

社群媒體毒害孩子? p.44

鳴鳥染色體有玄機 p.50

p值, 顯著有問題 p.56

sa.ylib.com

SCIENTIFIC AMERICAN

中文版

No. 216
2020年2月號

科學人

逃出黑洞

第一幅黑洞影像提供關鍵線索，
推動物理學掙脫時空困境！



定價新台幣280元 / 港幣70元

特別企劃
DNA醫療革命
根治疾病
p.67

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！」

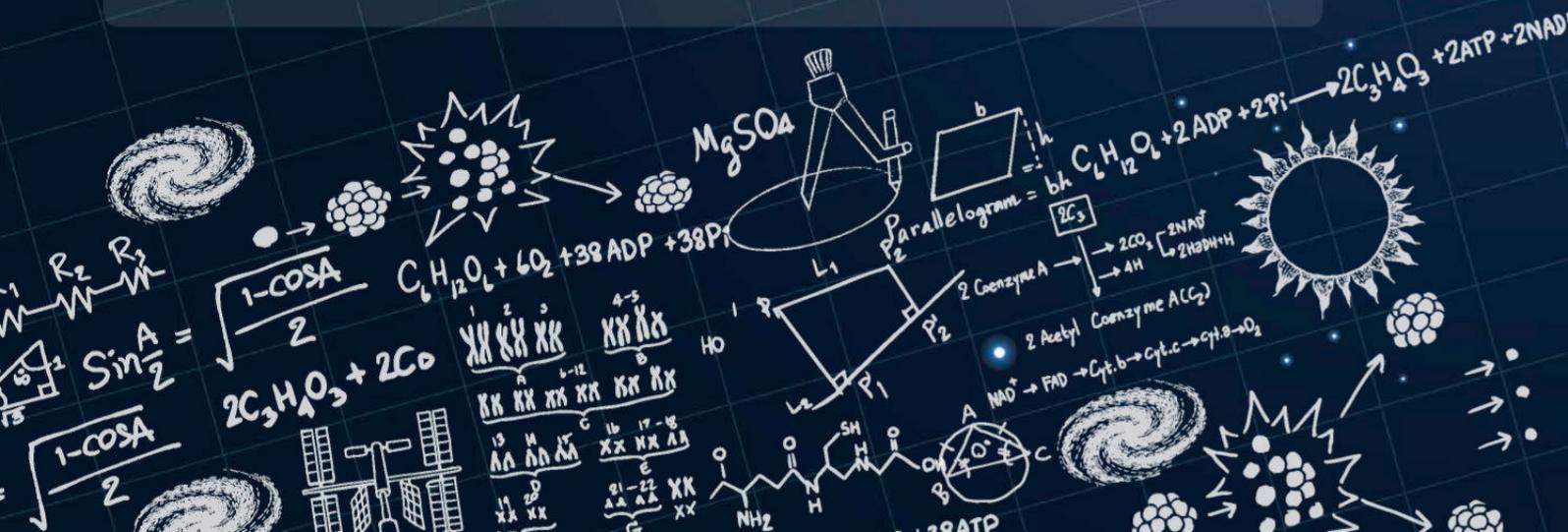
宜蘭縣員山國小 五年仁班 張元吉老師

「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



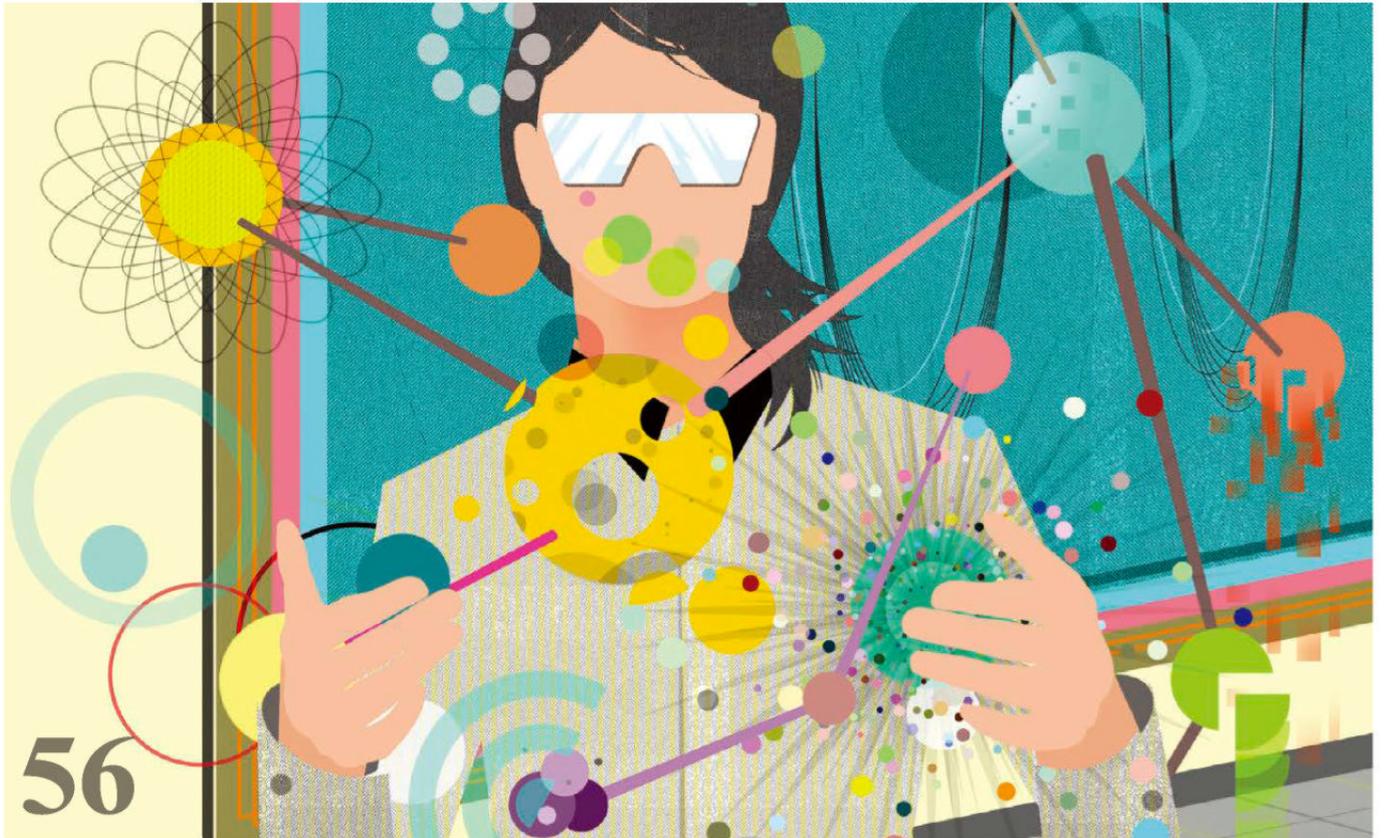
澎湖龍門國小四年甲班



宜蘭羅東國中七年十二班

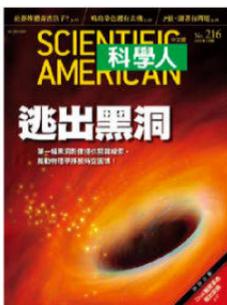
「科學扎根計畫」以善念播下科學種子，讓孩子翻轉台灣未來。
 誠摯邀請企業與個人共同響應公益訂閱，1,000本不嫌多，10本不嫌少。

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

物質墜入黑洞會發生什麼事？根據量子力學，資訊永遠不會被摧毀；但考慮廣義相對論，黑洞就可能摧毀資訊，而稱為霍金輻射、逃離黑洞的粒子也未攜帶關於黑洞內部的物質訊息。為解決此吊詭，物理學家提出理論，修改黑洞圖像，以「搶救」量子力學，新的觀測結果也開始提供新證據。



26 逃出黑洞

物理學

文／吉丁茲 (Steven B. Giddings)

量子資訊必須掙脫黑洞的枷鎖，才能挽救量子力學。黑洞影像和重力波的觀測結果或許能告訴我們，該如何達成此事。

34 尋回水稻生物多樣性

農業

文／戴博 (Debal Deb)

印度過去擁有超過10萬種水稻，其中許多品種能抵禦洪水、乾旱和其他災害，但近年來大部份品種已消失，如何才能使它們重回田間？

44 社群媒體毒害孩子？

科技

文／丹維斯 (Lydia Denworth)

了解社群媒體對青少年心理健康的影響，需要更嚴謹的研究方法，而新發現顯示：社群媒體無損孩子幸福感。





演化

50 鳴鳥染色體有玄機

文／黃凱特 (Kate Wong)

生物學家在鳴鳥身上發現特殊的染色體，或許可以解釋牠們為何有驚人的多樣性。

統計學

56 p 值，顯著有問題

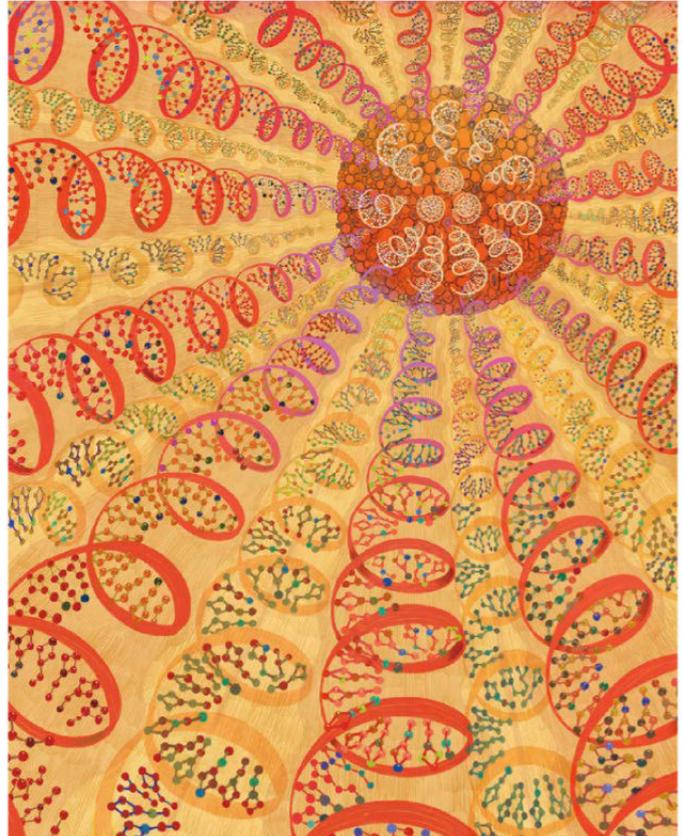
文／丹維斯 (Lydia Denworth)

學者大力呼籲改革通用的統計方法，會為科學帶來改變嗎？

62 p 值不是禍首

採訪整理／李宛儒

統計學家熊昭和張憶壽長期投入健康科學研究，他們指出要避免科學出錯，得從根本去理解研究設計與統計方法。



特別企劃

67 DNA醫療革命

69 球形核酸 藥效直達

文／米爾金 (Chad A. Mirkin)、
拉勒米 (Christine Laramy)、
斯卡庫伊 (Kacper Skakuj)

74 新生兒遺傳檢測 需要嗎？

文／路易斯 (Tanya Lewis)

78 基因療法來了！

文／戴利 (Jim Daley)

80 豐富基因組資料庫

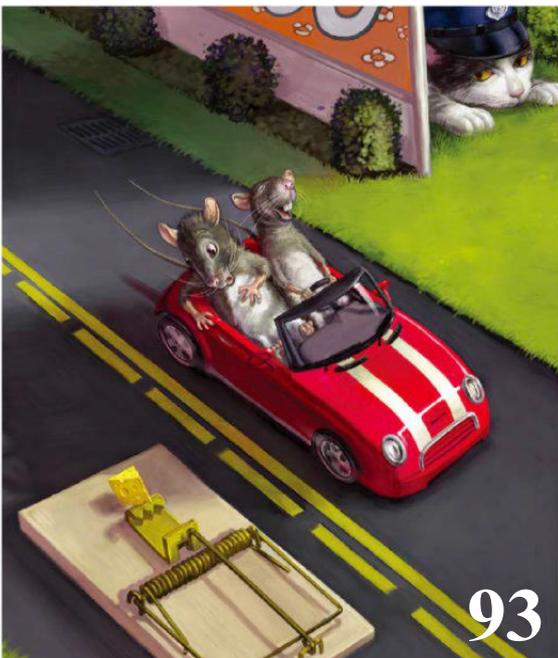
文／德凡尼 (Stephanie Devaney)



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 聞歌起舞，舞從何來？ 文／曾志朗

總編輯的話

8 鼠年來談米 文／李家維

10 讀者論壇

12 科學人新聞

廢棄建築孳生大蚊子 | 大腸桿菌迷幻製藥 | 在睡眠中頓悟！ | 一覽世界科技進展 | 阻斷成癮的迴路 | 環狀量子位元 | 用蛛穴定位冰河範圍 | 野生老虎滅絕中 | 雄蛾求偶，暗中放閃 | 超新星的化學面貌

形上集

22 我們這地方的特色是愛求知 文／高涌泉

教科書之外

24 問什麼？怎麼問？ 文、圖／陳文盛

專家看新聞

85 政治不該打壓科學 文／黑格 (Chuck Hagel)

科學佐以詩文

86 梅里安始於1670年的創作歲月

文／阿克曼 (Diane Ackerman)

健康與科學

88 人體內的小小藥師 文／華立斯 (Claudia Wallis)

新創未來

90 用手機來投票 文／羅許 (Wade Roush)

科學焦點

92 主觀意見不代表事實 文／歐瑞斯克斯 (Naomi Oreskes)

反重力思考

93 老鼠愛開車 文／米爾斯基 (Steve Mirsky)

聊聊科學人

94 生態桃花源的開拓者——黃于玻 文／李詩慧

生物手記

98 惡地生存的頑強勇士——鵝鸞鼻燈籠草

文／哈斯克橋

科學人書摘

100 吃抗生素長大的雞 文／摘自《大危雞》

圖表會說話

104 封面顏色大轉變 文／克利斯提安森 (Jen Christiansen)

編輯部的抽屜

106 黑洞的魅力 文／老編

廣播人推科學人

「如果，能夠有更多的平台，讓科學知識普及化，我們的社會就會真正的多元化，社會大眾就會真正的理解如何客觀的、冷靜的、不理盲的，思索台灣社會遭遇的各類挑戰。」

「POP 大國民」廣播節目，很高興每個月能跟《科學人》雜誌合作，一塊邁向科學融入生活、生活裡處處有科學的新世紀。」

POP Radio 電台「POP 大國民」主持人
蔡詩萍



播出時間

每月第一週的週五 18:00-19:00

頻道

廣播收聽 FM91.7 (大台北地區)



網路收聽—
POP Radio 官方網站



行動裝置收聽—
POP Radio 官方APP

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 張孟媛

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

編輯總監 張孟媛
執行副總編輯 洪志良
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 張孟媛
《科學少年》總編輯 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 黃蕊靜
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

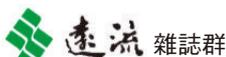
100 台北市南昌路二段81號6樓
電話：(02) 2392-6899 傳真：(02) 2392-6658
電郵：service@sa.ylib.com

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



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，侵害必究

©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.

“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, Claudia Wallis

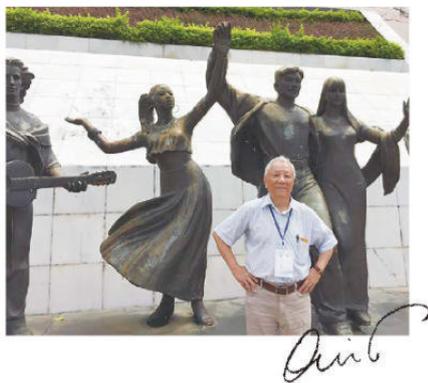
ART Edward Bell, Zoë Christie,

Lawrence R. Gendron, Nick Higgins,

Katie Peek, Beatrix Mahd Soltani

聞歌起舞，舞從何來？

只要有人群，就有語言，就有音樂，就有歌唱，就有樂器，也就有舞蹈。舞蹈是維護永續與傳承的關鍵，從共舞得以凝聚族群情感的功能來看，應可推論原始人會跳舞。那往前推呢？猩猩是否有跳舞的潛能？



每年11月中開始，就陸續接到來自四方的賀卡，有很久不見的老朋友，更多是新朋友，慶耶誕迎新年的歡樂氣氛就反映在成疊的賀卡上。我沒有寄卡片的習慣，總覺得雖然印製精美，也確實聯繫情誼，但越來越商業化的推廣，導致紙張的需求大增，所以佳節雖佳，情誼需聯，我還是堅持不隨卡起舞。可喜的是，近年來數位科技的進步，帶動電子賀卡風行，透過各種通訊軟體或社群網站就能把祝福即時送到親友手中，而隨著影像製作技術精進，音樂、動畫及影片反成為賀卡主角。當然，最簡單的祝福就是傳送YouTube影片連結。我的手機和e-mail已經累積數不清的影片，只有每天睡前觀看幾則，慢慢消化。電子賀卡的盛行，讓森林得以保存綠意，也再次證實我一貫的信念：科技的盲目發展會毀了地球上的生命，但更先進的科技可以治癒地球的病，創造新的生機！

最近的一些影片中，印象最深刻的是一段2018年美國紐約無線電城音樂廳「火箭女郎」的大腿舞。一長排、一般高的美麗女孩，穿著同樣舞衣，梳著同樣髮形，戴著同樣頭飾，露出修長大腿，配合輕快旋律，把腿踢得老高，整齊劃一，煞是好看！每年的感恩節，這支舞團都會在梅西百貨前方廣場表演，由於天冷，圍觀的群眾包得緊緊的，跳舞的女郎穿得薄薄的，但樂音響起，長腿越踢越高，即使隊形不時變化，腳下功夫也不見停歇。場內場外，熱血沸騰，天地感恩！

第二支影片也是舞蹈片，五位舞技高超的男舞者，以共舞方式回顧自1950至2019年流行舞蹈型態（手舞足蹈身搖頭晃的節奏變化）的演變。乍看之下，以為動作都差不多，只是隨著不同音樂，變換不同的服裝和髮形，仔細觀看，就能體會舞風的變革。很微妙，但領悟之後，一眼便可察覺年代的變化，看出舞姿的差異，是完形的知覺。這段影片舞出不同年代的風格，不能不提的當然是從70年代就獨領風騷的歌舞全才麥可傑克森。30多年前，他在舞台上載歌載舞，以獨特的嗓音和創意的舞蹈風靡全球。隨著音樂節奏，他時而化身機械人跳舞，每個動作等速而層次分明；忽然又見他由右邊舞台看似向前邁

步，實而緩步後退，有如太空人在無重力的地表滑動，那優美的「月球漫步」讓台下觀眾如癡如醉。1988年他在新推出的音樂影片中，大秀45度傾斜的舞步，這違反地心引力的強大動作，可以想像當時在電視機前的觀眾，絕對是看得目瞪口呆。雖然我們現在知道45度傾斜的秘密，來自舞鞋的特殊構造，但麥可傑克森被譽為「擁有不可思議雙腳的舞者」，確是實至名歸。

無可諱言的，在人類長遠的演化史上，無論是獨舞以宣洩自我情緒，或群舞以凝聚群體共識，還是增進情意的雙人舞，舞蹈絕對是維護永續與傳承的關鍵因素之一。在世界的任何一個角落，只要有人群，就有語言，就有音樂，就有歌唱，就有樂器，也就有舞蹈。而且隨著音樂風格的轉變，也會產生許多富有創意的舞蹈型態。其實你我都見證了這無時無刻不在變化的過程，想想現在校園裡的熱舞，和上個世紀60年代「西城故事」的街舞是多麼不同，不但音樂的節奏差異很大，舞者頭頂著地、快轉如陀螺的舞步，在以往也是很難想像的。

舞台上的姿態是為了讓台下觀眾欣賞而設計，美則美矣，卻不會使他們身臨其境。唯有社會生活裡的社交舞，才可能引起彼此的共鳴。社交舞的型態和舞者之間手腳



及步伐的配合，是若即若離或各抒己意，都與音樂的速度有關。緩慢但姿態曼妙的探戈舞，表現紳士和淑女之間步步為營的端莊，成為阿根廷的國舞；巴西嘉年華會中流行的森巴，及古巴的倫巴、曼波和恰恰，都以整齊舞步左右或前後晃動，隨著吉他、琴聲和鼓聲搖出南美洲的熱情。後來的扭扭舞和搖滾舞則完全回歸個人舞，要扭要滾，就隨心所欲吧！踢踏舞呢？穿上特製皮鞋，利用趾尖和腳跟的不同高度，踩出拍打敲擊的聲響，可慢可快，成為愛爾蘭舞蹈的特定標誌。

這麼多不同型態的舞，不是只出現在近代的人類社會中，幾千年前埃及的壁畫和中國的甲骨文都有舞蹈的描繪，往前到三、四萬年前的洞穴壁畫也曾出現舞者的痕跡。更往前推，30萬年前的「北京人」會跳舞嗎？我們沒有答案，因為考古學家還沒有找到可信的證據，但從共舞得以凝聚族群情感的功能來看，應可推論原始人是會跳舞的。

那再往前推，到人、猿分離的遠古世代。人可能會跳舞嗎？沒有任何可能留下來的考古證據，但並不是不可能找到答案，而是換個角度問問題：現代的猩猩是否有跳舞的潛能？其實除了人類，其他動物會隨外界聲音的節奏而改變頭手足身的姿態，時有所聞。最知名的例子，像是珍古德在瀑布旁看到一隻黑猩猩，隨著水聲節奏而自發性的手舞足蹈；或暱稱「雪球」的鳳頭鸚鵡，10多年前因主人將牠隨音樂搖頭晃腦打拍子的影片上傳而一夕成名，引來研究者好奇，對牠進

行長期觀察，並在去年七月《當代生物學》發表論文，指出雪球不只會跳，還會就牠最愛的兩首流行歌曲發展出14種舞姿，認為人類和鸚鵡天生都有舞蹈的能力，而跳舞在人類社會具社交功能，對雪球可能也適用。但對科學家而言，類似的觀察案例，數量太少；單一個體的表现，也無法概化成為普遍性原則的，都不是足以令人信服的證據。

最近在日本京都大學靈長類研究所，則確實提供了強有力的證據，證實猩猩不需特別教導，也不需給予食物獎賞，就表現出自發性聞歌起舞的能力。說起來也很有趣，研究者一開始是利用傳統的工具制約學習方式，在實驗室重複播放鋼琴曲給一隻母猩猩聽，並拿蘋果做獎賞，教牠學舞。當母猩猩努力學舞時，隔壁房間的兒子猩猩卻自動自發隨樂音搖擺身體，而且一再重複並非隨機亂晃。研究者喜出望外，尋找許久的「猩猩不必有獎賞就能自舞」的證據，就在眼前。

他們趕快找來七隻猩猩（三雄四雌，都沒有聽過鋼琴曲），每天隨機播放六種不同速度的曲子，每次兩分鐘，間隔20秒再播下一段，如此重複共六回。從拍攝的影片中發現，當樂音響起，有六隻猩猩會

起身隨之搖動，其中五隻會隨節奏敲打地板或牆壁，之中的三隻還會拍起手來，而一隻雌猩猩則自顧自的用腳打拍子。整體而言，雄猩猩比雌猩猩更熱中舞蹈的表現（一點也不令人驚奇）！最妙的是，一隻母猩猩愛動不動，一副別來惹我的神態！研究者注意到名叫阿基拉（Akira）的雄猩猩對曲子反應特別強烈，就對牠進一步做實驗，觀察牠對不同速度的曲子和隨機的聲音的反應，以及搖擺方式是否因此有別。結果顯示阿基拉前後搖晃的頻率和節拍之間有明顯的正相關，左右搖晃則無太大區別。此外，牠會朝聲源走去，音樂一停就又回到同伴身邊，顯示牠是「去跳舞的」！

這篇論文發表在一月的《美國國家科學院學報》，有拍手稱奇的讚賞，也有嗤之以鼻的批評：「確實是很清楚而了不起的記錄，但這不是新發現，更不可能提升科學新知！」他們說，叢林裡雨滴打在芭蕉葉的響聲節奏，也能引出猩猩跳起類似康加舞的行為表現。但我對這種批評實在不以為然，實驗室的觀測做了許多條件控制，排除不必要的混淆變項，抽絲剝繭找證據，那是一般目擊者主觀敘述所不能及的，更不能以「早知道了」就把實證發現一語帶過。猩猩是否有跳舞的潛能？應該有！但為什麼沒有發展出穩定的舞蹈？那是因為缺乏人類能製造樂器而得以發展出不同音調和節奏的能力吧！

曹志朗

鼠年來談米

鼠來寶，祝願今年風調雨順，五穀滿倉。今春，親朋餽贈的年禮以米為時尚，我開心收到南投的鹿光米、屏東的春上米和台東池上的黑纖米。皆強調是用友善農法養育，期盼消費者品嚐好米時，也能咀嚼出人文風土韻味。這些是精品米，當然價昂於學校食堂的低廉大鍋飯。全球過半人口以米為主食，30年來米價已上升三倍，隨著氣候變遷，產量及價格都將難以預測，這是人類的嚴峻挑戰。

由出土於江西萬年縣仙人洞遺址的稻葉矽細胞化石和碳化米粒，可以見證在一萬年前，中國人已馴化野稻為栽培種。天然變異加上人為雜交，古人選育出無數的品種。遠溯至春秋，歷代文獻記載了水稻的多樣品名、口味和栽培特性。目前各農業單位保存了三萬多個水稻品種，這是農業珍寶，可以為未來的糧食生產創造出各式各樣的基因新組合。

廣袤的亞洲南方大陸曾經獨立發生過多次的水稻馴化事件，印度即是一例。〈尋回水稻生物多樣性〉是熱血科學家戴博的現身說法，他說在50年前印度曾有十餘萬個地方品種，但目前所餘不及5%，孟加拉亦然。戴博自費創建農場，蒐集各式品種，成立了南亞最大的開放式稻米基因銀行，這是篇必讀的勵志典範文章。

稻、稷、黍、麥、菽為五穀，稷即小米，是中國北方的主食之一，有8000年的栽培史了。國家一詞古稱社稷，社為祭神地，亦即有祭神場所和足食之小米，就可建國了。小米對台灣原住民的意義尤其重要，既為傳統主食，又與釀酒祭儀相關。台灣已知最早的小米種植可追溯至5000年前，在台南科學園區的遺址灰坑中，漂洗出各種形狀、大小不一的碳化小米顆粒，那是台灣農業的開端。原住民在崇山峻嶺闢田刀耕火種，50年前仍有6000公頃的小米田，只是目前大幅限縮至200公頃。各部落曾選育的品種，也必然大量流失。不同品種的小米常有特殊用途，糯性高的適合做麻糬，糯性小的可釀酒。有些特定品種釀的酒

是給產婦進補用，而病後復原的養生酒就得選用另一品種。多樣性品種的消失，必然造成傳統文化的缺口，多遺憾！

2019豬年之尾，辜嚴倬雲植物保種中心得了份大禮。成功大學生命科學系副教授張松彬送來116個小米品種標本，我們將之儲存在-196°C的液態氮桶中，可以幾近不朽。這是個了不起的蒐藏，張松彬於2003~2007年踏遍全台灣各原住民部落，找到324份樣本，經農藝性狀及遺傳分子鑑別後挑出來的有意義品種，他是台灣版的戴博。



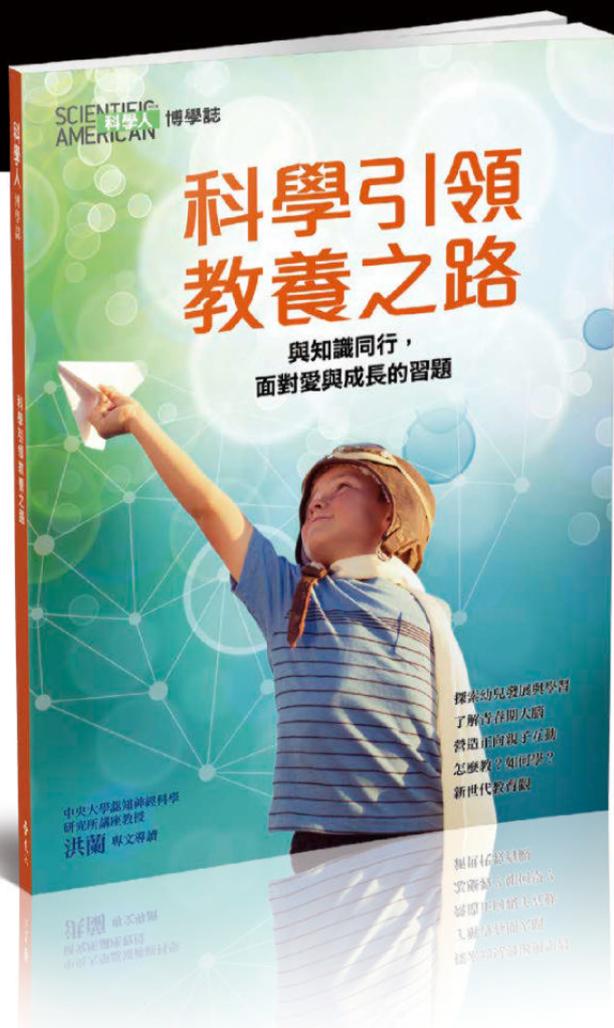
南科遺址的碳化小米



李家維

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。

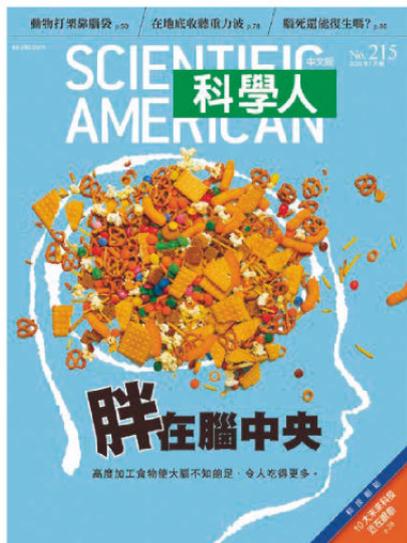
精采單元

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



2020年1月號

〈胖在腦中央〉

本文以嚴謹的研究結果推論：洋芋片、調味穀物麥片、糖果、汽水、糕點、麵包、加工肉類、添加香料的優格等含有大量糖、脂肪和鹽的「超級加工」食物會讓我們看到就想吃，而且一口接一口，這點確實符合許多食品廣告強調好吃的橋段。值得注意的是，因為腸道有食物的訊息傳遞不到大腦，使身體沒有飽足感，渾然不知地吃過量，讓我們閱畢本文後，刻意拒絕上述加工食物。另外，由於人類過去長期處於農耕社會，身體對於飲食的感知或許還無法適應速食文化，若能細嚼慢嚥，腸道與大腦間的訊息才有足夠的時間傳遞，我們便能適可而止。

——高雄 毛志民

〈魚子兵法〉

人們自古就會觀察動物的行為，例如民間廣為流傳的五禽戲，動作便

與虎、鹿、熊、猿、鶴相似。本文描述紅樹林鱒魚的對戰經驗，讓我們見識到勝敗之後的影響，就像是《古文觀止·曹劌論戰》：「一鼓作氣，再而衰，三而竭。彼竭我盈，故克之。」所述的勝利方程式，趁勝追擊的贏面較大，反之亦然；《史記·淮陰侯列傳》：「臣聞敗軍之將，不可以言勇。」更暗指敗者可能從此一蹶不振。感謝作者另以游泳蟹、劍尾魚為例，呈現勝敗經驗對動物影響的差異性，讓我們理解成王敗寇並非必然，但翻轉勝負確實不易，亦可解釋我們觀賞任何比賽時，都會對逆轉勝的結果津津樂道。

——高雄 蔡孟靜

〈腦死還能復生嗎？〉

綜觀近代人類文明史，人們總是對生死感到好奇，不斷探索討論著，也透過醫學、科學、玄學甚至鄉野傳說影響著當代或後代的人對於生死的定義。本文美國耶魯大學團隊進行的豬腦實驗結果，著實令人訝異！平坦的總等電位線表示大腦處於無意識狀態，但一些神經細胞卻仍保有產生電生理活動和突觸活動的能力，重創後的大腦若能回復功能，腦死病患或許會有新的契機。

——高雄 羅祥禎

健康與科學

〈治療阿茲海默症的新思維〉

讀完本文，對阿茲海默症藥物的研發特別有感觸，10多年前在美國生技公司的研發方向，就是與蛋白斑塊有關的酵素。如今公司還在，但

也同時開發不同的領域，生技藥物的研發是條辛苦而漫長的道路。

——台北 周彥吉

編輯部的抽屜

〈減肥，從心開始〉

本文幫助讀者了解封面故事，更是集結科學議題系列研究之大成，其脈絡橫跨時空且具有發展性。以本期封面故事〈胖在腦中央〉為例，早在多年前閱讀《科學人》時便知道，自己嗜吃甜食其實也是一種「癮」。既歸類為癮，便有戒治的需求與窒礙難行之處。

多年摸索下來，透過更敏銳的自我觀察，發現「好的開始」真的是成功的一半！第一口甜食，具有神奇的召喚力量，會讓人一口接一口，吃完整份甜食。我認為超級加工食品也循著同樣的路線，讓理性的腦被脫韁野馬般的口腹之慾綁架。因此，我雖然還是與甜食為伍，但在購買、付帳、拆封、咬下它之前，我都有機會懸崖勒馬，甚至用分食的方式，與其他「甜食控」互相救贖。

——宜蘭 樓元珽

▶ 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，也可以到Facebook臉書：《科學人》粉絲團留言。若獲刊出，將致贈大石國際文化出版《大危難》一冊，或是其他科普好書。

▶ 為感謝讀者寄回215期「讀者意見調查表」，來信獲刊出者以及下列讀者，將獲贈《藥王簡史》一冊，或是其他科普好書：林芳安、鄭又慎、李宗瀚。



我把動物FUN大了!

霍夫曼的療癒動物園

日期 | 即日起 - 04.05

地點 | 東2ABC館

主辦單位 | 時藝多媒體、寬宏藝術



巴黎龐畢度中心 兒童藝術工作坊

我的眼睛! 視覺探索大冒險

日期 | 即日起 - 04.05

地點 | 紅磚六合院 西4館

主辦單位 | 聯合數位文創股份有限公司



超·大恐龍展

福井恐龍 重磅登場

日期 | 即日起 - 03.19

地點 | 紅磚六合院 西1、2館

主辦單位 | 聯合數位文創股份有限公司、
讀買新聞



水豚君日日是好日 15周年特展

療癒系巨星圓滾滾駕到

日期 | 即日起 - 04.05

地點 | 東2D館

主辦單位 | 寬宏藝術經紀股份有限公司、
勝明文具百貨有限公司

協辦單位 | BANDAI SPIRITS



狗狗GoGoGo! 華山主場狗狗主場

帶著汪星人一起追趕跑跳蹦

日期 | 即日起 - 03.29

地點 | 中4A館 紅酒作業場

主辦單位 | 天空藝術有限公司、
台北市動保處

寒假 華山見!

拒當沙發馬鈴薯 華山逛展知識補



玩具電 All You Need is Toy

電力全開! 沒有你買不到的玩具

日期 | 即日起 - 03.22

地點 | 中4B館1F 米酒作業場

主辦單位 | 金機創意有限公司



家。流動與安住

臺灣住屋建築風景之一隅

日期 | 即日起 - 03.01

地點 | 中7B館

主辦單位 | 國立臺灣歷史博物館



黃阿瑪的後宮生活 相遇十周年小店鋪

「大膽! 朕都來了, 奴才們還不快跟上?!」

日期 | 即日起 - 03.01

地點 | 中7A館

主辦單位 | 聯合數位文創股份有限公司

授權單位 | 瑪瑪文坊



嚕嚕米 台灣官方網路商店

MOOMIN OFFICIAL WEB SHOP

日期 | 即日起 - 03.02

地點 | 中3A館1F-4

主辦單位 | 我這文創股份有限公司





蠢蠢欲動：體型更大、更危險的白線斑蚊正在美國巴爾的摩的廢棄建築裡繁衍。

環境

廢棄建築 孳生大蚊子

大蚊子活得較久，更有機會叮咬人，因而提高疾病傳播的風險。

撰文／穆易爾 (Melinda Wenner Moyer)

過去50年來，蚊子的數量在美國部份地區暴增10倍，這有可能加快西尼羅熱、登革熱、屈公症等疾病傳播，情況令人擔憂。尤有甚者，某些地區所受的影響可能比其他地區更劇烈。2019年10月發表在《醫學昆蟲學期刊》的研究發現，巴爾的摩低收入住宅區不僅蚊子數量較多，體型也較大，通常存活更久。問題根源是巴爾的摩有將近1萬7000棟的廢棄建築，這些建築是蚊子繁衍的溫床，通常集中在經濟弱勢族群的居住地區。研究指出，若要有效控制蚊子數量及其傳播的疾病，都市更新政策需把這些社區的廢棄建築納入考量。

紐約州密爾布魯克凱利生態系統研究院及馬里蘭大學的研究人員花了三年，在巴爾的摩五個住宅區捕捉白線斑蚊 (*Aedes albopictus*，又稱亞洲虎蚊)。白線斑蚊於1987年進入美國，現常見於美國許多城市。研究人員測量巴爾的摩住宅區白線斑蚊的翅膀長度來推估蚊子的體型大小，發現低收入住宅區的蚊子通常體型較大。大蚊子不僅更擾人，還活得更久，有更多機會叮咬人。大蚊子叮咬人的次數較多，可能提高疾病傳播風險，因為蚊子得先叮咬人一次來感染病原體，下次叮咬人時才會把病原體傳給他人。另外，大蚊子產卵數也較多，會提高蚊子族群數量。此論文的資深作者、凱利生態系統研究院的疾病生態

GORDON ZAMMIT/Alamy

學家拉朵兒 (Shannon LaDeau) 和同事發現 2013 年的一項研究曾指出，巴爾的摩低收入區跟高收入區比起來，白線斑蚊出沒的機會高出了 72%，而這些社區的蚊子密度也較高。

研究人員表示，低收入區之所以有更多大蚊子，是因為這些地方跟高收入區比起來，有較多廢棄建築，還有許多棄置的積水容器。而廢棄建築內的積水因為處於陰暗中，有助於蚊子長成較大的體型。一些城市在低收入區植樹的美意可能使情況更糟：樹和灌木不僅為室外蚊子繁衍的積水遮蔭，其落葉掉入水中後又成為孑孓的食物，幫助蚊子長得更大。

伊利諾大學香檳分校的整合生物學家艾倫 (Brian Allan) 並未參與這項研究，他評論：「關於低收入住宅區、社區裡容易孳生子孓的地方，以及之後能傳染疾病的成蟲體型等環節之間，似乎有很複雜的

動態關係。」

令人慶幸的是，目前病媒蚊疾病在美國還不算嚴重。根據美國疾病防制中心 (CDC) 的記錄，2019 年 1~10 月美國總共有 777 起西尼羅熱感染病例，以及 614 起登革熱病例 (後者大多在美國境外感染)。不過氣候變遷可能會擴大蚊子的棲地，延長夏季蚊子生長繁殖的時間，讓情況變得嚴重，進而改變美國疾病的分佈情況。

拉朵兒表示：「疾病傳播的季節越長，越有可能導致疫情大爆發。」這項新研究指出如果病媒蚊疾病開始在美國各大城市擴散，低收入區可能首當其衝。

研究結果可能適用於全美各地。麻州的非營利組織林肯土地政策研究院 2018 年發佈的報告指出，美國在 2005~2010 年間空屋數量從 950 萬上升到 1200 萬，很可能是 2008 年次級房貸危機留下的後果。這個數字在 2010 年之後稍

降，但仍比 2005 年高上許多。空地是另一問題：單是費城的貧困社區就有約四萬塊這類土地。低收入區受颶風等天災影響後也容易成為蚊子孳生之處。已有研究指出，低收入戶受天災影響較重，復原得較為緩慢 (如果能復原的話)。

美國各地的市政府可能也需要加強管制這些區域的病媒蚊。都市中的衛生部門通常會呼籲屋主清除寵物碗、垃圾桶以及回收桶等戶外容器的積水，但是沒有人負責清除廢棄建築內部或周圍的積水容器，而市政當局大多也不願意扛起責任。美國羅格斯大學的分子生態學家馮賽卡 (Dina Fonseca) 未參與這項研究，她評論：「對大多數的市政當局來說，這是一項棘手的工作，因為要進入私有住宅並打掃乾淨，花費甚鉅。」不過，如果這些廢棄建築不只是普通蚊蟲而是病媒蚊的滋生地，就可能需要修改現有政策。(陳儀蓁譯)

合成生物學

大腸桿菌迷幻製藥

改造後的大腸桿菌可產生迷幻物質，進一步用於治療心理疾患。

撰文／路易斯 (Tanya Lewis)

數十年來，研究迷幻藥一直是禁忌，但近幾年「裸蓋菇鹼」(psilocybin, 迷幻蘑菇的活性成份) 這樣的藥物在臨床試驗上顯示可治療憂鬱症、尼古丁成癮等症狀。然而種植蘑菇要花好幾個月，不符合實際製藥的價值，而化學合成裸蓋菇鹼程序既繁複又昂貴。現在科學家成功改造大腸桿菌，用於

生產這種改變心智的藥物。

改造後的大腸桿菌每公升培養基可以產生 1.16 公克的裸蓋菇鹼，產量居目前所有基因工程改造生物之冠，而且是第二名的 10 倍。若擴大規模，這種新方法產生的裸蓋菇鹼便有潛力應用於治療。

美國俄亥俄州邁阿密大學化學系學生亞當斯 (Alexandra Adams)

是此論文的第一作者，她表示：「這種方法的首要優勢是便宜。」或至少比其他方法更具成本競爭力，而且「大腸桿菌比其他生物更容易操控」。

亞當斯和研究團隊修改大腸桿菌的基因，插入三個來自迷幻蘑菇 *Psilocybe cubensis* 的基因，並以便宜又容易取得的 4-羥吲哚 (4-hydroxyindole) 做為前驅物，使大腸桿菌合成裸蓋菇鹼，接著優化此過程，以提高生產規模。研究成果發表在 2019 年 12 月的《代謝工程》(Metabolic Engineering)。

德國弗里德里希·席勒大學



迷幻蘑菇
(*Psilocybe cubensis*)

的製藥微生物學家霍夫麥斯特 (Dirk Hoffmeister) 曾帶領研究團隊改造真菌來生產裸蓋菇鹼，但並未參與這項新研究，他評論這項研究是「一種具吸引力且原則上可行的方法，並展現合成生物學的力量和可能性」，但也表示基因工程改造生物可能產生有毒物質或過敏性微生物，需加以移除或純化。亞當斯回應，可透過既有工業技術來

避免這項風險，例如利用已獲認可的技術，以細菌生產抗生素或胰島素等藥物。

美國普渡大學藥物化學家尼科爾斯 (David Nichols) 並未參與這項研究，他評論這項技術的產量驚人，但也指出，以這種方法生產裸蓋菇鹼需要特定的前驅物，而且無法從更簡單的物質製造出來。邁阿密大學的化學與生物工程師瓊斯

(Andrew Jones) 是此論文的資深作者，他把最終目標訂在從葡萄糖合成裸蓋菇鹼。他和同事正和幾家公司洽談授權團隊開發的方法，以利商業使用。

裸蓋菇鹼只要使用一劑就可能顯現治療效果，但因為罹患憂鬱症和其他心理疾患的人數很多，這類療法的潛在市場仍十分龐大。瓊斯說：「如果這種藥物在多種疾患的治療都得到驗證，便可應用在許多族群上。」(姚若潔譯)

心理學

在睡夢中頓悟!

睡覺時重新激發記憶中的問題，可能心生解決方案。

撰文／哈森 (Matthew Hutson)

當你思考問題遇到瓶頸時，有時候最好別去想它——不管怎樣，別有意識去想。研究發現，休息或小憩一下，有助於大腦創造出通往解答的途徑。現在一項新研究利用聲音提示，讓睡夢中的心智專注在欲解決的問題上，藉此進一步探討這種心理醞釀效應。

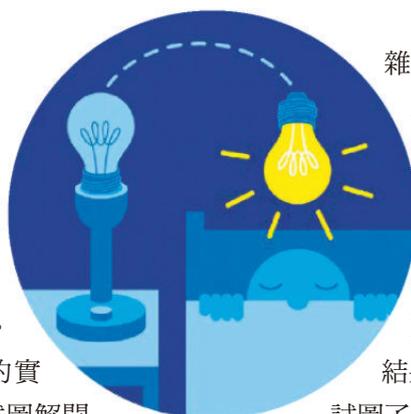
人類睡覺時，一部份的大腦會重新播放某些記憶，加以增強並轉化。約莫十年前，研究人員研發出特定記憶再活化 (TMR) 技術，可進一步增強所選定的記憶：聲音和某段記憶連結後，在後來的睡眠中播放聲音時，那段記憶就會重新受到激發。在 2019 年 11 月一篇刊登於《心理科學》的研究中，科學家測試了睡覺時重新激發和謎題有關的記憶，是否有助於解決問題。

約 60 名受試者在睡眠前後分別

來到實驗室。

在晚間進行的實驗中，他們試圖解開空間、語言和概念謎題，解每道謎題時都會播放不同背景音樂，直到他們無法解開的謎題累積至六道為止。夜晚他們睡覺時，頭皮上黏著腦波電極，以偵測慢波睡眠，並播放六道解不開的謎題中三道謎題的專屬音樂。慢波睡眠是最深層的睡眠腦波，在記憶固化 (memory consolidation) 上可能至關重要。翌日回到實驗室後，受試者會再解一次這六道謎題。(每位受試者在隔天晚上會再度參與實驗，只是謎題組合有所不同。) 在有聲音提示的謎題中，受試者總共解開了 32%，而其他謎題則共解開了 21%，成效增幅超過 50%。

研究人員「大膽地進行錯綜複



雜、需要許多處理程序的實驗，不可思議地在所有測試中皆發現這些強烈的效應。」並未參與這項研究的英國卡地夫大學心理學家路易斯 (Penny Lewis) 評論：「這些研究結果十分厲害。現在我們得

試圖了解這些結果。首先要再現研究結果，接下來嘗試找出實際上受影響的相關歷程。」

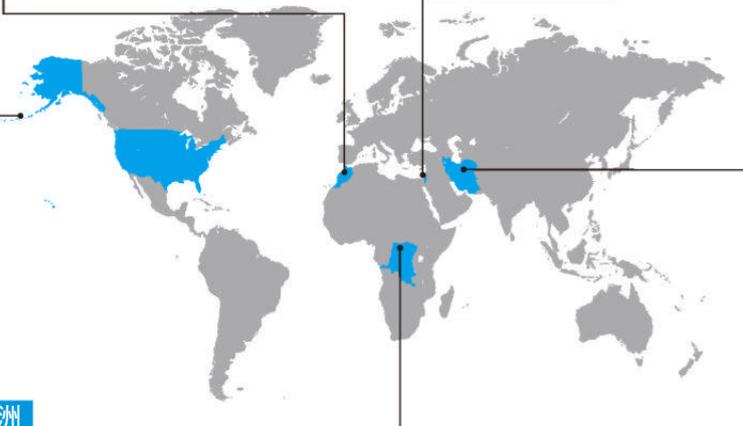
除了提出新證據，證實人類睡覺時會重組記憶，這項研究可能還會帶來實際影響。此論文的主要作者、當時是美國西北大學的研究生桑德斯 (Kristin Sanders) 說：「在未來的世界中，說不定 TMR 可幫助我們利用睡眠解決問題。」睡眠監控科技越來越進步——就算手邊缺乏相關設備，有謎待解的人也能在就寢前專心思索重要問題。

不過睡眠並非萬靈丹。人們需要先做功課，把解謎線索裝進腦袋裡才行。桑德斯說：「我沒辦法藉此技術來解決癌症，因為我對癌症研究一無所知。」(李之年譯)

新聞鮮事

一覽世界科技進展

撰文／弗瑞澤 (Sarah Lewin Frasier)



摩洛哥
科學家在 4 億 8000 萬年前土崩的沉積物中，發現了排成縱隊、朝同一方向行進的三葉蟲。這些古老節肢動物排成的隊形，與現今龍蝦移動的方式相似。

以色列
研究人員發現，20 萬年前居住在以色列中部凱塞姆洞穴的史前人類，可能把鹿的腿骨保存長達九星期，再食用骨髓。這可能是史前人類保存食物的最早記錄。

美國
阿拉斯加北邊的海狗正大量聚集於博戈斯洛夫島，這是一座活火山的頂端，上次爆發是 2017 年。2019 年估計有超過 3 萬 6000 隻海狗寶寶在這座島嶼的泥漿泉間誕生。

伊朗
俄羅斯科學家追蹤的一隻老鷹，在沒有手機訊號的地區停留數月後飛入伊朗，追蹤器開始傳送之前儲存的大量座標訊息，該研究計畫因而收到昂貴的電信帳單。

剛果
剛果巨型蟾蜍模仿了毒蛇加彭膨 (Gaboon viper) 頭部的外形與色澤，這是科學家首次發現蟾蜍模仿毒蛇形態；加彭膨有全世界最長的毒牙與最多的毒液。(陳儀蓁譯)

南極洲
一座比夏威夷歐胡島還大的冰山從艾默里冰棚分離，科學家表示這類事件通常每 60~70 年才發生一次。衛星影像捕捉了這座冰山分離的即時動態。

神經科學

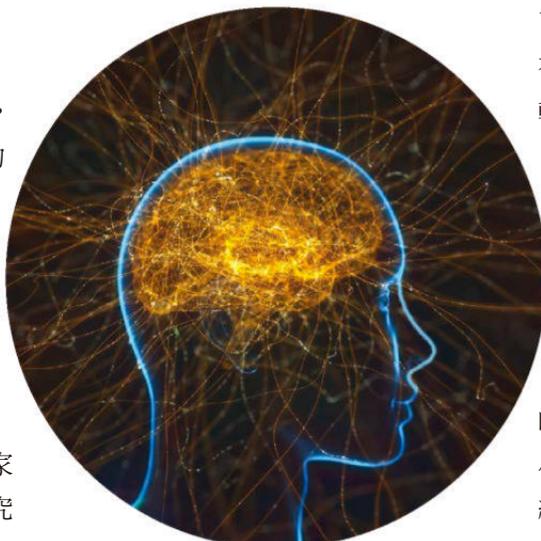
阻斷成癮的迴路

調整小鼠大腦的連結，可改變強迫行為。

撰文／麥金 (Simon Makin)

對許多戒斷中的癮君子而言，看見吸毒用具或行經過去吸毒的地方，都可能心癢難耐，因而更容易再犯。連結環境提示和愉快經驗是學習的基本型式，不過有些研究人員認為，這樣的連結會產生強迫行為，導致成癮及飲食失調等問題發生。

由美國密西根大學神經科學家費雷格 (Shelly Flagel) 領導的研究



團隊發現了可能控制這類強迫行為的大腦迴路。出現強迫行為的小鼠和正常小鼠相比，大腦連結和活動型態有所不同，這個迴路因而改變了牠們的行為。這些研究結果或許有助於研究人員了解為何有些人比較容易罹患衝動控制疾患 (impulse control disorder)。英國劍橋大學神經科學家戴利 (Jeff Dalley) 並未參與此項研究，他評論：「嚴格來說，這實在是一項非常傑出的研究。」

這項研究刊登於 2019 年 9 月的線上期刊 *eLife*。研究人員先給小鼠看一根靜止的槓桿，然後經由給食斜槽送出可口的飼料做為獎

賞，接著再根據小鼠的反應分組。所有小鼠都學會把槓桿與獎賞連結起來，不過有些「追蹤目標」的小鼠，看到槓桿後直接靠近給食斜槽，而那些傾向「追蹤標誌」的小鼠欲罷不能，不停返回槓桿處。

研究團隊認為這些行為牽涉兩個腦區：驅使行為的視丘旁室核（PVT）和涉及報償學習的前邊緣皮質（prelimbic cortex）。研究人員利用化學遺傳學（chemogenetics）技術，改變這些腦區的神經元，藉由藥物來激發或抑制前邊緣皮質發出的電生理訊號。激發這個迴路會讓追蹤標誌的小鼠較少靠近槓桿，追蹤目標的小鼠卻絲毫不受影響。

抑制這個迴路則會讓追蹤目標的小鼠較常靠近槓桿（如同追蹤標誌小鼠的行為），但追蹤標誌的小鼠則不受影響。研究團隊還發現，轉為追蹤標誌的小鼠大腦中多巴胺含量會升高，而多巴胺是涉及報償的神經傳遞物。

前邊緣皮質應該是施以下行（top-down）控制，而PVT則是處理提示所觸發動機的電生理訊號。「下行的皮質控制和上行的皮質下區域（subcortical region，與情緒有關）處理之間，有一定的平衡，但這個迴路的平衡狀態似乎因人而異。」費雷格說。那些「對周遭環境中的提示不可自拔的人，或許下

行控制能力有所缺陷。」她認為認知訓練療法或許有助於克服這樣的缺陷。

這個迴路的存在，代表了新療法指日可待，不過戴利表示，我們尚不清楚此迴路在人類大腦中的構造與分佈，且成癮並非單一機制，而是更為複雜的問題。

接下來，研究人員將嘗試在人體細探這些特徵。費雷格說：「一旦我們建立起追蹤標誌或目標的人體實驗典範，便能測試這些特徵能否成為心理病理學的徵兆。我們希望這有助於分辨較容易罹患某些心理疾病或癮頭較容易復發的人。」

（李之年 譯）

物理學

環狀量子位元

新材料的雙向電流性質可用於製造新一代量子電腦。

撰文／戴利（Jim Daley）

電子可以在超導體材料內部自由流動，絲毫不受阻礙。大多數超導體只有一條「通道」，但一種新發現的材料能讓電子同時朝兩個方向高速流動。

β -Bi₂Pd是由鉍和鉍結晶構成的薄膜材料，以這種材料製成的環可讓電流同時朝順時針和逆時針流動。這篇論文發表於2019年10月的《科學》，研究團隊表示，這種材料將可用於製造新一代量子電腦。量子電腦依據量子效應運作，運算效能比傳統電腦高出許多。

美國約翰霍普金斯大學物理學者及論文主要作者李禹帆（Yufan Li）表示，這種材料可以把「順時

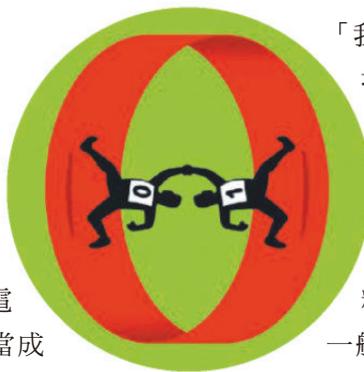
針與逆時針電

流的疊加」當成

量子位元。傳統電腦的

位元只有0或1兩種狀態，量子電腦則包含這兩種狀態以及0和1的疊加狀態（但不是薛丁格著名的既活又死的貓），因此量子位元可儲存的資訊遠多於傳統位元，能夠展現極為強大的運算效能。

目前的超導量子位元需要十分精確的磁場才得以運作。但李禹帆等人設計的 β -Bi₂Pd環（稱為超導通量量子位元）不需要外加磁場，就能使電流朝兩個方向流動。他們表示，這種性質可能「立即改良」目前的量子位元技術。李禹帆說：



「我們設計的量子位元不需要磁場就能運作，因此電路設計和校正都更加簡單。」

β -Bi₂Pd具有的奇特性質還可能產生稱為馬約拉那費米子的準粒子現象；這種粒子同時是自身的反粒子（與一般粒子的質量相同、電荷相反）。李禹帆表示如果超導材料具有這種性質，就有機會製作理論上可良好運作的量子位元，能把其分量傳送到更遠的距離，避免受環境雜訊影響。

不過要以 β -Bi₂Pd製作能實際運作的量子位元，可能還需要一段時間。未參與這項研究的紐約大學物理學家夏巴尼（Javad Shabani）表示必須再提升 β -Bi₂Pd環的操控性，才能用於製作量子位元。他評論：「我們需要更多操控方法，如果不能加以操控，就不可能善加運用。」（甘錫安 譯）

古地理學

用蛛穴定位冰河範圍

盲蛛的分佈可能用於追蹤長期地質變化。

撰文／冷恩 (Joshua Rapp Learn)

最近研究顯示，透過穴居蛛形類「盲蛛」(harvestman) 現今的居所，可描繪出約2萬2000年前末次冰盛期高峰時的冰河南方邊界。研究成果發表於2019年8月的《動物系統分類與演化研究期刊》，義大利國家研究委員會水體研究院 (Water Research Institute) 的生態學家馬莫拉 (Stefano Mammola) 是

這篇論文的第一作者，他說：「現在我們或許可藉由觀察盲蛛的分佈來重建冰盛期的冰河覆蓋範圍。」

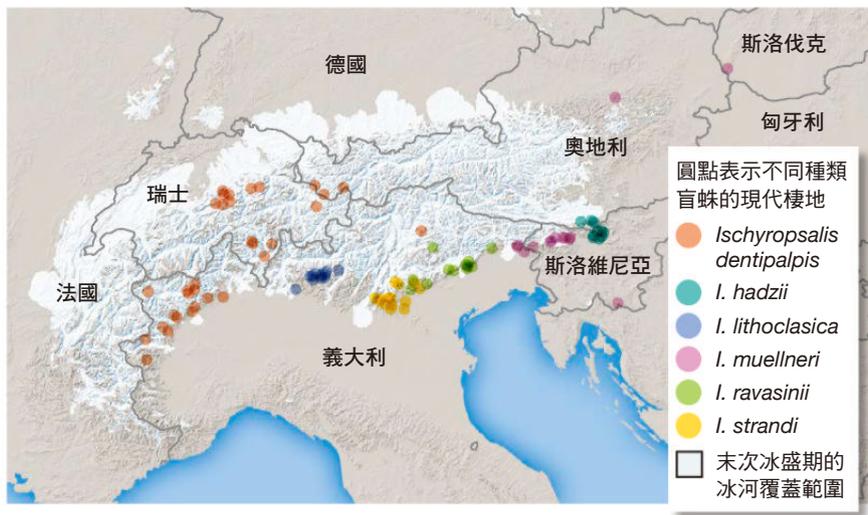
盲蛛的別名是長腳蛛 (daddy longlegs)，常被誤以為是蜘蛛。有一些盲蛛種類住在庇里牛斯山、阿爾卑斯山和巴爾幹半島的濕冷洞穴中，棲地範圍橫越歐洲、形成狹長帶狀。馬莫拉和研究人員把這些盲

蛛的分佈與地理學家提出的末次冰盛期冰河覆蓋模型相比，發現與冰盛期的南方邊界幾乎吻合，只有些微差異。

馬莫拉說，如果盲蛛的洞穴曾被冰覆蓋，牠們不太可能存活，但牠們或許也無法承受比冰河邊緣高上許多的溫度 (雖然現在的洞穴溫度已經比冰盛期高，但因為變化緩慢，盲蛛能夠適應)。「低溫條件和沒有完全冰封的洞穴之間有某種平衡。現在你看到的痕跡，只是過去更大分佈範圍殘留下來。」

研究盲蛛的美國馬里蘭大學的生物學家伯恩斯 (Mercedes Burns) 並未參與這項研究，她評論，盲蛛的分佈與古代冰河輪廓吻合，是合理的。「研究人員想用現在的物種來追蹤長期地質變化，是個不錯的想法。因為牠們一生中或甚至整個世代都不會移動太遠。」她補充，有些研究也顯示，植物種類也以類似方式反映古代地理。

馬莫拉說，他們測繪的盲蛛或其他洞穴節肢動物分佈圖，可能做為研究人員調查過去氣候條件的輔助證據。(姚若潔譯)



保育

野生老虎滅絕中

如果不停止盜獵，即使有豐富的棲地，老虎也依舊消亡。

撰文／納維爾 (Rachel Nuwer)

十年前，食肉動物學家認為寮國北部的一處偏遠地區，或許是該國最後的野生老虎天堂。在這個名為 Nam Et-Phou Louey 的保護區，研究人員為了驗證這項猜測，在2013

年設置了自動相機，隨即拍攝到兩隻老虎的影像。但好景不常：在四年研究期間，他們再也沒有見到任何野生老虎。

研究結果發表在2019年10月

的《全球生態與保育》，確認寮國的野生老虎已達功能性滅絕。研究人員也發現，過去認為仍存活於該保護區的豹已經消失。「在東南亞諸多的老虎保護區中，這是很重要的一處，甚至有如皇冠上的寶石。」論文資深作者、英國牛津大學野生動物保育專家麥唐納 (David Macdonald) 說：「發現這顆寶石已經消失，令人心痛。」

寮國老虎消失蹤影，反映了整

不見蹤影：Nam Et-Phou Louey 保護區的野生老虎已經消逝。

有如此多的森林和棲地，但若缺乏全面保護以對抗當地人大規模獵捕，野生動物只有滅絕一途。」

老虎在人類主宰的大地上仍可繁衍：印度的人口居世界第二，但重視老虎保育，現在印度擁有地球上僅存野生老虎數量的 2/3。麥唐納說，其他國家可從印度和寮國的例子學習，例如泰國目前仍有約 200 隻野生老虎；保護老虎棲地很重要，但消除貪腐、擊潰盜獵、降低對老虎的需求也一樣重要。他補充：「無論如何，人們必須做出改變。」（姚若潔 譯）



個東南亞令人憂慮的趨勢；在越南和柬埔寨，老虎更早就見蹤影。現在全世界的野生老虎不到 4000 隻，在麥唐納與同事調查的地方，幾乎每一處的野生老虎都迅速減少或完全消失。本來常見的豹也面臨同樣的處境。棲地減少是原因之一，但麥唐納說，主要原因是「十分惡質的盜獵潮」。

本論文的第一作者拉斯馮恩（Akchousanh Rasphone）是第一位自英國牛津大學取得博士學位的寮國女性，她和同事在 Nam Et-Phou Louey 將近 6000 平方公里崎嶇險峻的山脊和密林中，設置 300 個相機站台。四年間，他們觀察到 43 種哺乳類和鳥類，但沒有豹的記錄，

2013 年後也沒有發現老虎。寮國主要保護區的反盜獵行動得到國際重要的非營利團體支持，但和許多國家一樣，盜獵者仍找到獵殺野生動物的方法。

卡倫斯（Ullas Karanth）評論：「這些發現其實絲毫不令人驚訝。」他是印度邦加羅爾（Bengaluru）野生動物研究中心（Center for Wildlife Studies）的食肉動物學家，並未參與這項研究，他表示：「這個地點和整個東南亞

阿道夫梅克爾研究所的奈米光子學專家威爾特（Bodo Wilts）。

這些科學家合作探討雄蛾翅膀上奈米大小鱗片產生的視覺效果，他們發現從上方觀看這些鱗片時，鱗片會直接反射光源，就像一面晦暗的鏡子；若是換個角度，鱗片會讓一部份光源通過，顯現一層深色的鱗片，因而呈現出雄蛾翅膀上的斑點。如果雄蛾奮力拍翅（雄蛾求偶時常見的行為），這些斑點會閃閃發光，在昏暗的環境中發出獨特的訊號。

美國密西根大學的行為生態學家提貝茨（Elizabeth Tibbetts）並未參與這項研究，他評論：「這些夜蛾懂得如何避人耳目，牠們發出的信號從某個方向來說非常明顯，從另一個方向卻如同隱形，這讓雄蛾能有效吸引雌蛾，同時不被天敵發現。」（陳儀蓁 譯）

光學

雄蛾求偶，暗中放閃

牠們的前翅在夜晚能閃閃發光。

撰文／巴拉斯（Harini Barath）



一種夜行性的落葉裳蛾可能透過改變翅膀上的斑紋，在黑暗中秘密吸引配偶。根據 2019 年 9 月發表在《當代生物學》的研究，科學家發現這些雄蛾的前翅有三處斑點，隨著觀看角度呈現不同的深淺和大；雌蛾的前翅則沒有這些變化。

研究人員已知，日間活動的蝶蛾會使用動態視覺效果來溝通，但他們一直以為夜間活動的物種處於缺乏光源的環境，大多依賴化學信號溝通。現在科學家首次發現夜行性蛾類翅膀的斑紋變化，顯示這些

蛾類也會使用視覺訊號溝通。由於這些斑紋變化只在雄蛾身上發現，研究人員認為這和性擇機制有關。

澳洲西澳大學的生態學家凱利（Jennifer Kelley）和同事為了另一項研究在博物館中觀察蛾類標本時，首次注意到這些夜蛾翅膀上的變化。凱利說：「我們意識到這些變化取決於觀看角度時，就知道我們得先了解光學，才能理解其中的機制。」研究團隊於是聯絡了澳洲梅鐸大學材料幾何學家施羅德－特克（Gerd Schröder-Turk）以及瑞士

天文學

超新星的化學面貌

呈現恆星爆炸時動態化學狀態圖的新工具。

撰文／伯科威茲 (Rachel Berkowitz)

當密度極大的白矮星從鄰近的伴星吸取到足夠物質後，將會引發核融合爆炸，形成 Ia 型超新星。Ia 型超新星噴出新合成的多種元素，這些新元素與星際氣體混合，最後形成恆星和星系。不過，天文物理學家還不清楚引發這些爆炸的明確條件。

位於智利的「超大望遠鏡」(VLT) 提升性能後，澳洲新南威爾斯大學坎培拉分校的天文物理學家塞頓札爾 (Ivo Seitenzahl) 等人借助這座望遠鏡，製作出史上首張超新星殘骸 3D 化學狀態圖。未參與這項研究的美國匹茲堡大學天文物理學家巴德尼斯 (Carles Badenes) 評論，這些圖片可協助科

學家逆向推測，「找出這些爆炸的動能和恆星質量等基本性質。」

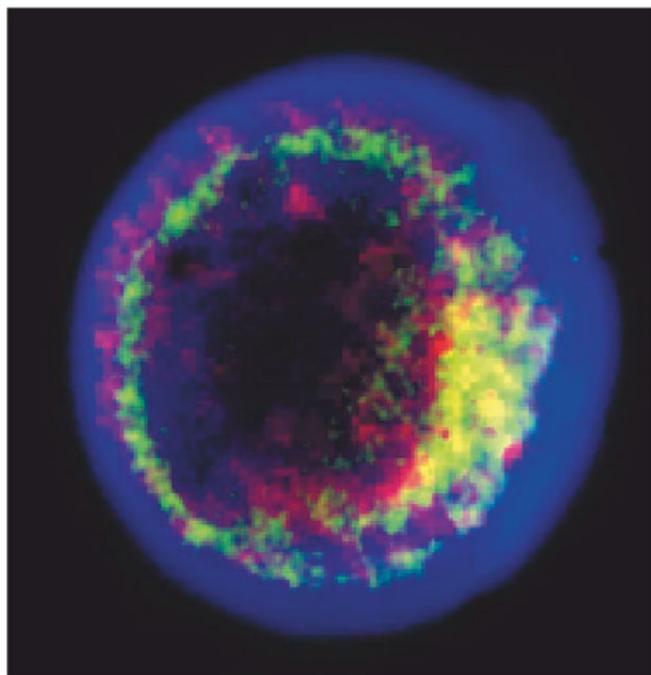
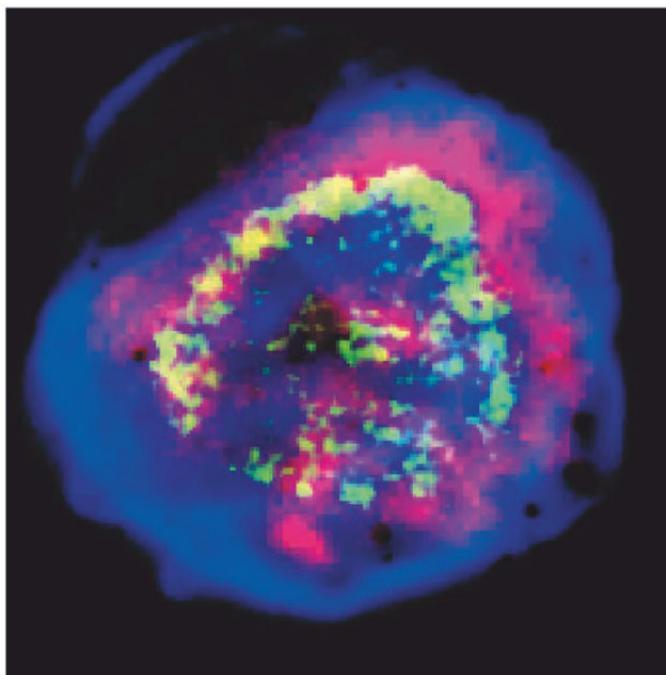
超新星爆炸時，白矮星核心的重元素以超音速噴出，引發一股向外散播的震波，穿透周圍星際氣體和塵土；另一股震波反彈回到超新星殘骸處，使噴出物質的溫度升高，產生 X 射線。科學家可藉由這些 X 射線了解超新星殘骸的成份，但目前 X 射線觀測儀器的解析度較差，難以測量噴出物質的運動。

塞頓札爾團隊藉由 VLT 的可見光資料，以新方式分析超新星殘骸，研究成果發表於 2019 年 7 月的《物理評論通訊》。基本模型指出，宇宙中大部份的鐵源自 Ia 型超新星。這些鐵位於超新星震波後方

越遠，所帶電荷就越強，同時會放射出明顯的可見光。但在 VLT 提升性能之前，科學家還無法偵測這些微弱的放射線。

VLT 提升性能之後，研究人員得以偵測銀河系旁的大麥哲倫雲超新星殘骸中的帶電鐵層。他們首次可由帶電鐵放射光線的變形圖樣，判定 Ia 型超新星殘骸向內傳播震波的速度。未參與這項研究的普渡大學天文學家米爾薩伏耶維克 (Dan Milisavljevic) 評論：「新科技帶來令人興奮的發現，正好適合用於研究這種超新星。」

塞頓札爾團隊還發現由單一白矮星形成的超新星。這顆白矮星的質量可能太小，不足以引發這樣的爆炸，這起事件意味著這個過程尚待釐清。後續的研究應該能更深入了解 Ia 型超新星產生化學物質的細節，包括這些爆炸究竟源自超新星表面或是內部，以及足以引發爆炸的條件等。(甘錫安譯)



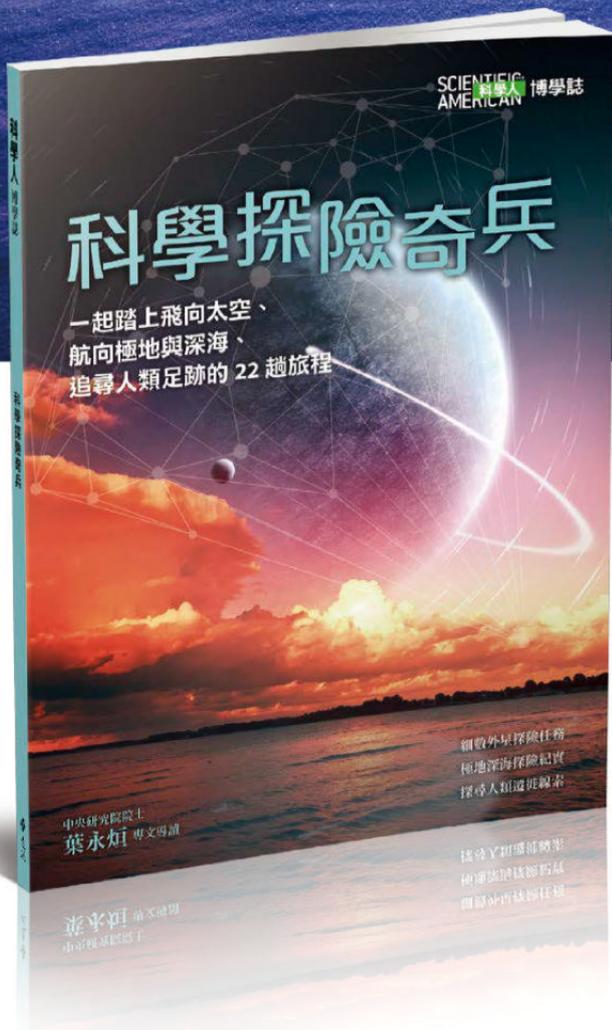
波光閃閃：兩個超新星殘骸放射出光線，綠色代表帶電的鐵元素。

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各大陸。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



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》。

我們這地方的特色是愛求知

人人都有好奇心，受文化影響而程度有高低之別。

撰文／高涌泉

今年1月，我們平順走過了一場全世界矚目的選舉。台灣進入全面民主時代其實未滿30年，但是民主程序已經生根，這不是一件易事。全球半數以上的國家離民主還有很長距離。長久以來，民主與科學常被相提並論，它們皆來自西方，這是大家都知道的；兩者對我們來說都是很奇怪的東西，以致即使只是學習其皮毛，還是得經一番掙扎。

1915年，陳獨秀創辦《青年雜誌》（後改名《新青年》），發表創刊辭〈敬告青年〉，對青年提出六項呼籲。第一點是「自主的而非奴隸的」，裡頭寫道「世稱近世歐洲歷史為『解放歷史』：破壞君權，求政治之解放也；否認教權，求宗教之解放也，……。解放云者，脫離夫奴隸之羈絆，以完其自主自由之人格之謂也」；第六點則是「科學的而非想像的」，裡頭寫道「近代歐洲之所以優越他族者，科學之興，其功不在人權說下，若舟車之有兩輪焉。」所以陳獨秀的主張是「國人而欲脫蒙昧時代，……，當以科學與人權並重。」

四年之後，陳獨秀發表了〈《新青年》罪狀之答辯書〉，更加明確地講「西洋人因為擁護德（民主）、賽（科學）兩先生，鬧了多少事，流了多少血，德、賽兩先生才漸漸從黑暗中把他們救出，引到光明世界。我們現在認定只有這兩位先生，可以救治中國政治上道德上學術上思想上一切的黑暗。」（參見2019年6月號專欄「形上集」〈為什麼非彎曲時空不可（一）〉）

100多年後我們回首，不能不有感於陳獨秀的眼力，但是民主與科學這兩帖藥之苦、之難以下嚥，恐怕也在他意料之外。為什麼如此？我相信關鍵在於科學與民主都不是自然、直覺之物：民主不若民本思想那麼自然，科學也比技術更抽象。我先來談民主制度之奇。

就實踐層面而論，民主制度的意涵是「一人一票」。這種不分賢愚貴賤的平等，且不说專制皇帝不能容忍，即使是無私心的大學問家也有所質疑。例如哲人

蘇格拉底因被雅典公民投票認定犯了「蠱惑雅典青年與對神不敬」之罪，而判死刑，以致於其學生大哲學家柏拉圖相信民主制度比由「哲學家皇帝」領導的貴族政體更惡劣。啟蒙巨人例如洛克、伏爾泰、盧梭也憂心迷信、不用腦的群眾如何能做出正確的判斷。但是人民的「無知」並非不可改變之事，良好的教育就是一個解方。更重要的是「哲學家皇帝」只是一種概念，不存在於現實世界——羅素或愛因斯坦會是好皇帝嗎？而民主除了在道德上有其深刻的意義之外，它的多元與彈性更適於面對不可預期的未來，這一優點並非來自聰明哲學家的規劃。

至於科學，雖然一些人視其為不過是器物之學而已，但要掌握其精髓也非易事；麻煩在於科學概念往往違逆直覺，我之前在2006年8月號專欄「形上集」〈不自然的科學〉談論過。不過另有一個面向值得一提。好奇心是科學的起點，而正如亞里斯多德所說，好奇又是人的天性，然而科學之火卻未普遍出現於所有人類社會，為什麼？

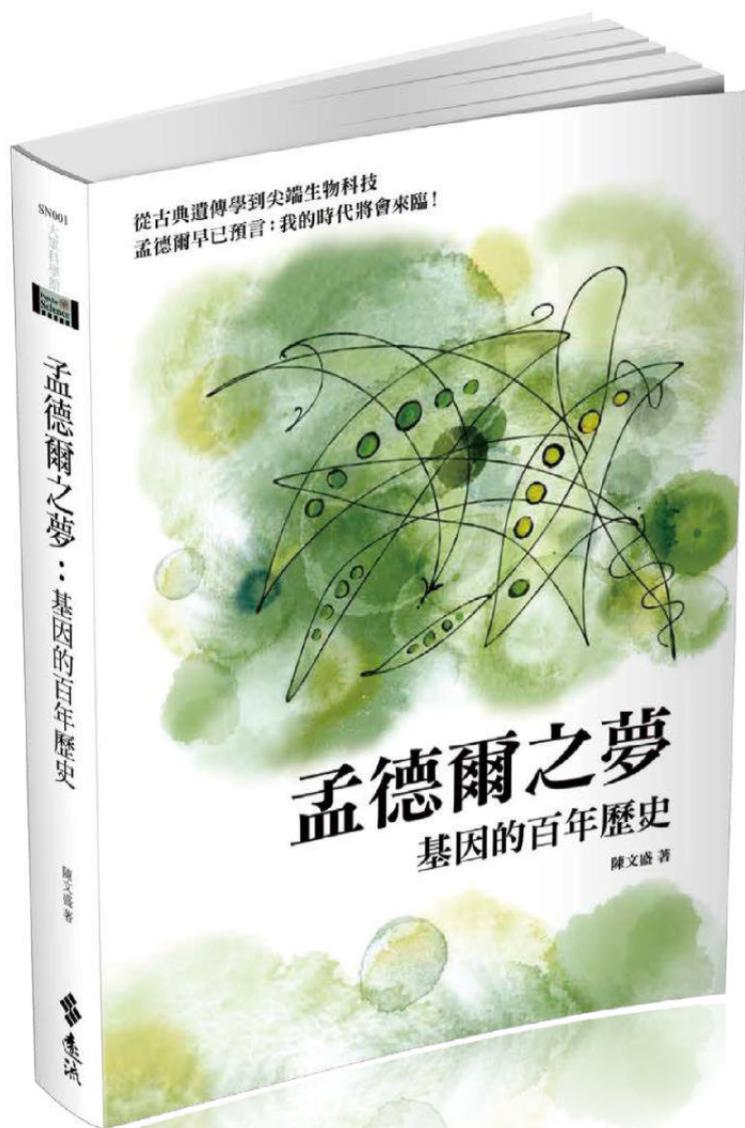
柏拉圖在《理想國》（435e）中講了一件事（這是我從《希臘之道》中讀到的）：「我們（雅典）這個地方的特色是愛求知，而埃及人與腓尼基人則較愛錢。」不論柏拉圖是否以偏概全，他點出了不同的文化重視的事物不同。所以儘管人人都有好奇心，因為受到所處文化的影響，好奇心的程度就有高低之別；科學在某些文化中受到重視，但是在其他地方就可能不被當做一回事。因此科學的生根也意味著文化的變遷，這當然不是一朝一夕可達成、甚至可說是極為困難之事。

科學與民主儘管是好東西，但並不是萬靈丹。例如民主防止了獨裁者的愚蠢，但是難以保證不會出現集體的愚蠢；又例如科學提升了人們生活水準、延長了人類的壽命，卻也帶來全球暖化。所以人類的歷史絕對尚未終結。■

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



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。

問什麼？怎麼問？

問對問題，難題就已經解決一半。

——榮格（Carl Jung，瑞士心理學家）

撰文、插畫／陳文盛

歐美有個小故事，說有個人在工作室敲敲打打，朋友問他在做什麼，他回答說家裡老鼠猖獗，舊的捕鼠器都沒用，他想做更好的捕鼠器。朋友問他有沒有想到養貓。這故事是嘲諷這人眼光狹窄，脫離了原來的問題（捕鼠），只專注在技術性的「如何製作更好的捕鼠器」。

在實驗室裡，學生來和我討論某個技術性問題時，我先問他用這技術的目的是什麼，因為要達到那目的，也許有更適合的技術，或甚至不必進行那實驗。當我們面對「如何做某事」的問題時不要忘記「為什麼要做某事」，因為「做某事」或許不是唯一或最好的解決方案。這樣的反省讓我們回歸重點，打開思路。

為什麼一個問題會有不同的合理答案呢？ 這是因為問題本身不夠明確， 沒有交代問題中的「為什麼」問的是什麼？

法國哲學家李維史陀（Claude Lévi-Strauss）曾經說：「科學家不是提供答案的人，而是問對的問題的人。」問對的問題讓你從正確的起點出發，讓你一針見血從準確的角度切入，避開讓你迷失或挫敗的歧途。

牛頓在蘋果樹下，似乎就問對了問題。他從掉落的蘋果得到靈感的故事大概是真的。根據他的朋友史塔克里（William Stukeley）的回憶錄所述，1726年有一天史塔克里去拜訪當時已83歲的牛頓，他說：「晚餐後我們走到花園，在蘋果樹的樹蔭下喝茶，只有他和我。在談話中他告訴我，他以前就是在同樣的情形下得到重力的觀念。他問自己：『為什麼蘋果總是垂直往地面掉……為什麼不往兩側或往上，而總是往地心走？』」牛頓問的蘋果問題最終孕育出他的萬有引力定律。

19世紀初同樣在英國的道耳頓對研究結果提出一

個問題：「為什麼每種能溶解在水中的氣體，體積都不一樣？」他認為原因是各種氣體的構成單位是特定的「最終粒子」，不同氣體最終粒子的重量和大小不一樣。道耳頓從這樣的假設推論出「原子論」，奠定了現代化學的基礎。

1987年我剛進入陽明醫學院（現在的陽明大學）任職，和學生及助理開始研究一種土壤細菌鏈黴菌（*Streptomyces*）。我們提出一個問題：鏈黴菌的遺傳有一個奇特現象，就是它們的染色體有很大的區域非常不穩定，很容易被刪除。這是其他細菌很罕見的現象，到底是什麼奇特的結構或機制造成不穩定？我們追究到最後，發現鏈黴菌的染色體居然是線狀的，而不穩定區域

就位在染色體的末端。這個發現讓大家都嚇了一大跳，因為在這之前，大家都以為鏈黴菌和其他細菌一樣具有環狀染色體。

這三個例子都是根據觀察或實驗結果發問，提出可以被檢驗的理論，再進行實驗測試。有時候科學家腦中的構思卻無法（至少在當時）做實際的觀察或實驗，只能進行所謂「思考實驗」（thought experiment）。愛因斯坦年輕時就做過這樣的思考實驗：他想像，如果自己以光速前進，將會看到怎麼樣的景色？這個思考實驗引導出他日後發展的廣義相對論。

除了問好的問題之外，當我們把問題講給別人聽的時候，提問的方式也要正確。下面的例子是一則同樣和貓有關的問題：「有一隻貓從牆上跳下來，牠先往左邊看看，再往右邊看看，然後往前直走。為什麼？」有人回答：貓先左看再右看，是要看有沒有車子開過來。也有人回答：先是左邊有人叫，然後右邊有人叫，所以貓先看左邊再看右邊。腦筋急轉彎真正的答案是：貓往左邊看再往右邊看，是因為牠不能同時看兩邊。



這出人意表的答案雖是搞笑，但是合理，因為凡是貓、獅、人等掠食動物的雙眼都長在頭的前側，讓兩眼前方的視野充份重疊，景物看起來才有立體感，能瞬間準確判斷獵物的距離；這種安排的代價是個體必須轉頭才能看清楚兩側。反之兔、馬、羊之類的獵物，雙眼就長在頭的兩側，隨時可以眼觀八方、提防掠食者。上面腦筋急轉彎的答案就不適用於兔子，因為兔子可以同時看左右兩邊。

仔細想想，三個答案都是針對不同的重點作答，邏輯上都沒錯。那麼為什麼一個問題會有不同的合理答案呢？這是因為問題本身不夠明確，沒有交代問題中的「為什麼」問的是什麼？是問為什麼要往兩邊看再前進？或者為什麼先看左邊再看右邊？或者為什麼不兩邊一起看？回答的人也沒弄清楚，就根據自己的假設作答，有人回答貓為什麼兩邊看之後再前進；有人回答貓為什麼先看左邊再看右邊。而腦筋急轉彎的答案是為什麼兩邊不一起看。作答者如果夠嚴謹的話，應該要請發問者釐清他想問的是什麼，才能針對問題思考作答。當

然如果碰到這樣嚴謹的對手，腦筋急轉彎就沒輒了。

這個腦筋急轉彎依賴的就是我們平常不嚴謹的態度。日常生活中我們問的問題常常不夠嚴謹，或許會降低效率，也會迸發笑點。例如有一位老太太用雨傘戳一下公車司機，問說：「這裡是哪裡？」司機回答說：「這是我的肋骨。」

在正式場合提出不夠嚴謹的問題，後果就比較嚴重。考試的問題如果陳述不夠嚴謹（像上面貓的問題），就會誤導學生。如果是口試，考生還可以請老師釐清問題；如果是筆試，可能就會答非所問。

在台灣教育環境長大的學生們比較不喜歡公開問問題。我在美國攻讀博士的時候，系裡每星期都有兩場演講，由老師和同學報告自己的研究成果或閱讀文獻的心得。老師都鼓勵同學踴躍發問，因為在互動中進行的解釋、辯證和討論都是很重要的學習工具。

那時候我定下一個目標：聽每一場演講一定要發問一次。當時因為要講英文，我都事先推敲想好要說的句子、想好如何清晰有邏輯地提出問題，不要結結巴巴說不清楚。前幾次我都要鼓起勇氣才敢舉手，但多多練習，久而久之就養成好習慣。附帶的好處是因為要提問，每次都會認真聽講。

後來我一直鼓勵學生勇敢發問，我告訴他們要記取「國王的新衣」的故事，要學習那位質疑國王沒穿衣服的小孩，雖然和其他人意見不同，仍然坦直地說出自己心中的疑問。美國哲人愛默生曾說過：「當對方呼聲很高的時候，我們更要心平氣和堅持我們自發的感想，不然明天一位陌生人會高明地說出恰恰是我們一直想到和感受到的東西，我們將被迫羞慚地從別人那裡接受我們自己的見解。」即使最後發現你是錯的，你也會從中有所學習。問越多，錯越多，學越多。學習過程不要害怕暴露你的無知，不懂不要裝懂，讓老師知道你不懂，老師才能適當地教導你。

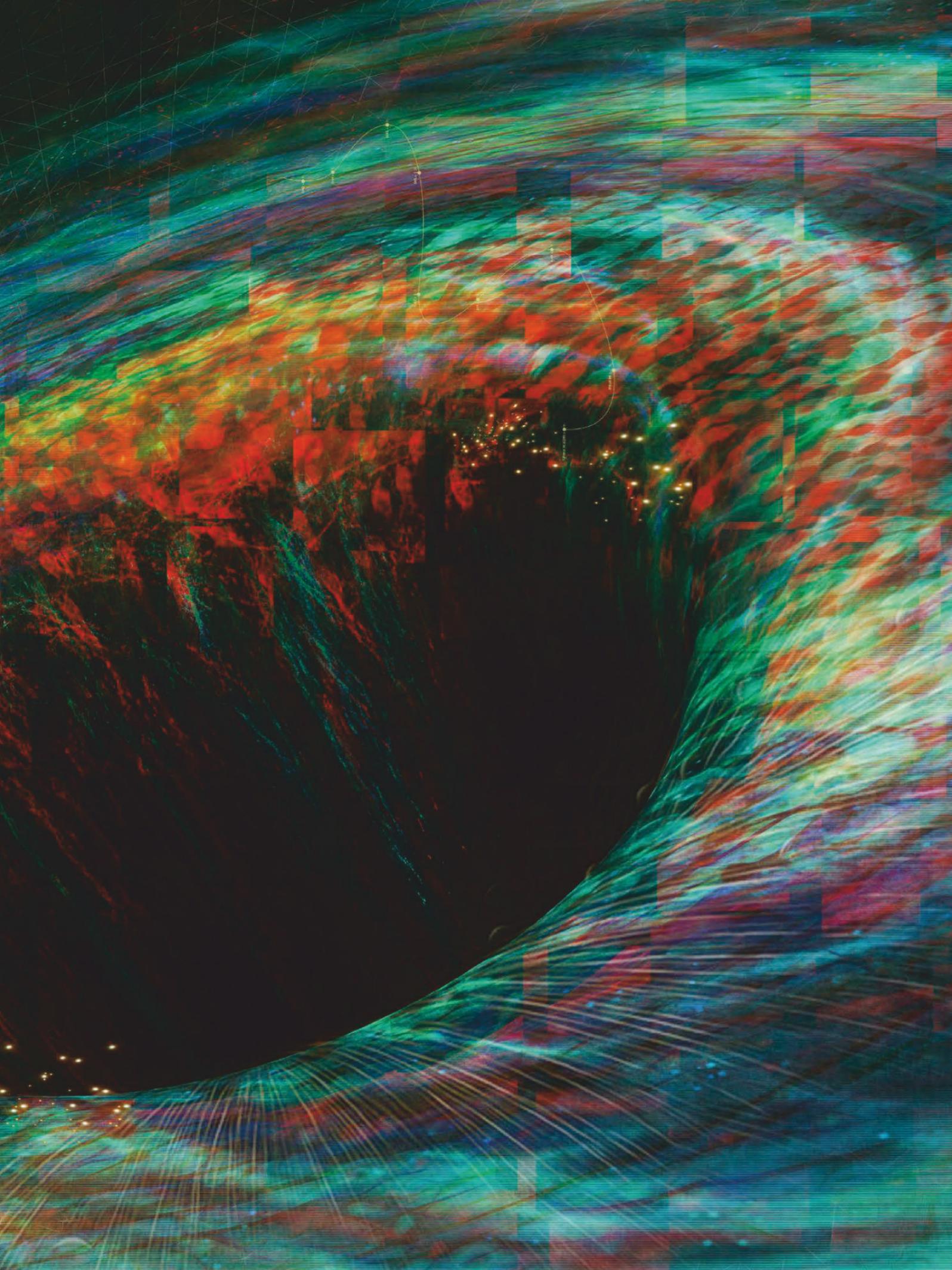
我們不要只吸收問題的答案，而要多問問題，問正確的問題，並且正確地問問題。SA

逃出黑洞

量子資訊必須掙脫黑洞的枷鎖，
才能挽救量子力學。黑洞影像和重力波的觀測結果
或許能告訴我們，該如何達成此事。

撰文／吉丁茲 (Steven B. Giddings)

翻譯／李沃龍



2019年4月10日，人類首次目睹了黑

洞的輪廓。事件視界望遠鏡（Event Horizon Telescope, EHT）團隊運用並整合遍及全球的電波望遠鏡網絡，公佈了這個具有65億太陽質量且鄰近M87星系中心之黑洞的影像。這是一項驚人的成就：我們長久以來即預測黑洞存在，卻從未直接「看見」，這是首次拍攝到宇宙中最神秘的天體。更令人興奮的是，這些黑洞影像與後續的觀測結果將為物理學中最深奧的謎團提供線索。

這個費解之謎是關於黑洞內物理資訊的「弔詭」。物理學家僅研究這個謎團就發現，黑洞的存在抵觸了迄今用來描述宇宙中其他事物的量子力學定律。解決這個弔詭可能需要深刻地改革基本觀念，有如量子力學推翻了古典物理。

理論學家探討過許多概念，仍未找到直接證據以解決這謎團。不過，第一幅黑洞影像開始為我們的理論提供實際數據；EHT後續的觀測結果，特別是黑洞隨著時間演化的觀測結果，以及最近利用重力波觀測站直接偵測黑洞的碰撞事件，或許可提供新的重要線索，協助引領物理學進入嶄新的時代。

量子資訊問題

黑洞雖然異常神秘，但似乎大量存在於宇宙之中；EHT的觀測結果和重力波的偵測結果，就是最新且最扎實的證據，證實這種近乎虛幻的天體確實存在，而且非常普遍。不過，黑洞的存在威脅了現今物理學的基礎；一般認為，量子力學的基本原理支配了其他的自然定律，用於黑洞時卻產生矛盾，暴露出這些定律的當前形式有所缺失。

這個問題源自一道關於黑洞的最簡單疑問：當物質墜入黑洞時會發生什麼事？在此，需稍加鋪陳，才能充份解釋這道疑問。首先，根據目前的量子力學法則，物質與能量可在不同的型態間轉換，例如粒子可變成不同種類的粒子。但量子資訊永遠不被摧毀，是唯一不可更

吉丁茲 (Steven B. Giddings)

美國加州大學聖巴巴拉分校的量子物理學家，專注於高能理論、重力的量子面向與量子黑洞的研究。



動的特性。如果我們知道某個系統完整的量子描述，就應該永遠能夠確定早先或後續的量子描述，絲毫不會漏失任何資訊。因此，此疑問更精確的說法是，墜入黑洞的量子資訊究竟發生了什麼事？

我們對黑洞的理解源自愛因斯坦的廣義相對論，它指出重力是時空曲率的產物；人們常以沉重的球置於彈簧墊上，造成彈簧墊表面凹陷變形來想像此概念。時空扭曲導致具有質量的物體和光的行進軌跡發生偏折，而這種現象就是所謂的重力。當質量分佈在一個足夠小的區域，引起周遭的時空嚴重變形，連光都無法逃離稱為事件視界的邊界時，該區域就形成了黑洞。任何事物的行進速度都不會比光還快，包括資訊在內，因此一切事物便被封鎖在那道邊界之內；當資訊隨著物質與光一起墜入事件視界時，黑洞就成了宇宙的排水口。

不過，這個故事還有更詭異的發展。1974年，霍金 (Stephen Hawking) 提出重大發現，預測了黑洞會蒸發消散。這項發現衍生出黑洞將摧毀量子資訊的驚人概念。根據量子力學，成對的「虛粒子」會在任何時間、任何地點形成。通常，這樣的粒子對包含一個粒子與其反粒子，而且在形成後便迅速湮滅了。但當這對粒子在黑洞的周遭形成時，其中一個粒子可能出現於黑洞邊界之內，而另一個則在邊界外。外頭的粒子會帶著能量逃離此區域，能量守恆定律告訴我們，黑洞因而喪失能量。長久下來，粒子的逃離將造成黑洞不斷萎縮，直到完全消失殆盡。問題是，這些稱為霍金輻射的逃離粒子並未攜帶任何關於墜入黑洞之粒子的訊息。因此，霍金的這項預測似乎顯示墜入黑洞的量子資訊最終將被摧毀，明顯抵觸了量子力學。

這個意料之外的設想引發了物理學的深刻危機。以往，這樣的危機會導致物理學重大的躍進。例如在20世紀初始，古典物理似乎預言原子必然不穩定，明顯違反了物質穩定存在的事實。這個問題在隨後的量子革命扮演關鍵角色。由於原子內的電子不斷改變運動方向，古典物理顯示這些電子會輻射發光，喪失能量因而墜入原子核裡。但波耳 (Niels Bohr) 在1913年提出新構想：電子實際上只能在量子化的軌域上運行，而不會墜入原子核。這項基本原理幫助建構量子力學的基礎，進

重點提要

- 根據量子力學，資訊永遠不會被摧毀，但考慮廣義相對論後，黑洞就可能摧毀資訊。
- 物理學家已提出一些理論，修改黑洞的古典圖像，以解決資訊弔詭，但都欠缺證據來檢視它們。
- 由於事件視界望遠鏡 (EHT) 最近拍攝了第一幅黑洞影像，而且重力波也偵測到黑洞碰撞事件，物理學家開始獲得新證據，朝解決資訊弔詭邁進。

黑洞資訊吊詭

黑洞是廣義相對論的預測產物，而且越來越多的天文證據支持它們的存在，但霍金於1974年論證黑洞終將蒸發消散。如果此話當真，那麼包括物質所攜帶的資訊在內，所有墜入黑洞的事物都將被摧毀。問題是，量子力學與能量守恆定律禁止資訊消失。為解決此吊詭，物理學家提出了數項修改黑洞圖像的理論，以便符合量子力學。

	假設	描述	問題
資訊被摧毀	「古典」黑洞  事件視界	具有事件視界的黑洞；當黑洞蒸發時，墜入黑洞的資訊會被摧毀。	違反量子力學與能量守恆原理，因為資訊不可被摧毀。
資訊未被摧毀	軟毛  資訊的跡象	資訊並未完全墜入黑洞，僅在事件視界之外留下跡象。	多數專家不認同這個圖像。
	絨球 	一種大質量殘骸，原有的黑洞視界被弦與高維度幾何所取代。	三項理論需要修改局域性的觀念：包括資訊在內的任何事物都不可以超光速傳遞。
	火牆  粒子牆	一種以高能量粒子牆取代視界的大質量殘骸；黑洞並沒有「內部」。	
	量子暈 	量子黑洞可能透過微小的時空漲落與環境交互作用，允許資訊轉移。	

而澈底重寫自然定律。黑洞危機也可能引發另一波物理學的典範轉移。

量子另類答案

當霍金首次預測黑洞蒸散時，認為量子力學一定出錯了，才會允許資訊被摧毀。不過物理學家迅即理解到，摧毀資訊勢必導致能量守恆定律失效，進而澈底否定我們目前對宇宙的描述。物理學家顯然必須另尋出路，以解決這個問題。

另一個早期構想認為，黑洞並不會完全蒸散，在萎縮至極小的尺度後便停止蒸發，留下一個包含原有資訊的微小殘骸。但科學家發現，如果此說法成立，量子物理將出現災難性的不穩定，導致一般物質爆炸而形成這類殘骸，同時抵觸我們日常生活的經驗。

必然有什麼事情不對勁。最顯而易見的結論是，霍金的原始分析有某些缺失，而資訊實際上可以逃離不斷發出霍金輻射的黑洞。它抵觸了現今物理學的基本觀念——局域性原理，該原理認為資訊傳遞的速率不可以超過光速。但根據我們對黑洞的定義，唯有速率超越光速才有辦法逃離黑洞。因此，假如資訊果真逃出了黑洞，那麼必然是以超光速行進，顯然違背了局域性。自霍金的發現40多年來，物理學家一直試圖在現今物理學中找尋這個論點的漏洞，至今仍未有所獲。

2016年霍金、英國劍橋大學的裴利（Malcolm Perry）與美國哈佛大學的斯楚明格（Andrew Strominger）的提案，可說是最接近的嘗試；他們認為原始分析裡有一個錯誤，資訊從未完全墜入黑洞，而在外頭留下所謂「軟毛」（soft hair）形式的跡象。仔細檢驗這個提案，看似可以封閉局域性的漏洞，可惜的是，多數專家並不相信這真的能解決問題。簡而言之，這個提案需要採用更根本的步驟，才能達到目的。

一個明顯的想法是，某些未知的物理定律或許可以完全阻止真正的黑洞產生。黑洞生成的傳統圖像顯示，當巨大恆星燃燒殆盡死亡，質量受重力擠壓而塌縮成黑洞。但會不會它們在尚未到達那個階段時，便已轉化成具有「較佳」性質的另一種天體？事實上，我們知道太陽這種質量較低的恆星燃燒殆盡時，並不會塌縮成黑洞，而是形成白矮星或中子星這類緻密的殘骸。或許這些未知的物理定律能阻止大型恆星形成黑洞，並轉化成某種「大質量殘骸」，類似中子星。

問題是，我們無法解釋這種天體如何穩定存在，任何物理機制都不能阻止天體在重力作用下持續塌縮，可

公諸於世：

在事件視界望遠鏡所拍攝的
這幅開創性影像中，重力明顯彎曲了
M87 星系中心黑洞周遭的光。

以做到這點的物理機制需要傳遞超光速的訊號，才能把塌縮的物質轉化成另一種狀態。事實上，低密度物質也能形成傳統的大型黑洞。假如位於 M87、擁有 65 億太陽質量的黑洞是由塵埃雲塌縮形成（理論上可行，但實際程序必然複雜許多），那麼只要塵埃雲的密度達到聖母峰頂端的空氣密度即可。（聖母峰頂端的空氣並未形成黑洞，純粹是因為數量不足；必須累積 65 億太陽質量才能產生這樣的黑洞。）在這種低密度狀態下，唯有發生某些劇烈且超光速的新物理程序，才能立即把塌縮雲轉化成大質量殘骸，而不形成黑洞。

另一個相關的概念認為，某些事物可能在黑洞誕生後卻尚未蒸散前，便將其轉化成含有原始資訊的大質量殘骸。不過與前述機制相同的是，這概念仍需要非局域性，把資訊從剛形成的黑洞內部轉移到最終殘骸上。

儘管存在問題，物理學家還是思索了這兩種情況。例如，弦論指出基本粒子是由微型弦組成，俄亥俄州立大學的馬瑟（Samir Mathur）在 2003 年據此提出了一個衍生構想，把黑洞轉化成類似「絨球」的大質量殘骸，

或是直接以絨球來取代黑洞。由於弦論的複雜物理，以及弦論容許超過傳統四維的時空存在，因此絨球可能具有複雜的高維度幾何性質；這些超弦的特性與高維度幾何，使絨球有更模糊且更寬廣的邊界，取代傳統黑洞清晰的事件視界。

另一個關於殘骸的較新構想認為，在大質量殘骸表面原本視界的位置，由高能粒子形成了一道「火牆」（firewall），以取代具有事件視界的黑洞。這道火牆會焚化任何撞到的事物，將其轉化為純粹的能量後，併入火牆之中。但無論是火牆或絨球理論，都違反了局域性，且產物將具有難以解釋的特性。

修正局域性

這些大質量殘骸理論的共通點是，藉由違反局域性原理來挽救量子力學。但這般魯莽地要求，就會像修改量子力學一樣造成災難性的後果，通常會導致另一種弔詭。具體而言，相對論的定律指出，若有人在空曠的平坦空間中傳遞比光還快的訊號，則高速行經的觀察者將會看

到該訊號沿著時間倒退。出現這種弔詭的原因，在於傳遞這種超光速的訊號讓你能向昔日發送訊息，例如要求某人在你母親出生前就殺掉你的外祖母。

儘管這類理論似乎抵觸了基本的物理原理，仍值得仔細考慮。修改局域性的限制似乎很瘋狂，但我們從未看過不瘋狂的另類選項。黑洞危機的嚴重性強烈指出，若透過某種可微妙背離局域性原理的解決方案，該原理就不會產生這種弔詭。換句話說，由於量子力學顯示資訊永遠不會被摧毀，所以墜入黑洞的訊息可能透過某種資訊「離域化」(delocalization)的方式逃出。當我們最終找到統一量子力學與重力的方法(這是現今物理學最深奧的問題)，就能明瞭造成那些嶄新微妙方式的原理。事實上，我們有其他理由認為這類微妙的機制可能存在。比起不含重力的理論，包含重力的理論在資訊局域化(被限制只能存在於某個地方)的概念上更精妙，因為重力場可擴及無窮遠處，這使局域化的概念變得更加複雜。

如果資訊確實逃離了黑洞，那麼它可能不需要明顯而突兀的變化，例如形成絨球、火牆或其他種類的大質量殘骸。越來越多關於黑洞的證據顯示，宇宙中有些天體的外觀和特性與古典黑洞非常相似，並未大幅偏離愛因斯坦的預測。愛因斯坦的廣義相對論在描述黑洞時，是否真的產生莫大的偏差？抑或有某些無害且未知的效應能造成資訊離域化，讓資訊從黑洞洩漏出來，從而避免了整個時空圖像如此戲劇化地失效？

我在最近的理論工作中，發現了這類效應的兩種情況。其一是黑洞周遭的時空幾何改變了，而黑洞裡的訊息使時空幾何彎曲並和緩地起伏，以致於不會撕裂墜入事件視界區域的太空人。在這種「強烈卻不魯莽」的情況下，如此閃爍的時空可以把資訊轉移出去。有趣的是，另一種情況更微妙且具備量子本質。在這種「微弱卻不魯莽」的情況下，即使是黑洞周遭時空幾何發生的微小量子漲落，也能把資訊轉移到從黑洞逃出的粒子上。由於黑洞可能包含極大量的資訊，因此訊息的轉移才足以挽救量子力學。在這兩幅圖像中，黑洞實際上都披覆著一層「量子暈」(quantum halo)，經由交互作用而把訊息傳回周圍的環境裡。

值得注意的是，儘管這些情況似乎需要傳遞超光速的訊息，卻不一定會產生「外祖母弔詭」。由於這裡的資訊傳遞與黑洞的存在是息息相關，黑洞的時空幾何與平坦空間不同，所以前述關於向昔日發送訊息的論證並不適用這些情況。從另一個角度看來，這些可能性非常

迷人：局域性原理也是禁止我們以超光速旅行的原因；黑洞的量子力學似乎在告訴我們，目前對局域性原理的描述是有問題的。

重寫物理定律

雖然至今尚未有兼容量子力學與重力的理論預測這種量子暈存在，但無論是基於觀察所做的假設，或為了解決資訊弔詭，均強烈指出這種量子暈的必要性。如果量子暈效應成立，可能代表了一種更深層現實的近似描述。我們對時空的概念是整個科學的基礎，但似乎需要大幅修正。目前為理解黑洞所做的研究，可能類似波耳等人建構原子物理模型時的首次嘗試。那些早期對原子的描述也只是近似的描述，其後才創立具備深刻理論結構的量子力學。雖然修改物理學的局域性是一件瘋狂的事，但若注意到量子力學定律對絞盡腦汁的古典物理學家而言同樣是瘋狂的事，我們就能稍感安慰。

由於揀選量子黑洞的性質、並發展更完備理論來描述它們，是一項極艱鉅的挑戰，物理學家渴望獲得實驗和觀測證據的指引。令人興奮的最新進展提供了兩扇可直接觀察黑洞的窗口。除了EHT的黑洞影像外，雷射干涉儀重力波觀測站(LIGO)及相關設施已經偵測到黑洞碰撞所產生的重力波，這些重力波攜帶有關其源頭天體極有價值的訊息。

較天真的想法是，EHT或LIGO可以偵測到任何偏離愛因斯坦對黑洞的敘述，但這似乎很荒誕。傳統上，只有當時空曲率在黑洞中心附近變得非常大時，才需修改廣義相對論，而在曲率非常小的黑洞事件視界附近則不必。然而，若考慮我在此描述的黑洞危機，則不必然如此。目前，大部份理論物理學者已達成共識，認為現今的物理定律必須修正，才能適切描述從黑洞深處到視界之外所發生的現象。因此，我們必須破釜沉舟，斷然採取必要的行動。就M87中央的黑洞而言，我們的預測與古典預測的偏差是我們太陽系大小的好幾倍。

LIGO和EHT已經排除其他能以一致邏輯描述黑洞的可能性。特別是，若以大質量殘骸取代黑洞，那麼這種疑似黑洞的天體直徑比預期的大上兩倍，而應該可從這兩項實驗的資料發現徵兆。以EHT的情況來說，在目前已遠近馳名的影像中，大部份光線來自一個約為事件視界直徑1.5倍的區域。在LIGO的情況中，我們所偵測到的重力波訊號也源自當兩碰撞天體間距已縮短至類似大小的區域內。雖然針對這些資料的研究仍處於初期階段，但EHT和LIGO已顯示出這些黑暗且緻密的

天體所發出的訊號符合古典黑洞的預測。

儘管如此，詳盡研究這些訊號更加重要。實際上，仔細分析這些訊號或許能發現更多關於黑洞量子物理學的線索。即使這兩項實驗沒有觀察到任何新效應，我們也能得到有用的資訊，可限制描述這類效應其量子現象的可能理論。

目前排除了大型殘骸的可能性，但那些只修改對視界附近描述的黑洞理論又如何呢？儘管像絨球或火牆這類殘骸還需要更全面的理論研究，才能進行完整的討論，但我們有一些初始指標。具體來說，這些天體的半徑可能與對應的黑洞視界相當，因為很少有光或重力輻

正如同原子和量子力學，更深入理解黑洞可能有助於引領新一波物理觀念的革命。

射能從非常靠近視界的區域逃脫，若真是如此，那麼EHT和LIGO的觀測可能皆無法揭露這樣的構造。

一種例外可能是重力「回聲」，這項理論是2016年由葡萄牙里斯本大學的卡多索（Vitor Cardoso）、西班牙巴塞隆納大學的法蘭茲（Edgardo Franzin）與義大利羅馬大學的潘尼（Paolo Pani）共同提出。他們認為，如果兩個殘骸合併成具有類似性質的最終殘骸，那麼重力波將可從合併殘骸的表面發生反射，進而被觀測到。雖然多數靠近視界的情況難以透過觀測結果排除，但這些另類構造的穩定性值得商榷，很可能仍會因自身重力塌縮而形成黑洞。當然，這對於所有大質量殘骸的理論都是普遍的問題，但是在這種碰撞中，若有極端的作用力存在，將使情況變得更複雜。

倘若新相互作用的有效範圍延伸至視界之外，又能微妙改變時空幾何，則較容易觀測到。例如在強烈卻不魯莽的情況中，黑洞量子量的起伏會扭曲光行經黑洞附近的軌跡。假如這種情況真的發生，則量子量產生的閃爍將造成EHT的影像隨著時間而變形。

在我與EHT科學家帕薩提斯（Dimitrios Psaltis）的研究工作裡，發現銀河系中心的黑洞大約一小時就會發生一次這樣的變化。由於EHT把多個小時的觀測結果平均，因此可能很難看出這些效應。但位於M87星系中心的黑洞，其質量比銀河系中心的黑洞大了1000倍以上，相關的起伏時間可達數十天之久。這項研究工作建議，應該進行七天以上的長期EHT觀測，才能比較

容易找尋到這些形變。如果實驗發現了這些形變，它們將會是關於黑洞量子力學的驚人線索。假如這些形變並未出現，就應開始轉向更微弱的量子理論，或是有某些更奇特的事物。

由於我們預期時空幾何的改變相對較低，因此較難檢視微弱卻不魯莽的情況。初步的研究顯示，這種情況可改變重力波的吸收或反射方式，因此可能對重力波訊號產生可觀察的變化。

若這兩種情況都正確，則我們不僅能了解更多關於量子黑洞的知識，還將了解更深入的自然定律。目前我們並不完全理解在重力場中該如何思索資訊局域化的問題，量子物理認為，時空本身並非物理學基礎的一部份，只是一種更基本數學結構的近似。量子黑洞效應的證據可能有助於

確立這個觀念。

想更深入了解真相，就必須擴展並改善EHT與重力波的偵測。對於EHT，進行更長時間的觀測，並設法拍攝其他目標的影像（例如我們銀河系中心的黑洞），這將有所助益。對於重力波的偵測，提高靈敏度並偵測到更多重力波源是有幫助的，而且當日本與印度的重力波探測器上線後，也將有助於美國與歐洲現有設施的運作。此外，還需要充份扎實的理論研究來改善現有理論，才更能釐清這些效應的根源和解釋，並徹底評估它們對EHT或重力波訊號有多大影響。

無論解決黑洞危機的方法是什麼，黑洞都含有關於重力之基本量子物理與時空本質的關鍵線索。正如同原子和量子力學，更深入理解黑洞可能有助於引領新一波物理觀念的革命。藉由排除量子黑洞的可能理論，或發現與其相關的新現象，EHT與重力波的研究成果有可能為我們提供關鍵訊息。SA

李沃龍是台灣師範大學物理系副教授。

▶ 延伸閱讀

Particle Creation by Black Holes. Stephen W. Hawking in *Communications in Mathematical Physics*, Vol. 43, No. 3, pages 199–220; August 1975.

Jerusalem Lectures on Black Holes and Quantum Information. Daniel Harlow in *Reviews of Modern Physics*, Vol. 88, Article No. 015002; February 2016.

Black Holes in the Quantum Universe. Steven B. Giddings in *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, Vol. 377, Article No. 20190029; November 2019.

訂戶專享 《科學人》雜誌知識庫中英對照版

〈中子星的核心秘密〉，《科學人》2019年5月號。
〈多重信使捎來宇宙訊息〉，《科學人》2018年7月號。
〈黑洞火牆〉，《科學人》2015年5月號。



撥開迷霧，猜想黑洞無限可能

黑洞奇想

黑洞不斷牽動著科學家與我們的想像，它不僅是愛因斯坦重力方程式的一種解，也是霍金與其他科學家的賭局。科學家把黑洞當做測試量子重力理論的遊樂場，但黑洞是否真的存在？我們看得見黑洞嗎？如果有一天可以去黑洞附近旅行，安全的賞玩位置在哪裡？記得出發之前帶上這本《黑洞奇想》，讓科學家告訴你必須知道的黑洞大小事。

精采單元

想想黑洞・看看黑洞・逛逛黑洞・玩玩黑洞

特別邀請

台灣大學物理系終身特聘教授

陳義裕 專文導讀



每冊定價**380元**
規格：菊八開／全彩印刷



尋回水稻 生物多樣性

印度過去擁有超過 10 萬種水稻，
其中許多品種能抵禦洪水、乾旱和其他災害，
但近年來大部份品種已消失，如何才能使它們重回田間？

撰文／戴博（Debal Deb）

翻譯／林雅玲

分門別類：印度巴斯哈農場的工作人員會根據不同品種來標示收穫後的稻穗。



戴博 (Debal Deb)

印度巴斯哈稻米保育農場以及芮衣稻穀種子分送中心（位於克蘭迪古達）的創辦人，也是巴拉克普爾跨領域研究中心的創辦人和主席。



我曾於1991年的酷暑裡，花費好幾個小時調查印度西孟加拉省南部「神聖樹林」(sacred grove)的生物多樣性，期間我進入村民穆爾穆 (Raghu Murmu) 的小屋休憩。穆爾穆是桑塔爾族的年輕人，他讓我坐在巨大的芒果樹下乘涼，他的女兒為我帶來冰水和稻米製成的零嘴。享用他們的招待時，我留意到穆爾穆懷孕的妻子正在喝一種紅色飲料，穆爾穆解釋那是布特穆里 (Bhutmuri) 稻米煮熟後的澱粉顏色。布特穆里的意思是「鬼頭」，可能取名自黑色稻殼。穆爾穆表示，這種飲料可以幫助婦女在懷孕期間和分娩後補血。我推測這些澱粉可能有助於改善分娩前後的貧血症，穆爾穆更表示還有另一種水稻：帕拉瑪薩爾 (Paramaisal, 長壽米之意) 可以幫助兒童健康成長。

多年後，我建立了水稻的蒐集與鑑定系統，確認布特穆里是南亞一種富含鐵質與特定維生素B的地方稻種；我也發現帕拉瑪薩爾含有豐富的抗氧化物質、微量營養素和易被人體分解消化的澱粉。然而，我當時初識這些擁有令人玩味的名字和民間藥用特性的罕見水稻品種時，就像是發現新世界。因此當我返回加爾各答後，便開始從文獻中著手調查印度水稻的遺傳多樣性，才意識到我能遇到穆爾穆實在很幸運，因為像他這樣種植地方水稻並了解其價值的農民，就如同這些水稻品種一樣正在消逝。

隨後幾年，我逐漸熟悉各式各樣的地方水稻品種，這些品種擁有驚人的用途和特性：有些能抵擋洪水、乾旱、鹽鹼化或是蟲害，有些富含珍貴的維生素或礦物質，也有品種帶著誘人的色彩、味道或香氣，因此在宗教儀式中具有特殊的用途。收集這些相當罕見但有價值



的品種、重新培養並與農民分享，從此成為我人生的重要使命。

失去珍寶

亞洲栽培稻 (*Oryza sativa*) 源自於新石器時代早期人類耗費幾世紀篩選並培育的野生稻，這便是達爾文稱為「人擇」的過程。考古和遺傳證據顯示亞洲水稻亞種之一的印度種，在7000~9000年前便種植於喜馬拉雅山東部山丘（幾乎所有印度次大陸的栽培稻種都屬於印度種）。在隨後數千年的馴化和種植過程中，傳統農民培育出許多珍貴的地方品種，能良好適應並生長於不同土壤、地形與微氣候，也能滿足特定的文化、營養或藥用需求。

水稻研究先驅科學家理查利亞 (R. H. Richharia) 指出，印度在1970年代仍種植超過14萬種地方品種。如

重點提要

- 印度過去擁有超過10萬種具備珍貴特性的地方水稻品種，有些富含重要的營養素，有些能抵擋洪水、乾旱、鹽鹼逆境，有些甚至能夠抵禦病蟲害的侵襲。
- 綠色革命導致幾種高產品種獨霸多數農田，使得農民栽種的地方品種約有90%消失了。
- 高產品種需要昂貴的投資，卻在貧瘠農田或惡劣環境條件下表現不佳，迫使貧困農民陷入債務危機。
- 收集僅存的地方品種、重新培養、記錄其特性，並分享給農民使用，藉此挽救水稻正在消失的生物多樣性，是作者的人生使命。



辛勤播種：他們必須每年播種、培植並收穫 1000 多個品種，才能尋回被遺忘的地方品種。當地農民在巴斯哈農場裡把水稻秧苗移植到水田中（1），另一位農民在農場裡工作（2）。

果僅考慮唯一品種，排除因不同地區而有不同名稱的同一品種，總數可化約為 11 萬種。然而，正如我透過文獻調查所了解的，自從印度政府推行綠色革命（或稱農業現代化）後，印度水稻的遺傳多樣性便急劇下降。

1960 年代後期，國際水稻研究所（IRRI）提供印度政府高產品種（HYV），在供應充足的水份、肥料和農藥時，這些品種可生產大量稻米。IRRI 與國際發展機構合作，敦促印度政府以這些高產品種取代各地農田的地方品種。在大力推廣、甚至是半強迫的情況下，這些新型水稻迅速成為了印度農田的主要栽種品種。

IRRI 研究人員在 1970 年代晚期至 1980 年代初期，記錄了西孟加拉省 5556 個地方品種，並收集其中 3500 種做為基因銀行的庫藏。1994 年，由於我遍尋不著該省記錄僅存品種的文件，便開始進行獨立調查並在 2006 年完成，結果發現 90% 有記錄的品種已從農田消失。事實上，現今印度各地種植的地方水稻品種可能不超過 6000 種。同樣地，孟加拉水稻研究所也在 1979~1981 年間記錄了 1 萬 2479 種品種，但我分析近期的一項研究，發現孟加拉全國目前栽種的地方品種少於 720 種。

當我理解到印度生物多樣性驟降的情況，身為生物學家和關注此事的公民，我非常震驚，對農業機構毫不

關心此地重要水稻的遺傳流失感到疑惑。畢竟，重要作物在喪失遺傳多樣性後所帶來的可怕後果，只要借鏡愛爾蘭在 1845~1849 年發生的大饑荒便能明瞭。

當時愛爾蘭種植的馬鈴薯，多屬於「愛爾蘭工人」（Irish Lumper）單一品種，無法抵抗馬鈴薯晚疫菌（*Phytophthora infestans*）所引發的馬鈴薯晚疫病。1846 年，馬鈴薯的產量因為疫病而減少 3/4，導致隨後幾年裡種薯短缺，嚴重影響人民生計：在饑荒期間，高達 150 萬人死於飢餓和疾病，而持續十幾年的饑荒和作物匱乏，造成將近 130 萬人從愛爾蘭移民到北美洲和澳洲。喪失遺傳多樣性會使該作物容易受到害蟲或疾病侵害，對農業學家來說是一場難忘的教訓：栽培單一作物對於長期的糧食安全有害。過去稻鐵甲蟲（rice hispa）和褐飛蟲（brown planthopper）等昆蟲未曾引發嚴重問題，但是綠色革命之後，這些昆蟲開始摧毀一些亞洲國家的水稻作物。

大面積栽培單一作物會為特定害蟲提供豐富的美食，農民為了消滅牠們，可能會噴灑過量的殺蟲劑，卻導致這些害蟲的天敵死亡。最終的結果是增加害蟲的多樣性和數量，進而驅動持續噴灑農藥的循環。作物品種的遺傳一致性，尤其是瞄準「高產」這個單一性狀的綠色革命品種，意味缺乏承受多變氣候的能力，例如雨水不足或延遲降雨、季節性洪水，或是風暴潮（storm surge）造成海水淹沒沿海農田。貧窮的農民可能負擔不起灌溉農田的幫浦，脆弱的高產品種使他們更容易受環境波動的影響。

地方品種的流失進一步導致相關種植知識系統的凋

水稻寶庫

仔細檢視水稻的 50 多種特徵，南亞的傳統農民能區分數千種品種，包括時序特徵，例如開花時間或成熟時間。然而，生理特徵也同等重要，例如稻穗的長度、大小和顏色，劍葉的角度，莖桿的長度、寬度和顏色，穀粒的大小、形狀和顏色，莖節顏色。這種專業技能猶如水稻品種一樣，目前正逐漸消失，然而傳統農民正是透過這種技能仔細選擇適合栽種於不同生態環境的品種，例如哪些品種適合乾旱坡地或是容易發生洪水的低窪地，哪些品種擁有特定的營養素或具有文化和醫藥用途。



劍葉

穗

莖桿

節

基部葉鞘

根

有些品種能承受長時間淹水（可達兩星期），有些品種會隨著水位上升而生長莖桿，保持稻穗乾燥。這些特性受特定基因調控，例如 *SUB1* 讓水稻耐淹水狀態，而 *SNORKEL 1* 和 *SNORKEL 2* 讓水稻在淹水時能生長莖桿。

稻米穀粒可能有不同長度的芒、相異的稻殼顏色以及多樣的種仁大小、顏色、形狀和香氣等特徵，有些稀有品種的穀粒含有雙種仁或三種仁。有些當地農民偏好具有長而尖銳的芒的品種，這些芒能防止牛隻吞食，而芳香品種是宗教儀式中用來製作美味佳餚的食材。

發育階段

農民會透過水稻生活史特定階段的特徵來區分不同品種，在營養生長後期觀察葉色和葉毛，並在生殖生長期觀察稻穗形成、抽穗的適切時間以及劍葉的角度，接下來在成熟期觀察稻穗的角度、芒的顏色和穀粒的細部特徵。

營養生長期

生殖生長期

成熟期

零，舉例來說，傳統農民懂得觀察不同特徵來區分不同品種，包括開花時間、基部葉鞘的顏色、劍葉角度、稻穗長度，以及穀粒大小、顏色和形狀（參見左頁〈水稻寶庫〉）。憑藉上述和其他特徵，農民可移除非典型或異型（off-type）植物，以維持地方品種的基因純度。然而，如今絕大多數南亞農民依賴外部機構取得種子，未能保存地方品種，一旦地方品種消失，與其相關的農藝和文化用途知識便會從農民社群淡去。千年來農民利用生物多樣性來控制病蟲害的策略，已被農藥經銷商的建議所取代，噴灑農藥會傷害土壤和水質、生物多樣性以及人類健康。

綠色革命也嚴重影響社會和經濟。種子、化學肥料、農藥以及灌溉幫浦燃料等必要開銷，都提高投資成本，因此農民往往需要貸款（通常是民間借貸）來支應。債務加上收穫作物價格下跌，導致印度小型農家的產品滯銷以及農民自殺潮。相比之下，幾十年來那些與

栽培作物不若野生動物吸引人，因此沒有人關注；且保育民間作物品種無法獲得資助，研究機構對此也不感興趣。

我仍在貧瘠農田合作種植地方水稻和小米品種的部落農民，從未發生任何與農田有關的自殺事件。

1996年，我帶著自己收集的152個地方品種，來到西孟加拉省農業局水稻研究站，理論上這個機構應該要保護所有的祖傳水稻品種。但是他們不僅拒絕保留我收集的種子，研究站主任還責備我尋求復育那些被遺忘的地方品種是「不科學且退步」。他認為堅持種植地方品種代表「回到穴居時代」，導致農民生產力低下和終生貧困。當我表示高產品種無法在缺乏灌溉的旱地生長，或是在洪泛區或沿海鹽鹼地生存時，他向我保證現代基因改造技術很快就能為這些貧瘠農田提供最好的品種，所以我應該把問題留給農業專家。

各具特色的品種

身為專精生態系統結構和功能的生態學家，我當時正與世界自然基金會印度分會的東部地區辦事處合作，該機構和其他保育組織經常試圖保護老虎這類大型且有魅力的動物，但栽培作物不若野生動物吸引人，因此沒有人

關注；且保育民間作物品種無法獲得資助，研究機構對此也不感興趣。

我只剩下一個選擇：單打獨鬥。我在1996年辭去工作，定居在西孟加拉省的村莊，目標是為農民建立民間水稻種子庫和交換中心。1997年，我把水稻種子庫和交換中心用梵語命名為芮衣（Vrihi），意思是「播種水稻」。最初幾年，我使用積蓄並在新德里非政府組織「九種基金會」（Navdanya）的大力支持下，開始收集印度各地的稀有水稻並免費分發給有需求的農民。在2000年之後，我的朋友和其他支持者所捐獻的金錢，成為中心的主要資金來源。

1999年，我在西孟加拉省北部協助該省森林部門調查生物多樣性，也藉機探索了該地區的田地。有一天，我搭著公車加上步行，花費六個小時來到偏遠村莊拉塔古里（Lataguri），收集到阿格尼薩爾（Agni-sal）這種極度瀕危的水稻品種（我把極度瀕危的品種，定義為僅剩一個農家種植的品種）。此品種的穀粒呈火紅色，因此以梵文中的「火」（Agni）命名，其莖桿能抵擋風暴。在下一個栽種季節來臨時，我把種子送給一位農民，他正在尋找一種能在高地農田上順利生長的水稻（他的農田才剛被強風席捲）；第二年，他懷著滿滿的感激回來，儘管氣旋摧毀了鄰近所有的農場，但他的

農田因為種植這種水稻而豐收；然而隔一年後，該區農業部門的官員說服他以高產品種取代阿格尼薩爾，使得我無法再從那位農民獲得阿格尼薩爾。我趕到拉塔古里，想從原來捐贈種子的農民取得另一份樣本，卻發現他早在前一年去世，而他兒子已經捨棄那片農田。據我所知，阿格尼薩爾已經從世界上滅絕了。

大約在同一時間發生了另一個事件，我開始思考需要做的不僅僅是收集並分發種子。在低地農田耕作的印度傳統農民，過去常常種植兩種耐淹水稻。一種水稻會隨著水位上升而長得越來越高，這種可生長莖桿的特性是由12號染色體上的基因SNORKEL 1和SNORKEL 2所控制，很多傳統品種都擁有這種特性，包括拉克希米迪格爾（Lakshmi dighal）、賈布拉（Jabrah）、班達拉（Pantara）和拉妮卡加爾（Rani kajar）；另一種是可耐受長期淹水，其控制淹水耐受性的基因是SUB1，在西孟加拉省幾個地方品種中皆有。

1999年6月，西孟加拉省南部地區洪水暴漲，摧毀了所有稻作。當時我的種子庫還沒有耐淹的品種，但我

知道 IRRI 和位於新德里的國家植物遺傳資源署擁有一些種子。我寫信給這兩個機構，希望他們寄給我 10~20 公克的種子以拯救受苦的農民，但是兩個基因銀行都沒有回應我。如果一個受過教育的人以英文寫信、信箋上方註明他的學位和隸屬機構，國家和國際性的基因銀行依然不會做出任何回應，那麼我們可以想像肯亞或孟加拉的貧窮農民更不可能收到種子樣本。據我所知，任何國家的農民都不曾從這些崇高的異地 (ex situ) 基因銀行獲得任何種子，儘管他們持有的品種都是建立在傳統農民的贈與上。

相較之下，基因銀行卻把這些品種提供給種子公司進行雜交計畫以及專利申請。國際食物政策研究所 (IFPRI) 在 1996 年的一項研究指出，美國的稻田大約有 3/4 播種了 IRRI 收藏品種的後代。此外，美國專利及商標局在 1997 年授予美國德州水稻科技 (RiceTec) 公司一項權利範圍相當廣泛的本土水稻專利，即巴斯馬蒂 (basmati, 意為印度香米) 的雜交品種，不過其親本源於南亞，而該公司是從 IRRI 取得品種。IRRI 本來應該為全世界的農民保管水稻品種，卻在 2014 年申請了國際專利，其中涉及在印尼發現的達里甘 (Daringan)，該品種擁有可提高產量的基因 SPIKE。「糧食和農業植物遺傳資源國際條約」(International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture) 的管理機構審查了這個具爭議申請案的合法性，但尚未正式宣佈決議。

異地種子庫不僅在空間與社會方面遠離農民，他們的種子也因為長期隔離而出現缺陷：保存在 -20°C 的乾燥水稻種子可存活長達 35 年。一旦時間凍結，這些種子也與不斷演化的外部活躍世界分道揚鑣，在 35 年後播下這些種子時，因為外部世界的病菌已演化成更新的菌株，使得這些種子因此失去對特定病菌的遺傳抗性。相對地，農民的在地 (in situ) 種子庫預算有限，必須每年播種所有種子，否則多數稻米都不會發芽。基於此需求，保存在農田裡的種子得以持續與多種病菌和害蟲共同演化。

在親身經歷並觀察這些事件之後，我決定自行建立保育農場，為每個地方品種保存少量樣本，因此它們



合作無間：戴博（上圖左）和長期合作夥伴巴塔查里亞 (Debdulal Bhattacharya) 共同檢查、記錄 (1) 並討論收穫的水稻穀粒的詳細特徵 (2)。

就算被大多數農民捨棄，也不會滅絕。我利用之前在美國加州大學柏克萊分校擔任博士後研究員的積蓄，於 2001 年創建了巴斯哈 (Basudha) 農場。我成立的芮衣種子庫目前是南亞最大的開放式稻米基因銀行，而位於奧里薩省南部部落村莊的巴斯哈農場，每年種植 1420 個品種。在我們保存的品種當中，有 182 種已從印度農田消失。

因為農場佔地不到 7000 平方公尺，我們必須把 64 棵同一品種的水稻播種在小小的四平方公尺裡（因為要保有一個地方品種的所有遺傳特性，至少需要約 50 棵）。我們無法依循國際上對於保有地方品種的建議：品種之間至少距離 110 公尺，因此如何妥善避免鄰近植物交叉授粉，成為我們的難題。所以我透過制定栽種計畫，讓鄰近品種有不同的開花時間，設法克服這個困境。此外，我們根據國際生物多樣性中心頒佈的指南，觀察水稻的 56 種特徵，移除每個品種群體在不同生長階段出現的異型植物。完成這個步驟之後，便可假定所有收穫種子的基因純度皆達 100%，除了一些無法檢測的突變。

巴斯哈農場的所有地方水稻品種都依照「零外部投入」的農業生態原則栽種：不使用農化產品、不抽取地下水，也不使用化石燃料。養份供應都來自覆蓋土壤的葉片和莖桿、豆科覆蓋作物（其根部富含固氮微生物

物)、綠色植物和動物糞便堆肥、生物炭以及土壤微生物。我們控制害蟲的方式是種植雜草和灌木，提供棲地給蜘蛛、螞蟻、爬行動物和寄生蟲等捕食者。另一個策略是保持水窪做為水生昆蟲和青蛙的繁殖棲地，牠們會捕食作物害蟲。我們偶爾也栽種害蟲忌避植物，包括菸草、大蒜和聖羅勒 (*Ocimum sanctum*)。品種和物種多樣性，一再證明是保護作物免於病蟲害的最佳策略，作物疾病從未成為巴斯哈農場的問題。

巴斯哈農場把部份收穫的種子儲存在陶罐中，避免昆蟲和齧齒動物的侵害，同時讓種子能夠「呼吸」，好用於下一年的播種；並把其餘種子發給農民，與他們交換少量其他地方品種的種子（我們會培育並捐贈給其他



農民)。我們刻意使用這套系統，嘗試恢復過去農業社群種子交換的古老做法，所有作物品種在過去都是經由該做法傳播到各大洲。

我和同事在印度不同地區協助建立了 20 多座種子庫，當地農民無需前往芮衣種子庫就可以獲得所需的品種。我們也推動農民之間種子交換的網絡，印度已經有五個省共 7800 多名農民受益於這些種子庫和交換網絡。此外，我們記錄每個品種的特徵和屬性，並以農民的名義登記這些地方品種的名稱，防止生物專利剽竊。我們透過這種方式試圖恢復農民的種子所有權，這對他們的長期財務安全和健康狀態至關重要。

地方水稻品種的價值

在時常發生乾旱或季節性洪水的多災農地，協助貧困農民栽種傳統地方品種是保障糧食安全唯一可靠的方法。在種植了 22 年民間水稻品種之後，我對凱拉斯

(Kelas)、蘭吉 (Rangi)、加達巴 (Gadaba)、卡雅 (Kaya) 和維爾奇 (Velchi) 等地方品種的產量深具信心，它們在乾旱環境下會勝過任何一種現代高產品種。拉克希米迪格爾、拉妮卡加爾和賈布拉等品種能隨著洪水上升而生長莖桿 (長度可達四公尺)，保持稻穗在水面上；馬特拉 (Matla)、格圖 (Getu)、塔木古爾 (Talmugur) 和卡魯潤戴 (Kallurundai) 可以生長在鹽鹼地，能在海水入侵後存活下來。這些地方品種是穩定的品系，具有許多廣泛適應性與可塑性的基因。

此外，雨養 (rain-fed) 農地只需具備適當土壤條件，許多民間水稻品種例如巴呼盧比 (Bahurupi)、布拉尼 (Bourani)、喀拉拉桑達利 (Kerala sundari) 和那格拉 (Nagra)，產量都超越了現代高產品種。還有幾種極為稀有的民間高產品種，穀粒具有雙種仁和三種仁，其型態可能來自人擇水稻花器的罕見結構基因突變。巴斯哈農場收藏了三種仁的地方水稻品種薩亭 (Sateen)，似乎是全世界唯一的種源。

許多地方品種具有對抗害蟲和病菌的特性，例如卡樂努尼亞 (Kalo nunia)、卡拉那瑪克 (Kalanamak)、卡提克薩爾 (Kartik-sal) 和羅勒孟佳瑞 (Tulsi manjari) 能對抗稻熱病；比什努霍格 (Bishnubhog) 和拉妮卡加爾對水稻白葉枯病具有抗性；卡塔里霍格 (Katarihbhog) 對東格魯病毒具有中度抗性；高爾尼泰 (Gour-Nitai)、賈舒亞 (Jashua) 和沙蒂亞 (Shatia) 似乎能抵抗飛蛾幼蟲的攻擊；而庫迪卡薩 (Khudi khasa)、洛哈格拉赫 (Loha gorah)、馬拉巴蒂 (Malabati)、薩達德帕 (Sada Dhepa) 和辛德穆奇 (Sindur mukhi) 也很少受到三化螟蟲 (stemborer) 的侵擾。芮衣種子庫分發的種子在過去 25 年間，已幫助數千個農田減少病蟲害所造成的作物損失。

現代水稻育種主要聚焦於提高糧食產量，但是這些高產品種缺乏許多民間水稻品種含有的多種微量營養素。我們最近的研究顯示，至少有 80 種民間品種每公斤穀粒含有超過 20 毫克的鐵，其中哈林卡吉里 (Harin kajli)、杜德布拉塔 (Dudhé bolta) 和竹里 (Jhuli) 含量最高，達到每公斤 131~140 毫克；然而 IRRI 耗費鉅額開發的強化鐵質基改稻米 IR68144-2B-2-2-3，每公斤僅含有 9.8 毫克的鐵。

有些地方品種具有特定藥用價值：印度的傳統醫學系統阿育吠陀 (Ayurveda) 裡，推薦利用喀拉拉省的尼亞瓦拉 (Nyavara) 來治療某一類神經系統疾病，我目前正與同事研究其中的化學原理，希望探究醫療用

途的有效性；另一種藥用水稻加里波薩爾（Garibsal）來自西孟加拉省，傳統醫學利用它來治療胃腸感染。我與研究人員在2017年於《美國化學學會·永續化學工程》發表論文，指出這種穀粒裡，銀的生物累積量達到15 ppm。2017年發表在《化學通訊》的論文指出銀奈米粒子可以殺死病菌，有可能是加里波薩爾有助於對抗人類腸道病菌的原因。事實上，還有許多類似的藥用水稻品種尚待實驗室和臨床的驗證。

美學也是當地農民所注重的價值，他們會種植某些地方品種，僅僅是因為這些水稻美麗的顏色或圖案，包括黃色稻殼上金色、棕色、紫色、黑色的溝痕，以及紫色尖頂和黑色的芒（稻殼末端類似脊柱的突出物）等。莫納通迪（Moynatundi）和拉米加利（Ramigali）擁有翼

鑑於現代農業未能提供農民可靠的水稻品種，最好的選擇是利用能適應不利環境的民間品種。

狀延伸的護穎，印度東部的許多農民對它的美麗引以自豪。在所有水稻種植文化中，芳香品種都與宗教儀式和文化節日密不可分。當此類水稻從田地裡消失，許多美食便不復存在，而相關儀式也失去原本在文化上的象徵意義。巴斯哈農場收集了195種芳香地方品種，協助恢復許多逐漸消失的當地飲食文化以及傳統儀式。

複雜的生態作用交織出另一群水稻品種的誕生：西孟加拉省和賈坎德省的小農偏好的品種，具有又長又強壯的芒，這能防止牛隻和山羊吞食稻穀。當地農民也喜歡擁有直立劍葉的地方品種，因為吃穀物的鳥類無法站立其上。

有趣的是，奧里薩省的一些農民在農田裡同時種植了有芒和無芒的品種，雖然仍不清楚有何直接益處。還有其他沒有明顯用途的稀有品種，例如擁有紫色莖桿和葉子。實際上，南亞的傳統似乎認定，遺傳和物種層面的生物多樣性對農業至關重要，因而由某些宗教儀式所祀奉。例如一些栽培稻的野生親種，包括布諾德哈（*Oryza rufipogon*）和烏里德哈（*Hygroryza asiatica*），都與本土印度教儀式有關，許多西孟加拉省及鄰近賈坎德省的農場都保持這個傳統。這些野生基因庫的重要性不斷升高，我們可以根據需求，把特殊性狀置入現有栽培種中。此外，某些樹木的葉子可做為天然農藥，例如

印度苦楝樹（*Azadirachta indica*），而諸如貓頭鷹等掠食者，農民認為牠們存在於稻田中是吉祥的象徵。

保障農民生計

鑑於現代農業研究未能提供貧瘠農地的農民可靠的水稻品種，當前最好的選擇是轉向利用那些能適應不利環境的民間水稻品種。地方品種的產量十分穩定，奧里薩省、安得拉省、西孟加拉省、卡納塔克省、喀拉拉省和馬哈拉施特拉省有2000多名農民採用了芮衣種子庫的幾種民間水稻品種，且不再種植高產品種。

2009年5月，熱帶氣旋艾拉（Aila）襲擊西孟加拉省的蘇達班海岸以及孟加拉，造成近350人死亡並摧毀超過100萬棟住宅。風暴潮導致海水淹沒農田造成鹽鹼

化，意味除了直接的破壞，也可能威脅該地區的長期糧食安全。我們把芮衣種子庫裡耐鹽鹼的傳統地方品種，例如拉爾蓋圖（Lal Getu）、諾娜博克拉（Nona bokra）和塔木古爾，分發給蘇達班島的一些農民。在那個災難般的季節裡，這些水稻是唯一能在鹽鹼農田生產大量稻米的品種。

同樣地，1999年西孟加拉省南部胡格利河暴漲，賈布拉、拉妮卡加爾和拉克希米迪格爾等民間品種補救了農民的水稻生產；2010年，因為季風雨（monsoon rain）延遲到來引發了嚴重乾旱。布特穆里、卡樂格拉赫（Kalo gorah）、凱拉斯和蘭吉等品種拯救了普魯利耶城鎮西部地區的許多農民，

這些災害一再證明，水稻種植的長期永續關鍵在於，恢復基於生物多樣性所發展出來的傳統耕作方式，以及在工業化農業衝擊下，完整利用仍然留存的地方水稻品種。SA

林雅玲於中央研究院國際研究生學程取得生物科技學博士學位，長期從事科普翻譯與寫作，現任職於農業生技公司。

延伸閱讀

Beyond Developmentality: Constructing Inclusive Freedom and Sustainability. Debal Deb. Earthscan, 2009.

Rice: Origin, Antiquity and History. Edited by S. D. Sharma. CRC Press, 2010.

The Imperial Roots of Hunger. Madhusree Mukerjee in *Himal Southasian*, Vol. 26, No. 2, pages 12–25; April 2013.

A Profile of Heavy Metals in Rice (*Oryza sativa* ssp. *indica*) Landraces. Debal Deb et al. in *Current Science*, Vol. 109, No. 3, pages 407–409; August 10, 2015.

訂戶專享 《科學人》雜誌知識庫中英對照版

〈護衛神聖樹林〉，《科學人》2019年2月號。

〈不怕鹽害的救世種子〉，《科學人》2016年9月號。

〈用天然標記選育美味蔬果〉，《科學人》2014年11月號。



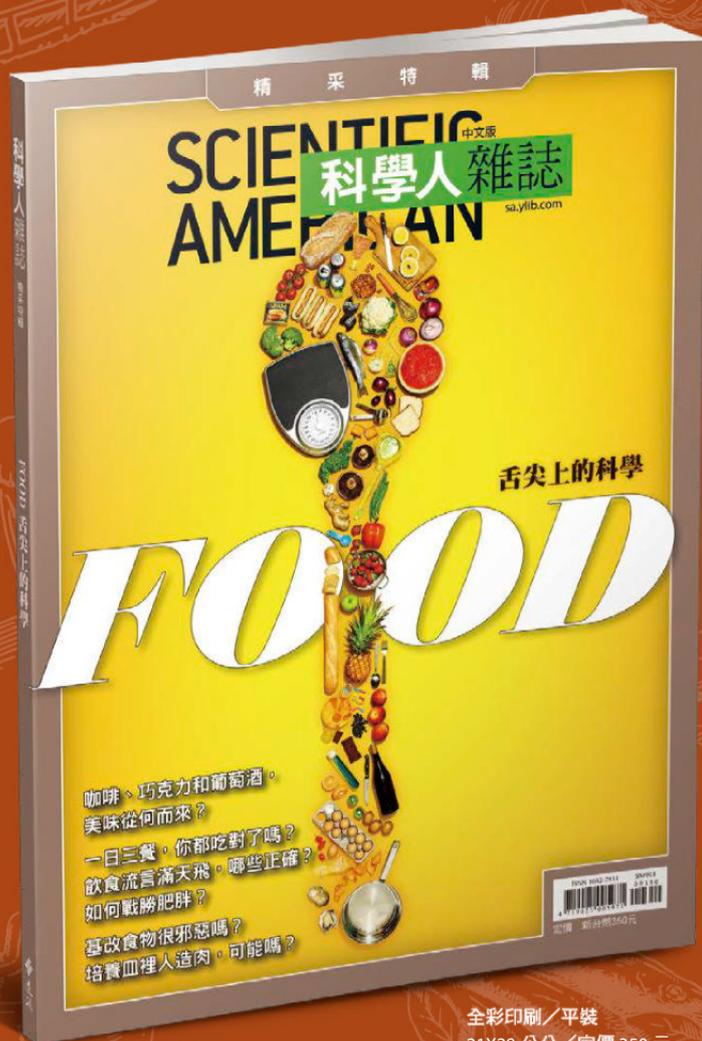
SCIENTIFIC
AMERICAN

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





社群媒體 毒害孩子？

了解社群媒體對青少年心理健康的影響，
需要更嚴謹的研究方法，而新發現顯示：
社群媒體無損孩子幸福感。

撰文／丹維斯（Lydia Denworth）

翻譯／涂可欣

最讓奧本 (Amy Orben) 惱火的是媒體所下的標題。2017年，奧本是英國牛津大學實驗心理學系的研究生，當時一些標題聳動的文章開始出現，例如其中一篇宣稱：給小孩智慧型手機就像給他們古柯鹼，另一篇則說：智慧型手機可能已摧毀一整個世代。奧本認為這樣極端的言論並不合理，她曾徹夜不眠重新分析一篇論文中的數據，這篇論文指出憂鬱和自殺率的增加與螢幕使用時間有關，奧本說：「我發現，稍微調整分析方法會大幅改變研究結果，螢幕使用時間的影響其實非常小。」

奧本發表了多篇網誌陳述這些觀點，其中有些是她和牛津大學副教授普利茲畢爾斯基（Andrew K. Przybylski）共同撰寫，文中寫道：「有力的論點也需要佐以有力的證據，然而這樣的證據並不存在。」奧本決定以科學來支持她的看法，於是她改變研究重心，與普利茲畢爾斯基共同嚴謹分析這類社群媒體研究經常使用的大規模資料集。

對這類研究及其結果抱持懷疑的研究人員不只他們兩人。美國史丹佛大學的心理學家韓考克（Jeff Hancock）是該校社群媒體實驗室主持人，幾年前他設定論文引用通知，可得知有哪些科學家引用他的研究。隨著電子信箱內累積的通知越來越多，他越感困惑。近

來有篇報告指出臉書增加人們的焦慮感，緊接著有另一篇討論社群媒體可提升社會資本（social capital）。韓考克納悶：「怎麼會有這麼多衝突的觀點？」而且都是引用他的研究？他決定釐清這些矛盾，於是進行迄今該領域規模最大的後設分析（meta-analysis）研究，檢視社群媒體對幸福感（well-being）的影響。最後他採用226篇論文，蒐集超過27萬5000人的資料。

現在奧本、普利茲畢爾斯基和韓考克等人努力的成果出爐了，他們和其他研究人員在2019年發表的研究提供了一些背景，解釋數位科技究竟如何影響人們的心理健康。他們的證據澄清了幾件事。目前研究結果對數位科技的影響褒貶不一，是因為我們測量的效應本身就是混雜的，韓考克說：「使用社群媒體本質上就是一種權衡，你付出極少但在統計分析上達顯著的成本，來換取微小但重要的幸福感。」這裡強調的是「小」，至少從效應（測量兩個變項間關聯的強度）來看是如此。在後設分析的尺度裡，關聯強度0.2算是小，而韓考克的結果顯示，社群媒體對幸福感的整體效應只有微不足道的0.01。普利茲畢爾斯基和奧本則用變異百分比（percent of variance）來計算使用社群媒體對幸福感的影響，他們發現，科技與青少年幸福感的關聯，和吃馬鈴薯差不多，戴眼鏡才是最糟的。普利茲畢爾斯基形容：「那捕風捉影的怪獸已不堪一擊。」

此外，這項新研究也揭露迄今社群媒體科學的嚴重局限和缺點。80%的研究為橫斷調查（觀察個體在特定時間點的表現）和相關性分析（連結兩個量值，例如使用臉書的頻率和焦慮程度，但無法顯示因果關係）。大部份研究依賴自陳報告，這是眾所周知不可靠的方法，而且幾乎都只調查使用頻率和持續時間，不管瀏覽內容或為何使用等背景。韓考克說：「我們問錯問題了。」然後結論往往遭媒體誇大渲染，有時科學家也參與其中。奧本說：「這類社群媒體研究簡直混雜了所有最糟的情況，暴露出科學研究方法的所有問題。這讓科學家不得不去思考應該如何測量事物，以及什麼程度的效應是我們覺得重要的。」

丹維斯 (Lydia Denworth)

Scientific American 特約編輯，也是《友誼：生命基礎關係的演化、生物學和超凡力量》（*Friendship: The Evolution, Biology, and Extraordinary Power of Life's Fundamental Bond*）的作者。



要先澄清的是，我們並不是說社群媒體絕對沒有問題，重度使用真的可能有有害身心健康。然而社群媒體的效應似乎依使用者而異，年齡和心理健康是兩種會造成差別的重要因素。此外，因與果看來是相互影響的，韓考克說：「這是條雙向道。」

希望這個領域能運用這些新發現，展開新社群媒體科學，設定較高的統計分析標準，避免荒謬不實的宣稱，並且納入更多實驗和縱貫研究（在多個時間點追蹤對象）。杭特學院的臨床神經心理學家丹尼斯－提瓦里（Tracy Dennis-Tiway）說：「我們不想成為主張『吃馬鈴薯已摧毀一整個世代』的學術領域。儘管有所擔憂，我們仍需保持鎮定，表現出科學家的樣子，而且必須有適切的證據。」

畏懼新科技

人們對於新科技的憂懼，在蘇格拉底時代就出現了，他曾哀嘆書寫記事的新傳統會讓記憶力衰退。英國哲學家霍布斯（Thomas Hobbes）和美國前總統傑弗遜（Thomas Jefferson）都曾警告，工業社會時代，人們從農村遷移到城市生活，會減弱共有關係（communal relationships）。美國密西根州立大學社會學家漢普敦（Keith Hampton）和加拿大多倫多 NetLab Network 實驗室的共同主持人威爾曼（Barry Wellman）研究科技創新帶來的影響，他們寫道：「在我們厭惡智慧型手機前，我們厭惡城市。」收音機、電玩甚至漫畫書都曾引起恐慌，而電視會讓人變笨。

即使如此，智慧型手機、網際網路和社群網站仍帶來劇烈的改變。手機從1990年代開始普及，到了2018年，95%的美國成人都在使用手機。2007年，因iPhone

重點提要

- 人們對青少年受社群媒體影響的憂慮已變得偏激，例如認為給兒童智慧型手機有時就像給他們古柯鹼，真實情況並沒有那麼嚇人。
- 仔細觀察年輕人使用社群媒體的情

形便會發現，大多數傳簡訊或分享 Instagram 照片的年輕人，心理狀態都還好。重度使用會導致問題，但許多早期研究和新聞標題在省略相關性的情況下誇大危險性。

- 研究人員現在正仔細檢視這些歧異觀點，試圖找出社群媒體研究的局限和缺點，並發展更好的方法來測量社群媒體和相關科技究竟對心理健康是否具任何有意義的影響。

的引入而使智慧型手機（增加了即時上網功能）進入市場主流，現在3/4的美國成人都擁有智慧型手機，其中89%使用網際網路。數位產品在青少年、50歲以下成人和高收入戶的市場已幾近飽和，65歲以上、貧困或住在偏遠及通訊受限地區的民眾大多不是使用者。美國皮尤研究中心從2005年開始追蹤社群媒體使用狀況，到2019年間，使用社群媒體來保持聯繫、追蹤新聞、分享資訊和休閒娛樂的美國人口比率，從5%躍升為72%，意味從每20人中僅有一人，到現在每10人中有7人使用。

由於社群媒體是如此新穎的產物，研究相關效應的科學也才剛起步，韓考克找到最早檢視使用社群媒體和幸福關聯的研究是在2006年，毫不意外早期研究方法有其限制。2019年任職於美國阿肯色大學的醫師普里馬克（Brian Primack）曾帶領匹茲堡大學媒體、科技與健

運用新發現，展開新社群媒體科學，設定較高的統計分析標準，避免荒謬不實的宣稱，並納入更多實驗和縱貫研究。

康研究中心，他把這個領域與營養學初期研究相比擬。他說：「要經過一段時間，科學家才想到說：『我們來區別脂肪、蛋白質和碳水化合物吧！不只如此，反式脂肪和多元不飽和脂肪也應該分開來。』對任何想做出良好研究的人來說，能與時俱進很重要。」他以自己早期研究為例，說明那些粗略評估社群媒體使用情形的研究在今日就不合格了。「你可能一天花兩小時對可愛小狗照片按讚，我可能一天花兩小時為了政治、宗教和其他重要熱門議題與他人唇槍舌戰。而我的早期研究把那些活動混為一談。」

在這領域中特別為人詬病的是聖地牙哥州立大學心理學家圖溫吉（Jean M. Twenge）的研究。除了論文，她還出版了著作《i世代》（*iGen*），在2017年她以此書為本，在《大西洋》（*Atlantic*）雜誌發表了一篇頗受矚目的文章，文中問道：「智慧型手機已摧毀了一個世代？」圖溫吉不是唯一發表社群媒體負面影響的研究人員，但她研究的知名度讓她成為眾矢之的。她指出，1995~2012年出生的人，心理問題激增，並寫道：「這種惡化主要可歸咎於他們使用手機。」她的研究比對了同一時期年輕人憂鬱和焦慮症狀的比率增加與智慧型手

機的普及率。圖溫吉承認，兩者只是相關，但辯稱她的結論代表立基於證據的「一連串符合邏輯的事件」，需要慎重看待。她說：「在討論兒童和青少年的健康時，我認為我們寧可過於謹慎。」

沒有人會否定年輕人健康的重要性，但他們認為圖溫吉已跳脫科學。丹尼斯－提瓦里說：「為什麼要尋找因果證據？」因為故事可能並不單純。她提出加拿大研究人員為回應圖溫吉的文章所做的縱貫研究，在調查將近600名青少年兩年和1000多名青年六年後，研究人員發現，社群媒體使用情況不能用來預測憂鬱症狀，但在青少年群組中，卻可從憂鬱症狀預測出較頻繁使用社群媒體的現象。丹尼斯－提瓦里說：「這是一個有許多隱微細節的故事，我們現在知道過度使用智慧型手機很可能是果，而心理健康問題才是因，我們需要找出不同的解決辦法。」

相關性研究仍有用途，例如流行病學研究會指出污染和癌症罹患率增加的關聯，這類研究無法進行隨機臨床試驗。史丹佛大學的經濟學家根茨柯（Matthew Gentzkow）也研究社群媒體，他認為不誇大研究發現很重要，但圖溫吉的研究「有一些相當驚人的事實。它不能告訴我們智慧型手機會不會造成心理健康問題，但它讓我們注意到這些推論的可能性。我們現在需要更深入鑽研、進行更詳細的研究，來找出真實情況。」

研究三部曲

那正是最新研究致力的目標。韓考克的後設研究彰顯出一項事實：許多探討社群媒體和幸福感的研究其測量結果各不相同，通常可歸類為六種效應之一。這六種效應包括三種幸福感的正面指標：生活意義幸福感（*eudaemonic happiness*）、當下享樂幸福感（*hedonic happiness*）和人際關係，三種為負面指標：憂鬱、焦慮和寂寞。韓考克團隊發現，高度使用社群媒體，與憂鬱和焦慮增加有輕微關聯（與寂寞無關），與人際關係幸福感有更強的關聯（但與生活意義或當下享樂幸福感無關），最明顯的效應（0.2）是強化人際關係。韓考克團隊還發現，主動使用社群媒體與幸福感有正相關，被動使用則沒有任何效應（其他人的研究則發現，被動使用與幸福感呈負相關）。

研究人員如何提問也很重要。當問卷題目局限在「成癮」、而非中性問題時，較可能觀察到負面效應。



鏡的效應，還發現吸大麻和遭受霸凌對幸福感有更強的負面影響（在其中一組資料集中，和平均效應相比，大麻會造成2.7倍的負面效應，遭受霸凌會造成4.3倍的負面效應），而睡眠充足和常吃早餐則比使用科技更能帶來較強的幸福。普利茲畢爾斯基說：「我們正試圖改變思維模式，從挑揀最佳結果到更加了解整體情形，關鍵就是把螢幕使用時間對年輕人極其微小的效應放到真實生活環境加以觀察。」（圖溫吉和其他人則質疑，以變異百分比來解釋，能否反映真實情形，他們認為那些數字永遠都很小，掩蓋了實際效應。）

奧本和普利茲畢爾斯基的第二篇論文引入更好的方法來測量螢幕使用時間，研究結果發表在2019年4月的《心理科學》。他們使用來自美國、英國和愛爾蘭的三組資料集，除了受試者自陳媒體使用情形和幸福感評量之外，還包括時間使用日誌（time-use diary）。在歷經

五年的研究期間，超過1萬7000名青少年每年會有一天收到一篇待記錄的日誌，讓他們在某天每隔10~15分鐘填寫當時正在進行的事情，包括使用數位科技。奧本和普利茲畢爾斯基運用統計方法分析這些數據，發現沒有證據顯示使用數位科技與幸福感有負面關聯，這些日誌讓他們能觀察青少年在一天之中何時使用數位媒體，例如就寢前，即使如此，也沒有造成任何幸福感變化；不過研究人員沒有把睡眠時數列為影響效應，只是觀察一般的心理量值。

最後一篇是2019年5月發表於《美國國家科學院學報》的論文，奧本、普利茲畢爾斯基以及德國霍恩海姆大學心理學家丹林（Tobias Dienlin）納入縱貫數據，來分析長期使用社群媒體對青少年生活滿意度的影響。這個方法讓他們能詢問在某一年內社群媒體使用程度高於平均的青少年，年底時感覺較好還較差？而感覺變好或變差是否會改變他們下一年的社群媒體使用情形？同樣地，結果仍顯示只有些微影響。奧本說：「社群媒體使用在一年內的變化，只能預測一年內對生活滿意度0.25%的變化。我們討論的是不到1%的改變。」不過研究人員的確觀察到，女孩受到的影響比男孩略強，奧本計畫進一步探討這現象。個人風險問題也很重要，普利

所有文獻中僅24篇是縱貫分析，採用這種「標準方法」的研究能比較兩個時間點下使用社群媒體與幸福感的關係，也能分析是哪個變項導致另一個變項的改變。韓考克團隊從這類研究中發現了一個微小但有趣的結果，他說：「當你有較高幸福感時，會比較少使用社群媒體，顯示人們使用社群媒體或多或少受幸福感的驅使。」

在探討青少年使用科技的三部曲論文中，奧本和普利茲畢爾斯基嘗試解決過去大型資料集分析會犯的三個主要錯誤。他們的第一篇論文發表在2019年1月的《自然·人類行為》，提供了相關背景和提高透明度的方法。這項研究採用來自美國和歐洲超過35萬名青少年的三組資料集。這樣的資料集很有價值，但也容易產生達統計顯著卻無實際意義的結果。根據他們的計算，如果遵循標準的統計運算程序，可產出一萬篇顯示負面效應、5000篇沒有顯示出效應和4000篇顯示科技對年輕人有正面效應的論文，全都來自相同的資料集。

他們在新研究中使用了規範曲線分析（specification curve analysis）技巧，可一次檢驗各種可能的關聯，這是一種見樹又見林的統計方法。以這套方法進行分析，顯示使用數位科技與青少年幸福感變異僅有0.4%的關聯。由於數據豐富，研究人員能同時比較馬鈴薯和眼

茲畢爾斯基說：「我們很想知道，是否有一些特質可看出哪些年輕人較容易受害或受益，或比較不會受不同型式科技的影響？」

該重視的是網路行為和資源落差

青少年使用媒體的情形特別引人關注，因為他們處於性格發展時期，而且現在智慧型手機極為普遍。加州大學爾灣分校的心理學家歐德格爾斯（Candice Odgers）指出，父母會跟隨科學家的腳步，選擇擔憂孩子生活中的特定面向。父母主要擔心孩子花多少時間上網，卻沒有對更關鍵的問題有同等的關注：他們在網路上做些什麼？歐德格爾斯的研究顯示，網路使用時間多寡並不是問題。在2019年夏天發表於《臨床心理科學》的研究中，她和北卡羅來納大學格林斯伯勒分校的詹森（Michaeline Jensen）追蹤將近400名青少年兩個星期，每天送出三份問卷到他們的手機，這項研究設計讓研究人員能比較心理健康相關症狀與每天沉浸於科技的時間，以及了解這兩個星期內使用科技的時間。

青少年使用社群媒體與幸福感有關嗎？答案是不見得。我們不能預測一開始就經常使用社群媒體的人，日後會出現心理健康相關症狀，而在青少年自陳使用較多或較少科技的日子裡，心理健康狀態未見變糟。

歐德格爾斯說：「諷刺的是，到最後真正危險的不是智慧型手機，而是錯誤傳達資訊給大眾和父母的程度。傳播這些資訊佔用了太多新聞媒體的時間，讓我們沒有察覺在數位空間裡潛在的真正威脅和問題。」對歐德格爾斯來說，她更擔心隱私問題以及家庭社經條件較差的兒童缺乏接觸科技的機會，她猜想有些青少年從網路上尋找他們迫切需要的社會支持，而成人更該注意哪些社會支持是有助益的。

社群媒體研究 2.0 起跑！

這些研究只是個開端，它們協助呈現了社群媒體使用情形的全貌，但還有更多工作有待進行，我們需要不同類型的研究來釐清隱微的細節。舉例來說，史丹佛大學的根茨柯最近在一項實驗研究中，要求1600名受試者撤銷他們的臉書帳號，並經過電子認證。根茨柯和同事驚訝地發現，其他替代的數位科技使用率並未因此增加，而是降低。他說：「受試者察覺他們花在這方面的時間變少了。」不過這效應很小，會受很多個別差異掩蓋：有些人樂見這割捨，有些人則真的很想念他們的網路社群世界。根茨柯說：「臉書為人們帶來很多價值，儘管如

此，人們可能還是會過度使用。對許多人而言，若稍微減少使用，會讓他們更快樂幸福。」

數名研究人員也正尋找更好的方法測量螢幕使用。史丹佛大學心理學家李維茲（Byron Reeves）研發了稱為螢幕學（screenomics）的技巧，每隔五秒拍攝一張受試者手機的畫面（經過當事人同意）。科技公司也應該協助這些研究，那些企業遠比科學家更清楚每個人花多少時間在哪些活動上，但他們認為這些資料是公司專有的，而且必須顧及用戶隱私。普利茲畢爾斯基正推動政策改變，他說：「公司不該拿著豁免權而置身事外。」

還有新研究嘗試更準確預測個別差異。在韓考克的實驗室裡，史丹佛大學生李雲聲（Angela Lee）發展了一個巧妙的方法，她把心態（mindset）的概念（即人們的信念會形塑對現實生活的看法）應用於社群媒體。李雲聲透過訪談受試者發現，人們對社群媒體的心態大致分為兩個面向：認為社群媒體的存在對自己來說是正面還是負面（效價），以及是否認為自己能有所掌控（自主感）。在一系列三項研究中，李雲聲和韓考克測試了將近700人，發現使用者對社群媒體的心態可用來預測他們的幸福感，其中自主感的效果最強。李雲聲說：「你越相信自己能掌控社群媒體的使用情形，你擁有的社會支持越多，抱怨憂鬱、壓力、社交焦慮的情況也越少，不論實際上你說自己的社群媒體使用情形為何。」李雲聲現在是韓考克實驗室的研究生，2019年5月她在國際心理科學學會的會議上報告了這項研究。

此研究顯示心態會對人們造成影響，觀點亦然。根茨柯指出，1980年代的人也非常緊張孩童無意識緊盯電視螢幕的時間。根茨柯曾研究過那段時期，他想像若問那些憂心忡忡的人，新科技將可讓孩子不再沉迷電視，而是透過分享訊息、照片和影片來互動，「那時的每個人一定會說：哇！那真是太棒了！」^{5A}

涂可欣是陽明大學神經科學研究所碩士，曾經於美國伊利諾大學遺傳所進行博士研究，現專職科普翻譯。

延伸閱讀

Has the Smartphone Destroyed a Generation? Jean M. Twenge in *Atlantic*, Vol. 320, pages 58–65; September 2017.

The Association between Adolescent Well-Being and Digital Technology Use. Amy Orben and Andrew K. Przybylski in *Nature Human Behaviour*, Vol. 3, No. 2, pages 173–182; February 2019.

Screens, Teens, and Psychological Well-Being: Evidence from Three Time-Use-Diary Studies. Amy Orben and Andrew K. Przybylski in *Psychological Science*, Vol. 30, No. 5, pages 682–696; May 2019.

訂戶專享 《科學人》雜誌知識庫中英對照版

〈青少年滑手機傷腦筋？〉，《科學人》2018年6月號。

〈躍動的青春期大腦〉，《科學人》2015年7月號。

〈心智電玩〉，《科學人》2014年5月號。





1



2



4



5



7



8



3



6



9

鳴鳥 染色體 有玄機

生物學家在鳴鳥身上發現特殊的染色體，或許可以解釋牠們為何有驚人的多樣性。

撰文／黃凱特 (Kate Wong)
翻譯／姚若潔

6600萬年前，一塊寬10公里、燃燒的太空岩石撞擊今天的墨西哥灣，觸發了一場影響深遠的毀滅，殺死了地球上超過75%的生命。這一塊稱為奇虛樂 (Chicxulub) 的小行星最著名的身分是「恐龍殺手」，它使霸王龍 (*Tyrannosaurus rex*)、三角龍 (*Triceratops*)、蜥腳下目 (sauropod)、鴨嘴龍 (hadrosaur) 步入滅亡，卻把恐龍的一支譜系——現代鳥類，送上榮光之路。

鳥類在1億5000萬年前從獸足類 (theropod) 的肉食性恐龍開始演化，並在接下來的8500萬年間發展出驚人的多樣性。和反鳥亞綱 (enantiornithine) 等當時居於領導地位的古鳥類相比，今日鳥類的祖先「新鳥類」 (neornithine) 只是個小角色。然而，當小行星撞擊

豐富多樣：鳴鳥家族有七彩文鳥 (Gouldian finch, 1)、布氏葦鶯 (Blyth's reed warbler, 2)、歐亞雲雀 (Eurasian skylark, 3)、歐亞鸚 (Eurasian bullfinch, 4)、禿鼻鴉 (rook, 5)、歐洲黃雀 (European siskin, 6)、金絲雀 (common canary, 7)、白頭鳴 (pine bunting, 8) 和家燕 (barn swallow, 9)。

時，新鳥類的命運轉變了。這次撞擊摧毀了所有非鳥類恐龍和大部份鳥類，只有新鳥類從末日事件中存活下來，產生有史以來最為繁複的演化輻射之一。

現生鳥類超過一萬種，在現生脊椎動物中的物種豐富度排名第二，僅次於硬骨魚。鳥類有各式各樣的形態：不會飛的駝鳥體重可超過136公斤，像蜜蜂般忙碌的蜂鳥則不到兩公克；鳥類幾乎遍及地球上的主要陸地和水體，從暑氣逼人的熱帶到凍寒的極地，食性生態區位也十分廣闊，演化出能大啖各種生物的能力——從微小的藻類到龐大的哺乳類。

不可思議的是，根據特殊的喉頭特徵，半數鳥類物種屬於鳴鳥，例如聲音悅耳的鶯、金絲雀、雲雀，不過也包含叫聲刺耳的烏鴉（至少對人類來說）。現生鳴鳥的物種數大約和哺乳類相當。

鳴鳥為何有如此驚人的多樣性？生物學家一直以來都在尋找答案，從化石記錄和現生鳥類的DNA序列取得線索。除了確定鳴鳥的起源地在澳洲，大多研究都沒有定論，甚至得到互相衝突的結論。現生鳴鳥的譜系在何時何地分歧發展的詳細圖像，依然難以捉摸，更不用說促成這種演化輻射的因子。

鳴鳥的演化鑰匙

在缺乏關鍵證據的情況下，研究人員發展出幾套相互競爭的理論來解釋鳴鳥的多樣性，主要的推論各有不同，包括氣候變遷、板塊運動、性擇（選擇配偶的偏好驅使演化）等。

現在有一項新發現讓這個領域的學者振奮起來：所有的鳴鳥都有一條奇特的染色體，其他鳥種皆沒有。這項發現顯示可能有一種遺傳機制，讓同一物種中的不同族群形成生殖隔離並促進種化。這些額外的DNA還需要加以研究，但有些研究人員開始猜測，這可能是鳴鳥成功演化的秘密。

「生殖細胞限定染色體」（germ-line-restricted chromosome, GRC）只出現在生殖細胞（卵、精子和兩

黃凱特 (Kate Wong)

Scientific American 資深編輯，主要撰寫演化與生態學的文章。



者的前驅細胞），而不會在其他體細胞出現。卵和精子的前驅細胞都含有GRC，但是當精子細胞發育完全後就移除GRC，因此GRC只透過母親傳給子代。

直到不久前，科學家只知道錦花鳥（zebra finch）和近親十姊妹（Bengalese finch）擁有GRC。這種特徵看似只屬於這兩種鳥，但是當研究人員決定在其他譜系的鳥類尋找GRC時，卻發現了驚人的現象。2019年6月11日，俄羅斯科學院（Russian Academy of Sciences）的托爾加謝瓦（Anna Torgasheva）、鮑羅定（Pavel Borodin）、英國倫敦大學的拉金（Denis Larkin）和同事發表於《美國國家科學院學報》的一篇論文寫到，他們檢查了16種橫跨鳴鳥譜系樹的代表物種，發現全部物種都有GRC；另外八種非鳴鳥類群代表物種都沒有GRC。而且他們找到的GRC種間差異很大，即使親緣關係很近的物種也是如此，顯示GRC在共同祖先身上出現後，便在不同鳴鳥譜系分支中迅速演化，而共同祖先的出現時間估計是3500萬年前。

科學家之前在其他生物的細胞也曾發現額外的染色體，稱為B染色體，但它出現的部位並不規律，即使在同一物種的不同個體、甚至同一個體的不同細胞中，都有差異。相對來說，拉金認為：「GRC卻是鳴鳥生殖細胞系中的必備要素。」這種普遍性顯示GRC的影響力比B染色體更大。

至於GRC實際上影響了什麼，目前仍是個謎；研究人員對它的基因運作所知甚少，不過已有一些線索。最近有另一份GRC的研究發表在bioRxiv論文預印本電子資料庫，但還未刊登在同儕審查的科學期刊：瑞典烏普沙拉大學（Uppsala University）的金塞拉（Cormac M. Kinsella）、蘇（Alexander Suh）及同事發現錦花鳥的GRC至少帶有115個基因，包含在成鳥卵巢和睪丸裡產生蛋白質和RNA的基因。這種基因表現模式暗示，這些基因或許能引導精子和卵的發育。錦花鳥的GRC有一些基因，還可以對應到小鼠研究中已知與早期胚胎發育有關的基因。

對鮑羅定和拉金來說，這些發現顯示GRC可能讓鳴鳥避開鳥類演化的關鍵限制。拉金解釋：「相較哺乳類基因組，鳥類的基因組一般來說非常精簡。」現

重點提要

- 鳴鳥是鳥類中物種數最豐富的類群，佔一萬種現生鳥類的一半以上。
- 生物學家一直想知道鳴鳥為何有如此驚人的多樣性，傳統的解釋包括氣候變遷、板塊運動、性擇等。
- 最近的研究發現，鳴鳥具有額外的染色體，這可能是牠們具備高度多樣性的關鍵。

生哺乳類基因組大小約2~8皮克(10⁻¹²公克)，組合為6~102條染色體。在千萬年的演化過程中，哺乳類的染色體重組了許多次；這些重新組合會改變基因表現，產生不同的特徵。相對之下，鳥類的基因組只有約1~2皮克，通常擁有80條染色體，不像多數哺乳類有很多「垃圾」DNA。

一些專家猜測，鳥類小而精簡的基因組與飛行有關。飛行是相當耗能的活動，而較大的基因組需要較大的細胞，在代謝上比起較小的基因組和細胞，消耗更多能量，因此飛行所需的劇烈代謝限制了鳥的基因組大小。由於GRC只出現在生殖細胞，不存在於數量龐

額外的染色體可能形成生殖隔離，幫助鳴鳥演化出新種。

大的體細胞，稀少的額外DNA就能讓鳴鳥演化出新特徵，而不需要增加代謝消耗。

鮑羅定說：「鳥類只有在短暫的繁殖期間，需要用到生殖細胞額外的基因，來產生大量精子以及卵細胞中的大量蛋白質。這些基因沒有必要整年攜帶或出現在沒有作用的體細胞中。」拉金補充，如果鳴鳥找到一種方法，可以暫時得到只在發育早期作用的額外基因，同時保持基本的基因組不受影響，這有助於鳴鳥發展出比其他鳥類豐富的多樣性。

理論上，GRC可能形成生殖隔離，幫助鳴鳥演化出新種。帶有GRC的個體和沒有GRC的個體交配，無法繁殖出具有生殖力的後代。一旦鳴鳥最終的共同祖先產生GRC後，帶有GRC的祖先成員只有和同樣帶有GRC的個體交配時，才能繁殖出具有生殖力的後代；當GRC演化、鳴鳥獲得新的基因，具有特定GRC的鳴鳥只有和帶有同樣GRC的個體交配，才能繁殖具有生殖力的後代。

開啟演化新思維

鮑羅定和拉金認為，鳴鳥普遍具有GRC而其他鳥類身上付之闕如的這項發現，和最近發表的另一項研究結果可以相互參照。2019年4月，美國路易斯安那州立大學(Louisiana State University)的歐里魏羅斯(Carl Oliveros)和同事提出幾十種燕雀目鳥類成員的DNA分析結果，其中包含鳴鳥和其他物種數較少的類群。研

究團隊根據這些物種的DNA序列和一些已知年代的化石，重建燕雀目不同科鳥類的親緣關係以及分歧的時間，再比對譜系分支時間表和氣候、地質記錄，來確認燕雀目的分化趨勢是否如同某些假設預測，與地球史的事件相關。整體來說，這些鳥類多樣化趨勢和全球溫度或鳥類遷徙到新大陸等事件並不吻合。他們因此提出，燕雀目種化的主要驅動力是比溫度或生態機會更複雜的機制。拉金認為：「這些結論和GRC驅動鳴鳥分化的假說十分一致。」

然而，並不是所有人都能立即接受這樣的假說。歐里魏羅斯指出：「一般來說，任何單一特徵都很難建立因果關係，就像GRC的存在和特定類群演化成功的關聯一樣。這個特徵的存在可能碰巧和另一個特徵同時發生(例如築巢行為)，而另一個特徵才是類群演化成功的重要角色。」

未參與這項新研究的研究人員認為此主張很有意思。美國賓州州立大學(Pennsylvania State University)的托伊斯(David Toews)如此觀察：「GRC在漫長的演化期間一直存在，而且含有可能具有功能的基因，顯示或許在鳥類的生殖隔離扮演一角。」如果鳴鳥較其他鳥類具有更高的多樣性，是受到GRC這類基因組機制所驅動，「這多麼令人興奮而且出乎意料。」不過他也謹慎指出：「我們還需要更了解這些基因的作用機制，才能肯定其中的關聯。」

這項研究可能有助於了解其他生物。蘇反思：「我們以為自己對鳥類基因組的構成已經相當了解，卻沒看見一直在眼前的GRC。」科學家在盲鰻(hagfish)和某些昆蟲中也找到類似的額外染色體，如果GRC在生命之樹中更為普遍分佈，蘇認為：「在鳴鳥身上的發現開啟了思考演化和發育的新方向。」

姚若潔是台灣大學昆蟲學系碩士、英國布來頓大學視覺傳達博士候選人，現專事翻譯與寫作。

延伸閱讀

Programmed DNA Elimination of Germline Development Genes in Songbirds. Cormac M. Kinsella et al., December 22, 2018. 預印本請見網頁：www.biorxiv.org/content/10.1101/444364v2

Germline-Restricted Chromosome Is Widespread among Songbirds. Anna Torgasheva et al. in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 116, No. 24, pages 11,845–11,850; June 11, 2019.

訂戶專享 《科學人》雜誌知識庫中英對照版

〈鳥巢也會演化〉，《科學人》2019年1月號。
〈鳥，不為飛行而生的恐龍〉，《科學人》2017年5月號。
〈鳥類最新演化樹〉，《科學人》2015年5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





p 值，顯著有問題

學者大力呼籲改革通用的統計方法，
會為科學帶來改變嗎？

撰文／丹維斯（Lydia Denworth）

翻譯／畢馨云

英國遺傳學家兼統計學家費雪（Ronald Fisher）在1925年出版《研究工作者的統計方法》，書名看起來沒有成為暢銷書的魅力，不過此書大賣，從此確立了費雪現代統計學之父的地位。費雪在這本書中探討研究人員該如何把統計檢定應用到數值資料，來得出結論並判斷實驗是否值得進行下去。他提到一種統計檢定方法，能總結資料與所提出模型的相容性，並產生 p 值。他建議研究人員把 $p < 0.05$ 當成實用標準：「要判斷研究結果的差異是否顯著，以這一點當做門檻很方便。」他還建議繼續那些 $p < 0.05$ 的實驗，不要花時間在 $p > 0.05$ 的實驗上。由此就誕生了這個概念： $p < 0.05$ 等同於所謂的統計顯著性（statistical significance），這是實驗結果「有意義」（significant）的數學定義。

將近一個世紀後，在許多科學領域中 $p < 0.05$ 成為

判斷實驗價值的最高標準，它為學術工作中不可或缺的經費補助與論文發表鋪了路，成為大多數科學結論發表的基礎。然而連費雪也了解，統計顯著性及 p 值有非常大的局限。大部份的局限已在幾十年間逐漸受到科學界認同，心理學家密爾（Paul Meehl）在1978年寫道：「科學研究過度仰賴顯著性檢定很糟糕。」 p 值經常遭曲解，而且統計顯著性與實驗有意義並不是同一回事。此外在許多實驗中，研究人員都可能在有意無意間，因使用不同檢定方法而得出不同的 p 值。統計學家兼流行病學家格林蘭（Sander Greenland）說：「像大家常說的，你可以用統計證明任何一件事。」他是美國加州大學洛杉磯分校榮譽教授，也是呼籲改革的主要人士。研究人員若只仰賴實驗結果是否具有統計顯著性，通常會得出不正確的推論，把錯的結果解釋成對的、對的結果解釋成錯的。費雪退休後移居澳洲，有人問他生涯中是否有遺憾？據稱他厲聲說道：「真不該提到0.05。」

過去10年，關於統計顯著性的論戰越演越烈，其中一篇文章稱站不住腳的統計分析基礎為「科學界最卑劣的秘密」，另一篇則舉例說明顯著性檢定「深藏大量瑕疵」。實驗經濟學、生醫研究等領域深陷具爭議的再現性危機，心理學更是如此，大家發現很多已發表的研究結果無法再現。惡名昭彰的例子之一是某些姿勢能帶來自信的研究：研究人員聲稱，堅定自信的肢體語言不

重點提要

- 將近一個世紀，科學家一直用 p 值判斷實驗結果的統計顯著性，在許多領域產生了假象，導致再現性危機。
- 現在研究人員決心要改革統計方法，但該補救還是澈底改革仍莫衷一是。有些人建議使用其他統計方法，也有人認為應該廢除用來定義實驗結果「有意義」的門檻。
- p 值濫用可能是人類追求必然性的結果，科學家和大眾也許該學著接受不確定感引發的焦慮不安。

丹維斯 (Lydia Denworth)

Scientific American 特約編輯，著有《友情：生命基礎關係的演化、生物學與超凡力量》(Friendship: The Evolution, Biology, and Extraordinary Power of Life's Fundamental Bond)。



僅會改變態度，還會改變體內的激素濃度，這個聲稱是根據一篇論文，但後來遭其中一位作者駁斥。哥倫比亞大學統計學家吉爾曼 (Andrew Gelman) 在部落格寫道，有懷疑論者發表一篇談論氣候變遷經濟學的論文，「後來被糾出的錯誤幾乎和資料點一樣多，不騙你！但這些指正並沒有讓他改變原先的結論。」吉爾曼經常在部落格斥責做出劣質研究、且不願意承認當中有缺失的研究人員。他寫道：「嘿，要做純理論工作當然可以，但就不應該用數據轉移我們的注意力。」

統計顯著性這個概念雖然不是研究結果無法再現的唯一因素，但確實是這個問題當中很明顯的環節。過去三年有上百位研究人員大力呼籲改革，並在頗具聲望的期刊上發表文章或連署，主張重新定義或完全捨棄統計顯著性。美國統計協會在 2016 年針對這個問題發佈強硬且不尋常的聲明，主張要「走向不使用 $p < 0.05$ 的世界」。協會常務理事華瑟斯坦 (Ronald Wasserstein) 說：「統計顯著性就像在手機交友軟體 Tinder 向右滑，只表示感興趣。但不幸的是科學界使用統計顯著性的方式並非如此。大家會說：『我達到 0.05 就好了。』研究就停住了。」

科學家的呼籲是否會帶來改變？南加州大學行為經濟學家班傑明 (Daniel Benjamin) 說：「沒有新鮮事。我們需要認清，或許這次還是會像以往一樣。」班傑明也是大聲疾呼改革的人士。儘管他們對於補救辦法莫衷一是，但有這麼多研究人員同意經濟學家齊利亞克 (Stephen Ziliak) 所言「目前的顯著性檢定、解釋、發表文化必須廢除」，著實引人關注。

p 值要多小才夠？

科學研究的目的是描述自然界中的真實情況，科學家使用統計模型推論出某項事實，例如判定某種療法是否比另一種更有效、一組樣本是否與另一組不同。每個統計模型都依賴一組假設，關乎研究人員如何蒐集並分析資料，以及如何呈現研究結果。

大部份研究使用稱為「虛無假設顯著性檢定」的統計方法來產生 p 值，這種檢定方法並沒有正視事實，而

[圖解統計]

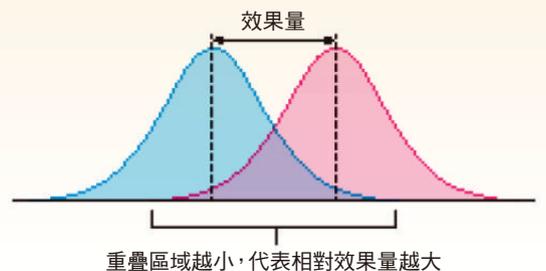
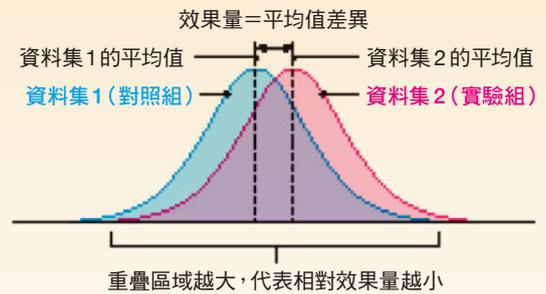
顯著性的局限

想像一下你在自家院子種南瓜，施肥會不會影響南瓜的重量？假設你長期以來都沒施肥，因此知道南瓜平均重量是 4.5 公斤，以及南瓜重量的差異。你決定試種 25 顆有施肥的南瓜，結果平均重量是 6 公斤。你要如何確定相差的 1.5 公斤是偶然產生的結果（也就是虛無假設：有施肥的南瓜真實平均重量是 4.5 公斤），還是施肥確實能讓你種出更重的南瓜？

統計學家費雪解決這個難題的方法是：想像你重複種植非常多批的 25 顆南瓜。由於每顆南瓜的重量會隨機變異，所以你會得出多個不同的平均重量。接著畫出平均重量分佈圖，並計算在肥料沒有效果的情況下，得到這些數據的機率 (p 值)。依慣例， $p = 0.05$ 是判斷研究結果顯著與否的門檻，在這個例子裡，就是讓研究人員推論肥料沒有效果的標準。以下逐一介紹統計顯著性的幾個概念。

效果量

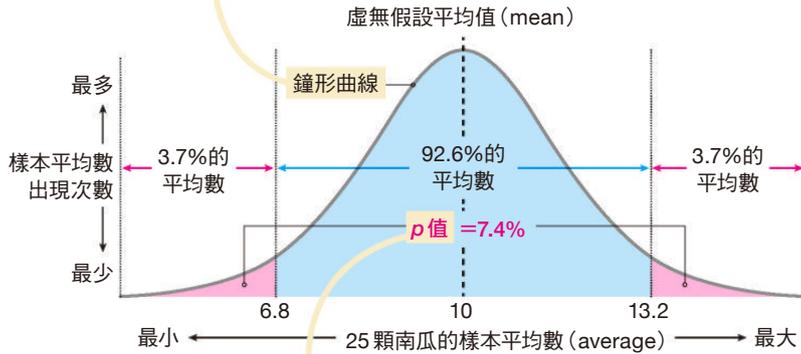
效果量是指接受實驗變因處理與否（實驗組與對照組）的平均結果差異，這個概念也可用來比較由樣本得到的平均數及整個分佈的「真實」平均數。效果量和實驗結果可以採用同樣的度量單位（例如南瓜幾公斤重），但很多實驗沒有既定單位，例如某些心理學問卷的回答，在這種情況下，研究人員可以採用相對效果量。衡量相對效果量的依據之一，是對照組與實驗組的分佈重疊區域。



p 值

要計算 p 值，就必須把我們在 25 顆南瓜的樣本中實際量測到的 6 公斤平均數，和我們重新種植多批 25 顆南瓜的樣本所得到的隨機分佈平均數，加以比較。

鐘形曲線呈現的是在施肥沒有效果的虛無假設下，好幾批 25 顆南瓜樣本的平均重量隨機分佈。

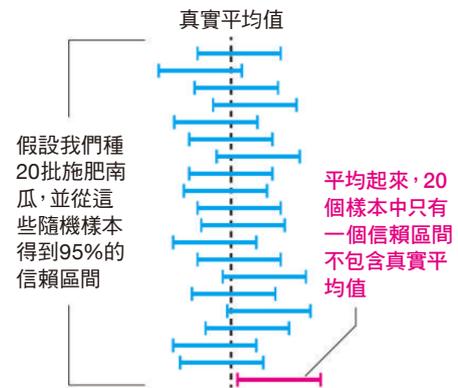


p 值是指隨機平均數 (4.5 公斤) 與實際平均數 (6 公斤) 的差異達特定大小的機率。在這個例子中， $6 - 4.5 = 1.5$ ，所以我們想算出平均數大於 6 或小於 3 (4.5 - 1.5) 的機率。此機率為 0.074，也就是樣本實際量測到的 p 值。因為這個數值大於 0.05，所以你的實驗結果不視為施肥有效的顯著證據。

這個例子呈現的是「雙尾檢定」，因為 p 值是重量超過 6 公斤以及不到 3 公斤的機率。在某些情況下，研究人員可能會決定使用「單尾檢定」，這時 p 值就只有 0.037，因為小於 0.05，所以視為顯著。完全一樣的數據可以得到不同的 p 值，研究人員可能透過這種方式來變更他們所陳述的研究計畫。

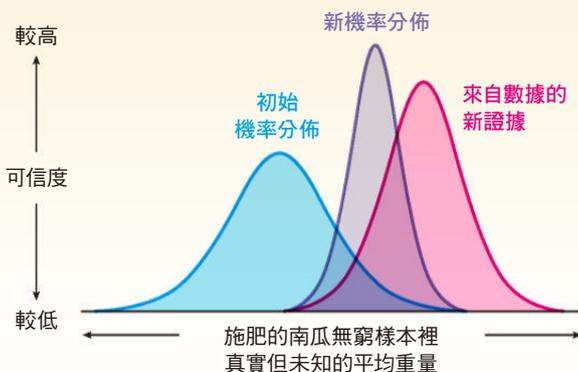
信賴區間

我們可以從一批 25 顆南瓜的樣本算出 95% 的信賴區間，這是針對有施肥的南瓜平均重量所做的猜測。計算出 95% 的信賴區間需要把 p 值的計算過程顛倒過來，找出所有可能產生 $p \geq 0.05$ 的數值。對於 25 顆南瓜的樣本，95% 的信賴區間是 4.4 ~ 7.6，但我們無法確定施肥的南瓜「真實」平均重量一定會落在此區間內。那麼 95% 是指什麼？想像一下，反覆種植一批又一批 25 顆南瓜並且抽樣，會得到什麼結果：每個樣本產生的信賴區間將會是隨機的，但我們知道長期下來，這些區間中會有 95% 包含真實的數值。至於我們從第一批南瓜得到的那個區間呢？我們不清楚它是有包含真實數值的 95%，還是沒有包含的 5%。這個過程在 95% 的時候是正確的。



貝氏方法

用機率分佈表示某人對於未知量不確定的狀態，並用貝氏定理把代表其初始信念 (查看數據前) 的機率分佈，與從數據取得的訊息結合，得到一個代表更新後信念、且具有數學涵義的分佈。由一項研究得到的新機率分佈，會成為下一項研究的初始機率分佈，以此類推。這項方法的爭議之一，在於如何替初始機率分佈找出「客觀」標準，也就是找到建構初始機率分佈 (事前機率) 的合理方法，並讓研究人員普遍接受。



驚異度

假定施肥實際上對南瓜生長沒有影響，那麼 p 值就傳達了南瓜重量出人意表的程度。有些研究人員指出 p 值傳達意外的方式有違多數人的直覺，因此提議使用另一項稱為驚異度或 s 值的數學量，也就是利用夏儂變換 (Shannon transform) 把 p 值換算成資訊位元 (如同電腦的位元)。以下透過擲銅板的例子來解釋驚異度。



連續擲出兩次正面 = 2 位元的驚異度 = p 值為 $1/2^2 = 0.25$



連續擲出四次正面 = 4 位元的驚異度 = p 值為 $1/2^4 = 0.0625$



連續擲出五次正面 = 5 位元的驚異度 = p 值為 $1/2^5 = 0.03215$

樣本包含 25 顆南瓜、平均重量 6 公斤、 p 值為 0.074，驚異度是 3.76 位元，因為 $3.76 = -\log_2 0.074$ 。

是「斜著眼看」，因為顯著性檢定只表明某個研究方向值不值得繼續下去。班傑明表示：「我們進行實驗時想知道假設成立的可能性有多大，但顯著性檢定回答的是另一個更複雜的問題：如果我的假設是錯的，產生這些數據的可能性有多小？」

這種方法有時候行得通，尋找希格斯玻色子就是極端但有效的例子。物理學家在 1960 年代首次提出希格斯玻色子，在這個例子中，虛無假設是希格斯玻色子並不存在，對立假設是它一定存在。歐洲核子研究組織（CERN）大強子對撞機（LHC）的研究團隊進行了多次實驗，得出小到不能再小的 p 值，意味著如果希格斯玻色子不存在，這個研究結果的發生率是 350 萬分之一。這讓虛無假設站不住腳。接著他們再檢查一次，確定這個結果不是由誤差產生。格林蘭說：「這個結果在科學上如此重要，並在 2013 年獲得諾貝爾物理獎肯定，原因就是他們經歷千辛萬苦，確定如此小的值不是任一潛在問題所能產生的。這麼小的值說明，『缺少希格斯玻色子的粒子物理標準模型』不可能是對的，做到這個程度，結果非常清楚。」

但其他研究領域達不到物理學實驗的精準度，就像心理學試驗，研究結果的發生率永遠不可能是 350 萬分之一。 $p = 0.05$ 代表在多次試驗中，研究結果否定正確假設的機率達到 1/20（常被誤認為試驗出錯的機率是 5%）。正因如此，統計學家很久以前就提出「信賴區間」，來標示估計值的誤差大小或不準度。信賴區間在數學上跟 p 值有關， p 值的範圍是 0~1，從 1 扣掉 0.05 會得到 0.95，即 95%，也就是常用的信賴區間。信賴區間只能概括眾多效果量的假設檢定結果，格林蘭說：「並不代表我們對假設有信心。」但久而久之， p 值和信賴區間的地位都更加穩固，給人絕對正確的錯覺。

p 值本身不一定是問題，如果有考慮脈絡， p 值是很有用的工具，期刊主編、科學研究的贊助和管理單位也如此聲稱。令人擔心的是言過其實的結論或過度強調統計顯著性，這特別容易發生在小樣本上，也是導致目前再現性危機的原因。開放科學中心共同創辦人諾塞克（Brian Nosek）在 2015 年帶頭再現 100 篇著名社會心理學論文，發現只有 36.1% 能忠實地再現。2018 年，「社會科學再現計畫」公佈了 2010~2015 年間《自然》和《科學》期刊上 21 項社會科學實驗研究的直接再現結果，其中只有 13 項（62%）出現與原始結果相似的顯著效應，再現效果量平均約是原始效果量的一半。

2000 年代頭幾年的遺傳學研究也出現過再現性危



機（參見 62 頁〈 p 值不是禍首〉）。經過許多論戰後，遺傳學領域的統計顯著性門檻大幅調整。班傑明也從事遺傳學研究，他表示：「當你發現一種跟某疾病或其他表現型有關的遺傳變方時，統計顯著性標準為 5×10^{-8} ，基本上就等於 0.05 除以 100 萬。當代的人類遺傳學研究公認非常可信。」

生醫研究就不是這樣了，這個領域容易出現偽陰性，研究人員會把有效應誤報為不具統計顯著性。缺乏證據不能證明不存在，就像某個人手上沒戴婚戒不能證明他未婚，只能證明沒有戴著婚戒。在事關企業責任或消費者安全時，這樣的情況可能就會鬧上法庭。

廢除統計顯著性？

科學到底陷入多大困境？很多學科的科學家看法相當一致，認為曲解或過度強調 p 值和統計顯著性是關鍵，不過有些科學家覺得問題沒那麼嚴重，康乃狄格大學社會心理學家強生（Blair T. Johnson）表示：「長遠來看，這種狀況在科學界經常發生，在兩個極端觀點之間擺盪不定，你必須接受。」這一連串事件提醒我們要謙虛，「如果身為學者的我們不謙虛，科學就無法進步。」

為了確實做出改變，科學家必須就解決方案達成共識，這幾乎和統計實務本身同樣困難。華瑟斯坦說：「宣稱研究結果在統計上是否顯著，這個慣例確立已久，大家擔憂若取消這個慣例，可能會讓科學界陷入某種無政府狀態。」儘管如此，科學家提出了許多建議，包括改變統計方法、描述統計方法的話語及統計分析的使用方式。最重要的想法來自 2016 年美國統計協會發表聲明後的一連串論文，有 20 多位統計學家就幾項改革原則達成了共識。隨後協會旗下一份期刊的特刊裡，

有45篇論文討論不使用統計顯著性的其他方法。

2018年，有72位科學家在《自然·人類行為》期刊的一篇評論〈重新定義統計顯著性〉中提議，新研究結果的統計顯著性門檻應從0.05改成0.005（介於0.05~0.005的研究結果則稱為「建議性」）。班傑明是那篇論文的主要作者，他把這項提議視為不完美但可立即落實的短期解決方案。「我擔憂若沒有立刻採取行動，就會失去改革的動力，而無法真正解決問題，時間最後都花在爭論理想的解決方案，卻導致更多損失。」換句話說，不要為了追求完美而一事無成。

其他科學家認為，重新定義統計顯著性根本沒有好處，真正的問題在於有一個門檻。2019年3月格林蘭、瑞士巴塞爾大學動物學家阿姆萊恩（Valentin Amrhein）和美國西北大學統計學家兼行銷專家麥克夏恩（Blakeley McShane）在《自然》期刊發表評論，主張廢除統計顯著性這個概念，他們建議把 p 值和其他證據一起當成連續變項，並把信賴區間重新命名為「相容性區間」，反映真正的涵義：與資料的相容性，而不是對實驗結果的信心。他們在推特（Twitter）上尋求支持，獲得800位科學家連署，包括班傑明在內。

顯然有更好的統計方法，至少直截了當。吉爾曼經常批評其他人使用的統計方法，他在自己的研究裡根本不用虛無假設顯著性檢定，寧可用比較直接的貝氏方法：先設定代表初始信念的機率分佈，接著在增添新證據後更新機率分佈。格林蘭則提倡採用驚異度（surprisal），這個數學量能依據 p 值，產生資訊位元（就像電腦中的位元）。當 $p=0.05$ ，代表只有4.3個資訊位元否定虛無假設。格林蘭說：「那就相當於擲銅板的時候一連出現四次正面。這樣的證據足以認定銅板不公正嗎？不，這種結果常常會出現，這也說明了0.05為什麼是薄弱的標準。」他認為讓研究人員在 p 值旁放個驚異度，就能要求他們達到比較高的標準。強調效果量，即實驗結果的差異大小，也會有些幫助。

增進科學家及大眾的統計教育，可以讓統計學變得容易親近。在費雪欣然接受「顯著性」概念的年代，這個字眼的份量並沒有那麼重。格林蘭說：「它指的是『有意義』，並非『重要』。」而「信賴區間」一詞往往會給予過度的信心，這一點也不足為奇。

捨棄單一標準，擁抱不確定

統計顯著性滿足了人類對必然性的追求。吉爾曼表示：「原罪就是，人在感覺不確定的時候想要必然性。」也

許現在該去接受不確定感所引發的焦慮不安了，如果我們能夠做到，科學文獻將有所不同。華瑟斯坦說，描述某個重要結果的「應該是一個段落，而非一句話。」而且不應該只根據一項實驗結果，成功的理論終究要禁得起數十年的再三仔細檢驗。

科學界中具影響力的機構也在微幅調整。《新英格蘭醫學期刊》發言人蔡斯（Jennifer Zeis）說：「我們都同意， p 值有時遭到過度使用或曲解；因為實驗結果顯示 $p < 0.05$ 就推論某個療法有效、 $p > 0.05$ 則無效，這是化約論式的醫學觀點，未必能反映現實。」她表示，現在他們刊登的論文已較少列出 p 值，比較多會列出信賴區間。該期刊也採納開放科學的原則，例如要求研究人員發表更詳細的研究流程、遵守事先擬定的分析計畫，並且在改變計畫時加以說明。

據美國食品及藥物管理局（FDA）生物統計司司長史考特（John Scott）的說法，FDA對臨床試驗的規定還沒有任何改變。他表示：「我認為 p 值不太可能很快就從藥物開發領域消失，不過我確實預期，採用替代研究方法的論文會越來越多。」舉例來說，有越來越多計畫申請者有興趣採用貝氏方法。「最近的爭論反映出，科學界普遍意識到統計推論傳統實務的某些局限。」

即將擔任《心理學會刊》主編的強生看法和現任主編一致，但他表示：「我打算強力遵守嚴格的報告標準，如此才能確定每個人都意識到這項危機並明白其原因，也才能判斷使用的方法有效或有漏洞。」他還強調，重要的是充份執行後設分析與系統性審查、減少依賴單一研究結果。麥克夏恩說，最關鍵的是 p 值「不應該成為判斷標準。我們要採取更全面、能辨別細微差異並且具有評判效力的觀點。」甚至連跟費雪同時代的人也支持這點。1928年，統計學另兩位巨頭奈曼（Jerzy Neyman）和皮爾遜（Egon Pearson）在提到統計分析時寫道：「統計檢定目的不在於給出最終評判，而是做為研究人員的工具，讓他們做出最後的決定。」⁵⁴

畢馨云畢業於清華大學數學系，曾任出版社科普書編輯，現為自由譯者。

延伸閱讀

Evaluating the Replicability of Social Science Experiments in Nature and Science between 2010 and 2015. Colin F. Camerer et al. in *Nature Human Behaviour*, Vol. 2, pages 637–644; September 2018.

Moving to a World beyond “ $p < 0.05$.” Ronald L. Wasserstein, Allen L. Schirm and Nicole A. Lazar in *American Statistician*, Vol. 73, Supplement 1, pages 1–19; 2019.

訂戶專享 《科學人》雜誌知識庫中英對照版

〈看見不確定〉，《科學人》2019年10月號。

〈再現科學研究〉，《科學人》2018年12月號。

〈評比宜有統計概念〉，《科學人》2016年10月號。



p 值不是禍首

統計學家熊昭和張憶壽長期投入健康科學研究，
他們指出要避免科學出錯，
得從根本去理解研究設計與統計方法。

採訪整理／李宛儒

科學的許多領域都離不開統計，從粒子物理到生醫研究，心理學與社會科學亦然。近年來，全球上百位科學家對於統計方法的誤用及濫用感到憂心，他們指出許多科學工作者使用 p 值的方法已背離其原意，並連署呼籲改革（參見56頁〈 p 值，顯著有問題〉）。 p 值這個統計數值，為何會受到廣泛使用？

回顧歷史，1925年統計學家費雪（Ronald Fisher）建議以 p 值來衡量實驗結果是否「值得再看一眼」；不久之後，另外兩位統計學家奈曼（Jerzy Neyman）和皮爾遜（Egon Pearson）在1930年代提出另一套較為嚴密的統計方法，強調以統計檢定力（statistical power）、偽陽性、偽陰性等基本概念來評估實驗結果。費雪和奈曼、皮爾遜不認同彼此的做法，可是其他科學家已迫不及待，形成了一套把統計應用於科學實驗的準則。這些科學家大多不是統計學家，他們把費雪「具參考性」的 p 值，套用到奈曼和皮爾遜比較確定的結論中， p 值從此主導了大量研究結果的判定與發表。

如今，導正 p 值意義逐漸成為科學界的共識。《科學人》雜誌來到國家衛生研究院，採訪於2014年獲台灣傑出女科學家獎，目前擔任群體健康科學研究所所長的熊昭；以及剛從癌症研究所退休、現為名譽研究員，持續發展統計方法進行癌症研究的張憶壽，談論他們在研究現場的觀察。熊昭與張憶壽皆從清華大學數學系畢業，並於美國哥倫比亞大學取得博士學位，回到台灣後

任職於中央大學與中央研究院，並在20多年前受延攬加入當時甫成立的國家衛生研究院，從此致力於促進人類健康的研究。他們對於這場統計危機有何想法？以下是節錄的訪談內容：

p 值爭議與你們的研究有何關聯？

台灣約在30年前開始出現臨床試驗，我們便從那時起開始接觸臨床試驗資料；來到國家衛生研究院，也處理遺傳學的資料，以及後來的生醫巨量資料。無論是臨床試驗、遺傳學或巨量資料，都是透過大批資料來研究風險因子與健康指標的關聯性，或是從臨床試驗得到因果關係，也就是利用量化的方式，從數據得出科學結果，產生知識並希望這些知識對人類健康有所幫助。我們不希望做出來的結果被推翻，或無法再現，因此當然會注意 p 值與研究設計、統計方法等議題。這不只是做為統計學家，也是身為科學工作者必須重視的。在演講以及每年由國家衛生研究院與多所大學合作舉辦的工作坊上，我們也不斷呼籲科學工作者重視這些議題。

p 值代表什麼涵義？為何被誤用和曲解？

費雪在1920年代提出 p 值的概念時，其實很清楚 p 值只是一個參考，不能做為最終決定。2014年刊登在《自然》的〈統計的錯誤〉（Statistical Errors），清楚點出了當今科學界使用 p 值的問題，也記述了它被抬上神壇的



健康科學研究中的統計學家：在以統計方法為主要工具的健康科學領域，熊昭（左）與張憶壽（右）長年追蹤並倡導對研究設計與統計方法的重視。此次採訪中，他們找出過往具有影響力的論文，帶領研讀重要段落，並強調 p 值概念並不困難，科學工作者只要願意花時間了解，必能對其研究工作有所助益。

歷史。 p 值的誤用和它如今的地位，有點像三人成虎，我們遇過很資深的科學家在講科學結論時，總希望看到很小的 p 值，似乎 $p < 0.05$ 是個不可侵犯而且保證結果正確的標準。事實上， p 值的意義在於檢查數據跟隨機出現的結果有無差異，因此首先必須知道隨機的情況是如何。換句話說，要計算 p 值，得要有假設和數據，再來看看它們是否相容，如果不相容， p 值就很小。

可以藉由一個簡單實驗來了解 p 值的意義。假如有一個硬幣，我們想知道它正反兩面是否對稱；現在於桌面上隨機投擲十次後，該如何從所得到的正面次數來決定它是否對稱？

首先假設硬幣是對稱的，即每次出現正面的機率是 $1/2$ ；這便是這個題目下的虛無假設。在這假設下，投擲十次會得到十個正面或十個反面的機率是 $2/1024$ ；得到九個正面或九個反面的機率是 $20/1024$ ；得到八個正

面或八個反面的機率是 $90/1024$ ……。如果得到十個正面或十個反面，則 p 值為 $2/1024$ ；如果是九個正面或九個反面，則 p 值為 $2/1024 + 20/1024 = 22/1024$ ，約等於 0.02 ；如果是八個正面或八個反面，則 p 值為 $2/1024 + 20/1024 + 90/1024 = 112/1024$ ，約等於 0.11 。依據費雪建議，為了方便，當 $p < 0.05$ 時，我們姑且認為實驗結果顯著地與虛無假設不一致。依照他的建議，如果得到九個正面，由於 $p < 0.05$ ，值得進一步研究。後來的科學家卻把 $p < 0.05$ 簡化成統計上顯著，變成一個標準方法，廣泛使用。

統計分析方法有非常多種，為何單單是 p 值受到如此誤用和濫用？這可能和名稱有關：費雪把 $p < 0.05$ 稱為「顯著」，久而久之有人忘了這個「顯著」不一定具有科學意義。對科學工作者來說， p 值在執行上也非常「方便」，計算上隨手可得，而且容易「操作」數據取

得很小的值；相較於信賴區間或貝氏統計等方法，用簡單一個數值來解釋實驗結果也比較不費工夫。但只用 p 值描述實驗結果是過度簡化，並沒有描繪出整個故事。

為何「與虛無假設不一致」，不可以用來直接推論研究結果？

這是很大的陷阱，從上述的硬幣例子可以看出，即使虛無假設被否定，仍不能就此下結論說：這枚硬幣是不對稱的。因為即使得到九個正面， p 值是0.02，仍有2%的可能性是由對稱硬幣擲出。只能說現有數據（九個正面）與虛無假設（1/2 機率得正面）似乎有差異，值得繼續研究，例如再擲十次甚至100次看看。事實上， p 值小跟擲幣次數（樣本數）有關，也跟硬幣兩面不對稱程度有關，不對稱程度就是所謂的效果量（effect size）。

在真實的科學研究中，我們除了報告 p 值，至少還要報告樣本數、效果量及信賴區間，更要從這個領域的

每一種統計方法都有其前提和局限，一定要針對研究主題選擇或發展恰當的統計方法。

研究文獻中探討效果量的可靠程度，才能提高研究結果的再現性。這樣做必然牽涉到要如何進行研究設計、數據收集，如何選擇統計方法，以及判斷統計推論的結果在科學文獻中的意義。目前過度強調 p 值的做法，顯然值得檢討。

為何生命科學與心理學研究特別講究統計分析？

科學要找的是變量與變量之間的因果關係，物理學和化學定律所描述的變量關係大多能用幾道式子呈現，是確定的（deterministic），適用範圍往往也能清楚地描述。但生命科學不是這樣，變量中往往帶有隨機（stochastic）成份，適用範圍也必須交代清楚，這是生命科學非常大的特色。例如在實驗室培養的細胞（細胞株）與人體中的細胞情況可能完全不同，老鼠研究也可能無法完全套用到人體上。

不同的生命科學研究也有差異，例如生命科學的基礎研究利用老鼠做實驗，研究人員直接把老鼠的一

個基因剔除，然後去找尋相對應的表現型（phenotype，即性狀）變化，往往可以看到這個基因與表現型之間直接關係。但像我們在做的群體研究情況就很不一樣，群體研究的對象是人，由於人體不能做實驗，基本上只能靠觀察來得到風險因子與健康指標的關聯性，這些觀察性數據所帶有的隨機成份更大，除非透過臨床試驗，否則很難得到直接的因果關係；此外人體之間的變異（variation）很大，要從變異當中找出規律性並得到可靠的結論，就得經過嚴謹的統計分析工作。例如抽菸是肺癌的風險因子，這是1950~1960年代藉由觀察比較肺癌病人與健康的人過去長期抽菸資料而下的結論，是科學上的重大成就，也是研究設計、資料收集、統計分析的威力展現。不過每一種統計方法都有其前提和局限，一定要針對研究主題選擇或發展恰當的統計方法。

心理學在這方面要求更多，因為他們更仰賴觀察性的數據，甚至有期刊直接要求投稿論文不能使用 p 值，而且要求作者提供原始數據、統計方法，讓審稿人可以重複計算論文中的結果。

除了避免濫用 p 值，科學研究還需注重什麼問題？

想要用 p 值來呈現研究結果的科學工作者，一定已經收集了許多數據。應多加思考整個研究流程：對所擬定的研究主題，是否用了最有力的研究設計、收集了高品質的數據、利用了適當的統計方法、得到了合理的統計推論並提出了科學解釋（推論中還是可以使用 p 值），而這些工作都應該透過該研究領域的相關文獻來評斷。

舉例來說，生命科學實驗裡的問題之一是批次效應（batch effect），也就是取樣的時間、地點、經手的實驗室或研究人員不同，可能都對樣本有所影響。例如一項基因研究需要把受試者的血液樣本送去做基因表現定量，其中有人8月抽血、有人10月抽血，這有沒有差別？高通量（high-throughput）的基因表現數據（在此指同時度量了很多基因的表現量）可以呈現非常大量的資料，就算分析數據的研究人員不知道其中的批次情況，也可能從數據看出裡頭有幾個批次，據此控制批次效應產生的影響，得到比較正確的結果。否則直接用實驗數據算出來的 p 值，就算很小，也無法判斷究竟是批次效應的影響，或是其中真的有生物意義。

選擇與研究設計相應的統計方法也很重要，雖然採用不合適的統計方法或許也可以算出 p 值，但這個數值可能跟研究設計完全不吻合而產生疑慮。舉例而言，如果一項統計分析的前提是資料要常態分佈，那麼當取得的數據不是常態分佈，就應該把數據做轉換，例如取對數，藉此得到接近常態的數據分佈，之後才能使用這項統計方法。

所以不能只怪罪 p 值，現在科學之所以出現再現性危機，也是因為在進行統計分析前忽略了好多應該進行的步驟。在國家衛生研究院，我們都會告訴年輕同事，希望他們的報告不要只採用一種統計方法，而要使用多種方法來看結果。在產生科學結論時，我們希望不要只以一個數值就定了生死。

p 值與再現性的危機並非一朝一夕的事情，過去是否有改革成功的案例？

現在整個健康科學裡，遺傳學是研究結果再現率最高的領域之一，但遺傳學在2000年代也經歷危機。

人類每個細胞內有46條染色體，每條染色體上有由A、T、C、G四種鹼基線性排列的特定序列，稱為DNA序列。除了性染色體，成對的兩條染色體其DNA序列幾乎一樣，但是偶爾會在某些位點上不一樣；例如在某個位點上，有的人一條是A、另一條是G（以AG表示），另一些人兩條都是A（以AA表示），另有一些人兩條都是G（以GG表示）。這種位點稱為單核苷酸多型性（single nucleotide polymorphism, SNP）。研究特定SNP之基因型（例如AA、AG、GG）與人類表現型（例如身高）的關係，是1990年代末期以來的熱門領域，稱為基因－表現型關聯性研究（genotype-phenotype association study）。然而在2000年代初期，這個領域的許多研究結果都無法再現。

2005年出現了全基因組關聯性研究（genome-wide association study, GWAS），科學家嘗試從染色體上數十萬（現在是數百萬）個位點中，找出與特定疾病、表現型相關的SNP。2007年刊登在《自然》上的〈再現基因型與表現型關聯性〉（Replicating Genotype-Phenotype Associations）列出一系列標準給進行GWAS研究的科學工作者和期刊編輯參考。除了要求 $p < 5 \times 10^{-8}$ ，這些標準還包括利用高通量的基因型數據來檢查實驗過程中樣品品質、人種混雜，以及找出並剔除不容易準確定

型的SNP等，相當程度解決了再現性問題。這些依據高通量數據的資料前處理（pre-processing）已是當前生醫研究的常規項目，近年由於生物資料庫（Biobank）的出現，GWAS的統計方法也增加了新的考量。

這些前處理的方法是針對遺傳學這個特定領域設計的，每個學門的研究該如何做前處理，必須針對自身的特性去制定，無法照本宣科。我們在國家衛生研究院這些年，很重視對研究領域的了解，如果一個研究主題不在我們最熟悉的領域，一定會找最合適的生命科學家或醫師來合作請教，去了解這些現象背後的生物意義。這樣一來，在數據收集、分析以及解釋上，才不會只看到表面的數字，而能看到重點及全面。

在實際的研究工作和教育上可以怎麼做，才能避免這些錯誤？

可以分兩個情況來看。首先對科學工作者來說，建議找統計學家合作，一起討論研究設計、收集數據、統計分析、生物解釋等。尤其這是一個巨量資料的時代，我們要清楚數據是怎麼來的，要怎樣才能適當地處理、利用它。對當代的統計學家來說，這些也都是份內的工作。

對大學生、研究生來說，把基礎學科的觀念及技巧學好，包括數學、統計學、計算科學的基礎課程。在這些量化方法課程當中，若能釐清觀念（concept）與技術（technique）的差別，平衡地掌握這兩方面，必能在其領域從容地與別人合作，共同處理巨量資料。此外，這是一個跨領域合作研究的時代，每位科學家要懂一些資料科學（data science），才知道怎樣和資料科學家合作進行研究。■

李宛儒是《科學人》雜誌採訪編輯。

延伸閱讀

Why Most Published Research Findings are False. John P.A. Ioannidis in *PLoS Medicine*, Vol.2, Issue 8, e124, pages 696-701; August 2005

Replicating Genotype-Phenotype Associations. Chanock, S., Manolio, T., Boehnke, M. et al. in *Nature*, Vol. 447, pages 655-660; June 7, 2007

Statistical Errors. Regina Nuzzo in *Nature*, Vol. 506, pages 150-152; February 13, 2014.

Examining the current standards for genetic discovery and replication in the era of mega-biobanks. J. E. Huffman in *Nature Communications*, Vol 9, Article number: 5054; November 29, 2018

訂戶專享 《科學人》雜誌知識庫中英對照版

〈因果的迷思〉，《科學人》2019年8月號。

〈遲到的醫學革命〉，《科學人》2011年3月號。

〈真正的硬裡子科學〉，《科學人》2007年11月號。



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



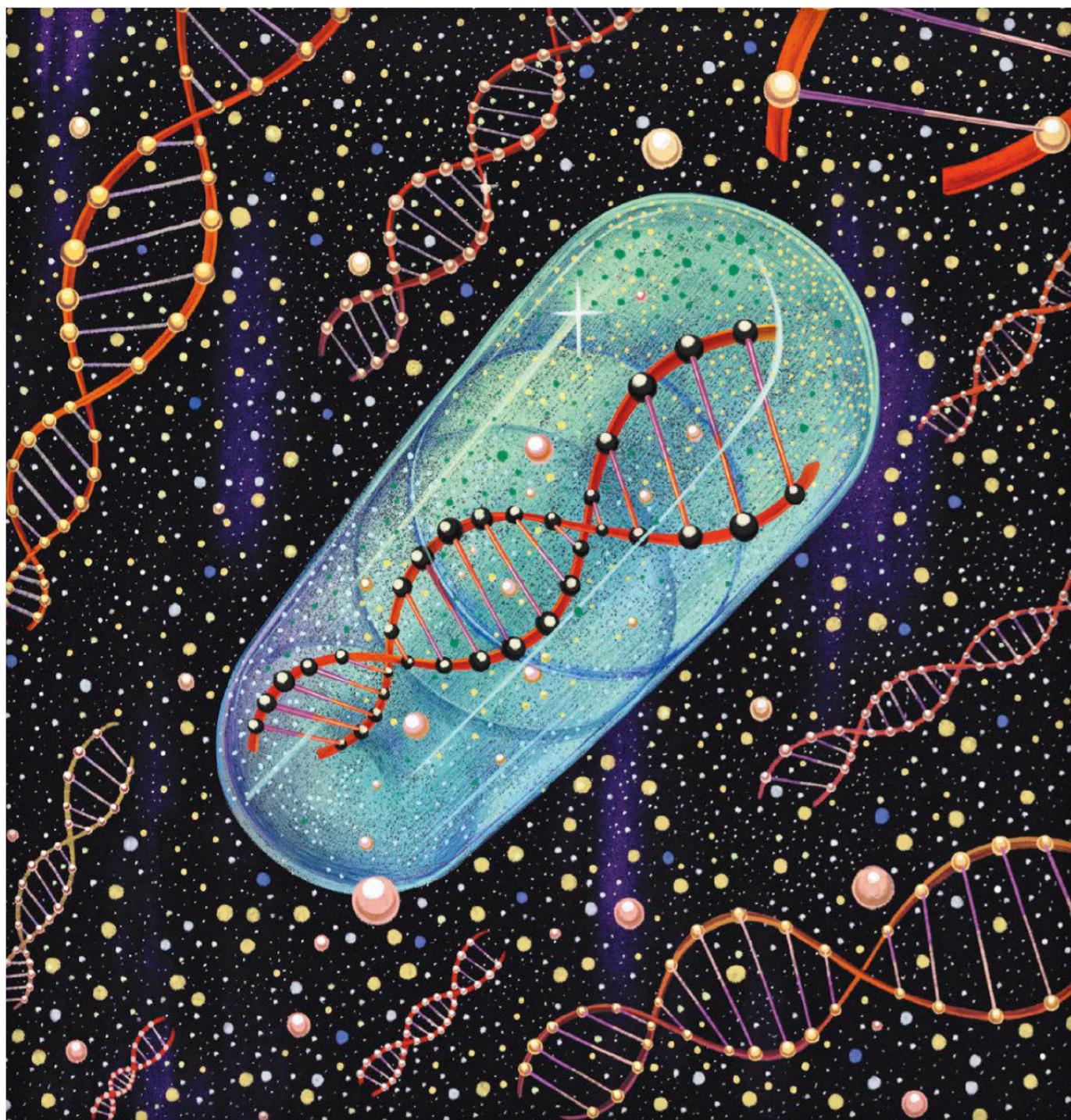
※目前Zinio在中國地區無法使用（因中國對網站條件管制關係），但港澳地區仍是可以用，請在正式訂閱前先行試下載免費刊物，測試其網路環境是否可閱讀，建議於測試無虞後再行訂購。

Innovations^{IN}

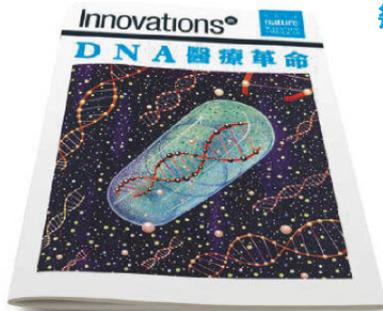
特別企劃

nature
SCIENTIFIC
AMERICAN

DNA 醫療革命



根治疾病



幾世紀以來，醫生面對許多疾病，都只能治療症狀而非疾病根源。他們切除腫瘤、注射胰島素或緩解發燒，卻無法觸及細胞內部的DNA分子。其實是這些DNA分子發生了變異，造成細胞癌化、傳遞異常神經訊號或導致發炎而腫脹。DNA和它的信使分子一旦出錯就難以修正，

也幾乎沒有藥物能觸及。不過，21世紀初科學家完整解開人類基因組的DNA序列後，情勢開始發生變化。過去幾年合成簡短序列技術的新進展，令科學家了解「能觸及DNA的最佳物質正是DNA」。製造新基因來替代表現不佳的基因或是令它「消音」，此概念已研發出14種核准上市的基因療法藥物（78頁）。最新研究指出，科學家把藥物設計成更容易進入細胞的球形，可使基因療法藥物更加有效（69頁）。分析DNA也整理出更多新標的，目前美國針對30~60種遺傳疾病進行新生兒篩檢，但可能還有將近1000個基因與兒童疾病有關，這些基因都可能用於開發新療法（74頁）。

但是，基因檢測也帶來令人不安的情況，舉例來說，一些新生兒的基因檢測可能出現偽陽性，而且帶有罹病相關基因的孩子並非都會罹患該疾病。還有研究指出，現有基因標的其實並不平等；這些DNA序列的數據大部份來自針對白人受試者的研究，遺漏了導致其他疾病的基因變異，這種情況如果不加以修正，研究的不平等將導致健康不平等，遺傳學家正啟動基因組多樣性計畫（80頁）。DNA在醫學中具有強大力量，這股力量應該應用於大多數人群，而非局限在少數人。

本期特別企劃「DNA醫療革命」由美國匹茲堡大學醫學中心（UPMC）出資贊助，刊登於*Scientific American* 和《自然》期刊，由*Scientific American* 獨立企劃，UPMC不干涉文稿內容。（林雅玲譯）

—— 費雪曼（Josh Fischman）
Scientific American 資深編輯

四大進展

69 球形核酸 藥效直達

球形裝載的DNA或RNA分子極具潛力，可用來治療腦腫瘤和傳統藥物難以預防與治療的疾病。

文／米爾金（Chad A. Mirkin）、
拉勒米（Christine Laramy）、
斯卡庫伊（Kacper Skakuj）

74 新生兒遺傳檢測 需要嗎？

我們現在有能力檢測數千種新生兒遺傳疾病，但檢測結果真的有用嗎？

文／路易斯（Tanya Lewis）

78 基因療法來了！

經歷幾十年的嘗試，可調控生命密碼的藥物終於能實際應用於治療病患。

文／戴利（Jim Daley）

80 豐富基因組資料庫

現今人類基因組數據偏重歐裔，「我們所有人」計畫正致力於改變現況。

文／德凡尼（Stephanie Devaney）

編輯群

執行總編輯
布雷納德（Curtis Brainard）
特別企劃主編
佛萊徹（Seth Fletcher）
資深編輯
費雪曼（Josh Fischman）

創意總監
姆拉克（Michael Mrak）
資深圖表編輯
克利斯提安森（Jen Christiansen）
副圖表編輯
蒙塔涅斯（Amanda Montañez）

文稿主編
凱勒（Maria-Christina Keller）
資深文稿編輯
施萊諾夫（Daniel C. Schlenoff）
沙特克（Aaron Shattuck）
榮多（Angelique Rondeau）

後製主編
杭特（Richard Hunt）
印前及品管經理
桑提斯（Silvia De Santis）

發行人兼副總裁
阿巴特（Jeremy A. Abbate）
多媒體總監
貝爾法斯（Jay Berfas）



藥物研發

球形核酸 藥效直達

球形裝載的DNA或RNA分子極具潛力，
可用來治療腦腫瘤和傳統藥物難以預防
與治療的疾病。

撰文／米爾金（Chad A. Mirkin）、拉勒米（Christine
Laramy）、斯卡庫伊（Kacper Skakuj）

翻譯／林雅玲

腦腫瘤令人恐懼！大腦是我們人格、思想、意識的核心，而腦腫瘤卻是攻擊這個重要器官的難纏疾病，腫瘤在腦中生長，使治療困難重重。大腦為了自我保護，演化出許多抵禦外來物質的機制，但也把許多抗癌藥物阻擋在外。在這座意識堡壘上使用外科手術或放射線療法，伴隨著巨大風險。因此，神經膠母細胞瘤（glioblastoma）這種常見的原發性腦腫瘤，55~64歲患者的五年相對存活率僅5%，美國每年約有1萬5000人死於腦腫瘤。

如今，我們團隊開發出一種奈米新藥，這種藥物由寡核苷酸（DNA或RNA鏈）組成，宛如海膽的棘刺從藥物載體核心伸展而出。我們稱這些多刺的球形顆粒為球形核酸（spherical nucleic acid）藥物。理論上，這種球形核酸藥物可用來治療多種疾病，例如一種侵害嬰幼兒的可怕疾病：脊髓性肌肉萎縮症（SMA）。這種疾病剝奪了孩童的肌肉控制能力，最終使他們難以吞嚥和呼吸。多數患者就在就讀幼兒園前就因病死亡，醫生束手無策。2016年，美國食品及藥物管理局（FDA）核准藥物Spinraza上市，治療方法是把Spinraza直接注入脊髓，每年進行多次，每劑要價12萬5000美元，是世界上最昂貴的藥物。最近，我們團隊利用齧齒動物測試球形核酸藥物，並以Spinraza治療的老鼠做為對照組，發現球形表面的核酸可干擾引發SMA症狀的信使分子。我們的球形核酸藥物可使老鼠存活時間延長四倍，同時還降低了副作用的發生率。

藥廠開發新藥會遭遇很多挑戰，而球形核酸藥物可避開這些問題。傳統藥物很少具專一性，除了影響患病細胞和器官，還會影響身體其他部位，因此傳統藥物都存在副作用。然而，核酸類藥物是設計來干擾致病基因，或是其他可控制細胞行為的相關指令分子。生物學家過去曾嘗試使用核酸做為藥物，不過主要做成游離的線形分子，無法導引核酸去向。此外，由於人體免疫系統對外來遺傳物質的防禦能力很強，多數情況下，免疫系統會立即破壞藥物或是把藥物送往肝臟和腎臟等器官來清除。

不過，僅有10億分之一公尺大小的球形核酸藥物不一樣！它們似乎能在免疫系統攔截前，進入人體任何部位。球形結構讓我們能在極小的空間裡，組裝高密度的

核酸藥物，使核酸藥物與細胞表面受體產生強烈交互作用，讓藥物成功進入細胞。進入細胞後，組成藥物的核酸序列能確保它們僅與擁有互補序列的DNA或RNA結合（構成核酸藥物的核苷酸，與細胞裡的DNA密碼分子相同，簡稱A、T、C和G；若是RNA分子則使用U而非T）。球形核酸藥物由於可根據需求設計核酸成份來干擾細胞內許多不同的致病分子，它的潛力顯而易見。

藥物研發原理

傳統上，科學家研發藥物的方式，是透過篩選成千上萬的合成或天然分子，在漫長的反覆試驗後，確認是否具有療效。儘管透過這種過程確實找到許多令人驚奇的藥物例如抗生素，但即使是最有發展的藥物也可能引發副作用；而且仍有許多疾病不受這些分子的影響，目前還是無藥可治。而生物製劑這類新藥，通常使用實驗小鼠、兔子和其他動物的免疫細胞所產生的蛋白質，也是經由反覆試驗的研發程序篩選。

理想的藥物研發程序，應該能讓科學家快速且合理地設計專一性藥物，這些藥物要和人體細胞使用相同語言，不應採用大海撈針的方法。細胞透過DNA和RNA傳遞許多複雜訊息，製造數以百萬計的蛋白質分子。細胞要正確製造這些蛋白質所需的步驟，多到令人驚奇：必須先選出由A、T、C和G核苷酸組成的特定DNA序列，把這個序列轉錄成「信使RNA」（mRNA）型式，接著準確讀取mRNA，把對應的胺基酸組裝成串（可多達3萬5000個胺基酸），最終形成一個蛋白質分子。

若DNA序列出現錯誤，例如多了或少了一個核苷酸，或是核苷酸排列錯誤，都可能無法製造蛋白質，或是製造出致病蛋白質。此外，若是mRNA的複本過多，則會生產過多蛋白質，因而可能引發疾病。若是受到病

米爾金 (Chad A. Mirkin)

美國國際奈米技術研究所所長，任教於西北大學化學系、化學與生物工程學系、生物醫學工程學系、材料科學系與醫學系。他也是Excure生技公司的創辦人，該公司主要開發球形核酸藥物。

拉勒米 (Christine Laramy)

美國西北大學化學與生物工程學博士，目前於拉森姆與華金斯律師事務所擔任分析師。

斯卡庫伊 (Kacper Skakuj)

美國西北大學化學系研究生。

毒感染，外來核酸進入細胞，可能製造出有害的病毒蛋白。不過，科學家也能合成DNA或RNA。我們可以製造出能與致病序列結合的專一序列，進而消除致病序列的活性。一旦兩種序列結合，我們合成的寡核苷酸便中斷了細胞原本的運作方式，阻止被感染的細胞製造致病蛋白質。

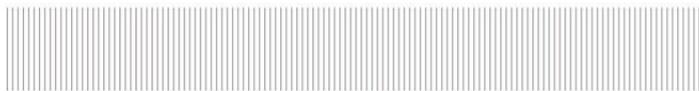
然而，儘管自動化設備可幫我們迅速合成各種序列的寡核苷酸，但目前FDA核准的藥物種類大約才10種。這是因為這些寡核苷酸一旦進入血液，就會面臨巨大阻礙，外來物質並非患者本身具有，因此被視為有害物質或廢物。這些寡核苷酸要嘛被人體免疫系統破壞，要嘛在人體的廢物過濾站（肝臟和腎臟）被清除，根本無法抵達目標位置。即使寡核苷酸鏈能接近內含目標mRNA的細胞，細胞的外膜也會阻止寡核苷酸進入細胞內。最終，開發寡核苷酸的藥廠往往會選擇開發肝臟疾病的藥物。肝臟確實是重要器官，但是把寡核苷酸藥物的目標瞄準單一部位，也確實限制了藥物發展的潛力。還有另一種方法是把寡核苷酸直接注射到疾病部位，例如把Spinraza注射到脊椎裡，這在技術上不但困難，也無法確定這麼做能讓藥物進入所有目標細胞。

我們的研究團隊與其他研究人員，共同推動奈米技術的進展，這一切把我們帶往球形核酸藥物的領域，可望解決上述問題。我們製造球形核酸藥物的方式，是利用化學修飾把多條DNA鏈的一端，固定在金奈米粒子上，製造出海膽狀產物。外側DNA鏈的序列則設計成與癌症DNA序列互補，因此可做為很好的探針。我們還把金奈米粒子開發成「人造原子」，當球體連接特定功能的結合點，便可做為新型材料。

我們很好奇這種新型幾何結構的核酸藥物，會如何作用在生物系統上。在開發球形核酸藥物的研究中，我們發現，比起游離線形寡核苷酸，「海膽狀」粒子外的核酸叢能與目標DNA和RNA結合得更緊密。因為核酸會緊密固定在奈米粒子表面，使它們更堅韌，有助於展示出DNA鏈上的A、T、G和C，並在遇到目標序列時與之結合。此特徵讓我們聯想到，如果給予適當的核酸序列，球形核酸藥物可能是非常強效的藥物。

我們進行實驗來驗證這個想法。首先，我們把游離線形寡核苷酸與試管裡的小鼠細胞混合，接著在另一個試管中，把球形核酸與同樣類型的小鼠細胞混合。此外，為了方便追蹤，我們分別把紅色螢光分子黏附在球體和游離線形寡核苷酸上。隨後透過顯微鏡觀察細胞，發現與游離線形寡核苷酸混合的細胞看起來透明無色，代表游離的寡核苷酸沒有穿過細胞膜；但是與球形核酸藥物混合的細胞呈現紅色螢光，球體進入細胞了！為什麼會如此呢？一般來說，細胞膜會嚴格調控進入細胞的分子，而寡核苷酸通常不具備通行證；此外，寡核苷酸與細胞表面都帶負電荷，就像同性磁鐵一樣互相排斥。如今我們大致洞悉其中關鍵，正是散佈於細胞表面的守門員分子：清道夫受體（scavenger receptor）。

球形核酸藥物能夠進入大腦而且安全無毒，為我們帶來治療危險的腦腫瘤以及其他神經疾病的希望，並為下一輪臨床試驗奠定基礎。



當細胞與周圍環境接觸時，這些受體扮演了關鍵角色。舉例來說，清道夫受體碰到奈米大小的生物分子時，會判斷是否為細胞所需。球形核酸藥物表面突出的結構特徵，剛好很像清道夫受體的天然受質。如前述，球體上的寡核苷酸密集堆疊，就像魔鬼氈一樣，鉤刺越多，越能牢固結合。至於游離的線形核苷酸，即使清道夫受體認為是可通過的分子，它們也會因為只擁有單一鉤刺而容易漂走。我們透過電子顯微鏡，觀察到這些受體與球形核酸藥物結合後，周圍的細胞膜就會向內折疊、形成一個口袋，把球形核酸藥物吞進細胞。

破解層層關卡

但是進入細胞只是邁向成功的第一步。球形核酸藥物要用來治療疾病，必須有能力找到導致細胞製造出疾病相關蛋白質的mRNA，並與之結合，讓它們失去活性。

我們首先研究的標靶mRNA不會引發疾病，而是指引細胞製造出一種會在顯微鏡下發出綠色螢光的蛋白質。我們的目標是阻止這種mRNA發揮作用，當我們製造出會與這種mRNA結合的球形核酸藥物並與小鼠細胞混合，同時以沒有加入球形核酸藥物的細胞為對照組，兩者顏色差異顯而易見。對照組的細胞呈現綠色，代表mRNA製造出對應的蛋白質。但是，暴露於球形核酸的細胞則呈現透明，代表我們在mRNA指揮細胞製造綠色螢光蛋白質前便阻斷其作用，這項研究成果發表於2006年的《科學》。

接著，我們開始用球形核酸藥物來挑戰游離線形寡核苷酸藥物所面臨的主要困難：人體天然防禦系統的攻擊。我們發現密集堆疊的球體帶有很強的電荷，有助於躲過免疫系統的攻擊：核酸酶會分解外來DNA和RNA，使其無法靠近細胞，而高電荷的球體會阻止核酸酶發揮功能。

我們確實看到成功的機會，至少在實驗室裡。但是，從實驗室裡的成果走向實際應用於治療患者，是一條漫長而艱辛的道路，因此，我們團隊的研究人員在約10年前創立了Exicure生技公司，希望把球形核酸藥物推向臨床試驗。我們最初先探討這種強效藥物做為皮膚霜和眼藥水時，能否進入患病組織。概念上是可行的，因為球形核酸易於細胞吸收，比起直接注射等侵入性策略的效果更好。

我們的兩個首要目標是治療牛皮癬和幫助傷口癒合，對於其他一些疾病，我們已經有幾個深具潛力的候選球形核酸藥物進入早期臨床試驗階段。當然，皮膚是藥物比較容易接觸到的器官，但大腦可不同了。大腦受到機警的免疫系統和血管網路構成的血腦障壁所捍衛，會拒外來分子於外，使得神經膠母細胞瘤等腦腫瘤特別難以治療。但是，我們認為球形核酸藥物可能有能力通過這些防衛機制進入大腦。

為了啟動這項計畫，我們設計一種球形核酸藥物，包含許多短的RNA片段，專門用來抑制神經膠母細胞瘤製造Bcl2L12蛋白質。腫瘤細胞利用這種蛋白質做為生化防禦武器，保持細胞功能。我們認為，透過抑制腫瘤細胞裡製造Bcl2L12蛋白質的mRNA，會讓腫瘤細胞變得脆弱，無法抵抗傳統抗癌藥物的攻擊。我們進行了

動物實驗，結果發表於2013年的《科學·轉譯醫學》，證明情況確實符合預期。2018年的早期臨床試驗結果顯示，球形核酸藥物也能進入人類患者的神經膠母細胞瘤裡。球形核酸藥物能夠進入大腦而且安全無毒，為治療危險的腦腫瘤以及其他神經疾病帶來希望，並為新一輪臨床試驗奠定基礎。目前研究人員針對SMA等疾病進行的動物試驗，也取得不錯的進展。

球形核酸癌症疫苗

球形核酸藥物另一個令人興奮的發展方向是免疫治療。腫瘤細胞的細胞膜通常含有與正常細胞不同的蛋白質。因此，腫瘤細胞蛋白質可做為一種示警訊號，如果我們能訓練免疫系統像追蹤流感病毒那樣追蹤腫瘤細胞，身體就更能保護自己免於疾病侵害。

為了製造球形核酸的癌症疫苗，我們把金奈米粒子的核心換成微脂體（liposome，一種空心的奈米顆粒），並在表面置入腫瘤細胞的一種特異蛋白質，接著注入罹患相應腫瘤的模式動物體內。2019年我們發表於《美國國家科學院學報》的最新實驗顯示，此類球形核酸疫苗會迅速引發免疫系統的反應，顯然能指導免疫系統追蹤具有腫瘤特異蛋白的細胞。這種免疫反應似乎能長久維持，我們發現即使球形核酸疫苗不復存在，免疫系統仍會繼續追蹤這類細胞。第一期人體臨床試驗已確認球形核酸疫苗的效用和安全性，目前正進行針對另一種致命性皮膚腫瘤的球形核酸疫苗臨床試驗。

我們認為球形核酸藥物能進入不同組織的功能，是此類藥物的研發和最終廣泛應用的重要關鍵。球形核酸藥物的進展，得益於三大核心科技：能製造大量寡核苷酸、對遺傳疾病致病機制的了解，以及運送寡核苷酸至關鍵組織和細胞。前兩項技術很重要，但若缺乏第三項，就像缺少可以用來跑軟體的硬體設備。球形核酸藥物就像是重要且用途廣泛的硬體平台，可適用於許多不同疾病類型，而這個平台有機會幫助藥廠在尋找新藥物分子做為新療法的程序變得更簡單。我們只要為每種新疾病設計出專一的寡核苷酸，就有機會開發出球形核酸新藥。這一切改革，即將到來。■

林雅玲於中央研究院國際研究生學程取得生物科技學博士學位，長期從事科普翻譯與寫作，現任職於農業生技公司。

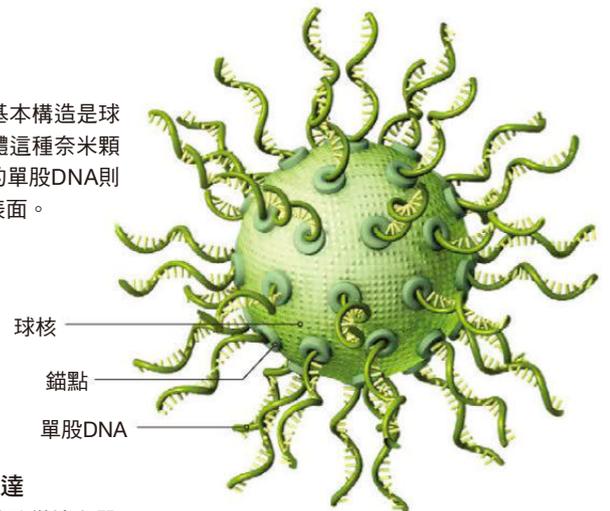
以DNA治療DNA

在細胞裡，若DNA及命令細胞該做什麼的信使RNA (mRNA) 出現異常，便會引發疾病。科學家透過合成能與此類問題分子結合的特定DNA，以球形核酸型式進入細胞並干擾引發異常的分子。

線形藥物效果有限

科學家曾經嘗試以典型的游離線形寡核苷酸做為藥物。它們雖然有用，卻很難進入細胞或容易被免疫系統破壞。要讓線形分子真正發揮功用，通常需直接注射到疾病部位，這顯然局限了使用範圍。

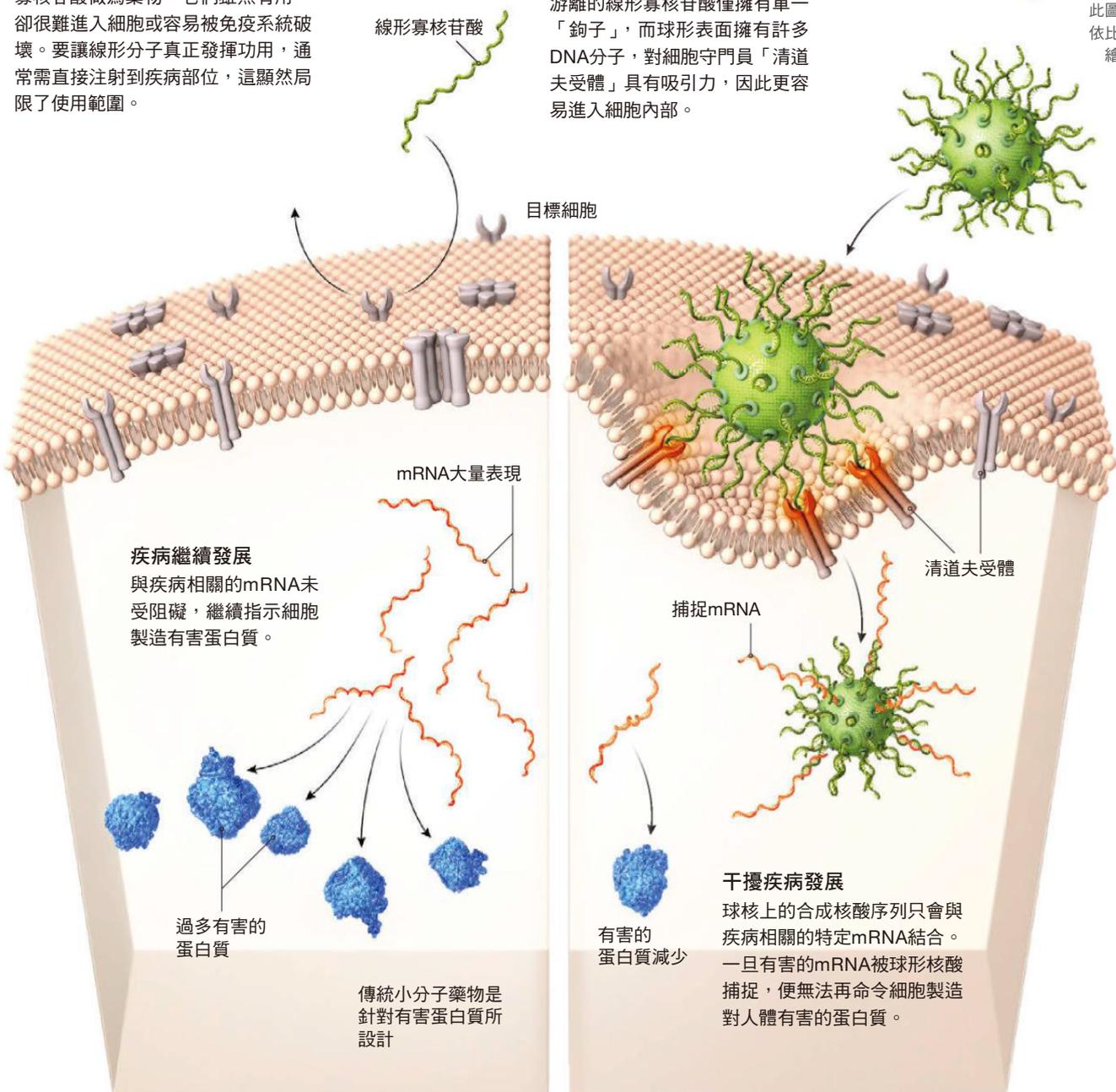
球形核酸藥物的基本構造是球核，通常由微脂體這種奈米顆粒構成，而合成的單股DNA則密集固定在球核表面。

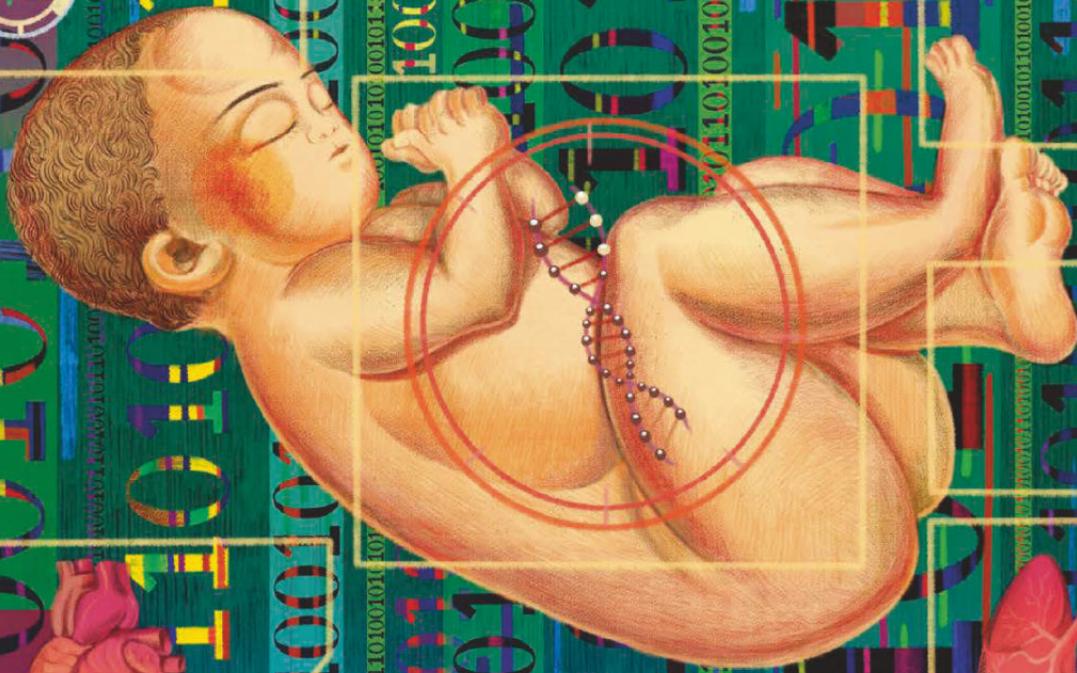


球形藥物成功直達

游離的線形寡核苷酸僅擁有單一「鉤子」，而球形表面擁有多數DNA分子，對細胞守門員「清道夫受體」具有吸引力，因此更容易進入細胞內部。

此圖未依比例繪製





醫學檢測

新生兒 遺傳檢測 需要嗎？

我們現在有能力檢測數千種新生兒遺傳疾病，但檢測結果真的有用嗎？

撰文／路易斯 (Tanya Lewis)
翻譯／涂可欣

2019年8月9日下午3點，米契爾·戈爾比 (Mitchell Gorby) 誕生在美國聖地牙哥巴伯亞海軍醫院，剛出生的他看似健康，父母萊任和蒂芬尼欣喜若狂。但幾小時後，一名護士注意到米契爾癱軟無力且從未哭過，監測器顯示他的身體沒有足夠氧氣。米契爾立刻被送往鄰近的瑞迪兒童醫院新生兒加護病房，檢驗結果是米契爾的血紅素無法與氧氣結合，導致紅血球逐漸死亡。米契爾無法喝奶，醫院只能插入餵食管。醫生為米契爾進行電腦斷層掃描和腦部掃描，也檢查是否罹患感染性疾病，卻仍找不出問題，毫無頭緒下，醫生建議定序米契爾的基因組。

瑞迪兒童基因醫學研究所的金斯摩爾實驗室在48小時內送回結果。米契爾帶有一種罕見的基因突變，稱之為湯姆斯河血紅素 (hemoglobin Toms River)，以2011年第一名確診病患的家鄉紐澤西州小鎮命名。此突變使氧氣無法結合胎兒紅血球裡的蛋白質，而這只影響胎兒血紅素，嬰兒在幾個月內會開始製造健康的成人血紅素，醫生需要在那之前維持米契爾的生命。瑞迪兒童醫院新生兒科醫生卡洛爾 (Jeanne Carroll) 說：「有了米契爾的完整基因組資料，我們知道該從哪裡治療。」她和醫療團隊決定為他多次輸血，米契爾很快好轉，不

到一個月就健康出院。

過去遇到和米契爾一樣出生即患有遺傳疾病的孩子，醫生可能要花數年才能找出病因，那時往往已太遲。現在基因組定序速度躍進、成本陡降，可一次篩檢高達數千種兒童期好發的遺傳疾病。過去一年來，美國有10幾家醫院開始提供新生兒快速基因組定序服務，來協助診斷威脅生命的病症。研究人員正探討基因組定序是否該列入新生兒篩檢標準項目。另外像Sema4和寶貝基因 (BabyGenes) 等公司，開始仿效23andMe公司的行銷模式，把基因檢測服務推銷給想知道嬰兒更多健康情形的父母。胎兒和新生兒基因組定序在2018年有40億美元的市場，預計2027年會擴增成112億美元。

支持者認為，新生兒基因檢測在緊急狀況下能幫助醫生診斷可能致命的兒童期好發疾病，並大幅增加新生兒例行篩檢的遺傳疾病項目。這不但有助於提早診斷並治療，還能讓父母得知自己罹患成年好發疾病的風險和可能遺傳給孩子的病症。基因檢測可偵測數百甚至數千種疾病，遠超過美國現行的新生兒足跟血 (heel-stick) 篩檢項目，基因檢測亦能協助確認例行篩檢結果。

但專家警告，基因檢測弊大於利，可能無法檢測到足跟血篩檢能找出的疾病，或得到一些疾病的偽陽性結果，帶給新生兒父母焦慮或進行不必要的後續檢查。而且新生兒的基因組定序還可能引發患者的隱私權問題和基因歧視。儘管有這些顧慮，新生兒基因檢測已實際上路，而且會越來越普遍。但這項科技是否成熟？對大多數嬰兒都有益處？家庭和社會已能面對那些資訊嗎？

新生兒篩檢

1960年代，微生物學家賈斯禮 (Robert Guthrie) 發展出苯丙酮酸尿症 (PKU) 檢測法。此遺傳疾病會造成患者體內苯丙胺酸累積，但不難治療，只需避免食用苯丙胺酸即可。然而若未善加控制，將會造成腦部受損和智力障礙。幾年內，美國數州規定新生兒都需檢測PKU，並陸續加入其他疾病篩檢。1980年代中期，美國多數州都有強制篩檢計畫。2002年聯邦政府要求美國遺傳醫學學會研擬新生兒篩檢標準則，建立「建議通用篩檢集組」，整組篩檢包含可治療的35種主要病症和25種次要病症，現在美國多數州都會篩檢其中部份病症。

目前，已知的人類遺傳疾病約有1萬4000種，包括兒童期好發的PKU、先天性心臟病、成年好發的杭丁頓氏症（Huntington's disease）和遺傳性癌症。有些兒童疾病若即早發現，是可治療的，例如PKU。足跟血篩檢只能篩檢極少數疾病，因此基因檢測格外吸引人。2010年代初期，美國國家兒童健康和人類發展研究所與國家人類基因組研究所共同推動新生兒基因醫學及公共衛生定序計畫（NSIGHT），探討新生兒基因組定序的風險和益處。金斯摩爾負責NSIGHT中四項子計畫之一：推動快速全基因組定序應用於疑似有遺傳疾病的重症新生兒。

標準基因組定序需要數星期作業時間，但金斯摩爾團隊採用快速定序法和電腦軟體來比對與疾病特徵相關的基因組，可在一到兩天內取得遺傳診斷。對罹病嬰兒來說，幾天和幾小時可能就是活著、死亡或嚴重殘疾的差異。2014~2016年，金斯摩爾在堪薩斯市兒童慈善醫院帶領第一次試驗；2017~2019年，在瑞迪兒童醫院進行第二次試驗。一年前，該團隊開始為全美23家醫院提供新生兒基因組定序服務，同時加州議員推行聯邦立法提案，希望貧民醫療計畫（Medicaid）能負擔重症嬰兒的定序費用。截至2019年11月，金斯摩爾團隊已為超過1100名疑似患有遺傳疾病的嬰兒定序，其中1/3因而確診，1/4改變治療方法。

米契爾正是瑞迪兒童醫院施行基因組定序的其中一名病患（但不屬於NSIGHT）。卡洛爾表示：「這項資訊增加我們的信心，我們因而暫緩其他檢查，先幫米契爾多次輸血。」米契爾若沒有進行基因組定序和後續診斷，或許也能存活並復原，但以其他病例而言，基因組定序極可能挽救生命。金斯摩爾表示，基因組定序能大幅減少孩童漫長且艱辛的診斷歷程。

找出罹病風險

基因組定序不只造福重症嬰兒，NSIGHT的另一項子計畫是調查臨床上是否適用基因組定序來篩檢沒有明顯疾病跡象的新生兒，名為新生兒定序計畫。布里根婦女醫院的格林（Robert Green）、哈佛醫學院的貝格斯（Alan Beggs）和同事召募受試家庭並隨機分配半數新生兒進行基因組定序。他們擬定一份清單，涵蓋1500

35種

經由新生兒血液能篩檢出可治療的遺傳疾病數。美國許多州都會檢測新生兒血液中是否有與疾病相關的蛋白質或其他分子。

193種

現今知名的商業基因檢測組Sema4 Natalis透過基因組定序來檢測出的疾病數。Sema4 Natalis和美國各州的標準血液篩檢一樣，只篩檢可治療的疾病。

1514個

會引發兒童疾病的已知基因數，此數字來自「新生兒定序計畫」。這項計畫尋找與可治療的疾病有關的基因序列，例如會影響藥物反應的基因，以及可能具遺傳性的致病基因，但不一定會罹病。

個與兒童期或青少年期好發疾病有關的基因，並把部份定序結果告知受試家庭。計畫目標是盡可能詳細檢查並分析出所有疾病的罹患風險。2019年1月，團隊發表159名新生兒的定序結果，其中大部份是健康新生兒，有些則是加護病房的病患。研究人員發現，9.4%的健康新生兒有罹患無法從醫療史和家族史發現的兒童期好發疾病風險，另外88%的新生兒帶有隱性疾病基因。

然而那些參與計畫的父母認為值得做基因檢測嗎？娜塔莉是住在華盛頓特區的醫生，兒子羅素參與了新生兒定序計畫。娜塔莉承認她對定序結果有些緊張，她

說：「每當有機會了解孩子的健康情況時，自己都可能感到焦慮。」但整體來說，她和先生覺得這項計畫並無不妥，「因為研究人員只篩檢影響兒童期的基因缺陷，並且都是有治療方法的疾病。我們覺得基因組定序可能還是有用的。」幸運的是，她的兒子沒有任何兒童期好發的遺傳疾病，但可能帶有多囊性腎病隱性基因，多囊性腎病是一種代謝疾病，然而這項定序結果很容易出錯，還需加以確認。對某些家庭而言，基因組定序的好處就明顯多了：基因組定序發現一名孩童的身體無法回收利用生物素（biotin，一種維生素），而標準篩檢並未查出。這項疾病若未治療會導致孩童昏迷甚或死亡，但治療方法很簡單，只需補充維生素即可。

雖然新生兒定序計畫最初只專注於兒童期好發疾病，不過研究過程中發現一名嬰兒帶有BRCA2基因變異，有較高風險罹患乳癌和其他癌症，因此研究人員徵詢娜塔莉夫婦是否想得知羅素罹患成年好發疾病的風險？他們選擇不接收這方面的訊息，表示要等羅素長大後由他自己決定是否接受基因檢測。

基因倫理爭議

由於複雜度和成本問題，新生兒定序計畫從未企圖讓基因組定序納入新生兒篩檢標準項目。格林說：「我們不建議把它推廣到臨床。」儘管如此，基因組定序已不再局限於臨床，現在有幾家公司直接提供新生兒基因檢測服務。Sema4的檢測定價是379美元，宣稱可篩檢190種好發於10歲前且能用藥物、飲食或其他措施治療的遺傳疾病，並在檢查4~6星期後的基因諮詢會議中告知結果。Sema4執行長夏特（Eric Schadt）表示，Sema4篩檢出疾病相關基因的準確度高達99%，且只會在外顯率（penetrance，帶有某基因型的人發展出某疾病的比率）高於80%時才會報告結果，同時提供新生兒對特定藥物過敏的資訊，不過美國食品及藥物管理局（FDA）

路易斯（Tanya Lewis）

Scientific American 副編輯，負責衛生與醫學領域。

每當有機會了解孩子的健康情況時，自己都可能感到焦慮。

—— 娜塔莉，參與新生兒定序計畫的母親



最近要求各家公司不可公佈這類資訊，因為FDA尚未審核，這些資訊可能沒有臨床證據支持。寶貝基因的檢測則詳查100個基因，篩檢超過72種病症，採樣方式是口腔內頰刮取或乾血點檢測，定價349美元。

夏特承認，Sema4並不清楚基因檢測服務是否能為病患帶來益處，但正試圖找出答案。這問題確實值得探討，畢竟基因檢測服務對於疾病的準確度還不明確。NSIGHT的第三項子計畫是由加州大學舊金山分校的帕克（Jennifer Puck）、科尼格（Barbara Koenig）和郭沛恩（Pui-Yan Kwok）領導，研究人員定序新生兒足跟血篩檢留下的乾血點（加州自1980年代初開始保留所有新生兒的乾血點）。雖然基因檢測可能檢測到新生兒篩檢所無法篩檢的疾病，但也會漏掉標準篩檢能發現的病症，且標示出的許多遺傳變異重要性不明。帕克說：「基因檢測和醫生實際面對病童並嘗試診斷病因十分不同。」不過合併進行基因檢測與標準篩檢時，確實可減少偽陽性情況。帕克認為當標準篩檢結果異常時，基因組定序可做為複查方法，但她不贊成用來篩檢所有健康新生兒，她說：「我們還無法清楚詮釋基因序列的意義，進而做出可靠預測，然後指出這是否會引起某種疾病。」

醫生和醫學倫理學家顧慮的另一項議題，是基因檢測會讓父母對於新生兒可能在成年發作的疾病產生不必要的焦慮。杜克大學法律與哲學教授法拉漢尼（Nita Farahany）是遺傳學與生物倫理學家，她說：「面對孩子的遺傳資訊時，很多父母無法冷靜釐清檢測結果代表的意義。如果有人告訴父母，孩子罹患某種疾病的風險是一般人的四倍，而一般人的風險是1%，父母該怎麼辦？」美國遺傳諮詢師的人力不足，沒有足夠的專業人員幫助父母了解孩子的檢測結果。

基因療法來了！

再來是隱私問題。如果儲存孩子的基因資訊，誰有資格讀取？若個人基因資訊公開，可能會導致雇主歧視或保險公司刁難。美國在2008年通過基因資訊平等法（GINA），但該法案不適用於員工少於15人的公司、長期照護、人壽或殘障保險。例如米契爾的父親萊任受僱於軍方且使用軍方醫療保險，就在平等法的保障之外。當研究人員定序米契爾的基因組時，也取得萊任的同意並定序他的基因組，來判斷萊任是否帶有罕見血紅素疾病的基因。因為此疾病好發於兒童期，萊任接受定序的效用可能高於被歧視的風險。

成本是另一項考量，格林表示，基因組定序約需500~800美元，定序結果的說明服務超過1000美元。對無力負擔醫療保險的美國家庭，這是天價。專家也提出顧慮：基因檢測可能會衍生許多後續專科檢測，讓資源已捉襟見肘的醫療體系負擔更沉重。如果證實長期施行基因組定序能節省醫療花費，保險公司或許願意負擔費用，但沒人能保證。

另一個問題是，迄今接受基因檢測的新生兒大多來自富裕的白人家庭，讓人擔心可能變成富人的專屬服務。族裔同質性也會影響檢測項目：可能重視白人族群裡的常見疾病，而少數族裔的疾病則遭到忽視（新的醫學資料計畫正努力解決這偏差，參見80頁〈豐富基因組資料庫〉）。

NSIGHT成立了調查倫理和政策議題小組，並在2018年經紐約非營利生物倫理機構哈斯丁中心發表總結報告，指出新生兒定序在協助診斷上有許多好處，並建議增加符合新生兒篩檢規範的疾病篩檢項目；但該中心也表示，以基因組定序取代目前的新生兒篩檢為時尚早，那些直接推銷給消費者的基因檢測服務不該以診斷或篩檢為目的。加州大學舊金山分校醫學人類學和生物倫理學教授科尼格是此報告作者之一，她強調，雖然基因組定序有所益處，但尚不適合用於例行篩檢健康兒童：「這還不是一項可大張旗鼓用於健康兒童的科技。」

儘管有眾多顧慮，新生兒定序勢在必行，隨著成本降低、服務越加普遍，結果將更準確有用。在那之前，定序風險和益處必須依個案衡量，看起來健康、只因父母擔憂而購買基因檢測服務的嬰兒，和重症嬰兒是截然不同的。

對米契爾來說，基因組定序無疑是值得的。在出院兩個月後，他的情況不錯，體重倍增，米契爾的父母開始適應新的生活作息，雖然睡眠有些不足，卻很開心有個健康的兒子。■

涂可欣是陽明大學神經科學研究所碩士，曾經於美國伊利諾大學遺傳所進行博士研究，現專職科普翻譯。

經歷幾十年的嘗試，可調控生命密碼的藥物終於能實際應用於治療病患。

撰文／戴利（Jim Daley）

翻譯／涂可欣

基因療法是一種以DNA為基礎的醫療方式：把一段正常基因送入細胞來取代造成疾病的突變基因。基因療法的概念最早發表於1972年，之後幾十年經歷爭議、治療失敗和受試者死亡等波折。2003年，中國核准了第一個基因療法藥物，用來治療特定皮膚癌。然而其他國家仍未能完全信服其效益。美國一直到2017年才核准第一個基因療法藥物，自此審查速度加快，目前至少有九種基因療法取得許可，用來治療特定癌症、某些病毒感染和少數遺傳疾病。另外還有一種療法是利用DNA或RNA片段來干擾缺陷基因，阻礙它們的運作。在將近半世紀後，基因醫學已從概念轉變為現實。

基因插入法

使用無害的病毒把正常基因送入細胞，並插入細胞的基因組，消除原本突變基因有害效應。

GENDICINE（今又生）：2003年通過中國國家藥品監督管理局核准，成為全球第一個上市的基因療法藥物，可治療頭頸部鱗狀細胞癌（一種皮膚癌）。Gendicine利用基因工程改造病毒來攜帶可製造抗腫瘤蛋白質訊息的基因，病毒把基因送入腫瘤細胞後，會增加腫瘤抑制基因和免疫反應因子基因的表現。美國食品及藥物管理局（FDA）仍在審查中。

GLYBERA：歐盟核准的第一個基因療法藥物，可用於治療脂蛋白脂酶缺乏症（lipoprotein lipase deficiency, LPLD）。這種罕見遺傳疾病可能造成嚴重的胰臟炎，Glybera會把脂蛋白脂酶送入肌肉細胞內。由於LPLD病患太少，藥廠無法獲利，在2017年拒絕展延上市許可證，目前Glybera停止販售。

IMLYGIC：此藥物在中國、美國和歐盟都獲准用來治療手術後復發的皮膚黑色素瘤。Imlygic是改良後的基因療法藥物，是以病毒載體直接把

基因送入腫瘤，基因在複製後會製造一種刺激免疫反應的蛋白質來殺死癌細胞。

KYMRIAH：為治療B細胞淋巴性白血病（B cell lymphoblastic leukemia）而開發的藥物，這種癌症會侵害兒童和青少年的白血球。Kymriah在2017年通過FDA核准、2018年通過歐盟核准。此藥物會把一個新基因送入病患的T細胞內，讓它尋找並殺死癌細胞。

LUXTURNA：此藥物在2017年通過FDA核准、2018年通過歐盟核准，可治療一種罕見的遺傳性失明，病名為雙對偶基因*RPE65*突變相關視網膜營養性萎縮症（biallelic *RPE65* mutation-associated retinal dystrophy）。美國約有1000~2000人罹患此疾病，病患的兩個*RPE65*基因都帶有突變，Luxturna可把正常的*RPE65*基因送入病患的視網膜細胞，讓細胞製造把光轉為電訊號的必要蛋白質，進而恢復病患的視力。

STRIMVELIS：歐洲每年約有15人診斷出罹患罕見的遺傳性腺苷脫胺酶缺乏症（adenosine deaminase deficiency），病患身體無法製造對健康白血球至關重要的腺苷脫胺酶，導致嚴重的免疫不全。歐盟在2016年核准Strimvelis，此藥物可把負責製造腺苷脫胺酶的基因送入從病患骨髓取出的幹細胞，再把幹細胞注射回患者血液，血流把細胞帶回骨髓，然後開始製造腺苷脫胺酶以生產正常白血球。

YESCARTA：2017年通過FDA核准、2018年通過歐盟核准、目前在中國進行臨床試驗的Yescarta，用於治療大型B細胞淋巴瘤（large B cell lymphoma），此癌症會影響一類稱為淋巴球的白血球。Yescarta屬於一種嵌合抗原受體T細胞（CAR-T cell）療法藥物，是利用病毒把製造嵌合抗原受體蛋白質的基因送入病患的T細胞，再把T細胞重新注射回病患體內，嵌合抗原受體蛋白質能幫助T細胞附著並消滅血液中的癌細胞。

ZOLGENSMA：2019年5月，FDA核准以Zolgensma治療兩歲以下罹患脊髓性肌肉萎縮症（spinal muscular atrophy）的病童。全球每一萬人中約有一人罹患這種神經肌肉疾病，它是造成嬰兒死亡的主要遺傳疾病之一。這種遺傳疾病是因為患者的SMN蛋白質太少，而SMN蛋白質對運動神經元非常重要。Zolgensma可在一次性治療中把可製造正常SMN蛋白質的基因送入運動神經元。

ZYNTGLO：2019年5月歐盟核准以Zynteglo

治療12歲以上、需要定期輸血的乙型地中海型貧血（beta thalassemia）患者。患者由於製造血紅素（紅血球中的含鐵蛋白質）的能力較弱，可能會有生命危險。Zynteglo療法利用病毒把可製造血紅素的正常基因送入病患的幹細胞，再把細胞注射回血液，幹細胞隨血流回到骨髓後，開始製造含有正常血紅素的健康紅血球。

基因干擾法

把一段稱為寡核苷酸的合成RNA或DNA送入患者細胞後，它會黏附特定基因或基因的信使分子，有效消除其活性。有些療法採用DNA的反義鏈或是短小的干擾性RNA，來阻止信使分子把遺傳訊息傳到核糖體。

DEFITELIO（去纖苷納）：這種藥物含有從豬隻腸黏膜萃取的單股寡核苷酸鏈混合物，在2017年獲得美國和歐盟的核准，用來治療因接受骨髓移植而併發肝臟小靜脈阻塞的嚴重靜脈栓塞症（veno-occlusive disease）。

EXONDYS 51：2016年FDA核准此藥，但當時各界對藥效仍有爭議，兩名審查委員甚至為此憤而辭職以示抗議。這種藥物可治療特定類型的裘馨氏肌營養性萎縮症（Duchenne muscular dystrophy），患者因為信使RNA帶有突變而無法製造可幫助連結肌纖維細胞骨架（cytoskeleton）至鄰近基質的一種蛋白質。Exondys 51能有效治療大約13%的裘馨氏肌營養性萎縮症病患。

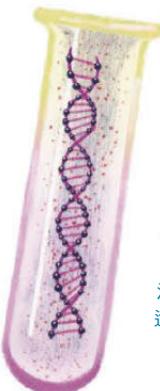
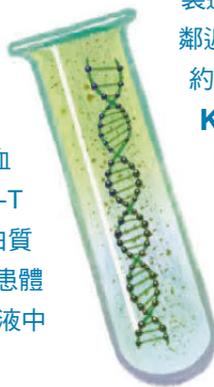
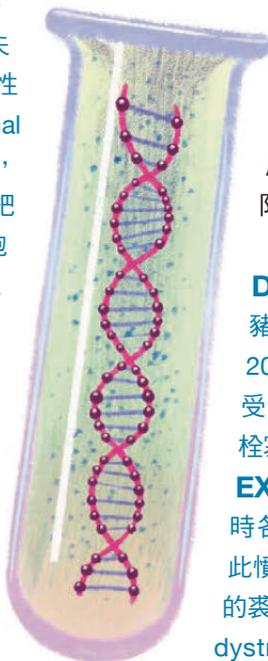
KYNAMRO：2013年由FDA核准，用來抑制或關閉會協助製造低密度脂蛋白（LDL）的蛋白質。此藥物經由皮下注射，可幫助膽固醇過高且達危險程度的病患降低體內LDL的含量。

MACUGEN：因血管滲漏造成視網膜中心病變的「黃斑退化」（macular degeneration）是60歲以上族群失明的主因。Macugen已取得FDA核准，可抑制視網膜下的血管增生，從而治療黃斑退化。

SPINRAZA（脊瑞拉）：2016年獲得FDA核准，成為第一種治療脊髓性肌肉萎縮症的基因療法藥物。Spinraza會與備用基因*SMN2*的RNA結合，讓此RNA也能用來製造功能完整的SMN蛋白質。

戴利（Jim Daley）是美國自由新聞記者，居住在芝加哥。

涂可欣是陽明大學神經科學研究所碩士，曾經於美國伊利諾大學遺傳所進行博士研究，現專職科普翻譯。





巨量資料

豐富基因組 資料庫

基因組數據偏重歐裔，「我們所有人」計畫正致力於改變現況。

撰文／德凡尼（Stephanie Devaney）

翻譯／涂可欣

20年前，當第一個人類基因組定序的競賽接近終點線時，我記得自己對即將發生的未來感到神往，彷彿見到新紀元的曙光，似乎就快掌握生命藍圖意義的鎖鑰。當時我還是一名大學生，為科學目眩神迷，我想：一旦掌握人類基因組約30億個鹼基對序列，我們就可以知道人類健康與疾病的一切。

我不知道的是，在基因醫學起步的前幾十年，它拋下了許多人。2009年我在取得分子遺傳學博士學位之後，從美國杜克大學研究人員的報告中發現一件令人震驚的事：基因組數據有96%來自歐裔。總樣本數絕不是小數目，這是根據既有研究中超過170萬個基因組樣本所計算出的比率，這些樣本完全缺乏多樣性。接下來數年情況未見改善，直到四年前，基因組資料庫依然偏差，歐裔樣本較多，鮮少是其他族裔。

這種偏差現象若是沒有修正，將造成嚴重的健康不平等。現在有越來越多人透過現代醫學搜尋基因組，以找出自身疾病的成因；另外有數百種藥物的標示內容包括遺傳資訊，因為基因型（gene variant）會影響身體代謝藥物的方式，而知道基因型能幫助醫生找出對病患最有效的劑量。此外，我們現在越發了解不同癌症如何受

基因的影響，這有助於醫生診斷並治療各類腫瘤。然而當病患不是白人男性，而有不同基因組合時，這些治療方法不一定適用。

例如美國的非裔和拉丁美洲裔罹患氣喘的比率最高，但研究顯示，藉由氣喘呼吸器服用的藥物對這兩個族裔的療效不如白人。另外，亞洲人服用抗癲癇藥物卡巴咪嗪（carbamazepine）時有較高風險會產生嚴重、甚至致命的反應。如果在最初使用這些藥物時便知道這樣的問題，就會有人開發相關藥物，醫生也能妥善開立處方。當我們找尋更有效的醫療方法時，若認為DNA是重要因素，就要解決基因組數據缺乏多樣性的問題。

這正是「我們所有人」（All of Us）研究計畫的目標，也是我現在的工作。這項計畫由美國國家衛生研究院（NIH）規劃，於2018年啟動，我們想邀請100多萬名不同背景的人成為合作夥伴，而不只當做受試者，他們將提供一生的各種健康訊息。目前有超過25萬人參與，超過51%為少數族裔，超過10%為性別和性取向弱勢族群，整體上超過80%的參與者屬於過去研究資料集裡代表性不足的群體。

人們可以從「我們所有人」研究計畫網站（www.joinallofus.org）點選「現在加入」，填寫同意參與書後，參與者可提供醫療記錄並回答各種關於健康與生活型態的問卷，也可參與其他活動，例如把健身追蹤器的數據同步上傳至計畫網站。我們也在美國各地的醫院和醫療機構設置了數百個招募站，參與者可提供血液和尿液樣本讓研究人員分析DNA。我們希望參與者能與此計畫合作10年或更久，因為隨著計畫發展，會定期增加新方法讓參與者更加了解自己，同時對研究有所貢獻。

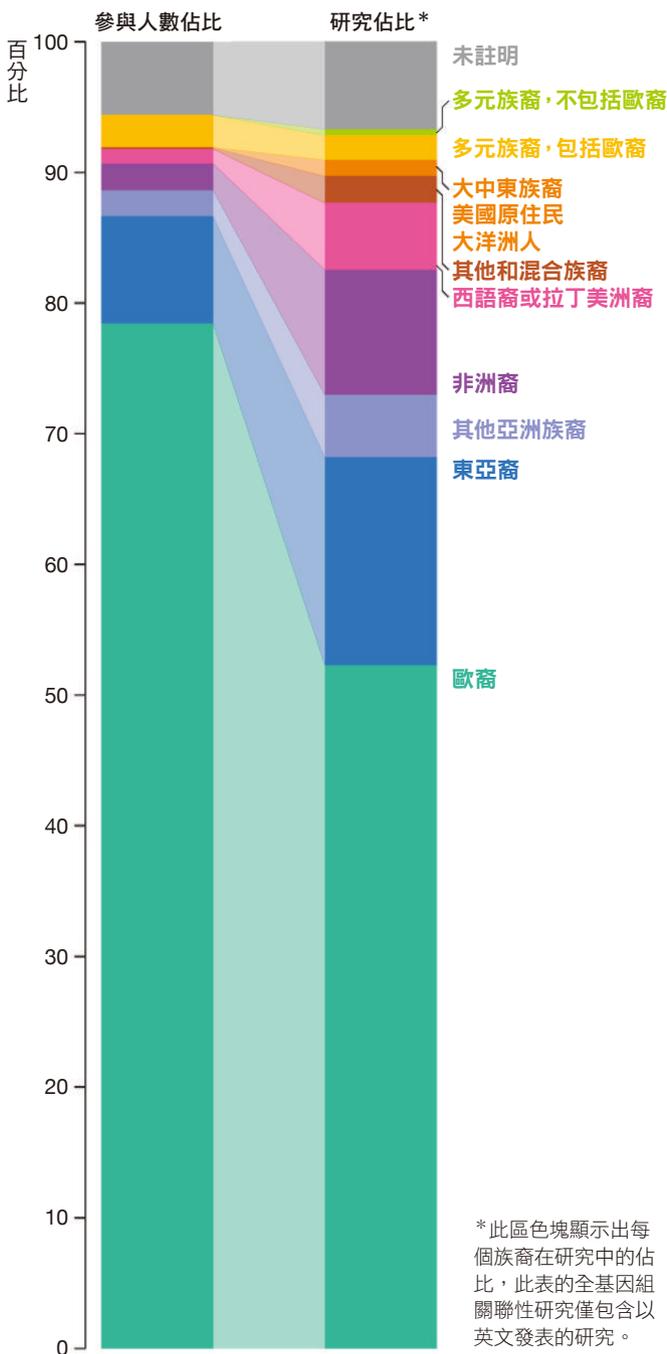
廣邀參與者

在科技進步下，參與者和研究人員的許多合作計畫得以順利開展。過去定序第一個人類基因組時，費用高達10億美元，今日不到1000美元，而且可在一至兩天內完成，這些資訊現在也較容易與其他重要的醫療資料結合。現在醫療機構已把病人的紙本病歷轉為電子病歷，截至2017年，美國有96%的醫院和80%的診所使用認證過的電子病歷系統。而智慧型手機的新應用程式和智慧型手錶等電子健康科技，可在任何地點直接收集使用

有偏差的基因研究

為了找出基因與疾病風險和其他性狀的關聯，2018年以前有數百項全基因組關聯性研究（genome-wide association study, GWAS）研究了成千上萬人的DNA。但若檢查受試者的族裔背景，其實差異不大。統計所有計畫的受試人數，其中78%為歐裔白人，僅有2%為非裔黑人，1%為西語裔或拉丁美洲裔。研究本身集中在歐裔，很少探討其他族裔，因此這些研究鮮少出現歐裔以外的族群帶有疾病相關基因型。資料短缺讓研究人員更難分析並了解那些基因型的重要性。

已發表基因相關研究的族裔背景



者的健康數據。這些趨勢讓我們較容易儲存、分享並搜尋大型資料集，以找尋疾病的成因和影響。但這些趨勢也引發了重大且令人不安的隱私問題，類似的計畫必須具備堅固的安全網，同時要對所有參與者開誠佈公。

視參與者為合作夥伴非常重要。過去醫學研究人員的行為讓少數族裔產生強烈的不信任感，例如塔斯基吉梅毒實驗（Tuskegee Syphilis Study），當時的研究人員誘騙染有梅毒的非裔男性進行實驗，卻未給予他們適當的醫療照護；而生物研究常用到的海拉細胞（HeLa cell）也是在病人拉克斯（Henrietta Lacks）不知情且未同意的情況下取得。人們希望研究進展能協助他們對抗疾病，而不是以他們為實驗對象。

為了克服這種不信任感，「我們所有人」計畫採用了一個新模式：我們邀請參與者發表看法，而不是只聆聽研究人員的意見。參與者可加入「我們所有人」計畫的諮詢組、管理組、工作組和專案組。我們也和地方醫療機構、醫院和社區團體合作，協助招募參與者並給予我們建議。對大型醫學研究計畫來說，社區參與是陌生的領域，我們還在找尋最佳途徑。

有些研究提供了發展長期關係、改進醫學研究的藍本，例如夫拉明罕心臟研究（Framingham Heart Study）。這項研究計畫始於1948年，參與的5209名男性和女性（大多數為白人）全是美國麻州一座小鎮的居民。這個研究一直持續到今日，高達99%的參與者還留在計畫中，當他們年復一年提供自己的資料，研究人員可看出他們心臟健康的逐年變化。心臟病的危險因子，例如高血壓、高膽固醇、吸菸和肥胖，就是在夫拉明罕心臟研究之中發現的，如今這個觀念像常識一樣融入我們的集體意識和保健方法。

邁向精準醫學

這類醫學發現正是我們對「我們所有人」計畫的期許，但我們還想要和計畫中多樣化族群的參與者共同更進一步。這種多樣化不只象徵著參與者的傳統

較佳的研究佔比

「我們所有人」是一項新的精準醫學計畫，擁有較多在過去遺傳研究中代表性不足的族裔人數佔比。這項計畫由美國國家衛生研究院贊助，於2018年開始招募參與者，到2019年10月已有25萬人加入，超過20%為黑人、非裔美國人或非洲人，大約18%為拉丁美洲裔、西語裔或西班牙人，將近3%的亞洲人和6.7%為多元族裔，白人略低於50%。計畫目標是取得超過100萬人的DNA和其他健康資訊。

德凡尼 (Stephanie Devaney)

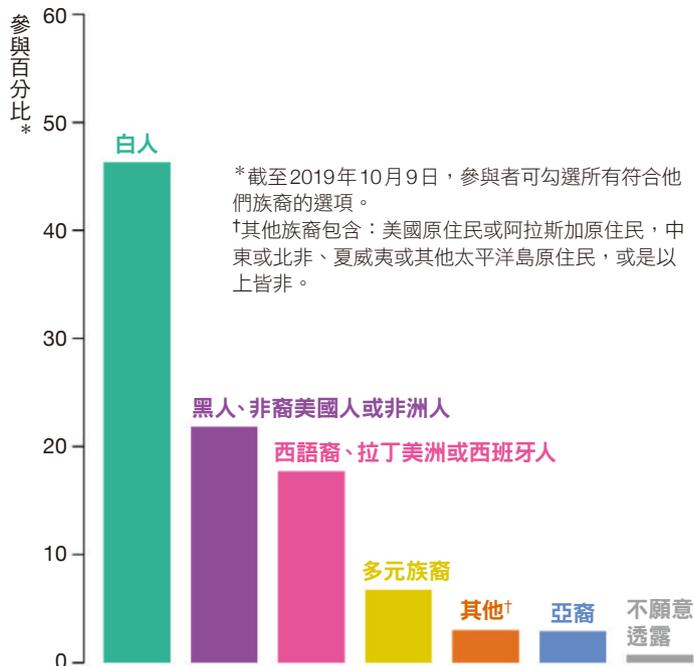
美國分子遺傳學家、美國國家衛生研究院「我們所有人」研究計畫的副主任，曾擔任白宮精準醫學計畫的首席幕僚。

族裔標籤，實際上還包含了不同的背景因素。如果我們想要找出健康與疾病的根本成因，就需要了解所有人的異同之處。舉例來說，鎌狀細胞貧血症 (sickle cell disease) 是在個體遺傳到兩個突變基因時發生，導致攜帶氧氣的血紅素分子產生變異，這種疾病影響了10萬名非裔美國人甚至是全球超過2000萬人；相對地，帶有鎌狀細胞性狀（只有一個突變基因）的人則在抵抗瘧疾上較有優勢。如果你的祖先來自瘧疾肆虐的地區（例如非洲），這在演化上是有道理的。

然而新的研究發現，鎌狀細胞性狀並沒有像過去醫生相信的那麼具有優勢，因為會增加腎臟病的風險。然而不同非裔美國人的罹病風險卻高低不一，為什麼會有這種現象？不同基因型如何交互作用而影響帶有鎌狀細胞性狀的健康人？當中顯然還有更多值得探究的方向，「我們所有人」計畫中超過100萬名參與者的DNA資訊將能幫助研究人員了解更多類似的複雜性狀。

我們確實需要廣泛招募各類參與者，然後進一步了解他們更詳細的背景。目前這項計畫已達到增加少數族裔代表性的目標，過去在基因組研究中被忽視的群體，現在有足夠的參與人數，例如非裔美國人佔總人數的13%，過去基因組研究中僅有3%樣本來自非裔人士，而在「我們所有人」計畫中非裔參與者目前佔21.5%；同樣地，西語裔佔美國參與者的18%，但在2016年時，基因組資料庫中該族群的樣本不到1%，現在「我們所有人」計畫有17.6%參與者來自西語裔。

多樣化能幫助我們發現DNA如何影響不同族群的健康，但DNA不會是唯一的焦點，在基因之外還有許多因子與疾病有關，我們知道你的出生地、飲食習慣、承受壓力和其他臨床與生物因素都會影響健康，但仍不



清楚它們的影響程度有多少。我們想多加了解困擾人們的常見慢性疾病（例如高血壓）；許多患者的社經條件較差，而目前觀察到的是，決定因子並不只是人種或族裔，當中的風險包括家庭結構、社經地位、壓力（例如創傷）、性傾向和性別不平等、養份攝取、能否取得醫療照護，以及其他從「我們所有人」計畫資料集中發掘出來的許多因子。

未來幾年內，我們將能比較參與者DNA的豐富資訊。當能做到這一步時，我和科學同儕、「我們所有人」計畫的參與者和其他人，都能對生物及環境在疾病發展過程中的角色有更清楚的認識。最重要的是，我們能夠做出因應的改善措施。SA

涂可欣是陽明大學神經科學研究所碩士，曾經於美國伊利諾大學遺傳所進行博士研究，現專職科普翻譯。

特 別 企 劃

nature

**SCIENTIFIC
AMERICAN**

➔ 延伸閱讀

訂戶專享 《科學人》雜誌知識庫中英對照版

〈基因研究需要多樣性〉，《科學人》2019年4月號。

〈基因治療走出寂靜〉，《科學人》2019年3月號。

〈寶寶該做基因組定序嗎？〉，《科學人》2017年4月號。





黑格 (Chuck Hagel)
曾任美國內布拉斯加州參議員，
於 2013~2015 年擔任美國國防部長。

政治不該打壓科學

透過立法來維護科學誠信，是美國國會的當務之急。

撰文／黑格 (Chuck Hagel)

在我公職生涯的大半時間，美國政府官員的某些行政措施純粹只是為了「做對的事」，其中之一是尊重政府科學家的研究。但近幾屆美國總統任期中，這種尊重已然消退；2019 年川普在多利安颶風來襲時亂講警戒區域引發的「麥克筆門」爭議，可謂敲響喪鐘。美國之所以能確保公眾安全並推動經濟發展，相當程度仰賴聯邦政府的研究，但是這些研究正因政治目的而面臨危機，後果不堪設想，值得全美國民關注。美國國會可以透過立法來保護科學誠信，且義不容辭。

為幫助重建美國政府機構的倫理、誠信及信任，我加入了一個由前政府官員組成的無黨派專案小組。我們擔憂的是，過去約制政府權力的準則及不成文規則，現在行政部門已越來越不放在眼裡。最近，我們的「法治與民主國家專案小組」（布瑞南司法中心的計畫之一）發表一份報告，建議應立法來因應這種威脅。我們找到過去三屆美國總統任內，至少 60 件因政府官員干預而損及科學誠信的事件，包括歐巴馬任內，美國國家衛生研究院（NIH）允許酒商代表參與調查研究，在其中提出適度飲酒有益的意見。

氣候科學受到扭曲或輕描淡寫帶過，是當中最令人震驚的例子。例如 2017 年，美國內政部一名大老級氣候變遷政策專家在聯合國演講，指出氣候變遷對阿拉斯加原住民社區構成威脅，之後他被轉調到會計單位。2019 年一項創新研究顯示，生長於高濃度二氧化碳環境中的稻米維生素含量減損，這對全世界以稻米為主食的六億人口而言是嚴重的健康隱憂，但美國農業部遲遲未發表這項研究。

低估氣候科學的重要性也將影響軍隊，他們仰賴可

靠數據才能隨時做好防禦準備。天氣模式變化及風災強度加劇已嚴重損害美國軍事基地及設施，有些甚至已遭風災摧毀，使國軍的訓練及備戰能力減損，對美國國家安全造成迫在眉睫的嚴重威脅，且很可能繼續惡化。

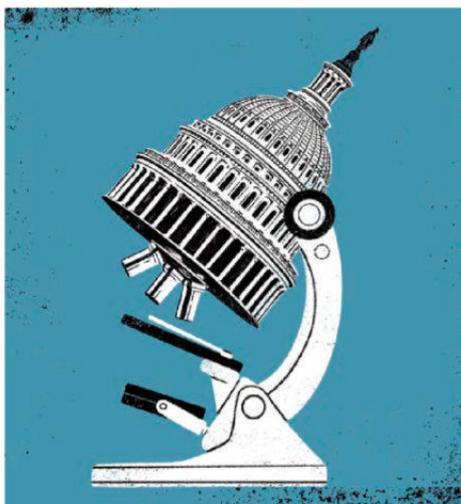
美國國會應該回應這些濫權行為，我們的專案小組敦促美國各位議員，應禁絕行政部門因政治動機而控制或打壓研究，並禁止政府在科學研究結論造成政治困擾時歧視或報復研究人員。此外我們建議國會要求聯邦機構制定並推行政策來維護科學誠信，把歐巴馬任內制定的行政部門政策編成法規，並建立標準及程序，確保

科學研究的執行過程不被政治、意識型態及財務利益衝突所左右。

我們也建議美國國會要求政府各機構闡明準則，提示政府官員在準備科學報告及發展規範的各階段當中該如何與專職研究人員互動。國會應要求各機構記錄聯絡過程，供立法機關及獨立監管機構備查以示負責。國會應透過立法確保科學指導委員會的運作得宜，保證這類專家委員會是基於誠信建立，並尊重科學證據。國會還應該要求由納

稅人所資助的研究結果能讓公眾及時獲取，這樣一來政府官員就不能掩蓋讓他們不自在的事實。

美國國會可藉由諸如此類的改革，為兩黨的行動制定準則，事實上國會已經展開行動：2019 年 10 月，眾議院科學、太空與科技委員會結合兩黨之力，通過了「科學誠信法案」，在我們發表報告之前就已進入審議。該法案將推動我們訴求的一些改革，我們期盼參眾兩院能表決通過立法。我們所做的每件事多多少少都仰賴聯邦政府的研究及數據，無法保護這些資訊將使美國陷於險境。（林慧珍譯）





阿克曼 (Diane Ackerman)

著有25本非小說類著作與詩集，包括《園長夫人：動物園的奇蹟》、《人類時代：我們所塑造的世界》及《甜笑的美洲豹：新選詩集》等。目前正撰寫有關插畫家梅里安的小說。

梅里安始於1670年的創作歲月

有種觀看大自然的方式，
像是某種祈禱。
她在畫毛蟲時，
會將其出生、蛻變到變態
整個精采的一生，
加上牠狼吞虎嚥的植物，
再到悄悄逼近、
將其伏擊並吞食的掠食者，
都一一入畫。

她在一張毛邊羊皮上，
將這些交錯的戲劇化場景均衡呈現，
還一併展示了大自然的事蹟；
無論是稀奇古怪之事，
還是平凡如蛆，
一如許多生物，
從卵中孵化而出，
而非不知來由或未經交配，

就從腐肉或灰塵中神秘釀造
而自然發生。

她選擇地球上最微小、
且最為人鄙視的生物，
做為大自然的神聖作品。
她不以行話或空話來描述牠們，
也不採用學者才說的拉丁文，
或菁英圈的通用語，
而是使用市井的生動口語。
她邀請男士、女士、
專家以及任何普通人參與，
並要他們把習慣的面具、
帶有敵意的迷信、
對害蟲懷有的厭惡之情，
或把蟲子視為魔鬼僕人的神話都摒棄，
一窺環繞在他們四周，
卻視而不見的神奇生命，

以攸關存亡的瘋狂熱情，
進食、爭鬥、蛻皮、交配——
這個世界之所以前所未見，
是因為人們不曾留意，
而非如教會所言，
是神刻意不讓我們看見。
她的畫作告訴我們：

這是毛蟲的眼睛，
設計得多麼巧妙！
這是帶有細毛的蜘蛛腳趾，
你可想像牠們如何行走？
時間在蝶蛹當中消逝，
毛蟲在其中變成蝴蝶，
經由數不盡的細微轉變，
從一種奇妙的形態變成另一種，
無論行為與目的都澈底改變了。
再靠近一些，我畫給你看。

(潘震澤 譯) ■



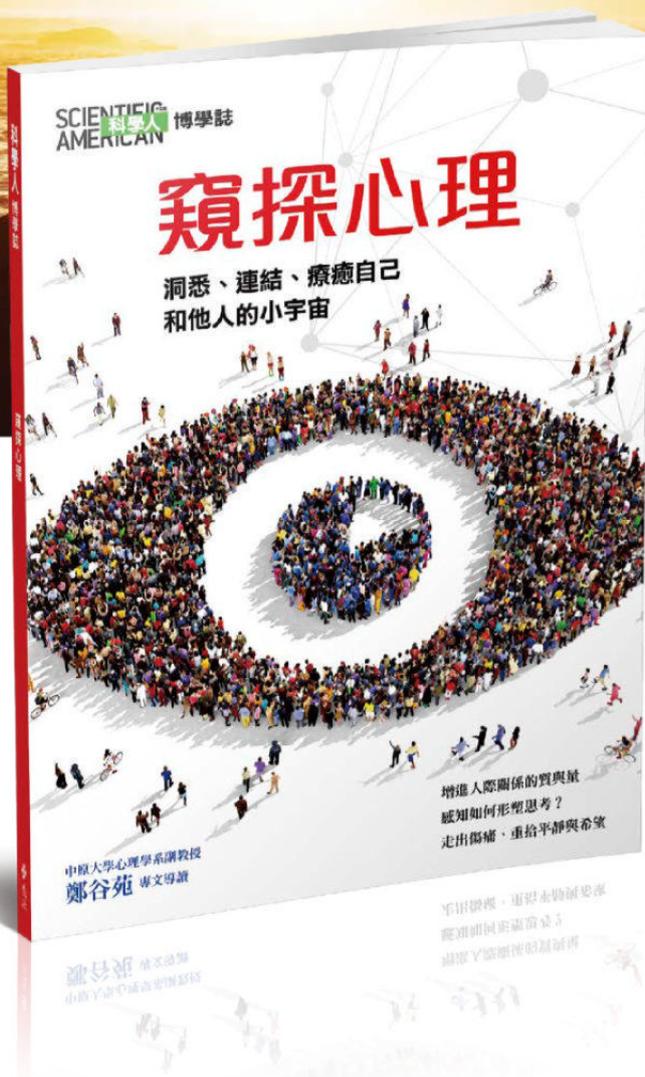
精采生動：凱門鱷 (caiman) 保衛幼兒不受假珊瑚蛇 (false coral snake) 侵襲；這幅版畫於1719年發表，
創作者是出生於德國的插畫家梅里安 (Maria Sibylla Merian)。

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



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》。

人體內的小小藥師

腸道微生物對藥物活性及副作用，扮演的角色令人驚訝！

撰文／華立斯 (Claudia Wallis)

腸胃道充滿著微生物，平時與我們身體和平相處，協助我們分解食物、合成維生素、抵抗病菌並傳送化學訊號給腦部與免疫系統。新興的研究領域「藥物微生物群系學」(pharmacomicrobiomics) 發現，體內微生物也會代謝藥物，對人體產生有利有弊的作用。

以左多巴 (levodopa 或 L-dopa，治療帕金森氏症的主要藥物) 為例：左多巴進入腦部後會轉換成多巴胺，用來彌補帕金森氏症患者欠缺的神經傳遞物。而碳度巴 (carbidopa) 通常與左多巴一起服用，以免左多巴進入腦部之前就被分解。然而腦內左多巴濃度經常因人而異，箇中原因直到最近才清楚，原來是腸道某些微生物也會代謝左多巴。

令人訝異的是，根據一篇發表於 2019 年《科學》期刊的論文，碳度巴對於防止微生物代謝左多巴的作用「全然無效」。論文的資深作者、美國哈佛大學化學教授巴爾庫斯 (Emily Balskus) 說，這些腸道微生物的數量因人而異，或許可解釋為何左多巴對某些患者的療效較差。微生物也會破壞地高辛 (digoxin，治療心律不整與心衰竭的強心劑)。醫師已知地高辛對約 10% 的患者無益，這是因為腸道菌「緩慢愛格士氏菌」(Eggerthella lenta) 會大量代謝地高辛。

體內微生物也可幫助藥物發揮作用。廣泛用來治療類風濕性關節炎、克隆氏病與潰瘍性結腸炎的藥物 sulfasalazine，必須在腸道細菌破壞某個化學鍵後才能發揮作用。同樣情形也發生在統稱為磺胺劑的多種口服抗生素。另外，治療第二型糖尿病的第一線藥物減糖敏 (metformin) 也需要微生物的幫忙，只不過減糖敏是透過與腸道微生物的交互作用發揮藥效，至於是

怎麼辦到的？巴爾庫斯說：「依舊是個謎。」

這個新興領域最令人感到興奮的發現，或許是抗癌妥 (irinotecan) 的研究。抗癌妥可用來治療轉移性結腸癌，也是胰臟癌雞尾酒藥物的成份之一；它雖是腫瘤細胞強效殺手，卻會引發嚴重的腹瀉與腸道傷害，許多患者因為無法忍受這些副作用而必須限制劑量（以此限制毒性），導致治療難以見效。北卡羅來納大學教堂山分校的化學家雷丁博 (Matthew Redinbo) 追溯原因，發現是腸桿菌科的細菌。以靜脈注射的抗癌妥會經由血液循環到達腫瘤，也會在肝臟中被加上標記（接上一個葡萄糖醛酸以中和毒性）以利身體代謝。不幸的是，雷丁博解釋道：「微生物愛葡萄糖。」當加上標記的無害藥物在代謝過程中經過胃腸道時，微生物會切除標記，重新活化成有毒的藥物，因而破壞腸胃道。

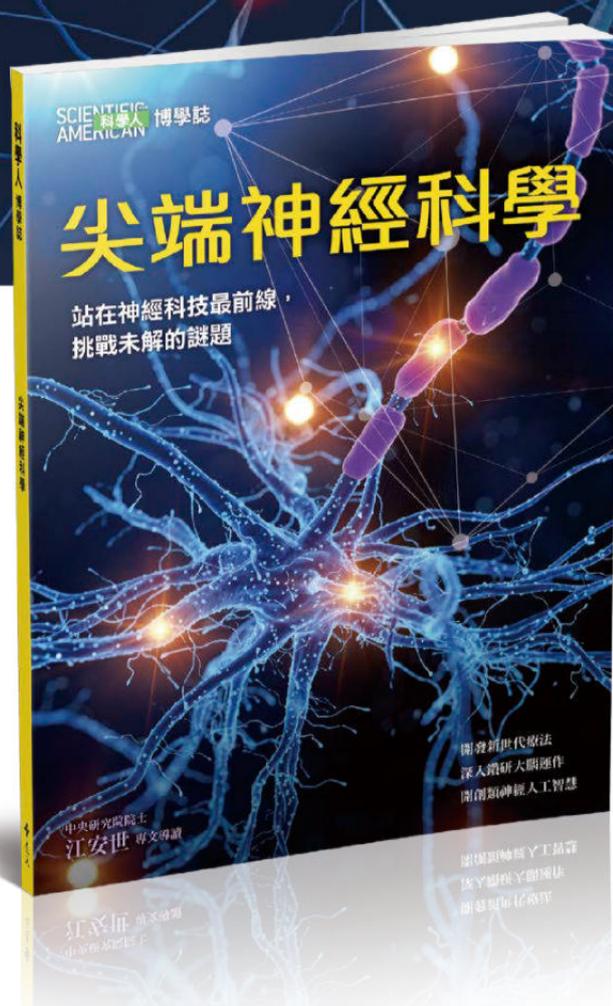
受到年輕同事對抗結腸癌以及抗癌妥副作用的激勵，雷丁博研發出一種小分子藥物，可阻止微生物吃掉這個糖基，好讓藥物可以無毒通過胃腸道。他在動物實驗發現這個小分子藥物可以防止抗癌妥造成胃腸道毒性，希望未來在化療患者身上試驗。

雷丁博以及其他共同建立的公司 SyMBERIX 也正在研究一種藥物，可以用來防止例如布洛芬與納普生等廣受歡迎的非類固醇消炎藥 (NSAID) 所造成的腸道不適與潰瘍。這些副作用在長期使用 NSAID 的人身上非常嚴重，也是因為同樣微生物造成的。雷丁博與同事若能成功，將會為精準改變微生物群系的藥物開啟一扇大門。同時，巴爾庫斯團隊也正在測試一種可以阻止細菌分解左多巴的分子藥物。她說，這是一個「有待探索的全新藥物研發領域」。(黃榮棋 譯) SA



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



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。

用手機來投票

科技能讓選舉結果變得更安全，但不會太快實現。

撰文／羅許 (Wade Roush)

當2016年美國總統大選進入最後階段，俄羅斯駭客滲透進美國州選民登記資料庫，俄羅斯網軍公司「網路研究社」則把支持川普的宣傳貼文和廣告投放給數百萬名社群媒體使用者。選舉日當天，至少有九個州的投票機故障。儘管到了今天，即將舉辦新一輪的美國總統大選，大約1/4的州並沒有採用能產生紙本選票記錄的投票機，以供選後嚴密稽核。我們怎麼能確定2020年美國總統大選結果會是公平且未遭到篡改呢？



身分，然後把區塊鏈加密的選票傳送到數位代收信箱 (lockbox)。選舉日當天，選區的官員會打開代收信箱，列印相對應的紙張選票，並以標準的光學掃描器判讀。Voatz的共同創辦人兼執行長索尼 (Nimit Shawney) 說：「我們覺得這是很好的一步，顯示即使是非常先進的系統也能與傳統的基礎建設整合。」

壞消息是，這些技術在2020年美國總統大選中都無法廣為使用。ElectionGuard仍在前端測試階段，Voatz最重要的遠距投票計畫：西

我們無法確定。但是有一則好消息，2019年9月，美國參議院多數黨領袖麥康奈 (Mitch McConnell) 不再反對一項修正案：在新的聯邦支出款中提撥2億5000萬美元用於強化選舉安全。這筆錢可以幫助州選舉辦公室更換老舊的投票機，並改善網路安全。

另一項正面發展，是私人和非營利部門的技術人員正從各層面解決選舉安全的挑戰。例如，俄勒岡州波特蘭的Galois公司聚焦發展可信賴運算技術，微軟正在和該公司一起為選舉官員打造免費的開放源碼軟體套件ElectionGuard。這個套件使用同態加密技術，在維護投票者匿名的情況下，任何人都能驗證選票結果。同樣地，舊金山的非營利組織VotingWork也在設計免費的開放源碼軟體，協助選舉委員會執行「風險限制稽核」，這已經成為有效判定選舉結果的標準方式。

很快地，美國每位公民甚至能夠透過智慧型手機輕鬆而安全地投票。我之前拜訪了波士頓的新創公司Voatz，他們的iOS和Android系統應用程式已獲得美國三個州採用，讓派駐海外的軍方人員與身心障礙者可以遠距投票。這款應用程式藉由自拍影片驗證投票者

維吉尼亞州2018年期中選舉，24個郡僅有144張選票。

而且選民難以抵抗社群媒體的影響力，這些補救措施都無法解救這件事。美國哈佛大學反恐學者凱彥姆 (Juliette Kayyem) 在歐巴馬執政期間擔任國土安全部助理部長，她說：「如果我是俄羅斯人，我要川普贏，我會怎麼做？阻止密西根州兩萬名非裔美國人出來投票。我不會採取以前的做法，而是製造假新聞：(宣稱投票所裡) 有人開槍。」

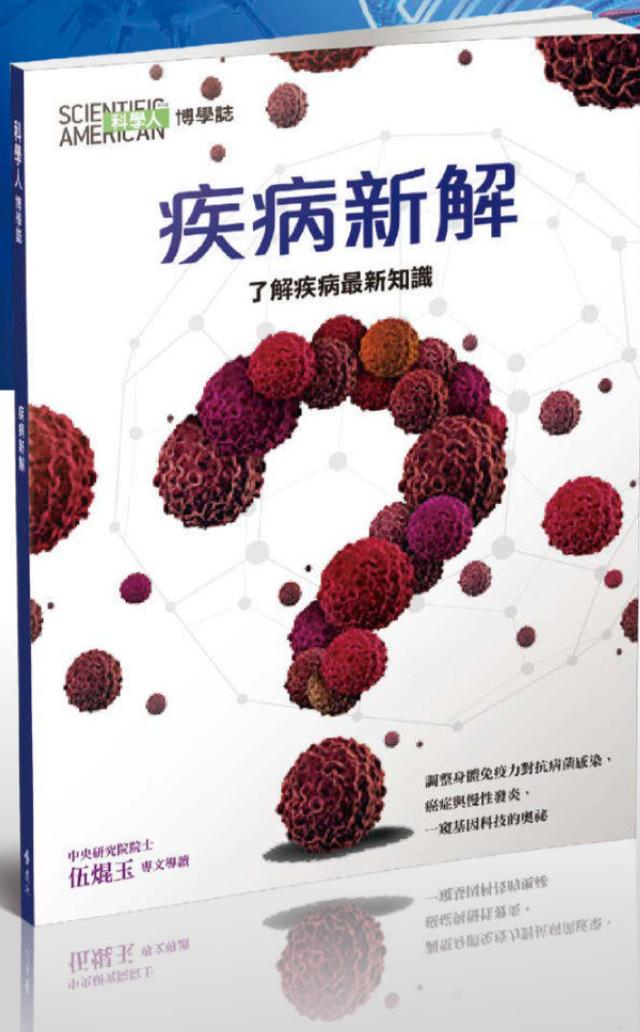
在假資訊戰的前線，別指望社群媒體巨擘會幫忙，他們躲避責任，不願他們的平台可能在2020年擴大社會分歧。2019年9月臉書表示，不會嘗試對政治演說進行事實查核，或是禁止錯誤主張的政治廣告。臉書的全球通訊事務副總裁克雷格 (Nick Clegg) 說：「人們如何參與政治活動，是由他們自己決定，而非我們。」

說穿了，選舉是複雜的社會技術活動，這意味著美國所有公民都必須在2020年甚至以後的選舉當中保持警覺。索尼說：「儘管我們可以非常確定，更動選票其實極為困難，但散播錯誤資訊誤導人們有壞事發生，卻非常容易。我想這是最難克服的問題。」 (鍾樹人譯) SA

了解疾病最新知識

疾病新解

關於《疾病新解》：前一版《疾病解密》介紹癌症、疼痛、心血管疾病、腦神經疾病與治療方法，這本《疾病新解》除了收錄2014年以來的癌症新知與重要抗癌療法，新加入認識病菌、對抗感染、發炎與重整免疫力議題，更介紹最新基因醫學知識，希望為讀者剖析不同疾病的成因機制與治療觀點，培養理性面對疾病的科學視野。



精采單元

對抗感染·癌症戰爭·基因醫學

特別邀請

中央研究院院士

伍焜玉 專文導讀



每冊定價380元

規格：菊八開/全彩印刷



歐瑞斯克斯 (Naomi Oreskes)
美國哈佛大學科學史教授，著有《為何信任科學？》(Why Trust Science?)，並合著有《專家的眼光》(Discerning Experts)。

主觀意見不代表事實

經轉述的科學共識大多摻雜主觀意見，不應視為真理。

撰文／歐瑞斯克斯 (Naomi Oreskes)

美國選戰開打，記者摩拳擦掌用力查核候選人是否說謊或言論不實。在這個過度「自以為是」(原文為 truthiness，引用美國脫口秀主持人科爾伯特自創的字，貼切形容現在這種「我說了算」的氛圍)的世界，需要記者、科學家和專家釐清事實、導正公開辯論的方向。可是一碰到氣候變遷，事實與專家見解間總有微妙灰色地帶。

其中一例是 2018 年聯合國跨政府氣候變遷研究小組 (IPCC) 發表的特別報告〈全球暖化 1.5°C〉。該小組推算，我們只剩 12 年 (現在剩不到 11 年) 能大幅度削減溫室氣體排放量以遏止全球暖化。這一警示被廣為引用，而主打此議題的政客卻一再受到檢驗。有的事實查核就像在打冰上曲棍球賽，過程中互相衝撞以阻斷攻勢或扳倒對方，而非努力幫助大眾理解複雜卻關鍵的課題。

例如 2019 年 7 月美國民主黨初選辯論中，德州前眾議員歐洛克 (Beto O'Rourke) 說：「我和科學家聊過，他們清楚表示，我們亡羊補牢的時間不超過 10 年。」印第安納州南灣市長巴提吉格 (Pete Buttigieg) 則說：「談到氣候，科學告訴我們，我們離大禍臨頭之日只有 12 年。」《紐約時報》稱兩人的發言都有誤導之嫌，強調任何宣稱「再過 12 年或只剩 10 年就沒救了」的言論，都超出了 IPCC 報告的結論。《華盛頓郵報》則稱 12 年這個數字頻繁被引用但經常遭誤用，暗指巴提吉格和其他人一樣誤用這個數字。2019 年 9 月，麻州參議員華倫 (Elizabeth Warren) 在美國有線電視網 (CNN) 的節目談論氣候變遷時說：「我們或許有 11 年左右的時間，來達到溫室氣體排放量減半的目標。」播出後，美聯社同樣檢驗一番，稱此言「背離科學」。



但 IPCC 並未陳述一件事實，而是呈現科學家的共識。這篇報告出自 39 國 86 位作者與審查編輯的共同意見，免不了有些詮釋空間，任何轉述都註定會是隨人解讀的簡化版。從這個角度理解，事實查核的力氣可說是用錯地方，如同 911 事件後，媒體一天到晚檢驗政客如何形容美國遭受的威脅。

再來看看各大媒體在 IPCC 報告發表後下的標題。《紐約時報》：「重量級氣候報告描述巨大風險，

危機最快在 2040 年浮現。」《華盛頓郵報》：「聯合國科學家表示，全世界只有 12 年的時間讓氣候變遷不失控。」美聯社：「聯合國的全球暖化報告傳達攸關生死的警訊。」《紐約郵報》更是語不驚人死不休：「駭人的氣候變遷警訊！我們的毀滅之日就在 12 年後。」不是我吹毛求疵，但這些標題根本就和政客言論沒兩樣。他們對危機、時限和生死的措辭，從事實查核的角度來看同樣不及格。實際上，科學家對氣候變遷的相關時限具有共識，這點與美聯社的報導背道而馳。

政客說話有時嚴重偏離科學家共識，例如公然否認氣候變遷。我們應當揪出明顯錯誤的論調，諸如明天就是世界末日 (不無可能，但原因不會是人為氣候變遷)，或者把問題交給市場的創新力量去找出解套方法 (理論上有可能，但如果政府沒有拿出對的政策帶動並引導創新，便會流於空談)。

但對於非關事實的陳述，大可不必搞事實查核。任何專家意見都涵蓋眾多詮釋，我們應就合理範圍來討論，點出明顯不合理的論調。我們不該把主觀意見與事實混為一談，否則會把嚴肅的討論變成只關注勝負的曲棍球大混戰。(張雨青譯)



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」。

老鼠愛開車

跟老鼠一起上路兜風！

撰文／米爾斯基 (Steve Mirsky)

在美國紐約市等地鐵時，有個殺時間的方法是尋找老鼠的身影。通常能在鐵軌上看到一、兩隻老鼠，不過我偶爾也會看到老鼠和疲倦的上班族一起站在月台上。2015年有支影片在網路上瘋傳：地鐵站的老鼠努力不懈地拖著一整片披薩爬下樓梯。但離開大城市後，主要的交通工具變成汽車，這也是為什麼維吉尼亞州里奇蒙 (Richmond) 的老鼠得學會開車。

好吧！這麼說不完全精確。里奇蒙的大眾運輸系統並非老鼠被迫開車的原因，事實上牠們駕駛的特製汽車甚至沒有方向盤。牠們開車是為了科學研究。

里奇蒙大學的研究人員製作一輛稱為 ROV 的汽車。你可能會以為 ROV 代表「真的嗎？噢，沒錯！」(Really? Oh, Very)，但其實是「由老鼠駕駛的汽車」(Rodent-Operated Vehicle) 的簡稱。這輛汽車由3.8公升的透明塑膠罐打造，提供駕駛觀察和被觀察的絕佳視野，並安裝在市售電動車套件上。

當然啦！不是用嘴巴講，老鼠就知道如何駕駛 ROV 去兜風，因此科學家把電池連接車廂底部的鋁板，在另一側電極連接銅導線。接著折彎導線、在車廂前方排成一列細桿。老鼠的後腳放在鋁板上、前腳搭在導線上，便會形成通路、驅動汽車的馬達前進。於是瑪利歐賽車出發啦！

根據2019年10月發表在《行為大腦研究》線上期刊的論文，老鼠從五個月大時開始接受駕駛訓練。聽起來有點早，但雄鼠在六星期時便達到性成熟，因此牠們等待開車一定等到望眼欲穿了。老鼠很快就學會把前腳放在銅導線上的不同位置來操控這輛迷你廂型車。牠們顯然會開車，但無法通過筆試。看來開罰單對老鼠來說，比違規停車還難。

這群毛茸茸的司機開車的目的，是為了獲得老鼠和研究生都愛吃的家樂氏香果圈。老鼠開完車後，會得到1/4顆香果圈做為獎勵；而駕訓班教練在替 ROV 四輪



定位時，想必也會抓一把香果圈塞嘴巴。在網路上可以找到這群老鼠開車的影片，老實說，我在弗羅里達州購物中心的停車場，看過更糟糕的駕駛技術。

既然走迷宮就能獲得食物，為什麼老鼠還要大費周章學開車呢？答案就在論文標題〈豐富的生活環境能改進老鼠的駕駛技術〉。《新科學家》雜誌則取了比較接地氣的標題：〈科學家訓練老鼠駕駛迷你車去取食物〉。事實上，大部份人類開車的目的也是取得食物或賺錢去買食物。

豐富的生活環境比標準實驗室更能刺激老鼠大腦，因此在富人區長大的老鼠比起住在貧民區的同伴，更快學會並熟悉開車技能，也比較不會發生追撞。研究人員在論文中寫道：「複雜的駕駛任務可視為人機互動的模型，例如駕駛車輛或操作其他設備。」因此觀察老鼠開車，能協助了解人類如何學習並獲得技能。

此外，研究人員分析兩種激素的比例，發現開車似乎能讓老鼠放鬆心情。當然啦！牠們是在受控的實驗室中開車，而非在平日下午5點從紐約市的42街往西開。聰明的老鼠知道從大中央車站到時代廣場，搭地鐵遠比付過路費便宜；況且就算沒有塞車，搭地鐵的老鼠說不定還比開車更快抵達目的地。(周坤毅譯) SA



黃于坡

- ◎ 1971 年出生
- ◎ 1993 年取得逢甲大學環境科學學士學位
- ◎ 1993 ~ 1999 年擔任國立自然科學博物館動物學組約聘技術員
- ◎ 1998 年取得東海大學環境科學碩士學位
- ◎ 1999 ~ 2004 年擔任亞新工程顧問公司環境保護部環保師
- ◎ 2004 年創立觀察家生態顧問公司並擔任總經理迄今
- ◎ 2011 ~ 2019 年擔任台灣環境資訊協會顧問
- ◎ 2015 年迄今擔任中原大學景觀系兼任教師

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>

生態桃花源的開拓者

黃于坡

撰文／李詩慧 攝影／江懿德

炎熱的初秋，手持鐮刀的黃于坡揮著汗，在荒煙蔓草間劈荊斬棘。這天是苗栗通霄「田鰲田」的「穀東大會」，觀察家生態顧問有限公司的員工和穀東（參與田鰲米耕種的民眾）一早就從各地趕來。眾人的任務是以手作步道恢復一條荒廢已久的山區農業道路，讓當地居民可以通行。這項自發性的勞動服務由觀察家駐紮在田鰲田的「農夫」王正安發起，他擔心若以水泥施作道路會影響周邊生態，因此向公司提議這項行動來解決當地居民的通行需求，鼎力支持的正是觀察家的總經理黃于坡。

輕裝便著的黃于坡穿梭在拓荒隊中，一下走在隊伍最後維護安全，一下繞到前頭幫忙「開路」，途中不忘鼓勵夥伴、提供飲用水，對於拓荒行動一點也不生疏。黃于坡在公司員工和合作的非政府組織（NGO）的眼中，也是生態桃花源的開拓者。他成立觀察家，讓各路生態豪傑得以一展長才；無償協助NGO，整合並強化生態資源。他認為：「公司不以營利為目標，太不切實際，但營利不能是唯一目標。」很少有公司會為了復育水生昆蟲大田鰲、監測石虎，以高於市價的金額收購稻米，甚至花錢租下田鰲田，請農民劉定峯（人稱田鰲伯）擔任顧問，還提供「農夫」職缺（參見第96頁〈田鰲米護生態〉），藉此打造生態桃花源，至今仍有外界人士誤以為觀察家是NGO。

愛生態

黃于坡從小生長在生態豐富、無光害的花蓮。夜幕低垂，滿天星光震懾了他，「何其有幸看到幾百年前發出的光，搞不好這些星星現在已經不在了。」觀星形塑黃于坡胸襟開闊，「不怕失敗也不怕沒有成果，一路做下

去，就不會後悔。」他在高中和大學都參加天文社，就讀逢甲大學環境科學系二年級時，開始擔任國立自然科學博物館太空劇場的義工，他笑說：「有時待在科博館的時間還比在學校多，常常翹課去科博館串門子，或是到野外觀星。」

黃于坡以天文為志業，大學時期的天文社社長林啟生（現任職於鹿林天文台）是他極力追隨的對象。林啟生知道研究天文的困難，要他三思：「你對天文觀測的熱忱有像我一樣嗎？聰明才智有比搞黑洞的理論派學長厲害嗎？」最後，黃于坡放在天文的重心越來越少，關注生態的時間漸漸提高，在科博館轉任生態義工。因為兒時經常在花蓮的水邊玩，特別喜愛水，又因近視特別深，習慣把東西拿近看，黃于坡便選擇水生生物為研究對象。

大學還沒畢業，黃于坡就錄取科博館兩棲爬蟲學門的約聘技術員，跟著科博館副館長周文豪到處採集，環境專業在生態研究派上用場，「大家都會觀察生物，但還需要操作儀器的人。」他協助錄青蛙的叫聲、分析聲紋、測水質，從物理和化學因子找出青蛙和環境的關聯，藉由聲紋分析儀辨識青蛙的方言。

參與諸多調查後，黃于坡發現生態棲地隨著道路開拓逐漸消失，「調查的前兩年，環境都還保存良好，第三年一條路開過去，不偏不倚把我認為生態豐富的地方破壞掉。」研究這些生物，研究到牠們消失，對黃于坡衝擊很大。只能在報告上寫物種不見了，他感覺像在寫墓誌銘，心裡不太舒服，覺得應該要有些改變。這個念頭把他從象牙塔拉回現實，決定進入工程顧問公司找尋根本的問題。「沒有一項法規是以破壞生態為目的，所有法規都要對環境好，但我看到的結果不是這樣。我知

[經典案例]

田鰲米護生態

彎進苗栗通霄的小路裡，映入眼簾的是動畫「龍貓」的場景：一幢簡樸的房子彷彿住著主角草壁一家，環繞山林和草原，居民與自然資源相互依存。這裡是劉定峯、林春蘭夫婦耕耘一輩子的產業，他們的稻田、埤塘位在淺山丘陵間，多樣棲地形成豐富的生態系，類似日本典型的谷津田（yatsuda），又稱為里山環境。

2012年5月，國道高速公路局（簡稱高公局）委託觀察家生態顧問有限公司，針對高速公路苗栗通霄沿線進行生態調查和復育工作，調查起點恰好在國道三號旁劉定峯的水田，觀察家動物部研究員林佳宏在調查過程中發現珍貴的水生昆蟲印度大田鰲，協理劉威廷建議公司與劉定峯簽訂契作，保護生態豐富的里山環境。

為了守護珍貴的大田鰲，劉定峯決定不再使用化學肥料，觀察家則邀請關心環境的朋友認購部份「田鰲米」做為回饋；2013年在觀察家的契作支持下，劉定峯施行友

善生態農法，取得綠色保育認證標章；2014年引入「穀東」制度，讓民眾體驗田野生活，同年取得石虎友善認證標章；2015年取得慈心有機認證標章；2017年觀察家在上游承租另一塊地做為二代田，聘任專職田間管理員（農夫）駐紮田鰲田協助農事，持續以大田鰲和石虎做為保護傘物種，進行苗栗通霄地區的生物調查；2018年首度加入「國際里山倡議夥伴關係網路」。

這一路走來所需的費用和人力都由觀察家支持，黃于玻的想法很簡單：「純理想的操作有時候獲得更多。」同事的理想和公司的願景相同，後續產出的效果遠超過預期。田鰲田的故事後來由高公局出資拍成生態短片「重返里山」，2017年3月發佈至今，觀看次數已超過100萬次。

日本的孩子相信森林裡有龍貓，黃于玻相信田鰲田裡有珍貴生物，為了保護大田鰲和田鰲田的生活品質，他強調：「這條路我們會一直走下去。」

道有環評（環境影響評估）機制，但覺得它失靈了，想去了解為什麼。」

救生態

黃于玻在工程顧問公司擔任七年環保師，努力學習工程師的思考模式，挖出核心的問題。「開發工程常常在無意間、有系統地破壞環境，關鍵在於『不知道什麼能做、什麼不能做』。」他相信「如果工程師是賞鳥人士，就不會傷害鳥類。」但環評往往在工程底定後才進行，某種程度像是在找開發單位的麻煩，開發單位面對環評「有點像沒有準備就去考試，考出來都是10分、20分，很難把關。」愛護生態的人也因此常被認為是阻礙社會發展的正義魔人。

2004年黃于玻離開工程顧問公司，創立觀察家生態顧問有限公司。早期接環評的案子，他很清楚「前面沒有規劃好，後面環評也很難把關」，因此提出了「規劃設計含環評」方案，幫助工程師增進生態專業，做出對的決策與好的設計。漸漸做出口碑後，黃于玻也提出「規劃設計不含環評」方案，只在規劃時提供建議而不參與環評。他認為工程不可能對生態零衝擊，但應該把

生態衝擊降到最低。「明明有那麼多方案，為什麼總是選擇最糟的去執行？」

當時有人批評生態調查「沒有用」，認為花錢做生態調查，只是了解當地有多少物種，沒有辦法反映出「什麼能做、什麼不能做」，因此戲稱生態調查結果是「永遠的附錄A」，只能當參考。這件事刺激了黃于玻，「為什麼如此看輕生態專業？」觀察家剛成立時，國道新建工程局委託執行一項計畫，公司團隊決定跳脫傳統環評報告的呈現方式，改使用直升機空拍，並發展地毯式普查代替抽樣式調查。「路線經過之處要完全進入視線範圍，任何埤塘、樹林、草澤都不放過，調查人員要穿越過去，不漏看或以偏概全。」

繼環評之後，有一陣子流行塑膠箱籠、緩斜坡等生態工法，只從材料和工法判斷是否對生態友善，過於簡化生態保育工作。黃于玻形容「生態工法是頭痛醫頭、腳痛醫腳，缺乏醫生的全面診斷」。生態保育工作必須回到環境判識，「讓醫生診斷再對症下藥。」觀察家團隊研發出生態檢核制度，把缺漏的「診斷過程」填補起來，促成工程師和愛生態的人有更多互動，在規劃時就把生態衝擊降到最低。



「穀東」大會：初秋時節，田鱉米已收割，種上綠油油的蕃薯葉。觀察家的員工和穀東完成開路的勞動服務，提著鋤頭、拿著鏟刀回到田鱉田。

創生態

黃于玻迫不及待想把生態保育工作產業化：「只有少數人在做少數的事，沒有發展成產業，能做多少？台灣的生態環境品質需要學界、NGO、生態業界一起維護。」他和政府合作舉辦教育訓練，促成國土綠網計畫，招聚NGO和大眾整合生態保育資源，最後技術轉移給同樣有志於推動生態保育的同業。黃于玻認為，「生態是藍海，不用怕競爭。」他平日的時間有1/3在協助NGO，1/3幫助公部門建立審核機制，另外1/3到處演講、參與研討會和教育訓練，剩下的零碎時間才用在經營公司。

因為不常進公司，辦公室裡沒有總經理的個人座位，黃于玻不是借用出差同事的座位，就是暫坐在會議室。他「刻意不留位置」提醒「自己什麼都不是，跟大家是平等的，所有事務都是同事共同完成。」觀察家草創時期規模很小，大家都沒有座位，甚至要借用協理的住家辦公，如今全台北中南東部各有一間辦公室，分成行政、動物、植物、水域、生態工程五大部門。談到公司擴增，黃于玻淡然地說：「辦公室都是因同事提議才成立。」他自稱「不負責任的負責人」，經營模式很生態，管理方式像社團，多半讓員工以公民參與的方式組成任務小組討論內部問題。

黃于玻走進辦公室，沒有人肅然起敬地喊：「總經理好！」大家都自然地稱呼「于玻」，甚至有員工開玩笑說：「于玻的名字常被外部單位寫錯，變成『于

皮』。」黃于玻在員工眼中平易近人，台北辦公室的行政專員賴家欣形容觀察家像研究室，工作環境相對自由，而「于玻」像不常進來的指導教授。他總是竭盡所能把知道的事分享給同事，彼此討論想執行的觀念，再從對方的做法吸收知識，讓自己成長、累積經驗。黃于玻認為同事的生態專業和倫理素養高，自然不用管太多。「觀察家是靠著成就感當嗎啡，他們認真，我就可以輕鬆。」

只要涉及專業，員工甚至可以跟總經理當面爭論，黃于玻認為：「同事輸我很怪，因為他們才是專業。」動物部技術經理鍾昆典是早期就進入公司的「老屁股」，他眼中的「于玻」會刻意收斂對他人的壓迫，消滅公司的階層落差。「當同事指著他的鼻子罵，他會維護對方表達意見的自由。他知道自己上司，如果說重話，會有寒蟬效應。」鍾昆典分析，層級高的主管修養好，願意承擔大家的怒火和抱怨，公司才得以在利潤低迷時持續擴展。

帶領一群愛生態的人走向生態桃花源，黃于玻希望開拓一條有尊嚴的路。「有所為、有所不為。如果什麼案子都接，就無法凸顯專業價值。」生態保育工作常被要求配合而犧牲生態，黃于玻卻認為，涉及專業判斷的工作，不該輕易妥協。他希望員工接案子前一定要想清楚：「介入是為了滿足計畫需要，還是讓生態更好？」心中那把尺告訴他，算計太多，很多理想就會因此犧牲，「只要和生態保育衝突，再有利潤的事都不應該去做。」換言之，只要對生態保育有益，就算沒有利潤，花錢租田，提供「農夫」職缺，黃于玻都願意支持。

那天中午，觀察家的員工和穀東完成勞動服務，提著鋤頭、拿著鏟刀浩浩蕩蕩回到工寮，農夫王正安的太太林宜穎已經煮好一鍋田鱉米。享用午餐時，黃于玻逗著黑狗、用客家話和田鱉嬌林春蘭聊天，大夥喝著王正安釀的啤酒，談論餐後的瀕危植物搶救行動。空氣中飄著田鱉米的香氣，很難想像這是一家公司的日常。這群人和黃于玻一起墜入生態桃花源，奮力為台灣留下珍貴的自然資產。SA

李詩慧是《科學人》雜誌採訪編輯。

延伸閱讀

「重返里山」紀錄片：<https://www.youtube.com/watch?v=iKEDA-cz9vk>



多肉的葉子：墾丁貓鼻頭礁岩上的兩種不同的鵝鑾鼻燈籠草，除了葉色有差異，個體的葉形變化也很大，翠綠色植株從圓短到長橢圓，紫黑色植株則是長橢圓且邊帶鋸齒。

惡地生存的頑強勇士 鵝鑾鼻燈籠草

撰文／哈斯克橋

對無始到
有始
對渾沌到
創世
我看守這片水晶海洋
俗這片翡翠樹林

當日光矚佇我的頭額
我坐佇岩礁

……

我堅持用金黃色的燈籠
矚光鵝鑾鼻的存在

——〈鵝鑾鼻燈籠草〉

台灣島最南端的岬角——鵝鑾鼻，面對著整片巴士海峽與遙遠的菲律賓呂宋島，珊瑚礁與石灰岩地形遍佈，終日強風吹襲、豔陽高照的面海惡地，這就是鵝鑾鼻燈籠草 (*Kalanchoe garambiensis*) 的故鄉。〈鵝鑾鼻燈籠草〉是台灣文學家方耀乾寫的台語詩，詩中「水晶海洋」與「翡翠樹林」描述的是巴士海峽與海濱樹種；

鵝鑾鼻燈籠草小檔案

- 鵝鑾鼻燈籠草屬於景天科 (Crassulaceae) 燈籠草屬 (*Kalanchoe*)，種小名 *garambiensis* 意思是「產自鵝鑾鼻的」，指的是本種正模式標本採集地。
- 1930年4月30日，日治時期台北帝國大學日籍講座教授工藤祐舜採集到本種，同年正式發表新種在《熱帶農學會誌》(*Journal of the Society of Tropical Agriculture*)。
- 多肉草本植物，全株無毛，高約5~8公分。葉片形態變異大(橢圓形或長橢圓形)，葉緣呈全緣或淺鋸齒，葉片生長模式可為單葉或三出複葉，顏色可為翠綠或紫黑。花序為聚繖花序，小花數量約3~10朵。
- 分佈於台灣高雄市與恆春半島珊瑚礁岩及海濱石灰岩，性喜高溫強日照環境，原生於熱帶季風氣候區。

「坐佇岩礁」指的是鵝鑾鼻燈籠草生長的环境。若有機會探訪此地，可以在濱海珊瑚礁岩與石灰岩的溶蝕洞中找到它的芳蹤；而「金黃色的燈籠」就是形容它鮮黃色的小花外觀如同倒掛的燈籠。

鵝鑾鼻燈籠草偏愛生長在通風且強日照的濱海珊瑚礁岩與石灰岩，很少看到族群擴散至其他類型的棲地，

但人工繁殖植株能適應所有類型的介質，這是在野外調查及栽培工作遇到最有趣也最困惑的問題。

坐佇岩礁

鵝鑾鼻燈籠草的生長區域破碎零散，一部份族群坐落在高雄壽山與旗津區的旗後山，其餘則分佈於墾丁國家公園內的濱海區域。雖然知道它生長的海拔和棲地，但實際尋找後，發現這不是一件簡單的工作。因為鵝鑾鼻燈籠草需要雨水才能生長，我必須前往溶蝕淺洞進行調查；但是珊瑚礁岩及石灰岩表面崎嶇尖銳，部份地區高低落差大，野外調查工作的危險程度高。

我在2019年9月底前往墾丁，一路沿著檳榔腳島、雞仔頭、貓鼻頭、龍蟠海岸觀察，發現除了墾丁國家公園生態保護區與景觀保護區的族群受到保護，其餘在合理發展區、傳統發展區與特別發展區（墾丁國家公園計畫區第四次通盤檢討所劃定的範圍）就沒那麼幸運了。據友人追蹤調查，台灣大學植物標本館標示的九處原生地，如今大多開發成農地或民宿，只剩兩處有未受干擾的完整族群，對鵝鑾鼻燈籠草族群基因多樣性是巨大打擊。因為鵝鑾鼻燈籠草除了自花授粉，也會在小型昆蟲幫助下進行異花授粉，個體減少會直接或間接影響整體基因多樣性。雖然鵝鑾鼻燈籠草在這些地點的族群數量不多，卻是非常強健且高適應力的物種。

焰光鵝鑾鼻的存在

2016年底，辜嚴倬雲植物保種中心執行長李家維與故台泥董事長辜成允共同發起「百種興盛－允萌行動」專

關於作者

哈斯克橋現任職於辜嚴倬雲植物保種中心，擔任多肉植物蒐藏經理，負責原生及國外引進的多肉植物保種工作。



1



2



3



4

金黃燈籠：鵝鑾鼻燈籠草花期集中在9月秋初到12月，偶爾可以延續到隔年2月。可能因為近年氣候變遷，開花期有延遲的趨勢，最晚11月初才開始開花。此樣本為2009年9月底特有生物保育中心贈與保種中心，提供植株副份樣本備份(1)。鵝鑾鼻燈籠草的花冠呈壺狀(2)，像燈籠一般，花直徑長可達兩公分；花萼綠或紫，基部合生，花藥八枚呈兩輪排列(3)，心皮四枚(4)。

案計畫，由九位蒐藏經理根據《台灣維管束植物紅皮書名錄》與《國際自然保護聯盟瀕危物種紅色名錄》(IUCN Red List)來評估蒐藏物種，在保種中心3萬3256種植物蒐藏中選出97種優先保種物種，期許在三年內分別增殖100~1000株個體，再把苗木移植回原生地與世界各主要植物園。

鵝鑾鼻燈籠草為台灣特有種，在野外數量逐漸減少的情況下，也列入了優先復育的名單中。在大約一年的努力下，透過扦插與自花授

粉，取得將近300株無性繁殖植株與150株以上的實生苗，未來預計和墾丁國家公園管理處及行政院農業委員會林務局持續合作，找尋更多野外個體並備份枝條或葉片，以增進現有基因庫收藏。目前我正在申請墾丁國家公園管理處的採集許可，希望能在2020年5月前往原生地記錄與備份植株，現階段則持續繁殖保種中心保存的個體。

屏東縣政府2019年初與辜嚴倬雲植物保種暨環境保護發展基金會簽署了「屏東珍稀瀕危物種保種行動合作意向書」，擴大雙方的合作面向與深度，初期選了屏東豆蘭(*Bulbophyllum pingtungense*)、台灣捲瓣蘭(*Bulbophyllum taiwanense*)以及鵝鑾鼻燈籠草這三個物種做為保種主軸。除了在復育與評估後移植回原生環境，基金會也在縣政府周邊的綠地展示活體植株，希望透過教育與宣導提高民眾對本土原生種植物的了解與保護意識。SA

吃抗生素長大的雞

抗藥性問題不只發生在醫界，大量使用抗生素的現代畜牧工廠也是一大隱憂。

接到那通電話之前，席勒完全不知道還有人也和他一樣。這是美國史上規模最大、歷時最久的一場流行病，他也成了這場食源性流行病的受害者之一。在這場流行病結束前，一共波及了美國 29 個州以及波多黎各，確診病例有 634 名，但沒有被診斷出來的可能有好幾千人。

他在 2013 年 6 月生病前幾個月就出現了第一個跡象，顯示情況不太對勁。美國疾病防制中心的一個電腦程式發出警報，表示美國西部各州出現沙門氏菌的問題。海德堡沙門氏菌這個菌株，在研究人員的編號中為 258 的這一特定類型，造成的病例數量異常增加。

檢測到異常狀況的是疾病管制中心的「脈衝網」(PulseNet) 程式，但是因為當時沒有關於任何病例的細節，因此這個程式除了對可能爆發的事件發佈警報外，就無法再提供別的建議。脈衝網的資料不是來自對患者或醫師的訪談，而是由確診患者身上取出食源性微生物的 DNA，透過它產生的圖像進行篩選所得來的。這個程式的英文名稱就取自產生圖像的「脈衝場凝膠電泳」(PFGE) 技術，在切割微生物的 DNA 片段後，利用電流通過一片凝膠來拉動這些遺傳物質片段。這種 PFGE 電泳跑出來的圖看起來像條碼，也跟條碼一樣包含許多細微差異，是用來區分食源性病菌中許多菌株和亞型的良好工具。流行病學家稱這種條碼為指紋，PFGE 圖就好比罪犯在

犯罪現場留下的指紋一樣，可幫助科學家判斷微生物何時引發了流行病。

在過去，要知道食物何時導致疾病是很容易的，因為病例會自然聚集在一起。如果有 100 個使用同一口井、或是在同一間教堂吃飯的人生病了，社群裡會有人注意到，並通報管理單位。但是在整個 20 世紀下半葉，食物生產的過程變得複雜起來：首先是有了更好的運輸方式，後來是由於企業整合，最後透過經濟手法，使得在國家的這一頭畜養和屠宰的動物可以送到另一頭，或是在某個地方種植和收穫的水果可運到半個地球以外的地方出售。若是食物在宰殺、包裝或加工的地方

受到污染，再配送到數千公里外，那麼它引起的病例就會像是隨機出現的。脈衝網能夠比較病原體的 DNA 指紋，從中找出關聯，即使是在相距甚遠的時空條件下。

席勒被送進聖荷西急診室時，美國疾病防制中心已經開始在追蹤一條線索。該中心的流行病學家得知那一年自 3 月以來已有 278 人患病，年齡層從嬰兒到 93 歲都有，分佈在全美 17 個州，南至弗羅里達州，東至康乃狄格州。沒有人死亡，但幾乎一半的病例都住院了，就沙門氏菌感染來說這樣的比例算是高得很不尋常。實驗室以患者身上採集的檢體進行細菌培養與分析，發現相同的 DNA 指紋不斷出現。有超過 100 個病人填寫了冗長的調查問卷，內容如同席勒回答的

小檔案

書名：大危雞 (Big Chicken)

作者：麥肯納 (Maryn McKenna)

譯者：王惟芬

出版商：大石國際文化 (2019年12月)



那些問題，目的是盡可能縮小病源範圍。結果不斷浮出檯面的食物是雞肉。

先前美國食品及藥物管理局（FDA）就已經研究過自己的數據，對全國各地超市購買的肉類進行食源性病菌分析，發現雞肉中的沙門氏菌都有相同的遺傳指紋。美國農業部鎖定了一家可能是源頭的屠宰廠，這家工廠屬於一家肉品包裝公司，該公司的雞肉品牌在FDA的資料庫有記錄，病人吃的正是這個品牌的雞肉。

這場流行病還有另一個讓人覺得必須加緊調查的面向。造成感染的這株沙門氏菌不僅導致的病情比平常嚴重，還對多種常見的藥物產生抗藥性，包括安比西林、氯黴素、健大黴素、康黴素、鏈黴素、磺胺藥物和四環黴素等。使席勒受到感染的這場流行病，是細菌發展出抗生素抗藥性的一項例證，聯合國稱這是一場「最嚴重和最緊迫的全球危機」，目前正透過食物傳播開來。

另一個抗藥性戰場

對大多數人來說，抗生素抗藥性是一場看不見的流行病，除非他們自己或是身邊有親朋好友不幸遭到感染。抗藥性感染缺乏名人代言，也沒有什麼政治支持力，很少有患者組織起來對此發聲。在我們的觀念裡，抗藥性感染好像是很罕見的事，只有非我族類的人才會遇到，不管我們是誰；或許是療養院裡那些行將就木的老人家，或是衰弱的慢性病患者，再不然就是受到嚴重創傷而住進加護病房的人。但是，抗藥性感染其實是一個廣泛而普遍的問題，日常生活中的每個層面都可能發生，從日托中心的嬰幼兒、參加競賽的運動員、打耳洞的青少年，到上健身房鍛煉身體的人，全都可能遇到。普遍存在的抗藥性細菌儼然成了一項嚴重的威脅，而且情況越演越烈，每年在全球各地至少造成70萬人死亡，在美國有2萬3000人因此喪生，歐洲是2萬5000人，在印度則有6萬3000多名嬰兒因此死亡。除了造成死亡外，抗藥性細菌每年還造成數百萬個病例，光是美國就佔200萬名，帶來巨額的醫療支出、工資損失和國家生產力損失，總計達數十億美元。估計到2050年，抗生素抗藥性將耗費全球100兆美元，每年還會導致1000萬人死亡。

從抗生素問世的那一刻起，致病性的微生物就一

直在針對抗生素發展防禦措施。盤尼西林（青黴素）在1940年代問世，1950年代能抵抗盤尼西林的細菌就傳遍了全世界。四環黴素於1948年推出，在1950年代結束前，抗藥性就讓它的效果大打折扣。1952年發現的紅黴素，到1955年就出現了抗藥性細菌。1960年研發出來的甲氧西林，或稱二甲苯青黴素，是在實驗室合成出來的一種抗生素，算是盤尼西林類的藥物，專門用於對付那些對盤尼西林有抗藥性的細菌，但在一年之內，葡萄球菌也發展出對它的抵抗力，這種細菌因此稱為MRSA，也就是「耐甲氧西林金黃色葡萄球菌」的英文首字母縮寫。在MRSA之後，又出現ESBLs，這是「超廣效β-內酰胺酶」的英文縮寫，這些酵素不僅擊敗了盤尼西林類抗生素，連頭孢菌素這一大類抗生素也敗下陣來。頭孢菌素失效後，人類又推出新的抗生素，然後再度被細菌破解。

每當藥物化學發明具有新的分子形狀和新的作用模式的新型抗生素，細菌總是能演化出抵抗力。事實上，幾十年下來，細菌的適應速度似乎比以前更快，它們的不屈不撓恐將迫使人類進入「後抗生素時代」，到了那個時代，手術可能因為感染風險過高而無法施行，連處理擦傷、拔牙、骨折之類的普通問題都有致命風險。

有很長一段時間，大家都以為世界各地大量出現的抗藥性問題純粹是濫用藥物所導致，例如雖然孩子罹患的是病毒性疾病，父母還是要求醫師開立抗生素藥物；醫師在開立抗生素時沒有去查核藥物和疾病是否匹配；患者因為感覺病況好轉就擅自停藥，或是把藥留給沒有健康保險的親友服用；或者自行到藥局購買抗生素服用，有很多國家都可以這樣做。

但是早在抗生素時代初期，這類藥物就有另一種用途：讓肉用動物服用。在美國銷售的抗生素有80%用於動物，而不是人類，世界各地銷售的抗生素中，也有一半以上的比例流入畜牧業。那些養來吃的動物會固定在飼料和飲水中攝取抗生素，這些藥大多數時候都不是用來治病——和人類服藥的目的不同——而是為了讓肉用動物加速長肉，或是預防這些牲口在擁擠的飼養環境中染病。

問題出在養殖業使用的抗生素，有將近2/3和用來治療人類疾病的藥物是一樣的，也就是說當細菌發展出



雞肉麵包價：抗生素創造能生產低價肉類的養殖環境，但也對人類健康造成威脅。

抗藥性來對付這批農用藥物時，也會連帶破壞這些藥物在人體醫療上的功效。抗藥性是一種防禦性適應，是一種演化策略，細菌藉此保護自己，免得被抗生素殺死。這是透過細微的遺傳變異創造出來的能力，讓微生物能抵擋抗生素的攻擊，背後的機制基本上是突變的基因促成細胞壁構造改變，防止藥物分子附著或穿透，或者形成微型幫浦，把進入細胞的藥物排出。

要減緩抗藥性出現，就必須謹慎使用抗生素，也就是施用正確的劑量，持續一段適當的治療時間，並挑選能夠確實殺死目標病菌的藥物種類，此外不該為了任何理由動用抗生素。絕大多數農用抗生素都違反上述規則，因此造就了抗藥性細菌。

1940年代在實驗室發現抗生素之後，幾乎馬上就有人把這種神奇的新藥用在動物身上——也幾乎在同一時間就有人開始對這種做法表示擔憂。早在一開始，就有少數深具遠見的研究人員提出警告，表示這種做法會導致在牲口中出現抗藥性細菌，然後找到出路離開農場，神不知鬼不覺地進入更廣大的世界，但幾十年來這些反對聲音都沒有受到重視。離開農場的最短路線就是透過變成肉品的農場動物：席勒生病的那一年，在美國政府抽查的超市雞肉中，有26%的沙門氏菌至少對三種不同類型的抗生素具抗藥性。不過抗藥性細菌還會依附在糞便、暴雨逕流、地下水、灰塵，或是農場員工或住戶的皮膚、衣服和微生物上離開農場。這些微生物一旦脫逃了，我們根本無法追蹤它的分散方式，於是這些細菌可能在離源頭很遠的地方引起疾病和警報。

還有未爆彈

美國疾病防制中心的科學家在追蹤席勒染上的那場沙門氏菌大流行時，有一組研究人員也在世界的另一頭尋找另一種抗藥性病原體。那時中國的科學家展開一項計畫，檢查集約飼養的豬是否帶有抗藥性細菌；所謂集約飼養就是把動物永久圈養在建築物裡，並定期施用抗生素。2013年7月，中國的團隊在中國上海近郊發現一頭豬的糞便中含有一個品系的大腸桿菌。這原本很正常，因為大多數動物的腸道中都有多種品系的大腸桿菌。但

這種大腸桿菌裡面有一個非比尋常且令人擔憂的東西，那是一個前所未見的基因，讓這個品系的菌株能抵抗克痢黴素（又名黏菌素）。你可能覺得克痢黴素聽起來很陌生，這是有原因的。克痢黴素是在1949年發現的舊藥，幾十年來都不受醫學界的青睞，一般認為那是化學技術比較粗陋的年代製造出來的產物，使用不便且有毒性，很少醫師使用，也沒有人在醫院以外的地方開過克痢黴素的處方。正因為它長時間擺在架上乏人問津，病菌也從來沒有機會與它過招，因此從未發展出針對它的防禦系統。在2000年代中期，細菌日益精進的抗藥能力又破解了強大的碳青黴烯類抗生素，這種藥物一般是用來治療多重抗藥性病菌，如克雷白氏菌、假單胞菌、不動桿菌等在醫院引發的嚴重感染。現在要對付這些新的抗藥性細菌，唯一可靠的抗生素就只剩下克痢黴素。過去那些被視為粗製濫造、沒人想用的藥物，突然間變得非保存下來不可。

不過有一個麻煩的地方：雖然醫界一直瞧不起這種藥物，但農業界早就開始採用了。因為克痢黴素是很老的藥，價格低廉，能夠很便宜地用來預防動物在擁擠的欄舍中可能發生的腸道和肺部感染。美國的畜牧業並未使用克痢黴素，但歐洲和亞洲國家每年的用量達到數百萬公斤。過去沒有人覺得這是問題，一來是因為醫界不需要這種藥，二來是認為不太可能發展出對克痢黴素的抗藥性，因為這種遺傳變化不容易發生，當時還沒有人觀察到過。

但是中國研究人員在2013年的發現，推翻了克痢黴素可以安心使用的假定。他們在豬身上發現的這個新的抗藥性基因位於質體（plasmid）上，這是細胞內獨立的環狀DNA，不僅會在細胞分裂時遺傳給下一代，也

會在細菌之間跳躍，從一個傳給另一個。這代表克痢黴素抗藥性可以不著痕跡地在細菌世界中傳播開來——實際上也確實如此。三年內，亞洲、非洲、歐洲和南美洲的流行病學家陸續在 30 多個國家的動物、環境中和人類身上找到這種抗藥性基因。

美國也包括在內。這個抗藥性基因後來稱為 MCR (mediated colistin resistance)，最初在賓州的一名女性身上找到，她在不知情的情況下一直帶著這個基因，然後又分別在紐約州和紐澤西州的兩名男性身上發現，他們也同樣不知道自己帶有這個基因，之後是康乃狄格州的一個幼童，還有其他人。這些人沒有一個因為感染克痢黴素抗藥性細菌而生病，大多數攜帶這個流氓基因的人都是如此。這是一場不知何時會引爆的流行病，只是暫時還沒爆發而已，因為克痢黴素在醫界依然非常少用。克痢黴素抗藥性基因在全世界散播開來，等於是投下一顆不知引信有多長的定時炸彈，而這種抗藥性的出現和散播，完全是因為農場使用了抗生素。

農業用抗生素如何管？

2013 年秋天，當美國疾病管制中心在努力處理抗藥性沙門氏菌問題，中國微生物學家在追查克痢黴素抗藥性時，還發生了另一件大事。美國政府有史以來第一次祭出聯邦管制措施來規範農用抗生素。美國在這方面算是起步得很晚。英國早在 1960 年代就注意到其中的危險，歐洲大部份地區也在 1980 年代開始跟隨英國的腳步。FDA 曾在 1977 年嘗試仿效這些國家的措施，但因美國國會阻撓而失敗，此後就不再有任何嘗試。一直到 36 年後，FDA 受到歐巴馬當選美國總統的鼓舞，才提議將一種用來增加體重農用抗生素，一般叫做生長促進劑，列為非法藥物。

FDA 勢必有一場硬仗要打。在 2013 年，美國用於農場動物的抗生素約 1500 萬公斤，這是用在人類患者身上的四倍。不過 FDA 也握有難以辯駁的證據，顯示有加以限制的必要性。因為不只是抗藥性問題節節上升，當年還完全沒有新藥進入市場取代失效的抗生素，這是有史以來第一次。製藥業認為抗生素不再有利可圖，而且他們有充份的理由這樣想。製藥業公認的通則是，一款新藥上市需要 10~15 年的研發時間，與約莫

10 億美元的經費，但細菌抗藥性的產生非常快速，讓製藥公司無法在抗生素失效前回收投資，或賺到利潤。要是真的找到非常有效的藥，醫界又決定暫時擱置不用，好留著因應未來的緊急情況，那麼這些公司根本沒有賺頭可言。

FDA 於 2013 年 12 月開始密集研究新政策，給畜產業三年的調適期，讓他們放棄生長促進劑，其他抗生素的使用則交由獸醫控管。這項改革於 2017 年 1 月 1 日定案，但要再過好幾年才能看出有無成效。

工業化的農業

2013 年秋天的這幾起重大事件，從爆發大規模沙門氏菌感染、發現克痢黴素抗藥性，到美國政府對農用抗生素遲來的管控嘗試，共同為一則發展了將近 70 年的故事標示出轉捩點。1940 年代後期，隨著二次世界大戰結束、世人對科學信心的飆升，首次有人把抗生素添加到動物飼料中。儘管反對聲浪越來越大，數十年來這種做法依然是肉類生產中的重要環節；最初提出警告的科學家勢單力孤而受到嘲諷，之後開始有小型的報告撰寫委員會，然後是大型醫療學會，最後是各國政府試圖出手對抗這種全球化最徹底的龐大產業。抗生素之所以這麼難以從現代肉類生產過程中根除，正因為這個產業就是靠抗生素創造出來的。這樣的藥物給了業者很強的誘因去畜養更多動物，讓動物和業者本身都不必承受高密度飼養的後果。不斷遞增的產量造成價格下跌，使肉類成為廉價商品，但也降低利潤，破壞獨立小農的生計，促進全球養殖企業的發展。抗生素為畜牧業帶來的效應好壞都有，從初期的好處到後來衍生出許多負面影響，這段歷史在家禽的故事中表現得最清楚。

雞是最早接受抗生素（後來稱為生長促進劑）的動物，科學家也最早在雞身上證實每日施用抗生素可以預防在密閉環境中飼養所引發的疾病。雞是二戰後被改造得最多的動物，以滿足人類不惜一切代價養活世界人口的目標。今天，肉雞的屠宰體重是 70 年前的兩倍，且飼養時間只有一半。這幾十年間，雞肉從稀少昂貴、只有假日才享受得到的特殊餐點，變成美國人最常吃的肉，也是世界各地消費量增長最快的肉。📍

本文摘錄自《大危雞》第一章〈疾病與壞年頭〉。

Scientific American 創刊號，印在四頁黑白寬幅紙上，每週出刊。



1845年8月28日

封面顏色大轉變

從*Scientific American* 封面顏色看175年來的出版趨勢。

撰文／克利斯提安森 (Jen Christiansen)

圖表／胡芝 (Nicholas Rougeux)

1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月

Scientific American 從1845年創刊以來，如實反映了雜誌製作技術的演變。從封面就能直接看到一些技術演進，例如1969年5月號的數位字型（下圖）。本文分析封面顏色，亦反映其他技術的進展。*Scientific American* 超過75年的時間是每週出刊（主要為黑白印刷，偶有彩色），1917年起改用輪轉式平版印刷技術來印製封面，呈現豐富油彩，1921年改為月刊。1931年，封面變回黑白印刷，可能是在大蕭條期間為了節省開銷。1933年經濟好轉，以黑白照片為主體的封面又出現各種色調。1948年經營權轉移以及編輯觀念轉變，封面再次改版：彩圖回歸，出現在固定版面的正方形圖框中，版面背景在1952年變成白色，維持了大約43年。隨著20世紀末電腦排版技術興起，封面設計越來越富實驗性：圖像跳脫方框，活潑大膽的插圖設計（主要拜數位製作技術所賜），開啟了另一個新階段。（林慧珍 譯）

Scientific American 於1921年11月改為月刊。右圖中每個月的橫槓代表一期雜誌。色塊顯示每期封面上使用最多的五種顏色，用色比例從高到低（由左至右）依序排列。



1921年11月



1932年5月



1942年1月



1948年5月



1969年5月



1997年3月

1948年5月改版，建立了標誌性的方形封面主圖，配合固定在左上角的雜誌名，這些版面特徵沿用了將近50年，期間只有細微調整。

1990年代後期，電腦排版簡化了封面設計過程，讓封面出現了引人注目的意象與特效字體。



整合小粒子、大宇宙、量子力學
開創物理的未來！

邁向新物理

在物理學中，「出差錯」很吸引人。當理論與實驗不吻合時、當實驗得到奇怪結果時、當理論出現弔詭時，物理學家鑽研矛盾之事，得到了劃時代的新知。現在我們知道粒子組成萬物、宇宙與能量的關聯、量子物理不是科幻劇情。但我們是否尚未發現所有的粒子？宇宙的誕生時期是否就如我們所想？量子科技能否成真？此特輯訴說了物理學三大領域的突破與矛盾，一旦我們化解其中的矛盾，令人興奮的新物理時代即將來臨！



精采單元

粒子世界 · 宇宙能量 · 量子不科幻

特別邀請

台灣大學物理系教授

陳凱風 專文導讀

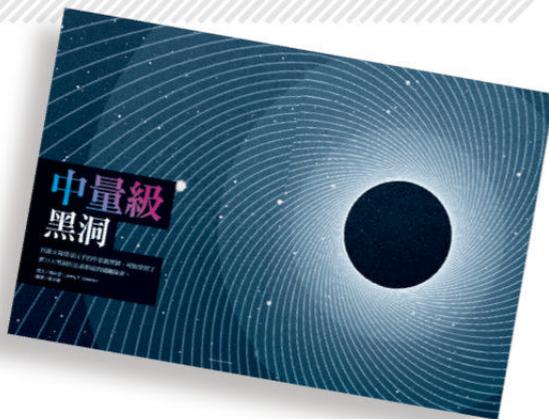


每冊定價**380元**
規格：菊八開/全彩印刷

黑洞的魅力

它牽動幾個世代的人們著迷於科學，這股力量會延續多久呢？

撰文／老編



我坐在中央研究院天文及天文物理研究所的辦公室裡，聆聽中研院院士兼該所特聘研究員賀曾樸講述著，他們規劃長年佈局、選擇做頂尖研究，這些努力後來都讓天文所能對第一幅黑洞影像的拍攝做出重要貢獻。他說道：「要是我們做普通的研究，等下一代拿到博士學位，我們要怎麼讓他們願意回國做研究？」令我相當感動：科學家除了要努力獲得好的研究成果，還要考慮下一代。

本期封面故事 26 頁〈逃出黑洞〉回應第一幅黑洞影像這項重大成果，這幅影像提供了科學家新證據，找尋量子黑洞和時空本質的解答。《科學人》雜誌其實早在 2010 年 1 月號〈黑洞剪影〉就介紹過，科學家設想了串聯全球多處的電波望遠鏡，構成地球大小的望遠鏡網絡，捕捉黑洞的身影。並在 2015 年 10 月號〈黑洞大考驗〉接續報導，這個望遠鏡網絡竟然能從地球表面辨識位在月球表面的一張光碟片，初步成果讓科學家相信，拍攝到黑洞影像並非不可能。中研院企劃製作〈劃時代成果 史上首張黑洞影像〉刊登在 2019 年 11 月號，正是我拜訪中研院天文所的緣由：中研院自從 2008 年開始推出「挑戰卓越系列」，挑選當年該領域最傑出的研究成果，由《科學人》編輯採訪中研院學者，把艱深的科學研究撰寫成科普文章。

說到黑洞，不得不提它在《科學人》雜誌的神奇魅力。以往，封面上只要出現「黑洞」兩字，無論是封面故事或專題報導，雜誌就會熱銷。例如帶有科幻色彩的〈黑洞電梯〉是 2015 年 4 月號的封面故事，當期雜誌零售本數將近是全年平均銷售量的兩倍。然而，隨著黑洞廣為人知，網路上不乏講述黑洞的文章，科普書市場低迷，黑洞在近幾年已不再是銷售保證。

《科學人》在 2017 年集結過往 26 篇「黑洞文」收錄成《黑洞奇想》，仍能攬獲「黑洞迷」的心。這本特輯是紙本讀者獨享，《科學人》雜誌知識庫並未收藏。

《黑洞奇想》雖然收錄自過往文章，但集結成冊時，由《科學人》編輯查考文獻、更正資料，以符合科學最新發現，全冊重新排版。其中有些文章講述了黑洞的基本觀念，〈黑洞不是洞〉就點出黑洞其實是個球體，無怪乎在電影「星際效應」中，男主角首次看到「黑洞」是個球體時會如此驚訝。〈資訊·黑洞·全像宇宙〉說道，全像術這種光學技術能用二維（平面）相片的資訊來重建三維（立體）的影像，也就是電影「星際大戰」中莉亞公主首度現身時使用的投影技術，全像圖或許可以用於解釋黑洞的神秘性質。而且黑洞也有大小之分，例如〈中量級黑洞〉，歐洲核子研究組織的大強子對撞機（LHC）便可能是〈黑洞製造機〉，可以製造迷你黑洞。甚至我們宇宙的起點說不定是〈四維黑洞創太初〉而來的。

與黑洞有關的名人和文章也不少。與黑洞齊名的「霍金輻射」，是 1974 年霍金在 32 歲時提出的絕妙想法，指出黑洞會蒸發，他在 1988 年出版最知名的科普書《時間簡史》，成為近代聲譽最高的科學明星。然而霍金在 2018 年 3 月辭世，《科學人》以 2018 年 4 月號〈霍金：生為伽利略靈、死為愛因斯坦魂〉弔念，他啟發了世人對宇宙的好奇。2002 年 6 月號〈時空漣漪〉描述了位於西半球美國的雷射干涉儀重力波觀測站（LIGO），2020 年 1 月號〈在地底收聽重力波〉則介紹位於東半球的日本在地底建造「神岡重力波探測器」，兩者同時運作就有如地球戴上了超級大耳機，開啟左右聲道，收聽遙遠兩個黑洞碰撞產生的重力波。「收聽」一詞來自《科學人》編輯部討論標題時的絕妙點子。

2019 年，台灣召開第一幅黑洞影像的記者會，網路上年輕學子熱議不斷，黑洞重新展現了魅力，正如賀曾樸院士所言：「人類和科學都需要下一代。」

老編是《科學人》雜誌檔案管理員，新工作是整理「編輯部的抽屜」。他想駕駛時光機，因而奮力鑽進抽屜，卻意外墜入黑洞。所幸，只是南柯一夢。

「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：

- | | | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 逃出黑洞 | <input type="checkbox"/> 尋回水稻生物多樣性 | <input type="checkbox"/> 社群媒體毒害孩子？ | <input type="checkbox"/> 鳴鳥染色體有玄機 |
| <input type="checkbox"/> p 值，顯著有問題 | <input type="checkbox"/> p 值不是禍首 | <input type="checkbox"/> 球形核酸藥效直達 | <input type="checkbox"/> 新生兒遺傳檢測 需要嗎？ |
| <input type="checkbox"/> 基因療法來了！ | <input type="checkbox"/> 豐富基因組資料庫 | | |

因為：.....

專欄與單元：

- | | | | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 科學人觀點 | <input type="checkbox"/> 總編輯的話 | <input type="checkbox"/> 形上集 | <input type="checkbox"/> 教科書之外 | <input type="checkbox"/> 專家看新聞 | <input type="checkbox"/> 科學佐以詩文 |
| <input type="checkbox"/> 健康與科學 | <input type="checkbox"/> 新創未來 | <input type="checkbox"/> 科學焦點 | <input type="checkbox"/> 反重力思考 | <input type="checkbox"/> 聊聊科學人 | <input type="checkbox"/> 生物手記 |
| <input type="checkbox"/> 科學人書摘 | <input type="checkbox"/> 圖表會說話 | <input type="checkbox"/> 編輯部的抽屜 | | | |

因為：.....

科學人新聞：

- | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 廢棄建築孳生大蚊子 | <input type="checkbox"/> 大腸桿菌迷幻製藥 | <input type="checkbox"/> 在睡眠中頓悟！ | <input type="checkbox"/> 一覽世界科技進展 |
| <input type="checkbox"/> 阻斷成癮的迴路 | <input type="checkbox"/> 環狀量子位元 | <input type="checkbox"/> 用蛛穴定位冰河範圍 | <input type="checkbox"/> 野生老虎滅絕中 |
| <input type="checkbox"/> 雄蛾求偶，暗中放閃 | <input type="checkbox"/> 超新星的化學面貌 | | |

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2月19日前以郵寄／傳真方式寄回，就有機會獲得大石國際文化出版的科普新書《大危雞》一冊，敬請把握機會！（上期得獎名單公佈於本期 p.10「讀者論壇」單元）

祝您 閱讀愉快



《科學人》雜誌 敬上

大危雞

作者麥肯納 (Maryn McKenna) 是全球最熟悉抗生素濫用和抗藥性議題的記者。她意外走進農業領域，發現全球每年抗生素銷售量有超過一半流入畜牧業，其中使用最早的是養雞業。雞隻如何從養在後院、活動力強的鳥，變成一塊生長迅速的蛋白質？生產食物的方法該如何改變才能永續？關心食物品質和動物福利的人都該讀這本書。



大石國際文化出版
定價 390 元

▼ 請沿虛線對摺貼妥，直接投遞，免貼郵票 ▼

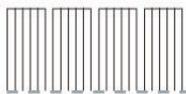


廣告回信
台灣北區郵政
管理局登記證
北台證第000586號
免貼郵票

 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

【地球科學】

火焰龍捲風

它罕見卻極為致命，在美國加州引發嚴重災害。

預測發生地點與時間，是當前最大挑戰。

- > 哥倫比亞打算借助豐富的生物多樣性，發展綠色經濟。
- > 三狹縫干涉實驗產生的量子位元，可能發展出新型態量子電腦。
- > 十分簡單的新數學模型竟能準確呈現各國的貧富不均！

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

Ia 型超新星 (type Ia supernovae)
 p 值 (p-value)
 三葉蟲 (trilobite)
 大強子對撞機 (Large Hadron Collider, LHC)
 大麥哲倫雲 (Large Magellanic Cloud)
 化學遺傳學 (chemogenetics)
 心理醱釀 (mental incubation)
 牛皮癬 (psoriasis)
 布洛芬 (ibuprofen)
 皮克 (picogram, pg)
 皮質下區域 (subcortical region)
 自主感 (agency)
 血腦障壁 (blood brain barrier)
 西尼羅河病毒 (West Nile virus)
 希格斯玻色子 (Higgs boson)
 沙門氏菌 (*Salmonella*)
 貝氏方法 (Bayesian)
 事前機率 (prior distribution)
 典範轉移 (paradigm shift)
 屈公症 (chikungunya fever)
 社會科學再現計畫 (Social Sciences Replication Project)
 信賴區間 (confidence interval)
 後設分析 (meta-analysis)
 相容性區間 (compatibility interval)
 效果量 (effect size)
 效價 (valence)
 海狗 (fur seal)
 特定記憶再活化 (targeted memory reactivation, TMR)
 納普生 (naproxen)
 馬約拉那粒子 (Majorana particle)
 偏差 (deviation)
 偽陰性 (false negative)
 偽陽性 (false positive)
 凱塞姆洞穴 (Qesem Cave)
 喉頭 (voice box)
 虛無假設顯著性檢定 (null hypothesis significance testing)
 超導通量量子位元 (superconducting flux qubit)
 節肢動物 (arthropod)
 腸桿菌科 (Enterobacteriaceae)
 資料集 (data set)
 雷射干涉儀重力波觀測站 (Laser Interferometer Gravitational wave Observatory, LIGO)
 寡核苷酸 (oligonucleotide)
 對立假設 (alternative hypothesis)
 衝動控制疾患 (impulse control disorder)
 橫斷調查 (cross-sectional survey)
 遺傳變方 (genetic variance)
 霍金輻射 (Hawking radiation)
 磺胺劑 (sulfa drug)

縱貫研究 (longitudinal study)

書刊篇名

大西洋雜誌 (*Atlantic*)
 心理科學 (*Psychological Science*)
 心理學會刊 (*Psychological Bulletin*)
 全球暖化 1.5°C (*Global Warming of 1.5°C*)
 自然·人類行為 (*Nature Human Behaviour*)
 行為大腦研究 (*Behavioural Brain Research*)
 物理評論通訊 (*Physical Review Letters*)
 研究工作者的統計方法 (*Statistical Methods for Research Science*)
 科學 (*Science*)
 科學誠信法案 (Scientific Integrity Act)
 美國國家科學院學報 (*Proceedings of the National Academy of Sciences USA, PNAS*)
 重新定義統計顯著性 (Redefine Statistical Significance)
 紐約時報 (*New York Times*)
 動物系統分類與演化研究期刊 (*Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*)
 華盛頓郵報 (*Washington Post*)
 新科學家 (*New Scientist*)
 新英格蘭醫學期刊 (*New England Journal of Medicine*)
 當代生物學 (*Current Biology*)
 臨床心理科學 (*Clinical Psychological Science*)

機構組織

匹茲堡大學 (University of Pittsburgh)
 巴塞隆納大學 (University of Barcelona)
 巴塞爾大學 (University of Basel)
 牛津大學 (University of Oxford)
 加州大學洛杉磯分校 (University of California at Los Angeles)
 加州大學聖巴巴拉分校 (University of California at Santa Barbara)
 加州大學爾灣分校 (University of California at Irvine)
 北卡羅來納大學格林斯伯勒分校 (University of North Carolina at Greensboro)
 布瑞南司法中心 (Brennan Center for Justice)
 生物統計司 (Division of Biostatistics)

皮尤研究中心 (Pew Research Center)
 西北大學 (Northwestern University)
 西澳大學 (University of Western Australia)
 里斯本大學 (University of Lisbon)
 杭特學院 (Hunter College)
 林肯土地政策研究院 (Lincoln Institute of Land Policy)
 法治與民主國家專案小組 (National Task Force on Rule of Law & Democracy)
 阿肯色大學 (University of Arkansas)
 阿道夫梅克爾研究 (Adolphe Merkle Institute)
 南加州大學 (University of Southern California)
 哈佛醫學院 (Harvard Medical School)
 美國食品及藥物管理局 (U.S. Food and Drug Administration, FDA)
 美國疾病控制中心 (U.S. Centers for Disease Control and Prevention, CDC)
 美國國家衛生研究院 (National Institutes of Health, NIH)
 美國眾議院科學、太空與科技委員會 (House Science, Space, and Technology Committee)
 美國統計協會 (American Statistical Association, ASA)
 美國醫學遺傳學會 (American College of Medical Genetics and Genomics, ACMG)
 哥倫比亞大學 (Columbia University)
 馬里蘭大學 (University of Maryland)
 國際心理科學學會 (Association for Psychological Science, APS)
 密西根大學 (Michigan University)
 密西根州立大學 (Michigan State University)
 康乃狄格大學 (University of Connecticut)
 梅鐸大學 (Murdoch University)
 凱利生態系統研究院 (Cary Institute of Ecosystem Studies)
 開放科學中心 (Center for Open Science, COS)
 新南威爾斯大學坎培拉分校 (University of New South Wales Canberra)
 路易斯安那州立大學 (Louisiana State University)
 歐洲核子研究組織 (European Organization for Nuclear Research,

CERN)
 霍恩海姆大學 (University of Hohenheim)
 羅馬大學 (University of Rome)

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 ■

2020年1月號

- 第21頁「形上集」〈普朗克定理〉左欄第二段第三行「212」應為「202」。

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

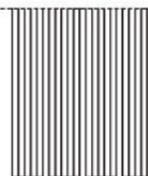
門市訂購

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

02/29

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 SMBGQ	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

■ 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。
- ◆ 訂單傳真完成後，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，將無法享以「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、國家地理石虎魔術頭巾《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》雜誌客服專線：(02) 8797-1050 (週一至週五09:00-18:00)。
- ◆ 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



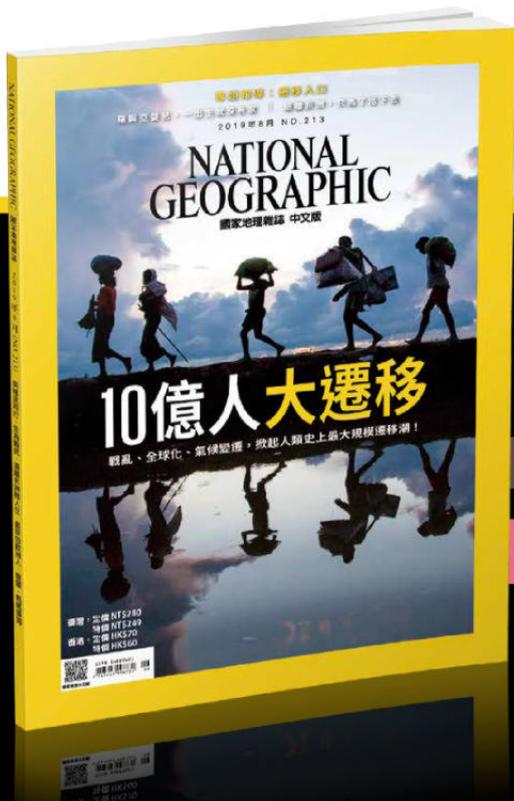
客服專線：02-2392-6899分機888 (週一至週五09:00~18:00)

24小時傳真：02-2356-4929 / 02-2356-8490 客服信箱：service@sa.ylib.com

探索 世界每個角落的變化

體驗 知識加乘的樂趣

從此處探索地球、瞭解宇宙、探測深海，
《科學人》與《國家地理》以精彩文字、生動圖片，
呈現考古、動植物、生命科學及世界每個角落的變化，
讓您獲得加乘的知識樂趣。



+ 《科學人》一年12期
+ 《國家地理》一年12期

超值優惠 **3,690元**

5項好禮 免費加贈

- ★ 《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



掃描訂閱

總價值 **11,018元**



從深海到宇宙，從自然生態到科學新知，《國家地理》雜誌創刊131年來，以深入獨特的報導、震撼的視覺作品、精密準確的圖表，將「國家地理學會」的第一手發現，為讀者每月帶來反映世界變遷的宏觀視野！您訂閱雜誌的部分款項將實際贊助「國家地理學會」全球各地所進行的探索計畫，有助於世人了解宇宙、科學、人文、保育，成為推動環境保育、知識探索的一份子。每月1日出刊/全彩印刷/膠裝/17.5x25.5公分/單冊定價280元

贈品簡介

《科學人雜誌知識庫》中英文對照版



囊括《科學人》雜誌創刊17年來，6000多篇文章。訂閱期間訂戶擁有免費查詢權益，能以最便捷的搜尋方式、詳盡的版面呈現，搭配多樣載具皆可供使用的特質，是滿足強烈科學求知慾的最整全資料庫。（定價2,640元/年）

《國家地理特刊》全球四季最佳旅遊攻略



在旅遊擁有激動人心、文化交流、保育荒野美景的力量。而且旅遊可以帶來無比樂趣，而且有無數種方法可以發現我們星球的奇妙，本書中引人注目的景點帶來充分的靈感，讓您踏上一趟充滿熱情與目標的旅程。祝您旅途愉快！（定價299元/全彩印刷）



《國家地理》石虎魔術頭巾

多功能造型百變
跋山涉水的你一定需要的戶外配件！
防風防曬/防蚊蟲/防塵，透氣通風乾爽舒適全彩熱昇華印刷色彩鮮艷不褪色100%聚脂纖維
尺寸：約20x50公分
淨重：37克
（定價680元）

科學人博學誌《愛因斯坦的時空》



愛因斯坦 (Albert Einstein, 1879-1955)，這位20世紀的科學明星不僅深深影響當代的科學進展，他的創新點子更是深植現代科技。這本特輯帶你走進愛因斯坦的時空，看見他的傳奇、他的心智，以及他的偉大夢想。精采單元：關於這位天才、他的創新點子、未完成的理論（定價380元/全彩印刷）

《國家地理特刊》太空人揭密



美國航太總署已經做出承諾，私人太空巨擘伊隆·馬斯克和傑夫·貝佐斯也打算去火星。但火星之旅潛藏著那些挑戰和危險？本特刊可以讓你對太空探險有更深刻的認識。（定價299元/全彩印刷）