

2.75



現代新興科學
通俗仿生學

香港青年出版社出版

基本知識叢刊

通俗仿生學

香港青年出版社出版

版權所有・不准印翻

基本知識叢刊

通俗仿生學

本社編

香港青年出版社出版

香港北角渣華道十九號A

HONG KONG YOUTH PRESS

19A JAVA RD. G/F. H. K.

嶺南印刷公司

香港西環西安里十三號

一九七八年二月初版・定價港幣五元五角

出版者的話

仿生學是一九六〇年正式誕生的一門新興科學。它研究生物系統的結構性質、能量轉換和信息過程，並將所獲得的知識用來改善現有的和創造嶄新的機器、儀器、建築結構和工藝過程。

在短短的十多年時間裏，仿生學已經取得了一定的成果。例如，用電子蛙眼跟踪人造地球衛星；具有鯨體型的船可使航速提高百分之二十五，等等。

本書所介紹的，就是有關仿生學研究的一些原理，以及所取得的成果，並展望將來的發展遠景。

但我們要強調指出，無論模仿品和活機體怎麼相似，它們之間却有着本質的差別。也就是說，技術仿生系統只可能是某種模型，絕不是人腦、新陳代謝的無異複製。這一點是讀者們所要注意的。

限於我們的水平，書中不足之處，請讀者們多多指教。

前 言

四千多年前，中國古代勞動人民「見飛蓬轉而知爲車」，只仿遇風轉動的飛蓬草發明了輪子。四百多年前，意大利人達·芬奇根據對鳥類和蝙蝠的研究，設計了撲翼機——在人身上裝上一對翅膀，利用腳的蹬力來撲動的飛行機。後來，在勞動人民豐富的實踐基礎上，人們研究了鳥類的飛行動力學，才於上世紀末發明了飛機，實現了人類幾千年來夢想像鳥類那樣飛上天空的宿願。這些例子說明，在過去，生物現象的研究，曾對技術的發展起了一定的作用。

現在，認識生物的功能原理，建造它們的各種功能模型，爲甚麼成了最有趣和有益的科學領域了呢？

這是由於科學技術發展到現今，人類所創造的技術裝置日益複雜和昂貴，體積龐大，操縱複雜，其可靠性和效率都不能滿足工業、農業、醫學、特別是宇宙航行和軍事技術越來越高的要求，這就迫使人們去尋找嶄新的技術原理。另一方面，生物界在億萬年的漫長進化過程中，通過自然選擇，形成許多卓有成效的導航、發現、計算、生物合成和能量轉換等系統，其小巧性、靈敏性、快速性、高效性、可靠性和抗干擾性令人驚嘆不已！例如，在許多方面，電子計算機尚不及昆蟲的區區之腦。螳螂能在0.05秒的一瞬間，計算出飛掠眼前的小昆蟲的速度、方向和距離，一舉捕獲之，使上噸重的電子跟蹤系統爲之相形見绌。又如，人眼能在20℃溫度下

感受幾個光量子的變化，而現代技術要達到這一點，則需在液氮的溫度下，即在周圍熱噪聲幾乎等於零的條件下。因此，若能創造出具有人眼靈敏度的光敏儀器，那就意味着測量技術的大革新。所以，在揭示了許多自然現象的奧秘之後，人們自然而然地就把尋求新技術原理的目光轉向了生物界。

現代科學技術的發展，使學科越分越細，目前知道的學科已有1150種之多。同時，它也促使各學科之間，有時是本來相距很遠的部門之間的相互滲透，產生了一系列所謂邊緣科學，這一點在諸如生物物理學、生物化學、分子生物學的名稱上也有所反映。同樣地，在生物學、數學、工程技術學的邊緣上一門嶄新的科學——仿生學就這樣產生了。

仿生學是1960年正式誕生的。它研究生物系統的結構性質、能量轉換和信息過程，並將所獲得的知識用來改善現有的和創造嶄新的機械、儀器、建築結構和工藝過程。因此，生物模擬就成為現代發展技術的重要途徑之一，著名的格言「生物原型——新技術的鑰匙」就是這個意思。

重要的是，其他一切生物都是被動地適應自然，只有人類才能主動地改造自然。因此，我們不能盲目地模仿生物，跟隨自然亦步亦趨，因為這樣不但不能推動技術的前進，反而會阻礙它的發展。這在技術發展史上是不乏其例的，例如：基於對鳥類的觀察，不少人把翼綁在臂上，試圖完全像鳥那樣飛翔，結果是翼損人亡。因為他們不了解一個人要想完全憑借自身的力量來飛行，他的胸骨就要像鳥那樣突起1米左右，才能承托住撲動雙臂所需的強健的胸肌。以後，人們根據鳥類的飛行原

理發明了飛機。人在學會了飛行高度，於1912年超過了鳥的飛行速度，1916年超過了鳥的飛行後，1924年超過了鳥的飛行距離。大家知道，現代飛機比任何鳥類飛得更快，更高，更遠。這是人類智慧和勞動的結晶。

仿生學是一門綜合科學，它需要生物學、生理學、神經學、神經生理學、心理學、生物物理學、生物化學、控制論、數學、自動學、電子學、通信、航空和航海工程等領域裏的工作者，進行跨行業的通力合作。這不僅因為仿生學研究需要廣泛的科學知識，而且這些領域也需要仿生學來協助解決某些問題。

這門新科學首先是根據技術提出的任務，來研究生物系統某方面的結構或功能特性，此即生物原型研究。其次，將研究所得資料進行數學分析，建立數學模型。正是在這個階段，要把生物現象和過程一分為二，取其對技術有益的方面，舍其無益的方面。在第三個階段，就是將有益的生物原理應用於工程技術。當然，它並不是過程的終結，還需要由實踐到認識，由認識到實踐這樣多次的反覆，才能使模擬出來的東西越來越符合生產的需要。

事實表明，當人們有意識地去研究和模擬生物系統的功能和結構時，仿生學就得到了迅速的發展。在短短的十多年時間裏，仿生學所取得的成果，已給人們留下了深刻的印象。例如，用電子蛙眼跟蹤人造地球衛星；具有鯨體型的船可使航速提高25%；模仿蒼蠅嗅覺器官的極其靈敏的小型氣體分析儀，已在宇宙飛船座艙裏開始了工作，等等。仿生學的實踐表明，它不僅對技術的進步有一定的意義，而且對生物科學本身的發展也有推動作用。人們為了創造一個器官的技術模型，必須首先

研究這一器官的性質，定性和定量的性質。這樣，不僅使生物學理論數學化，而且能創立新的理論。同時，各種模型的建立，反過來也有助於生物學知識的檢驗和深化。例如，由於心臟工作的數學模型的建立，發現了一種新的心臟病，並得到臨床實踐的證實。顯然，仿生學對其他自然科學部門也有一定推動作用。

最後，我們要強調指出，無論模仿品和活機體多麼相似，它們之間却有着本質的區別。我們知道：「生命是蛋白體的存在方式，這種存在方式本質上就在於這些蛋白體的化學組成部份的不斷的自我更新」。因此，人製造的技術模型不能夠再現生命的全部特徵，以及由此導出的最簡單的生命要素：刺激感應性、收縮性、成長的能力和內在的運動，更不具有人腦的思維能力。所以，技術仿生系統只可能是某種模型，絕不是人腦、新陳代謝系統等的無異複製。

目 錄

出版者的話	1
前 言	1
第一章 生物的時鐘和羅盤	
生物鐘	1
生物鐘和人	5
動物的航行本領	7
天文羅盤	8
地磁羅盤	12
蒼蠅的振動陀螺儀	14
蜜蜂的偏光導航袋	15
第二章 模仿眼睛的儀器	
人造眼	22
蛙的千里眼	28
鸛眼電視機	34
鴿子幫助雷達	40
昆蟲的慧眼	42
看見熱線的眼睛	47
第三章 檢測氣味的電子鼻	
氣味「語言」	51
電子鼻	55
蒼蠅和宇宙航行	59
電子警犬	60
第四章 生物定位和通信	
活雷達——蝙蝠	63

夜蛾的反雷達戰術·····	69
海豚的聲納·····	72
水母的順風耳·····	78
動物的「語言」·····	80
水下電波·····	84
表面水波·····	87

第五章 自然設計師

鯨形船·····	90
海豚雷·····	96
昆蟲飛機·····	100
無輪汽車·····	105
恐龍鑽頭·····	108
生物和建築·····	111

第六章 新的能源

未來的光源·····	122
生物電器官·····	125
生物電池·····	129
人體熱電視機·····	133

第七章 人和機器

「機器人」·····	136
聽話的機器·····	144
生物電控制·····	147
皮膚「視覺」·····	151
神經—電子系統·····	155

第一章 生物的時鐘和羅盤

生 物 鐘

鷄叫三遍天亮，牽牛花破曉開放，青蛙冬眠春曉，大雁南來北往。這些與晝夜交替和四季變更有關的生物現象，是大家都知道的。但另有許多依賴於時間的生物學過程，卻並不是每個人都了解的。例如，人的體溫、血糖含量、基礎代謝率、經絡電勢等都發生晝夜性變化；海洋生物在春季望月由深海浮向水面；每當漲潮的時候，海邊岩石上的牡蠣都張開自己的貝壳。

動物按時間進行活動的驚人的例子，可以用一種鳥來說明。這種鳥叫做雀鯛鶯，生活在離海邊50公里的地方。它們每天飛到海邊來的時間，總比前一天推遲50分鐘。這樣，每當退潮後，它們總是海灘上的第一批食客——要知道，潮汐時間每天恰好向後推遲50分鐘！

在中國海灘上有一種小蟹，雄的有一隻大螯，漁民們稱之為「招潮」，說明這種小蟹與潮汐有關。在晝夜的不同時間裏，它身體的顏色暗淡不一。正像漲潮和落潮時間每天向後推遲50分鐘一樣，招潮小蟹體色最暗的時間也每天向後推遲50分鐘！這種小蟹落潮時活動，漲潮時棲息。由此可見，生物「測量」時間的精確度是很高的。生物這種測量時間的本領，現在通常稱作「生物鐘」。它使生物在時間上與外界周期性過程（晝夜交替、四季變更、潮汐漲落等）相呼應，以保證生物對環境的適應。

但是，怎樣區分是生物鐘的作用，還是生物對自然界某些因素周期性變化的簡單反應呢？爲了回答這個問題，我們可以把生物從自然環境中取出來，將它放在實驗室裏，把假定它敏感的那些因素維持在恒定的水平上。如果生物在恒定條件下依然故我，則說明生物體具有某種保持這種節律的體內機構。

例如，在自然條件下，許多植物都有「睡眠」和「覺醒」的周期交替現象。如豆、豌豆和三葉草的葉子夜間垂下，白天豎起。如果把這些植株置於黑暗之中，它們的行爲沒有絲毫改變，葉子依然周期性地垂下和豎起。好像植物繼續在受着晝夜交替的影響，雖然事實上這種影響已被排除。

生活在恒定條件下的生物，它們的活動也會發生變化。有一種哺乳動物叫鼯鼠，白天躲在樹洞裏休息，而於黃昏時分鑽出洞穴，通宵達旦地沿樹幹奔來跑去，由這棵樹跳到那棵樹以覓食。鼯鼠的活動大約開始於日落後半小時，或精確地說，當光照度降低到一定程度，它便開始活動。這種循環每24小時周而復始。現在我們把幾只鼯鼠放在旋轉鐵絲籠中，只要動物一開始活動，籠子就旋轉起來，這樣將便於我們觀察；然後把它們置於完全黑暗中。

根據觀察，受試動物的活動周期逐漸發生變化，變成23小時至稍大於24小時之間。這種偏離24小時周期的節律，叫做近似晝夜節律。持最短周期（23小時）的動物，每天比前一天提前1小時開始奔跑。這樣，大約經過3個星期，生活在恒定條件下的鼯鼠的活動，就比自由生活在森林中的鼯鼠推遲一晝夜。有趣的是，重獲自由的鼯鼠很快又恢復正常的24小時循環。外因通過內因

而起作用。在自然條件下，在外界因素（例如，光照度）變化的影響下，近似晝夜節律與嚴格的24小時循環是同步的。對於鼯鼠，這種同步因素是黃昏，即從光亮到黑暗的過渡時期。

顯然，如果改變同步因素的作用時間，便可調快或撥慢生物鐘。我們可以做一個實驗。蟑螂的活動周期與黑暗的到來是一致的，但它最活躍的時間是傍晚。假使在實驗條件下，人為地顛倒白天和黑夜的順序，便可輕而易舉地調撥蟑螂的生物鐘。現在，我們把盛放蟑螂的籠子放入暗室，用「電子眼」來記錄它的活動。夜間用電燈照亮暗室，每天早晨9點鐘熄燈。這樣，對暗室中的蟑螂來說，白天變黑夜，黑夜變白天。大約經過一個星期。昆蟲便改變了原來的活動順序——在人造黑夜時呈現活動，盡管實際上這時實驗室外面仍是白天。這時，蟑螂的生物鐘被調撥了。

目前，人們已從充塞雨滴的微生物到高等植物和人類這些形形色色的生物中，找到了這種無聲無息的生物鐘。現已發現，許多生物學現象，不用生物鐘這個概念，就不能得到合理的解釋。可以說，生物鐘已成為有機體的一個特徵。

生物鐘在生物體的什麼地方？它的本質是什麼？現在有許多人在研究這些問題。

我們知道，人的激素對生長、消化、生殖等過程有着十分重要的意義。激素分泌的量不足或過剩，都會引起我們身體病變。例如，我們頭部的一個內分泌腺——腦垂體活性亢進時，小孩就會發育成巨人；而其活性過低時，小孩就會長成侏儒。在其他動物的生命活動中，激素也起着非常大的作用。那末，生物鐘是否可以通過

某種激素的影響來解釋呢？

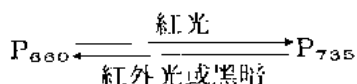
我們把兩隻螳螂的背上都打一個小洞，通過洞把它們的血液循環系統連通起來。用蠟把它們固定在一起，並把上面那隻螳螂的所有腿全部切除以限制其活動。手術前，上面那隻螳螂生活在正常情況下，並表現出典型的活動循環。下面那隻螳螂的正常活動循環，在經過長時間連續光照後暫時中止了。當把它們移置到連續光照條件下，下面那隻螳螂立即表現出明顯的活動規律：它在相應於上面那隻螳螂原先活動的那個時間開始奔跑。因此，上面那隻螳螂血液中的某種激素，是下面那隻螳螂活動的啓動者。

後來，在螳螂的咽下神經節找到了它們的生物鐘。這是一羣神經分泌細胞，位於神經節的側面和腹面。把這團神經組織移植到另一隻螳螂身上，鐘則「繼續行走」，在體內有規律地生成控制螳螂活動的激素。這樣，就證明了這種神經細胞團起着計時機構的作用。

別的地方還有沒有這種生物鐘呢？如果用局部冰凍法使鐘停走一段時間，正常的活動規律不被破壞；當鐘重新發動起來時（即解除冰凍），激素分泌繼續按原先的時刻表進行。看來，在螳螂的這個生物鐘暫時停走的那個期間，在有機體某個未被冰凍的部份還有更重要的生物鐘在行走，在計量時間。這種生物鐘，有人稱為母鐘。這些母鐘就是神經突觸（神經纖維分枝末端小的紐結）分泌激素的有規律的活動，它們控制着神經分泌細胞中激素的產生。可以設想，一般的生物鐘（即子鐘）調節螳螂的日常活動；母鐘僅在這些日常鐘的指示稍微發生偏差的情況下才發揮作用。例如，隨着季節的變更，光照度在逐漸變化，母鐘的「指針」發生移動，它

將首先撥動日常鐘，好像對它說：「要改變一下自己的步伐，白晝正在變長！」

各種生物的生物鐘是不相同的，特別是植物和動物的生物鐘各不相同。關於植物的生物鐘，就讓我們看下一種重要的植物色素——光敏素。這種色素可以兩種形式存在：一種吸收紅光，叫紅光吸收色素，或簡稱為 P_{680} ；另一種吸收紅外光，叫紅外光吸收色素，或簡稱為 P_{735} 。通過吸收光線兩者可以互變：



它們的互變可以形成振蕩系統，由它控制植物的開花時間。

生 物 鐘 和 人

人們在研究各種病例時，發現了許多有趣的現象：

有位足球隊教練，他的膝蓋有規律地每9天發生1次腫脹，甚至不得不按照這個情況來制訂踢球計劃。

一位被震顫麻痺症（帕金森氏病）困在床上的28歲婦女，既不能行走，也不能獨立活動，因為她的手和腿全都強烈地震顫。但每天晚上9點鐘左右，她的一切病症會暫時自行消失，行動自如，完全像個健康的人。

還有一個14歲的男孩，從12歲起患了周期性麻痺症，每星期發病3次，病發作時，他的手臂、腿部和頸部全都動彈不得。

在醫學文獻中，這種周期性疾病患者不乏其例。有人認為，這類疾病的復發可能與生物鐘的工作態度有關。此外，還發現生物鐘和衰老有關係。由於各人的生物鐘的某些特性不同，有些人就比其他入衰老得快。

爲了研究人的生物鐘，最近，有位科學工作者一個人在地洞中生活了205天。這個地洞深達40米，洞內沒有自然的晝夜之分，也沒有任何確定時間的儀器。但是，這位科學工作者的活動仍能基本上保持24小時的周期。這表明，人體的生物鐘可能與晝夜交替無直接關係。

我們知道，無論在宇宙飛船裏，還是在核潛艇中，人們都得在密閉艙裏呆很長時間。在這裏，沒有人們習以爲常的晝夜交替。在潛水艇裏，「黑夜」與「白晝」將由電燈開關來控制；而飛船剛一進入宇宙空間，四周是幾十億顆亮閃閃的星星，地球上的晝夜交替、大氣壓變化、溫度起伏和其他因素都被遠遠拋在後面。如果飛船上的睡眠時間，與宇宙飛行員習慣的地方時間不一致，他們就會睡眠不好，感到精疲力盡。短期飛行中，人可以維持任何節律；長期飛行中，必須使宇宙飛船上鉤儀表和控制台的工作制度符合24小時的地球循環。爲了維持這個節律，不僅要求嚴格遵守制度，而且要求感覺刺激流（通信等）有節奏地作用於宇宙飛行員。

生物鐘的研究，使醫務工作者開始注意到，同樣的醫療措施得出不同的醫療效果，往往與治療的時間有一定關係；臨床分析得出的結果，也常常與時間因素有關聯。栽培學、畜牧學、養蜂學、生理學、生物化學和生物物理學工作者們，也從生物鐘的研究中得到啓示：在研究某種因素（條件）對生物的影響時，需要十分嚴肅地對待對照和試驗生物的「其餘條件相同」這一前提。表面上相同的「其餘條件」，實際上可能由於時間不同而變成完全不相同。

生物鐘研究將有很大的實際意義。例如，我們將在後面看到，有些動物在長途遷徙中，用星象或太陽確定

方位時，需要用生物鐘來進行時間校正。如果我們弄清了生物鐘的本質、時間感受器的特性和記憶時間的原理，毫無疑問，將對我們設計自動導航系統有所幫助。

動物的航行本領

在人類的航行史上，最初是按航標、季風、太陽和星星來確定航道和航向的。直到12世紀初，中國首先使用指南針來航海，才從根本上改變了人類的導航手段。在其後的幾百年中，人類經過艱苦的努力，終於發明了陸地、空中和海底的導航裝置，使人類能長途航行而不迷失方向。

但是，在千百萬年以前，動物界就已具有了卓有成效的導航本領，其「導航儀器」的小巧性、靈敏性和可靠性，至今仍然使人們驚嘆不已。鳥、魚、鯨和海龜等都能在空中或海上航行幾千公里，乃至萬餘公里，並準確無誤地到達目的地。例如，有一種中等大小的鳥，身長35厘米左右，叫極燕鷗，它營巢北極而在南極越冬，每年要飛行4萬多公里。鴿子也有卓越的航行本領，信鴿一般能從200~2000公里以外的地方飛回鴿舍。

各種動物都有自己的航行記錄創造者。有一種常在人戟屬植物上翩翩飛舞的蝴蝶，可以飛行3000多公里到南方去尋找自己的越冬地。螞蟥在草叢和坎坷不平的地方爬行很遠的距離（與它的身長相比），仍能返回自己的巢穴。

綠色海龜是有名的航海能手。每年3月，當產卵季節到來時，它們便成羣結隊從巴西沿海向阿森岡島遠航。這個小島座落在南大西洋中，離巴西2200公里，到非洲1600公里，小島全長只有幾公里，真可謂「滄海一