

生命的奧祕 DNA結構的發現

根據弗蘭克林的 X - 光晶體數據，

華生和克里克得以推理出 DNA 的結構。

林天送

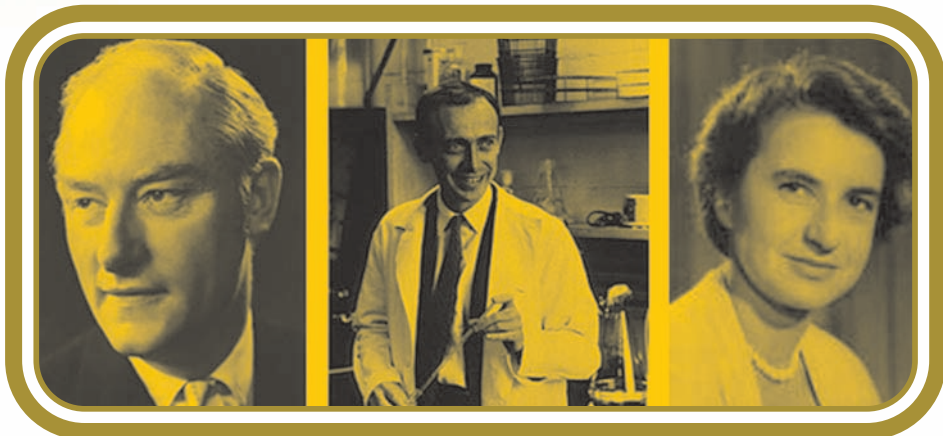
美國聖路易華盛頓大學
化學暨神經科學系

小百科

DNA 是 deoxyribose nucleic acid (去氧核糖核酸) 的縮寫，它由兩股螺旋長鏈構成。這長鏈上有 4 種鹼基：A (adenine)，T (thymine)，C (cytosine) 和 G (guanine)，兩股長鏈之間以 A 和 T 成對，G 和 C 成對的方式牽住，就像樓梯的階梯，這就是鹼基對。也就是說，如果單股螺旋上的排列順序是 ACGT，相對的另外一股的排列順序一定是 TGCA。DNA 就以這 4 個「密碼」的排列順序來傳遞遺傳的資訊。

雖然 DNA 是一條相當長的雙股螺旋鏈狀的分子，但是肉眼無法看到，得由電子顯微鏡才能看到。一般

細菌的 DNA 分子大約有 0.1 毫米長，照理是可以看得見的，但它的寬度約只有長度的一百萬分之一，長而相當微細，因此無法用肉眼看到。



華生，克里克和弗蘭克林（由左至右）

發現者

華生（James Watson, 1928 –）和
克里克（Francis Crick, 1916 – 2004）
兩位於 1953 年提出 DNA 的雙股螺旋結

構圖，1962 年獲得諾貝爾生理醫學獎。華生是位天才兒童，22 歲（1950 年）就拿到美國印地安那大學的生物博士學位，他到英國劍橋大學做博士後研究生，當時克里克是在劍橋攻讀物理博士學位的學生。他們是根據一位女科學家弗蘭克林（Rosalind Franklin, 1920 – 1958）做出來的 X – 光晶體實驗結果而提出 DNA 結構的，但因為她早逝，沒能享受到諾貝爾獎的榮耀。

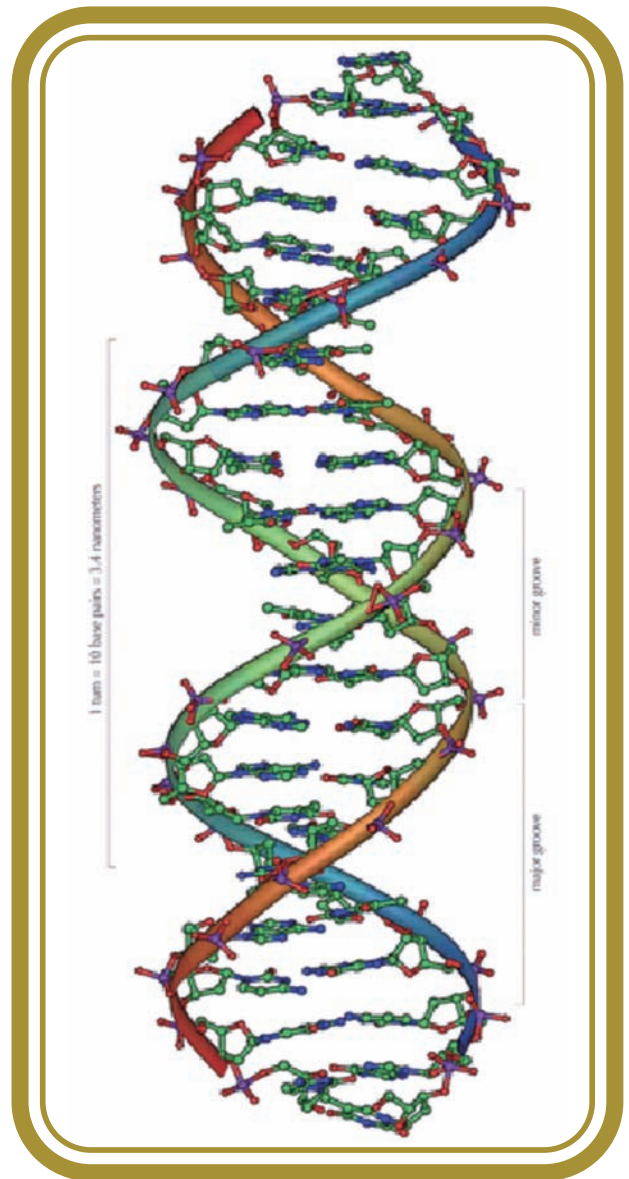
靈機一動

大家對 DNA 的結構和它的重要性
都不會陌生，但你不一定知道當初華
生和克里克發現 DNA 結構的來龍去

脈。本文參考的是華生的 *The Double Helix* 一書和 2003 年（DNA 五十周年）英國 BBC 和《自然》（*Nature*）的專輯報導。

化學家用 X – 光晶體學來決定分子的結構，1952 年倫敦大學國王學院（King College）的 X – 光晶體專家魏爾金斯（Marice Wilkins）和弗蘭克林，初步測量出 DNA 是一種聚合物，它含有許多重複的去氧核糖（deoxyribose）、磷酸、4 個有機鹼基等。在一個偶然的機會，華生和克里克看到弗蘭克林實驗室做出的 DNA 的 X – 光底片，於是開始推敲 DNA 的結構。

按照 X – 光的晶體分析數據，他們的第 1 個結構模型是雙股螺旋狀：去氧核糖和磷酸在螺旋的外邊，4 個鹼基在螺旋的內邊；4 個鹼基排列是同樣的鹼基相連，即 A – A，C – C 等，以符合 X – 光



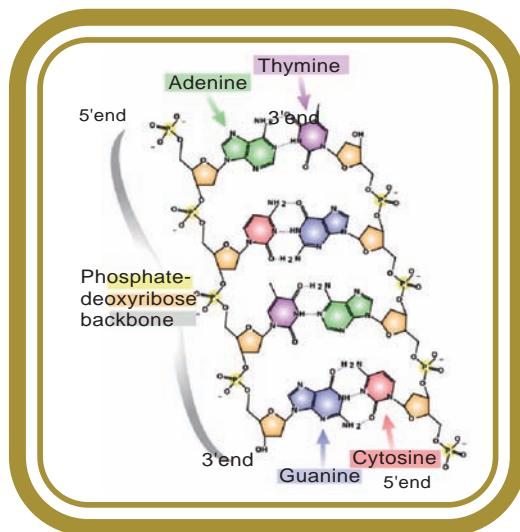
DNA 雙股螺旋結構

的晶體分析數據。但在這時候，美國哥倫比亞大學的查加弗（Erwin Chargaff）報導一個發現：生物體的 4 個鹼基有配對現象，A 和 T 成一對，而 G 和 C 成對。於是華生和克里克就把原來的結構模型改成 A – T 和 C – G 配對，但是 DNA 鹼基能有不同的互變異構物（tautomers）。

這時候，另外有一位來自加州理工學院的年輕物理化學家唐諾休（Jerry Donohue）和華生同一個辦公室。唐諾休的專長是 X – 光晶體學，華生把他的 DNA 結構模型給唐諾休看，唐諾休馬上給華生潑冷水，說他用的鹼基是錯誤的異構物，但是華生說那些是課本上的標準鹼基結構。華生改用唐諾休

建議的異構物，但是拼出來的結構模型仍然不符合 X 光的晶體實驗數據。

第二天一大早，華生把他紛亂的桌面清理乾淨，重新排列他的雙股螺旋 DNA，把鹼基換來換去，而用氫鍵把配對的鹼基連接起來。突然間，他發現當使用 2 個氫



在 DNA 雙股螺旋結構中，鹼基對是以 A - T 及 G - C 成對的方式排列的。

鍵連接 A 和 T 鹼基時，和用 2 個氫鍵連接 C 和 G 鹼基時，有相同的形狀，他馬上請唐諾休鑑定新結構。一有了唐諾休的肯定，華生和克里克再討論一些細節，很快就寫好一篇短文寄到《自然》，報告他們提出的 DNA 結構。

掌聲回響

《自然》報告的頭二句是這樣寫的：「我們希望提出一個 DNA 鹽的結構圖，這結構具有一些新穎的特色，會有相當重要的生物關聯。」(We wish to suggest a structure for the salt of deoxyribose nucleic acid (DNA). This structure has novel features which are of considerable biological interest.) 非常謙遜，但也可能他們並沒有想到 DNA 結構的發現會引起 50 年來的生物科技大革命。華生和克里克是根據弗蘭克林的 X 光晶體數據推理出 DNA 的結構，如果不是弗蘭克林因癌於 1958 年去世 (37 歲)，3 個人就該分享諾貝爾獎，而不是華生、克里克和弗蘭克林的同僚魏爾金斯 3 人分享。

DNA 的結構奠定了基因、醫學和分子生物的基礎，所有的生物包括細菌、花草、蜜蜂、人等，都利用同樣的 4 個鹼基「密碼」語言來營造生機。人類的細胞裡含有大約 3 萬個基因，一個基因只是

DNA 的一小段，每一基因含有幾萬到幾十萬的鹼基對。基因會發出指令製造蛋白質，進而推行生命機制。人的生機是依賴基因的表現去合成蛋白質，每一個基因負責製造一種蛋白質。

三十幾年後，美國莫理斯 (Kary B. Mullis) 於 1986 年發明聚合酶鏈鎖反應 (polymerase chain reaction, PCR) 而獲得 1993 年諾貝爾化學獎。PCR 能無限量地複製 DNA，開拓了生物科技、基因工程的新領域。人類的基因圖譜就靠 PCR 和一些新科技才能於 2002 年完全解讀出來，解讀基因組合密碼就像在字典找到新字，後續工作是要找出基因製出來的這些蛋白質的結構和功能。PCR 的發明也促進基因、遺傳、疾病的關聯研究，得以探索生老病死的奧秘。

如果沒有華生和克里克的 DNA 結構發現在先，莫理斯的 PCR 發明在後，許多遺傳疾病的醫療大概會仍然束手無策，生物科技也不會有近年來一日千里的進展。 □

深度閱讀資料

Watson, J.D. (1968) *The Double Helix*, New York, Atheneum.

Watson, J.D. and Crick, F.H. (1953) A structure for deoxyribose nucleic acid, *Nature*, 171, 737-738.

Nature, 50th Anniversary of DNA special edition, April, 2003.

http://nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1962/index.html

2009年全民玩科學

「50科學之旅」 上路囉！

想製作一個連哈利波特都捕捉不到的「金探子」嗎？
想組一部太陽能車與人競速嗎？
想知道六子棋為何比五子棋公平嗎？
想知道如何運用科學知識在野外求生嗎？
生命密碼DNA要如何萃取？物種保育如何進行？
奈米世界是什麼模樣？無線感測科技如何讓生活更有智慧？
什麼是現代科學神燈？裡面住的巨人提供哪些服務？
台灣的能源夠用嗎？再生能源與替代能源有什麼不同？

想探索更多更有趣的科學，

你絕對不能錯過由國科會主辦、各大專院校及學術研究機構承辦的「50科學之旅」

共有50條以上的路線、200多個梯次，

帶您體驗各類科學主題研究發展、揭開科學研究機構的神祕面紗。

今年的每個月都有活動喔！趕快和親朋好友相約來玩科學吧！

活動網址：<http://www.nsc.gov.tw/50th/>

洽詢專線：週一至週五，9:00至17:00，(02)2737-7595 何小姐

◎凡報名參加本活動者，即可獲贈優質科普雜誌《科學發展》月刊1本。

◎參加的教師與公務人員將核發研習時數與終身學習時數。

◎偏遠地區與低收入戶學生參加活動有特別補助。