

SCIENTIFIC AMERICAN

中文版

No. 215
2020年1月號

科學人



胖在腦中央

高度加工食物使大腦不知飽足，令人吃得更多。



定價新台幣280元／港幣70元

科技創新

10大未來科技
近在眼前
p.38

科學扎根計畫

以善念播下科學種子，讓孩子翻轉台灣未來

從台灣頭到台灣尾 由本島到偏鄉離島 2018年10月「科學扎根計畫」啟動
《科學人》、《科學少年》捐贈**10,700**冊專刊

全台有超過**3,500**位師生受惠

「本校是一所“不山不市”的學校，班上學生得知將獲得《科學少年》提供的雜誌專刊時，無不興奮異常。當月底來臨時，學生會偷偷跑來問我「老師，你的《科少》到了沒？可以讓我先看嗎？」我想這次的贈閱，開啟了孩子對科普的興趣，不言自明！」

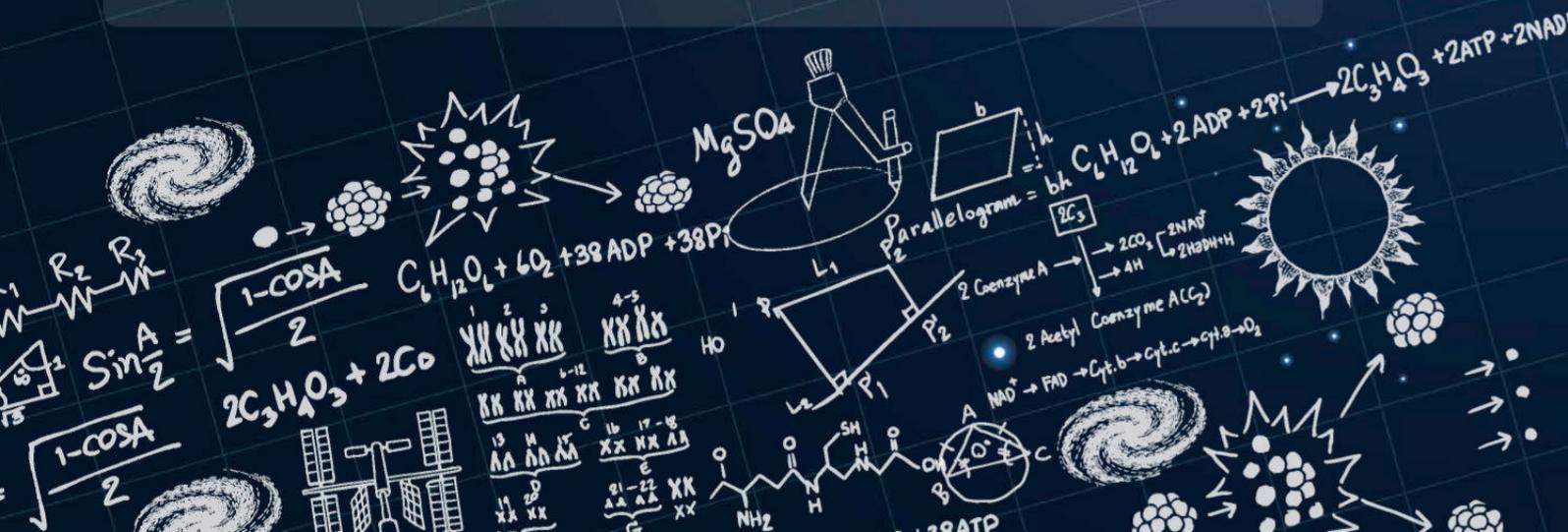
宜蘭縣員山國小 五年仁班 張元吉老師

「感謝遠流出版社贈送科學人雜誌，讓我們了解關於現代科學的知識與趨勢。知識就是力量，相信我們可以將其知識學以致用，對我們接下來的學生生涯也會有所幫助，千言萬語也表達不盡我們的謝意，再次致上最誠摯的感謝。」

澎湖縣馬公高中 高一4班 顏嘉緯同學

感謝

知名藝人 **郭采潔小姐** 響應「科學扎根計畫」，回饋媽媽母校且深知科學教育扎根在偏鄉的重要，公益捐贈科學少年/科學人雜誌給**苗栗建中國小、竹縣嘉興小學、竹縣錦屏國小、竹縣尖石國中等校**，特此感謝。





青年學子回饋文字間，展現對科學知識的濃厚興趣與喜愛，
 《科學人》、《科學少年》率先捐贈雜誌，
 讓他們從小就能具備科學思考、擁有科學精神。
 我們邀請更多關心科學教育的企業、個人
 一起加入「科學扎根計畫」的行列。
 透過您無私的耕耘，讓青年學子邁向科學家之路，
 讓班班都有科學人，使「科學台灣」的未來早日實現。



北市景美女中三年級



台南安樂國小五年忠班師生



台南安樂國小五年忠班科學少年感想



彰化線西國小六年級



草屯商工一年二班師生



桃園楊心國小五年六班



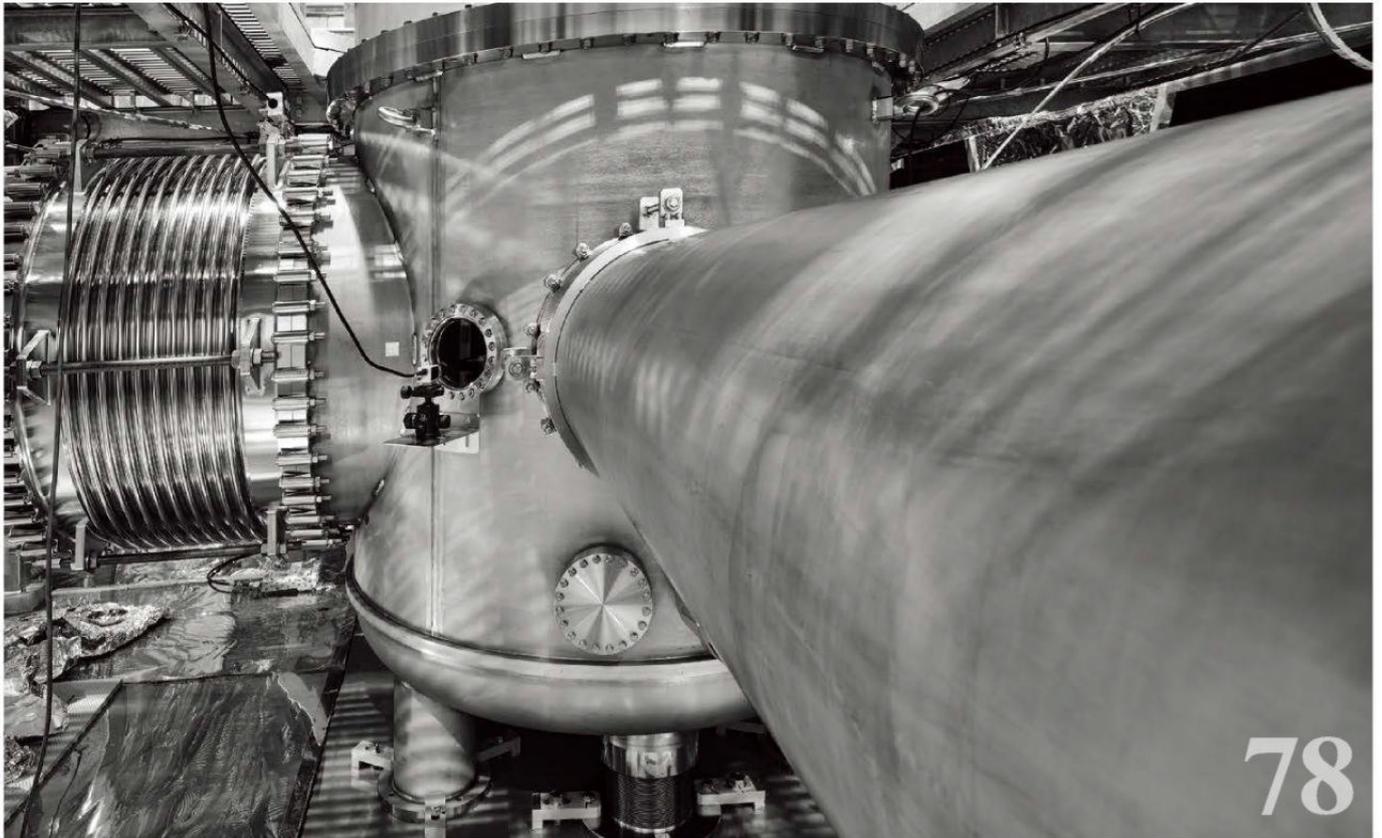
澎湖龍門國小四年甲班



宜蘭羅東國中七年十二班

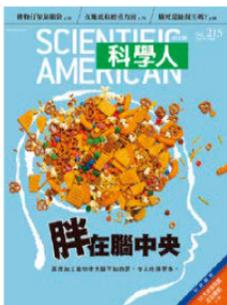
「科學扎根計畫」以善念播下科學種子，讓孩子翻轉台灣未來。
 誠摯邀請企業與個人共同響應公益訂閱，1,000本不嫌多，10本不嫌少。

專案洽詢：《科學人》雜誌行銷企劃部 張小姐
 886-2392-6899#664/wanyu@ylib.com



關於封面

你有這種經驗嗎？吃下零食，彷彿開胃般越吃越停不下來？新研究指出，這些「超級加工」食物往往富含脂肪和碳水化合物，以及人工添加物，會干擾腸胃道與大腦溝通，導致飲食過量。採購年節零食前，先來看看這期的封面故事吧！

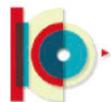


健康

30 胖在腦中央

文／雪爾 (Ellen Ruppel Shell)

現代飲食中，「超級加工」食物扭曲了大腦與腸道間的訊息溝通，令人想吞下更多熱量。



科技創新

38 10大未來科技近在眼前

文／新興科技評選委員會 (Emerging Technologies Steering Group)

Scientific American與世界經濟論壇合作，評選出10項改變現狀的創新技術。



動物行為

50 動物打架靠腦袋

文／阿爾諾特 (Gareth Arnott)、
埃爾伍德 (Robert W. Elwood)

有些動物在打鬥前會評估對手和自己的戰鬥力，甚至採用不同策略估算打鬥成本。



56 魚子兵法

文／許鈺鸞

動物遇到競爭者時，會迎戰還是退讓？牠們的行為決策受到許多因子影響，包括先前打鬥的勝負結果。



生物學
62 打造超級細胞

文／賈可布森 (Rowan Jacobsen)

生物學家正在重建一套DNA編碼系統，要打造能夠抵禦所有病毒的細菌。未來，人類細胞也可能因此再也不怕病毒感染。

醫學
70 噬菌體重返抗菌戰場

文／施密特 (Charles Schmidt)

起源於第一次世界大戰後的噬菌體療法，現在捲土重來，重新成為科學家對抗多重抗藥性細菌的重要武器。

天文物理
78 在地底收聽重力波

文／畢林茲 (Lee Billings)

日本「神岡重力波探測器」位於地底，並使用低溫冷卻技術，減少雜訊干擾，可更精準觀測重力波！

神經科學
86 腦死還能復生嗎？

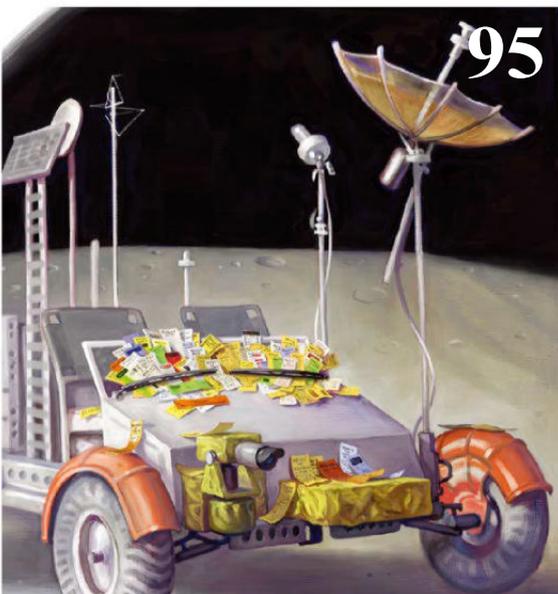
文／柯霍 (Christof Koch)

最近一項實驗把死後豬隻大腦接上灌流裝置，回復了豬腦的部份生理功能，因此引發熱議：生命確切終點如何定義？

訂戶專享 《科學人》雜誌知識庫中英對照版

收錄2002年中文版創刊至今全部內文，可「全文檢索」、「標題／作者檢索」、「知識分類瀏覽」，或依主題、關鍵字搜尋所需文章或資料。即刻掃描右側QR code，開啟您的專屬帳號！





科學人觀點

6 航向大海：ipanga na 文／曾志朗

總編輯的話

8 力拚？智取？ 文／李家維

9 讀者論壇

12 科學人新聞

質子半徑確實比較小 | 河川生物群系的復甦 | 電漿刀威力大 | 蝙蝠抓蟲有眉角 | 用雷射熔合陶瓷 | 增豔潛水照 | 一覽世界科技進展 | 電腦評比歷史事蹟 | 蠶絲3D列印 | 雌蝦抗病生力軍

形上集

21 普朗克原理 文／高涌泉

教科書之外

22 兔子也好，烏龜也好 文、圖／陳文盛

數往今來

24 有個定理名叫九龍樹 文／李國偉

網上世代

26 網路業者垂直整合 文／黃勝雄

談心說理

28 視而不見的專業 文／曾祥非

專家看新聞

90 禁絕割禮虐兒 文／阿邁德 (Qanta A. Ahmed)

健康與科學

92 治療阿茲海默症的新思維 文／華立斯 (Claudia Wallis)

新創未來

93 學著愛上塑膠 文／羅許 (Wade Roush)

科學用於社會

94 富人的太空夢 文／涂費克奇 (Zeynep Tufekci)

反重力思考

95 凡走過必留下痕跡 文／米爾斯基 (Steve Mirsky)

生物手記

97 春之蝶舞曲——杉谷琉灰蝶 文／徐培峰

科學人書摘

100 麻醉藥發明簡史 文／摘自《藥王簡史》

圖表會說話

104 穿透宇宙的重力波 文／皮克 (Katie Peek)

編輯部的抽屜

106 減肥，從心開始 文／老編

學術顧問 (按姓名筆劃)

孔祥重 王士元 丘成桐 吳成文 吳茂昆 李政道
李遠哲 (召集人) 翁啟惠 楊祖佑 鄭天佐

發行人 王榮文
榮譽社長 曾志朗
總編輯 李家維
副總經理 林彥傑

編譯委員會 (按姓名筆劃)

王秋桂 王道還 翁秉仁 高涌泉 (召集人) 陳企寧
陳義裕 黃榮棋 葉李華 潘震澤 儲三陽

編輯部

副總編輯 張孟媛
主編 洪志良
副主編 呂怡貞
採訪編輯 李詩慧 李宛儒 陳其璋
特約編輯 翁千婷 陳品好
特約撰述 龐中培 湯琇婷
資深美術編輯 郭倬惠
封面設計 唐壽南
美術顧問 霍榮齡

科學媒體事業部

總監 林彥傑
副總編輯 張孟媛 陳雅茜
整合行銷企劃經理 張宛瑜 楊麗儒
整合行銷業務副理 林雅涵 林蘋蘋
整合行銷企劃副理 張家瑜
整合行銷企劃主任 王綾瑛 黃慈靜
網站企劃編輯 李育端

廣告專線：(02) 2392-6899轉 665
傳真：(02) 2365-5985

遠流出版事業股份有限公司

www.ylib.com

董事長 王榮文
總經理 李傳理
副總經理 王麗雪
行銷業務部營運總監 曾祥安
印務 廖士鋒 劉曉玲
版權 王佳慧
著作權顧問 蕭雄淋

製版印刷 科樂印刷事業股份有限公司
裝訂 連誠裝訂公司

發行所 遠流出版事業股份有限公司
100 台北市南昌路二段81號6樓
電話：(02) 2392-6899 傳真：(02) 2392-6658
電郵：service@sa.ylib.com

香港地區零售代理 Rich Publishing & Distribution Ltd.
電話：852-2172-6533

香港地區訂戶代理 Magazines International
電話：852-3628-6000

 遠流雜誌群

SCIENTIFIC AMERICAN

科學少年

零售總代理

聯華書報社 電話：(02) 2556-9711 · 2559-6306
零售每本NT280元

校園學生代理

台時亞洲股份有限公司 電話：(02) 2749-1668

直銷代理

漢玲文化企業有限公司 電話：(04) 2327-1366
名欣圖書有限公司 電話：(02) 2641-7711

長期訂閱

- 國內訂閱一年12期 (加贈2期)
新訂NT2680元 續訂NT2480元
(若需掛號每年另加NT240元)
- 海外訂閱一年12期 (加贈3期)
港澳中國 航空NT4100元 (US\$135)
其他地區 航空NT4900元 (US\$160)
(若需掛號每年另加NT975元 / US\$30)

台灣郵政台北誌第256號
執照登記為雜誌交寄
ISSN：1682-2811
有著作權，侵奪必究

©2020. All rights reserved. No part of this issue may be produced by any mechanical, photographic or electronic process, or in the form of a phonographic 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.

Cover: Getty Images (food).

“SCIENTIFIC AMERICAN” is a registered trade name owned by SCIENTIFIC AMERICAN, Inc., New York; it is used under license by Yuan-Liou Publishing Co., Ltd..



SCIENTIFIC AMERICAN
Established 1845

ACTING EDITOR IN CHIEF
Curtis Brainard

-EDITORIAL-

CHIEF FEATURES EDITOR Seth Fletcher

CHIEF NEWS EDITOR Dean Visser

CHIEF OPINIONS EDITOR Michael D. Lemonick

SENIOR FEATURES EDITORS Mark Fischetti,

Josh Fischman, Clara Moskowitz,

Madhusree Mukerjee, Jen Schwartz, Kate Wong

SENIOR NEWS EDITOR Gary Stix, Lee Billings

ASSOCIATE NEWS EDITORS Sophie Bushwick,

Andrea Thompson, Tanya Lewis

ASSISTANT NEWS EDITOR Sarah Lewin Frasier

-ART-

CREATIVE DIRECTOR Michael Mrak

ART DIRECTOR Jason Mischka

SENIOR GRAPHICS EDITOR Jen Christiansen

PHOTOGRAPHY EDITOR Monica Bradley

-CONTRIBUTORS-

EDITORS EMERITI Mariette DiChristina, John Rennie

EDITORIAL Gareth Cook, Katherine Harmon Courage,

Lydia Denworth, Ferris Jabr, Anna Kuchment,

Robin Lloyd, Melinda Wenner Moyer,

George Musser, Rick L. Rusting, Dava Sobel,

Claudia Wallis

ART Edward Bell, Zoë Christie,

Lawrence R. Gendron, Nick Higgins,

Katie Peek, Beatrix Mahd Soltani

廣播人 推科學人

醫學、情感、環境生活這些是我們在廣播中最常暢談的話題，主持廣播節目多年來的訓練，讓我們閉著眼睛都可以聊出一些所以然來！

剛開始連線訪問《科學人》雜誌副總編輯孟媛時總有點受挫，明明是自己再熟悉不過的話題，為何一改用科學的角度就突然讓人戰戰兢兢，甚至有點緊張？這些年《科學人》雜誌讓我們學到，常以「人」為主角去思考問題反而容易框住腦子，透過科學思考的訓練能跳脫一些條條框框，更自由一點。

全國廣播「晚安168」主持人

小潘 & 寶拉



FM 106.1

全國廣播「晚安168」

每週六 18:10~18:20

不定期與您聊聊

《科學人》雜誌

每月精采內容，歡迎收聽！

航向大海：ipanga na

遠古的歷史和生活文化，都存在族群的吟唱中。兄弟，我們擁有共同的祖先，讓我們攜手推動尊重多元和諧，以及維護生命多樣的永續發展！



「Time flies!」我站上講台，打開電腦連接投影機，準備把演講檔案送上螢幕，忽然聽到前排一人刻意壓低音量，喊了這句話。雖然突兀，但我感受到語音裡的熱情和溫馨，抬頭一看，原來是年初來聽我講心理科學史的一名在職研究生。我靈機一動，問：「你什麼時候去做果蠅的研究了？」這位學生很聰明，笑答：「我是感嘆時光飛逝，一年快過了，好久沒來看老師！可是老師把名詞（time）當動詞、動詞（flies）當名詞，就產生兩個不同含義：測量果蠅的壽命，以及量測這趟飛行要飛多久時間？一句話點出三個相關語，老師果然是研究語言心理學的！」

我借著這段對話做引言，人類的語言充滿隱喻和歧義，幽默的小品、動人的詩詞、智慧的諺語，以及坊間流傳的歇後語，都是充分利用語音語意的彈性而產生的創意。例如「和尚撐傘，無法無天」，

「外甥打燈籠，照舊」等等。我的演講前奏曲盡是雙關語引起的笑聲，但歡樂之中隱然感到一陣失落，這樣優美的語言文化已快消失，何時得見復興？

演講後，我慢慢走回研究室，細細咀嚼在演講中學生創造的一個個雙關語句，也從背誦過的詩詞和對聯中，體會傳統文化的美妙和融合民族歷史情感的創意。更從一句感嘆歲月如梭的問候語中，驚覺馬上要跨入2020年了。問題是我們會有「20/20」的清晰視野嗎？在高科技的衝擊下，越來越複雜的社會互動使得傳統的生活智慧和生命內涵泡沫化，而缺乏人道關懷的工商業發展，只會模糊現代人的視野，讓萬物永續發展的願望變成囁語。

一進研究室，就看到長桌上堆積如山的科學期刊、雜誌報刊、影印的論文，還有好多本看到一半或沒有時間看的偵探小說，隨手放在各角落。忽然起心動念，應該除舊佈新了！該裝箱的書就裝箱，該送掉的期刊雜誌就送給圖書館，該上櫃的論文就上櫃，該數位化的紙本文稿就掃描上雲端。搬開幾疊文件和書籍，一張A4大小的紙張掉落地面。撿起來一看，原來是8月初訪問美國夏威夷大學醫學院時，帶回一本當地原住民的吟唱小冊，我很喜歡其中一首詩，特別影印下來。

這首詩歌是獻給18世紀夏威夷王國的創立者卡美哈梅哈一世的，以他家鄉的植物來讚揚並感謝這位勇者為保護夏威夷多樣植物生態所做的努力。描述他在微風細雨中看到多種桔梗科樹叢美麗的花芽；如果沒有他帶領全民保育，那豆科樹的花就會遭到摧殘，在Waikā的森林的寒風中傷痛抖顫；而Waikā森林如情人般的愛著我們，那黃芽初放的鬼針草就像情人的眼神充滿愛意。我低聲默唸這首頌歌，耳邊也迴盪起當天送我這本吟唱小冊的長者，在威基基（Waikiki）海邊對我們吟唱的低沉嗓音。

時隔四個多月，我仍然清楚記著這位滿頭白髮、濃濃白眉的吟唱者，哈馬特（Hallett H. Hammatt）博士。那歌吟之語，完全是原汁原味的夏威夷語，而唱腔既充滿往事不堪回憶的哀怨，卻又懷抱對未來文化重建的憧憬與期待。令人感佩的是，他是德裔科學家，專研地質和地理文化。40年前來到美國的大學教書，幾年後因承接聯邦政府的委託案，前往夏威夷各島考查海洋和陸地的地質及地理文化的關係。他深入各群島和部落耆老細談，努力學會當地的語言，融入部落生活。從吟唱古老的故事裡，體會到千年來原民的生活文化充滿了對生物多樣性的崇敬，對土地、山區和

海岸的謙卑，哪裡該住人，哪裡該依季節的變化來調整動植物的生存條件，都有生態平衡的概念和作為。哈馬特深受感動，於是募款成立了夏威夷文化調查中心，引進近百位學界專家，對古老原民文化中的動植物保育精神，以及人和自然生態共生共存的實際措施，做全方位剖析。調查中心的研發成果，成為夏威夷政府施政的指南，以確保在現代工商科技發展下的大量土地開發，不會破壞海洋與陸地生命的永續發展。

哈馬特精研南島語系之一的夏威夷語，他深切認知到夏威夷古老文化的精髓都藏在代代口語相傳的吟唱中。自從傳教士以拉丁文註釋夏威夷語的語音之後，用文字轉譯這些古老的吟唱詩歌變成可能。因之，千年以來夏威夷保育文化和水土保護的吟頌歌詞，就成為研究者必須鑽研的典藏寶庫。語文是研究者必須具有的核心能力，自不待言！夏威夷自然保護區的資深科學家和文化顧問貢（Sam‘Olu Gon III），是研究夏威夷笑臉蜘蛛和自然資源保護的教授，對夏威夷生態學已有40年的豐富經驗。他在就讀夏威夷大學動物學系時，破天荒向系上提出研修兩年夏威夷語課程做為滿足系上規定的必修學分數。起初遭到駁回，但系上部分教授卻很支持貢，認為在夏威夷出生長大的貢，既然將在家鄉從事自然資源保護，那麼精通夏威夷語是他未來研究的必要工具。果然貢後來的重要研究成果，應證了語言的必要性。

哈馬特則是藍眼、金髮透白，



划向未知：蘭嶼達悟族單殼拼板舟（上）與夏威夷雙殼遠航獨木舟（下）。

標準的日耳曼人，但如今說話神態、舉手投足，神似道地的夏威夷原住民。他指著後邊的高山說，夏威夷文化復興的幕後推手是無數的科學家和學者，他們以贖罪的心境努力重塑原民生活。例如1976年美國慶祝立國200年的活動上，玻里尼西亞航行協會依吟唱中的解說，建造了一艘雙殼遠航獨木舟「Hōkūle‘a」，帆和手划並用，完全依循古老航海知識，包括星象定位、風向升帆、收帆手划，由夏威夷航行4023公里，成功抵達大溪地，證實夏威夷人的祖先是有能力遠洋探險的航海人。語畢，他拿出平板電腦上網，展示當年負重任的獨木舟，看來穩固又美麗大方！現代科技融合傳統文化，就是人類文明不斷進展所依賴的智慧。

他的熱情感染了我，我也打開平板電腦，點進Keep Walking夢想資助計畫網站，找到2006年紀錄片導演林建享和團隊發起的蘭嶼達悟族拼板舟划向台灣的歷史航行計畫。原來在2001年科博館的南島語族特展中，林建享邀集了老中青三代達悟族人，以蘭嶼的樹材親手打造一艘達悟族傳統10人大船

cina’tkelang，並以影像將建造過程記錄下來。但船造好後，一位長老說了句「真想讓它下海」，又點燃了他「Keep Rowing」的夢想。2007年在長老、村民和漁團的通力合作下，花四個月，用60塊板子完成了長1016公分、寬170公分、高270公分的單殼拼板舟「ipanga na 1001跨越號」。這艘船在6月20日清晨四點半出發，由朗島、椰油、東清、野銀、紅頭、漁人六個部落的勇士接力划行，越過黑潮，13個小時後抵達台東，再北上花蓮、宜蘭、基隆。40天後，7月29日下午五點抵達淡水漁人碼頭，最後停靠在台北的大佳碼頭，完成了600多公里的總航行，一解達悟族曾划至菲律賓和印尼巴丹島，卻從未划到台灣的遺憾。根據達悟族和台東太麻里鄉一帶排灣族的吟唱歷史及家族圖騰，曾經有排灣族人划船到蘭嶼。這次由蘭嶼到太麻里的航行，可說是一次隆重的回訪！

我手上的拼板舟和哈馬特手上的雙殼遠航獨木舟，相映在威基基海灘上。我捧著「ipanga na 1001跨越號」划向「Hōkūle‘a」，向他解釋，「ipanga na」意指「從這裡到那裡，再從那裡更往前去」。也就是說，由單殼到雙殼加帆，我們的祖先勇敢往南行，到你們這裡來。

兄弟！我們擁有共同的祖先，遠古的歷史都存在族群的吟唱中，讓我們攜手推動尊重多元和諧以及生命多樣的永續發展！

曹志朗

力拚？智取？

玉皇大帝當中坐，鬼谷先師及孫臏分列左右。我的神佛蒐藏在2019年的最大宗，是來自南投玄明慈靈堂的150尊神像。聖堂主神是極為罕見的九天九聖帝，住持仙逝了，眾神雕像退靈後，集體搬進我的「荒堂」退休。九聖帝是戰神孫臏的弟子，鬼谷子則是他們的師公，三代同堂，我當然興奮。



中國兵學經典《孫子兵法》的作者為春秋時的孫武，他是孫臏的五世祖，時隔百年後，《孫臏兵法》在戰國問世，可能由弟子們記錄而成。〈擒龐涓〉是第一章，記敘孫臏如何在桂陵之戰大破魏軍，並生擒龐涓。他們二人是同門師兄弟，但龐涓忌孫才，誣陷之，孫臏遭魏國砍雙足及黥面，遂逃奔齊國，當了齊威王的軍師。龐涓揮魏軍攻趙國，孫臏則率齊軍援趙，先佯敗再直搗魏國首都，激怒龐涓回援，再度佯敗使龐涓輕敵，最後以主力在桂陵設伏，一舉擒獲龐涓。然魏趙結盟後，龐涓被釋再為魏將。隔數年魏又侵韓，孫臏再演圍魏救趙之術，以怯戰之姿誘敵陷埋伏，龐涓自刎，魏軍被殲十萬名，是為馬陵之戰。

人類征戰相殘，萬骨枯是常態。我們這一代幸生於承平，未曾親歷戰禍，但觀其他物種之戰仍驚心動魄。2017年，我們在索羅門群島的樹冠層，搜尋與螞蟻共生的蟻植物。它們緊攀樹皮，根遠離了土壤的肥份，演化出內有多空腔的膨大莖，供螞蟻住宿，並以蟻糞為肥。那天，在開始製作標本前，我們不經意把兩株蟻植物放在一起，瞬間兩支螞蟻大軍



湧出，就在眼前展開殊死戰，不及一小時屍橫遍野，幾無活口。目睹這個慘況，不禁要問這個物種曾經演化出任何戰術與戰略嗎？其他物種又如何？答案就在這期《科學人》，請享讀〈動物打架靠腦袋〉和〈魚子兵法〉，行為實驗顯示有不少種動物在打鬥前，會先打量對方、掂掂自己幾兩重並估算打鬥成本，牠們竟然也會活用兵法！

邦國相征是人世間的悲劇，這常源自領導人的私利和愚昧，民主時代可用選票來重設，然而人與微生物之戰從不止歇。科學家正構思終極戰略，最新的進度是〈打造超級細胞〉和〈噬菌體重返抗菌戰場〉，我們的健康與長壽更可期待了。

李家維

〈南海科學 為台灣發聲〉

小時候社會課本都會教東沙環礁國家公園，在地圖上看來距離台灣本島好遙遠。我從未深入認識過這顆南海明珠，今年暑假有幸以大學生身分參與教育部與海洋巡防署、海洋國家公園管理處合辦的東沙巡禮活動，前往平常只有研究人員以及海巡人員能抵達的地方，上島之後才深刻體會南海主權、特有生物與生態、海漂垃圾等議題，深刻感受文中所述，科學研究除了告訴世人南海的特殊自然狀況，也能提高台灣在國際的能見度，進一步鞏固台灣主權。

——桃園 李佳瑜

專家看新聞

〈正視美國心理健康危機〉

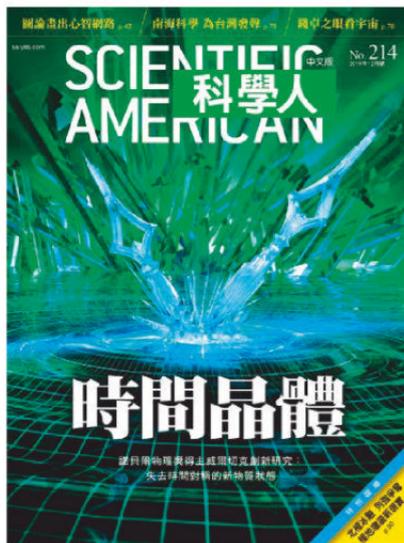
本文提到：「美國正在經歷一場心理健康危機，最近的研究發現美國有憂鬱、焦慮情況或類鴉片藥物成癮的人口比率高得驚人。」作者建議美國國會立法成立專責公共心理衛生的「心理健康總監」辦公室，倡導心理健康與身體健康並重的觀念。從目前身心科診所林立的現況看來，國人的心理健康危機也應受到更多重視。如何積極投入心理保健？預防絕對重於治療，養生也養生是值得重視的趨勢。

——高雄 葉明哲

健康與科學

〈新藥較優？〉

本文作者檢視德國核准216種藥物（152種新藥、64種老藥新用），結果發現，「與已經確立的療法相



2019年12月號

比，就降低死亡率、減輕症狀或副作用、促進生活品質而言，58%沒有差別。」這讓我感到驚奇：難道這些藥物研發上市的目的為了賺錢？我認為新藥上市的主因應該是更佳的療效和更低的副作用，能提高生活品質，沒想到藥商的出發點和病患認知差異如此大。希望美國食品及藥物管理局（FDA）這類審查單位能透過多元評估，核准高品質藥物上市。

——高雄 李佳蓁

新創未來

〈不講電話，更孤獨〉

我已經三年多沒打電話了，我的同學也一樣。在不講電話的生活中，我體會不到人與人之間的真實情感：喜悅、感激、生氣……。聲音是情感的傳遞者，有如母親的雙臂緊抱著我們；沒有聲音，我們將感到孤獨。常言道冷酷無情的機器人會成為未來的災難，卻未曾發現自己就是那冷酷無情的機器人。快拿

起電話，成為有感情的人吧！

——宜蘭 黃維祺

反重力思考

〈如坐針氈的A型人格〉

本文提到兩位心臟科醫師在1950年代首先提出A型人格，特徵和家中長輩十分吻合：「經常在趕時間、好鬥、自尊心不高、終日忙碌工作。」請他坐著等上菜，像是全身有蟲，坐也不是站也不是。最令人擔心的是A型人格造成心血管疾病的風險竟高於抽菸、肥胖、高膽固醇，這下當子女的可要「如坐針氈」了！

——高雄 羅祥禎

聊聊科學人

〈打造軟體生態系—杜奕瑾〉

本文強調軟體創新的重要性，我認為在資訊科技中軟體固然重要，但都是為了服務內容。迪士尼的「白雪公主」雖然是80年前的卡通，現代的媒體必會想辦法播放此部作品並吸引觀眾。沒有內容的軟體只能等著被取代，而優質的內容則是等著被服務。思考永續發展，應該想到這點。

——新竹 張修明

▶ 本單元歡迎讀者踴躍來信，發表感想與建言。請利用本期雜誌第107頁所附「讀者意見調查表」或直接e-mail至editors@sa.ylib.com，也可到Facebook：《科學人》粉絲團留言。若獲刊出，將致贈大是文化出版《藥王簡史》一冊或其他科普好書。

▶ 為感謝讀者寄回214期「讀者意見調查表」，來信獲刊出者以及下列讀者，將獲贈《全球銀力時代》：林芳安、廖容徽。



傅立成 / 國立臺灣大學資訊工程學系特聘教授

主要經歷

國立臺灣大學電機資訊學院 副院長
亞洲控制學刊 總編輯
IEEE 系統控制學會 副總裁
中華民國自動控制學會 理事長
科技部 / 台大全幅健康照護子中心 主任

研究領域

智慧家庭、智慧型機器人、虛擬實境、前瞻視覺應用、
控制系統理論與應用

AI 領航思維 接軌國際趨勢

AI 機器人風潮席捲全球，國立臺灣大學資工系傅立成教授投入AI研究逾30載，現為我國AI技術和機器人研發之權威，也是第十五屆有庠科技講座得主，未來的研究目標，希望能夠研發更聰明、更貼近人類互動的智慧機器人，關懷銀髮族和幼兒等社會弱勢族群，解決照護問題，提升生活品質。

創新科技產業化應用的實踐者

隨著人口老化，逐漸步入高齡化社會，驅動科技開始關注銀髮族生活照護議題，先前的技術如智慧型輔具，以協助老年人復健、生活輔助為主，加入AI技術之後，讓機器人具有智慧，擁有聊天對話的能力，能夠理解老年人的問題與需求，並給予正確的回應和輔助，進一步從互動過程當中，偵測其失智、認知能力退化問題，達到及早引入醫療輔助資源，趨緩退化速度的目標。

傅立成認為，科學創新要落實到產業，首先要將想法商品化之後，才有機會產業化，不過從想法轉換到商品是一段非常艱難的過程，尤其是對於以教學、研究為主要任務的學界教師，產學之間存在鴻溝，跨越鴻溝的方法，就是要從抽象、理想性的想法，

找到一個可具體落實的程序(或製程)，再以好的商業模式去支撐，才能達到成功的創新商品化及產業化。

科學家要具有成為領域典範的企圖心

以傅立成的觀點，台灣的科研成果在國際上是具有高度競爭力，科學家必須要積極汲取科技的新知，了解科技發展現況以及優缺點，並且與國際科研平台保持緊密的互動，才能維持競爭力。臺灣是海島國家、人口少，不能侷限於國內環境，利用國際的科研社群，接軌國際，此外，科學家應該要具有「Follow me」的企圖心，而不是「Me, too」的心態，有遠見的想法雖然蟄伏的時程會比較長，但透過有策略性的團隊作戰，就破繭而出、綻放光芒的機會。台灣是自由民主的國家，與國際高度接軌，所以學生心思是比較開放和自由，有汲取新知的基礎，只要有人適當的引導他們，透過不斷努力，就能成為下世代的科研人才。

有庠科技獎是臺灣科研的一個重要里程碑，它肯定了在各個重要領域當中，具有研究創新、受到社會高度肯定的科學家，傅立成認為科學家在自己的研究領域當中，要有建立創新典範的思維，推薦國內傑出科學家報名有庠科技獎，為自己的研究成果爭取榮譽。

謝達斌 / 科技部政務次長

主要經歷

國立成功大學國際巨分子與奈米醫學創新研發中心主任
國立成功大學牙科科暨口腔醫學研究所特聘教授
國立成大醫院口腔醫學部主治醫師兼口腔診斷及一般牙科主任

研究領域

口腔病理學、分子生物學、腫瘤學、牙科學、奈米生醫技術



鼓勵跨域科研 促進經濟轉型

謝達斌為我國跨領域奈米醫學科學家，研究成果多次刊登於國際頂尖期刊，自2014年起連續四年獲得國家新創獎，同時也是第九屆有庠科技論文獎及第十六屆有庠科技講座得主，現任科技部次長。謝達斌認為，科學領域的邊界越來越模糊，跨領域研究將能夠為科技帶來新的契機。

重視基礎科學發展， 從教育培養跨域合作精神

結合醫學、奈米、光電等不同科學領域，謝達斌的研究成果為醫學診斷治療開啟新的機會，時至今日，許多頂尖的科學研究都源於跨領域團隊，透過技術整合可以突破單一領域的知識限制，提升科學研究所帶來的價值。謝達斌說明，科技部非常鼓勵跨領域創新，像是「科技突圍」計畫，從人文角度發掘社會待解的議題，藉由跨領域技術合作提案獲得解決方法，將科技研發接地氣。謝達斌也提到應該要落實國民科普教育，讓科學成為日常的一部分，自然而然就更能和不同領域的人有共通的語彙對話，促成更多跨領域合作的機會。

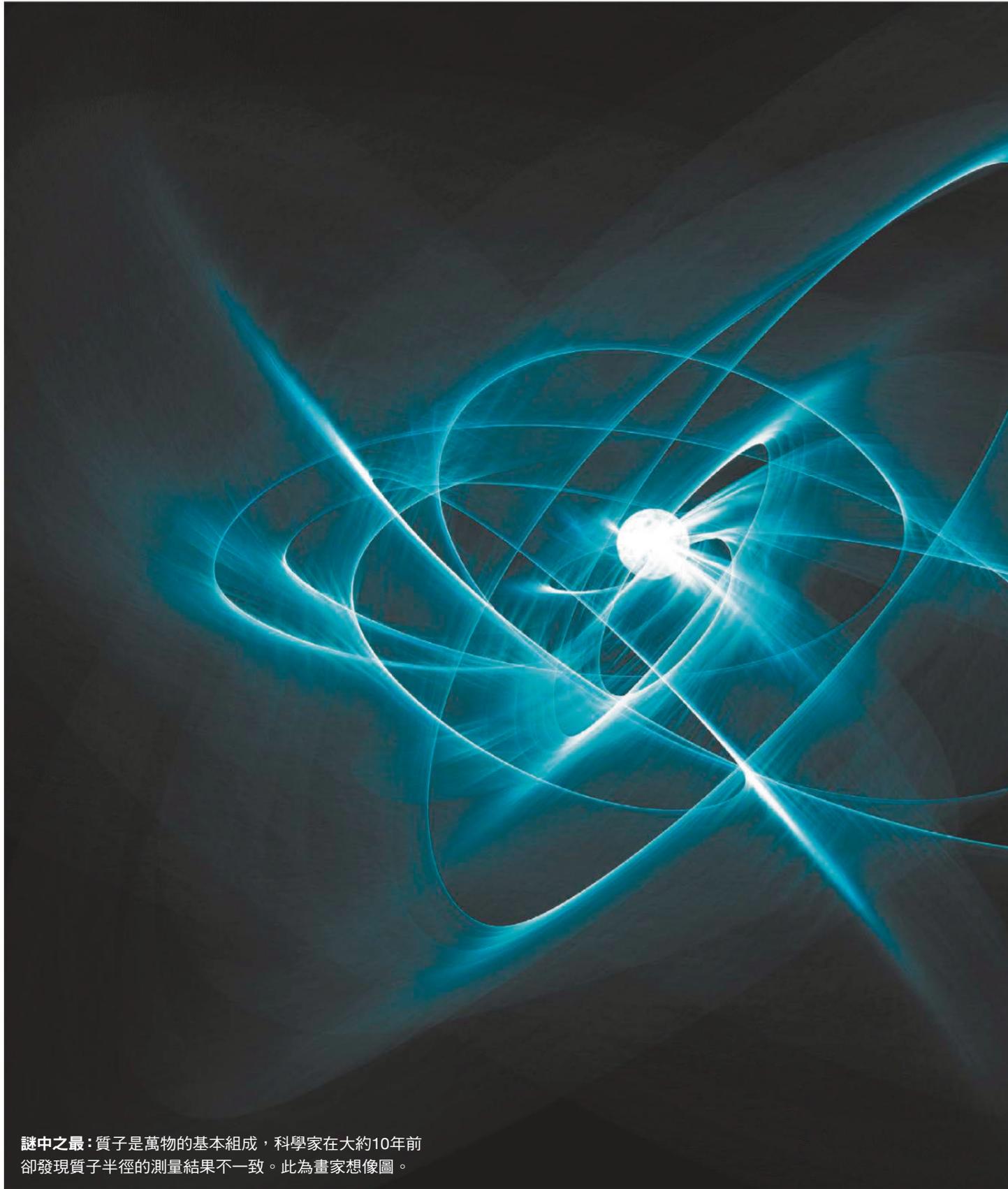
雖然現今應用科技當道，但是謝達斌提醒「沒有芽苗就不會有後面的大樹」，不可輕忽基礎科學的播種，基礎科學雖然未必能立即產生經濟效益，卻是應用科學的根基，而透過應用科學發展出來的技術，可以讓基礎科學可以有更好的工具去探索新事物，兩者之間需要更均衡、更有策略性地建立良好循環關係，加快科研奔跑的動能。

共同形塑鼓勵新創之氛圍， 提升台灣知識經濟競爭力

謝達斌點出了台灣科研目前面臨的挑戰，第一是研究生越來越少，高階人才面臨斷層，因此科技部今年提出了「補助大專校院優秀博士生獎學金」方案，希望能夠鼓勵更多優秀學生修讀博士學位，培育科學研究人才；第二是保護基礎科學與鼓勵接地氣的創新，由政府與產業攜手提供穩定的資源，讓基礎科學與關鍵技術有長遠策略持續發展；第三是讓台灣變成一個更國際性、更有包容力的國家，能吸引全球頂尖的人才、鼓勵跨國合作，讓科研的影響力能夠更加寬廣。

要將科學創新落實至產業，謝達斌認為也要從文化面開始就塑造鼓勵新創的氛圍、從制度面由政府至產業共同推動知識經濟轉型，還有就結構面改質，從以製造為主體的園區型態，思考如何鏈結大學和研究機構等資源，從前端科研創新到後端製造形成一條龍的創新經濟模式，創造以大學新創為主體的城市園區(Science Park@city)連結以製造為主體的傳統科學園區。提供新創團隊優質的創業空間和國際資源，並協助鏈結產業技術作為新創後盾。

謝達斌表示有庠科技獎給了優秀科學家一個舞台，讓他們的付出能夠得到肯定，鼓勵科學人更加精進，希望有更多的企業願意支持科研創新，形塑良好的產學研合作風氣，對於經濟轉型將有更大的幫助。



謎中之最：質子是萬物的基本組成，科學家在大約10年前卻發現質子半徑的測量結果不一致。此為畫家想像圖。

物理學

質子半徑確實比較小

最新研究結果解開了懸宕10年的質子之謎。

撰文／佛克 (Dan Falk)

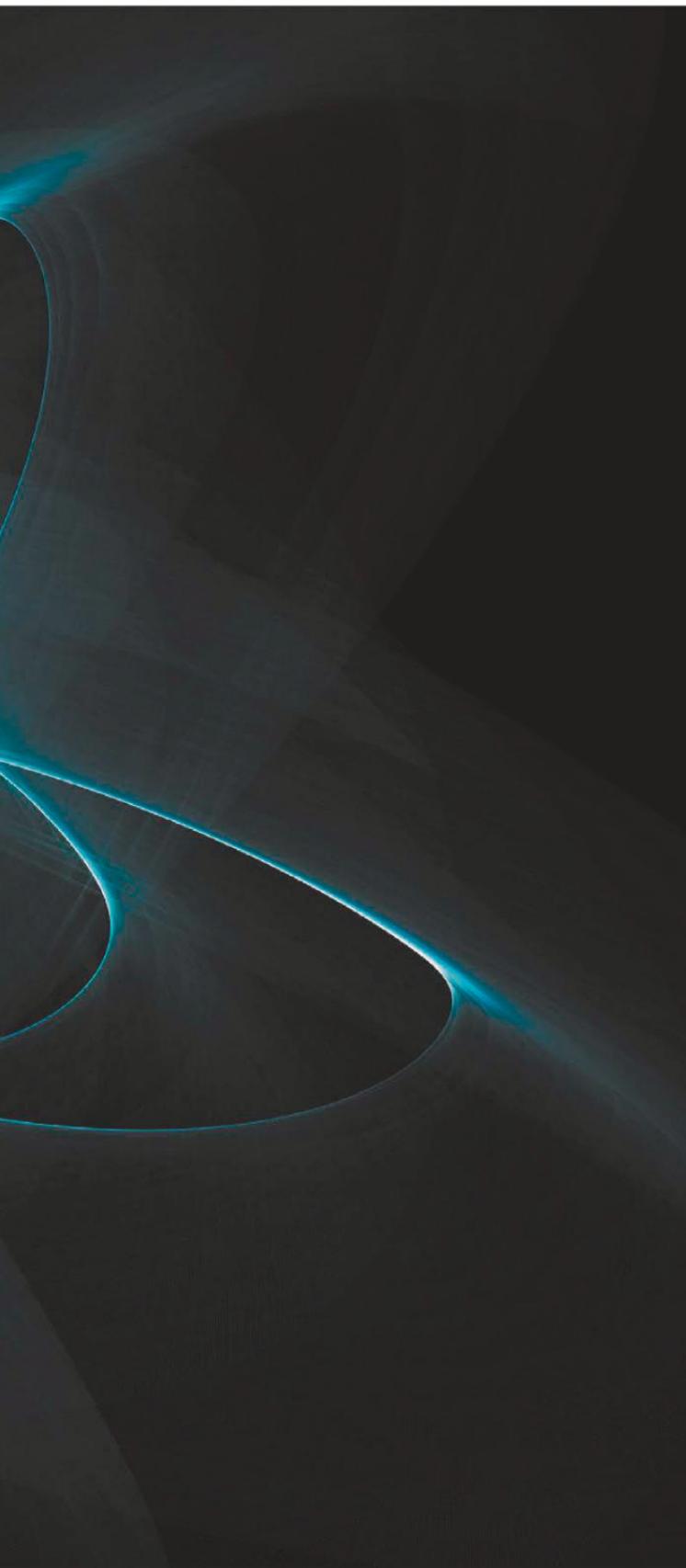
科學講求精準。科學家測量地球到月球的距離，誤差可以小至只有幾公分，測量遙遠的波霎自轉，誤差則不到一毫秒。但測量原子時卻難以達到同樣的精準度，原子核中帶正電的質子就是一例。50多年來，物理學家一直努力測定質子半徑，但相當困難，他們對於不一致的測量結果大感困惑。不過現在，加拿大多倫多約克大學發表的超精準測量結果，終於平息了這場爭議。

質子當然非常微小，不到5000億分之一公釐，所以測量質子半徑需要非常精密的技術。方法之一是朝氫原子發射一束電子，氫原子只有一個質子，研究人員可以從電子撞擊質子後彈出的角度，判定質子半徑；另一個方法是借助光譜學，測量物體放出的輻射在各頻率上的強度。科學家激發氫原子中的電子，使它從某個能階跳到另一個能階，並仔細記錄造成躍遷的輻射頻率。從能階之間的「能隙」大小，就可得知質子半徑。

1950年代，以這兩種方法測定質子半徑得到的結果約為0.88飛米（一飛米為 10^{-15} 公尺）。2010年，當時任職於德國甲慶馬克士普朗克量子光學研究所的波爾（Randolf Pohl）帶領研究人員嘗試不同的方式：採用光譜法，但實驗對象是特殊的繆子（muon）氫原子。這種原子沒有電子，而是只有一個繆子，繆子的質量大約是電子的200倍，軌域比電子更靠近質子，因此質子半徑明顯影響能階，科學家得以測量出更精準的結果。此外，他們選擇最能直接測量質子半徑的躍遷（繆子從第一激發態跳到第二激發態）。波爾和團隊成員驚訝發現，質子半徑其實更小，是0.84飛米，遠在以往測量值的可能範圍之外。

科學家對於波爾的測量結果感到不解：先前的實驗有什麼問題？或者是質子與繆子間有什麼特殊交互作用，所以顯現了和電子不同的現象？最有趣的可能性則是：某些未知的物理原理影響了實驗結果，而這些原理可能改變現有粒子物理的標準模型。

美國國家標準與技術局（NIST）的物理學家紐威爾



GETTY IMAGES

(David Newell) 表示：「資料出現不一致時，我們都會很高興。」他主要的研究領域是測定原子物理學中另一項重要參數：普朗克常數。

英國約克大學的團隊主持人赫塞爾(Eric Hessels)在10年前參與了波爾第一次發表測量結果的研討會，並且注意到這個不一致。赫塞爾把波爾的發現視為個人挑戰，認真再現這次實驗，包含特定的能階躍遷，但他不使用鈷原子，而是改用一般氫原子。1940年代物理學家藍姆(Willis Lamb)首次發現這個能階差，稱之為藍姆移位(Lamb shift)。一般氫原子中藍姆移位的精準測量結果揭露了相當有趣的事：如果它和先前較大的值相同，或許就能指出一條通往新物理的道路；如果與較小的值相同，就能確定質子半徑，解開了懸宕10年的謎團。

赫塞爾花了八年找出答案。他表示：「這項測量工作的難度超乎預期，比我們實驗室做過的其他

測量都困難。」他使用射頻輻射激發氫原子，記錄使電子能量大幅提高及產生藍姆位移的精準頻率。最後，赫塞爾團隊確定質子半徑是0.833飛米(誤差在0.01飛米之內)，與波爾的測量值相近，並發表於2019年9月的《科學》。

在「大科學」時代(想想大強子對撞機周長27公里的隧道)，重要的實驗依然能在小型實驗室中獲得成果，這點或許讓物理學家稍微放寬心。赫塞爾的實驗裝置只佔了約克大學校園裡的一個房間。

目前還不清楚為什麼以往實驗測量的質子半徑偏大。研究人員表示，可能是實驗設計誤差，也可能是未知的物理原理影響實驗結果，但以赫塞爾的測量結果而言，這似乎不大可能。

約克大學的結果十分精準，而且相當接近2010年的測量值，所以科學界對較小的質子半徑測量值逐漸達成共識。赫塞爾表示：「現在有好幾個測量值，而且都開始趨向

與鈷原子氫原子的測量值一致，爭議正在消失。」

但問題並未消失。儘管赫塞爾以光譜法針對一般氫原子測出了最佳結果，但鈷原子法的靈敏度較高，所以波爾的測量值更加精準。研究人員表示，這代表未來還有機會開發出靈敏度更高的實驗。

在此同時，質子還有其他秘密尚待揭露。美國維吉尼亞大學物理學家利亞納吉(Nilanga Liyanage)指出，我們知道質子和中子都由三個夸克構成，以強作用力結合在一起，但我們對這個結合現象的性質了解極少。

利亞納吉在美國湯瑪斯傑弗遜國家加速器設施以電子散射實驗探索質子半徑之謎，他表示：「質子是構成萬物的基礎粒子，包括我們自己和萬物在內的99.9%質量都來自質子和中子。」他進一步指出，質子半徑是十分重要的基準量，「質子是非常重要的粒子，我們一定要更加了解它。」(甘錫安譯)

生態學

河川生物群系的復甦

英國改變污水處理方式，泰晤士河支流的野生動物因而增多。

撰文／巴特爾(Prachi Patel)

河流就像是地球的血管，供給養份、帶走廢物，維持陸域棲地的健康。從這個角度來說，英格蘭河川並不健康：高達86%的河川水質不符合標準，對自然和人類健康都構成威脅。

一份新研究帶來希望。英國生態及水文中心的科學家發現，過去

30年來由於污水處理方式調整，泰晤士河支流雷河(River Ray)的無脊椎動物生物多樣性增加了。環境科學家詹森(Andrew Johnson)說：「它開始達到無廢水河川該有的程度。」這項研究結果發表於2019年8月的《環境毒理學與化學》期刊，詹森是第一作者。

甲殼類、昆蟲和環節動物等無脊椎動物在水域生態系扮演關鍵角色，牠們會鑽入河床、過濾河水而形塑周遭環境，同時也是掠食者和獵物。這些動物在短時間內會反映環境的改變，因此成為生態系健康的指標。

英格蘭西南的斯文敦有座大型污水處理廠，英國環境局長期在污水廠下游沿著雷河12公里長的河段蒐集資料。研究人員分析1977~2017年的資料發現，從1991年6月以來，無脊椎動物的多樣性和數量都穩定提升。

這個時間點與1991年「歐盟都市廢水指令」發生於同一時間，該指令促使污水處理廠從過濾法改為活性污泥法，使用微生物來分解污染物。這種方法大幅降低了進入河川的有機物和有毒的氮，研究團隊認為，無脊椎動物的生物多樣性因而慢慢提升。「你可以想像這就像你20年來都吃起司漢堡，之後改為健康飲食。」詹森說：「復原需要時間。」

英國倫敦布魯內爾大學的生態毒理學家桑普特（John Sumpter）評論，無脊椎動物的增加很可能也會提升較大型生物的多樣性，而且這些成果或許在其他地方也適用。只是，已發表的研究顯示出這類生物多樣性提升仍屬少數。他說：「一個大問題是，很少國家擁有足以進行這類分析的長期資料。」

卡地夫大學的生態學家歐姆羅德（Steve Ormerod）評論，這項研

究顯示「英國的都市河川正從工業時代的大量污染問題中恢復。」但他也補充道，要澈底復原，還需更多努力與更嚴格的規範，例如現在農業污染的問題正在增加：「英國河川的故事基本上是關於都市的進步與農村的衰落。」

不過詹森認為雷河的研究結果可能指出一條得以繼續進展的道路。他說：「或許野生動物比我們想像的更為強健。」（姚若潔 譯）

醫學

電漿刀威力大

切除腫瘤不留後患！

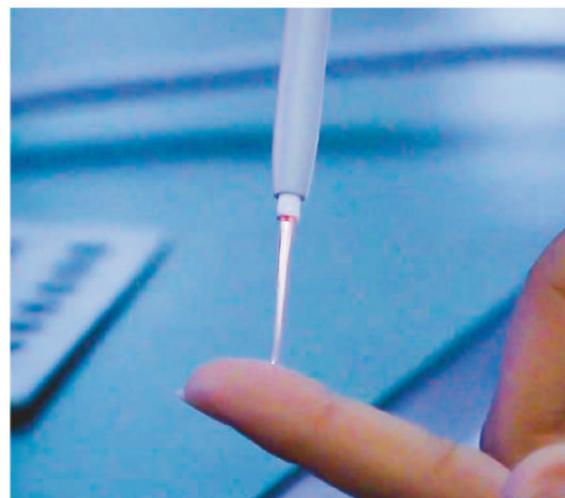
撰文／沛普婁（Mark Peplow）

外科醫師切除了病患的腫瘤後，可能仍有一些癌細胞殘留，並種下未來另一顆惡性腫瘤生長的威脅。研究人員最近研發出新抗癌手術工具：電漿刀，進行了第一次臨床試驗，希望能根除那些頑強的細胞。

這支和筆一般大小的手術刀，能噴射出小氮氣束，而刀尖的電極可分解一些氮原子成為混合正離子和電子的電漿，這些帶電粒子呈現明亮的淡紫色調。

電漿刀不像太陽的熾熱電漿，其離子束速度較慢，摸起來就像一陣涼風，但它快速的電子充滿能量，能轉化大氣中的氧和氮為超氧化物、一氧化氮和氧原子等反應物，這些物質會擾亂重要的代謝過程，阻礙細胞分裂，而且研究人員發現癌細胞比健康細胞更易受這些效應的影響。研發這項工具的團隊成員、美國華盛頓特區的外科醫生

新利器：這把電漿刀能殺死癌細胞。



卡納迪（Jerome Canady）指出，手術時只需在腫瘤區域使用短短幾分鐘，他說：「我們可在那些區域噴灑電漿，殺死任何微小的腫瘤。」

醫學界已經利用冷電漿來治療感染和消毒傷口，並使用能量更高的電漿平整地切割或燒灼組織。用電漿對抗癌症一直是研發目標，這次新的臨床試驗將是重要的里程碑。老道明大學研究冷電漿生物效應的電機工程學教授拉洛西（Mounir Laroussi）評論：「我想這是一件大事。」

過去幾年醫師曾以電漿刀治療三名癌症病患，不過那是在其他療法都失敗後才施行的「恩慈療法」。卡納迪說，電漿刀成功殺死了病患體內殘餘的癌細胞，但我們需要完整的臨床試驗來取得安全和長期效應等重要數據。卡納迪和同事在2019年10月底開始進行臨床

試驗的第一批手術，目標是以電漿刀治療20名罹患實質固態腫瘤的末期患者，其中包括胰臟癌、卵巢癌和乳癌。

拉洛西表示，為了進行電漿刀臨床試驗，他們累積了將近10年的細胞與動物實驗資料，以確知它產生的化學物質、測量它的組織穿透力並了解它對癌細胞的破壞機制。拉洛西說：「你同時還得控制電漿在特定劑量內，否則殺死的不僅是癌細胞，還有健康細胞。」他希望臨床試驗證實他們能微調這個裝置、剷除目標癌細胞，而不會造成不必要的損傷。（涂可欣 譯）

動物行為

蝙蝠抓蟲有眉角

角度策略能幫助蝙蝠準確獵捕停在葉片上的昆蟲。

撰文／伯科威茲 (Rachel Berkowitz)

我們知道蝙蝠在夜晚會使用高頻聲波準確獵捕飛蟲，但另外還有40%的食蟲蝙蝠是捕捉停留在葉片或其他物體表面上的昆蟲。由於蝙蝠發出的聲波在碰到植物後會往各角度漫反射，混亂的回聲讓蝙蝠難以偵測葉片上的昆蟲，因此科學家一直懷疑蝙蝠是透過視覺、嗅覺或獵物發出的聲音等線索來找尋靜止的大餐。

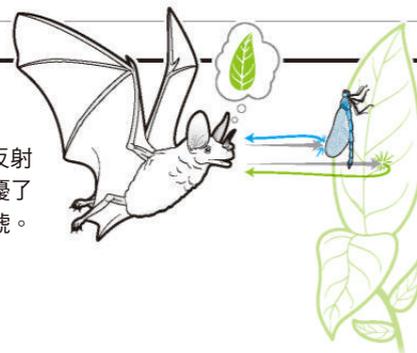
然而，美國史密森尼熱帶研究所的蓋佩爾 (Inga Geipel)、荷蘭阿姆斯特丹自由大學的西蒙 (Ralph Simon) 等人指出，某些蝙蝠單靠回聲定位就能偵測到葉片上靜止的昆蟲。根據他們發表在2019年8月《當代生物學》的論文，常見的大耳蝠 (*Micronycteris microtis*) 會以特定路徑接近目標；牠們把葉片當做反射聲波的鏡面，遠離造成干擾的回聲反射方向，因而凸顯了來自昆蟲的回聲。

未參與這項研究的加拿大多倫多大學動物學家雷特克里夫 (John Ratcliffe) 評論：「聲波傳回蝙蝠耳朵時，來自獵物的回聲被強化，來自葉片的回聲則有效減弱。」

研究人員在一個房間裡排滿麥克風，以聲納合成類似蝙蝠的聲波，並檢測聲波碰到葉片時的反射情形。他們發現，只有葉片時，聲波反射的方向是遠離聲源，但若把一隻昆蟲放在葉片上，與葉片呈60度斜角的聲波可反射回聲源。接著研究人員拍攝四隻野生蝙蝠如何捕捉棲息在葉片上的蜻蜓。西蒙解釋：「蝙蝠正是從這預期的角度靠近獵物。」一旦偏離這個角度，就很難偵測到目標。

這不是科學家首次觀察到蝙蝠用這種方式讓聲波從物體表面反射，有些在湖泊和池塘覓食的蝙蝠也會用類似方法更清晰辨別獵物浮在水面上的位置，但這策略仰賴水

以90度角接近：從葉片反射的訊號傳回蝙蝠，干擾了從昆蟲反射的訊號。



以60度角接近：從葉片反射的訊號遠離蝙蝠，凸顯了從昆蟲反射的訊號。



面遼闊無波，並且蝙蝠不需要精巧地從正確角度飛近。未參與這項研究的美國威斯康辛大學麥迪遜分校神經科學家瓦內克 (Michaela Warnecke) 評論：「我們興奮得知，相同方法也可用在另一個非常不同的環境下。」瓦內克也研究回聲定位。

雷特克里夫說，大耳蝠的掠食策略在蝙蝠物種間是否具獨特性，尚待確認。不過參與這項研究的科學家表示，它揭露了蝙蝠的聲音世界，有助於引領新的應用，包括改進仿生蝙蝠聲納系統。(涂可欣譯)

科技

用雷射熔合陶瓷

新的雷射技術能製造更堅固的電子零件。

撰文／布希維克 (Sophie Bushwick)

陶瓷堅硬又耐久，而且比玻璃更耐刮、比多數金屬更耐高溫。它們能保護電子裝置不受太空或人體內的環境所影響，但異常堅硬因而難

以運用。要結合兩片陶瓷達到氣密，必須加熱到2000°C左右，此舉通常會摧毀內嵌的電子產



品。不過根據2019年8月《科學》的論文，現在研究人員發展出使用雷射點狀加熱 (spot heat) 陶瓷的焊接方式。

雷射已經可以熔合玻璃：每秒發射大約一兆次的精調脈衝光束來熔化目標點。但陶瓷跟玻璃不同，不會吸收雷射光，而是散射。美國加州大學聖地牙哥分校的機械與航太工程師兼計畫主持

人加雷 (Javier E. Garay) 說：「當你想到陶瓷，腦中浮現的是咖啡杯或碗。」加雷解釋，這類物品不透光，是因為含有散射光線的細孔。60年前，陶瓷科學家寇伯 (Robert Coble) 率先提出一個概念：調整製造程序以降低細孔的尺寸和數量，就能讓材料變成半透明或透明。

利用透明的一般陶瓷和類似熔合玻璃的雷射技術，研究人員成功焊接出圓柱形容器，製造出能讓容器保持真空、幾乎不會漏氣的緊密接縫，足以在太空中運用。因為這類陶瓷不會跟活體組織反應，也可用來包裝植入人體的電子裝置。

沒有參與這項研究的美國理

海大學材料科學家詹恩 (Himanshu Jain) 評論：「這是重大的工程成就。」他指出，雖然先前已有研究用雷射熔化陶瓷，但第一次有人用雷射焊接陶瓷片。他說：「最難的是驗證原理。現在我們必須深入細節，了解成因和運作方式，未來還有很多工作要做。」(鍾樹人譯)

光學

增豔潛水照

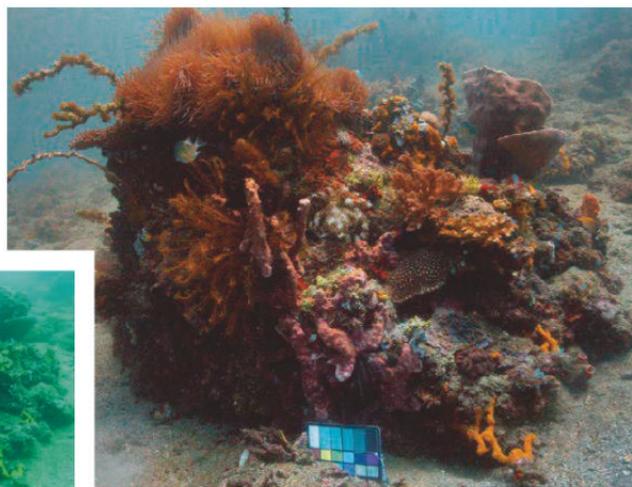
新程式可計算水對光的影響，並還原水底影像色彩。

撰文／歐爾森 (Erik Olsen)

珊瑚礁是自然界最複雜也最多采多姿的生物構造。但水底攝影愛好者都知道，拍照時如果沒有使用人工光源，照片通常不夠鮮豔又會蒙上一層霧藍色。即使在淺水域，水會選擇性吸收並散射不同波長的光，使某些物體變得朦朧不清，色彩變淡，尤其是紅色和黃色。這種現象使珊瑚科學家難以運用電腦視覺和機器學習演算法來辨識、計數和分類水底影像中的物種，而必須依靠費時費力的人工計算。

然而，由工程師及海洋攝影師阿凱納克 (Derya Akkaynak) 開發的Sea-thru演算法能去除水造成的影像失真，對於需要檢測物體在水中真實色彩的生物學家而言，影響相當深遠。2019年6月，阿凱納克和她在以色列海法大學的博士後指導教授崔畢茲 (Tali Treibitz) 在IEEE電腦視覺與圖形辨識研討會發表的論文詳細說明了開發過程。

Sea-thru的影像分析納入了光在大氣中吸收和散射的物理現象，



還以顏色：原先拍攝的印尼藍碧海峽大型珊瑚礁照片 (左) 經Sea-thru還原真實色彩。

並比對在海中的物理現象；在海中會與光作用的粒子，比在大氣中的粒子更大。程式接著以極高的效率逐一處理所有畫素，彌補水造成的影像失真，還原失去的色彩。

有個問題是，這個程序需要距離資料才能運作。阿凱納克從不同角度拍攝多張同一場景的照片，讓Sea-thru用來估算相機和物體的距離，接著回推水使光減弱的影響。幸好，許多科學家已經運用攝影測量學取得影像資料集當中的距離資料，而且阿凱納克表示，Sea-thru可直接使用於這些照片。

美國加州大學聖地牙哥分校的皮德生 (Nicole Pedersen) 表示：「比起在陸地上工作的研究人員，

我們在水中工作的挑戰非常多，因此受限不少。」皮德生是100島嶼挑戰計畫的研究人員；此計畫要在每100平方公尺中拍攝7000張照片以組合成珊瑚礁的3D模型。皮德生表示，由於欠缺處理這些影像的電腦工具，進度相當緩慢。她進一步表示，Sea-thru已經朝正確方向邁出一大步。

Sea-thru和Photoshop等應用程式有所不同，後者只能以人工方式均勻增加紅色或黃色，強化水底影像。加州科學院珊瑚生物學家邦格茲 (Pim Bongaerts) 評論：「我喜愛此方法，因為它能還原真實色彩。真實色彩可幫助我們從現有資料集裡發掘更多價值。」(甘錫安譯)

新聞鮮事

一覽 世界科技 進展

撰文／弗瑞澤 (Sarah Lewin Frasier)

巴西

在該國發現新的電鰻物種：伏打電鰻 (*Electrophorus voltae*)，可釋出860伏特的電壓，是科學家在所有現生動物中測量到的最高紀錄，電擊棒產生的電壓大約是1200伏特。

印尼

氣候模型讓科學家更加確認，1816年夏天歐洲的低溫記錄與1815年印尼坦博拉火山 (Mount Tambora) 爆發有關，火山噴出的二氧化硫進入大氣層後，造成大範圍的地表冷卻效應。

西班牙

2019年夏天嚴重乾旱，讓自1963年就因建造水庫而淹沒水底的「西班牙巨石陣」(Dolmen of Guadalperal) 重見天日。這座古蹟由100多根站立石柱排成橢圓形，已有4000年歷史。

德國

2019年8月，一座位於埃肯弗德灣 (Eckernförde Bay) 海底14.6公尺深的環境觀測站消失無蹤。研究人員在超過793公斤重的觀測站原址，只找到一條斷裂的電纜，目前潛水人員和船隻聲納仍持續搜尋。

俄羅斯

科學家在俄國遠東地區的沼澤地發現一小群小青腳鵝 (Nordmann's greenshank)，牠們是一種極度瀕臨滅絕的岸鳥。人類從1976年開始深入研究這種鳥類，這次是首度拍攝到成鳥在巢中的照片。

紐西蘭

研究人員發現，座頭鯨遷徙到距離紐西蘭海岸1100公里遠的拉烏爾島 (Raoul Island)，牠會向來自其他繁殖地的同類學習唱歌。(涂可欣譯)

資訊科學

電腦評比歷史事蹟

人工智慧判斷重要歷史事件的效力，比人類稍微好一點。

撰文／哈森 (Matthew Hutson)

2019年底，各大媒體不斷發表年度最重要的新聞，但是到了2039年，人們可能不記得這些報導之中的任何一條。一項新研究顯示，要預測哪些事件會寫進歷史，其實非常困難。

哲學家丹托 (Arthur Danto) 在1965年指出，即使最見多識廣的人 (理想的編年史家) 也無法判斷近期事件在歷史上的重要性，因為這要視後續發生的連鎖反應。美



國賓州大學資訊社會科學家沃茨 (Duncan Watts) 一直想要測試丹托的假設，終於有了機會。哥倫比

亞大學歷史學家康納利 (Matthew Connelly) 提議分析200萬封發送時間在1973~1979年且已解密的美國國務院電報，和一份由歷史學家在幾十年後編撰並收錄其中0.1%電報的摘要，這0.1%電報後來證實是歷史上最重要的電報。

康納利、沃茨和同事首先根據後設資料 (例如電報所評定的緊急與秘密程度)，計算每封電報的「感知同期重要性」(PCI)。他們在2019年9月《自然·人類行為》的論文指出，這個分數跟摘要所收錄的內容並沒有太高的關聯：分數最高的電報後來收錄到摘要中的比率，只比分數最低的電報高出四個百分點。最常見的預測誤差是偽陽

性：有些電報得到高分，但後來證實並不重要。康納利說：「我真的認為人們對當前時空有某種自戀。運動迷說了無數次：『這一定是歷史上的重要時刻。』我一直對此感到訝異。」

接下來為了模擬理想的編年史家，沃茨等人決定「建立最強大且最高級的機器學習模型，然後輸入所有的後設資料與內容。」結果這個人工智慧（AI）演算法在表

現上明顯勝過人類在當時的判斷。沃茨等人以統計方式測量AI演算法辨別歷史上重要電報的效力：分數「1」表示沒有錯誤的納入或排除，而AI演算法的分數是0.14，PCI的分數是0.05。研究人員指出，雖然演算法的表現遠遠稱不上完美，但這樣的「AI檔案管理人員」能為後代摘錄重要事件。針對這個目的調整AI演算法後，他們的模型剔除了96%的電報，剩餘電

報裡有80%最終出現在摘要中。

耶魯大學社會學家艾瑞克森（Emily Erikson）並未參與這項研究，她評論雖然研究使用的資料並不完美（例如摘要所收錄的內容是根據少數歷史學家的主觀判斷），這項研究仍提供了實用的工具，並且證實丹托的假設。她說：「看到有人以機器學習實際測試這道概念難題，不但很令人興奮，而且認真思考起來也很有意思。」（鍾樹人譯）

材料科學

蠶絲3D列印

取代膠原蛋白的新材料。

撰文／巴拉什（Harini Barath）

有很多研究團隊正嘗試用蠶絲蛋白當做「墨水」，列印人類組織、植入物甚至器官。傳統上，3D列印使用的是膠原蛋白，這是人體重要的蛋白質，而蠶絲蛋白是較為便宜的另一種選擇。印度阿薩姆省的科學家正在研究如何利用當地的蠶來達成任務，不久前他們提出了這種生物墨水的專利，結合當地兩種蠶栗色王蛾（*Antheraea assamensis*）和蓖麻眉紋王蛾（*Samia ricini*）以及普遍養殖的家蠶（*Bombyx mori*）萃取出的蛋白質。他們把這種材料編入合成結構，包括血管和肝。2019年9月發表於《美國化學學會·應用材料與介質》的論文描述了如何仿製耳朵的完整軟骨。

蠶絲是一種天然聚合物，具有長而重複的分子鏈，在力學上十分強韌，可以完全生物分解，非常適合應用於組織工程。研究人員為

理想選擇：栗色王蛾幼蟲產生的蠶絲蛋白可用於製造生物墨水。



了使用蠶絲，從蠶的絲腺抽取液態絲，或以溶劑溶解蠶絲纖維，小心地把凝膠狀的液體與病患的幹細胞混合，利用3D列印機層層建立結構。以絲構成的骨架植入人體後，幹細胞會附著其上成長並取而代之，此骨架最終則分解成胺基酸。

一般在醫學上，膠原蛋白是從動物遺骸萃取並純化，這個方法既複雜又昂貴。美國塔弗茲大學生醫工程系系主任卡普蘭（David Kaplan）並未參與這項研究，他說：「蠶絲和膠原蛋白相比，在供應和處理上極具優勢。印度就地取材使用蠶絲，也明顯加分。」家蠶的絲廣泛運用於生物列印，在阿薩姆省印度理工學院瓜哈提分校曼德爾（Biman B. Mandal）的實驗室是最早開始運用野生蠶絲的實驗室之一。他說，這些蠶絲是3D生物列印的理想選擇，可以結合起來以建

立堅固而有彈性的骨架，「這在製作骨組織時就很重要。」

研究人員通常用化學物質交叉連接蠶絲的聚合物鏈，但曼德爾的團隊找到蠶絲和明膠的混合配方，不需使用那麼多化學物質，同時野蠶絲有可供細胞自然附著的連結點。他說：「如果是別種蠶絲，就需要加入化學物質來幫助細胞附著，過程複雜又昂貴，還可能有毒性。」卡普蘭同意並補充說：「這些連結點讓細胞可以和蠶絲基質快速黏著。」

曼德爾等人製造出原型骨架，包括骨骼、心臟與肝臟的軟組織，下一步是重建膝蓋半月狀軟骨和骨頭末端的複雜組織。（姚若潔譯）

生物學

雌蝦抗病生力軍

超級雌蝦會攝食帶有血吸蟲的螺，協助人類對抗致死疾病。

撰文／克雷默 (Jillian Kramer)

科學家正在動員一支全由雌性動物組成的團隊，可以幫助遏止血吸蟲病 (schistosomiasis)，這種寄生蟲每年感染數百萬人，而且可能會致死。

血吸蟲會寄生在螺體內而進行傳播，羅氏沼蝦 (*Macrobrachium rensbergii*) 是「這些螺的貪婪掠食者」。以色列本古里昂大學生物學家薩吉 (Amir Sagi) 是這項計畫的主持人，他表示：「不繁殖的單性蝦族群不會成為入侵種，可能開啟一條新道路，當做生物控制的生力軍。」

利用甲殼類控制帶有血吸蟲的螺並非全新概念，但是要發展出

夠大的族群且以單一性別避免繁殖 (以免破壞生態系)，過程一直充滿挑戰。

蝦類和人類一樣，以特定的染色體決定子代性別，但與人類不同的是，雌蝦通常具有一條雄性和一條雌性的染色體，而雄蝦具有兩條相同的雄性染色體。實驗室繁殖出的「超級雌蝦」擁有兩條雌性染色體，只能產生雌性配子，因此可以用來建立不能繁殖的族群。

現行產生超級雌蝦的方法效率不高，薩吉和同事藉由植入雄蝦的雄性腺細胞，使超級雌蝦轉變為雄性，這是雄性羅氏沼蝦完全沒有雄性染色體的首例，這些蝦子很容

易把本身的雌性染色體傳遞給新一代的超級雌蝦。發表於2019年8月《科學報導》的論文詳細描述了這個過程。

全為雌蝦的族群非常有用。美國史丹佛大學的疾病生態學家兼獸醫索可洛 (Susanne Sokolow) 和薩吉進行相關研究，她說：「比起雄蝦，雌蝦較為溫馴，不會同類相食，成長也較平均，因此有潛力提供較為可靠的收成。」意即當地人利用這些蝦子控制螺時，也能以牠們為食。

帶有血吸蟲的螺生活在非洲撒哈拉沙漠以南地區、東南亞部份地區、南美、中東和加勒比海部份島嶼。人接觸到螺居住的水域後，數小時內可能出現的症狀包括發燒、咳嗽、腹痛、腹瀉。血吸蟲病也可能轉為慢性疾病，導致肝臟和腎臟衰竭、膀胱癌以及子宮外孕。世界衛生組織 (WHO) 指出，2017年需要血吸蟲病預防措施的人口高達2億2080萬人。

傳統的疾病療法加入全雌蝦軍團是很有意思的策略，但是羅林森 (David Rollinson) 警告，這還需要更嚴密的測試。他是全球血吸蟲病聯盟的主持人，並未參與這項新研究。

羅林森評論，建立蝦子可以存活的棲地並決定隔多久釋放新的蝦子，是首先需要思考的問題。索可洛補充，環境機構必須協商要引入什麼類型的單性族群，「否則就算真能避免危害當地環境，這種好處也很難維持下去。」 (姚若潔譯)



一舉兩得：全雌性的羅氏沼蝦族群可用於防治血吸蟲病，也可做為人類的食物。



高涌泉
台灣大學物理系教授，
最新的科普文集是《非物理不可》。

普朗克原理

科學真理之所以勝利，是因為反對者終究死去了嗎？

撰文／高涌泉

以量子大師普朗克命名的科學名詞為數不少，例如國家教育研究院公佈的學術名詞就包括：普朗克常數、普朗克能量、普朗克長度、普朗克質量、普朗克溫度、普朗克時間、普朗克輻射公式，以及佛克耳－普朗克方程式等。但在上述這些大家都耳熟能詳的名詞之外，還有個普朗克自己絕對沒聽過、也應會感到有點莫名其妙「普朗克原理」(Planck's principle)。

人們之所以認識這個新詞，我相信應該是因為讀到一篇發表於知名期刊《科學》的論文(請見*Science*, 212,717 (1978))。這篇論文的標題就是〈普朗克原理〉，作者是三位哲學家(一位科學哲學教授與兩位研究生)，內容主要是在質疑普朗克原理能否成立。

什麼是普朗克原理？普朗克在他過世前不久寫了一篇〈科學自傳〉，裡頭有這樣一段話：「新的科學真理並非透過說服其反對者、讓他們看清真相而獲得勝利；真理之所以勝利，是因為反對者終究死去，而熟悉新理論的新一代成長了。」基於普朗克這一番話，所謂「普朗克原理」的意涵即是：科學的進展不是透過理性論證與客觀證據達成的，科學家一旦受到某個科學理念的薰陶，就無法擺脫其影響，至死方休。這個原理意味著資深科學家可能成為科學進展的阻力。

假設普朗克原理所指涉的不是科學，而是宗教信仰或者政治立場，大家都會點頭稱是，因為宗教與政治在大家的經驗中不屬理性管轄的範疇(參見2019年3月號專欄「形上集」〈愛因斯坦也沒轍〉)。但在一般認知中，科學可是客觀、理性、依循證據的，所以普朗克這麼講令人驚訝，難道科學家的行事不完全依據理性？

事實上，不僅普朗克這麼講，達爾文更早就在《物種起源》的結論中說，儘管他深信書中觀點的正確性，但是他全然不敢期待能夠說服那些資深的博物學家，因為他們長期習慣用和演化論對立的觀點——例如「創造藍圖」或「設計的一致性」——來看待事情；不過他卻

對於未來充滿信心，因為他相信年輕學者能夠不帶偏見地來下判斷。

科學史／哲學家孔恩在名著《科學革命的結構》第七章中引用了達爾文與普朗克的話，因為兩人的說法可以印證孔恩對於「科學典範」如何轉移(即科學革命如何發生)的理論。由於孔恩學說非常引人注目，故招來學者探究到底普朗克原理是否符合事實。年輕學者難道真的比資深學者更樂於接受革命性的達爾文演化論？前述發表於《科學》的論文即試圖以數據來檢驗這一點。作者的結論是，學者的年齡並非他們是否接納演化論的關鍵因素，也就是說，普朗克原理不(完全)成立。其他研究也有類似的結論。

另有人直接研究普朗克本人的歷史，發現他自己就滿能夠與時俱進，例如他原本激烈反對波茲曼對於熱力學的統計詮釋，但是後來他還是願意承認錯誤，方能在波茲曼理論的基礎上獲得量子研究的突破。所以普朗克自己即是普朗克原理的例外。

如果普朗克原理不是事實，為何不少人會覺得它也有些道理。大家不是常說年紀越大，腦子就越沒有彈性嗎？腦子沒有彈性，不就比較不容易夠接受新思想嗎？我想一個合理的說法是，年齡不見得會妨礙人們接受(承認)新思想，但年齡的確會影響學者能否對於科學新進展有所貢獻，因為較資深的人一般來說比較沒有能力或沒有動機去深刻掌握新的理論與技術，若僅消極地接受、而未能積極參與推展新科學領域，多少也算妨礙了科學進展。

近幾年，基礎物理研究陷入困境，因為過去30多年來最受歡迎的研究主題超對稱與超弦理論都碰上麻煩。有人埋怨資深學者不願承認走入死巷，以至耽誤了新進路的出現。我想這不是關鍵之事：大家都知道最重要的是找到新典範，亦即我們需要當代的普朗克與達爾文——無論其年紀。■



陳文盛

教育部終身國家講座及陽明大學榮譽教授，所著《線索》、《孟德爾之夢》均獲吳大猷科普獎佳作的肯定。

兔子也好，烏龜也好

看那烏龜，牠得先伸出頭才能往前進。

撰文、插畫／陳文盛

——柯南特 (James Conant, 美國化學家、教育家)

「你沒有當藝術家的靈感或天份，那麼這輩子除了當科學家之外，你還要做什麼？」這句話是分子生物學開拓初期，戴爾布魯克 (Max Delbrück) 對來自義大利的細菌學家維斯康迪 (Niccolò Visconti) 說的。維斯康迪出身貴族世家，1950 年就到美國長島的冷泉港實驗室，修習了戴爾布魯克開創的「噬菌體課程」，開始研究噬菌體。他發表了五篇噬菌體的論文，都在1953年。其中一篇是和戴爾布魯克合作，討論噬菌體基因的定位。我攻讀博士班時，就是從這篇論文知道他。

維斯康迪在冷泉港的期間，他的朋友華生 (James Watson) 跑到英國劍橋的卡文迪什實驗室，和克里克 (Francis Crick) 埋首研究DNA結構。華生是戴爾布魯克的好友盧瑞亞 (Salvador Luria) 的學生，華生到劍橋做研究是戴爾布魯克出的主意。

維斯康迪和戴爾布魯克的論文發表在1953年1月的《遺傳學》期刊。三個月後，華生和克里克的DNA雙螺旋論文出現在《自然》期刊。維斯康迪就在這一年拋下研究，離開冷泉港。日後他回到義大利和人合夥開了一家生技公司。

我有一本1966年紀念戴爾布魯克60歲生日的專書，裡頭有32位他的同僚和朋友寫的回顧文章，維斯康迪也寫了一篇。他說戴爾布魯克身旁總環繞著一群聰明無比的科學家，他身處其中感到自卑，湧起了放棄研究的念頭。他一再向戴爾布魯克提起這感覺，有一次戴爾布魯克就尖銳地回答他本文開頭的那句話。

家境富裕可能讓維斯康迪比較容易換職業，另一

種讓人有更多選擇的因素是個人的才氣。有些人聰明又認真，似乎走任何路都容易成功，這些天之驕子選擇較多。但是選擇多也會讓人三心兩意，幻想如果選擇其他行業會如何如何。我曾經帶過這樣的學生，我會跟他們坐下來好好談，給他們衷心忠告：「坦白問問自己，你的心在哪裡？」如果有心從事科學研究，就別再三心兩意。吃碗內、看碗外只是找自己的麻煩。人生的很多選擇題都無法複選，必須學會捨得。

還有一種是對研究有熱忱、但才華有限的學生。他們有的勇往直前，有的也會動搖，特別是碰到挫折、覺得學術路途不好走的時候。他們或許也會像維斯康迪一樣，覺得自己比不上那些聰明的同學。對於這樣處境的學生，我會告訴他科學研究不需要天份，勤奮努力更重要。愛因斯坦的成就當然有賴於他的天才，但沒有那樣天份的我們只要盡力向上，仍可成為稱職的科學家。

勤奮努力的烏龜可以打敗驕傲的兔子。何況科學研究不只是競賽，一步一步踏實往上走，只要往山上走就是成功，名次不重要。我告誡學生：不管你是兔子還是烏龜，要學會不依賴掌聲。研究生涯路途中聽到的掌聲是錦上添花，有固然很好，沒有也應該不成問題。我們不是小孩子了，要擺脫對掌聲的依賴，沒有掌聲仍舊流汗奮力。掌聲不是我們努力的目標，研究的成果才是，不是嗎？

你是兔子或烏龜？我們大都介於二者之間，不是頂尖也不是墊底。不管你身處何處，勤奮和堅持總會幫助你成功。它們不保證成功，但是放棄它們就完了。

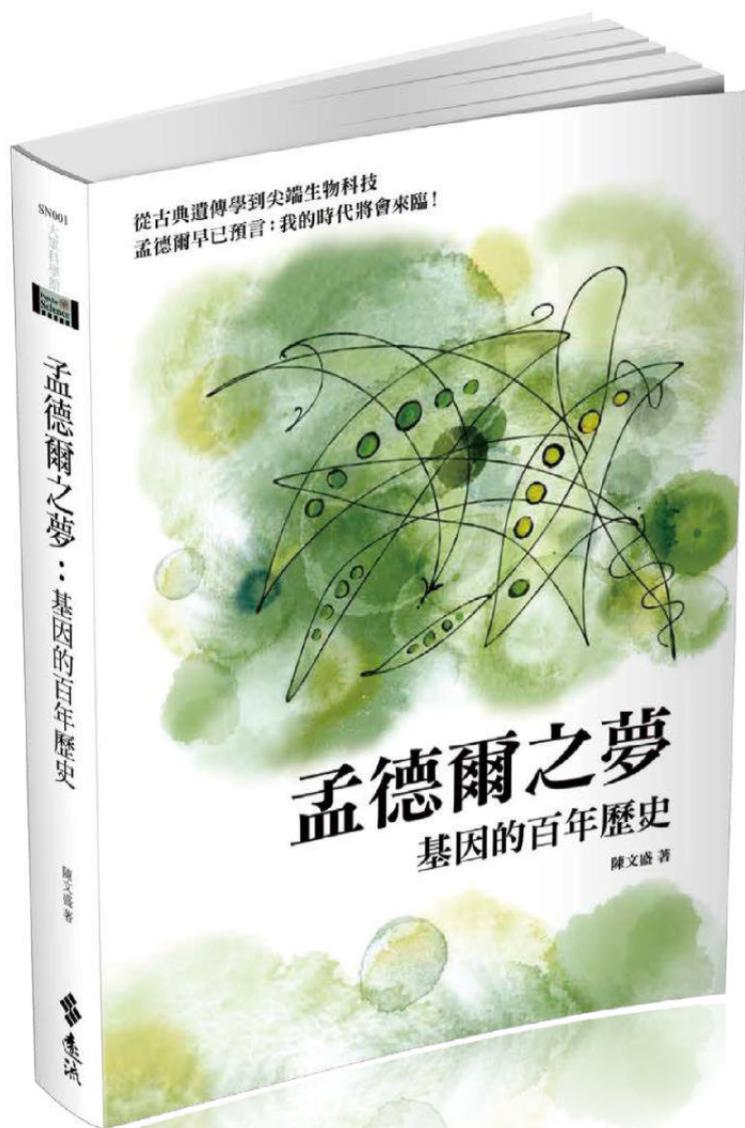
伸出你的頭，奮力一步一步往前進。SA



賀！

本書榮獲第九屆
吳大猷科普著作
佳作獎

最完整的 遺傳學科普著作



吳大猷科普著作佳作獎得主
陳文盛 精采力作

看華生、克里克與佛蘭克林的雙螺旋恩怨，與鮑林又如何競爭？不起眼的果蠅、黴菌、噬菌體，對於分子生物學有何貢獻？資訊科學家加入遺傳密碼ATGC的解碼，用了些哪些策略？rRNA、tRNA、mRNA讓人暈頭轉向，果汁機、離心機能幫上什麼忙？

透過想像力，不斷試誤、拼湊，好幾個世代的科學家接力實現了孟德爾的夢，成就了今日的基因工程、生物科技與精準醫學。

專文推薦

周成功

陽明大學生命科學系退休教授

徐明達

陽明大學生化與分子生物研究所榮譽退休教授

黃達夫

和信治癌中心醫院院長

每冊定價**360**元



詳情請上網



李國偉
中央研究院數學研究所兼任研究員、中山大學
應用數學系榮譽講座教授。

有個定理名叫九龍樹

九龍樹最少能分割成多少個圖論的「森林」？留待你來大展身手。

撰文／李國偉

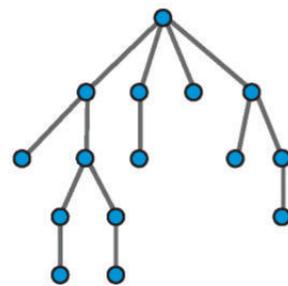
近幾年與電腦相關的一些名詞鋪天蓋地而來，例如人工智慧（AI）、深度學習、巨量資料，幾乎人人耳熟能詳。不時也有人強調發展這些新科技前，必須先打好數學基礎。可是檢視一下剛上路的108高中數學課綱，仍然欠缺連結電腦演算法的數學題材。其實演算法或者資料結構的基本概念，有很多都貼近直觀想法，也不難從生活經驗裡找到實例，教給學生並不難。我曾經在2010年2月號專欄「不可勝數」寫過〈就算是排列，也該有些章法〉，主張即使是傳統的高中數學題材，也應該多從演算法的觀點進行教學。

當代電腦數學的基礎理論是圖論（graph theory），研究對象是「圖」，組成圖的基本要素就是一些「結點」（node），以及連接結點的「邊」（edge，在本文中允許兩結點有多條邊相連）。以全球資訊網（WWW）為例，就適合用圖論來討論它的性質。WWW中的每一個頁面都可以看成一個結點，若兩個頁面有超連結（hyperlink）相連，就在對應的結點連接上一條邊。這個由結點與邊所構成的圖非常龐大，每一瞬間都會產生幾十億個結點，而且結點之間的邊生生滅滅變化多端。研究這樣動態網路的圖，絕對是極富挑戰的事。

如果圖中任何兩個結點都能經由一系列的邊相連，就稱這個圖是連通的。WWW裡會有孤立的區域，與其他頁面隔離開來，所以不是連通圖，不過它的性質卻由建構它的連通分支來決定。有些連通圖裡會產生迴路，也就是說，從圖中某個結點出發而沿著邊走，能夠再走回出發點。如果沒有迴路的圖去模擬某些真實世界的現象，在計算時就必須留意不要落入迴路而不自知。如果連通圖沒有迴路，處理起來就相對單純許多。我們可以抓一個結點掛起來當做頭，跟它有邊相連的結點就掛在第一層，第一層的這些結點彼此不會有邊相連（否則會產生迴路）。再把第一層的結點逐一當做頭，把跟它們有邊相連但還沒掛起來的結點掛在第二層。如此類推，

我們就能把原來的圖整個掛起來，最頂上第零層只有單一結點，然後逐層掛下來。這樣描繪的結果便好似一棵倒過來的樹，因此沒有迴路的連通圖通常就稱為「樹狀圖」，或簡稱為「樹」。下方圖便是一例：

「樹」可以說是電腦數學的骨幹結構，通常要解決演算法問題時，總是先拿「樹」這類圖來評估問題的難易程度。其實每個連通圖「肚子裡」都包含了樹，我們只要在保持連通性的條件下，適當地拿走一些邊，最終就會得到包含原先圖中的所有結點的樹，這種樹就稱為原圖的支撐樹。假如把連通圖想像成通訊網路，支撐樹就相當於網路的骨幹，只要維持這棵樹的各邊不被阻斷，網路裡每對結點便可交換訊息。

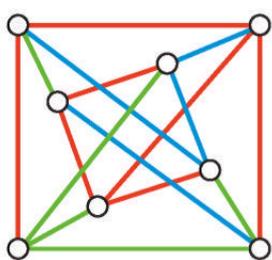


一般而言，一個連通圖包含的支撐樹並不是唯一的。如果連通圖裡有兩個支撐樹，而且不共用任一的邊，就相當於網路裡有兩組骨幹，分別能夠做全域的資訊流通，而且得以同時彼此交流而不發生干擾。因此給定一個連通圖，最多能劃分成多少個支撐樹，使得兩兩之間沒有共用的邊，就成為有意義而且重要的問題。假設圖G能夠劃分成k個支撐樹，現在如果任意劃分G的結點，且令劃分出的非空區塊數為r。每一個支撐樹都能把這r個區塊連接起來，所以至少貢獻了r-1條跨越不同分割區塊的邊。由此可知，圖G能夠劃分成k個支撐樹的必要條件是：如果把G的結點任意加以劃分，且令劃分出的非空區塊數為r，則至少存在k(r-1)條跨越不同分割區塊的邊。1961年塔特（William T. Tutte）與納許－威廉斯（Crispin Nash-Williams）各自獨立證明這也是圖G能夠劃分成k個支撐樹的充分條件。

如果我們放寬劃分為支撐樹的要求，只要求劃分為



不包含迴路的子圖，那麼標的物就是所謂的「森林」，樹當然也算是森林。森林有一個非常特殊的性質，就是它的邊數最多等於結點數減1，而樹的邊數恰好比結點數少1。最多能劃分成多少個森林的問題不太有趣，因為把每條邊當做一個劃分出來的森林便可，有趣的問法是：最少能劃分成多少個森林呢？例如下圖有8個結點，可劃分成紅、藍、綠三個森林，那麼有沒有可能把它劃分成兩個森林呢？因為每個森林的邊數最多只能達到結點數減1，在本例中也就是最多只能有7條邊，於是兩個森林最多佔用14條邊，而邊的總數是16，所以



不可能只劃分為兩個森林。結論就是：最少只能劃分為三個森林。

如果給定圖 G 的邊可以劃分為 k 個森林，不難看出要滿足一項必要條件，就是任意拿出一個由結點構成的子集

合 U ，在 U 裡面結點間互連的邊數（寫做 $e[U]$ ），最多只有 $k(|U| - 1)$ ，其中 $|U|$ 表示 U 裡面的結點數，這是因為每個森林最多只能貢獻 $(|U| - 1)$ 條邊。納許－威廉斯在1964年證明 $e[U] \leq k(|U| - 1)$ 對於任意的集合 U 成立，也構成 G 可劃分為 k 個森林的充分條件。在窮盡各種至少包含兩個結點的集合 U 的選擇裡，令 f 表示 $e[U]/(|U| - 1)$ 的最大可能值。因為森林的個數必然是整數，所以納許－威廉斯的充分必要條件就是，把 G 劃分成最少森林的數目是 f 的上高斯數，也就是不小於又最接近 f 的整數。

曾經在中山大學應用數學系任教15年的朱緒鼎教授，是國際知名的圖論高手。他警覺到納許－威廉斯的充分必要條件裡的 f ，值得進一步探究，例如2.01與2.99頗有差距，但取上高斯數都等於3。他想知道，分數部分的大小是否表示在森林劃分中能做出更細緻的區別。2010年朱緒鼎與合作學者提出一個明確的猜想：當 $f \leq k + (d/(k+d+1))$ 時，圖可劃分成 $k+1$ 個森

林，而其中有個森林的大小受到相當的限制，更精確說，它的每個結點最多與 d 個該森林的結點相連。這是一個相當有挑戰性的問題，引起不少圖論專家的興趣。

朱緒鼎在中山大學任教時，經常沿著學校後面的南壽山步道，爬到海拔330米的最高點少女峰。距離少女峰不算太遠的地方，有一叢非常壯觀的榕樹名為「九龍樹」（上圖）。這一叢裡到底有幾棵榕樹，因為枝桠交錯氣根糾結，很難用肉眼斷定。因此「九龍」既表示數量龐大，又表示氣勢雄偉。朱緒鼎還曾邀請捷克數學會主席一同登少女峰，並請隨行學生帶兩塊白板上山，以便他進行學術報告。學生在聽完課後獲得一紙證書，大家引為趣談。其實嚴格講，九龍樹並不滿足圖論的「樹」定義，因為氣根造成了樹體上的迴路。九龍樹最少能分割成多少個圖論的「森林」，那可就是一個神秘的問題了！

攀登少女峰の後段路程極為陡峭，手足並用也不稀奇。費力登頂而達於槎桠榕樹，也許剛好反映了朱緒鼎尋索解答猜想的心境，所以他把上述細緻劃分森林的猜想命名為「九龍樹猜想」，在國際圖論界成為有名的 Nine Dragon Tree (NDT) 猜想。

朱緒鼎10年前轉往中國浙江師範大學任教，不久前重訪中山大學，迫不及待再度拜訪少女峰及九龍樹。其實兩者所在區域隸屬軍方管制範圍，以往開放給登山民眾，然而現在協助登峰的繩索已撤去，更加強了防範闖入的措施。朱緒鼎有感而發，寫下一首詩歌〈再訪九龍樹少女峰〉。

「九龍樹猜想」在2015年由當時在中國福州大學任教的教授楊大慶與研究生蔣宏弼解決，證實了朱緒鼎的猜想是正確的。所以現在「九龍樹猜想」已經成為「九龍樹定理」！其實朱緒鼎還提出「強九龍樹猜想」，也就是在先前同樣的假設條件下，不僅可劃分成 $k+1$ 個森林，而其中一個森林的最大連通分支不超過 d 條邊。這個強版的猜想迄今還沒有解決，你有興趣來試試身手嗎？[SA](#)



黃勝雄
台灣網路資訊中心 (TWNIC) 董事暨執行長，
長期參與全球網際網路政策制定。

網路業者垂直整合

大型科技公司壟斷市場已成趨勢，網際網路技術架構如何調整因應？

撰文／黃勝雄

網際網路創新服務常令使用者驚豔，這仰賴網際網路技術架構多年來強調的分層獨立設計概念，優點是分離各層的技术需求，使網路具有高度互通性，任何想法或新服務都很容易實施，無需特殊支援。這種模式稱為「無許可創新」。網路架構各層的硬體、軟體與服務提供者在共同的網路基礎上各自發展，有效促進市場競爭。然而大型科技公司不斷併購新創公司，也是網路創新歷程的一大特色，如今大型科技公司持續拓展業務範圍，涵蓋了網路架構各層，例如網路服務與應用軟體、通訊協定跨層整合，形成網際網路垂直整合（consolidation），也為網路架構的未來發展帶來挑戰。

網際網路工程組織（IETF）負責規範全球網路技術架構，從這個重要組織的參與者屬性，可看出網際網路垂直整合趨勢的影響。過去 IETF 主要參與者為網路通訊設備商或網路服務提供者，現在逐漸轉變為大型科技公司，這可能影響網際網路基礎架構或應用服務，同時改變大型科技公司對網際網路的戰略思維：他們可能把特定技術標準化，以增強其技術能力；也可能選擇不發展特定技術標準，以鞏固市場主導地位。

例如 IETF 於 2018 年 11 月批准的新版傳輸協定 HTTP/3，採用快速用戶資料報協定網路連線（QUIC）取代多年來的傳輸控制協定（TCP）及用戶資料報協定（UDP）。在 IETF 批准後，Google Chrome、Firefox 瀏覽器與雲端服務龍頭 CloudFlare 都已經支援 HTTP/3。

以網際網路今日異質性高且龐大的規模而言，新協定要部署成功非常困難，QUIC 及 HTTP/3 能獲得廣泛接受相當難能可貴。QUIC 的成功因素之一，是它在成為 IETF 技術標準前已在 Google 進行大規模試驗。Google 擁有瀏覽器、行動設備與雲端服務等龐大資源。當大型科技公司熱中於特定技術標準時，會引發其他公司對這項工作的興趣，而越多公司參與特定技術標準開發，對整體數位經濟的發展越有益。

此外，由大型科技公司推動技術標準能快速且廣泛地影響終端用戶，例如當大型內容遞送網路（CDN）或大型電子郵件服務提供者強化其安全功能或導入安全技術標準時，短期內就能讓數百萬甚至數十億用戶受益。以 QUIC 來看，Google 這次主導的垂直整合有助於網際網路整體的發展，但並非所有網路整合案例都能產生正面效益。

網路垂直整合或大型科技公司整併已成為網際網路趨勢，大眾關切的是如何降低市場壟斷可能帶來的負面影響。許多人對 Google、Amazon、Facebook 和 Apple（合稱 GAF A）等科技巨擘的壟斷地位感到憂心，不同司法管轄權因素也引起各國執法監理機關的關注。決策者通常關注如何監理應用服務提供的功能，較少關注網際網路基礎架構對市場垂直整合可能的影響。

美國哈佛大學法律學者萊西格（Lawrence Lessig）指出網路空間治理框架受到市場、法律、技術和社會規範四個構成面向影響。用反壟斷法處理科技巨擘市場壟斷行為，是常見的法律解決方案。雖然技術僅佔萊西格網路治理框架 1/4 比重，技術設計者仍需評估是否能尋求技術解決方案，來減緩網路垂直整合的衝擊，相關設計選項包括更分散的技術架構、從越來越少的大型科技公司加強可整合的服務，或提供特定服務給這些公司。

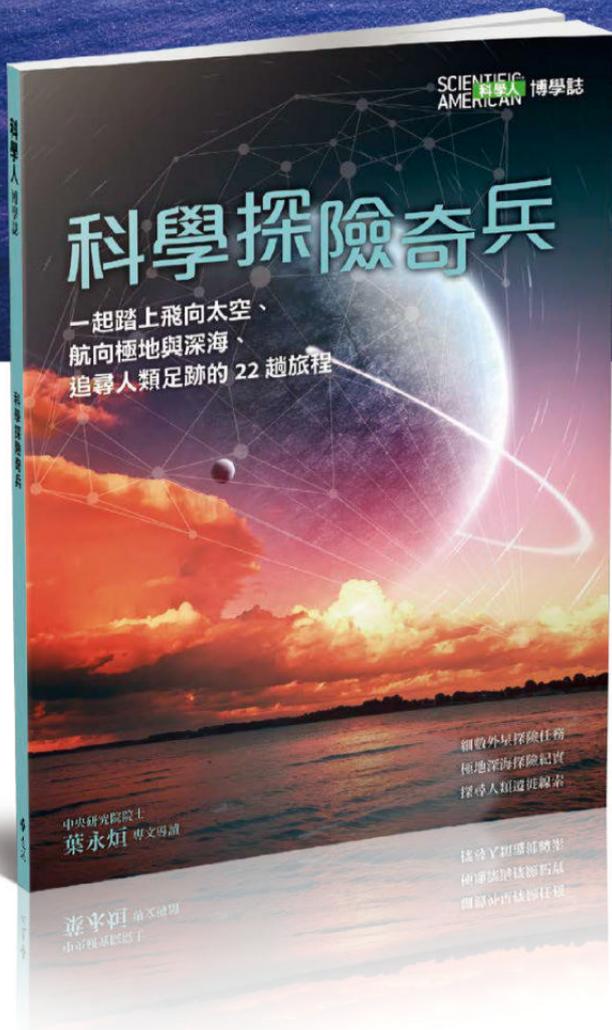
隨著網際網路滲透至生活各角落，它越來越容易被歸咎為眾多社會問題的根源。我們嘗試從問題源頭尋找可能解答，這或許需部署新的技術解決方案，或調整技術使用方式，也意味著我們可能需改變或調整網際網路的使用行為。此刻應採用何種技術架構來解決網路垂直整合問題並沒有清晰的輪廓，但網際網路做為人際交流平台已經有長遠歷史，即使市場動態轉變、新科技演化、地緣政治帶來衝擊，網際網路的基本特質已使它成為人類歷史上最成功的通訊媒介，這個基本特質也將穩固網際網路未來發展，並驅動新經濟社會的繁榮。■

一起踏上飛向太空、
航向極地與深海、追尋人類足跡的22趟旅程

科學探險奇兵

前往未知之地的渴望並不是近代人才有，古代人類為了求生存，冒險的足跡幾乎遍及大陸。現代科學家借助新科技，不僅抵達以前人類難以涉足的極地與深海、探索各行星與太陽系的邊界，甚至規劃星際旅行，前往其他恆星。

本書蒐羅從古至今人類的探險奇想與記錄，從拜訪遙遠的外星世界到深入地球海底10000公尺，了解人類如何運用工具突破限制，拓展我們的科學視野；回溯早期人類跨越大洋與大陸的旅途，更可一窺探險精神的萌芽。



精采單元

細數外星探險任務 · 極地深海探險紀實 · 探尋人類遷徙線索

特別邀請

中央研究院院士

葉永烜 專文導讀

2019.12.1
全新出版



每冊定價**380元**

菊八開／全彩印刷／160頁



曾祥非

台北醫學大學心智意識與腦科學研究所副教授兼所長。主要研究大腦處理視覺訊息的歷程中注意力和意識所扮演的角色，期望發掘有效提升認知功能的方法。

視而不見的專業

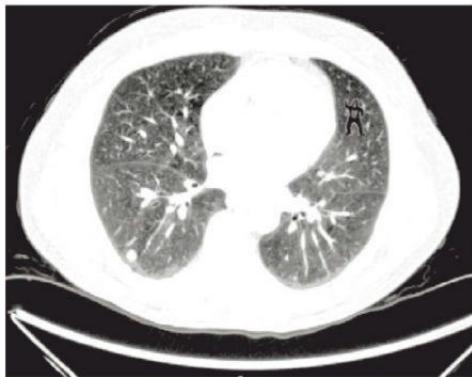
雖然連專業醫師也無法避免視盲現象，但多年臨床經驗讓他們在下意識中強化了專業判斷。

撰文／曾祥非

《威利在哪裡？》是一套搜尋遊戲圖畫書，目標是在錯綜複雜的圖像中找到身穿紅白條紋的主角威利。如果你看過這套書，那麼問你在尋找威利時，在圖中是否看到一隻猩猩，你會有印象嗎？大多數人可能會說沒有注意到。

認知心理學稱此為「不注意視盲」(inattentive blindness)，即一個人專注於某件事時，很多在事後看來非常明顯的事物，當下很可能不會察覺。這現象常運用在魔術表演中以營造娛樂效果(參見2009年1月號〈魔術與大腦〉)。

美國哈佛大學心理學家沃爾夫(Jeremy Wolfe)想知道，不注意視盲是否也會發生在訓練有素的專業人員身上，於是找了24位擅長肺癌篩檢的放射科醫師，請他們在239張電腦斷層掃描影像中尋找肺結節(nodule)這個異常徵兆；有趣的是，醫師不知道其中有連續五張影像植入了比結節大將近48倍的猩猩圖片(見圖)。結果當中有20位放射科醫師都沒有



大家來找碴：你是否發現這張醫學影像哪裡「怪怪的」？提示：注意右上區塊。

發現病人的肺裡「有猩猩」。在實驗中追蹤醫師的眼動軌跡則顯示，大部份醫師確實有「看到」猩猩圖片，然而眼睛「看到」不代表意識有「看見」，也就是說，醫師在其專業領域中也可能經歷不注意視盲。

那麼我們該擔憂醫師的專業失常嗎？先別灰心，這些醫師雖然沒看見猩猩，卻把結節都找出來了。沃爾夫團隊後續進行了一項巧妙的實驗，他們找了另一群平均有18年經驗的放射科醫師，給他們觀看健康或有癌症徵兆的乳房攝影X光片，並且對每張X光片的異常程度給予0~100的評分。這實驗巧妙(或瘋狂)之處在於每張X光片的呈現時間最短僅有250毫秒(1/4秒)，也就是在最嚴苛的情況下，醫師根本沒辦法仔細檢視，只能憑

藉1/4秒的直覺，大膽猜測並判斷。然而研究人員驚訝發現，放射科醫師憑直覺猜測的平均正確率，遠高於隨機猜測的機率，也遠高於未受專業訓練的人。這是因為醫師知道要先從何處檢視，進而比較容易找到異常之處嗎？答案似乎是否定的。因為在快速瀏覽X光片後，醫師無法準確指出異常區域，而是透過對圖片的整體統計數據(global statistics)，例如畫面明暗或線條粗細的分佈，感覺出某張X光片的「案情不單純」。

如果這項實驗結果讓你對放射科醫師另眼相看，

精采的還在後頭。沃爾夫團隊決定接下來把放射科醫師檢測X光片的能力推向極致。他們請放射科醫師檢測兩組健康的單側乳房攝影X光片，其中一組來自健康成年人，另一組來自乳癌患者的健康側乳房，兩組X光片都沒有明顯的癌症徵兆；每張X光片只呈現500毫秒(1/2秒)。結果這些醫師的表現依然出色，憑直覺猜測X光片是否來自乳癌患者的正確率仍高於隨機猜

測的機率；後續實驗甚至發現，有些醫師可以從病人確診三年前的X光片預測此人日後會出現異常徵兆。

綜合上述實驗結果，雖然放射科醫師在專注尋找癌症徵兆時，會出現不注意視盲的現象；但在極短時間內檢測癌症徵兆，表現仍相當出色，甚至具有某種「第六感」，而這所謂的第六感是多年臨床經驗累積出來的：大腦在不知不覺中獲得正常和異常X光片影像的整體統計數據，因此早在醫師察覺到X光片影像有異常時，下意識已經猜測出答案了。

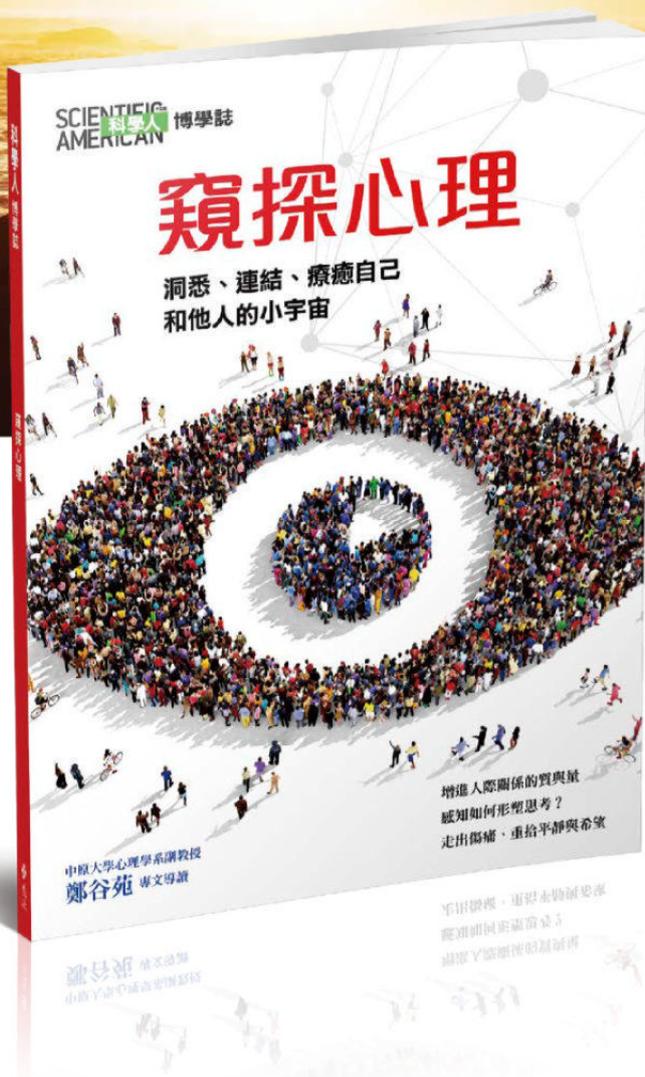
在醫學影像領域，我們偶爾會聽到有些醫師說自己能一眼就看出影像「不對勁」，上述這一系列實驗為這些自豪的醫師提供佐證，也許他們不是在吹牛！

洞悉、連結、療癒自己和他人的小宇宙

窺探心理

每個人都身兼許多社會角色，我們與人緊密相連，同時又是獨立個體，如何融入人群又不失自我、在職場適得其所、伴侶感情升溫？我們看、聽、感知外在世界，這些感官經驗如何影響個人記憶、思考與行為？陷入人生低潮如何因應？親友如何陪伴走過情緒風暴？現代醫學如何解釋與治療身心疾病？

本書從神經科學、心理學和社會環境切入，了解心智運作機制，使我們更加認識「人之心」。



精采單元

人與人·感知與思考·失序與撫慰

特別邀請

中原大學心理學系副教授

鄭谷苑 專文導讀



每冊定價**380元**
規格：菊八開/全彩印刷

胖在腦中央

現代飲食中，「超級加工」食物扭曲了大腦與腸道間的訊息溝通，令人想吞下更多熱量。

撰文／雪爾（Ellen Ruppel Shell）

翻譯／鄧子衿



美國營養學家霍爾 (Kevin Hall) 雖然一直努力想達到禪定般的安寧境界，但他的研究領域充滿各種爭論，同行常會「偏愛具壓倒性反駁證據的理論。」比起沮喪，這種狀況更讓他困惑。霍爾露出狡黠的微笑說，有些專家「具有非凡的能力，能夠頭頭是道地排除那些駁斥他們觀點的研究。」

其中一個觀點是，目前全球肥胖盛行令人擔憂，而某些營養成份例如脂肪、碳水化合物或糖，正是罪魁禍首。根據世界衛生組織 (WHO) 的調查，1975~2016年

全球肥胖人數增加了三倍，與肥胖相關的疾病例如心臟病和糖尿病也隨之增加。霍爾是美國國家糖尿病與消化和腎臟疾病研究所綜合生理學部門的主任。他的實驗結果指出，肥胖盛行另有元凶，他發現，現代食品加工業製造食物的方式才是真正應該受到譴責的對象：分離食物原料中的各種組成成份，重新加工為超級市場冷凍架上的糖霜糕點與即食餐點。他和越來越多科學家認為，這些「超級加工」食物可能會干擾腸道和大腦正常的訊息交流，令人無法感到飽足而飲食過量。





雪爾 (Ellen Ruppel Shell)

美國波士頓大學科學新聞學教授，著有《職業：工作與巨變中的未來》(The Job: Work and Its Future in a Time of Radical Change) 與《飢餓基因：肥胖工業的秘辛》(The Hungry Gene: The Inside Story of the Obesity Industry)。經常撰寫醫學領域的文章，她為Scientific American 撰寫的〈鉛污染有多危險？〉刊登於《科學人》2016年8月號，探討美國密西根州弗林特的鉛污染爭議。

霍爾進行了兩項小規模但設計嚴謹的實驗，得到的結果與目前歸咎肥胖成因為於碳水化合物和脂肪的主流觀點不同。在這兩項實驗中，受試者必須住院幾個星期以嚴格控制飲食。典型的飲食研究依賴受試者的主觀報告，但這些資料常有偏頗，因為人們的飲食狀況鮮少與報告內容相符。物理學博士霍爾抱持著精確測量事物的研究精神，他的第一項研究結果和許多人預測的相反：減少碳水化合物的攝取量，實際上似乎會減緩體脂肪下降的速度。第二項研究結果發表於2019年，確認了體重增加的新原因。若讓受試者隨意吃各種食物，份量多寡也自行決定，他們吃下的超級加工食物，比未加工食物多了數百大卡。在為期兩星期的實驗中，吃超級加工食物的受試者體重增加了0.9公斤。

北卡羅來納大學教堂山分校的營養學教授波普金 (Barry M. Popkin) 專門研究飲食與肥胖，他說：「霍爾的研究深具啟發，而且也是最佳的臨床營養學實驗。他最先證明了超級加工食物不只深具誘惑力，而且也會令人吃得更多。」營養學界已經接受這項結果，不過在現實生活中，人們混吃各類型食物，這項嚴謹控制的實驗結果可能無法實際應用。

霍爾說，他並不想扮演救世主拯救美國人的飲食習慣，他承認無法改變四歲兒子喜歡吃雞塊和披薩的習慣，他自己的飲食習慣也必須改善。不過他還是認為他的實驗提供了有力證據，令腰圍增加的主因並不是特定營養成份，而是製造生產食物的方式。他強調自己無意引起爭議，只是有一分證據說一分話，他說：「當你加入一個陣營而且被陣營中所支持的偏見包圍，那麼你很難跳脫偏見的框架。」因為他的實驗室和研究計畫由美國政府機構資助，不論他的研究結果是什麼：「我有改變心意的自由。基本上我有被科學資料說服的權利。」

碳水化合物措黑鍋

在人類與體重增加的戰爭中，霍爾過去非常認同特定營養成份（特別是碳水化合物）是令人類戰敗的原因。他

重點提要

- 許多科學家認為吃太多脂肪和碳水化合物，是現今全球肥胖盛行的禍首。
- 但新的研究指出，現代飲食中常見的雞塊、速食湯包等過度加工食物才是元凶。
- 這類食物會扭曲大腦與腸道間正常的訊息溝通，令人無法感到飽足而飲食過量。

說：「我知道攝取碳水化合物會使血液中的胰島素濃度升高，也知道胰島素濃度會影響脂肪細胞與脂肪的儲存。因此比起攝取其他主要營養成份，攝取碳水化合物當然很有可能對體重有不良影響。但這只是可能，所以我決定檢驗一下。」

在霍爾的實驗中，受試者是十名肥胖男性與九名肥胖女性，全都入住美國國家衛生研究院 (NIH) 轄下的一家醫院，在兩個星期的實驗期間，只吃高碳水化合物與低脂飲食，之後離開醫院一小段時間後，再回來接受兩個星期的飲食控制。每次住院前五天，飲食中的碳水化合物佔50%、脂肪佔35%、蛋白質佔15%，攝取的總熱量等於他們消耗的總熱量，由代謝實驗室精準測量，以確保受試者的體重沒有增減。接下來六天，每日飲食中碳水化合物的熱量少於30%。

霍爾說：「在控制碳水化合物和脂肪的比例時，胰島素的濃度會有顯著差異，我們對這個現象並不驚訝。」他本來就預期低碳水化合物飲食會減少胰島素分泌量，而胰島素濃度低，通常會影響脂肪細胞燃燒熱量的方式，「但令人驚訝的是，我們並沒有發現胰島素濃度大幅降低後，對於熱量消耗速率或體脂肪量有造成任何顯著影響。」不過霍爾說：「我們發現低碳水化合物飲食會稍微減緩體脂肪下降的速度，也會稍微增加身體肌肉流失的速度。」一年後，霍爾和同事再次進行類似實驗，時間拉長到八個星期。這次他們把飲食中碳水化合物的比例降到更低，結果發現，超低碳水化合物飲食與高碳水化合物／糖類飲食，對體脂肪降低或熱量消耗並沒有顯著差異。2015年，他們在《細胞·代謝》上發表第一項研究，2016年在《美國臨床營養期刊》發表第二項實驗結果。

如果不是碳水化合物造成全球肥胖盛行，那真正原因是什麼呢？現代人每餐食物的份量比較多，種類也更豐富，許多人吃下的熱量比幾十年前的人更多。雖然飲食的誘惑增加了，幾乎所有美國人都飲食過量，但還



過度加工食物：設計時就考量到能立即食用，其中含有多種人工添加物，包括油、脂肪、著色劑、調味劑、非糖類甜味劑、增量劑與硬化劑（其中沒有一種與肥胖特別有關係）。

近幾十年飲食的改變，卻讓我們的基因（以及腦）來不及適應。面對這樣的挑戰，每個人身體的反應不盡相同，也不需要驚訝了。

19世紀末，大部份美國人都住在郊區，近半數的居民以農耕為生，通常吃的是新鮮或稍微加工的食物；而現今大部份美國人居住在城市，食物主要是買來的，而不是自己栽培的，當中包含越來越多即食食品。估計美國人所吃的熱量中約有58%來自食品加工業，其中有將近90%添加了糖，而且加工配方中幾乎所有材料，不論是營養成份、纖維或是化學添加物，都不存在於自然界中，或是自然界中沒有如此的組合方式。這些食物就是所謂「超級加工」食物，例如洋芋片、調味穀物麥片、糖果、汽水、糕點、麵包、加工肉類、添加了香料的優格、能量棒等看起來無害或甚至標榜健康的食品。

超級加工食物往往含有大量糖、脂肪和鹽，令1970年以後的美國人每天所攝取的熱量多出了600

是有很多人不會飲食過量。霍爾認為這是營養學之謎，身體天生有對食物感到飽足的機制，讓我們不會飲食過量。那是什麼因素使某些人的飽足機制失常呢？

過度加工食物令人吃下更多熱量

霍爾喜歡把人體比喻成車輛，他指出兩者都可使用多種能源。以車輛來說，可使用柴油、高辛烷值汽油或是電力，依照車輛型號而定；人體也是，可吃各式各樣的食物，依照文化習俗以及食物供應來源而定。舉例來說，居住在北極圈的因紐特人（Inuit），傳統飲食富含高脂／低碳水化合物，而日本傳統飲食特色則是低脂／高碳水化合物。雖然人體已演化出能配合各種天然飲食，最

大卡。這些食物雖然和體重增加有關，但並不表示有因果關係，仍有許多食物加工少但依然美味，例如乳酪、肥肉、蔬菜油、奶油等，對體重增加可能具有相同或更大的影響力。所以霍爾想知道體重增加是否真的是因超級加工食物所致。他說：「基本上我們想知道，如果熱量來源是超級加工食物，人們會不會吃得比較多？」

這個問題並不容易設計實驗。如同之前所說，典型的營養學研究依賴受試者主觀報告，例如每天的飲食記錄或是憑記憶填寫問卷。但霍爾知道，研究超級加工食物時，這兩種方法都無法提供令人信服的證據。首先，眾所皆知，那些參加營養學研究的受試者的報告謊話連篇：報告所吃的綠花椰菜份量比實際吃下的多、宣稱吃

的巧克力比實際吃下的少，或是「忘記」和朋友聚會時其實喝下了第三杯啤酒。除此以外，由於大部份美國人飲食中都含有超級加工食物，很難找到特定一群人的飲食差異大到能夠互相比較。

2018年，霍爾為了避免上述以及其他問題，再度利用醫院代謝疾病病房，在其中隨機找了20名自願受試者分成兩組，為期兩個星期的實驗中，一組只吃超級加工食物，另一組只吃未加工食物；然後兩組調換再進行兩個星期。（當然，受試人數只有20名所得到的結果，一般來說沒有重要到足以向大眾宣佈的必要，但這項「證明概念」的先驅研究，之後可以推展成更大規模的研究。霍爾說，在初步階段招募更多受試者接受嚴格的飲食限制「並不道德。」）營養學家仔細設計讓超級加工食物和加工食物間的熱量、能量密度以及脂肪、碳水化合物、蛋白質、糖、鹽與纖維等成份含量都一樣，也確定受試者對於兩類食物並沒有特別偏好。兩組受試者三餐與零食份量，都可依自己喜好決定。

2019年春天，霍爾在辦公室把每份餐點與零食的照片給我。超級加工食物包括熱狗、義大利餃子罐頭、放了加工乳酪的漢堡、白麵包、人造奶油、包裝餅乾等。早餐內容有火雞培根、含糖穀物片、蛋代用品、炸薯球、水果口味的飲料（大部份使用人工甘味劑）、午餐肉（spam，罐裝壓縮的肉塊）。非加工飲食的晚餐是烤牛肉、抓飯（香料飯）、庫斯庫斯（couscous，蒸粗麥粉）、義大利麵；非加工飲食的早餐則有堅果、蔬菜歐姆蛋、奶油馬鈴薯餅、全脂優格。

對許多人來說，烤牛肉、義大利麵和煎蛋都非常可口，如果他們吃這些食物的份量超過午餐肉等超級加工食物，並沒有什麼好驚訝的。但是事情並未如此。2019年霍爾發表於《細胞·代謝》的研究結果發現，吃超級加工食物的人，比吃未加工食物的人，每天多攝取了500大卡熱量，使他們在兩個星期中增加了0.9公斤。巴西聖保羅大學公衛學院的醫師兼營養與公衛學教授蒙泰羅（Carlos Augusto Monteiro）說：「霍爾的研究驚人之處，在於指出人們如果面對超級加工食物，會吞下更多熱量。」

腦腸連結失調

為什麼蛋代用品和火雞培根對我們的誘惑力超過真正雞蛋與奶油馬鈴薯餅，令人放縱大吃呢？專門研究現代飲食對大腦迴路影響的美國耶魯大學神經科學家與精神病學教授史莫爾（Dana Small）認為自己找到了一些

線索。她說，腸道中的神經細胞經由迷走神經（vagus nerve）這個大型神經迴路把訊息傳到大腦，這些訊息包括進入腸胃道中的能量（熱量）多寡，如果資料散亂，混合訊息會造成飲食過量。史莫爾說，如果「大腦沒有從腸道得到真正的代謝訊息，就不知道腸道中有食物。」史莫爾和其他科學家進行神經造影研究發現，和高熱量密度食物有關的感覺訊息（味道、顏色與文字）會活化腦中紋狀體（striatum），這個腦區參與決策制定，其中包括和進食相關的決策。

史莫爾說，超級加工食物就是這樣引發問題的。吃下這類食物後，身體實際代謝的能量和腦中獲知的消化所得能量並不一致，腦部受到混淆，因此刺激人飲食過量。舉例來說，蜂蜜、楓糖漿和砂糖等天然甘味劑會提供一定熱量，這些天然食物提供的甜味訊號讓身體預期會攝取到多少熱量並做好準備。但糖精等人工甘味劑雖然也會提供甜味訊號讓身體有所預期，實際上卻沒有提供熱量。大腦本來預期會有熱量，實際卻沒有，於是令人一直進食。

史莫爾還指出，更加麻煩的是超級加工食物同時含有營養的甘味劑和沒有營養的甘味劑，引發強烈的代謝效應，進而造成極端強化效應，也就是吃了超級加工食物會令人更想吃這類食物。她說：「現在我們明白，含有營養甘味劑與無營養甘味劑的食物和飲料，所含熱量沒有正確傳到大腦。霍爾發現的證據指出，人們如果吃高度加工食物會吃得更多。我對這些結果的看法是，當我們吃超級加工食物時，腦中所得的代謝訊息和吃加工程度較少的食物不同，大腦不知道真正吃進的總熱量，於是使我們繼續吃得更多。」

史莫爾說，動物研究已證實，超級加工食物會干擾腦腸間食物攝取的訊息傳遞。她說：「我們一直都漫不經心，以為一卡熱量就是一卡熱量，但許多食物會造成意料之外的結果。舉例來說，在大自然中，碳水化合物幾乎都包裹在纖維中，但超級加工食物要不沒有纖維，要不就是纖維以非自然型式存在。另外，在大自然中很少有食物同時含有碳水化合物和脂肪，但超級加工食物往往把這兩種成份混在一起。我們創造了充滿脂肪、糖、鹽以及人工添加物的可口食物，顯然我們也喜歡這些食物。但這些食物不一定能引發飽足感，反而引發我們吃的渴望。」

史莫爾和其他科學家認為，某方面來說，超級加工食物類似成癮性藥物，食用這些食物不會感到飽足，而是想吃更多。麻省理工學院的神經科學家葛瑞布耶爾



加工食物：把糖、脂肪和鹽等成份加入天然食物中，目的是為了延長保存期限或凸顯味道。這類食物包括罐頭蔬菜與罐裝魚、醃製肉類、乳酪和酒類等發酵食物與飲料。

體重會增加，有些不會。那些變胖的大鼠體內多巴胺系統改變了，對這類食物更為敏感，極度尋求食物報償。牠們獲得的愉悅感並沒有增加，但需求增加了，導致牠們採取行動，也就是追求更多這類食物。」不過貝里奇強調，這不是始終不變的反應，也不認為這是飲食過量的唯一原因。「有些人很可能對大幅改變的加工食物有反應。但我認為，這類食物對所有人造成的影響不盡相同。我猜單就肥胖來說，可以從中找到不同群體，各群體因為基因不同，變胖的原因與歷程也不同。」

研究推論有爭議

並不是所有研究人員都同意霍爾的看法：超級加工食物是造成肥胖的主因。即將擔任美國營養學會會長的普渡大學營養科學教授馬特斯（Rick Mattes）擔心霍爾在沒有足夠證據時就認為某一大類食物有害，「他說超級加工食物令人飲食過量，但沒有足夠證據支持這項宣

（Ann Graybiel）是研究習慣形成的知名專家。她說單是外來訊息（例如看到一根棒棒糖）就能夠刺激反射反應，引發大腦的自動反射機制。她說：「當習慣形成時，會有『集組』（chunking）特徵，意指當你學會一種行為模式時，大腦會把行為序列串在一起，包括標記開始和結束，所以不必多想便能完成整套動作。」（紋狀體中的某些神經元負責把多個行為集合起來成為一套序列習慣。）

密西根大學的心理學與神經科學教授貝里奇（Kent Berridge）補充道，吃下大量超級加工食物可能會改變大腦迴路，對這類食物更為敏感。他以齧齒動物模式研究這種現象，「如果你給大鼠吃垃圾食物，有些大鼠

稱。我的看法是，食物加工過程並非是使我們對這些食物上癮的主因，食物中的營養組成才是更有影響力的因素。」霍爾反駁，他的實驗設計讓兩組受試者攝取的營養組成相同；但馬特斯還有其他反對意見，他認為其中最為嚴重的是，在霍爾每次的實驗設計中，受試者都只吃超級加工食物或只吃天然食物，馬特斯在電子郵件中寫道：「在現實生活中，人們會混著吃，這樣的實驗設計並非研究缺失，但如果把研究結果推論到現實生活，這便是嚴重問題。」

另一個令人多吃超級加工食物的原因是這類食物很容易入口，因此在大腦飽足機制減緩進食速度前，人們已吃下過多食物。超級加工食物的能量密度往往也高，

天然食物：動物和植物可食用的部位（例如種子、根部、葉片、肉和蛋等），主要加工程序包括冷凍、乾燥、巴氏殺菌法（pasteurizing）以增長保存期限。不會額外添加鹽、糖、油和脂肪。

一小包裝就含有較多熱量。這也可能令人快速進食而不受腦中飽足機制調控。但吃得快並不能解釋為何人們在下一餐吃下更多超級加工食物，因為至少在理論上，人們應該會比較不餓。

如果超級加工食物真的是大麻煩，那麼我們當務之急便是尋找解決方法。應該怎麼做？我問霍爾，他不同意對這類食物增加課稅之類的強硬做法。他說：「因為現代人熱量來源有六成來自這類食物，加稅會使有些人的食物來源不穩定。我們發現了超級加工食物和飲食過量的關聯，有許多假說解釋了其中的因果關係，但在我們完全了解相關機制前就加以干預，為時過早。有可能是因為人工添加物或人工調味劑造成的影響，或是超級加工食物的微量營養成份不足，身體感覺到了，所以才有食用過量這種反應。還有其他可能原因，只是我們目前不知道而已。」

在此同時，霍爾確實認為現有關於超級加工食物的研究證據，足以令我們擔心這些食物：「我們可以改變飲食習慣把傷害降到最低。我認為現在已經有可著眼的地方了。」食品加工業也有可改善之處，他們或許可設計出加工過程比較少的食物，不過人們得買更多那樣的食物，以顯示有所需求。霍爾堅稱：「我沒有打算傳教，不過我確實認為在食物供應系統上，消費者的需求會比政府法規更具影響力。」而在這方面，他的工作便是透過研究提供科學結果。SA

鄧子衿是陽明大學微生物及免疫學研究所碩士，專職生命科學、食物以及醫學範疇的科普翻譯，曾獲第九屆吳大猷科普翻譯獎佳作，雜誌譯稿散見於《科學人》與《國家地理》，近期的翻譯書籍有《生命的法則》、《群的征服》與《毒特物種》。



▶ 延伸閱讀

Calorie for Calorie, Dietary Fat Restriction Results in More Body Fat Loss Than Carbohydrate Restriction in People with Obesity
Kevin D. Hall et al. in *Cell Metabolism*, Vol. 22, No. 3, pages 427–436; September 1, 2015.

Energy Expenditure and Body Composition Changes after an Isocaloric Ketogenic Diet in Overweight and Obese Men. Kevin D. Hall et al. in *American Journal of Clinical Nutrition*, Vol. 104, No. 2, pages 324–333; August 2016.

Processed Foods and Food Reward. Dana M. Small and Alexandra G. DiFeliceantonio in *Science*, Vol. 363, pages 346–347; January 25, 2019.

Ultra-Processed Diets Cause Excess Calorie Intake and Weight Gain: An Inpatient Randomized Controlled Trial of Ad Libitum Food Intake. Kevin D. Hall et al. in *Cell Metabolism*, Vol. 30, No. 1, pages 67–77 and e1–e3; July 2, 2019.

訂戶專享 《科學人》雜誌知識庫中英對照版

〈減重手術的新啟發〉，《科學人》2017年9月號。
〈甜點的致命誘惑〉，《科學人》2016年2月號。
〈人工甘味劑害你更胖〉，《科學人》2015年5月號。



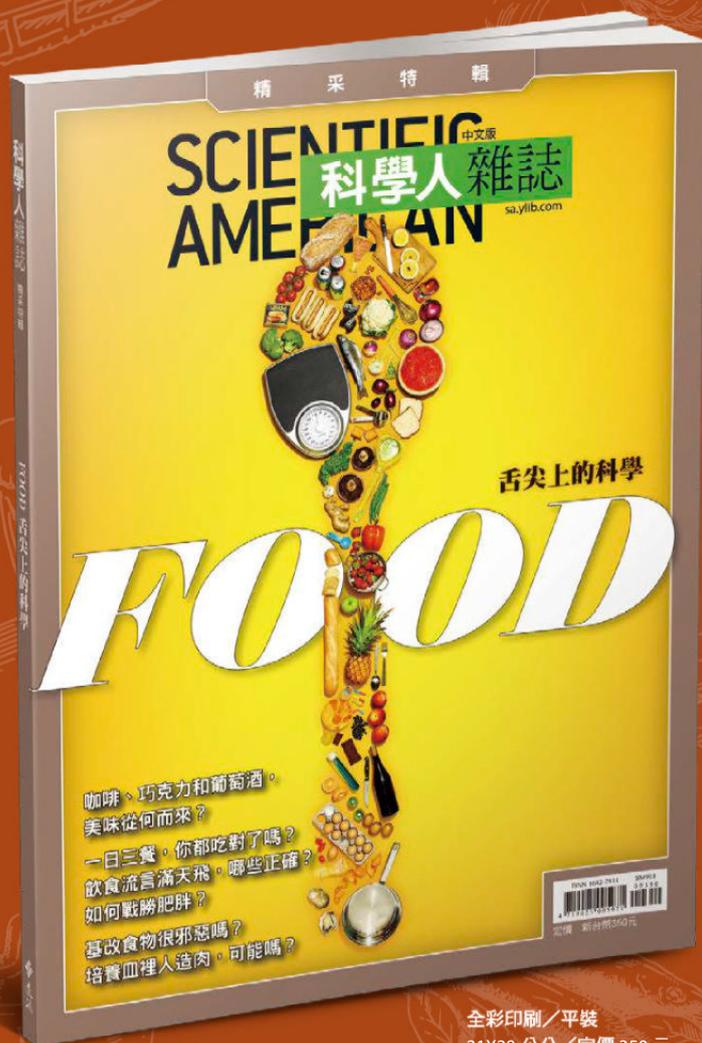
SCIENTIFIC
AMERICAN

科學人雜誌

精采特輯

經典·多元·通識·前瞻

遠流博識網
熱賣中



全彩印刷／平裝
21X28公分／定價350元

新食物運動

FOOD

舌尖上的科學

一日三餐，你知道自己究竟吃了些什麼？又吃對了嗎？

食安問題頻傳，暴露了現代人對於食物的無知。食物從農場生產、加工，到端上餐桌，經過了哪些程序？食物進入我們的嘴、消化道，又發生哪些反應？要享受美食又維持健康，有更科學的方法嗎？飲食流言滿天飛，哪些正確？

基因改造食物很邪惡嗎？看科學家來一場大辯論。培養皿裡人造肉，可能嗎？

飲食文化持續演變、氣候變遷引爆作物危機、未來科技引領食物革命，集合《科學人》歷年食物科學的精華，一次滿足你的知識養份！

專文導讀

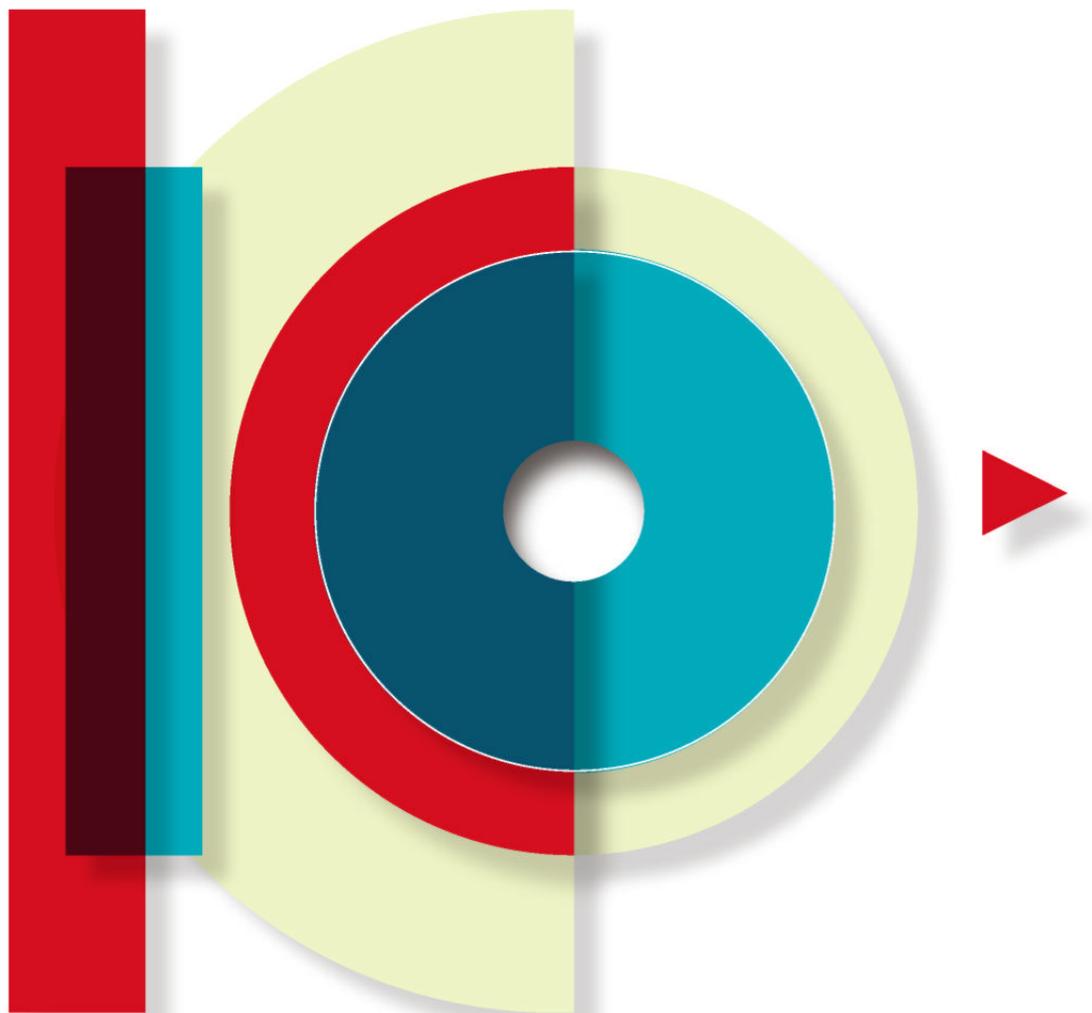
食品安全問題層出不窮，書中一篇〈你吃的食物安全嗎？〉告訴我們，從食物到餐桌，經過了層層的步驟，誰能保證每一步都安全無虞？或許未來透過更先進的科技，可以提高食物的安全性。但無論科技怎麼進步，我認為，人類的道德與良知才是確保食品安全的基石。

吳映蓉

財團法人台灣營養基金會執行長
台北醫學大學保健營養學系兼任助理教授







科技創新

10大未來科技 近在眼前

Scientific American 與世界經濟論壇合作，
評選出10項正在改變現狀的創新技術。

繪圖／布蘭奇 (Vanessa Branchi)

生質塑膠的循環經濟

利用先進的溶劑及酵素把廢木材轉化為更好的生物可分解塑膠。

撰文／馬蒂內茲 (Javier Garcia Martinez)

有朝一日，新聞報導中介紹的虛擬遠距溝通將成真，讓你真切感受網友的握手及擁抱。其他即將可以應用的科技還有：與人互動的仿真機器人及機器寵物，在數秒內找出食物中毒源頭的系統，可應用於小型攝影機的微型鏡頭，植物廢料所製成、堅固的生物可分解塑膠，以DNA為基礎、可靠的巨量資料儲存系統等。

Scientific American 與世界經濟論壇 (World Economic Forum) 共同號召頂尖的科技專家組成國際評選委員會，經過激烈的遴選過程，選出2019年10大未來科技。評選委員會徵詢全球其他專家的提名後，依據以下標準評比數十個提案：專家推薦的科技是否具有潛力，能為社會和經濟帶來重大利益？能否改變目前的生活方式？是否在開發初期階段，就已引起實驗室、企業或投資者的高度興趣？能否在未來幾年獲得重大進展？評選委員會也根據需求搜尋更多資訊，經過四次遠距會議確定入選名單。我們希望你喜歡這個結果，也歡迎你不吝回應。

—— 迪克里斯汀納 (Mariette DiChristina)、
邁爾森 (Bernard S. Meyerson)

人類的文明建立在塑膠上，根據世界經濟論壇的資料，光是2014年的塑膠產量就高達3億1100萬公噸，到2050年，預計將增加為三倍。但是，只有不到15%的塑膠製品能回收，其餘多數被焚化、掩埋或丟棄於環境中，由於無法被微生物分解，因此會持續存在數百年。積累在海洋裡的塑膠碎片會引發各種問題，包括野生動物因誤食而死亡、釋出有毒化合物，甚至透過受污染的魚肉進入人體。

生物可分解的塑膠能緩解這些問題，讓源自生物質的塑膠轉化回生物質，達成「循環」塑膠經濟的目標。可生物分解塑膠如同從石化製品做成的標準塑膠一樣，是由聚合物（長鏈分子）組成，這些聚合物在流動狀態下能模製成各種型式。但是目前能選用的材料（主要是來自玉米、甘蔗或廢油）通常缺乏標準塑膠的機械強度和視覺特性。最近，用纖維素或木質素（植物中的乾物質）生產塑膠的技術已有突破，可望克服這些缺點，其優點除了對環境友善之外，纖維素和木質素可取自於原本毫無用處的非食用性植物：不適農耕的畸零地上所長的植物（例如蘆竹）或廢木材、農業副產品。

纖維素是地球上最豐富的有機聚合物，為植物細胞壁的主要成份；木質素是細胞壁之間的填充物，提供足夠的強度及硬度。使用這些物質製造塑膠之前，必須先把它們分解為「單體」（monomer），也就是基本構造單元。研究人員最近找到能分解這兩種物質的方法：分解木質素的難度特別高，因為木質素的單體是由芳香環組成，這種化學結構讓某些標準塑膠具備機械強度及其他功能；能溶解木質素的溶劑相當有限，但是研究人員發現，某些對環境友善的離子液體能從木材及木本植物中分離出木質素，基因工程酵素



（作用類似於真菌及細菌分解酶）再把溶解的木質素分解成基本構造單元。

一些新創公司使用這些成果研發新產品：英國倫敦帝國學院（Imperial College London）下設的公司 Chrysalix Technologies 開發一種製程，運用低成本離子液體把纖維素和木質素從初始原料中分離出來；芬蘭生技公司 MetGen Oy 生產多種基因工程酵素，把不同來源的木質素分解為各種成份，以供多種用途之需。美國的 Mobius（前身為 Grow Bioplastics）正在開發以木質素製成的塑膠顆粒，用於製作生物可分解花盆、農用覆蓋物等產品。

在新塑膠材料普及應用之前，還必須克服許多障礙：一是成本，二是盡可能減少製程所需的土地及水（雖然木質素完全取自於廢物，仍需要水才能轉化為塑膠）。如同所有重大挑戰一樣，這些解決方案需要多重配套措施，包括法規制定、社會大眾願意改變使用及處置塑膠的方式。儘管如此，用於製造生物可分解塑膠的新興技術提供了完美的範例，說明綠色溶劑及更有效的生物催化劑有助於催生重大產業的循環經濟。（林慧珍譯）

新興科技評選委員會

迪克里斯汀納 (Mariette DiChristina)

評選委員會主席，美國波士頓大學傳播學院院長及 *Scientific American* 雜誌榮譽編輯。

邁爾森 (Bernard S. Meyerson)

評選委員會副主席，IBM 首席創新長，美國國家工程學院院士，多次以物理、工程和商業領域的研究成果獲獎。2014~2016 年世界經濟論壇新興科技全球議程委員會主席，2016~2018 年世界經濟論壇全球未來先進材料委員會主席，也參與「美國製造業的未來」及「目的性創新：以科技強化糧食體系」等多項世界經濟論壇的計畫。

卡爾貝克 (Jeff Carbeck)

曾創辦數家公司，目前是 10EQS 公司的執行長，這家公司匯聚多位獨立的頂尖顧問以及學有專精的產業專家，以幫助組織提高成長及績效。2016~2018 年世界經濟論壇全球未來先進材料委員會成員，共同創辦的公司 MC10 是世界經濟論壇科技先鋒。

詹德拉瓦地 (Rona Chandrawati)

澳洲新南威爾斯大學食品與藥物實驗室奈米科技資深講師及主任，主要研究領域為疾病診斷、食品安全及環境監測的奈米比色感測器開發。世界經濟論壇 2018 年青年科學家，世界經濟論壇專家網絡成員，曾任世界經濟論壇全球未來生物科技委員會委員。

佛萊徹 (Seth Fletcher)

Scientific American 專題主編，著有《愛因斯坦的影子》。

馬蒂內茲 (Javier Garcia Martinez)

西班牙阿利坎特大學無機化學教授及分子奈米科技實驗室主任，萊夫科技共同創辦人、國際純粹與應用化學聯合會 (IUPAC) 執行委員會委員、世界經濟論壇全球青年領袖，世界經濟論壇專家網絡成員，著有《解決能源問題的奈米科技》及《化學元素：化學對全球未來的貢獻》。

北野宏明 (Hiroaki Kitano)

人工智慧及系統生物學專家，日本東京索尼電腦科學實驗室執行長、系統生物研究所所長，曾參與世界經濟論壇中數個全球未來委員會，包括 2016~2019 年參與的人工智慧與機器人委員會。

拉森 (Corinna E. Lathan)

AnthroTronix 共同創辦人及執行長，這家生物醫學工程研究及開發公司專門研發數位醫療、穿戴科技、機器人與擴增實境相關產品。她也是物聯網及擴增實境平台供應商 PTC 的董事，世界經濟論壇全球青年領袖及科技先鋒，2016~2018 年世界經濟論壇全球未來人類強化委員會主席，世界經濟論壇全球未來健康長壽與人類強化委員會委員。

林恩 (Geoffrey Ling)

美國陸軍退休上校，美軍健康科學大學及約翰霍普金斯大學神經科學教授，伊諾瓦費法克斯醫學中心神經科學研究代理副主席及醫療技術法規諮詢公司 Ling & Associates 合夥人。科技發展及商業移轉專家，曾經擔任美國國防高等研究計畫署 (DARPA) 高階職位，歐巴馬執政時任職於白宮科技政策辦公室。2016~2018 年世界經濟論壇神經科技委員會委員。

梅納 (Andrew Maynard)

美國亞利桑那州立大學風險創新實驗室負責人，著有《來自未來的電影：科幻片中的科技和道德觀》。主要研究領域是責任化新興科技開發及運用。目前擔任世界經濟論壇全球未來靈活治理委員會委員。

歐戴 (Elizabeth O'Day)

美國精準醫療公司歐拉瑞斯 (Olaris Therapeutics) 創辦人及執行長，世界經濟論壇全球未來生物科技委員會共同主席，曾創辦 Lizzard Fashion、Proyecto Chispa、「女性科學與科技人」以及 PhiSB。

李相燁 (Sang Yup Lee, 音譯)

自 2016 年起擔任世界經濟論壇全球未來生物科技委員會共同主席，南韓科學技術院 (KAIST) 院長、化學及生物分子工程學特聘教授，擁有超過 680 項專利。

客座作者

菲謝蒂 (Mark Fischetti)

Scientific American 資深編輯，負責撰寫永續發展相關主題。

莫斯卡蒂里 (Alberto Moscatelli)

《自然·奈米技術》(*Nature Nanotechnology*) 資深編輯，主要負責奈米光子學領域的文稿。擁有美國哥倫比亞大學光化學博士學位。

湯普森 (Andrea Thompson)

Scientific American 副編輯，負責永續發展相關主題。

機器人能社交

社交機器人即將成為人類的
朋友和助理。

撰文／拉森 (Corinna E. Lathan)、
林恩 (Geoffrey Ling)

工業和醫學領域早已大量使用機器人，在工廠中建造、拆解和檢查物品，也協助手術進行並在藥局配送處方藥。這些機器人跟「傑森一家」中的機器人女僕蘿西，或其他小說中令人喜愛的仿生機器人大不相同，設計來參與人類生活並能建立情感的「社交」機器人也沒有那麼栩栩如生。即便如此，社交機器人在未來幾年可望變得更先進也更普及。這個領域似乎即將成為潮流，機器人展現出前所未有的互動能力，能執行更實用的任務。

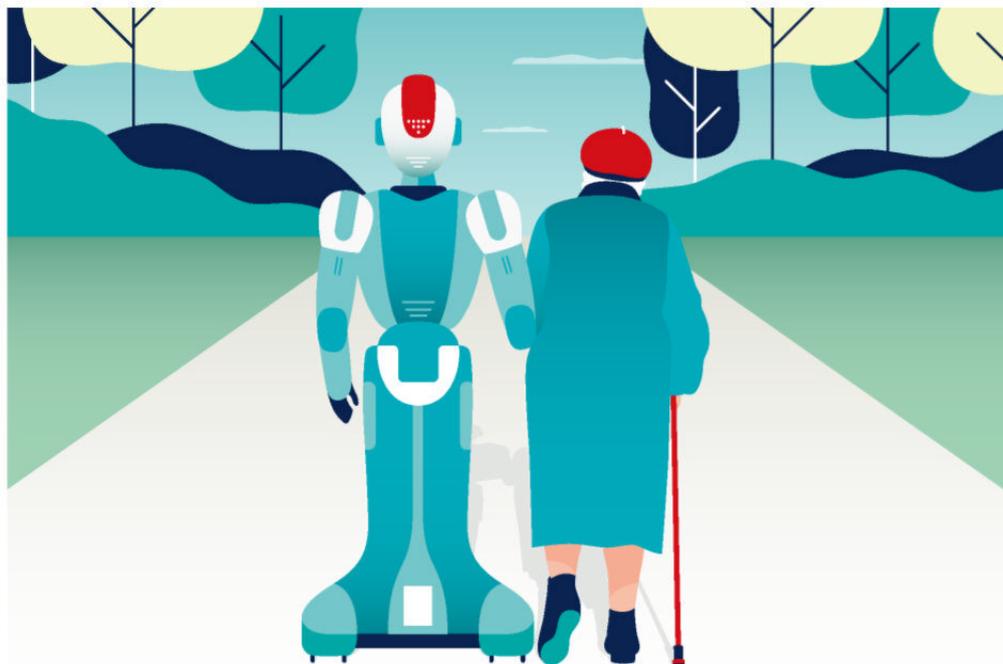
社交機器人與大多數機器人一樣，從攝影機等感測器接收訊息，再以人工智慧來判定要採取何種行動。針對感知形成、社會和情感智慧構成，以及人類如何推斷他人思想和感受等研究，讓機器人有能力產生類似真人的反應。人工智慧的進展，使工程師能夠把來自心理學和神經科學的洞見轉化為演算法，從而使機器人辨識聲音、人臉和情緒，並讓它們理解語音和手勢、對複雜的口說或非口說線索做出適當反應、與使用者眼神接觸，甚至經由回饋、報償和批評去學習，以因應人們的需求做調整。

如此一來，社交機器人能扮演的角色越來越多元。例如 120 公分高的人形機器人 Pepper（軟體銀行機器人公司開發），可以辨識人臉和基本的人類情緒，並通過胸前的觸控螢幕與使用者對

話。全球約有 1 萬 5000 台 Pepper 提供各項服務，例如酒店入住、機場客服、購物協助和快餐結帳。Temi（美國 Temi 公司開發）和 Loomo（賽格威機器人公司開發）則是新一代的個人助理，它們就像 Amazon Echo 和 Google Home，但還具備移動能力，提供了進階功能。例如 Loomo 不僅有陪伴功能，還可以接收指令，變形為滑板車進行運輸。

面對全球不斷增長的老年人口，社交機器人能提供極具吸引力的支援。PARO 治療機器人（日本產業技術綜合研究所開發）外觀是一隻可愛的海豹，可以刺激照護機構中罹患阿茲海默症等疾病的患者，並減輕他們的壓力。PARO 聽到有人叫喚其名會轉頭，並乞求撫摸。Mabu（卡塔利亞健康照護公司開發）則擔任患者（尤其是老人）的健康幫手，提醒他們散步、服藥以及打電話給家人。玩具社交機器人也受到消費者的關注，早期就有廠商嘗試讓玩具表現出社交行為，例如孩之寶的淘氣寶貝（Baby Alive）和索尼的愛寶（AIBO）機器狗，但成效不彰；不過現在這兩款玩具都重新登場，最新型的愛寶具有完善的語音和手勢辨識功能，還可以學會把戲，並根據先前的社交互動經驗發展新的行為。

2018 年全球消費型機器人營業額估計達 56 億美元，2025 年底市場規模可望增加到 190 億美元，每年售出的機器人超過 6500 萬台。有鑑於 Jibo 和 Anki 等



多家資金雄厚的消費型機器人公司已經倒閉，這股趨勢令人驚訝。但是一大批機器人正等著取代已淘汰的機器人，例如BUDDY（藍蛙機器人公司開發）。這是擁有一雙大眼的可移動裝置，除了做為個人助理，還可以玩遊戲並提供智慧家居和保全功能。（宋宜真 譯）

3

工程

輕薄短小 微鏡片

超穎透鏡極為輕薄，可以取代厚重的玻璃光學元件。

撰文／莫斯卡蒂里（Alberto Moscatelli）

手機、電腦和其他電子產品的體積越來越小，但產品內部的光學元件卻難再縮小。值得注意的是，傳統切割和彎曲玻璃的技術很難用於製造小巧透鏡，而且玻璃透鏡通常需要堆疊才能適當聚焦光線。工程師近來找到了超穎透鏡（metalens）背後的物理原理。這種更小巧、更輕盈的透鏡能當做替代元件，讓顯微鏡等實驗室工具，以及相機、虛擬實境（VR）頭戴式裝置、用於物聯網的光學感測器等消費型產品進一步縮小，也能增強光纖功能。

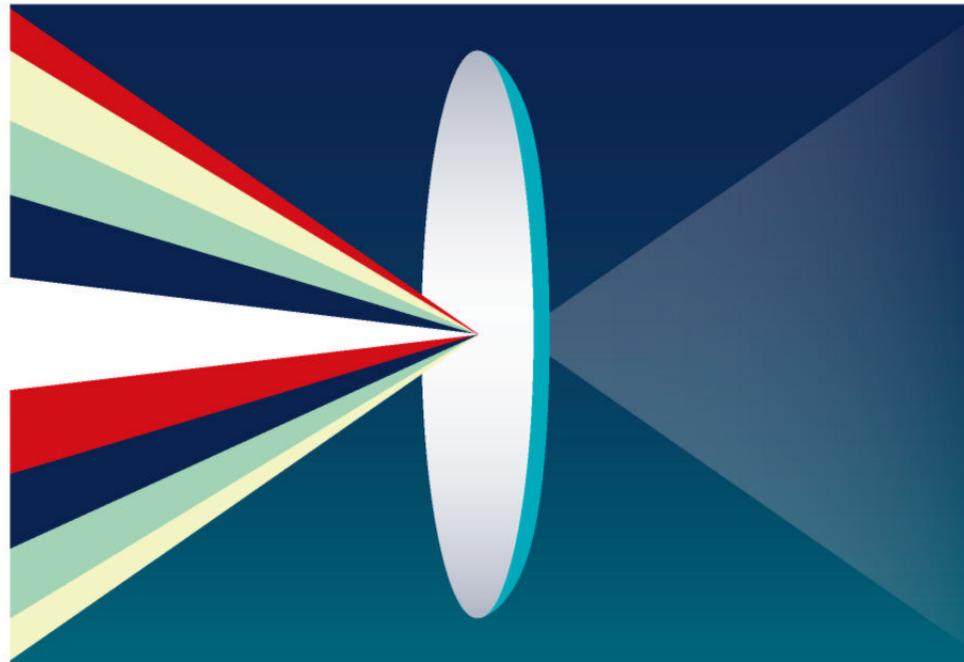
超穎透鏡的平面厚度不及一微米，並覆蓋一系列奈米級物體，例如外凸的小柱或內凹的小孔。光射入這種元件時，許多性質都會變化，包括偏振、強度、相位和傳播方向。研究人員可以精確調控奈米級物體的排列位置，以確保射出超穎透鏡的光具有想要的特性。更重要的是，超穎透鏡如此之薄，堆疊後體積也不會顯著增加。研究人員已經展示了由這些超穎透鏡堆疊製成的光學儀器，例如光譜儀和偏振計。

超穎透鏡技術在2018年獲得重大進展，研究人

員解決了色差問題：當白光通過傳統透鏡，不同波長的光會以不同角度偏轉，從而聚焦在透鏡前的不同位置。為了解決這個問題，工程師需要堆疊多面透鏡並仔細調整。現在，只要使用單一超穎透鏡就可以把白光中所有波長的光聚焦到同一位置。除了研發出這種「消色差」超穎透鏡，科學家也開發出可以修正其他像差（例如導致圖像失真和模糊的彗形像差和像散）的超穎透鏡。

除了縮小尺寸，超穎透鏡最終還能降低光學元件的成本，因為這種小型透鏡可以用半導體產業既有的設備來製造。這項特性也打開了未來同時製造小型光感測器中光學元件和電子元件的可能性。

但目前超穎透鏡的成本仍然很高，因為要把奈米級元件精確放置在公分級的晶片上仍十分困難。其他阻礙也有待解決：到目前為止，超穎透鏡的透光程度還不及傳統透鏡，透光對全色成像等應用來說是重要功能；此外，超穎透鏡太小而無法捕獲大量的光，意味著目前為止還不適合用來拍攝高畫質照片。



然而未來幾年內，這種微型透鏡可能會應用在較小也較容易製造的感測器、內視鏡成像設備等醫療診斷工具，以及光纖之中。這些潛在應用吸引了政府機構以及三星電子和Google等公司的研究支持，至少有一家新創公司Metalenz希望在未來幾年內把超穎透鏡推進市場。（宋宜真 譯）

無序蛋白 成為 藥物靶標

治療癌症及其他疾病將有新方向。

撰文／歐戴 (Elizabeth O'Day)

科學家在幾十年前發現了一類特殊蛋白質，會導致癌症及神經退化等疾病惡化。這些「固有無序蛋白」（intrinsically disordered protein, IDP）不像細胞中其他常見蛋白質有穩固的結構，它們會改變形狀，透過改變組成分子的組合方式展現不同組態。這種鬆散的結構使 IDP 得以在緊要時刻（例如細胞面對壓力時）聚集細胞內的各種分子；相較之下，缺乏可塑性的蛋白質往往只能與有限的分子結合。因此 IDP 一旦無法正常運作時，就可能引發疾病。

醫學研究人員尚未開發出治療方法，能夠消除或控制功能失調的 IDP。大多數藥物需要穩定的分子結構做為標靶，但 IDP 維持在固定組態的時間不夠長，因此人們認為許多 IDP 疾病無藥可治。目前較為

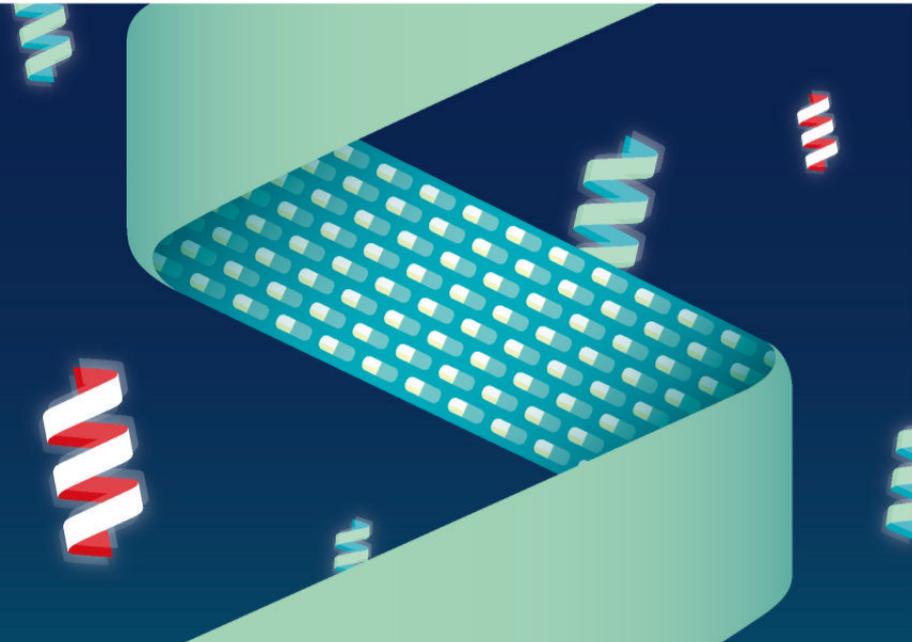
人知、與癌症有關的無序蛋白質包括 c-Myc、p53 及 K-RAS，科學家難以掌握它們的特性。然而，這種情況開始改變。

科學家精確結合生物物理學及電腦運算技術，深入了解 IDP 的作用方式，找出能抑制這些蛋白質的化合物，其中一些化合物已成為候選藥物。2017 年，法國及西班牙的研究人員成功鎖定並命中 IDP 變化多端而「模糊」的作用界面。他們發現，美國食品及藥物管理局（FDA）核准的精神疾病及焦慮症用藥三氟哌嗪（trifluoperazine），能與 NUPR1（某一種與胰臟癌病程發展相關的無序蛋白質）結合並抑制其作用。科學家透過大規模的篩選測試，評估數千種候選藥物的治療潛力，找出幾種能抑制 c-Myc 的藥物，有些已發展臨床應用；科學家還找到其他對 β -類澱粉蛋白質等 IDP 有作用的分子，可能用於阿茲海默症的治療。

候選藥物的名單持續增加，主要是因為人們越來越了解 IDP 對細胞中「無膜胞器」的作用機制。這些胞器通常也稱為液滴或凝集體，能在某些特定時間凝聚重要的細胞分子（例如蛋白質及 RNA），而與其他分子分開。分子之間彼此接近能促進某些反應，分開則能阻止各種反應。科學家設計了 Corelets 及 CasDrop 等功能強大的新型分子操作工具，幫助研究人員控制這些液滴的形成方式。借助這些工具及其他技術，研究人員發現 IDP 有助於控制液滴的聚集、運作以及分解。

這是一項重要發現，在液滴形成及分解過程中，IDP 與各種分子結合並交互作用，有時會因此形成新的形狀且穩定存在一陣子。尋找能夠辨識這些組態並與之結合的藥物，或許比找出能攻擊其他組態的化合物更為容易。世界各地的研究人員正嘗試各種可能，希望找出與細胞液滴作用的相關機制。

業界打算放手一搏，開發與 IDP 相關的疾病治療法。位於西班牙的生技公司 IDP Pharma 正在研發治療多發性骨髓瘤及小細胞肺癌的蛋白質抑制劑；Graffinity 製藥（現已併入 NovAliX）找出能鎖定 τ 蛋白（與阿茲海默症病理學相關的無序蛋白質）的一些小分子；美國 Cantabio 製藥正在尋找能使神經退化相關 IDP 維持



穩定的小分子。由於液滴能聚集不同分子並增進分子間的反應，美國新創公司「露點治療」(Dewpoint Therapeutics)正在試驗以液滴及其無序分子做為藥物標靶。在未來三到五年，這些曾經「無藥可治」的蛋白質將有可能成為藥物開發鎖定的目標。(林慧珍譯)

的比例相當低，過剩的氮反而會進入大氣成為溫室氣體，而磷最後流入水域，使藻類及其他生物過度增生。相較之下，控釋型肥料配方能確保更多養份被作物利用，施用較少肥料就能獲得較高產量。

控釋型肥料已經上市一段時間，這類配方通常由微膠囊組成，填裝含有氮、磷及其他營養素。膠囊能減緩水進入而釋出內含物養份的速度，也減慢了最終產物從膠囊逸出的速度。如此一來，養份能逐漸被作物吸收，而不會因為瞬間大量釋出而白白浪費。新的配方加入了一些成份，能阻礙初始物質(例如尿素)轉化為營養素的成份，進一步減緩養份釋出。

新開發的肥料更符合「控釋」的理想，精密材料及製造技術能精細調控膠囊外殼，隨著土壤溫度、酸度或濕度的變化，依照所需來改變養份釋出速度。製造商可以依照特定作物或生長環境所需，組合不同類型的微調膠囊，客製化不同特性的肥料，以色

列的海法集團及以色列特種肥料公司都已製造出能更精準調控的配方，隨著溫度升高，農作物的生長速度及養份排出量也跟著增加。海法公司可以依溫度改變釋出養份的速度。

控釋技術固然能提高肥料效率，卻不能消除施用肥料造成的所有問題，這些產品仍然含有氮、尿素和鉀肥，生產過程消耗大量能源，也產生造成氣候變遷的溫室氣體。不過使用對環境更友善的氮素來源、加入微生物來提高植物的氮、磷吸收效率，能減緩其影響。目前沒有證據顯示，膠囊外殼的材料會損害環境，但是只要大量引入任何新物質，都必須監控這種風險。

控釋型肥料是精準農業的一環，這種永續農業做法結合資料分析、人工智慧及各種感測系統，測定作物在特定時間需要的肥料及水量，使用自動化農具精準控制施放的份量和位置，以提高作物產量並把過度釋出養份的問題減至最低。然而，裝設精密系統所費不貲，且只適用於大規模施作；相較之下，先進的控釋型肥料相對便宜，可望成為第一線技術，幫助農民永續經營並提高作物產量。(林慧珍譯)



5

農業科技

智能肥料 減緩污染

肥料的新配方能依實際需求提供作物養份。

撰文／卡爾貝克(Jeff Carbeck)

人類必須提高作物產量，才能養活不斷增加的人口。施放更多肥料可能有助於增加產量，但是常規做法效率不彰，也時常造成環境傷害。所幸，對生態更友善的控釋型肥料已經上市，而且越來越聰明。

一般的施肥方式有兩種：一是對田地噴灑氮、尿素或其他與水作用後能產生氮營養素的物質；另一是使用鉀鹽或其他礦物質顆粒來提供磷，這些肥料同樣會與水作用。但是這些養份能真正被植物吸收利用

如臨現場的 遠距溝通

協同遙現技術將改變虛擬聚會。

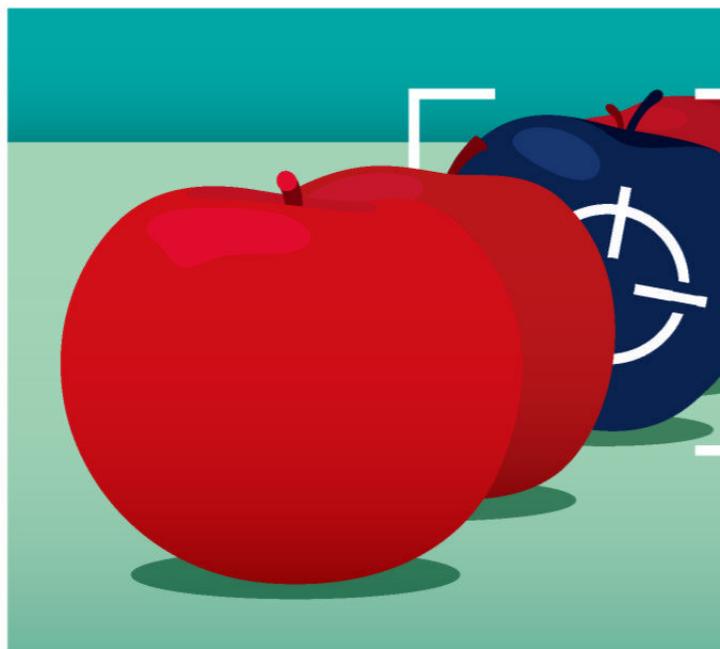
撰文／拉森 (Corinna E. Lathan)、
梅納 (Andrew Maynard)

想像一下，分散在世界各地的一群人，彷彿共處一室般流暢互動，甚至感受到彼此的觸摸。能實現這種「協同遙現」的元件，可能會改變我們工作和娛樂的方式，人是否親自在場將變得不那麼重要。

Skype 和 FaceTime 讓一般消費者也能使用原本只應用於商業領域的視訊通話軟體，大規模多人線上遊戲徹底改變了人們在網路上的互動模式，現在，協同遙現也將改變人們在商業和其他場合中虛擬互動的方式。例如醫療業者能夠遠距與患者協作，彷彿親臨現場；而身處不同地方的朋友和家人，也能享有共同的經驗，例如同處舒適的房間，或是一起遊覽新城市。

這項前景可期的科技奠基於幾個領域的進展：擴增實境 (AR) 和虛擬實境 (VR) 功能增加、價格下降，已經能夠廣泛應用；電信公司正推出 5G 網路，能快速處理來自多個先進感測器的大量資料，而不會發生時間延遲；創新者努力完善遠端物理互動的技術，例如觸覺感測器可讓人感覺到機器人替身觸摸的物品。要達成協同遙現所設想的全感官沉浸體驗，時間延遲必須遠小於視訊通話可接受的程度，有時甚至連 5G 網路都難以達成，但是預測性人工智慧演算法可以消除使用者對時間延遲的感受。

協同遙現仍在起步階段，但所有條件已成熟，三到五年內就能帶來變革。微軟等公司已投入研發，可望讓協同遙現在 2025 年發展成數十億美元的產業。美國 X 大獎基金會 (XPRIZE Foundation) 發起獎金高達 1000 萬美元的全日空阿凡達 X 大獎競賽 (全日空航空公司贊助)，期望發展「即時傳送人類感覺、動作和臨場感到遠端，讓世界緊密連結」的科技。隨著這項技術各部份逐漸整合，日常生活和工作的轉變可能如智慧型手機普及帶來的變化一樣劇烈。(宋宜真譯)



食品安全 再升級

區塊鏈技術及食品感測器
聯手促進食品安全。

撰文／詹德拉瓦地 (Rona Chandrawati)、
邁爾森 (Bernard S. Meyerson)

世界衛生組織 (WHO) 的資料顯示，每年約有六億人發生食物中毒，42 萬人因此死亡。食物中毒事件爆發後，調查人員可能要耗費數天甚至數星期追蹤污染源，此外考量到可能有更多人受到波及，大量未受污染的食物也必須與遭污染的食物一併銷毀。從農場到餐桌的運送途徑相當複雜，運送記錄往往個別保存在當地系統，並不互通，因此尋找污染源曠日廢時。

結合兩種技術可能減少食物中毒及浪費。首先，以創新方式應用區塊鏈 (該技術較為人知的應用是管理虛擬貨幣) 解決追溯不易的問題；同時，以創新的食品包裝技術來確保食品儲藏在適當溫度、辨識食物是否變質。

新型 核反應器 更安全

更具適應性的燃料和創新
的核反應器，使核能重返市場。

撰文／菲謝蒂 (Mark Fischetti)

區塊鏈是去中心化的會計系統，各項帳目依序記錄在多個完全相同的「帳本」，儲存於各處的電腦主機。因為有這些額外副本，就算任一帳本遭到竄改也無須擔心，成為受到高度信任的交易記錄。IBM Food Trust是以區塊鏈技術為食品業開發的基礎雲端平台，目前已有一些大型食品銷售商採用（作者邁爾森正在和IBM合作）。

IBM Food Trust把耕種者、經銷商及零售商整合在共同的區塊鏈上，藉此為特定食品建立可信賴的通路記錄，串接最前端到最末端的所有過程。在一項使用該技術的測試當中，美國零售商沃爾瑪在短短幾秒內就追蹤到「受污染」食品的來源；如果混用書面記錄及數字記錄的常規方式進行追蹤，則需要好幾天。使用區塊鏈技術之後，零售商及餐廳可以立即下架受污染食品，只銷毀同一來源（例如某一蘿蔓高苣農場）的庫存，不需丟棄該品項的所有庫存。許多食品商業巨頭都已加入IBM Food Trust，包括沃爾瑪、家樂福、山姆超市、艾爾伯森公司、史密斯菲爾德食品公司、牛肉鏈公司、ShopRite的母公司維克芬食品公司以及零售食品集團Topco，其他組織也開始引入區塊鏈技術，讓追溯源頭變得更容易。

為了從源頭防範食物中毒，一些實驗室及企業正在開發小型感測器，監測托盤上、箱子裡或單獨包裝的食品品質。例如英國的Timestrip和瑞典的威薩國際公司各自開發感測標籤，當食品儲放環境的溫度高過建議溫度時，標籤會變色；Insignia科技公司開始販賣一種感測器，包裝打開後會緩慢變色，能指示該丟棄此食品的時機（如果食物沒有儲放在適當的溫度下，感測器的變色速度會更快），尚在開發的產品還有能夠顯示食物腐敗氣體副產物的感測器，這類感測器除了防範食物中毒之外，也可以確保食物安全以減少浪費。

成本過高是感測器無法普及的一大障礙，儘管如此，食品產業仍須確保食品安全並減少浪費，這些需求推動著感測器及區塊鏈技術的發展。（林慧珍譯）

控制大氣中的碳需要多種能源技術，核能是一種可行方案。這種技術不會排放碳，但由於一些重大事故而被認為具有風險。現在，這種風險可以大幅降低了。

商用核反應器使用的燃料型式已數十年沒有改變：二氧化鈾燃料錠堆積在由銦合金製成的長柱狀燃料棒中。燃料錠核分裂產生的中子能輕易穿透銦，而爐心內部有許多燃料棒浸在水中，因此能持續自動進行核反應以產生熱能。

問題是銦過熱時會與水反應，產生氫氣導致爆炸。全世界最嚴重的兩起核反應器事故——1979年美國三哩島核能電廠的部份爐心融毀，以及2011年日本福島第一核電廠的爆炸和輻射外洩，都是因此而起（1986年的車諾比核電廠事故，則是反應器設計和操作錯誤所引起）。

西屋電氣（Westinghouse Electric Company）和法馬通核能公司（Framatome）等製造商正加緊開發「事故容錯」（accident-tolerant）核燃料，這種燃料不容易過熱，就算過熱也幾乎不會產生氫氣。在某些設計中，銦外部的塗層能防止反應發生。有些設計則以不同材料代替銦甚至二氧化鈾。新型燃料棒只需要小幅調整，便可用於現有的核反應器，因此可望在2020年代逐步換新。進行中的全面爐心測試必須成功，並且讓監管機構滿意。此外，新型燃料棒能提高核電廠的發電效率，使核能價格更具競爭力。面對價格更低的天然氣、太陽能 and 風力發電，對於製造商和電力公司來說，這會是使用核能的重要動力。

核能目前在美國停滯不前，在德國和其他地方正逐步淘汰，但俄羅斯和中國則積極建設核能，對新燃

料的製造商而言，這些市場將有利可圖。

俄羅斯也在部署其他安全措施；俄羅斯國家核能企業（Rosatom）近來在國內外建造的核反應器具有新型「被動」安全系統，即使在核電廠電力中斷、冷卻劑無法有效循環時，也可以抑制過熱。西屋和其他公司也把被動安全功能納入其更新設計中。

製造商正在實驗「第四代」模型，以液態鈉或熔融鹽取代水，來轉移核分裂產生的熱，消除產生危險氫氣的可能性。據稱中國打算在2019年把一個氫冷卻核反應器的展示機連接到電力網。

在美國，由於政府一直無法承諾建造一座永久儲存用過核燃料的深層地質處置場，導致核能發展長期受阻，但對於核能的觀感可能正在改變。令人驚訝的是，近來有10幾位美國立法者提議重啟內華達州亞卡山核廢料處置場，此處自1987年以來一直是美國主要的核廢料處置場選址。同時，阿拉斯加的參議員穆考斯基（Lisa Murkowski）也倡議在美國愛達荷國家實驗室開發極小型的模組化核反應器（俄羅斯國家核能企業也正在製造小型反應器）。一些西方國家已與俄勒岡州的新規模核能（NuScale Power）公司就其12個模組化核反應器達成了初步協議。燃料改良與小型核反應器的發展將是核能重生的重要因素。（宋宜真譯）



生物科技

DNA 儲存技術

用生命儲存資訊的系統可以處理超大量資訊。

撰文／李相燁（Sang Yup Lee）

.....

根據美國軟體公司Domo的資料，2018年的每一分鐘，人們在Google引擎上有388萬次的搜尋，在YouTube上觀看433萬部影片、發送了1億5936萬2760封電子郵件、在推特發文47萬3000篇、在Instagram上發佈4萬9000張照片；到了2020年，假

設全球人口有78億，每人每秒將產生1.7百萬位元組（MB）的數據，一年總共約有418兆位元組（ZB），相當於4180億個兆位元組（TB）硬碟的數據量。倘若如此，目前採用的磁性或光學儲存系統，能夠繼續存放由許多0和1構成的大量數據的時間將不超過一個世紀，此外數據中心的運作也會消耗大量能源。簡而言之，人類將面臨嚴重的數據儲存問題，且會隨著時間演進越來越嚴重。

以DNA為基礎的數據儲存技術正在發展中，可望成為取代硬碟的方法。DNA是儲存生命資訊的材料，由A、T、C、G四種核苷酸組成長鏈分子。用這些字母排序來儲存數據，使DNA成為新型式的資訊科技。DNA的定序（讀取）、合成（寫入）成為常規，且容易精確複製；50萬年前的馬化石至今仍保有完整基因組序列，DNA分子的驚人穩定性可見一斑。此外，儲存DNA不需太多能量。

DNA儲存技術的亮點在於容量，DNA能準確儲存大量資訊，其密度遠遠超越電子設備。根據哈佛大學邱契（George Church）及同事在2016年發表於《自然·材料》（*Nature Materials*）上的計算，構造簡單的大腸桿菌，其儲存密度為每立方公分 10^{19} 位元，在這樣的密度下，邊長一公尺的DNA立方體可以滿足全世界一整年的儲存需求。

DNA數據儲存的前景不是嘴上說說而已，2017年，邱契的研究團隊應用CRISPR剪輯技術，把人手的圖像記錄到大腸桿菌的基因組中，讀取圖像的準確率超過90%。華盛頓大學及微軟研究所的研究人員也開發出全自動系統，用於寫入、儲存及讀取DNA編碼的數據。包括微軟和生技公司Twist在內的許多公司都正在努力發展DNA儲存技術。

研究人員正在努力了解巨量資料，嘗試以DNA技術發展不同的數據管理方式。次世代定序技術最近又有新進展，能同時讀取數十億個DNA序列，藉由這項技術，研究人員可以使用條碼（用DNA序列做為分子識別標籤）來追蹤實驗結果，現在化學工程、材料科學及奈米技術等領域都運用DNA條碼加快研究速度。美國喬治亞理工學院的達爾曼（James E. Dahlman）實驗室正迅速找出更安全的基因療法，其他研究則包括如何避免抗藥性並預防癌症轉移。

成本和讀寫DNA的速度，阻礙了DNA數據儲存技術普及化。如果要與電子儲存技術競爭，必須進一

步降低成本。DNA 就算沒有成為普及的儲存材料，也會被用來產生全新尺度的資訊，長期保存某些類型的資料。（林慧珍 譯）



能源

儲能技術 新選項

鋰離子電池技術成熟，將突破
永續能源的困境。

撰文／湯普森 (Andrea Thompson)

對脫碳能源系統的需求日益急迫，風力和太陽能技術成本也大幅下降，在這些驅力下，全世界發電的方式正在快速轉變。根據美國能源情報署 (EIA) 的資料，過去 10 年中，美國再生能源的發電量翻了一倍，主要成長來自風力和太陽能發電設備。2019 年 1 月 EIA 預測，風力、太陽能和其他非水力發電的再生能源將是未來兩年電力組合中增長最快的部份。但這些能源只能間歇發電，電力公司需要開發儲能方法以因應無陽光或無風的時段。這項需求使得儲能技術獲得越來越多關注，尤其是終於發展成熟的鋰離子電池，可望成為電力網中的佼佼者。

抽水蓄能發電藉由水庫的高度落差來發電，數十年來，這種簡單的過程一直是美國最主要的大規模儲能方式：儲存能量時，先把水抽入較高的水庫；需要電力時，再把水釋放到較低的水庫，沿途流經渦輪機發電。根據美國能源部的資料，抽水蓄能發電目前佔美國大規模儲能的 95%。但隨著鋰離子電池的儲電效率和可靠程度提升、製造成本下滑，鋰離子電池的用量也大幅增加。EIA 表示，鋰離子電池佔美國大規模儲電電池的 80% 以上，從 10 年前的數百萬瓦躍升至 2019 年 2 月的 866 百萬瓦。2019 年 3 月，彭博新能源金融公司 (Bloomberg New Energy Finance) 在分析報告中指出，自 2012 年以來，使用這類電池的成本下降了 76%，開始能與以天然氣發電、在用電高峰期

運轉的電廠競爭。迄今為止，電池已廣泛用於短時間迅速調配電力，以維持電力水準，而弗羅里達和加州等州更在公共事業中使用能供電 2~4 小時的鋰離子電池。能源研究公司伍德麥肯茲 (Wood Mackenzie) 先前估計，2018~2019 年儲能市場將有雙倍成長，而 2019~2020 年將有三倍成長。

專家表示，鋰離子電池在未來 5~10 年內將成為主導技術，且持續改進後的電池能夠供電 4~8 小時，讓太陽能電力能轉移到夜晚用電高峰時段。

但是若要以再生能源和儲能技術因應基本負載電力，還需要延長供電時間，這表示人們必須發展鋰離子電池以外的儲能技術。還有其他高階技術可做為選項，例如泵送液體電解質的液流電池和氫燃料電池；也有較簡單的概念，例如抽水蓄能發電和所謂的重力儲存技術。抽水蓄能發電運作成本很低，但造價高昂，且只適用於某些地區。重力儲存的概念也很簡單，就是利用多餘的電力抬起重物，其後再落下以驅動渦輪發電。儘管有幾家公司正在建造重力儲存技術的展示機，也吸引了投資者，但是這個想法還在起步階段。還有其他技術正在發展，企圖做出穩定、高效率且在成本上能與鋰離子電池競爭的技術。根據 EIA 的資料，截至 2017 年底，美國僅部署了三座大型液流電池儲存系統，而大規模的氫電池系統仍處於展示階段。美國政府透過高等研究計畫署能源處 (ARPA-E) 資助該領域的研究，中國和南韓也都投資了這些技術以及一般儲能技術，加快了儲能研究的進展。

儲能成本是否會繼續下降，又會下降多少，還在未定之天。但各國政府（包括美國州政府和地方政府）為實現無碳發電而做出許多承諾，將持續推動越來越多儲能技術問世。（宋宜真 譯）

林慧珍是台灣大學動物科技研究所碩士、美國紐約大學新聞研究所科學、衛生與環境報導課程碩士，目前專事科普翻譯與寫作。
宋宜真畢業於台灣大學物理系、哲學研究所，曾任《科學人》編輯。

延伸閱讀

訂戶專享 《科學人》雜誌知識庫中英對照版

- 〈一顆蛋儲存全世界〉，《科學人》2019年9月號。
- 〈核燃料大改造〉，《科學人》2019年6月號。
- 〈聚焦10大新興科技〉，《科學人》2019年1月號。
- 〈智慧電網也要配合天氣〉，《科學人》2018年9月號。
- 〈亂中有序的蛋白質〉，《科學人》2011年5月號。





重點提要

科學家一直認為動物競爭資源時，有能力評估對手的打鬥能力，並與自己比較，這種策略稱為「相互評估」。然而過去 10 年來的研究顯示，很多

物種運用不同的策略來決定要打鬥還是撤退。多數物種只能評估自己的狀況，無法評估對手。究竟是什麼因素讓動物決定使用哪一

種策略，目前還不確定。但認知能力可能扮演關鍵的角色：相較於其他策略，使用「相互評估」對動物而言可能是較高的認知挑戰。

動物打架靠腦袋

有些動物在打鬥前會評估對手和自己的戰鬥力，
甚至採用不同策略估算打鬥成本。

撰文／阿爾諾特（Gareth Arnott）、埃爾伍德（Robert W. Elwood）

翻譯／王心瑩



2013年，英國廣播公司(BBC)系

列紀錄片「非洲」(*Africa*)有個場景，一頭長頸鹿從遠方而來，從容漫步於喀拉哈里的金色沙漠，艾登堡(David Attenborough)口述的旁白說道：「年輕的雄性。」這頭新來的菜鳥走向另一頭長頸鹿時，配樂響起西部片的對決音樂，艾登堡提醒：「老鳥不會容忍競爭對手。」只見長頸鹿開始互相衝撞，「牠們又推又撞，評估彼此的能耐。年輕的競爭者似乎認為自己具有優勢，於是發動攻擊。」一會兒之後，牠用強而有力的頸部猛攻年紀較長的雄長頸鹿。打鬥開始了，這是爭奪領域的血腥戰鬥。艾登堡解釋：「風險很高，一旦輸了就要在沙漠中到處流浪。」

戰前掂斤兩

野生動物紀錄片經常出現動物激烈對抗的鏡頭。這種戲劇化的場景並不讓人意外，但你有沒有想過這些衝突背後動物做決定的過程？我們很幸運，把大半研究生涯奉獻給這個迷人的主題。說到動物對峙之時的想，我們的研究結果提供了令人驚訝的深入觀點。

當動物爭奪領域、食物和配偶等資源時，有時對抗很溫和，不會造成身體傷害；有時則很暴力，會造成重傷或死亡，最後導致資源分配不均，對繁殖適應力產生重大影響，進而驅動演化。能夠蒐集情資的動物可以從中獲益，避免與體型較大、較強壯的對手進行可能致命的打鬥。

人類善於評估其他人的打鬥能力，很快就學會避免挑戰體型比自己大的對手。在實驗室測試中，受試者只要短暫瞄過男性身軀、臉孔的照片或聽到聲音，就能精準評估他們的能耐。這種評估是自發性的，兩種性別的受試者都在50毫秒內做出判斷。這種能力反映出人類在演化期間，能夠精確評估競爭者是很重要的。

人類以外的動物也一樣擅長評估對手嗎？紀錄片常以極具說服力的措辭來描述動物的動機，就像艾登堡口述旁白的紀錄片，但確實具有評估能力的物種其實相當少。不過，從我們的研究來看，很多動物會運用其他不同的資訊來判斷是否要參與競爭。

戰略一：打量對方

動物通常先展現儀式化的行為，然後才投入打鬥。舉例來說，雄鹿要競爭接近雌鹿的機會時，會展開精細複雜的「吼叫比賽」，而且以並肩平行的步伐展現昂首闊步的姿態。研究者通常把這類行為解釋成雄鹿提供資訊給

阿爾諾特(Gareth Arnott)

英國北愛爾蘭貝爾法斯特女王大學動物行為與福祉課程的資深講師，研究主題為動物對抗行為和動物福祉。



埃爾伍德(Robert W. Elwood)

英國北愛爾蘭貝爾法斯特女王大學的動物行為榮譽教授，曾任動物行為研究協會(Association for the Study of Animal Behavior)會長。



對手評估，如果展示就能分出高下，便不需再打鬥，免得受傷甚至死亡。最好的情況是只要一方短暫消耗能量，就能讓自認較弱的對手知難而退，因此許多研究者認為這樣的推論是合理的。我們把這種現象稱為「相互評估」(mutual assessment)，這也是賽局理論打鬥模型「序列評估」(sequential assessment)的核心。

賽局理論是應用數學的分支，最初由經濟學家發展出來，是一種描述人類如何做決定的策略建立模型。生物學家很快就看出賽局理論能應用在演化生物學，最初由史密斯(John Maynard Smith)和普萊斯(George Price)使用這個架構來研究動物的對抗關係。序列評估模型指出，如果雙方的本領差異很大，對抗很容易透過展示行為而解決；只有雙方本領相近時才會打鬥。隨著對抗態勢升高，打鬥付出的代價會增加，但同時也提供更精確的資訊，因此雙方在對抗過程中會持續相互評估。根據序列評估模型的預測，雙方的打鬥能力差異越大，對抗時間就越短。有好幾年的時間，生物學家確實發現他們研究對抗的物種真的都表現出這種負相關。(要測量對抗中的動物打鬥能力，生物學家使用的替代測量法通常是根據體型大小或體重。)基於這些研究成果，相互評估被視為所有動物的基本能力。

然而在這種「把相互評估視為普遍能力」的熱潮中，其他詮釋動物對抗的方法多半受到忽視。在對抗中使用相互評估的動物，我們預期體型大的輸家會比體型小的撐得更久，因為輸家在某種程度上會根據自己的體型或打鬥本領而決定放棄；此外，如果輸家能夠收集贏家的資訊，一旦贏家體型大，輸家應該會比較快放棄。雖然很少有研究檢視這之間的相關性，但有研究顯示，輸家的體型和堅持度可以預測會是正相關。不過還有個障礙：贏家的體型和打鬥持續時間的關聯，其實與隨機的情況差不多。這顯示在研究案例中，輸家可掌握自己的資訊，卻不清楚對手的資訊。這些動物要不是無法收集資訊，就是收集資訊要付出太多代價；或者即使資訊



水中心機：泰國鬥魚會評估彼此的打鬥能力，並針對比較難對付的對手展現出較大的侵略性。

可能讓牠們做出最佳的打鬥決策，牠們仍選擇不運用。無論如何，牠們都展現出自我評估（self-assessment），而非相互評估。

戰略二：掂掂自己幾兩重

早期這類自我評估的例子，來自本文作者之一埃爾伍德的實驗室。1990年，他和同事記錄到端足類（amphipod）會使用這種策略，那是一類很像蝦子的小型動物。這類物種的雄性個體會以拔河比賽來爭奪雌性，即一隻雄性搶奪另一隻雄性抓著的雌性。結果不意外，他們發現體型較大的雄性比體型較小的對手更能成功搶親或抵擋搶親。然而，競爭對手之間似乎沒有彼此評估：雖然輸家的體重和對抗持續時間呈現顯著的正相關，贏家的體重和對抗持續時間卻完全不相關。

生物學界多半不考慮這項結果，只把它視為異常。但還有其他例子，像是一種會織圓網的蜘蛛 *Metellina mendei*，雄蛛在競爭雌蛛的過程中，不再抓牢蛛網，而是把非常長的前足向外伸展，像要相互比較。牠們看起來像是在交換資訊，但結果也一樣，贏家的體型與對抗時間沒有相關性，顯示這種展示行為並沒有影響雄蛛的打鬥決策。雄蛛之間無法相互評估，牠們只評估自己的能力。

在編織圓網的蜘蛛身上發現自我評估而非相互評估，這點促使澳洲雪梨麥覺理大學（Macquarie University）的動物學家泰勒（Phil Taylor）與埃爾伍德聯絡。他準備撰寫的論文主題是用蠅虎類的物種來研究打鬥行為，在研究過程中意外發現這種動物也是自我評估，而非相互評估。雙方聯絡之後開始合作研究，想了解動物若採用自我評估，那為何大部份常見的分析結果，都預測牠們採用相互評估？

泰勒和埃爾伍德運用電腦模擬去建立一群動物的決策模型，牠們用自我評估的規則進行對抗，即輸家沒有收集贏家的資訊。結果顯示體型差異和對抗持續時間呈現負相關，即雙方體型差異越大，對抗時間就越短，完全是相互評估所預測的關係。原因是：如果體型差異大，輸家的體型必定非常小；而如果體型差異小，輸家有可能比較大。因此，假如結果只與輸家有關，卻分析體型的差異，結果就會看似支持相互評估。換句話說，生物學家多年來研究動物競爭關係所用的工具，可能讓我們對動物的評估能力產生錯誤印象。

柄眼蠅（stalk-eyed fly）的研究便能說明這個問題。柄眼蠅是一種看起來很古怪的昆蟲，頭上伸出鹿角狀莖桿，而眼睛位於莖桿頂端。雄蠅會競爭食物和雌蠅。早期的研究以體型大小為依據，認為柄眼蠅會比較彼此的眼桿長度來判定贏家。後來的研究者重新分析原始資料，分別觀察贏家和輸家的體型大小與打鬥持續時間的關係，發現輸家要決定是否繼續競爭時，使用的資

鬥陣俱樂部：蟋蟀 (*Acheta domesticus*) 用累積評估來制定打鬥策略 (1)；等指海葵 (*Actinia equina*) 運用自我評估 (2)；寄居蟹 (*Pagurus bernhardus*) 的攻擊者會使用自我評估，防守者則使用相互評估 (3)。

訊與自己的體型大小有關，但是與贏家的大小無關，因為贏家的大小完全不會影響對抗持續時間。

贏家的體型與對抗的持續時間呈現正相關或沒有顯著相關，加上輸家的體型或打鬥本領與對抗的持續時間呈現正相關，在在指向我們所說的「純粹自我評估」，即參與者決定要競爭或撤退時，完全只根據對自身的了解。但如果發現贏家的體型和對抗持續的時間呈現負相關，這不一定表示輸家正在收集贏家的資訊，反倒有可能是「累積評估」(cumulative assessment) 這種決策過程發揮的作用。

戰略三：估算打鬥成本

透過累積評估，動物可判斷打敗對方需付出的代價；體型差異越大，則體型較小的競爭者要付出越大的代價，一旦發現代價超過某個門檻就會放棄。這看起來好像區分得太細，不過累積評估和相互評估之間有個重要差異：前者沒有直接評估競爭者，只要代價累積到一定程度，對抗就會結束；後者沒有代價的門檻，而是收集競爭者和自己的資訊，藉此決定到底要繼續競爭或認輸。

累積評估和序列評估同樣會讓贏家體型和對抗持續時間產生負相關，但我們有一些研究工具，能夠判定動物競爭時用的是哪一種決策過程。首先，我們在實驗室裡建立對抗情境，每一場對抗的參與者體型相當，但不同場對抗的平均體型皆不同。如果參與者用的是累積評估，最後的輸家只知道自己的狀態，因此體型大的輸家應該能持續對抗較久。在這個實驗裡，如果動物使用累積評估，我們預期看到平均體型和持續時間有正相關。反之，以序列評估做的決定是根據相對的體型差異，如果體型相當，則無論什麼樣的配對都沒有差異，因此預期看到平均體型大小和對抗持續時間沒有關聯。

我們也可利用對抗態勢上升和下降的性質來區分兩種不同的決定策略。運用累積評估的動物應該會表現出幾個上升期，中間穿插幾個代價較低的活動期；若用序列評估則會依序進行從低代價到高代價的活動。

動物競爭時會使用不同的評估方式，加上許多研究計畫發展出方法能夠區分這些策略，重新點燃研究動物對抗的興趣。過去 10 年來，針對廣泛物種的各種研究



紛紛冒出頭，其中有許多新的動物案例使用上述三種主要策略之一。說來有趣，大多數物種採取自我評估。

也有研究顯示某些物種混用不同策略，藉此判斷何時要從對抗中打退堂鼓，以及何時要展開激戰。以競爭領域的紅樹林鱗魚 (mangrove killifish) 為例，由台灣師範大學許鈺鸚帶領的研究團隊發現，競爭者是根據打鬥前的展示行為來決定是否打鬥。衝突期間，對手的體型越大，體型較小的競爭者越有可能在打鬥情勢升高之前就打退堂鼓。而雙方的體型越接近，打鬥情勢越容易升高。然而打鬥開始後，牠們似乎沒有從對方身上得到進一步的資訊。這種策略稱為「轉換評估」(switching assessment)，似乎是一種融合的評估方法：先相互評估再自我評估 (參見 56 頁〈魚子兵法〉)。

我們對寄居蟹的研究還顯示出另一種決策形式。寄居蟹利用死去螺類的外殼來保護自己脆弱的腹部，牠們會透過打鬥來取得對手的殼。我們發現敵對雙方在嘗試奪殼的期間，會因角色不同而得到不同資訊。攻擊者似乎很少接收到防守者的資訊，防守者卻會受到攻擊者打鬥方式的影響。因此在同一場打鬥中，一方使用自我評估，另一方卻運用相互評估。

活用兵法不簡單

這麼多種評估形式引發一個有趣的問題：動物如何決定使用哪一種評估策略呢？一種可能的因素是認知能力。有些專家主張，了解自己的狀態很容易，但要整合、比較對手的狀態是較大的認知挑戰。這個構想仍需進行系統化的測試，但快速調查一下不同認知複雜度的同類生物，或許可以提供暫時的解釋。舉例來說，海葵有簡單



的神經網路，分析牠們的打鬥方式後，發現使用自我評估；另一個極端案例是具有細微感知系統的複雜動物（例如烏賊），曾有人發現牠們運用相互評估。

順著這個邏輯推導，可以預期哺乳類會使用相互評估，因為有高度發展的大型腦部。不過要區分不同的評估模式仍需實驗證明，但科學家很少在哺乳類身上進行這類實驗。我們倒是真的對家豬這種哺乳類做過評估策略的實驗。本文作者阿爾諾特曾與蘇格蘭農業學院的特納（Simon Turner）和奧地利維也納獸醫大學的凱莫林克（Irene Camerlink）合作研究家豬的侵略行為，著眼點是要增進家畜的健康。家豬會自然形成優勢階層。豬隻飼養期間有個例行工作：把處於繁殖週期不同階段的豬隻重新聚集在一起，隨後會經歷一段強烈的敵對時期，這些豬隻會想辦法建立新的階層，而反覆的敵對與較量會造成重大的健康問題。

我們檢視這種侵略行為，判斷豬隻用的是相互評估，但需要先做對抗實驗才能深入了解。下一步是看我們能否提供必要的經驗，避免家豬因侵略行為付出代價。為達目的，我們決定做實驗，控制家豬的幼年飼養環境。我們發現小豬如果在斷奶前彼此混居，會逐漸發展出進階的社交技巧，等到長大後遇見陌生的個體，對抗時間會縮短。我們的結果顯示，簡單的幼年社會化過程也許是有效又實用的控制方法，豬農可用它來降低成豬重聚期間的打鬥程度。

接著討論展開對抗的另一層原因。認知能力雖然可能有助於判斷動物使用哪一種評估方式，但並非是唯一發揮作用的因素。競爭的資源價值也會影響決策的過程。寄居蟹的殼是最好的案例，爭奪外殼的對抗期間，

通常體型較大的攻擊者會靠近防守者並抓住對方的殼，於是防守者縮回殼內；接著，攻擊者用自己的殼不斷猛烈撞擊防守者的殼；最後要不是防守者突然棄殼，就是攻擊者空手撤退。

我們發現寄居蟹要判斷奪殼的困難程度時，會考慮殼的很多面向，其中一個關鍵變數是殼的大小相對於寄居蟹的體型，理想尺寸是小到花費最少的能量就能揹著走，但是大到足以容納一定程度的生長。寄居蟹會評估自己和對手的外殼而改變行為，如果攻擊者的外殼品質不如對手，比較會提高侵略性，奪走對手的殼；如果防守者的外殼品質很差，就比較不會強烈抵抗奪殼行為。

因此，下一次看野生動物打鬥的紀錄片時，你就知道雙方的互動包含了很多奧妙。然而在很多例子裡，如同長頸鹿那樣，儘管影片的旁白對你說動物會「評估彼此的能耐」，是否真的如此？其實還不確定。■

王心瑩是清華大學生命科學研究所碩士，目前從事編輯與翻譯工作。

延伸閱讀

Information Gathering and Decision Making about Resource Value in Animal Contests. Gareth Arnott and Robert W. Elwood in *Animal Behaviour*, Vol. 76, No. 3, pages 529–542; September 2008.

Assessment of Fighting Ability in Animal Contests. Gareth Arnott and Robert W. Elwood in *Animal Behaviour*, Vol. 77, No. 5, pages 991–1004; May 2009.

Animal Contests. Edited by Ian C. W. Hardy and Mark Briffa. Cambridge University Press, 2013.

All by Myself? Meta-analysis of Animal Contests Shows Stronger Support for Self Than for Mutual Assessment Models. Nelson S. Pinto et al. in *Biological Reviews*. Published online March 27, 2019.

作者實驗室的寄居蟹影片請見網站：<https://youtu.be/dlhzzEObnRs>

訂戶專享 《科學人》雜誌知識庫中英對照版

〈人生是一場換殼遊戲〉，《科學人》2012年9月號。
〈冠羽畫眉同舟共濟〉，《科學人》2012年8月號。
〈魚視眈眈，誰是老大？〉，《科學人》2007年4月號。



魚子兵法

動物遇到競爭者時，會迎戰
還是退讓？牠們的行為決策受到許多因子影響，
包括先前打鬥的勝負結果。

撰文／許鈺鸚

當我在池塘或湖邊餵鴨子時，經常看到一些鴨子會激動啄咬或推擠其他個體來搶奪食物，另外一些鴨子卻是畏畏縮縮，一受其他鴨子威嚇就讓開。為什麼鴨子在爭奪食物時，有的表現出高攻擊性，有的卻避開與其他個體發生衝突呢？

或許你會認為，是基因差異讓不同鴨子展現出不同的攻擊性。基因差異確實可能造成攻擊性差異，不過除此之外還有很多因子都會影響動物的打鬥行為。體型大又強壯的個體，打鬥時比較不會落敗或受傷，可稱之「打鬥能力較高」，反之則為「打鬥能力較低」；打鬥能力高的個體遇到對手時，比較會表現出高攻擊性（例如主動挑釁）。除了自身的打鬥能力之外，對手的打鬥能力也可能影響個體的打鬥意願。

重點提要

- 動物在競爭資源時，不同個體表現出來的行為可能大不相同，有的表現出高度攻擊性，有的卻是怯懦退讓。
- 在遇到競爭對手時，動物的行為表現除了受到自身狀況的影響，有時也會依對手的狀況調整打鬥決策。
- 許多動物會從先前打鬥的勝敗經驗評估自己的打鬥能力（相對於群體中的其他個體），並藉此調整後續的打鬥決策。

鑑貌辨色不吃虧

研究證據顯示，有些動物的打鬥決策同時受到自身與對手的打鬥能力影響，稱為「相互評估」（mutual assessment）；有些動物只受到自身打鬥能力的影響，稱為「自我評估」（self-assessment）。

為什麼有這樣的差別呢？動物學家目前還沒有明確的答案，推測可能與動物的認知能力差異有關。有些科學家認為動物評估自身狀況比較容易，評估對手則需要用到比較複雜的認知能力，不過此假說還需要經過嚴謹的檢驗。

動物在打鬥時也不見得只使用相互評估或自我評估策略，而是在不同的打鬥階段使用不同策略。我的實驗室以一種分佈於北美與中美洲的紅樹林鱗魚（*Kryptolebias marmoratus*）檢測打鬥策略。實驗結果發現，鱗魚在打鬥初期時使用相互評估；進入互咬階段時可能會遭對方咬傷，最好的策略是專注攻擊對手，不再分心去評估對方的狀況，因此轉變為自我評估。這些結果顯示，個體遇到競爭對手時是否評估對方，可能需視情況而定。

不同物種的打鬥行為不盡相同，要「量化」打鬥行為之前應該要先深入了解該物種的打鬥行為。以我研究

互相威嚇：兩隻紅樹林鱗魚面對面
撐開鰓蓋，身體因為用力而略呈S型。
紅樹林鱗魚和對手相遇時
通常不會立即互咬，而是先透過威嚇行為
來展現自己的打鬥意願。



的紅樹林鱗魚為例：此種魚的打鬥互動一般而言相當明確且快速，在進行一場打鬥實驗時，我會先用黑色塑膠隔板把魚缸分成兩個隔間，再把兩隻鱗魚分別放入不同隔間，讓牠們在其中適應一段時間（約30分鐘到20個小時，依研究目的調整），之後移除黑色隔板，讓牠們自由互動（參見59頁圖）。

一般而言，兩隻鱗魚開始互動後，其中一隻鱗魚會先轉向，把頭朝向對手；雙方開始互相展示一陣子，如果都不撤退，其中一隻鱗魚就會先發動攻擊。這時候，我會記錄哪隻鱗魚率先展示、攻擊或撤退，而遭攻擊的一方是否反擊，雙方互咬的時間以及整場打鬥持續的時間（從移開隔板後算起到其中一方撤退）。過去的觀察記錄顯示，雙方的打鬥能力相當或者都有很高的打鬥意願時，整場打鬥會持續較長的時間。

經驗告訴牠……

除了自身與對手的身體狀況之外，其他研究還發現，動

物近期打鬥結果是獲勝或落敗，也會影響打鬥決策：曾在打鬥中獲勝的個體攻擊性較高，後續打鬥時再次獲勝的機率也較高，稱為勝者效應，反之則稱為敗者效應。

在昆蟲、甲殼類、魚類、鳥類、哺乳類等動物身上，都曾觀察到這兩種效應。以我的研究為例，隨機使不同鱗魚個體有獲勝、落敗或無打鬥的經驗，結果顯示：獲勝經驗個體與無打鬥經驗個體對打時，比較會主動挑釁、發動攻擊也比較容易獲勝；落敗經驗個體與無打鬥經驗個體對打時，較為被動，受到挑釁時偏向畏縮與逃避，容易主動認輸因而落敗率較高。獲勝經驗個體的高攻擊性與落敗經驗個體的退縮性，在兩者直接互動時更為明顯。

野外動物經常遇到競爭者，牠們打鬥後的勝敗結果如何影響之後的打鬥決策？只有最新的經驗才有影響力，或所有經驗都有一樣的影響力？還是新舊經驗都有影響力，但其中一項經驗有較高的影響力？為了回答這個問題，我的實驗室連續兩天給予不同的紅樹林鱗魚兩

檢測勝敗經驗的影響

過往打鬥經驗、體型或強壯程度都有可能影響打鬥決策，若要單純觀察觀察勝敗者效應，可透過實驗設計排除其他影響因子。研究人員有兩種給予實驗個體獲勝或落敗經驗的方法：自我選擇（self-selection）與隨機選擇（random selection）。自我選擇是讓兩個體型相似的個體互打，贏的一方得到獲勝經驗，輸的一方則得到落敗經驗。兩者再分別與無打鬥經驗且體型相似的個體對打，如果和無經驗對手對打的獲勝率有所差異，即代表觀察到勝者、敗者效應。

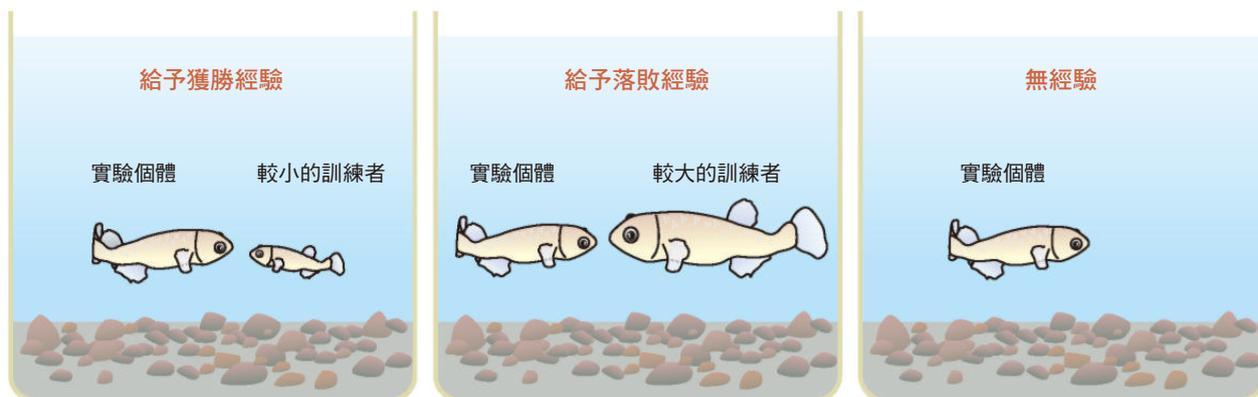
自我選擇方法中的勝者之所以會贏，可能原本就比敗者來的強壯（體型相似的個體亦可能有不同的強壯程度），因此兩方除了有不同的勝敗經驗，強壯程度也不同，所以無法確認後續行為的差異來自勝敗經驗還是強壯差異的影響、或者兩者共同影響。

另一種實驗方法是隨機選擇：研究人員會把實驗個體依體型配對，相似體型的配為一對，再隨機分到「獲勝經驗—無經驗」組或「落敗經驗—無經驗」組，並隨機決定

應使何者有獲勝經驗、落敗經驗或無經驗。

研究人員要如何確保個體會得到預設的獲勝或落敗經驗呢？一般會放入較弱小且攻擊性低的訓練者與預定得到獲勝經驗的實驗個體互動，以確保實驗個體一定會獲勝（下方左圖）；放入較強且攻擊性高的訓練者與預定得到落敗經驗的實驗個體互動，可確保實驗個體一定會落敗（中圖）；無經驗個體則不與任何訓練者互動（右圖）。實驗個體的經驗訓練完成後，研究人員會讓「獲勝經驗—無經驗」組和「落敗經驗—無經驗」組分別打鬥，以觀察測個體是否有勝者或敗者效應。

由於實驗個體是隨機分到獲勝、落敗或無經驗組裡，因此這三組個體在強壯程度上不至於有明顯不同。一旦觀察到獲勝經驗個體的攻擊性與獲勝率高於無經驗對手，或落敗經驗個體的攻擊性與獲勝率低於無經驗對手時，就可說明打鬥行為來自經驗，而不是受到實驗個體強壯程度的影響。因此，對觀察勝敗者效應而言，隨機選擇方法優於自我選擇方法。



個經驗組合（獲勝、落敗或無打鬥經驗），第三天再讓有不同經驗組合的個體打鬥。研究結果發現，第一天和第二天產生的新舊經驗對紅樹林鱗魚的打鬥決策都有影響，但是新經驗的影響較大，代表舊經驗的影響會隨時間及新經驗產生而衰退。

為什麼動物會展現勝敗者效應呢？因為勝敗結果能夠提供個體關於自己（相對於群體內的其他個體）打鬥能力好壞的資訊。獲勝個體評估自己有較高的打鬥能力，遇到下一個對手時會展現較高的攻擊性，進而提高再次獲勝率；反之則會展現較低的攻擊性，並且很快地認輸。

動物藉由近期勝敗結果來調整打鬥決策，對打鬥能力高或低的個體都有好處，這會讓打鬥能力高的個體更

積極爭取重要資源，同時讓打鬥能力低的個體減少打鬥頻率，而降低受傷或死亡率。

戰後反應大不同

勝敗結果可以讓個體評估自己的打鬥能力，不過獲勝經驗與落敗經驗的影響力不盡相同；一般而言，落敗經驗對個體後續打鬥行為的影響力較大。一旦有了落敗經驗，個體會變得比較畏縮，而且會持續一段時間；相對



許鈺鸚

台灣師範大學生命科學系生態演化組教授，研究興趣為動物行為，研究主題著重於打鬥行為。



1



2



3



4

魚缸擂台：研究人員用黑色塑膠隔板把魚缸分成兩個隔間（1），把兩隻紅樹林鱗魚分別放入不同隔間，適應一段時間後抽開隔板，兩隻鱗魚會透過互動與威嚇行為來展現打鬥意願，例如游向對方並撐開鰓蓋威嚇（2）或緊追在後（3）。當一方開始逼近時，另一方不見得會立刻正面迎擊，有時會先避開，例如從對手上方翻身游開（4）。

地，個體經歷獲勝後，動物學家沒有那麼容易觀察到牠們行為的改變（變得較具攻擊性），就算觀察到，通常也不會持續太久。

勝敗經驗影響力的差異，可能源自於不同的行為改變會帶來不同的利益與代價：在落敗後變得畏縮消極，會使個體獲得資源的機會減少，但也會降低受傷和死亡率；相反地，在獲勝後提高攻擊性，雖然提高獲得資源的機率，卻也讓受傷和死亡率增加。避免受傷和死亡往往比獲得資源重要，因此個體對落敗經驗的反應高於獲勝經驗。

不同個體對勝敗經驗的反應程度並不相同，即使是相同物種，有些個體容易受勝敗結果影響而改變打鬥決策，有些個體則不太受到影響。以我研究的紅樹林鱗魚為例，體內睪固酮較低和一個月前有落敗經驗的個體，比較容易受到近期勝敗經驗的影響而改變打鬥行為，顯示個體的打鬥能力低，其打鬥行為較容易受到勝敗經驗的影響。

並非所有物種都會展現勝敗者效應，例如游泳蟹（swimming crab）的打鬥行為不會因為勝敗經驗而改變。此外，不同實驗室的研究也可能獲得不同結果，例

如劍尾魚（green swordtail fish）打鬥是否會展現勝敗者效應則無定論，有的研究觀察到勝敗者效應，有的研究卻觀察不到，可能與實驗方法不同有關（參見左頁〈檢測勝敗經驗的影響〉）。

動物在面對各種狀況時的行為反應往往具有相當程度的差異性和可塑性，遭遇競爭對手時也是如此。動物的打鬥決策除了受到不同因子（包括自身與對手的打鬥能力）的影響之外，個體還會從過去的打鬥經驗中學習，依自己的打鬥能力展現適合的打鬥策略。至於為什麼不同物種（甚或是同種的不同個體）在經驗效應上會有差異？有待更深入的研究來回答。SA

▶ 延伸閱讀

Modulation of aggressive behavior by fighting experience: mechanisms and contest outcomes. Hsu Y et al. in *Biological Reviews*, Vol. 81, pages 33-74; 2006.

Switching assessment strategy during a contest: fighting in killifish *Kryptolebias marmoratus*. Hsu Yet al. in *Animal Behaviour*, Vol. 75, pages 1641-1649; 2008.

Animal Contests. Edited by Ian C. W. Hardy and Mark Briffa. Cambridge University Press; 2013.

訂戶專享 《科學人》雜誌知識庫中英對照版

〈大智若魚〉，《科學人》2016年8月號。

〈螞蟻兵法〉，《科學人》2012年3月號。

〈魚視眈眈，誰是老大？〉，《科學人》2007年4月號。



SCIENTIFIC
AMERICAN 科學人雜誌

用科學

科學
不思議

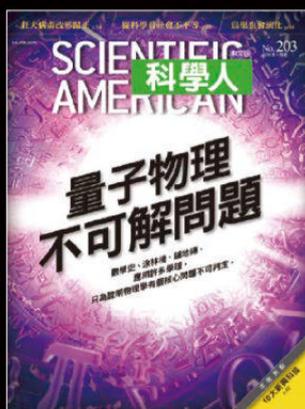
訂閱《科學人》雜誌訂戶專享權益

- 文章搶先讀** 訂戶專享！每月中旬以「科學人雜誌抢鲜報」邀請您搶先賞讀最新一期精華篇章。
- 視野更延伸** 訂戶專享！訂閱期間可閱讀《科學人雜誌知識庫》中英文對照版 所有文章。
- 服務更即時** 訂戶專享！訂戶專屬雜誌補寄服務，一通電話給您即時服務。
- 好康不漏接** 訂戶專享！科學人官方網站、FB粉絲專頁及相關電子報，隨時提供訂戶最優惠續訂專屬方案。
- 優惠更升級** 訂戶專享！訂戶優先報名科學講座、課程、活動，並享最優惠價格。

與世界對話

一個領域，一個視野，《科學人》開啟與世界對話的窗口
無論是全新創見或舊有成果，人人都能站在巨人的肩膀上看得更遠
透過廣泛性的對話，激發出創造性的想像力，自在經歷世界的變化

《科學人》與科學人一起前進！



現在訂閱

《科學人》雜誌一年12期 續訂 **2,480元** / 新訂 **2,680元** (原價3,360元)

立即加贈 《科學人》2期、《科學人雜誌知識庫》中英對照版

《科學人》雜誌二年24期 續訂 **4,580元** / 新訂 **4,980元** (原價6,720元)

立即加贈 《科學人》4期、《科學人雜誌知識庫》中英對照版

《科學人》雜誌三年36期 續訂 **6,380元** / 新訂 **6,980元** (原價10,080元)

立即加贈 《科學人》6期、《科學人雜誌知識庫》中英對照版

《科學人》電子雜誌zinio版一年12期 優惠價 **1,980元** (原價3,360元)

立即加贈 《科學人雜誌知識庫》中英對照版

立即訂閱



打造 超級細胞

生物學家正在重建一套 DNA 編碼系統，
要打造能夠抵禦所有病毒的細菌。
未來，人類細胞也可能因此再也不怕病毒感染。

撰文／賈可布森（Rowan Jacobsen）

翻譯／鄧子衿

病毒降落在細胞上，就有如蜘蛛降落在比牠大上千倍的氣球上。病毒長得像是一個接了針筒的洋蔥，底下有六條細長的腳。這個掠食者的名字是 λ （唸做 lambda）病毒，它的獵物是大腸桿菌。 λ 病毒找到獵物後，會進行無數病毒自生命出現後便不斷上演的戲碼：用腳抓住細胞外壁，把針筒狀部位連接到細胞上的孔洞，然後注射病毒 DNA 至細菌內部。DNA 含有複製病毒的指令，而病毒幾乎都具有類似形態：由蛋白質組成的外殼，裡面裝著用來複製更多病毒的藍圖。病毒本身並不具備能夠複製這些病毒成份的工具，因此它們侵入細胞內部，劫持各種胞器來複製自己，直到製造出過多病毒，把細菌的細胞壁擠爆為止。

病毒之所以能夠辦到這件事，在於所有生物都使用了相同的編碼系統，無論是非洲草原上的犀牛或是感染人類鼻子的鼻病毒都一樣。這個系統的基礎是 DNA。把 DNA 密碼注入細胞中，細胞便會利用這些密碼合成蛋白質。在細菌受到感染後，便會開啟病毒的複製過程：新的病毒蛋白質開始合成， λ 病毒似乎擁有美好的前景，在未來的幾十分鐘內，千百倍的新病毒將漲破細

胞，找尋並感染新的細菌，持續同樣的循環。

突然間，細胞中的胞器全都停止運作，無法解譯病毒的 DNA。病毒和細胞之間的爭鬥看似永恆，這樣的錯誤從未發生過，但現在 λ 病毒的末日降臨了。

病毒無法繼續複製的原因，在於這株大腸桿菌經過改造，所使用的 DNA 運作系統是地球上前所未見，因此病毒的 DNA 無法與之相容。這種防禦措施讓 λ 病毒無能為力，就像微軟視窗系統的電腦病毒進入了蘋果電腦。其他攻擊這種細菌的病毒也會面臨相同的命運。製造這種細菌和新基因編碼的研究人員相信，這項特性會讓細菌再也不怕病毒感染，他們稱這種細菌為 *rE.coli-57*，並且懷抱遠大的計畫。

rE.coli-57 是由美國哈佛醫學院的一間實驗室所製造，實驗室主持人是年輕的生物學家奧斯特羅夫（Nili Ostrov）。過去五年來，奧斯特羅夫全心投入重建細菌遺傳系統的每項細節，在充滿化學試劑的實驗室以及螢光燈的照射下，度過疲憊的工作時光。這項計畫可能是史上最精細的基因剪輯計畫，2016 年一篇刊登在《科學》的劃時代論文證實，他們為了讓細菌能夠抵禦病



賈可布森 (Rowan Jacobsen)

美國記者，曾為《科學人》撰寫2019年4月號〈鬼花飄香〉，述說讓已滅絕植物的基因再次復活的故事。



毒，必須修改DNA中的14萬8955處。奧斯特羅夫的團隊已完成63%，他們的論文顯示這些細菌表現良好。

三年後，這項重建細胞的工作即將完成，很快就要看到期待中的一幕：培養皿中的細菌將與數百種病毒爭鬥廝殺。如果*rE.coli-57*活了下來，就可能永遠改變病毒與獵物（包含人類）之間的關係。

病毒數量極多，地球上每平方公尺可能有高達八億個病毒。病毒的麻煩之處在於讓人生病，也會侵擾那些利用細胞來生產商品的產業，包括乳品業和製藥業。現在隸屬於製藥公司賽諾菲（Sanofi）製藥集團的生物科技巨擘基因酵素公司（Genzyme），即是利用細菌生產藥物分子。2009年，病毒破壞了Genzyme位於美國麻州奧斯頓（Allston）的生產線，使得重要藥物供應短缺，該公司市值因此減半。乳品產業利用細菌發酵製造乳酪和優格，病毒也對這個產業造成嚴重損失。如果發酵用的細菌受到病毒感染，所生產的產品就必須毀棄。因此，不怕病毒感染的細菌將可能具有億萬身價。

這種細胞也為「設計藥物」（designer medicine）打開新世界。奧斯特羅夫說：「如果我們要製造精巧的抗體或蛋白質藥物，可添加特別的化學性質來達成，這將改變製藥界。」所有天然蛋白質都由20種胺基酸組成，但*rE.coli-57*的生理系統能夠利用特殊的胺基酸來生產蛋白質，就像是樂高積木有了新種類的積木塊，可在基本架構上擴展設計。如此生產出的設計蛋白質（designer protein），或許能更精準治療愛滋病或癌症等疾病。

有爭議的是，*rE.coli-57*一旦成功，就會讓人想進一步改變人類細胞的DNA，以預防病毒感染。這對醫學研究極具價值，因為病毒會感染實驗室培養用來開發並測試藥物的人類細胞株。不過有人懷疑，重新編碼細胞的DNA，是否能讓細胞「正常」運作，或用於科學試驗上。這個概念也讓人提心吊膽，害怕重新編

碼DNA會讓我們距離設計人類DNA更加靠近（參與*rE.coli-57*的研究人員並未參與設計人類DNA的相關計畫）。光要重新編碼實驗室中的人類細胞株，就是一項極端複雜的工作，因為人類的基因組有32億個鹼基對，數量是大腸桿菌的800倍。不過，在*rE.coli-57*上的試驗是重要且令人震撼的第一步。

替換遺傳密碼

重新編碼DNA之所以能夠不怕病毒侵入，是因為改變了細胞製造蛋白質的語言。所有生物都需要蛋白質執行生理功能，蛋白質是由更小的胺基酸所組成，每種胺基酸都由三個字母組成的DNA密碼所代表，組成這些密碼的字母是DNA的四種鹼基：A、T、C、G，例如TGG代表色胺酸，而CAA代表麩醯胺酸。這些由三個字母組成的密碼稱為密碼子（codon），每個基因相當於一串密碼子的組合。

當這串訊息進入細胞中的工廠「核糖體」，上面的密碼子便會和轉移RNA（transfer RNA, tRNA）配對。tRNA的其中一端能夠與特定的密碼子結合，另一端則連接了某一種特定的胺基酸。當一連串密碼子通過這個蛋白質的組裝生產線，tRNA上的胺基酸便會串在一起，直到蛋白質完成組裝為止。

不過這個系統具有一項重要特點：存在許多「冗餘」（redundancy）。從A、T、C、G四種鹼基中挑三個排列組合，可得到64種密碼子，但胺基酸只有20種，所以大部份胺基酸都有多種密碼子。例如AGG與CGA都代表精胺酸，有些胺基酸甚至具有六種密碼子。

在2004年，奧斯特羅夫的老闆、哈佛大學的遺傳學家邱契（George Church）開始思考是否所有的密碼子都是絕對必要？如果大腸桿菌基因組中所有的AGG都改成CGA會發生什麼事？由於兩者都代表精胺酸，因此大腸桿菌應該可以正常製造出所有蛋白質。不過如果和AGG對應的tRNA也從細胞中移除了，那麼AGG密碼子將會中斷蛋白質的製造過程。

邱契在思考移除某些tRNA所可能引發的狀況時，靈光一現，他說：「我發現這個做法或許可以創造一個極具潛力的優勢——讓細胞不怕病毒的感染。」λ病毒

重點提要

- 病毒不僅會傷害人體健康，也會感染製藥界用來生產藥物的細菌，讓製藥界（與其他產業）蒙受數十億美元的損失。
- 科學家開啟一項重新編碼細菌DNA的計畫，目標是移除所有會讓細菌受到病毒感染的遺傳途徑。
- 若重新編碼的細胞可以正常運作，將成為基石，讓我們得以打造不怕病毒入侵的人類細胞。

進行複製的方法，是讓細胞解讀病毒基因的序列，製造出病毒的蛋白質。如果細胞中對應 AGG 的 tRNA 遭到移除，那麼所有具備 AGG 密碼子的病毒基因在製造蛋白質時都會停下來，等待那已經不存在的 tRNA，也就無法製造出用來組成病毒的蛋白質。

病毒演化速度極快，邱契推測它們很快就能夠解決少了一種 tRNA 的問題。不過如果移除足夠多種密碼子和 tRNA，那麼病毒就幾乎不可能隨機得到能夠使用重編密碼的正確突變組合。大腸桿菌有七種密碼子比較罕見，分佈在 3548 個基因中，平均每個基因中出現 17 次。如果和這些密碼子對應的 tRNA 全都移除了，那麼病毒需要產生六萬個新序列，每個序列都需要在正確位置上有正確的替代密碼，這樣的狀況不可能發生。

在 2004 年，這套劇本只是邱契閒來無事的念頭而已。當時要改變某個生物的一個基因都夠困難了，更別說是剪輯數千個基因，要把其中某些密碼子全部刪除，

新聞媒體常說基因剪輯有多麼快速便捷，但沒有任何基因剪輯工具能夠一次改變那麼多 DNA。

根本是不可能的任務。但是到了 2014 年，技術突破讓這個念頭有了想像空間。邱契開始尋找能夠把所需技術組織起來，並且推動這項史上最大基因剪輯計畫的人。

就在此時，奧斯特羅夫到邱契的實驗室擔任博士後研究員。如果邱契是 *E. coli*-57 的設計師，那奧斯特羅夫便是這項計畫的工程師和總承包者。奧斯特羅夫具有豐富的分子工程經驗，她在以色列長大，後來進入特拉維夫大學就讀，當時她使用含有金屬顆粒的胺基酸來改造蛋白質，並把這些蛋白質連接在一起，形成一條能夠通電的奈米電線。邱契回憶道：「奧斯特羅夫做的事情令人驚歎，讓我了解到我們可以利用生物學製造有用的東西。」她後來在美國哥倫比亞大學取得博士學位，那時她改造了麵包酵母菌，當這種酵母菌偵測到致病微生物時就會產生紅色色素。她的這項成果可以用於偵測霍亂，因此贏得了比爾蓋茲夫婦基金會的「偉大挑戰研究計畫獎」(Grand Challenge Exploration Award)。

這份資歷頗為亮眼，但是邱契的計畫更加困難。

大腸桿菌較為罕見的七種密碼子在基因組中出現了 6 萬 2214 次，若要重新編碼，需改變 14 萬 8955 個 DNA 字母。雖然新聞媒體常說基因剪輯有多麼快速便捷，但沒有任何基因剪輯工具能夠一次改變那麼多 DNA。

突破現狀的解決方案是 DNA 合成：從無到有合成具有重編密碼的大腸桿菌基因組。利用特殊的「DNA 列印機」以生物化學的方式合成 DNA，像是彩色印表機一樣，有 A、T、G、C 四種噴頭。現在有專門的 DNA 合成公司，能夠準確製造出 4000 個字母長的 DNA。

2015 年，奧斯特羅夫團隊從資料庫中下載了標準的大腸桿菌基因組到電腦裡。這個序列有 400 萬個字母，研究人員要改變這個序列中的 6 萬 2214 個位置，把七種罕見的密碼子改成其他具有相同意義的密碼子。為了安全起見，他們也改變了細菌中的一些基因，使得這種細菌必須要依賴某種合成胺基酸才能夠生存。科學家在培養基中添加這種合成胺基酸，但是自然界並不存在這種合成胺基酸，因此這種細菌一旦逸出實驗室就會死亡。

研究人員在電腦螢幕上列出新的 *E. coli*-57 基因組序列，並把 400 萬個字母剪切為一條條 4000 個字母長的 DNA 片段（片段之間有部份重疊），然後把檔案寄給 DNA 合成公司。奧斯特羅夫說：「我們在電腦上剪切這些序列，就像是在編輯 WORD 文件檔案。」DNA 合成公司把 DNA 合成完畢後，用快遞寄回實驗室，研究團隊把這些 4000 個字母長的片段組合成 87 個大片段，每個大片段有五萬個字母，約含有 40 個基因。

不過，這些片段只是遺傳密碼，研究人員需要細胞才能夠讓這些密碼活起來，但是沒有人知道怎樣才能憑空製造出一個細胞。奧斯特羅夫採取循序漸進的方式，從一群正常的大腸桿菌開始，一次用一條重新編碼的 DNA 片段，取代這些細菌基因組中對應的片段。每次取代之後，他們都測試這些接受過移植片段的細菌能否活下來。

一次解決一個問題

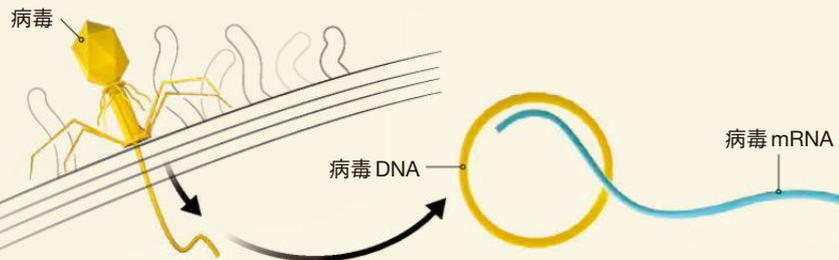
邱契的實驗室中有著長長的黑色實驗桌，放滿了離心機、試管震盪器、成列的玻璃定量吸管和成堆的培養皿。奧斯特羅夫在迷你冰箱大小的培養箱中養了 87 株

不受病毒感染的細胞

有數百萬種病毒能夠感染並侵佔人類細胞或細菌細胞，讓這些細胞成為製造病毒的工廠。生物學家現在重新設計細菌 *rE.coli-57* 的 DNA，讓這些重新編碼的基因能夠在健康細胞中正常運作，同時具備抵抗病毒攻擊的能力。

1 病毒侵入

病毒像是一種會複製自身的生物器具。病毒感染細胞後，會欺騙細胞去製造病毒本身的蛋白質。

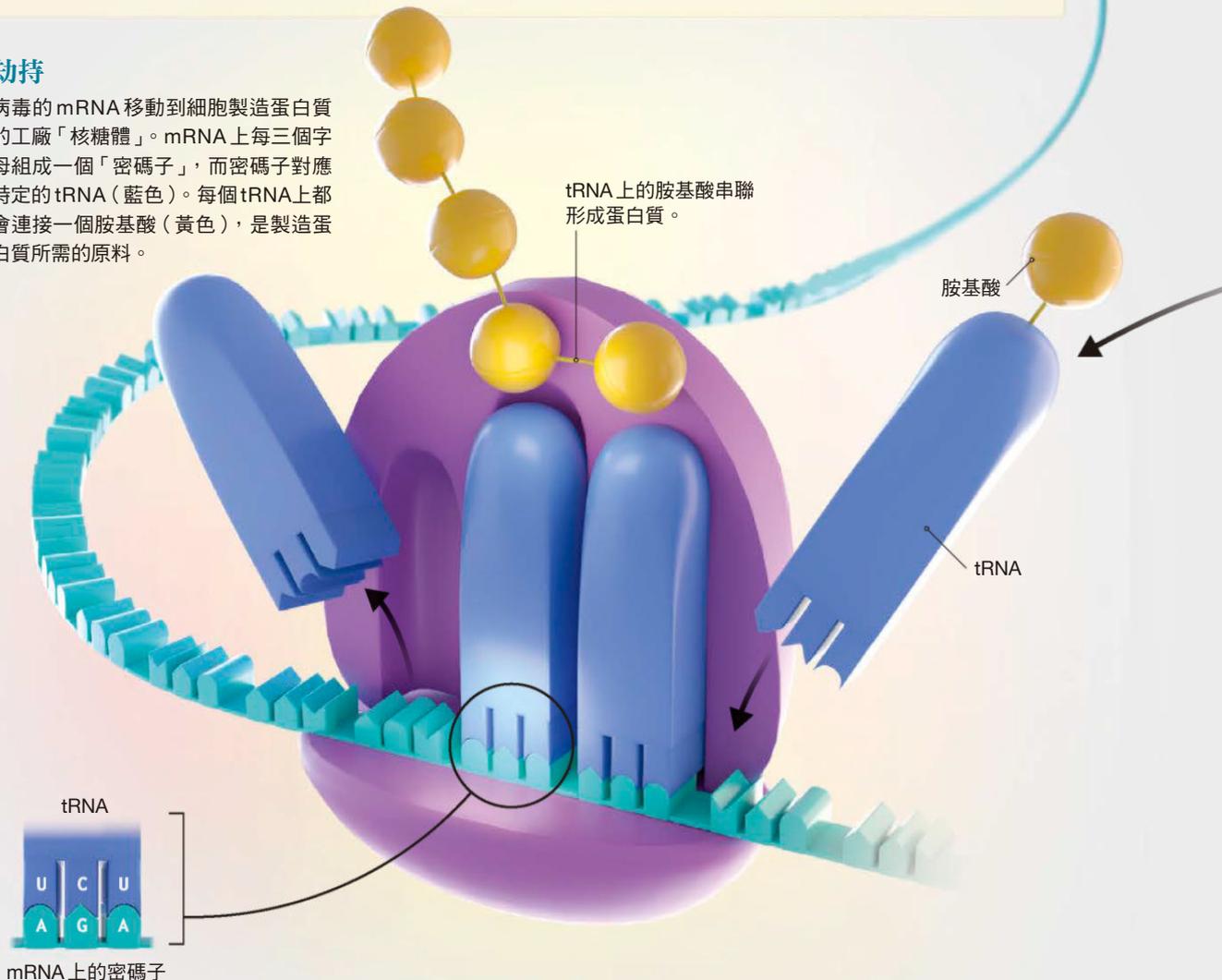


病毒落到細菌上，把自己的 DNA 注射到細菌細胞中，這些 DNA 使用的字母和細菌的 DNA 相同，所以細菌會把兩者一視同仁。

進入細胞後病毒把 DNA 轉錄為 mRNA，其中含有製造所需蛋白質的指令。

2 劫持

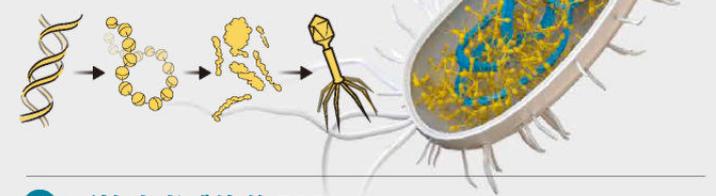
病毒的 mRNA 移動到細胞製造蛋白質的工廠「核糖體」。mRNA 上每三個字母組成一個「密碼子」，而密碼子對應特定的 tRNA（藍色）。每個 tRNA 上都會連接一個胺基酸（黃色），是製造蛋白質所需的原料。



3 病毒爆發

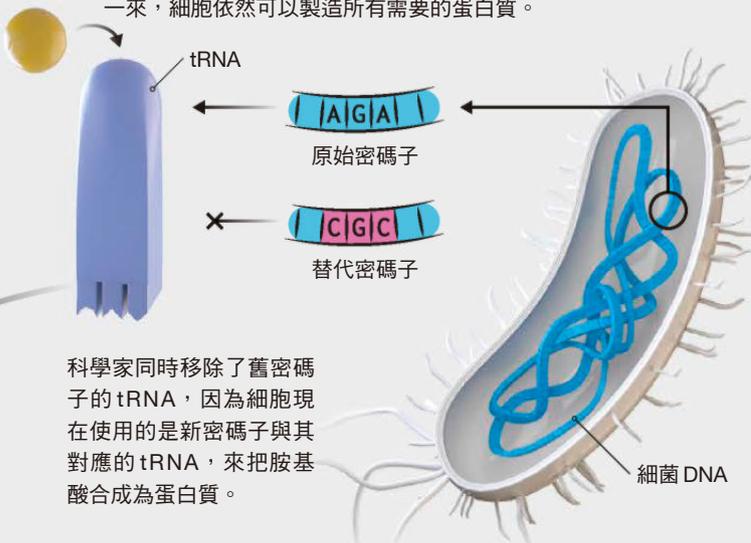
病毒的蛋白質能夠自我集結，因而在細胞中形成更多新的病毒。這個過程會持續下去，直到細胞被病毒顆粒擠爆為止。

病毒 DNA 胺基酸 蛋白質 病毒



4 不怕病毒感染的 DNA

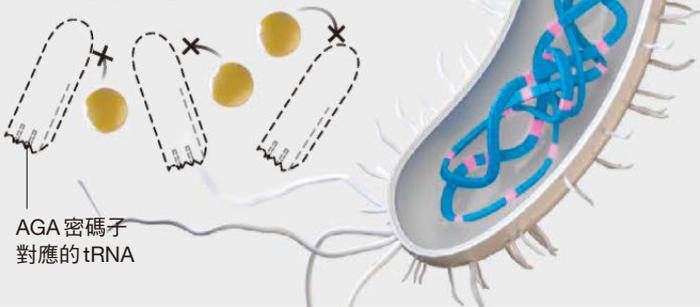
為了預防病毒劫持細胞，科學家重新編碼細胞中的基因組，他們把某一種特殊的密碼子（淡藍色）替換成同義的另一種密碼子（粉紅色）；這兩種密碼子使用的字母不同，但對應同一種胺基酸。如此一來，細胞依然可以製造所有需要的蛋白質。



科學家同時移除了舊密碼子的 tRNA，因為細胞現在使用的是新密碼子與其對應的 tRNA，來把胺基酸合成為蛋白質。

5 複製失敗

病毒的 DNA 和 mRNA 上依然具有原始的密碼子，需要透過相對應的 tRNA 才能合成蛋白質，但是在細胞中這些 tRNA 已遭到移除。一旦沒有 tRNA 攜帶適當的胺基酸來合成病毒的蛋白質，病毒的組裝過程將會完全停止，細胞便能安然無恙。



正常大腸桿菌，每株都插入了某一段五萬個字母長且重新編碼的 DNA 片段，她正在測試這些菌株能否存活。她沒有抱持很高的期待，或許演化是基於人類未知的原因而選擇使用那些罕見的密碼子。

出乎意料，大部份的菌株生長良好，其中只有 20 個 DNA 片段讓這些微生物無法生長。不過 20 個還是太多了，如果 *rE.coli-57* 要能不怕病毒感染，必須所有的重新編碼片段都正常運作。奧斯特羅夫說：「首先我們要縮小範圍，找出沒有發揮功能的基因。所以我們把一條含有 40 個基因的片段，切成兩條各有 20 個基因的片段，然後重複這項實驗。於是我們找到四個可能有問題的基因，接下來再縮小到一個，最後找出可能造成問題的密碼子。」

結果大部份的問題都來自於 DNA 合成時出的差錯。換句話說，奧斯特羅夫團隊得到的 DNA 序列和訂購時送去的序列不同，這些問題到最近都還是 DNA 合成時常見的狀況。奧斯特羅夫回頭求助 DNA 合成公司，重新得到新的無錯誤 DNA 序列，替換之後，99% 的重新編碼片段都正常運作。看來重新編碼這個點子並不瘋狂。

但是在 DNA 合成品質控管之外，還有一堆可能和蛋白質與 DNA 功能有關的問題。奧斯特羅夫得找出那些隱含在演化中、但她還未能了解的問題：為什麼換了一個代表相同胺基酸的密碼子，卻會殺死或傷害生物？

把這些問題找出來後加以排除，就像是在沒有地圖可查看的荒野中開闢新道路。舉例來說，具有第 21 號重新編碼片段的細菌，生長速度像是用爬的一樣慢，原因是什麼？奧斯特羅夫重新編碼這些 DNA 片段時，並沒有相關科學文獻可參考，因為他們是頭一個如此重新編碼 DNA 的團隊。她仔細分析這個片段中所有的基因，比較基因產物和正常細菌的差異。她發現有五個連接在一起的基因雖然保持完整，但是在某種原因下無法發揮功能。

所以現在變成基因開關的遺傳學問題。在基因前面有一段 DNA 序列，稱為啟動子



(promoter)，能夠控制後面的基因啟動與否。在比較複雜的生物體中，啟動子和基因的區隔十分嚴格，有明顯的開始和終點，但有時細菌的基因會互相重疊，某個基因的後端可能是其他基因的前端。奧斯特羅夫發現 *yceD* 這個基因的一部份屬於啟動子，能夠控制後面五個基因的開關。當她重新編碼 *yceD* 基因時，意外關閉了基因的啟動子。因此她調整 *yceD* 上的三個密碼子，讓序列比較接近一個已知的強大啟動子，結果那五個基因恢復活躍表現，細菌也開始正常複製。

奧斯特羅夫在第 44 號片段上遇到更嚴重的問題：整個菌株都死亡了。研究人員檢查這個區段，找到一個和製造脂肪酸有關的基因 *accD*。重新編碼的細菌完全無法製造出 *accD* 蛋白質。奧斯特羅夫分析這段重新編碼的基因，發現問題出在這個基因序列的開頭部份。在 DNA 中，A 鹼基會自然和 T 鹼基配對、C 與 G 配對（DNA 會經由 mRNA，把訊息傳到製造蛋白質的核糖體。在 RNA 中，T 鹼基由 U 鹼基取代，但依然還是能和 A 鹼基結合）。如果字母以某種方式排列，例如許多 A 後面接了許多 T，那麼核酸分子末端就會形成一段有如彼此黏合的膠帶，阻塞在胞器上面。奧斯特羅夫在電

創新突破：生物學家奧斯特羅夫和她在美國哈佛大學的同事創造了 *rE.coli-57*，這種大腸桿菌的基因組中有 15 萬處的 DNA 被重新編碼，除了能不受病毒感染，其他特性都如同一般大腸桿菌。

腦上重新設計了 *accD*，把 15 個重新編碼的密碼子其中 10 個，改造成同義但是較不容易自行折疊的序列。她把新片段插入細菌中，這株細菌便復活了。

事情就是這樣，研究人員一次解決一個問題，雖然研究的是生物學問題，卻以工程學思維進行，像工程師那樣一直重複著「設計—建造—測試」的循環，不過幸好沒出現讓整個計畫泡湯的問題。奧斯特羅夫說：「到目前為止，我們沒有遇上解決不了的狀況，DNA 密碼讓我們有很大的修改彈性。」

讓病毒無法複製

2019 年奧斯特羅夫把功能完善的遺傳片段從一株菌合併到另一株菌，讓 87 株菌組合成八株正常生長的菌株，每株基因組中有 1/8 片段經過重新編碼。研究人員每次把重新編碼的片段併入菌株時，都會發生新的不相容問題。不過在 2019 年初春時分，他們很快把八個菌株併為四個，再合為兩個，很快就有 100% 重新編碼的 *rE.coli-57* 菌株。

在這個菌株完成並且能夠正常生長之後，最後一步是要移除細胞內對應已刪除密碼子的 tRNA。移除了這些 tRNA，細胞仍然可以正常運作，因為其他同義密碼子的 tRNA 還在。但是對於侵入的病毒來說就不妙了，因為病毒基因上的密碼子沒有經過重新編碼，其中有些密碼子所對應的 tRNA 已不復存在。沒有 tRNA 就表示沒有對應的胺基酸會被帶到蛋白質合成序列中所需的位置上，使得合成停止。沒有新的病毒蛋白質，等於沒有新的病毒，病毒 DNA 只能在細胞中獨自晃蕩，無法複製和造成任何傷害。

奧斯特羅夫打算以類似電影「衝鋒飛車隊續集」的劇情，進行微生物規模的測試。這部電影的主角身陷競技場中，必須打倒一連串的攻擊者。現在這座競技場是一個小玻璃容器，生物學家會把 λ 病毒置入養著健康 *rE.coli-57* 的培養皿中，然後讓它們彼此拼鬥，至死方休。如果 *rE.coli-57* 存活，研究人員會再加入其他掠食細菌的病毒。很難想像再怎麼厲害的病毒，可能也難以擊敗 *rE.coli-57* 重新編碼後的 DNA。不過目前他們還未

測試任何病毒，只知道兩者在未來某天會真正進入競技場，只有一個能平安離開。

奧斯特羅夫非常小心謹慎，不願意承諾哪天比賽會開始，因為她還沒有一個完全重新編碼的菌株，不過她相信：「應該很快就會完成，完成的時候我不會默不作聲，我會一手拿著一杯卡瑟莉亞（caipirinha），一手打電話給你。」她暗示會以自己喜歡的巴西雞尾酒來慶祝，這個日子可能不遠了。

rE.coli-57 能夠不怕病毒，當然值得慶祝，不過就如同奧斯特羅夫和同事在《科學》發表的論文所說，這

目前地球上所有人都困在由 64 種密碼子編寫的系統中，讓造成疾病的病毒有可趁之機。

種細菌將會「成為一種獨一無二的基座，能夠把擴展合成出的功能廣泛應用在生物科技界。」換句話說，這種微生物可以做為靈活合成新類型蛋白質的平台。

這有利於藥物發展。許多癌症藥物和免疫治療藥物都是蛋白質，進入身體後會快速分解，因此如果使用特殊的胺基酸為原料來製造這些蛋白質，將能大幅延長這些蛋白質的分解時間。邱契已經成立了一家新公司，叫做 GRO 生物科學公司（GRO 是 genomically recoded organism 的縮寫，意思是「基因組密碼重編生物」），以設計這類療法為目的。

重新編碼的生物

幾年後，經由重新編碼 DNA 而不怕病毒感染的人類細胞，可能會開始蓬勃發展。這樣的細胞應該可以解決在醫學研究裡常用細胞株（例如著名的海拉癌細胞）中持續存在的病毒感染問題。實驗室中，經常以人類細胞做為實驗平台，用來開發新的藥物與測試療法。如果這些細胞受到感染，幾乎不可能把病毒去除，所以科學家除了重做實驗之外，幾乎沒有其他選擇。

如果邱契的實驗進展順利，將可能挽救更多的性命。邱契參與成立了全球性合作組織「生物工程卓越中心」（The Center of Excellence for Engineering Biology），該中心提出的第一項計畫便是重新編碼人類細胞，

rE.coli-57 顯然會成為這個計畫的基石。

毫不意外，重新設計人類細胞的運作系統讓有些批評者緊張。原因之一，在於這些細胞並非自然生成的細胞。雖然該中心的科學家除了把這種細胞用在培養細胞株，沒有打算用於其他地方，但是依然有可能創造出同樣不怕病毒感染的人類。

美國哥倫比亞大學的病毒學家拉卡尼洛（Vincent Racaniello）認為這個點子可能很糟糕，他在自己的科學部落格上嚴厲批評：「多種密碼子的存在是有意義的，其一是能夠緩衝致死突變。重新編碼人類基因組不可能沒有嚴重副作用。」

因此參與生物工程卓越中心計畫的科學家，完全沒有想要莽撞剪輯嬰兒的 DNA。前車之鑑不遠，例如 2018 年在中國發生的基因剪輯嬰兒事件。這些科學家表示，他們想進行的是嚴謹與公開透明的研究。檢視重新編碼的人類細胞，或許能

讓我們更了解最為致命的人類疾病。目前地球上所有人都困在由 64 種密碼子編寫的系統中，讓造成疾病的病毒有可趁之機。多年後，或許我們能夠決定是否要維持現狀。

奧斯特羅夫沒有參與生物工程卓越中心的計畫，她表示：「得說清楚，我沒有重新編碼人類的 DNA。」不過，她說若要在實驗室中探索未知的遺傳領域，安全性非常重要。「當然，密碼子是受到演化篩選後，才成為現在的模樣，但我們也知道當中存在著其他選擇：改變密碼子並觀察結果，讓我們知道哪些改變有成效、哪些沒有，使我們更了解生物學的規則。」知道這些規則後，或許我們便能改造那些依循生物規則的物種，然後為人類所用。SA

鄧子衿是陽明大學微生物及免疫學研究所碩士，專職生命科學、食物與醫學的科普翻譯，曾獲第九屆吳大猷科普翻譯獎佳作，雜誌譯稿散見於《科學人》與《國家地理》，近期翻譯書籍有《生命的法則》、《群的征服》與《毒特物種》。

延伸閱讀

Design, Synthesis, and Testing toward a 57-Codon Genome. Nili Ostrov et al. in *Science*, Vol. 353, pages 819–822; August 19, 2016.

Beyond Editing to Writing Large Genomes. Raj Chari and George M. Church in *Nature Reviews Genetics*, Vol. 18, pages 749–760; December 2017.

訂戶專享 《科學人》雜誌知識庫中英對照版

〈致命感染是基因突變了？〉，《科學人》2018年8月號。

〈醫療變形細菌〉，《科學人》2017年6月號。

〈愛滋免疫攻防戰：瞄準病毒弱點〉，《科學人》2017年2月號。



噬菌體 重返抗菌戰場

起源於第一次世界大戰後的噬菌體療法，
現在捲土重來，重新成為科學家
對抗多重抗藥性細菌的重要武器。

撰文／施密特（Charles Schmidt）

翻譯／鄧子衿

巴格爾札（Bobby Burgholzer）罹患了囊腫性纖維化（cystic fibrosis），這種遺傳疾病使他的肺部非常容易受到細菌感染，長年以來以抗生素控制，但後來抗生素藥物漸漸失去效力，這位40歲的醫療器材銷售員變得容易氣喘，也經常灰心氣餒。他一直努力打曲棍球維持良好身材，但爬山或上樓梯越來越吃力，隨著病況加重，巴格爾札開始擔心自己的病無藥可救，家裡有妻子幼女，自己得活下去才行，所以他開始尋找其他療法，其中有一種療法引起他的注意：噬菌體（bacteriophage）。

噬菌體這種病毒在自然界中無所不在，它們侵入細菌，劫持細菌的繁殖機制來複製自身。噬菌體一旦侵入某個細菌，那個細菌便註定毀滅：噬菌體會複製幾百個個體擠破細菌而出，造成細菌死亡。1910年代微生物學家發現了噬菌體，第一次世界大戰後醫學界開始使用噬菌體來治療細菌感染性疾病，包括傷寒、痢疾、霍亂等。1939~1940年蘇聯和芬蘭發生戰爭，據說使用噬菌體治療，因壞疽致死的傷兵人數降低為原來的1/3。

過去受蘇聯控制的東歐諸國目前仍在使用噬菌體療法，然而噬菌體療法在西方國家並不受歡迎。1934年，美國耶魯大學的醫生伊頓（Monroe Eaton）和貝恩－瓊斯（Stanhope Bayne-Jones）發表了一篇深具影響力的回顧論文，宣稱噬菌體能治療細菌感染的臨床證據彼此矛盾、缺乏說服力；他們也控訴生產醫療用噬菌體的製藥公司欺騙大眾，不過噬菌體療法真正終結，是因為1940年



代醫學界開始普遍使用抗生素，效果良好且價格低廉。現今西方國家並未核准臨床使用噬菌體療法，而且這領域的研究經費微薄；儘管在東歐進行的人體試驗研究獲得令人興奮的進展，特別是在喬治亞共和國的艾利亞維研究院（Eliava Institute），是現今噬菌體療法的研究中心。然而許多西方學者認為，噬菌體療法的研究並未達到應有標準；除此之外，西歐和美國零星的相關臨床試驗結果都不成功。

噬菌體療法雖然受到許多懷疑，但如今開始復甦了，參加相關會議的科學家人數持續攀升，美國食品及藥物管理局（FDA）和其他醫療監督機構也對噬菌體療法產生興趣。目前西方有十幾家製藥公司開始投資這個領域，在美國展開新一波臨床試驗。為什麼如今西方國家重新關注噬菌體療法？原因在於噬菌體療法能治療受到多重抗藥性（multidrug-resistant, MDR）細菌感染、以抗生素治療無效的病患。FDA已允許醫生基於「恩慈使用」（compassionate use，讓重症患者接受尚未核可的醫療方式），讓已無其他治療方式可選擇的病患嘗試這種實驗性療法，這正是令巴格爾札產生希望的療法。

對抗超級細菌迫在眉睫

MDR細菌感染是持續加劇的醫療噩夢，每年全球至少有70萬人死於這種無藥可醫的疾病。聯合國預估到了2050年，致死人數會增加到每年1000萬人。在此之前，製藥界能夠發展的抗生素將會用罄，人類研發抗生素的速度跟不上細菌演化出抗藥性的速度。噬菌體和其他病毒一樣，無法生長、移動與產生能量，只能到處漂泊，看有沒有機會遇到能夠附著的細菌。抗生素在殺死病菌的同時，也會殺死許多益菌，但一種噬菌體只會殺死一種細菌，或是其他親緣關係很近的細菌，因此能維持微生物群系的平衡。

噬菌體的頭部形狀多為20面體，就像是有20面的骰子，每個面都是三角形。頭部中含有基因，外面連接著長長的頸部與尾部纖維，這些纖維能夠抓住細菌細胞壁

重點提要

- 細菌對抗生素的抗藥性越來越強，如今醫生轉而利用噬菌體這種病毒做為對抗細菌的新武器。
- 研究人員在臨床試驗中測試數種噬菌體，這些噬菌體各有不同的殺菌方式。
- 如果噬菌體療法要成功商業化，必須大幅降低找出擊敗特定致病細菌的噬菌體所需花費的時間和成本。

施密特 (Charles Schmidt)

美國自由記者，住在緬因州波特蘭市，報導的領域涵蓋醫學與環境，曾為 *Scientific American* 撰寫關於飲用水中有毒污染物的報導〈全氟化物禍及飲用水〉（刊登於《科學人》2017年9月號）以及〈橙劑迷霧籠罩越南〉（刊登於《科學人》2016年8月號）。



上的受體，如針般刺入細菌細胞壁，把遺傳物質注入細菌體內，利用細菌製造更多噬菌體。另一種非醫療用的噬菌體以相同方式進入細菌中，但是會休眠，只有在細菌分裂時複製。噬菌體可能是數十億年來和細菌共同演化，它們的分佈很廣，全球每天有四成細菌死於噬菌體，影響海洋的氧氣生產，甚至地球的氣候。

由於醫療技術進步，噬菌體療法能感染的目標病菌越來越精確。然而現行法規嚴格，只有極少數醫療機構獲准提供噬菌體療法，但臨床上對噬菌體療法的需求卻異常龐大。現行臨床試驗逐漸累積的高品質資料，足以讓制定醫療法規的相關單位確信噬菌體療法有效。但仍然有其他問題，其中最嚴重的是，噬菌體療法可否應付流行病感染？醫師必須篩選噬菌體種類來對付特定致病細菌，因此至今仍不知道噬菌體療法是否符合成本效益？治療速度和效果能否應用於常規治療？另一個問題是目前缺乏負責監督製造、測試和使用噬菌體療法的指導方針。澳洲蒙那許大學的微生物學家巴爾（Jeremy J. Barr）說：「如果這種療法具有救命的潛力，那麼社會需要知道它是否有效，以及最佳使用方式。MDR細菌危機已迫在眉睫，我們必須應用噬菌體療法。」

建立噬菌體資料庫

巴格爾札聯絡上耶魯大學的生物學家陳家明（Benjamin Chan）。2013年陳家明於耶魯大學生態學與演化生物學系教授特納（Paul Turner）的實驗室擔任研究科學家，便開始建立噬菌體庫，供耶魯—新哈芬醫院和其他地方的醫生使用，這些噬菌體來自下水道、土壤和其他自然環境。

2016年陳家明的第一個治療個案成功了，轟動一時。他從池水中分離出一種噬菌體，讓醫生用來治療一名眼科醫生卡達道斯特（Ali Khodadoust），他在四年前接受過心臟手術，胸腔受到感染，一直苦於嚴重的MDR細菌感染。卡達道斯特每天服用大量抗生素對抗入侵的頑強病原體：綠膿桿菌（*Pseudomonas aeruginosa*）。陳家明挑選出的噬菌體能結合到綠膿桿菌

細胞壁上用來排出抗生素的輸出幫浦（efflux pump）。卡達道斯特體內的綠膿桿菌絕大部份都具有這種輸出幫浦，因此噬菌體能殺死它們。

剩下極少的綠膿桿菌面對了一項演化權衡：沒有輸出幫浦就不會受到噬菌體攻擊，但卻無法對抗抗生素。卡達道斯特同時接受噬菌體和抗生素治療，幾個星期後便逐漸康復。他在兩年後死於非傳染性疾病，享壽82歲。在這起病例後，陳家明繼續提供噬菌體給耶魯一新哈芬醫院中十多名接受實驗性噬菌體療法的病患，其中大部份都是因囊腫性纖維化肺部受到綠膿桿菌感染。陳家明請巴格爾札把痰樣本以快遞送到實驗室，讓他篩選可能有幫助的噬菌體種類。

2018年12月我到耶魯大學拜訪陳家明，他穿著格紋牛津衫、卡其褲和便鞋，談話沒多久就稱我為「老兄」。我們在他辦公室稍微聊了一下，便去隔壁實驗室，他拿了一個培養皿給我看。來自巴格爾札的細菌

把混合噬菌體療法改為連續性單噬菌體療法，可以拉長有效治療時間。

在培養皿上長成灰色一片，其中有兩道透明痕跡，代表痕跡上的細菌都死了。陳家明告訴我，那些殺死細菌的幾滴噬菌體溶液很快就會用於治療巴格爾札。巴格爾札感染了無色菌屬（*Achromobacter*）的三種細菌，陳家明打算針對這三種細菌各挑出一種噬菌體，一種接著一種治療，這種策略稱為「連續性單噬菌體療法」（sequential monophage therapy）。他說：「這是對抗微生物的棋賽，每一步都需深思熟慮。」

細菌的演化權衡

陳家明希望能夠引發類似卡達道斯特身上的細菌所面臨的演化權衡，他相信這是治癒的主因。然而他沒有找到能連接無色菌屬輸出幫浦的噬菌體，因此轉而瞄準微生物細胞壁上的脂多醣（lipopolysaccharide, LPS）這種大型蛋白質，篩選對應的噬菌體。脂多醣有一條支鏈分子，稱為O抗原，長度變異很大。細菌的O抗原越長，抵抗抗生素和宿主免疫系統的能力就越強。

陳家明計畫以噬菌體殺死具有長O抗原的頑強細菌，讓短O抗原的較弱細菌留下。他說在最佳狀況下，噬菌體會驅動細菌演化，使細菌族群往帶有短O抗原發

展，這樣便能受到藥物和免疫系統的控制。陳家明說：「細菌會競爭宿主體內的生存空間與資源，通常當噬菌體大量殺死某種細菌後，其他細菌會佔據空出的區域。」他希望留下的細菌比之前細菌的致病性低。

特納的研究生涯專注於微生物世界中的演化權衡。我在拜訪陳家明那天稍晚，系上的一位教授解釋說，噬菌體療法並不需要把致病細菌全部殺死，就能達到療效，特別是針對慢性疾病，醫生可選用不同噬菌體，改變病菌的族群演化，讓它們發展出其他弱點。他說：「這些弱點應該是對抗生素有反應，而且反應越強越好。」我和陳家明開車到耶魯一新哈芬醫院探望住院接受噬菌體療法的巴格爾札，我們搭電梯到二樓，等待陳家明的臨床合作夥伴肺臟學家、「成年人囊腫性纖維化計畫」（Adult Cystic Fibrosis Program）的主持人寇夫（Jonathan Koff）。他腳步輕快地走來，肩上揹著背包。我們在治療室中見到了巴格爾札，他的聲音十分粗

礪，這是疾病的外在特徵。寇夫和陳家明比對病歷記錄時，巴格爾札告訴我他的女兒只有三歲，希望自己能夠活得久一點。治療開始前，他把手機丟給妻子說：「幫我拍張照片傳給媽。」並露出微笑，醫師以噴霧器罩住他的嘴巴和鼻子，讓他把霧化的噬菌體溶液吸進肺部。

寇夫指出，以連續性單噬菌體療法治療囊腫性纖維化以及其他慢性疾病有其道理，這些都是病菌感染人體所致。他說，雖然沒有證據證實噬菌體能完全消滅病菌，但這種療法的策略是逐步消除病菌菌株。有些醫師採取不同策略：以混合多種噬菌體的藥劑治療病人，這些噬菌體各自針對不同病菌的抗藥機制。這種做法的目標是一次解決所有病菌。理想狀況下，混合藥劑中的噬菌體會各自和不同病菌的受體結合，因此病菌如果演化出對抗混合藥劑中的某種噬菌體，其他種噬菌體仍會持續攻擊。

陳家明和寇夫認為，病菌接觸到混合噬菌體後的反應不可預期，說不定會產生同時抵抗所有混合噬菌體的能力，這樣便限制了將來能夠選擇的療法。寇夫說：「把混合噬菌體療法改為連續性單噬菌體療法，可以拉長有效治療時間。」

成功案例

病毒名錄公司（Phage Directory）經營一個獨立平台，目標是讓一般民眾更容易接觸到各種噬菌體與噬菌體

抗菌戰鬥升級

以往能夠由抗生素殺死的感染性細菌，現在已演化出抗藥性，抗生素藥物逐漸失效，噬菌體這種感染細菌的病毒成為對抗細菌的另一種武器。在攻擊與反制細菌的戰爭中，科學家正試驗三種噬菌體療法來克服細菌的抗藥性，還不確定細菌是否會找到對抗噬菌體的新方式。

病菌
(黃色)

具抗藥性細菌
(橘色)

益菌
(藍色)

1 抗生素會同時殺死病菌和益菌

抗生素進入細菌體內，以各種方式限制細菌發展，例如破壞細胞壁殺死細菌，或是阻止細菌分裂。抗生素通常也會傷害益菌，但價格平實且使用方便。

2 噬菌體只會殺死病菌

噬菌體能瞄準特定害菌，而不會侵害其他益菌。但目前不論是在自然界中找到適合的噬菌體並了解其特性，或是應用遺傳工程技術改造噬菌體令它攻擊致病的特定細菌，仍有困難且費用高昂。

噬菌體殺死細菌的方式，通常是連接到細菌外部，使自身DNA穿過細胞壁。這些DNA會劫持細菌中複製DNA的機制，製造新的噬菌體DNA，並組成新的噬菌體。這些複製出來的新噬菌體會擠破細菌，使細菌死亡。

3 細菌可能發展出對抗噬菌體的新方式

一些病菌可經由突變產生新特性，抵抗噬菌體的攻擊。這些有抗性的細菌繁殖後，會傷害受到感染的患者，使先前的藥物或噬菌體療法失去療效。

4 抗藥性細菌繁衍

新演化出來的細菌會潛伏在人體中，非常難以根絕。研究人員正努力嘗試各種噬菌體療法，以反制抗藥性細菌。

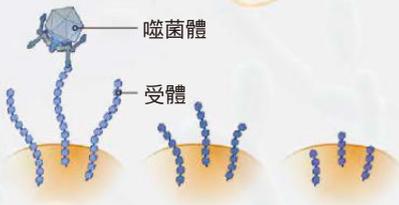
無色菌屬細菌
(*Achromobacter*)

鮑氏不動桿菌
(*Acinetobacter baumannii*)

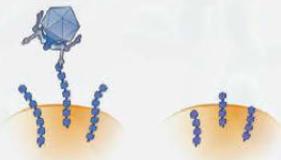
綠膿桿菌
(*Pseudomonas aeruginosa*)

5 噬菌體療法削弱細菌抗藥性

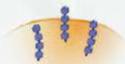
連續性單噬菌體療法



第一種噬菌體送入病人體中，會殺死帶有長脂多醣的無色菌。

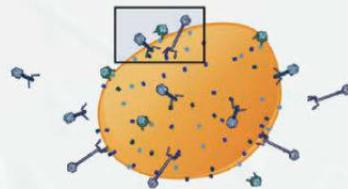
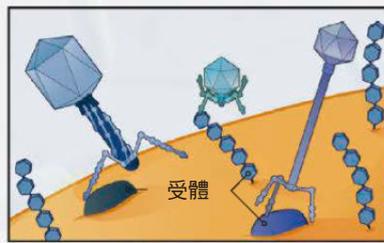


第二種噬菌體送入病人體中，會殺死帶有中等長度脂多醣的無色菌。

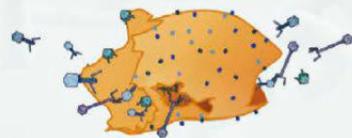


免疫系統難以對抗帶有長脂多醣的無色菌種類，但能摧毀剩下的短脂多醣的無色菌。

混合噬菌體療法

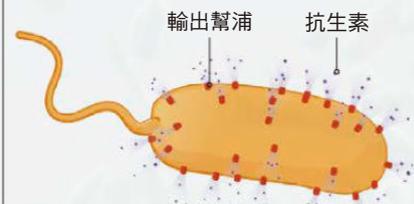


同時給予病人幾種噬菌體，每種噬菌體瞄準鮑氏不動桿菌上的不同受體。

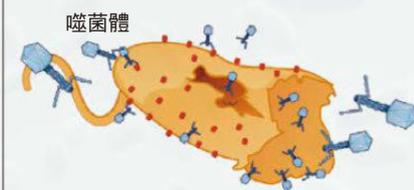


鮑氏不動桿菌無法同時修改所有受體以抵抗不同噬菌體，因此死亡。

結合噬菌體療法與抗生素



綠膿桿菌具有輸出幫浦，能把滲入細胞內的抗生素排出。



噬菌體與輸出幫浦結合，使幫浦失去功能。



抗生素可持續在細菌體內殺死細菌。

6 恢復菌相平衡

噬菌體只會殺死病菌，讓身體中的益菌主宰微生物群系，除非後來病菌又演化了。

專家，共同創辦人薩赫（Jessica Sacher）說，這兩種策略各有可信之處：「並沒有科學證據顯示哪種方法比較好。」她指出，混合療法比較適合急性病患，因為他們往往無法等待醫生發展出連續性療法。

有個著名病例顯示應急十分重要。2016年，美國加州大學聖地牙哥分校的教授帕特森（Tom Patterson）在埃及受到MDR細菌感染，混合噬菌體療法救了他一命。感染他的細菌是鮑氏不動桿菌（*Acinetobacter baumannii*），這種惡名昭彰的MDR細菌在亞洲很普遍，也逐漸傳到西方國家。帕特森當時出現了多重器官衰竭，醫生經由導管把四種噬菌體注射到他腹部、用靜脈注射注入第五種噬菌體，每兩天治療一次、持續四個星期，三個月後他的體內就沒有感染跡象了，經過後續復健，現在已完全康復。

全球媒體紛紛報導這個病例，帕特森的主治醫師是他的朋友、加州大學聖地牙哥分校的感染科主任斯古利（Robert Schooley），以及他的妻子、當時擔任同校全球衛生研究院主任的史特斯蒂

（Steffanie Strathdee）。兩年後，斯古利和史特斯蒂得到120萬美元的初期投資，在加州大學聖地牙哥分校成立創新噬菌體應用與療法研究中心，以資助相關臨床研究，並且推展這個領域。用來治療帕特森的噬菌體，每種都是經過篩選、能夠感染從帕特森體內取出的鮑氏不動桿菌。進行篩選檢定的是美國海軍醫學研究發展中心（Naval Medical Research and Development Center, NMRD）以及德州農工大學。

NMRD噬菌體部門主任畢斯瓦（Biswajit Biswas）發展出噬菌體檢定程序並建立NMRD的噬菌體庫，他說檢定程序可在8~12小時內檢定數百種對抗病菌的噬菌體，治療帕特森的噬菌體中有一些是他提供的。他說一旦細菌對某種噬菌體產生抗性，這種篩選方式能很快篩選出新的噬菌體來替換。帕特森首度接受混合噬菌體治療後兩個星期確實出現噬菌體抗性，NMRD篩選出第二批混合噬菌體，成功維持療效。適應性噬菌體醫療公司（Adaptive Phage Therapeutics）已取得NMRD授權，可使用其分析方法與噬菌體庫，不久後將把這兩者引進臨床試驗，治療尿道感染的病人。

改造噬菌體

混合噬菌體是否應該瞄準已知的受體？目前還多有爭議。德州農工大學的噬菌體遺傳學家楊恩（Ry Young）

也提供了治療帕特森用的噬菌體，他對此表示肯定：「我們甚至不知道是不是噬菌體讓他康復。最有可能的情況是噬菌體療法抑制了感染狀況，而後免疫系統接手。」楊恩說，應該混合三到四種針對同一菌株不同受體的噬菌體。他指出，細菌演化出對抗單一噬菌體的機率是百萬分之一，混合噬菌體所瞄準的受體全部失效或因突變而變化的機率「基本上是零」。除此之外，如果醫生希望使用噬菌體療法後還能以抗生素治療，找到重要受體便非常要緊。

巴爾說，科學家目前正在尋找治療帕特森的混合噬菌體所瞄準的受體，但他並不認為非得在使用前找到受體。他說：「在這個領域中，這是一個可以理解的觀點以及熱門議題。我們對這些噬菌體所知甚少，需要在治

專家不敢斷言哪一種噬菌體療法會勝出。我們現在需要能克服殘留疑慮的臨床試驗結果。

療前詳加檢查並維持平衡。但這是否代表我們需找到噬菌體針對的受體？現在要做的事情一大堆，因此我認為這麼做雖然絕對值得，但並非必要。」

由於混合噬菌體療法造成的變化難以預測，有些研究人員認為應該以遺傳工程改造噬菌體，使噬菌體結合到特定受體，並以全新方式殺死細菌。目前使用的噬菌體絕大多數都是天然的，但噬菌體遺傳工程正興起，而且已經有了成功案例。罹患囊腫性纖維化的英國少女卡內爾（Isabelle Carnell），2017年接受雙肺臟移植後，肝臟、四肢和軀幹發生足以致死的細菌感染，她的細菌死神是膿瘍分枝桿菌（*Mycobacterium abscessus*），任何抗生素都無效。然而在同一年，數個研究單位利用混合了三種以遺傳工程改造的噬菌體，成功治癒了這名女孩，這是頭一個以遺傳工程改造噬菌體治療成功的案例。其中一種噬菌體在分枝桿菌複製時能破壞細菌，另外兩種也會殺死細菌，但並不是全殺死，有10~20%殘存下來。因此醫療團隊的領導者、美國匹茲堡大學的生物科學教授哈福爾（Graham Hatfull）刪除了後兩種噬菌體中的某一個基因，成為經過改造的細菌暗殺者，這三種噬菌體在六個月中清除了卡內爾體內的感染細菌。

2007年波士頓大學的研究人員發展出以遺傳工程改造的噬菌體，有些造成感染的細菌會分泌生物薄膜以保護自己，這種噬菌體能製造有效分解細菌黏稠生物薄膜

的酵素。從那時起，科學家就開始改造噬菌體，令它殺死多種病菌，或是把藥物和疫苗遞送到特定細胞。實驗室設計的噬菌體也比較容易申請到專利，更受到製藥公司的歡迎。有件事情彷彿強調了這點：2019年1月製藥巨擘嬌生公司的子公司和Locus Biosciences簽訂合約，預計投資8億1800萬美元，以基因剪輯工具CRISPR 製造遺傳改造噬菌體。

商業化的困難

發展商業化的噬菌體療法並不容易。巴爾和其他科學家指出，現今噬菌體療法需耗費大量時間、金錢與心力，才能改造一個噬菌體，而這個噬菌體所瞄準的細菌可能很快就演化出對抗該噬菌體的能力。除此之外，巴爾和本文中幾位受訪科學家也認為，遺傳工程改造過的噬菌體不容易得到醫療監督機關的核可，「可能相當難搞」。不過美國FDA的發言人麥賽文尼（Megan McSeveney）在一封電子郵件中表示，只要能夠證明醫療製品是安全的，FDA不會去區分天然和人工改造的噬菌體。

數家製藥公司正在嘗試以不同方式擴大噬菌體療法的商業市場，有些公司希望能針對特定感染的病人提供個人化醫療，適應性噬菌體醫療公司便採取這個策略，執行總裁馬利爾（Greg Merrill）說，他們篩選NMRD噬菌體庫中對抗感染樣本的分析技術，並提供世界各地醫學檢驗室和大型醫學中心使用。能夠有效對抗各地流行細菌的噬菌體將放在經由FDA核可的小瓶子裡，由導引式自動服務設備販售，打開就可使用。馬利爾說，醫生可持續監控病人體內細菌的噬菌體抗性，必要時更換噬菌體種類，直到控制感染狀況為止。目前恩慈使用的治療費用大約五萬美元，馬利爾估計使用規模擴大後，費用應該會降低。

其他製藥公司則偏好固定的噬菌體產品，類似市售的抗生素。Armata Pharmaceuticals的領導產品混合了三種天然噬菌體，感染目標是金黃色葡萄球菌（*Staphylococcus aureus*），醫院中經常發生這種細菌造成的金黃色葡萄球菌感染症。這個療法正在進行臨床試驗，用於治療機械心臟幫浦受感染的病人。該公司計畫研究在公共場所一般人群中的抗藥性金黃色葡萄球菌，以便需要時發展出新的噬菌體混合配方。這很像是每年流感病毒疫苗都要稍做修改，才能防範最新流行的流感病毒株。公司主管說，現在為時尚早，還無法估計治療費用。

專家目前不敢判斷現行策略哪一種最後會勝出：連續性單噬菌體療法、混合噬菌體療法、遺傳工程改造噬菌體療法以及通用或個人化療法，他們認為任何一種都有可能，巴爾說：「最佳療法可能不存在，因為對每名病患採用的噬菌體療法，都要考慮到複雜狀況，例如所針對的病菌、疾病種類以及病人的病史等。」

史特斯蒂說，噬菌體療法依然受到地緣政治的偏見影響。她指出，我們現在需要有嚴格對照組的臨床實驗，以化解疑慮。加拿大多倫多大學的生物化學家戴維森（Alan Davidson）推測，噬菌體療法在10年內可能變得更便宜、方便和快速。他偏好改造噬菌體的策略，因為比從自然界中篩選出能夠對抗病菌的噬菌體，對病人體內細菌進行基因組定序並合成治療感染所需的噬菌體，會更快而且更便宜。

巴格爾札在家中利用噴霧器自行吸入噬菌體，直到2019年初，病情都還未出現他所期盼的改善。3月陳家明和寇夫採用對抗另一種無色菌屬菌株的噬菌體，4月巴格爾札肺臟中的細菌比開始治療時減少了超過兩個數量級。寇夫對我說：「看來我們成功去除了這些菌株。」不過寇夫也說巴格爾札並未感覺肺功能有大幅度改善。我問他原因，他說：「我們很了解感染綠膿桿菌的噬菌體，但對於能感染無色菌屬的噬菌體所知不多。」對於控制該細菌感染的能力「資料比較少」。

寇夫說下一步是定序巴格爾札肺部黏液中的細菌DNA。「我們真的需要知道他體內的細菌發生了什麼事，這樣我們才能夠達到如同控制綠膿桿菌那般的精確程度。巴格爾札讓我們有機會看看是否能夠幫上一點忙。」寇夫受挫了，但熱情依然不減，他說：「有些病人對噬菌體治療的反應比較好，我們需要了解這些變化的原因。」⁵⁴

鄧子衿是陽明大學微生物及免疫學研究所碩士，專職生命科學、食物以及醫學範疇的科普翻譯，曾獲得第九屆吳大猷科普翻譯獎佳作，雜誌譯稿散見於《科學人》與《國家地理》，近期的翻譯書籍有《生命的法則》、《群的征服》與《毒特物種》。

延伸閱讀

Global Priority List of Antibiotic-Resistant Bacteria to Guide Research, Discovery, and Development of New Antibiotics. World Health Organization, 2017.

Engineered Bacteriophages for Treatment of a Patient with a Disseminated Drug-Resistant *Mycobacterium abscessus*. Dedrick et al. in *Nature Medicine*, Vol. 25, pages 730–733; May 2019.

欲了解病毒名錄公司 (Phage Directory)，參見網頁：<https://phage.directory>

訂戶專享 《科學人》雜誌知識庫中英對照版

〈攻破細菌黏膜〉，《科學人》2018年5月號。

〈瓦解細菌堡壘〉，《科學人》2015年4月號。

〈難以阻擋的抗藥性〉，《科學人》2011年6月號。





地底管道

KAGRA的兩條真空管道長達三公里，其中一條管道沿著濕漉漉的隧道鑽入日本神岡池野山地底。在滲著水的岩石隧道中，真空管道的外層包覆著不鏽鋼，裡面架設著錯綜複雜的雷射和鏡面系統，用來收聽橫越宇宙並穿透地球的重力波。

在地底 收聽 重力波

日本「神岡重力波探測器」位於地底，並使用低溫冷卻技術，減少雜訊干擾，可更精準觀測重力波！

撰文／畢林茲（Lee Billings）

翻譯／宋宜真

重力波，這種由黑洞合併、中子星碰撞、超新星爆炸或宇宙其他劇變所產生的時空漣漪，引發了天文物理學的革命。在愛因斯坦預測重力波存在的100年之後，科學家終於在2015年首度觀測到重力波。這些穿越時空的低聲細語雖然難以捉摸，卻揭示了奇特天體內部隱藏的細節。重力波研究讓研究人員首度取得黑洞存在的直接證據、得以重新估算宇宙膨脹速率，並證實中子星是宇宙中金、鉑和其他重元素的主要來源。最終，重力波還可能讓科學家瞥見宇宙在大霹靂之後最初幾分之一秒的模樣。

ENRICO SACCHETTI

畢林茲 (Lee Billings)

Scientific American資深編輯，
負責太空與物理學領域。



這項充滿希望的研究最前線，就位在地底錯綜複雜的黑暗隧道之中。在日本中部岐阜縣池野山地底 200 多公尺處，一支由科學家、工程師和技術人員組成的國際團隊，已在 2019 年為按部施工將近十年的工程做最終測試，即將啟動神岡重力波探測器 (KAGRA)。KAGRA 將加入世界上其他三座活躍的重力波觀測站的行列，它們分別是位於美國華盛頓州漢福、路易斯安那州利文斯頓的兩座先進雷射干涉儀重力波觀測站 (LIGO)，以及義大利比薩附近的先進 Virgo。KAGRA 位於地球東半球的日本，且管道方向與 LIGO 和 Virgo 相對，將能獨立檢驗這幾座觀測站的觀測結果，從而增進研究人員對黑洞與中子星合併方向和自旋的觀測品質。

總的來說，這四座觀測站的合作，將達到前所未有的靈敏度和精準度，能夠尋找更微弱的重力波，並以空前的敏銳度定位重力波源座標，再交由傳統望遠鏡繼續追蹤。本文精選的照片記錄了 KAGRA 探測天際之前，最後所做的技術準備工作。

KAGRA 以「雷射干涉術」尋找重力波，就跟 LIGO 和 Virgo 一樣。這種方法是：在兩支互相垂直、構成 L 形的真空管道末端懸吊鏡子，雷射光束行經數公里長的管道後從鏡面反射回來。重力波穿透真空管道時，會短暫地拉長或壓縮時空，改變管道長度，從而改變雷射光束行進的距離，雷射光束如量尺般測量此一變化。這種變動

重點提要

- 全球已有三座重力波觀測站，它們獲得的發現徹底改變了我們對黑洞、中子星和其他天體的理解。
- 第四座觀測站「神岡重力波探測器」(KAGRA) 已經完工，即將開始運轉。
- KAGRA 與另外三座重力波觀測站的運作原理相同，卻是第一座建在地底並使用低溫技術以提高靈敏度的觀測站。這些創新技術對於新一代更先進的重力波探測器至關重要。





小到令人難以置信，遠小於單個質子的直徑，意味著每座觀測站都必須設法解決或抑制難以計數的雜訊，例如地震和潮汐造成的巨大振動，而輕微振動來自天上飛掠的飛機、一旁行經的車輛、鄰近的野生生物活動，甚至鏡面上的原子晃動，全部都混雜在一起。要區分重力波和雜訊所引起的細微變化是極其困難的任務，但 LIGO 與 Virgo 從這些訊號中找到數十項可靠的測量結果並發表，儘管其中不乏假訊號。

KAGRA 位居山底，是第一座完全在地下建造並運轉的大型雷射干涉儀，遠離地表紛亂的背景雜訊。它也是第一座使用低溫冷卻鏡的干涉儀，每具鏡面都是重達 23 公斤的拋光藍寶石圓柱，能大幅降低熱擾動，以提高靈敏度。LIGO 和 Virgo 的鏡面保持在室溫，KAGRA 的鏡面則維持在絕對溫度 20K 的極低溫狀態。

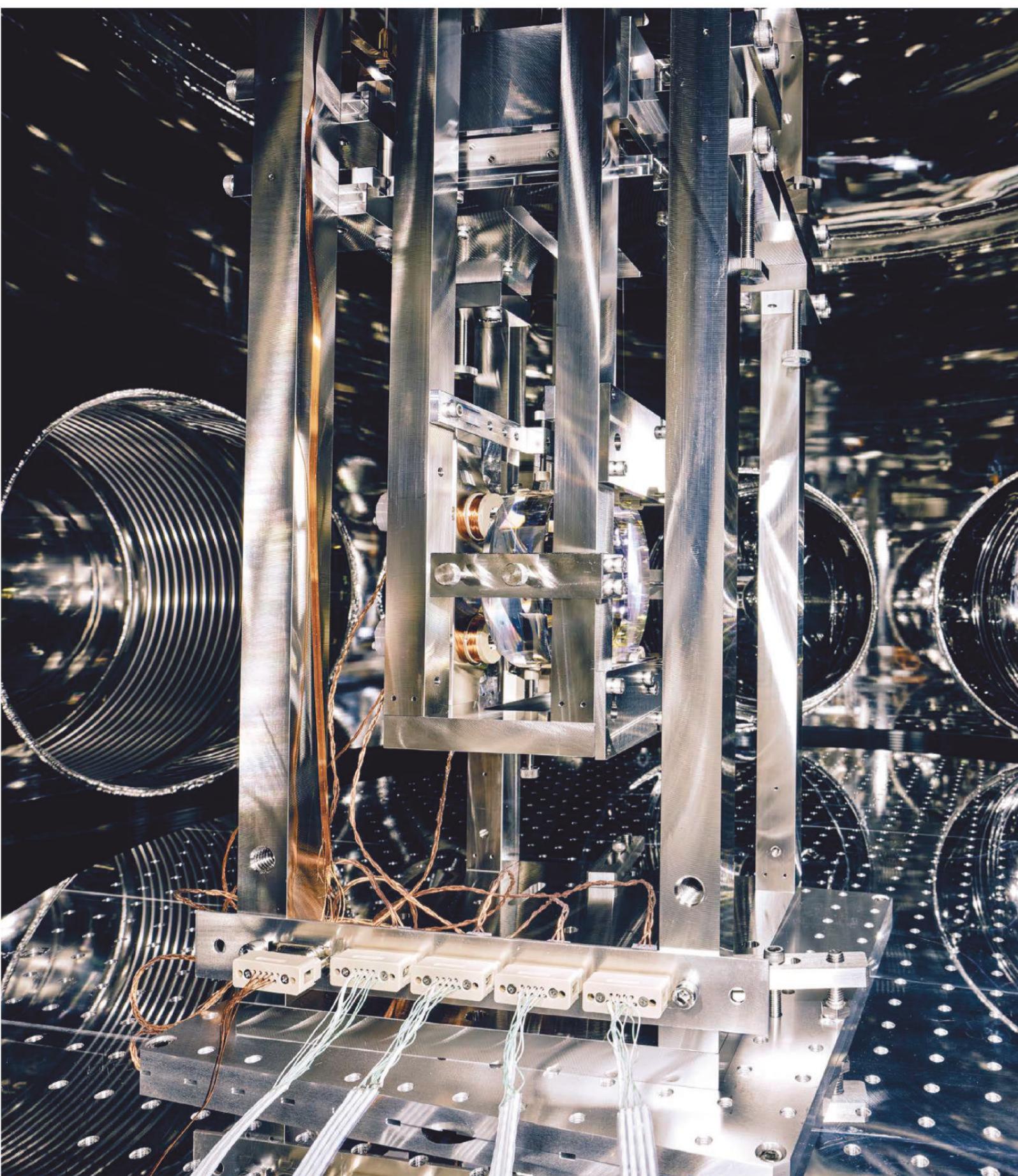
大致來說，KAGRA 運用這兩種改進方式，可以找到更微弱的重力波源，是 LIGO 或 Virgo 無法發現的。但這兩種方式還是有缺點：機械冷卻器雖能使反射雷射的鏡面保持冰冷，自身的振動仍會影響測量結果；雨水和定期融化的雪水會滲透到 KAGRA 所在的隧道，精密設備得加裝塑膠板來保護，即使有保護措施，水氣仍可能迫使 KAGRA 在一年中最潮濕的時節停止運轉。

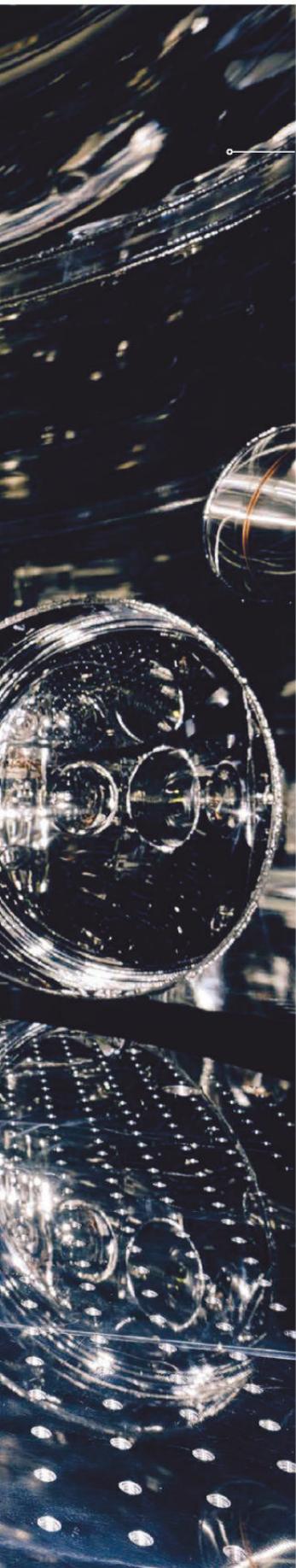
如果一切按計畫進行，KAGRA 不僅有助於帶來重大發現，所驗證的改進方式還可能應用在新一代更先進的重力波觀測站。■

宋宜真畢業於台灣大學物理系、哲學研究所，曾擔任《科學人》雜誌編輯。

屏蔽雜訊

蹲著的技術人員身旁，是 KAGRA 的拋光藍寶石鏡面所需的隔震系統上半部。整個隔震系統高達 14 公尺，用來屏蔽外界雜訊，如此才能觀測穿透探測器的重力波所產生的細微效應，畢竟鏡子移動的距離只有質子寬度的千分之一。





OPPOSITE PAGE: ENRICO SACCHETTI; THIS PAGE: ROHAN MEHRA

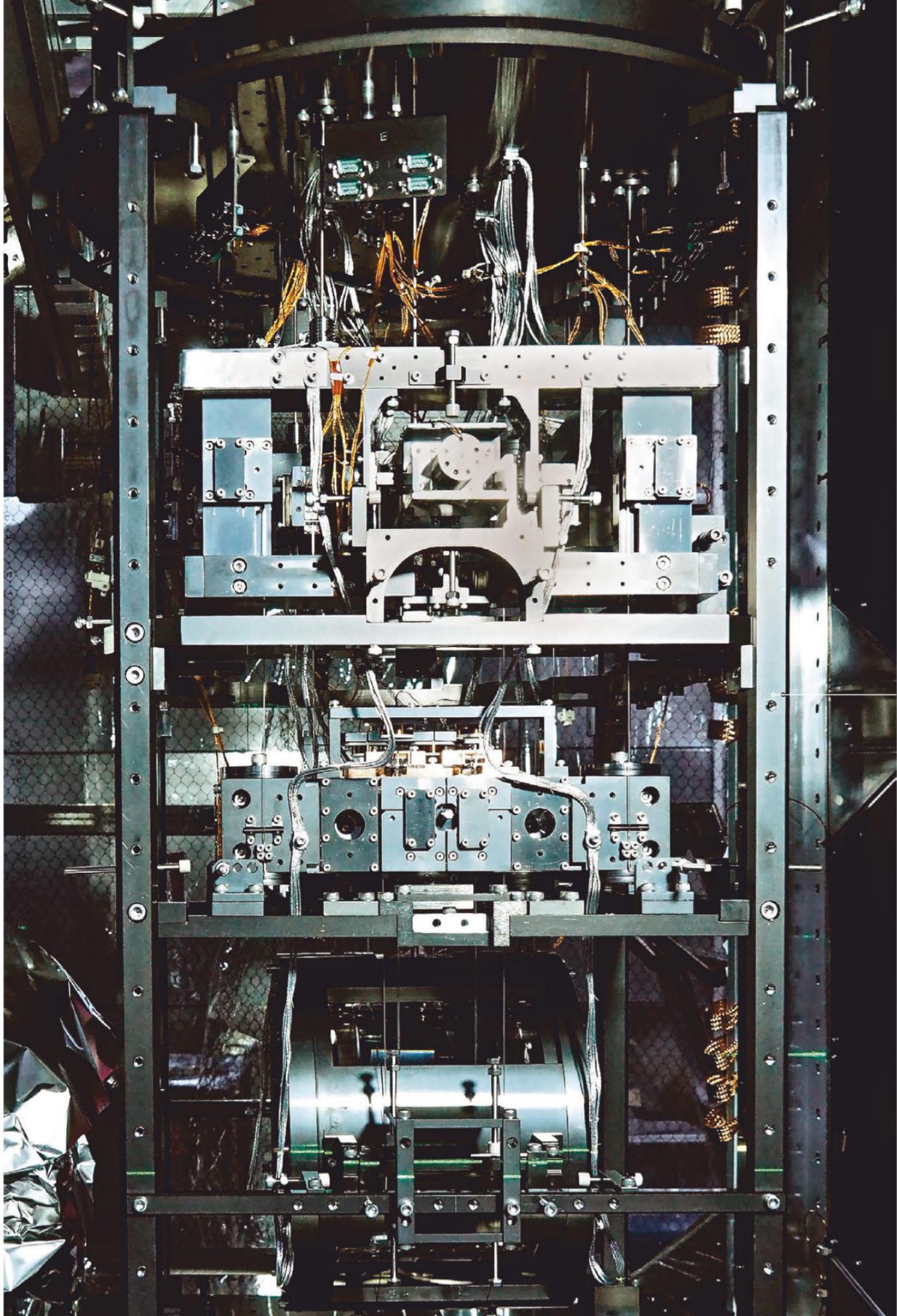
密集光束

為了確保雷射光束能夠準確記錄重力波對鏡子所造成的極細微變形，科學家必須精確控制雷射光束的位置和強度。這要先讓雷射光束通過一具望遠鏡，且望遠鏡以及所裝配的屏蔽裝置需安置在真空環境中。

冷卻鏡面

技術人員正在檢查鏡子的懸吊系統，之後鏡子將裝入低溫系統內。鏡面及其底座被冷卻到絕對溫度 20K，這是為了把鏡面原子的熱擾動降到最低，才能找出更微弱的重力波訊號。





WHAT IS AVAXHOME?

AVAXHOME-

the biggest Internet portal,
providing you various content:
brand new books, trending movies,
fresh magazines, hot games,
recent software, latest music releases.

Unlimited satisfaction one low price

Cheap constant access to piping hot media

Protect your downloadings from Big brother

Safer, than torrent-trackers

18 years of seamless operation and our users' satisfaction

All languages

Brand new content

One site



AVXLIVE **ICU**

AvaxHome - Your End Place

We have everything for all of your needs. Just open <https://avxlive.icu>



懸吊系統

在鏡子裝進KAGRA的低溫系統之前，讓我們從另一個角度看看固定鏡子的精巧裝置。藍寶石鏡面就在這個裝置的最底部，以四條纖細的藍寶石纖維懸吊起來。鏡子正上方三層台面裝載的各式元件，則用來隔離地震雜訊。元件所使用的材料，都能在KAGRA的極低溫環境下運作。

指揮中心

KAGRA 指揮中心位在地面，距離地下洞穴入口約 10 分鐘車程。從這裡可以控制 KAGRA 的所有儀器，壁掛式的六面大螢幕顯示了儀器所處環境的溫度、濕度和運作狀況，右側牆上小螢幕則顯示雷射光通過真空管道的快照，以及日本各地的地震活動訊息。

➡ 延伸閱讀

The Detection of Gravitational Waves with LIGO. Barry C. Barish. Paper presented at the American Physical Society Division of Particles and Fields Conference, Los Angeles, Calif., January 5–9, 1999. 預印本請見網站：<https://arxiv.org/abs/gr-qc/9905026>

Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. The LIGO Scientific Collaboration and the Virgo Collaboration in *Physical Review Letters*, Vol. 116, No. 6, Article No. 061102; February 12, 2016.

KAGRA: 2.5 Generation Interferometric Gravitational Wave Detector. The KAGRA Collaboration in *Nature Astronomy*, Vol. 3, pages 35–40; January 2019.

訂戶專享 《科學人》雜誌知識庫中英對照版

〈三方聯手探出重力波源〉，《科學人》2017年5月號。

〈傳頌大霹靂的重力波〉，《科學人》2013年11月號。

〈時空漣漪〉，《科學人》2002年6月號。



腦死 還能復生嗎？

最近一項實驗把死後豬隻大腦接上
灌流裝置，回復了豬腦的部份生理功能，因此引發
熱議：生命確切終點該如何定義？

撰文／柯霍（Christof Koch）

翻譯／謝伯讓

「死亡亦不得稱霸四方。」——湯瑪斯（Dylan Thomas），1933年

你遲早會死，人人都一樣。因為萬物有始必有終，這是熱力學第二定律中的必然結果。

很少有人喜歡思考這個麻煩的議題。然而人生在世，我們無法不思及生命終將長眠不醒，它潛伏在潛意識的陰影中，伺機而動。我一直到長大成人，才真正完整感受到人皆將死。我曾經花一整晚上玩一款讓人上癮的射擊遊戲，穿梭在地下廳堂、淹水的走廊、噩夢般迂迴的隧道，或徘徊在空無一人的異國廣場，用武器掃射一大群窮追不捨的異形。我爬上床，很快入睡，但是幾個小時後又驚醒。抽象的認知成了可真切感受的現實：我就快死了，雖非現在，但終將到來。

對於自知將死，人類已演化出強大的防禦機制，確切來說是心理上的壓抑和堅定的信念，前者讓我們不會老是想著這個令人不舒服的事實，後者則是以永生的基督教天堂、佛教的永世輪迴等宗教信仰，或上傳心智到雲端這種讓21世紀阿宅興奮不已的新做法來撫慰人心。

死亡對於非人類動物沒有如此強大的支配力，儘管牠們會因幼獸或同伴死亡而悲傷，但是沒有可靠證據顯

示猿類、狗、烏鴉、蜂類的心智足以覺察自己終將不存在於世上並為此困擾，因此這些防禦機制必定是在1000萬年前內的人族（hominin）演化歷程中才出現的。

宗教與哲學傳統的教導向來和上述恐懼心態相反：直視死亡的凹陷雙眼，並拔除這根背上芒刺。對空無的本質進行日常冥想能讓我們消除恐懼。身為深知自己必有終期的科學家，我的反思則是試著了解死亡是什麼。任何探究這個問題的人很快就了解到，死亡這個即將到來的現實，不論從科學或醫學觀點都難以定義。

死亡判定：從胸到腦

縱觀歷史，人人都知道死亡是什麼。當某個人停止了呼吸、心臟不再跳動，很簡單，這個人就是死了。在過去，死亡時間可清楚劃分，然而自從呼吸器和心律調節器在20世紀中葉出現以後，一切都改變了。現代化高科技加護病房能讓心臟和肺臟獨立運作，從此與負責心智和行動的大腦脫鉤。

為了因應這些科技發展，1968年著名的〈哈佛醫



學院特設委員會報告〉提出一個概念：死亡為不可回復之昏迷，亦即腦功能喪失。1981年美國的「統一死亡判定法」使這項調整具法律效力；此份報告定義死亡為不可回復之心肺功能停止或是不可回復之腦功能終止。簡單來說，如果你的腦死了，你也就死了。

整體來看，大部份先進國家都採用這項定義。死亡的落點從胸部移到了腦部，但實際的腦死時間難以判定。以腦死定義死亡，提出後很快就被廣泛接受，並且在2008年受到美國總統委員會再次認可。與爭議不斷的墮胎和生命起點議題相比，腦死定義算是達成共識。這或許也反映出另一個少有人注意的不對稱現象：人們苦惱於死後的事，卻鮮少思索出生之前自己從何而來？

絕大部份的死亡仍然發生在心肺功能停止之後，接著腦功能也會終止。神經學上的死亡（意指不可回復之昏迷、沒有反應、沒有腦幹反射或呼吸停止）在加護病房以外的地方並不常見，因創傷或缺氧造成腦損傷、或是中毒性—代謝性昏迷（例如服用類鴉片藥物過量）的病人，是常被送到加護病房的典型案例。

腦死或許是一項判定要素，但它並沒有簡化臨床診斷，因為生物程序在腦功能終止後還能持續，一具腦死的軀體確實能持續「活著」或靠機器「維持生命」數小時、數天或更久。對悲慟的親友來說，很難了解這到底是怎麼回事？他們在加護病房看到病人胸口起伏、有脈搏，臉色蒼白但看來正常，而且身體是溫的。他們的摯愛看起來比病房中某些病人還健康，現在卻成了法律上認定的屍體，一具有心跳的屍首。這個身體戴著呼吸器，暫時保持類似活著的狀態，因為它可能成為器官捐贈者，一旦醫療人員獲得許可，就會摘除這個身體的器官，用來幫助其他需要這些器官卻總是等不到的病人。

腦死的軀體還是能夠長指甲、月經來潮，而且仍然具備一些免疫功能來避免感染。已知有超過30名腦死孕婦案例靠著維生系統持續生命，讓身體繼續孕育存活下來的胎兒，並在宣佈腦死的數週、數月（有一名病例達107天）後產下胎兒。2018年《紐約客》雜誌的一則報導引起廣泛討論，美國少女麥克馬斯（Jahi McMath）

柯霍 (Christof Koch)

美國艾倫腦科學研究所的首席科學家兼主任、*Scientific American* 顧問，著有《生命自身的感受：為何意識遍佈卻無法計算》。



在加州的醫院被判定為腦死，家人將她帶回紐澤西州家中並藉由維生系統持續她的生命。從法律和目前的醫療共識來說，她已經死了。但是對愛她的家人而言，她又存活了將近五年，直到肝衰竭引發失血死亡。

儘管科技日新月異，在生物學和醫學上對於生與死這生命兩端的確切定義，仍缺乏一致且原則性的理解。2000多年前亞里斯多德在著作《論靈魂》提到，任何生物都不只是其身體部位的總和，他認為任何生命的「生魂」(vegetative soul)，不管是植物、動物或人類，就是該生物的形式或本質。生魂的本質具備攝取營養、成長與繁殖的能力，這些能力都仰賴身體，當這些重要的能力消失後，這個生命就不再有活力 (animate)，該詞的字根源自於拉丁文中的靈魂 (anima)；「覺魂」(sensitive soul) 則居中協調動物或人類感知世界與自己身體的能力，該詞最接近我們現在所稱的意識經驗；最後，「理性魂」(rational soul) 是人類獨有，負責理性、語言和說話能力，當然，這就是現在人工智慧演算法正積極模擬的能力。

機器學習、基因組學、蛋白組學和巨量資料等現今的顯學，讓我們出現自以為理解生魂的幻覺，並且掩蓋了我們對於如何解釋生魂的極度無知。從空間面向來看，我們該如何確切界定這個生命（衣服、牙齒植體和隱形眼鏡算是身體的一部份嗎）？從時間面向來看，又該如何區分生命的起點和終點？

需注意「不可回復」(irreversible) 一詞在當代神經學的死亡定義上意味什麼？由於對生命何時存活或死亡缺乏精確的概念性解釋，因此「不可回復」的概念也就取決於當時的科技。然而科技日新月異，在20世紀初，不可回復指的是呼吸停止，到了20世紀末，呼吸停止已成了可回復的狀態。很難想像腦死的定義是否也會如此？最近一項實驗顯示，這不只是荒誕的想像。

重點提要

- 數千年來死亡的定義不斷改變，原本指呼吸和心跳停止。
- 機械式循環系統問世，死亡判定依據移向大腦。現在死亡的定義是大腦失去功能，這是一種不可回復的昏迷狀態。
- 最近一項實驗顯示，斷頭後數小時的豬腦可部份回復，可能再次改變死亡的定義。

腦部活動：從腦死到部份回復

2019年，一項備受矚目的實驗在美國農業部核准的屠宰場進行，耶魯大學醫學院西斯丹 (Nenad Sestan) 領導的大型研究團隊利用數百頭豬進行了這項研究，結果發表在《自然》期刊。研究人員從豬隻的頭顱中取出大

腦，把頸動脈和靜脈接上模擬心跳的灌流裝置；此裝置負責讓含有多種人工合成化合物的人造血液循環流動，同時攜帶氧和藥物以保護細胞不受破壞，其中關鍵在於灌流溶劑的確切分子組成。這項裝置可比擬為美國每天有數千名病人使用的閉路式血液透析機，他們的腎臟失去功能，必須依賴洗腎機把毒素從身體中沖洗出來。

這些灌流裝置是必要的，因為一旦血液停止流入渴求能量的大腦，腦中的氧氣就會在幾秒內迅速耗盡，進而失去意識。大腦只要缺血或缺氧超過幾分鐘，就會造成不可回復的損傷，在顯微鏡下可看到細胞開始以各種方式崩解，例如組織受損、分解和水腫等。

耶魯團隊檢視了豬隻遭電暈、放血、斷頭後四小時的大腦活動狀態（聽起來很殘忍，但是屠宰場牲畜的待遇就是如此，這也是我成為素食者的原因之一）。他們記錄下各種生物指標，並和死亡四小時且沒有接受血液灌流程序的對照組豬隻大腦進行比較。

初步看來，有灌流溶劑維持生理活動的大腦似乎相對正常。當人造血液循環流動時，遍佈大腦組織中由動脈、微血管與靜脈構成的精密網路都出現適切反應；組織完整性沒有遭破壞，會導致細胞死亡的腫脹現象也開始消退；突觸、神經元和軸突看起來都正常；負責支持輔助神經元、但重要性常被忽略的神經膠細胞仍有功能；大腦持續消耗氧和葡萄糖，顯示一些代謝功能仍在運作。該團隊的論文標題大膽宣示他們的技術：〈死亡後數小時重新恢復大腦循環與細胞功能〉。

實驗結果中沒有看到類似腦波的腦電圖記錄。豬腦表面的電極沒有記錄到自發性的總體電生理活動：沒有看到深度睡眠時在大腦皮質中同步傳遞的慢波，也沒有突然出現脈衝後回歸平靜的「突發抑制」（burst suppression）電生理訊號。研究人員只看到平坦的總體等電位線，表示大腦沒有任何意識；從電生理活動來看，寂靜的大腦無法蘊藏具有意識經驗的心靈。而這正是耶魯團隊想看到的狀態，也是灌流溶劑中含有多種藥物可抑制神經元和細胞間突觸活動的原因。

我感到訝異的是：雖然豬腦沒有出現任何腦波，但是皮質中的神經元仍保有產生電生理活動與突觸活動的能力。耶魯團隊從豬腦中切下一小片神經組織，洗掉灌流溶劑後，透過微小電極施以電流刺激神經細胞，便觀察到上述結果。其中有些細胞適切產生了一次或一連串的典型神經脈衝，一般稱為動作電位或棘波（spike），那是所有高等神經系統快速傳遞訊息的方式。

這項發現引發一個深刻問題：如果在灌流時，

移除溶劑裡的神經活動抑制劑會如何？很有可能什麼都不會發生。只看到一些神經元仍保有某些激發能力，並不表示數百萬個神經元可以自發組織起來產生大規模協調作用。但在外力幫助下，例如某種大腦皮質電擊器，這些「死亡」的大腦可能重新啟動，產生類似活生生大腦中的生命節奏，我們無法排除這樣的可能性。

顯而易見的是，砍下任何具有感知能力的生物頭顱然後放血，對其福祉毫無助益。在如此重創後回復的大腦，很可能出現嚴重病變，例如重度癲癇、譫妄（delirium）、深層疼痛、憂傷、精神疾病等。任何生命都不該受到如此對待。耶魯團隊正是為了避免這樣的情況發生，才決定在研究中抑制神經元的功能。

這迫使我們去思考那個大家都想知道、卻不願面對的問題：這種處理程序能否用於人腦？在你反對之前，想想以下情境：如果你的孩子或伴侶溺斃，或用藥過量失去脈搏或心跳好幾個小時，你會怎麼做？現今，他們會被宣告死亡。但耶魯團隊的這項技術會不會改變未來的判定標準？這種處理程序是不是我們該追求的目標？

小鼠是目前最常利用的實驗室動物，與小鼠腦相比，豬腦很大。豬的大腦皮質和人腦一樣充滿皺褶，神經外科手術在進入人體試驗之前，醫師會例行先測試豬腦。因此，耶魯團隊的做法在技術上是可行的，原則上也做得到。但是我們應該這麼做嗎？

在我們深入了解回復的動物大腦是否會產生類似健康大腦的總體電生理活動，並且確定不會發生因疼痛、憂傷或悲苦而來的壓力反應之前，當然不該這麼做。這個領域應該先暫停腳步，並且和所有相關人員討論研究涉及的醫療、科學、法律、倫理、哲學及政治問題。

然而人們對於無情死神的恐懼一直都在，在地球上某個角落，遲早會有人開始嘗試暫時性地克服死亡。■

謝伯讓是美國達特茅斯學院認知科學博士，麻省理工學院腦與認知科學系博士後研究員。現為台灣大學心理學系副教授，研究主題為人腦如何感知世界。在臉書專頁「謝伯讓的腦科學世界」中定期分享腦科學趣聞，著有《都是大腦搞的鬼》和《大腦簡史》。

▶ 延伸閱讀

The Undead: Organ Harvesting, the Ice-Water Test, Beating-Heart Cadavers—How Medicine Is Blurring the Line between Life and Death. Dick Teresi. Pantheon, 2012.

《二十一世紀生死課》，沃瑞棋（Haider Warraich）著，中文版由行路出版社在2018年發行。

Restoration of Brain Circulation and Cellular Functions Hours Post-mortem. Zvonimir Vrselja et al. in *Nature*, Vol. 568, pages 336–343; April 18, 2019.

訂戶專享 《科學人》雜誌知識庫中英對照版

〈意識哪裡來？〉，《科學人》2018年7月號。

〈劃分意識的界線〉，《科學人》2018年3月號。

〈意識測量儀初登場〉，《科學人》2018年3月號。





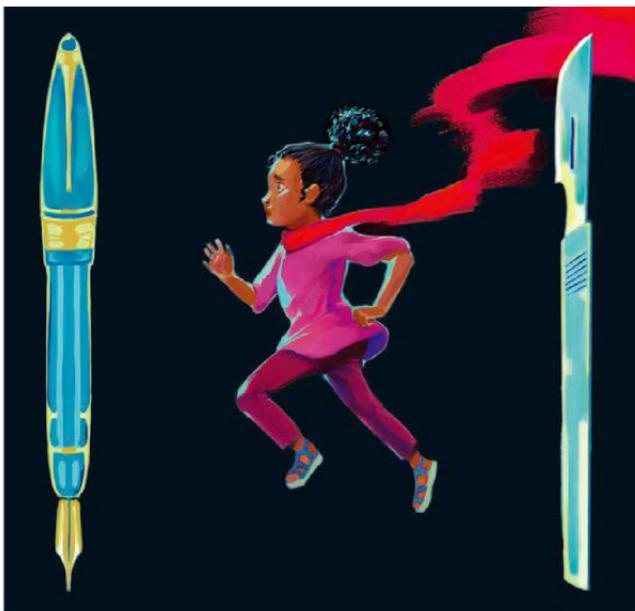
阿邁德 (Qanta A. Ahmed)

美國紐約大學朗格尼醫學中心的研究醫師、
獨立婦女論壇 (IWF) 的客座研究員。

禁絕割禮虐兒

這種會造成永久傷害的習俗還持續
在美國發生，不容我們忽視。

撰文／阿邁德 (Qanta A. Ahmed)



人類至今仍無法遏止一種違反人性的罪行。2019年7月，穆斯林進步價值協會主席桑內維爾德 (Ani Zonneveld) 要求美國明尼蘇達州議員歐瑪 (Ilhan Omar) 發表聲明，關切遭受女陰殘割或切除 (FGM/C) 的女性。歐瑪身為索馬利亞裔美籍穆斯林女性，不但沒有給大眾機會教育或承諾推動相關法律，反而指稱她已在其他場合公開反對割禮，並痛批桑內維爾德是拿歐瑪的宗教信仰做文章，才會提出這項要求，無視桑內維爾德本身也是伊斯蘭教信徒的事實。

身為穆斯林女性醫師，我認為歐瑪的回應無法原諒。2017年5月，時任州議員的歐瑪雖然投票贊成嚴懲FGM/C，態度卻相當保留，該法案最終沒有通過州議會表決。歐瑪也曾與其他議員共同發動一項決議案，譴責這種習俗。但是割禮至今並未禁絕，社會上依然有人認為女性接受割禮是遵從文化的表現。這種政治上的不作為，使美國境內眾多處於險境的女性無法求助司法。美國疾病防制中心 (CDC) 指出，隨著移民增加，受威脅的女性人數 (目前估計 51 萬 3000 人) 持續增加。

世界衛生組織 (WHO) 把FGM/C分為四類：切除範圍不等的陰蒂及陰蒂包皮；切除部份或全部陰蒂及陰唇；切除或重新定位內外陰唇以縮小或阻塞陰道口，或縫合陰門以防止陰莖進入並限制尿液及經血通過；燒灼等其他型式的殘害。

全球超過兩億名女性接受過FGM/C，主要在非

洲、中東及亞洲，其中八個國家普遍程度超過80%，索馬利亞女孩在4~11歲接受FGM/C，比率高達95%。

割禮美其名為女性包皮環割術，卻對健康沒有幫助。FGM/C會造成永久傷害，不僅使經期來潮及性交過程變得痛苦，生殖器也將終生畸形，可能影響性慾，還會導致初潮延遲、慢性骨盆感染、泌尿道感染、會引發大小便失禁的瘻管以及致命的敗血症。僑居美國的部落成員往往利用暑假返回非洲撒哈拉沙漠以南地區，對自己的女兒施以這種酷刑，「割禮季節」由此而來。

穆斯林家庭也在美國尋找願意執行割禮手術的醫療執業人員，穆斯林女性醫師納加瓦拉 (Jumana Nagarwala) 是美國第一位因執行割禮手術而被聯邦政府控告的醫師，經證實有兩名女孩從明尼蘇達州被送往密西根州接受FGM/C手術。2006年，一名衣索比亞移民在喬治亞州讓女兒接受割禮手術而被判有罪，為美國境內首宗定罪FGM/C的案件。

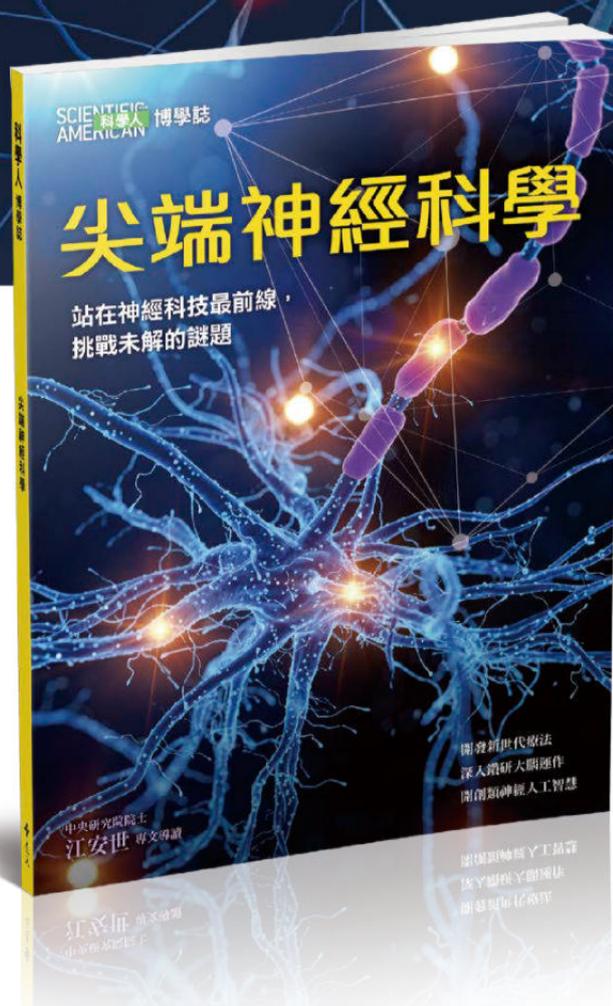
美國缺乏FGM/C相關數據，但從明尼亞波里斯西尼賓郡醫學中心的個案觀察估計，99%的索馬利亞女性接受過第三類FGM/C。美國醫學會認為這種手術是虐兒行為，明尼蘇達州的相關法律也視此為重罪，卻無法把家長拘留治罪。其他州的法律可能以協助並教唆這類犯罪或對孩童造成危害為由，對家長提出控告。歐巴馬政府執政期間，美國政府把送未成年人接受FGM/C定為犯罪，但美國大部份地區相關法令仍然不周全，只有10州有強制通報FGM/C的法規，35州把施行FGM/C手術視為重罪，但對監護人是否適任、以文化做為辯護理由以及「割禮假期」等問題，目前未能妥善處置。

獨立婦女論壇 (IWF) 正在請願，希望把FGM/C納入美國防止女性受暴法案 (VAWA)，該法案已修訂三次。IWF合理認為FGM/C是對女性施暴，必須納入VAWA才能讓法律更健全完備。

這件事情不容我們保持沉默！(林慧珍譯)

站在神經科技最前線，挑戰未解的謎題

尖端神經科學



特別邀請

中央研究院院士
清華大學特聘講座教授兼腦科學研究中心主任

江安世 專文導讀

人類的身體中變化最多也最複雜的就是神經系統，神經系統的主宰——大腦，宛如小宇宙，主宰了我們了解世界與思考的方式。科學家對大腦小宇宙至今仍有許多未知，等待我們繼續探索。本書從近年來神經科學研究技術的發展成果切入，介紹神經科學技術如何幫助人類面對疾病、開拓人類的科學視野，也探討如何應用神經科學知識建構類神經人工智慧的各種可能性。

精采單元

開發新世代療法、深入鑽研大腦運作、
開創類神經人工智慧



每冊定價**380元**
菊八開／全彩印刷／160頁

2019.10.1
全新出版



華立斯 (Claudia Wallis)

美國獲獎科學記者，曾任《時代》雜誌科學編輯與Scientific American Mind 總編輯。文章發表於《紐約時報》、《財星》以及《新共和》。

治療阿茲海默症的新思維

在一連串針對類澱粉蛋白的臨床試驗失敗後，該是治療策略改弦更張的時候了。

撰文／華立斯 (Claudia Wallis)

美國65歲以上每10人就有1人為阿茲海默症所苦。過去25年來，「類澱粉蛋白串流假說」一直主導阿茲海默症的科學思維。該假說認為，阿茲海默症源自腦內不正常類澱粉蛋白的堆積，破壞神經元與突觸而造成失智。有許多證據支持這項假說：第一，阿茲海默症患者的腦部會出現含有類澱粉蛋白的「斑塊」以及纏結的 τ 蛋白，這正是1906年德國病理學家阿茲海默



(Alois Alzheimer) 在他的病患大腦組織所觀察到的現象；第二，類澱粉前驅蛋白 (APP) 或處理APP的蛋白有遺傳缺陷的家族，常會出現早發性阿茲海默症；第三，表現過多類澱粉蛋白的基因小鼠常出現記憶問題，而抑制類澱粉蛋白堆積後會改善記憶力。

這些發現連同其他研究證據，使得贊助研發經費的機構與藥廠投入數十億美元，來研究針對類澱粉蛋白的治療方法。臨床試驗已測試過10多種藥物但接連失敗。同時，探討非類澱粉蛋白假說的研究人員卻常受冷落，不易爭取到經費也難以發表研究結果。科學記者貝格里 (Sharon Begley) 在STAT網站寫了一篇報導提到，類澱粉蛋白的研究人員「既無組織也不邪惡」，但其巨大影響力扼殺了其他不同方向的研究。

實際上真的有許多不同方向的研究！遺傳與其他研究證據指出，發炎與免疫失調是阿茲海默症的重要肇因——也有可能成為治療目標，這同樣也適用於血管方面的問題。其他可能包括腦部如何處理脂肪、葡萄糖、蛋白摺疊的途徑、腸道微生物溝通等方面的改變，以及病毒可能扮演的角色，這些令人眼花撩亂的致病途徑是否有交集、以及如何交集，則還是未知。

美國西奈山醫院伊坎醫學院認知健康中心的主任

甘迪 (Sam Gandy) 說：「我不認為這些致病原因之間有明顯的線性因果關係。」主持西奈山醫院阿茲海默症研究的精神病學家沙諾 (Mary Sano) 說，當為阿茲海默症選擇治療目標以介入時，「我們不能只針對某個系統，而是必須盡可能嘗試越多目標越好。」

甘迪與同事正探討幾種途徑。2018年他們發表一篇有趣的報告指出，某些單純疱疹病毒會過量出現

在阿茲海默症病患的腦部，可能影響了與失智相關的人類基因表現。他也以阿茲海默症的齧齒動物模式，測試一種可以促進海馬回突觸生長以及增強腦功能的BCI-838分子。根據2019年的一項分析指出，目前有96種藥物正在進行臨床試驗，試圖介入阿茲海默症病程，其中有60%的藥物針對類澱粉蛋白以外的目標。美國國家老化研究所 (NIA) 於2019年10月公佈了一項7300萬美元的新研究，目標是加速研發多樣化藥物。

雖然如此，NIA並沒有放棄研發抗類澱粉蛋白的藥物。NIA主任羅德斯 (Richard Hodes) 相信，這類藥物有助於預防早發性阿茲海默症高危險群（例如具遺傳突變或唐氏症）罹患失智。但對較常見的阿茲海默症患者，阻斷類澱粉蛋白也許不是那麼關鍵、或者不足以預防失智。因為這類患者除了斑塊與 τ 蛋白纏結之外，通常都會有腦血管病變，而且可能伴隨其他與類澱粉蛋白無關的老化相關變化。若不想罹患阿茲海默症的相關病變，可能需要更仔細的診斷，以及如沙諾所說的「更個人化的醫療」。

在這之前，我們能做些有益於腦部的事：控制血壓、做做認知訓練、認真看待規律運動以及（羅德斯會說）志願加入臨床試驗。（黃樂祺 譯） SA

**羅許 (Wade Roush)**

美國自由記者、播客平台 Hub & Spoke 的共同創辦人、播客節目 Soonish 的主持人與製作人，主題涉及科技、文化、新奇事與未來。作品散見於《MIT 科技評論》、Xconomy 網站和 WBUR、WHYY 電台。

學著愛上塑膠

在某些方面，這種行為其實對環境有益。

撰文／羅許 (Wade Roush)

「生物可分解」(biodegradable) 塑膠的效果並不符合預期。你的紙吸管或金屬吸管對解決塑膠污染問題只是杯水車薪，除非你真的重複使用了幾千次，要不然標榜環保的布製購物袋比傳統塑膠袋更容易危害環境。換句話說，我們對於塑膠和環境的很多想法都是混亂的，這可能會妨礙我們對抗全球暖化。

以吵得沸沸揚揚的一次性塑膠袋和吸管為例，保守的英國雜誌《旁觀者》稱之為「道德恐慌」，此舉不出所料但十分正確；這股喧囂促使餐館老闆採用由生物可分解材料製成的杯子和器皿。有一種生物可分解材料稱為聚乳酸 (PLA)，這種聚酯源自澱粉植物，包括玉米和甘蔗。廣為流傳的迷思是，你可以安心把生物可分解材料製品丟到林地或海裡，微生物會把它們分解成原料，然後神奇地重生為雛菊或海馬。

沒那麼神奇！在美國和歐洲，生物可分解的技術標準大多跟工業堆肥有關。把塑膠製品放進堆肥容器，再丟入一些微生物，溫度調高到 50~60°C，如果 90% 材料在 180 天內都釋出二氧化碳，就稱為「生物可分解」或「可堆肥」。

換句話說，生物可分解材料是刻意設計成在材料生命週期的尾聲把碳排放回大氣。更糟的是，如果生物可分解塑膠最後丟進缺氧的掩埋場，厭氧分解會讓它釋出甲烷，甲烷的全球暖化潛勢 (GWP) 是二氧化碳的 34~86 倍。如果你把生物可分解材料丟進海裡，它們會分解成細小碎塊，並在明顯降解前就讓海洋動物窒息。

我們製造了驚人的塑膠量：全球一年大約 3 億 8000 萬公噸，幾乎都以化石燃料為原料。因此，不難理解為何消費者會固守 1980 年代時提出令人心安的概念：精

心設計而製造的塑膠在多年之後會消失於環境中。但事實上，人們生產的塑膠當中有 60% 堆在掩埋場，或是成為廢棄物。

從氣候科學家的觀點，這或許是好事。當然，把這麼多的塑膠廢棄物丟到陸地與海洋生態系是罪惡，但我們無法短時間內擺脫對塑膠的需求：其一，它在汽車和飛機上是更輕的材料，進而節省燃料；其二，塑膠可

做為人工碳匯，這也是我的主要論點。如果我們徹底提取地面的碳，把它放在能保存 400 年的汽水瓶，更甚於放進汽車裡的引擎。

如果我們想要拯救地球，就不要再糾結於生物可分解，而是投資生物塑膠。植物透過光合作用把水和大氣中的二氧化碳轉化成葡萄糖，再轉變成澱粉和纖維素，這些物質經過處理都能製成塑膠。PLA 就是其中之一，但它在設計上是要製成堆肥，頂多達到碳中和。這領域最令人興奮的研究聚焦在生物不

可分解塑膠，例如聚對酞酸乙二酯 (PET)，可口可樂公司的植物環保瓶就是用這種材料。現行的植物環保瓶在 2009 年上市，使用的 PET 含有 30% 的植物成份。可口可樂和百事可樂都宣佈要採用 100% 由植物衍生的 PET 來製造瓶子，不過至今都仍未問世。

聯合國跨政府氣候變遷研究小組 (IPCC) 指出，為了控制全球暖化、不超過前工業化水準的 1.5°C，理想狀況是在 2050 年之前從大氣中移除幾百億到幾千億公噸的二氧化碳。如果從 2020 年開始，全球都轉而使用生物不可分解的生物塑膠，接下來 30 年固定的碳可超過 100 億公噸，這會是好的開始。當我們談論塑膠，思考應該要更有彈性。(鍾樹人譯) SA





涂費克奇 (Zeynep Tufekci)

美國北卡羅來納大學資訊與圖書館科學學院副教授，經常在《紐約時報》發表文章，著作《推特與催淚瓦斯：經網路連結抗議的威力與脆弱》於2017年出版。

富人的太空夢

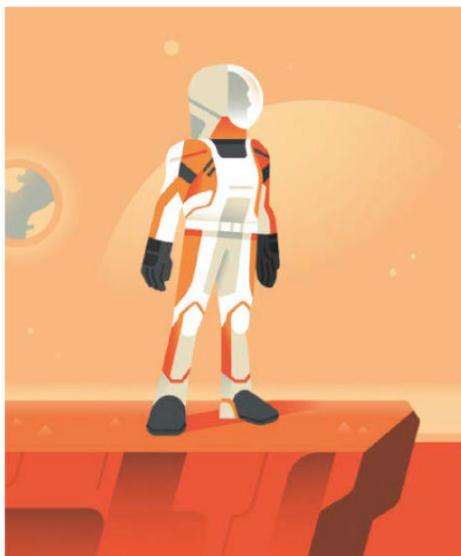
古典科幻小說啟迪了許多人，讓人發現現實世界之不足，從而將其變得更好。

撰文／涂費克奇 (Zeynep Tufekci)

創辦特斯拉 (Tesla) 與太空探索科技公司 (SpaceX) 的億萬富豪馬斯克 (Elon Musk) 正準備買下美國德州只有幾十位居民的博卡奇卡鎮 (Boca Chica) 所有房產，以便使用該地做為發射太空船前往火星的基地。他說自己可在10年內送人登上火星。

亞馬遜公司的執行長貝佐斯 (Jeff Bezos) 也擁有一家太空飛行公司藍色原點 (Blue Origin)，他視該計畫為未來太空移民的踏腳石。貝佐斯預見未來將有上兆人口住在太陽系其他地方，而把地球當成一座公園。已逝的微軟共同創辦人艾倫 (Paul Allen) 成立了平流層發射系統公司 (Stratolaunch)，也著眼於太空旅行。此外還有布蘭森 (Richard Branson) 的維珍銀河 (Virgin Galactic)；雖說布蘭森並非來自科技業，但也能算上一份。這些人都擁有太空專業領域以外的事業，為什麼還想花幾十億美元把人送進太空呢？理由之一是地球受到氣候變遷及核子戰爭的威脅，上太空是備用計畫。然而載人前往火星可是危險重重，其中最主要的是目前還沒有辦法保護人類經年累月在深太空旅行時，免於輻射的不良影響。就算抵達了目的地，缺少磁場或大氣的火星環境仍危機四伏。同時我們也不清楚，把數以公噸計的補給品 (只能勉強維持人員存活) 一併送達火星的計畫能否成功，甚至是否可行。

即使如此，有夢最美，不是嗎？當然，但有錢人的夢想事關重大。貝佐斯、艾倫及馬斯克都曾提及，他們對科幻小說的熱愛激發他們投資太空事業。貝佐斯於夏日假期閱讀艾西莫夫 (Isaac Asimov) 及海萊因 (Robert A. Heinlein) 等人的小說；艾倫深愛其孩童時期收藏的



科幻小說，當他得知母親把他的書都賣了，又重新購置了整批收藏。

曾為科幻小說迷的我心有戚戚焉。但最好的科幻小說不只是探索未來或虛幻科學的聰明工具而已，它還是科學、技術與社會互動的產物。科幻小說描繪的虛構場景可讓我們對當今社會有更多了解，但有時必須稍微犧牲科學的現實性。例如勒瑰恩 (Ursula K. Le Guin) 的精彩小說《黑暗的左手》描寫了假想星球 Terra (也就是地球) 派遣使節到 Gethen 星球，後者居民無明確性別之分。

經由書中英雄與一群「雙性」物種的相遇，最終讓讀者質疑人類有關性別的文化規範。就一本1969年出版的小說而言，可說是開創性十足。

有時科幻小說被歸類為逃避現實文學，但最好的科幻小說正好與之相反。對我來說，科幻小說中科學幻想的部份並不是最有趣的，而是其中擴展的想像讓我們發現自己與所處社會之不足，從而將其變得更好。

科學與藝術長久以來或多或少得到有古怪興趣的有錢人資助，兩者組合一向好壞參半。身為億萬富豪大概不難碰上慫恿他們花錢去追求太空大戲的人士，但那要嘛因為科學限制而無法實現，要嘛就是以災難告終。

更重要的是，今日的科技富豪透過經營其公司而改變人們的生活，方式是依他擁有的巨大財富來繳稅回報社會 (目前的稅額相當少)，以及經由投資來解決目前威脅人類的問題。這麼做需要點想像力，但那可不是我們在孩童時期閱讀的科幻小說封面所描繪的世界，而是讓我們擴大視野並且更加用心思索，如何了解在浩瀚宇宙中脆弱、淺藍色但適合我們居住的這個小點，並將其變成更適合生命的所在。(潘震澤譯) SA



米爾斯基 (Steve Mirsky)
從地殼板塊與現今位置相距91公分時，就開始撰寫「反重力思考」了。他也主持 *Scientific American* 的「科學訪問秀」。

凡走過必留下痕跡

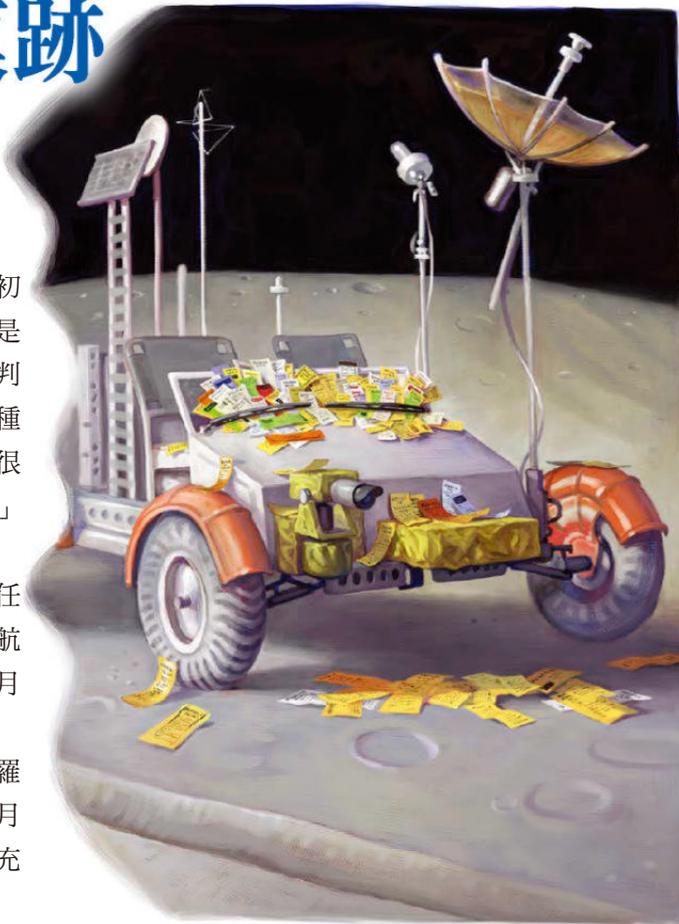
人類到處亂丟垃圾，連月球上也不例外。

撰文／米爾斯基 (Steve Mirsky)

我們從推特上學到許多冷知識，例如2018年10月初我發現，若想知道肺癌療法 anti-PD-1 / anti-PD-L1 是否有效，可從患者的白頭髮是否恢復年輕時的色澤來判斷；科學家在美國加州的莫諾湖 (Mono Lake) 發現八種線蟲，儘管湖水中含有高濃度的砷；還有美國總統川普很認真地發推文說：「民主黨仍持續干預2016年的選舉。」沒想到這場獵巫行動會變成一齣穿越劇。

此外，我從新書《人類的一大步：不可能的登月任務》作者費希曼 (Charles Fishman) 的推文中得知，美國航太總署 (NASA) 在2012年公佈一份列表，記錄遺留在月球上的人造物。

我針對這些太空垃圾設計一份小測驗：從每次阿波羅登月任務留下的數百件垃圾中選了四件，加上一件不在月球上的物品，你的任務是找出這件物品，答對會讓人充滿正能量 (答案附於本頁)。(周坤毅 譯) SA



阿波羅 11 號：

- 糞便收集器
- 月球套鞋
- 鐵鎚
- 鉗子
- 奧德林 (Buzz Aldrin) 的蜂鳴器 (Buzzer)

阿波羅 12 號：

- 糞便收集器
- 電視變焦鏡
- 彩色電視攝影機
- 電視轉接線
- 1953年由奧斯卡獎得主伯恩斯坦 (Elmer Bernstein) 配樂的經典科幻電影「月亮上的貓女」(Cat-Women of the Moon) 錄影帶

阿波羅 14 號：

- 糞便收集器
- 毛巾
- 登月艙返航段
- 日晷
- 頁斯門 (Yesman)

阿波羅 15 號：

- 被動式地震實驗平台
- 濕紙巾
- 月塵刷
- 月球車
- 蒸便器 (2004年由班史提勒、傑克布萊克、艾米波勒和奧斯卡獎得主瑞秋懷茲及克里斯多佛華肯主演的電影「賤錢眼開」(Envy) 中，能讓大便蒸發的噴罐)

阿波羅 16 號：

- 糞便收集器
- 衛生紙盒
- 高增益天線
- 夾鉗器
- 米飯香料

阿波羅 17 號：

- 糞便收集器
- 殺菌軟膏
- 後視鏡腕帶
- 指甲剪
- 只吃指甲就能存活的水熊蟲

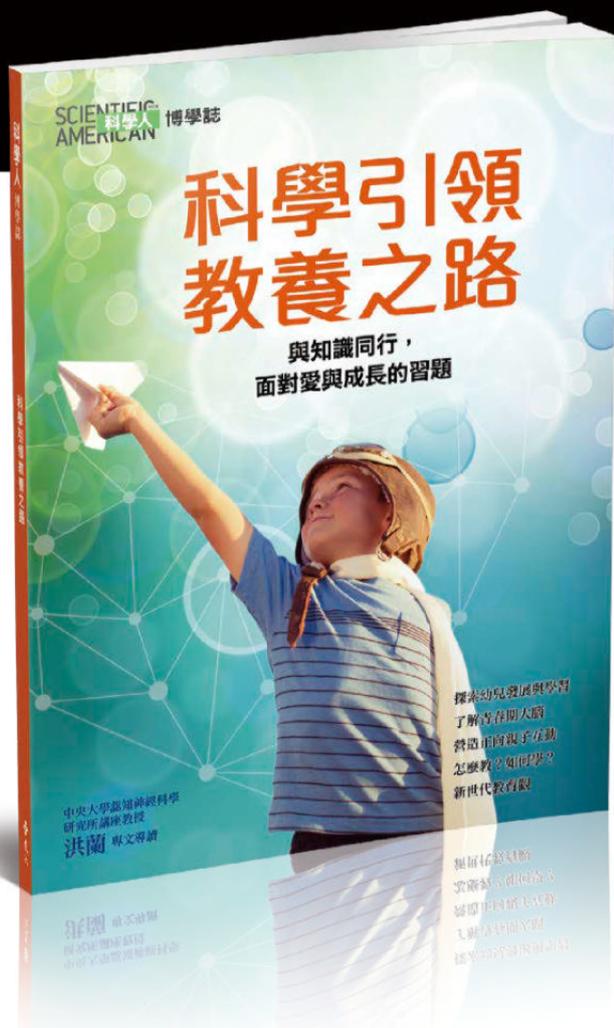
加分題：

- 為什麼阿波羅 15 號的太空人沒把糞便收集器留在月球上？

阿波羅17號：水熊蟲。但誰也不敢打包票。
料，不過加點番茄紅花和小豆蔻會更好吃。
阿波羅16號：米飯香料。米飯不一定要配香
進行分析。」希望分析地點通風良好。
集糞便，儲存在食物保鮮盒，於任務結束後
發佈的新聞稿指出：「太空人用塑膠密封袋收
任務不需要它。加分題答案：1971年NASA
阿波羅15號：蒸便器是虛構產品，況且這次
了應響蟲 (yes-men)。
種東西，但許多組織、公司與總統內閣充滿
阿波羅14號：根本沒有頁斯門 (Yesman) 這
女兒都曾出現在電影嗎？
華 (Ron Howard) 的弟弟、父母、太太和夫
13號」(Apollo 13)。你知道該片的導演朗霍
阿波羅13號：請參考1995年的電影「阿波羅
空艙的負重，因而浪費燃料。
放棄統在1969年還十分原始，會大幅增加大
阿波羅12號：「月亮上的貓女」。錄影帶和播
個叫他騙子和膽小鬼的挑釁者遭遇的一樣。
激怒他，他會給你正面一拳，就像2002年某
手，但沒有被電到。如果你用登月陰謀論來
阿波羅11號：奧德林的蜂鳴器。我和他握過
解答：

與知識同行，
面對愛與成長的習題

科學引領 教養之路



特別邀請

中央大學認知神經科學研究所講座教授

洪蘭 專文導讀

本書不會教你如何讓孩子贏在起跑點，但會讓你讚歎嬰幼兒與生俱來的學習能力，以及天生是語言學家、統計學家、物理學家和實驗家的本質。本書不會告訴你如何使頑劣、過動、叛逆的孩子變乖、變聽話，使退縮、焦慮、缺乏自信或學習興趣的孩子，成為才智兼備、成績優異的菁英；而是讓你了解這些行為和情緒背後的生理成因及心理機制，給予指引和建議，陪孩子走過青春風暴和因應深植腦海的憂懼。然後，身為大人的我們就會知道，正確的知識就是教養的後盾。最後，在孩子的成長過程中，你也成長了。

精采單元

親親寶貝·青青子衿·惶惶少年

2019.8.1
全新出版



每冊定價**380元**
菊八開／全彩印刷／160頁

春之蝶舞曲 杉谷琉灰蝶

撰文／徐堉峰



從護照上的蝴蝶印記，就能窺見台灣人對蝴蝶的特殊情感。過去台灣擁有「蝴蝶王國」的美名，就算平日與自然生態關係疏離的人，也知道台灣豐富且世界知名的蝴蝶資源。

我從小就與蝴蝶結下不解之緣，後來如願以償進入台灣大學植物病蟲害學系昆蟲組求學。當時的我只懂一點皮毛，加上昆蟲界流行一個說法：「台灣的蝴蝶經過外國人幾十年的努力，已經沒有未知的種類了。」心裡猶豫著要不要趕潮流，投向當年最熱門的生物化學或分子生物學領域，卻在大二寒假一次北橫遊意外發現杉谷琉灰蝶台灣亞種（*Celastrina sugitanii shirozui*），讓我開始覺得台灣蝴蝶的分類和生物學研究還是有未竟之處，值得繼續投入。

初見蝶影

杉谷琉灰蝶是我發現的第一種「新蝶」，過程十分「驚喜」。當時高中死黨的妹妹，聽說我和好友常為了找蝴蝶造訪深山老林，學音樂的她以為很浪漫，希望跟我們

外出飲水：杉谷琉灰蝶雄蝶會到濕地吸水，由於翅面底色很白，顯得醒目；雌蝶則通常在樹冠上活動、不易觀察。台灣最容易觀察杉谷琉灰蝶的地方是北橫公路中段。

去瞧瞧，正好大學同班同學也以為好玩，提議趁著寒假帶他們跑一趟。儘管我心裡嘀咕寒假哪有蝴蝶，還是規劃了一趟北橫遊。

沒有交通工具的幾名大學生坐著老舊的客運，一路顛簸到桃園拉拉山山腳下的下巴陵，再步行去宜蘭的明池。儘管天公作美、陽光燦爛，2月份的北橫公路確實「蝶況」欠佳，一路上只見到朱紅色的緋蛺蝶（*Nymphalis xanthomelas*）和色澤黯淡的東方喙蝶（*Libythea lepita*），兩種蝴蝶都是以成蟲態休眠過冬，所以翅膀殘破、色彩不鮮明。

兩位男同學因沒蝴蝶看，越走越快，我則努力細看植物上有沒有昆蟲，腳步比較慢，最終分成前後兩小隊。走到萱源附近，死黨的妹妹需要解手，找了一會兒才見到公路邊有從山坡向下流的小溪澗，她攀爬上去找隱蔽場所「解決」。我在路邊等候時，見到琉灰蝶類（*Lycaenopsis* group）的藍色小蝶沿著小溪飛舞，偶爾

還降落在溪水淹漫的路旁吸水。由於台灣的琉灰蝶類蝴蝶有好幾種，外觀都很接近，我沒太在意，只是漫不經心地採了五隻。

下山後把採到的標本取出來檢查，越看越覺得不對勁：牠們的斑紋和色彩似乎和我以前採過的種類有所不同，也和文獻資料中已知的台灣琉灰蝶類蝴蝶不一樣，反而和一種分佈在日本和中國大陸的溫帶性琉灰蝶杉谷琉灰蝶（*Celastrina sugitanii*，一年只發生一世代）花紋有些相似。不過溫帶性蝴蝶分佈到屬於亞熱帶的台灣往往棲息海拔偏高，而北橫一帶海拔並不高，加上當時採到的標本比起其他地方的杉谷琉灰蝶族群，體型來得大、翅腹面底色也較白，所以無法肯定是溫帶性琉灰蝶杉谷琉灰蝶。

抽絲剝繭

當時我正在摸索昆蟲分類研究不可或缺的交尾器解剖技術，練習到一定程度後，便大膽地解剖這種身分不明的北橫琉灰蝶標本，結果發現牠的雄蝶交尾器，確實和杉谷琉灰蝶無二致。研讀相關資料後，又發現中國大陸及喜馬拉雅地區還有一種翅紋及交尾器都和杉谷琉灰蝶非常近似的種類，稱為華西琉灰蝶（*C. hersilia*）。

我厚著臉皮把北橫琉灰蝶標本照片寄給當時的灰蝶研究泰斗、英國蝶類學者艾略特（John N. Eliot），詢問他：「這些北橫琉灰蝶有沒有可能是華西琉灰蝶？」很快便收到艾略特的回信，他對於近似杉谷琉灰蝶的蝴蝶在台灣發現，感到相當驚訝，但他實在無法只憑外觀判斷種類。因為兩者最有趣的差別是杉谷琉灰蝶一年只發生一代，而華西琉灰蝶起碼有兩代以上。

接下來的兩、三年，我幾乎每個月跑到北橫及拉拉山觀察，卻從來沒有在早春以外的月份見到這種灰蝶。最終我判定這些在北橫發現的琉灰蝶屬於杉谷琉灰蝶，而翅紋和體型的差異足以認定是新亞種。

1987年，我在大學畢業前夕把杉谷琉灰蝶台灣亞

關於作者

徐璋峰是台灣師範大學生命科學系教授，研究類群以蝶蛾類為主，主題包括分類、生態、生物多樣性及保育，人生哲學是「為研究蝴蝶當教授，不為當教授而研究蝴蝶」。

杉谷琉灰蝶小檔案

- 又稱杉谷琉璃小灰蝶，學名 *Celastrina sugitanii*，種小名 *sugitanii* 獻名給最初採集者杉谷岩彥，英文名 Sugitani's Hedge Blue 也是向他致意。
- 台灣亞種學名 *C. sugitanii shirozui*，獻名給日本蝴蝶大師白水隆。
- 分佈於日本、朝鮮半島、中國大陸中西部及台灣，是有名的春蝶，任何地方的成蝶都只在冬寒乍歇的早春活動，時間約一個月左右。
- 棲息在常綠闊葉林，寄主植物都是高大的喬木，產卵位置在樹冠高處的花苞上，幼蟲只以花苞為食，等花凋零時便成熟化蛹，並以蛹態蟄伏到下一年春天方才羽化成蝶。

種的發現寫成論文，發表在日本鱗翅學會會刊《蝶與蛾》（蝶と蛾），亞種名獻名給對台灣蝴蝶研究有劃時代貢獻的日本九州大學教授白水隆。對我而言，這種蝴蝶的發現和發表開啟了我對蝶蛾分類學、系統學及生物學的研究之窗，是我研究生涯真正的開端。

物候之謎

雖然台灣的杉谷琉灰蝶發現已經過了30多個寒暑，但我們對牠的認識依然有限。杉谷琉灰蝶和大部份蝴蝶一樣，出沒在溪邊濕地的多半是雄蝶；牠的雌蝶至今少有觀察或採集記錄，因此生態習性所知有限；幼蟲的寄主植物目前已知只有山茱萸科的燈臺樹（*Swida controversa*），這種植物的花期很短，一年當中只有春天開花。杉谷琉灰蝶的幼蟲只取食燈臺樹的花和花苞，因此幼蟲期也很短，等燈臺樹花期結束，幼蟲便在落葉下化蛹，度過漫長的夏、秋、冬季，直到次年2月才羽化成蝴蝶。

成蝶大約到3月底至4月初便消聲匿跡，前後大約只有一個半月的活動期。杉谷琉灰蝶除了在中部出沒，後來也有人在台灣中南部山區發現牠們的身影。因燈臺樹僅生長在北部，中南部的杉谷琉灰蝶幼蟲應該是取食不同的植物，有可能是與燈臺樹同屬的桤木（*S. macrophylla*）。不過因為日本的杉谷琉灰蝶還會取食其他科植物，因此也不能排除台灣的杉谷琉灰蝶也取食山茱萸科以外的植物，這個謎還待解決。



1



2



3



4

安能辨我是雌雄?杉谷琉灰蝶雄蝶翅腹面(1)底色白色綴黑色斑點，前翅中央四個斑點排成兩列，後翅後側斑點像個小勾；背面(2)呈深紫色，外緣鑲細黑邊。雌蝶翅腹面(3)斑紋、色彩和雄蝶相似；背面(4)黑褐色部份較多，翅面有藍色和白色紋。與近親相比較，除了翅膀腹面斑點有差別外，杉谷琉灰蝶背面的金屬光澤色調特別深而呈深紫色。

琉灰蝶類蝴蝶在熱帶地區有較高的物種多樣性，大部份種類是一年多代；分佈在溫寒帶地區的種類不多，但許多種類仍保持一年多代，杉谷琉灰蝶所屬的琉灰蝶屬(*Celastrina*)便是個好例子；牠在溫帶地區的代表種琉灰蝶(*C. argiolus*)分佈遠及歐洲，但就算在那裡也是一年多代。杉谷琉灰蝶的姊妹種華西琉灰蝶是一年多代，杉谷琉灰蝶如何演化出一年一代，是個值得研究的

課題。華西琉灰蝶的生活史和寄主植物至今也還未解，也許在充份了解牠的生物學後，可以解答杉谷琉灰蝶物候(短時段的生物現象)的演化之謎。SA

➡ 延伸閱讀

日本蝶類學會的杉谷琉灰蝶簡介：<https://bsj.blog.ss-blog.jp/2017-04-09>

《台灣蝴蝶圖鑑(中)：灰蝶》，徐增峰著，晨星於2013年出版。

《台灣蝶圖鑑(第三卷)》，徐增峰著，台灣省立鳳凰谷鳥園於2006年出版。

麻醉藥發明簡史

讓人暫時失去意識的神秘藥物！

人類自有歷史開始，就在尋求能解除疾病痛苦的醫藥，其努力不懈的程度讓人感動得想落淚。從動植物、礦物到現代人根本無法想像的穢物，所有東西都是醫藥探索的對象。

那麼，外科的發展又是如何？我翻閱資料後得知，早從歷史之初，人類就開始進行難度高得令人驚訝的手術。從新石器時代遺留的頭蓋骨殘骸來看，就可發現曾執行過開顱手術的痕跡。在美索不達米亞文明中，外傷和骨折的手術就不用說了，甚至還曾執行過膿瘍、結石的手術。也發現他們曾使用青銅製手術刀、手術用的鋸子、穿孔用的鑽子等，可窺見當時已經擁有相當高水準的醫療技術。

劇烈疼痛妨礙醫學進步

在古代印度，專業醫師會治療疝氣、痔瘡、處置骨折、拔牙、白內障手術等。令人訝異的是，他們甚至會替在戰爭中失去鼻子的人做整型手術。比如削除臉頰的一部份後，拿來移植在鼻子上，這種高難度的技術，在當時就已經確立。

但是對患者來說，這些手術有個困難點，那就是會伴隨劇烈的痛苦。不過才短短100多年前，外科手術是數個人壓制著大哭大叫的患者，同時一邊進行的。直到19世紀前半葉，當時的手術室不是設在地下室，就是在高塔的最上層。為什麼？當然是為了不讓患者的哀號聲傳出去。一邊聽著痛苦掙扎的患者慘叫，一邊進行手術，這對醫師來說是非常辛苦的事。

在那個年代，有幾種方法可以緩和患者的痛苦，或者說不讓患者哀號。比方說，讓患者大量飲酒、服用鴉片，甚至連催眠術都用上了，但有時候連這些方法都完全無效。這時只好壓迫患者的頸動脈、使其昏厥再進行手術，或者更極端的方法似乎是拿硬物敲擊患者的頭部，讓他失去意識後再動手術。不用說，每一種手段都伴隨著巨大的危險，而且患者在手術過程中甦醒的可能性也很大。

手術所伴隨的疼痛，到底妨礙了多少醫學的進步、犧牲多少患者的性命？恐怕根本無法計數。如果無法進行手術，即使保住性命，也會讓生活品質大幅滑落。

以歷史上的人物來說，法國國王路易十六就是很好的例子。據說，他因為包莖導致性功能障礙，即使15歲就和瑪麗·安東尼（Marie Antoinette）結婚，卻無法生子。雖然他打算進行手術，但一看到手術用的刀械器具就怕得不得了，只能不斷推遲治療。直到結婚後第八年，22歲時總算才動手術。然而在這段期間，瑪麗皇后因為耐不住被丈夫漠視的寂寞，沉迷於宮廷內舉辦的奢華舞會。其中發生的數起醜聞，最後終於成為點燃法國大革命的火苗。如果當時有無痛進行手術的技術，歷史的方向或許多少會有所改變吧。

自古以來，人們就在尋求一種藥物，可以讓患者暫時失去意識，消去痛覺。古代羅馬的醫師迪奧斯科里德斯（Pedanius Dioscorides）曾經用紅酒燉煮曼德

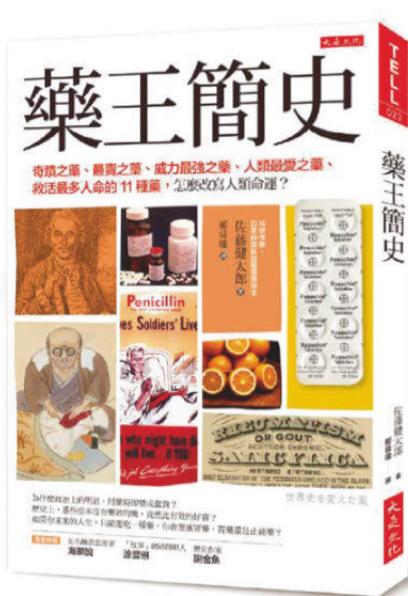
小檔案

書名：藥王簡史

作者：佐藤健太郎

譯者：鄭舜瓏

出版商：大是文化（2019年10月）



拉草 (Mandragora) 的根讓患者喝下，再進行截肢手術。曼德拉草的根部長得像人形，據說拔出後會發出哀號聲，聽到這種聲音的人會發狂而死。事實上，曼德拉草的根含有各種生物鹼，服用之後會產生幻覺、幻聽。根據服用劑量不同，或許有可能引發麻醉的效果，但詳細的處方沒有流傳下來。

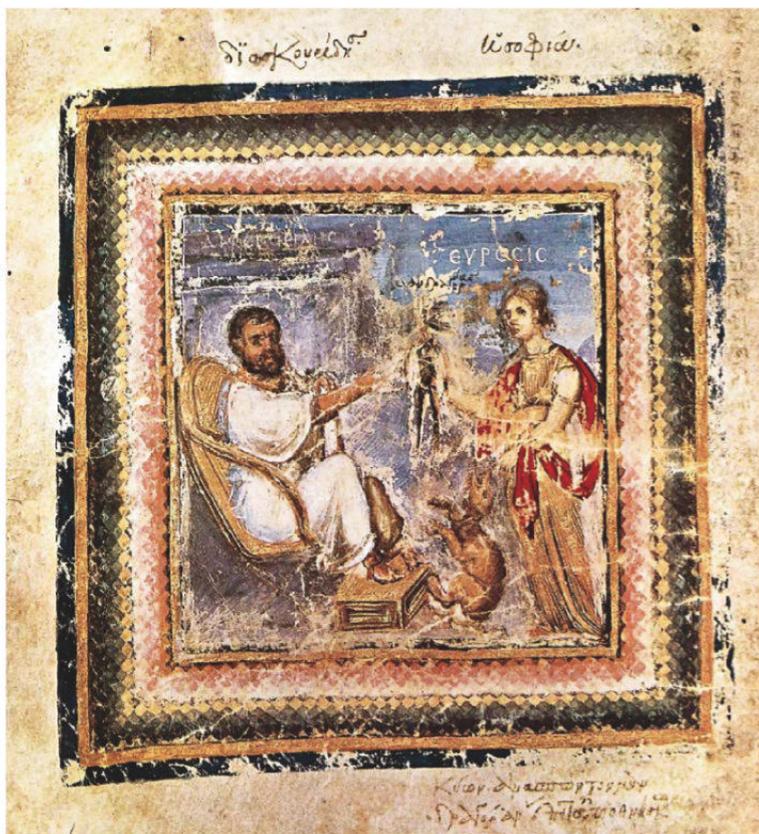
史上第一起全身麻醉手術

傳說中國東漢末年的名醫華佗曾使用名為「麻沸散」的麻醉藥。而有個人嘗試讓「麻沸散」重現於世，就是日本江戶時代後期的醫師華岡青洲。他出生於1760年的日本紀州名手庄（現在的和歌山縣紀之川市），在京都學習的他精通西洋、漢方兩種醫學，獨自研究麻醉藥。華岡青洲著眼於洋金花（與曼陀羅花同屬）這種植物。除此之外，他又加入烏頭屬等數種藥草，搗碎之後煎煮，最後完成的湯藥具有麻醉效果，他已經透過動物實驗確認了這一點。

即使對貓狗有效果，但是否對人體有效，又是完全不同層次的事。他想用人體實驗其效果，但因為太過危險而難以實行，因此煩惱不已。他的母親於繼、妻子加惠不願華岡青洲如此煩惱下去，願意做為實驗對象。但這場實驗卻讓華岡青洲體會到一場大悲劇，他的母親中毒死亡、妻子失明。有吉佐和子的小說《華岡青洲之妻》中詳細描述這個經過，因而廣為人知（不過這只是小說作品，裡頭包含許多虛構的要素）。

在家人以身殉道的協助之下，華岡青洲終於完成麻醉藥「通仙散」。1804年，他利用這種麻醉藥替患者進行全身麻醉，成功完成乳癌切除手術，一舉成名。達成了歷史上第一次有確切記錄、透過全身麻醉完成手術的壯舉。

即使是在現代，想要開發出某種類別中的首創醫藥，也極為困難。這就好像在做一題不知道有沒有解答的數學題。沒有人可以保證，某個概念是否真的可以開發成真正的藥。循著前人開闢的路走，和自己開闢一條



神藥降臨：女神手持曼德拉草交付醫師迪奧斯科里德斯。

路、最後抵達終點，這兩者的層級完全不同。很遺憾，以現狀來看，日本的藥廠很少有能力可以開發出這種「完全新創」(first-in-class)的新藥，大都是追在歐美藥廠的後面跑。想到這點，就不得不對華岡青洲的毅力感到佩服，他只憑藉著1500多年前的傳說，就成功開發出堪稱夢幻的藥品。

通仙散的主原料洋金花，含有生物鹼例如東莨菪素 (scopolamine)、莨菪鹼 (hyoscyamine)，前面提到的曼德拉草也含有這些物質。它和神經傳遞物乙醯膽鹼 (acetylcholine) 的結構有些相似，可以阻礙其作用，被用做抑制副交感神經的物質。因此如果大量服用就會中毒，但適量使用則可麻痺痛覺，可以用來麻醉。

華岡青洲雖然培育許多弟子，但嚴格禁止通仙散的處方外流，所以沒有普及開來。

也許是他考慮到通仙散毒性強，怕被經驗不足的人濫用、會有危險。也因此，日本的麻醉藥自此就沒有進一步的發展，最後連用生物鹼來麻醉的想法也消失了。

大概是因為這個原因，所以在歐美的醫學史書中，對於利用通仙散進行世界最早的麻醉大都隻字不提。日本麻醉科學會為了紀念華岡青洲的功績，在標誌設計上採用了洋金花的圖案。

和華岡青洲一頭栽進通仙散的研發一樣，英國也有人從完全不同的途徑，發現了具有麻醉作用的物質。致力於氣體醫學應用研究的化學家達維（Humphry Davy）拿自己做試驗，他吸入一氧化二氮這種氣體。這是由兩個氮原子和一個氧原子結合而成、結構有些奇怪的氣體。結果達維吸入後像喝醉酒一樣，暫時失去意識。

是誰發現了「麻醉」？

這項發現也傳到美國，變成一種娛樂使用的藥品，非常受歡迎。不久，使用一氧化二氮表演的秀，在各地的劇場上演。吸入這種氣體的人，不是在舞台上大笑，就是走路搖搖晃晃地到處鞠躬。也因為一氧化二氮具有這樣的作用，所以又稱之為「笑氣」。

1844年，美國康乃狄格州的牙醫威爾斯（Horace Wells）和名叫庫利（Cooley）的年輕人一起去看表演。庫利嘗試吸入一氧化二氮，之後開始發狂和身邊的人扭打起來，這時他的腳受了很重的傷、開始流出大量鮮血，但是他本人卻絲毫沒有意識到，直到氣體消耗掉為止，他都沒有感到疼痛。威爾斯察覺到這件事的重要性。他思忖若是把這種氣體應用在手術上，或許就能做無痛拔牙了。

威爾斯拿自己當實驗品。他請同為牙醫師的朋友幫忙，在自己吸入一氧化二氮、失去意識的狀態下，替自己拔掉已經蛀牙的白齒。結果威爾斯在拔牙的過程中都沒有醒來，醒過來之後也有一段時間都沒有感到疼痛。這項改寫外科手術歷史的大發現，就這樣誕生了。

不過在更早之前，達維就已經提出「一氧化二氮或許可以應用於外科手術」的看法。只是沒有人實際嘗試過，導致這40年之中，全世界的患者都要持續忍受手術中帶來的痛苦。

威爾斯想要大張旗鼓的發表這個結果，所以決定要公開實驗。但結果是慘烈的失敗。大概是因為威爾斯



妙手回春：華岡青洲為病患進行手術。

太過緊張了，在患者尚未充份麻醉的狀態下，就開始拔牙。結果，患者因為疼痛大叫，威爾斯則是在眾人轟隆隆的數落聲中被趕出房間。甚至到最後，他還不得不放棄牙醫這門行業。1848年，威爾斯去世，據傳聞很可能是自殺。

不過，在威爾斯最初實驗的兩年後，他的學生莫頓（William Morton）使用乙醚取代一氧化二氮，公開進行麻醉手術表演，結果獲得非常大的成功。1846年10月16日是值得紀念的一天，這一天人類終於可以脫離疼痛的恐懼，為外科學帶來長足的進步。

其實，推薦莫頓使用乙醚的是名叫傑克遜（Charles Jackson）的人物。而在這之前，朗（Crawford Long）就曾用乙醚麻醉患者，進行腫瘤切除手術而聲名大噪。結果，麻醉技術開發的先驅者這場爭奪戰，就成為四分天下的局面，彼此吵得不可開交。

同樣的時期出現同樣的發明，到底誰是第一個發明的人，這樣的爭論在科學的歷史上其實也出現過很多次。以這個例子來說，一氧化二氮這種物質發現後經過了數十年的時間，忽然大家在同一個時間發現它的麻醉作用，實在讓人覺得不可思議。這數十年的時間落差，或許是一個新的物質從被發現到受社會認識、使用於人

體為止所不可或缺的時程吧。

之後，新的麻醉藥三氯甲烷（chloroform，又稱哥羅芳、氯仿）登場，用來取代易燃性高、危險的乙醚。英國維多利亞女王在1853年生下第八子利奧波德（Leopold）王子，1857年生下第九子比阿特麗斯（Beatrice）公主，就是用三氯甲烷做無痛分娩，使得人們認識這項麻醉藥。自此到20世紀前半葉為止，三氯甲烷普遍被用做吸入性麻醉劑使用。

至於我們經常在電視劇中看到，加害者讓受害者吸入三氯甲烷、使對方昏厥的情形，事實上只吸幾秒鐘並不會讓人昏過去。大量吸入這種氣體或許會失去意識，但因為三氯甲烷的毒性很強，很可能會致命，危險性很高。現在已經有更安全的麻醉藥，在醫療第一線已經不再用三氯甲烷來麻醉了。

麻醉原理之謎

但是使用麻醉藥之時，只要搞錯一個步驟，就會直接致命，這一點至今依然沒有改變。畢竟讓人失去意識，有時甚至要抑制自主呼吸，在實施上當然很困難。在現在的手術中，手術的刺激越強，麻醉程度就要越深，越接近手術結束，麻醉程度也會漸漸變淺，麻醉醫師必須一邊監控患者的狀態，慎重微調。在日本，當你取得醫師執照，你可以稱自己是內科、耳鼻喉科、皮膚科等多種科別的醫師，但唯有麻醉科必須通過厚生勞動省的特別資格審查。麻醉醫師是需要高度特殊技能與觀念的專門職業。

歷史上與麻醉相關的最重大事件是什麼？我想應該就是麥可傑克森（Michael Jackson）的猝死吧。被稱為人類史上最成功藝人的他，於即將展開倫敦公演的2009年6月25日突然去世。

根據傳聞，麥可傑克森當時因嚴重的失眠所困擾，嚴重到使用一般的安眠藥都已經沒有效果了。超級巨星面對睽違十幾年的公開演出，那種壓力絕對超乎我們的想像。他希望能夠立刻失去意識，醒來時就像睡了一場好覺，於是要求他的專屬醫生開麻醉藥異丙酚（propofol）。

異丙酚是透過點滴靜脈注射的麻醉藥，顛覆了過去「麻醉就要採用吸入麻醉」的常識，是一種非常實用的

藥劑。但是，只要是麻醉必定伴隨著危險，就連這麼優秀的藥也不例外。根據麥可傑克森的醫師說明，他在投藥之後約有兩分鐘離開視線，之後麥可傑克森就已經停止呼吸。事實上，這位醫師根本不是麻醉專科醫師。

這個事件留下了許多謎題及疑惑。有一種陰謀論表示：「只是區區麻醉而已，怎麼會弄出人命。」但是麻醉藥和安眠藥完全不同，如果沒有在麻醉專科醫師細心照料之下使用的話，就十分有可能會發生像麥可傑克森一樣的事。

現在，日本國內實施全身麻醉的件數，一年約達250萬件。假如沒有麻醉藥，這當中有多少人會失去性命，有多少人會受到長期痛苦困擾。思及至此，所有醫藥之中，對人類貢獻最大的或許就是麻醉藥。

未來，人們應該會不斷研究出更棒的麻醉藥。不過真正的問題在於，麻醉藥持續廣泛應用了一個半世紀，但至今我們卻尚未完全了解麻醉的原理。如果我們不知道它的機制，要探索它就會顯得毫無頭緒。

吸入性麻醉所使用的化合物，結構大不相同。除了前面提到的一氧化二氮（ N_2O ）、乙醚（ $C_2H_5OC_2H_5$ ）、三氯甲烷（ $CHCl_3$ ）之外，目前已知的氙（Xe）、環丙烷（ C_3H_6 ）、氟烷（ $C_2HBrClF_3$ ）、異氟醚（ $C_3H_2ClF_5O$ ）等都具有麻醉作用。誠如各位所見，我們無法從這些化學式之間找出共通性。

雖然有許多學說，例如這些物質溶入細胞膜，使它的流動性產生變化、作用於GABA這個神經傳遞物的受體等；但相對地，反駁的論述也很多，目前尚未出現大家公認的決定性學說。如此被大量運用的麻醉原理，我們至今對它依舊不甚明瞭，確實讓人覺得有點不自在。但現今仍有許多研究人員，努力不懈地挑戰麻醉——這看似切身卻又充滿謎團的現象。

對現代科學來說，人的「意識」研究是解謎進度最慢的領域。既然麻醉直接與人的意識相關，我們不了解它的運作原理，或許也是理所當然。或者說，麻醉的研究很可能提供我們一把鑰匙，幫助我們解開人類心靈和意識這個最大的謎題。麻醉帶給人類的恩惠非常巨大，但也許未來還可以開創更多精采的可能性。❶

本文是摘錄自《藥王簡史》第五章〈每年數百萬使用，至今仍不懂原理——麻醉藥〉。

穿透宇宙的重力波

LIGO 揭示重力波源！

撰文／皮克 (Katie Peek)

2015年9月14日，位於美國路易斯安那州和華盛頓州兩個觀測站的雷射，感應到時空漣漪而同步搖動，自此開啟了一扇聆聽宇宙的新窗口。這兩座觀測站即是「雷射干涉儀重力波觀測站」(LIGO)，透過靈敏且強大的雷射，非常謹慎地去除地球運動的影響，因此能找出極微小的振動。這個訊號就是重力波(時空漣漪)，來自銀河系之外、距離地球14億光年的兩個黑洞合併。這是人類第一次偵測到重力波，也證明了黑洞可以與另一個黑洞互繞並合併。在這之後，LIGO又偵測到43個事件，使重力波變得司空見慣，LIGO團隊成員柏利(Christopher Berry)表示，逐漸累積的數據正協助天文學家了解宇宙中的各類天體。(邱淑慧譯) SA

最遠事件

2019年7月6日偵測到距離地球52億秒差距的兩個黑洞合併，是LIGO目前偵測到最遙遠的事件。

觸及浩瀚的宇宙這些事件的發生位置距離地球超乎想像地遙遠；銀河系直徑只有三萬秒差距。

中子星撞黑洞
2019年LIGO首度發現來自中子星與黑洞合併的訊號。截至2019年10月1日，已經發現五次這類訊號。

較近的碰撞
中子星的質量比黑洞更小，合併時造成的變化也較微弱，因此LIGO只能偵測到距離地球較近的中子星合併事件。

第一個事件
2015年9月14日首度偵測到重力波，來自銀河系之外的兩個黑洞合併。

圖例

標示LIGO至2019年10月1日偵測的44個重力波源，大致的方向和距離是相對於銀河系中央的小旋渦。

觀測時段

- O1 (2015)
- O2 (2017)
- O3 (2019, 尚未進行驗證)

事件類型

- ★ 兩個黑洞合併
- ◎ 黑洞與中子星合併
- 兩個中子星合併

質量

合併天體質量估計 (單位：太陽質量)

- 3
- 10
- 20
- 80

O3偵測的結果，還未計算天體質量，所以符號大小相同。

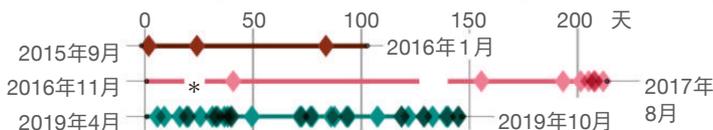
大約位置

要定出天文事件發生的位置，LIGO需要許多座觀測站，因此目前發現的天文事件可能是發生在某個區域(例如粉紅色圓圈)內。建造更多座觀測站，就可以更精準定位。

發現腳步加快

LIGO的第一輪觀測是在2015年，為期四個月，標示為O1，期間偵測到三個事件。O3偵測的數量激增為五倍(雖然有些可能無法通過科學驗證)。LIGO改善設定可能是提升偵測數量的原因。

- O1：3個事件
- O2：8個事件
- O3：33個事件 (截至2019年10月1日)



* 間隔表示至少中斷一個星期，該期間偵測器沒有運轉。

一起進入數位化的閱讀世界 帶著科學輕鬆讀

《科學人》電子雜誌提供您與平面雜誌相同的內容，不管在全球哪個角落，都可跨載具下載，立即閱讀；輕鬆收納，快速查詢，讓您隨時隨地沉浸在科學的世界裡！
目前《科學人》提供Zinio 版電子雜誌供您閱讀，適合眼球聚焦與手指驅動模式已數位化的您！



訂閱《科學人》電子雜誌一年12期 (ZINIO版)

總價3,360元

優惠價只要 **1,980 元**

Free

免費加贈《科學人雜誌知識庫》中英對照版（創刊以來全部內容）

Zinio 版電子雜誌

2000年3月創立於美國，專門提供『數位出版品』技術服務。是目前全球擁有最多雜誌內容的「電子雜誌發行平台」。

特色	可於手機、平板、電腦閱讀，可適用的載體最全面
閱讀軟體	Zinio Reader 4
適用載體	Windows PC / NB、MAC、iPad、iPhone、Android Smart Phone & 平板電腦
作業系統	Windows XP、Mac OS 10.3、Linux
軟、硬體需求	<ul style="list-style-type: none"> • Adobe AIR 1.5.3 or higher • Windows XP SP2 or later Recommended specifications: 2GHz Pentium, at least 1GB RAM, 1GB free hard drive space. • Mac OS X 10.6 or higher Recommended specifications: 1.83GHz Intel Core Duo, at least 1GB RAM, 1GB free hard drive space. <p>※ IE瀏覽器 9.0 以上版本 ※ Zinio Reader4 Beta 建於Adobe AIR 之中，安裝前必須先依步驟安裝Adobe AIR： http://www.zinio.com/apps/desktop.jsp</p>
網路連線	建議使用3Mbps下載頻寬



立即訂閱



※目前Zinio在中國地區無法使用（因中國對網站條件管制關係），但港澳地區仍是可以用，請在正式訂閱前先行試下載免費刊物，測試其網路環境是否可閱讀，建議於測試無虞後再行訂購。

減肥，從心開始

我們把食物加工，因而更容易獲得營養，卻也唬弄了大腦。

撰文／老編

「早餐吃調味穀物麥片配牛奶、外加白麵包，午餐吃即食義大利肉醬麵配半糖珍珠奶茶，下午茶來個肉桂捲；晚餐放鬆一下，則吃單人份披薩配水果酒。」我如此喃喃自語、思忖著自己的一日三餐。本期30頁〈胖在腦中央〉的責任編輯正指出哪些食物是過度加工，聽得我膽顫心驚，心虛下望自己的大肚臍。

每個月初，《科學人》編輯部都會討論 *Scientific American* 新一期文章，責任編輯分享自己查找到國內外相關研究的私房故事。參與這場會議的還有整合行銷部，彼此交換編輯觀點（文章特色）與大眾口味（市場動向），是每個月眾人腦力激盪、口沫橫飛的歡笑時刻。我聽聞〈胖在腦中央〉責任編輯的解說，超級加工食物可能阻礙了腸胃道與大腦的溝通，因此讓人想吃得更多。我嘴巴張得偌大、覺得實在不可思議：加工食物會讓人上癮？不過靜觀其他編輯卻不動聲色，彷彿這不是新鮮事。

不服氣的我，上網連到「《科學人》雜誌知識庫」，這裡可說是一座大寶庫，收藏了《科學人》近萬篇文章。我在標題檢索欄輸入了「上癮」，原來早在2013年10月號就有〈美食為何會上癮？〉，高脂肪和高糖份食物會刺激大腦，讓人過度進食，一旦我們吃越多這類食物，就無法自拔會一吃再吃，有如藥物成癮。天啊！內頁圖片正是我的下午茶。令我更加吃驚的是，同一期還有〈食物加工萬年史〉，引言就寫道：「加工是一股黑暗力量，促使肥胖流行病的散佈……。」內頁以食物輸送帶為圖，呈現了30種加工食物，包括古早時代的麵包、啤酒、醃菜，以及現代過度加工的午餐肉、雞塊、高果糖玉米糖漿等。把這兩篇文章與〈胖在腦中央〉湊在一起看，有種既美味又傷心的複雜感覺：我們發明了醃漬、發酵、冷凍、熟成等加工方式，因而容易獲得營養，卻也唬弄了大腦，還容易變胖。

說時遲，那時快。《科學人》主編拿著一本特輯敲



敲我的腦袋，大概是體

恤我老花眼看螢幕看到昏頭。《FOOD 舌尖上的科學》根本是人類對食物愛恨情仇的浪漫史，除了收錄上述兩篇文章，還有〈咖啡香大有來頭〉、〈香檳泡泡的金色魔力〉、〈眾神的食物 巧克力〉等，總共29篇文章，搭配美食照片、叫人口水直流。這本特輯很不一樣，不僅講美食，還講如何〈戰勝肥胖〉、破解〈減肥迷思〉和〈你曾聽說過的飲食傳言〉。老話一句，減肥的長久之道是基本的行為控制，簡單說就是控制吃美食的慾望、控制你的「心」。看來，為了對抗〈胖在腦中央〉，減肥就得從心開始。2017年11月號〈減重不能只算熱量〉就描述如何施行科學減重；大腦會產生飢餓感，提醒我們要進食，換句話說，避免飢餓感就能控制口腹之慾。多年的研究成果顯示，高纖和低升糖指數（GI）食物通常讓人較有飽足感，近年來吃天然食物的風潮，其來有自。

減肥是為了保持健康，要保持健康當然也需要運動。2014年12月號〈越坐越短命〉就提到，久坐可是會要人命，現代人能坐就不站的懶骨頭行為已經到了極致，基本上醒著的時間多是坐著，科學家發現多站就能降低肥胖、生病與死亡的風險，怪不得《科學人》編輯部總是有人站著看稿。2013年12月號〈15分鐘的延壽功效〉也說明，現代人運動的要點是持之以恆，每天至少15分鐘的中度運動就可以降低死亡風險，運動時間越長，成效越佳。有時間的話，能運動90~100分鐘，更是有益健康。邀你跟老編一起對抗肥胖，從今天就開始執行科學減重，每天走個上萬步。SA

老編是《科學人》雜誌檔案管理員，最近的新工作是整理「編輯部的抽屜」。他正在苦惱肚子太大讓他鑽不進抽屜，無法駕駛時光機。

「讀者意見調查表」現在可以上網填寫囉！除了使用本問卷，您也可至《科學人》網站 (sa.ylib.com) 以快速又省資源的方式給予我們意見喔！

親愛的讀者，讀完本期雜誌，您有些什麼看法呢？

1. 本期所有文章中，請就您讀過的文章，依喜好程度評分（3分為喜歡，2分為普通，1分為不喜歡）

專題文章：

- 胖在腦中央 10大未來科技近在眼前 動物打架靠腦袋 魚子兵法
 打造超級細胞 噬菌體重返抗菌戰場 在地底收聽重力波 腦死還能復生嗎？

因為：

專欄與單元：

- 科學人觀點 總編輯的話 形上集 教科書之外 數往今來 網上世代
 談心說理 專家看新聞 健康與科學 新創未來 科學用於社會 反重力思考
 生物手記 科學人書摘 圖表會說話 編輯部的抽屜

因為：

科學人新聞：

- 質子半徑確實比較小 河川生物群系的復甦 電漿刀威力大 蝙蝠抓蟲有眉角
 用雷射熔合陶瓷 增豔潛水照 一覽世界科技進展 電腦評比歷史事蹟
 蠶絲3D列印 雌蝦抗病生力軍

因為：

2. 請問您對本期的封面設計，覺得：非常喜歡 喜歡 普通 不喜歡 非常不喜歡

因為：

請寫下封面上最吸引您的標題：

3. 您閱讀本期《科學人》的原因是（可複選）：

- 內容新奇有趣 自我充實 學業需要 工作需要 其他

4. 請問您從何處取得／得知《科學人》雜誌（可複選）？

- 我是訂戶 在 書店購買 在 圖書館看到
 在 的網頁／電子報／FB看到 親友或師長推薦
 聽 廣播節目得知 其他

5. 在近期預告中，最吸引您的話題或關鍵字是？

您對本期內容的意見與讀後感，或對我們的建言與期許（可e-mail至editors@sa.ylib.com或上科學人粉絲團）：

.....

.....

.....

.....

.....

※來函可能刊登於讀者論壇，本刊保有刪改權利。來信若獲刊出，將寄贈當期推薦科普好書（或其他科普書）一冊，詳見背面。

別忘了填寫背面下方的個人資料喔！

親愛的讀者：

成為科學人，您需要《科學人》；《科學人》要做得更好，需要您的意見！

謝謝您填寫背面的問卷，讓我們可以聽到您的聲音。在填妥問卷後，請您沿右側虛線剪下，三摺後裝訂投郵；或影印傳真至（02）2365-5985即可。

只要完整回答前頁問卷，並寫下讀後感，於2020年1月17日前以郵寄／傳真方式寄回，就有機會獲得大是文化出版的科普新書《藥王簡史》一冊，敬請把握機會！（上期得獎名單公佈於本期 p.9「讀者論壇」單元）

祝您 閱讀愉快



《科學人》雜誌 敬上

藥王簡史

日本暢銷書作家佐藤健太郎畢業於東京工業大學研究所，曾在藥品企業研究新藥，同時也是一位歷史愛好者，他在本書介紹11種影響人類命運的藥中王者：歷史最久的藥、最貴的藥、威力最強的藥、救過最多人命的藥、人類最愛吃的藥……。快翻開本書，看看一粒錠劑、一包藥粉如何牽引歷史走向，改變世界潮流。



大是文化出版
定價 320元

▼ 請沿虛線對摺貼妥，直接投遞，免貼郵票 ▼

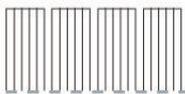


廣告回信
台灣北區郵政
管理局登記證
北台證第000586號
免貼郵票

 遠流出版公司 收

100 台北市南昌路二段81號6樓

請沿虛線剪下



▲ 請沿虛線對摺貼妥，直接投遞，免貼郵票 ▲

煩請您填寫以下資料，以利統計：

本表僅供調查統計，資料絕不外洩

姓名：_____ 性別：男 女 / 一般訂戶 _____ 學校訂戶 非訂戶 / 未婚 已婚

通訊地址： _____

聯絡電話：_____ e-mail：_____ 我願意收到《科學人》訂閱訊息與電子報

年齡：12歲以下 13~15歲 16~18歲 19~25歲 26~35歲 36~45歲 46~55歲 56歲以上

教育程度：國中／小 高中／職 大專／大學 碩士 博士

職業：製造業 營造業 電子資訊業 工商貿易 金融業 軍、公 教職 大眾傳播出版

服務業 自由業 科學研究專業 醫、藥業 學生 家管 已退休 其他

個人年收入(新台幣)：30萬及以下 31~60萬 61~100萬 101~200萬 201~300萬 301萬以上

家庭年收入(新台幣)：60萬及以下 61~100萬 101~200萬 201~300萬 301萬以上

每月花在書籍雜誌上金額：1,000元以下 1,000~3,000元 3,000~5,000元 5,000~10,000元

10,000~20,000元 20,000元以上

■ 請摺疊後直接郵寄，或將正反兩頁傳真至：(02) 2365-5985

【特別企劃】

DNA 創新醫療

醫療現場正在轉變中！

DNA 藥物和基因療法的出現，讓醫師得以治療疾病根源，不再只是緩解症狀。

- > 判斷實驗結果顯著的p值，限制了科學家判斷真偽的價值觀？
- > 第一張黑洞影像，正在動搖物理學的根基。
- > 世上萬種鳥類約半數是鳴鳥，秘密可能藏在牠們特有的染色體！

本表依中文筆劃排列。如欲查詢其他科學名詞或人名、地名、機構名稱之原文，請至 sa.ylib.com 科學人網站的「科學小字典」查詢。

科學名詞

大強子對撞機 (Large Hadron Collider, LHC)
 女陰殘割或切除 (female genital mutilation or cutting, FGM/C)
 內容遞送網路 (Content Delivery Network, CDN)
 目的性創新：以科技強化糧食體系 (Innovation with a Purpose: Strengthening Food Systems through Technology)
 先進雷射干涉儀重力波觀測站 (Advanced Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory, Advanced LIGO)
 多發性骨髓瘤 (multiple myeloma)
 色胺酸 (tryptophan)
 次世代定序 (next-generation sequencing)
 快速用戶資料報協定連線網路 (Quick UDP Internet Connection, QUIC)
 辛烷值 (octane rating)
 神岡重力波觀測站 (Kamioka Gravitational-Wave Detector, KAGRA)
 神經膠細胞 (glial cell)
 脂多醣 (lipopolysaccharide, LPS)
 美國製造業的未來 (The Future of US Manufacturing)
 高增益天線 (high-gain antenna)
 基因工程酵素 (genetically engineered enzyme)
 被動式地震實驗 (Passive Seismic Experiment)
 單純疱疹病毒 (herpes simplex virus, HSV)
 植物環保瓶 (PlantBottle)
 無許可創新 (permissionless innovation)
 超穎透鏡 (metalens)
 微生物群系 (microbiome)
 電廠設施級 (utility-scale)
 腦電圖學 (electroencephalography, EEG)
 碳匯 (carbon sink)
 聚乳酸 (polylactic acid, PLA)
 聚酯 (polyester)
 聚對酞酸乙二酯 (polyethylene terephthalate, PET)
 遙現 (telepresence)
 繡子氫原子 (muonic hydrogen)
 麩醯胺酸 (glutamine)

人名

艾米波勒 (Amy Poehler)
 克里斯多佛華肯 (Christopher

Walken)
 泰勒 (Phil Taylor)
 班史提勒 (Ben Stiller)
 傑克布萊克 (Jack Black)
 凱莫林克 (Irene Camerlink)
 瑞秋懷茲 (Rachel Weisz)

書刊篇名

人類的一大步：不可能的登月任務 (One Giant Leap: The Impossible Mission That Flew Us to the Moon)
 化學元素：化學對全球未來的貢獻 (The Chemical Element: Chemistry's Contribution to Our Global Future)
 來自未來的電影：科幻片中的科技和道德觀 (Films from the Future: The Technology and Morality of Sci-Fi Movies)
 哈佛醫學院特設委員會報告 (Report of the Ad Hoc Committee of the Harvard Medical School)
 美國化學學會·應用材料與介面 (ACS Applied Materials & Interfaces)
 愛因斯坦的影子 (Einstein's Shadow)
 旁觀者 (The Spectator)
 黑暗的左手 (The Left Hand of Darkness)
 解決能源問題的奈米科技 (Nanotechnology for the Energy Challenge)
 論靈魂 (De anima)

機構組織

女性科學與科技人 (Women in Science and Technology)
 牛肉鏈 (BeefChain)
 世界經濟論壇全球未來人類強化委員會 (World Economic Forum's Global Future Council on Human Enhancement)
 世界經濟論壇全球未來生物科技委員會 (World Economic Forum's Global Future Council on Biotechnologies)
 世界經濟論壇全球未來先進材料委員會 (World Economic Forum's Global Future Council on Advanced Materials)
 世界經濟論壇全球未來健康長壽委員會 (World Economic Forum's Global Future Council on Human Enhancement)
 世界經濟論壇全球未來靈活治理委員會 (Global Future Council on

Agile Governance)
 世界經濟論壇科技先鋒 (World Economic Forum Technology Pioneer)
 世界經濟論壇神經科技委員會 (World Economic Forum's Council on Neurotechnologies)
 以色列特種肥料公司 (ICL Specialty Fertilizers)
 卡塔利亞健康照護公司 (Catalia Health)
 史密斯菲爾德食品公司 (Smithfield Foods)
 本古里昂大學 (Ben-Gurion University of the Negev)
 伊諾瓦費法克斯醫學中心 (Inova Fairfax Medical Center)
 全球血吸蟲病聯盟 (Global Schistosomiasis Alliance)
 印度理工學院瓜哈提分校 (Indian Institute of Technology Guwahati)
 老化研究所 (National Institute on Aging)
 艾倫腦科學研究所 (Allen Institute for Brain Science)
 艾爾伯森公司 (Albertsons Companies)
 西尼賓郡醫學中心 (Hennepin County Medical Center)
 西奈山醫院伊坎醫學院 (Icahn School of Medicine at Mount Sinai)
 亞卡山核廢料處置場 (Yucca Mountain nuclear waste repository)
 阿利坎特大學 (University of Alicante)
 俄羅斯國家核能企業 (Rosatom)
 南韓科學技術院 (Korea Advanced Institute of Science and Technology)
 威薩國際公司 (Vitsab International)
 美軍健康科學大學 (Uniformed Services University of the Health Sciences)
 美國高等研究計畫署能源處 (Advanced Research Projects Agency-Energy, ARPA-E)
 美國國防高等研究計畫署 (Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)
 美國能源情報署 (Energy Information Administration, EIA)
 美國國家工程學院 (National Academy of Engineering)
 美國國家標準與技術局 (National

Institute of Standards and Technology, NIST)
 美國國家糖尿病、消化暨腎臟病研究所 (National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases)
 美國愛達荷國家實驗室 (Idaho National Laboratory)
 英國生態及水文中心 (UK Centre for Ecology & Hydrology)
 倫敦布魯內爾大學 (Brunel University London)
 海法集團 (Haifa Group)
 特拉維夫大學 (Tel Aviv University)
 馬克士普朗克量子光學研究所 (Max Planck Institute for Quantum Optics, MPQ)
 國際純粹與應用化學聯合會 (International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC)
 麥覺理大學 (Macquarie University)
 湯瑪斯傑弗遜國家加速器設施 (Thomas Jefferson National Accelerator Facility)
 萊夫科技 (Rive Technology)
 新興科技全球議程委員會 (Meta-Council on Emerging Technologies)
 跨政府氣候變遷研究小組 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)
 維克芬食品公司 (Wakefern Food)
 網際網路工程組織 (Internet Engineering Task Force, IETF)
 獨立婦女論壇 (Independent Women's Forum, IWF)
 穆斯林進步價值協會 (Muslims for Progressive Values)
 藍蛙機器人公司 (Blue Frog Robotics)
 蘇格蘭農業學院 (Scotland's Rural College)

地名

甲慶 (Garching)
 利文斯頓 (Livingston)
 喀拉哈里沙漠 (Kalahari Desert)
 斯文敦 (Swindon Borough)
 漢福 (Hanford)
 蓋瑟士堡 (Gaithersburg)

■ 勘誤 ■

2019年11月號

- 第85頁〈寶可夢奇想生物學〉左欄系譜樹II圖中妙蛙種子和波波的位置誤植，應互換。

訂閱《科學人》的5種方法

1

郵寄訂購

請在訂購證上勾選您所要的組別，並寫明基本資料，免貼郵票，對折後寄回即可。

2

網路訂購

請至《科學人》雜誌網站 (sa.ylib.com)，直接在網上訂購。本公司提供「SSL安全交易」網購服務，迅速且安全可靠。另有ibon付款方式可供選擇，歡迎多加利用。

3

劃撥訂購

帳號：0189456-1，戶名：遠流出版事業股份有限公司。並於劃撥單背面通訊欄上註明產品名稱及訂戶編號。
※劃撥單樣式，亦可於《科學人》雜誌網站 (sa.ylib.com)「訂戶服務」專區下載。

4

傳真訂購

請在訂購證上勾選您所要的組別，並寫明基本資料，傳真至(02) 2356-4929、2356-8490。(全天候服務)

5

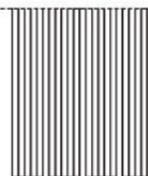
門市訂購

攜帶本訂購證親至遠流門市：台北市南昌路2段81號6樓訂閱。



科學人雜誌 收

台北市 100 南昌路二段 81 號 6 樓



廣告回函

台灣北區郵政
管理局登記證
北台證第000586號
免貼郵票

▼ 請沿虛線對折三等分，並將個人資料朝內黏貼妥善。直接投遞，免貼郵票。

SCIENTIFIC AMERICAN 科學人雜誌 客服 Q&A

1. 查詢雜誌寄送時間

- 《科學人》雜誌於每月1日出刊，每月10日前訂戶將收到雜誌，若每月10日後尚未收到雜誌，歡迎來電客服部查詢。(客服專線：886-2-2392-6899 #888)
- ※訂單上請註明寄送起始月份，未註明者，每月10日前將寄送當期雜誌，10日以後將寄送下期雜誌。

2. 遺失補寄

- 如您的雜誌未在期限內送達，歡迎至《科學人》雜誌官網訂戶服務專區申請。
- 若有雜誌未收到或遺失，請於每月10日至15日內通知，我們將儘速補寄。補寄僅限當期雜誌，謝謝配合。
- 國內最多補寄2次，2次以上一律改為掛號寄件，並需補掛號郵資。海外地區以一次為限。

3. 變更地址

- 請於每月15日前來電、傳真、E-mail，或至《科學人》雜誌官網訂戶服務專區修改。每月15日後更改，將於下下期才能寄發至新地址。

4. 海外讀者訂購方法

- 海外讀者請多參考《科學人》電子雜誌。合購、特殊期數及有特別註明不適用海外者之方案，均不適用海外訂購。造成不便還請見諒。

5. 常見問題

- 若有其他訂閱相關疑問，歡迎至《科學人》雜誌訂戶服務專區查詢。
網址：<http://sa.ylib.com/ServiceList.aspx>

親愛的海外讀者：

為提供您更便利與超值的閱讀享受，《科學人》雜誌提供電子雜誌版本供您選擇。歡迎您至《科學人》雜誌網站 (sa.ylib.com) 訂購Zinio版電子雜誌。免運費，還能用更輕鬆及時、快速、方便的方式，以數位形式閱讀體驗與紙本版相同的內容，享受更多元豐富的知識饗宴。至《科學人》雜誌介紹網頁查詢 (www.ylib.com/hotsale/emg/zinio.html)

《科學人》雜誌海外訂閱 訂閱價格+航空平寄郵資

訂閱價格

特惠價 一年12期2,680元(加贈3期)

海外訂閱總金額(含郵資)

寄送方式	航空
港澳中國	4,100元 (US\$ 135)
其他地區	4,900元 (US\$ 160)

■ 若需掛號每年另加NT975元 (US\$33)

《科學人》 特惠訂購單

請填妥資料，拍照或掃描後以傳真或email回覆

優惠截止至

2020

01/31

請把握機會！

Yes! 自2020年_____月號開始訂閱。未填寫期數者，將由最新一期寄發
 續訂依原訂閱到期後接續寄送。請填寫科學人訂戶編號：_____

訂閱方案	原價	優惠訂閱價	免費贈品/備註說明
《科學人》三年36期 SMAAB9	10,080元	<input type="checkbox"/> 續訂6,380元 <input type="checkbox"/> 新訂6,980元	· 《科學人》6期 · 《科學人雜誌知識庫》中英對照版
《科學人》二年24期 SMAAB9	6,720元	<input type="checkbox"/> 續訂4,580元 <input type="checkbox"/> 新訂4,980元	· 《科學人》4期 · 《科學人雜誌知識庫》中英對照版
《科學人》一年12期 SMAAB9	3,360元	<input type="checkbox"/> 續訂2,480元 <input type="checkbox"/> 新訂2,680元	· 《科學人》2期 · 《科學人雜誌知識庫》中英對照版
《科學人》電子雜誌 (Zinio版) 一年12期 SMAI69	3,360元	<input type="checkbox"/> 1,980元	· 《科學人雜誌知識庫》中英對照版
《科學人》一年12期+ 《國家地理》一年12期 SMABGQ	6,720元	<input type="checkbox"/> 3,690元	· 《科學人雜誌知識庫》中英對照版 · 科學人博學誌《愛因斯坦的時空》 · 《國家地理特刊》全球四季最佳旅遊攻略 · 《國家地理特刊》太空人揭密 · 國家地理 石虎魔術頭巾
《科學人》一年12期+ T4M機械動力模型(2選1, 每組限量100套) SMAABH	7,380元	<input type="checkbox"/> 2,880元 (請勾選) <input type="checkbox"/> 亮眼名片匣 <input type="checkbox"/> 悍馬拖拉機	· 《科學人雜誌知識庫》中英對照版

■ 基本資料 (填寫本欄請以雜誌收件者之資料為主)

姓 名：_____ 性別： 先生 小姐 訂戶編號：_____ (續訂填寫)
電 話：日 () _____ 夜 () _____ 手 機：_____ (必填)
生 日：民國 _____ 年 _____ 月 _____ 日 (必填) E-mail：_____ (必填)
收件地址：
雜誌郵寄方式：科學人 國內平信 國內掛號 (每期加收20元，一年240元)
國家地理 國內平信 國內掛號 (每期加收20元，一年240元) 訂戶編號：_____ (國家地理現訂戶填寫，依到期數續訂)

■ 付款資料

付款總金額：方案優惠價 _____ 元 + 國內掛號 _____ 元 (無掛號免填) = _____ 元

<input type="checkbox"/> 信用卡		
卡別： <input type="checkbox"/> VISA <input type="checkbox"/> Master <input type="checkbox"/> JCB	發卡銀行：_____	持卡人簽名：_____ (須與信用卡上簽名一致)
卡號：_____	有效日期：_____ 月 _____ 年	
<input type="checkbox"/> 郵政劃撥 (劃撥帳號：0189456-1 遠流出版事業股份有限公司)		
您可以使用郵局劃撥單訂購，並於備註欄位上寫明訂閱方案明細、專案代號及e-mail，並將交易憑證傳真至02-2356-4929。		
<input type="checkbox"/> ATM轉帳 (銀行名稱：第一商業銀行建國分行 代號：007 帳號：193-10-110981)		
轉帳帳號末五碼：_____	轉帳日期/時間：_____	(請將交易憑據及本訂購單，傳真至02-2356-4929)
<input type="checkbox"/> 網路訂購 (科學人線上服務網 http://sa.ylib.com)		
請至《科學人》雜誌網站，直接在網上訂購。本公司提供「SSL安全交易」網購服務，迅速且安全可靠。另有ibon付款方式可供選擇，歡迎多加利用。		
<input type="checkbox"/> 門市付款 (您可以攜帶本訂購單，親至臺北市南昌路二段81號6樓 遠流書房訂購)		

■ 發票資料

捐贈發票 (捐贈單位：中華民國運動神經元疾病病友協會「漸凍人協會」) 三聯式發票 (抬頭：_____ 統一編號：_____)

《科學人》訂閱方案注意事項

- ◆ 請利用本專案訂購單訂閱。
- ◆ 本訂購方案僅適用於台、澎、金、馬地區，不適用於海外。
- ◆ 訂購傳真完成後，請來電確認。因前置作業影響，新訂戶首期雜誌約7-10個工作天收到。
- ◆ 續訂戶若需查閱到期期數，可參見每期雜誌寄送名條上之「剩餘期數」，或至《科學人》雜誌官網訂戶服務專區查詢。
- ◆ 提醒您！訂戶雜誌到期後，二個月內若未續訂，將無法享有「續訂價」訂閱《科學人》雜誌，敬請留意。
- ◆ 訂購《科學人》一年12期+《國家地理》一年12期方案，國家地理贈品《國家地理特刊》全球四季最佳旅遊攻略及太空人揭密、《國家地理》雜誌負責寄送。科學人博學誌《愛因斯坦的時空》由《科學人》雜誌負責寄送。《國家地理》雜誌服務專線：(02) 8797-1050 (週一至週五09:00-18:00)。
- ◆ 訂購《科學人》一年12期+ T4M機械動力模型(2選1)方案，T4M機械動力模型由方洲實業負責，約需1週左右掛號寄出。方洲實業服務專線：(02) 2997-5177 (週一至週五09:30-18:00)。
- ◆ 本公司保留接受訂單與否及更換贈品之權利。
- ◆ 以上方案加贈之《科學人雜誌知識庫》中英對照版，訂閱期間均可使用創刊以來的全部資料；雜誌到期未續訂，免費使用權利將同步取消。非個人訂戶恕不提供免費加贈知識庫。《科學人雜誌知識庫》適用多種瀏覽器，使用時再請留意！
- ◆ 本人使用本訂購單即已閱讀、瞭解並且同意遠流出版事業股份有限公司及其各委外服務或行銷合作廠商得於遠流公司營運期間及全球營運範圍內基於客戶管理與服務、行銷、契約管理、電子商務服務及其他合於遠流公司營業登記項目或章程所定業務之需要而蒐集、處理及利用本人上述所填全部個人資料。

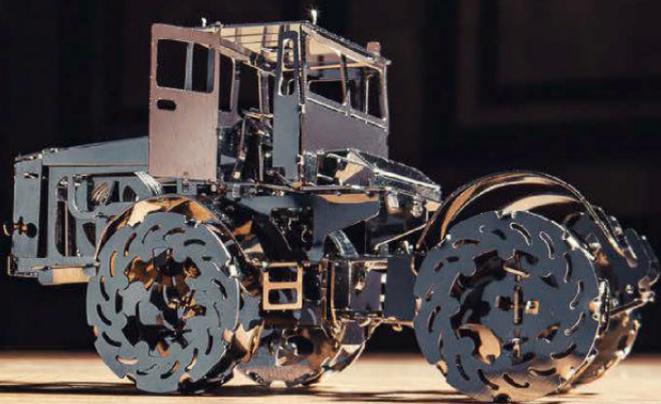
更多訂閱
優惠方案



客服專線：02-2392-6899分機888 (週一至週五09:00~18:00)

24小時傳真：02-2356-4929 / 02-2356-8490 客服信箱：service@sa.ylib.com

益智 × 樂趣 × 創造力 以手作呈現質感美學



《科學人》一年 12 期

T4M 機械動力模型 (二選一)

最高原價 7,380 元

優惠價 **2,880** 元

本方案加贈《科學人雜誌知識庫》中英對照版 每組限量 100 套，售完為止

機械年代(TimeforMachine,T4M)是來自烏克蘭充滿益智、創造力、樂趣、質感美感兼具的高階動力機械模型，其創辦人為 UGEARS 原始創辦人 Denis，不同產品一樣益智 STEM 並更加改良進化。



產品特點：

- ◆手做工藝 - 304 等級不鏽鋼材，在一個個緊密相接的齒輪組中，呈現金屬律動美感
- ◆益智學物理 - 力學機械 銅製發條 活靈活現
- ◆環保 - 無膠無化學 完美乾淨的組裝
- ◆藝術 - 價值感更提升 變擺飾藝術品 個人手工弧度記號 組裝回憶封存其中

動力模型二選一介紹

Perfecto Card Case 亮眼名片匣

簡單中帶著優雅，置於其中的名片耀眼呈現。
輕觸撥桿，精巧齒輪作動掀開典雅紋路匣蓋，讓名片在金屬和光影紋路襯托下，展現不凡氣質。您可輕易放入相當數量的標準名片，可容納最大名片長寬為95*53mm。

使用說明：組裝不需膠，依圖示組裝即可
(發條具彈性請於發條箱內調整)

內容物：不鏽鋼組件、發條、齒輪、
拋光布、組裝手冊

模型尺寸：114 x 66 x 47mm

零件數：10



掃我看更多

Hot Tractor 悍馬拖拉機

以蘇聯K700重型四輪拖拉機為原型開發，金屬光澤下特別顯出閃耀、堅固、沉穩的氣質。

本產品設計上未導入發條動力，但組裝完畢，一樣能輕易呈現機械運作的律動感。

使用說明：組裝不需膠，依圖示組裝即可
(發條具彈性請於發條箱內調整)

內容物：不鏽鋼組件、發條、齒輪、
拋光布、組裝手冊

模型尺寸：112 x 55 x 44mm

零件數：90



掃我看更多

備註：訂購本方案，T4M 機械動力模型由供應商方洲實業負責，於 1 週左右掛號寄出。
Cross Continental Co., Ltd.方洲實業為 T4M 機械動力模型產品在台灣之獨家總代理。



掃描訂購