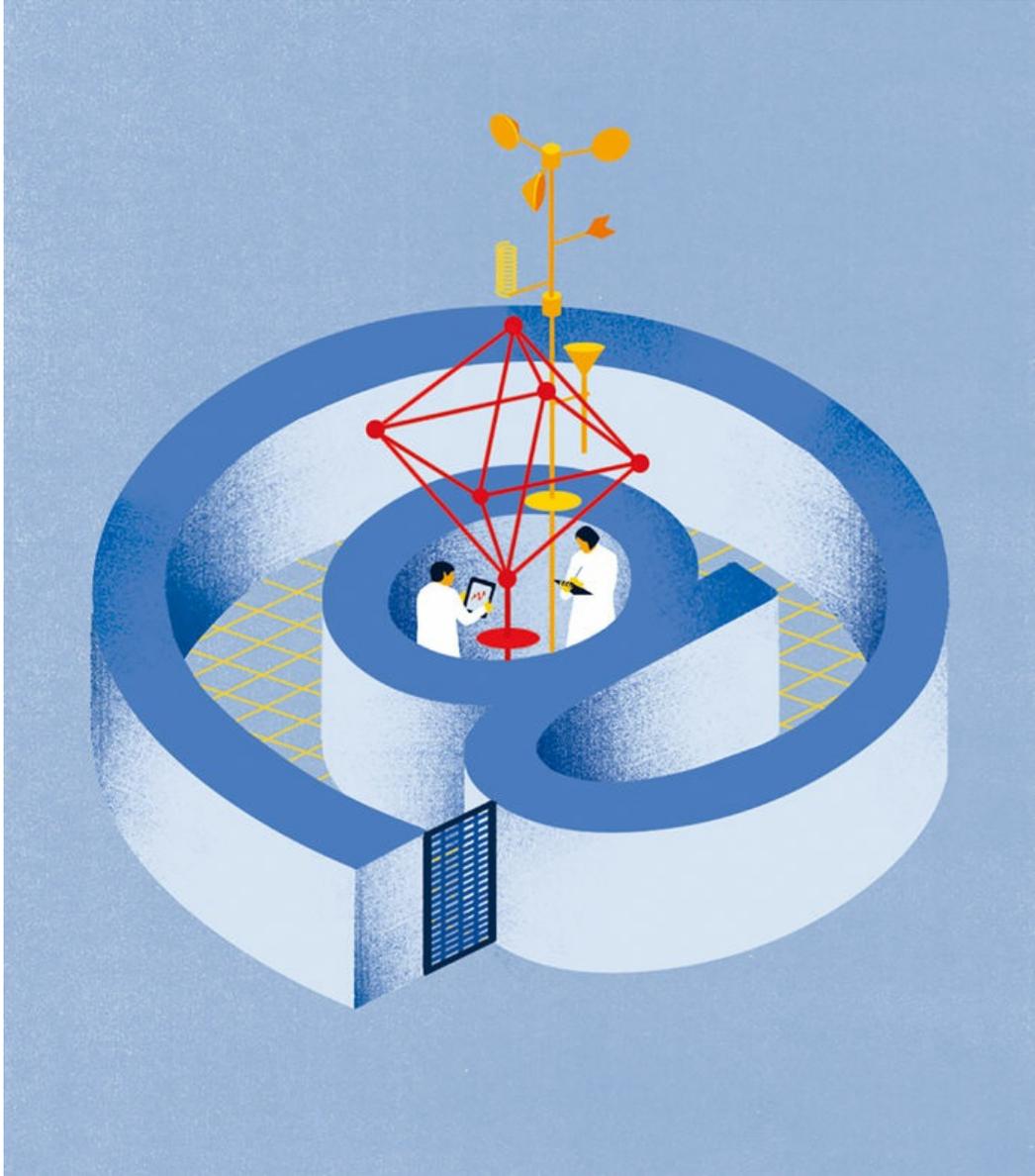
撰文 凯文·考坦（Kevin Cowtan） 齐克·霍斯法瑟（Zeke Hausfather） 翻译 薄锦



凯文·考坦是英国约克大学的化学系教授。



齐克·霍斯法瑟是非营利组织伯克利地球（Berkeley Earth）的科学家，同时也是美国加利福尼亚大学伯克利分校能源与资源小组的在读博士生。



去年12月，特朗普的过渡团队向美国能源部索要一份名单，要求列出该部门中所有曾参与过碳污染隐性成本计算工作或出席过此类会议的人员。能源部回绝了他们的要求，不过想到这一要求来自一个领导人曾经发推文称全球变暖纯属中国骗局的政府，总让人觉得这很像是一场政治迫害运动的前奏。

若真是如此，倒也不是第一次。2009年，在所谓的气候门事件期间，气候“怀疑论者”公布了一批电子邮件，企图借此表明科学家在操纵数据，打压批评人士（数项调查工作均证明这些指控纯属无中生有）。2010年，身为美国共和党人的弗吉尼亚州检察长试图获取宾夕法尼亚州

立大学气候科学家迈克尔·曼（Michael Mann）的工作记录，因为他也毫无根据地认定后者曾有操纵数据之举。

2015年，得克萨斯州众议员拉马尔·史密斯（Lamar Smith）声称美国海洋和大气管理局（NOAA）的科学家操纵了全球温度数据，并且煽动有关方面对科学家展开调查。这些以汤姆·卡尔（Tom Karl）为首的NOAA科学家曾发表过一篇论文，断定自1998年便开始发生的全球变暖现象被低估了，而且认为变暖现象存在“中断”的看法也是错误的。

史密斯要求查看这些科学家的电子邮件和笔记，希望从中找出欺诈行为的证据。科学家们提供了可以验证他们结论的数据与方法，但是拒绝提供电邮内容。专家在讨论时常常会站在和自己所持立场相反的角度上——这正是质疑精神的精髓所在——所以很容易在他们的电子邮件里找到很多材料，用于断章取义，误导世人的认知。

真正能够证实一个论点正误的，是将它与实际的观察结果进行比对——通过实验去重现它。我们常常要探索过许多条死胡同，才能最终找到正确的答案，而且往往需要别人来指出一项研究中的谬误之处。正是由于这个原因，科学界在一项结论未得到其他研究团队的独立验证之前，基本上是不会予以全面接纳的。

在发表于今年1月《科学进展》（*Science Advances*）上的一篇文章中，我们着手重复了卡尔及其同事的研究工作。我们利用浮标、卫星和Argo观测系统的浮标所获得的数据，制作了三组最近几年的海洋温度记录，以此评估他们的结果。研究结果证明，NOAA得出的温度记录很有可能是对过去20年不同洋面温度最精确的重现。我们的这篇新论文应可对NOAA当初的研究所招致的一些批评做出解释。

这些检查只用了短短几周时间，而且还是我们用业余时间完成的（就此写成一篇可以发表的论文反倒花了更长的时间）。与此形成鲜明对比的是史密斯及其律师团队长达数月的“努力”，这些律师每小时收取的费用不知道是科学家们的多少倍，而且全是纳税人买单——就算他们最后真的得出了有科学价值的结果，整个过程也实在低效得可怜，更何况他们并没有得到有价值的结果。史密斯的作为释放出了一种令人不安的信号：美国科学家似乎应当得出更适宜政治宣传的研究结果，而非准确地反映现实。

证据的对照结果支持NOAA的温度记录。但这是否意味着变暖现象

从未发生过中断呢？那就又是另一个问题了，一个科学界如今仍在激烈讨论的问题。不过要真正找出我们的地球在过去20年里的变暖速度，还是要通过实验——而不是政治调查来实现。而我们所获得的最佳证据表明，NOAA的结论是对的。

专栏 COLUMN

责任编辑：罗凯

反重力思考

掉地上的食物还能吃吗

“5秒定律”认为，食物落地之后，只要在5秒之内捡起来吃掉都是安全的。真的是这样吗？

撰文 史蒂夫·米尔斯基 (Steve Mirsky) 翻译 红猪



史蒂夫·米尔斯基开始撰写反重力思考专栏时，一块典型的构造板块距离现在位置大约还有0.9米。他也是《科学美国人》播客Science Talk的主持人。



喜剧演员艾琳·布斯勒（Elayne Boosler）有一番话提到了人类的一个普遍经验：“我母亲对自己打扫房间的技术很得意，她总说，‘你可以从我家的地板上捡东西吃’。你也可以从我家的地板上捡东西吃，那上面有数不清的东西。”《辛普森一家》中的荷马·辛普森看着地板上的一张馅饼说：“哎呀，地板饼！”《老友记》里也有一集，说一块芝士蛋糕掉在门厅地板上，瑞秋和钱德勒从上面掰了几块下来吃，这时乔伊走进来坐下，从口袋里抽出一把餐叉说：“好，今天吃什么？”

这三个流行文化的例子都说明了一点：掉到地板上的食物是常有人吃的。当然了，大多数人会在食物落地后尽快把它捡起来。这个举动被总结成了“5秒定律”：食物落地之后，只要在5秒之内捡起来吃掉都是安全的。但是据我的记忆，我小时候听说的还是“15秒定律”；不过也有可

能是我家经济拮据，这方面的标准要宽一些。

2014年3月，《科学美国人》的同事拉里·格林迈耶（Larry Greenemeier）在一篇网络报道里介绍了英国阿斯顿大学的一项研究，说是这项研究好像证明了5秒定律（这个结论是大学自己公布的，并没有在任何同行评议的期刊上发表）。格林迈耶对研究总结如下：“与长时间丢在地板上的食物相比，掉落后几秒内捡起的食物，不太容易沾染细菌。阿斯顿大学的这个团队还指出，食物掉落在什么表面对食物也会产生影响，铺着地毯的表面最不容易传播细菌。而如果湿润的食物和复合地板或瓷砖接触5秒以上，那么细菌逗留的可能性就要高多了。”

写到这里，我不由想起了一则著名故事：一个犹太老人掉了一片面包，面包着地时是涂着黄油的那面朝上的。在常人看来，黄油那面没有沾到地板，实在是幸事一件。但是在犹太老人看来，一片苦海的人生中居然发生了这样一件好事，实在有违造物主庞大而永恒的计划。于是他去向拉比请教。拉比花了几天时间研究和思索，最后得出了一个符合科学的解释：面包上的黄油涂错了一面。

说回阿斯顿大学的那项研究：它确实发现，大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的数量，与食物掉在地上的时间有函数关系，有人说这证明了5秒定律。不过去年9月刊登在《应用与环境微生物学》（*Applied and Environmental Microbiology*）杂志网络版上的一篇文章却提出了不同见解。

文章的作者是来自美国罗格斯大学的科学家，他们研究了产气肠杆菌在不同表面、不同食物之间的传播，最后指出：“虽然我们发现较长的接触时间会造成更多传播，但是我们同样发现，像食物性质和平面性质这类因素，也产生了很大或更大的影响。而且有的传播是‘瞬间’发生的（不到一秒），因而否定了‘5秒定律’。”

这就是各家新闻媒体对罗格斯大学这项研究的报道——说它否定了5秒定律。但是我这个旁观者却看出了一个有趣的现象，那就是两项研究指向了同一个结论：细菌污染的程度和接触时间、表面类型以及食物的黏度有关。媒体报道只是反映了两个研究结论的不同表达方式（但任何方式的掉落都是要避免的）。

不过我真正在意的却是另一个问题：5秒定律什么时候变成一个细菌传播的定律了？如果我对那虚度的青春时光没有记错，那么掉落的食物

物能不能吃，关键还是要看上面有没有脏东西。如果食物捡起来时没有积灰和猫毛，那就扔给胃酸和免疫系统来对付吧——它们都是我们身体里的宝，就像黄油是面包上的宝。

专栏 COLUMN

责任编辑：罗凯

怀疑论者

说到底，什么才是真理？

怎么判断一个说法的真假，比如死而复生？

撰文 迈克尔·舍默（Michael Shermer） 翻译 红猪



迈克尔·舍默是《怀疑论者》杂志的出版人。他的最新著作是《道德的弧度》（*The moral arc*）。欢迎在Twitter上关注他：[@michaelshermer](https://twitter.com/michaelshermer)。



按照《牛津英语词典》的第一条定义，“怀疑论者”是指“认为任何一个命题都没有充分根据能断定真实性的人”。这种人的观点未免太虚无了。实际上许多命题的真实性我们还是有充分根据的。比如：

本期《环球科学》在84页有一篇关于网络谣言的文章。经过观察，我们知道这是真的。

恐龙在大约6500万年前灭绝。通过对恐龙化石上下方的火山灰反复做放射性测年，我们可以确认这是真的。

宇宙可能起源于一场大爆炸。有许多现象表明这是真的，包括宇宙微波背景辐射、宇宙中的大量轻物质（如氢和氦）、星系的分布、宇宙的大尺度结构、大多数星系的红移以及空间的膨胀。

之所以说这些命题是“真的”，是因为它们的证据十分充足，再不认可它们就是不讲道理了。主张地球还很年轻的创世论者会说恐龙是几千年前才灭绝的（而且宇宙也才诞生了一万年），这种可能也不是完全没有，但它的概率太低，我们不必浪费时间思考它。

还有一些是否定性的真理，比如科学中的零假设，它主张某种理论得到证明之前，都可以认为它不存在。比如，有一个例子很能说明问题：在近些年泄露的数万封政府电邮、档案和文件中，没有一处提到政府曾经隐瞒UFO、伪造登月或者是布什政府策划了911事件。在这里，不能证明存在就等于证明了不存在。

另一些命题只有自己可以验证：黑巧克力比牛奶巧克力好吃；齐柏林飞船的《天堂阶梯》是最伟大的摇滚歌曲；生命的意义和数字42息息相关。这类真理完全是个人的，其他人无从验证。在科学中，我们需要的是外部的验证。

那么宗教真理又如何呢？“耶稣被钉死在十字架上”这个命题可以由史料验证：我们称为“拿撒勒的耶稣”的那个人多半真的存在过，罗马人常常因为轻微的罪行把犯人钉死，而且大多数圣经学者都承认这个事实——甚至包括那些无神论者和不可知论者，比如北卡罗来纳大学教堂山分校的著名宗教学教授巴特·叶尔曼（Bart Ehreman）。相比而言，耶稣因为我们的原罪而死则是一个从信仰得出的说法，并没有可靠的证据可以证明。处于两者之间的是耶稣死而复生的命题，这也不是绝对不可能，但要是真的发生过就是奇迹了。那么它真的发生过吗？

有一条比例原则（principle of proportionality）规定，特别离奇的说法一定要有特别确凿的证据。人类历史上生活过1000亿人，他们全都死了，没有一个回来。因此说某个人（或某几个人）死而复生，那真是最最离奇的说法了。那么这个说法有与之相称的证据吗？威斯康星大学麦迪逊分校的哲学家拉里·夏皮罗（Larry Shapiro）在2016年的著作《对奇迹的迷信》（*The Miracle Myth*）中写道：“和历史学家用来证明其他历史事件的证据（比如庞贝城的毁灭）相比，人死而复生的证据在完整性或可信度上都远远不如它们。”因为和火山爆发之类的平常历史事件相比，奇迹的可能性要小得多，所以“用来证明奇迹的证据应该比证明普通历史事件的证据有力许多倍才行。但事实上它们并不是那么有力的。”

可是那些证人的证词又怎么说呢？夏皮罗猜想，可能他们都是“迷

信或轻信的人”，所以只看见了自己想要看见的。“也许他们说的只是自己在‘意念’中感到了耶稣，然而几十年后，他们的证词遭到扭曲，变成他们见到了耶稣的血肉之躯。也许对耶稣死而复生的描写并不见于最早的福音书，它是在后来添加上去的。用这两种说法来解释福音书中对耶稣复活的描述，其可能性都要比耶稣真的在死后三天复活的说法高得多。”

比例原则还要求我们接受可能性较大的解释，而上面的两种解释显然符合这个条件。

耶稣在彼拉多问他“什么是真理”（《约翰福音》18章38节）的时候一言不发，也许就是这个原因吧。

专栏 COLUMN

责任编辑：罗凯

图表科学

文学作品隐藏着数学奥秘

科学家分析了文学作品中句子长度和语言的变化，结果发现许多名著中竟然隐藏着一些数学奥秘。

撰文 马克·菲谢蒂（Mark Fischetti） 翻译 郭凯声

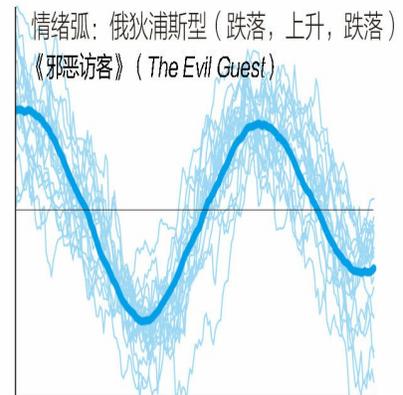
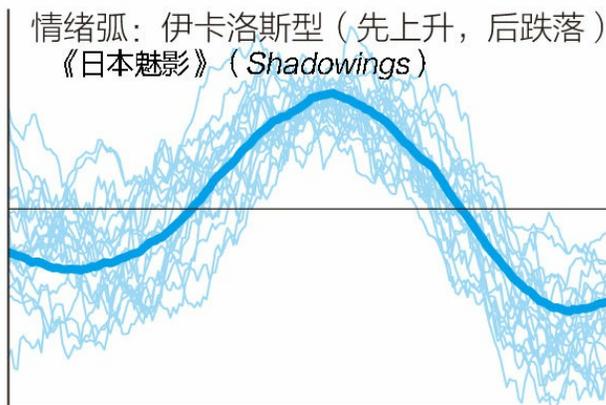
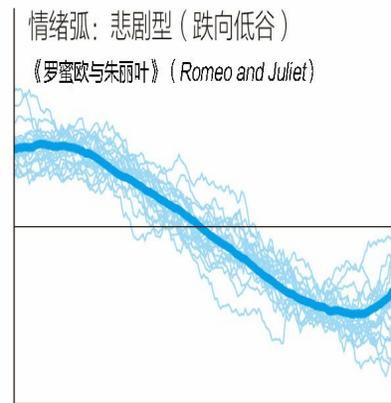
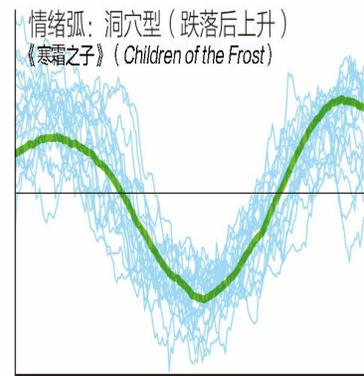
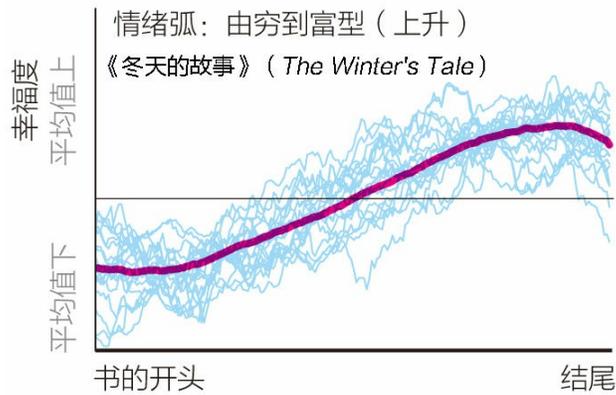
一本好书会让我们一边读一边经历情感的跌宕起伏。不过，所有小说和戏剧给读者的“情感经历”可以归结为6种，比如从一贫如洗到大富大贵的狂喜，或是从拥有希望到陷入绝望的痛苦（见下图）。美国佛蒙特大学的研究人员分析了1300多部文学作品，把每一页上各个单词蕴含的愉悦感和悲怆感绘制成图，描绘出了情感变化曲线（情绪弧），研究人员还发现，这些曲线可以总结成几种固定的模式。

波兰核物理研究所开展的另一项研究则发现，名著中的句子长度往往呈现出一种分形模式（分形是指一组东西在各种尺度上重复出现的特性），比如，最小的三角形棕榈单叶构成了大一些的三角形叶片，而后者又进一步构成更大的三角形棕榈复叶（见下图）。

为何要分析文学作品的数学特征？佛蒙特大学应用数学家安德鲁·J·里根（Andrew J. Reagan）的回答是，“人类基因组计划（Human Genome Project）产生的海量数据，使我们对基因有了更深入的了解。或许来自小说的数据也可以让我们对故事有更深入的认识。”

情绪弧

古登堡计划（Project Gutenberg，一项由自愿者参与的致力于文本著作的电子化、归档以及发布的协作计划）收录的1327部小说中，85%的小说情节发展都可归结为6种情绪弧中的某一种。情绪弧指的是故事从开头至结尾，情节跌宕起伏的变化模式（深色曲线），取决于故事展开过程（曲折的情节）中用词的愉悦度或悲伤度。所有作品均是字数少于10万的英文故事。图中注明了作品名。



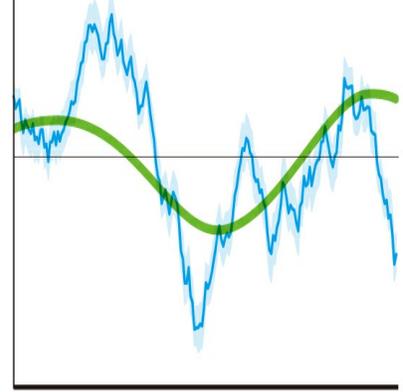
分形

应《科学美国人》的请求，佛蒙特大学研究人员分析了两部文学作品，之前另一组研究人员已经从句子分形的角度对这两部作品进行了研究（见底部图），结果发现，这两部作品的情绪弧与6种常见情绪弧中的2种吻合（彩色曲线）。具有同一种情绪弧的作品是否也有相似的分形模式呢？现在还没有人知道。

《芬尼根守灵夜》(Finnegans Wake)

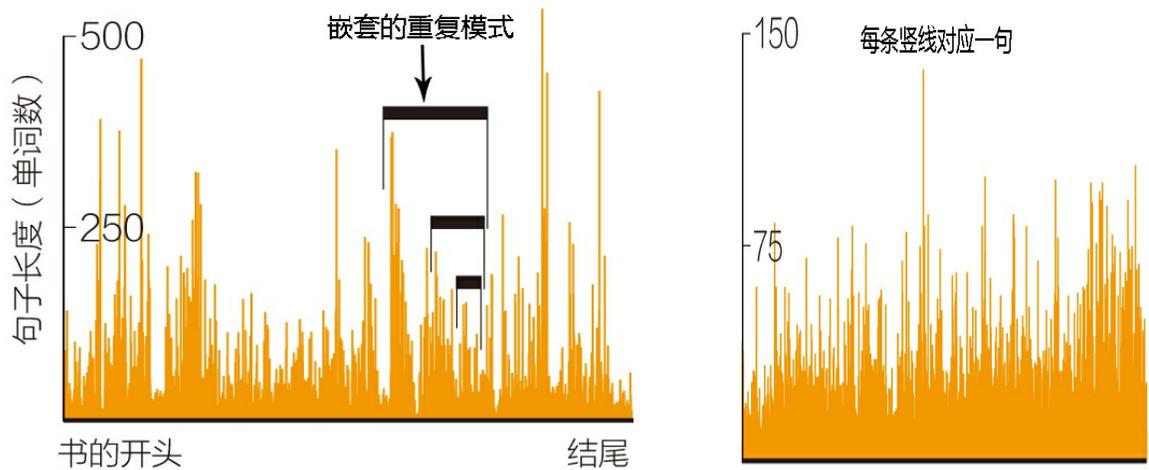


《海浪》(The Waves)



分形的句子结构

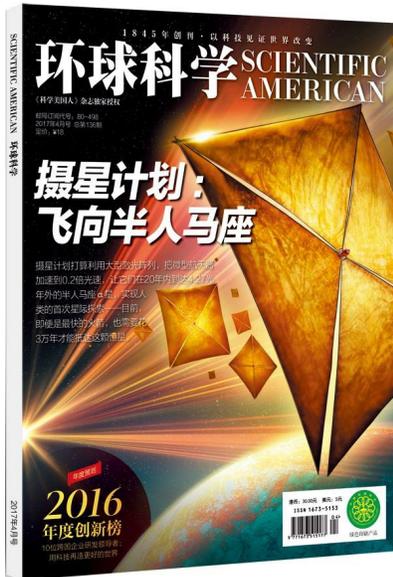
用不同语言撰写的113部名著中，句子的次序和长度几乎总是呈现出分形结构。意识流作品，例如詹姆斯·乔伊斯（James Joyce）的《芬尼根守灵夜》（Finnegans Wake），其重复度达到了登峰造极的地步，而传统路线的作品，如弗吉尼亚·伍尔芙（Virginia Woolf）的《海浪》（The Waves），重复度则相对较低。但它们的句子结构都属于分形。



制图：安德鲁·J·里根（Andrew J. Reagan）（情绪弧）；简·克里斯蒂安森（Jen Christiansen）（分形）

读来编往 FEEDBACK

责任编辑：罗凯



编辑寄语

上期封面故事《摄星计划：飞向半人马座》报道了一个充满科幻色彩的科学计划，通过这个计划，科学家将把上千个微型探测器送到4光年以外的半人马座 α 星。虽然因为微型探测器太小，即便成功到达半人马座 α 星，能发回地球的信息也不会太多，但是，这毕竟会在数光年外的星际空间留下人类的痕迹。《环球科学》的每期封面故事，几乎都能让我们看到一个让人激动的未来，读完后有任何新的感受或收获，都欢迎读者朋友通过微博、微信和邮件与我们分享。



4月初，《环球科学》微信公众号（[huanqiukexue](#)）上发表了一篇讨论游戏与神经可塑性之间关系的文章，叫《真正能健脑的，就是那些打打杀杀的电子游戏》。很多玩家纷纷表示，自己多年努力提高认知能力的尝试终于获得了“认可”。不过，研究者还提示各位玩家，虽然动作类游戏可以提高人的反应速度和认知能力，但过度沉迷就会适得其反。下面是读者朋友们的有趣评论：

@卢汉鹏 玩FPS（第一人称射击）类游戏反应能力很重要，也需要一定的分析能力，总得预先判断敌人最有可能往哪个方向走吧。久而久之，记忆力和反应速度都上来了。

@Wayne Go 作为模拟类游戏爱好者，我很想知道，游戏里面开过那么多汽车、火车和飞机后，对大脑有什么提高？

@14生科张学平 准确的说是动作类游戏吧，不知道RTS（即时战略）类游戏会不会有类似的效果。



◎2017年4月刊，第17页，“尼日利亚”应为“尼日利亚北部”。

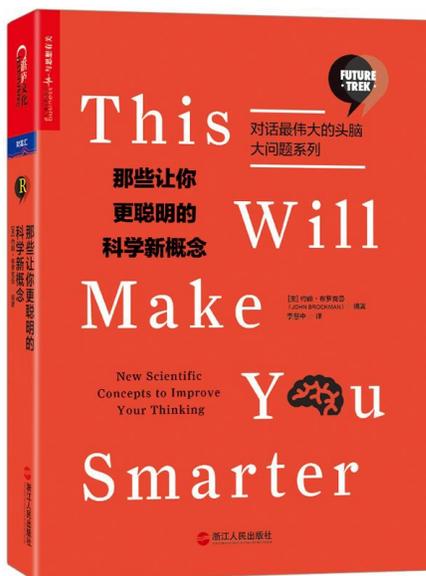
◎2017年4月刊，第17页，在“向保守派兜售气候变化”标题下，“回复”应为“恢复”。

◎2017年4月刊，第41页，左栏左上角，“2015年末到2106年初”应为“2015年末到2016年初”。

感谢赵鹏飞、齐泽华和刘冕挑错，我们将送上最新一期的刊物。



每月推荐



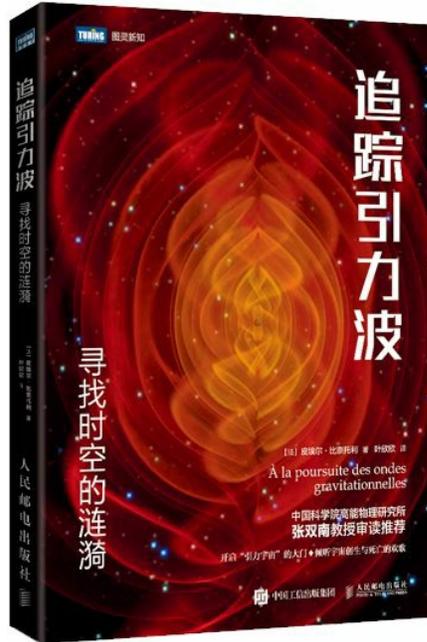
那些让你更聪明的科学新概念

编著：约翰·布罗克曼

译者：李慧中

出版：浙江人民出版社/ 湛庐文化

要抵达世界知识的边缘，就要寻找最复杂、最聪明的头脑，把他们关在同一个房间里，让他们互相讨论各自不太理解的问题。这本书刚好记录了这些聪明的头脑聚在一起争锋相对时的精彩瞬间。在编者的助推下，典雅的英式科学沙龙再次出现。他们讨论的每一条概念都对现代人的生活至关重要。你可以看到，作为科学界最基本的概念，“相关非因果”是如何成为人们具备批判性思维的必备要素；当然，你也可以认识到控制变量、思想实验、尺度分析和递归逻辑这些看似深奥的概念，在科学上如何发挥巨大的作用，在生活上如何影响人们的决策。



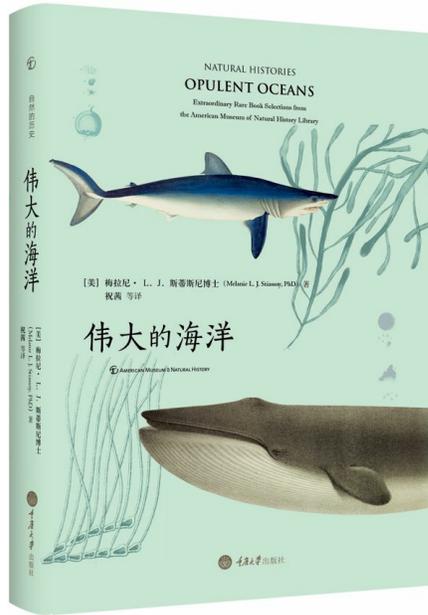
追踪引力波

作者：皮埃尔·比奈托利

译者：叶欣欣

出版：人民邮电出版社/图灵新知

自伽利略发明望远镜以来，我们观察宇宙的方式都相对单一，即便逐渐从可见光扩展到了可见光以外的其他频率，能够观察和分析的对象，依然是同一种性质的波：电磁波。2016年初，LIGO利用激光干涉仪接收到的宇宙信号，让我们第一次观察到了双黑洞合并引发的引力波。而这将极大地扩展科学家们观察宇宙视野。本书作者从事了多年的引力波研究，由他来回溯发现引力波的一系列关键历史时刻再合适不过。他将浓缩人们对广义相对论长达百年的思考，同时讨论科学家在引力波的基础上，如何实现一个观测“引力宇宙”的全球性项目。



伟大的海洋

作者：梅拉尼·L·J·斯蒂斯尼

译者：祝茜

出版：重庆大学出版社

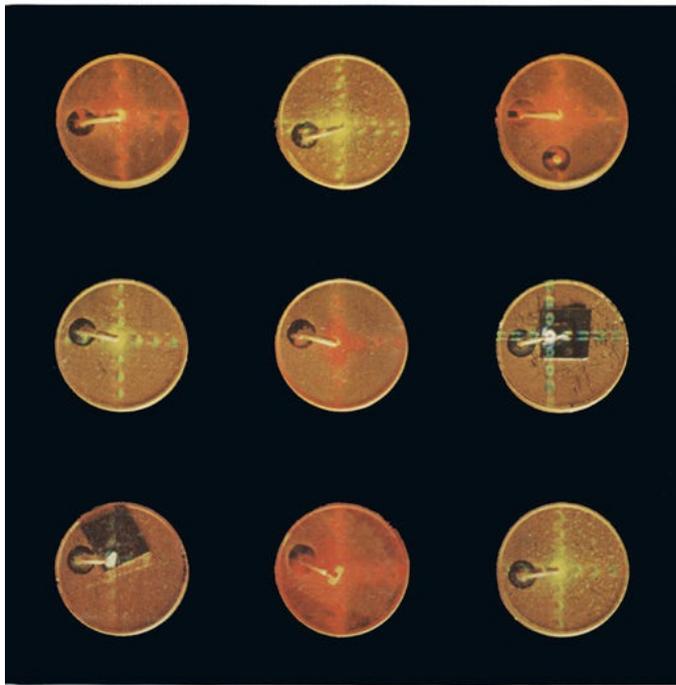
一次尽兴的旅程，一本精美的图册，一套关于海洋博物学历史渊源的精致索引。如果你已经跳出博物学的初级阶段，愿意追溯那段英雄和名著叠出的博物黄金时期，这本由美国自然历史博物馆出品的书就是最佳的选择。它汇编了200多本历史时期的著作，横跨500多年的时间。用最洗练和简介的语言挑选出著作最精华的部分进行介绍。书中，除了那些真实而夺人眼球的海洋生物以外，你还会看见略带作者臆想的精致插画。这似乎说明，伟大的海洋孕育着千奇百怪的生物，同时也一再为人们无尽的想象保留着空间。

经典回眸

50, 100 & 150 YEARS AGO

见证世界科学的每一次进步/翻译：红猪

SCIENTIFIC AMERICAN



LIGHT-EMITTING DIODES

SIXTY CENTS

May 1967

1967年

核能

到2030年，人类对电力的需求将达到今天的10倍。化石燃料资源估计会不断减少，而且地球上也没有其他可以用合理成本开采的大规模能源，因此大约85%的能源需求将由核裂变产生的能量来满足。然而要用现有类型的裂变装置来填补这个需求，地球的铀矿储量很快就会耗尽，裂变时代还没开始就将结束。这个事实说明了一点：“裂变时代”（也许有一天会为“聚变时代”所取代）能否来临，很大程度取决于我们开发的增殖反应堆能否充分利用现有的资源。

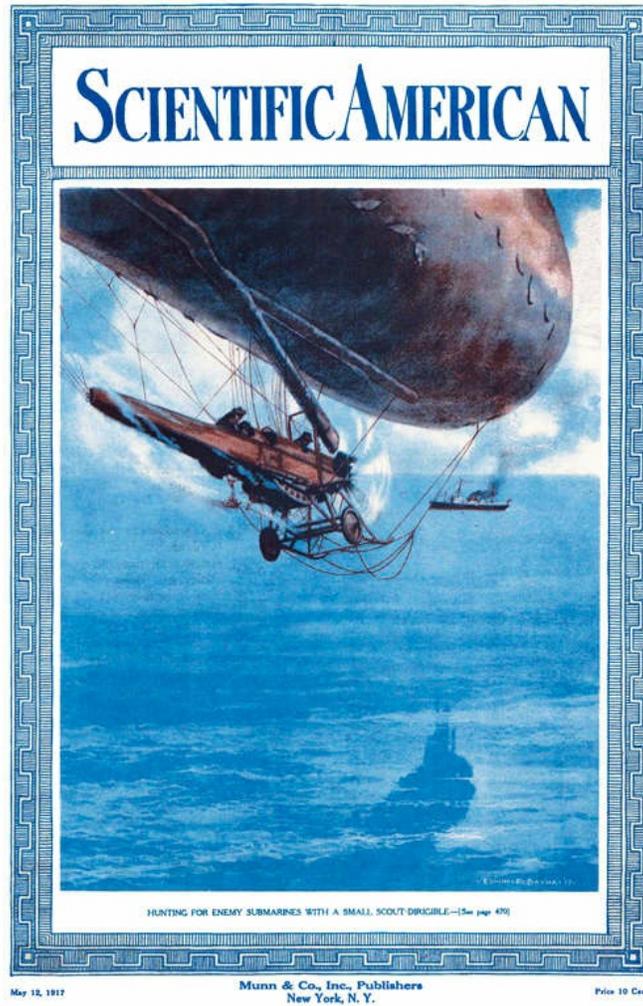
物质的本性

据说史上第一位哲学家、古希腊城邦米利都的泰勒斯曾经问道：“世界是如何构成的？又是由什么构成的呢？”现在回想起来，某些支配原子的定律和支配大块物质的定律并不相同，这一点似乎不该使我们那样惊奇。我们已经知道，当年德谟克里特就意识到了物质的成分是与物质不同的实体。事实证明，由卢瑟福和玻尔提出、并由量子理论所描述的原子核，已经足够解释化学的全部和物理学的大部分内容了。

经典回眸

50, 100 & 150 YEARS AGO

见证世界科学的每一次进步/翻译：红猪



1917年

电影摄制

一边是电影，以户外为舞台，以自然为布景；一边是舞台剧，即便最宏伟的构思也要局限于狭窄的舞台和人工的景致。在两者的较量中，前者将始终保持巨大优势。电影导演对这一点有充分了解，因而主要在户外工作。只要剧本精彩，值得投入金钱和精力，他就会毫不犹豫地将摄制队伍拉到户外，在那连绵数里，而不是区区几米的自然“舞台”上展开创作。不过在电影拍摄中，大场面不是常规，而是例外，因为拍摄它们是很费钱的。

想了解1917年电影拍摄的艺术与科学，请访问
www.ScientificAmerican.com/may2017/movies-1917观赏图片。



1917年，电影的魔力移到了户外的广阔天地：电影人雄心勃勃，整个世界都成了他们的舞台。

达尔文主义和战争

查默斯·米切尔（Chalmers Mitchell）先生在新书《达尔文主义和战争》（*Darwinism and War*）中回应了一种拥护战争的观点。这种观点在过去3年中常为德国的某个学派提起，它认为持续的斗争或战争状态是人类演化的一股主要动力。那些作者宣称战争是必要的、可贵的，是生物学的一条无可抗拒的定律。他们更鼓吹从长远来看战争对人类有利，能使最强壮有为的种族脱颖而出。不过米切尔先生的观点却与此不同，用他自己的话说，“自然选择是使优势种族得到保存，而不是一个种族将另一个消灭干净。”在他看来，一群个体组成一个现代国家，和一群个体组成一个种族或者物种，这是根本不同的两种情况。简单地说，他

认为用动物界的所谓定律来为人类行为辩护是完全不可取的。

见证世界科学的每一次进步/翻译：红猪

SCIENTIFIC AMERICAN

A WEEKLY JOURNAL OF PRACTICAL INFORMATION, ART, SCIENCE, MECHANICS, CHEMISTRY, AND MANUFACTURES.

Vol. XXI.—No. 21 NEW YORK, MAY 25, 1867. \$2 PER ANNUM.

THE PROPOSED GRAND NEW YORK HOTEL

We transfer to our columns an engraving from the London Architect, which represents Messrs. Crossen's proposed new hotel, which was to have been erected on the Fifth Avenue, opposite the north entrance of the Central Park, covering the block of ground between 59th and 60th streets. The lots of ground, which were to have been the site of the structure, have just been sold at auction and this has somewhat retarded the interest felt in the undertaking. These lots were

to a moment when his vessel was caught in the ice, and its destruction made momentarily imminent.—

The scene around us was as imposing as it was alarming. Except the earthquake and volcano, there is not in nature an exhibition of force comparable with that of the ice fields of the Arctic Sea. They close together, when driven by the wind or by currents against the land or other resisting object, with the pressure of millions of moving tons, and the crash and noise and confusion are truly terrific. We are now in the midst of one of the most thrilling of these exhibitions of

trekking in every timber from trunk to limb. Her aim seemed to be giving way. Her deck timbers were bowed up, and the seams of the deck planks were opened. I gave up for lost the little craft which had gallantly carried us through so many scenes of peril; but her sails were sold and her ribs strong, and the ice on the port side, working gradually under the bows, at length, with a jerk which sent us all reeling, lifted her out of the water; and the boat, still pressing on and breaking, as they were crowded together, a vast edge was piling up beneath and around us, and, as if with



PROPOSED NEW YORK HOTEL OF MR. HIRAM CRANSTON, AT CENTRAL PARK.

thirty-four is number. At the side, eight lots on Fifth Avenue brought an average of \$110,000 each; eight lots on Madison Avenue \$3,000 each; side lots on 59th street \$10,000 each, and side lots on 60th street \$3,500 each. The aggregate amount of the sales was \$300,000, out of the ground eighteen months since, \$200,000. The architecture of the hotel, as seen in the engraving, is noteworthy as being similar to that of public buildings, palaces, etc. in France and some other parts of Europe, but has not hitherto been adopted in this country.

Polar dynamics, and we became uncomfortably conscious that the schooner was to become a sort of dynamometer. Vast ridges were thrown up wherever the force came together, to be submerged again when the pressure was exerted in another quarter; and over the sea around us these pulsating lines of sight, which in some cases reached an altitude of not less than sixty feet—higher than our mast-head—held of the strength and power of the enemy which was threatening us. We had worked ourselves into a triangular space formed by the contact of three fields. At first there was plenty of room to maneuver, though no chance to escape. We were slowly backed, and vainly hoped that we were safe; but the officers of the protecting line were crushed off, the space narrowed

the elevating power of a thousand jack screws, we found ourselves going slowly up in the air.

New and Simple Dry Process.

At a late meeting of the London Photographic Society, Mr. William Dagland described a dry process which he has found to fulfill better than any other the conditions required in a dry-plate process of photography. We may here premise that the pictures which were exhibited as having been obtained by means of the process in question were excellent, and in no way inferior to any that could have been produced by means of wet collodion from the same subject. The plates are exceedingly sensitive, judging from the ordinary dry-plate standard; the certainty seems such as to admit of fully even exposures, which the keeping properties may be deduced from the fact of one of the pictures exhibited having been printed from a negative kept seven weeks previous to development.

A plate is coated with ordinary collodion and washed in a forty-grain bath. It is then washed until all "germs" disappear, by being transferred first to a bath of distilled water, followed by a similar application of common water. Some plain albumen, to which a few drops of ammonia have been added, is now poured over the surface and made to travel over every part of the film, for which purpose it should be several times tilted back, ward and forward. The film is now washed, so as apparently to remove the albumen, some of which, however, will always remain, no matter how prolonged may be the washing to which it is subjected. The plate now receives a final sensitizing, by having poured over its surface a thirty-grain solution of nitrate of silver to which a few drops of acetic acid have been added. The plate is now subjected to final and thorough washing, and is then dried. The exposure required is about three times that given to a wet collodion plate. A plain solution of pyrogallie acid, of the strength of two or three grains to the ounce, serves to develop all the details which are afterward strengthened in the usual manner (by citric acid and alcohol).

Improved Sheep Feeding Rack.

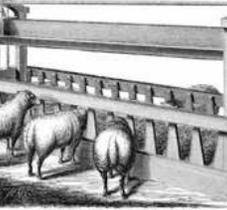
It is well known that sheep waste about as much as they eat when they pull the hay through an ordinary rack, and to save this waste and keep their feeding pleasant is the object of the invention exhibited in the accompanying engraving.

The slats are about four inches wide at the top and two at the bottom, and the hay is agitated on the bottom of the frame, which may be either a partition or a wall rack. By partitioning the rack, more may be fed to the animals on one side and hay to those on the other. The sheep cannot trample their food, and will not pull it through to waste it. There is a sliding trough for grain, seen in the engraving above, having a partition running lengthwise, which may be elevated while hay is being fed, or lowered when grain is given. While elevated, it is easy to arrange the grain or roots, and the trough is readily lowered by means of the rods and counterweights at the ends. In the use of this device the sheep cannot crowd nor waste.

It was patented through the Scientific American Patent Agency, June 5, 1866, by D. J. Sexton, of Williams, Va., whose address for further particulars. Parties will also receive an illustration by addressing J. H. Thomas, Oswego, Va.

Yacht Caught in the Ice at the Polar Sea.

Dr. Hayes, in his narrative of the expedition, thus writes:



SEXTON'S SHEEP-FEEDING RACK.

little by little, and well-tended to the cracking and creaking of the ice, and watched its progress with consternation. At length the ice touched the schooner, and it appeared as if her destiny was sealed. She ground like a common thing in pulp, and writhed, and twisted as if to escape her adversary,

in this dried. The exposure required is about three times that given to a wet collodion plate. A plain solution of pyrogallie acid, of the strength of two or three grains to the ounce, serves to develop all the details which are afterward strengthened in the usual manner (by citric acid and alcohol).

1867

枪伤鉴定

加利福尼亚州洛杉矶市的V·格尔西奇（V.Gelcich）医生指出，用普通探针很难感觉出骨骼和枪弹的区别。他使用的是一条简单的白松木，削成一根探针的模样，诊断时伸进伤口，在可疑物体上摩擦，然后迅速抽回。如果碰到的是枪弹，那么松木上就会沾铅粉。他说就凭这件简单的工具，他在美国陆军当军医时曾经挽救了两名士兵的腿脚。当时士兵下肢中枪，正要做截肢手术，他却用这条白松木发现了所谓的断骨只是打进体内的铅弹。

巴黎的马车

有一种法式骑马术：做一对巨大的轮子，将马车车身装在高高的车轴上，使马匹能跑到车身底下、车轮之间。这样你就像巴黎人那样，拥有一套匀称、且集马夫、马匹和马车于一体的马具了，你本人也能高高在上，既可俯视路人，也可为路人瞻仰。

《环球科学》旗下微信公众号

创新地标

技术解读 | 投资指南 | 行业分析 | 前瞻报告



扫码关注“创新地标”



关注全球具有商业前景的技术与创新

天文学专刊

天文学专刊 修订版



5月18日全国上市

风靡科普圈，畅销二十八万册，受广大天文爱好者追捧的《天文学专刊》重装上市。

创生、演化、隐秘、探索四大篇章，让你看到一个惊悚、震撼、让

人敬畏的宇宙！



官方网站：<http://www.huanqiukexue.com>
官方微博：<http://weibo.com/sciam010-85321181>



读者热线：010-57458982
发行热线：010-57439192

Table of Contents

[版权信息](#)

[目录](#)

[《环球科学》新媒体平台](#)

[专帮科研人找工作](#)

[2017年《环球科学》国际科学夏令营招募](#)

[编者的话](#)

[与细菌赛跑](#)

[国际版本](#)

[《科学美国人》国际版本速览](#)

[研究](#)

[全球学术期刊概览](#)

[前沿](#)

[【天体物理】Virgo 引力波探测器重新上线](#)

[【神经科学】鸭子的大脑缺陷与认亲行为](#)

[【地球科学】利用声波预测海啸](#)

[【材料科学】纳米纱窗可过滤90%的有害颗粒物](#)

[【生态学】为地衣搬家](#)

[【简讯】全球科技热点](#)

[【环境】煤电厂污染物会使作物减产](#)

[【资讯】力学生物学：皮肤抗衰老的新思路](#)

[【新技术】机器人帮脑瘫婴儿学习爬行](#)

[【健康】美国能应对未来疫情吗](#)

[【生物学】膳食脂肪能延长寿命？](#)

[【能源】亚麻荠油替换传统飞机燃料？](#)

[【古生物学】来自侏罗纪的章鱼化石](#)

[深度](#)

[【封面故事】微生物角色：从破坏者到守护者](#)

[【封面故事】制造治病的细菌](#)

[【封面故事】噬菌体疗法：用病毒杀灭致病菌](#)

[【封面故事】微生物九大应用](#)

[【天文学】追踪暗物质：常进的20年](#)

[【天文学】现场直击：黑洞吞噬恒星](#)

[【技术】自动驾驶的社交障碍](#)

[【科学史】苏联炭疽惨案：尘封38年的真相](#)

[【健康】PFC污染：全球健康隐患](#)

[【健康】老年痴呆的生活疗法](#)

[【演化】毒泉孕育新鱼类](#)

[【社会科学】回声室效应：网络谣言的自我增强](#)

[专栏](#)

[【健康科学】切大脑，治癫痫？](#)

[【技术档案】用户手册去哪了？](#)

[【科学评论】别碰科学家的邮件](#)

[【反重力思考】掉地上的食物还能吃吗](#)

[【怀疑论者】说到底，什么才是真理？](#)

[【图表科学】文学作品隐藏着数学奥秘](#)

[读来编往](#)

[读来编往](#)

[经典回眸](#)

[经典回眸](#)

[创新地标](#)

[创新地标](#)

[天文学专刊](#)

[天文学专刊](#)