

(沪)新登字第 305 号

责任编辑 陈英黔 王惠基

模仿生物显奇妙

——仿生的故事

陈廷熹

上海科学普及出版社出版

(上海曹杨路 500 号 邮政编码 200063)

新华书店上海发行所发行 上海新四印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 3 插页 2 字数 70000

1996 年 5 月第 1 版 1998 年 3 月第 4 次印刷

印数 41401—48400

ISBN 7-5427-1070-2/Q·10 定价:3.50 元

内 容 提 要

本书是生物故事丛书中的一册。主要是通过一系列故事描述人们从生物的生态中得到启示，进而模仿生物的习性，用于军事、医学体育和生产等部门。这是一门新兴的尖端科学。世界各国都投入大量的人力和财力从事这方面的研究，从而能制造出各种新式武器、尖端产品。通过本书的介绍，希望能使青少年和广大读者引起对仿生的浓厚兴趣。

序

生物世界——这是一个对青少年永远充满着诱惑力的活生生的世界。随着年岁和学识的增长，青少年一定希望对生物学的过去、现在和今后的发展获得更多的了解。为此而编写的“生物故事丛书”的确是为广大青少年准备的了解生物世界的一套读物。

生物学是古老的学科。人类从摆脱愚昧开始，就在认识、了解、研究自己周围的生物世界了。

生物学又是一门新兴的学科。植物、动物、生态、形态、遗传、发生、仿生等学科本身在不断发展，新的学科如分子生物、细胞生物、群体生物，边缘学科如生物化学、生物物理又在不断涌现，全息生物学也就是这方面的一个例子。

希望本书能成为青少年和广大读者了解、认识、激发学习生物知识的起点，进而用自己的智慧和努力，为人类认识、利用、改造生物世界作出更多努力和贡献。

谈家桢

1995年3月

前 言

仿生学是生物学科中很重要的一部分，它在 20 世纪 50 年代已引起广大生物学家的注意。仿生，顾名思义是模仿生物体的活动机理，认为这一活动对人类有用，可用在军事、医学和建设上。科学家就是要研究这一生物活动的原因，然而仿造生物体的构造为人类谋福利。这是一项很复杂的工作，因为生物体的构造很奥妙。牵涉的学科多，人们只有掌握其主要原理，才能维妙维肖地来仿生。

基于上述目的，作者收集了一些资料，编写成此册。生物是多种多样的，所以除本册外，这部生物故事丛书还有《千姿百态呈异彩——形态的故事》、《物竞天演天地新——生态的故事》、《扑朔迷离究缘由——遗传的故事》、《大地服装的款式——植物的故事》、《肢体根叶存信息——全息的故事》等分册。分别讲述生态、仿生、形态、遗传、植物和新兴的全息生物学的内容。

编写本书的目的是想使广大青少年对生物科学引起兴趣，以后能从事这方面工作，并能取得成果。

由于作者水平有限，从接受此项任务至写成此书的时间仓促，因此错误是难免的。敬请广大读者批评指正。

目

录

- 1 蝙蝠的回声定位 (1)
- 2 生物光 (5)
- 3 海水淡化 (10)
- 4 水中的回声定位 (15)
- 5 味觉的仿生从味觉中得到
 的启示 (19)
- 6 香臭的由来 (23)
- 7 人造手 (27)
- 8 鸟眼的应用 (31)
- 9 蜻蜓的翅痣和机翼减振
 装置 (35)
- 10 神奇的蛛丝 (40)
- 11 鱼体和船仿生 (44)
- 12 动物发电 (48)
- 13 鲨仿生 (53)
- 14 海螺蛸、鱼鳔和潜水艇 (58)
- 15 动物的热感受器 (63)

16	虾壳、蟹壳都是宝	(67)
17	啄木鸟啄木的奥秘	(71)
18	蛙眼给人的启示	(74)
19	人工鳃	(78)
20	人造海豚皮——片膜流	(83)

1.

蝙蝠的回声定位

第二次世界大战期间，德军制定了一个叫“海狮行动”的军事计划，动用 2000 架飞机突然袭击伦敦，企图一举摧毁英国。为了保证这次空袭成功，事前派遣了一个特工小组潜入英国，破坏英国雷达网中心。在这个危急时刻，英国反间谍人员及时破获了这个特工小组，使英国能够以 1000 架战斗机在雷达的监测下，击退了当时不可一世的德国空军。事后，英国首相丘吉尔在向全国广播时说：“1000 名皇家空军挽救了英国”。这次战役，英军能够以少胜多，当然是由于英国皇家空军的英勇奋战，但是，雷达在其中显示的威力也起着很大的作用。

雷达和声纳都是人为的监测设备。雷达是用电磁波的反射发现目标并测定其位置的电子设备；声纳是利用声波的反射探测目标和测距的仪器。远在人类利用雷达和声纳千百万年前，在自然界，不少动物，如蝙蝠、海豚等早已在应用它们自身的声纳系统来定位、捕食、绕过障碍和逃避敌害。而且在结构的精致，效应的灵敏等很多方面都是目前人工雷达和声纳系统还办不到的。虽然人为的雷达和声纳是对一些动物回声定位的一种迟到的仿生，但是，深入研究一些动物的回声定位势必会给完善人为的雷达和声纳许多有益的借鉴。

物体振动才能发声，声音以波的形式在媒介中传播，当声

波碰到障碍物时就会反射回来，反射回来的声波传入耳就是回声。如果回声到达耳朵比原来的声音滞后 0.1 秒以上，就能把回声与原来的声音区分开来。因此，根据声速和回声滞后时间就能测出发声体与目标之间的距离。人耳能听到的振动频率范围约在 20~20000 赫兹之间。因此，把低于 20 赫兹的声波称次声波，高于 20000 赫兹的声波称超声波。利用回声定位的蝙蝠能发出和听到的超声波超过每秒 150000 次振动，这样高的频率的声波，如果人耳能听得到，就会有震耳欲聋的感觉。蝙蝠发出的声波是极短促的，还不到千分之一秒长，而且是不连续的，并以脉冲的形式发射出来，这样可使发出的声波有较大的能量，也容易听清不连续的回声。有不少蝙蝠如菊头蝠（图 1）科和蹄蝠科等在鼻部有复杂的鼻叶，是由鼻子周围

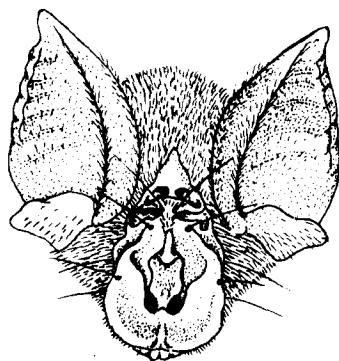


图 1 菊头蝠的头部示鼻叶

的皮肤褶瓣形成，鼻叶沿鼻孔围成一圈，就像喇叭筒一样，这样就能把超声波集中成一狭窄的波束发射出去，使它传得更远。从鼻叶的着生部位来看，可能这些蝙蝠的超声是从喉头发生经由鼻孔发出的。蝙蝠不仅能调制声波的振幅，改变声音的

强度，也能调制频率。一只蝙蝠飞行中每秒重复它的叫声 20 次，但是当收到有用的回波后，立即会兴奋起来，发出每秒 200 次以上的脉冲，进行确切地探测。有些蝙蝠在外耳基部有一片皮肤瓣叫做“耳屏”（图 2），种类不同，耳屏的形状也不

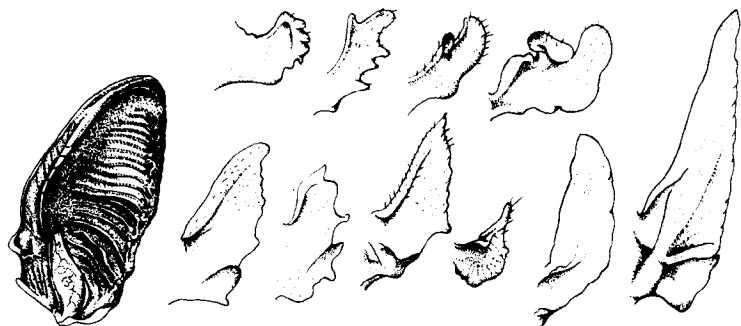


图 2 蝙蝠的耳和各种耳屏的形状

同。值得注意的是，一般有复杂鼻叶的蝙蝠大多数都没有耳屏，而有耳屏的一般都没有复杂的鼻叶。这样就不免使人联想到一个问题：如果鼻叶同声音的发射有关，那么，耳屏是不是同回声的接收有关。研究过蝙蝠的人都知道，菊头蝠科的蝙蝠的外耳特别大。即使是倒挂着的时候，它们的双耳都在不停地向各个方向微微颤动，这显然是在收集声波的动作。此外，它们的股关节特别柔韧，倒挂时几乎能作 360° 弯曲。蝙蝠的内耳也很大，两个耳蜗占据了后颅腔很大位置。耳蜗螺旋韧带很发达，在近鼓阶处还有一个螺旋板，这些结构都是蝙蝠对回声的接收具有高灵敏度的基础。声音是会被干扰的，蝙蝠抗干扰的能力非常强。人造的声学仪器当噪声强度与它发出的声波强度之比为 $1:1$ 时就开始失灵了。但是，实验证明：在一间布满细铁丝的暗房内，用噪声去干扰一只蝙蝠的飞行，即使噪声和信号声之比高到 $100:1$ 时，蝙蝠飞行照样不会碰撞细

丝。很多蝙蝠都有聚群的习性，一个山洞中聚集有千万只蝙蝠是常有的事，如此多的蝙蝠同时发出的超声波而彼此不受干扰又是多么令人羡慕！

由于声波透过空气和水这一界面时，从水中物体返回到空中接收到的回声声波几乎下降为 100 万分之一以下，因此，从空中收听来自水中的回波是很难的。但是，一种食鱼的兔唇蝠（图 3）就能从空中探测到水中的鱼，并能把握住最好时机，俯冲下来将鱼捕获。当然，兔唇蝠是贴水低飞觅食的，这样可以减少声波通过水面时的损失。

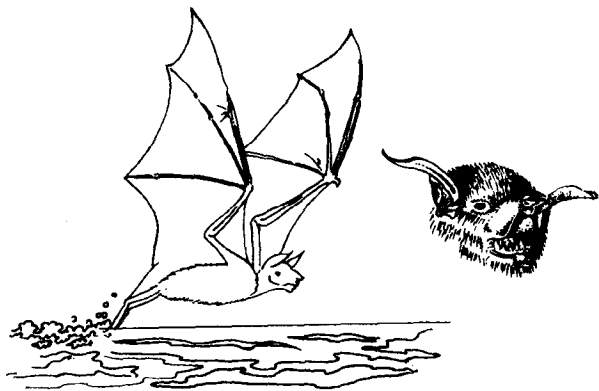


图 3 捕鱼的兔唇蝠

最令人不可思议的是现代的声纳和雷达装置，重量以吨为计算单位，体积以百立方米计，而一只盘翼蝠的头和体长只有 34~52 毫米，平均体重只有 4.2 克。要知道这还不是最小的蝙蝠。就在这样小的一个体躯内竟装置有如此精密的声纳系统，难道不值得人们去深入研究！

2.

生 物 光

晋朝车胤年轻时家境贫困，经常没有钱买灯油，但他又是个勤奋好读书的人，为了夜间也能看书，在夏天他捕捉了数十只萤火虫，放入一个囊内，借萤火虫发出的荧光读书，通宵达旦。于是，车胤囊萤夜读也就被后人用作勤奋读书的典故。

萤火虫（图4）会发光，很多人都知道。在夏季的夜晚，走到庭园或田野去，当你看到一闪一闪的流萤飞舞在灌木丛的上空，就像一盏盏小灯笼，可能会脱口喊出“萤火虫”三个字来。萤火虫发光是为了照明吗？不是，它的发光是作为一种招引异性的信号，停在叶片上的雌萤火虫见到飞过的雄萤火虫发出的荧光后立即放出断续的闪光，雄萤火虫见了就会朝它飞去。



图4 萤火虫

在自然界除了萤火虫外，会发光的生物很多。动物界大约有三分之一包含有发光生物；海洋中会发光的细菌已知有70余种。热带和温带海面上出现的“海火”奇观就是无数发光细菌聚集在一起放出的光所致。当然夜光虫更是“海火”的生成者。在某些深海水域几乎95%的深海鱼类都会发光。一种斧头鱼（图5），身体只有5厘米

长，浑身透明，具有一系列的发光器，它在光线难以透进的深

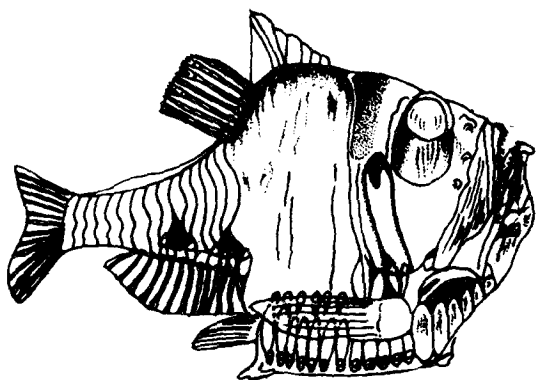


图5 斧头鱼外形：斧头鱼在水中的发光形态

海中发光扩散而照亮了一定的范围，使得斧头鱼能在黑暗中识别同类，群聚或寻找对象。其实人本身也能发光，当然放出的光绝不会像神话小说中所描述的头上光环那样，而是放出肉眼所不能见到的超微光。

人们对发光生物发出的生物光发生了浓厚的兴趣。因为：
(1) 生物光的效能实在太高。古书《古今秘苑》记载有：古时我国渔民用百多只萤火虫装入一个吹胀的羊膀胱内，将它结扎在渔网底下，就能招来鱼群，从而提高捕鱼量。数十只萤火虫装入囊中放出的光量就能解决车胤的夜读照明问题。据测定，一个发光细菌所发出的光相当于 1.9×10^{-14} 烛光。如此高效能的光源是不会不被人们注意的。(2) 爱迪生发明了电灯，取代了用火照明。电灯无烟，光亮而且安全。但是，当你靠近开亮的电灯泡，就会感觉到热，愈是接近愈觉得热，这说明电只有使灯泡的钨丝烧热才能发光，而且大部分能量都以红外线形式转变成热散发了。此外，这种热线对人眼是无益的，而生物光是目前已知唯一不产生热的光源，因此也叫“冷光源”，其发光效率可达百分之百，全部能量都用在发光上，没有把能量消耗在热或其他无用的辐射上，这是其他光源办不到的。

人们研究生物光，虽然对生物发光的机制还了解得不多，但就现有的研究和了解，已取得一定的效益。通过对萤火虫的研究，已知萤火虫约有 1500 多种，各自发出不同的光，作为自己特有的求偶信号，不同种之间不会产生误会。萤火虫的发光部位是在腹部，那里的表皮透明，好像一扇玻璃小窗，有一个虹膜状的结构可控制光量，小窗下面是含有数千个发光细胞的发光层，其后是一层反光细胞，再后是一层色素层，可防止光线进入体内。发光细胞是一种腺细胞，能分泌一种液体，内含两种含磷的化合物：一种是耐高温，易被氧化的物质叫荧光素；另一种是不耐高温的结晶蛋白叫荧光酶，在发光过程中起着催化作用。在荧光酶的参与下，荧光素与氧化合就发出荧光，氧是从营养发光层的血管进入发光细胞的。由于血管随着它周围肌肉收缩而收缩，当血液中断供应时，氧就不能到达发光细胞，荧光也随之熄灭。生物发光需要氧，是英国学者波义

耳在试验基础上发现的。波义耳将装有发光细菌瓶中的空气抽出,细菌立即停止发光。将空气重新注入,细菌又马上发光。后来才知道是空气中含氧所致。发光反应所需的能量是来自一种存在于一切生物体内的高能化合物,叫三磷酸腺苷,简称ATP。美国约翰·霍普金斯大学的研究人员将萤火虫的发光细胞层取下,制成粉末,将它弄湿就会发出淡黄色的荧光,当荧光熄灭时,若加入ATP溶液,荧光又会立即重现。说明粉末中的荧光素可被ATP激活。因此,萤火虫每次发光,荧光素与ATP相互作用而不断重新激活。

萤火虫发光的化学反应可以写成下列反应式:



(式中 LH_2 为荧光素;AMP为一磷酸腺苷;LO为氧化荧光素;PP为焦磷酸)

从上式可见生物发光和光合作用都是“电子传递”现象。有人认为生物发光好像是光合作用的逆反应。光合作用是绿色植物吸取环境中的二氧化碳和水分,在叶绿体中,利用太阳能合成碳水化合物,同时放出氧气。光能从水分子上释放电子,并把电子加到二氧化碳上,产生碳水化合物,这是一个还原过程。光合作用把光能转变成化学能,而生物发光是电子从荧光素分子上脱下来和氧化合,形成水,产生光。生物发光是将化学能转变成光能。

人们研究生物光是为了利用它,这种冷光源具有效能高、效率大、不发热、不产生其他辐射、不会燃烧、不产生磁场等特点,对于手术室、实验室、易燃物品库房、矿井以及水下作业等都是一中安全可靠理想照明光源。人们还可设法模仿发光生物把一种形式的能量转换成另一种形式的能量,制造冷光板使其不需要复杂的电路,就能白天吸收太阳光,到晚上

再将光能放出来。

人们先是从发光生物中分离出纯荧光素，后来又分离出荧光酶。现在已能人工合成荧光素，这就使人类模仿生物发光创造一种新的高效光源——冷光源成为可能。但是，人们对生物发光的认识还很肤浅，就拿研究得较多的萤火虫来说，萤火虫发光是为了交配，然而萤火虫的卵刚产下时，内里也发着光，萤火虫的幼虫也会发光，这些又是为了什么？它们是怎样发光的？都不了解。因此，人们对生物发光研究得愈清楚，对于创造这种新光源必然会愈有利。

3.

海水淡化

电影《上甘岭》中有一组令人动容的镜头，坑道中的中国人民志愿军战士已两天没有水喝了，一个个都渴得口干唇裂，连吞咽都感到困难。为了夺取反攻的胜利，连指导员命令战士们以惊人的毅力去吃饼干，战士们每咽下一口饼干都要费好大的劲，忍受着喉咙撕裂般的疼痛，小小的一块饼干，也不知要吃多久才能把它吃完。如果这时送来一口水，实在要比那饼干好得多。由此可见口渴比饿更难熬。事实也是这样，人和其他动物同样可饿上几天，还能支撑住，如果渴上几天就不行。1920年科克市市长麦克斯威奈在为爱尔兰独立的斗争中被逮捕，他在狱中绝食以示抗议。最终他饿了74天而牺牲。当然，在这74天内他必须喝水。如果没有水喝，他几天也活不成。因为生物体内含量最多的是水，一切正常的生命活动都是在水中进行的，没有水，养料不能吸收，废物不能排出。口渴就是表明生物体已经失去一部分水，并刺激生物去补充水。

地球上的水并不少，海洋面积就占地球总面积的71%，陆地面积仅占29%，而且其中还包括了许多江、河、湖、泊、溪、涧等。地球上的水97.2%是海水，海水中溶解有复杂的化学成分，每升海水所含的各种离子、分子和化合物的总量（矿化度）在3克以上，是咸水。航海者都知道海水是不能喝的。海水非但苦涩，难以下咽，而且越喝越渴。所以远航必须

带足淡水，途中补充给养时，第一件事就是补足淡水。由于海水含有大量的盐类，就连用来灌溉农作物也不能。因此，生物体能直接利用的是矿化度每升小于1克的淡水，主要分布在江、河、湖、泊、地下水、高山积雪和冰川中，仅占全球总量的2.8%。随着现代工业、农业的飞速发展和人民生活需要用水量的日益增加，如果不注意节约用水，再加肆意破坏水的资源，那么地球上淡水的危机就会到来。为了避免这种灾难的发生，人们一方面要节流，另一方面要开源。首先想到的当然是海水淡化，设法将海水脱除盐分变为淡水。世界上许多国家都建立了海水淡化工厂。通常用的传统方法是蒸馏法，使海水急速蒸发，蒸发产生的水蒸汽冷凝后得到淡水。目前采用的一些新方法是从一些动物中得到启示而研制成功的。

有一种海鸟叫信天翁（图6），分布于太平洋，冬季也可见于我国东北及沿海各地。成熟的普通信天翁全身纯白，仅翼端及尾端呈黑色，翅膀很长，伸展开来，两翅展可达3.6米。它们能一连数月，甚至成年在海上生活，累了在水面上歇息，饿了捕食海中的鱼，喝的当然是海水，因为它们只有在繁殖的时候才返回荒岛和陆地。信天翁能喝海水当然会引起了人们的注意，想了解它们是怎样解决海水中的盐分问题。经过研究，发现信天翁的鼻部构造与其他鸟类不同，它的鼻孔像管道，所以称为管鼻类。在鼻管附近有去盐腺，这是一种奇妙的海水淡化器，去盐腺内有许多细管与血管交织在一起，能把喝下去的海水中过多的盐分离，并通过鼻管把盐溶液排出。以后人们相继发现许多海洋动物都有把海水淡化的本领，如海燕、海鸥、海龟和海水鱼等。

海水鱼终生生活在海水里，喝的当然是海水，而且全身都浸没在海水中，它们又是如何解决海水中的盐分的问题呢？人们当然也不会放过对这问题的研究。水生动物的体表通常是