

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 2020年5月号
总第189期 每月1日出版 定价：¥30



[封面故事]

绘制银河 新图景

天文学家最近利用一些观测数据，
绘制了全新的“银河系图”。
这幅图告诉我们，太阳几乎正好
位于银河系盘的中心平面上。

PLUS

人类牙齿为何如此脆弱

量子叠加态与现实矛盾吗

量子系统通常处于叠加态，
但为什么我们在观察量子系统时，
只能得到唯一的、确定的值？

ISSN 1673-5153



9 771673 515207



绿色印刷产品



222

封面故事 COVER STORY

绘制银河新图景

长期以来，我们对银河系知之甚少，我们甚至不知道太阳在银河系中的具体位置。不过，天文学家最近利用一些观测数据，绘制了全新的“银河系图”，这幅图将刷新我们对银河系、星系形成的认识。而且通过这幅地图，我们还知道，太阳几乎正好位于银河系盘的中心平面上。

物理学 PHYSICS

30 量子叠加态与现实矛盾吗

撰文 艾尔维·泽维恩 (Hervé Zwirn)

量子理论认为，量子系统通常处于叠加态，但观察者在测量时，却只能得到唯一的、确定的值。这是否意味着，在量子世界，存在着独立于观察者的客观现实呢？自从量子力学诞生之时，这个问题始终悬而不决。科学家也曾试图解释这个现象，比如提出过平行世界理论，但都无法给出完美的解释。

演化 EVOLUTION

38 人类牙齿为何如此脆弱

撰文 彼得·S·昂加尔 (Peter S. Ungar)

许多人都饱受口腔问题的困扰，从龋齿、牙列不齐到智齿阻生，牙齿本是我们身体最坚硬的一部分，却也最容易出现的问题。反观其他脊椎动物，即使没有精心进行牙齿的日常养护，它们也很少患有牙科疾病。人类的牙齿为何如此脆弱？研究显示，这很可能与现代人食谱的变化有关：我们的饮食更精细了，但牙齿还没做好准备。

演化 EVOLUTION

44 动物形态还会更多样吗

撰文 特尔莫·皮耶瓦尼 (Telmo Pievani)

近一个半世纪以来，对于动物形态多样性的演化，众多科学家一直争论不休。一些人认为动物躯体结构的差异性在寒武纪生命大爆发期间就已完成，另一些人则认为这样的差异是在此后的数亿年间逐渐演化形成的。现在，一项规模浩大的研究给出了不同的解释，并且引出一个新问题：未来，动物还能演化出更多全新的形态吗？

动物保护 CONSERVATION

52 野猫：野生动物的噩梦

撰文 卡丽·阿诺德 (Carrie Arnold)

对于人类而言，猫是可爱的宠物，可是对小型的野生动物而言，猫却是可怕的捕食者。每年因野猫被捕杀的鸟类最多，达到24亿只，这些野猫还会捕杀123亿只啮齿动物和其他哺乳动物。虽然野猫捕杀濒危野生动物的报道越来越多，但人们依然不知道该如何解决这个问题，是把野猫抓回来，实施绝育手术后放归，还是完全圈养不再放归？

生物学 BIOLOGY

60 南极跳虫：挑战生命极限

撰文 道格拉斯·福克斯 (Douglas Fox)

1964年，昆虫学家在南极内陆最贫瘠的土地上发现了一种神秘的跳虫，他们当时认为，这种生物存在于南极内陆的时间并不长，因为它们无法活过南极的冰期。但令人惊讶的是，这些跳虫在南极内陆的山脊上度过了30多个冰期，一直顽强生存在冰川最狭窄的边缘，是真正意义上的极端生存者。

农业 AGRICULTURE

68 基因改造：意大利的农业变革

撰文 安娜·梅尔多莱西 (Anna Meldolesi)

作为农业大国，意大利农产品却面临着矛盾的境况。一方面，意大利的本土作物拥有丰富的遗传多样性，但却仍然需要从海外引进新品种。另一方面，意大利农业遗传学的研究已经取得了一定进展，但成果却未能得到充分利用。如何让意大利农产品在国际市场上流行起来呢？意大利政府决定，借助同源转基因和基因编辑技术的力量。

2019年度专刊 · 重磅上市

诺奖得主经典文集

他们如何开创科学的黄金时代？

爱因斯坦、玻尔、玻恩、鲍林、薛定谔、哈恩、克里克、科恩伯格……



18位 + **16**篇
诺奖得主 传世经典

每一位作者，都是科学史上高山仰止的存在；
每一篇文章，都凝聚了人类的巅峰智慧。

现已全国上市

客服热线：010-57458982

原价 ~~68元~~

优惠价 **56元**

包快递





60



93

人类学 ANTHROPOLOGY

74 一场毁灭性的救援

撰文 阿杰·塞尼 (Ajay Saini) 西姆罗·J·辛格 (Simron J. Singh)

2004年，地震引发的印尼海啸袭击了震源附近的尼科巴群岛，岛上许多村庄被毁，原住民失踪。出于人道主义精神，各种救助组织在灾后前往尼科巴群岛救助当地居民。这些援助本应让尼科巴人生活得更好，但15年过去了，尼科巴人不仅没有从救援中受益，反倒因为外界错误的救援方式几乎丢掉了原有的文化和信仰，患上了之前没有见过的现代疾病，整个尼科巴文化危在旦夕。

化学 CHEMISTRY

82 人体的铁来自超新星

撰文 科特·施塔格 (Curt Stager)

铁元素太过常见，以至于很多人都会忽略它的存在。但是，很多人不知道，人体中的铁可能来自于宇宙中最绚烂的超新星爆发。这种身世显耀的元素还与人体的血液有着千丝万缕的联系——从“蓝精灵”的传说，到氰化物中毒，都与它有关。

对话 DIALOG

88 新冠疫情如何冲击全球健康

本刊记者 戚译引

如果能够提前两周预测一个地区疫情的暴发情况，能带来怎样的改变？在未来一段时间，疫情的全球蔓延又将如何影响公共卫生的其他领域？《环球科学》访谈华盛顿大学人口健康首席战略官、健康计量科学教授阿里·穆克达德。

前沿 ADVANCES

- 12 器官保存的一次飞跃
 - 变温顺的蚂蚁
 - 河流三角洲的增长假象
 - 美国重启载人航天飞行
 - 动物如何学会迁徙
 - 用计算机算出巨浪
 - 全球科技热点
 - 给飞机施加负电荷
 - 线虫入侵蜥蜴胚胎
 - 手工制作细胞穿孔仪

专栏 COLUMN

08 《科学美国人》国际版本速览

时间晶体 TIME CRYSTAL

09 戴森眼里的世界

撰文 弗兰克·维尔切克 (Frank Wilczek)

著名物理学界弗里曼·戴森在今年2月去世。作为世界上最优秀的物理学家之一，他一直坚信科学能够拯救地球。

10 全球学术期刊概览

健康科学 THE SCIENCE OF HEALTH

92 睡眠呼吸暂停的危害

撰文 克劳迪娅·沃利斯 (Claudia Wallis)

医学专家曾认为睡眠呼吸暂停主要在男性中发作，但最新的数据表明，这种病症在女性中也很常见。

反重力思考 ANTI GRAVITY

93 改造泰坦

撰文 史蒂夫·米尔斯基 (Steve Mirsky)

改造一颗系外行星十分困难，如何才能向前迈出一小步？

科技投资 VENTURES

94 为什么风投不愿投资硬科技

撰文 韦德·劳什 (Wade Roush)

在众多投资者中，只有极少数投资者支持那些尝试解决艰难的科技挑战的初创公司。

数据 DATA

95 地球被卫星包围

撰文 马克·菲谢蒂 (Mark Fischetti)

目前，地球轨道上共有2000多颗卫星在正常运行。

96 经典回眸 50,100&150 YEARS AGO

2020年《环球科学》 国际科学夏令营招募



扫描二维码
填写报名表



扫描二维码
查看详细行程

德国、美国，“科学梦想季”即将开启！

010-57101895
18610619968



美国 NASA

NASA 航空航天科技夏令营

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：2020年（日期待定）

地点：亨茨维尔、洛杉矶

招生对象：10-17岁优秀中小學生，对航空航天领域有浓厚兴趣



德国哥廷根大学

访问 www.huanqiukexue.com,

点击“品牌活动”-“科学营”

查看更多信息

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 17 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，接受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：2020年（日期待定） 地点：哥廷根、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

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 Published By

《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

出版人 Publisher

刘芳 Liu Fang

编辑中心 EDITORIAL DEPARTMENT

执行主编 Executive Editor

褚波 Wave Chu

编辑部副主任 Deputy Editorial Director

吴非 Wu Fei

资深编辑 Senior Editor

罗凯 F. Leocas / 魏潇 Wei Xiao

编辑 Editor

杨心舟 Yang Xinzhou

助理编辑 Assistant Editor

石云雷 Shi Yunlei

记者 Chief Reporter

方行苇 Fang Xingwei

特约记者 Contributing Reporter

陈耕石 Chen Gengshi / 吴好好 Wu Haohao

颜磊 Yan Lei / 杜立配 Du Lipai

网站 Website

袁雪 Yuan Xue

设计部 Art & Design

视觉总监 Visual Director

封雪英 Feng Xueying

编辑部热线: 010-85325871

新媒体合作: 010-85321181

运营中心 OPERATING DEPARTMENT

发行部 Circulation Department

发行热线 010-57439192

市场部 Marketing Department

市场热线 010-57101895

广告部 Advertising Department

广告热线: 010-85325810

读者服务部 Reader Service

晶晶 Jingjing 010-57458982

国际标准刊号: ISSN 1673-5153

国内统一刊号: CN11-5480/N 总期号: 总第189期

发行单位: 北京报刊发行局

全国各地邮局均可订阅 邮发代号: 80-498

广告经营许可证号: 京朝工商广字第8144号

印刷单位: 北京利丰雅高长城印刷有限公司

版权声明: 本刊刊登的所有内容, 杂志保留全部版权。未经许可, 不得以任何形式转载、复制、翻印、传播或使用。如无特殊声明, 杂志保留以任何形式(包括但不限于纸质版、电子版、移动端终端版、数据库、光盘等)编辑、修改、出版、使用或授权使用该作品的权利。作译者在本刊发表文章, 享有文章署名权和获取一次性报酬的权利, 不享有其他任何权利。本刊保留一切法律追究的权利。

北京市绿色印刷工程

——优秀青少年读物绿色印刷示范项目

顾问委员会

中国顾问委员会

周光召 杨振宁 (以下按姓氏笔画)

艾国祥 李国杰 吴新智 张玉台 张厚粲 赵忠贤 钟南山 姚期智 欧阳自远 郭光灿 焦洪波 滕吉文

全球顾问委员会

莱斯利·C·艾洛 (Leslie C. Aiello)

温纳·格伦人类学研究基金会主席

罗杰·宾汉姆 (Roger Bingham)

科学网络 (The Science Network) 联合创始人、负责人

G·史蒂文·博尔 (G. Steven Burrill)

美国博乐集团CEO

亚瑟·卡普兰 (Arthur Caplan)

纽约大学Langone医学中心医学伦理学

人口健康系主任

乔治·M·丘奇 (George M. Church)

哈佛医学院计算遗传学中心主任

丽塔·科尔韦尔 (Rita Colwell)

马里兰州帕克分校教授、约翰斯·霍普

金斯大学公共卫生学院教授

德鲁·恩迪 (Drew Endy)

斯坦福大学生物工程教授

埃德·费尔顿 (Ed Felten)

普林斯顿大学信息技术政策中心主任

凯格厄姆·J·加布里埃尔

(Kaigham J. Gabriel)

摩托罗拉移动公司副总裁

哈罗德·加纳 (Harold Garner)

弗吉尼亚理工学院生物信息学研究所教授、

医疗信息系统部门负责人

迈克尔·S·加扎尼加 (Michael S. Gazzaniga)

加利福尼亚大学圣巴巴拉分校Sage心

智研究中心主任

戴维·J·格罗斯 (David J. Gross)

2004年诺贝尔物理学奖得主、加利福

尼亚大学圣巴巴拉分校卡夫利理论物理研

究所教授、常任理事

莱内·维斯特高·哈乌 (Lene Vestergaard Hau)

哈佛大学物理与应用物理系教授

丹尼·希利斯 (Danny Hillis)

Applied Minds公司主席

维诺德·科斯拉 (Vinod Khosla)

科斯拉风险投资公司合伙人

克里斯托夫·科赫 (Christof Koch)

艾伦脑科学研究所CSO

丹尼尔·M·卡门 (Daniel M. Kammen)

加利福尼亚大学伯克利分校可再生能源

及新能源实验室主任、能源与资源研究

组特聘教授

劳伦斯·M·克劳斯 (Lawrence M. Krauss)

亚利桑那州立大学宇宙学家、起源项目

负责人

莫顿·L·克林格尔巴赫 (Morten L. Kringelbach)

牛津大学精神病学系资深研究员、丹

奥胡斯大学神经科学教授

史蒂文·凯尔 (Steven Kyle)

康奈尔大学应用经济与管理系教授

罗伯特·S·兰格 (Robert S. Langer)

麻省理工学院化学工程系戴维·H·科赫

研究所教授

劳伦斯·莱斯格 (Lawrence Lessig)

哈佛大学法学院教授

约翰·P·穆尔 (John P. Moore)

康奈尔大学威尔医学院微生物学和免

疫学教授

M·格兰杰·摩根 (M. Granger Morgan)

卡内基·梅隆大学工程与公共政策教授

兼系主任

米格尔·尼科莱利斯 (Miguel Nicolelis)

杜克大学神经工程中心负责人

马丁·A·诺瓦克 (Martin A. Nowak)

哈佛大学生物学和数学教授、进化动力

学项目负责人

罗伯特·E·帕拉佐 (Robert E. Palazzo)

阿拉巴马大学伯明翰分校文理学院院长

卡罗琳·波尔科 (Carolyn Porco)

卡西尼探测器成像科学团队、太空科学研

究所卡西尼成像中心运营实验室负责人

马丁·里斯 (Martin Rees)

英国皇家天文学家、剑桥大学天文学研

究所宇宙学和天体物理学教授

维兰努亚·S·拉玛钱德朗

(Vilayanur S. Ramachandran)

美国加利福尼亚大学圣迭戈分校大脑与

认知中心主任

丽莎·兰道尔 (Lisa Randall)

美国哈佛大学物理学教授

约翰·里根沃德 (John Reganold)

美国华盛顿州立大学土壤科学和农业生

态学终身教授

杰弗里·D·萨克斯 (Jeffrey D. Sachs)

美国哥伦比亚大学地球研究所主任

尤金妮亚·斯科特 (Eugenie Scott)

美国国家科学教育中心执行主任

特里·诺斯基 (Terry Sejnowski)

美国索尔克生物学研究所计算神经生物

学实验室教授、负责人

迈克尔·舍默 (Michael Shermer)

《怀疑论》杂志出版人

迈克尔·施耐德 (Michael Snyder)

斯坦福大学医学院遗传学教授

迈克尔·E·韦伯 (Michael E. Weber)

清洁能源孵化器负责人、美国得克萨斯

大学奥斯汀分校机械工程系副教授

史蒂文·温伯格 (Steven Weinberg)

1979年诺贝尔物理学奖得主、美国得克

萨斯大学奥斯汀分校物理系理论组主

任主任

乔治·怀特塞兹 (George M. Whitesides)

美国哈佛大学化学与化学生物学教授

内森·沃尔夫 (Nathan Wolfe)

全球病毒预警计划 (Global Viral Fore-

casting Initiative) 负责人

R·詹姆斯·沃尔赛 (R. James Woolsey)

勒克斯资本管理合伙人

安东·蔡林格 (Anton Zeilinger)

奥地利维也纳大学量子光学、量子纳米

物理学、量子信息学教授

乔纳森·齐特林 (Jonathan Zittrain)

哈佛大学法律和计算机科学教授



SCIENTIFIC AMERICAN

Established 1845

2020. Scientific American, a division of Nature America, Inc. Subject to national and international intellectual property laws and treaties. All rights reserved. Used under license. No part of this issue may be produced by any mechanical, photographic or electronic process, or in the form of an audio recording, nor may it be stored in a retrieval system, transmitted or otherwise copied for public or private use without written permission of the publisher.

《环球科学》经典珍藏版

《环球科学》× 机械工业出版社 联合出品



时间专刊·宇宙专刊·黑洞专刊·天文专刊
全新的装帧设计，全新的阅读体验



扫码了解更多



法国版

农药的持续影响

法国瓜德罗普省和马提尼克岛曾把十氯酮 (Chlordecone) 作为农药, 用来杀灭香蕉园里的害虫。从上世纪70年代开始, 人们逐渐认识到十氯酮的危害, 比如在动物实验中, 科学家发现十氯酮对动物的中枢神经系统、泌尿生殖系统都有危害, 而且还有致癌风险, 因此从1993年开始, 法国就不再使用十氯酮。科学家检测发现, 十氯酮已经对瓜德罗普省和马提尼克岛的土壤造成了污染, 而且由于这种物质很稳定, 因此可能会在土壤中存在数个世纪。不过, 最近的研究发现, 十氯酮可能在细菌的作用下, 已经开始分解。这或许是一个好消息, 因为这样一来, 十氯酮对环境的影响可能不像之前认为的那么持久, 但它的分解产物会对环境造成什么影响, 还需要进一步研究。

意大利版

威尼斯危险了

威尼斯是世界著名的“水上城市”, 而且在建筑、绘画、雕塑、歌剧等领域, 也有着重要的地位和影响。但是, 意大利气候学家最近的研究表明, 威尼斯已经处于危机之中了。100年前, 威尼斯中心最大的广场——圣马可广场每年会遭遇洪水10次左右。如今, 威尼斯的水平面相比100年前上升了23厘米, 这座广场每年遭遇洪水的次数也大大超过100年前。这还不是最糟糕的情况。气候学家的模拟研究表明, 如果当前的气候变暖趋势得不到抑制的话, 那么到了2100年, 全球海平面将会上升82厘米, 而整个威尼斯都会被洪水淹没。到那时, 这座在意大利历史上有着重要地位的城市, 将彻底成为历史。

科学美国人·物理与太空

比邻星的第二颗行星

比邻星是距离太阳最近的恒星, 距离为4.22光年。此前, 天文学家曾根据引力拖曳现象, 在比邻星附近发现了一颗行星, 虽然这颗行星的质量和地球相似, 但由于它距离恒星太近, 温度必然很高, 因而天文学家认为它肯定不会是“第二颗地球”。去年, 天文学家通过观测和数据分析发现, 在比邻星附近可能还存在一颗行星。他们一度认为是自己的分析或数据错误, 但经过多次分析后, 都无法证明这是错误导致的, 因而在今年4月, 他们在学术期刊上公布了这一发现。与之前那颗行星不同的是, 这颗行星距离比邻星可能更远一些, 完成一次公转需要1900天, 这说明它的表面环境也不会和地球相似。

中国台湾版

加速研发新冠病毒疫苗

在最新一期《科学美国人》中国台湾版上, 两位科学家介绍了台湾地区为了应对新冠病毒疫情, 在疫苗研究方面的最新进展。目前, 中国台湾地区的相关研究项目包括亚单位抗原疫苗、核酸疫苗、重组载体疫苗等。从目前的进度来看, 一种亚单位抗原疫苗和一种DNA疫苗已进入小鼠实验阶段, 有望在今年5月前得到实验结果。此外, 还有一种病毒载体疫苗也已完成制备, 会马上进入小鼠实验阶段, 有望在今年6月前完成实验。之后, 科学家将根据这三种候选疫苗的实验结果, 选定效果最好的一种疫苗开展进一步研究和验证, 并在通过法规验证后的半年内进入临床前试验及人体临床试验。

弗兰克·维尔切克是麻省理工学院物理学教授、量子色动力学的奠基人之一。因在夸克粒子理论（强作用）方面所取得的成就，他在2004年获得了诺贝尔物理学奖。



戴森眼里的世界

著名物理学家弗里曼·戴森在今年2月去世。作为世界上最优秀的物理学家之一，他一直坚信科学能够拯救地球。

撰文 弗兰克·维尔切克 (Frank Wilczek) 翻译 胡风 梁丁当

弗里曼·戴森 (Freeman Dyson) 在2月28日去世了，享年96岁。他是我认识的最聪明的人之一，也是最可爱的人之一。在美国新泽西州普林斯顿高等研究所的那几年里，我的办公室就在他楼下。那儿的隔音效果还不错，但不完美：通常的对话是听不见的，但弗里曼讲电话的时候总会提高嗓门，我便能听到他的声音，虽然听不清他在说什么。（当然，我会尽量不去听。）他不时传来的笑声曾是我快乐的源泉。

弗里曼在物理和数学领域做出了许多基础性的贡献。但他在生命的最后几年里，对二氧化碳排放与气候变化问题的重要性抱有质疑，与包括我在内的大多数科学界人士产生了很大分歧。遗憾的是，现在这是许多人记住他的主要原因。在这里，我将尝试用一种他或许会赞同的方式，来界定那些攸关地球的科学问题。

一个成年人平均每天摄入的能量大约是2000卡路里，这些能量大概可以让一只100瓦的灯泡亮一整天。今天，人均每天消耗的包括燃料和电力在内的能量约是上面这个数字的25倍，在美国则达到了约95倍。这个指标可以粗略但容

观地衡量出我们的经济相比于温饱水平的发展程度。

如果以人维持生命所需的基本能量为单位，那么以目前的世界人口来说，人均所占有的太阳能大概是2000卡路里的500万亿倍。当然了，太阳的辐射遍及空间的各个方向。为了捕获其中大部分的能量，我们或许有必要在太阳周围放置巨大的能量收集设备。

弗里曼设想过类似的结构，即所谓的戴森球。理论上，戴森球可以支持比目前庞大得多的经济体以及多得的人口。

假如我们保守些，只关注那些能够到达地球的太阳能，就会发现这部分能量只有我们现在耗能的1万倍。但它仍然够用相当长一段时间。这也是为什么可持续性太阳能很有希望成为解决人类能源需求的长期方案的根本原因。

如果能源需求大幅增长，我们可以分别在地球上和太空中其他位置放置一些太阳能吸收板，并逐步增加，直到建成一个完整的戴森球。

因此弗里曼相信，随着科技的进展，我们的能源问题终将得到自行解决。他对二氧化碳的看法也与众不同。大多数的科学家都认为二氧化碳是导致全球变暖的罪魁祸首。弗里曼推崇通过种植更多的树木和更茂盛的植被来获得食物、庇护所和精神修养，所以他对二氧化碳的排放问题持柔和的态度——因为丰富的二氧化碳可以促进光合作用。弗里曼的乐观天性和远见卓识在映衬出他耀眼才华的同时，在我看来，也让他低估了燃烧化石燃料所导致的地球气候突变的重要性与危险性。

如果你想感受下认识弗里曼是什么样的感觉，又或者想了解一些他精彩的人生与思想，那我强烈地建议你到故事网 (Web of Stories) 上去看他的采访。当你与弗里曼交谈时，他总是认真地倾听，经常以闪烁的目光回应——尤其是当他有机会给你惊喜或反驳你的时候。这是一种不寻常的风格。我会怀念他的。■

全球学术期刊概览



领研网 www.linkresearcher.com



DOI: 10.1086/675739

《消费者研究》

软饼干和脆饼干，谁的热量更高？

相比坚硬脆口的口感，当食物吃起来松软香糯时，我们会认为它更容易使人发胖，比如大部人都会以为热乎乎的软饼干比冷却后的脆饼干含有更多的卡路里。一项研究表明，

口中的食物质地，也就是口感，会影响人们对食物热量的预判，从而影响总体的食物摄入。研究人员让自愿者品尝了不同的布朗尼蛋糕，其中一半是硬蛋糕，另一半则是软蛋糕，所有人都需要猜测每份蛋糕样品的热量。结果发现，与吃了硬蛋糕的自愿者相比，软蛋糕组所预估的热量高出了55%；并且硬蛋糕组的人吃了更多的蛋糕。也许他们认为因为口感的关系，蛋糕损失了不少卡路里。



DOI: /10.1073/pnas.1922678117

《美国科学院院刊》

黑尾袋鼠循环怀孕的一生

黑尾袋鼠 (*Wallabia bicolor*) 是一种澳大利亚有袋目动物，墨尔本大学的研究人员最近发现，成年雌性黑尾袋鼠可以同时“怀两个孕”，也就是同时拥有两种不同发育阶段的怀孕状态。能同时怀两个孕的原因是它们有两个子宫，就像其他袋鼠和沙袋鼠一样。但黑尾袋鼠的不同之处在于，它们会在分娩的前一两天再次交配，这种现象被称为“异期复孕”。利用高分辨率超声波，研究人员首次证明了黑尾袋鼠终其一生都在怀孕，没有不怀孕的时候。黑尾袋鼠还有一个令人惊讶的哺乳技能，那就是袋鼠妈妈能为不同成长阶段的袋鼠宝宝提供成分完全不同的母乳，以满足它们发育所需的特定营养。对于演化而言，黑尾袋鼠这种不同寻常的繁殖策略有什么好处呢？具体还有待观察。毕竟，一直怀孕并不是件容易的事。

是它们有两个子宫，就像其他袋鼠和沙袋鼠一样。但黑尾袋鼠的不同之处在于，它们会在分娩的前一两天再次交配，这种现象被称为“异期复孕”。利用高分辨率超声波，研究人员首次证明了黑尾袋鼠终其一生都在怀孕，没有不怀孕的时候。黑尾袋鼠还有一个令人惊讶的哺乳技能，那就是袋鼠妈妈能为不同成长阶段的袋鼠宝宝提供成分完全不同的母乳，以满足它们发育所需的特定营养。对于演化而言，黑尾袋鼠这种不同寻常的繁殖策略有什么好处呢？具体还有待观察。毕竟，一直怀孕并不是件容易的事。



DOI: 10.1038/s41586-020-1935-3

《自然》

压力太大真能一夜白头

传说玛丽·安托瓦内特 (Marie Antoinette, 法国国王路易十六的王后) 在上断头台前头发一夜全白，然而，压力真的能对头发颜色产生如此戏剧性的影响吗？一项小鼠研究表明，压力会让神经过度活跃，

从而导致动物毛发褪色，这可能也包括我们的头发。哈佛大学干细胞研究所的研究人员首先让小鼠面临一些啮齿动物常见的压力，例如倾斜笼子、弄湿鼠窝，或者一整晚亮着灯。结果发现，压力确实让小鼠“早生华发”。经过分析，他们将注意力转向了交感神经系统。交感神经系统协调着全身对压力的反应，包括典型的战斗或逃避反应，而交感神经末梢一直延伸到我们的肌肉、器官，甚至是毛发。切断这些神经联系后，生成黑色素细胞的干细胞终于幸免于难，这让动物们即使面对一些病痛，毛发仍然保持“乌黑靓丽”。



DOI: 10.1177/0265407512443611

《社会与个人关系》

异性间存在纯粹的友谊吗？

异性之间可能拥有纯粹的友谊吗？还是说不可避免地会存在某种潜在吸引呢？美国研究人员调查了80多对男女异性朋友，结果发现，相比女性，男性更容易被异性朋友所吸引，并总是高估了自己对女性朋友的吸引力；即使自己或自己的女性朋友正在和别人恋爱，男性仍会受到女性朋友的吸引。另一方面，对女性的调查结果显示，如果自己或她们的男性朋友已经在和别人交往，她们就几乎不会有发展成情侣关系的想法。在另一项调查中研究人员发现，总体上，认为这种异性吸引是负担的受试者占了六分之五，这其中也存在一定的性别差异：男性觉得异性朋友间的吸引利大于弊，而女性则觉得这会让她失去很多东西。

异性之间可能拥有纯粹的友谊吗？还是说不可避免地会存在某种潜在吸引呢？美国研究人员调查了80多对男女异性朋友，结果发现，相比女性，男性更容易被异性朋友所吸引，并总是高估了自己对女性朋友的吸引力；即使自己或自己的女性朋友正在和别人恋爱，男性仍会受到女性朋友的吸引。另一方面，对女性的调查结果显示，如果自己或她们的男性朋友已经在和别人交往，她们就几乎不会有发展成情侣关系的想法。在另一项调查中研究人员发现，总体上，认为这种异性吸引是负担的受试者占了六分之五，这其中也存在一定的性别差异：男性觉得异性朋友间的吸引利大于弊，而女性则觉得这会让她失去很多东西。





DOI: 10.1038/s41586-020-2196-x

《自然》

新型冠状病毒肺炎: 症状出现时或已错过病毒峰值

德国的研究团队对9名慕尼黑新型冠状病毒肺炎患者的咽拭子样本进行了检测, 发现在出现症状的第一天, 他们的症状往往非常轻微, 但在出现症状的头5天, 患者的拭子样本均呈阳性, 且新冠病毒的RNA水平处于高位; 在患者的痰液中, 同样检测出了新冠病毒的RNA。

在确定这些病毒仍然存活后, 研究人员又特异性地检测了病毒的复制活跃程度, 结果表明, 在出现症状的头5天里, 新冠病毒可在咽部活跃复制。综合来看, 等到患者出现症状之际, 病毒在上呼吸道的峰值甚至可能已经过去了。



扫码查看最新
《自然》论文导读



DOI: 10.1089/soro.2019.0079

《柔性机器人》

“仿象鼻”柔性机器人

在柔性制动器领域, 气动人工肌肉(PAM)受到了广泛的研究, 但由于某种程度上这种制动器只能进行单轴收缩和伸展, PAM的发展与应用一直没能走得太远。哈尔滨工业大学与美国马里兰大学的团队合作发表了一项研究成果, 在象鼻的启发下他们研制出了一种弯曲和螺旋伸长/收缩的PAM。根据伸长式和收缩式制动器的不同输出特性, 研究人员在第一段使用了收缩式弯曲PAM来承受最大的载荷, 在第二段利用伸长式弯曲PAM提供更大的运动范围, 同时, 在末端安装了螺旋型PAM以模仿象鼻的动作抓住各种物体。



扫码查看最新
《柔性机器人》
论文导读



DOI: 10.1038/s41586-020-2148-5

《自然》

9000 万年前, 南极有一片温带雨林

如今的南极是一片极寒之地, 被一个巨大的冰盖覆盖着, 但在白垩纪时期, 南极可能要温暖得多。英国和德国的研究人员在距离南极点900千米的位置, 发现了8300万年前到9200万年前的森林土壤。南极洲西部海底的沉积物中, 沉睡者古老的花粉、孢子和石化的树根, 研究人员从这些残存的样本中得

知, 这片森林当时的年平均气温为13°C, 在夏季甚至可以达到20或25°C。这表明在白垩纪中期, 南极大陆拥有茂盛繁多的植被, 基本没有冰川存在, 且二氧化碳浓度极高。



扫码查看最新
《自然》论文导读

领研网 · 论文频道



1 200+ 种
各学科优质期刊



20 000+ 篇
中文论文导读



50+ 家
出版方、国内外研究
机构合作精选



30 000 000+ 次
学术界传播及曝光



扫描二维码
订阅科学 60 秒
与最新论文

领研网

《环球科学》旗下科技学术分享与人才招聘平台, 致力于传播与分享全球优秀研究成果, 为华人科研人员铺就职场道路, 为高校、研究机构与科技企业搭建人才桥梁。

合作邮箱: contact@linkresearcher.com 电话: 010-85321181



图片来源：pixabay.com

科学家发明了一项全新的技术，可以在移植手术前长时间在体外保存肝脏，时间可达一周以上。



医学

器官保存的一次飞跃

撰文 塔尼亚·刘易斯 (Tanya Lewis)
翻译 施悻

2018年，超过1000名美国人在等待肝脏移植的过程中死去。之所以会出现这样的问题，部分原因在于标准的体外保存方法只能让肝脏存活24个小时。现在，科学家研制出了一种新设备，使肝脏在体外存活的时间延长至一周以上。虽然这项技术还没有直接用于人体器官移植，但它代表了器官保存领域的一次飞跃。

此前，有许多供体肝脏都不符合移植的标准，比如机能衰退、脂肪含量太高或者由于心脏骤停等原因受损。研究人员表示，这种新设备不仅可以长时间保存肝脏，还可以让肝脏利用在体外存活的时间自我修复（某种程度上类似于肝脏在体内的自我修复），让医生有更充裕的时间来评估这些器官的状况。

皮埃尔-阿兰·克拉维恩 (Pierre-Alain Clavien) 是苏黎世大学医院移植外科主任，也是这项研究的通讯作者。他表示，对摘除了部分肝脏的病人来说，“我们决定把这一时间设定为一周，因为这正是肝脏再生所需要



在 2018 年，超过 1000 名美国人在等待肝脏移植的过程中死去。

的时间。”他说，对于肝癌患者来说，这种全新的保存技术非常有优势，患者或许能保留自己还没有被癌细胞侵袭的部分肝脏，以便日后重新植入，避免发生排斥现象。

保存供体肝脏的标准方法需要先用低温溶液冲洗，再将肝脏放置在冰上。这种方法可以让肝脏存活 12~18 小时。不久前，科学家又发明了一种不需冷冻即可低温保存肝脏的方法，可以将保存时间延长至 27 小时。克拉维恩表示，这样的时长仍然不足以让受损的肝脏完成自我修复。

克拉维恩开发的全新设备可以通过模拟人体的关键特性，为肝脏赢得宝贵的时间。它可以精准地控制肝脏所处的压力环境和氧气水平，并将血液泵入肝脏（这个过程被称为灌注）。血液中的糖份可以为肝脏的红细胞提供能量，调配好的胰岛素和胰高血糖素也可以维持血糖水平。另外，还有透析设备负责清除血液中的废物，维持电解质平衡。放置在肝脏下方的充气气球可以模仿人体呼吸时的隔膜运动，防止肝脏因持续处于压力环境而

造成组织损伤。

在研究前期，研究人员使用猪的肝脏开发和调整设备参数，然后再用人类的肝脏进行实验。随后，他们将 8 个健康的猪肝脏成功保存了一周，并将其中 3 个移植到了活猪体内，手术非常成功。在移植手术后，科学家又做了另外一项对比实验。他们将剩下 5 个肝脏取出，并在冰上放置了几小时。此时，它们的损伤标志物水平仍然与经过灌注的肝脏相差无几。

后来，研究小组又做了一项新的测试，他们将 10 个由于质量问题而被多个欧洲器官移植中心拒绝的人体肝脏放入这套灌注设备中。肝脏损伤程度可以通过一类名为损伤相关分子模式（damage-associated molecular patterns, DAMPs）的蛋白质来衡量。在这次测试的 10 个肝脏中，其中 6 个的 DAMPs 减少，且损伤迹象也得到缓解。克拉维恩说：“现在，我们可以考虑在不危及病人生命的情况下，使用原本可能存在一定程度损伤的肝脏进行移植。”今年 1 月，他和同事在《自然·生物技术》(Nature

Biotechnology) 杂志上发表了相关研究。

哈佛大学医学院的科尔库特·维贡 (Korkut Uygun, 并未参与这项研究) 是外科医生和生物工程师，他表示：“这项研究工作很出色，从临床的角度来看，哪怕是让肝脏多存活几个小时，都有非常重要的价值。”但是，维贡也表示，这项研究最大的局限性在于，设备中只有 60% 的肝脏能在一周后保持稳定，维持自身的健康。维贡表示：“在器官移植界，40% 的失败率是不可接受的。”另外，维贡并不相信这台设备能在长时间保存肝脏的基础上，让肝脏再生。“器官的再生是很困难的，”他说，“尽管肝脏有惊人的再生潜力，但我们仍然需要更多的时间来证明这一点。”

斯蒂芬·施内贝格尔 (Stefan Schneeberger, 并未参与这项研究) 是奥地利因斯布鲁克医科大学移植和肝胆的外科主任。他认为，这项进展的意义可以用一个词来概括：时间。施内贝格尔说：“这是首个允许器官在体外保存一周的技术手段，是里程碑式的进步。”他也表示，没有太多的证据表明这种新设备可以提高肝脏的质量，而且这与真正的“再生”可能相去甚远。当然，使肝脏再生仍然是终极的目标。

虽然研究结果看起来很有希望，但是研究人员还没有在更长的时间尺度上证明，保存下来的肝脏可以维持完好的功能。施内贝格尔表示，下一步是在大型动物中进行移植实验。如果这些实验能够成功，将会有大量等待肝移植的病人受益于这项新技术。克拉维恩则表示，这项实验最早有望在今年内实施。他补充说，理论上，这种新设备将来还可以用于保存心脏、肾脏或者其他器官。

生物学

变温顺的蚂蚁

撰文 吉丽安·克雷默 (Jillian Kramer)
翻译 郭晓



对于蚂蚁而言，准确地分辨出朋友和敌人是一件生死攸关的大事。将入侵者误认为是同伴，或者将同伴误认为是入侵者，都会带来致命的混乱。

长期以来的观察让科学家发现，蚂蚁可以在蚁群中熟练地找到正确的行进方向，并且只攻击那些怀有敌意的手。最新的研究表明，蚂蚁触须上的嗅觉受体是形成行为特征的关键：如果没有嗅觉受体，蚂蚁就会丧失与社群之间的交流，也不会表现出攻击行为。

劳伦斯·茨维伯尔 (Laurence Zwiebel) 是美国范德堡大学的生物学家，也是这项研究的共同作者。他表示：“在此之前，学界认为蚂蚁的进攻行为遵序一条非常简单的规则：如果蚂蚁嗅到了与自己族群不同的气

味，就会进行攻击。”但是，这项研究却发现事情并非如此简单。如果蚂蚁无法嗅到任何气味，或者无法识别某一种气味，它们就会暂缓进攻。茨维伯尔说：“蚂蚁必须准确地识别出同巢穴同伴身上气味的含义，才会发起攻击。”

茨维伯尔和同事进一步拓展了此前的研究，他们不仅在蚂蚁的外骨骼上识别出了一种混合的气味，还发现了一种能够识别这种气味的受体。他们发现，如果这些受体被抑制，蚂蚁将无法区分自己的同伴与入侵者，变得十分温顺。相关研究发表在今年1月的《实验生物学期刊》(*Journal of Experimental Biology*) 上。

在进一步研究中，科学家选取了来自相同蚁群以及临近蚁群的佛罗里

达木蚁，并用一定的化学手段处理它们的气味受体。在预先设计好的一个小型“角斗场”（一个有塑料隔板的盘子）中，他们将蚂蚁分别放在隔板的两边，再把隔板拿走。当蚂蚁的受体受到破坏后，即便面对陌生的蚂蚁依然会表现得很温和。茨维伯尔说：“我们的研究表明，无论是无法识别对方的气味，还是有误导性的气味，都会降低蚂蚁的攻击行为。”

蚂蚁身上有超过400个气味受体，茨维伯尔说，在此前的研究中他们抑制或者刺激了蚂蚁所有的受体。接下来，他们需要分别研究这些受体，看看其中哪些才是识别敌人的气味时所必需的。

德国弗莱堡大学的生物学家福尔克尔·内林 (Volker Nehring，并未参与这项研究) 表示，这为研究其他动物如何识别敌友铺平了道路。他说：“此前，我们几乎不了解蚂蚁如何区分自己蚁群的气味以及其他群体的气味。目前来看，干扰它们的气味受体或许是研究这个问题的好办法。”

生态学

河流三角洲的增长假象

撰文 锡德·珀金斯 (Sid Perkins)
翻译 郝豪

地球上的河流三角洲一直是十分重要的地理环境，包含了很多重要的港口和湿地。尽管数十年来海平面一直在上升，这些经济和生态热点地区的总面积却在持续扩大。但是，这种趋势可能无法持续。

荷兰乌得勒支大学的地球科学家

亚普·尼恩胡斯 (Jaap Nienhuis) 与同事分析了大量的卫星数据和实地信息，精确测量了近11 000个河流三角洲的数据。

通过计算机模拟，他们评估了从1985-2015年间，潮汐、海浪和上游人类活动对三角洲大小及形状的影响。研究发现，在南美洲东部海岸、亚洲东部、南部以及东南部海岸的许多水域上，砍伐森林的现象增加了河流携带的泥沙量，促进了三角洲的增长（如恒河三角洲，见图示）。然而在北美地区，水坝的建设阻碍了河流三角洲的增长。

尽管在研究期间海平面上升了10

厘米，但河流三角洲的陆地总面积却以每年54平方千米的速度增加。相关研究发表在今年1月的《自然》杂志上。研究人员表示，增长很可能只是短期现象。美国杜兰大学的湿地生态学家莫莉·基奥 (Molly Keogh，并未参与这项研究) 也指出，到本世纪末，海平面预计将上升60厘米。此外，三角洲沉积物也会随着时间推移而逐渐压实。

这种“双重打击”将导致世界各地河流三角洲在未来几十年内整体萎缩。受损的不仅是低洼地区的基础设施及渔业，一些重要的人口中心和农业区域也将被海水淹没。

航天

美国重启载人航天飞行

撰文 艾琳·克洛茨 (Irene Klotz) 翻译 鲁智元

2011年,“亚特兰蒂斯号”航天飞机在美国佛罗里达州的肯尼迪航天中心着陆,结束了美国为期30年的航天飞机时代,当时美国航空航天局(NASA)希望美国宇航员在4年内能

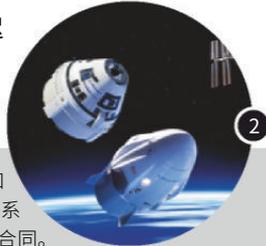
够搭载私人太空飞船飞行。但是预算短缺使开发进度延后了2年,而降落伞和发射逃生系统的技术问题又将关键飞行测试推迟到了2019年。等待

多年之后,SpaceX终于将要在搭载两名NASA宇航员的情况下,进行飞行测试了。SpaceX与波音公司在2014年一起中标,负责运送宇航员往返国际空间站。波音公司也有望随后在今年进行测试,尽管他们在去年12月进行的无人试飞中遇到了软件故障。以下是NASA十年来为重启美国载人航天飞行做出的努力以及遭遇的起伏。



1

2011年7月,由NASA宇航员克里斯·弗格森(Chris Ferguson)率领的4人小组完成了历时约13天的空间站物资补给飞行,登上“亚特兰蒂斯号”航天飞机返回地面。他们完成了美国30年航天飞行项目中的第135次,也是最后一次任务。随后,载人飞行任务被移交给了空间站的合作伙伴俄罗斯。



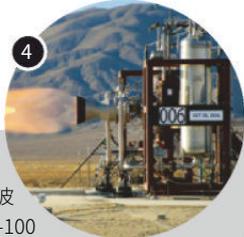
2

2014年9月,波音和SpaceX赢得了开发运输系统并运送NASA宇航员的合同。波音公司获得了42亿美元的合同,其中包括2次试飞任务(1次无人飞行,1次载人飞行),以及6次运营任务。SpaceX也参与了竞标,并获得了26亿美元的合同。SpaceX总裁格温·肖特韦尔(Gwynne Shotwell)在2018年调侃说,“我不想讨论如何通过运送宇航员获利,但是对于SpaceX而言,这不会是一项亏本的生意。”



3

2015年5月,SpaceX展示了如果猎鹰9号火箭在发射台上或升空后不久发生故障,载人龙飞船(又名龙飞船2号)太空舱将如何安全逃逸。



4

2018年8月,波音CST-100星际客机紧急逃生系统在引擎测试时发生推进剂泄漏,该逃生系统的作用是在发射期间出现事故时保证宇航员安全逃逸。这次事故也使他们必须重新设计阀门。

2016年9月,SpaceX的一枚猎鹰9号火箭在发射台上爆炸,当时正值发射前,他们在为例行的引擎点火测试加油。事故发生后,SpaceX被迫重新设计火箭燃料箱内的压力容器,但这同时也引发了人们对SpaceX公司的质疑,怀疑他们是否真的能在宇航员登上飞船后再为火箭补充燃料。

2015年7月,NASA向SpaceX和波音公司派遣了4名宇航员:鲍勃·本肯(Bob Behnken)、道格·赫尔利(Doug Hurley)、苏尼塔·威廉斯(Sunita Williams)和埃里克·博(Eric Boe)。

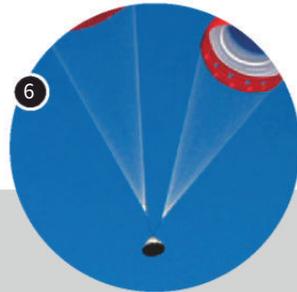
2018年8月,NASA指派宇航员执行前4次商业飞行任务。本肯和赫尔利开始为SpaceX公司的载人龙飞船试飞开展训练,而维克托·格罗弗(Victor Glover)和迈克·霍普金斯(Mike Hopkins)开始为龙飞船的首次任务开展训练。妮科尔·阿纳普·曼恩(Nicole Aunapu Mann)与博和弗格森都是新人,他们将一起执行波音公司的星际客机飞行测试。威廉姆斯和乔希·卡萨迪(Josh Cassada)将执行星际客机的首项任务。由于健康原因,博退出了任务,代替他的是迈克·芬克(Mike Fincke)。



5

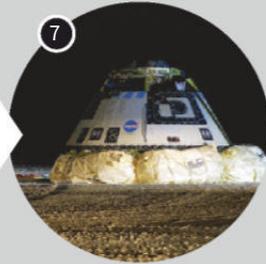
2019年3月,SpaceX的猎鹰9号执行了Demo-1任务,将一艘载有200千克物资和设备的无人龙飞船太空舱送入轨道,并首次抵达空间站。太空舱返回前在空间站停靠了5天,随后启动引擎离开预定轨道,成功地通过降落伞降落到了大西洋上。最终的降落地点靠近佛罗里达州。

2019年4月,在Demo-1任务后,SpaceX的载人龙飞船太空舱又在试验台上发生了一次爆炸,当时正在检验太空舱紧急逃生系统的引擎,做静态点火测试。



6

2019年11月,波音公司在新墨西哥州的一个试验台上发射太空舱,测试星际客机的逃逸系统。星际客机的三个降落伞中有一个没有展开,但太空舱依然按计划用两个降落伞安全着陆。



7

2020

年春，本肯和

赫尔利接到 NASA 的任命，将驾驶飞船前往空间站。他们也是在航天飞机项目关闭后，第一批驾驶美国制造的设备前往空间站的宇航员。这次飞行测试将见证由 SpaceX 开启的常规载人飞行任务。



2020年2月，执行 Demo-2 任务的载人龙飞船成功抵达肯尼迪航天中心，这是首次载人飞行测试。

2020年1月，当一艘猎鹰9号火箭在肯尼迪航天中心成功发射后，刻意将引擎关停了84秒。这是为了测试载人龙飞船的逃逸系统。当时，太空舱立马点燃逃离的助推系统，离开了猎鹰9号火箭。不出所料，火箭被气动力推开，而载人龙飞船的太空舱也打开4个降落伞，成功降落在大西洋上。



2019年12月，宇宙神5型运载火箭首次将波音公司的星际客机送往运行轨道。但这是一次自动飞行任务，由于软件问题，星际客机出发的时间比预定时间早了11个小时。此后燃料耗尽，客机无法与空间站对接。星际客机在轨道上独自绕行了2天，在测试完系统后，成功离开轨道，借助降落伞在新墨西哥州着陆。NASA和波音公司要求工程师立即检验星际客机的控制软件。

资料来源：NASA (1 and 2); Space X (3, 8 and 9); Aerojet Rocketdyne (4); NASA's Johnson Space Center and Boeing (6); Bill Ingalls and NASA (7)

动物学

动物如何学会迁徙

撰文 杰森·G·戈德曼 (Jason G. Goldman) 翻译 林清

在世界各地的栖息地，很多动物都会定期抛开一切，通过步行、飞行或游泳等方式抵达新的栖息地。通过轻便的追踪技术，生物学家对这些季节性迁徙有了更深入的了解。像鲸和大雁这类野生动物，它们可以跟随自己的父母以及其他年长的同伴，以此学习迁徙路线。其他鸟类（包括小型鸣禽）则是通过遗传的方式继承了对迁徙的认知（包括距离和方向等）。还有一些动物，为了学会迁徙，需要结合遗传方式和后天教育提供的信息。

还有另一种迁徙者，它们并不完全符合上述几种模式。直到最近，研究人员才开始弄清这些动物是如何在迁徙的途中保持方向感的。以猛鸷 (Cory's shearwater) 为例，这种海燕类动物每年都会在大西洋上空迁徙。年轻一辈并不会和父母一起迁移，所以后天教育并不能解释它们是如何得知迁徙路径的。另外，不同个体表现出的迁徙路径差异很大，因此，遗传学也不能解释这个问题。

猛鸷的寿命很长，很少会在9岁前成功繁育后代。这使得它们有充足的时间去学习、实践，最终确定迁徙路线。研究人员称之为“探索-改进” (exploration-refinement) 机制。到目前为止，由于在不同季节追踪迁徙动物的活动十分困难，所以相关机制在很大程度上还只是一种假设。

但是，有研究人员已经展开进一步研究，他们在150多只4~9岁的猛鸷身上安装了小型定位器 (geolocator) 后发现，与老年猛鸷相比，年轻的猛鸷飞行距离更长，飞行时间更久，飞行路线也更多样。莱蒂齐亚·坎皮奥尼 (Letizia Campioni) 是葡萄牙里斯本大学学院的生物学家，他认为他们终于获得关于候鸟“探索-改进”假说的证据。这是第一次在海鸟身上发现了这方面的证据。早期的研究表明，其他寿命更长的鸟类也可能使用类似的迁徙策略。相关研究发表在今年1月的《动物生态学杂志》(Journal of Animal Ecology) 上。

理论上，幼年猛鸷的飞行速度与成年猛鸷不相上下，但在实际飞行过程中却没有体现出来，这表明幼鸟在探索不同路线。但随着个体不断成熟，它们探索的热情逐渐消退，最终会选择一条最优路线。

麦吉尔鸟类观测站 (McGill Bird Observatory) 主任芭芭拉·弗赖 (Barbara Frei, 并未参与这项研究) 认为，尽管这种策略看似不如其他方法奏效，但在一个快速变化的世界里，由于存在无法预测的变化（特别是人类活动的影响），“探索-改进”策略可能对鸟类和其他生物更有利。比起依赖早已确定但眼下已经不再安全的线路，重复最近成功的路线可能更安全。



巨浪可能会造成严重的损伤。

物理学

用计算机算出巨浪

撰文 雷切尔·伯科维茨 (Rachel Berkowitz)
翻译 董子晨曦

当巨浪突然从海面升起时，它的高度可能是周围海浪的几倍，有时甚至高达30米。即使是对于最大型的船只，它们也是极其严峻的威胁。与海底大地震引发的海啸不同，这类恶浪并没有明确的起源，也无从预测。如果想预报恶浪形成的时间和地点，充分理解恶浪的形成机制对科学家而言就变得十分重要。

一支由多个国家的数学家组成的团队展示了一种预测恶浪的新方法，这是他们通过大型水箱实验获得的成果。团队成员包括纽约大学的埃里克·范登-埃登 (Eric Vanden-Eijnden)，意大利都灵大学的乔瓦尼·德马泰 (Giovanni Dematteis) 和米格尔·奥诺拉托 (Miguel Onorato)，以及英国沃里克大学的托拜厄斯·格拉夫克 (Tobias Grafke)。

他们的方案基于数学中的“大偏差”理论，可以确定某个罕见事件出现的概率到底有多低。这些科学家将恶浪的发生视为一个统计学主体，称为瞬子，这也是在粒子物理、信息理论以及风险管理的计算中会出现的一种特殊波形。

在挪威，这支团队利用一个270米长的水箱模拟恶劣的海洋情况，进一步优化了模型，相关研究发表在去年12月的《物理评论X》(Physical Review X) 杂志上。这个水箱是定制的，能制造出各种研究人员希望的波浪特征。通过分析不同波形的互相叠加，研究人员识别出了能导致恶浪的前兆特征，这些特征仅有厘米级尺度。

大偏差理论显示，对于任何能够导致巨浪的波形组合而言，无论其初始状况如何，都会产生一种具有独特形状的大波浪。从数学角度来说，这意味着在恶浪形成的过程中，一般都会经历最容易导致罕见事件的路径。水箱的测试结果也佐证了这一点。范登-埃登说：“恶浪都是相似的，普通的波浪则各有各的普通。”

阿尔维泽·贝内塔佐 (Alvise

Benetazzo，并未参与这项研究) 是意大利海洋科学研究院的研究员。他评价道，该团队的模型“似乎协调了两种迄今用来解释恶浪形成的主流理论。”有一种理论认为，巨浪单纯地源于小型波浪的组合和堆叠；而另一种理论则提出，波浪的形态差异会指数级地放大高度差。但到目前为止，这两种理论各自并不完全符合已有的观察记录或是实验结果。

本次研究的成果重新解释了这两种效应的价值。也就是说，在不同的水文条件下两种效应的贡献程度有所浮动，这种贡献程度又可用于估计在任何给定的海洋状况下，恶浪诞生的可能性以及能够达到的高度。研究团队对他们提出的模型非常乐观，如果能够进一步考虑现实世界中的风、洋流和其他运动形式的特征，这套模型或许可以整合到一艘船舶、一座灯塔以及其他与海洋相关的平台上，为它们提供预测系统。

贝内塔佐说：“现在还需要做很多的测试才行，尤其是现场测试。现场才是我们想要解释恶浪成因的真正场所。”

图片来源：约翰·伦德 (John Lund)

简讯

全球科技热点

撰文 萨拉·卢因·弗雷泽 (Sarah Lewin Frasier)

翻译 郭晓

智利

科学家在智利附近的蓝鲸身上发现无法用常规原因解释的皮肤损伤。于是他们从蓝鲸的水疱和脂肪中采样，试图确定潜在的污染源。

津巴布韦和莫桑比克

非洲蓝绿鲟鱼生活的池塘会季节性干涸，最新的研究发现，这些鲟鱼的胚胎能在长达2年的时间内停止发育，而且这不会影响胚胎孵化后鲟鱼的最终寿命。

俄罗斯

研究人员在西伯利亚永久冻土层发现了一具有46 000年历史的鸟类残骸，该残骸保存完好，看起来像刚刚死去一样。这是研究人员在末次冰期中发现的唯一一具几近完整的鸟类残骸。

中国

研究人员在中国北部发现了有记录以来最古老的绿藻化石，这是一种生活在10亿年前、长2毫米的多细胞生物，也是今天进行光合作用的植物已知最早的祖先。

马来西亚

科学家称他们正在加里曼丹岛的马来西亚部分扩建一个实验农场，该农场利用亲金属植物来提取、收集土壤中的镍。扩建后的农场将占地20万平方米左右。

奥地利

工程师首次采用一种全新的桥梁建造技术，该技术能将两根垂直的大梁向上竖起，然后像撑伞一样展开。工程师将在奥地利的河流上利用该技术建造两座桥梁。这种技术更节省时间，同时大量削减了水平建造桥梁所需的脚手架。



工程学

给飞机施加负电荷

撰文 马克·菲谢蒂 (Mark Fischetti)

翻译 董子晨曦

如果你正在一架飞机上，突然间听到一声巨响或是看到窗外划过一阵闪光，你所在的飞机可能被闪电击中了。在这种情况下，飞行员应当尽快降落，检查雷击对飞机外壳、结构以及电子器件的潜在伤害。这是至关重要的安全操作，然而也会造成航班延误甚至取消。近期测试表明，减小雷击概率的最佳方式或许是反其道而行之：给飞行器外部带上一定的电荷。

航行期间，带正电和负电的颗粒

(也就是离子)会在飞行器表面堆积，尤其是在外形比较尖锐的地方，比如机头、尾翼以及机翼尖端等。如果在飞机进入大气层中的带电区域之前，机身出现了大的电荷差或者极化现象，带电离子更有可能沿着飞行器流动，并与云层形成完整的电回路，这样就会导致大幅放电形成闪电。2018年，麻省理工学院的航空工程师卡门·瓜拉-加西亚 (Carmen Guerra-Garcia) 和同实验室的研究生科林·帕万 (Colin Pavan) 做了一项计算机模拟，找出了一种可能解决带电离子堆积的方法：在飞行器上施加负电荷。

去年，瓜拉-加西亚和帕万利用一台10米高的电场发生器测试了模型飞机，记录了在不同条件下飞机表面的电荷是如何累积和消散的。相关数

据发表在今年1月的《地球物理研究：大气层》(Journal of Geophysical Research: Atmospheres) 杂志上。数据证实，是沿机身的离子流(相当于“导火索”)触发了闪电。因此，对飞机表面施加负电荷或许有助于防止放电现象。目前，该团队正在研究如何在飞机表面施加离子，以此减弱极化效应。

“给飞机充电听起来很疯狂，但是负电荷却可以阻碍机身表面正电荷的累积，从而阻断诱发闪电的导火索。”挪威卑尔根大学的航空工程师帕罗夫·柯奇金 (Pavlo Kochkin, 并未参与这项研究) 指出。柯奇金在自己的研究中记录了新飞机试航中遭遇闪电的次数。受这项成果的启发，他正在搭建一套雷雨模拟器，能够生成不同带电程度的空气与水蒸气环境。

生物学

线虫入侵蜥蜴胚胎

撰文 桑德里娜·塞尔斯特蒙特 (Sandrine Ceurstemont) 翻译 赵欢

在法国比利牛斯山脉的一只壁虎（蜥蜴的一种）胚胎的大脑中，娜塔莉·费娜 (Nathalie Feiner) 发现有一只线虫在蠕动，她认为这是一个反常的事件。

因为费娜曾解剖过数百只普通壁虎的胚胎，从未遇到过这种情况。但不久后，她便在更多尚未孵化的爬行动物大脑中发现了这些线虫。

当时费娜还在牛津大学，她对此感到非常好奇，于是和一位同事一起检验了那只壁虎胚胎的父母。

经常仔细检查，他们只在母体卵

巢中发现了线虫。但此前研究人员一直认为寄生虫不可能在胚胎期就入侵宿主后代。

要知道，这类寄生的线虫一般不会在宿主体内繁殖，而是需要通过雌性哺乳动物的胎盘或者乳汁传给后代。科学家猜测，在鸟类和爬行动物体内，发育中的幼体周围会形成一层蛋壳，作为屏障抵御寄生虫的入侵。这个阶段发现线虫入侵和寄生的现象。

费娜表示，以前从未在爬行动物的卵里发现寄生虫感染的情况，“我们的发现似乎表明，这些线虫已经演化

出了一种全新的生活方式。”

费娜和同事在去年10月的《美国博物学家》(American Naturalist) 杂志上发表了一篇论文，详细分析了来自6个地点的85只雌性普通壁虎产下的720个蛋。

他们发现，只有来自比利牛斯山脉的壁虎出现了线虫。对于被感染的雌性壁虎而言，诞育的胚胎中有50%~76.9%出现了线虫。

DNA分析表明，这些线虫与壁虎肠道内的一种线虫类似，但前者的体型要小得多。研究人员认为，壁虎脑内的线虫可能就是由这种类似的线虫演化产生的。

费娜提出，科学家可能忽视了一种潜在的可能性：在蛋壳形成的过程中，线虫也有可能入侵发育程度较高的胚胎。因为他们主要研究的是鸟类和龟类的寄生虫，这两类动物在受精后不久就会形成蛋壳。那时，胚胎还只是一团细胞，小到无法充当宿主。

但是对壁虎和蛇类而言，胚胎要在发育一段时间以后才会形成蛋壳，这就给寄生虫的传播提供了可能性。

葡萄牙生物多样性及遗传资源研究中心的詹姆斯·哈里斯 (James Harris, 并未参与这项研究) 表示，如果该团队的假设正确，那么，这种传播方式可能会广泛存在。

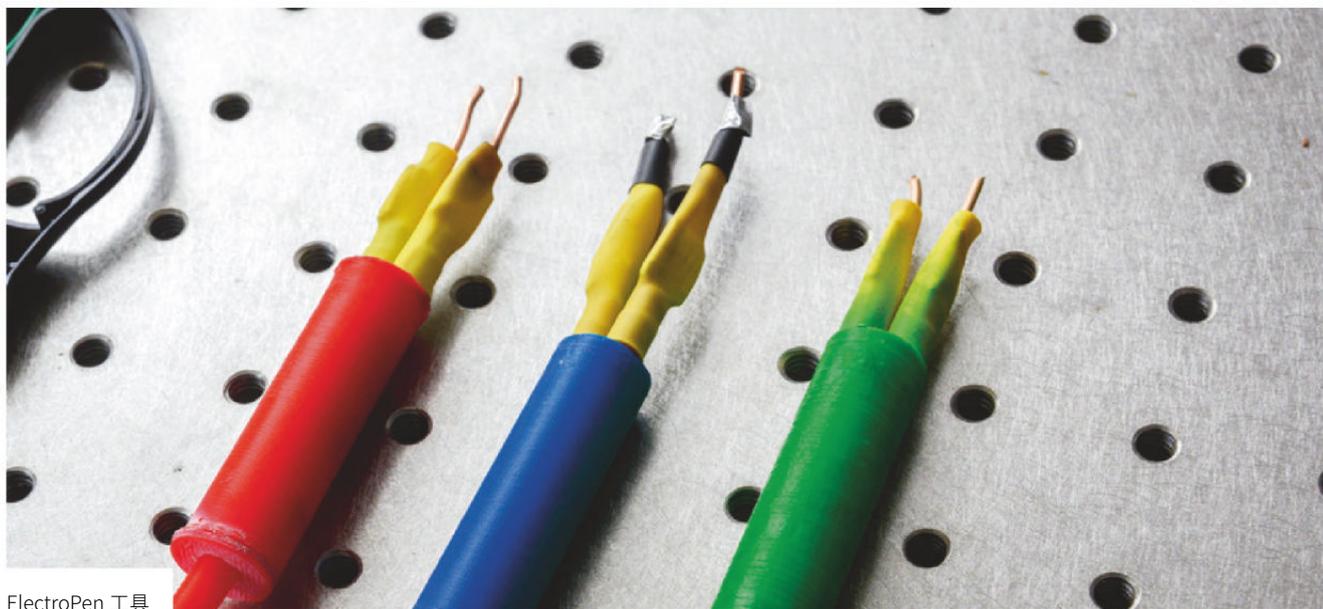
费娜怀疑，这种线虫可能也会改变宿主的行为方式，毕竟很多脑寄生虫都会采用这种方式，以此感染更多的动物。比如，感染了弓形虫的老鼠躲避猫尿的能力就减弱了，这导致它们更容易被猫捕食。猫感染弓形虫后，又会促使弓形虫进入生命周期的下一个阶段。

费娜表示：“如果我们在普通岩蜥的捕食者身上也找到了这种线虫，将会坐实这种策略。”



壁虎胚胎是寄生虫的宿主

图片来源：纳塔莉·法伊纳 (Nathalie Feiner) Lund University



ElectroPen 工具

工程学

手工制作细胞穿孔仪

撰文 索菲·布什维克 (Sophie Bushwick) 翻译 林清

只需重新利用普通打火机的部件，就可以自制新型的细胞穿孔仪！这款名为ElectroPen的电穿孔仪充分体现了“节俭科学”的传统，它可以为学生和研究人员提供昂贵仪器的廉价版本。

“未来的发展趋势是合成生物学：不单是在计算机上编码，而是真正对活细胞进行编码，这样才能更好地帮助我们应对疾病、气候变化和环境污染等重大挑战。”ElectroPen的联合创始人、美国佐治亚理工学院的生物工程师萨阿德·巴哈姆拉 (Saad Bhamla) 说。但是，相比于修改计算机代码，编辑细胞基因组需要更多精密设备。因此，巴哈姆拉与当地一所高中的科学课合作了大约2年时间，专门开发廉价版的实验工具，其中就包括电穿孔仪 (electroporator)。

如果需要完成药物反应测试或修改DNA，科学家首先需要突破细

胞膜的保护。电穿孔仪可以通过瞬时高功率电流打开细胞膜。生物科技公司赛默飞世尔科技 (Thermo Fisher Scientific) 的产品开发总监泽维尔德·莫雷拉特·杜卓 (Xavier de Mollerat du Jeu, 并未参与这项工具的研发) 认为，电穿孔一般是通过瞬时提高细胞膜的通透性，将核酸或蛋白等导入细胞内部。

标准的电穿孔仪成本高达数千美元，可以通过设计好的电路产生科学家所需的电击。不过，还有一种更便宜的方法：通过压电晶体在承受机械应力时会释放电荷，也能实现这一点。在今年1月的《公共科学图书馆·生物学》(PLOS Biology) 上，巴哈姆拉团队发布了使用压电打火机制作电穿孔仪的指南。

斯坦福大学的生物工程师马努·普拉卡什 (Manu Prakash, 曾经指导过巴哈姆拉, 但未参与这项研究)

说：“创造性的解决方案几乎就藏在我们的眼皮底下。很多人以前都用过火花点火器，但以截然不同的方式拓展它的用途，这一点非常漂亮。”

ElectroPen可以产生2000伏特的短脉冲并持续5毫秒，而商用设备则可以根据不同的应用场景提供不同的电压和持续时间。显然，简易的ElectroPen更亲民：只要花几美元，任何人都可以自制一件细胞穿孔仪，以此穿透至少一种类型的细胞。

杜卓表示：“门槛一定要低，这点非常必要，否则不是每个人都可以做那些实验。在我看来，普及细胞穿孔仪是一件好事。”到目前为止，已经有高中生使用ElectroPen修改大肠杆菌的DNA了，他们已经成功使大肠杆菌产生了荧光蛋白。

与此同时，巴哈姆拉已经计划实施下一个“节俭科学”项目了。他说，制造便宜的仪器，“就像给你一部智能手机，把自由发挥的空间都留给了使用者，让他们自己去思考在手机上使用哪些应用。在这里，这意味着让他们自己决定修改什么类型的细胞，追求什么样的挑战。”



制图：罗恩·米勒 (Ron Miller)



NEW VIEW OF THE MILKY WAY

绘制银河新图景

长期以来，我们对银河系知之甚少，我们甚至不知道太阳在银河系中的具体位置。不过，天文学家最近利用一些观测数据，绘制了全新的“银河系图”，这幅图将刷新我们对银河系，以及星系形成的认识。

撰文 马克·J·里德 (Mark J. Reid) 郑兴武 翻译 沈俊太

马克·J·里德是哈佛 & 史密森尼天体物理学中心史密森尼天体物理学天文台的资深射电天文学家，最近他被选为美国科学院院士。

郑兴武是南京大学天文学教授，过去几十年来，他主要研究宇宙中的“脉泽”现象和星系的形成。



几百年前，探险家们远渡重洋，横贯未知大陆，绘制了详细的地图。在过去的半个世纪中，人类发射的太空探测器已经拍摄了太阳系的大部分区域。然而，尽管我们已经了解太阳系这个天文后院，但对自己所处的宇宙大社区——银河系——的了解却不够。原因很明显，恰如“不识庐山真面目，只缘身在此山中”，我们无法离开银河系而回眸银河系的全景。

也许，你可以梦想我们发射一艘航天器，让它驶离我们的银河系后，再回头拍张银河系的全景照片，但是航天器只有经过数百万年的旅程后，才能做到这一点，这显然是不切实际的。我们还有很多关于银河系的悬而未决的问题，例如银河系有多少条旋臂，最接近太阳的一种大型结构是否可以算作一条独立旋臂，以及我们太阳系在银河系中处于什么位置。

然而，科学家最近正努力从内到外测绘银河系，从而能首次绘制准确的银河系结构图。这个美好的前景是数个高级射电和光学大型望远镜项目共同努力得到的结果，其中包括我们主导的银河系“棒和旋臂结构遗产性巡天计划”（Bar and Spiral Structure Legacy Survey，简称 BeSSEL 计划）。我们获得了甚长基线阵（Very Long Baseline Array）前所未有长达 5000 小时的观测时间。

我们的项目的初步结果为人们提供了一幅全新的银河系图。除了更好地了解银河系的整体图像外，我们还开始澄清为什么银河系这样的星系会呈现出旋涡结构，以及我们的银河家园是如何与整个宇宙融为一体的。

宇宙邻里

十九世纪初期，第三任罗塞伯爵威廉·帕森斯（William Parsons）建造了一口口径为 72 英寸的望远镜——按当时

的标准，这是一台“巨大的”望远镜。他观测并画出了明显有旋涡型旋臂图案的 M51 星云（我们现在称之为涡状星系，Whirlpool Galaxy）。然而，在不知道 M51 有多远或银河系尺度的情况下，我们不清楚涡状星系是我们所处的银河系中的一个小结构，还是一个与银河系类似的星系。

关于这些问题的辩论一直持续到二十世纪初。直到美国科学家埃德温·哈勃（Edwin Hubble）使用亨利埃塔·利维特（Henrietta Leavitt）发展的技术测量出我们到一些明亮恒星的距离后，我们才了解到，涡状星系和其他旋涡星云都处于银河系之外，而且与银河系相似。这个发现颠覆了银河系即是整个宇宙的观念。

银盘是构成银河系主体的薄饼状区域，通过测量整个银盘中气体的运动，天文学家发现我们其实生活在一个旋涡星系中。星系的主要常见类型包括旋涡星系和椭圆星系两种。从远处看到的银河系的模样可能很像近邻旋涡星系 NGC 1300 和风车星系（M101）。NGC 1300 的中心具有一个明亮的长条形结构，天文学家称其为星系的棒结构。两条蓝色的旋臂从棒结构的两个末端伸出，并围绕中心棒逐渐向外延伸。

大多数旋涡星系中都具有棒结构，一般认为这种结构是因星系致密盘的引力不稳定性而形成的。然后，中心的棒结构会旋转，产生搅拌作用，进而可能促进旋臂的形成

精彩速览

天文学家对银河系结构知之甚少，包括其旋臂的数量以及太阳在其中的位置，目前都不是非常确定。不过最近，天文学家利用来自几个新的巡天项

目的数据，尤其是射电天文巡天的“棒和旋臂结构计划”（Bar and Spiral Structure Legacy Survey，简称 BeSSEL 计划），绘制出了目前最好的银河系图。

这幅图揭示了银河系中至少四条主要旋臂以及一些较小的旋臂。而且，通过这幅图我们还知道，太阳几乎正好位于银河系盘的中心平面上。

(其他过程, 例如盘内大质量团块引起的引力不稳定性或临近星系的引力扰动, 也可能导致旋臂的形成)。在蓝光波段更容易看到旋臂, 这是因为旋臂是正在形成恒星的巨大恒星产房, 更容易发出蓝光。风车星系 M101 是另一个可能类似银河系的星系。尽管风车星系没有 NGC 1300 的中心棒, 但它有更多的旋臂。

天文学家一直认为, 银河系可能具有 NGC 1300 和 M101 这两个星系的特征: 可能有类似 NGC 1300 那样的明显的长棒结构, 也像 M101 一样具有多条旋臂。但是, 除了这些基本结论外, 仍有很多争议之处。例如, 斯皮策 (Spitzer) 太空望远镜在十多年前的红外观测结果表明, 银河系可能只有两条主旋臂。而对原子氢和一氧化碳的射电波段观测表明, 银河系具有四条旋臂。在河外星系里, 这些气体是集中在旋臂上的。除旋臂特征之外, 天文学家还在争论太阳离银河系中心有多远, 以及太阳相对于银河系中平面 (即盘中心平面) 的垂向高度是多少。

大约 70 年前, 科学家计算了附近一些很亮的蓝色恒星离我们的距离。如果把这些恒星标识在银河系结构图上就会发现, 它们是三条相邻的旋臂的一部分。我们将这三条旋臂称为人马臂、本地臂和英仙臂。大约在同一时间, 从 1950 年代开始, 射电天文学家观测到了原子氢气体, 这种气体会发射波长为 21 厘米的特征射电信号。当这种原子氢气体相对于地球运动时, 它的特征射电频率会因多普勒效应而发生偏移, 从而使天文学家能够利用频率偏移来测量这种气体的运动速度, 进而绘制出它们在银河系中的位置分布。

利用这种测量方法, 天文学家采用了一个以太阳为中心的坐标系: 类似于地球仪的经度和纬度, 银经 (l) 以对着银河系中心的方向为零, 并在银河系的“赤道”平面内顺时针方向增加 (从北天球看银河系); 银纬 (b) 表示垂直于银盘平面的角度。氢原子气体的 21 厘米特征射电信号在银经 - 速度图中显示出连续的结构, 其很可能示踪了银河系的多条旋臂结构。后来绘制的一氧化碳分子气体的银经 - 速度图也展现了类似的特征。但是, 这种间接映射方法可能存在歧义, 也不够准确, 难以清晰地展示银河系的旋臂结构。

一个新视野

我们对银河系结构知之甚少的一个原因是, 银河系中有大量的尘埃。尘埃可以有效地吸收可见光, 因此在大多数视线方向上, 尘埃都遮挡了我们的视线, 让我们看不到

很远的地方。另一个原因是, 银河系尺度之大令人咋舌: 银河另一侧的恒星发出的光要经过 5 万年以上的时间才能到达地球。如此遥远的距离甚至使我们很难分辨出哪些恒星离我们近, 哪些恒星离我们远。

现在, 在太空中运行的新型光学望远镜, 以及分布在全球的新型射电望远镜可以让我们更好地回答有关银河系的种种问题。盖亚空间天体测量卫星项目 (Gaia mission) 于 2013 年启动, 旨在测量银河系中近十亿颗恒星的精确距离, 这无疑将革命性地改变我们对银河系形成过程中不同星族的认识。但是, 由于盖亚卫星是在可见光波段进行观测, 而可见光易被星际尘埃颗粒吸收散射, 所以盖亚在观测离我们非常遥远的旋臂时, 可能会受到星际尘埃的影响。相反, 由于射电波很容易穿过尘埃, 因此射电望远镜可以探测整个银盘, 我们就可以利用这类望远镜的观测结果来绘制银盘的整体结构图。

目前, 绘制银河系结构图的两个主要观测项目都是使用射电天文学中的甚长基线干涉测量技术 (very long baseline interferometry, VLBI)。日本的 VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry) 项目使用了 4 台射电望远镜, 分布范围从日本北部 (岩手县水泽市) 到日本最南端的冲绳石垣岛和最东端的小笠原群岛, 横跨整个日本。而我们的 BeSSeL 巡天计划使用的甚长基线阵列 (Very Long Baseline Array) 包括 10 台望远镜, 分布范围从美国夏威夷到新英格兰再到美属维尔京群岛的圣克罗伊岛, 横跨西半球的大部分地区。

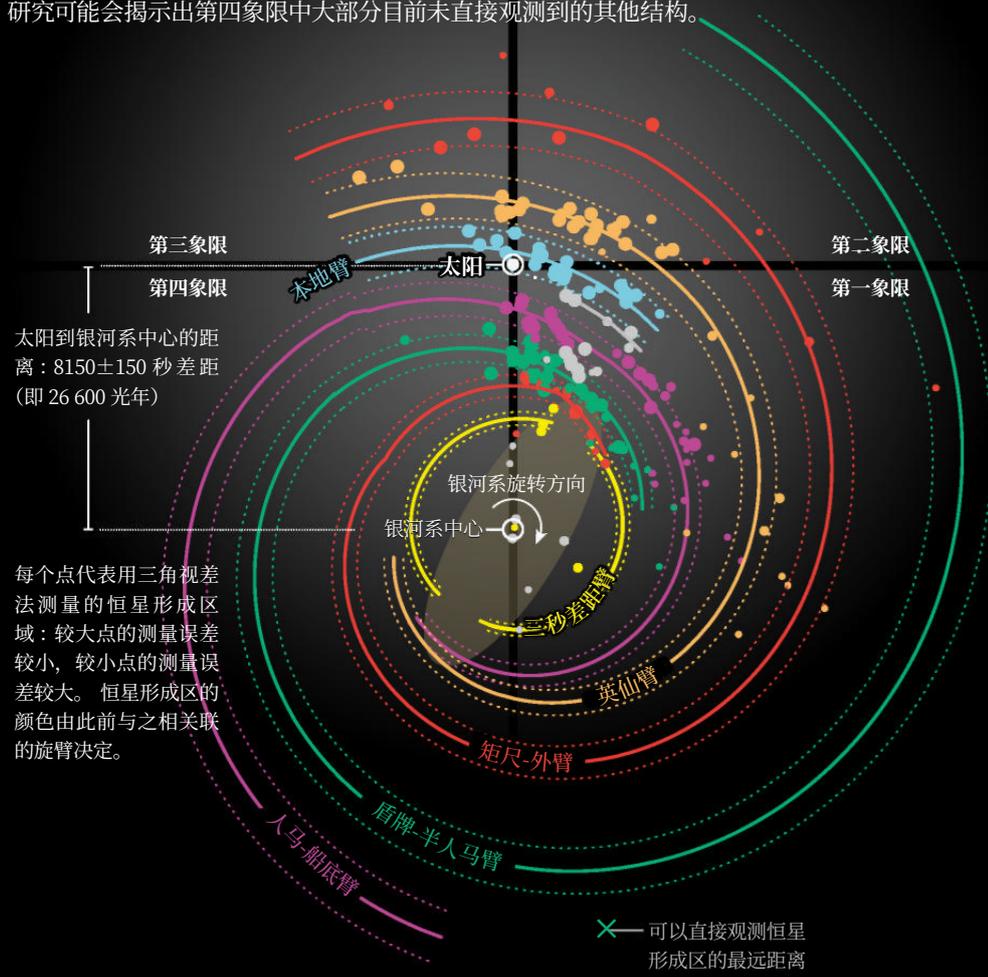
由于构成甚长基线阵列的望远镜之间的距离几乎和地球直径相当, 因此该阵列可以获得的角分辨率远远超过其他任何望远镜在任何波长下的分辨率。研究人员必须用该阵列的所有望远镜同时观察, 并用世界上最好的原子钟, 让每个站点的计算机同步记录数据。然后, 他们将记录的数据运送到一台专用计算机, 由该计算机对各望远镜收集的信号进行处理。如果我们的眼睛对射电波敏感, 那么经过校准的图像即是我们在射电波段可看到的一张几乎被整个地球的宽度所解析的超高清数字图像。

这样的图像具有令人难以置信的角分辨率 (优于 0.001 角秒: 如果把整个天球均分为 360 度, 那么 1 角秒为 1/3600 度)。相比之下, 人眼最多只能分辨约 40 角秒的结构, 即使哈勃太空望远镜也只能实现约 0.04 角秒的分辨率。

利用 VLBI, 我们可以测量出一颗在射电波段很明亮的恒星相对于背景类星体的位置 (类星体其实是位于遥远星

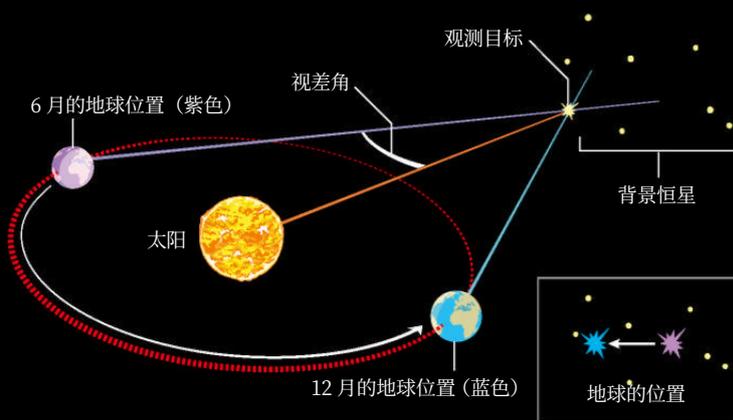
银河系结构图

利用多台射电望远镜, 天文学家对银河系进行了数千小时的观测, 测量了一些天体结构之间的距离。下图是有史以来最好的银河系结构鸟瞰图。数据展示了围绕银河系中心的四个主要的旋臂结构。我们的太阳(天文学家将其视为四象限测绘坐标的中心) 会围绕银河系运转, 环绕一周大概需要 2.12 亿年。靠近太阳轨道的地方, 有一条较小的旋臂(蓝色)。未来, 使用南半球上的射电望远镜开展的研究可能会揭示出第四象限中大部分目前未直接观测到的其他结构。



三角视差测距法

天文学家从地球公转轨道的两端分别观测时, 恒星在背景天空中的位置会发生偏移, 这个偏移被称为视差角, 可以用来测量恒星与我们的距离。一颗恒星离地球越近, 其视差角就越大。与已知的日地距离相结合, 恒星的三角视差使天文学家可以使用基本的三角函数来计算该恒星与地球的距离。

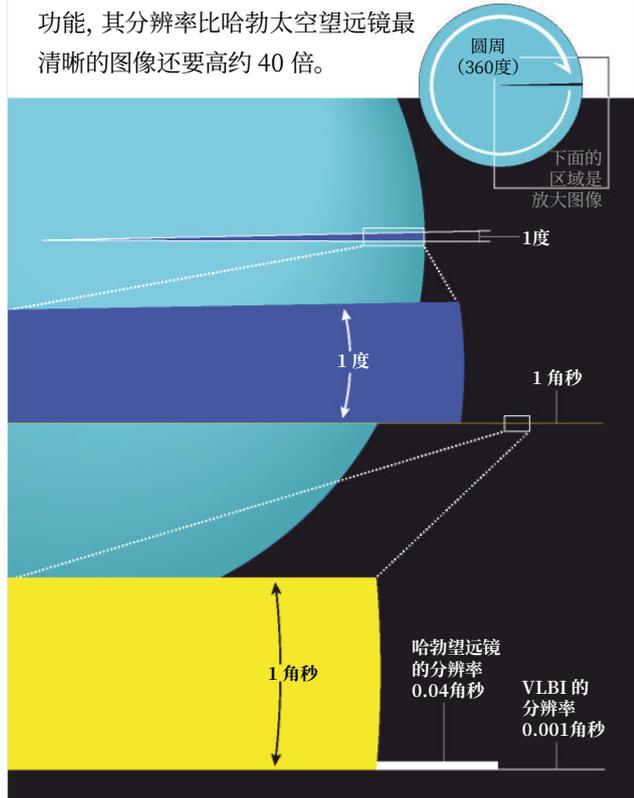




数据来源：Xing-Wu Zheng and Mark J. Reid, Bar and Spiral Structure Legacy (BeSLeL) Survey (a VLBA Key Science Project), Nanjing University, and Center for Astrophysics | Harvard & Smithsonian (Milky Way chart and illustration)

天空上的鹰眼

测量银河系另一侧恒星形成区的微小视差角需要极高的角分辨率，目前只有通过精确合并来自全球多个射电望远镜的同时观测数据才能获得极高的角分辨率。该图显示了甚长基线干涉测量法这项技术的强大功能，其分辨率比哈勃太空望远镜最清晰的图像还要高约 40 倍。



系中心的、明亮的活跃黑洞)，其精度接近 0.00001 角秒。这样，我们可以通过测量三角视差效应来测量非常远的距离。三角视差效应是指从不同的位置观测时，附近天体也相应地出现在背景星空中的不同位置。你可以将手臂向前伸开，举起大拇指，并通过交替闭合左右眼观察大拇指来模拟这种效果。因为我们两眼间距为几厘米，因此用左右两眼交替观测离我们一臂距离的大拇指时，拇指相对遥远的背景物体来说，会出现大约 6 度的偏移。如果我们知道两次观测位置的间距，以及观察到的角位移，就很容易计算出我们与观测目标的距离。这与测绘人员绘制城市地图的原理相同。

在理想情况下，天文学家要绘制旋臂结构图应该观测年轻的大质量恒星。这些短寿命的恒星通常与旋臂内剧烈的恒星形成过程有关，并且此类恒星温度很高，它们可以电离周围的气体，使其发出蓝光，因此在理论上，这些恒

星在可见光波段可以作为观测星系旋臂的灯塔。

但是，由于这些恒星被银河系的尘埃盘所包围，我们无法轻易地在整个银河系中观测到此类恒星。幸运的是，这些炽热恒星电离区域外的水分子和甲醇分子可以作为非常明亮的射电源，因为它们会发射出大量的几乎没有被银河尘埃衰减的天然“脉泽”（maser）。脉泽一词为“受激辐射的微波放大”（microwave amplification by stimulated emission of radiation）的首字母缩写，也就是说，脉泽其实就是处于射电波段的激光。在天体物理环境中，脉泽辐射来自质量与木星相当的太阳系尺度的气体云。脉泽源在射电图像中表现为非常明亮的点源。因此，脉泽源是三角视差测量的理想目标。

银河系新图景

通过 BeSSeL 项目和 VERA 项目，天文学家已经使用三角视差法测量了约 200 个年轻炽热恒星的距离。这些数据横跨银河系，大约覆盖了银河系三分之一的区域，并揭示了四条很长的旋臂。

由此绘制而成的“银河系图”还显示，太阳非常接近银河系的第五条旋臂，这似乎是一段孤立的旋臂，被称为“本地臂”。此前，该段旋臂被称为“猎户臂刺”或“本地臂刺”，也就是说，这条旋臂类似于从其他星系的主旋臂伸出的小型附属结构。但是，对这种“臂刺”的解释可能是错误的。在我们 BeSSeL 的数据中，这条旋臂是孤立的，绕着银河系旋转了不到四分之一圈。虽然本地臂的长度较短，但在这条臂中，恒星形成率可与同样长度的英仙臂段相当。有趣的是，天文学家曾认为英仙臂是银河系的两条主旋臂之一（另一条是盾牌-半人马臂）。但是，我们发现随着英仙臂远离太阳，朝着银河系内延伸时，恒星的形成率显著减少。这表明对于外部观测者而言，英仙臂似乎并不是一条非常明显的旋臂。

通过绘制大量年轻恒星的三维位置，并对它们的运动速度进行测量建模，我们可以推算出银河系的基本参数。我们发现，太阳到银河系中心的距离为 8150 ± 150 秒差距（即 26 600 光年）。这比几十年前国际天文联合会建议的 8500 秒差距的值要小。此外，我们发现银河系在太阳位置处以 236 千米 / 秒的速度旋转，这大约是地球绕太阳旋转速度的 8 倍。根据这些参数值，我们发现太阳绕银河系旋转一圈需要大约 2.12 亿年。这也意味着，上一次我们的太阳系处在银河系现在的位置时，恐龙仍在地球上漫步。

处于太阳位置之内的银河系内盘非常薄，几乎是一个

平坦的平面。但太阳相对于该平面的垂向高度一直存在争议。最近,一些天文学家测得太阳比内盘面高 25 秒差距(82 光年),但我们的测量值与这一估值有较大的不同。通过拟合具有精确距离和位置的大质量恒星所处的平面,我们可确定太阳仅比该平面高约 6 秒差距(20 光年)。这一高度仅为太阳到银河系中心距离的 0.07%,这意味着太阳非常靠近银盘的中平面。我们还证实了前人观测到的银河系翘曲,即银河系外盘面逐渐偏离内盘面,在北侧开始向上弯曲,而在南侧向下弯曲,有点像弯曲的土豆片。

为了便于描述观测结果,天文学家通常将银河系划分为以太阳为中心的四个象限。使用这种坐标,我们在前三个象限中都找到了旋臂。为了绘制第四象限的图,则需要处于南半球的观测设备。我们正在开展南半球的观测项目,计划使用澳大利亚和新西兰的望远镜进行观测。

在等待这些观测结果的同时,我们可以先用来自原子氢和一氧化碳的观测信息,将已知旋臂外推到第四象限。这些观测揭示的旋臂结构与先前理论上猜想的矩尺-外臂(Norma-Outer)、盾牌-半人马臂(Scutum-Centaurus-Outer-Scutum-Centaurus)、人马-船底臂(Sagittarius-Carina)、英仙臂(Perseus)的结构相吻合。不过需要注意的是,我们对远离银河系中心的恒星形成区域只做过一次观测。我们观测到的这个区域的距离,再结合它在一氧化碳的银经-速度图中的位置,让我们对如何在“地图”上连接银河系另一端的旋臂有了一定的信心。

但是,我们需要更多的观测来验证我们的模型。现在,我们对自己的银河家园有了更清晰的了解。我们可能生活在一个四旋臂的旋涡星系中,它具有一个明亮且对称的中心棒。我们的太阳几乎完全位于银盘中平面上,但太阳远离银河系中心,大约在银河半径的三分之二处。除了几乎可以环绕银河系一周的旋臂之外,银河系还有至少一个额外的旋臂段(本地臂),并且各主要旋臂都可能有许多分叉。这些旋臂特征使我们的银河系显得相当正常,但肯定不是典型的。大约三分之二的旋涡星系都有中心棒结构,因此银河系属于占旋涡星系绝大多数的棒旋星系。然而,银河系拥有四条清晰、明确且相当对称的旋臂,这使得银河系显得比较独特,因为大多数旋涡星系的旋臂都少得多,并且旋臂也比较凌乱。

更多谜团

尽管我们得到了一些新的答案,但仍有很多悬而未决的重要问题。天文学家仍在争辩旋臂是如何产生的。关于

这个问题有两种相互竞争的理论,一种理论认为,整个银河系尺度上的引力不稳定性会形成持久的螺旋形旋臂图案的密度波;另一种理论则认为,一些旋臂片段会随着时间的流逝,因为小尺度上的不稳定性而被拉伸、放大,进而连接起来,形成更长的旋臂。在前一种理论中,旋臂可以持续数十亿年,而在后一种理论中,虽然旋臂的寿命较短,但新的旋臂在银河系的整个演化历史中会出现多次。

由于银河系没有明确的出生日期,因此很难弄清楚它的准确年龄。目前流行的观点是,随着宇宙历史上先形成的许多较小的原星系发生碰撞和并合,它们逐渐融合在一起,形成了现在的银河系。

银河系大概在 50 亿年前就已经是一个大型星系,但在那时,它看起来可能与现在大不相同,因为星系并合过程很可能会打散任何已有的旋臂结构。

我们需要更多的观测结果来改进我们现有的银河系结构图景,而下一代支持 VLBI 的射电望远镜阵列将为此提供便利。这种正在规划中的射电阵列包括非洲的平方公里阵列(Square Kilometer Array)和北美的下一代超大型阵列(Next Generation Very Large Array)。两者都是跨越整个大陆的巨大射电望远镜阵列,预计 21 世纪 20 年代末它们可以全面投入使用。与现有阵列相比,它们的信号收集面积将大大增加,因此能够探测到来自恒星的微弱射电辐射,使我们在银河系中的视线可以达到更远。最终我们希望明确绘制出银河家园的建筑物结构图,以证实或证伪银河系宏伟旋臂结构的形成理论。■

本文译者 沈俊太是上海交通大学天文系长聘教授,他的主要研究方向为星系动力学、银河系结构、天文学数值模拟。他的团队已根据 BeSSel 巡天得到的旋臂位置,使用气体动力学方法估算了银河系棒和旋臂的图案转动速度,相关结果发表在国际权威期刊《天体物理学杂志》(Astrophysical Journal)上。

扩展阅读

Studies in Galactic Structure. I. A Preliminary Determination of the Space Distribution of the Blue Giants. W. W. Morgan et al. in *Astrophysical Journal*, Vol. 118, pages 318–322; September 1953.

The Milky Way in Molecular Clouds: A New Complete CO Survey. T. M. Dame et al.

in *Astrophysical Journal*, Vol. 547, No. 2, pages 792–813; February 1, 2001. Mapping Spiral Structure on the Far Side of the Milky Way. Alberto Sanna et al. in *Science*, Vol. 358, pages 227–230; October 13, 2017.

Trigonometric Parallaxes of High-Mass Star-Forming Regions: Our View of the Milky Way. M. J. Reid et al. in *Astrophysical Journal*, Vol. 885, No. 2, Article 131; November 10, 2019.

The Spiral Structure of the Galaxy. W. W. Morgan; May 1955.

Fossil Hunting in the Milky Way. Kathryn V. Johnston; December 2014.



Observe Quantum Superposition

量子叠加态 与现实矛盾吗

量子理论认为，量子系统通常处于叠加态，但观察者的测量只能得到唯一的、确定的值。

这个现象该如何解释？独立于观察者的客观现实存在吗？从量子力学诞生起，这个问题就悬而不决。最近，一位法国科学家在《科学美国人》法国版上发表了一篇文章，提出了一个新颖的理论来解释这个问题。

撰文 艾尔维·泽维恩 (Hervé Zwirn) 翻译 威译引

建 立于20世纪20年代的量子力学，是我们至今所拥有的最为精细的理论，它让我们能以量化的方式，描述从原子结构到超导的种种自然现象。但是，当我们想要理解这个理论背后的深层含义时，它就向我们提出了一些深奥的问题。

好在，这些问题并不妨碍它的实际应用，例如预测实验结果或者计算物理量的值。对于量子力学在这些方面的使用，物理学家们达成了高度一致。大部分物理学家对这种状况很满意，因而开始关心更加基本的、概念层面的问题，这就涉及到量子理论的根基。

实际上，围绕这些理论基础的思考触及了一些最为古老深邃的哲学问题，例如实在论问题或者意识。量子力学带来了新的东西，那就是如果我们将其视为描述微观世界的正确理论，并认为它也适用于宏观世界，那么一些哲学思想将被动摇。

过去数十年间，各类媒体都刊发过关于量子理论的科普文章，使得公众对量子理论中的一大堆奇异的词汇已经有所了解，例如非决定论、叠加态、波粒二象性、薛定谔的猫、不确定性原理、非定域性和纠缠等。这里的每个词都代表了量子力学中的一个“反直觉”的概念。

在这篇文章里，我们要讨论一个问题，它可能是所有问题中最深邃的一个，与量子叠加态、测量结果的不确定和量子之间的纠缠都有密切关系，这个问题的常见案例就是著名的、既死又活的薛定谔的猫——是的，我们要讨论的问题就是物理量的测量问题。

测量问题与现实直接相关。大部分物理学家认为，我们应当从客观角度理解量子世界，也就是说完全不以自身为参考，而是假设我们是被动的观察者，只是记录一个独立于我们的、在外部环境中发生的现象。这种态度是很自然的。经典物理让我们习惯如此，并且在传统的科学观念中，我们将客观事物视为一种确定的数值。

艾尔维·泽维恩是法国国家科学研究中心 (CNRS) 的研究主任、法国科技史与哲学研究所 (IHPST) 的物理学家，同时也就职于巴黎-萨克雷大学 (Université Paris-Saclay) 的数学与应用数学中心。



带着这样的测量观念，我们在经典物理中没有遇到任何障碍，但在量子物理中却遇到了大麻烦。这就是我接下来要分析的问题。量子物理中的一些描述会让我们怀疑，一个物理系统的各项特征数值是否客观存在，独立于一切观察者。

接下来，我要展示并论证一个更加令人惊讶的设想：当一位观察者得到了一个确定的测量结果时，这不代表系统的物理状态发生了任何变化，而仅仅代表了这位观察者所看到的系统是什么样子。

在某种意义上，诠释量子力学面临的困难在于叠加态原理的根本来源。我们来解释一下这是什么意思。

在量子理论中，我们用数学工具来表示物理系统的状态，那就是具备某些性质的特定空间（即希尔伯特空间）中的向量。我们有时候也会使用波函数描述系统的特征值。例如，区域 X 中的一个电子的位置状态，我们通常用态矢量表示，记作 $|X\rangle$ ； Y 空间中的电子的态矢量则记作 $|Y\rangle$ 。

麻烦的源头

根据叠加态原理，如果两个量子态都是可能的，那么它们的态矢量的所有线性组合（即加权和）都代表着一个可能的状态。根据这一原理，如果 $|X\rangle$ 和 $|Y\rangle$ 是系统的两个不同的可能状态，那么 $a|X\rangle + b|Y\rangle$ 也是一个可能的状态，其中 a 和 b 为系数。

以线性组合 $|X\rangle + |Y\rangle$ 为例，其中两个态矢量的系数相等。这样一个状态对应着什么？如果一个电子的状态由这个和描述，那么它的位置在哪里？

没有任何一种回答能够符合通俗的描述。我们可以证明以下说法都是错的：这个电子“同时”位于 X 和 Y ；这个电子“有时候”位于 X ，“有时候”位于 Y ；电子在 X 和 Y 之间的某个地方；电子在另一个不同定义的位置上。怎

精彩速览

一个物理系统的量子态是多个不同状态的叠加态，对于同一个物理量，每个状态都对应着一个不同的值。

为了解释为什么一次测量只能得到一个结果，量

子力学的“正统”诠释认为，这是因为宏观的测量仪器不符合量子定律。

这种将测量仪器排除在量子领域之外的方法站不住脚，物理学家又提出了多种互相竞争的诠释。

本文作者最近提出了“共存唯我论”，根据这一诠释，每个观察者仅能观察到叠加态中的一种状态，并且不同观察者之间无法提出异议。

么说都好。实际上我们要考虑的是，这样的电子没有一个能够明确定义的位置，这点相当不符合直觉——直觉让我们习惯于确信，在任何时间，任何物体都在空间中占据一个确定的位置。

这个奇特的结论并非只适用于这个场景，而是适用于所有的物理量，例如速度、能量或动量。在叠加态中，某些物理量不具备任何确定的值。

假设一个处在状态 $|X\rangle$ 的电子，我们称它位于 X。再假设一个处在状态 $|Y\rangle$ 的电子，我们称它位于 Y。但是，对于一个处在状态 $|X\rangle + |Y\rangle$ 的电子，我们该如何描述呢？答案是：如果我们连续观察数量巨大的电子，它们全部处在状态 $|X\rangle + |Y\rangle$ ，而在统计学上，其中一半的电子处于 X，另一半处于 Y（因为叠加态中这两个项的系数是相等的）。

不过，这并不意味着在我们进行探测之前，这种状态下一半的电子位于 X，另一半位于 Y。事实上，量子理论表明，如果是这种情况，我们就不会观察到一个叠加态在某些情况下产生的相干。因此我们要这样想：在进行探测之前，这些电子中没有任何一个处在确定的位置上，只有在我们进行必要的观测时，它们才有了确定的位置，位于 X 或位于 Y 的概率分别是 1/2。

两种视角，结果不同

对于一个系统的演化，量子理论还有两个公设。第一个是薛定谔方程，这个微分方程描述了一个系统随时间的演化。它具备线性和么正的特征，因此能够将任何叠加态转化为一个包含了所有这些状态的叠加态。它从来不会将状态 $|X\rangle + |Y\rangle$ 变成状态 $|X\rangle$ 或状态 $|Y\rangle$ ，因为这两者都对应了确定的系统状态。也就是说，薛定谔方程永远无法解释为什么当我们观测一个处在状态 $|X\rangle + |Y\rangle$ 的电子时，测量结果要么是 X，要么是 Y，每种结果出现的概率都是 1/2。

量子理论中另一种描述系统演化的方式就是“波函数坍缩”（又叫投影公设），它描述了对一个系统进行的所有物理测量。

波函数坍缩表明，如果一个系统处在多个状态的叠加态，对于某个物理量，其中每个状态都具有一个确定的值，那么测量结果将是这些值当中的一个，其概率取决于叠加态中每个状态的系数，这符合玻恩定则。

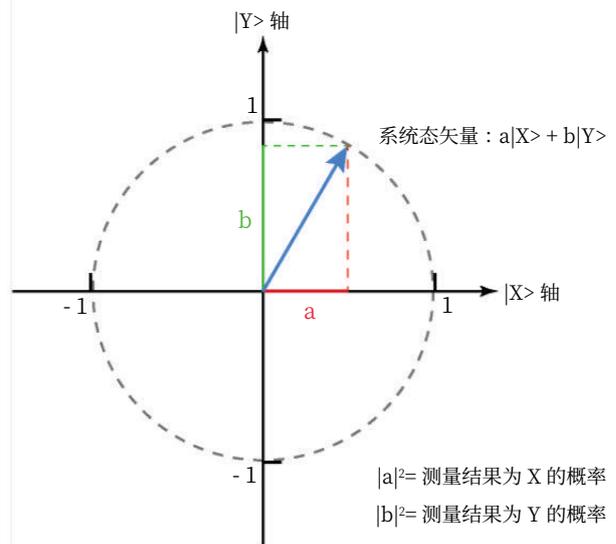
并且，波函数坍缩理论还表明，在测量之后，系统的状态就坍缩到一个矢量，与观察者测量到的值相对应。这就是波函数的坍缩。在系统叠加态的例子中，两个状态的

玻恩定则

量子理论用态矢量来描述一个物理系统的状态。通常，这个矢量被记作多个矢量（或状态）的和，这些矢量之间互相正交，矢量的模（即长度）等于 1。每个矢量对应同一个确定的物理量（例如位置或能量）的值。

在描述一个系统的状态时，玻恩定则将其视为包含各个矢量乘以系数的和，给出了得到各个测量值的概率。因此，根据这个定则，测得某个值的概率等于对应的矢量的系数的平方。系数的平方和代表了不同的可能结果出现的概率之和，因此必然等于 1。

因此，假设测量处在状态 $1/\sqrt{2}(|X\rangle + |Y\rangle)$ 的一个电子，我们会发现它要么位于 X，要么位于 Y，每种结果出现的概率都为 1/2。假设测量处在状态 $1/\sqrt{3}(|X\rangle + \sqrt{2/3}|Y\rangle)$ 的一个电子，我们会发现它有 1/3 的概率位于 X，2/3 的概率位于 Y。下图展示了用玻恩定则描述一个系统，它有两个基态，系数分别是实数 a 和 b（这些系数通常情况下是复数）。

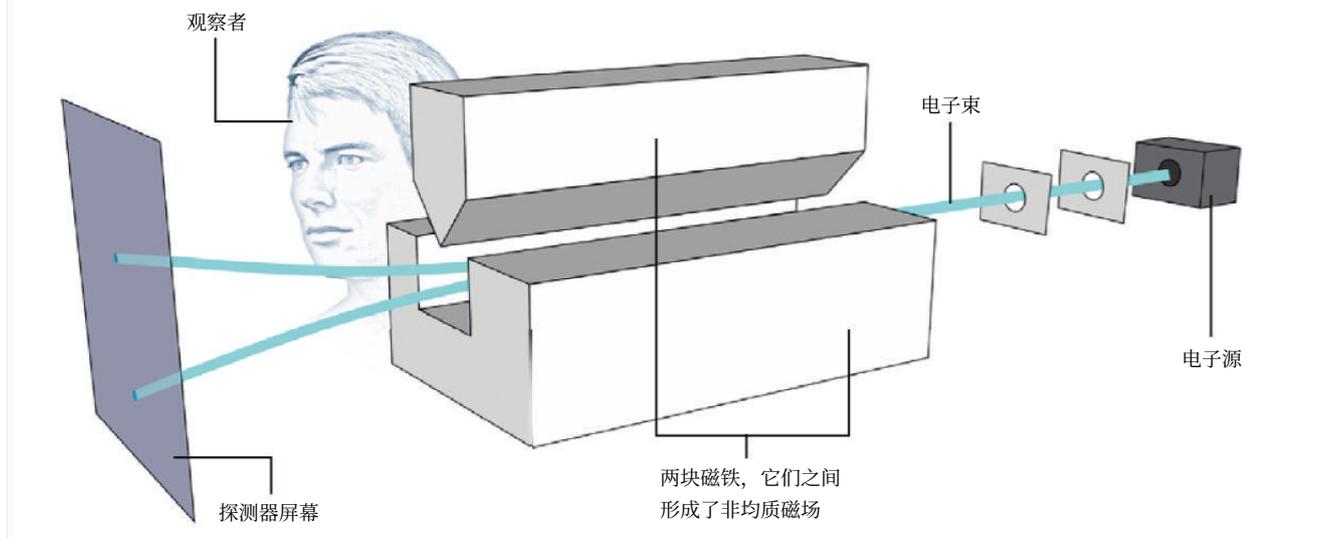


系数是相同的，那么理论预测，我们会发现电子位于 X 或 Y 的概率都是 1/2，并且它不可能出现在其他的位置；而假设我们的测量结果是 X，那么在测量的作用下，系统的状态瞬间从叠加态 $|X\rangle + |Y\rangle$ 转变成 $|X\rangle$ ，此时我们说叠加态“投影”成状态 $|X\rangle$ 。

对物理系统的测量必然需要测量仪器的介入。但是，以上提到的两种描述系统演化的方式将得出不同的结果，即使我们将薛定谔方程同时应用于系统和测量仪器也是如此。如果我们能够明确区分什么时候使用薛定谔方程，什

斯特恩-盖拉赫实验

这里的示意图所描述的是 1922 年的斯特恩 - 盖拉赫实验, 证明了电子自旋 (一种固有的角动量) 的存在, 并表明它存在两种可能。在磁场的作用下, 电子因为不同的自旋分成两束, 一束向上而一束向下, 偏离的幅度相同。观察电子冲击荧光屏的时刻就意味着在测量这个电子的自旋方向。通过量子力学原理, 可以精确地计算出我们在观察时, 电子处在每个状态的概率。但是, 这个理论没有明确定义什么是测量, 因此这一过程中测量仪器和观察者的作用仍然存在多种解读。



么时候使用波函数坍缩, 这就不是一个问题。答案乍看之下很简单: 当测量这个举动发生的时候, 就使用波函数坍缩。问题在于, 我们不知道量子力学中该如何准确定义测量。

什么是测量?

关于测量的定义, 尽管这个问题非常基本, 但物理学家的看法却分成了泾渭分明的两派。当某个特定物理量 (例如速度或位置) 的值被一个独立于所有观察者的仪器记录下来, 这就是测量吗?

在这种情况下, 观察者看到的测量结果, 通常是测量发生后, 仪器在某一时刻所记录到的值, 因此观察者仅仅是这个测量过程的被动的见证者, 也就是说, 观察者只是记录了系统的一个状态。这就是经典物理中的场景, 一个系统对于各个物理量都有明确的定义和数值。

但是, 量子理论的形成过程就决定了, 它不认为观察者所测量的物理量在仪器进行测量之前就具备确定的值, 也无法解释仪器和系统的相互作用如何产生了确定的值。反之, 量子理论预测, 在仪器和系统相互作用之后, 仪器自身进入了和系统相互“纠缠”的状态, 也就是说仪器的状态和系统的状态 (这是个叠加态) 产生了无法分割的关联,

因此仪器的状态不再对应一个确定的、它显示出来的值。

独立于观察者的现实?

物理学家和哲学家提出了数量繁多的假设, 试图通过保留一种严格的客观现实来解决这个问题, 也就是定义一种独立于观察者的现实。其中最广为人知的就是哥本哈根诠释, 这种假说是由量子理论的两位奠基人物提出的, 他们是丹麦科学家尼尔斯·玻尔 (Niels Bohr) 和德国科学家沃纳·海森堡 (Werner Heisenberg)。这一理论在物理学界占据统治地位达半个世纪之久。

这一诠释也被称为“正统”诠释。简单来说, 它在量子物理适用的微观世界和它不适用的宏观世界之间划出了一条界限。观察者的问题自然就消失了, 因为测量仪器是宏观的, 它不服从量子规律。但是, 这种区分微观与宏观的二元论观点看起来非常牵强, 如今认可这一观点的人越来越少。

为了解释测量仪器最终总会得到一个确切数据这一事实, 德国科学家迪特尔·策 (Dieter Zeh) 在 1970 年提出了退相干理论。到 20 世纪 80 年代, 美国洛斯阿莫斯国家实验室的波兰裔物理学家沃伊切赫·茹雷克 (Wojciech

Zurek) 在此基础上开展进一步研究, 他把测量仪器和被测量系统以及两者所在环境纳入研究。他认为, 环境中自由度极高的相互作用会干扰叠加态, 使它在极短的时间内坍塌。

但是事实上, 退相干的思想仅仅解释了为什么对于任何观察者而言, 宏观测量仪器不会表现出叠加态: 这在本质上超出了观察的极限, 因为我们无法考虑环境中所有的自由度, 对系统和仪器的所有相关性都进行测量。比如, 如果所有相关性都需要测量的话, 那么就需要对仪器所在房间里的所有空气分子的位置进行测量, 但这完全不可能实现。

退相干机制并非完全消除观察者的作用, 它只是解释了对于测量手段有限的观察者而言世界是什么样的, 而非描述在没有观察者的情况下“真正的”世界是什么样的。

实际上, 从逻辑上来说, 我们可以得出这样的结论: 如果不调整量子力学常用的框架, 我们就无法以高度客观的方式严谨地定义什么是测量。观察者必须以某种方式被纳入讨论, 并且只有当观察者得知结果的时刻, 测量行为才产生了确定的结果。

这本不该令人感到如此意外。毕竟, 科学不过是对世界的一种描述, 最终的体现是我们所看到的世界。经典物理学描述宏观世界的方式符合这一假设: 我们所看到的世界是“真实”的; 但是, 这不能证明该假设仍然适用于那个对于我们的日常生活而言如此陌生的世界。

其实早在 20 世纪的前半叶, 美国科学家约翰·冯诺伊曼 (John von Neumann) 和尤金·韦格纳 (Eugene Wigner), 还有德国科学家弗里兹·伦敦 (Fritz London) 和法国科学家埃德蒙·鲍尔 (Edmond Bauer) 就提出了一种思想, 认为是观察者的意识引发了波函数的坍塌。但是, 他们的观点受到了冷遇。不得不说, 这种观点存在一个缺陷, 会让人联想到笛卡尔的“二元论”, 即精神能够作用于物质, 因此这个观点一度被学界抛弃。

在 1956 年前后, 美国物理学家休·埃弗里特 (Hugh Everett) 又提出了一种诠释, 作为对哥本哈根诠释的回应, 他在这种诠释中也反驳了波函数坍塌。埃弗里特假设, 量子力学适用于包含多个系统的整体, 包括微观系统和宏观系统, 但它完全不需要使用波函数坍塌进行解释, 因为在每次测量的时候, 世界就会发生复制; 有多少个观察者、多少次测量, 就会复制出多少个世界, 测量结果因而就有多少种可能。

这种诠释自身也衍生出了多个变体, 引发了多种不同

的理解, 其中最广为人知的一种假说就是“多重世界理论”。这类假说遇到的最主要的问题, 就是认为同时存在无限个不同的世界。

这种不受控制的复制将连续产生无数的世界。在 1994 年出版的著作《揭露真实》(Le Réel voilé) 中, 法国物理学家、哲学家伯纳德·德埃斯帕尼亚 (Bernard d'Espagnat) 对此进行了批评。随后在 2000 年, 我在自己的作品《认知的极限》(Les Limites de la connaissance) 以及接下来的一系列论文中提出了另一种诠释: “共存唯我论” (solipsisme convivial)。这一理论放弃了波函数坍塌, 但绝不会假设世界在每次测量时都分裂为多个世界。

普遍唯我论认为, 观察者的感知发挥着基本作用, 但它并不是冯诺伊曼、韦格纳、伦敦和鲍尔理论的延伸, 因为观察者的意识对于所观察的系统没有任何物理作用。正如我们接下来将要看到的, 被观察的系统仍然停留在叠加态中, 只是我们的观察选择了其中一种可能的状态。

“共存唯我论”

共存唯我论诞生于这样的思想: 测量是观察者对一个状态的感知。因此, 测量不是一个物理动作, 而是一种感知行动。它对所测量的系统没有任何影响, 测量发生后系统还处在原来的状态, 因此不存在波函数坍塌。这也是我们对埃弗里特的多重世界理论的一个共识, 区别在于该理论不再假设观察者 (以及所处的世界) 会分裂成多个版本, 副本数量与可能的测量结果的数量相同。在这个理论中, 观察者感知到的是多种可能中的一种——在某种意义上, 观察者所看到的就是叠加态中的一种状态。

这种选择通过一种“锁定”机制得以实现: 1) 观察者的感知“锁定”了叠加态中的一个可能分支; 2) 选择的过程遵循玻恩定则给出的概率; 3) 观察者的感知一旦锁定了某个分支, 那么一切外部测量所得到的结果都只能来自于这个分支。

一些静态或动态的图片能够以多种不同的方式观看, 这能够帮助我们理解这一现象——尽管在进行这类比喻的时候需要十分谨慎。最广为人知的图片之一就是一位女舞者的剪影, 在一些人看来她是顺时针旋转的, 而另一些人会觉得她是逆时针旋转的。这就是视错觉图片。

在这个案例中, “舞者究竟在向哪个方向旋转”的问题没有任何意义。这里面不存在真实的旋转方向, 它只是一组运动的像素, 每个观察者都会依据自己当前的主观意愿, 将其诠释为一个顺时针或逆时针旋转的舞者。尽管有

量子力学的多重诠释

哥本哈根诠释 (又名经典诠释)

波尔和海森堡创建量子力学之后不久,这一诠释随之诞生,并且很长时间以来都占据着统治地位,几乎所有的物理学家都接受了这种解释。他们认为,测量是微观系统和宏观仪器之间的互动,而宏观仪器无法用量子力学进行描述。如今越来越少的人接受这一理论,因为它对微观和宏观之间的界限的描述过于模糊,并且它无法解释为什么宏观系统不符合量子力学规律。

德布罗意 - 玻姆诠释

1952年,戴维·玻姆重新发展了路易·德布罗意(Louis de Broglie)的思想,提出了这一理论。玻姆假设波函数并未完整地描述系统,因而需要添加一些额外的变量,即“隐变量”,其数值总是确定的,并且决定了测量的结果。

德布罗意 - 玻姆理论很长时间得不到认可,但如今越来越多的物理学家开始拥护它。但该理论的基础假设是这样的:存在一个量子势,能对粒子的轨迹产生非定域性的即时影响。此外,目前学界仍不清楚这个理论能否和爱因斯坦的狭义相对论兼容。

GRW 诠释 (自发坍缩理论)

由吉安卡洛·吉拉尔蒂、阿尔伯特·里米尼和图里奥·韦伯提出,并根据三人姓氏首字母命名。GRW 诠释调整了薛定

谔方程,添加一个非线性任意项,使得所有微观物体都有(极小的)概率发生瞬间转变,从而固定在空间中的一个确定位置,这样就有效解决了测量的问题。

但是,这个描述看起来非常刻意,并且需要在数学上进行调整才能预测量子力学的实验结果。此外,在明确这个理论的本体论方面(也就是使客观实体存在的基本特征),科学家遇到了重大困难。

多重世界诠释 (埃弗里特理论)

这个由埃弗里特在1957年发表的论文中提出。他的假设是,在进行一次测量的时候,能得到所有可能的结果,因为宇宙(以及观察者自身)分裂成了多个,其数量等同于测量的可能结果的数量。除了假设存在无数个宇宙这点不够有说服力之外,这个理论还碰到了一个基本问题,那就是它无法纳入玻恩定则。

共存唯我论

由本文作者提出。这个理论假设测量并非一个物理过程,观察者对事物的感知来自于对系统叠加态的观察。和多重世界理论一样,共存唯我论中没有波函数的坍缩,但它不需要世界进行无限的复制。这种诠释能够协调关于测量的三个命题,并且不需要改变量子力学理论。

些不严谨,我们仍然可以说这位舞者的状态就像一种叠加态,那就是 $|\text{顺时针}\rangle + |\text{逆时针}\rangle$ 。

这一状态并不对应某个方向的旋转,它在经典语境中找不到对等的事物。但在观察这样一幅图像的时候,我们却会认为舞者在朝着某个确定的方向旋转,而且在不同的观察者看来,旋转的方向还不一样。看见舞者朝着某一个方向旋转,这并不代表她就是朝这个方向旋转,也不会改变图像本身,图像仍然保持在叠加态。所以,这次观察只能表明我们的感知建立了一种确定的观看图像的方式,因为我们无法以叠加态的方式观察图像。

这个比喻非常粗糙,因为量子叠加态和舞者图像之间天差地别,但是,比喻让我们能够产生一个大致印象,可以了解我们在观察量子叠加态的时候会发生什么。

共存唯我论假设叠加态只能以这样一种方式被感知到,那就是在观察者的意志中,叠加态产生了表征,而这个表征对应着叠加态中的一种状态。但是,不管观察者所

看到的是哪一种状态,系统的状态都没有发生任何改变,它仍然维持着叠加态。在这种情况下,每个观察者的感知都不是绝对的,而是相对于其自身而言的。

但是,两个观察者在测量同一个系统时,会得出不同的结果吗?答案是否定的,接下来我会解释这点。

没有异议

对于一个特定的观察者而言(我们称之为爱丽丝),其他所有的观察者(例如伯纳德)必须整体被视为一个量子系统,其自身也处于叠加态之中。爱丽丝与伯纳德之间的交流,对于他们当中的每个人而言,都相当于对对方的一次测量。这样的情况与前面提到的那张舞者图像完全不同:当爱丽丝与伯纳德在任意时间,分别完成一次测量,并交换各自得到的结果的时候量子理论的形式决定了他们不可能得出不一致的结果,尽管没有任何因素限制他们必须得到相同的结果。这听起来可能有点古怪,但这是“共



根据本文作者提出的“共存唯我论”，观察者对系统进行测量的时候，不会改变系统的量子态。但是，由于量子态是叠加的，观察者只能观察到其中一种状态，即叠加态中的一个基态。这幅图像就是一个比喻，它能够以两种不同方式进行解读：舞者看起来要么是面向着我们，要么是斜对着我们；在动态图片版本中，她看起来要么在顺时针旋转，要么在逆时针旋转。

“共存唯我论”的基本观点之一，也就是说，我们要放弃能够“把自己放在别人的立场上讨论他们的感知”的这种想法。这是什么意思呢？我来解释一下。

当爱丽丝与伯纳德讨论观点，或者说对伯纳德进行测量的时候，那么在爱丽丝看来，在她进行“测量”之前，伯纳德就处在一种叠加态，无论他本人发现了什么样的结果；而当测量发生时，伯纳德总会给出与她的结论一致的结果。这一事实解释了我的理论中“共存”这个形容词的由来，它的依据是“锁定机制”：一个观察者得到的测量结果只与叠加态中他“锁定”的那一种状态有关。因此，当爱丽丝与伯纳德交谈的时候，她从“对方”那里得到的结果只可能是同一个，那就是自己已经得到的对系统的测量结果。

实际情况要比这个描述严谨得多，因为考虑到描述的相关性，每句话都和引出它的前一句话相关。有时候，讨论爱丽丝和伯纳德发现了什么是不符合理论的，这要求出现第三个观察者的视角，能够同与这两个人取得联系，而这样的观察者并不存在。爱丽丝与伯纳德不可能产生分歧，即使他们观察到了不同的结果，这句话听起来很古怪，是因为在这个框架中不允许同时提到爱丽丝和伯纳德的感知。应该说，“爱丽丝观察到了这个，并听到伯纳德告诉她自己也看到了这个”，这样才是合理的。反之，“爱丽丝看到了这个，然而伯纳德看到了那个”，这一描述是被禁止的，因为它在“共存唯我论”的框架中没有意义。

消除困难

无论这种情况听起来有多么古怪，用数学对其进行精确描述是可能的，并且数学还能化解这个理论当中的矛盾之处。

“共存唯我论”的数学表达能够解决测量问题，还可以回避测量两个相互纠缠的系统所引发的矛盾，比如测量其中一个系统将决定另一个系统的状态，尽管它们之间由“空间间隔”所分离，也就是说根据相对论，无法认定两次测量中存在绝对的时间上的先后关系（在时间和空间上相互独立的两次测量，如果其中任何物理信号扩散的速度超过了光速，那么这两次事件就不能被认为存在因果关系）。“共存唯我论”还允许重新建立量子力学中的定域性（即认为物理影响是一步步传递的，而不是跨越距离瞬间发生的），尽管学界常常认为量子力学必须是非定域性的。

尽管如此，这一理论所遇到的困难也不容忽视，主要的困难是，许多物理学家没有准备好接受它。因此，我们要放弃原有的观念，不能再认为世界与我们所感知的完全相同，也不能认为所有人都会以同样的方式感知世界。“共存唯我论”的世界是奇异的，我们每个人所感知到的不过是一个投影，而且每个人看到的投影未必相同。这样看来，它就是一种“唯我论”，因为每个人都生活在一个自己所感知到的世界里。而共存的一面在于，“共存唯我论”允许外部世界的存在，并且尽管两个观察者可能产生不同的感知，但他们永远不可能声明彼此之间存在分歧。

有些物理学家选择了更加严格的遵循我们直觉的描述，对于他们而言，这一理论所放弃的东西可能是极其重要的。但是科会学无止境地挑战我们，强迫我们放弃那些根深蒂固的直觉，尤其在量子物理诞生之后。对于掌握了这一课的人来说，这个新的视角能提供一种方式，帮助我们解开那些长久以来的谜团。■

扩展阅读

- H. Zwirn, **Nonlocality versus modified realism**, Foundations of Physics, vol. 50, pp. 1-26, 2020.
- H. Zwirn, **Delayed choice, complementarity, entanglement and measurement**, Physics Essays, vol. 30(3), pp. 281-293, 2017 (<http://arxiv.org/abs/1607.02364>).
- F. Laloë, **Comprenons nous vraiment la mécanique quantique?**, CNRS Éditions/EDP Sciences, 2e édition, 2017.
- H. Zwirn, **The measurement problem: Decoherence and convivial solipsism**, Foundations of Physics, vol. 46, pp. 635-667, 2016.
- B. d' Espagnat et H. Zwirn (dir.), **Le Monde quantique**, Éd. Matériologiques, 2014.
- H. Zwirn, **Les Limites de la connaissance**, Odile Jacob, 2000.
- B. d' Espagnat, **Le Réel voilé**, Fayard, 1994.



人类牙齿 为何如此脆弱

原始的脊椎动物靠一口利齿统治了生物圈，
然而现代人却深受口腔问题的困扰。我们的牙齿到底出了什么问题？

撰文 彼得·S·昂加尔 (Peter S. Ungar) 翻译 郭林 审校 赵凌霞

我正坐在口腔医院大厅里等着我的女儿，眼前的情景不禁让我想起了工厂流水线——病人一位接着一位进去，等着拔掉他们的第三白齿（俗称智齿）。离开时，他们头上缠着绷带，脸颊敷着冰袋，手里拿着抗生素和止疼药的处方以及预先印好的术后居家护理指南，还带着一件赠品T恤衫。

对许多年轻人来说，拔掉智齿就像是成年仪式。然而从我的专业角度来看，这种“习俗”实在是错的离谱。我是一名牙齿人类学家，同时也是一名古生物学家。在过去的30余年里，我一直致力于研究现代人、人类祖先以及其他脊椎动物的牙齿。与现代人类不同，大部分脊椎动物都没有牙列不齐或龋齿等牙齿疾病。人类祖先也很少患牙周病或智齿阻生。

事实上，现代人的牙齿处于一个非常矛盾的状态：牙齿是我们身体中最坚硬的部分，但也无比脆弱；牙齿化石能保存几百万年，而我们的牙齿却不能陪伴我们一生；牙齿让我们的祖先在生物圈中占据了优势地位，然而现代人的牙齿却需要精心养护。这种矛盾基本上是在工业时代，才在现代人中出现的。对此，科学家的最佳解释是，使我们的牙齿及颌骨演化至今的食物与现代饮食存在差异。古生物学家很早就明白，我们的牙齿有着悠久的演化历史。而现在，临床研究者和牙医也开始关注这一问题。

悠久的演化史

演化生物学家常常会惊讶于人类眼睛之复杂，认为它是“奇迹般的设计”。但对我而言，人类牙齿结构的精妙之处远超眼睛。构建牙齿的基本物质，和食物所含的其实是同一类。人的一生会经历数百万次咀嚼，在此过程中，我们的牙齿却可以在不受损的情况下咬碎食物。牙齿具有非凡的硬度和韧性，可以避免裂纹的产生和扩散。这得益于其外层和内部的完美结合：牙齿外层是牙釉质，几乎完全由磷酸钙构成，非常坚硬；牙齿内部含有有机纤维，使牙齿足够坚韧。工程师们往往能从牙齿的结构中得到很多灵感。

不过，牙齿真正的神奇之处在于其微观结构。我们都知道，一根竹签很容易折断，但一把竹签却很牢固。牙釉质中的微晶就像这些竹签一样，它们呈细长的柱状，每根只有人头发的千分之一粗。许多微晶捆在一起，就会形成棒状的釉柱。无数个釉柱平行排列，就组成了牙釉质。经



彼得·S·昂加尔是美国阿肯色大学（University of Arkansas）的古生物学家和人类牙齿学家。他主要专注于现生及化石灵长类动物的食性和取食适应性的研究。

计算，每平方毫米的牙釉质中存在数万个釉柱，这些釉柱几乎垂直于牙本质，并且会扭动、弯曲或交织，正是这种精巧的微观构造赋予了牙齿持久的强度。

这样的设计不是突然出现的，牙齿已经经历了数亿年的演化。近些年古生物学、基因组学和发育生物学领域的新研究帮助科学家复原了牙齿结构的演化历程。

在5亿多年前的寒武纪，地球上出现了最早的脊椎动物——无颌类。这些最原始鱼类没有牙齿，但是它们的很多后裔都长有头甲和布满鳞片的尾巴。科学家在它们的颌部周围发现了一些类似牙齿的鳞板：每一片鳞板都分为内外两部分，有时表面还覆有坚硬的矿化层，鳞板内部则是通有血管和神经的髓腔。一些原始鱼类的口部边缘也长有小块的鳞板，有的还带有倒刺，这可能有助于它们捕食。很多古生物学家都认为这些鳞片经过自然选择最终演化为牙齿。同时，现今鲨鱼盾鳞的结构和牙齿非常相像，我们将它们统一称为齿元（odontodes）结构。发育生物学家已经证实，鲨鱼的鳞和牙齿是胚胎组织以同种方式发育而来的。最近的分子生物学证据也表明，鳞片和牙齿的发育受同一组基因调控。

第一批真正的牙齿出现在有颌类中，它们出现的时间更晚。这些牙齿形态比较简单，大多长得像尖刺一样，使这些鱼类可以咬住猎物，甚至通过刮、撬、夹等各种方式捕食其他生物。例如棘鱼类（Acanthodians，一种原始的有颌类，因鱼鳍前端有硬棘而得名，和鲨鱼的祖先有亲缘关系）在4.3亿年前的志留纪就长出了牙齿。不过它们不会掉牙或换牙，牙齿也缺少高度矿化的表层。一些棘鱼的唇部和颊部长有鳞片，在靠近唇部的位置，这些鳞片逐渐过渡成了牙齿，这也是鳞片与牙齿同源的坚实证据。尽管这种牙齿很原始，但也是一种巨大的生存优势，最终有牙齿的类群胜过了那些没有牙齿的。

一旦牙齿就位，进一步的变化随之到来，比如牙齿的形状、数量、分布方式、替换模式以及它们与颌骨的连接方式等。在约4.15亿年前的志留纪-泥盆纪界线，肉鳍鱼类（Sarcopterygians）首先出现了釉质层。肉鳍鱼是硬骨鱼的一支，它们演化出了有骨骼和肌肉支撑的鳍。目前认为，它们就是现代四足动物（例如两栖类、爬行类和哺

乳类等）的祖先。釉质层最初仅分布于肉鳍鱼鳞板中，随后它从这种皮肤结构，一跃演化到了口腔里，成为了牙齿外层的牙釉质。而同一时期的其他鱼类则缺少釉质层，也缺少能编码釉质形成所需蛋白的基因。

在哺乳动物的起源及其早期演化中，牙齿起到了非常重要的作用，它们能帮助维持恒温所需的新陈代谢。维持自身体温的能力为哺乳动物带来了众多的优势，比如它们可以在气温波动更大的地区或更冷的气候中生存，可以保持更高的移动速度以占领更大的领地，还可以有更多的精力觅食、躲避捕猎者，以及照料幼崽。然而维持体温的能力也有其代价。在安静状态下，哺乳动物消耗的能量是相同体型的爬行动物（无法调节自身体温）的10倍以上。为了补充能量，自然选择的压力就体现在了牙齿上。其他的脊椎动物只需要用牙齿抓住并杀死猎物就够了，而哺乳动物则需要从每一餐中获取更多的卡路里。为了做到这一点，它们必须充分咀嚼自己的食物。

哺乳动物的牙齿操纵着咀嚼的过程。通过施加压力，牙齿会固定住食物并致其破碎。为了充分地发挥咀嚼的作用，牙齿咬合需要精确到毫米级。为了便于咀嚼，早期哺乳动物已经丧失了换牙的能力。这也解释了为什么大部分哺乳动物与鱼类和爬行类不同，即使老牙已经磨平或者破损了，也不会持续生长新牙。

釉柱也同样是适应咀嚼的特征之一。大部分研究认为，釉柱的演化是为了增强牙齿咀嚼的强度。哺乳动物牙齿的基本结构——牙本质的牙冠外包裹着釉柱层——早在三叠纪就出现了。包括人类在内的哺乳动物的臼齿看似形态各异，但其实都只是同一模板的微调。

口腔菌群与龋齿

牙齿的演化史不仅解释了它们为何如此强韧，也解释了为何现代人的牙齿存在缺陷。简单来说，牙齿的这种结

精彩速览

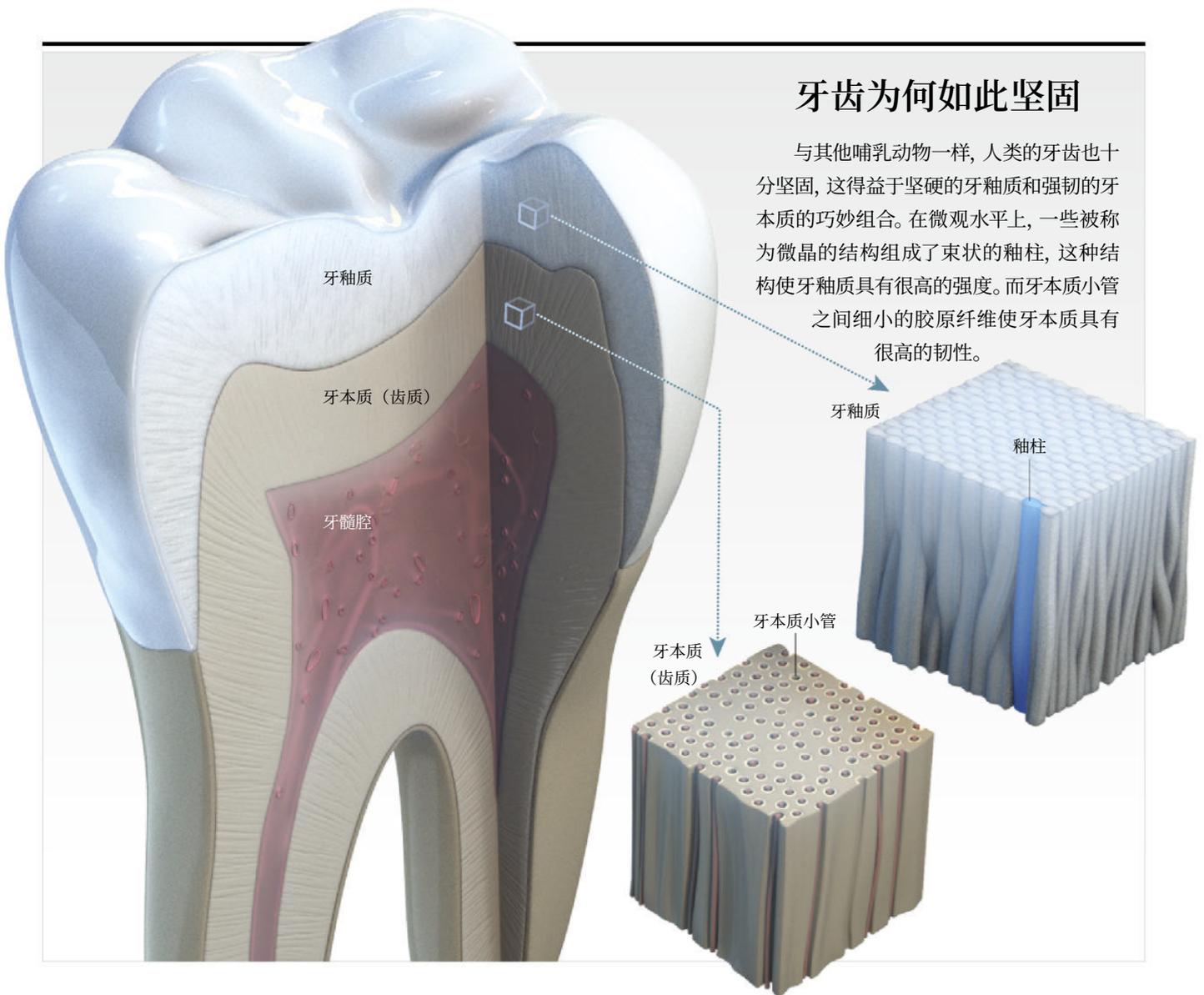
许多现代人都饱受龋齿、牙列不齐及智齿阻生等问题的困扰。但其他物种，甚至人类的祖先都很少出现这些牙科疾病。

经历了数亿年的演化，我们的牙齿设计精巧、坚硬强韧。然而它们只能适应特定的口腔环境。工业革命后，现代人食谱的变化带来了口腔环境

的改变。这些精加工、高含糖量的食物诱发了各种牙科疾病。

牙齿为何如此坚固

与其他哺乳动物一样，人类的牙齿也十分坚固，这得益于坚硬的牙釉质和强韧的牙本质的巧妙组合。在微观水平上，一些被称为微晶的结构组成了束状的釉柱，这种结构使牙釉质具有很高的强度。而牙本质小管之间细小的胶原纤维使牙本质具有很高的韧性。



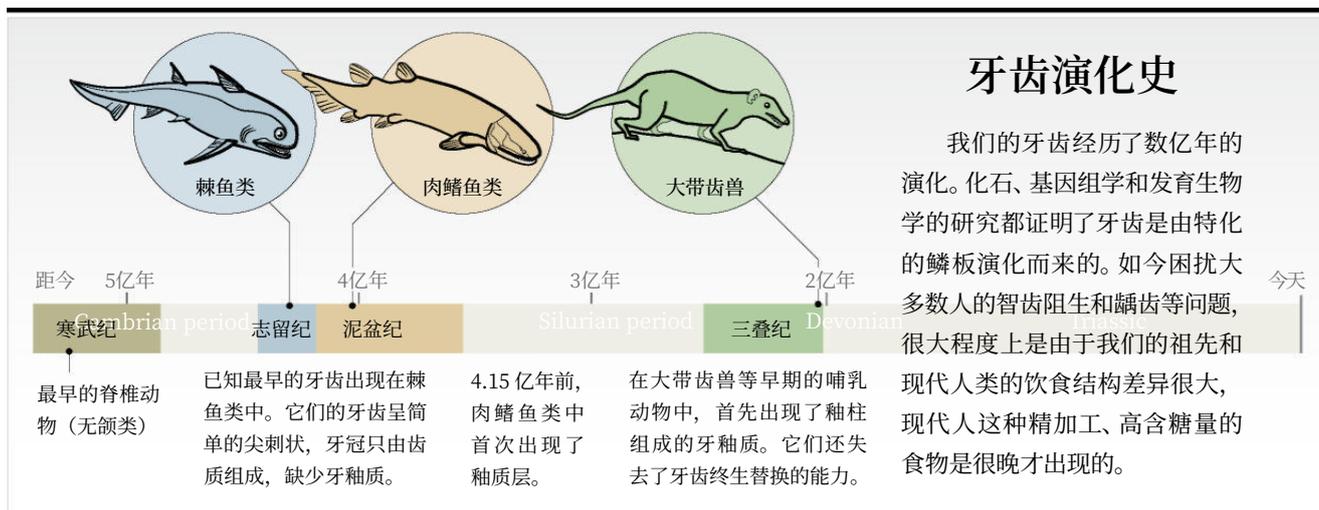
构是为了适应特定的环境条件，包括受到的压力、可能的磨损，以及口腔内的某些化学物质和细菌。这就导致口腔环境的任何变化，都会对毫无防备的牙齿造成损害。现代人的饮食就造成了这样一种情况，它与以往地球上所有生物都不同。我们的生理结构并不能适应我们的行为，这就导致现代人饱受龋齿、智齿阻生及其他牙颌问题的困扰。

全球有数十亿人受到了牙科相关疾病的困扰。然而在过去 30 余年间，我研究了成百上千块牙齿化石以及现生动物的牙齿，却几乎没有发现过任何牙科疾病的迹象。

为了解现代人类的牙齿为何如此容易生病，我们需要参考自然状态下的口腔环境。健康的口腔中居住着数十亿个微生物，其中细菌就多达 700 余种。其中大多数细菌是有益的，可以抵御疾病、帮助消化以及调节机体机能。不过也有一些细菌对牙齿是有害的，比如变形链球菌

(*Streptococcus mutans*) 和乳酸杆菌 (*Lactobacillus*)，它们代谢产生的乳酸会破坏牙釉质。通常情况下，这些细菌在口腔中的密度很低，不足以对牙齿造成永久性伤害。它们的数量会受到链球菌属的轻型链球菌 (*Streptococcus mitis*) 和血链球菌 (*Streptococcus sanguinis*) 等有益菌的限制。这些细菌可以产生碱性物质和抗菌蛋白，从而抑制有害菌的生长。除此之外，唾液也可以缓冲乳酸的攻击，并且将牙齿包裹在含钙和磷酸根的环境中，帮助其表层重新矿化。在过去几亿年间，牙齿一直维持着这种破坏与修补的平衡状态。在哺乳动物的口腔中，也观察到了有益和有害细菌的普遍共存。这种相对稳定的口腔微生物环境被英国牛津大学 (University of Oxford) 的凯文·福斯特 (Kevin Foster) 及其同事称为“被宿主控制的菌群生态系统”。

这种平衡一旦被打破，就会诱发龋齿。比如，富含碳



水化合物的饮食会利于产酸细菌的增殖，并导致口腔的 pH 值下降。在这种酸性环境下，变形链球菌和其他有害细菌会更加猖狂，还会制约有益细菌的生存，从而进一步降低环境 pH 值。这一连串的过程被临床研究者称为“菌群失调”（dysbiosis），即口腔菌群的稳态被打破，有害细菌占据了口腔微生物组的主导地位。此时，唾液修补牙釉质的速度赶不上其破损的速度，就形成了龋齿。常见的蔗糖尤其容易引起这种麻烦。利用蔗糖，有害细菌可以形成一层厚厚的牙菌斑，牢牢粘附在牙齿上。即使没有食物来源，牙菌斑中储存的能量也足够它们消耗，这也就意味着牙齿会更持久地暴露于酸性物质的攻击。

很早之前，考古学家就提出，在约 1 万年前的新石器时代，人们从采集转变为耕作的生活方式和龋齿的出现存在联系。这是因为小麦、水稻和玉米富含可用于发酵的碳水化合物，正符合了产酸细菌的需求。例如，美国俄亥俄州立大学（Ohio State University）克拉克·拉森（Clark Larsen）的研究团队发现，在美国佐治亚州沿海地区，玉米得到广泛种植后，人类遗骸中龋齿的患病率增长了 5 倍以上。当然，牙科疾病的患病率和农业的关系并非如此简单。在不同的时间和地区，早期农民的龋齿患病率差异很大。一些狩猎 - 采集者如果经常吃蜂蜜，他们的牙齿上也会布满龋洞。

龋齿率的真正激增，出现在工业革命时期。我们的食物经过了更精细的加工，蔗糖也广泛出现于餐桌上。加工过的食物通常更柔软，需要的咀嚼过程更少，无法磨平牙齿的小凹陷或缝隙，给牙菌斑提供了良好的生存空间。

不幸的是，由于牙齿的发育过程特殊，我们的牙釉质不能像皮肤、骨头一样重新生长。从肉鳍鱼的鳞板开始，

这种局限性就已经存在了。在牙釉质形成过程中，成釉细胞（ameloblast，一种形成牙釉质的细胞）会由牙齿内部向外迁移，最终到达牙齿表面，迁移的痕迹就形成了釉柱。我们的牙釉质之所以无法生长，就是因为在牙冠发育完整以后，这些成釉细胞就消失了。而产生牙本质的成牙质细胞（odontoblast）的迁移方向与成釉细胞完全相反，它们会向内移动最终到达牙髓腔。在个体的一生中，这些成牙质细胞都可以继续产生牙本质，从而修复和替换磨损或受伤的组织。如果牙本质遭到了更严重的伤害，新鲜的细胞会形成牙本质层，以保护牙髓腔不受伤害。

然而龋洞却可以突破自然防护感染牙髓腔，最终使牙齿完全坏掉。相比过去漫长的生命演化历程，工业革命后的几个世纪短暂如白驹过隙，根本不足以让我们的牙齿适应如今高糖分、精加工的饮食结构。

颌骨压力的缺失

如今，口腔正畸也成为了一项普遍需求。约 9 成的人都至少存在轻微的牙列不齐或咬合错位的问题，四分之三的人都存在无法正常萌出的智齿。简单来说，这是因为我们的牙齿和颌骨并不匹配。其根本原因也和龋齿一样，是现代人类全新的饮食内容破坏了口腔环境的平衡。

早在 1920 年，澳大利亚著名的口腔正畸医生贝格（"Tick" Begg）就注意到了这种牙颌不匹配的现象。他发现相比具有欧洲血统的牙病患者，以传统方式生活的澳大利亚原住民的牙齿磨损程度更高。但是，这些原住民的牙弓形态却很完美，他们的前牙非常整齐，智齿也能够正常萌出并发挥作用。贝格认为，自然状态下相邻牙齿间的磨损会给口腔腾出更多的空间。他相信颌骨的长度在演化过

插图：珍·克里斯琴森 (Jen Christiansen)

程中已经被“设计好”了。我们的牙齿本是为了研磨坚硬的食物而生的，但现代柔软、精加工的食物打破了牙齿尺寸和颌骨长度间的平衡。

基于这样的假设，贝格发明出一套矫正牙齿的方法，一直以来这一方法都被业界认为是“金标准”。这种方法需要拔掉前臼齿（位于犬齿与臼齿之间）以腾出空间，再用金属丝将其他牙齿箍起来，达到拉伸牙弓、让空缺消失的效果。在贝格提出这一方法以前，其他口腔正畸医生也曾试图用金属线拉直扭曲的齿列，但是他们并没有拔除前臼齿，这就导致本该被拉直的齿列反而更扭曲了。事实证明，贝格的方法的确有效，并能使患者受益终生。贝格甚至建议儿童嚼一种含有碳化硅微粒的口香糖，来磨低牙齿，这样他们以后就不需要进行口腔正畸了。

贝格关于牙齿与颌骨之间不匹配的观点是正确的，但是他搞错了一些细节。美

国南伊利诺伊大学（Southern Illinois University）的人类学家罗布·科鲁奇尼（Rob Corruccini）在研究中指出，牙弓形态的关键不在于牙齿的磨损，而在于进食时颌骨感受到的压力。而且问题也并非是现代人的牙齿没有磨损，而是颌骨太小了。

早在 1871 年，查尔斯·达尔文（Charles Darwin）就在《人类的由来》（*The Descent of Man*）一书中提出颌骨大小与受到的压力相关。但科鲁奇尼首次给出了确凿证据。他当时刚开始在南伊利诺伊大学任教，一位从附近肯塔基州农村来的学生告诉他，他们那里的老人过去只能吃难嚼的食物，而现在的年轻人可以吃到精加工的食物。进一步的研究表明，尽管几乎没有接受过专业的牙齿保养，但老年居民的牙齿咬合状况却比年轻人更好。科鲁奇尼用食物的坚硬程度解释了这一差异。随后，科鲁奇尼又寻找了很多其他的研究样本，包括美国亚利桑那州尚未和已经从商店买到食物的皮马人（Pima），印度昌迪加尔吃糙小米和韧性蔬菜的农村人，以及作为对比的吃软面包和豆泥的城市人口。

科鲁奇尼解释道，自然条件下，婴儿咀嚼食物时会给颌骨压力并让其生长，最终牙齿的大小应当正好适合颌骨。当颌骨在发育中没有得到应有的刺激时，前部的牙齿就会变得拥挤，并导致后部牙齿阻生。他对猴子做的实验也证

明了这一理论，那些喂了更软食物的猴子的颌骨较小，也更容易出现牙齿阻生。

根治口腔疾病

从演化的角度看，人类生态的转变导致了我们的牙齿疾病。这一全新视角有利于研究者和临床医生从根本上解决口腔问题。目前的治疗手段会对牙冠进行窝沟封闭，使用氟化物修补或强化牙釉质，但是这些措施都不能从根本上调节菌群。一些具有杀菌效果的漱口水的确可以杀死引发龋齿的细菌，但它同样也会杀死有益菌种，而这些菌种

是我们已经演化出来应对有害细菌的。受到最近微生物组学治疗方法的启发，研究者已经开始尝试改造牙菌斑的环境。我们即将迎来引入口腔益生菌、靶向抗菌药物和微生物移植等新疗法。

对于口腔正畸方案，我们也要考虑自然条件下的口

腔环境。牙科医生和正畸医生开始意识到，精加工的婴儿食物改变了婴儿面部和颌骨的应力分布。咀嚼造成的压力会激发儿童颌骨和面中部骨骼的正常发育，而以糊状的婴儿食物喂养孩子会导致这些部位长期得不到充分发育。有时，这一问题的影响比牙列不齐更为严重：一些专家提出这样会导致气道狭窄，并可能诱发睡眠呼吸暂停综合征。

没有人想让蹒跚学步的孩子被太硬的食物噎到，但比起豌豆泥来说，我们也许能找到更合适的食物帮助孩子断奶。近几年诞生了一门新的产业，专门致力于帮助孩子打开气道，促进颌骨的正常发育，帮助牙齿自然排列。我们有一系列有效的口腔问题治疗方法，但是如果我们能像祖先一样，用咀嚼强度更高的食物来喂养孩子，也许很多人就可以避免这些治疗了。■



当下颌骨过短时，智齿就不能正常萌出。

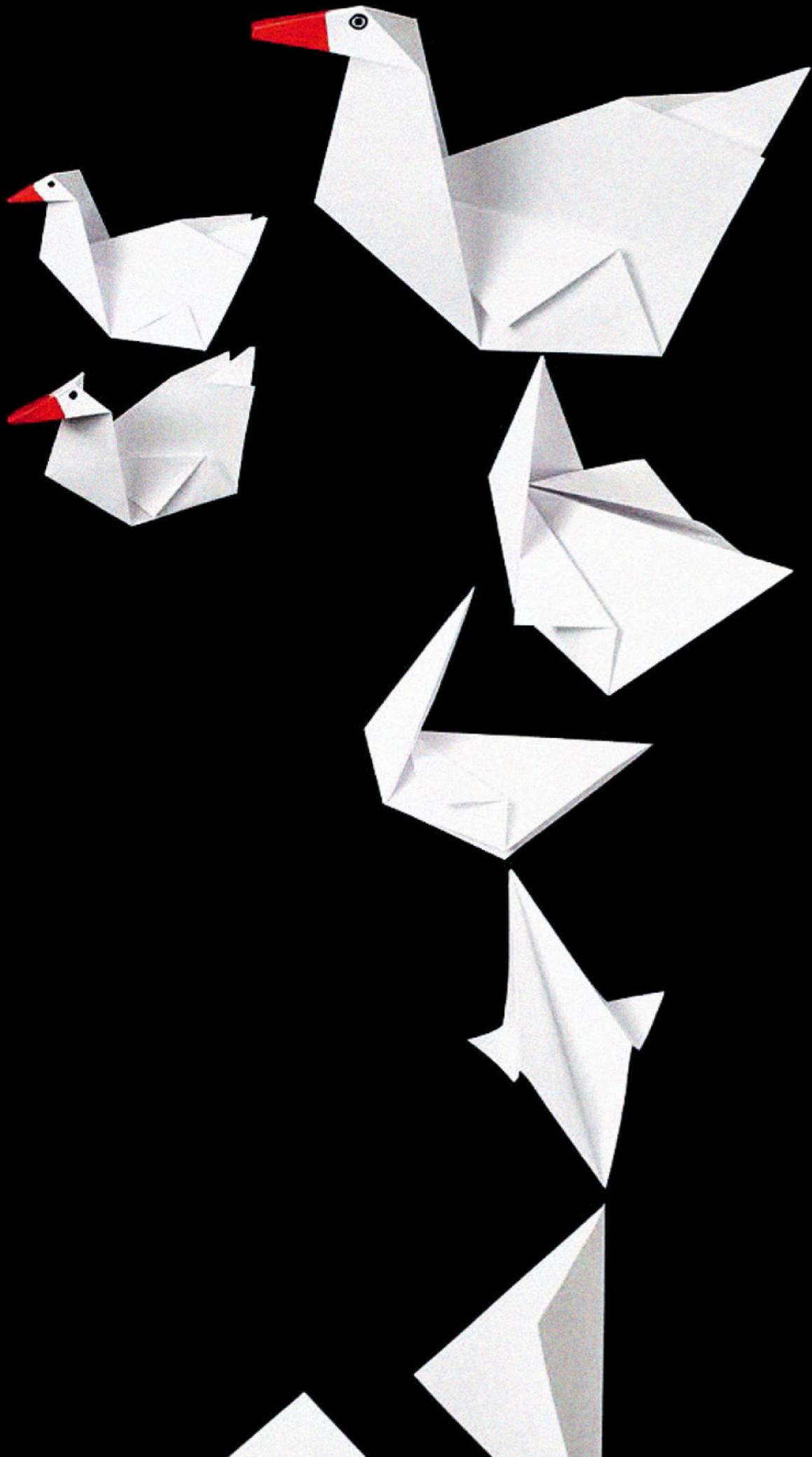
本文译者 郭林是中国科学院古脊椎动物与古人类研究所硕士研究生，研究方向为古人类学。

本文审校 赵凌霄是中国科学院古脊椎动物与古人类研究所研究员，主要从事古人类学领域的研究。

扩展阅读

Evolution's Bite: A Story of Teeth, Diet and Human Origins. Peter S. Ungar. Princeton University Press, 2017.

The Real Paleo Diet. Peter S. Ungar; July 2018.



图片来源：玛格丽塔·德尔皮亚诺 (Margherita del Piano)

All the Animals of the World

动物形态 还会更多样吗

在寒武纪以及随后几个地质年代中，动物不断探索着全新的形态，
却从未填满全部的形态空间。

撰文 特尔莫·皮耶瓦尼 (Telmo Pievani) 翻译 冯盈哲

在地球的生命演化历程中，拥有不同组织和器官的多细胞有机体可谓姗姗来迟。直到不早于6亿年前，也就是单细胞生物统治了地球约30亿年后，多细胞生物才出现。原因何在？动物形态多样性的演化，困扰了古生物学家一个半世纪。这仿佛是一部科学侦探小说，其主题可以概括为3个相关的问题——化石记录中，那些“姗姗来迟”的动物为什么会突然涌现？在最早动物群中，这些动物的解剖学结构都已成型，而且物种间也呈现出复杂的生态关系，但为什么找不到形态更简单的直系共同祖先？最后，从5亿多年前的寒武纪生命大爆发至今，为什么很少有全新的基础躯体结构 (bodyplans) 出现？

躯体结构指的是能够定义一组拥有共同祖先的动物的全部结构特征（包括身体对称性、体节、四肢、附肢等）。比如，所有节肢动物（包括昆虫纲、甲壳纲、三叶虫纲和蛛形纲等）的躯体结构，都表明它们是具有外骨骼、分节的身体和可活动的附肢的无脊椎动物。

寒武纪生命爆发之谜

对于寒武纪生命爆发之谜，地质学家罗德里克·麦奇生（Roderick Murchison）在 1854 年提出了一个简单且令当时的人们感到欣慰的解答：早期的多细胞生物（当时的科学家认为，这是地球上开始出现复杂生命的最古老证据）只可能是神灵的创作产物，那些躯体结构是为随后的生命形态演化而设计好的模板。

5 年后，查尔斯·达尔文（Charles Darwin）在《物种起源》（*Origin of Species*）中引用了麦奇生的假说，并否定了生命起源于寒武纪的观点。达尔文的推断引发了广泛且持久的讨论。达尔文理论的支持者认为，前寒武纪存在形态更加简单的生物，并且是已知的寒武纪生物的祖先。人们之所以对这段“不可见的生物”时代一无所知，是因为前寒武纪的古生物学记录不完整，特别是缺乏软组织的相关证据。“显生宙”（从 5.42 亿年前至今），这个表示地球上开始出现可见生物的地质阶段，就由此得名。

换言之，达尔文认为寒武纪的化石记录代表的不是真正意义上的生命爆发，而是古生物领域的“视觉假象”。寒武纪可能是那些具有坚硬的骨骼或贝壳等可以形成化石的生命的开端，却并不是所有生命的起点。真正爆发的不是生物的种类，而是化石证据的数量。

在今天看来，达尔文的观点在很大程度上是正确的：最早的单细胞生命在 37.5 亿年前就出现了，早在寒武纪之前，单细胞有机体的原始生物群就已经蓬勃发展。而在前寒武纪的最后阶段，已经出现了许多生物的爆发。譬如在埃迪卡拉生物群，出现了形态各异的多细胞动物，它们生活在至少 5.79 亿 ~5.42 亿年前，其中部分生物身形扁平，由多个环节组成。还有 5.48 亿 ~5 亿年前的托莫特生物群（包含一些分类尚不明确的小型有壳动物化石，与寒武纪三叶虫、珊瑚虫以及海绵相似）和蓝田生物群（2011 年《自

特尔蒙·皮耶瓦尼是意大利帕多瓦大学生物学及哲学教授。



然》杂志首次报道了该生物群的 3000 余具化石，可追溯至近 6 亿年前，包含了 15 种海藻和无脊椎动物）等。

然而，我们至今仍不清楚，寒武纪之前生物形态的多样性与寒武纪早期清晰、稳定的形态之间有着怎样的联系。除了海绵和腔肠动物（例如水母和珊瑚虫），现今地球上所有的动物都源自寒武纪生命大爆发。在生命大爆发早期，生物躯体结构的主要差异（包括其复杂性、结构和尺寸），似乎完全或至少很大程度上就已经出现。早期的爆发之后，演化似乎转向了多样性，即已成型的基本躯体结构在细节上的不同。这些结构内部细小的差异能够将动物按门进行分类（动物界的门区分的是动物的基本躯体结构）。

那么，主要躯体结构的演化在早期都已经完成，此后就只剩下局部的调整吗？达尔文这样的渐变论者显然不会认可这样的说法。1872 年，达尔文在新版《物种起源》的第 10 章中就直面寒武纪的谜团，他提出：“如果有很多属于同一科或属的动物在某个时间段突然出现，这对于基于自然选择的进化论来说或许是致命的……目前我们无法解答这个问题，它或许是一个反驳现有观点的有力论据。”

事实上，达尔文设想的前寒武纪的生命形态已经被我们找到，但我们仍无法确定它们是否就是寒武纪生物的祖先，因为两者间的差异甚大。2010 年 7 月，根据《自然》杂志的报道，位于加蓬的弗朗斯维尔盆地出土了形似多细胞的有机体（后于 2019 年通过其他研究得到证实），其历史甚至可以追溯至 21 亿年前。它所有的细胞可能都是由最初的细胞克隆产生，这些细胞协同生长，与今天的变形虫相似。它们适应了沿海富氧环境中生存。不久后，也就是距今 20 亿年时，谜一般的卷曲藻（*Grypania spiralis*）出现了。它们可能是一种管状的真核生物群，也可能属于细菌或者大型海藻。

但真正的问题在于之后生命形态的发展。1989 年，古生物学家斯蒂芬·J·古尔德（Stephen J. Gould）在科学散文著作《奇妙的生命》一书中反对了强行用现代分类

精彩速览

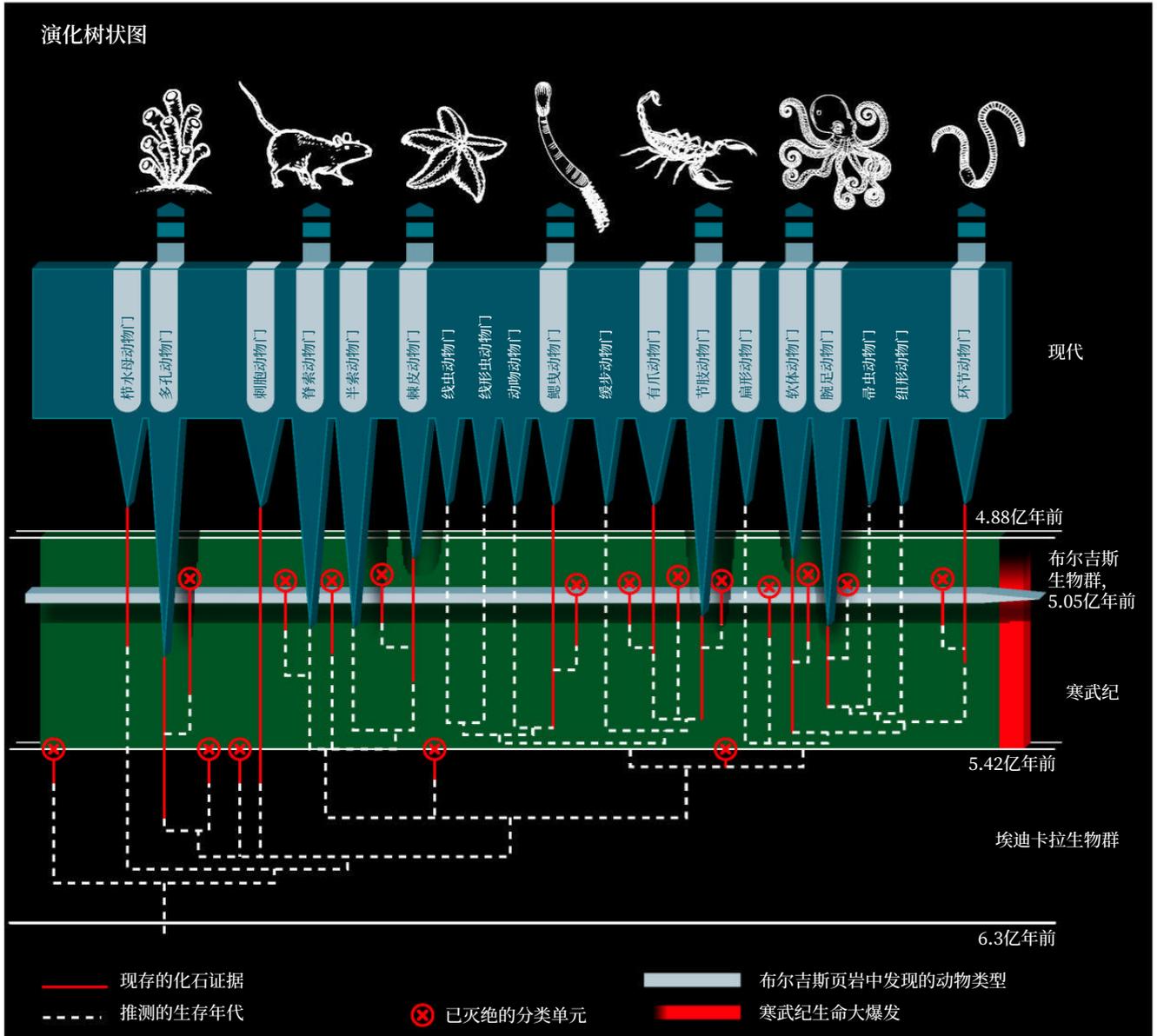
近一个半世纪以来，对于动物形态多样性的演化，科学家一直争论不休。

一些人认为动物形态差异性的演化在 5 亿多年前

的寒武纪已经完成，另一些人则认为在此后的几个地质年代中，动物仍在逐步探索可能的形态。

一项近期研究表明，一部分动物形态空间在动物

演化初期迅速出现，而另一部分则在随后的演化进程中逐渐完善。



寒武纪生命大爆发期间动物的起源和多样性。锥状图展现了现代动物类群的起源及多样性。布尔吉斯生物群中已经演化出了动物的基础躯体结构。

制图：达尼洛·索西 (Danilo Sossi)，基于皇家安大略博物馆的原始图片制作。

学为寒武纪动物归类的想法，同时提出了一个激进的假说，认为动物间差异的演化可分为3个阶段。首先是寒武纪初期的爆发“实验”，这一阶段不仅迅速形成了如今几乎所有的基础躯体结构，还诞生了很多现已消失的结构；随后，大部分原始的躯体结构逐渐消失；最后，纲、目、科、属等在分类学上低于门的等级的多样性持续增加，但这样的变化仅发生在少数保留下来的门一级的分支内部。

在2008-2009年间，一些研究证实了埃迪卡拉生物群也可能经历了3个相似的演化阶段：躯体结构从最初的多多样性爆发，到相对稳定的发展，再到最后以多样性的下降收尾。

30年后，古尔德的实验演化-消亡模型遇到了两个问题。首先，没有证据能证实寒武纪后，奥陶纪动物的躯体结构数量急剧减少；同时，寒武纪许多形态奇特的生物（譬如在加拿大落基山脉的布尔吉斯页岩上留下软组织化石的生物）此后都被证实是当代动物的原始祖先（主要是原节肢动物亚门、有爪动物门、环节动物门、软体动物门、棘皮动物门、鳃曳动物门和原索动物门），或与原始祖先有亲缘关系。准确来讲，寒武纪的许多生物属于干群(stem group)。在某个共同祖先演化的过程中，许多后代分支在中途消亡了，只有部分分支演化至今，成为了现生的生物，也就是我们说的“冠群”。而这些消亡了的分支就被称为

干群。

不过，没有人会认为寒武纪的浅海中平平无奇。研究者都相信，动物形态的诞生具有疯狂的创造性，那是一段伴随着躯体结构剧变的演化实验期。难道果真如同加利福尼亚大学伯克利分校的詹姆斯·W·瓦伦丁（James W. Valentine）和美国史密森尼自然历史博物馆的道格拉斯·欧文（Douglas Erwin）等古生物学家设想的那样，动物间的结构差异是在早期就突然演化出来的吗？又或者，动物在寒武纪之后的地质年代才逐渐演化出可能的形态？来自西佐治亚大学、达特茅斯学院、布里斯托大学和巴斯大学的古生物学家在近期发表于《美国科学院院刊》的研究中，得出了一些有趣的新结论。

形态空间图

首先，我们该如何衡量生活在远古时期，与我们大相径庭的动物的躯体结构差异呢？实际上，许多可以用来评估躯体结构差异的关键特性却未能留下化石证据，比如软组织。布里斯托大学的菲利普·多诺霍（Philip Donoghue）教授和其他作者认为，如果仅基于骨骼化石来比较动物形态（即形态学分析），并依照现生生物的分类法（主要指由瑞典自然学家林奈在18世纪归纳的林奈分类法）进行分类，就会导致像古尔德这样的学者错误地支持早期差异性大爆发的观点。也就是说，寒武纪动物形态结构多样性的爆发有可能被夸大了。

生物分类学从高到低分为界、门、纲、目、科、属、种。对于分类学中纲以下的较低等级，上述理论是基本可行的。然而，当我们按照这种方式界定生物所属的门，并比较不同的界时（林奈认为，生物只分为植物界和动物界两种，而现在我们认为至少存在6个界——细菌界、古细菌界、原生生物界、真菌界、植物界和动物界），必须采用更系统和量化的方法。所以，需要建立一个全局的“形态空间”（morphospace），这个数学坐标系能够囊括所有生物（从原生生物到后生生物；从现生生物到已灭绝的古生物）的躯体结构差异。

基于这一设想，论文作者首次绘制出能够衡量所有现生动物的躯体结构差异特征的图表。图表包含了1800种性状，其中一些性状只有某个分类单元（此处指纲和目）具有，而另一些性状则由多个分类单元共享。从细胞层面、发育、性别、骨骼解剖学特征到软组织，这些性状囊括了动物方方面面的形态特征。随后，这一模型被应用于已灭绝的动物。在对212个类群进行比较和计算后，研究团队

将它们分为34个门。

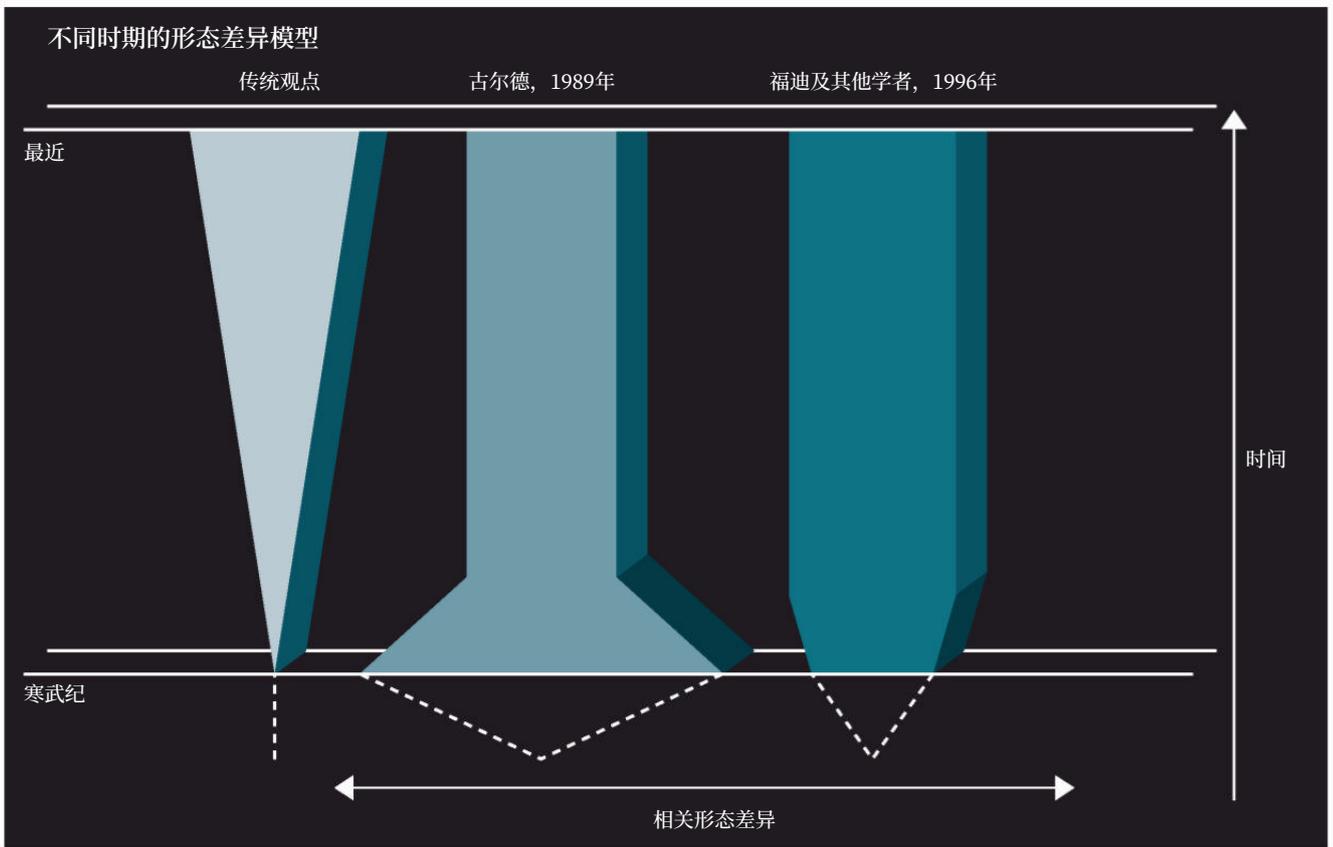
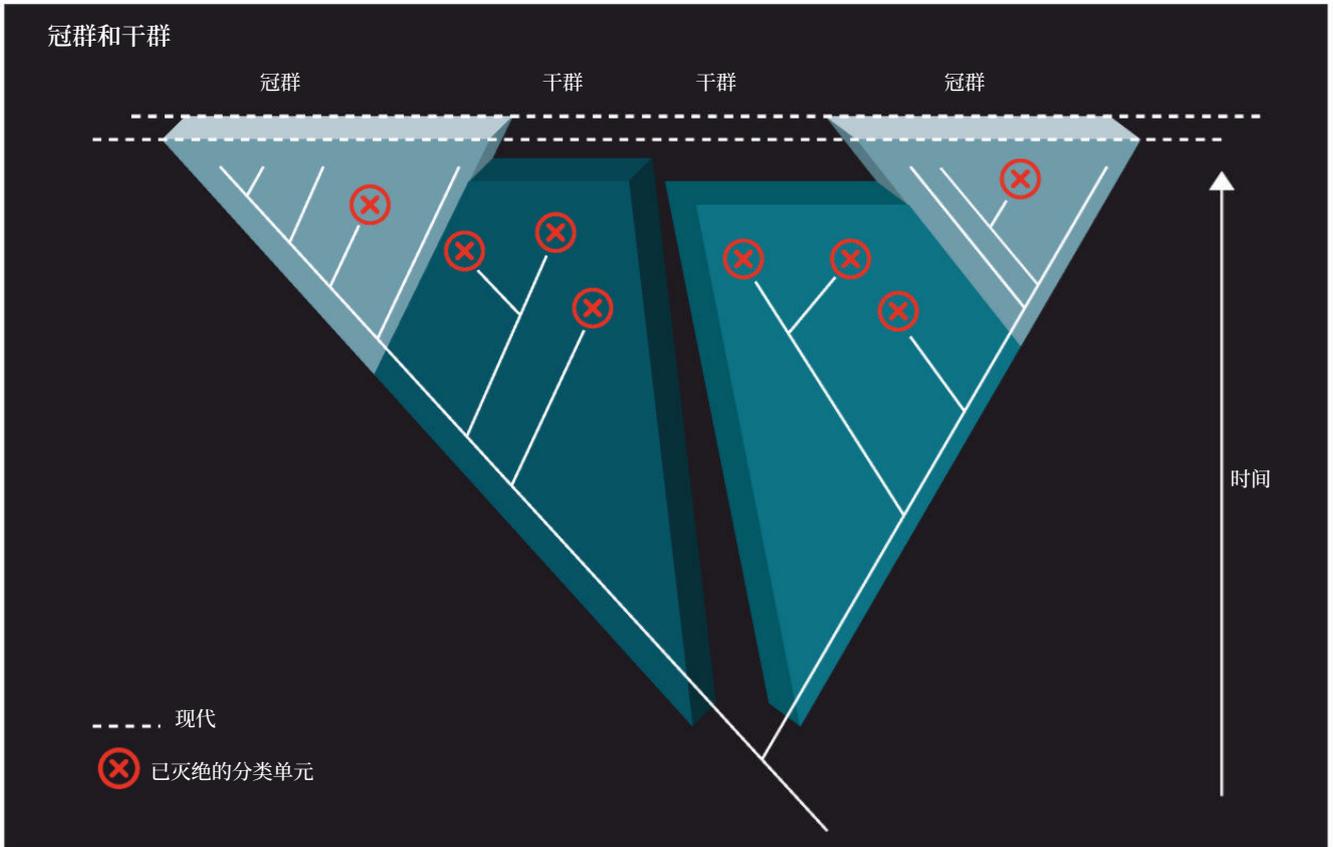
研究团队仔细筛查了动物的所有基本躯体结构，其中就包括环节动物门、节肢动物门、腕足动物门、脊索动物门（其中一个脊椎动物亚门包含了鱼类、两栖动物、爬行动物、鸟类以及哺乳动物）、腔肠动物门、栉水母动物门、棘皮动物门、软体动物门、轮虫动物门、缓步动物门、有爪动物门、线虫动物门和许多其他蠕虫的门类。

由于多孔动物门（海绵）和扁盘动物门（与变形虫相似的小型海洋生物）在动物多样性演化初期就与其他动物分开，呈现出的形态非常原始，因此它们被用作对照组。这张图表不仅反映了门内的形态差异，还有门与门之间的区别。在图表展示的形态空间中，5个彼此间具有巨大差异的门占主导地位，它们分别是节肢动物门（无脊椎动物中的节肢动物门涵盖范围极广，例如昆虫、甲壳纲动物、蛛形纲动物、多足纲动物以及已灭绝的三叶虫纲动物）、环节动物门（例如蚯蚓和水蛭）、棘皮动物门（例如海马和海胆）、软体动物门（例如头足纲动物、双壳纲动物和腹足纲动物），还有包含我们人类的脊索动物门。

到这里，研究者的讨论仍围绕着现生动物。随后，论文作者在形态空间中加入了70个寒武纪的化石分类群，以及111种它们独有的性状。其中，约有一半的性状难以在化石记录中保留下来，此时，研究者会将其排除，或是依据谱系关系推测其性状（比如观察其近缘类群或后代是否具有这一性状）。

当我们把现存动物的形态空间叠加在这些化石的形态空间上，线索便浮出水面。尽管曾经被高估，但对于动物界的大部分门来说，最显著的差异性确实在寒武纪就已经显现出来。古尔德、达尔文和瓦伦丁的这一假设得到了证实。然而，形态空间显示，最为成功的类群，例如节肢动物、脊索动物，以及略逊一筹的环节动物、棘皮动物及软体动物，在寒武纪后仍保持着稳定的发展。因此，最终的结果是，动物类群的差异性自5亿年前开始增加，而不是如古尔德的实验演化-消亡模式中所预言的那样减少。

但这还不是完整的答案。由于基因调控网络限制了动物躯体结构的发展，在寒武纪（例如布尔吉斯页岩化石）之后，动物类群的多样性再也没有出现过实质性的创新。趋同演化（在相似的环境压力下，亲缘关系较远的动物也能演化出相似的适应性特征）导致了一些动物门的重叠，换句话说，动物演化出具有相同功能，彼此相似的解剖学特征。在泥盆纪晚期（3.9亿~3.6亿年前），对陆地环境的适应推动了一批新性状的演化，这一点在两栖动物、爬



制图：达尼洛·索西 (Danilo Sossi), 基于皇家安大略博物馆的原始图片制作。

上侧图片展现了冠群和干群的区别。下侧展现的是关于不同时期的相关形态差异的不同理论。根据斯蒂芬·古尔德的观点，寒武纪时发生了一场爆发式的实验演化，在此之后迎来的则是大灭绝。福迪等人则认为，在寒武纪之前，已经出现了生物形态多样性的爆发。

行动物、鸟类和哺乳动物中尤为明显。

但这种多样性的增加不足以使那些关于演化的旧观点重返舞台。动物的演化史并不一定要经历从原始到复杂（比如在演化初期，生物就会产生许多不同的特征）、从初具适应性到实现功能最优化（譬如在布尔吉斯生物群中，我们就已观察到与视力和捕猎能力演化有关的特征）、从少数几个相似的基础分支衍生出差异巨大的分支（形态的差异在早期就十分明显）的过程。演化并不是一个不断进步的过程，而是一个探索各种可能性的过程。

缺失的形态空间

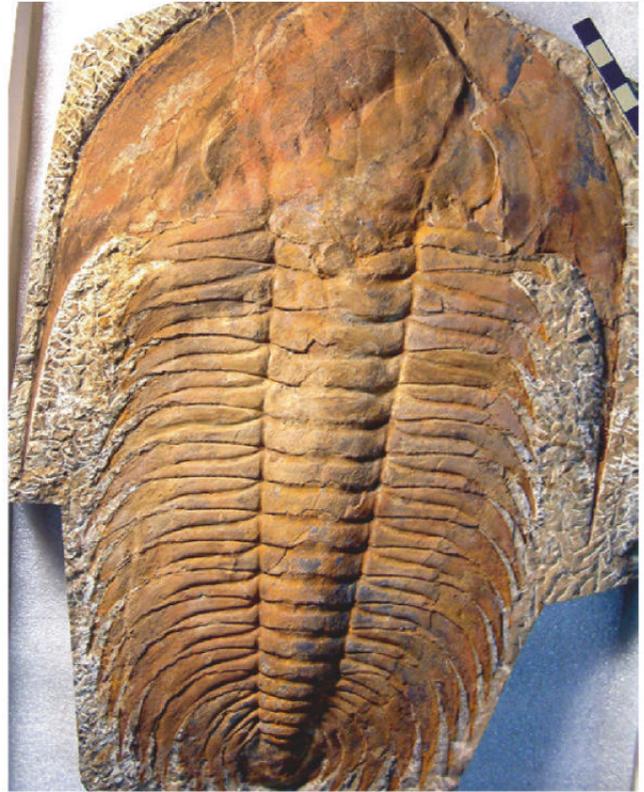
因此，动物的形态空间经历了两段发展历程：一部分在寒武纪的后生动物的早期演化过程中迅速成型，另一部分则在随后的演化过程中逐渐形成。然而，这两段发展历程似乎并没有填满所有的演化可能性。这就引发了动物多样性演化的另一个谜团。

对于一些躯体结构模式（例如甲壳纲动物、脊索动物等）或某些特定的性状（如蜗牛的贝壳形状），可以利用数学模型建立一个假想的空间，其中包含所有可能的性状组合。我们将其定义为“局部形态空间”，这种形态空间仅受限于少数几个参数。理论上，演化的可能性包括了所有的局部形态空间，可以在笛卡尔坐标系上利用明确的定量参数加以限制。这样一来，就能够对比所有理论上可能存在的形态空间与现实中的形态空间，后者包括了某类群中所有已知的现生及已灭绝的生物。

研究者对比了不同动物类群的理想形态空间和现实形态空间，并得出了一个有趣的结论：演化似乎只探索了一小部分的可能形态，只覆盖了理想形态空间的少数区域，留下了大片的空白地带。而这篇论文告诉我们，在对前文提到的数百种特性进行计算后，这种差异性不仅存在于某一类群的形态空间中，也出现在动物整体的形态空间中。该如何解释这种现象呢？

第一个可能的解释是，现实覆盖的区域集中了合适的适应方案，随后经自然选择，演化出了适应性最强的形态；而在空白区域，物种可能由于适应性过低而无法生存。塔夫茨大学的哲学家及认知科学家丹尼尔·丹尼特（Daniel Dennett）认为，形态空间应该是“可能性的空间”，除去某些特殊情况，自然选择能够促使动物向更有利的形态区域演化。

但也有例外。有时，一些位于不完美但尚可接受的形态空间的物种也能存活。另一方面，在大片可以保证物种



Acadoparadoxides briareus, 一种已灭绝的三叶虫，曾生活在距今 5 亿年前的寒武纪海洋中。

有较高的生存可能性的形态空间，但却没有任何物种出现。据此，研究者提出了第 2 种假说：受到基因、身体结构及个体发育的限制，任何动物都无法演化出这些形态。

又或者，还有第 3 种假说，那就是演化历程存在偶然性，这样的偶然性造成了形态空间的空白。例如，实现某些形态所需的突变尚未出现，那么这部分形态空间的就无法被填充。

无论如何，自地球上出现生命起，物种演化出的形态极限还是比前文提到的形态区域小，更何况其中 99.9% 的物种已经灭绝。在所有可能的躯体结构中，只有一小部分真正得以实现。在威廉·莎士比亚（William Shakespeare）笔下，哈姆雷特的那句名言似乎又回荡在耳边：“天地之大，赫瑞修，比你所能梦想到的多出更多。”的确，演化的可能性远远多于现实情况。我们所有用于理解自然的理论，都不及自然本身丰富。

现在，多诺霍带领的团队似乎找到了关于解释形态空间空白的第 4 种假说：如果将现存动物与化石的形态空间重叠，我们可以发现，动物形态在遥远的过去更加均一。或许到目前为止，我们的研究方向一直是错误的。空白区域的出现并不在于演化创新性的缺失，也不在于原先就存

在的限制，而在于自然界的“收割”——灭绝。

正如达尔文为《物种起源》中唯一一张树状图所展现出的不均一性提出的假设，在形态空间的一些区域内，过渡物种的消失非常突然，从而产生了一些我们今天在主要动物形态分类中所看到的空白区域，譬如节肢动物门和有爪动物门（一种有爪和触角的陆地蠕虫）之间的空白。当我们回顾布尔吉斯页岩中发现的那些奇怪生物，便可发现形态空间中的大量空白能够被填满。因此问题不在于动物缺乏探索空白区域的能力，也不在于寒武纪生命大爆发中偶发的不均一性，而在于接下来的演化过程中，很多过渡形态物种的存在痕迹都被清除了。

如果这个假说成立，我们将得出这样的结论：动物本身迟早会填满所有可能的空间形态，但其自身内部的限制、灭绝和生态剧变终结了这种可能性。到底什么才是推动动物持续探索形态空间边界的动力源呢？只是时间问题吗？又或者，我们必须假设存在有利于多样化发展的内部机制，例如基因组的增加、可利用的蛋白质种类的增加，或是新的基因家族的不断调整与扩张？

为了回答这一问题，论文作者使用同一方法研究了不同动物门的共同祖先，并将演化出的形态多样性与其他的生物数据库相结合。杜克大学的哲学家和生物学家丹尼尔·麦克谢伊（Daniel McShea）和罗伯特·布兰登（Robert Brandon）在2010年出版的《生物学第一定律》（*Biology's First Law*）一书中已经提出理论：动物多样性的发展可能是演化的内在趋势，它与机体形态的复杂性，即细胞种类多样性的增加相关。一个动物门的差异性及其内部多样性（物种的数量）也经历着相同的步骤。我们可以推测，随着细胞种类的增加、个体平均体型的增长以及物种多样性的丰富，动物多样性的增长是必然的。

然而，又该如何解释远古动物的形态差异呢？时间不是唯一的影响因素——最古老的动物门并不一定是内部多样性最丰富的。还需考虑产生差异的内在原因，或许基因就是之一。从《美国科学院院刊》那篇论文发布的数据来看，正如加拿大圭尔夫大学的遗传学家T·瑞安·格雷戈里（T. Ryan Gregory）所猜想的那样，形态复杂性的增加与基因组的增加紧密相关，但与基因数量以及相关的蛋白质并无关联。

所以，秘密或许就藏在基因调控，尤其是调控网络的扩张中。在更具多样性的门类中，微小RNA（miRNA，参与基因表达调控的非编码RNA小分子）家族的数量也更加庞大。这样一来，似乎耶鲁大学古生物学家德雷克·布

里格斯（Derek Briggs）的观点就能得到证实了。他认为，由于与发育相关的基因的出现，最古老的动物已经具备了发展出所有躯体结构的能力。

尽管如此，我们仍需记住，任何真实存在的动物，都未曾涉及理想形态空间中的绝大部分区域。对于这一迹象，论文作者认为，后动物的基本躯体结构使得它们不可能占据大部分的空白区域，但这并没有阻碍后动物在泥盆纪晚期的多样性飞跃。当时的部分动物（主要是脊椎动物门、节肢动物门和环节动物门）打破了水环境的限制，开始在全新的陆地世界中生活。不仅如此，它们开始探索新的形态空间。这不仅证明了动物在寒武纪后并没有丢失创新能力，还证明外部因素，例如生态环境的扩张，能在演化中发挥关键作用。

复杂的生命

如今，科学家们不再固守于单一理论的对错，而是开始从更多的角度诠释生命演化的历程。动物多样性的形成既非断点式的跃进，也非循序渐进的渐变，而更像是一种高频率与低频率突变的间断平衡。

同样，内部（基因）与外部（生态环境）因素对演化的影响并不会相互抵消，而是会相互作用。基因就像工具箱一样，尽管不可或缺，但不足以构成全部的条件。正如最近发表于《自然·地球科学》的一项研究中所指出的，从全球性冰川的消退，到大气和海水中氧气含量的上升，自寒武纪早期以来，生态环境的因素也推动了生命演化的进程。

正如达尔文所述，自然法则与命运在演化中交替发挥着作用。其结果是一段引人入胜的生命演化史，未来仍有惊喜等待我们去发现。这段历史也与我们紧密相关，因为在寒武纪过去很久之后的某一天，在脊索动物门的形态空间内，智人（*Homo sapiens*）出现了。■

扩展阅读

Evolution of Metazoan Morphological Disparity. Deloigne B. e altri, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 115, n. 38, pp. E8909-E8918, 18 settembre 2018.

Biology's First Law. McShea D. e Brandon R., University of Chicago Press, Chicago, 2010.

Possible Links Between Extreme Oxygen Perturbations and the Cambrian Radiation of Animals. He T. e altri, in «Nature Geoscience», Vol. 12, n. 6, pp.468-474, 6 maggio 2019.

The Cambrian Explosion: the Construction of Animal Biodiversity. Erwin H.D.e Valentine J.W., Freeman, New York, 2013.

在美国的基拉戈岛，林鼠的生存空间不断在缩小。
野猫对它们的威胁已经不容忽视。





CAT ★ VS. ★ WOODRAT

野猫： 野生动物的噩梦

猫是人类最爱的宠物之一，但是流浪猫却是各地野生动物面临的最残酷的杀手。这些流浪猫甚至将北美一种特别可爱的林鼠逼入了绝境。

撰文 卡丽·阿诺德 (Carrie Arnold) 翻译 薄亭贝 审校 王德华



卡丽·阿诺德是一位科学记者，主要关注健康与环境
保护。她与丈夫一起生活在美国弗吉尼亚州。

拉尔夫·德盖纳 (Ralph DeGayner) 知道，他所面对的是“连环杀手”。目之所及，大量的受害者都遭到了攻击，许多连喉咙都被撕裂了。连续几个星期的早上，年过80的德盖纳都会沿着基拉戈 (Key Largo) 的905号公路行走，这条路贯穿美国鳄鱼湖国家野生动物保护区 (Crocodile Lake National Wildlife Refuge)。瘦骨嶙峋的德盖纳看到，无数的尸体被埋在树叶下，而被掏空内脏的林鼠越多，他就越失望。

“一定是猫干的！”，在佛罗里达州灿烂阳光下，他蓝色的眼睛显得更加明亮了，“这就是野猫攻击林鼠的方式。我不需要更多的证据。”即便在5年后，当德盖纳回到林鼠被“大屠杀”的现场，他依然感到无比愤怒。他转身向北，瞪着海大洋礁俱乐部 (Ocean Reef Club)。这是一个富人社区，里面生活着数以百计的野猫。

德盖纳晚年的主要工作是拯救濒临灭绝的基拉戈岛林鼠 (Key Largo woodrat)。除了钓鱼之外，这位退休的热水浴缸推销员还在野生动物保护区做志愿者。这个保护区是在20世纪90年代后期启动的，里面可爱的林鼠很快就吸引了他的注意。这些啮齿动物一直生活在基拉戈亚热带森林茂密的冠层下，与鳄鱼、蛇以及其他猛禽和谐共存。德盖纳还发现，这些浅褐黄色的小动物可以建造精美的巢穴。即使人类在这里开垦土地种植菠萝，建设导弹发射井、石油井架和豪华公寓，这些林鼠还是幸存了下来。但野猫却是另一种威胁，这种威胁之所以特殊，在于并不是所有人都认为猫是一种威胁。

15年前，保护区的自然资源保护者与迪斯尼公司合作，在奥兰多的动物王国 (Animal Kingdom) 开展了一项繁育计划，以此挽救濒临灭绝的林鼠。多年后，野生动物学家成功地养育了大量林鼠。不过，真正的考验在于，它们

被重新放归基拉戈后能否在当地很好地生存和繁衍。

德盖纳相信，如果能把野猫都赶走，这些林鼠一定可以重新在基拉戈定居。事实上，持有这一想法的不止是德盖纳。当地的生态保护者已经多次要求喂养野猫的大洋礁俱乐部想办法控制这些野猫的数目。俱乐部有一个名为ORCAT的项目专门关注和喂养这些野猫，但项目负责人反对说，这些猫只是替罪羊，无论如何，他们也不可能把野猫都限制在25平方千米的范围内。在2010年到2011年间，生物学家在保护区内释放了27只标记过的林鼠。几周内，这些林鼠全都被猫捕杀了。德盖纳说：“他们花费了数百万美元来证明猫吃老鼠。”无奈之下，繁殖计划被取消了。正因如此，生态保护者和野猫保护者之间的矛盾进一步加剧了。

另一种解决办法

人类驯养猫不像驯养狗那样积极。因此，家猫和野猫之间的遗传差异远小于狗和狼之间的遗传差异。但是猫已经和人类一起生活了一万多年。早期农民储存的粮食吸引了鼠类，鼠类则把猫吸引了过来。后来，无论人类走到哪里，猫都会跟在后面繁衍生息。一只母猫可以在不到一年的时间内达到性成熟，之后每年都可以产下2~3窝小猫，每窝

精彩速览

在全世界范围内，野猫每年都会残杀数量巨大的小型野生动物。但是，由于缺乏深入的研究和分析，解决这个问题的办法却迟迟没有出现过。

在基拉戈岛上的一系列观察和研究，生动地展示了野猫入侵和林鼠危机之间的关系。深入研究游荡野猫的数量变化，以及它们对野生

动物的具体危害，能帮助生态保护学家，促成他们与爱猫人士的合作，更好地解决双方的问题。



图片来源：JOEL SARTORE; THIS PAGE: MICHAEL COVE North Carolina State University and USFWS

至少有 5 只小猫。因此，近几十年来，人们一直在抱怨猫的数量越来越多。

在过去 10 年中，科学家已经明确了野猫是世界各地野生动物的噩梦。因为野猫的数量是同等大小其他食肉类动物的 10~100 倍，它们的影响远比自然界中其他捕食者（如猛禽、浣熊和蛇）深远得多。在这座岛上，14% 的鸟类、哺乳动物和爬行动物的灭绝，都是由它们造成的。彼得·P·马拉（Peter P. Marra）是美国乔治城大学的生态学家，他和史密森尼学会候鸟中心（Smithsonian's Migratory Bird Center）以及美国鱼类和野生动物管理局（U.S. Fish and Wildlife Service）的同事在 2013 年做了一项评估。他们推测，野猫每年捕杀的鸟类最多，约 24 亿只。这些野猫每年还会捕杀 123 亿只啮齿动物和其他哺乳动物。随着野猫捕杀濒危野生动物的报道越来越多，类似基拉戈岛上的争论也越来越普遍。但是，人们依然不知道该如何解决这个问题。

历史上，“禁猫”只是指围捕和扑杀流浪猫。但考虑到猫的生育率非同凡响，即便采取了这样的措施，在很短的时间内猫的数量又会恢复到最初的水平。在过去几十年里，美国政府也采用了一系列具有创造性的策略反击，其中包括毒香肠、射杀器、致命病毒，以及在猫的皮毛上喷洒的有毒凝胶等。

但是，几乎所有方法都失败了。从事动物福利工作的人坚持认为，大规模屠杀不仅残忍，而且无效，因为仅在美国就有 7000 万~1 亿只野猫（广义的野猫包括家养后遗弃的流浪猫以及从未经家养的野猫）。

相反，爱猫的人士则主张人道诱捕，为它们消毒、接种疫苗、绝育，然后再把它们放回野外。这个过程就是“捕获-绝育-放归”，简称 TNR。如果野猫无法繁殖，随着时间的推移，野猫的数量就会减少。20 世纪 80 年代中期，加利福尼亚大学戴维斯分校兽医专业的学生朱莉·利维（Julie Levy）领导了美国第一个 TNR 项目。不到几年，

校园里所有的野猫都接受了 TNR，到利维毕业时，周围几乎已经见不到猫了。她回忆说：“大家都很高兴，我们找到了一种有效的替代方案。”

1993 年，TNR 项目获得成功的消息传到了大洋礁俱乐部的居民艾伦·利特曼 (Alan Litman) 耳中。当时，至少有数千只野猫在基拉戈岛三分之一的土地上游荡。此前的安乐死计划在很多当地人看来并没有起到作用。猫的粪便依然到处都是，业主们也一直在抱怨猫打架和求偶的噪音。由于利特曼的游说，大洋礁俱乐部决定尝试 TNR，通

几个世纪以来，人类几乎肆无忌惮地捕杀野猫，但是目前美国仍然存在数以千万计的野猫，这足以证明捕杀行动是失败的。乔治城大学的生态学家马拉则认为，偶尔大规模扑杀和有计划地把流浪猫清除出生态系统是两回事。

过业主委员会和私人捐款筹款，为 ORCAT 执行这个项目提供长期资金。利特曼雇佣了当地一家兽医医院的技术员苏珊·赫尔希 (Susan Hershey)，让她来领导这个项目。赫尔希回忆道，她是 1995 年来到这里的，如果当时有谁突然在街上放置了一罐食物，“立马会有七八十只猫从周围涌来。这种事很常见，也确实是一个棘手的问题。

白天时，赫尔希的大部分时间都在用罐装的食物诱捕野猫。但是，当野猫熟悉套路开始躲避陷阱后，赫尔希就需要不断改进她的方法。她捉到的很多猫都病了，需要执行安乐死，健康的猫则可以被人认领收养。然而，即便这些猫都是健康的，要与数以百计的猫在一起生活，还是一件让人毛骨悚然的事情。后来，赫尔希将这些猫送了回去，并在它们的左耳顶部做了一个标记。5 年来，她的队伍不断壮大，他们一起不停地抓猫，给猫做绝育。速度虽慢但值得肯定的是，大洋礁俱乐部的猫已经明显减少了。

冲突重现

ORCAT 取得成功的消息逐渐传遍了动物福利界。赫尔希成为 TNR 领域的名人，来自世界各地的访客都想学习“基拉戈项目”的经验。当地的问题还吸引了生物学家迈克尔·科夫 (Michael Cove) 在 2012 年前往鳄鱼湖国家野生动物保护区。当时他还是北卡罗来纳州立大学的博

士生。在那时，虽然大洋礁俱乐部的猫的物数量确实减少了，但林鼠仍面临严重的威胁。科夫想找出更好的方法保护它们。林鼠的活动经常会把野猫引入它们的栖息地。科夫不仅想记录死于野猫猎杀的林鼠数量，还想了解它们被攻击的细节，包括被攻击的地点和方式。对于生态保护学家而言，ORCAT 的存在反而是一个棘手的问题。

尽管从以色列、罗马到里约热内卢的研究均显示，TNR 可以持续减少野猫的种群数量，但美国鸟类保护协会 (American Bird conservation) 的生物学家格兰特·赛兹

莫尔 (Grant Sizemore) 解释说，达到这一步并不容易，因为要为足够多的猫绝育才有可能创造出这种稳步下降的趋势。

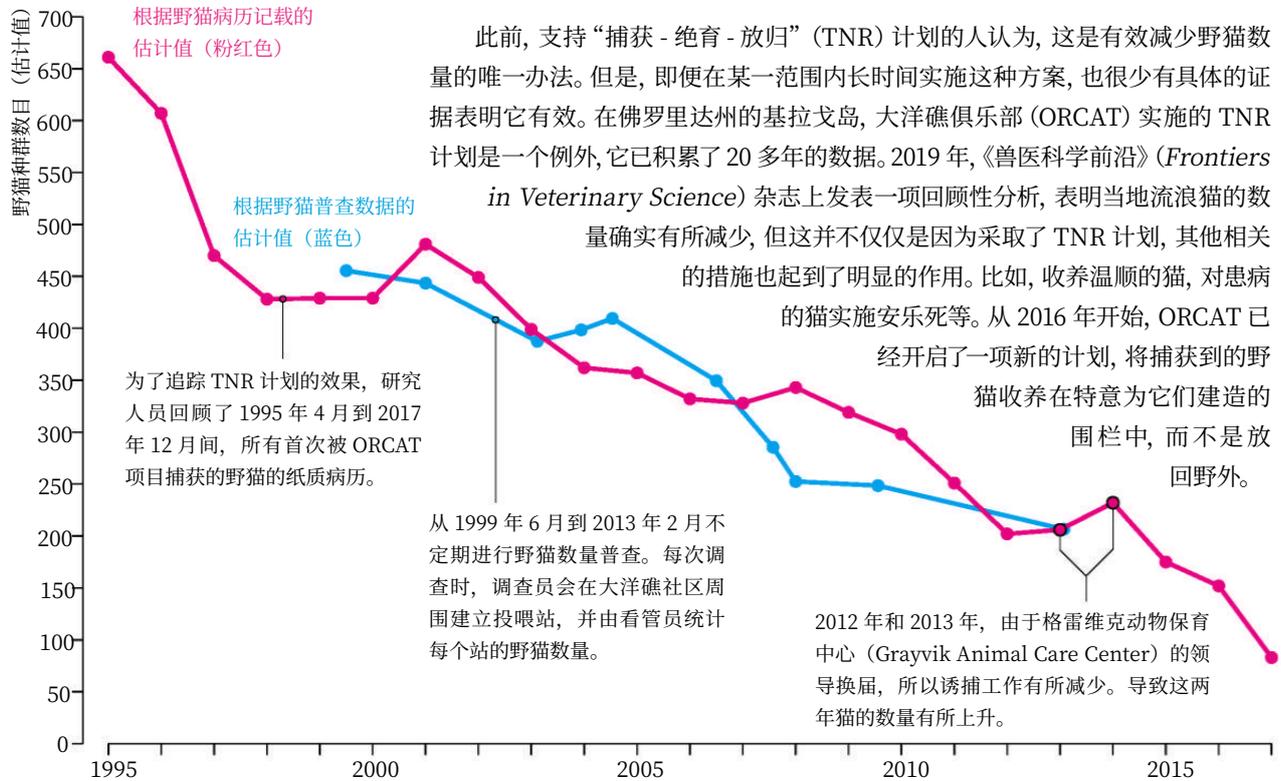
模型计算表明，只有超过 90% 的猫被捕获并且绝育后，才能完全控制它们的数量，但是诱捕这么多的野猫几乎是不可能的。这些野猫的繁殖效率如此之高，即使稍有疏忽就会导致它们的种群数量回升。

事实上，ORCAT 自己的数据就足以证明这一点。另外，科学家还发现，当存在一个专门照顾野猫的组织后，有人就会将不想要的猫丢弃到这些地区，这往往也项目失败的一个主要原因。当然，这也有助于解释位于封闭小岛上的 ORCAT 为什么会成功。赛兹莫尔说：“TNR 就像是一块遍体鳞伤时的创可贴。”

TNR 的支持者也承认这种方法并不完美。利维和赫尔希认为，尽管存在缺陷，但 TNR 是迄今为止唯一被证明有效的方法，它可以随着时间的推移减少野猫的数量。利维说，几个世纪以来，人类几乎肆无忌惮地捕杀野猫，但是目前美国仍然存在数以千万计的野猫，这足以证明捕杀行动是失败的。乔治城大学的生态学家马拉则认为，偶尔大规模扑杀和有计划地把流浪猫清除出生态系统是两回事。事实上，美国奥本大学的生态学家克里斯托弗·莱普茨克 (Christopher Lepczyk) 就和同事做过一些模拟研究。他们发现，在减少野猫数量方面，TNR 很多时候还不如直接对野猫实施安乐死有效。

当然，双方都认为对方只是挑选了对自己有利的数据，以此支持自己的观点。2018 年，马拉和其他生态保护学家写了一篇文章，将倡导 TNR 的人称作“贩卖怀疑的商人” (merchants of doubt)。这个词有特殊的含义，曾经专门用来指为烟草辩护以此获利的人，以及通过否认气候

野猫数目逐年下降



资料来源：“Decrease in Population and Increase in Welfare of Community Cats in a Twenty-Three Year Trap-Neuter-Return Program in Key Largo, FL: The ORCAT Program,” by Rachael E. Kreisler et al., in *Frontiers in Veterinary Science*; February 1, 2019

变化获利的人。但潜在的问题是，我们依然缺乏具体的数字，无法明确野猫造成的问题（这需要准确统计野猫的数量，但却很难做到），以及减少野猫数量的最佳方法。从这个角度出发，现在的讨论似乎更多地取决于各自的观点，而不是基于科学证据。2019 年 5 月，作为生态保护领域内最具影响力的杂志，《保护生物学》（*Conservation Biology*）发表了一篇题为《对猫的道德恐慌》（*A Moral Panic over Cats*）的文章。一时间，伦理学家、人类学家以及生态保护学家纷纷对这个原本处于灰色地带的问题展开了辩论。

陷入困境后，科夫知道要想把野猫从保护区驱逐出去，就需要从 ORCAT 项目入手。首先他需要向赫尔希出示证据，证明野猫就是凶手。然而此前还没有人做过深入的研究，明确地证明野猫是如何影响濒危啮齿动物的。所以，科夫决定从这里出发。科夫的第一项研究显示，林鼠的种群密度与区域内野猫的数量成反比。如果有猫存在，附近的林鼠就会迅速减少，并且这些林鼠的行为也不同于往常。随后这项研究也成为了科夫博士学位论文中的一部分。

在阅读这项研究时，赫尔希感到十分恼火，她认为这

是在暗指她是造成林鼠危机的原因之一。赫尔希在过去 20 多年中一直坚持行动，努力减少野猫的数量，但在这个过程中鳄鱼湖国家野生动物保护区的人却从来没为她提供任何帮助。她说：“我真不知道我们还能做些什么。”后来科夫又转变了策略，他想说明，TNR 策略使野猫数量下降的速度仍然太慢，无法挽救诸如林鼠之类的濒临危险的物种。正如马拉解释的那样：“如果将猫放回自然环境，它就会不断捕杀林鼠。”当科夫分析保护区中的猫时，他发现这些猫的食物，几乎都是由人类提供的。其中包括宠物食品，以及垃圾中的残羹剩饭等，只有少部分食物来自野生动物。然而，这丝毫不影响这些野猫以各种方式猎杀林鼠。

索尼娅·埃尔南德斯（Sonia Hernandez）是美国佐治亚大学的生态学家，科夫从她的发现中找到一些有力的证据。在 2014 到 2015 年，埃尔南德斯追踪了佐治亚州杰基尔岛上的猫，分析了它们的猎杀习性。她给 31 只野猫戴上了记录仪，并像 ORCAT 组织一样每天投喂这些猫。结果表明，其中有 18 只猫是“成功的猎手”，平均每天杀死 6.15 只野生动物。但是，这些猫并没有吃掉所有的猎物。马拉解释说，猫之所以猎杀并不是因为它们残忍或者嗜血，



两只林鼠在巢穴入口外。它们建立这样的巢穴是为了防止受到天敌的袭击。

而仅仅因为它们都是猫，天性如此。

最终，科夫的成果引起了大家的共鸣。研究时，他经常在林鼠的巢穴附近安装动态触发的摄像机，以此监视野猫的活动。在收集到的资料中，科夫确实发现了几只耳朵上有标记的猫爬向林鼠的巢穴。这也证明了由 ORCAT 管理的猫确实在保护区内活动。2014 年，他拍到了一张非常珍贵的照片：一只野猫的嘴里正叼着一只林鼠。

合作控制野猫数量

科夫的照片确实有助于击破赫尔希的否认。即使生态保护学家认为她的工作价值有限，赫尔希也不得不承认这张照片的确令人震惊。澳大利亚阿德莱德大学社会生态学博士研究生布鲁克·迪克（Brooke Deak）解释说，许多爱猫人士也有类似的反应。迪克指出，2013 年的一项研究表明，奥杜邦学会（Audubon Society，一家非营利机构，致力于保护鸟类及其栖息地）成员倾向于将野猫视为入侵

性的杀手，而试图用 TNR 解决问题的人则把它们视为可以共同生活的朋友。

在赫尔希重新思考 TNR 时，还有其他方面的顾虑。林鼠繁育计划失败后不久，鳄鱼湖国家野生动物保护区的官员就宣布了一项入侵物种管理计划。这项计划首次允许管理员诱捕并清除保护区内所有的猫。有些猫将被送回大洋礁俱乐部，而另一些则将被送往动物管理局，在那里它们可以回到原本走失的家中，或者被新的主人认领，又或者人道地接受安乐死。这个计划不仅针对猫，也涉及入侵性的缅甸蟒蛇，它们不仅占领了大沼泽地（Everglades，佛罗里达州的一处国家公园），还会猎杀当地的林鼠。这项计划听起来很合理，但爱猫人士长期以来都不信任生态保护学家，担心这会为滥杀野猫大开绿灯。

出于对猫的安全的担心，大洋礁俱乐部的居民捐赠了 15 000 美元，让 ORCAT 建造了一个近 50 平方米的半开放围栏（既有室内部分又有室外部分），以此保护年老、

体衰和生病的猫。2016年，ORCAT团队重新设置陷阱，不仅为了给大洋礁俱乐部中的猫绝育，还会把它们放进围栏里。更重要的是，赫尔希同意了科夫的请求，将他们在野生动物保护区中发现的每一只猫都永久性地放到围栏中，以免再次进入保护区。

科夫现在是北卡罗莱纳州自然科学博物馆的策展人，对于大洋礁俱乐部依然在使用TNR的事，他并不赞赏，因为那里大约还有220只猫在自由活动。他说：“在任何自然保护区周围5千米的范围内，都不应该允许有任何野猫活动。”但是科夫勉强承认，即使赫尔希没有消除野猫，但他们近期的努力确实减少了野猫的数量。

在2019年发表于《生物保护》(Biological Conservation)的一篇论文中，科夫报告说，通过多管齐下的方法，鳄鱼湖国家野生动物保护区中的野猫已经被全部清除了，因此林鼠的分布区域也逐渐增加了。短短2年内，保护区中的林鼠又恢复了生机，在用的巢穴比例已经从37%增加到了54%。

科夫开展的这项研究虽然规模很小，但却是有记录以来第一次以严格的科学方式控制野猫数量，从而保护濒危动物。他的研究为不仅证明了在自然保护区永久清除野猫的必要性，还表明了社区合作的重要性。这让他们无需大规模屠杀野猫就能完成任务。

如今，其他团队也开始以数据为指导，展开具体的行动了。华盛顿特区和俄勒冈州开展的项目就希望获取有关野猫数量的准确信息；奥杜邦学会还与俄勒冈州野猫联盟(Feral Cat Coalition of Oregon)合作，希望在海登岛(Hayden Island)上跟踪观察控制方案的效果。迪克说，每个区域都需要定制符合当地实情的野猫治理方案，而科夫在基拉戈岛开展的工作为我们提供了一个蓝本。

林鼠的回归

对鳄鱼湖国家野生动物保护区而言，减少野猫入侵是非常重要的第一步，但这远不足以保障林鼠的种群安全。2019年11月，科夫从北卡罗来纳州飞往保护区，准备开展新一轮的研究。既然无论采取什么方法，都无法彻底消除自由活动的野猫，科夫决定采取新的措施，看一看其他类型的人工干预能不能保护处于困境的林鼠，让这些啮齿动物免受野猫以及其他入侵物种的伤害。

在林鼠为自己建造巨大的巢穴时，会将数千根树枝拖过茂密的灌木丛。这些巢穴高可达1.2米，宽可达2.5米，有育儿室、厕所、食品储藏室和避难室。但是，在建造过

程中，林鼠发出的噪音会吸引附近的野猫。在2005年左右，德盖纳和他的兄弟就试图为林鼠提供人工巢穴以解决噪音问题。如果他们不能彻底消除野猫对林鼠的威胁，至少可以帮助减轻威胁。当他们将废弃的摩托艇重新用作林鼠的巢穴时，它们几乎立即就搬进了新家。随后，兄弟俩收集了大量摩托艇，为林鼠建造更多的巢穴。

在保护野生动物的过程中，人类提供各种援助的现象很常见。科夫想看看，这些人造的巢穴究竟在多大程度上减少了野猫对林鼠的猎杀。对于其他生态保护学家（保护其他重要物种免受野猫对危害）而言，这项研究也可以提供非常有价值的信息。

在11月一个寒冷的早晨，科夫和德盖纳沿一条将鳄鱼湖国家野生动物保护区一分为二的公路巡航，试图检查沿途的林鼠巢穴。他们从427号巢穴开始检查，这是一个多代林鼠共同居住的巢穴，距离繁忙的公路只有几百米，但巢穴的地点位于浓密的绿植背后，噪音基本无法穿过。在德盖纳兄弟十多年前拖曳过来的废弃船体中，这个林鼠家族建起了自己的巢穴，里面还有蜗牛壳，记号笔盖和弹力绳之类的装饰品。

当科夫看向第427号巢穴的入口时，他向德盖纳竖起大拇指说，“太好了。”这里的树叶和蜘蛛网已经被清理干净了，这是有林鼠在里面居住的标志。在接下来的几个小时中，他们不断检查了20多个巢穴，他们时而为发现林鼠的踪迹而欢呼雀跃，时而又为空空的船体感到悲伤。在高速公路旁几米远的地方，科夫蹲在阴凉处，看着一堆乱七八糟的树枝，这是他以前从未见过的新巢。他激动地说：“虽然数量不多，但就在那里！那就是林鼠的新巢！”

本文译者 薄亭贝是中国科学院动物研究所的博士生，主要研究动物行为学。

本文审校 王德华是中国科学院动物研究所的研究员，主要研究动物行为学。

扩展阅读

Cat Wars: The Devastating Consequences of a Cuddly Killer. Peter P. Marra and Chris Santella. Princeton University Press, 2016.

Decrease in Population and Increase in Welfare of Community Cats in a Twenty-Three Year Trap-Neuter-Return Program in Key Largo, FL: The ORCAT Program. Rachael E. Kreisler, Heather N. Cornell and Julie K. Levy in Frontiers in Veterinary Science, Vol. 6, Article 7; February 1, 2019.

Towards Recovery of an Endangered Island Endemic: Distributional and Behavioral Responses of Key Largo Woodrats Associated with Exotic Predator Removal. Michael V. Cove et al. in Biological Conservation, Vol. 237, pages 423–429; September 2019.

The Evolution of House Cats. Carlos A. Driscoll et al.; June 2009.

ex



南极土跳虫的体形比芝麻粒还小，它会用两个肉质触角和六条腿在南极冰川和有毒的土壤上前行。

摄影：伊戈尔·斯瓦诺维奇 (Igor Siwanowicz)

treme SURVIVOR

南极跳虫：
挑战生命极限



当 伊恩·霍格 (Ian Hogg) 和拜伦·亚当斯 (Byron Adams) 乘坐的直升飞机滑过横贯南极山脉 (Transantarctic Mountains) 的岩石斜坡时, 他们透过飞机的窗户看向巨大冰原上的干燥山峰, 这里距离南极点仅600千米。那是2018年1月的一个阴天, 他们的目光掠过山脉上的岩石和悬崖, 试图寻找一位已故昆虫学家在简短的笔记中描绘的一个地标。1964年, 这位昆虫学家在这片荒凉的土地上发现了一种神秘的生物, 但从那以后再也没人见过它们。

横贯南极山脉总长超过 3000 千米, 从南极北部的海岸线一直延伸到南部内陆, 将南极大陆一分为二。这条宽 100~200 千米的山脉就像一座大坝, 挡住了海拔 3 千米的东南极冰盖。源自冰盖的冰川从山峰的间隙中渗出, 缓慢地填入地势较低的西南极洲。而从东部高原呼啸而来的干燥寒风, 吹得峰顶基本上没有积雪。

在冬季, 横贯南极山脉南部的气温可能会降到 -40°C 以下。在这些山峰上, 一些坚硬而瘠薄的土壤在数万至数十万年的时间中没有吸收到足够的水份, 像火星表面的土壤一样, 一直积累着苛性盐。然而, 尽管环境十分恶劣, 仍然有一些小型动物栖息在这样的山脉中。霍格和亚当斯从 2006 年就开始收集动物样本, 试图了解在南极的各种极端环境中, 生存着哪些物种。但是, 他们一直没能再次找到那种早在 1964 年就被发现, 学名为南极土跳虫 (*Tullbergia mediantarctica*) 的土跳属跳虫。

他们考察的地点名为斯皮德山 (Mount Speed), 是横贯南极山脉南部的一处低矮山脊, 距离海洋 700 千米。沙克尔顿冰川 (Shackleton Glacier) 在这里穿过约 10 千米宽的山脉峡谷, 由东向西漂移。霍格是加拿大极地知识 (Polar Knowledge Canada, 加拿大政府官方的研究机构) 的生物学家, 他发现了已故昆虫学家在笔记中描述的悬崖。直升机降落后, 他们走下飞机, 来到一个荒芜的、散落着

道格拉斯·福克斯是美国加利福尼亚州的科普作家, 撰写有关极地极端环境、气候和生物的科普文章。



大块黄色花岗岩的斜坡上, 开始有条不紊地依次检查这些岩石的下方。几分钟内, 他们就发现了数十只比芝麻粒还小的白色六足动物, 这正是他们梦寐以求的目标——南极土跳虫。

这些小动物在沙粒中缓慢而有目的地行走, 它们柔软多肉的触须像两只伸出的手指, 能用于导航。然而, 这些动物极易脱水, 在干燥的空气中暴露不到一分钟, 就一会萎缩并死去。接下来的几天, 霍格和亚当斯在沙克尔顿冰川下方 4 个斜坡的岩石下相继发现了南极土跳虫, 它们的栖息地有时还不及一块篮球场大。

南极土跳虫所属的跳虫大类, 是昆虫的一种原始、无翅的近亲。人们住宅后院的土壤中可能生活着数百万只跳虫, 但很少有人知道它们。这些极小的动物遍布世界各地, 其中一些物种栖息在南极内陆稀疏的无冰土壤中, 那里除了偶尔出现的细菌或真菌, 几乎没有食物。

精彩速览

科学家发现, 一种体型微小的南极土跳虫生活在南极洲内陆山峰峰顶的岩石下, 但在那里, 几乎没有生物可以生存。

南极土跳虫似乎已经在同一个地方生存了数百万年, 以某种方式逃避了致命的冰川和有毒的矿物质。南极土跳虫和其他南极生物的基因序列或许能够

解释它们在南极洲幸存的原因, 并可能改写整个南极大陆的冰川演化史。

研究人员沿着南极洲南部的沙克尔顿冰川，在斯皮德山的碎石斜坡（2）上采集了含有南极土跳虫的土壤样本（1）。



2

在科学家看来，南极土跳虫及其他跳虫如何到达这些偏远的山脉，以及它们是如何从数十个冰期中幸存下来的，是迫切等待解决的谜团。自 2018 年以来，霍格和美国杨百翰大学的生物学家亚当斯一直在对重新发现的南极土跳虫和另一种跳虫开展遗传学研究。这些研究会在今年晚些时候发表，将为这些生物的演化史提供令人惊奇的全新信息。除此之外，这些研究可能会改写南极大陆的巨大冰盖在数百万年间的消退和形成史。南极土跳虫等物种不仅扩展了人类对生命极限的认识，同时再次证明了地球上最残酷的环境也能维持复杂生命。

南极内陆的生命

企鹅和海豹是南极洲的标志性动物，它们生活在海岸线附近，依靠海水中的浮游植物、鱼类和磷虾等丰富的食物为生。但它们无法在南极内陆生存，那里的面积比美国和墨西哥加起来都大，97% 的土地覆盖冰川下。

但大约从 20 世纪初开始，科学家在距海岸数千米、没有冰雪覆盖的地带，陆续发现多种动物的踪迹，如微小的跳虫、螨虫、蠕虫和摇蚊。由于生存需要水份，这些生物通常居住在朝北山坡的小块地衣或苔藓上。夏季 24 小

时的阳光能融化冰雪，湿润那里的土壤。此后，科学家也陆续在更寒冷、更干燥的南极内陆地区，发现了这些生物。

1964 年，昆虫学家基思·怀斯（Keith Wise）飞到南极的沙克尔顿冰川，在南极最僻静的内陆地区寻找动物。12 月 13 日，他离开营地，在南极冰川上滑雪行进了几千米，到达了斯皮德山脊的底部。融雪从悬崖上滴落，湿润了底部的土壤。怀斯在那里发现了两种跳虫：一种是已在其他地方发现的灰色亚极跳虫（*Antarctophorus subpolaris*），另一种就是全新发现的白色南极土跳虫。

在此后几十年间，科学家试图拼凑出南极土跳虫首次出现在南极区域的时间。对海底沉积物的研究表明，在过去 500 万年内，南极洲共经历了 30 多个冰期。在这些时期，大陆上的冰川变厚，内陆海拔上升。如今许多岩石裸露的山坡，当时还都被冰雪掩盖，且温度比现在还要低 5~10°C。澳大利亚莫纳什大学的极地生态学家史蒂文·乔恩（Steven Chown）说，大多数研究人员都认为，这些上升的冰盖“基本抹除了一切的生命”。

科学家推断，一旦冰期结束，冰川就会变薄、向山下滑动，更多的山峰失去冰雪覆盖。通过洋流或附着在海鸟脚上的泥土，从南美洲的巴塔哥尼亚地区、新西兰或澳大

利亚到达南极的物种，能在这些新的区域定居。这些新来的物种将取代那些在冰川扩张时被抹去的生物。而当下一个冰期到来时，这些新的南极“居民”也会消失。当冰川再次消退后，另一波新的“移民者”将取代它们。大多数专家推测，目前在南极洲生存的物种，在那里生存的时间都不超过 2 万年。

然而，2005 年的两项研究让情况发生了改变。两个研究小组分别发表了与之前被广泛接受的观点相矛盾的遗传学研究。英国南极调查局的生态学家彼得·康威（Peter Convey）与罗马大学的朱莉安娜·阿莱格鲁奇（Giuliana Allegrucci）合作比较了生活在南极洲和巴塔哥尼亚的摇蚊的基因序列。根据 DNA 序列差异和关于 DNA 序列随机突变速率的基本假设，他们评估了这些物种在演化过程中分离的时间。康威表示，他们曾猜测这些物种是在“几万年内”分离的，但研究表明，它们早在 6800 万年前就已经分开了。他说：“那真是太令人惊讶了。”这一发现也意味着在南极生存的摇蚊根本不是外来的物种，而是这片大陆原始物种的后代。

与世隔离的 500 万年

6800 万年前，南极洲覆盖着茂密的森林，其中生活着恐龙和原始的哺乳动物。当时，南极大陆已经与非洲、澳大利亚和新西兰分离，但还连接着南美洲，形成了冈瓦纳古陆。大约在 3500 万年前，南极洲与南美洲分离后进入了一个极度寒冷的时期，南极大陆上几乎所有的生物都消失了。

另一项在 2005 年发表的研究表明，某些南极跳虫的原始祖先远早于上一次冰期（末次冰期）。新西兰怀卡托大学的霍格和博士生马克·史蒂文斯（Mark Stevens）通过基因序列估计了几种南极跳虫与澳大利亚、新西兰和巴塔哥尼亚的跳虫分离的时间。他们的研究表明，它们在 1000 万~2000 万年前就分离了。

这类发现让众多科学家感到困惑，这些微小的生物是如何在冰期中存活下来的？一些人推测，这些动物可能在麦克默多干谷（McMurdo Dry Valleys）中孤立的小型山谷中幸存下来。麦克默多干谷位于横贯南极山脉的北部，在霍格和亚当斯发现南极土跳虫的地点北侧 850 千米，在过去 1200 万年里，这些山谷都没有结冰。另一些科学家推测，沿着南极大陆海岸线有几座火山，在冰期，动物可能就躲在火山附近的热点中。也许它们在那些沿海地区度过了冰期后，通过某种尚不明确的方式来到了沙克尔顿冰

川这样的内陆山区。

但是，并没有能支持这些观点的相关证据。“我们并没有在南极洲的其他地方发现南极土跳虫和其他动物，”亚当斯解释说，“在火山附近和海岸上，都没有找到它们。”这也削弱了它们曾居住在这些较远地点的可能性。2006-2017 年间，霍格相继前往横贯南极山脉沿线的十几个地点，收集了一些生物活体标本，而亚当斯参与了部分南极考察活动。他们共找到 5 种已知的跳虫。直到 2018 年，他们在搜寻斯皮德山时，才发现了南极土跳虫。

霍格将南极土跳虫样本带回加拿大的实验室后，他的研究团队开始对这些从南极洲收集的动物进行基因测序。博士生杰玛·科林斯（Gemma Collins）对每个跳虫 DNA 上细胞色素 C 氧化酶基因中的一个片段进行了测序。她利用数月时间，比较了 1100 多个动物的基因序列（包括之前收集的一些动物样本）。这种研究方法能显示出哪些动物具有共同的演化史，揭示分布在南极多个地点的同一物种的不同种群，是否曾由于冰盖扩大而被隔离，或者是在冰雪稀少时迁移到新的地点。

在间冰期中最温暖的时候，南极西部的冰盖会变薄、消退。这时在海面漂浮且连接着中部和南部大部分山脉的罗斯冰架，很可能会消失。出于这两个原因，海水能沿着山脉向内陆推进，尽管不如冰盖上升得那么高。霍格推测，在这些温暖的时期，由于南极大陆上更广阔的地区没有冰雪，小动物可能会四处走动，并与之前隔离的同一物种的其他种群交配。跳虫进入水中，就会漂在水面上四处散开。“它们会进入新的栖息地。”霍格说，在冰期再次到来之前，它们在 5 万~10 万年间维持着这样的生存状态。

但是，针对南极土跳虫和亚极跳虫的研究结果表明，即使在温暖时期，这些动物的活动也比想象中的要受到更多限制。从沙克尔顿冰川对面的裸露山脊上收集的两种亚极跳虫，在 500 万年间似乎都没有进行过杂交，尽管它们生活的地点仅相距 10 千米，这也是冰川经过的山脊缝隙的宽度。霍格说：“这一发现十分令人惊讶，因为 500 万年是一段很漫长的时间。”但看上去，这些物种似乎根本没有离开过这些地点。

地质学证据表明，300 万~500 万年前，南极存在一段特别温暖的时期，西南极冰盖曾多次崩塌。研究人员推测，随着海水入侵南极内陆，跳虫可以跨越山脉之间 10 千米的距离，在新的地点繁殖出具有遗传差异的后代。但是，这种情况并没有出现在亚极跳虫的种群中。霍格研究团队的遗传学研究显示，沙克尔顿冰川的亚极跳虫种群至

至少在 800 万年内，都没有与沿山脉向北 100 千米处的另一个亚极跳虫种群进行过杂交。这些结果表明，即使在西南极冰盖塌陷的情况下，横贯南极山脉上仍然保留着足够的冰，阻止动物四处迁徙。

更令研究人员惊讶的是，从沙克尔顿冰川周围采集的南极土跳虫的分析数据显示：总共 4 个地点的跳虫基因序列几乎完全相同。亚当斯说：“它们就像是彼此的克隆体。”这可能意味着它们都是一对南极土跳虫的后代，而这些后代从未与任何外来种群进行过繁殖行为。亚当斯说：“目前，我们正在尝试解释这个问题。”

有毒的矿物盐环境

南极土跳虫如何活过至少 30 个冰期，在冰雪压力下生存了长达数百万年，却没有移动过超过几千米或与其他种群交配？更让人困惑的是，在大部分时间里，这些动物都被困在致命的冰雪与有毒矿物盐之间的狭窄地带。

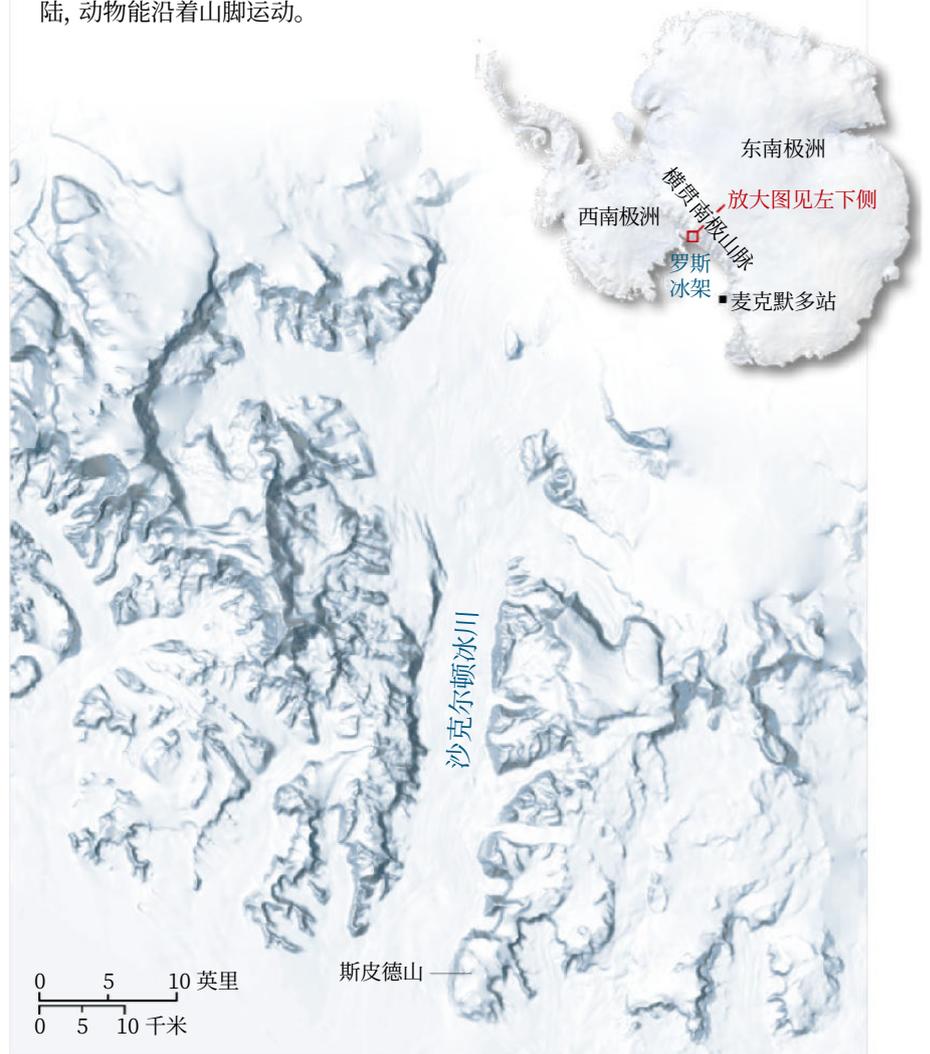
2018 年，在乘坐直升机飞过沙克尔顿冰川时，霍格和亚当斯经常能看到一条模糊的线条横跨多个山脉。在冰面上方几百米处，岩石的颜色发生了改变：界线下方较浅，上方较深。这些线条是山脊上矿物质暴露在空气中或被冰雪覆盖时，在氧化方式上的细微差异而产生的，因此可以显示末次冰期冰层上升的高度。

我们很容易设想，随着冰川变厚，动物应该会迁移到更高的山坡上，生活在冰层上方。但这种解释还存在一个关键的问题：山体较高的位置充满了有毒的化学物质。在沙克尔顿冰川或任何其他横贯南极山脉山体的冰川边界线上方，岩石下的土壤中往往会结一层白色的盐。“这不是喜马拉雅岩盐，”亚当斯说，“将这些矿物盐放在你的舌头上，你会感受到一种很强的灼烧感。”

这些矿物盐中，对许多生物有毒的硝酸盐含量很高。

冰雪中的栖息地

横贯南极山脉将广阔的东南极和西南极冰川分隔开，但沙克尔顿冰川等一些冰川通过山脉的间隙自东向西运动。研究人员在斯皮德山的冰川斜坡上惊讶地发现了南极土跳虫。它如何到达那里是个谜。一种理论认为，在温暖时期，南极上的罗斯冰架会消失，冰川会消退，随后海水流入内陆，动物能沿着山脚运动。



由于紫外线的辐射，大气中的化学反应形成的硝酸盐，会不断地降落到地表。在大多数地方，这些硝酸盐会被雨水冲走，而不会在土壤中积累。但是在横贯南极山脉这样的干燥地区，这些盐累积了上千年，达到了有毒的程度。这些山脊上还积聚着高氯酸盐，这是一种可作为漂白剂的高氧化性物质。高氯酸盐被人们熟知，是因为“凤凰”号火星探测器曾在火星上发现这类物质，它使火星表面成为不适合生存的地方。亚当斯说，这些矿物盐给小动物制造一个两难的局面。对于试图逃脱冰川增长的跳虫来说，停留



白色多毛的南极土跳虫：
暴露在空气中，南极土跳虫很快就会失水死亡。
从它被染色的遗骸中可以看到坚硬的外骨骼（红色）和柔软的角质层（绿色）。此外，还可以看到触角的底部有两个眼孔。

在原地意味着它们将被埋在冰下，但向山上爬行则意味着它们会面临“危险、有毒和真正糟糕的栖息环境”。

果然，霍格和亚当斯只在冰川的边界线下方发现了跳虫。然而，在末次冰期中，这些地方曾被 100 米甚至更高的冰层覆盖，而像南极土跳虫这样的复杂生物，无法在冰中生存数万年。那么，这些动物去了哪里？

任何动物的生存都需要依赖水，而这似乎能为南极土跳虫不可思议的忍耐力提供了一个可行的解释。

在沙克尔顿冰川西北方向 700 千米处，横贯南极山脉从大陆内部伸出，开始沿着海岸线延伸，这里就是麦克默多干谷所在的地方。尽管天气干燥，但在其中几个山谷里，存在被冰雪覆盖的湖泊。这些湖泊由夏季融水形成，只有几米深。但在一些山谷的谷壁上，可以看见砂石组成的古代湖岸线痕迹。科学家认为，从山上流下的溪流曾让其中一些山谷拥有数百米深的湖泊。然而，这个想法并不完整，因为山谷向海的一端是开放的，无法形成容器来容纳如此

深的湖水。科学家推测，在末次冰期的某段时间内，西南极冰盖比现在向北前进了数百千米，接近山脉并堵住了山谷的入海口，使得大型湖泊得以形成。这其中就包括沃什伯恩冰川湖（Glacial Lake Washburn），它曾有至少 300 米深。

20 世纪 90 年代，缅因大学地质学家布伦达·霍尔（Brenda Hall）在挖掘沃什伯恩冰川湖的谷壁上的古老沉积物时，收集了曾在那里生长的、冻干的藻垫碎片。通过放射性碳年代测定法，她估计这些藻类和湖泊在 2.3 万~1.3 万年前就已经存在了，大约是末次冰期的高峰期。霍尔说，这一发现引发一个奇怪的观点：在冰期，“冰雪融化的程度可能比现在要高”。

科学家对此困惑不已，因为实际上当时的气候更寒冷。一种理论认为：南极周围的海洋被冰川覆盖的范围比现在更广，这导致海洋的蒸发减少，云层和降雪也相应减少，更多的阳光能加热山脊上深色的岩石，这又会导致更多高海拔的冰雪融化。这种融化加剧的现象可能发生在整个山脉，包括发现南极土跳虫的地点。而与这种现象密切相关的是，一种被科学家称为“固态温室效应”的奇怪现象。一般来说，大多数照射到冰川上的阳光，都会被冰川表面的积雪反射。但在横贯南极山脉中，干燥的寒风会缓慢地蒸发掉积雪，使得冰川表面经常露出古老的蓝色透明冰层。阳光可以穿透 1 米的深的冰层，从内部将冰层加热融化。波特兰州立大学的冰川学家安德鲁·方丹（Andrew Fountain）发现，在气温低至零下 10℃ 时，这种情况可以发生。

霍尔曾在距沙克尔顿冰川以南 200 千米的山脊中发现了这一现象。她说：“在一些天气晴朗的时期，我看到水从冰崖前缓缓流下来。”

对霍格和亚当斯来说，这些水形成的机制为研究南极土跳虫和亚极跳虫，以及蠕虫、螨虫和其他小型动物如何在沙克尔顿冰川等冰川边缘幸存数十个冰期，提供了重要线索。亚当斯称它们为“金凤花栖息地”——在这样向阳，且有着恰到好处的暗色岩石和透明冰层组成的栖息地中，动物拥有最好的适应环境的机会。亚当斯说，沿着冰川的边缘存在一个狭窄的可居住带，可能只有几米宽，偶尔会有少量的冰川融水冲走土壤中的盐分，并帮助小动物补充水分，“很多年间至少会出现一次。”随着冰期的到来，冰层逐渐向山坡上移动。此时，南极土跳虫可能会缓慢地向山坡上移动，也许一年只有一米。如果它们幸运的话，可能在途中遇到了这些“金凤花栖息地”。

这些解释似乎十分合理，但还需要进一步的研究证实。霍格和亚当斯还没有再次考察沙克尔顿冰川，他们还需要找到更清晰的冰川上升和消融的时间线，并与生物的遗传学特征联系起来。此外，他们还需要观察这种生存模式是否同样适合其他物种。他们和学生们正在试图对在沙克尔顿冰川和其他地点发现的同一种螨虫和线虫的胞色素基因进行 DNA 测序。他们希望基因序列能够解释，这些动物在那里生活了多久，它们在过去是如何迁徙以及存活下来的。

我们已经知道，一些物种生存在冰川最狭窄的边缘。在冰川消退期间，它们可能在附近的山峰上，建立新的种群。但是随着新的冰期到来，其中大部分的种群都消失了。南极土跳虫的 DNA 揭示了那段残酷历史的伤痕。沙克尔顿冰川附近的每个南极土跳虫都携带几乎相同的基因序列，这一事实表明，在过去的某一时刻，这一物种中只有一两个个体成功存活下来。而今天在该地区存活的南极土跳虫，都是这些个体的后代，它们可能很幸运地被暴风雨吹到了一个篮球场大小的向阳栖息地。亚当斯说：“南极土跳虫已经濒临灭绝。”

当然，南极洲整个动植物群落的消失，只是地球历史上物种灭绝过程的一部分。一个更温暖、更湿润的南极洲，会有助于南极土跳虫实现种群复苏吗？今年 1 月，亚当斯回到麦克默多干谷。在那里，他看到湖泊的水位开始上升，干燥的土壤变得更加湿润，线虫等小动物的数量也在增加。

与此同时，亚当斯说，在寒冷、干燥和恶劣的土壤环境中生存的动物“数量正在大量减少，它们在陆地上的活动范围也在缩小。”也许，这一波新物种正在排挤那些本土动物。

一个问题是，南极土跳虫是否会遭受同样的命运。“根据它们过去所做的事情，我认为它们会生存得很好，”亚当斯说，“只要它们不必与入侵物种竞争。”

扩展阅读

Nematodes in a Polar Desert Reveal the Relative Role of Biotic Interactions in the Coexistence of Soil Animals. Tancredi Caruso et al. in *Communications Biology*, Vol. 2, Article 63; February 2019.

Spatial and Temporal Scales Matter When Assessing the Species and Genetic Diversity of Springtails (Collembola) in Antarctica. Gemma E. Collins et al. in *Frontiers in Ecology and Evolution*, Vol. 7, Article 76; March 2019.

Life at Hell's Gate. Douglas Fox; July 2015.



安娜·梅尔多莱西是一名科学记者。她最新出版了《而后人类创造了人类》(E l'uomo creò l'uomo)，该书介绍了 CRISPR 以及基因编辑技术的改革。她还为《意大利晚邮报》(Corriere della Sera) 撰文。



基因改造： 意大利的农业变革

为了保持“意大利制造”的农产品在国际市场上的领先地位，意大利政府资助了一项大规模的生物技术项目。他们希望借助同源转基因和基因编辑技术，提升农业产量与可持续发展能力。

撰文 安娜·梅尔多莱西 (Anna Meldolesi) 翻译 冯盈哲

耗时 3 年，投入 600 万欧元，共有 12 个不同领域的研究小组参与，在意大利农业、食品、林业政策和旅游部 (MiPAAFT) 的资助及农业研究和经济委员会 (CREA) 的领导下，BIOTECH (意为生物技术) 项目终于顺利启动了。

事实上，该项目的第一个目标已经达成，那就是培养更多活跃于可持续性生物技术领域的团体。可持续性生物技术的理念由意大利 MiPAAFT 前部长毛里齐奥·马丁纳 (Maurizio Martina) 提出。“这是对专有技术的投资，它将增强意大利的国家实力。” CREA 委员会基因组和生物信息研究中心的主任兼 BIOTECH 项目负责人路易吉·卡蒂韦利 (Luigi Cattivelli) 这样介绍道。同时，他也指出了意大利农业生产面临的矛盾境况。尽管意大利境内有着丰富的种质 (germplasm) 资源，或者说意大利的本土品种具有丰富的遗传多样性，却仍然需要进口新品种。另一方面，“我们一直非常重视农业遗传学的研究，也为许多物种的基因测序投资了数百万欧元，但我们并没有充分利用这些知识。”

如今，意大利开始尝试同源转基因和基因编辑等生物技术。同源转基因是指将同物种或近缘物种的优秀基因转移到某个物种中。而传统转基因技术会从非近缘物种中提取基因。通过基因编辑，我们能够人为制造类似于自然发生的突变位点，以抑制有害基因的活性。

利用这些技术，CREA 希望能够提升意大利农业的可持续发展能力。这一项目未来的收益取决于意大利及其他欧洲国家如何管理及运营诸多的新产品，以及消费者对这些农产品的接受度。目前，CREA 的政策与生物经济研究中心 (Policy and Bioeconomy Center) 已着手估算这些重要数据。安娜丽莎·泽扎 (Annalisa Zezza) 对此解释道：“我们将对大众在购买偏好进行摸底调查，并预测研究所所需的成本与预期收益之间的关系。”比如，他们需要计算如果研发出具有抗病能力的转基因作物，并能顺利投入实际生产的话，杀虫剂的使用率是否会降低，以及会降低多少。卡蒂韦利对此很有信心：“即便是在最严峻的情景下，BIOTECH 项目也一定能取得成效。”

精彩速览

作为农业大国，意大利的农业却面临着非常矛盾

境况。一方面，意大利本土的农作物拥有丰富的遗传多

样性，但却仍需要从海外进口新品种。

另一方面，意大利非常重视农业基因学的研究，但其研究结果却未能得到充分应用。

为了提升意大利农产品的竞争力，意大利政府资助了一项大规模的生物技术项目，旨在增加农产品产量以及可持续发展的能力。



番茄：口感与便利的博弈

研究者希望在保证番茄口感的同时，增强它耐旱、抗病和抗虫害的能力。为此，他们需要从未经驯化的野生番茄中寻找基因来源。

如果你去观察超市货架上不同的番茄品种，就会发现它们大小不一、颜色各异，有的有拳头那么大，有的却像弹珠一样小；有的红得像团火，有的却是嫩粉色、棕色、金黄色甚至杂色。不过，回顾近期的研究可以发现，对于这种广受消费者喜爱的蔬菜，研究者的培育倾向是一致的——更加香甜多汁。如今，研究者希望能借助生物技术，让番茄既便于食用，又能保有过去自家番茄田里才能产出的风味。

BIOTECH 子项目 CISGET (CISgenesis and Genome Editing in Tomatoes, 意为番茄的同源转基因与基因编辑)

的负责人特奥多罗·卡尔迪 (Teodoro Cardi) 对他们能达到这一目标深信不疑。意大利蓬泰卡尼亚诺市园艺与花卉研究中心的主任表示：“番茄的一些特色使其入选了基因优化新技术的应用名单。”他提出，番茄拥有以下 4 点优势：首先，他们对番茄的基因信息了如指掌，已经掌握了许多品种和近缘物种的基因序列；其次，他们非常了解传统番茄品种的基因序列；第三，在研究历史上，他们已经基本掌握了对番茄单个细胞进行修饰并在试管内组织培养出完整植株的技术；最后，番茄的生殖系统非常简单，因此很容易让其自花授粉或与不同的基因型进行杂交，同时这也简化了基因编辑后去除外来基因的操作程序。

在位于蓬泰卡尼亚诺和蒙萨姆波罗·德尔·特伦的研究中心，在其他单位的协作下，CREA 的研究员将尝试改变番茄光合作用的过程。他们希望能制造出更加抗旱、抗病和抗虫害的番茄品种。同时，他们也将致力于提高这种曾被诗人巴勃罗·聂鲁达 (Pablo Neruda) 赞颂的果实的品质，这对消费者来说是个好消息。“我们计划引进一些基因突变，以提高果实内可溶性固形物的含量。”可溶性固形物指的是番茄汁液中的溶质，主要包括可溶性糖和有机酸等营养成分，它的含量是衡量番茄品质的一个重要指标。“无论是工业加工还是直接食用，这一指标都很重要，”卡尔迪解释道。永别了，那些味道寡淡的番茄，我们将迎来口感更好的品种！

另外，通过提高黄酮类化合物和抗坏血酸等抗氧化物的含量，还可以延长新品种番茄的储存期限，并使其更有益于人体健康。遗传学家表示，通过抑制一个参与细胞壁衰败的基因，就可以在不影响果实品质的情况下减缓其腐败的速度。即使存放很长时间，也不会破坏其口感。上世纪 80 至 90 年代，番茄品种改良的首要目标是研发便于大型零售商储存和运输的品种，然而代价却是丧失了番茄原有的风味。这也导致了意大利市场上番茄的品种越来越少。

但如今，情况已经发生了变化，现在研究者掌握了满足味蕾的关键因素。2 年前，一篇发表于《科学》(Science) 杂志的论文系统研究了近 400 种代谢产物，这为增强番茄的风味提供了思路。现在，利用 CRISPR 技术，可以用番茄的野生品种或祖先品种作为基因的来源，重新野化市场上常见的品种。另一个思路是，仿照发表于《自然·生物技术》(Nature Biotechnology) 杂志的两项研究，研究者也可以重新驯化野生的番茄品种，但这次驯化只需耗时几年，而非几百年，并且研究者还可以避开人类曾经犯过的错误。

葡萄园的可持续发展

经生物技术改良的葡萄品种将对环境和人体健康都更为友好。同时，那些知名的品种仍旧可以保留它们的名字。

19世纪时，《化身博士》(Dr. Jekyll and Mr. Hyde)的作者罗伯特·路易斯·史蒂文森(Robert Louis Stevenson)把葡萄酒比喻为玻璃瓶中的诗歌。到了21世纪，与葡萄酒一起倒入酒杯的不仅有其动人的历史，还有不断增加的科学知识。在未来，葡萄酒在继续提供独特感官体验的同时，也需要对环境和人体健康更为友好。

要达成这一目的，不仅需要进一步完善限制农药使用的相关法律，还需要更具可持续发展意识的消费者。CREA葡萄栽培与酿造研究所的主任里卡尔多·韦拉斯科(Riccardo Velasco)提醒道，事实就在眼前：如今意大利



图片来源：pixabay

CREA的子项目VITECH希望利用基因编辑技术，培育出意大利本土的可食用无籽葡萄。

的葡萄园只占据了欧洲3%的农业用地，但却使用了欧洲农业生产65%的杀菌剂。他带领的子项目VITECH专注于用生物技术改良葡萄的基因，以提高葡萄园的可持续发展能力和竞争力。目前，研究者已经找出了一些与抗虫及抗菌有关的基因以及这些基因的位点，即它们在染色体上的位置。研究的下一步就是将这些基因转移到需要改造的植株内。另一方面，研究者也在考虑定向编辑葡萄的基因，关闭会导致葡萄藤易被病原体感染的点突变（指只有一个碱基对发生了突变）。位于科内利亚诺的研究中心致力于筛选出对不同病原体的耐受性，以获得能抵抗白粉病和霜霉病等多种病变的品种。同时，通过人为加入抑制因子，还有可能使该品种免受真菌的侵扰。

总而言之，同源转基因以及基因编辑能够减少农药的使用，同时还能保留原品种的特性以及意大利葡萄的种质资源。如果能为大众所接受，它们还能够帮助有机种植者克服潮湿地区的种植困难，并避免喷洒铜制剂农药导致产品含铜量超标的问题。

韦拉斯科指出：“考虑到葡萄品种在商业上的重要性，相比其他水果、粮食和蔬菜的种植，这项技术在葡萄种植业中的作用更大。其他水果并不像葡萄一样如此看重品种。例如，你会说种一棵杏树或苹果树。但对于葡萄，你会说种一棵赤霞珠(Cabernet Sauvignon，知名的酿酒葡萄品种之一)。”

虽然利用杂交手段，也可以将美国或亚洲非酿酒品种中的抗病基因转移到意大利的酿酒品种中来，但这项工作实在费时费力。在宣传产品时，也很难为选育出的新品种打造出一个与母本一样响亮的名号。的确，最近包括意大利乌内迪大学在内的诸多研究团队都利用杂交的方式培育出了非常好的葡萄品种。但它们需要杂交许多代，并且最终得到的品种也很难打入被传统葡萄品种占据的市场。“如果你想让自己的葡萄继续使用格雷拉(Glera)、基安蒂(Chianti)、黑皮诺(Pinot noir)等知名品种的名字，你就只能选择同源转基因和基因编辑的手段了。”

VITECH项目还包含了其他两项研究。一项旨在培育出更耐涝的砧木。随着气候变化，这一需求日益凸显。这项研究将与第三方机构合作完成，研究者正在寻找合适的候选基因。另一项研究是无籽葡萄的研发，试验将在普利亚大区图里市的食用葡萄园展开。目前，意大利最受大众青睐的无籽葡萄品种来自其他国家。CREA计划通过基因编辑关闭一个关键的转录因子，以培育出第一批无籽或小籽的意大利葡萄品种。

操控果树的生命周期

为了巩固意大利水果在全球市场的优势地位，同源转基因和基因编辑技术将用于改良各类果树。

桃花盛开，“熠熠如玫瑰色的泡沫”，德国诗人赫尔曼·黑塞（Hermann Hesse）曾这样写道。对于浪漫的灵魂来说，桃花正是春天的象征。但对于遗传学家来说，桃树可能是最棘手的果树。因此，利用试管组织培养桃树及其近缘品种或许会很有帮助，这也是 BIOTECH 子项目 BioSosFru 的关键目标。据 CREA 的伊尼亚齐奥·韦尔德（Ignazio Verde）介绍，项目名称 BioSosFru 指的是利用新一代生物科技（BIOTECH）得到产量更高、更可持续的水果品种。

同源转基因和基因编辑技术将被用于改良 3 种核果类水果（桃、杏和樱桃）、两种仁果类水果（苹果和梨）以及一种猕猴桃属水果（猕猴桃）。意大利是全球重要的水果生产地：桃子产量位居世界第三，仅次于中国和西班牙，猕猴桃产量排名仅次于中国。总体而言，水果种植业占据了意大利农业产值的 7% 以上，带来的收益每年可达数十亿欧元。从疾病到气候，种植业总会面临新的危机，而技术创新是意大利保持现有优势的唯一方法。“葡萄的品种基本上已经较为成熟，但在市场上我们总能发现层出不穷

的桃、杏和苹果的新品种。”韦尔德补充道。

消费者并非总能意识到水果品种的差异，因为它们的外形大都很相似。然而仔细想想就会发现，在我们小时候，6 月才是杏成熟的季节，但现在，从 5 月到 9 月，我们都能吃到杏，这得益于杏的成熟期被成功延长了。现在，韦尔德和 CREA 委员会的同事想要缩短项目内水果的繁殖周期，也就是幼苗的生长时间。对于像苹果树这样的植物来说，基因改良在过去需要 50~70 年。但如果繁殖周期可以缩短，基因改良所需的时间就能被大大压缩。

已公开实验目标的其中之一，就是编辑核果类果树的基因以改善其植株结构。这项研究的关键在于去除一个影响树枝角度的基因，这可以帮助植物获得更多的光照，并且便于随后的采摘和修剪。除此之外，遗传学家还将目光投向了李痘病毒，该病毒会感染桃树等李属植物（Prunus）。21 世纪初，李痘病首先侵害了意大利北部的农田，随后扩散到了整个意大利。感染这种病毒的果树不会立即死亡，但果树会逐渐衰弱，进而影响到果实的质量。韦尔德告诉我们：“病毒复制需要植物的某些特定基因，我们将抑制这些基因的表达。”研究者还将使用同源转基因技术培育抗线虫的砧木，这种害虫会侵害植物根部。

基因编辑技术则将被用于克服梨树的自交不亲和问题。大部分的树木都是雌雄同株的，但无法自花授粉。因此，果园中需要专门种植一些主要的栽培品种用于授粉。如果能够克服这一障碍，果园将更加便于管理。同样，这一技术也会被用于其他水果。比如生产出抗菌能力更强的猕猴桃树，以及使草莓双季开花，从而增加产量。



在意大利，水果种植业占据了农业产值的 7% 以上，其收益每年可达数十亿欧元。这也使意大利成为全球重要的水果产地。



松开小麦的“刹车”

为了增加小麦的产量，研究者并不打算加入增产的基因，而是要关掉那些会抑制麦粒生长的基因。

放眼田野里大片的金色麦穗，再看看盘中热气腾腾的意大利面，人们或许很难将两者联系在一起。制作意大利面的硬粒小麦是四倍体，也就是说它有 4 个染色体组，而不是像人类一样只有两个。用于制作馒头的软粒小麦则是六倍体，它拥有 6 个染色体组。

长期以来，这种染色体组数的复杂性一直阻碍了相关研究的发展，这也解释了为什么这种全球种植最广泛的谷物却最难以被改良。事实上，绿色革命后农业产量突增，但小麦品种的改良速度却非常有限。现在，研究者相信在充分了解基因序列后，在 CRISPR 技术的帮助下，一切将变得更加简单。

“我们也计划对一些模式植物进行试验，比如大麦和水稻。不过，最简单也最快速的手段则是充分利用我们已掌握的关于水稻的知识。因为水稻的基因组相对简单，相关研究也非常充分。”CREA 针对谷物的子项目 WHEADIT (Wheat Edit, 意为“谷物编辑”) 的负责人拉法埃拉·巴

塔利亚 (Raffaella Battaglia) 解释道。这一项目的研究中心位于菲奥伦佐拉-达尔达，其最终目标是提高谷物产量。研究者已经从水稻中找出了一些限制稻粒体型或穗粒数量的基因。他们希望能够在硬粒谷物中追踪到类似的基因，利用基因编辑技术抑制它们，并检测谷物的产量是否会因此提高。幸运的是，CRISPR 技术能在多倍体中正常工作，也就是说，它能够同时切除不同染色体组的目标序列，这也是为什么它是多倍体植物基因改良的理想方法。

巴塔利亚表示：“我们有一系列与激素信号有关的基因作为候选。”这些基因就好像连接着外部环境与植物体内的开关，它们能够调节植物的生长。“它们将被用作基因编辑的目标序列，我们期待能得到一些积极的结果，例如在不影响稻粒大小的情况下，增加稻穗的粒数。”

WHEADIT 项目的第二项研究关注了种子成型过程中糖分的运输机制。“这是一个瓶颈，但克服了它就

能够显著改变种子中淀粉的含量，进而影响种子的质量。”遗传学家这样解释道。对此，研究人员的计划是去除一种能够抑制转录因子，从而抑制生长的因素。事实上，小麦的产量会受到许多分子层面的“刹车”的影响，我们需要研究如何控制它们。这就好比想要加速并不一定要踩下油门，也可以选择松开刹车。

从科技发展的角度来看，第 3 项研究是最具有创新精神的，但距离取得成果还需要较长的时间。“在过去，有很大一部分的基因改良是在还未了解其分子层面的原理时，通过直接选择那些对人类有用的性状实现的，”巴塔利亚介绍道。古代的小麦每一个谷穗上的花朵数量比现代小麦少，但其背后的原因无人知晓。“对比两者的转录过程，我们希望能明白发生了什么变化，以及是否还存在改进的空间。”通过这种方式，科学家可以选出新的候选基因，在未来，以它们为目标进行基因编辑，或许能提升农田的产量。■



The Aid Tsunna

尼科巴人正在为一名数十年前去世的祖先举办庆祝仪式。在他们眼中，没有人会真正死去，去世的人会前往精神世界并保护着整个社群。

制图：格雷格·曼切斯 (Greg Manchess)



mi

一场毁灭性的救援

2004年，印尼海啸袭击了尼科巴群岛，岛上许多村庄被毁。灾后各种救援组织前往尼科巴群岛救助尼科巴人，但15年过去了，尼科巴人不仅没有从救援中受益，反倒几乎丢掉了自己的文化，患上了之前没有见过的现代疾病。

撰文 阿杰·塞尼 (Ajay Saini) 西姆罗·J·辛格 (Simron J. Singh) 翻译 樊少华

2000年11月的一个午夜，孟加拉湾尼科巴群岛的纳科里岛上空繁星点点，伴随着20米外海浪撞击海岸的声音，本文作者之一辛格正在岛上无边的黑暗中等待着。不久，村民们带着干树叶火把出现。原来，今晚是塔诺伊节（Tanoing festival）的高潮，同时也是为了祭奠7月去世的萨满祭司查乔（Chacho）。节日这天，家人和朋友会宰杀自己饲养的猪来完成祭祀，并且将做了很久的精美物件砸碎来表达他们的悲伤。（对于尼科巴人来说，花费时间和精力来创造的物品代表财富，而破坏这些财物则意味着脱离物质世界。）岛民精心装饰了查乔的家，尽情享用露兜果（一种富含淀粉的水果）、猪肉和其他美味佳肴。之后，他们在庆祝节日的气氛中开始了游行。由查乔的兄弟耶哈德（Yehad）、一位名叫廷福斯（Tinfus）的灵疗师和其他几位长老在前面引导，后面跟着数十名男女老少，他们全都沉浸在欢庆的气氛中。

耶哈德和同伴拿着查乔的遗物——她的工具、篮子和生前珍视的其他物品。他们将其中一些遗物挂在附近的树上，其他的放在坟前的竹台上。之后，长老们会为坟墓进行装饰，他们用数米长的彩色布带将用于标记位置的木桩缠绕起来。人们用椰子壳传递着托迪酒（从椰子树中抽出的汁液），渐渐大家都醉了，有些少年也开始趁机调情。几个衣着漂亮的女孩从篮子里拿出烟草和槟榔叶，提供给客人们。

长老们完成祭祀仪式之后，人们嬉笑打闹地返回了查乔的家。廷福斯将一个他亲手雕刻的人物塑像安置在屋内，这个塑像长着一对精致的翅膀，他们通过这种方式来纪念查乔。吊唁者开始载歌载舞，越喝越多，进入集体狂欢，甚至最后有些神志不清。欢乐的气氛一直延续到第二天：

阿杰·塞尼是印度理工学院的助理教授，他的研究主要关注偏远地区的原住民。



西姆罗·J·辛格是加拿大滑铁卢大学的副教授，他的研究方向主要是受到气候变化影响的小型岛国或者属地的资源可持续利用。

在当地人看来，萨满祭司已经去往精神世界，在那里她将永生并保护着她的村落。

在尼科巴人的世界观中，死亡是生命的延续。在所有仪式中，雕刻和彩绘塑像是他们崇拜与歌颂祖先和自然精神的方式。这些祭品在他们眼里是有生命的，它们守护着房屋、村庄和部落，因此在尼科巴心中没有人会真正死亡。如果真的有这样一个社会，它拥有强大的文化和心灵寄托，并且能应对自然灾害和大规模死亡带来的巨大创伤，那一定是这群偏远群岛上的尼科巴人。

灾难救援

2004年12月26日凌晨，在苏门答腊岛北部西海岸，印度洋板块与缅甸板块发生了碰撞，震源深达30千米的9.1级地震引发了有史以来最致命的海啸。而尼科巴群岛就沿着板块断层线分布。一共由22个岛屿组成，陆地总面积仅为1841平方千米的群岛非常靠近震中。一些小岛被超过15米高的海浪多次袭击，甚至岛上的整个村庄都被海浪卷走。由于地面断裂和海水淹没，有大约40平方千米的土地直接沉入水下。美丽的德林格德岛（Trinket Island）被分割成3块。根据官方公布的数据，尼科巴群岛有3449人失踪或死亡，但据独立研究人员的估计，这个数字可能高达一万人。（2001年的人口普查显示，尼科巴群岛总人口数为42068人，其中约有2.6万人是尼科巴人。）另外，群岛上约有12.5万只家畜死亡，超过60平方千米的椰子园，400平方千米的珊瑚礁和近四分之三的房屋被摧毁。

一些尼科巴群岛的居民因为祖先的经验保住了性命。地震发生后，卡莫塔岛（Kamorta Island）的穆纳克村

精彩速览

在2004年12月的印度尼西亚海啸中，尼科巴群岛受灾严重。国际社会为灾区提供了大量的救济物资和重建援助，但这些援助可能并没有考虑当地文化和传统。

现在看来，国际援助不仅影响了尼科巴群岛上曾经自给自足的原住民部落，破坏了社区关系，并且在当地部落催生了消费主义。灾难发生15年后，虽然尼科巴群岛的原住民尝到

了消费主义的甜头，但他们生活的社会和环境却无法满足暴涨的消费需求。而这些原住民由于不健康的生活方式，正饱受糖尿病、抑郁症和酗酒的折磨。

(Munak) 村长想起了祖先关于大地震后二次灾难的警告，于是敦促村民们逃离海滩。幸运的是，卡莫塔岛上有一块高耸的腹地，穆纳克村全村人能躲在此处得以保命。更令人惊奇的是，许多乔拉岛 (Chowra Island) 的居民被巨浪卷走后竟然又游回了岛上。

这场致命的灾难引发了大规模人道主义行动，全球各地募集了超过 140 亿美元的善款，其中 39% 来自私人捐赠。印度政府 (于 1947 年从英国接管了尼科巴群岛) 随后发起了救援行动，并成立了援助机构。在此后数年中，尼科巴群岛这个原本孤立的社会群体，被好心人捐赠的包装食品、电子产品、消费品以及大量现金淹没。

如此慷慨的援助本应该让尼科巴人过上更好的生活。但 15 年过去了，尼科巴人却身处令人绝望的困境，这也引发了人们对这种人道主义救援有效性的质疑。归根结底，让尼科巴人陷入困境的原因是，决定人道主义援助的优先权掌握在捐赠者而不在受赠者手中。与当地文化相悖的援助，让这个具有数百年历史、独立自主且具有自我修复能力的社会遭受了“第二次海啸”的毁灭。捐赠和援助最终导致一个原本联系紧密的社会分崩离析，许多居民饱受酗酒、糖尿病和其他“陌生”疾病的困扰。

全世界平均每年要经历 350 次自然灾害，受灾人数高达数百万人。在过去 30 年中，政府和非政府组织试图通过预防灾害和缓解灾害损伤的策略来减少这些悲剧带来的影响。然而不幸的是，根据联合国经济和社会事务部的一份报告，政府和非政府机构经常将原住民文化视为“劣等、原始、无关紧要、应予以摒弃或改造的东西”。这些部落在灾难面前尤为脆弱，现代社会中占据着经济与政治主导地位的主体会试图将自己的意识形态强加在这些原住民身上，最终使他们背弃自己的文化与家园。我们作为人类学家，加起来对尼科巴人开展了超过 20 年的研究，对海啸前后尼科巴人的社会和文化有深刻的了解。(辛格在 1999-2009 年间对尼科巴群岛进行了实地考察，而塞尼自 2010 年以来一直在研究尼科巴原住民。)

数千年前，尼科巴人从马来半岛迁徙到尼科巴群岛，他们的语言属于澳斯特罗-亚细亚语系。海啸发生前，他们以狩猎、采集、养猪和在小岛周围茂密的珊瑚礁中捕鱼为生。一些被称作图赫特 (tuhets) 或者卡穆昂斯 (kamuanses) 的大家族，种植了薯类、橘子、甘蔗、柠檬、香蕉、山药、木瓜、菠萝蜜、椰子等农作物，这些农作物大多用来与外人交易。由 3 代或更多代人组成的家族成员会在一起种植果园、歌唱、嬉戏玩闹、享用托迪酒，他们



2004 年 12 月 26 日，尼科巴群岛所在的断层线发生了位移并造成毁灭性的海啸。这场海啸摧毁了尼科巴人的村庄并导致数千人的死亡。

将工作与娱乐融为一体。社会资本是指人们在社会结构中所处的位置给他们带来的资源，比如能够从朋友和邻居那里获得帮助的多少。这种资本对尼科巴人来说是一种重要的财富形式，虽然变化不定，但是这种规则可以满足大家的基本需求。

几个世纪以来，印度和中国之间往来穿梭的船只只需要在尼科巴群岛停留，为他们的长途航行补充食品和其他必需品。从 1756 年丹麦人开始对尼科巴群岛进行殖民统治以来，岛上的统治者不停变换：从奥地利人、英国人、日本人，再到英国人以及印度人。尽管如此，当地文化传统仍然得以留存。1956 年，印度颁布法律，限制行政人员、军事人员、部分商人和移民进入尼科巴群岛。尼科巴人很少使用现金，他们将椰肉晒成椰肉干，与私营商人或当地合作社交换大米、白糖、煤油、布料和其他岛上无法自产的物品。

然而，2004 年，辛格在海啸发生 3 周后重返尼科巴群岛时，一切都变了。群岛的海岸线面目全非，海水冲刷着村落的废墟。破碎的珊瑚、折断的树木和其他碎片阻碍着船只前行，而研究团队的越野车也陷入了沼泽，他们在小岛上艰难地跋涉着。不过，对辛格来说，与第一次接触尼科巴人比起来，这次旅程的辛苦完全是小巫见大巫。

灾难发生后，印度武装部队解救了尼科巴群岛将近 2.9 万名幸存者，其中约 2 万名来自德林格德岛、乔拉岛和邦波卡岛 (Bompoka Island) 等 6 个小岛上的尼科巴人。尼科巴群岛当地政府的首府位于南安达曼岛 (South



尼科巴人会采摘椰子，伴随音乐举办宴会，也会开展竞技体育活动。参与这些活动的除了居民，还有他们的祖先和自然精神，两者都是通过一些雕刻的塑像来体现。

Andaman Island) 的布莱尔港 (Port Blair)，政府将这些难民安置在其他岛屿腹地高处的 118 个营地中。难民们住进蓝色防雨布的帐篷中，得到了干净的水和食物，但是没有其他必需品供给。许多人还没有从这场灾难的惊吓中回过神来，而其他一些人已经在一片狼藉之中打捞可用的东西，渴望着重建家园。

邦波卡岛村长克福斯 (Kefus) 当时就说，当务之急是邦波卡岛居民必须立即返回岛上重建房屋，种植蔬果，以确保之后的食品保障的安全。他和其他一些长者非常有预见性，他们担心，岛上的居民长期离开岛屿，会使他们失去自己的文化根源与身份认同。乔拉岛长老乔纳森 (Jonathan) 就表示：“我们可能会送命，但我们必须回家。”几位长老要求政府官员提供船只和工具。但是政府官员却提出，印度政府正在新德里计划进行大规模的援助，如果难民离开营地，则将被视为放弃捐助。这让许多难民陷入两难境地，不确定是要依靠自己的能力回归传统生活，还是应该信任政府。因此大多数人决定留下来观望。

在接下来的几个月中，难民开始收到救援物资，但这些物资却往往与他们的需求和文化习俗相悖。2005 年 6 月之前，尼科巴人住进了用铁皮建造的避难所中。政府源源不断地给他们提供食品和药物，非政府组织则提供其他救援物资，包括当地人没有见过的加工食品和消费品。许多物品当地居民都无法使用，比如羊毛毯（不适合炎热和潮湿的气候）、沙丽服（印度妇女穿着的衣服，但是尼科巴人从未见过）和各种电子设备（当地经常断电或根本就不供电）。

印度政府的援助方法使问题变得更加复杂。当捐赠过程需要受援方协商时，政府官员更愿意与缺乏经验、没有主见，但是会说印地语或英语的年轻人进行交流。这些年轻人也被称作所谓的“海啸领导人”，但他们并不能代表多数当地居民的真实想法，最终成为政府的应声虫。在海啸发生之前，村里的长者是决策者，现在不仅长者的权威被削弱，世代之间也冲突不断，最终权利都回归政府手中。

在“海啸领导人”的协助下，政府将大量海啸灾难补



偿款存入新开设的银行账户中。毫无意外的，以男性为首的小家庭拿到了这笔钱。这种做法不仅破坏了联合家庭制度，同时也损害了女性在社会中的地位，因为她们在海啸发生之前对于经济有着重要的话语权。当需要确定受助名单时，几名年轻的“海啸领导人”因为第一次手握权力而被冲昏了头脑，他们纷纷在救助上偏袒自己的家庭，因此引发了不小的争端。

精神与文化动摇

尼科巴人一直在闷热不堪、咔哒作响的铁皮屋中煎熬着。来自康杜尔岛 (Kondul Island) 的莫霍 (Mohoh) 说，他感觉自己像一只“笼中的鸟”。由于避难所太小，他们找不到可以种菜或养猪的空地。尽管森林里到处都是倒下的木材，但是他们没有砍树的斧头就建不成房屋。在难民们原来生活的小岛上，小河里满是鱼和螃蟹，播种季节也临近了，但大多数尼科巴人都被困在营地中，靠救济粮过活。有些人觉得他们正渐渐沦为乞丐。“我们可以自己维

持生计。”纳科里岛 (Nancowry Island) 塔彭村 (Tapong) 的村长希拉里 (Hillary) 说，“我们不需要饼干和薯条。我们要的是能重新建造自己的房屋，种上自己的果蔬。如果真的想帮助我们，请给我们工具。”

在这种情况下，岛上爆发了小规模的抗议，一些长者站出来表示：尼科巴人需要自己的空间，需要按自己的文化方式去哀悼和重建家园。“请不要过多关心我们，否则我们一定会死。”喀彻尔岛 (Katchal Island) 的长老约翰·保罗 (John Paul) 说，但政府对这些请求置若罔闻。包括大小尼科巴岛 (Great and Little Nicobar) 长老保罗·乔拉 (Paul Joorra) 在内的许多长者都预言：“这种救援终将伤了尼科巴人的心。”然而，长者们经常与年轻领导人发生冲突，而政府又时常给出模糊的表态，这导致长者们想要回岛的诉求总是失败。此外，由于尼科巴人素来性格温和，不擅长表达分歧与不满，因此对强加于他们身上的事物往往不会断然拒绝。

当然，也有少数尼科巴人拒绝让步。在紧邻特雷莎

岛 (Teressa Island) 的营地中, 传统意识较强的乔拉人 (Chowra) 从破坏不那么严重的村落里拿回了工具, 建造了独木舟。他们乘着独木舟往返于营地和乔拉岛之间, 回到岛上清理废墟, 种植果蔬, 修缮住房。在撤离乔拉岛 18 个月后, 他们带着在流浪过程中建造的 100 多条小独木舟和 10 多条用于节日庆祝的独木舟重返家园。

2011 年, 政府为尼科巴难民建造的永久性住所终于建成了, 但尼科巴社会已经发生了不可逆转的变化。在住在救援营地的岁月里, 尼科巴原住民与印度移民有着密切的接触, 但印度居民却将尼科巴人看作半裸体、吃生鱼的“原始人”。时间一长, 尼科巴的许多年轻人受到了影响, 开始以自己民族的文化传统为耻。他们拿着政府的救济金, 去买电视、摩托车、手机等这些原来岛外的人才用的东西。拥有多少现代商品, 成为了评判穷富的新标准。而移民和商人则想办法狠狠敲诈容易上当受骗的尼科巴人, 迅速骗光了他们的银行存款。

有钱, 有免费的食物和生活用品, 再加上多年来被迫赋闲, 许多尼科巴人渐渐失去了劳作的动力。他们的日常饮食从露兜果和鱼变成辛辣的印度菜和快餐。由于长期丢弃了原有的生活状态, 这些对救济非常依赖的尼科巴人开始变得颓废沮丧, 许多人开始借酒浇愁。即便有 1956 年颁布的保护法限制, 移民和商人仍然将印度制造的外国酒, 比如威士忌和朗姆酒, 源源不断地卖给尼科巴人。

政府启动了一些项目, 试图帮助无事可做的尼科巴人恢复劳动, 但是大多数项目并不符合当地的实际情况。例如, 官员们想给尼科巴人引入社区种植园, 但是他们却不知道尼科巴群岛的土地所有权是属于社群大家族的, 家族会将土地使用权分配给小家庭。尼科巴的传统是: 谁种的树就归谁所有, 但是土地所有权仍然在图赫特或卡穆昂斯这些大家族的手中。如果有人想在没有被家族批准的土地上种树, 就会引起激烈的冲突。

危机来临

而在 7001 个永久性住所完全建成后, 另一场危机接踵而至。海啸发生之前, 尼科巴部落通常坐落在海湾靠岸边的红树林后方, 岛民只需乘着独木舟就可以很快地到达其他部落或者附近的岛上。为了防备有毒的爬行动物和季风风暴带来的洪水, 他们的小屋建在木桩上, 屋子下方的阴凉处可以饲养猪和鸡。这些房屋是专为热带地区设计的, 非常舒适。屋子的门通常朝向大海, 屋顶是茅草铺成的, 墙和地面由劈成两半的竹子做成, 方便通风。



Kareau 代表着尼科巴人祖先的精神, 蕴含着能够帮助尼科巴人治愈海啸创伤的力量。他审视着分散在各个村落、岛屿甚至帐篷里的尼科巴人。

但是政府将新房屋 (他们称之为海啸避难所) 建在了远离海岸的高海拔内陆上, 理由是他们认为这样更安全。建筑承包商用船运来了进口的组装房屋、钢柱、隔板、混凝土块、铁柱和镀锌铁皮, 同时带来了几百名外地工人。许多外地工人侵占了尼科巴人的土地并永久性地定居下来。

这种房屋有很大的弊端, 一旦遇到屋顶漏水或墙壁倒塌, 尼科巴人是没有办法自己修复的, 他们不得不再次求助政府。而且, 在设计和分配这些居所时, 政府将大家庭分成了几个小家庭, 尼科巴人家族性社会的基础被破坏。以前宗族是所有尼科巴人的支柱, 在有需要或组织大型仪式时会帮助各个家庭。现在大家庭分散居住, 各村落强大的社会支持系统崩溃了, 村民在一些重要关头会面临孤立无援的情况。

对其中一些尼科巴人来说, 这场海啸援助带来的伤害更深。政府将一些小岛划分为无人岛, 强迫岛上的居民搬到其他岛上居住。但事实上, 尼科巴人与世代居住的土地之间有着深厚的精神和情感联系, 政府直接让他们与家乡永远分离使得部分尼科巴人非常痛苦。保罗·乔拉伤心地说: “我们想念我们的家园, 而它也会想念我们。” 尼科巴人的家园传承着世代祖先的精神, 因此家园和土地对尼科巴人来说是有生命的, 切断与它的联系比失去亲人更痛苦。

另外, 长年的心理压力、久坐再加上常吃加工食品的生活方式, 给尼科巴群岛的居民带去了多种新疾病, 比如高血压。但岛上缺少现代的医疗设备, 许多尼科巴人在短短几年内就死于心脏病、糖尿病、外伤、呼吸系统疾病、肺炎、疟疾和其他疾病。而引起这些问题的祸端则是酗酒。

2011 年, 政府在完成最后一批海啸避难所的援建和安置工作后, 突然停止了对尼科巴群岛的援助。此时尼科巴人已经花完了他们的现金, 由于买不到印度制造的外国

酒，他们转而开始吸食一种叫 junglee 的毒品（一种由乙醇、尿素、蓄电池酸和其他化学物质构成的混合物）。这种毒品是由援建时的内陆工人非法带到群岛上来的。楠考里岛（Nancowry Island）部落理事会主席阿耶莎·马吉德（Ayesha Majid）当时就预言：“junglee 将比海啸杀死更多尼科巴人。”

许多尼科巴人认为，挥之不去的悲伤感是这些年来同族人得病和死亡的根本原因。楠考里岛的长老邱蓬（Chupon）绝望地说：“我们表面上还活着，但我们内心深处都已经死了。”曾参加查乔欢乐葬礼的廷福斯也是这样认为，他在 2014 年对塞尼说：“尼科巴快要死了。”他轻轻地颤抖地解释着，kareau（即祖先的精神）一直以来是如何保护尼科巴人免受邪灵侵害的，但是到头来，他的族人丢掉了对传统智慧的信仰，走向了自我毁灭的道路。他预言，海啸援助终将毁掉尼科巴人。他的话很长，中间曾停顿了几次，其中一句话还没讲完，他突然失声痛哭。2018 年 9 月，尼科巴最后一批长老之一的廷福斯去世了，享年 80 岁。他的离世标志着尼科巴群岛一个时代的终结。

逝去的尼科巴

海啸发生以来，尼科巴部落已经失去了其原本的社会凝聚力、精神传统、可持续资源使用规则以及其他能确保复原其社会结构的非物质特质。按照重量计算，他们的材料消耗增长了 6 倍，化石燃料消耗增长了 20 倍。在失去捐助、没有高薪工作的情况下，他们只能踏上一条毫无希望的路——用有限的资源去满足自身高度膨胀的需求。许多尼科巴年轻人搬到布莱尔港打工，他们在那里过得并不好，常常要面对印度本地人的剥削和种族歧视。2018 年，特雷莎部落理事会秘书克里斯托弗（Christopher）告诉赛尼，他们遭到印度本地人的辱骂、摧残和虐待，从身体到内心都伤痕累累。“我们身心都感觉很痛，”他说，“但是我们又能做什么？”

我们认为，这种错误的援助方式，以及给尼科巴群岛带来的灾难性后果原本是可以避免的。尼科巴部落曾经联系紧密，他们有丰富的传统智慧，完全有能力应对海啸带来的灾难，不需要外界来告诉他们应该怎样做。用楠考里岛部落理事会发言人拉希德·尤索夫（Rasheed Yusoof）的话来说，尼科巴人仅仅需要外界拥有“倾听他们想法的耳朵”和一点点他们需要的东西，而不是捐助者的自以为是。在一系列过度、失当的援助中，尼科巴人最初重建家园的信心消失了，他们最终变得无所事事、萎靡不振。

2015 年的一次联合国大会中，联合国针对预防自然灾害、缓解灾害带来的后果出台了相关指南，同时提出了“重建更美家园”的方案（Build Back Better，简称 BBB），目的是为受灾者提供比之前更好的生活。然而，海地、尼泊尔和菲律宾等地的案例研究表明，BBB 方案的执行人员并没有考虑灾民的实际需求和文化。研究人员格伦·费尔南德斯（Glenn Fernandez）和伊夫特哈尔·艾哈迈德（Iftekhar Ahmed）在 2019 年有关 BBB 的文献综述中总结道：“有关不再重复或加剧灾前漏洞的承诺大多没有兑现，因此在这种大背景下，我们更应该总结和反思这次对尼科巴人失败援助的教训。”

现在是时候从过去的错误中吸取教训了。在灾难援助和灾后重建的过程中，国际社会不应该采取一刀切的态度，而是需要意识到文化的多样性，从传统智慧中汲取经验，调动灾民重建家园的积极性，提高他们的参与度，因地制宜地做好灾后重建工作。我们不仅不该消除文化差异，还需要保护文化多样性，甚至应该感谢这个世界仍然存在多样的文化。正是各异的文化指引着人类在这个星球上幸福生活下去。

印尼海啸发生后的第 15 年，许多尼科巴人已经后悔当初相信政府救援的承诺。其中一些尼科巴人将重返家园，波蒂弗（Portifer）说：“我们在这里没有未来，许多人都计划回家。”他的家在德林格德岛，但直到 2019 年 12 月，他仍然住在邻近的卡莫塔岛。德林格德岛之前是一个只有 36 平方千米的小岛，地震、海啸过后仅存 29 平方千米。对外界来说，在这样一座灾后小岛上的生活是很危险的，鳄鱼还会随时出现在海岸上，但是 7 个尼科巴家族已经返回这座小岛，他们宁愿冒着被鳄鱼吃掉的风险，也要逃离现代文明的风浪。■

本文译者 樊少华是复旦大学生命科学学院 / 人类表型研究院的研究员，研究方向为人类迁徙、分歧时间以及适应性进化；表型的产生以及进化历程。

扩展阅读

The Nicobar Islands: Cultural Choices in the Aftermath of the Tsunami. Simron Jit Singh. Czernin Verlag, 2006.

Disciplining the Other: The Politics of Post-tsunami Humanitarian Government in Southern Nicobar. Ajay Saini in Contributions to Indian Sociology, Vol. 52, No. 3, pages 308–335; October 2018.

The Sustainability of Humanitarian Aid: The Nicobar Islands as a Case of “Complex Disaster.” Simron Jit Singh et al. in The Asian Tsunami and Post-Disaster Aid. Edited by Sunita Reddy. Springer, Singapore, 2018.

The Andaman Islanders. Sita Venkateswar; May 1999.



Ferrum From Supernova 人体的铁来自超新星

铁太过常见，以至于时常被人忽略。但是，很多人不知道，我们身体中的铁可能来自于宇宙中最绚烂的超新星爆发。此外，这种身世显耀的元素还与人体的血液有着千丝万缕的联系。

撰文 科特·施塔格 (Curt Stager) 翻译 孙亚飞

公元1054年的夏天，一位叫作杨惟德的中国星官在一个晴朗的早晨观察到了一颗从未见过的星星，它出现在东方天际，闪烁着光芒。杨惟德立即向朝廷递送了急报，上面写道：“臣伏睹客星出见。”相关记载仍然可在宋朝留下的官方资料中查阅到。那时的杨惟德或许不知道，他描述的是宇宙中最为壮丽的景象之一。同时，他也记录下了一次遥远而宏大的爆炸，多种原子正是在这个过程中诞生的，而这些原子与流经他血脉中的原子一模一样，与组成他那些观星仪的原子也毫无差别，与构建他脚下地球的原子更是如出一辙。

在中国的星图中，这个位置很靠近参宿三星，它更为人知的名字是“猎户座”，有关客星位置的历史记载，也使得现代的天文学家可以将它和它的残骸（蟹状星云）联系起来，这片残骸就位于猎户座腰带上那3颗星构成的斜线上方。

同一时期，一位远在西方（现属伊拉克）的学者也记载了这一事件。这位名叫伊本·巴特兰（Ibn Butlan）的哲学家和医师写道：“这颗壮观的星星出现之后，我们这个时代便出现了一种流行病。这一年秋天，君士坦丁堡有14 000人因此死去。”比起今天，当时西亚杰出的科学家也和东方的同行一样，更倾向于将天文现象与人间的祸福联系在一起。

900多年后，直到阿尔伯特·爱因斯坦（Albert Einstein）提出了著名的质能方程，科学界才真正地将在太空中的爆炸与我们的身体联系在一起。这个方程把质量和能量用等号连接了起来，从而帮助我们理解那些垂死的恒星如何产生新的元素，催生新的生命。

在你的身体内，铁元素几乎比其他元素都重，它携带着26个质子和30个中子，在元素周期表中排第26号，宇宙丰度（宇宙中各种元素的相对含量）排第6位。值得注意的是，你身体里的铁，可以追溯到分散于土壤中的磁铁矿与赤铁矿颗粒，以及少部分来自花岗岩与玄武岩的辉石、云母等矿物。但这并非全部，还有一些铁是天外来客。

很久以来，人们一直惊叹于从天而降的铁陨石，并热衷于收藏它们。数千年前，一颗重达34吨的大块头袭击

了格陵兰冰盖，当时原住民猎人的刀和鱼叉便取材于此；法老图坦卡蒙的木乃伊佩戴的一把镍铁合金匕首，同样也是来自陨石。可以大到足够制造工具的陨铁碎片终究还是不太常见，还有很多陨石并没有以固体的形式落到地球上。

当流星发出光芒，随后又消逝的时候，它所携带的原子并没有真的消失，而是以更分散的形式留存在大气中。大多数金属质陨石会在大气中解体，在10千米的高度上形成几千米厚的烟雾，围绕在地球表面。每年大约有10万吨的太空尘埃会沉积到地面、海洋表面或是你的屋顶上，这其中不仅有铁，还有硅酸盐矿物质以及来自彗星的冰，甚至偶尔还会有火星上飞溅出的颗粒。

这些物质大多都会溶解到地下水或海水中，然后随着食物链进入你的身体。最终，转瞬即逝的流星、一捧卑微的沙子和法老的神圣匕首以及摇摆的罗盘针，其实都和你分享了来自宇宙的共同遗产。

超新星的遗产

但是，当追寻所有铁元素的最初来源时，你可能会发现，除了氢是在宇宙大爆炸之后不久凝聚形成的，其他很多元素都跟恒星衰亡有关。例如，在Ia型超新星中，一颗恒星从相邻的伴星那里吸取物质，在超过极限后发生爆炸。在II型“核心坍缩”超新星中，质量数倍于太阳的恒星因燃料耗尽而自行坍缩，随后爆炸。还有一种情形，质量非常巨大的恒星会发射物质与反物质颗粒，两者接触时会发生湮灭，最终的归宿则是“不稳定对超新星”。如今，这类景象可以通过哈勃望远镜或斯皮策空间望远镜直接或间接观测到，也可在地面天文台观测到。

宇宙中最初的铁元素以及其他更重的元素，都可以追溯到超新星爆发，而今天可以看到的超新星与星云，也可以让你认识恒星再次诞生的摇篮。蟹状星云便是其中之一，那激荡的气体与尘埃云，与太阳系形成前的状态颇为相似。在望远镜下，它看上去好像只是一团毫不出奇的烟雾，但实际上，它曾经属于一颗质量相当于8到16个太阳的恒星，现在已经凝化成了一场横跨万亿千米的灰烬风暴。

尽管核心坍缩爆炸在7千年前创造了这一切，但如今我们看到的星云仍然在剧烈燃烧，并且以大约每秒1609千米的速度膨胀。对光点、光线与尘雾进行光谱分析后发现，星云中含有的物质主要是氢，还有铁和一些其他元素。通过从地球上最冷的地点采集到的新数据，我们现在可以提供更多证据，找到地球与那次超新星爆发之间的联系。当然，在那时，爆炸的位置也应该是银河系中最热的位置

之一。

2001年，日本科研团队在南极冰川钻取了一根冰芯。在大约48米深的位置，他们发现氮氧化物的浓度出现了一次巨大的偏移，时间正好对应公元1054年；在更下层的位置，还有一次偏移对应公元1006年，也就是另一个客星出现的年份。不久后，美国堪萨斯大学的科学家发表报告称，对格陵兰岛的冰芯进行的研究也发现了类似的结果。最可能引起这种全球性同步脉冲的原因，应该是超新星辐射出的宇宙射线将空气中的氮气分子氧化，随后，又沉积到了地球上。这便是论证“客星就是超新星”的确凿证据，现在这两颗超新星的编号分别为SN1006和SN1054。

当你身处地球之上，你还需要再次感谢铁，你的煎锅、钥匙和汽车，你信用卡上的磁条以及控制罗盘的地球磁场都归功于它。而在地球上存在了40多亿年后，这些已经硬化的“母星之血”，仍然在你的血液和组织中扮演着毁灭者与创造者的双重角色。

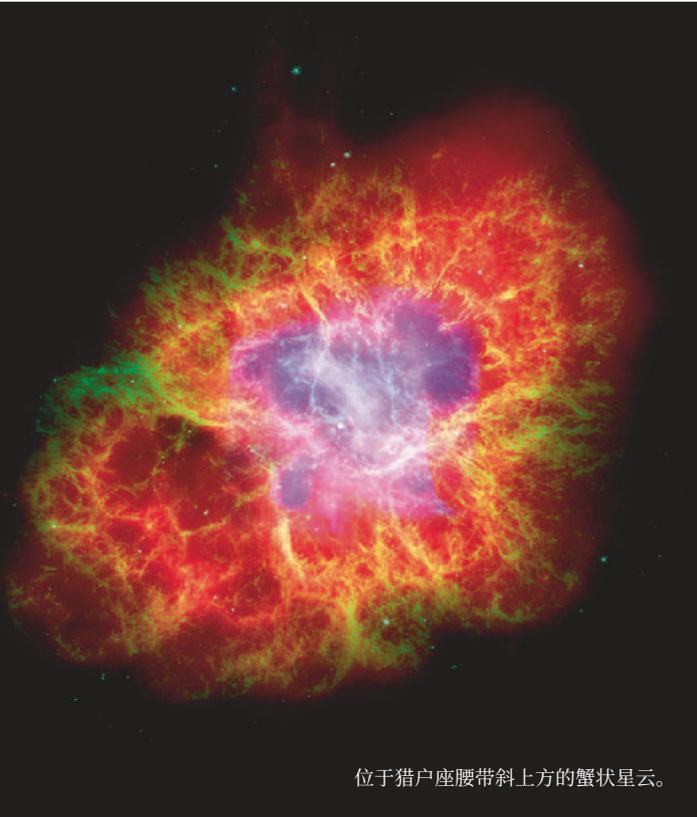
蓝皮肤的人

1958年，卢克·康布斯（Luke Combs）去肯塔基大学医院看望他怀孕的妻子，但比起他的妻子，医护人员似乎更关注他。查理·贝伦（Charles Baehren）医生后来评论说，这名男子的皮肤“就像是凉爽夏日里的路易斯湖”。于是科学家对康布斯开展了一系列的研究，发现了导致白种人皮肤变蓝的遗传性血液病。

根据美国印第安纳大学作家凯西·特罗斯特（Cathy Trost）的报告，早在19世纪初期，“蓝精灵”就已经在肯塔基东部的山区为人所熟知。马丁·福格特（Martin Fugate）是一名来自法国的移民，他在恼人溪（Troublesome Creek）定居后，爱上了一位名叫伊丽莎白·史密斯（Elizabeth Smith）的女子。巧合的是，他们都携带一种罕见的隐性基因，而马丁与伊丽莎白所生的7个孩子中，有4个天生就是蓝色皮肤，他们的很多后代也是如此。

1975年，当本杰明·斯特西（Benjamin Stacy）在哈泽德县出生时，助产护士被他皮肤的颜色惊呆了。因为担心他可能患有某种类似蓝婴综合征的疾病，医护人员迅速将他转院到列克星敦的大医院进行输血。在办理转院手续之前，他的奶奶拦住了医生，问道：“你听说过恼人溪的蓝色福格特家族吗？”

“福格特蓝”是由血液学家麦迪逊·卡维因（Madison



位于猎户座腰带斜上方的蟹状星云。

Cawein) 在 20 世纪 60 年代提出的, 对此, 他还提出了一种安全有效的治疗方法。卡维因曾花了整个夏天, “翻遍了整个山区寻找蓝色皮肤的人”, 但一直没有成功, 直到有蓝色皮肤的人走进了他的诊所。

后来, 卡维因的研究发表在《内科医学学报》上, 肯定了有关北美阿拉斯加原住民血液状况分析的早期研究, 即蓝色皮肤跟血液中一种含铁的血红蛋白有关。血红蛋白一般呈鲜红色, 当其中携带的铁元素失去电子时, 它就会变成土褐色, 这种形式被称作高铁血红蛋白 (met-H), 而失去颜色的分子也同时失去了有效携带氧气的能力, 除非电子重新恢复平衡。肯塔基的蓝人缺少一种功能基因, 以致不能产生用于恢复电子平衡的酶, 因此血液中比平常人含有更多的 met-H。此时, 原本土褐色的血液透过血管和雪白的皮肤后, 却呈现出了一种幽静的蓝色调。

对于那些父母都携带致病基因的人来说, 情况会变得更加严重, 血液的颜色会从樱桃色变为略显紫色的巧克力色。在斯特西的案例中, 他最初的肤色之所以会褪去, 是因为他还携带了正常的基因, 在他成长期间, 这部分基因足以减弱他的症状。

卡维因对“福格特蓝”的治疗方法很简单, 不过是给血液中的铁提供电子 (一种无毒的染料就可以起到这种

作用)。在为蓝色皮肤的人治疗时, 卡维因为他们注入了 100 毫克名为“亚甲基蓝”的生物染色剂。这名字颇有些讽刺性, 为解决蓝色皮肤的问题, 却使用了蓝色的生物染色剂。患者欣喜地告诉特罗斯特: “几分钟内, 他们皮肤的蓝色便消失了, 人生中第一次拥有了粉色的皮肤。他们非常开心。”

皮肤与染料的颜色相似, 这纯粹是一种巧合, 但这却引起了病人人们的注意。染料通常会通过尿液排出体外, 因此, 有一位山民曾告诉卡维因: “我可以亲眼看到原来的蓝色从我的皮肤中排出来了。”在持续研究后, 卡维因用药物治疗替代了注射, 因为注射治疗的效果总是很短暂。

铁与血之间的秘密

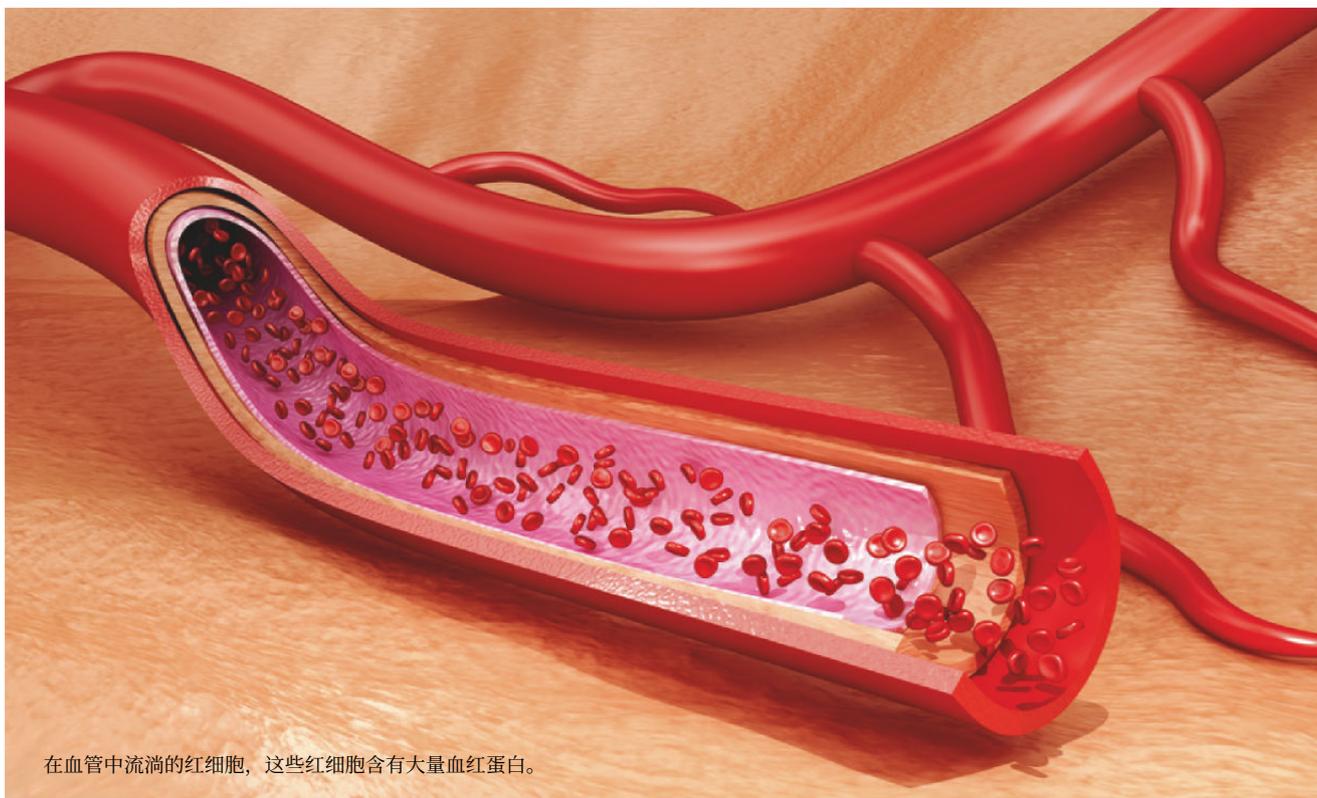
对于服用铁补剂来克服贫血症的人而言, 铁与血之间的关联是非常清楚的。在古代, 赭石以及其他一些富含氧化铁的矿石具有特殊的含义, 常被视作血与生命的象征。铁对于我们的健康而言也极为重要, 这一点早已广为人知。然而, 铁既能服务于细胞也能破坏细胞, 这却是很多人不了解的。

首先, 铁究竟能不能增强体质? 当然能。我们知道, 往铁里面加入少量的碳可以使铁变成钢, 强度得到提升, 而在身体中, 却正相反: 向身体中的一些特殊化合物加入一点铁, 就可以让你的细胞更好地发挥清理、运输、产生能量及免疫等作用。

这一切都源自于一颗依偎在一个舒适的“分子篮”中的铁原子。你一定曾有意无意地看见过自己的血。你或许注意到它的颜色与铁锈很相似, 并且猜测这两者都是因为铁在氧气的作用下变成了红色。在一定程度上这是正确的, 但血的颜色还是得归功于血红素分子——一种存在于血红蛋白中, 像篮子一般携带着铁原子的分子。

血红素中由碳和氮原子构成的五元环及六元环可以与可见光共振, 并吸收掉其中一部分, 从而显现出各种不同的颜色。擦伤中的黄色或橙色, 就是源于这些分子环被破坏后的血红蛋白, 被称作胆红素; 尿液的金黄色则大多源于胆红素的进一步分解。棕色皮肤的颜色来自黑色素, 同样也是一种碳基的网状分子, 同样不需要铁来帮助生成颜色。有时候, 色素代表着有机体的重要特征, 例如黑色素不仅是不同肤色文化的象征, 也可以减少阳光中紫外线带来的伤害。不过在你的血液中, 血红蛋白的首要功能是让你活下去。

血红素分子很像是一张小小的铁丝网——平坦、对称、



在血管中流淌的红细胞，这些红细胞含有大量血红蛋白。

复杂，并且从确定的中心向外辐射，携带着你身体中大部分的铁。围绕中心的是四个碳-氮环，每一个环都有一个氮原子指向内侧。当血红素在中心的位置挂上一个铁原子后，便可以从你的肺部接收氧气，并将它们送达体内的任意部位。

当血红素位于血红蛋白隆起处顶端时，血红蛋白会利用分子的特殊结构将氧气分子从上方压住，这有助于在艰难通过血管之时，保持氧气稳定。如果这里的铁没有被血红素包裹，即使你大口喘气，仍然得不到足够的氧气，因为此时你的血浆只能携带极少量的氧气。每一个血红蛋白分子都带有4个血红素，而每个红细胞则含有大约250万个血红蛋白。在你手臂动脉中流淌的每一滴血，都含有数百万个红细胞。也就是说，数以兆亿的氧气正被铁束缚着，通过“红色运输线”来到你的手上。

如此高效工作的铁原子在你刚出生时，就已经开始向全身的细胞运送氧气了，而且还将继续为你服务直到你离开人世。然而，如果你还在子宫里，那它们未必会如此高效，毕竟你的肺还没有开始工作，而且子宫里也没有任何新鲜的氧气。作为替代，你只能通过肚脐从母亲的血液里获取氧气。这就需要一种特殊的胎儿血红蛋白（血红蛋白F），它们可以比成年人的血红蛋白更紧地抓住氧气。这种

临时的措施可以让你通过脐带从母亲那里获取氧气，直到你可以自行呼吸为止。

铁的致命影响

但是对你的健康而言，含铁血红素为你做的其他事与运输氧气同等重要。有一种令人不安的潜在危险可以证明这件事，那就是氰化物的中毒机理。用最简单的术语来描述，氰化物是通过窒息使人死亡的。中毒者失去血色的现象用医学术语来说就是“发绀”，这个词也是氰化物的词根来源（氰化物的英文是Cyanide，发绀是cyanotic），它描述了中毒后因缺氧造成的蓝色嘴唇。

在溶液中，氢氰酸（氰化氢）的氢离子会电离成自由离子，剩下的氰离子就成为氧气的致命模仿者，可以与血红素紧密结合。当氰离子像氧气那样与铁结合时，血红蛋白从你肺部运送氧气的过程就会减缓。然而更严重的损害将发生在细胞中最为偏远的角落里，也就是线粒体内。氰化物“别动队”可以破坏含铁的组件，而它们正是产生能量的组件。

血红素携带的活性铁原子结合在细胞色素上，这是一种有别于血红蛋白的蛋白质，其中一部分驻留在你的线粒体中。就像大块的铁可以导电一样，血红素上的铁也可以

通过细胞色素传递电子，从食物中获取化学能。这是一条精密的电子传递链，而氰离子通过与铁原子结合攻击了这一链条，使得电子的传递变得特别困难。没有了能量供给，你的肌肉与神经都将停止工作，心肺也会衰竭。

在你的体内，大约有 1/3 的铁存在于血红蛋白与肌红蛋白以外的分子中。含铁的蛋白质可以构建并修复你的基因，代谢药物及有毒物质，帮助产生激素，并且很多酶会将铁作为分割利器。例如，当已经无用的血液细胞需要被回收时，肝脏中的色素细胞就会将它们切成碎片。如果你曾经用过双氧水处理伤口，你或许会注意到它产生的乳状泡沫——这是过氧化氢酶的杰作。利用 4 个铁原子，保护性的酶每一秒钟都会将无数双氧水分子分解成水和氧气，避免双氧水伤害更多细胞。

在身体组织的各个部位，过氧化氢酶分子都在持续执行保卫工作，让你免遭危险化学废物的侵害，而这些废物通常是由你的代谢系统在体内产生的。

一名普通成年人体内大约含有 4 克铁，相当于 3 枚曲别针那么重。在你的体内，铁可以被用于实现一些有益的目的，你的细胞也会将它作为一种武器。但有的时候，一个不恰当的操作却也能让枪口掉转，对准它的主人。

最具生物活性的状态是二价铁，二价铁很容易将电子转移给其他原子或分子。正因如此，二价铁又可以在某些细胞中的化合物面前表现出很恶劣的行为，形成腐蚀性的自由基分子，损坏组织，并妨碍伤口位置的血液凝结。当它受控时，铁对你是有帮助的，但只要 1 克不受控的二价铁，就足以将一个孩子送进医院。多数致死案例是给儿童喂食成人剂量的含铁补剂导致的，儿童典型致死剂量大约是 3~6 克（成年人的平均致死剂量约为 10~50 克）。根据《儿科》杂志的报道，在 1983 年至 1990 年间，美国有 16 名低于 6 岁的儿童因此丧命。

那为什么血液中的铁并未置你于死地呢？这是因为大多数铁都被血红素或其他分子束缚住了，而你的细胞还雇用了一支“维和部队”，确保铁元素在完成任务时只带来最小的附带伤害。这类分子中最常见的一种是缠绕蛋白，可以包裹或直接吞噬铁原子。其中最主要的是铁蛋白，专门在细胞内部将铁隔离；还有转铁蛋白，可以在细胞之间传递铁。

体内铁原子的破坏力当然也可以用于抵御致病性微生物。免疫系统的第一道防线用的是一种“焦土政策”，让入侵者断粮断补给。此时，你只需要简单地用血红蛋白和其他物质将血液中的铁锁住，不让细菌的酶得到它们就行

了。这不仅可以让你远离危险的副作用，也可防止病原体利用它们来伤害你。血红蛋白通常存在于红细胞中，不过当红细胞最终瓦解或损耗时，任何泄漏出的铁都会很快被铁蛋白或转铁蛋白吸收。因此你的身体中几乎不会含有活性的游离铁，通常这是一件好事，因为无论如何你都不会希望看到它们在你身体里自由漂荡。

然而，身体里异常缺乏游离铁也有不利的一面，这会让你暴露在微生物面前。当感觉到铁的浓度比体外环境低得可疑时，处于休眠状态的细菌基因便会突然启动。这会释放大量的蛋白质，窃取你体内的铁，并将其送入入侵敌军那里。

这些蛋白质攻击你的细胞是为了让它们释放含铁分子。细菌表面一些其他的特殊蛋白质会将暴露的铁原子从它们的守护者身上撕扯下来，有时也会将整个分子吞噬。然而，另一种被称为“铁载体”的细菌产物，是与铁结合力最强的几种已知物质之一，它们像可食用海绵一样，将铁化合物吸收并控制，直到饥饿的微生物将它们整个吞噬。

很显然，虽然铁具有一些潜在危险，但对你来说还是非常重要，对于其他生物而言也是如此，这也是为什么你的食物里会有生物性铁的存在。同样，哺乳动物与鸟类都拥有血红蛋白和其他一些含铁分子。

至于菠菜，虽然它所提供的铁远不及《大力水手》动画片中描述的那样多，但它与其他蔬菜也含有该元素，因为它们自身的细胞色素还有自由漂浮的酶都离不开铁。浮游藻类会从海洋中的细菌性铁载体那里获取铁；苜蓿与其他豆类植物的根部生活着根瘤菌，利用富含铁的酶将空气中的氮转化为肥料，并与宿主一起产生了一种类型的血红蛋白，可以帮助细胞在地下完成呼吸。

这些联系十分有意思，可以让你通过食物追溯到那些为植物提供铁的土壤，还可以继续追溯到地壳中的古老岩石，甚至可以追溯到太阳系诞生时的那次爆炸，以及爆炸产生的星际尘埃。



本文编辑自科特·施塔格的《诗意的原子》。书中，作者不仅讲述了铁元素是如何从宇宙中最灿烂的超新星爆发中起源的，还以深入浅出的方式讲述了它与人类的生活方式，甚至人类生理结构之间的紧密联系。作者试图让每一位读者意识到，人和自然的联系是如此紧密，我们并非独立于自然之外，而是它的一部分。



新冠疫情 如何冲击全球健康

如果能够提前两周预测一个地区疫情的暴发情况，能带来怎样的改变？在未来一段时间，疫情的全球蔓延又将如何影响公共卫生的其他领域？

本刊记者 戚译引

北 京时间4月7日早晨，在大洋彼岸的西雅图，人们正为预计将在一周后到来的疫情高峰严阵以待。做出这个预计的是美国华盛顿大学健康指标与评估研究所（IHME）的科学家，他们开发的数学模型预测，美国的感染峰值将在4月中旬到来。模型最早发布于当地时间3月26日，预测了美国各州接下来的新型冠状病毒病流行情况以及对医疗物资的需求；随后，IHME会根据最新数据更新每天的预测结果，同时也在开发针对其他国家的模型。

图片来源：Pixabay

和此前学术界发表的大多数模型不同，IHME 的模型不关注确诊病例数量，而是关注死亡病例数。这个团队基于此前中国、韩国、意大利的死亡病例数据，对美国各州未来每一天的死亡病例数进行预测。然后，他们据此反向推算病床、重症监护室（ICU）和呼吸机的需求，为医院提前储备物资提供指导。

预测带来的改变显而易见。在 3 月 30 日发表于 medRxiv 的论文预印本中，IHME 预测美国在接下来 4 个月中因疫情死亡的累计人数将超过 8 万人。到 4 月 4 日，美国已有接近 40 个州施行居家隔离等措施。再加上纳入了意大利和西班牙的最新数据，在 4 月 8 日前后，模型预测的死亡数字已经下降到 6 万。

为了解如何借助模型更好地应对疫情，探讨疫情对全球公共卫生的整体影响，《环球科学》在 4 月 7 日采访了华盛顿大学人口健康首席战略官、IHME 健康计量科学教授阿里·穆克达德（Ali Mokdad）。作为比尔及梅琳达·盖茨基金会资助成立的机构，IHME 的一项重要工作是对全球疾病负担（GBD）进行统计。2020 年的 GBD 报告将在明年 5 月发布，届时我们将对疫情的冲击有更全面的了解。

不断变化的数据

《环球科学》：你的团队从什么时候开始对疫情进行建模？

穆克达德：我们最初开始建立模型是应华盛顿大学多家附属医院的请求，他们想让我们估算为了应对疫情，医院需要准备多少床位、ICU 床位和呼吸机。美国最早的病例和第一个死亡病例都发生在西雅图，在 2 月底的时候。总之，我们建立这个模型最初只是为了服务自己所在的郡（美国行政区划中仅次于州的单位）。接下来我们就被要求为每个州进行建模。

我们希望模型能够为美国领导层提供信息，告诉他们各地在什么时间需要哪些物资。我们的模型能够展示每个州的医疗资源需求高峰到来的时间，那么根据预测结果，我们就可以先把物资输送给峰值较早到来的州，然后再供应峰值较晚到来的州。

《环球科学》：在构建模型的过程中，团队使用了哪些数据？为什么你们认为报告的确诊病例不是理想的参数，而选择使用死亡人数建模？

穆克达德：我们使用了来自中国的数据，还有来自韩国和意大利的数据。我们区分了三类不同的隔离措施，第

一是各级学校关闭，第二是所有人居家隔离，第三是关闭非必需的营业场所。关于采取各类措施的时间和对死亡人数的影响，我们再次使用了中国与世界卫生组织（WHO）共享的数据。

我们决定将死亡人数作为参数进行建模，而不是确诊病例数，是因为当时在美国，我们没有足够的检测能力，无法让每个病例都得到检测。所以我们选择了死亡率。我们知道每个州、每个年龄段、每种性别的居民的死亡原因。使用这些数据，再反推医院将会需要多少床位、ICU 和呼吸机。然后我们每天更新模型，每天都会给出新的估计。

《环球科学》：关于无症状感染者的比例和传染性，目前报告的数据波动很大，你怎么看待这个问题？

穆克达德：无症状感染者正是我们非常关注的话题。正如前面所说，我们不考虑病例数，是因为没有足够的检测，不知道具体有多少病例。那些症状轻微的患者不会认为自己得了 COVID-19，也不会到医院或诊所进行检测。你可以想象，现在大家最不想去的地方就是医院了。

因为不知道有多少人感染了病毒，在美国，我们采用了和中国一样的措施，建议所有人居家隔离。所以到 4 月 4 日，美国近 40 个州都发布了居家隔离的命令。我们还开始建议大家戴口罩。网络上甚至还有教人们制作口罩的视频，建议人们使用自制口罩，不要去购买。因为没有足够的口罩，我们希望能够保障医护人员在工作中的需求。

我们何时才能了解这些病例？当我们有信心确保每个需要的人都能得到检测的时候。但是现在我们还做不到。目前在美国我们有一条建议，那就是只有当测试结果会改变治疗方案的时候，我们才对患者进行检测。所以，即使对于那些被怀疑患有 COVID-19 的轻症患者，除非需要改变他们的治疗方案，将他们收治入院，否则我们就不会对其进行检测，以便将检测留给真正需要的人。

快速检测也很重要。一开始在美国，检测需要两三天才能出结果。我们需要的是能够在几分钟给出结果的检测。在没有实现这些条件之前，我们都不能放松措施，也不能在模型中使用这部分数据。

《环球科学》：一些国家已经开展了血清检测，以估计有多少人感染了病毒。你怎么看待这种措施？

穆克达德：这是个好主意，我们十分支持。但是请注意，虽然这是个很好的问题，但它对整体人口有好处吗？

我们更偏好鼻咽拭子，因为这种方式不那么具有侵入

性。我们还希望开发出基于拭子的快速检测，而不是基于血液的快速检测。拭子检测要容易得多，而且人人都能做，而抽取血样需要医学专业人士来操作。

如果疫情之后我们要回归正常生活，想要依靠血清检测来判断某个人是否感染了病毒，能不能返回工作岗位，我们可能指望这样的检测手段——取血样送到实验室，然后花几天检测。我们希望几分钟就能得到检测结果。

如果进行血清检测是为了更好地了解病毒的流行病学特征，那么这在各方面都是有好处的。这是一种全新的病毒，我们对它了解不多；而我们做的检测越多，就越能增进对它的了解。但是如果要的人群进行大规模快速检测，血清检测并不理想，拭子更容易推广。

疫情冲击下的医疗系统

《环球科学》：根据模型预测结果，华盛顿大学附属医院和西雅图地区做了哪些准备？

穆克达德：这个模型一开始就是为华盛顿大学附属医院准备的，所以我们走在了其他人的前面。我们第一个把课程转到线上教学，并且医院早早取消了择期手术，医生们也把自己原本用于研究的时间转移到临床工作上。

我们准备了更多的床位，并且通过减少择期手术和改造康复室，腾出更多的ICU。华盛顿大学附属的港景医院位于西雅图，这是一所大型综合医院，我们希望确保这所医院能拥有充足的物资。

并且，西雅图的人口受教育程度很高。这是一所高科技城市，许多像微软、波音这样的公司很早就开始要求员工在家办公，包括我所在的大学。我们看到，在我所在的华盛顿州、在国王郡、在西雅图，模型数据产生了很大的作用，不仅减少了死亡人数，也减少了当地医院的物资需求。

《环球科学》：目前看来，IHME的预测结果在多大程度上影响了官方决策？

穆克达德：白宫和国会参考了我们的数据，为各州调配物资。一些政府官员根据我们的数据推出了居家隔离措施。西雅图的居民，还有各个州的居民都能看到模型产生的影响。大家已经看到，一旦开始推行保持社交距离措施，模型预测的死亡人数就会下降。事实上，在一些较早开始采取措施的州，死亡人数已经比我们的预期要低了，尤其在华盛顿州和加利福尼亚州。

总之，这些模型非常有效地对公众展示了保持社交距离的重要性，促使政府和地区卫生部门进行干预，推行相

应的措施，并且为联邦层面的资源调配、保证医院物资供应提供了重要信息。

《环球科学》：对于非 COVID-19 患者，你们计划如何保障他们得到的医疗服务？

穆克达德：医院会照常运转。我们的附属医院现在划分成两类，一类接收普通患者，另一类接收 COVID-19 患者，两者之间严格区分。在港景医院这样的大型医院，即使能够同时接收两类患者，我们也会进行区分，以免发生交叉感染。要知道，医院里一直都有这样的措施，以应对各种各样的传染病，对此我们已经习惯了。

我们还会对每个患者进行检测，尤其是患有慢性病、心脏病、糖尿病或癌症的患者，因为 COVID-19 对于患有其他疾病或年纪较大的人而言更加致命。

《环球科学》：从历史数据看来，这样的流行病会对一个社区的精神健康造成怎样的影响？

穆克达德：流行病将产生长期的影响。疫情本身也许过一段时间就会消失，但它会对经济造成影响，并且我们估算美国的死亡人数将达到 61 000 人。所以，疫情将对精神健康以及焦虑和抑郁水平造成巨大的影响。这还会影响身体健康，因为患有精神疾病的人更有可能不按时吃药，原本抽烟喝酒的人还可能抽得更多、喝得更多。

所以在这段时期，我们要怀有同理心，理解人们可能会需要帮助。我们要大力宣传，告诉人们如果有需要的话，你完全可以去寻求心理咨询。

《环球科学》：为应对疫情，接下来 IHME 打算做什么？比如，你们会考虑对世界上其他国家和地区进行同样的预测吗？

穆克达德：是的。我们很快会发布对欧洲经济区 (EEA) 的预测模型，并且对于德国、意大利和西班牙，模型会精确到大区，接下来我们还将为全世界进行同样的预测。

之前我们请求 GBD 的合作者们协助收集建模所需的数据，得到了很多回复。比如今天我就收到了巴基斯坦的数据，这样我们就能够为巴基斯坦进行建模。我们很幸运，IHME 在全世界有大量的合作者，能够帮助我们采集数据。

另外，我们跟其他公共卫生相关的国际机构也合作紧密。在 2018 年我们和 WHO 签订了疾病负担研究相关的合作备忘录。这也使我们这次能够使用多个国家的数据进行分析。这其中当然包括中国。我们和中国疾病预防与控



华盛顿大学人口健康首席战略官、IHME 健康计量科学教授阿里·穆克达德。

制中心（CDC）在过去十年里在疾病负担研究上有密切合作。这些合作使我们能更深入地了解中国在疾病预防与控制方面发生了什么，并且利用中国所获得的经验；尤其幸运的是我们还能在疫情期间在美国利用这些经验。我们在中国经验基础上建立了模型，并展示了社交隔离措施能够产生怎样的影响。中国疾控中心对我们的疾病负担研究工作提供了很大的帮助，在此我们要表示感谢。

持续促进全球健康

《环球科学》：其实在疫情出现之前，许多国家的医疗系统就已经面临着一些问题，例如人手不足、医护人员压力过大等等。你认为该如何改善这种状况？

穆克达德：目前我们非常关心我们的医生护士们的状况。医院面临着很大的压力，他们目睹着很多的病痛。我们都是人，医生、护士也是人。目前他们都忙着救治病人，但是在未来，他们要经历一段艰难的时期才能走出来。我们大学的精神健康服务也会服务自己的医护人员。

这次疫情告诉我们，我们必须要对各种规模的流行性疾病暴发做好准备。而当疫情暴发的时候，医生、流行病学家和实验室里的科研人员才是那些能够找到疫苗或药物的人。我们应该对他们投资，就像投资足球明星或者篮球明星一样。我们还要投资公共卫生，确保这个系统能够对疾病进行早期的检测，尽早将流行性疾病扼杀在源头。我

希望我们能够从这次疫情中吸取教训，否则很不幸，同样的事情还会一次次发生。

《环球科学》：疫情和其他疾病之间会发生相互影响，例如有报道提到在一些国家，疫情扰乱了疟疾等疾病的防控工作，或者阻碍了疫苗接种项目的推进。总的来说，你怎么看待这样的情况？

穆克达德：我非常关心氯喹的使用。人们正在抢购这种药物，但是非洲的一些贫困国家非常需要它来治疗疟疾，这是个很大的问题。氯喹还没有被批准用于治疗 COVID-19，我们还在进行临床研究，来评价它的效果。现在氯喹有很大的市场需求，我想其中肯定有一些人只是想着买来备用。而当决定使用任何一种药物的时候，我们得想一想，它是从哪里来的？它是否供应充足，让世界上每个人都能用上？

我们还担心 COVID-19 对目前的常规疫苗接种的影响。在许多国家，父母们不再带孩子去接种疫苗了，因为他们不想在疫情流行期间去医院或者门诊。由于许多国家都发布了居家隔离措施，医务人员也没法进行疫苗接种运动，到乡村地区为孩子们接种。我们非常担心这类的情况。

还有，一旦疫情在非洲或者其他公共卫生系统较为薄弱的国家暴发，这些国家可能无法进行充分的病例调查和检测，难以判断谁感染了病毒，那么疫情可能会扩散得更快，尤其在一些贫困的城区。现在我们必须非常小心。

《环球科学》：我们该如何应对这些问题？

穆克达德：WHO 或者其他组织或者其他组织必须发挥出重要的作用。我还要指出，许多国家过去对援助发展中国家投入了许多资金，但是在这个时候，由于经济下行的压力，如今它们可能没有那么多的资金可以提供。还有，美国和欧盟可能希望将资金注入自己的系统，以便更快地复苏经济。但是我们不该忘记，疾病可能在任何地方暴发。除非我们为发展中国家的公共卫生系统提供支持，否则下一次大流行还会发生，那只是时间问题。帮助其他的国家接种疫苗和进行病例调查，这符合所有人的利益。■

扩展阅读

<https://covid19.healthdata.org/projections>.

Epic Measures: One Doctor. Seven Billion Patients. by Jeremy N. Smith, Harper Wave; 1 edition (April 7, 2015)



睡眠呼吸暂停的危害

医学专家曾认为睡眠呼吸暂停主要在男性中发作，但最新的数据表明，这种病症在女性中也很常见。

撰文 克劳迪娅·沃利斯 (Claudia Wallis) 翻译 贾明月

请想象一位典型的睡眠呼吸暂停患者。你想象出的很有可能是位中年男性，超重，鼾声如雷。睡眠呼吸暂停指的是睡眠中呼吸中断的疾病。25年前，专家们认为这种病在男性中的发病率是女性的10倍。随后，新发表的研究报告将发病率之间的差异降低到了1~3倍。

不过，随着数据的增加，有一件事越来越清晰了：睡眠呼吸暂停（以及更广义的睡眠呼吸障碍）在女性中的表现只是与男性略有不同。这也意味着，遭遇这种问题的女性时常被忽略。

睡眠呼吸暂停的危险在于，它会促发脏病、高血压、心律失常、胰岛素抵抗、卒中，甚至提高因为嗜睡而在白天造成事故的风险。简单来讲，晚上费力喘气，身体得不到放松，就会给心血管系统带来巨大压力，提高肾上腺素水平，激发炎症。医生可以通过睡眠测试诊断睡眠呼吸暂停，测试一般在家中进行。这种测试会测量呼吸暂停低通气指数，指数反映了在一个小时内，平均会出现多少次持续时长大于10秒的呼吸暂停。发作期间呼吸会停止，血氧水平会因呼吸不足

而降低3%或4%（甚至更多），这就是所谓的低通气。如果指数小于5则视为正常，5到15则为轻度睡眠呼吸暂停，15到30则为中度，30以上就是重度了。

然而，大部分居家测试并不涉及呼吸暂停发作时所处的睡眠阶段。这就是潜在的问题。越来越多的证据表明，很多女性的呼吸暂停集中在快速眼动（REM）阶段，在这个阶段，梦境最真实，心跳和呼吸也会变得不规则。在去年11月发表于《睡眠》（*Sleep*）杂志的一项研究中，研究人员分析了2057名受试者（处于45岁到84岁之间）。结果发现，女性在REM阶段的呼吸暂停发作次数与男性相当。

克里斯汀·王（Christine Won）是耶鲁大学睡眠医学中心的医疗主管，同时也是上述研究的负责人。她说：“或许还有其他因素让女性在非REM阶段不表现出呼吸暂停，但是这些因素并没有在REM阶段发挥作用。”破坏REM阶段睡眠对于健康而言可能非常有害。克里斯汀·王说：“研究表明，REM睡眠中的呼吸暂停发作次数，是造成心血管健康问题的关键。”但是，由于REM阶段只占整晚睡眠的20%左右，如果以整晚的时间做平均计算，就有可能被误导。

新研究还发现了其他在性别方面的差异。苏珊·瑞德莱恩（Susan Redline）波士顿布莱根妇女医院睡眠与节律紊乱科医生，同时也是这项研究的作者。她说：“我们发现，女性的唤醒阈值较低，也就是说她们更有可能在夜间因为呼吸暂停而醒来。”这一点也会影响诊断。当血氧水平降低4%以上前，女性比男性更有可能被惊醒。

以上研究有助于解释，为什么患有睡眠呼吸暂停的女性更有可能抱怨清早头痛、乏力、心情低落、失眠。针对男性，很多抱怨是鼾声太大（而且往往来自同睡伴侣），此外还有日间嗜睡等问题。无论如何，两性发生呼吸暂停的几率都会随肥胖和年龄而升高。

最有可能造成这种差异的原因可能是激素。女性更年期后，睡眠呼吸暂停的发生率显著上升，在患有多囊卵巢综合征的女性中更常见，这是一种以高雄激素为特征的疾病。瑞德莱恩指出，解剖结构可能也是一个因素，“男性的气道更长，更容易折叠”。至于女性更容易醒来，瑞德莱恩表示，“也许是因为，演化压力让女性更易醒来照顾孩子”。

治疗睡眠呼吸暂停最主流的方法是使用持续正压气道通气机（CPAP），它能将空气压入喉部，保持气道打开。研究表明，这种方法对REM和非REM阶段的呼吸暂停同样有效。不过，既然科学家已经清楚了解睡眠呼吸暂停有不同的类型，那么疗法也可能会变得更有针对性。■





改造泰坦

改造一颗系外行星十分困难，如何才能向前迈出一小步？

撰文 史蒂夫·米尔斯基 (Steve Mirsky) 翻译 红猪

2018年6月，《科学》杂志上发表了一项研究，显示在极端红光中培养的含有叶绿素的蓝藻（也叫“蓝细菌”）也能实现一定的光合作用，虽然这种光线能量很低。

不久后，《宇宙》杂志 (Cosmos) 就报道了这项发现，刊登了一篇精彩的文章，标题是《突破极限：蓝藻能将火星改造成地球吗？》(Pushing the Limit: Could Cyanobacteria Terraform Mars?)。导语是：蓝藻可在微弱的光线下实现光合作用，这项发现对天体生物学颇有启发。

2020年1月19日，美国肯塔基州参议员兰德·保罗 (Rand Paul) 在他的一条推特中引用了这篇文章并写道：“虽然总有人大惊小怪地预测气候变差，但人类或许能再生存数亿年。与此同时，我们也应该着手在合适的行星或卫星上创造大气了。”不久，他又发了一条推特：“这么多亿万富翁，为何不掏出1000万美元，让科学家用遗传学方法创造出一种能够生产氧气，能在泰坦星（即土卫六）冰冷的甲烷湖泊中繁衍的生物呢？”

这些想法让我觉得有些，呵呵，滑稽。首先我知道，一

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。



个物种不可能存在数亿年时间。其次，创造一种生物来改造土星的卫星泰坦，就算有可能成功，投入的成本也必定超过某个亿万富翁的这点小钱。

于是，我联络了埃默里大学的古生物学家兼地质学家安东尼·J·马丁 (Anthony J. Martin)。他指出人类的另一个物种尼安德特人“只存在了大约35万年就灭绝了”。而我们智人物种还得再努力个几万年才能赶上他们。

接着，我又写信给爱丁堡大学的演化生物学家史蒂夫·布鲁萨特 (Steve Brusatte)。他回信说：“即使我们再存活1000万年，那也创纪录了。我想不出有任何物种的寿命能达到那样的长度。1000万年之前，就连人类的谱系都尚未产生，那之后又过了几百万年，我们的祖先才和黑猩猩分家。”

再说说第二条推特。2016年确实有人在科学美国人网站上写了一篇博文，说泰坦星可能是太阳系中第二宜居的地方（在某些方面超过了月球和火星）——但那都是很久很久很久以前的事了。

我对于这个用廉价转基因微生物在泰坦星上生产氧气的想法很感兴趣，于是写信给了一位行星生物学家。对方回信（他要求匿名）说：“我知道保罗参议员不是行星科学家，显然他也不是经济学家，但我认为他去做搞笑家肯定很有前途。我可以用长篇讲座介绍泰坦星的大气密度，或分析向甲烷混合物中添加游离氧的危害，但我不知道讲这些有没有用。”这位科学家也提到了“找到一种能在94K (-179.15°C) 的气温中生产氧气的光合细菌”是如何困难。

然后我又收到了唐纳德·坎菲尔德 (Donald Canfield) 的来信，他是南丹麦大学的一位地球科学家，也是《氧气：40亿年历史》(Oxygen: A Four-Billion-Year History) 一书的作者。他是这么写的：“据我们所知，一切生命都需要水。如果我们要找的是不依靠水繁衍的生命，那就得大大拓宽对于生命存在条件的理解。这样的发现将是基础性的，并将大大超越我们目前关于生命的认识。对发现者来说奖金倒不算什么了，因为他肯定会得诺贝尔奖。”

我前面说了吗？地球在中晚元古宙的那些硫化海洋被称作“坎菲尔德洋” (Canfield Ocean)，这就是了纪念他的贡献。坎菲尔德继续写道：“我觉得更明智的做法是用悬赏激励科学家创造另一种光合生物，它最好能生产大量氢气（以此提供能量），或是大量生产塑料，或者是其他有用的氢氧化物（作为其新陈代谢的重要组成部分）。”

这样看来，如果要畅想能帮助人类的新型微生物，那还是想几种有用的好。■

为什么风投 不愿投资硬科技

在众多投资者中，只有极少数会支持那些尝试解决艰难的科技挑战的初创公司。

撰文 韦德·劳什 (Wade Roush) 翻译 赵剑琳

一些世界性的危机，如气候变化等难题，由于挑战太大，仅凭个体的行动或者政府的政策是没有办法化解的。为了安稳度过21世纪，人类也需要取得一些重大的科学和工程学突破，特别是在能源和交通领域。不幸的是，现有的鼓励创新的体系正在衰败。

目前，美国在技术研发上的投入在总体经济投资中的占比，已经降到了过去60年内的最低点。与此同时，在过去10年中，风险投资行业本应该关注和投资风险较高的项目，把实验室中的研究成果转化为商业产品和高新技术。但是，他们却都在投资一些低风险项目，比如外卖、共享单车、共享办公等。在硅谷，很多“独角兽”企业给世界



韦德·劳什是播客 Soonish 的主持人和制作人，也是播客 Hub&Spoke 的联合创始人。他还是多个纸刊、网页新闻和广播机构的自由撰稿人。



带来的改变其实非常有限，有点对不起“独角兽”这个威风凛凛的名字。

尽管如此，在科技投资领域，还是存在一些希望。我最近访问了一家以营利为目的的风险投资企业引擎资本 (The Engine)。这家企业由麻省理工学院 (MIT) 于2016年创办，主要投资在“硬科技”领域具有潜力的初创公司，涉及能源、纳米技术、量子计算、免疫疗法等多个领域。从目前来看，这些领域存在的各种科技和监管挑战，让大量的风险投资者望而却步。

联邦聚变系统 (Commonwealth Fusion Systems) 正是引擎资本投资的一家初创企业。他们将麻省理工学院的一间路边录音室改造成了物理实验室，用于测试未来的核聚变反应堆的部件。核聚变能创造出几乎用之不竭的、低成本的清洁能源，其反应产生的放射性核废料也比传统的核反应堆要少得多。虽然，许多科学家在过去的半个多世纪里进行了大量的实验和测试，但始终没有成功实现核聚变的实际应用。联邦聚变系统公司的首席运营官史蒂夫·伦特 (Steve Renter) 认为，他们的“基蒂霍克时刻” (Kitty Hawk moment, 反应堆输出的能量高于消耗能量的时刻)，最早可能于2025年到来。

“为了在可行的时间范围内，创造出能真正扭转气候变暖的技术，我们需要能够做出大胆创新的团队，”引擎资本的普通合伙人之一安·德威特 (Ann DeWitt) 说，“在能源传输这类领域中，不仅需要找到将技术商业化的方法，还需要将新的传输系统整合到现有的基础设施中。我认为，传统投资者很难涉足这些领域。”

引擎资本特别的一点在于，他们对投资回报的时间要求更加宽松。引擎资本的有限合伙人知道，在18年或更长的时间内，都无法拿回投资。而传统的风险投资通常需要在8~12年内拿到足够的回报。此外，引擎资本还提供实验室场地、设备、技术指导和网络支持，并且欢迎那些让其他投资者苦恼的跨学科创业团队。德威特说，“我们并不担心看到一个由物理学家、光学工程师和干细胞生物学家组成的创业团队。”

目前，引擎资本旗下共有20家初创企业。他们正在翻修老旧的宝丽来公司大楼，以便在未来容纳100家企业和800名员工。接受引擎资本投资的团队并非想要快速获得经济回报，而是想要实现一个在其他地方无法实现的新想法。正如德威特所说：“他们想要获得的技术成果，正迫使他们成为真正的企业家。”

地球被卫星包围

目前，地球轨道上共有 2000 多颗卫星在正常运行。

撰文 马克·菲谢蒂 (Mark Fischetti)

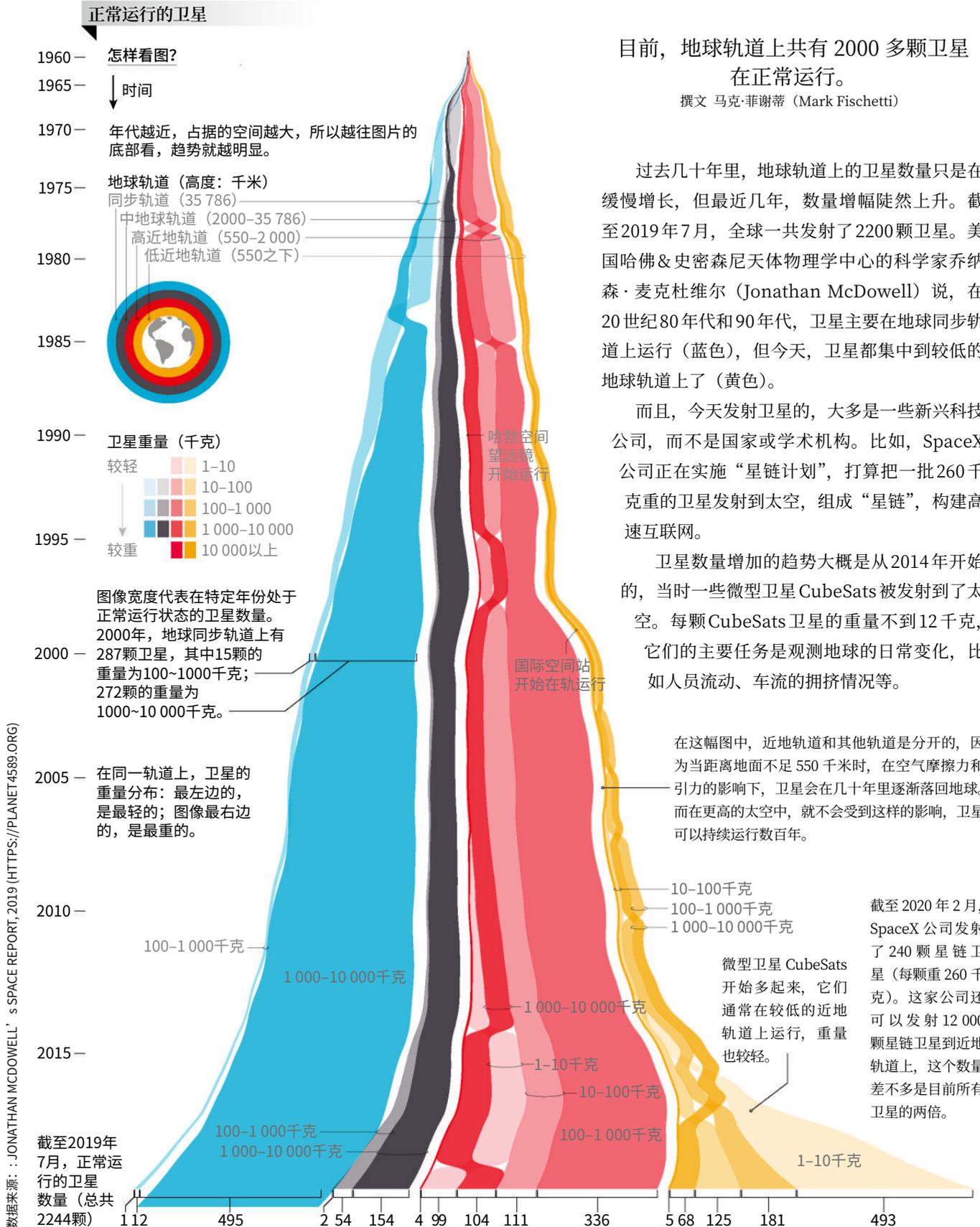
过去几十年里，地球轨道上的卫星数量只是在缓慢增长，但最近几年，数量增幅陡然上升。截至2019年7月，全球一共发射了2200颗卫星。美国哈佛&史密森尼天体物理学中心的科学家乔纳森·麦克杜维尔 (Jonathan McDowell) 说，在20世纪80年代和90年代，卫星主要在地球同步轨道上运行（蓝色），但今天，卫星都集中到较低的低地球轨道上了（黄色）。

而且，今天发射卫星的，大多是一些新兴科技公司，而不是国家或学术机构。比如，SpaceX公司正在实施“星链计划”，打算把一批260千克重的卫星发射到太空，组成“星链”，构建高速互联网。

卫星数量增加的趋势大概是从2014年开始的，当时一些微型卫星CubeSats被发射到了太空。每颗CubeSats卫星的重量不到12千克，它们的主要任务是观测地球的日常变化，比如人员流动、车流的拥挤情况等。

在这幅图中，近地轨道和其他轨道是分开的，因为当距离地面不足550千米时，在空气摩擦力和引力的影响下，卫星会在几十年里逐渐落回地球。而在更高的太空中，就不会受到这样的影响，卫星可以持续运行数百年。

截至2020年2月，SpaceX公司发射了240颗星链卫星（每颗重260千克）。这家公司还可以发射12000颗星链卫星到近地轨道上，这个数量差不多是目前所有卫星的两倍。



数据来源: JONATHAN MCDOWELL'S SPACE REPORT, 2019 (HTTPS://PLANET4589.ORG)

制图 纳迪埃·布雷默 (Nadieh Bremer)



1970年5月

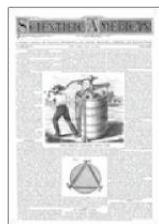
关于演化论的争议

关于生物演化的经典争议再次于加利福尼亚州上演。近日，

加利福尼亚州教育委员会在一份由理科教师委员会制定的新教学大纲中加入了一则声明，“在探讨有关生命起源的问题时，至少应该是一个二元性的问题，或者说我们有必要提及几种相关的其他理论。”

这很有可能意味着，学校在教授达尔文的演化论之外，还必须教授与之竞争的其他理论，比如《创世纪》中的神创论和亚里士多德的自然生成论。这个决定可能会影响全国的生物教学，因为教科书在加利福尼亚州的销量约占全美总销量的10%。出版商不可能放弃这块市场，也不可能根据某一个州的要求出版特供版本的教材。

当时距离达尔文发表《物种起源》已经100多年了，还有这么多人质疑演化论，真不知道该说什么好。



1970年5月

在家中准备食物

本期的这幅版画表现的是一款优雅巧妙的装置，能给樱

桃、李子之类的水果去核，也能给葡萄干、蔓越莓等等去籽。这台机器改进款的专利属于盖尔斯堡的乔治·吉利三世（George Geer, of Galesburg, III）。

动物交易

近日，一份英国杂志写道：“就像茶叶、咖啡或棉花、花卉交易一样，野生动物交易也是一套非常繁忙的体系。最初时，有的动物是由水手跨洋带回来的，其中携带数量最大的一种动物要数鸚鵡。刚开始时水手们可能是想把鸚鵡当作礼物送给心上人，可是一旦靠岸他们就会把鸚鵡卖掉换取烈酒或烟草。在当时，如果哪位绅士或淑女想要一头大象、一只老虎、一条鳄鱼、一头河马、一只鸵鸟或是一只鸚鵡来装点门楣，只要给伦敦的代



1870年，一名女子在家中使用最新的发明给樱桃去核，非常省力。

绿色印刷 保护环境 爱护健康

亲爱的读者朋友：

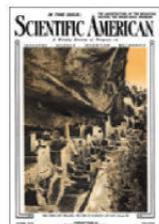
本书已入选“北京市绿色印刷工程——优秀出版物绿色印刷示范项目”。它采用绿色印刷标准印制，在封底印有“绿色印刷产品”标志。

按照国家环境标准（HJ2503-2011）《环境标志产品技术要求 印刷 第一部分：平版印刷》，本书选用环保型纸张、油墨、胶水等原辅材料，生产过程注重节能减排，印刷产品符合人体健康要求。

选择绿色印刷图书，畅享环保健康阅读！

北京市绿色印刷工程

理商写一封信，他们的愿望就能得到满足。”太多可怜的野生动物因此遭殃。



1920年5月

汽车的通道

近来不同形式的罢工凸显了纽约市在地理上的孤立性，

也使我们认识到当务之急是给曼哈顿岛修建几条连接外部的运输通道，让车辆能在纽约和哈德逊河彼岸的新泽西之间持续往来。有一件事对技术界来说应该不算意外，该项目的总工程师克利福德·M·霍兰（Clifford M. Holland）和同事决定采用两条铸铁管道，并用盾构法打通隧道。此前，他们已经用这种方法在哈德逊河和东河下方建造了22条铁路隧道。■

传奇故事



这具骨骼属于10000年前生活在叙利亚北部的古人类，当时正处于新石器时代，这位女性的骨骼上表现出了因为持续碾压谷物而留下的痕迹。



食物生产技术的演化

人类加工食品的方法始终与我们的演化和技术相关。当人类第一次用火烹饪食品，就将生食中无法获取的营养解放了出来。在1994年8月的《科学美国人》封面文故事《阿布休莱亚遗骨的述说》（The Eloquent Bones of Abu Hureyra）中，就展示了12000年前农业兴起之后，长期碾压谷物对新石器时代人类骨骼所产生的影响。在19世纪中叶，大部分食物（比如上面插图图中的樱桃）一般都在住宅附近种植，然后在住宅中加工、食用。在交通、冷藏、运输、大规模加工以及农业领域的持续创新为我们创造了现代食品体系，其中既有好处，也有一些使我们苦恼的副作用。

数字化科普传播平台

交互式科普互动方式

让科学无界

www.hudongkepu.com



热点话题 | 在线课堂 | 专家问答 | 视频音频

汇集海内外优质科普资源 构建多元化立体传播

关注“互动科普”公众号
获取更多精彩内容



 互动科普
hudongkepu.com