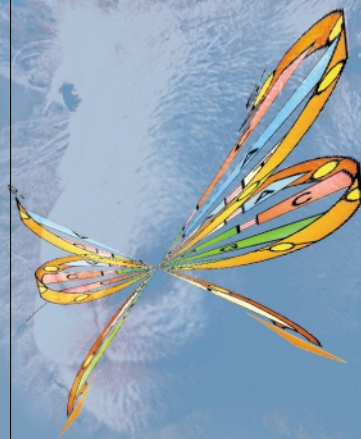


基因改造 的過去 與未來

地球是一個充滿生命的星球，在這兒，
各種生物所展現的生命跡象都有一些共通性。
只是，這麼多千奇百怪的生命現象與生物個體，
又具有哪些獨特的性質呢？



■ 演講人 / 周成功



一九四三年，量子力學創始人，物理學家薛丁格 (Erwin Schrodinger)，提出了一個令人著迷的問題：「生命是什麼？」他認為所有的生命體都具備下列兩個重要特徵：一是具有高度秩序的組織，二是具有可以遺傳到下一代完整的遺傳資訊。

兩個重要特徵

我們每天吃下各種食物，從食物中吸取有用的能量，然後建構一個有秩序的生命個體；把多餘的熱釋放到環境中，藉著環境中亂度的增加，來穩定生命體內部的秩序，這是生命的第一個特徵。而具有遺傳資訊，亦即具有基因，是生命體的第二個特徵。生命體裡面的遺傳資訊，會不斷地透過體內的「資訊處理系統」來展現生命現象的複雜性，並將遺傳資訊一代一代地傳下去。

兩個基本面向——蛋白質與核酸

如果將每一個細胞都看成是一個硬體，那麼，蛋白質就是硬體的主要成分，它的任務就是在身體裡執行催

化化學反應和組成身體的結構。而在每一個硬體裡，又都有一些軟體，這些軟體儲存在細胞核的核酸裡，主要用來儲存與複製資訊、指揮與控制硬體。

生命體的軟硬體是藉由什麼方式來交互作用呢？其實，每一個細胞裡都有一個非常複雜的化學結構，無數蛋白質在環環相扣的催化學反應中，形成密密麻麻的代謝反應網路。只要生命存在，這個網路就有條不紊地運作著。無論是複雜的代謝網路或各種結構的形成，都是由一組遺傳程式在控制與指揮，這組程式同時也負責把完整的遺傳資訊從上一代傳到下一代。

軟硬體互動密切

細胞是展現生命力的最基本單位。細胞本身是由蛋白質、醣類、脂肪所組成的硬體。在人體細胞中，除紅血球以外，每一個細胞都有一個細胞核，核裡面儲存著一些軟體和指揮生命運作的程式，這些程式相當多，若以人類為例，大概有三萬到四萬個之多。

由於生命體的程式都儲存在細胞核裡面，所以，當



接收到來自父母的遺傳資訊，照片中的小姊妹花有著相似的氣質。

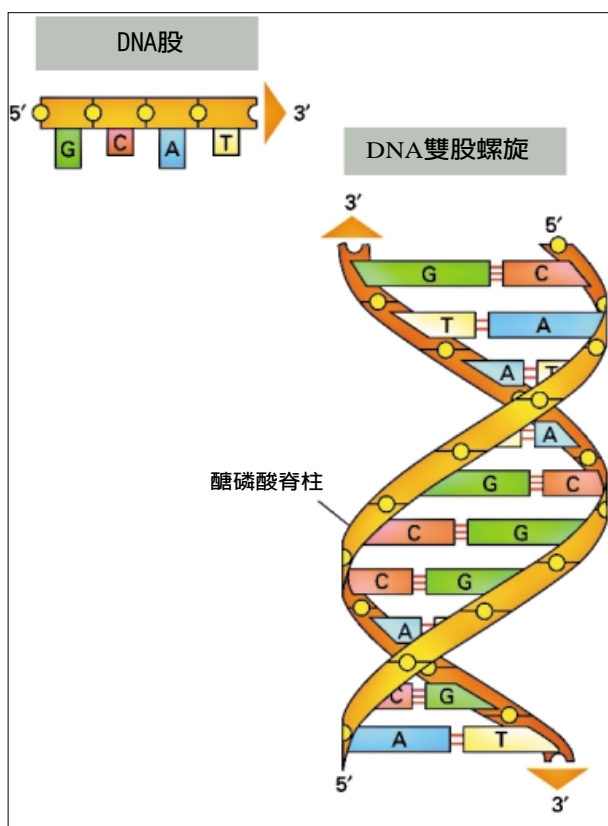
細胞開始運作時，只需從眾多程式中選取必要程式來執行即可。又由於細胞的主要成分是蛋白質，當一個細胞正在運作時，蛋白質直接影響細胞軟體的複製、抽取和表現。頗為明顯的是，生命體內軟硬體間的互動模式，與電腦軟硬體之間的運作情形相當類似。

我們在操作電腦時，光有硬體是沒有用的，必須有磁碟片儲存軟體或程式，儲存方式必須容易複製而且非常穩定。當我們執行工作時，先從硬碟裡面把程式叫出來，放進記憶體裡，記憶體裡儲存的資訊是暫時且不穩定的。在程式複製時，程式也不會自己複製，必須仰賴硬體去複製、修補、檢查。生命體內軟硬體間的交互作用，大致也是循著類似的模式進行。

ATGC配對 複製基因一模一樣

一九五三年，英國劍橋大學年輕科學家華生和克里克 (J. D. Watson and F. Crick) 發現，生命的遺傳資訊儲存在DNA結構中。這些遺傳資訊，可用ATGC四個密碼代表。DNA是兩條非常長，由ATGC四個密碼結合而成的化學分子，這兩條DNA分子互相纏繞，形成雙螺旋結構。仔細觀察雙螺旋間ATGC的對應，可以看出一個非常重要的配對關係，那就是AT與GC之間的準確配對。只要看到其中一條DNA分子上的密碼排列，即使沒有見到另一條，也可以馬上知道它的密碼排列是些什麼。A的對面一定是T；G的對面一定是C。AT、GC的配對關係，決定了儲存在雙螺旋DNA分子中的遺傳程式的資訊內涵。

細胞分裂時，會有適當機制確保在DNA複製過程中遺傳資訊不會發生任何錯誤！由於DNA的兩條分子是利用AT、GC的配對關係來決定資訊內涵，當複製時，雙股

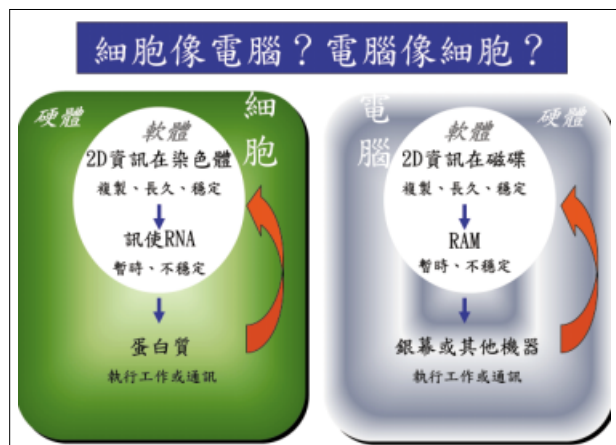


DNA的配對關係是AT與GC之間的連結。A的對面一定是T，G的對面一定是C。

DNA會打開，其中一股當作模版，製造出一新一舊的雙股DNA，新的DNA分子中所蘊含的遺傳資訊和原來的一模一樣，不會出錯。但再好的硬體也有出錯的可能，當DNA複製時發生錯誤，就形成了所謂的「突變」。生物體在演化過程中，就是因為各種基因突變而產生各式各樣的基因改造，並衍生出今日各種生命形式。

如果將基因遺傳程式當作一個相對於電腦的程式，一旦細胞受到不同的外界刺激，它就從三萬到四萬個遺傳程式中擷取必要的程式，指導細胞進行反應。人類的遺傳程式是由三十億個遺傳密碼所寫出，當人類基因組計畫完成後，這三十億個遺傳密碼的排列順序就完全決定，並公諸於世。除紅血球沒有細胞核，無法儲存遺傳資訊外，所有人類細胞中的遺傳密碼，都儲存在人類的23對染色體裡。

了解生命與基因之間的關係後，我們再來看看地球上最早的生命形式是如何受到基因的影響，它不僅改變了自己，同時也改變了整個地球的環境。地球上最早的生命形式是單細胞生物，這些單細胞生物吸收環境中的



有機物維生，但有機物終有吃完的一天，無力改善自己去獲得新的能量的生物，是注定要消失的！

第一次基因改造——單細胞行光合作用

在今天的地球大氣層中，氧氣大約占20%。但在四十億年以前，生命剛在地球上出現時並沒有氧氣。突然間，某些單細胞生物的基因經過系列的改造工程，能讓細胞開始從太陽光中取得能量，這些細胞除了能自食其力外，同時釋放出對當時地球上的生命非常陌生的東西——氧氣，這就是光合作用的開始。光合作用將太陽光轉變成生物可以利用的化學能，同時把水分解，釋放出氧氣，這是地球上生物最重要的一次基因改造工程。

對當時大部分的生物而言，氧氣不是個好東西，它的化學性質活潑，最嚴重的氧化作用就是燃燒，這對大部分生物來說都是個災難。雖然大自然的這一次基因改造，讓某些細菌得到了光合作用的能力，但也同時產生了地球上最嚴重的一次空氣污染。

第二次基因改造——細菌具備氧化能力

光合作用出現之後，某些生物行光合作用並釋放出氧氣，造成地球上最嚴重的空氣污染。一些原本生活在無氧環境中的生物，完全無法忍受氧氣所帶來的破壞，最後造成地球上大部分生物的死亡。



植物行光合作用，自食其力、不會移動。動物快速移動，倚靠吞食其它生物維生。動植物共同造就了地球上繁複的生物世界。

幸好，每個生物都配備了可以被改造的基因。因此，新的基因改造讓細胞具備能夠利用氧的能力。這些新的生命形式把禍害的「氧氣」變成生命運作中所需要的氧化劑。

第三次基因改造——單細胞的共生互利

當生物開始利用氧來執行生命運作時，能量的使用變得更有效率，生物種類也就變得更為繁盛。但在生態環境中，競爭是無可避免的！生物彼此間經常處在一種相當緊張的狀態中，它們彼此競爭、吞食。於是，地球上出現了第三次重要的基因改造。

弱肉強食的生存模式在地球上早就是常態！但是，當一個大細胞碰到一個有能力利用氧來燃燒食物並取得能量的小細菌時，它卻可能寧可和小細胞和平共存，讓小細胞來協助自己取得更多能量，這種「共生互利」的現象，是地球生命史上非常重要的精神：生命間的互動，不見得要把另一個生命消滅，共生互利有時候比完全消滅對方來得更好。今天留存在每一個多細胞個體中，個別細胞中的粒腺體，很可能就是十五、二十億年前，因為共生所遺留下來吞食的痕跡。

三十五億年前，地球上出現第一個單細胞之後，在漫漫歷程中，許多單細胞生物變成多細胞生物。多細胞生物的誕生，反映了協力廠群的需要，因為，當許多單細胞結合在一起成為協力廠群以後，就可以透過分工，共同去完成任務。

植物有葉綠體且不能移動

地球上的生命，在由單細胞形成多細胞的過程中，分成兩條不同路線，導致植物與動物的分別。而植物和動物的最大不同，在於植物有葉綠體卻沒有行動能力。

植物有葉綠體行光合作用，可以自食其力，不需要依靠其它生物維生。所以，為了保護自我，在其體外形成一層非常堅固

的細胞壁，當細胞壁形成以後，植物果真變得非常安全，但是，卻失去了行動的能力。

與植物情況正好相反的是，動物細胞內沒有葉綠體，無法行光合作用，不能自食其力，必須倚靠吞食其它生物來取得能量。因此，動物細胞的結合，只能藉由細胞表面一些很黏的分子結合在一起。因為要吃掉其它生物，必須快速移動、尋找食物，還要偵測周圍環境，防止被其它生物吃掉。於是，動物世界衍生出極端複雜的生存策略。最後，動物與植物的兩條截然不同路線，造就了地球上繁複的生物世界。

基因改造有好有壞

在過去三十五億年間，生物世界的基因改造一直在進行著，從未停止過！無論是獲得新的，或者丟掉舊的基因程式，基因改造造成了身體結構和運作的重大改變，形成了整個生物世界中的多樣性。

基因改造使生物世界變得非常豐富，但有時也會帶來災難。例如，被細菌感染的疾病，原來可用抗生素治療，卻因為細菌的基因改造，讓它獲得新的能力，使得抗生素無效，而讓人與細菌間的戰爭變得尖銳與複雜。

肆虐台灣的SARS病毒是另外一個例子。加拿大實驗室和美國疾病管制局均曾對外公布，SARS病毒是一種由三萬個遺傳密碼所寫出來的病毒程式，研究人員從程式書寫的密碼排列順序中比對發現，SARS病毒是一個新的冠狀病毒，和人類已知的在火雞、牛、老鼠身上的冠狀病毒截然不同。

冠狀病毒利用RNA分子儲存遺傳資訊，它所扮演的角色很像電腦裡面的隨身碟。因為隨身碟不是電腦，要它發揮作用，必須先插入適當的電腦插槽；所以，SARS病毒裡儲存的遺傳程式在發作以前，必須先跑到一個真正的細胞裡，而冠狀病毒的外套蛋白質即相當於電腦插槽。一旦外套蛋白質與細胞結合，啟動了儲存病毒的遺傳程式，就好像電腦病毒進入硬碟一樣，SARS病毒會不斷地在人體內大量複製繁殖，並破壞宿主細胞。被SARS病毒感染的人，除了生病以外，在他身體裡的免疫系統也會全力動員起來消滅病毒。只是，免疫系統一旦動員起來，不只消滅病毒細胞，也會傷害人體自己的細胞。

農作物的基因改造

如果把某些可以消滅昆蟲的細菌基因送到植物裡面，讓它在植物細胞中產生細菌的蛋白質，只要昆蟲吃下這些蛋白質，就會對其腸胃道造成傷害而死亡，那些被植入細菌基因的「轉殖植物」就是一般人口中的基因改造作物。基改作物因為對病蟲害產生了抵抗力，因此可減少化學殺蟲劑的使用量。目前採用此技術生產農作物的地區，以美國、加拿大居多。

事實上，我們現在吃的玉米也是透過基因改造才得到的品種。五千年前地球上的玉米非常枯乾瘦小，幾乎不能吃。之後，因為基因的改變，讓玉米不再生長旁枝只生長主幹，就變成今天這種肥碩的玉米。

基改作物遭遇反對聲浪

雖然基改作物已出現多年，但是，仍有許多人對這類作物持反對態度，甚至擔心吃了會引起副作用。事實上，基因的產品是蛋白質，蛋白質吞到胃裡會被消化成爲養分。最壞的情況是，某些對蛋白質過敏的人，就像吃魚蝦過敏的人一樣，吃了基改作物以後也可能會過敏。但若要以此理由來反對基改作物，似乎有些小題大作。

當然，關心生態環境的人也擔心，基改作物會不會對環境造成影響呢？假設透過基因改造，在稻米的生長過程中自動添加一些維他命A，這對世界上因為缺乏維他命A而得到夜盲症的四千萬人來說，是一個很重要的基因改造方向；如果說，經過基改的稻米，也會吸引蝴蝶的幼蟲來吃，並讓它們死亡。那麼，以夜盲症患者的需求



卡塔摩納咖啡公司提供

如果能在咖啡豆生長期間植入降低咖啡因的基因該有多好！

與蝴蝶的死亡相比，又是孰輕孰重呢？

在美國，生產基改作物是一個相當普遍的現象，幾乎所有的大豆、玉米都已經過基因改造了！但是，基改作物在歐洲卻碰到相當大的阻力，個中原因可能與當地的文化背景有關，這仍需請社會學家去了解。



第一隻基因複製羊桃麗，令人懷念。

基改作物的發展空間

如果將煙草進行基因改造，會讓生產出來的香菸不含尼古丁。如果透過基因改造，培養沒有咖啡因或咖啡因很低的咖啡，是不是能滿足喝了咖啡後睡不著覺的人的咖啡癮呢？

或者，把一些疫苗送到植物裡面，例如，把B型肝炎疫苗殖入香蕉裡，讓香蕉產生蛋白質，當小朋友需要打預防針時，只要吃香蕉就可以產生免疫效果。這對整個公共衛生而言，是一個頗值得研究的方向。

基因改造動物

因為早期的植物細胞和動物細胞要結合的時候，各自採取了不同策略，所以，現在不管送什麼基因到植物裡面進行改造，植物一樣會長得好好的，但是動物就大不同了，所以利用基因改造來複製動物，有非常高的風險性。

事實上，動物身體裡的每一個細胞都可能發生基因改造，但是，大多數細胞發生基因改造的後果都不好。譬如說，癌細胞的發生就是典型的基因改造例子：身體裡有些細胞不聽話，讓基因隨便改變，失去了與群體共生、協調一致的能力，它就變成癌細胞，造成人類的死亡。

之前，以基因複製的桃麗羊比正常羊早死了兩年。對於複製動物來說，這個問題可能不致引起太大爭議，但是，這樣一個高風險的技術，能不能用在人類身上

呢？當我們了解整個過程後就很容易做出判斷——基因複製不應該用在人類身上！

如果基因如此重要，它是不能決定人的一切特質呢？可不可以利用基因改造把老鼠變笨或變得聰明呢？二

〇〇〇年有一篇非常有趣的論文，這篇報告把老鼠的神經細胞中一個特別表現的基因破壞以後，老鼠變笨了。但是，老鼠真的變得無可救藥嗎？實驗者把笨老鼠養在一個設施豐富又有趣的環境裡，雖然天生基因讓這隻老鼠的學習能力變得比較差，但是，因為生長在一個多變化的環境裡，它的學習能力仍可以改善得和正常老鼠幾乎完全一樣。此一實驗認為，後天的努力可以改進先天基因造成的結果。

現在大家都非常喜歡談基因，在這樣一個基因時代裡，我們最迫切需要的是什麼呢？我們必須正確地了解基因到底是什麼。有了這樣的了解，再加上人類的智慧，相信在未來的時代裡，仍然可以避免因為基因改造而帶來的災難。 □

科學是一種生活的態度，是一種運用邏輯思考的方法和追根究柢的精神，去解決在日常生活上和宇宙探索中所遇見的問題的態度。為了讓社會大眾了解科技發展的趨勢，由國科會主辦，中央大學理學院科學教育中心承辦的「2003展望系列演講」於焉誕生，本篇為春季「生活科技」系列92.05.02第三場講座的演講實錄。

演講人／周成功

陽明大學微免所

文字整理／張志玲

本刊特約文字編輯