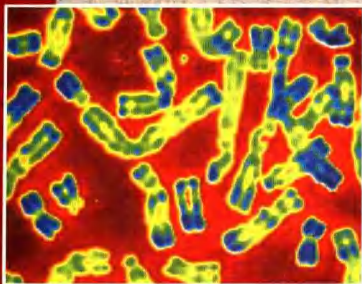


The World of Science Encyclopedia

牛頓

現代科技大百科

生物技術



Newton

牛頓現代科技大百科 20 生物技術

出版者 / 牛頓出版股份有限公司

負責人：高源清

原著者名稱 / Biotechnology

原出版社 / Equinox (Oxford) Ltd.

譯者 / 陳燕珍

發行所 / 牛頓出版股份有限公司

地址 / 臺北市和平東路二段107巷25-1號一樓

電話 / 7061976 • 7061977 • 7059942 • 7062470

郵撥 / 1179402-3 牛頓出版股份有限公司

製版 / 詮盛彩色製版有限公司

印刷 / 仲一彩色印刷股份有限公司

單冊定價 / 新臺幣 750元

初版 / 1989年10月15日

出版登記證 / 局版臺業字第3139號

法律顧問 / 林樹旺律師

• 版權所有 • 翻印必究 •

本書如有缺頁、破損、裝訂錯誤，請寄回本社更換。

Printed in Taiwan, R.O.C. 1989

ISBN 957-627-000-6

ISBN 957-627-007-3

總編輯 / 劉君祖

科學主編 / 陳育仁

科學編輯 / 高孟忱 • 劉曼君 • 李傳楷 • 曾月卿

柳絲絲

美術主編 / 洪家輝

美術編輯 / 傅華麗

封面企劃 / 陳融賢

The World of Science Encyclopedia

Biotechnology

Contributor

John Hodgson

Editor

Mike March

Designers

Niki Overy

Frankie MacMillan

Picture Editor

Alison Renney

Picture Researchers

Rose Taylor

Mary Fane

Design Consultant

John Ridgeway

Project Director

Lawrence Clarke

Advisors

Bernard Dixon

Steve Connor

Index

Barbara James

John Baines

Production

Joanna Turner

Clive Sparling

Typesetting

Anita Rokins

Media Conversion

Peter MacDonald

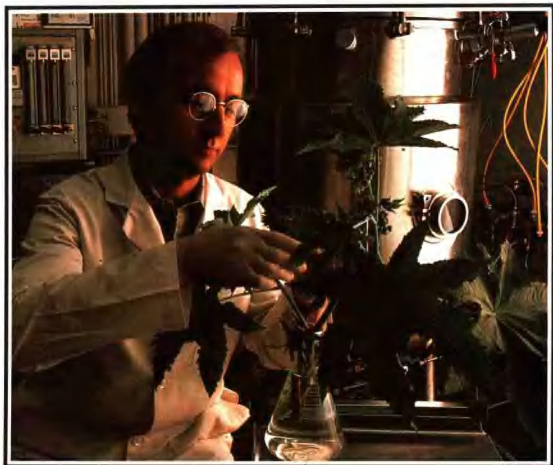
computer generated molecular
graphics by Chemical
Design Ltd,
Oxford, using Chem-X software.

The World of Science Encyclopedia

牛頓

現代科技大百科

生物技術



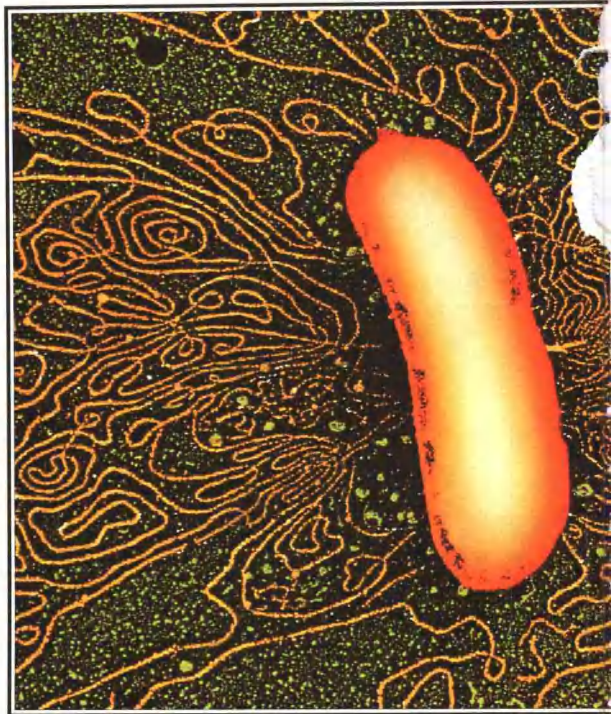
Newton

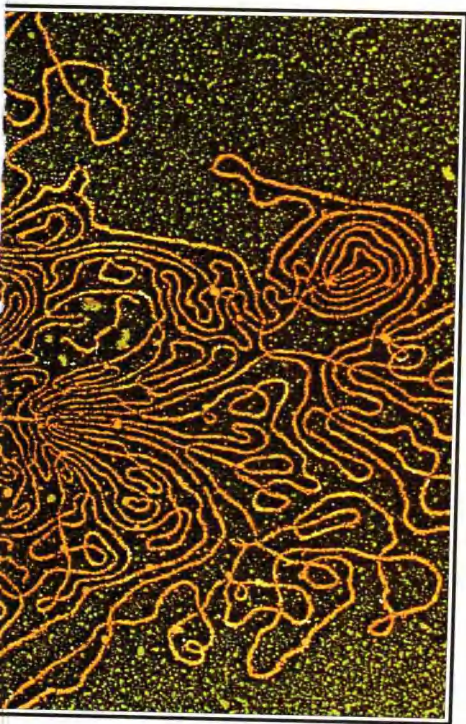
牛頓出版公司

1197013



21197013





目 錄

1	生命的化學	5
2	生命的訊息	29
3	生命的結構	45
4	生物技術與農業	71
5	生物技術與醫療保健	91
6	生物技術與社會	111
語 彙		126
索 引		128



生命的化學

細胞與生物……細胞的共生……物種間的差異……遺傳藍圖……因子與優勢……染色體與基因……DNA：成分與結構……解開DNA密碼……解碼裝置……複製的機制……基因選殖……限制酶……載體

微生物和病菌

凡是個體大小、肉眼看不見的生物皆稱為微生物(microorganisms)。而會致病的感染性微生物則稱為病菌。微生物有四大類：細菌、真菌(fungi)、病毒(viruses)和寄生生物。

細菌引起的疾病有霍亂、傷寒、黑死病、炭疽熱、百日咳、破傷風、白喉、癩病、淋病和梅毒。一萬多個細菌能聚集成直徑0.5毫米的點。光學顯微鏡下細菌像透明小球，有時則呈含孢子的菱形小塊。細菌長至固定大小後乃一分為二以進行繁殖。大多數細菌並不致病，有許多且對人類有益。完全健康的皮膚每平方公分可能有超過一千萬個細菌在上面。這些細菌能防止有害的(致病的)生物感染人體。細菌還能將牛奶轉變成乳酪與酸奶，而且能生產許多抗生素、食物調味品——如醬油、味精與醋——及有價值的化學品。

真菌比細菌大很多而且較複雜。雖然，單一真菌直徑可能只有千分之幾公分，但它們通常長成絲狀。麵包上看到的霉菌和藍乳酪的藍色，都是絲狀真菌。有時絲狀物聚在一起而形成叢類或毒霉。只有一百種左右人類疾病由真菌所引起，其中包括極輕微的疾病如金錢癬和香港腳。青黴菌能產生抗生素盤尼西林(penicillin)。

酵母菌是具特別形態的真菌，外表如圓球。酵母菌曾引起一些疾病(如糖尿病)，但其較為人熟知的則是在製造啤酒和酒中所扮演的發酵角色。

病毒比真菌或細菌都較小且簡單。一個這點能容下十萬個大型病毒。病毒侵入其他生物並接管其生長程序以產生更多的病毒。由病毒所引起的疾病有流行性感官、感冒、肝炎、黃熱病、愛滋病(又叫做天性免疫不全症候羣)、症、天花、小兒麻痺、狂犬病等人體疾病。許多重要的植物和動物疾病(例如：菸草嵌紋病和口蹄疫)皆源於病毒。病毒也會侵襲細菌，這類病毒稱為噬菌體(bacteriophages)。

寄生生物是一羣相當複雜的生物，能導致人體和動物疾病，如瘧疾、昏睡症和疥癬。瘧疾寄生生物為鐮狀瘧原蟲(*Plasmodium falciparum*)有兩個寄主——人和蚊子——及至少五種不同的形態。

數世紀以來，科學家一直在探討生命物質的本質。為甚麼生物(organism)有別於無生物？一條狗和一條鯊魚的區別在那裏？蜜蜂與人類又有何不同？生命之間是存在足以證明它們為什麼是活著的相似性呢？

所有的生物都由極小的間隔——細胞(cells)所組成，而只有細胞才能產生細胞。細胞是生命的基本單位，一切生命皆由細胞建構而成。像植物、動物和人類等高等生物，皆由數百萬個細胞組成，這些細胞聚成各器官能各具功能。細菌(bacteria)則是單細胞自足性的微生物。

細胞大小(size)不一，從直徑一至二微米的細菌到直徑約有一微米的大多數動物細胞，有些特化細胞則更大。某些鳥類的卵細胞直徑可能超過十公分，而溝通長頸鹿腦及腳趾的神經細胞則有四至五公尺長。細胞是微小而複雜的化學囊，外面圍一層既薄且富有彈性的「皮膚」——細胞膜。細胞膜把細胞的內含物圍在一起，並且控制成分的進入與廢物的運出。大多數植物和微生物的細胞外層另有堅固的細胞壁。

細胞最重要的性質，是具有利用有生命物質進行自我複製的能力。事實上，這種自我永存的能力即可視為生命的定義。有生命的物質不需要外來的指示即可進行複製，而無生命體則無此能力。



▲生命的建構單位——放大一萬倍的蟎蟎核細胞其中細胞核(nucleus，在中央部分)統籌細胞的建構、維持和活性。細胞內部由高度組織化的網狀膜成分許多區域。

細胞與生物

儘管生命有各式各樣的差異，然而所有生物體的細胞都有極相似的成分和功能。若以化學的觀點來看，細胞都是一樣的。氧、碳、氮和氫占細胞成分(components)的百分之九十五，另外也有少量的鈣、鎂、鉀、硫、氯、鎂及其他元素。

不同生物的細胞在生化方面也是極為相似的。科學家現在知道像人類、老鼠、大腸桿菌(*Escherichia coli*)和菠菜這些差異性很大的生物，其主要的生化途徑(製造細胞重要結構的系列反應)差異有限。雖然科學家深入研究的生物只有少數幾種，但他們確信這種生化上的相似性(similarities)可以延用到所有生物上。

達爾文(Charles Darwin, 1809~1882)提出的「自然淘汰」(natural selection)理論，牽涉到地球上複雜的生物種類可能是從單一的原始生物演化而來的概念。生物如此相似是因為它們有一個共同祖先。生命出現後的二十億年內，所有的生物都是原核生物(prokaryotes)，它們與今日的細菌一樣，缺乏明顯的內部構造。然後，大約在十五億年前發生了重大的演變，真核生物(eukaryotes)出現了。原核生物變成真核生物的過程並不清楚，但它們確有區別：真核細胞內有構造性元素——胞器(organelles)——將每個細胞分隔出各種間隔。

原核生物通常是單細胞生物，而人類、動物、植物、昆蟲、真菌和酵母菌等多細胞生物則是真核生物。在這些高等生物中，細胞相互合作。真核生物的組織和器官就是由細胞組合而成。每種器官裏的細胞都有不同的功能。例如，動物胰臟的細胞製造幫助食物消化的物質；肝細胞貯存脂肪並製造膽汁；腦細胞則傳達並接收來自身體其他細胞的化學訊息。細胞也形成骨骼、皮膚、毛髮和肌肉。另外一些細胞則製造抗體，以抵禦侵入的細菌，或者製造腎上腺素(adrenalin)。

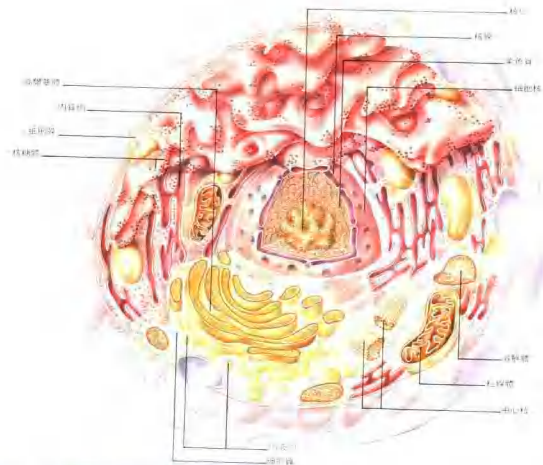
遺傳藍圖

就像其他工程一樣，要建構像細胞這般複雜的構造，需要藍圖及精確的施工設備。而這設備就是細胞本身及其成分，藍圖則是遺傳訊息。不管是囊袋、腎管或大腳趾的細胞，其藍圖都是一樣的。儘管每個細胞均由類似的化學建構組成，但結合萬用藍圖裏的不同組件，卻能建造出各種不同的細胞。

所有生物的獨特外表都由遺傳訊息決定，它控制細胞生長及其發展成組織的過程。研究細胞遺傳訊息的遺傳學，對科學家瞭解大自然有著深遠的衝擊。而今生物技術學家已能解讀遺傳訊息，可將之從一個細胞取出並送入另一個細胞。接收遺傳訊息的細胞，其生化機制也能翻譯這些多出來的訊息，並重現它在原來細胞中一樣的功能。生物技術學家詳細了解生命藍圖之後，就能設計出有新功能及新特性的生物。

▶ 進行分裂的細菌——金黃色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)。在內部長出兩層如生物體四周堅硬細胞壁一樣の間隔，將細胞一分為二。細胞壁繼續生長，兩個球形子細胞分離。每個細胞含相同之遺傳物質且能各自獨立生存。它們於分離後半小時，本身能再分裂。金黃色葡萄球菌的快速生長導致人體起膿瘡。像盤尼西林這類抗生素可破壞其細胞壁，使生物體破裂。死去的生物個體之碎片見於照片上方。





◀典型的動物細胞。細胞核含遺傳訊息，外圍細胞核膜。其他胞器也有膜。因此，不同的生化反應能在細胞的不同區域進行。植物細胞的組織與此雷同，不過細胞外圍多一層主要由纖維素組成之堅硬細胞壁。



細胞的共生

原始的真核細胞可能並不是極有效率，因為它們無法從食物的生化物質中取得較多的能量。不過，自從能產生較多能量的簡單生物侵入細胞後，情況馬上改變。真核細胞提供保護和食物給侵入者，以換取能量。此為共生之實例，兩種生物之間互相都有利益。

粒線體(mitochondrial)是第一個被演化學者認為屬於共生細菌之胞器。粒線體的大小與細菌類似，具有極為神妙的功能，在演化早期扮演真核細胞之「電池」角色。粒線體的複製及蛋白質之產生均與細菌所有的極為類似。每個粒線體皆有一小段自己的DNA——它曾獨立存在之證據——負責複製與能量生產有關之功能。

第二個源自共生原核細胞的重要胞器為葉綠體(chloroplasts)，它只見於植物和藻類(algae)之中。細胞藉由共生作用取得另一種能量來源——來自太陽之光能。葉綠體與粒線體一樣，也包含有一小段自己的DNA，來錄製胞器數種重要的功能。具活性之光合作用細胞裏可能包含有數量達到好幾百個的葉綠體。

◀豆科植物葉片細胞之葉綠體。葉綠體為負責行光合作用(photosynthesis)之胞器，可能由古老的藍綠菌消化而來。葉綠體把光和二氧化碳轉化成化學能，收集光能的綠色色素葉綠素(chlorophyll)，為在葉綠體的層狀構造中。中央的橢圓形為澱粉粒是植物貯存能量之所。

特性及因子

到底是什麼決定細胞的特性？生物又如何將其特性傳給下一代？物種如何演化？為什麼許多生物都有雌性與雄性之分別？這些都是遺傳學家想解答的問題。

遺傳學的開山祖師是奧地利的修士孟德爾 (Gregor Mendel, 1822~1884)。在一八六六年，孟德爾的實驗發表之前以及發表以後很長的一段時間，科學家都確信父母的特性融合在下一代身上，其機制就像顏料的混合一樣。孟德爾在修道院裏種植豌豆，並從事一連串的豌豆實驗，反駁了上述的理論。孟德爾說明其實驗結果時，做了兩項假設，從此奠定遺傳學的基礎。第一，他認為生物含有未知的「因子」(factors)，決定生物及其後代的特性。孟德爾並認為這些「因子」以配對的方式存在，因此每個新個體從其親代中各得一個，而且親代植物也只會將其「因子」對中的一半傳給下一代。第二，他假設成對的「因子」若不一樣時，其中一因子會比另一因子占優勢，而由優勢因子來決定生物的特性。

孟德爾利用純系植物——交配同品系的植物，就會製造同品系的後代，也就是純系植物——做實驗並說明其結果。純系植物含有完全相同的「因子」。若用純系矮生種與純系高生種交配，每個後代都會從矮生種承襲一個矮生因子，從高生種承襲一個高生因子。由於高生因子為優勢因子，所以所有的後代都是高生種，雖然子代含有矮生因子，表現出來的特性也仍是高生種。這些含「混合因子」的植物自交以後，四分之一的一子代會傳承兩個高生「因子」，四分之三之一會傳承兩個矮生「因子」，而剩下的二分之一則傳承「混合因子」。只有不含高生「因子」的植物才是矮生種，其餘皆為高生種。因此，植株高矮的比例是3:1。

孟德爾發現交配實驗若加入第二個「因子」，其3:1的特性會與第一個3:1重疊。豌豆種皮圓滑的純系高生種，與種皮皺縮的純系矮生種交配以後，第一代植物都是種皮圓滑的高生種。而在第二代，他看到種皮圓滑高生種：種皮皺縮高生種：種皮圓滑矮生種：種皮皺縮矮生種的比例是9:3:3:1。所以，孟德爾告訴我們生物的特性乃是依據比例並以可預期的方式來代代相傳。親代會將「因子」傳給下一代，而子代的特性則由傳承因子交互作用後的結果而定。後來，科學家們用「基因」(gene)來取代孟德爾決定遺傳特性的「因子」。

一八六八年，也就是孟德爾發表豌豆實驗以後兩年，瑞士生物學家密雪爾 (Friedrich Miescher, 1844~1895) 從變存在廢棄外科繃帶的膿細胞中分離出含磷的多聚體（許多相同或相似的單位所組成的複雜物質），這就是DNA（去氧核糖核酸）。密雪爾等科學家先後在各種生物的細胞內發現此物質。但在當時，並不認為DNA與遺傳之間有任何的關連。的確，即使在科學界已確立並接受孟德爾的遺傳法則後，DNA仍被忽略，大家並不認為這可能就是遺傳物質。



▲遺傳學之父孟德爾。孟德爾是奧地利科學家，於一八六六年發表豌豆植物的特性如何代代相傳。其他科學家未會注意他發表的報告達三十餘年之久。



染色體：基因和DNA

十九世紀末，染色體(chromosome)已被發現。在顯微鏡下可以看到染色體在細胞核內呈染色較深的條狀。染色體成對出現而且結構嚴密，因此細胞分裂時，每個子細胞都能傳承一套完整的染色體。一九〇三年，熟悉孟德爾豌豆實驗的美國生物學家桑頓(William S. Sutton, 1877~1916)，推測染色體就是遺傳的物質基礎。

一九二〇年，人類知道染色體含有DNA和蛋白質。化學家將DNA分解成基本成分並分析之。DNA的成分簡單，而且所有生物的DNA都很相似。另一方面，蛋白質則是由二十種不同的單位所構成極複雜的分子。因此，當時普遍的看法是蛋白質才是遺傳物質而不是DNA。DNA只不過是在蛋白質進行複製時，把蛋白質組成一條線的「助手」而已。

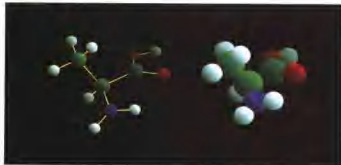
一九四〇年代早期，美國化學家艾維利(Oswald Avery, 1877~1955)製出含99.98%純度的DNA(0.02%蛋白質)，並轉型(transform)到細菌體內。其轉型活性被分解DNA的去氧核糖核酸酶(DNAase)所破壞，但不受制於只分解蛋白質的酶。這項實驗最後終於說服大部分的科學家相信，DNA才是遺傳物質的「轉型原則」(transforming principle)。

◀生命物質主要由六種原子(atoms，以色球表示)組成。原子集結而成分子(molecules)。原子之間的連型稱共價鍵，在「球棒」模型(ball-and-stick model)中以黃棒表示。在「填空」模型中，原子尺寸依大小比例，但原子間之價鍵則無法表明。

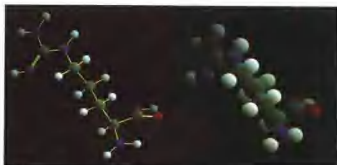


◀純的遺傳物質DNA。科學家要取得純DNA，須先把生物組織盡量磨碎，然後把所有細胞打破，接著耐心去除破裂的細胞壁和細胞殘骸，下一步則是去除液體表面所有其他大型分子(蛋白質、RNA)。

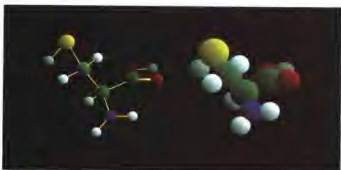
氨基酸



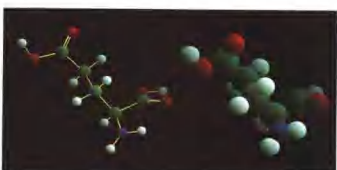
丙氨酸



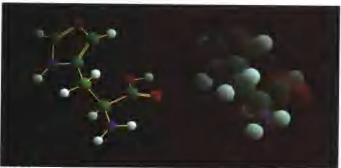
精氨酸



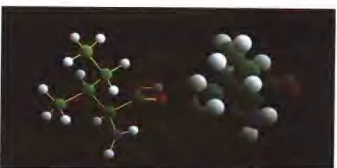
半胱氨酸



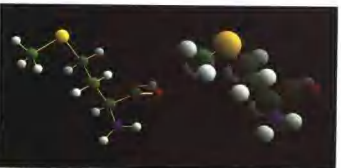
精氨酸



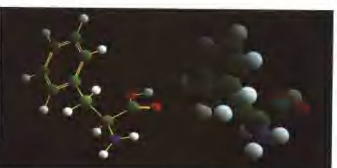
组胺氨酸



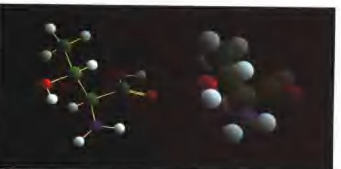
腺氨酸



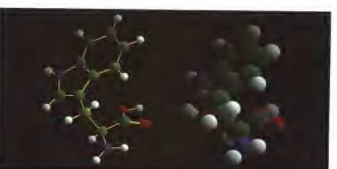
甲硫氨酸



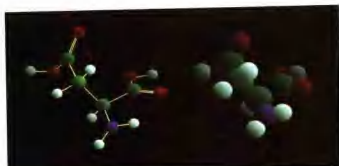
天冬氨酸



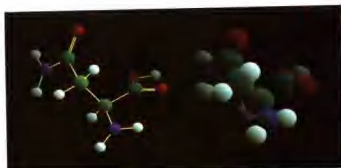
谷氨酸



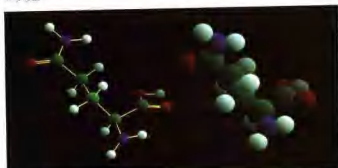
天冬氨酸



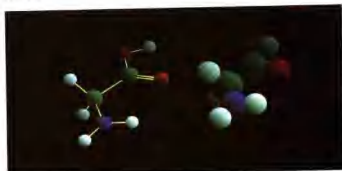
丙氨酸



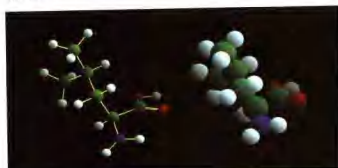
天冬氨酸



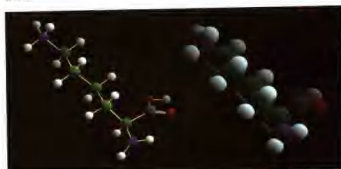
谷氨酸



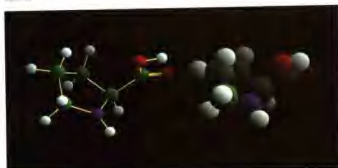
丝氨酸



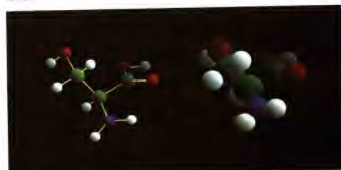
苏氨酸



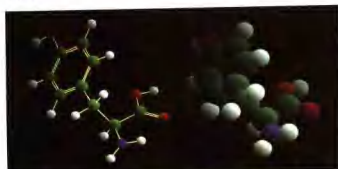
缬氨酸



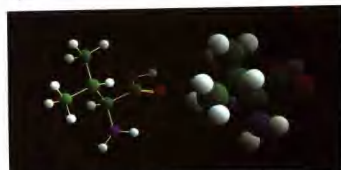
异亮氨酸



苯丙氨酸

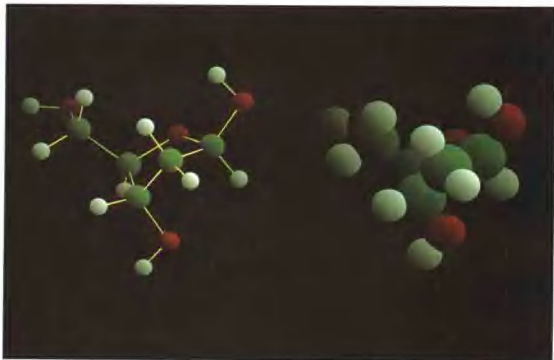


酪氨酸

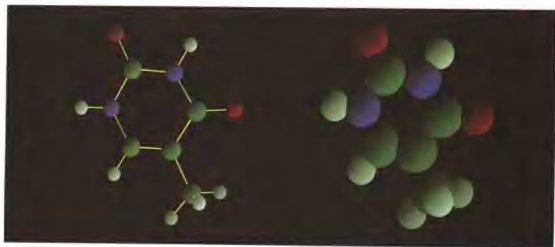
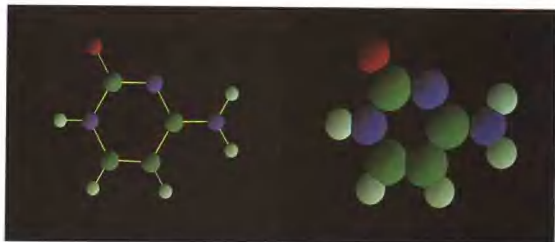


组氨酸

► 醣類分子去氧核糖(deoxyribose)。三個活性氫原子(與氧原子相連)皆與DNA之其他化學次單元相連。第四個活性氫原子不存在(因此是去氧)，使DNA的化學性極穩定。



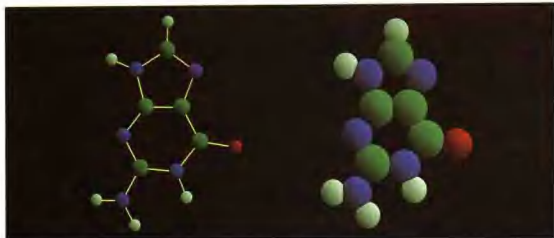
► 胞嘧啶(cytosine, 右)與胸腺嘧啶(thymine, 左)皆屬嘧啶化合物(pyrimidines)。在DNA鹼基左邊的氧原子(藍色)與上方DNA分子(上)的氫原子(紅色)形成價鍵。鳥糞嘔哈(guanine, 極右)和腺嘌呤(adenine, 極右下)是DNA的嘌呤鹼基。用位於模型左上角的氧原子與去氧核糖相連。



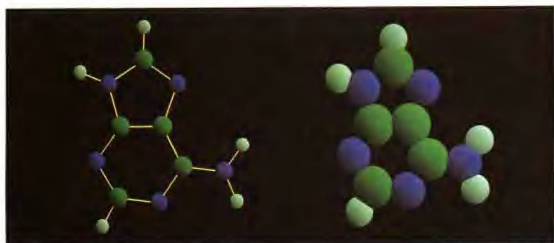
DNA的組成與結構

二十世紀初以來，化學家致力於解開在細胞核內發現的大型分子「核酸」(nucleic acid)的化學結構。他們知道這些物質為一直含有磷酸鹽(phosphate, 磷氧氣結合的酸性化合物)的一種特別的「類」，以及數種稱為鹼基的有機化合物。發現於染色體的核酸稱為去氧核糖核酸(DNA)，因為經化學分析發現它含有高量的去氧核糖。DNA的鹼基有四種，皆由氮原子排列成環狀，即腺嘌呤(A)、鳥嘌呤(G)、胞嘧啶(C)和胸腺嘧啶(T)。不過，當時的化學家無法猜測這些單位是如何組合的。

起初科學家認為所有生物的DNA，其鹼基組成的總數皆相同，這也是他們反對DNA是遺傳物質的力證。不過，沙卡夫(Erwin Chargaff, 1906~)在一九四〇年代末和一九五〇年代初，發現DNA的鹼基組成隨物種的不同而有很大的差異。人類腺核苷(adenosine, A)和胸腺核苷(thymidine, T)的含量是鳥嘌呤核苷(G)和胞嘧啶核苷(C)的1.5倍；黑麴黴菌(*Aspergillus niger*)四種鹼基的比例則相反；有些生物則是腺核苷和胸腺核苷的數量少於鳥嘌呤核苷和胞嘧啶核苷。因此，DNA有足夠的變異度可當遺傳物質。



◀沙卡夫發現生物的DNA四種鹼基含量不同，而且腺嘌呤的量與胸腺嘧啶的量相同，而鳥嘌呤的量與胞嘧啶一致。而且嘌呤量(G和A)等於嘧啶量(C和T)。沙卡夫的發現是說明DNA構造線索。



在沙卡夫分析DNA成分的同時，英國化學家陶德(Alexander Todd, 1907~)則鑽研其結構。他發現每個糖分子都用磷酸鹽基與另兩個糖分子相連。他的結論是：DNA是以去氧核糖和磷酸鹽為骨架串成的線狀分子，且在每個糖分子上接有一個鹼基。DNA是多聚體，而重複的糖-磷酸鹽-鹼基所組成的單位則稱為核苷酸(nucleotides)。

一九五〇年代早期，倫敦國王學院的化學家富蘭克林(Rosalind Franklin, 1920~1958)和物理學家威爾金斯(Maurice Wilkins, 1916~)，用X光結晶學探討DNA的結構。華生(James Watson, 1928~)和克里克(Francis Crick, 1916~)利用他們的結果於一九五三年提出DNA結構的假設。華生和克里克提出的結構，它是由DNA平行但方向相反的兩股DNA構成的螺旋體，分子內部由極弱的化學作用力——氫鍵(hydrogen bond)來拉住其兩股。氫鍵在鹼基之間形成，腺嘌呤通常與胸腺嘧啶形成氫鍵，而鳥糞嘧啶則與胞嘧啶形成氫鍵。其他的組合(A=G、A=C、G=T、C=T)則因鹼基對之間無法形成適當的氫鍵而不存在。由糖-磷酸鹽為骨架形成的兩股則位於雙螺旋體的外側。

華生-克里克的DNA雙股螺旋模型是一大成功，它包容了DNA所有已知的物理及化學特性，而且，兩股的鹼基配對亦說明了基因複製的機制。假使雙股螺旋解開，每股都可以當模板，以引導合成相對應的新股。科學家終於明白DNA如何由一變二，也發現了DNA複製的方法。

DNA的糖-磷酸鹽骨架上連接的鹼基序列正是生命的訊息。僅含四種鹼基(A、T、C、G)的DNA長鏈竟能引導製造含二十種單位(即胺基酸, amino acid)的蛋白質長鏈，所以DNA的訊息必須轉換成蛋白質的訊息。那時有許多看似合理的翻譯密碼被提出。

►DNA的鹼基配對 華生和克里克用硬紙板形就探討DNA的建構單位如何聚集在一起。電鏡模型說明四個鹼基構成兩對——腺嘌呤和胸腺嘧啶配對，鳥糞嘧啶和胞嘧啶配對(標右)，並以弱鍵氫鍵(鍵較長)牽合配對。含正價氧原子(白色)若位於兩個為價氧原子(藍色)或氧原子(紅色)之間間能形成氫鍵。GC配對含三個氫鍵，比含二個氫鍵的AT配對有較強的牽合力。

►複製DNA中央的鹼基配對(球形)把兩股DNA牽在一起。DNA複製時，氫鍵斷裂，雙股鏈分開。兩股半親鏈當模板，合成兩份新雙股鏈。鹼基間特殊的連結方式確保新雙股鏈與舊的一樣。

►華生和克里克訪倫敦國王學院的福蘭克林和威爾金斯實驗室時，所看到的DNA X光鏡射影像。點分布的形式及距離給他們有關DNA結構之重要訊息，其中最重要的是展現分子形狀像伸縮彈簧或螺旋體。



