

異形就在你身邊？

宛若外星生物的異形生命就在我們周遭，只是我們視而不見？

撰文／戴維斯 (Paul Davies)
翻譯／姚若潔



異形微生物可能就躲藏在我們視線所及之處。雖然看起來或許與普通細菌並無不同，它們的生物化學卻有可能包含奇特的胺基酸，或是特殊的基本構成單位。



生命的起源是科學尚未解開的大謎題之一。沒有人知道生命到底是如何發生、在哪裡發生、又是何時開始的。我們能確定的只有微生物大約在35億年前開始在地球上立足。至於更早之前，由於缺乏可信的證據，可說是眾說紛紜。

30年前，生物學家之間流行的看法是：生命的發生源自化學上的偶然。因為發生的可能性實在太小，在我們觀察能力所及的宇宙範圍中，不太可能發生第二次。這種保守的看法，可由與諾貝爾獎得主、法國生物學家莫納德（Jacques Monod）在1970年的文章得到例證：「人類至少明白，自己在無情而浩瀚的宇宙中是孤獨的。人類的出現只是一種偶然。」然而近年來，這種看法卻有極大的轉變。1995年，知名的比利時生物化學家杜維（Christian de Duve）認為，生命是「宇宙的必然」，並宣稱生命在任何與地球相似的行星上「幾乎一定會發生」。杜維的說法加強了天文生物學家的信念，認為宇宙裡生機盎然，美國紐約大學的夏匹洛（Robert Shapiro）把這種理論命名為「生物決定論」（biological determinism），也就是說「生命就寫在自然定律裡」。

科學家如何確認哪一種看法才是正確的？最直接的方法，是到別的星球（例如火星）尋找生命的證據。如果太陽系中的兩個行星都從無中生有、誕生了生命，便能確立生物決定論，可惜的是，可能還要很長的時間，探索紅色星球的太空任務才能進步到足以搜尋火星上的生命形式（如

果它們真的存在），藉此仔細研究地球以外的生物相。

不過，要測試生物決定論，比較簡單的方法還是存在的。沒有別的星球比地球更像地球，如果生命的確在地球的環境條件下就這麼誕生了，或許在地球上，生命的起源已經發生過許多次。為了探索這種引人入勝的可能性，科學家已經在沙漠、湖泊、洞穴中尋找各種「異形」生命，也就是因為擁有獨立的起源，而與所有已知的生物有著根本差異的生物。這樣的生物應該十分微小，所以研究者設計的測試，是要能辨認出可能就生活在你我身邊的特異微生物。

科學家對生命的嚴格定義還未達成共識，不過多數同意生命有兩個註冊商標：代謝（從環境中取得營養物，把營養物轉變為能量，並排出廢物）以及繁殖。生命起源論的正統觀點是，如果地球上的生命興起不只發生過一次，其中一種形式會迅速取得優勢，並消滅其他形式。舉例來說，可能是因為其中一種形式很快地佔據所有可用的資源，或是和較弱的生命形式「結盟」，把成功的基因完全佔為己有。不過這種論述的證據卻很薄弱，例如細菌與古生菌（archaea）是兩種形式截然不同的微生物，在30億年前從共同祖先分家以來，就一直和平共存至今，誰也沒有把誰消滅掉。另外，另類的生命形式不見得會與已知的生物直接競爭，因為這些「異形」生物可能居住在已知微生物無法生存的極端環境中，或是因為這兩種形式的生命使用了不同的資源。

重點提要

- 許多科學家相信，只要有正確的環境條件，生命便可能誕生，那麼在地球上生命可能已經起源了不只一次。研究者正在尋找第二次生命誕生的證據，方法是尋找生物化學上與已知生物不同的奇特微生物。
- 尋找另類生命形式的最佳場所之一，是生態上沒有已知生命存在的地區，例如海底火山口或南極的乾谷。
- 異形微生物也可能就潛伏在我們身邊。科學家探索這種可能性的方法，是搜尋另類生物化學的痕跡。

生命之森

長久以來，科學家分類生物的方法是把它們排列於一株生命之樹，以顯示共同的起源以及後來分出的物種。如果生命起源不只一次，研究者便必須修訂原來的分類模式，以納入不同的生命樹，形成生命的森林。



鏡像生命樹

大型生物分子可以有兩種互為鏡像的排列方式：左旋或右旋。在所有已知的生命形式中，胺基酸都是左旋，DNA則是右旋的雙螺旋。不過如果生命又重頭來過，胺基酸有可能是右旋，DNA也可能是左旋。

我們的生命樹

所有已知的生物都共一套生物化學，也用DNA分子記載遺傳訊息。我們的生命樹有三個主要的分枝：細菌、古生菌（和細菌一樣沒有細胞核的單細胞生物）、以及擁有較複雜細胞的真核生物；真核生物包括動物、植物與真菌。

何謂生命？

多數科學家同意，生命的基本特徵是擁有下列能力：

- 從環境中攝取營養物質
- 把營養物轉換成能量
- 排出廢物
- 繁殖

真的有異形生物嗎？

即使另類的生命形式現在並不存在，還是有可能在因某種理由滅絕之前，繁盛於遙遠的過去。在這種狀況下，科學家仍有機會從地質記錄裡找到它們遺留的生物學痕跡。假設另類的生命形式擁有截然不同的代謝，可能會以已知生物活動所不能解釋的方式，改變岩石或製造礦物質沉積。以獨特有機分子形式形成的生物標記，而且是我們熟知的生命形式無法創造的有機分子，可能隱藏在古老的微化石（microfossil）中，形成的時間可以追溯

到遙遠的太古代（25億年前）。

有一種更令人興奮但也更異想天開的可能是，另類的生命形式至今仍然存在，而且就生活在我們的環境之中，形成一種「影子生物圈」（shadow biosphere）。這個名詞由科羅拉多大學波爾德分校的克萊蘭（Carol Cleland）與卡普里（Shelley Copley）所創。這個想法乍看之下可能頗為矛盾；如果異形生物就在我們眼前（甚至眼皮上）大肆活躍，科學家豈不早該發現它們了？答案卻是否定的。絕大多數的生物是微生物，而單是從顯微鏡下觀察，

特殊胺基酸的生命樹

所有熟悉的生物，除了少數例外，都使用同樣的20種胺基酸來建造蛋白質，不過科學家還可以合成很多其他的胺基酸。異形微生物可能採用不尋常的胺基酸，如異纈胺酸 (isovaline) 與偽白胺酸 (pseudoleucine)；這兩種胺基酸曾在隕石中發現。

砷的生命樹

研究者假設，在異形生物體內，砷有可能成功取代磷在已知生命形式的生物化學角色。砷對我們是有毒的，因為它與磷太過相似；同樣的，對以砷為基礎的生物來說，磷也是有毒的。

矽的生命樹

有最大差異的異形生物，恐怕要屬以矽為基礎、而不是以碳為基礎的生物。矽與碳一樣，原子價的數量都是四（這是指原子最外圍的軌道有四個電子）；矽原子可以組合成環狀或長鏈狀，形成生物分子的骨幹。



幾乎不可能區別出它們是什麼東西。微生物學家必須分析遺傳序列，才能決定一個生物在生命樹（把所有已知生命依據親緣關係而做的分群）中的位置。但是到目前為止，研究者也只對所有已發現的微生物中一小部份做過分類。

可以確定的是，目前仔細研究過的生物，幾乎都來自共同的祖先。已知生物共有相似的生物化學，也使用幾乎相同的遺傳密碼，所以生物學家可以分析它們的基因序列，然後將之安置在同一株生命樹上。不過研究者用來分析新發現生物的程

序，是刻意設計成偵測我們認知中的生命形式，這些技術無法正確地對另類的生物化學有反應。如果影子生物只存在於微生物領域，科學家看漏了它們，也是非常可能的。

生態上與世隔絕的異形

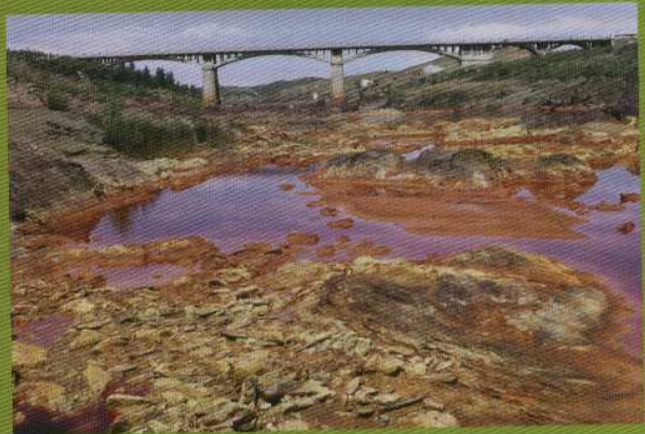
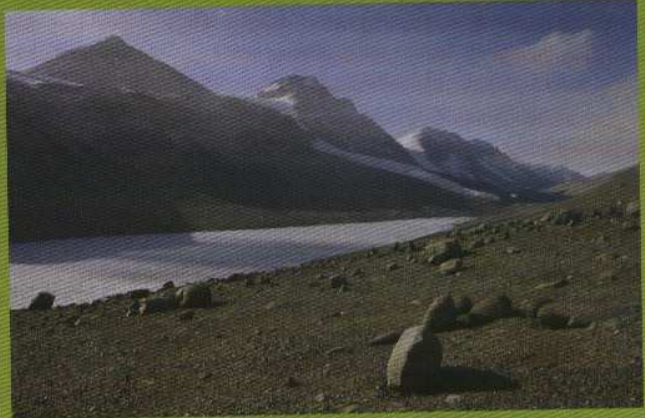
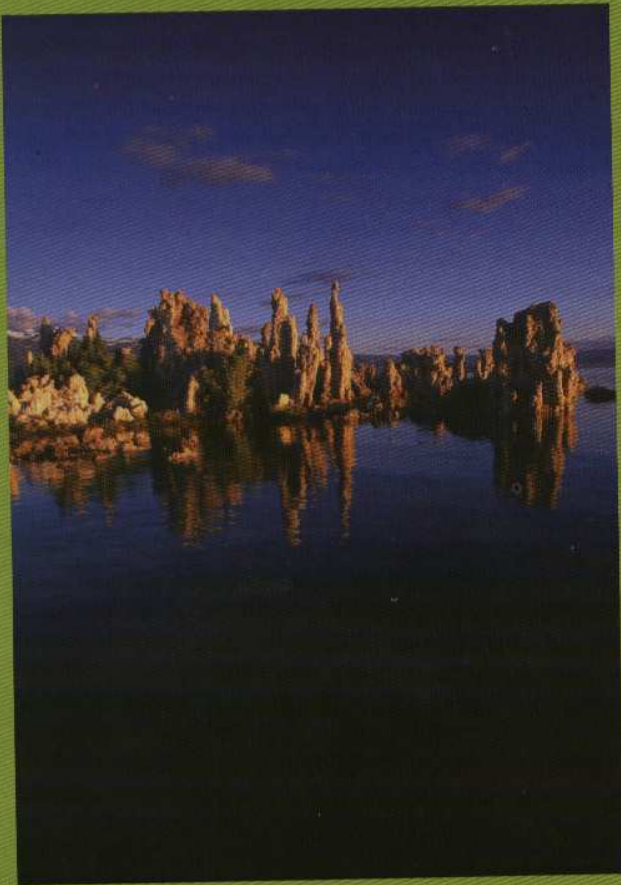
在今天的地球上，研究者該到哪兒尋找異形生物？有些科學家專心搜尋佔據特殊生態區位的生物，但這些生態區位遺世獨立，一般所知的生物根本無法到達。近年來的發現則是，已知生物承受極端嚴

生命一定需要水嗎？

研究者一向認為生命誕生不能沒有液態水的存在，不過有些天文生物學家認為其他的液體也有可能當成生物化學反應的溶劑，其中兩種可能是乙烷與甲烷，這兩種物質只在非常冷的地方才是液態，如土星最大的衛星土衛六的表面。

異形生物何處尋？

為了尋找異形微生物，有些科學家把焦點放在隔絕的生態區位中，這些生態區位的環境嚴酷，普通生物無法存活，包括極端鹼性與鹽濃度極高的水體，如美國加州的莫諾湖（左圖）、南極的乾谷（右上圖），還有污染的河川，如西班牙受重金屬污染的丁朵河（Rio Tinto）（右下圖）。



酷條件的能力，實在令人驚訝。從滾燙的火山口到南極的乾燥峽谷等極端的环境，都有微生物存在，其他「極端微生物」（extremophile）還可以生活在於鹽濃度飽和的湖泊中、含金屬的極酸礦坑污水池中，以及核子反應的廢水池裡。

儘管如此，最強韌的微生物還是有其極限。就我們所知的生物而言，液態水是絕不可少的。在智利北部的亞他加馬沙漠（Atacama Desert）就因為極為乾燥，完全沒有熟悉生命形式的跡象。再者，雖然有些微生物可以在一般水沸點之上的溫度繁

殖，但目前為止，科學家還沒發現任何東西可以在 130°C 以上存活。然而，可想像的是，另類的生命形式可能在更極端的乾燥或溫度條件下存活。

所以，在生態上隔絕的地區，科學家或許能藉由生物活動的線索，例如在地面與大氣之間的碳循環中，找到另類生命形式的證據。要尋找這種隔絕的生態系，最明顯的地方是地殼深處、大氣上層、南極、鹽礦、以及金屬和其他污染物的堆積處。另外，研究者可以在實驗室中控制不同的條件（如溫度或濕度），直到所有已

知的生命形式死絕；如果某種生物反應還留存著，那就有可能是影子生命存在的徵兆。科學家已經用這種技術發現了可承受輻射的抗輻射奇異球菌（*Deinococcus radiodurans*），這種細菌所能承受 γ 射線劑量，是人類致死劑量的1000倍。不過，抗輻射奇異球菌和所有已經鑑定出來所謂的嗜輻射生物（radiophile），在遺傳上都與已知生命有關聯，所以它們並不是異形的候選者。不過這並不排除以此種方法找到另類生命形式的可能性。

研究者已經整理出好些生態系，看起來應該與生物圈的其他部份完全隔離。在地底深處的微生物，無法接觸到光、氧氣以及其他生物的有機產物。它們賴以維生的方法，是某些微生物能利用化學作用或輻射活動所釋放的二氧化碳或氫氣，以行使代謝、生長與繁殖等活動。雖然目前為止發現的微生物與地表微生物的關係都很接近，但地下深處的生物探險仍處於初步階段，可能還有更多驚奇有待發掘。國際整合海洋鑽探計畫（Integrate Ocean Drilling Program）已經從海床底下將近一公里的深度採得岩石樣本，陸地鑽孔也從更深的地層發現生物活動的訊息。不過，目前為止，研究社群還未進行有系統且大規模的計畫，來偵測地下深處是否有生命存在。

異形生命可能就在身邊

也許有人以為，如果另類的生命形式活在已知的生物圈中，並不孤離，應該會比較容易找到異形。不過，如果影子生命只局限於微生物，而且與熟悉微生物混雜在一起，以一般的檢驗方式是很難找出來的。微生物的形態很簡單，大部份形如小球或短棒。異形生物倒是可能在生物化學上有所不同，尋找的方法之一是猜測它們可能採用何種「另類」的化學物質，然後

尋找這種化學物質獨特的指標。

一個簡單的例子與對掌性（chirality）有關。大型生物分子擁有特定的「慣用手」：分子中原子排列的方式，可以像是鏡子內外影像，分成「左手」或「右手」的形式，不過分子卻必須遵從特定的對掌性，才能組合成更複雜的結構。在已知的生命形式中，蛋白質的基本構成單位胺基酸都是左旋的，而醣類是右旋的，DNA也是右旋的雙螺旋。不過化學定律對左或右並不挑剔，所以如果生命從無中生有又重來一次，基本單位的分子有一半的機會具有相反的對掌性。原則上，影子生命可能在生化上與已知生命幾乎一模一樣，只是以鏡像分子構成（例如採用右旋的胺基酸）。這種鏡像生命不會直接與已知生命競爭，兩者間也不能交換基因，因為相關的分子沒辦法互換。

幸運的，研究者可以用很簡單的程序鑑定出鏡像生命。他們可以準備特別的營養大餐，配方與標準的培養基相同，只是完全改用鏡像分子；鏡像生物可以津津有味地食用此特製餐點，而已知生命形式則會發現難以下嚥。美國航太總署馬

地球上絕大多數的生物是微生物，而單由顯微鏡觀察，幾乎不可能區分出它們是什麼。

顯微鏡下

異形生物的候選者？

在檢查澳洲西岸深海鑽孔中取出的砂岩樣本時，昆士蘭大學的尤文斯（Phillippa Uwins）發現大小僅有20-150奈米（1奈米為10億分之一公尺）的微小結構，似乎會在實驗室裡增長。檢查顯示該結構（掃描式電子顯微影像中的褐色球體與鬚狀物）含有DNA，不過其他科學家不認為這些所謂的奈米生物就是異形。





關於作者



戴維斯是理論物理學家、宇宙學家及天文生物學家，目前是美國亞利桑那州立大學「超越」(Beyond) 研究中心的主持人，此中心旨在發掘科學中的「大問題」。戴維斯著作及合著的書有27本，最新的著作為《宇宙頭彩：為何我們的宇宙就是適合生命誕生》。

歇爾太空飛行中心 (Marshall Space Flight Center) 的胡佛 (Richard Hoover) 與比古塔 (Elena Pikuta) 最近從事了這類的先導實驗，他們把新發現的多種極端微生物放進鏡像培養基中，然後注意這些生物的活動。他們發現有一種微生物可以在此培養基中成長，是從美國加州一個鹼性湖中的沉積裡分離出來的微生物，叫做 *Anaerovirgula multivorans*。不過，令人失望的是，這種生物其實不是鏡像生物，而是擁有驚人化學能力的細菌，可以改變對掌性錯誤的醣類與胺基酸，把它們變得可以消化。話說回來，這個研究也只涵蓋了微生物世界的一小部份而已。

另一種可能性是，影子生命可能與熟悉的生物共有一般的生物化學，但是使用不同的胺基酸或核苷酸 (DNA 的基礎構成單位)。已知生物都使用同樣的核苷酸，依據特殊的鹼基 A、C、G、T (腺嘌呤、胞嘧啶、鳥嘌呤與胸腺嘧啶) 來儲存訊息；除了少數的例外，都使用同樣的20種胺基酸來建造蛋白質，擔任細胞中所有的工作。遺傳密碼使用三個為一組的核苷酸做基礎，拼出不同胺基酸的名字。基因中的三核苷酸序列指定出胺基酸的種類，串連在一起，建造特定的蛋白質。不過化學家可以合成許多不同的胺基酸，是已知生物中所沒有的。

一個1969年落在澳洲的彗星殘骸莫契遜隕石 (Murchison meteorite)，含有許多一般的胺基酸，不過也有異纈胺酸 (isovaline) 與偽白胺酸 (pseudoleucine) 等不尋常的胺基酸 (科學家並不確定胺基酸如何在隕石中形成，不過多數研究者相信這些化學物質並不是由生物活動產生的)。這些不常見的胺基酸，有可能成為另類生命適當的基礎構成單位。要尋找這樣的異形生物，研究者需要先確認出某些

胺基酸，它們不曾被任何已知生物使用、也不是已知生物代謝或腐敗的副產物，然後到環境裡尋找這樣的胺基酸，例如在活生生的微生物或是影子生物圈所產生的有機碎屑之中。

為了幫助縮小搜尋範圍，科學家可以從迅速發展的合成生命 (或說人造生命) 領域收集線索。生物化學家正嘗試把新的胺基酸插入蛋白質中，來建造全新的生物。美國弗羅里達應用分子演化基金會 (Foundation for Applied Molecular Evolution) 的班奈 (Steve Benner) 是這個領域的先驅。他指出有一類稱為 α 甲基胺基酸的分子，因為可以適當的折疊，似乎適合人造生命，這些分子目前並未在任何自然生物的研究中找到過。使用標準的工具來分析蛋白質組成，例如用質譜法來了解一種生物裡含有哪些胺基酸，對研究者要鑑定新微生物來說，會比較省事。任何凸顯出來的怪東西，都有可能表示此微生物可列為影子生物的候選者。

如果這個策略成功，研究者將會面臨一種困難：這樣的生物到底是真正擁有獨立起源的另類生命形式，或只是已知生物的新疆域？像是古生菌一直到1970年代才鑑定出來。換句話說，科學家該如何確定看起來像是新的生命樹，實際上是已知生命樹很久以前岔出去的分枝，只是長久以來沒被我們注意到而已，最早的生命形式很有可能與後來發展出的截然不同，舉例來說，以三個核苷酸一組的DNA密碼來指定特定的胺基酸，是非常精細的系統，顯示可能在演化過程中曾經過篩選來達成最佳的效率。由此推論，可能有比較簡單的前驅者存在，例如只用兩個一組的密碼來指定10種而非20種胺基酸。可以想見，有某些比較原始的生物到今天仍然使用古老的前驅密碼系統，這樣的微生物並不算



是真正的異形生物，而比較像是活化石。儘管如此，如果發現這樣的生物，還是能夠引發人們高度的科學興趣。另一種古代遺留物的可能性，是使用RNA而非DNA為遺傳物質的微生物。

如果考慮生物化學上更大的差異，把獨立生命樹與我們生命樹的新分枝混淆的機會就會降低。天文生物學家已經思索以不同溶液（如乙烷或甲烷）取代水的生命，即使在地球上很難找出可以支持此種物質的環境。（乙烷與甲烷只有在非常冷的地方才是液態，如土星最大的衛星土衛六表面。）另一個普遍的猜測，考慮的是構成已知生物重要部份的基本化學元素：碳、氫、氧、氮與磷，有沒有可能這五者之一由其他元素取代後，還能夠形成生命呢？

磷對生命而言其實有些問題，它相對來說比較少，在地球早期的一般環境中，可溶性形式並不豐富，也不容易取得。之前在美國亞利桑那大學、現任教於哈佛大學的沃爾夫西蒙（Felisa Wolfe-Simon）提出假說，認為砷可以成功取代磷在現生生物中的地位，在古代環境中也具有特別的化學優勢。例如，砷在鏈結結構與能量儲存上，可以做到磷能達成的所有事情外，還可以提供驅動代謝的能量。（砷對一般生物來說是有毒的，正因為它模仿磷模仿得太好。同樣的，磷對於以砷為基礎的生物來說也是有毒的。）有沒有可能，以砷為基礎的生物仍然存活於缺磷但砷豐富的局部地區，例如海底火山口與溫泉？

另一個重要的變因是尺寸。所有已知的生物用胺基酸製造蛋白質時，都使用核糖體這種大分子設備來把胺基酸接在一起。因為要用到核糖體，我們生命樹上所有能獨立營生的生物，對於尺寸都必須妥協：寬度至少都要有數百奈米（nanometer，10億分之一公尺）。病毒就小得多，只有

尺寸限制

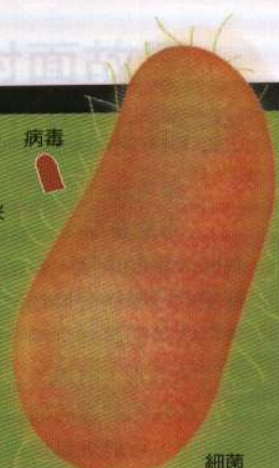
迷你異形

最小的細菌直徑大約200奈米。在我們的生命樹上能獨立生存的生物，沒辦法比這個尺寸更小，因為它們體內必須要有建造蛋白質的核糖體，其大小約為20-30奈米。不過如果異形微生物可以不用核糖體，它們的大小或許可與最小的病毒媲美，寬度只有20奈米。（病毒不需要核糖體的理由，是它們盜用受感染細胞的裝置來繁殖。）

核糖體 病毒



20奈米



細菌

20奈米，不過病毒並不能算是獨立營生的生物，因為如果沒有受感染細胞的幫助，它們就無法繁殖。由於這種依賴性，病毒並不能被列為替代生命形式，也沒有證據顯示它們有獨立的起源。不過這些年來，有些科學家宣稱生物圈中四處都有許多微小的細胞，小到無法容納核糖體。1990年，德州大學的佛克（Robert Folk）讓大家注意到，在義大利維特波溫泉中的沉積岩內所發現的似球體與卵圓形的物體。佛克認為這些物體是石化的「奈米菌」（nanobacteria，他喜歡這個拼法），這些鈣化的生物遺跡可以小至30奈米。最近，澳洲昆士蘭大學的尤文斯（Philippa Uwins）從澳洲西部海岸附近深海鑽出的岩石樣本中，發現了相似的構造（見37頁〈異形生物的候選者〉）。如果這些構造真的來自生物過程（有許多科學家強烈質疑這個論點），或許是另類生命形式的證據：它們不使用核糖體來製造蛋白質，因而可以跳脫已知生命最小尺寸的限制。

也許，最吸引人的可能性，是異形生物就住在我們的身體裡。1988年，芬蘭庫奧皮奧大學的卡強德（Olavi Kajander）與同事以電子顯微鏡觀察哺乳類細胞時，看到許多細胞裡有很多十分微小的顆粒。這些顆粒只有50奈米，大約是普通細菌體型的1/10。10年後，卡強德與合作者提出，這些顆粒是活生生的生物，生存於尿

或許最吸引人的可能性，就是異形生命住在我們的身體裡。



生命來自火星？

如果生物決定論（生命在適當條件下必然會發生）是正確的，我們可能會期待生命已經在太陽系的其他地方發生，尤其是火星，因為在火星的早期，表面曾經有過液態水。由於地球與火星會因小行星和彗星的撞擊而交換物質，很有可能藏在岩石中、可能存活的微生物，也曾在這兩個星球之間交換過。所以，如果火星與地球都曾發生生命，隨著時間過去，兩邊產生的生物有可能相互混合。這項觀察為「影子生物圈」與我們共存的假說，製造了一個有趣的轉折：在地球上發現的異形微生物，可能來自地球之外。因此，在類似火星的地球環境，例如高山山頂或其他乾冷而高輻射的環境尋中，找微生物移民，是有道理的。

液中，能使周遭的鈣及其他礦物質沉澱而造成腎結石。雖然這樣的主張依然有爭議，至少還是可以想像這些小人國產物是奇特的生物，使用完全不同的生物化學。

到底什麼是生命？

如果我們發現一種生物化學上很奇特的微生物，要拿它做為另一次生命起源的證據，而非我們自己生命樹的新分枝，就要看它到底與已知生物根本上有什麼不同。而在不了解生命如何開始的狀況下，就沒有確定的條件可以做這樣的區分，舉例而言，有些天文生物學家思考是否有能以矽化合物為基礎的生命型式，而非以碳化合物為基礎。由於碳在我們的生物化學中具有關鍵的地位，很難想像以矽為基礎的生物和以碳為基礎的生物會有共同的起源。另一方面，一個生物如果使用與已知生物同樣的核苷酸與胺基酸，只是使用不同的基因碼來指定胺基酸，就不能做為獨立起源的有力證據，因為這樣的差異可以用演化漂變來解釋。

另一個相反的問題也存在：不同的生物，生活在同樣的環境壓力下，特性往往會漸趨相同，在該環境條件中達到最適應的狀態。如果這種演化上的趨同性夠強，可能會掩蓋生命各自起源的證據。例如，採用的胺基酸種類，可能在演化中達到最佳化。一開始採用不同種類胺基酸的異形

生物，可能隨著時間演化，而開始採用與我們熟悉的生物形式相同的胺基酸。

要決定一個生物是不是異形生物不僅困難，還會因為另一個事實而更加棘手：有兩組互相競爭的生命起源理論。一是生命由突然且顯著的轉變而開始，就好像物理上液態與氣態間的變化，也許是系統的化學複雜度達到某個閾值而引發的。這系統並不一定是細胞，已經有生物學家提出，原始的生命形式出現於一群細胞，這群細胞相互交換物質與資訊，而細胞的獨立自主與分出各個物種，則是後來才發生的。另一種說法是，從化學反應到生物體是一個連續延伸的過程，並沒有明確的界線可以決定何處是生命的起源。

如果把生命（這個難以定義而出名的問題）描述成具有某種特性的系統（例如可以儲存並處理某些訊息），便可以此特性做為非生物與生物領域之間清晰的界線，那麼討論一次或多次生命起源的問題就變得有意義了。然而，如果生物的定義不太明確，例如所謂有組織的複雜性，那麼生命的根源可能就與一般複雜化學無分隔地聯繫在一起了。這樣的話，要顯示生命有獨立的起源就變成困難的任務，除非兩種生命形式完全分開、根本沒有機會接觸（例如存在於不同恆星系的行星上）。

很顯然的，我們對地球上的微生物族群只研究過一小部份。每個發現都帶來驚奇，也使對生物來說何謂「可能」的範疇更加擴展。隨著地球上更多環境被探查，很可能還會發現更多更新穎的生命形式。如果這些探索可以發現獨立生命起源的證據，就可以強力支持生命是宇宙間普遍的現象，也讓人更加相信我們在宇宙間並不孤單。

姚若潔 台灣大學昆蟲系碩士，目前就讀於英國布來頓大學視覺傳達博士班。



延伸閱讀

The Fifth Miracle: The Search of the Origin of Life. Paul Davies. Simon & Schuster, 1998.

Finding a Second Sample of Life on Earth. Paul Davies and C. Lineweaver in *Astrobiology*, Vol. 5, pages 154-163; 2005.

The Possibility of Alternative Microbial Life on Earth. C. E. Cleland and S. F. Copley in *International Journal of Astrobiology*, Vol. 4, No. 4, pages 165-173; 2005.

Life as We Do Not Know it. Peter Ward. Viking, 2005.

The Limits of Organic Life in Planetary Systems. Committee on the Limits of Organic Life in *Planetary Systems*, Committee on the Origins and Evolution of Life, National Research Council. National Academies Press, 2007.

關於影子生物圈的更多訊息，可參考網站：www.astrobio.net/news/article2161.html