



大象为什么不长毛

方舟子◎著

科学出版社

我们为什么相信：“飞碟为什么事件”
为什么相信不相信，以科学的名义来解释“
“外星人”、“全球变暖”、“地外文明”等等。

大象 | 方舟子◎著 | 为什么不长毛

Why Elephants Don't Have Hair

方舟子破解科学谜题

我们熟视无睹，习以为常，甚至奉为真理的“常识”，有可能是错的。
怀疑是迈入真理之门的第一步。

人云亦云，盲从，迷信=平庸=上当受骗
权威，经验，常识≠真实，真相，真理
孩子应用科学的绝佳科普书 / 成人辨别是非的实用参考书

打败斗士PK 打工皇帝后，再献最新科普力作
兼具知识性、趣味性、思想性和实用性，读过了就是你的收获。

联袂推荐

柴静

司马南

王志新

大象为什么不长毛

作者：方舟子

第1节：大象为什么不长毛

大象为什么不长毛

可能是由于在电视、电影、画册上已司空见惯，很少有人意识到，大象是最独特的动物之一。独特到什么程度呢？动物学家把多达5400种的哺乳动物根据其亲缘关系的远近，很吝啬地划分为29个目，而大象就占了一个目——长鼻目。长鼻目仅仅含有三个现存物种，即亚洲象、非洲丛林象和非洲森林象，再也没有别的现存物种能与大象划入同一个目。而我们人类所属的灵长目含有350个物种，我们的近亲可比大象多多了。

大象的独特首先表现在它的庞大。它是现存最大的陆地动物，能长到高4米，重7吨，是排在第二位的犀牛的2倍。它的形状也很独特，最引人注目的当然是那长长的鼻子以及巨大的耳朵。大象还有一个特征比较少有人注意到，那就是它身上的毛发极其稀疏。身披毛发是哺乳动物的特征之一，99%以上的陆地哺乳动物都有皮毛，大象是罕见的例外。

有一个科学爱好者注意到了这一点。我收到他写的题为《大象的体毛为何非常稀疏》的小论文，大意是说始祖象的体形变大进化成大象后，身上毛囊的密度自然

会大大降低，大象的体毛当然会变得稀疏了。这个解释是经不起推敲的。体形大并不意味着毛发就变稀疏。实际上，已在一万年前灭绝的猛犸象就长着浓密的长毛。如果有必要，现存的大象也可以身披毛发。

猛犸象生活在寒带，需要毛发御寒；而现存大象都生活在热带，没有这个必要。所以大象不长毛的一个因素，是气候。但是，和大象生活在同一个地方的许多哺乳动物，例如斑马、长颈鹿、狮子，都有毛发，为什么大象的体毛却严重退化了呢？

哺乳动物是恒温动物，必须把体温维持在一个特定的温度才能保证正常的生理活动，比如大象的体温必须维持在大约 36 摄氏度，过高或过低都有生命危险。体热是在细胞代谢过程中产生的，它们的总量差不多是固定的，但是环境的温度是在不断变化的。如果气温低于体温，那么就要防止体热散失，这是毛发的主要功能；而如果气温高于体温，则要想办法尽量把体热散掉。

大象生活在地球最炎热的地带，因此，对大象来说，如何散热要比如何保温更重要。既然体热来源于细胞代谢过程，那么细胞越多，产生的热量就越多，也就是说，身体体积越大，产热越多。体热的散发主要是通过皮肤进行的，身体表面积越大，散热越快。但是，动物体形

变大时，体积和身体表面积却不是按相同的比例增长的：体积按立方增大，而表面积按平方增大，体积的倍数增长要比表面积快得多。假如你吹一个气球，让其半径增大 1 倍，这时候气球的体积是原来的 8 倍，而表面积仅仅是原来的 4 倍。

第 2 节：孔雀为什么长着大尾巴(1)

由于体积和表面积不成比例的增长，考虑到大象体形的庞大，散热就成了一个极其严重的问题。大象的体积大约是狮子的 30 倍，即产生的体热大约是狮子的 30 倍，但是大象皮肤总面积大约只是狮子的 10 倍，还有 20 倍的热量需要设法散掉。因此，大象不能像狮子那样保留妨碍散热的体毛。与此类似，体形排第二的犀牛、排第三的河马，也是没有体毛的。

大象的体积大约是犀牛的 2 倍，但是表面积仅仅是犀牛的大约 1.5 倍。把体毛去掉，对犀牛来说，用于散热是够了，但是对大象还不够，必须有其他办法来帮助散热。什么办法呢？长一对巨大的耳朵。大象的耳朵不仅大，而且薄，里面充满了血管，血流经这里，很容易就把热量散发了。特别是耳朵扇动起来，更容易把耳朵里的血的温度快速降下来，能让血温降低 5 摄氏度。冷却的血在体内循环，帮助把全身的温度降下来。

现存的三种大象，亚洲象体形最小，生活的地区比较靠北方，又是生活在森林中，气温较低；非洲丛林象体形最大，生活在阳光暴晒的热带大草原，气温最高；非洲森林象的体形和所在的环境气温都介于前两者之间。这三种象的耳朵，以非洲丛林象最大，非洲森林象

其次，亚洲象最小，刚好与大象耳朵的主要功能是散热的说法相符。

猛犸象的体形要比现存大象大，但是由于生活在冰天雪地的寒带，它面临的主要问题是如何保温，因此不仅要身披长毛，而且耳朵也没有必要很大。的确，猛犸象和现存大象相比，什么都大，就是耳朵很小。已知最大的猛犸象耳朵只有 0.3 米长，而非洲丛林象的耳朵可以长达 1.8 米。由此可见，大象的大耳朵是作为散热器进化出来的，它的其他功能（例如，雄象在争夺配偶时会张大耳朵进行示威）则是副产物。

生活在寒冷地区的动物的体形一般要比生活在温暖地区的同类动物大，这叫柏格曼法则。但是，寒冷地区的动物的耳朵等突出物则一般比较小，这叫阿伦法则。这两个法则其实都是对表面现象的概括，为了保温或散热才是真正目的。

别看大象长得奇怪，其实蕴涵着一点儿也不奇怪的简单的科学道理。

孔雀为什么长着大尾巴

我们一想起孔雀，首先想到的是它那又长又大的美丽的尾羽，其实这是雄孔雀的性征。为什么雄孔雀要长这么好看的大尾巴？似乎连小学生都知道答案：为了吸

引雌孔雀。但是，答案并非如此简单。首先注意到这个问题的复杂性的是达尔文。长一个鲜艳的大尾巴对孔雀的生存一点儿也没有好处，甚至有很大的坏处：它要浪费很多能量，妨碍孔雀的活动，使孔雀容易被天敌发现和捕捉到。根据达尔文提出的自然选择学说，这种对生存不利的特征应该被淘汰掉才对。但是，为什么雄孔雀，以及许多种类的雄鸟，都会进化出这些不利于生存的第二性征呢？

第3节：孔雀为什么长着大尾巴(2)

为了回答这个矛盾问题，达尔文又提出了性选择学说。他认为，虽然雄孔雀的大尾巴对生存不利，但是由于雌孔雀喜欢挑选长着美丽尾巴的雄孔雀作为配偶，这种繁殖优势弥补了大尾巴的生存劣势。一代又一代选择的结果，导致雄孔雀都具有令人叹为观止的硕大美丽的尾巴。达尔文把这种现象称为雌性选择。正是由于雌性的选择，使得鸟类被达尔文称为“所有的动物中最有美感”的动物。

但是，即使是独立发现了自然选择原理的华莱士也表示不能苟同达尔文的这个解释。他认为，雄性如果仅仅通过华而不实的宣传来欺骗雌性，未必能够真正经受自然选择的严酷考验。后来的许多生物学家也认为，没有足够的证据证明雌性在对雄性作出选择。

到了上个世纪80年代，在达尔文提出这个假说一百多年以后，才有生物学家做实验对此作了验证。实验的设计其实很简单：把一些雄鸟的尾羽剪短，再把剪下来的部分粘到另一些雄鸟的尾羽上，人为加长后者的尾巴。结果发现，尾羽的长度对雄鸟的求偶起着决定性的作用。例如，正常雄燕从发情到找到配偶平均要花8天，那些尾羽剪短的要花上12到13天，而尾羽加长的只需

要3天左右。达尔文的假说被证实了。

但是，达尔文留下了一个问题没有回答：为什么雌性会这么“变态”，偏偏去选择这些对雄性而言有害无益的性征？

首先试图回答这个问题的，是达尔文之后最重要的进化生物学家之一——英国人费歇（Ronald Fisher, 1890~1962）。他的思路是这样的：雄性第二性征在萌芽阶段对雄性的生存其实是有益的，例如，稍微长一点儿的尾羽可能有助于在风中稳定地飞翔。一开始，有些雌鸟碰巧喜欢长尾巴的雄鸟（当然还有些雌鸟喜欢短尾巴的，或者对尾巴的长短不感兴趣），这样它们的后代就同时有长尾巴和喜欢长尾巴这两种基因。由于这时候的长尾巴有生存优势，在自然选择的作用下，长尾巴的基因在群体中保留、传播开来，喜欢长尾巴的基因也沾光跟着保留、传播。最后，所有的雌鸟都具有了喜欢长尾巴的基因，它们全都选择长尾巴雄鸟为偶。它们对长尾巴的喜欢只是“单纯”的喜欢，越长越好，并不考虑长尾巴雄性的生存优势。因此雄性的尾巴被越选越长，长到对生存有害无益，出现了失控。

另一位英国生物学家汉密尔顿（W. D. Hamilton, 1936~2000）认为，长尾巴并非失控的结果，而是雄鸟

在向雌鸟炫耀自己有好的基因：你看，我身体多么健康，这么笨重的尾巴我都负担得起！我身上没有寄生虫（如果有寄生虫，羽毛就会黯淡无光甚至脱落），放心，我不会把寄生虫传给你和我们的儿女。而且，我天生对寄生虫特别有抵抗力，我们的儿女也会像我一样！

第4节：人为什么不长体毛(1)

对燕子的研究发现，尾巴长的雄鸟身上寄生虫确实比较少，它们的后代也比较不容易感染寄生虫，表明尾巴长的雄鸟确实对寄生虫有可以遗传的抵抗力。而且雌鸟对雄鸟尾巴的偏好，不仅是越长越好，而且是越对称越好。对称性是基因良好的表现，如果有遗传缺陷，就会影响发育，从而破坏对称性。“越对称越好”符合好基因假说，但是并未否定失控假说。

对失控假说的否定来自于一个意外的发现：雄燕的尾巴越长，也越对称。为什么这很意外呢？因为一般来说，某个器官（比如说燕子的翅膀）越偏离正常值，就会越不对称。尾巴越长反而越对称，这不是失控假说所预测的。在失控假说看来，雌燕只是单纯地选择雄燕的尾巴长度，因此尾巴越选越长，也应该像其他器官那样越来越不对称。这种尾巴长度和对称性的相关性正是好基因假说所预测的。它表明，这些长尾巴的雄燕同时拥有异常优良的基因，因此在尾巴很长的情况下，仍然能够保持对称性。

孔雀和燕子一样，雄性的尾巴越长，也越对称，表明是好基因在起作用。但是，别的物种，比如雉鸡，是作为雄性第二性征的鲜艳羽毛越大，越不对称，表明是

失控在起作用。现在看来两种假说都正确，只不过适用于不同的范围：如果一种雄鸟拥有许多种不同的装饰品（比如，羽毛的颜色、大小等等），那可能是失控的产物；而如果它只有一样吸引雌鸟的法宝（比如，尾巴的长度），那是在炫耀它的基因。

人为什么不长体毛

有几位读者在读了《大象为什么不长毛？》之后，不约而同问了这么个问题：人为什么也不长毛？严格地说人是长毛的，而且还不少：分布在人的皮肤上的毛囊数量并不比其他哺乳动物少。但是，除了头顶、腋下、阴部这些特殊部位，我们的绝大部分体毛又细又小，皮肤看上去是裸露的。这在哺乳动物中显得很突出，在灵长类动物中更是绝无仅有，因此有的动物学家干脆把人叫做“裸猿”。

其他猿类身上长满了体毛，但并非一直如此，在它们刚出生的时候，除了头部有毛发，身体其他部位的皮肤也是裸露的。所以在这方面，人类很像幼猿。事实上，人类还具有许多幼猿的特征，例如头与身体的比例比较大，脸平直，牙齿比较小，等等。幼年的黑猩猩看上去要比成年的黑猩猩更像人。人就像永远也长不大的小孩儿。这种现象叫做幼态延续，它可能是某些控制个体发

育的调控基因发生突变引起的，使得人类的整个发育速度变慢，发育过程延缓。这一点很重要，它让人类的大脑在出生后相当长的一段时间内还会继续增大、发育，并让人的一生一直像小孩儿一样有学习的能力。而黑猩猩虽然在幼年时有极强的学习能力，但是一旦成年，这种能力就基本丧失了。

第5节：人为什么不长体毛(2)

所以，人类体毛不发达，可能是幼态延续的产物。但是，这一产物为什么能一直保留下来呢？毛发的丧失有没有什么生存优势呢？毛发虽然是哺乳动物的特征，但也有一些哺乳动物为了适应环境而失去毛发，例如水生哺乳动物（鲸、海豚等）的身体是光洁无毛的。对它们来说，体毛纯属累赘，会影响游泳速度（出于同样的原因，游泳运动员也流行把体毛剃干净），因此在自然选择作用下，它们的体毛逐渐丧失了。有人认为，在人类从古猿进化出来的过程中，曾经有个时期也是水生或半水生的，皮肤光洁就是适应水生环境的结果。人体还有一些特征似乎也与此有关，例如人的婴儿不怕水，很会游泳，而小黑猩猩则很怕水，容易被淹死；人的体形比其他猿类更接近于适合游泳的流线型；人的皮下有脂肪，适宜在水中漂浮，而其他猿类则没有，等等。因此，在有些人看来，人不仅是裸猿，还是“水猿”。

“水猿说”虽然很有趣，却没有化石证据来支持它。从古猿进化到人的各个阶段的化石都发现了不少，但都不是在水生环境中发现的。而且，化石证据表明，人类似乎是在很晚期（几万年前）才学会捉鱼来吃的。在那之前，虽然有的人群生活在海边，但也不懂得捉鱼，科

学家没有在他们的食物化石中发现鱼骨头。这也与“水猿说”相冲突。

因此，“水猿说”虽然几十年前就提出了，却一直只是一个另类假说。主流的说法认为，人类是在非洲大草原上进化出来的。据此，有人提出，人的体毛丧失是为了适应非洲大草原炎热的气候。当我们的祖先走出森林来到大草原，在炽热的非洲太阳直射下以打猎为生时，就会面临其他猿类不会遇到的一个难题，即如何保持身体的冷却。这个理由与解释大象为什么没有毛相似。但是，对大象这种庞然大物来说，如何把体热尽量散发掉是个严重的问题，而对人来说，这个问题不是那么明显。因此，这个解释并没有被普遍接受。

如果我们换一个角度，就会发现在大草原上没有体毛的生活其实是很糟糕的。没有毛发的保护，皮肤很容易被阳光灼伤；在奔跑时也很容易被草叶、树枝划伤（我们没有像大象那么厚实的皮肤）；晚上气温降下来，身体也难以保温。因此，没有体毛其实是一种生存劣势。那么，它为什么没有被自然选择淘汰掉呢？达尔文首先指出，它就像雄孔雀大而无用的尾巴一样，是性选择的结果。也就是说，人类在挑选配偶时，喜欢体毛细小这一性征。男性在择偶时要比女性更看重相貌，导致女性

体毛比男性更细小。

为什么人类在择偶时会挑选这一特征呢？它可能是“我有好基因”的广告：裸露出光洁的皮肤能表明自己很健康，特别是表明自己身上没有寄生虫，不会传染给对方（参见《孔雀为什么长着大尾巴？》）。人类走出森林，在地上建立固定的住所后，虱子之类的寄生虫成了健康的重大威胁。

第 6 节：为什么男人也有乳头(1)

那么，为什么人的头顶、腋下和阴部还保留着毛发呢？头发无疑对大脑有保护作用，但是人的头发不加修剪的话能够长到一米以上，是不正常的，在动物中绝无仅有，明显是一种生存劣势，比如很容易被树枝缠住，被天敌捉住。它的出现可能也与性选择有关：人类在择偶时喜欢长发飘飘的异性。在今天，头发仍然是一种性象征。至于腋毛、阴毛，更与性有关了，它们是性成熟的标志，而且长在腺体发达的部位，能用于收集、散发外激素，吸引异性的注意。

为什么男人也有乳头

顾名思义，哺乳动物最主要的特征是哺乳。人类作为哺乳动物的一员，女人有乳头的的原因非常明显。但是，男人为什么也有乳头？不仅男人，其他雄性哺乳动物也大多有乳头。在 18 世纪的欧洲，这是一个让自然神学家非常难堪的问题。自然神学家相信生物体的构造是上帝巧妙地设计出来的，体现了上帝的智慧。但是，上帝为什么要在男人身上安两个显然没用的乳头？

达尔文在创建进化论时，也深入思考过这个问题。他猜测，在哺乳动物的祖先中，雄性和雌性一样承担着哺乳的功能，当时雄性的乳房也是很发达的。后来由于

某种原因（例如每窝幼仔的数量减少了），不再需要雄性当“奶妈”了，雄性乳房才慢慢退化了。

达尔文的推测虽然富有想象力，却没有什么依据。在达尔文的时代，人们对生物遗传的机制一无所知。如果达尔文具有现代遗传学知识，也许能作出更合理的回答。我们知道，人类的基因被储存在 46 个称为染色体的小包裹里，其中一半是父亲给的，一半是母亲给的，配成了 23 对。其中的 22 对，男、女没有差别，叫做常染色体。和性别有关的是第 23 对染色体，叫性染色体。男人的性染色体其实并不配对，一条大（叫 X 染色体）一条小（叫 Y 染色体）。女人则有两条配对的 X 染色体。

和乳头、乳腺有关的基因都在常染色体上，男女都一样。在胚胎发育的第 3~4 周，乳头就开始出现了。这时候的胚胎甚至连性腺都没有。在第 5 周，性腺出现了。不过，这个时候的性腺是中性的，它会发育成睾丸还是卵巢，完全取决于有没有 Y 染色体。在 Y 染色体上，有一个决定睾丸发育的基因。如果存在 Y 染色体，在第 7 周时，性腺将开始发育成睾丸。如果不存在 Y 染色体，胚胎的性腺会一直等到第 13 周再发育成卵巢。

你也许觉得 X 染色体会和女性的发育有什么关系。其实不然。有些人多了一条 X 染色体，是 XXY。猜猜

看，他们会是什么性别？男性。多出的 X 染色体并不起作用。可见，Y 染色体才是决定性别的染色体。有 Y 染色体，就发育成男性；没有 Y 染色体，就发育成女性。所以，性染色体是 X 或 XXX 的，发育成女性。如果没有性染色体或者只有 Y 染色体呢？这些胚胎没法发育，因为 X 染色体上有很多重要的基因，不能没有它。X 染色体不像 Y 染色体是可有可无的。

第7节：为什么男人也有乳头(2)

带Y染色体的胚胎性腺发育成睾丸后不久（第8周），睾丸开始制造雄激素，在雄激素的影响下，胎儿的生殖器官逐渐向男性分化。如果没有雄激素，胎儿的生殖器官将长成女性。女胎的卵巢虽然也制造雌激素，但是对性别分化没有影响。胎儿不管是男是女，体内本来就都有来自母亲的雌激素。

有一些人，他们的性染色体是XY，他们有睾丸，睾丸也能制造雄激素，但是编码雄激素受体的基因发生了突变，雄激素没法和细胞上的雄激素受体结合。结果，这些人人体内虽然有雄激素，雄激素却发挥不了作用。这些人不仅外生殖器像女人，第二性征也像女人，甚至比正常女人还更有女人魅力——因为正常女人体内有能发挥作用的少量雄激素，就像正常男人体内有能发挥作用的少量雌激素，而这些人人体内只有雌激素在起作用，当然女性化十足。这些人从小被当成女人抚养，有的由于相貌漂亮、身材性感而成为服装女模特。他们往往在等不来月经初潮去就医时，才发现其实是男人，体内并无女性生殖器官，暗藏在其阴部皮肤内的睾丸制造着正常含量的雄激素。

所以，人类（以及其他哺乳动物）发育的默认状态是女人。男人的身体是在女人身体蓝图的基础上，在雄激素的作用下改造而来的。男性化的器官在女人身上都能找到对应部分，反之亦然。男人的乳头相当于没有发育的女人的乳头。当然，如果男人乳头有害无益，自然选择会让它完全消失。男人乳头虽然没有什么用处，但也没有什么害处。有些男人会得乳腺癌，这有时是致命的。不过，当乳腺癌发作时，往往已过了生育期，自然选择不会因此把它淘汰掉。所以，这个问题的答案很明显：男人为什么也有乳头？因为女人需要乳头。男人的乳头是为了满足女人乳房发育需要的无用也无害的副产物。

男人乳头并不是退化器官，而是没有发育的器官，它有血管、神经、乳腺和其他能让它发挥哺乳作用的构造。如果男人体内的雄、雌激素的分泌失调，例如在老年时雄激素分泌量减少，就会让男人的乳房也发育。在某些特殊情况下，例如服用了影响激素分泌的药物，有的男人甚至能分泌乳汁。既然男人具有分泌乳汁的潜能，为什么大自然不让男人乳房也充分发育，分担哺乳的责任呢？

现存的哺乳动物有 4000 多种，其中大约有 90% 其

雄性只管交配不管抚养，交配完就一走了之，这些“坏男人”当然不可能去哺乳；剩下的 10% 其雄性会和雌性组成家庭，共同承担抚养后代的责任。但是，既然母亲的乳汁已经够吃，让父亲也一起哺乳就没有什么必要了。而让他们外出觅食把食物带回家，或捍卫领地，其作用更大。在所有哺乳动物中，只有一种（马来西亚的迪雅克果蝠）雄性在自然状态下会泌乳。我们并不知道这些雄性乳汁是否也用来哺育后代，有可能只是因为它们吃的食物中含有高浓度的植物雌激素，所以刺激了乳汁的分泌，并没有什么用途。

第8节：为什么绵羊不是绿色的

男人不哺乳，因为没必要，这是两性采取不同的进化策略的结果。当然，我们人类可以通过现代医学技术改变进化的宿命。如果哪一天社会上出现了“奶爸”，也不是不可想象的。

为什么绵羊不是绿色的

一位读者问我：为什么亚非草原上的食草动物都是棕黄色的，没有一种演化成与植被颜色相似的绿色呢？而且，绵羊全是白色的，按理，白色在草原上该是非常醒目的，容易被天敌发现。这是人工选育的结果吗？

是的，白色绵羊的确是人工选育的结果。绵羊是第一种被驯化的反刍动物，是大约一万多年前从生活在西亚山区的摩弗仑羊驯化、培育出来的。摩弗仑羊的皮毛是棕色的，背上是一条黑色条纹。羊的相近物种的皮毛颜色也是棕、黑或灰色的。只有阿拉斯加大角羊是白色的，显然是为了适应冰天雪地的环境。

不仅没有一种野生的羊是绿色的，而且极少有哺乳动物长着绿色的皮毛（据我所知，只有个别的蝙蝠、猴子的身体某些部位长着橄榄绿颜色的毛发）。大部分哺乳动物都是棕色或灰色的。这与其他类别的动物形成了鲜明的对比：绿色的昆虫、鱼、青蛙、蜥蜴、蛇、鸟极

为常见。

动物身体颜色的一个主要作用是伪装。自然界到处都是绿色的植被，因此不难理解为什么有那么多动物进化出了绿色的身体。但是，为什么哺乳动物不这么干呢？

动物有两种办法让自己的身体成为绿色。一种方法是合成绿色的色素，这是水螅、海绵、毛毛虫、螳螂采用的办法。但是，哺乳动物的毛发中并无绿色的色素，而是黑色和红黄色两种色素，它们没法混合形成绿色。

其实，所有四足动物的色素都只有这两种。那么，两栖类、爬行类和鸟类是怎么让自己变成绿色的呢？它们利用的是光的衍射。青蛙皮肤上特殊的细胞能衍射蓝光，与黄色素混合，就形成了绿色。变色龙能够快速改变身体的颜色，与环境背景融为一体，也是通过改变其皮肤上衍射细胞的形态做到的，而不是通过改变色素。鸟羽的五彩斑斓则是其羽毛上特殊的显微衍射结构与色素相结合的结果。哺乳动物即使像青蛙、变色龙那样用皮肤细胞衍射光，也会被毛发遮盖掉，而它们纤细的毛发又不像羽毛那样容易进行衍射，因此无法利用这种方法形成绿色。

但是，如果有必要，哺乳动物也可以进化出一种形

成绿色的方法。例如树懒的皮毛上长着藻类，就让皮毛看上去变成绿色了。当它们以每分钟几厘米的速度慢吞吞地在树上移动时，这身绿色就起到了很好的伪装作用。那么，为什么其他哺乳动物不让自己也变成绿色呢？

哺乳动物并不都像树懒那么懒。为了维持体温，哺乳动物普遍必须快速地运动、捕食，而不能像青蛙、蜥蜴等冷血动物那样长时间静止不动。快速运动的身体是很难通过伪装掩盖自己的行踪的。不管变色龙如何善于伪装自己，一旦活动起来，还是很容易被发现的。因此对喜欢运动的哺乳动物而言，消极的伪装相对来说变得不是那么重要。它们更着重于开发主动逃避的手段，尽早发现天敌并快速地逃逸，要躲也主要是躲在洞穴中。

第9节：飞蛾为什么要扑火(1)

当然，哺乳动物也有静止或缓慢行动的时候，伪装并非全无用处。哺乳动物大多在地面活动，长着棕色、灰色的皮毛，容易与泥土、落叶、树干混成一片。在这种生活环境中，棕色、灰色的伪装效果其实比绿色更好。

哺乳动物的天敌主要也是哺乳动物。而大多数哺乳动物都是色盲，无法分辨绿色和其他颜色。它们的世界是灰色的，它们更容易分辨的是色彩的强弱对比和图案。只要皮毛的颜色不过于鲜艳，就不容易被其他哺乳动物发觉，而条纹、斑点等图案也有助于与背景融合。这是大多数哺乳动物的皮毛以棕色、灰色为基本色，并夹杂其他颜色的条纹、斑点的另一原因。

和哺乳动物不同，鸟类有非常好的色彩视觉，对绿色和其他颜色都极其敏感。不过，由于鸟类能够飞翔，对它们来说，伪装更不重要。它们长着五颜六色的羽毛的主要用途不是为了伪装，恰恰相反，是为了突出自己，向异性炫耀。由于大多数哺乳动物是色盲，这也使得它们不能用皮毛的华丽来吸引异性。

有些鸟类在地面生活，它们的飞行能力不强甚至无法飞行，要想防范哺乳动物的捕食，必须善于伪装自己，而这些鸟类的羽毛颜色也以棕色、灰色为主，并夹杂条

纹、斑点，和哺乳动物一样。

飞蛾为什么要扑火

求生是写入基因的最深刻的本能。只有思想能够抗拒本能，所以只有人类能够自杀。其他动物自杀的传说，例如旅鼠奔赴“死亡之约”，也仅仅是传说。但是，飞蛾扑火并非传说，而是每个人都见过的事实，如果这不是自取灭亡，又是什么呢？

飞蛾扑的其实是火光。灯光同样能吸引它们飞扑过来，除非是专门用来捕杀它们的诱蛾灯，否则灯光对它们来说一般并不致命。所以，它们被光吸引不是为了寻死。蛾是夜行动物，选择在夜间出来活动，就是为了能在黑暗中躲避天敌，趋光等于暴露自己的行踪，似乎不应该是它们的习性。它们为何会有如此反常的举动呢？

蛾的历史要比人类久远得多，它们的趋光性不会是因为人类的灯火而出现的。在人类诞生之前，夜晚最明亮的光源只有月亮。也许飞蛾的趋光性与月亮有关？最早这么想的是德国昆虫学家冯·布登布洛克（Von Buddenbrock），他在上个世纪 30 年代提出假说称，蛾在夜间飞行时，很可能利用月亮作为导航工具。由于月亮距离地球非常遥远，在蛾飞行时，月亮和它的相对距离没有变化，在空中的位置看上去是不动的。因此蛾可

以利用月亮进行定位，例如在飞行时让月亮始终位于右前方 45 度的位置，就可以让自己的飞行轨迹保持一条直线。

对蛾来说，月光就等于夜晚最强的光。如果它们见到某盏灯比月光还亮，就会把它当成月亮用来定位。但是，灯与蛾离得很近，在蛾飞行时，它们之间的距离不断地发生变化。蛾试图让灯的方位保持不变（例如，让灯始终位于右前方 45 度的位置），其结果就不再是沿直线飞行，而是一条围绕着灯的螺线，盘旋而来，逐渐接近光源，最后“砰”地撞上灯，或“哧”地被火烧着。

第 10 节：飞蛾为什么要扑火(2)

这个解释听上去很有道理，很快成为标准答案被广泛采用。但是，听上去有道理的答案并不等于事实。它假定了蛾靠月亮来定位，这个假定本身就没有依据。月亮作为晚上显著的标志，夜行动物能够进化出用它定位的本能，有些动物也的确能借助日、月、星辰来定位。但是，蛾是不是也有这方面的能力呢？要在夜间追踪蛾的行踪，用观察或实验来回答这个问题，并不是一件容易的事。

过了 40 多年，到了上个世纪七八十年代，英国曼彻斯特大学罗宾·贝克（Robin Baker）等人才设计了一系列实验要解决这个问题。他们在户外立了一个支架，支架的顶端伸出悬臂，上面吊着一根线，线的另一头粘在一种能长途飞行的蛾——模夜蛾的背上。蛾能够自由地飞向任一方向，当它飞行时，触动了电流开关，会记录下它的运动轨迹。

不出所料，在月圆之夜，蛾试图沿着直线飞行。但是如果遮住月亮，或者用颜料遮盖蛾的眼睛，它们的飞行轨迹就变得有些杂乱。在月亮被树林挡住后，实验人员在距离蛾大约 2 米的地方放一盏 125 瓦的灯，蛾就对着灯改变飞行方向，保持与月亮相同的相对方位。出乎

意料的是，对蛾来说，灯的亮度并不是很重要，更重要的是灯的高度和大小。如果灯只距离地面 0.6 米高，蛾要在距离灯大约 3 米以内才会被吸引。如果同一盏灯被放在大约 9 米高的位置，那么蛾在 15~17 米外就会被吸引。在这个距离，灯的影像大小看上去和月亮的影像大小一样。

在没有月光只有星光的夜晚，蛾似乎是用距离北极星大约 95 度的星星来定位的。如果是连星光也没有的阴天呢？蛾也并不乱飞，而是靠地球磁场来定位。如果逆转周围的磁场，它们的飞行方向也跟着逆转。

这一系列实验看来已证实了飞蛾扑火是因为把灯火误当成了月亮。是不是从此可以把这当成定论了呢？有的人并不这么认为。与贝克等人差不多同时，美国北卡罗来纳大学亨利·萧（Henry Hsiao）也在研究飞蛾扑火的问题。他把美洲棉铃虫粘在泡沫塑料碎片上，放在水池里，记录这种蛾是怎么驾驶泡沫小船的。没有灯光时，小船在水面上没有目的地漂荡。在水面上点一盏灯，小船将向灯漂去，但并不是像标准答案预测的那样呈螺旋线逼近，而是呈直线冲过去，少数直直地撞上灯，多数则是朝向灯的两旁，好像一开始是被灯吸引，但最后一刻又试图逃离。萧认为，这个实验结果难以用流行的理

论来解释。他提出，蛾是把灯光当成了晨曦。蛾夜间飞行白天躲藏，当凌晨的阳光刚刚出现时，蛾向阳光飞去，以便能发现最佳藏匿地点，然后赶快藏起来。

法布尔早在《昆虫记》中记载的一个现象同样令人困惑。如果把雌蛾和灯火放在同一个房间，大多数雄蛾仍然会被灯火吸引，无视雌蛾的存在。雄蛾的使命就是寻找雌蛾交配，为何灯火能够战胜性外激素的强烈诱惑，让雄蛾上演了一幕“生命诚可贵，爱情价更高。若为光明故，二者皆可抛”？有人猜测雌蛾释放的性外激素能吸引雄蛾，是因为性外激素能发射某种红外线，而灯火也能发射这种红外线，而且更加强烈，因此雄蛾把灯火当成了超级雌蛾。但是，这种猜测并没有实验基础。

第 11 节：为什么婴儿逗人喜爱

飞蛾扑火这个自古以来就让人感到神奇的现象在今天仍然是个未能完全破解的谜。不管你是嘲笑飞蛾自取灭亡的愚蠢，还是赞美飞蛾追求光明的勇气，有一点是肯定的，飞蛾并非在寻死，而是误把灯火当成了某种对它的生存或繁衍至关重要的东西，是我们人类的发明操纵了飞蛾早已进化而来的某种本能。

为什么婴儿逗人喜爱

为什么婴儿的样子大家见了都觉得可爱？为什么有的婴儿要比别的婴儿更令人怜爱？上世纪 40 年代，奥地利动物学家、1973 年诺贝尔奖获得者洛伦兹（Konrad Lorenz）通过实验，归纳出构成婴儿的可爱性的特征。这些特征包括：大圆头，大而突出的额头（奔儿头），位置在头部的中线之下的大眼睛，短小、胖乎乎的四肢和手脚，圆胖的体形，柔软、有弹性的皮肤，肥嘟嘟的两颊，动作笨拙。此外，大瞳人、小鼻子、细眉毛、酒窝等身体特征和天真、好奇、调皮等性格也被认为很可爱。

那些强烈地体现出这些特征的婴儿会被认为特别漂亮可爱、柔弱无助，会让大人不由自主地萌生怜爱之心，情不自禁地表现出关爱之举，例如低头察看、抚摸、

轻拍、尖着嗓子叫小名昵称，等等。面对这样的婴儿，大人会消除戒心，感到亲密、温暖，很容易形成感情纽带。这些反应是与生俱来的，不管是在哪种文化环境中长大的人都普遍具有。

婴儿并非是为了吸引大人才进化出这些可爱的特征的。这些特征大多是婴儿在发育过程中自然而然形成的。例如，为了拥有人类那颗信息量巨大的大脑，婴儿在出生后大脑还要持续快速地发育，这就使得婴儿有相对较大、较圆的脑袋；婴儿眼睛的位置较低，随着两颊和下巴一带的骨头的发育，眼睛位置才逐渐往上移；婴儿鼻子上的软骨组织还未发育好，所以鼻子显得小而扁平；婴儿胖乎乎的肢体和柔软的皮肤，是在为身体的生长留下余地；婴儿的动作显得笨拙，是因为要让肌肉群的运动达到协调，需要经过数年的练习。

婴儿的可爱特征不是“有目的”地进化出来的，但是这些特征能在大人心中激发可爱的感觉，则是进化而来的，原因很简单：如果大人觉得他们的婴儿的这些特征很可爱，就会更愿意去保护、照顾他们，婴儿就能更好地生存下来，基因也能得到更好的传播。那些不觉得这些特征可爱的人的基因将难以遗传下来，而被淘汰掉。

成人的这种感情超越了血缘。我们不仅觉得自己的婴儿可爱，也会觉得别人家的婴儿可爱。因此，领养婴儿在人类社会特别盛行，而杀戮婴儿则被视为最无人性的残忍行径之一。

这种感情也超越了物种界限。人类属于哺乳动物，哺乳动物有相近的发育过程，它们的幼仔或多或少都有一些和人类婴儿相近的特征。因此几乎所有的哺乳动物的幼仔都让人觉得很可爱。随着幼兽的逐渐长大，其可爱程度也逐渐降低。某些动物在成年后仍然具有人类婴儿的某些特征，它们就成了最受欢迎的可爱动物，例如大熊猫、树袋熊。

第 12 节：我们为什么会脸红(1)

当然，这些动物并不是为了讨好人类而进化出那些可爱的特征，而是由于其他原因。大熊猫以竹子为食，为了能咀嚼竹子，需要有高度发达的嘴巴肌肉和白齿，因此有了大而圆的脑袋。大熊猫的黑眼眶让它的眼睛显得很大，这和它的四肢黑色皮毛一样，可能是起到伪装作用，使大熊猫在竹林里进食时，能与斑驳的竹林背景融为一体，不容易被发现。这些另有来历的特征，碰巧符合了人类对可爱的标准。这些可爱的野生动物是进化的偶然产物，但是人类也有意识地按可爱的标准培育出类似波斯猫、哈巴狗的宠物。

这种感情甚至也超越了生与死的界限。即使是没有生命的东西，只要具有婴儿的某些特征，也会让人觉得可爱。甚至简单到把一大一小两块圆石头叠在一起，或者一个微笑符号“:-)”，都会让人觉得可爱。艺术家和商人在设计卡通形象、玩具和吉祥物时，充分利用了人性的这一点。最著名的卡通形象米老鼠和最流行的布玩具泰迪熊，都经历了一个从真实性逐渐向可爱性转化的过程。当米老鼠于 1928 年首次在银幕上出现的时候，它还很像老鼠，此后迪斯尼经过多年的摸索，逐步让它“婴儿化”：头、脑门、眼睛变大，耳朵位置靠后，四

肢变粗……变得越来越可爱，但也越来越不像老鼠。泰迪熊在 20 世纪初上市时，身体部位的比例很接近一头真实的小熊。此后，逐渐向婴儿特征靠拢：眼睛变大，前额变高，口鼻变短。只不过泰迪熊的演变并非某个人的创作，而是市场竞争的结果。那些更像婴儿的泰迪熊销路会更好，市场占的份额会更大，就像是一种自然选择。

由于人们对可爱的感觉只是由某些特征的刺激引起的，巧妙设计、夸大这些特征的艺术作品、工艺品就会让人觉得异常可爱，甚至显得比真实的还可爱。当然，如果过分地夸张，就会让人觉得怪异而不是可爱了。在洛伦兹看来，美国女艺术家罗丝·欧尼尔（Rose O'Neil）在 1909 年创造出来的丘比娃娃（Kewpie doll）就代表着可爱的极限。真实的婴儿是很难长得那么夸张的。因此，当人们见到一个长得特别可爱的婴儿时，就会觉得他或她漂亮得不像是真的，用我的闽南老家的话来说，叫做“水啊像画公仔（漂亮得就像玩偶）”。

我们为什么会脸红

“脸红什么？”“精神焕发。”“怎么又黄了？”“呵呵呵呵呵呵，防冷涂的蜡。”在只有样板戏可看的年代，京剧《智取威虎山》的这段对白就连小孩儿也爱模仿。

一个人突然脸红当然不是因为精神焕发，更可能是因为精神紧张。你如果心里有鬼而感到不安，或者处境尴尬而难堪，或者见到暗恋的人而害羞，或者受到赞扬而不好意思……突然间脸上一热，就知道自己脸红了。

第 13 节：我们为什么会脸红(2)

这个过程是交感神经的兴奋导致的，意识无法控制，你越想控制自己不脸红，反而会让脸红加剧。这其实是一种应激反应：在你感到不安、难堪、害羞、不好意思的时候，身体大量分泌肾上腺素。这种激素让你的呼吸加重、心率加快、瞳孔放大，为战斗或逃跑作好准备。同时，它也让血管舒张，以便增加血液流量，提供更多的氧气。血液中携带氧气的红细胞让皮肤出现了红晕。

这是全身作出的反应，为什么只有脸部的皮肤发红，而其他部位的皮肤颜色看不出变化呢？这有两方面的原因。与其他部位的皮肤相比，脸部皮肤的血管更密集、更宽、更靠近表层，因此它发生的变化更容易被别人觉察到。更重要的是，一般皮肤的静脉只含有 α 肾上腺素受体，而脸部皮肤的静脉同时含有 α 和 β 两种肾上腺素受体。这两种受体都接受来自肾上腺素的信号，但是性质不同。 α 肾上腺素受体对肾上腺素较不敏感，而且起到的是让血管收缩的作用；而 β 肾上腺素受体则相反，它对肾上腺素较敏感，并让血管舒张，更多的血液涌入脸部皮肤，告诉人们你的不安。

但是，让人们知道你心里不安对你有什么好处呢？

或者说，这种脸红的本能是怎么进化而来的呢？这个问题让达尔文疑惑不解，在《人与动物的情感表达》一书中，他用了整整一章的篇幅来讨论脸红。即使在现在，人为什么会脸红仍然是个进化论的难题。

人并不是一生下来就会脸红的。它是在幼儿园阶段开始出现的，在青春期达到顶峰，之后逐渐下降。随着年龄的增长，人们变得越来越不容易脸红，或者说，“脸皮越来越厚”了。幼儿园阶段是人的自我意识开始出现，并通过与他人的交往培养社会意识的时期。青春期少年有极强的自我意识，特别在乎别人对自己的看法，而成年人的自我意识又逐渐变得薄弱。脸红的出现和变化似乎与人的自我意识的演变同步。此外，还有其他社会因素与脸红有关。例如，女人要比男人更容易脸红，欧洲人要比亚洲人更容易脸红（这与肤色没有关系，肤色深的欧洲人也能明显地脸红）。

这一切都表明，脸红是一种社会交流的方式。脸红虽然不受意识的控制，但是涉及非常高级的智能。一个人要会脸红，不仅要有自我意识，而且还要能够意识到其他意识的存在，设身处地地猜测其他个体的想法，也就是有移情能力。人类在三岁以后才有移情能力。其他动物只有类人猿才有这种能力。因此，只有人类，也许

还有类人猿，才能用脸红进行微妙的思想交流。

这种交流对自己、对他人都有好处。当你在暗恋对象面前脸红时，让对方觉察到你的感情，就有可能让暗恋变成明恋；当你为做错了事而脸红时，就能让人们知道你的歉意，从而原谅你；当你因为内心的羞愧而脸红时，就会让人们觉得你很诚实，值得信赖，从而愿意和你合作。当然，对人类来说，语言是最主要的交流方式。但是，语言是受意识控制的，可以进行欺骗，而不受意识控制的脸红能透露真实的想法，这些想法有时是你想用语言掩饰的。脸红发出的信号有时甚至比语言还要准确。

第 14 节：我们为什么有两个鼻孔(1)

其他灵长类也能用裸露部位的皮肤颜色变化进行交流，例如脸红表示发怒，臀部的红肿表示发情。灵长类对皮肤颜色变化极为敏感，它可能与彩色视觉的起源有关。在哺乳动物中，只有灵长类具有三色视觉，能够看到由三原色组成的彩色世界，其他哺乳动物都是色盲。这是由于灵长类的视网膜中有三种视锥细胞，可以感受不同波长的光：S 视锥的最佳吸收波长大约是 440 纳米（蓝光），M 视锥的最佳吸收波长大约是 540 纳米（偏绿光），而 L 视锥的最佳吸收波长大约是 560 纳米（偏红光）。

为什么 M 视锥和 L 视锥的最佳吸收波长如此接近？如果它们间隔得远一点儿，显然会更加合理（鸟类的三种视锥的最佳吸收波长就是均匀分布的）。原来，这样的视锥波长分布能够最敏感地感觉到别人皮肤颜色的变化：当灵长类的皮肤充满含氧的血液时，皮肤颜色的波长大约是 550 纳米。从某种意义上说，我们长着这样一双敏感的眼睛，就是为了能够轻易地看到你的脸红。

我们为什么有两个鼻孔

福建漳州有一座始建于唐朝的南山寺，寺里有一间石佛阁，阁里供着一尊五米多高的大石佛，据说是建寺之初聘请名匠，用长在那里的一根巨大石笋雕刻而成的。如果你去参观，当地人会跟你讲这么一个故事：那位名匠对自己的工艺非常自信，竣工时夸口说，如果有谁能指出佛像的一点儿瑕疵，就不取分文工钱。一个旁观的小孩儿说：“佛像的手指头那么大，鼻孔那么小，他怎么伸进去挖鼻屎呢？”名匠羞愧难当，悄悄溜走了。

人的手指头（特别是食指）为什么不粗不细，刚好能伸进鼻孔挖鼻屎？国外有基督徒把这作为人体是上帝用智慧设计出来的证据之一，他大概认为挖鼻屎是上帝赋予的使命，不挖对不起上帝。如果挖鼻孔真的对人类的生存很重要，那么我们可以认为指头与鼻孔的匹配关系，是经过自然选择进化而来的。例如婴儿的嘴巴和母亲的乳头大小相当，显然就是进化的结果。因为这对婴儿能否吃到奶非常关键，嘴巴太小含不下乳头，太大又不容易吮吸。

但是，用手指挖鼻孔能有什么用处呢？你可以说这是在清洁鼻腔。但是，这么做容易传播疾病。清洁鼻腔有更卫生的办法，比如擤鼻涕，并不是非挖鼻孔不可。没用的身体特征也有可能通过性选择进化出来。有人猜

想，在从猿到人的进化过程中，或许雌性更愿意和爱挖鼻孔的雄性交配，两性也会把互相挖鼻孔作为相互清洁身体的求爱表现，这样的话就能影响到手指与鼻孔的大小关系。但是，这个猜想无法解释为什么现在的女性不仅不欣赏，反而讨厌男性挖鼻孔。

第 15 节：我们为什么有两个鼻孔(2)

我们的祖先没有剪刀、指甲刀可用，必然长着又长又锐利的指甲，这样的指头是没法用来挖鼻孔的。所以，我们的祖先大概和其他动物一样，并没有挖鼻孔的习性。挖鼻孔是人类会剪指甲以后才跟着出现的“发明”，这个历史太短，不可能对指头和鼻孔的形态产生影响。因此，指头与鼻孔的对应关系不过是一种巧合。其实，这个巧合也没有那么巧：鼻孔是由软骨和软组织构成的，有一定的弹性，指头粗点儿细点儿都能容纳，大小并不那么重要。

与鼻孔有关的另一个问题更值得思考：为什么鼻孔要有两个？眼睛、耳朵也都有两只，我们很清楚它们的好处。两只在同一方向的眼睛让我们产生了立体视觉，能更精确地定位看到的物体。两只耳朵则有助于确定发出声音的位置。两个鼻孔是否也有类似的作用？

我们虽然有两个鼻孔，但是其实每次主要用一个鼻孔呼吸。鼻孔的鼻甲黏膜中有由血管和结缔组织构成的勃起组织，两个鼻孔的勃起组织交替收缩和扩张，让一个鼻孔通畅，另一个堵塞，每几个小时循环一次。这个周期变化是由下丘脑通过自主神经系统控制的，空气进

入两侧鼻腔的总阻力维持不变，不影响呼吸，因此我们根本就不会觉察到。

为什么有两个鼻孔却只用一个呢？鼻腔的作用是温暖、湿润、过滤空气。鼻黏膜含有一种形状像高脚杯的杯状细胞，不停地在分泌鼻涕，让空气湿润，并粘住空气中的灰尘、花粉、微生物等杂质。鼻腔黏膜上长着纤毛，这些纤毛会从前向后摆动，把粘住的杂质送到咽部吞下去，免得它们刺激呼吸道。如果鼻孔一直在呼吸，鼻腔黏膜就会逐渐变得干燥，失去作用，而且容易受到感染。两个鼻孔交替使用就可以避免这一点，一个在呼吸的时候，另一个则在养精蓄锐，积累黏液，为上场作准备。这样，就能保证鼻腔中一直有温暖、湿润的环境。

鼻子是呼吸通道，同时也是嗅觉器官。在鼻腔的顶部有一层黄色的嗅上皮组织，总面积大约是 250 平方毫米（和大拇指指甲差不多），含有一千万个嗅细胞，用来检测空气中的气味分子，把信息通过嗅球中的神经纤维传递给大脑，产生嗅觉。气味分子要能被嗅细胞捕捉到，首先要被嗅上皮表面的黏液吸附，再扩散到黏膜内层，和嗅细胞结合。

气味分子有的吸附得很慢，有的吸附得很快。对那些不容易吸附的气味分子来说，空气的流速慢，它们才

有时间被嗅上皮的黏液充分吸收。如果空气流速快，它们来不及被吸收就流过嗅上皮了。那些容易吸附的气味分子则相反，如果空气流速慢，它们将全吸附在嗅上皮的一小块区域，只有当空气快速流过时，才能让它们接触到较大面积的嗅上皮，对大脑产生强烈的信号。

第 16 节：我们为什么会流鼻涕(1)

因此两个鼻孔的一关一闭，会影响到对气味的捕捉。其中一个鼻孔的空气流速快，另一个空气流速慢，同一种气味分子进入两个鼻孔时，就会产生不同的反应。斯坦福大学索贝尔（Noam Sobel）等人用实验证明了这一点。他们把容易吸附的左旋香芹酮和不容易吸附的辛烷按相同比例混合在一起，让实验对象分别用一个鼻孔去闻。不出所料，当实验对象用堵塞的鼻孔去闻时，大多数会觉得辛烷的味道较浓；而改用畅通的鼻孔去闻，则觉得左旋香芹酮的味道较浓。

我们知道，正是由于两只眼睛看到的景象略有差异，才让我们有了立体视觉。既然在每一次呼吸时两个鼻孔感受到的气味有些差别，也许能因此产生“立体嗅觉”，我们能更精确地感受气味世界。

我们为什么会流鼻涕

我们通常在感冒、鼻腔发炎的时候才会注意到鼻涕的存在，那样子可不太雅观。其实鼻腔里每时每刻都有鼻涕，也离不开鼻涕，它是保护身体的一道屏障：鼻涕防止鼻腔黏膜干燥，湿润吸进的空气，粘住由空气中吸入的灰尘、花粉、微生物，以免它们刺激呼吸道或引起感染。

一个健康人的鼻子每天要处理几百毫升的鼻涕，但是我们并没有天天都在流鼻涕。这么多的鼻涕跑哪儿去了？一小部分蒸发掉了，一小部分干结成了鼻屎，但是大部分——听了别恶心——被我们吞到肚子里去了。鼻腔黏膜上长着纤毛，这些纤毛会从前向后摆动，鼻涕也就被往后送到咽部。因为鼻腔和食道是相通的，所以大部分鼻涕都被我们不知不觉地吞咽下去了。

这听上去虽然恶心，但对人体并无害。鼻涕的成分除了水，还有蛋白质、碳水化合物、盐以及一些脱落的细胞。鼻涕中的蛋白质主要是黏蛋白，它是一种糖蛋白，被由碳水化合物组成的“糖衣”包着，这使得它能大量地吸收水分。鼻涕中的其他蛋白质还包括抗体和溶菌酶，能够杀灭细菌、病毒。这些成分会作为营养素被胃肠消化、吸收。当然，鼻涕中还含有粘住的灰尘、花粉、微生物。不过，这些杂质胃酸对付得了，不会给身体造成麻烦。

有一部分鼻涕其实是眼泪。眼睛中的泪腺也无时无刻不在制造泪水湿润眼睛，我们之所以不会整天泪眼汪汪，是因为这些泪水都从连接眼睛和鼻腔的泪管流到鼻子里，成为鼻涕的一部分。如果你大哭起来，一部分眼泪从眼角流出，大部分还是涌进鼻腔，让你的鼻子“抽

泣”，于是就有了“一把鼻涕一把泪”的说法。

不过，大部分鼻涕是鼻黏膜自己分泌的。鼻黏膜含有一种形状像高脚杯的细胞，所以叫杯状细胞。杯状细胞制造出很多黏蛋白，黏蛋白被释放到细胞外头后，大量地吸收水分，体积能膨胀 600 倍。杯状细胞一天只需要制造 1 毫升黏蛋白，就足以满足鼻腔的正常需要了。

第 17 节：我们为什么会流鼻涕(2)

如果鼻腔受到了刺激或被感染，鼻涕的分泌量就会激增，这很自然，因为鼻涕的一个主要功能就是清除吸入的杂质嘛。例如，感冒病毒入侵了鼻细胞，或者过敏体质的人吸入了花粉、粉尘，免疫系统就会制造相应的抗体试图消灭这些抗原。抗体分布在鼻腔中的肥大细胞的表面上，肥大细胞的内部含有大量叫做组胺的活性物质，抗原和抗体结合后，就会刺激肥大细胞把组胺释放出来。组胺进而刺激杯状细胞制造更多的黏蛋白，也就产生了更多的鼻涕。同时，组胺能引起血管扩张，通透性增加，血液中的水分渗出来，白细胞也跟着跑出来消灭病原体。这不仅进一步增加了鼻涕的量，而且导致了鼻腔堵塞。过量的鼻涕一部分流了出来，还有一部分被堵在了后头。

所以，鼻塞、流鼻涕其实是免疫系统给我们制造的不适，是一种过敏反应。组胺需要和细胞表面的组胺受体相结合才会有这些作用，那么如果能不让组胺与其受体结合，就可以减轻鼻塞、流鼻涕的症状。抗过敏药、感冒药经常用的就是这类组胺拮抗剂，例如马来酸氯苯那敏（又叫扑尔敏），它们和组胺竞争，抢着与组胺的受体结合，让组胺结合不上去，就抑制住过敏反应。组

胺拮抗剂经常与伪麻黄碱之类的减充血剂一起使用，后者可以让鼻腔的血管收缩，从而减轻鼻腔堵塞。把组胺拮抗剂、减充血剂以及解热镇痛药（例如对乙酰氨基酚，又叫扑热息痛）、镇咳药（例如右美沙芬）掺在一起，就成了很有效的复方感冒药。市场上著名的感冒药（例如“泰诺”、“白加黑”）的组成都基本相同，超不出这四种成分。

正常的鼻涕是无色透明的，也就是所谓清鼻涕。感冒时一开始流出的也是清鼻涕，之后鼻涕会变得浓一些，成了白色。再往后流出的可能就是绿色的浓鼻涕了，看上去就像脓一样，特别是如果继发了细菌感染，更是如此。为什么鼻涕成了绿色的了？和脓一样，因为它含有大量的嗜中性粒细胞。嗜中性粒细胞虽然属于白细胞，却是绿色的。

免疫系统发现有病原体入侵人体时，开始调兵遣将，嗜中性粒细胞就是最早赶到战场的。嗜中性粒细胞是被血液送来的，但是它跑到血管之外作战。它是一种吞噬细胞，它的作战方式是把细菌“吃”进去，在细胞里用各种武器将病原体杀死。武器之一是向细菌释放消毒剂——次氯酸（家用漂白剂的主要成分）。次氯酸是由嗜中性粒细胞内的髓过氧化物酶制造的，髓过氧化物酶的

结构和叶绿素有个共同点，都含有二氢卟吩环，这个特殊结构决定了它们的颜色：绿色。因此，浓鼻涕会是绿色的，是因为它含有很多嗜中性粒细胞，而嗜中性粒细胞又含有很多绿色的髓过氧化物酶。

第 18 节：我们为什么会发烧

用来制作寿司芥末酱的山嵛菜的根茎也含有大量的类似的过氧化物酶，所以做出的酱也是绿色的。幸好，山嵛菜刺鼻的辣味来自异硫氰酸，而不是过氧化物酶。否则，流着辣辣的鼻涕该有多难受！

我们为什么会发烧

一个中国人在美国生活会感到头痛的一件事是，美国人还在使用绝大多数国家都已抛弃的华氏温标。华氏温标的设定非常古怪，把水的冰点定为 32 度，沸点定为 212 度，中间分成 180 度，非常不容易记忆和换算。华氏温标这一古怪的设定是历史的产物：德国人华伦海特在 1714 年发明该温标时，把冰、水和盐的混合物能达到的最低温度定为 0 度，把健康人（据说是其妻子）的体温定为 96 度（后人将其修正为 98.6 度，即 37 摄氏度）。

华伦海特如此设定，显然以为健康人的体温是一个恒定的数值。其实不同的人的体温存在差异，即使是同一个人，在不同环境、不同时间、不同身体状态下的体温也不完全一样，甚至一天之内都会有变化。在身体不同部位测得的体温也不一致。口腔温度在 36.1~37.5 摄

氏度之间通常被认为是正常的，腋下温度偏低约 0.3 摄氏度，肛门温度则偏高约 0.5 摄氏度。

所以，体温根本就不适合用来定温标。不过，我们既然属于恒温动物，体温的变化还是受到了严格的调控。这个调控中心位于大脑内一个叫视丘下部的区域，它通过两个途径收集体温变化的信息，再发出升温或降温的命令。一个途径是从皮肤上的热、冷感受器送来信号，这些感受器极其敏感，只要温度升高 0.007 摄氏度或降低 0.012 摄氏度，它们就能觉察到。另一个途径是直接感受流经视丘下部的血液的温度。如果视丘下部觉得体温过高，就会发出信号，让身体作出降温反应。体内热量主要是新陈代谢过程产生的，减少新陈代谢就可减少热量的产生，让皮肤血管舒张、出汗能增加热量的散发；反之，如果觉得体温过低，就会增加新陈代谢制造热量，让皮肤血管收缩，或用颤抖的方式让肌肉运动产生热量。

有时，体温会高到超出了正常范围，这时我们就知道自己发烧、生病了。其实发烧本身不是病，而是生病的症状。有很多种原因能够导致发烧，最常见的是病菌、病毒感染。这些病原体进入体内后，引起了一连串反应。它们遇到血液中的巨噬细胞（一种白细胞），刺激它释

放白细胞介素之类的细胞因子。这些细胞因子随着血液循环到了体温调控中心，刺激那里的细胞释放出前列腺素 E2。前列腺素 E2 会使感热神经元的放电速率降低，或者说，把“正常体温”的设定值给调高了，让身体觉得体内热量不足，于是就要增加产热和减少散热。肌肉运动是增加产热的一种快速方法，因此发烧的人会不由自主地颤抖。为了减少散热，皮肤的血管收缩，那里的血液被送到体内深处，因此发烧的人会觉得发冷。扑热息痛（对乙酰氨基酚）、阿司匹林（乙酰水杨酸）等药物能够抑制前列腺素 E2 的合成，因此它们是很有效的退烧药。

第 19 节：为什么夜空是黑暗的(1)

吃了退烧药，或者烧退了、病好了，体温设定值便恢复正常，身体要把多余的热量散发出去，就会出汗。所以退烧会导致出汗。但是，许多人倒因为果，误以为是出汗导致了退烧，因而在民间流行着这样的土办法：发烧后多穿衣服、多盖被子，捂出汗来病就会好。

由此可见，发烧是人体在遇到病原体入侵时产生的一种正常生理反应。哺乳动物、爬行动物、两栖动物、鱼类和一些无脊椎动物在感染了病原体后，都会出现类似的反应。这不能不让人猜测，发烧是否是进化而来的一种抵御病原体的有效方法？它在总体上对身体是否有益的？

理论上，体温升高能加速某些免疫反应，比如能加速白细胞的增殖和运动，增强巨噬细胞吞噬病原体的能力，并能抑制某些对温度敏感的病原体的增殖等等，这些都有助于身体的康复。动物实验支持这一猜测。让蜥蜴感染病菌，体温较高的，则生存率也较高。人为升高老鼠、兔子、猪、狗等哺乳动物的体温，发现它们对某些病毒、病菌的抵抗力增加了。初步的人体临床试验也表明，发烧可能有些好处。例如，小孩儿患水痘，从发

烧、出疹到完全结痂，大约要一周。如果用扑热息痛退烧，和用安慰剂相比，这个病程要多一天。成人患普通感冒后服用阿司匹林，鼻涕里感冒病毒的量要比服用安慰剂的人多。

当然，如果体温过高也是有害的。如果是高烧（肛门温度高于 41 摄氏度），会对细胞、组织造成损伤，也可能导致身体丧失对体温的调控。当体温达到 42 摄氏度时，感热神经元的放电速率达到了最高峰，感冷神经元的放电速率则跌到了最低谷，无法对体温作进一步的调控。因此，人一旦发高烧，会很危险，必须立即采取手段让体温下降。

如果只是一般的发烧，未必就要急着吃药退烧。在通常情况下，吃退烧药只是让病人觉得舒服一些，无助于身体康复，反而可能还会有所延误。

为什么夜空是黑暗的

奥伯斯（Heinrich Wilhelm Matthias Olbers, 1758~1840）出生在德国不来梅附近的一个小村庄，19 岁那年到哥廷根学医。哥廷根大学的一个特色是学生享有学习的自由，学医的奥伯斯在那里也能跟着有“德国数学之师”之称的数学教授、天文台台长凯斯特纳（Abraham Gotthelf Kaestner, 1719~1800）学习数学和天文学。毕

业后，奥伯斯回到不来梅当医生，但他的真正兴趣是天文学。他白天行医，晚上则在改造成天文台的自家顶楼进行天文观测，天天如此，每天睡觉时间不超过四个小时。

奥伯斯在上大学的时候，发现了一个计算彗星轨道的方法，这一方法沿用至今。此后他共发现了五颗彗星，其中一颗后来以他的名字命名。1801年新年的晚上，意大利天文学家皮亚齐（Giuseppe Piazzi）发现了第一颗小行星谷神星，想再进一步观察时却找不到它了。奥伯斯在那一年的年底，根据数学家高斯的计算重新发现了它，平息了谷神星是行星还是彗星的争论。奥伯斯本人后来发现了两颗小行星：1802年发现第二颗小行星智神星，1807年发现第四颗也是最亮的一颗小行星灶神星。不过，奥伯斯在现在最广为人知的，是他在1823年提出了一个听上去很傻的问题：为什么夜空是黑暗的？如果宇宙是无限的，恒星均匀地布满天空，那么夜晚的天空也将和白天一样明亮。

第 20 节：为什么夜空是黑暗的(2)

实际的情况当然并非如此。这种理论和实际的矛盾，物理学上称为佯谬。奥伯斯指出的这个矛盾，后来就被称为奥伯斯佯谬。其实，它并不是奥伯斯首先提出的。1610年，伽利略用望远镜发现空中有无数肉眼看不到的恒星后，认为宇宙是无限的，恒星的数目也是无限的。开普勒不以为然，给伽利略去信指出，如果那样的话，夜空就不会是黑暗的。他打了一个比方。假如你站在无边无际的森林中向前看，不论你往哪个方向看，都只能看到一根根的树干连成一片挡在你的眼前，看不到任何间隙。只有当你是 在一片小森林中时，才能透过树干的间隙看到外面的世界。同样的道理，如果宇宙是无限的，那么恒星将占据天空的每一点，它们发出的光终将抵达地球，所有的恒星发出的光都将连成一片，就像我们在夏天看到的银河一样。既然实际情况是恒星彼此之间有黑暗的间隙，那就说明宇宙是有限的，透过这些间隙，我们看到的是一堵包围宇宙的黑暗围墙。

但是，后来的天文学家都相信宇宙在空间上和 时间上都是无限的。怎么解决这个矛盾呢？18 世纪初，英国天文学家哈雷提出了一个容易想到的解决方案：远处恒星发出的光线在抵达地球时强度变得十分弱，无法被我

们看到。但是这个解释是站不住脚的。虽然光线的强度按距离的平方而减少，但是在一个无限大的宇宙中，天空的体积也即恒星的数量将按距离的平方而增加。也就是说，在远处某一点，恒星数量增加的比例恰好等于光强度减少的比例，二者互相抵消，总的光强度与距离远近无关。如果多数恒星都和太阳一样，天空的每一点都应该和太阳盘面一样亮。天球的面积是太阳盘面的18万倍，那么照射地球的星光亮度也应该是阳光的18万倍。

奥伯斯提出的解释是，太空并不是“透明”的，遥远恒星发出的光被弥漫在恒星之间的稀薄物质云给遮挡、吸收了。但是在热力学定律被发现之后，这个解释也经不起推敲了。根据热力学定律可知，假如有太空物质遮挡住星光，光能将会被吸收转化成热能，这些能量最终要重新被辐射出来，从而也要发光（虽然光的波长可能不同），天空仍然还是一片明亮。

要解决这个佯谬的唯一办法是否定其大前提，即宇宙不是无限的，因而恒星数量是有限的。但是，这还不够。即使恒星数量是有限的，其数量也近乎无限，足以照亮整个夜空。1848年，美国小说家爱伦·坡在一篇随笔中指出，唯一的出路是假定远处的星光还来不及照到

地球上来。也就是说，宇宙在时间上有一个起点，而且宇宙的年龄还没有老到足以让我们见到所有远处恒星发出的光。

第 21 节：没有统治者的和谐社会(1)

我们现在知道宇宙的年龄的确是有限的，宇宙是在大约 137 亿年前由大爆炸形成的。而计算表明，要把地球的夜空全部照亮，要花上以亿亿亿年计的时间，远处的星光才能都抵达地球。显然，我们的宇宙还太年轻了。

而且宇宙在不断地向各个方向膨胀，各个星系在互相远离，当然也都在远离地球。空间的膨胀导致光线在传播时波长被拉长，能量也因此降低了（波长与能量成反比）。这个现象称为“红移”，意思是可见光向能量较低的红光转变，而红光还会向能量更低的红外线、微波转变。所以遥远的星光在抵达地球时，能量已低到不能被肉眼见到了。由于宇宙太年轻，所以夜空是暗的；而由于宇宙在膨胀，让夜空变得更暗。“为什么夜空是黑暗的？”这个问题其实一点儿也不傻，蕴涵着宇宙的奥秘呢。

世界是一张网

没有统治者的和谐社会

在人们的心目中，沙漠是没有生机的。其实并非如此。在美国亚利桑那的沙漠，光是生活在那里的蚂蚁就有 100 多种，其中最常见的是以采集种子为生的红色收获蚁。夏天雨季是它们的繁殖季节。每个夏天，一旦开

始下雨，长着翅的年轻蚁后和雄蚁就试图飞出巢寻偶，但通常会被工蚁给硬拽回去。突然有一天，一般是在第二或第三场雨之后第一个晴朗的下午，各个巢中的年轻蚁后和雄蚁似乎不约而同地被放了出来，开始了它们一生中唯一的飞翔。成千上万只年轻蚁后和雄蚁密密麻麻地飞到同一块地方交配。

交配之后，雄蚁继续聚在一起等死，它们只能再活一两天。蚁后则分散飞走，独自找个合适的地点降落下来，脱掉翅，开始挖巢。在这个过程中，绝大部分蚁后都被鸟、蜥蜴吃掉，或被同种、异种的工蚁杀死。只有不到1%的年轻蚁后设法挖好巢，躲起来开始产卵，等到工蚁孵化出来，日子就开始好过了。这些劫后余生的蚁后能够活上15~20年，最多的时候，一个蚁巢能够同时有上万只工蚁忙进忙出。

年轻的工蚁只在巢内活动，负责照看蚁后、幼蚁和储存食物；年纪大一些后才开始参与外部事务。与外部有关的活动分为四种：每天早晨几只工蚁先出去侦察周围的情况；然后，负责采集的工蚁再成群结队地到侦察蚁指定的地点搬运食物；另有一些工蚁负责巢的建造、维修工作，把挖出的土搬到洞口倒掉；还有一些则是清洁工，负责把巢里的垃圾清理出去。

哪一只工蚁干哪一项工作是不是天生就决定了？或者虽然不是天生的，但是一旦选择了做哪项工作就终生不变呢？在通常情况下，工蚁选择了干哪一行似乎就一直干下去，但是长期研究收获蚁的斯坦福大学生物学家黛博拉·戈登（Deborah Gordon）用一系列实验证明，工蚁会随着环境的变化而按一定的规律变换工种。

第 22 节：没有统治者的和谐社会(2)

戈登给不同工种的工蚁用不同颜色的涂料标记，以便追踪它们。她在蚂蚁的采集地点放上许多种子，让蚂蚁知道有了新的食物来源。这时，侦察兵、维修工和清洁工都纷纷改变角色，参与抢运这些食物。在另一个实验中，戈登从附近抓来 10 只与收获蚁竞争食物的另一种蚂蚁，放在收获蚁巢的周围。收获蚁发现这些竞争者后，派出更多的侦察兵，其中有的是维修工和清洁工变来的。戈登做的第三个实验是在蚁巢洞口放一些牙签，增加维修工的工作量。为此，参与维修工作的蚂蚁增多了，但是新增加的维修工都是没有被标记的，它们是从本来只负责洞内事务的年轻工蚁转变来的。

这些实验结果表明，工蚁是会变换工种的，但是不同工种的级别不一样：维修工的级别最低，只能从年轻工蚁那里获得补充，维修工一旦改而从事其他工种，就不会再回头去做维修工了；而采集工的级别最高，采集工是不会再改而从事其他工种的，即使其他工作需要，它们宁愿闲着也不去帮忙。采集食物是蚁巢的头等大事，也是最辛苦的工作，采集工要摆这样的架子是可以理解的。

那么，由谁来决定哪只工蚁从事什么工种或变换工

种呢？你可能会想到蚁后。其实，蚁后的“后”是人类所赋予的，它并非蚁巢的统治者，而只是一个生育机器。除了进食和产卵，蚁后几乎不会干其他任何事情。它不可能了解蚁巢和周围环境发生的变化，也不可能对工蚁发号施令。事实上，大部分工蚁在出生后就与蚁后失去了联系，特别是在成为采集工之后，就只待在洞穴靠外的部分，连洞穴深处都不去了。

不可能有哪一只蚂蚁能够管理一万大军。在蚁巢中没有统治者或管理者。每只工蚁要从事什么工作，是它自己决定的。那么，它如何决定是继续现在的工作、闲着还是改换工种？这可能取决于两个因素：一个是环境因素（发现新的食物来源、竞争对手，等等）的直接刺激，另一个是间接从其他工蚁那里得来的信息。观察过蚂蚁的人都会注意到，蚂蚁最喜欢干的一件事是互相碰触角打招呼，这实际上是在闻对方身上的味道，从中可以知道对方是不是同一个巢的、在从事什么工作、是否成功等信息。

一只闲着的工蚁其实并没有完全闲着，还在不停地和经过的工蚁打招呼。它可以根据它接触到的某个工种工蚁的数量、接触频率和它们的状况来决定自己是继续闲着等待从事同一工作，还是立即改变工种。比如说，

我们可以设想，一只闲着的维修工如果接连碰到五只成功运回食物的采集工，它就知道采集工作很繁忙，自己有必要参与进去。计算机模拟表明，每只工蚁都遵守类似的简单规则，于是就会出现人们观察到的有序变化。

第 23 节：小资、强盗、小偷与骗子

只要每个成员都自觉地严格遵守同一套规则，那么不需要有统治者，整个社会就可以有序地运行，甚至比有统治者的社会还和谐。这也许让人羡慕，可惜人不是蚂蚁：人是有自由意志的。

小资、强盗、小偷与骗子

2007 年 11 月，日本明仁天皇道歉了，不过，这是因为他从美国带回来一种水产品——蓝鳃太阳鱼。蓝鳃太阳鱼原产于纽约州，后来由于放养，遍布美国的淡水湖泊和河流，并成了伊利诺伊州的州鱼。1960 年，当时还是皇太子的明仁访问芝加哥，芝加哥市长将这种鱼作为礼物送给他。明仁回国后，将鱼苗转赠给日本一家渔业研究所研究，想为日本餐桌添一美味。

该研究所不负所托，精心培养“王子鱼”，并在三年后，开始在日本最大的湖泊——滋贺县的琵琶湖试放养。放养极为成功，实际上太过成功了，它们的数量剧增，并逃逸入侵其他水域，泛滥成灾。到 2000 年时，已遍布日本湖泊、河流，使多种当地鱼类濒临灭绝。这种鱼在美国被视为最好吃的鱼之一，但是日本人不爱吃，想把它们变成肥料和饲料的项目也不怎么成功。现在，滋贺县政府在号召日本人吃蓝鳃太阳鱼并提供菜

谱，希望抢在本地鱼类灭绝之前，先把蓝鳃太阳鱼吃光。

这可不容易，蓝鳃太阳鱼的繁殖力非常强，一条雌鱼一次能产几万颗卵。但这些卵要能孵出、存活，要靠雄鱼的照料。雄鱼先筑好巢，然后待在巢内发声求偶，吸引来雌鱼后，一起翩翩起舞，产卵、受精，然后雌鱼离开，留下雄鱼在巢内守护卵。2~3天后小鱼出生，雄鱼还要继续守护5~7天，直到小鱼离巢。如果没有雄鱼的守护，小鱼无法存活。雄鱼为此作出了重大牺牲，在这段时间内，它不离开巢觅食，体重为此要减轻10%。为了作好准备，雄鱼在7岁以后，身体长得比较大了，才开始担任父亲的角色。

但是，并不是所有的雄鱼都愿意过这种中规中矩的养家糊口的“小资”生活。有的雄鱼体形长得比一般的雄鱼要大一些，它们宁愿去当强盗，发现有的巢里已经有卵之后，就进去把原主人赶走，自己留在巢内，把雌鱼吸引过来产卵、受精后，再把巢还给原主，让它在照料它自己的后代的同时，也培养强盗的后代。

还有的雄鱼可不想浪费7年的光阴，它们在2~3岁时就想当父亲了。这时它们的体形很小，打架根本不是“小资”雄鱼的对手，强盗当不成，只能去当“小偷”。它们躲在巢边，等到“小资”夫妇翩翩起舞、产卵受精

时，它们偷偷地溜进去，快速地给卵受精，然后溜走。这么做的风险很大，“小偷”经常会遭到“小资”的袭击而死亡。但是回报也很高，一旦成功，他们能让 80% 的卵受精。

第 24 节：蟑螂的民主决策(1)

“小偷”如果侥幸活下来，长到 4~5 岁时，体形变得比较大，想要再当“小偷”就不容易了。于是，它们改当“骗子”了。这时，它们的体形和成熟雌鱼相当，身体颜色也变得和雌鱼一样，看上去和雌鱼很像。在“小资”夫妇开始交配时，它们冒充雌鱼，模仿雌鱼的迷人游姿，大摇大摆地游进巢去。“小偷”——“骗子”至此完成了使命，不久就死了。它们从未过上“小资”的生活。一条雄鱼是当“小资”还是当“小偷”——“骗子”，在发育的早期就已决定，这可能受遗传因素的影响。

在发现周围有“小偷”时，有的“小资”会怀疑巢内的卵已被“玷污”，干脆离巢遗弃所有的卵或已孵出的小鱼，任其自生自灭。有的“小资”虽然舍不得就此离巢，但是在遇到天敌袭击时，它们不再愿意尽力保护卵、小鱼。有时，“小资”虽然没有觉察到“小偷”的存在，但是在小鱼孵出后，发出的味道可能让“小资”觉得不对劲，从而降低了保护小鱼的意愿。

“小偷”——“骗子”能骗过“小资”，却骗不过雌鱼。但是雌鱼不仅不进行干涉，反而欢迎“小偷”——“骗子”的加入，它会产下比平时更多，能多达三倍的卵。既然“小资”一旦发现卵可能已受到“小偷”——“骗子”

的“玷污”就不太愿意尽心守护卵，雌鱼这么做岂不是在浪费卵吗？

原来，在同样的条件下，“小偷”——“骗子”的后代长得要比“小资”的后代快。离巢时，“小偷”——“骗子”的后代的体长能比“小资”的后代长大约 20%。而小鱼体形越大，则生存率会越高。体形大的小鱼更能忍受饥饿，更善于捕食，甚至躲过天敌的捕捉。在野外，蓝鳃太阳鱼的小鱼的主要天敌是水螅。刚离巢的小鱼大约有 20% 被水螅用触须抓去吃，但是体形大的小鱼就能躲过这一劫难。实验表明，在遇到水螅捕食时，“小偷”——“骗子”的后代的生存率是“小资”后代的三倍。显然，雌鱼欢迎“小偷”——“骗子”，是在“计算”过利弊之后作出的决定。只要能留下自己的基因，雌鱼才不管配偶是“小资”还是“强盗”、“小偷”、“骗子”呢。“小资”、“强盗”、“小偷”、“骗子”，都是传宗接代的游戏中难分高下的策略，而雌鱼才是这个游戏的最大赢家。

蟑螂的民主决策

洞庭湖边鼠满为患的时候，有一位时评家写过一篇文章，很认真地说老鼠的生命力如此之强，我们应该敬畏它。我不知道他说的敬畏是什么意思，是不是要搞一

个拜老鼠教？那样的话，还不如搞一个拜蟑螂教。蟑螂的生命力之强，更值得“敬畏”：

它们几乎可以吃任何有机的东西，连拌了老鼠药的毒饵都可以成为它们的安全食品。在饱餐一顿之后，它们可以三个月不吃东西，一个月不喝水，还能活下去。把蟑螂的头切掉，它们还可以继续活上一周到一个月，直到死于脱水或饥饿。蟑螂的繁殖力同样惊人，如果房间里跑来了一只雌性德国小蠊，在适宜的条件下，一年之内它就可以留下十万只后代。难怪一个房屋一旦有了蟑螂，就很难消灭干净。也难怪蟑螂已经在地球上生活了三亿多年之久。比它更晚出现的恐龙早已灭绝，而它越活越滋润。而且，三亿年来形态没有什么变化，三亿年前的蟑螂化石看上去和现在的蟑螂没有多大的不同。

第 25 节：蟑螂的民主决策(2)

我们当然犯不着为此去敬畏蟑螂，不过作为进化得如此成功的物种，蟑螂有很多值得研究的地方，比如它的行为模式。

蟑螂很喜欢钻到隐蔽的地方躲起来，以免被发现。蟑螂在躲藏的时候还喜欢扎堆，这也容易理解，聚在一起有很多好处：容易找到配偶，容易沾光揩油跟着大家找到食物，在干燥的环境中聚在一起还能保湿，等等。当然，太多蟑螂都扎堆在一起也不好，毕竟资源是有限的。那么，它们怎么选择到哪里和如何扎堆呢？

在蟑螂的社会中，没有领袖来发号施令，也没有蚂蚁那样的社会分工，每一只蟑螂都是平等的，决策过程完全民主。要集体作出合理的民主决策，并不需要有高深的思想和高超的智力，只需要大家都本能地遵循几条简单的原则：每只蟑螂都出去随机探索环境，发现隐蔽处，根据隐蔽处的质量好坏进行选择，蟑螂互相接触、相互影响，然后根据隐蔽处的拥挤程度来决定自己是留下还是离开。

比利时布鲁塞尔自由大学的研究人员为此做了一系列实验。这些实验很容易做，如果你有空养蟑螂也可以去重复。在一个器皿中建两个相同的遮蔽处（比如放

两个塑料瓶盖)，然后放一些（比如说 50 只）蟑螂进去。蟑螂起初到处乱爬，互相触碰进行“咨询”，慢慢地就往遮蔽处扎堆了。如果遮蔽处的容量足够大（比如说能容纳 60 只蟑螂），那么所有的蟑螂会倾向于躲到其中某个遮蔽处，而让另一个遮蔽处空着。选择哪个遮蔽处来躲是随机的。

把遮蔽处的容量缩小，比如说每处最多只能容纳 40 只蟑螂。会出现什么情况呢？是不是 40 只挤到一处，剩下的 10 只到另一处呢？不是，蟑螂将会倾向于作平分，在两个遮蔽处中各有 25 只蟑螂。

现在再放进一个遮蔽处，蟑螂会不会平均分配到三个遮蔽处里面去呢？不然。如果遮蔽处的容量不够大（只能容纳 40 只蟑螂），那么蟑螂将在其中的两处作平分，每处各有 25 只蟑螂，而让第三处空着。如果遮蔽处的容量足够大（可容纳 60 只蟑螂），那么 50 只蟑螂都将挤到一处，而让另两处空着。

如果这些遮蔽处的质量都一样，那么蟑螂选择去哪一处是随机的。如果遮蔽处的质量存在差异，比如有一处比较暗，另一处比较亮，那么蟑螂在大多数时候会选择去较暗的遮蔽处。

从数学上可以证明，蟑螂这么做对每个个体来说都

是最佳的选择，可以合理地平衡竞争资源与相互合作的关系。不需要有领导来“集中”，绝对的民主决策也能获得最佳结果。

能有这样的结果是因为大家都遵守游戏规则。假如出现一只突变的蟑螂非要别出心裁不可，又会怎样呢？要找到这种突变蟑螂可不容易，研究人员便建造了机器蟑螂来代替。这种机器蟑螂看上去一点儿也不像蟑螂，倒像一辆玩具汽车，不过蟑螂的眼神很不济，在给机器蟑螂涂上从蟑螂身上提取的化学物质，让它们带上蟑螂的味道后，蟑螂就把它们当成蟑螂对待，也和它们触触碰碰进行咨询了。

第 26 节：好人和骗子的博弈(1)

研究人员通过程序控制，让机器蟑螂也具有蟑螂的特点：喜欢躲藏到阴暗的遮蔽处和喜欢扎堆。在 12 只蟑螂中放进 4 只机器蟑螂，这个群体的表现和正常的蟑螂群体一样，让它们在一暗一亮两个遮蔽处挑选，大多数时候它们都会躲到暗的遮蔽处去。

然后，研究人员改变程序，让机器蟑螂喜欢较亮的遮蔽处。结果，在这几个机器蟑螂的误导下，出现了反常：在大多数时候，蟑螂群体会躲到较亮的遮蔽处去。说不定我们以后可以利用这种机器蟑螂，把房间中暗藏的蟑螂都引到明处，聚而歼之。

所以呢，民主决策虽然是个好东西，但是也很脆弱，很容易被别出心裁的异己分子所破坏。不过，如果这些异己分子出的是坏主意，会很快被自然选择淘汰。不幸的是，在它们被淘汰时，会有一大帮盲从它们的家伙陪葬。

好人和骗子的博弈

1950 年，美国数学家阿尔伯特·塔克(Albert Tucker)在斯坦福大学给心理学家做报告时，讲了一个故事。警察在盗窃现场附近抓到了两名疑犯阿尔和鲍勃，把他们分开审讯，并分别向他们开了条件：如果两人都不招供

（疑犯彼此“合作”），警方没有他们盗窃的证据，将以携带武器这一较轻的罪名将他们各判处1年监禁；如果两人都招供并牵连对方（疑犯彼此背叛），两人都将被判处10年监禁；如果有一人招供并牵连对方，而对方不招供，此人将被免于起诉，而对方将被判处最高刑期20年。

阿尔会想：“鲍勃要么招供要么不招。如果鲍勃招了，而我不招，那么我将被判20年，我招了则被判10年。如果鲍勃不招，我也不招，那么我将被判1年。但是，如果我招了，我将被免于起诉。所以，不管鲍勃招不招，我招供都是最好的选择。”鲍勃也这么想。最终两人因为都“理性”地选择招供而被判了10年。但是，如果他们都“非理性”地选择不招，则只会被判1年。

理性的选择却不能带来最佳的结果，这个“囚徒困境”后来成了博弈论最著名的问题。博弈论还有一个类似的问题，也是关于合作与背叛（或欺骗）的关系，但是条件有些不同。有两个人驾车回家，遇到暴风雪，被雪堆分别堵在了街道的两头。司机要么出来铲雪清除路障，要么待在车中。如果两个司机分别从两头铲雪（“合作”），就能都把车开回家并分担劳动付出。如果只有一个司机铲雪，另一个司机待在车中等对方铲完雪，他也

能回家，而且还避免了劳动付出（“欺骗”）。当然，如果两人都待在车中，没人铲雪，那就谁也回不了家了。在这种情况下，应该如何选择呢？最佳的策略是作出与对方相反的选择：如果对方当“好人”铲雪，我就当“骗子”坐享其成；如果对方不铲雪，我就当“好人”自己来铲雪。这样虽然被人占了便宜，总比坐以待毙好。

第 27 节：好人和骗子的博弈(2)

博弈论在第二次世界大战结束后不久出现，本来是为了解决政治学和经济学问题的。上个世纪 70 年代，它开始被用来解决自达尔文以来就困扰着生物学家的一个生物进化难题：本质上自私的生物个体为什么会进化出合作行为？它是自然选择作用下不假思索的本能行为，因此就连毫无思考能力的单细胞生物，也会面临着合作还是欺诈的两难，比如酵母菌。

酵母菌通常利用单糖（葡萄糖和果糖）作为营养。如果环境中没有这些单糖，酵母菌也能利用其他糖，例如蔗糖（比单糖复杂的二糖）。但是，酵母菌要先把蔗糖消化成单糖，为此它需要分泌转化酶来催化这个消化过程。这个消化过程发生在细胞外（更确切地说，发生在细胞膜和细胞壁之间），产生的单糖扩散开去，其他酵母菌也能利用。有的酵母菌的基因发生突变，生产转化酶的基因失去了作用，自己不能分泌转化酶，但是它们能窃取其他酵母菌制造的单糖，又可以节省进行消化的成本。它们成了“骗子”，而那些耗费能量把蔗糖变成单糖的酵母菌成了“好人”（合作者）。

对群体来说，大家当好人彼此合作，全都生产单糖并分享，这样最有优势。但是对个体来说，当骗子最有

优势。休斯敦大学的研究人员曾经做过一个实验，结果表明，一个酵母菌群体中好人的密度越大，当骗子的优势就越明显。他们认为这像是“囚徒困境”。在这样的群体中，好人和骗子分享全部的资源，而好人要承担生产成本，因此好人总是竞争不过骗子。一旦出现骗子，它们的后代数量会越来越多，好人的数量会越来越少，等到骗子们统一天下，末日也就快到了。好人遗留下来的单糖被耗尽后，群体就会灭绝。一个处于“囚徒困境”的群体是很不稳定的。

实际的情形可能比这复杂。麻省理工学院的研究人员发现，好人生产的单糖并不是 100% 拿出来共享的，而是自己会截留一小部分。虽然私藏的这部分很少（只占约 1%），却让好人在利用单糖方面比骗子有了一点儿优势。在一定条件下，这点儿优势超过了制造单糖的成本，就会让当好人在总体上比当骗子更有优势。好人也会有机会。

实验的结果的确如此。在好人的数量比较少、单糖的量也比较少时，能否有效地利用单糖就显得比较重要。好人对单糖的利用率高了 1%，其优势较为明显，好人的数量会逐渐增多。等到好人的数量达到一定程度，好人制造单糖花费成本的劣势就体现出来，骗子的

优势反而更为明显，骗子的数量就开始逐渐增多。最终，好人和骗子的比例会达到平衡。实验表明，不管一开始酵母菌群体中好人和骗子的比例是多少，演变的结果，最后的比例都是一样的。

第 28 节：你要当鸽派还是鹰派(1)

因此，这更像是“雪堆博弈”，特立独行是最佳策略：举世皆好人时当骗子，举世皆骗子时当好人，这样最有可能获得成功。

你要当鸽派还是鹰派

虽然老子教导我们“圣人之道，为而不争”，但凡人之道，总是要争的。这倒也称得上是“道法自然”，因为在自然界，为了争夺资源（比如食物、配偶），一个物种的成员之间难免要争斗，甚至要搏斗。搏斗的战术可以简单地分为两种：一种是“鸽派”，发生冲突时只是虚张声势地吓唬一番，一旦搏斗真正开始，就逃之夭夭；一种是“鹰派”，不顾一切地搏斗下去，直到一方受重伤或死亡而失去搏斗能力为止。

假如一个社会的成员全都是鸽派，这样的社会大约就接近老子的理想了。可惜这个美好社会是不稳定的，因为如果突变出一只鹰派，在与鸽派搏斗时战无不胜，有生存优势，它的基因就会在后代中传播开来，鹰派在后代中会越来越多。

假如一个社会的成员全都是鹰派呢？那将是一个时时要拼个你死我活的血腥社会。幸好这样的社会也不稳定，因为如果突变出一只鸽派，虽然它在搏斗中每战

必败，但是也不会有伤亡，而鹰派彼此之间的争斗会有伤亡。这样，作为鸽派也有生存优势，它的鸽派后代就会越来越多。只有鹰派和鸽派各占一定的比例，才能达到稳定状态。

有的社会成员可能会灵活一些，根据条件的不同采取不同的战术，例如，做一个“如果我是领地主人，就当鹰派；如果我是入侵者，就当鸽派”的“资产派”。我们很容易发现，大家都当资产派，才是最好的策略。假如突变出一只鹰派，虽然在它是主人而资产派是入侵者时，它可以轻易获胜，但是在它入侵资产派的领地时要发生激烈的搏斗，讨不了好去，两相比较，还是不如也当资产派。假如突变出一只鸽派呢？在它是入侵者时，它只能逃跑，而在它是主人时要和入侵的资产派和平共处，还是不如也当资产派。这就是为什么动物们普遍采用资产派策略。

这个鹰—鸽博弈是英国生物学家梅纳德·史密斯（John Maynard Smith, 1920~2004）在上个世纪 70 年代提出的。通过分析动物争斗行为，梅纳德·史密斯开创了一个新领域——进化博弈论。自然选择是博弈的决策者。进化博弈论在数学上非常整洁、漂亮，但这是根据一些简单的假定作出的，很难在实际的动物群体中进行

验证。不过，人们可以用计算机对此进行模拟。

俄罗斯科学家伯特瑟夫（Mikhail Burtsev）和特琴（Peter Turchin）用计算机程序设计了一个二维人造世界。这个世界由一个个格子组成，每个格子相当于一块小领地，会时不时地冒出食物，能被在那个格子里的生物吃掉。生物除了吃，还能休息，走到隔壁的格子，对进入格子的其他生物进行攻击，以及像细菌那样用一分为二的方式繁殖。这些活动都要耗费一定的能量，休息耗能最少，攻击耗能最大。体内能量可以通过进食来补充，攻击时受害者也会输掉一部分能量转移给攻击者。如果体内能量用完，就死了。后代遗传了亲代的特点，但也会发生变异。

第 29 节：你要当鸽派还是鹰派(2)

设计者没有给这些生物预设行为策略，而是让它们自己去进化。虽然可能出现的行为策略是个天文数字（大于 10 的 1000 次方），但是进化的结果，出现了三种策略：从不攻击别的成员、受到攻击就跑的鸽派；靠四处攻击别的成员为生的鹰派；留在自己的格子里不去攻击邻居，但是一发现入侵者就立即攻击的资产派。不出所料，资产派占了大多数。不过，资产派的出现有个条件：一个格子里的资源要足以支持一个定居者，这样资产派才能安分守己地待在自己的领地。如果资源太少，养不活资产派，就逼着大家去当鹰派或鸽派。

如果亲戚遗传了相同的标记，并能够辨认标记分清敌我，情形就截然不同了。这时，除了各自谋生的自私成员之外，还会进化出合作成员，采取三种合作策略。一种是合作鸽派，它们不理睬外人，但是会把格子让给亲戚，自己出走避免竞争。一种是合作鹰派，它们同样会把格子让给亲戚，但是一发现外人就会攻击。研究者把它们称为“鸦派”，因为俄国有句谚语：“乌鸦不啄其他乌鸦的眼睛。”鸦派是从鹰派和资产派变来的。还有一种是全新的门派。亲戚们在同一个格子里生活，并共同对付入侵者。这种行为和椋鸟等能共同抵御外侮的小

鸟相似，因此研究者称它们为“棕鸟派”。

不过，这些合作策略的出现，和资源的多少有很大的关系。当每个格子的资源不足以维持两个成员时，鸦派占了优势，它们的比例很稳定。但是在资源比较丰富时，棕鸟派的数量会逐渐上升，但是其他两派也都设法生存了下来。如果每个格子的资源太少，少到不足以维持一个成员的生活，又会出现一个新门派，它们比鸽派还超脱，一看有人进入它所在的格子，不管是敌是友，有没有受到攻击，自己都马上出走。它们恰好与资产派相反，是无产派。

如果一个棕鸟派成员的体能下降到一定程度，它就离家出走，宁愿去和外人拼命抢资源而死去，也不愿留下耗费家乡的资源。它们被研究者称为亡命徒，不过更像是壮士。

“石头—剪刀—布”的博弈

“石头—剪刀—布”大概算得上最通行的游戏，谁在小时候都玩过。它并非只是一种儿童游戏。在某些重大比赛中，它有时也用来代替抽签或抛硬币来决定开局。2006年，美国联邦法院还首创用它来解决纠纷，当时双方律师为取证地点争执不休，法官命令他们用“石头—剪刀—布”决定胜负。这当然是认为其胜负是随机

的，其实不完全如此。据统计，男人在第一回合较喜欢用代表力量的石头，而剪刀被用得最少（不到 30%），可能是由于剪刀的手势相对来说不容易做。玩家可以根据经验和一些技巧增加获胜的机会。

第 30 节：你要当鸽派还是鹰派(3)

“石头—剪刀—布”在国外通常叫“石头—剪刀—纸”（我的老家以及台湾也这么叫），有的国家把纸改叫袋子，手势还是一样。这一游戏还衍生出很多变种，例如“大象—人—蚂蚁”、“人—枪—虎”、“水—火—木”、“神仙—老虎—狗”、“孙悟空—白骨精—唐僧”。有的变种是根据时事创造出来的：清末有“洋人—官—百姓”，冷战时期美国有“核武器—脚—蟑螂”（传说蟑螂不怕核辐射）。不管怎么变，原理还是一样，都是三种武器循环相克，没有最大和最小，否则就没法玩了。在美国情景喜剧《塞恩菲尔德》（Seinfeld）中，米奇出石头碰上克莱默出纸，米奇耍赖说扔石头可以击穿纸，没有什么东西能打败石头。下个回合，两人当然就石头出个没完。

生物在生活中也在玩着生存游戏，在处理一个问题时，通常有两种相对的基本策略供选择，比如选择当鹰派还是当鸽派。不同的策略各有优势，最终，一个群体中选择不同策略的比例会达到稳定（参见《你要当鸽派还是鹰派？》）。如果一个群体采用三种基本策略呢？不会有哪一种策略能够长久地占优势，而会像“石头—剪刀—布”一样循环往复，不会达到稳定状态。

生物学家在 1968 年首次设想这种情形，但认为不太可能实际存在这样的群体。1996 年，加州大学圣塔克鲁兹大学的研究人员发现，居然还有动物在玩这种“石头—剪刀—布”的游戏。在加州生活着一种蜥蜴——侧斑美洲鬣蜥，其雄性存在三种变异：喉咙分别是橙色、黄色、蓝色的，各采取三种交配策略。橙喉雄蜥蜴最强壮，建立了一大片领土，在那里占有几头雌蜥蜴。黄喉雄蜥蜴最弱小，不保护自己的领土，一旦受侵犯就逃，但是它们会偷偷侵入别的蜥蜴的领土跟雌蜥蜴交配。黄喉雄蜥蜴和雌蜥蜴长得很像，能骗过橙喉雄蜥蜴，橙喉雄蜥蜴无法保护所有的雌蜥蜴。在这种情形下，橙喉雄蜥蜴被黄喉雄蜥蜴打败，黄喉雄蜥蜴的后代会逐渐多起来。但是，蓝喉雄蜥蜴可以侵犯黄喉雄蜥蜴的领土，而且只建立一小块领土，足以保护一条雌蜥蜴不受黄喉雄蜥蜴的侵犯。橙喉雄蜥蜴比蓝喉雄蜥蜴强壮，能打败蓝喉雄蜥蜴，一旦黄喉雄蜥蜴变少了，橙喉雄蜥蜴又能够大肆扩张领土占有多条雌蜥蜴。这样，我们又回到了起点，开始新一轮循环。观察的结果表明，这三种雄蜥蜴的比率，每 4~5 年循环一次。

2007 年，同一个研究小组在另一种蜥蜴——生活在欧洲的胎生蜥蜴身上也发现了类似的现象，只不过这种

蜥蜴的颜色标记不在喉咙，而在腹部，分别是橙腹、白腹、黄腹。蜥蜴能看到紫外线，在它们的眼中，白色和蓝色很相近。胎生蜥蜴与侧斑美洲鬣蜥有如此相似的行为模式，连颜色的对应也一致，这种现象是分别进化出来的，还是从共同祖先那里继承下来的？它们的共同祖先出现在 1.75 亿年前，也许从那个时候开始，它们就在不间断地玩着“石头—剪刀—布”的游戏，一直玩到现在。

第 31 节：像沙堆一样崩塌(1)

这个游戏出现的时间也许还要早得多，连大肠杆菌这么简单的生物也能玩。有的大肠杆菌菌株分泌大肠杆菌素，这是一种毒素，能杀死其他大肠杆菌菌株（简称敏感菌）。但是有的大肠杆菌菌株发生了突变，对该毒素有抵抗能力（简称抗药菌）。分泌毒素的菌株（简称毒素菌）本身对毒素有免疫力，但它们是通过让细胞破裂的方式释放毒素的，要牺牲掉一部分属于自己菌株的细菌，还要耗费能量制造毒素，碰到抗药菌就处于劣势。抗药菌是通过改造一个原先用来吸收营养的受体来获得抗药能力的，影响了营养的吸收，与敏感菌相比又处于劣势。2002 年，斯坦福大学的研究人员通过计算机模拟发现，在一定的条件下，这是一种“石头—剪刀—布”的游戏：敏感菌通过最快速的增殖打败抗药菌，抗药菌通过较快速的增殖打败毒素菌，而毒素菌用毒素杀死敏感菌。2004 年，耶鲁大学的研究人员用老鼠做实验，在老鼠肠道中分别接种这三种菌株，证实了理论预测。

既然从大肠杆菌到蜥蜴都在玩“石头—剪刀—布”游戏，这可能是一种普遍现象，可能许多种生物在生活的许多方面都在玩。人类的行为虽然复杂，但往往可以简化成与雄蜥蜴的交配行为类似的三种策略：进攻、防

御和偷袭。进攻常常能战胜防御（所以有“进攻是最好的防御”的说法），但是进攻的时候也暴露出了弱点让偷袭者有机可乘，而防御者就不容易让偷袭者得逞，这样就形成了“石头—剪刀—布”的循环。我们人类除了用手势玩“石头—剪刀—布”游戏，也许在生活中也在不知不觉地进行着类似的博弈。

像沙堆一样崩塌

1988年夏天一个平常的早晨，在美国新罕布什尔州一所小学校举行的一次学术会议上，来自加州大学洛杉矶分校的地球物理学家雅可夫·卡根（Yakov Kagan）做了一次关于地震研究的讲座。因为与会的科学家多数并非地震专家，卡根介绍了一些地震学的基本知识，在告诉听众地震是如何难以捉摸、无法预测时，也谈到已知的少数几条地震规律之一：古腾堡—里克特定律。

在上世纪50年代，加州理工学院的地震学家比诺·古腾堡（Beno Gutenberg）和查尔斯·里克特（Charles Richter）收集了发生在世界各地的几千次地震的资料加以统计，试图从中理出一些头绪。比如说，地震震级发生的频率是不是呈正态分布（出现一条两头少中间多的钟形曲线）？也就是说，是否某个中间震级的地震最为多见，是典型震级？人的身高就属于正态分布，中国成

年男性的典型身高大约是 1.7 米，比它高或矮的人数都逐渐减少。但是，古腾堡和里克特未发现有典型震级，震级发生的频率不是正态分布，但也不是毫无规律，而是震级越高，则发生的频率越低。而且，它遵循一条简单的原则——幂律：一次地震释放的能量每增加一倍，发生的频率就减少为四分之一。

第 32 节：像沙堆一样崩塌(2)

卡根此前已在其他地方多次做过类似的讲座，这回却有了意外的结果。听众中包括在纽约布鲁克哈文国家实验室工作的丹麦理论物理学家伯·巴克（Per Bak）。在听了卡根对古腾堡一里克特定律的介绍后，巴克突然想到，地震的这种情形很像他正在研究的沙堆崩塌。

假如我们往一张桌子上一粒一粒地丢沙子，沙子将会逐渐堆积起来，越来越高，但是不可能一直高下去。随着沙堆变高，它也变得越来越陡、越来越不稳定，到一定程度，刚丢下去的沙子会引起沙堆的崩塌，让沙堆的高度降低。崩塌之后，继续丢沙子，沙堆又再增高，然后再崩塌，如此循环往复。

巴克首先想要知道的是一个看来很简单的问题：沙堆崩塌的规模有小有大，什么样的崩塌规模是最典型的？能否预计下一次的崩塌会有多大？这需要堆许多沙堆进行统计，很费时间，所以巴克就改用计算机程序进行模拟。巴克和他的两名同事研究了数以千计的“虚拟沙堆”，统计了数百万次的崩塌中的沙子数。他们找到了什么典型崩塌规模呢？什么也没有。有的崩塌规模小到只有一粒沙子，有的则大到几百万粒沙子。什么样的规模都有可能发生，但是并不存在一个典型的崩塌规

模，这无法预计。

这是为什么呢？为了回答这个问题，巴克等人对其程序作了一些改进。设想从上往下俯瞰虚拟沙堆，然后根据沙堆上的每粒沙子所处位置的陡度着上不同的颜色：如果那个位置相对平稳，就着上绿色；比较陡峭，就着上红色。刚开始堆沙堆时，都是绿色的。随着沙子的堆积，红点也逐渐增多，进而形成网络。一粒沙子掉到红点上，就能触发周围红点的滑动。如果红点很少，新丢下去的沙子的影响就很有限。但是，一旦红点多到连成一片，就无法估计新丢下去的沙子会导致什么结果：它可能只是打几个滚就停下了，也可能触发周围的沙子引起一场小规模崩塌，但也可能引起一连串连锁反应，像多米诺效应一样，导致几百万粒沙子一起崩塌。这种高度敏感的不稳定状态，称为临界状态。由于它是在沙子堆积过程中自己逐渐形成的，巴克称之为自组织的临界状态。在这种状态下，任何规模的崩塌都有可能发生。但是，即使是最大的崩塌的发生，也无其他特殊的因素。它是完全不可预测的。

巴克也发现，沙堆崩塌规模虽然不是正态分布，但是遵循幂律：崩塌规模越大，则发生的频率越低，参与崩塌的沙子数目每增加一倍，其发生的频率则降低 2.14

倍。所以，巴克一听说震级的频率也遵循幂律，马上就想到地震可能和沙堆崩塌一样，也是一种自组织的临界现象。随后，他和其他许多人构建计算机模型，对地震进行了模拟。

第 33 节：野火烧不尽(1)

由于地壳的运动产生的应力逐渐积累，地球处于临界状态。某个地壳断层的某处岩石承受不了受到的应力，就会出现滑动，这个滑动可能小到无法觉察。但是，正如一粒沙子的掉下会让处于临界状态的沙堆出现无法预测的结果一样，这个小滑动之后，任何情形都可能发生：它可能就此停下来，也可能给附近的岩石带去足够大的应力让它们跟着滑动，引发一场地震，而这场地震的规模是无法预料的。不管是小地震还是大地震，它们的起因都一样，都是由于地球处于临界状态而引起的。此外，大地震的发生并无特殊的起因，既无法预测，也没有可靠的前兆，就像大规模的沙堆崩塌一样。如果地震有意识的话，在它刚刚发生时，它自己都不知道将会有多大规模。而地震自己都不知道，我们就更无法知道了。

野火烧不尽

原本湛蓝的洛杉矶天空，变成了灰、红混杂，远处安吉利斯国家森林冒着浓烟。这是洛杉矶郡历史上最大的一场森林大火。从 2009 年 8 月 26 日烧到 9 月 6 日，火势才得到部分控制。这场大火已烧掉了约 6 万公顷林地，占整片森林的 20% 以上。美国森林服务局认定，这

场大火起因是有人纵火。这个认定并不意外。除了被闪电点燃，90%以上的野火都是人为引起的，不管是有意还是无意。人类与森林的接触日益紧密，森林野火发生的频率也就越高。就在同一时间，全美各地还有十几处森林大火在烧着。但是，为什么只有安吉利斯的大火严重到成了新闻呢？

一场火灾要能发生和维持，取决于温度、燃料和氧气三要素。这三要素只要缺了一个——温度不够高、燃料匮乏或氧气有限，火就无法传播，会慢慢熄灭。在这些要素中，影响野火大小的主要是燃料：树木的湿度、形状、大小、多少、彼此之间的距离、在地面上的排列状况等等，都影响着火势的传播，而树木的情况又与树的种类和年龄有关。还有许多环境因素也能影响火势：风能把火吹旺，雨能把火浇灭，河流能阻碍火的传播……有没有什么一般规律能让我们预测一场野火的规模（即森林被焚面积）呢？比如说，哪种规模的野火最为典型？

1998年，美国康奈尔大学研究人员用计算机模型对森林野火进行模拟。他们在网格上种虚拟的树，每一步骤在某个格子上种一棵，种在哪个格子上是随机的，每个格子只能种一棵。随着时间的推移，网格上的树逐

渐多起来。然后，每隔一定数量的步骤之后，程序就往网格上扔下一根虚拟的火柴，扔在哪里也是随机的。如果扔的那个格子上有树，树就被点燃了。如果这棵树相邻的四个格子上有树，火就传了过去。

第 34 节：野火烧不尽(2)

他们反复地运行这个程序，统计每次虚拟野火的规模，并没有找到典型的野火规模，却发现野火的发生遵循幂律，野火的规模越大，发生的频率就越低。

前面介绍过，地震、沙堆崩塌的规模大小与发生的频率关系都遵循幂律（参见《像沙堆一样崩塌》）。幂律表明，大事件和小事件都是由相同的因素引起的，并没有特别的“大”因素。地壳或沙堆处于自组织的临界状态（自身逐渐形成的高度敏感的不稳定状态），在这种情况下，任何规模的地震或崩塌都可能发生，大规模地震或崩塌的出现纯属偶然，并无其他的特殊因素，是不可预测的。

看来发生野火的虚拟森林处于自组织的临界状态，那么真实的森林野火是否也如此呢？康奈尔大学的研究人员统计了发生在美国和澳大利亚的森林野火，同样没有找到典型的野火规模，并且它们也遵循幂律。看来森林的确是处于自组织的临界状态。这一发现不仅不能用来预测野火的规模，反而表明大规模野火的发生是不可预测的。

不过，研究人员通过计算机模拟发现的另一个现

象，却对如何控制野火的规模很有启发。他们用不同的点火频率进行模拟。有的模拟每种 125 棵树扔一根火柴，有的每种 500 棵树扔一根火柴，有的则每种 2000 棵树才扔火柴。点火的频率越低，发生大火的频率就越高。在频率低到每种 2000 棵树才扔火柴时，这时网格上已密密麻麻布满了树，扔下的火柴通常会点燃大量树木，在许多情况下甚至烧光了所有的树。

他们把这称为“黄石公园效应”。在 1972 年之前，黄石公园对野火采取零容忍政策，一旦发现野火就尽量将其扑灭。这就像是模拟程序中超低的点火频率，也出现了类似的后果：1988 年黄石公园突发大火，烧掉了 32 万公顷森林，占黄石公园面积的 36%。

对任何野火都强行扑灭，这样做让森林不再处于临界状态，而是处于更不稳定的超临界状态：森林里充满了老树、死树、矮树、野草，地面堆满了树枝、树皮、枯叶，这些全都是上好的燃料。只要有了火源，就会熊熊燃烧起来，不可抑制地蔓延开去。野火是不可能完全制止的，零容忍政策只会推迟其爆发，推迟得越久，后果就可能越严重。

美国林业部门后来意识到，野火也是森林自然生态一个不可或缺的部分，对因自然因素引起的野火不再扑

灭，任其燃烧（除非威胁到生命、财产的安全）；林务员时不时地还在严格控制下有选择地放火烧掉一部分森林。但是，要让森林恢复被破坏了近百年的自然平衡还需要时间。如果美国林业部门早一点儿放弃对野火零容忍的政策，也许 1988 年的黄石公园大火就可以避免，安吉利斯国家森林所在的加州也不至于近年来连连发生森林大火了。

第 35 节：生物大灭绝为什么反复发生

生物大灭绝为什么反复发生

自生命起源到现在的数十亿年间，地球上大约出现过数十亿个物种，而现存的物种只有大约数百万个。也就是说，地球上曾经出现过的物种，99%以上都已灭绝。没有一个物种能够永世长存，现存的物种以后也会一个一个地灭绝。物种灭绝是一个一直在发生的过程，大部分(约占三分之二)的灭绝是由于不同物种之间的竞争、环境的变化等进化因素，分散地发生的，这被称为背景灭绝。但是，剩下的三分之一的灭绝是集中发生的，在比较短的时间内，仿佛祸从天降。许多物种一起灭绝，被称为大灭绝。

物种大灭绝让地层中的化石分布出现了断层，某类群的化石完全消失了，而被新的化石类群所取代。地质学家根据古生物化石类群的更替现象来划分地质年代，把地质年代划分为古生代、中生代和新生代三个时期，每代之下再分为几个纪。

古生物化石的更替现象在代与代更替时表现得最明显。从古生代的最后一个纪(二叠纪)到中生代的第一个纪(三叠纪)，化石分布存在着最显著的跳跃，表明生物史上发生了最大的一次灭绝：在古生代大量存在

的三叶虫，到二叠纪末期（约 2.25 亿年前）再也找不到了，而且 96% 的海洋生物物种也都灭绝了。从中生代的最后一个纪（白垩纪）到新生代的第一个纪（第三纪）的化石分布变化也非常明显，这一次的物种大灭绝规模虽然比不上三叠纪大灭绝，却最为著名：在中生代盛极一时，曾经主宰大地两亿年的恐龙，到了白垩纪后期（约 6500 万年前）完全不见了，同时灭绝的还有大约 70% 的海洋生物物种。

生物史上的大灭绝并非只有这么两次。上个世纪 80 年代末的一项研究表明，生物大灭绝在历史上共发生过大约 23 次，大约每 2600 万年发生一次，似乎具有周期性。对于物种大灭绝的发生是否真的如此频繁和有规律，还有争议。即使是最保守的估计，也认为至少有 5 次物种大灭绝是非常明显的。物种大灭绝即使不是有规律的周期性现象，也是反复发生过的。那么，它为什么会反复地发生呢？

恐龙的灭绝最为著名，研究它的人也最多，形形色色的“恐龙灭绝理论”不断地被提出。气候变化、火山爆发是经常被提到的因素。有的恐龙灭绝理论比较有创意，比如说哺乳动物把恐龙蛋吃光了。有的理论则到了荒谬的地步，比如说恐龙是集体自杀的，是被外星人吃

光的，等等。

终于，有一个恐龙灭绝理论得到了大多数人的认同。1980年，曾获诺贝尔物理学奖的路易斯·阿尔法雷兹（Luis Alvarez）等人提出，恐龙灭绝是由于一颗小行星撞击地球引起的。这样的撞击爆发出巨大的能量，相当于几十万颗原子弹在地球上同时爆炸，足以引起物种的大灭绝。这听上去有点儿匪夷所思，但是并非空口无凭。阿尔法雷兹等人发现，处于白垩纪和第三纪边界的岩层含有高浓度的稀有元素。稀有元素在地球岩层中虽然稀少，在陨石中却含量很高。因此这种异常现象表明，在白垩纪后期，曾经有一颗大陨石跟地球相撞。1990年，在墨西哥的尤卡坦半岛发现了一个直径长达180公里的陨石坑，这个坑被认为就是那次撞击留下的。

第 36 节：金合欢的关系网(1)

现在已很少有科学家怀疑，在 6500 万年前曾经发生过一次惊天动地的陨石大碰撞。但是，在那个时间段发生过陨石大碰撞，并不等于就是它引起了物种大灭绝。在其他地质时期也有曾经发生过陨石大碰撞的迹象，但是当时的化石分布无任何异常。不少科学家仍然坚持认为，火山频繁爆发、气候变化或哺乳动物的兴起才是恐龙灭绝的主要因素。其他的几次大灭绝，我们连发生过陨石碰撞的迹象都难以找到。物种大灭绝是不是还有别的更普遍的因素？

如果我们能够统计各个地质时期物种灭绝的规模，说不定能从中发现什么规律。但是一个物种的化石数量往往非常稀少，对它们进行统计容易造成误差，如果统计属（相似的物种组成一个属）或科（相似的属组成一个科）的灭绝情况，就要准确得多。这是个极为烦琐的工作。芝加哥大学古生物学家塞普科斯基（Jack Sepkoski）在图书馆泡了十年，统计化石数量最为丰富的海洋无脊椎动物各个属、科产生和灭绝的时间。这项工作 在 1993 年完成后，又激发了其他人去统计其他类群的古生物的情况。

把这些数据汇合在一起，计算各个地质时期灭绝的

科的数量。不出所料，通常灭绝的规模不大，但是时不时地会出现灭绝的高峰，最高的五个峰对应着最大的五次灭绝。这样的结果似乎没有什么新颖之处。但是在1998年，有两位物理学家换了个角度分析塞普科斯基的数据，统计灭绝规模的分布情况，有了出乎意料的发现：灭绝规模每增加一倍，发生的概率就减少为四分之一。

这表明生物灭绝和地震、森林大火、沙堆崩塌一样，发生的频率也遵循幂律。当我们见到大事件时，总是习惯于认定它必然是由某种特殊的原因引起的。但是我们以前介绍过，幂律表明，大事件的发生因素与小事件的发生因素相同，它们的出现纯属偶然，是处于临界状态的系统发生连锁反应的结果，并没有特别的“大”因素（参见《野火烧不尽》）。当我们挖空心思要为物种大灭绝寻找特别的原因时，是否也已误入歧途？也许，全球生态系统和地壳、森林、沙堆一样也处于临界状态，物种大灭绝和背景灭绝的发生因素并无不同，是普通的进化过程中一个罕见的，但是自然而然地发生的结果。

金合欢的关系网

在非洲东部的大草原上，生长着许多金合欢树。其中有一种金合欢树，除了像其他金合欢树一样长满了锐利的刺外，还长着一种特殊的刺，刺的下端膨大，里面

是空的，风吹过时，发出像哨子一样的声音。所以，它们被叫做哨刺金合欢。

金合欢树上之所以遍布锐刺，是为了防止食草动物吃它们。不过，这可难不倒长颈鹿等大型食草动物。长颈鹿的舌头能够小心翼翼地躲开刺，去吃金合欢树上的嫩叶。哨刺金合欢还有第二条防线。在哨刺里头，住着一种褐色的小蚂蚁，它们的腹部能往上举，所以叫举腹蚁。长颈鹿吃树叶时扯动了树枝，让举腹蚁觉察到了，它们便蜂拥而去，拼命地叮咬长颈鹿的舌头，迫使长颈鹿离开。

第 37 节：金合欢的关系网(2)

举腹蚁为什么这么爱护金合欢树呢？因为金合欢是它们的家。那里的土壤在雨季来临时灌满了水，而到了旱季则变得干裂，因此不适合蚂蚁在地下建巢。举腹蚁便把家安在了金合欢树上，住在空心的刺里头。金合欢树为了留住蚂蚁当保护神，还为它们准备了美味食物：在树叶基部有蜜腺分泌蜜汁，供举腹蚁享用。

除了这种褐色举腹蚁，还有两种举腹蚁（一种颜色偏黑，一种黑头红腹）和一种细长蚁也以啃刺金合欢为家。一棵金合欢树上只能生活一种蚂蚁。如果有两种蚂蚁撞到一起，它们就会展开你死我活的决斗，直到有一方独霸金合欢树。在战争中，褐色举腹蚁往往占优势，大约 50% 的啃刺金合欢树都被这种举腹蚁占据。黑头红腹举腹蚁则在战斗中经常落败，它们采取了一种自我保护策略，把金合欢的侧芽咬掉，让金合欢长不出侧枝，不会和旁边的金合欢树碰到一起，也就不会把其他树上的蚂蚁给引过来。细长蚁也经常在比赛中被打败，它们干脆采取焦土政策，把金合欢树上的蜜腺都给破坏掉，让举腹蚁觉得这棵金合欢树没有价值，不来占领。

1995 年，一些美国生物学家在六片金合欢树周围围起带电栅栏，不让长颈鹿等大型食草动物吃它们的叶

子。他们以为，在人为的保护下，金合欢树会更加茁壮成长。十年后，他们却惊讶地发现，这些受保护的金合欢树日渐枯萎、死亡，而没受保护、任由长颈鹿啃吃的金合欢树依然长势良好。这是怎么回事呢？进一步的研究解开了这个貌似反常的谜团。

原来，长颈鹿不再来吃金合欢树的叶子之后，金合欢树就“觉得”没有必要讨好蚂蚁，不愿意再浪费能量去制造空心刺和蜜汁，空心刺和蜜汁的量都大为减少。这么一来，褐色举腹蚁反过来觉得金合欢树没有太大的价值，不愿为其着想了。有一种害虫——天牛的幼虫会在金合欢树干上钻孔危害金合欢树，以前褐色举腹蚁会尽力消灭天牛的幼虫，现在则听之任之了。金合欢树分泌的蜜汁少了，褐色举腹蚁就饲养一种能分泌蜜汁的介壳虫解馋。褐色举腹蚁平时也养一些介壳虫，但是量不多。金合欢树不再分泌足够的蜜汁后，褐色举腹蚁开始成倍地扩展介壳虫饲养业。这种介壳虫靠吸食金合欢树的汁液为生，本来就对金合欢树的生长不利，而且它还传播疾病。

褐色举腹蚁在空心刺里做巢，在那里养育后代。空心刺数量减少，褐色举腹蚁失去了托儿所，数量减少了近一半。遇到入侵的其他蚂蚁时，一方面褐色举腹蚁兵

力少多了，另一方面它们也没了保卫家园的动力，无心恋战，因此在战争中经常被打败。统计表明，在受保护的合欢树中，褐色举腹蚁丢掉了大约 30% 的领土。取而代之的是黑色举腹蚁，领土扩张了两倍。黑色举腹蚁经常到树下捉昆虫吃，蜜汁的减少对它们的生存影响不大。空心刺的减少对它们更是毫无影响，因为它们并不住在空心刺中，而是住在天牛幼虫挖的洞中。因此黑色举腹蚁不仅不消灭天牛，还鼓励天牛到合欢树上产卵。黑色举腹蚁的到来对合欢树是一场灾难，合欢树的生长变得缓慢，死亡率要比生活着其他蚂蚁的合欢树高出一倍。即使合欢树死了，对黑色举腹蚁也没有什么影响，它们在死树上照样能生存。

第 38 节：一种奇妙蝴蝶的重生(1)

因此，用电栅栏保护金合欢树的效果适得其反。对哨刺金合欢树来说，被食草动物吃一些叶子，反而是有益于健康的好事，能被吃到有时也很重要。电栅栏容易拆掉，保护物种却不那么容易：长颈鹿、大象等大型食草动物的数量正在急剧地减少。即使没有电栅栏，也会有越来越多的哨刺金合欢树不必担心被吃掉叶子。我们可以预测，它们会因此短视地不再犒劳保护它们的举腹蚁，让危害它们的举腹蚁乘虚而入，结果反而让自己陷入绝境。在金合欢树的周围形成了一个复杂的关系网，一环扣一环，一个环节的消失能够导致出乎意料的灾难性后果。不只是金合欢树，每种生物都生活在某张关系网中。

一种奇妙蝴蝶的重生

在维多利亚女王时代的英国，采集蝴蝶是一项非常流行的爱好，其中最受追逐的标本之一是一种在中国也出产的灰蝶科蝴蝶，英国人称为大蓝蝶（中文名嘎霾灰蝶）。实际上，这种蝴蝶既不是很大，也不是很蓝。它并不是一种特别美丽的蝴蝶，被特别看重的原因可能是其难得：它数量稀少，而且生长在人迹罕至的荒野，每次采集相当于一次远征。

即便如此，仍然有大量的大蓝蝶被采集制作成了标本。至今还有大约 3000 个大蓝蝶标本收藏在英国的博物馆里。在 19 世纪末，就已经开始有人呼吁对它进行保护。进入汽车时代以后，到大蓝蝶栖息地采集标本更加方便了，有的地方的大蓝蝶已经绝迹，予以保护变得更为迫切。1930 年，英国建立了第一个大蓝蝶保护区，围起栅栏，雇了一名铁匠在那里看守，不让人采集标本，还停止在那里烧荒，并禁止放牧。那里原来生活着一个较大的大蓝蝶种群，但是在受保护九年之后，就一只不剩了。

此后，虽然有更多的大蓝蝶保护区逐渐建立起来，但是大蓝蝶的数量越来越少。上世纪 50 年代时，英国大约还有数万只大蓝蝶，到 1972 年时只剩下 300 多只。1975 年，英国通过的《野生动植物保护法》首次把大蓝蝶列为法定保护对象，但已无济于事。1979 年，英国最后一只大蓝蝶死去。

大蓝蝶在英国灭绝的前夕，牛津大学杰里米·托马斯（Jeremy Thomas）等人追踪残存的大蓝蝶的生活史，发现了大蓝蝶灭绝的秘密。早在上世纪 20 年代，英国著名博物学家佛罗霍克（F. W. Frohawk）在研究了大蓝蝶 20 年之后，发现了它与蚂蚁存在着奇妙的关系。托

马斯等人的研究表明，这一关系要比人们想象的还要奇妙得多，也重要得多。

大蓝蝶对生活条件的要求极为挑剔，它离不开一种百里香植物和一种红蚁。每年的六、七月间，是英国大蓝蝶飞翔的季节。每只大蓝蝶成虫的寿命只有四五天。在短暂的生命结束之前，雌大蓝蝶必须找到合适的百里香产卵。这些百里香必须是生长在红蚁巢的边上，而且是含苞待放的。它把卵产在百里香的花蕾里。一两周后，幼虫孵化出来，就以百里香的花为食。在吃了大约两周的花宴，蜕了三次皮之后，幼虫掉到了地上，等待路过的红蚁发现它。

第 39 节：一种奇妙蝴蝶的重生(2)

大蓝蝶幼虫靠分泌蜜汁吸引红蚁。红蚁发现大蓝蝶幼虫后，会用触角拍打它，让它分泌蜜汁，然后把它带回地下蚁巢。在蚁巢里，其他红蚁和红蚁幼虫围上来，分享大蓝蝶幼虫的蜜汁。等到蜜汁被吃完，大蓝蝶幼虫失去了利用价值，就有生命危险，所以它必须能够保护自己，像红蚁幼虫那样蠕动，散发出红蚁的气味和声音，让红蚁误以为大蓝蝶幼虫是它们当中的一员，允许它继续在蚁巢中住下去。

大蓝蝶幼虫必须在蚁巢中整整待上十个月，这样不仅能躲避天敌，而且还有营养丰富的食物可供享用。在给了红蚁一点儿小甜头后，大蓝蝶幼虫在蚁巢内四处走动大吃红蚁的卵和幼虫，把自己吃成大胖子。在这种情况下，大蓝蝶幼虫仍然危险重重。如果蚁巢中有蚁后，它会误以为大蓝蝶幼虫是一只以后也将变成蚁后的超级红蚁幼虫，从而发出化学信号让工蚁把它杀死。如果蚁巢的规模太小，或者红蚁又搬来了一只大蓝蝶幼虫，红蚁的卵和幼虫不够吃，大蓝蝶幼虫最终也会饿死。

所以，大蓝蝶幼虫藏身的蚁巢规模要足够大，不能有竞争同类，还不能有蚁后。在满足了这些苛刻条件之后，大蓝蝶幼虫才能在蚁巢内安全度过秋、冬、春三季，

在蚁巢内结茧、化蛹，在夏天来临时变成蝴蝶，从蚁巢中走出，飞翔而去。

如果没有红蚁的收养，大蓝蝶不可能生存。红蚁本身对生活环境也有一个要求：它们喜欢温暖，在朝南向阳的山坡筑巢，而且地面上的草的高度最好低于 2~3 厘米。如果草的高度太高，把阳光遮住了，蚁巢的温度太低，红蚁幼虫会冻死。

大蓝蝶的栖息地被划为保护区后，禁止烧荒和放牧，反而让那里草的长势失去控制，让大蓝蝶更快地灭绝。即使是在没有保护的地区，山坡的放牧也越来越少。本来，还有野兔吃草，能对之有所制约，但是在上世纪 50 年代，一种传染性很强的病毒入侵英国，让野兔患上了致命的黏液瘤病，野兔的数量锐减 99%。随着草皮越长越高，大蓝蝶依赖的那种红蚁迅速消失，被另一种较耐寒冷的红蚁取而代之。这种红蚁也喜欢吃大蓝蝶幼虫的蜜汁，但它们能识破伪装，将大蓝蝶幼虫杀死。等到草皮高度超过 10 厘米，连百里香也难以生长、繁殖了。

这些发现来得太迟，无法拯救英国大蓝蝶的灭绝。但是，大蓝蝶在其他国家还有幸存者，可以从那里引进。英国逐渐恢复了 52 处百里香草地，并进行管理，通过割草、放牧绵羊控制草皮的高度，红蚁数量也随之上升。

从 1983 年起，大蓝蝶被从瑞典带到英国释放，它们逐渐在 30 多个地方成功地繁衍下来。到 2008 年，英国大蓝蝶的数量已多达数以万计。

第 40 节：不可能的小人国

大蓝蝶成了第一个成功获得重生的濒危蝴蝶物种，这一切都是由于对它的习性和灭绝的原因有了较为透彻的了解。英国大蓝蝶因人类的盲动而灭绝，因科学的进展而重生。生态学的研究让人类有了逆转环境恶化的能力，但是如果环保不建立在科学的基础上，想当然地采取行动，结果反而会更糟糕。

生命的奇迹

不可能的小人国

电视台曾播放过 1996 年拍摄的美国电视电影《格利佛游记》，与原著相比改动很大。故事主题变成了是否应该相信别人向你讲述的离奇故事，主线则成了格利佛在海外漂泊八年回来，没人相信他的奇遇，将他投入疯人院，幸而他的儿子在听证会上出示了他从小儿国带回来的微型羊羔，证明他的确去过小人国，他才被释放回家。

斯威夫特的这部奇书本是一部讽刺寓言，后来很不幸地经常被改编成供儿童阅读的童话。不管是寓言还是童话，都不会有人无聊到去计较其内容是否合理。但是，现在真实性成了故事焦点，不相信格利佛奇遇的人成了反面人物，我们就不妨较真一下。如果有人像格利佛一

样，说他曾经去过其国民的身高只有人类的 $1/12$ 的小人国，或身高是人类的 12 倍的大人国，我们是否应该相信他呢？

由于体积的倍数增长要比横截面积快得多（体积按立方增大，面积按平方增大），生物体按比例放得越大，二者就越悬殊，肢足就越不堪身体重负，到一定程度后就无法支撑了。把人放大 12 倍，相当于体积（也即体重）增大到 1728 倍，但是大腿的横截面积只增大到 144 倍，这样的巨人会被重力压垮，是站不起来的。

如果把人体缩小到 $1/12$ 又会如何呢？同样，由于体积和面积的缩小比例不同，会出现问题，不过问题不是出在重力上，而是在散热上。人的体热来源于细胞代谢过程，身体产生的总热量与身体体积大小（细胞总数）相关，而散热则与身体表面积大小相关。人体缩小到 $1/12$ ，则身体体积以及身体产生的热量减少到 $1/1728$ ，但是身体表面积仅仅减少到 $1/144$ 。因此，小人的身体散热速度要比我们快得多（是我们的 12 倍），小人将会因为难以维持恒定体温而冻死。

在现实中，有很多恒温动物比小人国里的小人还小，它们又是如何生存下来的呢？它们的身体结构和生理功能发生了一些变化，解决了散热的问题。

让我们来看一个极端的例子。按体重算，世界上最小的哺乳动物是小臭鼩，成年体重平均为 1.8 克，体长约 4.5 厘米。但这是一种相当成功的小动物，其分布范围很广，在亚、非、欧洲许多国家（包括中国）的森林、丛林中都能发现它们。

小臭鼩虽小，也是一种哺乳动物，必须把体温维持在大约 38 摄氏度才能生存。它是怎么办到的呢？哺乳动物用以保温的一个重要方法是长出厚厚的皮毛，减少体热的散失。但是对小臭鼩这么小的动物来说，这个方法不可行，那将会让它变成一个小毛球，无法动弹。

第 41 节：熊猫的迷离身世(1)

小臭鼩能够采取的策略，只能是增加体热的产生，以此弥补体热的散失。为了加速产生体热的代谢过程，需要大量地摄入两样东西：食物和氧气。小臭鼩每天要吃下大约相当于其体重两倍的食物，而且都是营养丰富的动物性食物（昆虫、蜘蛛等）。作为对照，一头大象每天要吃 300 千克食物，听上去似乎很惊人，其实只占其体重的 4%，而且还都是些低能量植物。

小臭鼩对氧气的消耗更是惊人。在热平衡的环境（气温 35 摄氏度）中，其氧气消耗率为每千克体重每分钟消耗 100 毫升，当气温降到 22 摄氏度时，氧气消耗率增加到 270 毫升，最高可以达到 1000 毫升，分别是人类的 25 倍、67 倍和 250 倍。为了能吸入这么多的氧气，它的肌肉每分钟要收缩 900 次。在颤抖时，其肌肉速度能达到每分钟 3500 次。颤抖是在寒冷环境下快速产生体热的重要方法，由于肌肉的快速收缩，能使细胞产热提高四倍。

吸入体内的氧气进入血液，随着心脏的搏动输送到全身各处，参与产热的代谢反应。为此，小臭鼩的心脏需要快速地搏动，能达到每分钟 1500 次，远远超过所有恒温动物的心跳速度，已达到心脏所能承受的搏动极

限。但是，这么快的心跳还不能满足需求，小臭鼩还要有一个大心脏，每次跳动能输出更多的血液。哺乳动物的心脏重量一般占体重的 0.6%，而小臭鼩的心脏所占的分量则是其三倍。

泰国猪鼻蝙蝠有时也被称为最小的哺乳动物，它的体长比小臭鼩还小(3.4 厘米)，但体重略大(2~2.6 克)。恒温动物除了哺乳动物，还有鸟类。世界上最小的鸟是生活在古巴的吸蜜蜂鸟，它的体长为 5 厘米，体重为 1.8 克，与小臭鼩相当。看来，这是恒温动物所能达到的最小极限了。而变温动物由于没有体热问题，不受这个限制，例如最小的爬行动物侏儒壁虎体长只有 1.6 厘米，最小的青蛙体长只有 1 厘米。而无脊椎动物更是可以小到用肉眼都看不见，例如最小的昆虫（一种缨小蜂）其成虫的体长只有 0.139 毫米，甚至比单细胞原生生物草履虫还小。

文艺作品偏爱离奇和幻想，不愿轻信的人们经常成为其嘲笑的对象。事实上，真理往往在怀疑者的手中，它们有时比文艺作品的幻想更为奇妙。

熊猫的迷离身世

动画片中的动物拟人形象有时夸张得太厉害，会让人搞不清楚其原型究竟是什么动物。例如《功夫熊猫》

中的鹅爸爸，就被许多人当成鸭爸爸，而师傅则被普遍当成是浣熊。但浣熊原产美洲，似乎不应该出现在古代中国，于是有想象力异常丰富的人从中发现了好莱坞的一个阴谋：中国的功夫是从美国学的！不过，师傅的造型虽然看上去很像浣熊，但其原型乃是小熊猫。由于大熊猫太出名了，许多人忘了中国还有这么一个其可爱程度并不亚于国宝的小动物。

第 42 节：熊猫的迷离身世(2)

人们现在一提起熊猫，一般指的都是大熊猫。大熊猫在其产地原来的名字叫花熊、竹熊。的确，大熊猫的体形看上去很像熊，而不像猫，只是脸部有点儿像猫，有人认为大猫熊才是准确的叫法，虽然很少有人那么叫了。《辞海》直到上一版仍以“大猫熊”为正名，到 1999 年版才改成“大熊猫”。有人认为这个叫法是以讹传讹。有一个流传很广的故事说，熊猫本来叫猫熊，上世纪 40 年代四川展出大熊猫时，标注的名称就是“猫熊”，按科技界的习惯从左往右写。但当时人们的习惯是从右往左读，于是被读成了“熊猫”，这个错误的名字从此传开了。

这则逸事虽然很有趣，但肯定是编造的。实际上，1915 年出版的《中华大字典》、1938 年出版的旧《辞海》，都已经收了“熊猫”的词条，足以证明“熊猫”一词才是正名。只不过，《中华大字典》指的是小熊猫，旧《辞海》指的是大熊猫。“熊猫”一词很可能一开始指的是小熊猫，小熊猫的大小、形态也的确像猫。以后因为大熊猫被认为是小熊猫的近亲，于是也跟着被叫成熊猫了。

英文中也存在类似的情况。英文的 panda 最初指的

是小熊猫，这个叫法可能源自尼泊尔语。英文也把小熊猫叫做“bearcat”，这显然是中文“熊猫”叫法的由来。而西方人在 1869 年首次见到大熊猫时，把它叫做“杂色熊”，归为熊科。到了 20 世纪初，动物学家发现大熊猫和小熊猫有一些相似之处：它们有相同的栖息地，都是少有的以竹子为主食的哺乳动物，而且前肢都有六个指头，多出来的“假拇指”其实是一节腕骨延长变成的，用以握住竹子。因此二者被认为是近亲，大熊猫也跟着改名 panda，并加上“大”、“小”以示区别。

小熊猫长得很像浣熊，早在 1825 年就已被法国著名动物学家居维叶归入浣熊科。既然大熊猫被认为和小熊猫是近亲，它也就被一起归入浣熊科，被当成是一种大浣熊。但是，二者的相似性是很表面的。它们虽然都以竹子为主食，但是食用的竹子部位并不一样：小熊猫主要吃嫩叶，而大熊猫则竿、叶通吃。它们虽然都有六个指头，但是“假拇指”的构造并不一样。因此，也有动物学家认为大熊猫既不是熊也不是浣熊，应该单独给它设一个大熊猫科。

大熊猫究竟是熊、浣熊还是二者都不是？几十年来，动物学家们为此争论不休，各有各的道理。但是，虽然动物学家对大熊猫作了极为细致的解剖研究，其细

致程度在食肉目哺乳动物中仅次于猫和狗，但是仍然无法确定大熊猫的归属。对动物的分类，传统上依据的是形态解剖、习性等特征的比较，这是定性的研究，带有很大的主观倾向，一旦碰到比较独特、没有明显近亲的物种，就不容易达成一致的意见。有没有可能对此进行客观、定量的研究呢？有的，这需要用到分子生物学方法，在分子层面上比较不同物种的蛋白质或基因的序列。

第 43 节：柯勒的黑猩猩(1)

当两个物种从同一祖先分离，走向不同的进化道路之后，由于随机的基因突变，它们的基因将会产生差异。随着时间的推移，差异会越来越大。这样，通过比较两个物种基因的差异程度，就有可能确定它们的亲缘关系。自 1985 年起，动物学家开始用分子生物学方法研究大熊猫的分类，许多项研究的结果都相当一致：大熊猫是一种熊，现存动物中，与大熊猫亲缘关系最近的是南美洲的眼镜熊。到上世纪 90 年代，根据分子研究的结果，大熊猫一般都被归为熊科。

麻烦的倒是小熊猫。从分子数据看，它显然不是大熊猫的近亲，但是要确定它的近亲是谁并不容易。最近的一项分子研究表明，这可能是个无解的三体问题：一、小熊猫，二、臭鼬，三、浣熊加上除了臭鼬之外的鼬，这三者之间的亲缘关系距离相当，很难说哪两个的亲缘关系更近一些。因此，比较合适的做法是让小熊猫自成一科。

《功夫熊猫》中令人觉得奇怪的一点是，为什么熊猫阿宝会有一个鹅爸爸。当鹅爸爸神秘兮兮地要告诉阿宝一个天大秘密时，许多观众还以为他是要告知其身世。据说，续集将会揭开阿宝的身世之谜。没有艺术加

工，真实熊猫的身世不也是非常迷离、很有意思的吗？

柯勒的黑猩猩

德裔美国心理学家沃尔夫冈·柯勒（Wolfgang Kohler, 1887~1967）在1935年因公开批评纳粹政权而被迫移民美国之前，在学术上已功成名就，担任柏林大学心理研究所所长多年。他的主要学术成就是参与创建名列心理学六大门派的格式塔心理学派（“格式塔”是德语“整体”的音译，又译做完形心理学派），但是，他最广为人知的研究成果是对黑猩猩的思维能力的有趣实验。

1913年，柯勒前往非洲的西班牙属地加那利群岛的特内里费岛，担任普鲁士科学院设在那里的类人猿研究站主任。不久，第一次世界大战爆发，柯勒被困在了岛上，和九只黑猩猩相伴，待了大约七年。岛上有一个巨大的室外实验场地，还有一些“玩具”——箱子、木杆、竹竿等。柯勒就用它们对黑猩猩做了一系列实验，并用电影记录下来。

其中最著名的是“接竿实验”。柯勒将黑猩猩关在笼里，笼里有一粗一细两根竹竿，笼外远处放着香蕉，但是竹竿不够长够不着香蕉。在尝试了多次之后，黑猩猩把细竹竿的一端塞进了粗竹竿的孔中，将二者连接

在一起，然后用它把香蕉拨了过来。

另一个著名的实验场景是这样的：在天花板上悬挂着一串香蕉，黑猩猩跳来跳去想去抓它，但是够不着。在蹦跳了一段时间后，黑猩猩生气地走开了，可它又突然停下来，看看香蕉，又看看放在场地上的玩具，反复看了几次后，最终开始用玩具来获取香蕉。不同的黑猩猩采用不尽相同的方式。一只黑猩猩把一根木杆放在香蕉下，试图沿着木杆爬上去。有几只黑猩猩把几个箱子搬到香蕉下，成功地垒放起来，但是难以保持箱子重心平衡。有一只黑猩猩只搬来一个箱子放在香蕉下，爬上去之后，用一根木杆把香蕉打了下来。

第 44 节：柯勒的黑猩猩(2)

这一切似乎表明黑猩猩具有一定的推理能力，能够根据目标和工具制定行动方案。柯勒将这称为“顿悟学习”，而不是经过反复的试错经验之后才掌握的。但是，人们在电影里看到的并非实验的全部。实际上，电影中的黑猩猩此前已多次面对同样的问题，经过长时间的练习才慢慢地获得成功。

柯勒逐渐对整日和黑猩猩打交道感到厌烦，对进一步研究失去了兴趣。他对黑猩猩做的实验，大部分是在他抵达特内里费岛后的六个月内完成的。上世纪 40 年代，其他人在重复柯勒的实验时，不由得怀疑黑猩猩是否真的具有柯勒所说的“顿悟学习”的能力。如果把木杆给黑猩猩，它们就会用它来戳、打几乎任何东西。即使周围没有东西，它们也会乱舞木杆，或试图把两根木杆连接在一起。见到箱子，它们喜欢跳上去，向上举起双臂蹦跳，或在箱子上挥舞木杆。如果有几个箱子，它们也喜欢把箱子垒放起来。在它们这么做的时候，天花板上并没有挂着食物。如此看来，黑猩猩的接杆、垒箱、舞杆，其实只是一种本能反应，而不是在见到食物后推

理、计划的结果。

上世纪 60 年代，珍·古德尔（Jane Goodall）开始在坦桑尼亚的冈比保护区观察黑猩猩。不久，就看到一头取名灰胡子大卫的黑猩猩摘取一片草叶，仔细加工得又滑又直，将之伸进它已用指甲挖了一个小洞的白蚁巢中钓白蚁吃。这个发现轰动一时，此后经常被作为黑猩猩能够有意识地制造工具的例子加以引用。即使这个著名的例子，也不是没有疑义的。许多人都观察到，黑猩猩对枝条、条形草叶有天生的兴趣，经常无缘无故地折、摘它们进行加工打发时间。黑猩猩对用条状物戳小洞也有天生的兴趣：那些在实验室养大的黑猩猩，虽然从未见过白蚁巢，但是也天生就喜欢拿着铅笔之类的条状物去刺探电源插孔之类的小洞。所以，黑猩猩加工草叶钓白蚁也有可能是纯粹的本能反应和试错经验，未必涉及有意识的心理活动。

当然，我们现在已有足够多的证据能够证明黑猩猩的确具有一定的推理能力。但是在许多情况下，动物的某种看似巧妙的行为究竟是出于本能还是出于智能，并不是那么容易区分的。即使是我们人类，智能与本能也经常混杂在一起，并不是非此即彼。我们可以一边作出本能反应（例如呼吸、咳嗽），一边进行无关的思考，

可以因为某种本能反应而引发思考（例如因为咳嗽而怀疑自己是否生病），可以因为心理活动而作出本能反应（例如因为害羞而脸红），也可以有意识地模仿本能反应（例如假装咳嗽）。

最耐渴的动物

世界上什么大型哺乳动物最耐渴？人们马上会想到骆驼。的确，骆驼极其耐渴。在炎热干燥的沙漠中，人如果 24 小时不喝水，将会因为脱水而死亡；但是骆驼可以长达一周不喝一滴水，也能生存下来。骆驼有这样的本事，主要是因为它能够在体内储存大量水分，一次能够饮用相当于其体重 30% 的水，然后再慢慢地消耗掉。另外，骆驼也很能忍受脱水，即使身体失去了 25% 体重的水分也没事，而人一旦失去 10% 体重的水分，就是致命的。

第 45 节：柯勒的黑猩猩(3)

但是，与生活在非洲撒哈拉地区半沙漠地带的弯角大羚羊相比，骆驼的这点儿本事就算不上什么了。弯角大羚羊（以下简称大羚羊）可以长达 10 个月不喝一滴水。在炽热的沙漠中，一只大型哺乳动物怎么能够如此长时间不喝水也活得好好儿的？

哺乳动物作为恒温动物，一般必须把体温保持在大约 38 摄氏度才能维持正常的生理功能。但是在撒哈拉地区，白天的气温通常高于 38 摄氏度，最热的时候能超过 50 摄氏度。在如此炎热的环境中，哺乳动物主要通过让体内的水分蒸发的方式（出汗或喘气）来散热。这是一种很有效的降温方法，每克水分蒸发掉时能带走 2.4 千焦的热量。但是，这种方法有个缺点，如果不及及时补充水分的话，身体就会很快地脱水。

为了保持身体水分，大羚羊既不出汗也不喘气，而是用一种奇特的方式来应付炎热的气温：把体热储存起来。这就意味着它的体温会不断地上升。大羚羊能够忍受高达 46 摄氏度的体温，超过这个温度才不得不出汗把体温降下来。骆驼也有类似防止出汗的机制，但是它只能忍受 41 摄氏度的体温。

维持如此高的体温，除了避免出汗，还有个好处：

因为体温与气温接近，空气可以传给身体的热量就少了。但是，大羚羊发如此高的“高烧”，为什么不会妨碍其正常生理功能呢？许多细节我们还不清楚，不过，我们大体知道它是如何防止头脑发热的。来自大羚羊心脏的血液由颈动脉送往大脑时，经过头部一个叫海绵窦的地方，在那里，颈动脉变成了数百条细细的小动脉。在海绵窦还有许多流向心脏的小静脉，它们来自鼻腔，其中的静脉血在流经鼻腔时，被空气冷却了，它的温度要比动脉血低。这样，小动脉血的热量就会传递给静脉血，从而使血液在进入大脑时得到冷却，温度能降低3摄氏度，防止对温度最敏感的大脑受到伤害。

白天储存在体内的热量，到了气温较低的晚上，就会逐渐释放出去。这时候，大羚羊又能让体温一直降到36摄氏度以下。这样在第二天白天时，它又能储存更多的体热。

大羚羊的肾脏能够非常有效地减少尿中的水分，它的尿是高度浓缩的。不过，它的尿中毕竟还有些水分，它的粪便也要含有一点儿水分才排得出去，这样，大羚羊还是会损失一些水分。为了防止脱水，大羚羊仍然需要补充水分。在无水可饮时，它只能通过食物来补充水分。大羚羊常吃的草水分并不多，在白天只含有1%的

水。不过，到了晚上，随着气温的下降和湿度的上升，这些草的水分含量会增加 20 倍。大羚羊白天不进食，只在黄昏和夜间进食，能最大限度地保证吸取食物中的水分。

第 46 节：嗜血的生涯(1)

大羚羊还有一种独特的获得水分的方式。食物中的营养成分例如碳水化合物，在新陈代谢时能产生水。因此，实际上所有动物都能通过这种方式间接获得水分。不过，这个代谢过程需要氧气参与，而每次呼吸都会带走体内的水分。通常情况下，呼吸时损失的水分多于代谢过程中产生的水，是得不偿失的。大羚羊却有办法改变这个产出比，这个方法其实很简单。在晚上，大羚羊一边让白天储存的体热散发，一边开始非常缓慢地做深呼吸。深呼吸能吸入更多的氧气，通过新陈代谢制造更多的水分，而夜晚空气湿度比较高，通过呼吸散失的水分就比较少。这么一来，大羚羊就能通过一晚上的深呼吸让体内累积更多的水分。

就这样，通过白天储存体热晚上散发，浓缩尿液避免水分丧失，夜间进食摄取食物中的水分和深呼吸制造代谢水等方式，大羚羊巧妙地适应了既炎热又缺水的半沙漠环境。这种适应性是如此成功，使弯角大羚羊曾经是撒哈拉地区数量最多的大型哺乳动物之一，一度多达数十万只。

但是，再成功的物种也难逃人类的毒手。几十年来，为了获取羚角、皮毛、肉，或仅仅为了好玩，军人、商

人、猎人们乘着汽车，挥舞着枪支，对弯角大羚羊进行了大屠杀。到上世纪 90 年代，弯角大羚羊已在野外被消灭得干干净净。现在，只剩下数千只弯角大羚羊被人工圈养生存了下来，其中大多数养在美国得州的牧场。弯角大羚羊历经数百万年进化而来的那套巧妙的适应方式没有了用武之地。一个物种如果失去了其野外栖息地，丧失了其主要习性，即使能继续繁衍，也只是徒具其形，近乎灭绝。

嗜血的生涯

金庸的武侠小说《倚天屠龙记》中有一名武林高手因为练功出了差错，需要经常吸人血解毒，否则全身血液就会凝结成冰。他因此得了绰号“青翼蝠王”，又被骂为“吸血蝙蝠”。这一描写犯了文化错误：在中国传统文化中，蝙蝠被视为福泽祥瑞的动物，并不令人恐怖；在西方传统文化中，蝙蝠才是邪恶的象征，而这一描写显然取材于西方的吸血鬼传说。

它也犯了时代错位的错误。在故事发生的时候（元末），不仅中国人，连西方人也不会把蝙蝠与吸血联系起来，因为以血为食的蝙蝠只生活在美洲。在新大陆被“发现”之后，欧洲探险家们才发现，竟然还有食血的蝙蝠。他们一度以为所有新大陆的蝙蝠都是食血的，联

想到传说中的吸血鬼，便用它来命名，以至有十几种以果实为食的美洲蝙蝠至今还背着“吸血鬼”的恶名。其实，只有三种蝙蝠是以血为食的，其中白翅吸血蝠和毛腿吸血蝠数量很少，主要食鸟血，与我们没有什么关系，而普通吸血蝠分布广泛，数量众多，主要食哺乳动物的血，一般说的吸血蝙蝠指的就是它。

第 47 节：嗜血的生涯(2)

在恐怖电影中，吸血蝠常常被表现为像狐蝠那样的大型蝙蝠从天而降，并凶猛地向动物或人发起攻击，从颈部直接吸血。实际上，吸血蝠并没有那么恐怖。它们是小型的蝙蝠，身体只有人的拇指大小。它们更不敢明目张胆地进行攻击。为了避免被鹰等天敌捕食，它们只在夜间没有月光的时辰出行，悄悄地寻找熟睡的哺乳动物。

和许多种蝙蝠一样，吸血蝠有发达的回声定位系统，低空飞行时通过发射、回收声波，以及靠嗅觉和听觉来确定猎物的位置。和其他蝙蝠不同的是，吸血蝠的前肢有发达的拇指，这使得它不仅能飞，也能在地上快速奔跑、跳跃，速度能达到每秒 2.2 米。在发现猎物后，吸血蝠降落到地面，跑向猎物，然后爬到猎物身上毛发较少的部位。它们的鼻子里有热感受器，用来寻找猎物皮肤上的血管。在确定了下口的位置后，它们先用犬牙剪掉多余的皮毛，然后用刀片一样的门牙切开一个几毫米长的小口。刀口极为锋利，刀法又非常快速，猎物对此不会有任何知觉。

吸血蝠并非真正直接从伤口吸血，而是在血从伤口流出后，用舌头吮吸。这样，一个小伤口在正常情况下

只会流出一滴血就凝固了。为了保证血液能不停地流出来，在吸血蝠的唾液中含有几种特殊的成分，一种防止血液凝固，另一种防止红细胞凝集，还有一种抑制伤口附近的静脉收缩。这样，即使在吸血蝠吃饱喝足离开后，伤口的血也还在不知不觉地流淌。吸血蝠喜欢当回头客，在下次进餐时间来找同一只猎物，从同一个伤口下口。就像我们能根据说话的声音辨认人，吸血蝠能够根据呼吸的声音认出同一只猎物。

根据“吃什么补什么”的传统观念，既然血对身体的功能是如此重要，人们会以为血是大补的食品，所以才会出现吸血疗伤的故事。其实，血液的营养价值并不高。它绝大部分成分都是水，主要的营养成分是红细胞中的血红蛋白，一升血也不过含 100 多克。一只体重 30 克的吸血蝠，需要一次进餐 20 分钟，吃下 20 毫升的血，吃成一个皮球，才算吃饱了。这相当于它多了 60% 的体重，如此沉甸甸、圆滚滚的蝙蝠是没法飞起来的。为了减轻负担，吸血蝠一边吃血一边排尿，尽量把血液中的水分排出去。回到老巢后，再慢慢地消化血液中的蛋白质。

要吃到血并非易事。调查表明，成年吸血蝠平均每 25 个晚上就有一个晚上没能吃上血，而年轻吸血蝠更是

一周就得饿上两个晚上。其他吸血的动物，例如蚂蟥、虱子，也要经常挨饿。对冷血动物来说，饿上几天、几个月甚至几年都不是问题，但是吸血蝠是恒温动物，需要不断补充能量维持体温。如果连续两个晚上都没吃的，吸血蝠就会饿死。完全以血为生真是一件危险的事。吸血蝠以一种独特的方式渡过难关：有福同享，有难同当。归巢后，吸血蝠会热情地互相梳理毛发，没有吃到血的蝙蝠乘机向吃到血的蝙蝠索取食物，后者往往会反刍出一些血吐给前者，让它不至于饿死，下一次轮到自己挨饿时就能得到回报。

第 48 节：鲨鱼中的古怪另类

欧洲移民为吸血蝠带去了充足的血源：马、牛、猪等家畜成了吸血蝠的主要猎物。在户外睡觉的人，有时也成为它们的攻击目标。它们喜欢咬的部位是熟睡的人暴露在外的脚指头。人失血几十毫升并没有性命之虞，糟糕的是吸血蝠能传染狂犬病。2005 年，巴西两个月内就有 1300 人被吸血蝠咬伤，其中 23 人染上狂犬病身亡。如果没有人类畜牧业的支撑，吸血蝠还以野生动物为猎物的话，嗜血的生涯是很难捱的，它们的数量也不至于多到被视为害兽需要加以消灭的地步。

鲨鱼中的古怪另类

2007 年 11 月 17 日，《北京晚报》刊登了一篇题为《尊严——〈加布林鲨鱼的悲情母爱〉读后感》的散文，介绍说深海有一种非常凶猛、名为加布林鲨鱼的噬人鲨，又叫“魔鬼鲨”。当它被围入渔网几经挣扎不得脱身时，会自行爆炸成大大小小的碎块，宁肯粉身碎骨也不愿被人活捉。所以直到现在，还没有人捉到过一条完整的加布林鲨鱼，人们通常见到的不过是魔鬼鲨的碎块而已，极像砖块或瓷器破碎后的样子……于是，作者感叹道：“任何研究都应该在‘生命’面前止步。如何尊重生命，敬畏生命，当是人类最为重要的研究。加布林

鲨在人类面前誓死守护的尊严，难道不值得每一个自称高级的人类思索？”

有一个读者问我这是真的吗？是不是像旅鼠会“奔赴死亡之约”的传说那样只是以讹传讹？这当然是捏造出来的，和旅鼠的传说不同的是，它不是国外传入的古老传说，而是国内的某个文人 2006 年才炮制出来的，以《加布林鲨鱼的悲情母爱》等为题刊登在多家报刊上，虽然号称是“编译”，但在国外文献中找不到这种说法的任何痕迹；虽然文章声称是在叙述 2004 年一次科学考察的经历，但它其实是百分之百的幻想作品。可这样一则无稽之谈，被许多人当成纪实而深受感动，乃至据此批评科学研究。

加布林鲨鱼和“魔鬼鲨”很显然分别是英语 Goblin Shark 的音译和意译，加布林是西方民间传说中一种相貌丑陋、喜欢恶作剧的妖怪。这种鲨鱼的中文名字叫做剑吻鲨或尖吻鲨，指的是它长着一个像短剑一样突出的长鼻子（动物学上称为“吻”）。有关它的最早记录，是 1898 年于日本横滨取得的一具完整的标本，生物学界由此首次知道有这个物种的存在。此后，又陆续在太平洋、大西洋的各个地方抓到过。不过，剑吻鲨虽然分布广泛，却一度被认为非常稀有，每抓到一条都会有记载，到上

世纪末，共报道抓到了 45 条。

剑吻鲨的数量其实比人们想象的要多得多，样本少的原因可能是这种鲨鱼一般生活在数百米深海处，不容易被捕捉到。在 1995 年 5 月到 1996 年 10 月这短短一年多的时间里，人们用底刺网捕捞，在东京海底峡谷 100~300 米深处抓到了大量的剑吻鲨——多达 125 条（注：这次捕捞情况在 2003 年才报道）。2003 年 4 月，人们在两周内于台湾海域捕捞到了 100 多条剑吻鲨。虽然被捕获的这些剑吻鲨都已经死了或很快就死了，但没有一条是爆炸而死的，而且还有被活捉的。2007 年 1 月，在东京湾有一条剑吻鲨被活捉，被送到东京海洋公园展览，两天后死亡。2 月，又有一条剑吻鲨被活捉，在日本东海大学海洋科学博物馆养了一周后才死亡。它们也都不是自爆死的。

第 49 节：屏气潜水 80 分钟(1)

当然，像所有其他动物一样，剑吻鲨在被捕获时，也会猛烈挣扎，试图咬破渔网逃生。在挣扎中，它们的头部往往会发生一定的变形，这曾经导致某些剑吻鲨样本被当成是新发现的物种。

我不知道为什么有人要编造出剑吻鲨有什么宁死不屈的“尊严”。不过，在已知的 400 多种鲨鱼中，剑吻鲨的确显得很古怪。它是剑吻鲨科的唯一成员。一般的鲨鱼都有一个比较突出的吻，但是很少有谁像剑吻鲨那样长着这么长的吻。一条三米长的剑吻鲨，它的吻长能超过半米。更奇怪的是，剑吻鲨长着一个能屈能伸的长嘴。当它把嘴收起来的时候，它的样子看上去和别的鲨鱼没有太大的区别，只是吻长了点儿。但是当它把嘴伸出来，伸到吻底下时，看上去就完全像是一种丑陋的史前动物了。

以前捕获到的剑吻鲨的皮肤颜色是灰色的，好像没什么特别的。直到人们见到还活着的剑吻鲨，才发现这居然是一种粉红色的鲨鱼。并不是因为它的皮肤有红色素，而是因为它的皮肤是透明的，身体表面毛细血管中的血液显现出来了。

鲨鱼没有鱼鳔，它是通过肝脏里的脂肪来调节浮力的。所以，鲨鱼有一个特别大的肝脏。不过，即便如此，鲨鱼身体的比重还是比海水大，要靠不停地游动才能避免沉入海底。剑吻鲨的肝脏又比一般的鲨鱼大得多，占了其体重的四分之一，这使得其身体比重接近海水，即使不游动也不容易下沉。

一般的鲨鱼都有非常发达的肌肉，行动迅速、敏捷，异常凶猛。但是，剑吻鲨的肌肉松软无力，它的身体的其他特征也表明它行动缓慢。这样的鲨鱼是不会对人造成威胁的，要追杀猎物也很成问题。当然，剑吻鲨也不是吃素的，检查它的胃内食物可以知道，它以硬骨鱼、乌贼、甲壳动物为食。那么，它是如何觅食的呢？很可能是这样的：剑吻鲨悄悄地停留在黑暗的海中央，通过吻内丰富的电感受器侦察周围的一举一动。一旦有猎物靠近，就突然伸出嘴巴，张开咽喉，二者结合大大地增加了喉咙的容量，在咽喉内产生一个很大的负压，把猎物吸进去，再把嘴巴缩回，几排像钉子一样的牙齿就能咬住猎物。谁能想到，竟有靠守株待兔为生的鲨鱼？

每种生物本身都有其奇妙之处，如果了解了它们，就没有必要去编造骗人的神话了。

屏气潜水 80 分钟

2008年12月30日，德国潜水员席耶塔斯（Tom Sietas）创造了一项吉尼斯世界纪录：在水下屏气17分钟19秒。这个惊人的纪录是靠“作弊”取得的：潜水前吸了30分钟的纯氧。如果不事先吸氧，他的纪录是10分12秒。这仍然很惊人，一般人在水下屏气很难超过5分钟。

第 50 节：屏气潜水 80 分钟(2)

但是，这个世界纪录和海豹、鲸、海豚这些海洋哺乳动物相比，就不值一提了。在这方面，海豹的表现尤其出色。例如，生活在南极洲的威德尔海豹能一口气潜水大约 80 分钟。它们是怎么做到这一点的呢？

海洋哺乳动物无法像鱼那样利用溶解在水中的氧，它们同样靠肺呼吸空气，在潜水时也必须憋气。你也许马上会想到，是不是因为海豹的肺比较大，能够憋住更多的空气？那位德国潜水员能创造世界纪录，据说就是因为他的肺要比同样体格的人大了约 20%。但是，海豹的肺与身体的比例并不比其他哺乳动物大。海豹不是靠肺活量大取胜的，那么它靠的是什么呢？

肺部吸入的氧气进入血液后，和红细胞中的血红蛋白结合，然后随着血液循环输送给全身的细胞利用。血液中血红蛋白越多，能够结合的氧气也就越多，机体就越能忍受缺氧的环境。海豹血液中是不是有更多的血红蛋白呢？是的。海豹的血容量相对来说比较大，有更多的红细胞，也就意味着有更多的血红蛋白。而且，更关键的是，在开始潜水时，海豹的脾脏会往血液中注入更多的红细胞。人的脾脏的主要功能是过滤血液和产生淋巴细胞，对人的生存其实不是很重要，有的人因伤因病

切除脾脏后，还可以好好地活下去。但是，某些哺乳动物（包括海豹、马、狗）的脾脏还有储存红细胞的功能。海豹有一个大得出奇的脾脏，里面储存了占全身三分之二的红细胞。在海豹潜水的瞬间，肾上腺素会刺激脾脏收缩，释放储存的红细胞到血液中，使血液中血红蛋白的量增加 60%。血液中红细胞过多也有副作用，会造成淤血，所以海豹潜水完毕浮到水面后，血液中肾上腺素的量会减少，脾脏舒张，又把多余的红细胞收回去了。

大量的血红蛋白携带的氧气能让海豹在水下待上大约 15 分钟。剩下的 65 分钟怎么办呢？在海豹的肌肉中含有大量的肌红蛋白，它们的构造和血红蛋白类似，能和血液中的氧结合，把氧储存起来。一旦血液中的氧浓度很低，肌红蛋白中的氧就被释放出来供肌肉细胞使用。肌红蛋白储存的氧，能让海豹在水下多待大约 10 分钟。

但是，还有 55 分钟需要对付。在这么长的时间内，海豹的肌肉没有氧气可以利用，它所需的能量从哪里来呢？所有的动物都能在无氧的条件下产生能量，这个过程被称为“无氧呼吸”。我们人类也有这个能力，比如在激烈运动时，肌肉的氧气供应不足，也要靠无氧呼吸来提供能量。但是，无氧呼吸产生能量的效率比有氧呼

吸低，而且会产生一种有害的副产物——乳酸。乳酸会降低血液的酸碱度，让它变为酸性。体内大多数的酶对酸碱度的改变非常敏感，到一定程度就会失去活性，这对机体会是致命的。

第 51 节：如鱼得水咸淡自知(1)

海豹为何能忍耐如此长时间的 100% 无氧呼吸却又不得酸血症呢？它们是通过巧妙地改变血液在身体的分布来达到的。在海豹潜水时，血液主要流向大脑、心脏、脾脏、眼睛、肾上腺、胎盘（如果怀孕的话）这些此时至关重要的器官，而流向肌肉的血液大为减少。这样，肌肉产生的乳酸就留在肌肉内，而不会随着血液流到全身，危害其他器官。海豹浮出水面后，再逐渐增加流向肌肉的血液，乳酸将被氧气转化成有益无害的丙酮酸。

海豹潜水可不是在游泳池里玩憋气游戏，而是要潜到海底觅食，潜水深度有时能达到 700 米。潜水员穿上潜水服能潜到 600 米。当潜水员下潜到水底时，身体所受的压力随之增加，呼吸到体内、溶解于体液中的空气的量也随之增加。其中的氮气是没法被人体利用的。当潜水员返回水面时，气压一下子下降，就像打开一瓶汽水，被压在水中的二氧化碳往外冒泡一样，体液中的氮气也会冒泡，干扰血液循环，对身体造成损伤，使人体患上减压症。要避免出现这种情况，潜水员需要进入高压舱增压，迫使氮气回到血液中，然后再经历长时间的减压，让氮气缓慢地离开身体。

海豹为何不会得减压症呢？仔细观察一下海豹在潜水之前的准备动作。你也许以为它会像我们潜水前一样深吸一口气。恰恰相反，它是大呼一口气，把肺内的气体排掉，这样就能减少潜水时溶解到体液中的氮气的量。此外，海豹在潜水时，肺会由于加在胸部的压力而塌扁，肺里剩余的空气被挤到支气管和气管，从那里是进不了血液的。海豹就这样用一个简单的办法巧妙地解决了一个复杂的问题，避免了减压症。潜水前少吸一口气就会少摄入一些氧气，而一次深吸气的氧气只能供身体使用 2 分钟，这对潜水 80 分钟来说微不足道，完全值得为了避免减压症而牺牲掉。

如鱼得水咸淡自知

曾经在电视节目中和我辩论过的台湾“排毒教父”林光常因为犯有欺诈罪，在台湾被判刑两年六个月。此前在媒体的炒作下，林光常曾在大陆风靡一时，他宣扬的稀奇古怪的“另类养生”拥有众多的追随者。例如，他提倡喝没有烧过的“生水”，因为水烧过以后，水中的氧气跑掉了，成了没有氧的“死水”，据说就没有保健价值了。常温常压下，一升水的溶氧量大约是 6~10 毫克，而一个成年人在平静状态下每分钟大约呼吸 16~20 次，吸入的氧气量大约是 250 毫升，等于 360 毫克氧。

也就是说，一升水中的溶氧量比一次呼吸吸入的氧还少，水中的那点儿氧气对人体来说微不足道，毫无价值。

但是，水中那点儿氧气对鱼类至关重要。鱼类和人一样，需要不停地吸入氧气维持生命活动，而除了肺鱼等极少数的种类外，鱼类只能通过鳃从水中吸入氧气。鱼不是用鼻子，而是用嘴呼吸的：先是移动下巴，扩大嘴巴的容积，制造出真空，水就从外面被压入了嘴巴；然后扇动鳃盖扩大鳃腔，制造出另一片真空，让嘴巴里的水往鳃流去。鱼鳃由许多鳃丝紧密排列组成，鳃丝上有无数的细小突起，称为鳃小叶。呼吸时，鳃丝、鳃小叶都完全张开，扩大了鳃和水的接触面积，以便尽可能多地摄取氧。鳃小叶表层只有一层上皮细胞，下面密密麻麻地分布着毛细血管，因此水和血液仅隔两三层细胞，水中的氧能轻易地进入毛细血管，随血液循环输送到身体各部分，同时血液中的二氧化碳则透过鳃小叶排到水中。

第 52 节：如鱼得水咸淡自知(2)

所以，鱼鳃能高效地进行体内外的气体交换，但是这也意味着它能高效地进行体内外的水交换。这使得海鱼面临着一个严重的问题。因为海水的盐浓度比血液的盐浓度高，而在渗透压的作用下，水将自动从低浓度溶液渗透到高浓度溶液中。鱼每一次呼吸，海水流经鳃，给血液送去氧的同时，血液中的水也会流到海水中。血中的水流走后，血容量减少，血压下降，下降到一定程度，心脏就无法把血输送到全身各处了。而且血中水分减少，血盐浓度随之增加，夺走了细胞中的水，细胞就有了脱水死亡的危险。

为了防止脱水，鱼必须从外界补充血液中丧失的水分，也就是必须喝水。谁都知道，人再渴也不能喝海水，海水进入肠道以后，反而会把体内的水夺走，会越喝越渴，脱水会越来越厉害。但是，海鱼没有别的水可以选择，只能靠喝海水来补充水分。海水进入鱼肠内，怎么防止血液中的水被进一步夺走，而从海水中吸取水分呢？

渗透现象是无法改变的，只能试图去改变渗透的方向，那就要让体内的盐浓度比海水还高。为了做到这一点，海鱼在喝水之前要先吃盐：肠壁细胞中有“分子泵”，能把肠道内海水中的盐转运到肠道外，使得肠道外体液

的盐浓度变得比肠道内海水的盐浓度还高，于是水分就从肠道内渗透到肠道外，由血液带走。

但是，那些被“分子泵”带进了体内的盐分怎么办呢？还得想办法再排出去。这个问题交给了带来所有这些麻烦的鳃去处理。血液把多余的盐送到鳃，鳃上皮组织中有泌盐细胞，它们有另一套“分子泵”，把血液中的盐转运出去，回归大海。海鱼就是通过“分子泵”的吸收和排出盐分来吸收水分的，这么来回折腾并不是“免费”的，“分子泵”的运转要耗费能量。

淡水鱼面临的是完全相反的问题。它们从不喝水，事实上，不请自来的水已经多得让它们的身体受不了了，必须耗费能量清除体内多余的水。由于血盐浓度比淡水中的盐浓度高，水的渗透方向倒了过来。淡水鱼每一次呼吸，在吸入水中的氧的同时，大量的水通过鳃渗透到血液中，为此，淡水鱼拥有一个极为高效的肾脏，日夜不停地排出水分。如果人类的肾脏也像鱼类那么高效，我们每隔十几分钟就要排一次尿。

除了鱼类，其他在海边生活的动物也需要处理水盐平衡的问题。例如海鸟，它们也要靠喝海水来解渴，而且在吃海洋生物时也会把食物中的高浓度盐分吃进去。所以，它们和海鱼一样，需要把体内多余的盐分排出去。

当然，海鸟没有鳃，它们的泌盐装置在眼眶上方的头骨窝内，那里长着盐腺，把血液中的盐泵出来，排到鼻腔中。下次你看有海鸟画面的电视节目时留心一下，它们会时不时地摆摆头，抖掉从鼻孔流出来的水珠，那就是盐腺排出的高盐黏液。

第 53 节：鳄鱼的眼泪

鳄鱼的眼泪

古代西方传说鳄鱼在吃人时会流泪哭泣，因此有了“鳄鱼的眼泪”这个谚语。对此的描述最早见于英国学者、神学家亚历山大·尼卡姆（Alexander Neckam）写于大约 1180 年的博物学著作《物性论》，和方济会修道士巴塞洛缪斯（Bartholomeus Anglicus）写于 1225 年的百科全书《事物本性》。一百多年后，1356 年左右出了一本讲述东方见闻的《曼德维尔游记》（The Travels of Sir John Mandeville），以亲身经历叙述鳄鱼边吃人边哭泣，这本书风靡一时，使得这个传说广为人知。1563 年，英国约克及坎特伯雷的主教埃德曼·格林德尔（Edmund Grindal）第一个用“鳄鱼的眼泪”一语来比喻虚伪。

和其他传说一样，这个传说在流传中起了一些变化。1565 年，英国著名黑奴贩子、航海家约翰·霍金斯（John Hawkins）声称，他及其水手在加勒比海诸岛的河流中看到许多鳄鱼。它们发觉附近有猎物时，会哭得“像一个基督徒”，把猎物吸引过去乘机逮住。按照这种说法，鳄鱼流泪不是假慈悲，倒是诱捕猎物的诡计。这个说法稍后被英国桂冠诗人埃德曼·斯宾塞（Edmund Spenser）用在其著名史诗《仙后》（作于 1590 年）中，

用一整段描述这一情景。进而，莎士比亚在《奥赛罗》（约作于 1603 年）中控诉女人惯用鳄鱼的眼泪达到邪恶目的。（“啊，魔鬼！魔鬼！如果大地能被女人的眼泪受孕，她流下的每一滴眼泪都会证明是一条鳄鱼。”）有这两位大作家的引用，再加上鳄鱼凶猛的形象和眼泪的强烈反差，从此这个用语不传遍全世界也不可能了。

生物学家们当然不会相信鳄鱼真的会装哭。有的人干脆认为鳄鱼没有泪腺，不会流泪：鳄鱼大部分时间生活在水中，眼泪能有什么用呢？上世纪早期有位科学家用洋葱和盐擦鳄鱼的眼睛，发现它们不会因此流泪，似乎支持了这个说法。但是鳄鱼是有泪腺的，人们在野外和公园中有时能看到鳄鱼的确会流泪。海龟也会流泪，生物学家早就发现那是眼眶附近的盐腺在排泄体内多余的盐分。于是，生物学家难免会猜测鳄鱼的眼泪也有这个作用。这个猜测很合情合理，毕竟，鳄鱼和海龟都属于爬行动物，身体结构和功能上应该很相近，而且有些鳄鱼（湾鳄和窄吻鳄）生活在河流的入海口，也需要排出从海水吸入的盐分。在鳄鱼身体表面看不到有别的液体排出，眼泪就是个很好的候选。

但这只是猜测。到了 1970 年，才有生物学家去检测鳄鱼眼泪的成分，发现海湾鳄鱼在海水中生活一段时

间后，其眼泪的含盐量有所增加。这似乎证明了鳄鱼的眼眶有和海龟一样的盐腺，于是被写入动物学专著和教科书。但是另一方面，这个实验表明，鳄鱼眼泪的含盐量比海龟、海蛇等海洋爬行类的盐腺分泌物的含盐量明显要低，因此也有生物学家（包括做这个实验的人）认为，它其实否定了鳄鱼眼眶有盐腺的假说。

第 54 节：鳄鱼的心脏(1)

这场争论在 1981 年结束。那一年，澳大利亚悉尼大学的塔普林 (Laurence E. Taplin) 和格里格 (Gordon C. Grigg) 注意到，湾鳄的舌头表面会流出一种清澈的液体，他们怀疑这才是鳄鱼盐腺的分泌物。但是液体分泌的速度太慢，无法收集进行分析。他们给鳄鱼注射盐水刺激盐腺分泌，也不成功。最后，他们采用的办法是给鳄鱼注射氯醋甲胆碱——以前的实验已表明，给其他海洋爬行动物注射氯醋甲胆碱能刺激盐腺的分泌。鳄鱼舌头上果然不停地分泌出液体，能够用针筒收集来分析钠、氯、钾离子的含量并测定渗透压。他们同时也搜集了鳄鱼的眼泪作为比较。结果发现，这些分泌液的盐分比血盐浓度高得多，大约是其 3~6 倍，渗透压则是血液渗透压的 3.5 倍，和海水的渗透压相当。而眼泪的盐分虽然也升高了，但只是血盐浓度的 2 倍左右。随后，他们对鳄鱼舌头做了解剖，在舌头的黏膜上发现了盐腺，其构造和其他海洋爬行动物的盐腺，特别是海蛇舌下的盐腺很相似。此后，其他人的研究也都证实了这个发现。

如此看来，鳄鱼是通过舌上分泌液而不是眼泪来排泄盐分的。那么，鳄鱼的眼泪起什么作用呢？鳄鱼通常

是在陆地上待了较长时间后才开始分泌眼泪，是从瞬膜后面分泌出来的。瞬膜是一层透明的眼睑，鳄鱼潜入水中的时候，闭上瞬膜，既可以看清水下的情况，又可以保护眼睛。瞬膜的另一个作用是滋润眼睛，这就需要用到眼泪来润滑。

鳄鱼吃东西的时候是不是真的会流泪？佛罗里达大学的动物学家肯特·弗列特（Kent Vliet）2007年在鳄鱼饲养场观察、拍摄了4头凯门鳄、3头短吻鳄在陆上进食的情况，发现其中的5头的确会边吃边流泪，有的甚至眼睛会冒泡沫。它们吃的是像狗食一样的加工食品，当然犯不着为这些食物哭泣。弗列特推测，这是因为鳄鱼进食时伴随着吹气，压迫鼻窦中的空气和眼泪混合在一起流出来。

但是，鳄鱼流泪是在排盐的说法仍在教科书、科普读物、知识竞赛中广为流传。可见，言之凿凿的传说、见闻固然不足为凭，教科书也未必完全可靠。

鳄鱼的心脏

我们去体检的时候，通常都要测量血压。它实际上是血液流动时作用在动脉管壁上的压力。心脏收缩时，心室把血液压进动脉，产生一股压力，让血压达到最高。然后心脏舒张，来自心脏的压力没了，动脉血管由于弹

性回缩，血液仍然会继续慢慢地流动，还会对血管产生一定的压力。医生在测量血压后会记下两个数据，例如“110/70”，就是分别代表在心脏收缩和舒张时血压让汞柱升高的高度（毫米）。

如果没有血压，就不能推动血液流遍全身各处，特别是血液往上流的时候，还需要克服重力，需要的血压就更大了，最低也得保证能把血液输送到头部去。对于鳄鱼这样的爬行动物，头部和心脏基本上在同一高度，需要的血压不高，通常只要 40 毫米汞柱的血压，能把血液压到体表的毛细血管就行了。人的身体就像是鳄鱼转了个 90 度立起来，通常至少需要 100 毫米汞柱的血压才能让血液流到头顶，否则就会因为大脑缺血而晕倒——身体变成像鳄鱼一样的姿势，头和心脏处于同一位置，血液又能流到大脑。再想想头高高在上的长颈鹿吧，它需要有一个橄榄球那么大的心脏来产生极高的血压——高达 300 毫米汞柱。

第 55 节：鳄鱼的心脏(2)

心脏不仅要把血液输送到头、脚，还要送到肺，在那里吸收氧气，排出二氧化碳。为此，肺的表面充满了薄薄细细的毛细血管，以便进行气体交换。但这也使得肺的结构非常脆弱，如果以 100 乃至 300 毫米汞柱的血压把血液压到肺，肺表面的血管将会破裂。鸟类和哺乳动物采取一个巧妙的方法解决了这个问题：把心脏分割成互不相干的左右两个部分，右边管肺循环，左边管体循环。体循环的静脉血进入右心房，右心室以较低的压力（人的肺动脉收缩压只有大约 22 毫米汞柱）把血液送到肺部，完成气体交换后，送到左心房。左心室的肌肉比右心室发达得多，产生的压力也大得多，由它把血液压到主动脉，输送到除了肺部以外的全身各处。然后血液又回到右心房，如此周而复始。人的心脏的左右两边实际上可以看成是两个独立的心脏。

爬行动物则不同，它们的血压本来就低，不必担心会把肺压坏，所以没有必要分隔两个心室，左右心室可以相通，实际上是一个心室。但奇怪的是，鳄鱼的心脏却有两个分隔的心室，看上去更像鸟、哺乳类的心脏，仔细看却又与鸟、哺乳类的心脏不同。鸟、哺乳类的右心室连着肺动脉，左心室连着主动脉，肺循环、体循环

分得清清楚楚，但是鳄鱼多出了一条主动脉：它的右心室除了连着肺动脉，还连着一条主动脉。也就是说，鳄鱼的右心室既可以把血送到肺部，也可以送到身体其他部位。在鳄鱼右心室与肺动脉交界的地方，有一片齿状的瓣膜控制血液的流向，它开着的时候，血才被送到肺部，合上时，右心室则把血液压到主动脉，送到其他地方。

为什么会有这种奇特的构造呢？鳄鱼的大部分时间沉没在水里等待猎物，与空气隔绝，这时候把血送到肺部也不能交换气体，是一种浪费。这时右心室的齿状瓣膜是关闭着的，从身体各部位收集来的静脉血本来要送去肺部进行气体交换，这时却重新被送到身体各部位去了。静脉血虽然含氧量较少，但是还可被重新利用。通过多次体循环充分利用血中的氧，可能是鳄鱼能在水底一待几个小时不用浮到水面换气的一个因素。当鳄鱼浮到水面上时，它会分泌肾上腺素刺激齿状瓣膜打开，这样静脉血才被送到肺部换气。这样的设计是不是比鸟、哺乳类的的心脏更先进？

有意思的是，鳄鱼在胚胎发育过程中，它的心脏是把肺、体循环完全分离的，到发育的后期才出现特殊的构造。这就意味着鳄鱼祖先的心脏很可能和鸟、哺乳类

一样，难道鳄鱼祖先也有血压高的问题吗？是的，从化石来看，鳄鱼祖先生活在陆地，有很长的腿，有些种类还用两条腿奔跑，头的位置比较高，所以和鸟、哺乳类一样要有较高的血压和分隔的左右心脏。

第 56 节：苍蝇也爱打架(1)

鸟、哺乳类血压高的一个好处是血流量比较大，可以满足较高的新陈代谢率，以维持恒定的体温。因此，我们可以推测，鳄鱼祖先很可能是恒温动物。后来鳄鱼改变了生活方式，对长久静止待在水中的生活来说，体温恒定并无好处，于是鳄鱼又进化成了冷血动物。我们总以为恒温动物是从冷血动物进化来的，其实有时也可以反过来。

最古老的鳄鱼属于初龙。初龙的后裔除了进化成鳄鱼，还有一支进化成恐龙。有的恐龙的脖子非常长，甚至比长颈鹿还长，它们必定需要很高的血压才能给大脑供血，因此它们的心脏也应该和鸟、哺乳类一样有四个腔，并拥有分离的肺、体循环。1993 年，在美国南达科他州首次发现恐龙心脏化石，其构造的确和预料的一样。这也表明恐龙可能是恒温动物。

苍蝇也爱打架

国内一些“专家”，在国外一些“专家”的指导下，起草了一份《动物保护法（专家建议稿）》，涵盖范围之广，规定之详细，大概都走在了世界前列。这里说的动物保护，不是指的保护濒危动物，而是指的保护一般动物不受虐待，其实是指“动物福利”。国外涉及动物福

利时，往往还要区分一下温血动物和冷血动物，比如动物实验如果用到温血动物（哺乳类和鸟类），会受到某些限制。如果连冷血动物也要“保护”，连奥巴马总统在镜头前拍死一只苍蝇也要指责，就被当成了笑话。

但是，这个“专家建议稿”是要对动物一视同仁，明文规定所要保护的动物包括腔肠动物、软体动物、昆虫、哺乳动物等等一切动物。这么一来，就未免让人觉得管得太宽了。比如，它规定“禁止开展动物争斗的实验”，那恐怕连小孩儿玩蚂蚁打架游戏也是犯法的了。

科学家开展动物争斗的实验，当然不是为了好玩，更不是出于虐待动物的阴暗心理，而是为了弄清楚影响动物争斗的因素。从腔肠动物到哺乳动物，几乎所有的动物都会为了争夺食物、配偶、领地而争斗，人类也不例外。因此，研究争斗行为是为了帮助解决人类社会的某些问题。我不知道世界上还有哪个国家准备禁止开展动物争斗的实验，动物争斗实验是当前动物学研究的一个热点。哈佛医学院克拉维兹实验室就是专门做果蝇争斗实验的，被戏称为“果蝇搏击俱乐部”。北京大学饶毅实验室现在也建立了类似的俱乐部，以后，那里也许就有受处罚、取缔之虞。

果蝇是一种小型的苍蝇，身長大约只有普通家蝇的

一半。一般人对果蝇的印象，也就是它们会被腐烂的水果吸引来翩翩飞舞，很难想象它们还会互相打架。如果果蝇不是很偶然地成了被研究得最为透彻的实验动物之一，大概也不会有人注意到它们还很好斗。上世纪初，美国遗传学家摩尔根要研究遗传学问题，没能申请到培养哺乳动物的经费，改养起了果蝇，从此让果蝇成了遗传学研究的重要工具。1915年，摩尔根的学生斯特提万特（Alfred Sturtevant）在养果蝇时首次注意到，让两只雄蝇去追求同一只雌蝇，它们会打起来：它们张开翅膀互相追逐，并用头相撞，很快会有一只认输逃走。

第 57 节：苍蝇也爱打架(2)

以后又有人陆续抓果蝇打架，不过都是把多只果蝇扔一块儿打群架，不容易看出个所以然。等到本世纪初，果蝇搏击俱乐部在哈佛轰轰烈烈地开张，才遵循搏击规则，在圈起来的场地里捉对厮杀。比赛场地是一个铺了一层琼脂的培养皿，中间滴了一滴苹果汁作为奖品。为了刺激雄选手，在苹果汁上还放一只无头雌蝇——无头苍蝇是不会跑的，但是能吸引雄蝇，雄蝇只对雌蝇的下半身感兴趣。然后，放两只雄蝇让它们打起来，用录像机拍摄下整个比赛过程。

在拍摄了 2000 多场比赛之后，研究人员有一些有趣的发现。雄蝇的战术还真不少。最温和的战法是俯身向对手冲去，或者是朝对手竖起翅膀，做威慑状。这么做与对手没有肢体接触，属于不战而屈人之兵的高明战术。但高明的战术未必能奏效，所以往往还要贴身肉搏：伸出一只脚去刺对手；用后肢站起来，向对手猛扑过去；或者双方都站起来，挥舞前肢击打对手。最激烈的是双方扭打在一起，满地打滚。

正所谓“先下手为强”，谁先发动进攻，谁的胜算就比较大，而且第一次攻击越猛烈，胜算就越大。如果第一次攻击采用的是温和的战术，胜算是 3 比 1。但是

如果一开始就发动猛烈进攻，胜算就提高到 16 比 1 了。而且第一次比赛的结果还会对以后的比赛产生影响。如果第一次比赛的失败者休息 30 分钟以后重上战场，几乎不可能获胜，不管对手是前一次的胜利者还是第一次遭遇。看来果蝇对自己的失败会有惨痛的记忆，影响了以后的发挥。

和女人一样，雌蝇之间也会打架。不过它们温和得多，从来不使用“拳击”、“扭打”这类激烈手段，倒是经常用撞头、推挤这类雄蝇很少用的战术。和雄蝇不同的是，雌蝇的打架往往没有产生明显的胜利者。雌、雄果蝇在争斗中的不同表现，与一种叫 *fru* 的基因有关。让雄蝇带上 *fru* 基因的雌蝇版本，雄蝇打起架来就很像“娘儿们”。反之，让雌蝇带上 *fru* 基因的雄蝇版本，它们将像雄蝇一样彪悍。

用果蝇做研究材料的好处是很容易做遗传实验，可以在实验室里培育出战斗力超强的果蝇。每次比赛之后，让最顽强的选手留下后代，在其后代中再继续挑选顽强的选手做种……这样持续培育几十代后，就得到了一支超级搏击队。拉起这么一支队伍的目的，不是为了去参加果蝇奥运会，而是为了把它们和一般选手作比较，看哪些基因发生了变化。初步的研究发现，至少有

42 个基因与果蝇的争斗行为有关，非常复杂。

很显然，我们没法拿人来做类似的遗传学实验。但是研究表明，人类的争斗行为也有一定的遗传基础。通过调查发现，孪生子更容易表现出相似的好斗倾向，即使他们从小就被分开抚养。但是这类调查的结果并不是那么确定，也很难靠它来发现有关的基因。通过动物实验，能帮助我们理解人类暴力行为的生物学基础，也许有一天，能让我们的社会变得更和平一些。

第 58 节：苍蝇也爱打架

苍蝇也爱打架

重庆媒体报道，重庆南岸区一个废弃水库因建筑施工正在逐渐干涸，生活在水库中的上百尾野生叉尾斗鱼面临生存困境。据说，这种鱼在当地野外很少见，国外有人出高价收购，在国内却不受重视。两名网友为此发起“救救南岸野生斗鱼”活动，希望能为这些野生斗鱼找个新家……

许多人大概都是第一次听说“叉尾斗鱼”这个名称，以为是什么珍稀鱼类，看了照片后才恍然大悟：“这不是我们那里的菩萨鱼、烧火老头儿、三闷婆、坦闷、广皮、婆婆鱼、狮毛鱼、手巾花、彭皮溜、花兰里鱼、奇刹婆、九尾娘（似乎各地都有自己的叫法）……吗？我们那里的池塘、稻田、水沟里到处都是，我们小时候都抓它们来玩过的。”大家纷纷嘲笑这则新闻是炒作，有一个网友还留言讽刺说：“大惊小怪，我们家大把的，要不要去我们那里买啊，一毛钱一条就叫你倾家荡产。”

这些留言的网友来自广东、广西、福建、江西、香港等地。在华南地区，叉尾斗鱼的确非常常见。这是一种小鱼（身体可长到大约 6~8 厘米），肉又难吃，抓来只是让小孩儿养着玩的，住在乡镇、农村的小男孩儿大

都抓过、养过它，构成了儿时记忆中有趣的一部分。它之所以如此受欢迎，一则在野外容易抓到，不用花钱买；二则容易养，用一个罐头瓶子就能养，苍蝇、蚊子、蚯蚓、小虾、小鱼什么的它都吃，饿上一个月也死不了；三则长得好看，雄鱼长着红蓝相间的条纹，发起威来更是艳丽，算得上是华南最漂亮的野生鱼；四则其雄鱼极为好斗，把两条雄鱼放在一起，它们会斗个你死我活，所以要单独养。在鱼缸前放一面镜子，雄鱼也会对着自己的影子不停地发起攻击。这种鱼在闽南、台湾的俗名叫“三斑”，我们那里的小孩儿又叫它“打铁皮”，大概就是形容其好斗的性格。

也因为这些，叉尾斗鱼成了继金鱼之后被引入西方的第二种中国观赏鱼。现代生物分类学之父、瑞典人林奈在 1758 年出版其巨著《自然系统》第 10 版时，首次对它作了科学描述，并定下了沿用至今的拉丁文学名。林奈可能只是见到标本。它首次被引入西方是在 1869 年，法国驻宁波的领事馆命令一名法国官员带 100 条叉尾斗鱼回国。长途跋涉之后，有 22 条活了下来，其中的 17 条给了巴黎著名的育种家卡蓬尼尔（Pierre Carbonnier），由他成功地进行了繁殖。这是第一种被人工养殖的淡水热带鱼，从那以后，它在西方就成为非常

流行的观赏鱼，并有了一个美丽的名字——“天堂鱼”。

虽然许多人养过这种鱼，但是试图繁殖它的人并不多，所以就没有人注意到它有很奇特的生殖行为。到春天天气转暖时，雄鱼会游到水面上吸气，然后沉入水中，一边吹气一边吐黏液，形成无数小气泡，粘在一起浮在水面上。这是雄鱼为下一代准备的巢。泡巢筑好后，雄鱼去找雌鱼示威、跳舞、求爱，如果雌鱼拒绝其求爱，或者雌鱼还没有成熟，恼羞成怒的雄鱼会攻击它，甚至将其咬死。如果雌鱼接受了求爱，雄鱼会缠住它，让它的身体翻转过来，腹部朝上产卵，雄鱼则躺在雌鱼下面对卵受精。在受精卵下沉时，雄鱼会用口含住，把卵粘到泡巢上。雌鱼产完卵以后，雄鱼就将其赶走，自己一直守住泡巢，驱赶任何试图靠近的鱼。大约一两天后，幼鱼孵化出来了，暂时住在泡巢中。雄鱼还会继续守卫，如果有幼鱼掉下来，它会把幼鱼拖回巢中。再经过三天，幼鱼可以自由活动了，这时雄鱼才把它们从泡巢中拉出来。

第 59 节：宝贝，宝贵的贝壳(1)

由于这种筑巢习性，叉尾斗鱼需要平静的水面，因此它们只能生活在池塘、水库、沟渠、稻田等静水或死水之中。此外，它们对环境倒没有什么挑剔的，在溶氧量低的水中也能生存。因为叉尾斗鱼有两套呼吸器官，除了用鳃吸收水中的氧气，鳃的后侧还有一个特殊的辅助呼吸器官——迷器，迷器上面的毛细血管与空气接触时能够吸入空气中的氧气。所以，叉尾斗鱼常常快速地将头浮出水面呼吸空气，有时动作过快，甚至跃出了水面，跳到了鱼缸外，让人以为是在自杀。

叉尾斗鱼在野外如此之多，生命力如此顽强，似乎不至于遭到灭顶之灾。但是，1990年，台湾清华大学进行了调查，发现原本在台湾地区分布广泛的叉尾斗鱼（台湾称为盖斑斗鱼）由于栖息地的丧失、农药和工业污染等原因竟然已濒临灭绝，促使台湾农委会在当年8月31日公告将之列入珍贵稀有保育类野生动物，予以保护，并实施复育计划。近年来，由于注意到野生叉尾斗鱼特别喜欢吃孑孓（据统计，一尾野生叉尾斗鱼一天能吃300多条孑孓），有助于灭蚊，台湾一些机构有系统地组织小学生繁殖、放养、观察这种“环保鱼”。儿时的玩耍因此被赋予了新的意义。

导致台湾地区斗鱼濒危的那些因素在大陆也存在，而且日趋严重。大陆现在也有人开始关注对这种美丽有趣而且有益的小鱼的保护，这是值得鼓励的。

宝贝，宝贵的贝壳

当你亲切地称呼某一个心爱的人“宝贝”的时候，很少有人会意识到，你其实是把她叫做一种贝壳。宝贝的本义是宝贵的贝，是宝螺科（又称宝贝科）贝类的统称。全世界的宝贝大约有 200 种，共同特征是贝壳为卵圆形，极其光滑，背面布满各种斑点和花纹，腹面有一条缝状开口，开口的两侧各有一排齿纹。甲骨文的“贝”字画的就是宝贝腹面，两侧各画两颗牙齿。后来两侧的牙齿连接成了两条线，下面又伸出两根触角，就成了繁体的“贝”字。

为什么把这种贝壳称为宝贝呢？不仅因为它是最漂亮的贝壳，而且因为在远古时期，它是作为货币使用的，是人类最早使用的货币。所以，我们的祖先用“贝”造出了很多与财富有关的字：财、货、贪、贫、贾、资……有的经过简化已看不出和“贝”的关系，例如买、卖。有的在繁体字中也难以觉察与“贝”的关系，在甲骨文中才露出贝的影子，例如：“得”，本字只有右半部分，上面是“贝”下面是“手”，意思是拿到了财富；“贯”，

上下部分都是“贝”，是一根绳子把两个贝穿在了一起，本义指的是穿钱的绳子；“朋”，是两串贝，一串5个，本义是钱的单位（10个贝）。

第 60 节：宝贝，宝贵的贝壳(2)

宝贝成为人类的第一种货币不是偶然的，它天生就是当货币的料：美丽、轻便、耐磨损，多数地方不生产，除了用作装饰没有实际用途；而且很关键的一点是，它无法假冒，不怕会出现假币。后来，人们也用铜铸造宝贝当货币用，但是三岁小孩儿也很容易把它们与真宝贝区分开来。用陶瓷也许可以制造出可以乱真的宝贝，但是制造的成本必然极高，得不偿失。因此，除了中国，在世界其他地方，特别是亚洲、非洲和大洋洲等许多地方，人们也都曾经使用宝贝当货币。虽然宝贝有 200 种之多，全世界的人们却都只选用两种宝贝当货币：黄宝螺（因此也叫货贝）和金环宝螺（也叫环纹货贝）。这是不约而同，还是从共同祖先那里传下来的传统？

中国从西周末年开始，金属贝逐渐取代了天然贝；春秋以后，金属贝又逐渐被其他的货币取代；到秦始皇改革币制时，明文规定禁止用贝做货币。但是在世界其他地方，有的一直到 19 世纪还在用宝贝当货币。大量货贝被从非洲东岸支付给不产宝贝的西非，光是 1867 年一年，从尼日利亚拉多斯港口就运走了 3400 吨的货贝用来购买含油种子。这必然会导致通货膨胀，难怪到 19 世纪末，货贝就迅速贬值，不值钱了。

世界上已知的贝壳至少有好几万种，为何人们独独选了宝贝当货币？除了宝贝有较规则的形状便于辨认、携带之外，一个重要的因素可能是宝贝与其他贝壳相比，更为光滑亮丽，就像珠宝一样显得更为珍贵。贝壳的表面覆盖着珧琅质，使贝壳有了光泽。但是在生活中，珧琅质会磨损，如果长了海藻或藤壶，更会破坏贝壳之美。宝贝在行动时，它的外套膜通常是从壳中伸出来，包住整个贝壳。外套膜分泌珧琅质，生长、修复贝壳，并保护它不受磨损和寄生物的危害，所以宝贝的贝壳会一直那么光滑。

宝贝的外套膜长着很多枝叶，色彩通常非常鲜艳，看上去就像海兔。宝贝外套膜的色彩、图案往往与贝壳差别很大，一旦受到惊吓，就迅速缩回壳内，露出截然不同的贝壳，让捕食者感到困惑。而宝贝长着两排“牙齿”的开口看上去就像一个吓人的大嘴，也许能把捕食者吓跑。

用货贝当货币有一个缺点，那就是只有一种面值，单纯以个数计算，遇上大宗的买卖就很不方便。一种变通办法是用宝贝的大小设定面值的高低。《汉书·食货志》详细记载了宝贝的五种等级和对应的价值，依据就是其大小。最低一级的宝贝不足一寸二分，值钱三文，

这显然指的就是最通行的货贝，平均长度大约 2 厘米。而最高一级的宝贝四寸八分以上，值钱二百一十文，常见宝贝中能大到这种程度的只有一种，那就是虎斑宝贝（也叫黑星宝螺），平均长度大约 8 厘米，能长到 15 厘米。

第 61 节：推测出来的动物(1)

虎斑宝贝不仅是宝贝中最大的，也是最漂亮的。像货贝这样的小宝贝，收藏一段时间后，会逐渐变得黯淡，但虎斑宝贝的珧琅质非常厚，只要保存得当，很多年都能一直光彩照人。虎斑宝贝的图案也非常美丽，贝壳上布满大小不一的黑褐色圆斑，就像披着美洲虎的皮。它的图案千变万化，不会有两个完全相同。图案的变化除了遗传的因素，还深受环境的影响。生活在黑暗地带的虎斑宝贝的底色通常较深，而在明亮地带的虎斑宝贝则底色较浅，甚至白化成了白色，这被认为有较高的收藏价值。

因此，虎斑宝贝成了最受欢迎的宝贝收藏品。中国将它列为国家二级保护动物，是所有宝贝中唯一受保护的，按法律规定应该禁止出售、收购。不过，你不必担心买不到。在国内海滨旅游城市的小摊上，花几块钱就可以买到品相完好的大型虎斑宝贝。它们并非当地出产，而是从国外进口的。虎斑宝贝在国际上并不受保护，产量极高，用集装箱满世界运输，批发价一个只有大约 10 美分。

推测出来的动物

人类经常被称为社会性动物，但是和蜜蜂、蚂蚁、

白蚁之类的社会性昆虫相比，其社会性就不值一提了。社会性昆虫的成员不仅在工作方面有天生的严格分工，而且连生殖也分工了：只有一只“后”负责繁殖后代，其他的雌性昆虫则都丧失了繁殖功能，成为忙碌的“工作者”。这种现象称为“真社会性”。它是怎么进化出来的呢？

这些社会性昆虫有一个与其他昆虫不同的特征，它们并不是只生不养，而是花费了很多时间照料后代。因此，美国密歇根大学的生物学家理查德·亚历山大（Richard D. Alexander）在1974年提出了一个观点，认为时间延长的母爱是进化出真社会性现象的主要因素。很多人不同意这个观点。他们反驳说，如果母爱对真社会性的产生这么重要的话，为什么母爱最强烈的脊椎动物，特别是鸟类和哺乳动物，不存在真社会性？为什么只有昆虫才有真社会性？

亚历山大本来可以回答说，他并没有说母爱是产生真社会性的充分条件，有了母爱就一定会产生真社会性。而且，跟昆虫相比，鸟类、哺乳类的种数要少得多，其进化史也短得多，可能还没机会进化出真社会性来。但是，亚历山大采取了一个非同寻常的举动。他根据自然选择的原理，预测如果存在一种真社会性的脊椎动物

的话，将会有什么样的特征。

亚历山大根据白蚁巢的情形，归纳出一种真社会性脊椎动物的窝必须有什么特征：它必须是非常安全的，否则等于是为天敌提供粮仓；为了适应不断增加的群体数目，它必须是能够扩展的；它的附近必须有充足的食物，这样群体的成员才不至于为了争夺食物而竞争；食物必须是不必冒什么风险就可以轻易得到的，这样群体的成员才不会因为怕担风险而谁也不愿觅食。

第 62 节：推测出来的动物(2)

根据这些真社会性动物窝的必备特征，亚历山大预测，真社会性脊椎动物的窝不可能像蜜蜂、蚂蚁的窝一样建在树上或树中，因为没有哪种树可以大到容纳一个真社会性的脊椎动物群体。这种窝只能全部埋在地下。在所有的脊椎动物中，只有哺乳动物能完全在地下生活（两栖类、爬行类和鸟类都不行），所以这种脊椎动物一定是哺乳动物。在地下生活的哺乳动物以啮齿动物最多，所以真社会性脊椎动物最有可能是啮齿动物。

一般的地下啮齿动物（比如鼯形鼠）以草根为食，亚历山大认为这种食物的量太少，只适合独居动物自己分开去找。真社会性脊椎动物应该以大型的树根或块茎作为食物。

这类脊椎动物的天敌（例如蛇）将能够钻进它们的地下窝中，但是不可能在那里横行，一只或数只英勇的个体会不惜牺牲自己，将入侵者驱逐出去。这会导致真社会性动物中主管繁殖的“后”和“工作者”进化出不同长度的寿命和生殖功能。

那么，这种脊椎动物最可能生活在哪里呢？它们应该生活在有雨季和旱季交替的热带，因为这种地区的植物为了度过旱季，普遍具有大型的根和块茎储存水分和

养分，是这种动物的最佳食物。这种动物的窝应该建造在坚硬的黏土之下，这样才不会有天敌通过挖掘将它们的窝暴露在露天之下，并一举歼灭。这两点表明，非洲的林地和灌木丛将会是它们最佳的生活地点。

在 1975 年到 1976 年间，亚历山大在美国各大学作巡回报告，介绍他对真社会性脊椎动物的预测。当他在北亚利桑那大学作介绍时，听众中有一位哺乳动物学家对他说，他对这种真社会性动物的介绍，像是在描述一种生活在东非的地下啮齿动物裸鼯鼠，并建议亚历山大与研究这种裸鼯鼠的南非开普敦大学生物学家詹尼弗·加维斯（Jennifer Jarvis）联系。加维斯这时正在研究裸鼯鼠的生理和生态，但对它们的社会行为一无所知。她正奇怪为什么抓来的裸鼯鼠在实验室里都不能生育，在收到亚历山大的来信后，她才想到它们可能是真社会性动物。

1977 年，加维斯在野外挖了一窝 40 只裸鼯鼠在实验室中养育。经过三年的观察，证实了裸鼯鼠的确是一种真社会性的脊椎动物。在野外，裸鼯鼠一窝大约有七八十只，多时可达 300 只，但是，只有一只鼠后和一到三只雄鼠能繁殖，其他都是不育的工鼠，而它们的习性与亚历山大的预测完全相符。后来，加维斯及其学生又

发现，还有一种非洲鼯形鼠——纳米比亚的达马拉兰鼯鼠也是真社会性动物。它们的个头较大，成员数量较少（一窝最多40只），但是其习性也符合亚历山大的预测。

第 63 节：冷血的哺乳动物

神创论者往往指责进化论无法预测，只会当马后炮，不是科学。某些物理学背景的人士，也喜欢说进化论不像物理学那样能够作精确的预测，言下之意是说进化论即使是科学，也是属于比较“低等”的。生物现象要比物理现象复杂得多，预测起来也困难得多。但是，进化论史上有过许多精彩的预测。亚历山大对真社会性脊椎动物的预测，就是很好的例子。

冷血的哺乳动物

生活在东非地下的裸鼯鼠，早在 1842 年就已被科学界发现并命名了。但是直到上世纪 80 年代，它被发现是一种奇特的真社会性哺乳动物之后（参见《推测出来的动物》），成为动物界中的明星，近年来还在迪斯尼的动漫《麻辣女孩》（Kim Possible）中出演重要角色。后来，人们发现在非洲鼯形鼠中还有一种达马拉兰鼯鼠也是真社会性的，夺去了裸鼯鼠的部分光彩。不过，裸鼯鼠仍有一项特征足以让它去角逐最奇异的哺乳动物的头衔：它是变温的冷血动物。

我们在上小学时就已经知道，哺乳动物和鸟类是恒温动物，能够让体温保持恒定，不随外界温度的变化而变化。但是裸鼯鼠虽然是哺乳动物，却基本丧失了这一

功能。它们和冷血动物一样，主要通过与环境的热交换来调节体温：要升温，就跑到上层的洞穴，紧贴被太阳晒热的墙壁；要降温，就躲到寒冷的底层洞穴。它们有时也通过大家扎堆挤在一起取暖。它们的皮肤为此变得裸露无毛，因为皮毛不仅不能起到调节体温的作用，反而会妨碍热交换。

裸鼯鼠为什么变成变温动物了呢？保持恒定体温的优势在于其生理活动基本不受外界温度变化的影响，在夜间和比较恶劣的天气都能出来活动，有更多的时间用于觅食和寻偶。不过，裸鼯鼠生活在地下，和天气多变的地面相比，地下冬暖夏凉，温度变化不大，保持恒定体温就不那么重要了。但是，同样在地下生活的其他十几种非洲鼯形鼠都是恒温的，与裸鼯鼠的习性最接近的达马拉兰鼯鼠也是恒温的。究竟还有什么因素使得裸鼯鼠比其他鼯形鼠更需要放弃恒温功能呢？

在所有非洲鼯形鼠中，裸鼯鼠是体形最小的。我前面介绍过，由于体积小的物体的表面积相对比较大，使得小动物的身体比大动物更容易丧失热量，要保持恒定的体温也就更加困难（参见《不可能的小人国》）。裸鼯鼠的身体体积（也即产热总量）大约是达马拉兰鼯鼠的20%，但是身体表面积大约是达马拉兰鼯鼠的40%，这

样，散热速度就是达马拉兰鼯鼠的两倍。裸鼯鼠如果要像达马拉兰鼯鼠那样维持恒定的体温，就必须以两倍的速度加速产生体热的代谢过程，以增加体热的生产，弥补体热的散失。这就需要它大量摄入食物和氧气。但是，裸鼯鼠的食物主要是低能量的块茎，而地下氧气又非常稀薄，为此它要付出的代价太高昂了，所以还不如干脆放弃维持恒定体温，尽量降低基础代谢率，节省能量。裸鼯鼠的基础代谢率是所有哺乳动物中最低的，与爬行动物相当。

第 64 节：为什么裸鼹鼠不怕痛(1)

那么，裸鼹鼠为什么要有这么小的身体呢？在非洲鼹形鼠中，裸鼹鼠所生活的地区是最热最干旱的，年降雨量平均只有 200~400 毫米，一年就集中下几天雨。鼹形鼠的主要食物——块茎——储存着大量的水分和养分，同样由于体积和表面积的比例关系，块茎越大，就越不容易失水干燥，因此干旱地区的植物倾向于制造少量但是大型的块茎，而不是众多的小块茎。越是干旱的地区，块茎会越大，但是数量也越稀少。有的块茎的重量是裸鼹鼠体重的上千倍，碰巧挖到一个的话，一窝裸鼹鼠一年的口粮就全有了。

但是在地下乱挖地道，刚好碰上块茎的概率极低，而且只有下雨的那几天，土壤比较潮湿时才适宜挖地道。即便如此，挖地道也要耗去大量能量，是静止时的 3~5 倍。鼹形鼠很可能挖了几天地道，直到精疲力竭还一无所获。在如此严酷的条件下，独居的鼹形鼠存活的机会极为渺茫，要提高生存机会，必须组织起来，分头去找食物，有谁碰巧找到了就一起分享。独居的鼹形鼠只生活在比较湿润的地区，而干旱地区的鼹形鼠都是社会性的，这并非偶然。

一群裸鼹鼠分头去找稀少的食物，当然是成员数量

越多，找到食物的机会越大。但是成员数量多了，也意味着吃饭的嘴多了，找到的食物又会不够分了。既要增加个体数量，又不增加对食物的总需求量，那就要把每一个成员的饭量减小，也就是说，让它们的身体变小。

所以，进化的结果就是，社会成员的数量增加了，但是体形变小了。一窝裸鼯鼠平均有七八十只，多时可达 300 只，但是每只工鼠的体重只有大约 30 克。达马拉兰鼯鼠的体重是裸鼯鼠的 5 倍，但是一窝成员的数量就少多了，平均有十几只，最多也就 40 只。达马拉兰鼯鼠的社会习性也不如裸鼯鼠复杂、精细，寻找食物的效率可能也不如裸鼯鼠。毕竟，100 只小老鼠分散开去，找到食物的概率要比 10 只大老鼠大多了。在进化史上，达马拉兰鼯鼠出现的时间比裸鼯鼠晚。也许达马拉兰鼯鼠正往裸鼯鼠走过的路上走，成员数量会变得更多，但是体形也会变得更小，最终小到无法维持恒定体温，并脱掉皮毛，成为另一种裸鼯鼠。

为什么裸鼯鼠不怕痛

裸鼯鼠其实并不是全裸的，在它们的身体两侧，从头到尾长着大约 40 根像猫的胡须一样的长毛。这些长毛并不是皮毛的残余，而是对触觉极其敏感的触须，触动其中任何一根触须，都能让裸鼯鼠把头伸向刺激点。

裸鼯鼠终生生活在黑暗的地下，眼睛派不上用场，就是靠这些触须来辨认方向的：前进时，裸鼯鼠摆动头部，后退时，则摆动尾巴，都是为了让触须触摸到隧道壁，就像我们在黑暗的地道中用手扶着墙壁走一样。它们的眼睛高度退化，几乎完全丧失了视觉，大脑皮层中负责视觉的区域也大大减小，被改为用于感受触觉了。

第 65 节：为什么裸鼯鼠不怕痛(2)

几年前，这个现象引起了伊利诺伊大学芝加哥分校的汤姆斯·帕克（Thomas J. Park）等人的兴趣。他们想：既然裸鼯鼠的触觉如此敏感，它们的皮肤中会不会含有什么特殊成分？实验的结果出乎意料，在裸鼯鼠的皮肤中没有发现多了什么成分，反而发现少了一种基本的化学物质——P 物质。

P 物质是什么物质呢？它也是意外发现的产物。1931 年，英国生理学家戴尔（Henry Dale, 1875~1968）在研究神经递质的作用（他因此在 1936 年获得诺贝尔奖）。当时已知的神经递质是乙酰胆碱。戴尔让其研究生冯·欧拉（Ulf von Euler, 1905~1983）做一个实验，证明小肠释放的乙酰胆碱能刺激小肠的收缩。冯·欧拉发现，从兔子的小肠提取出来的溶液的确能引起小肠收缩。为了证明收缩是由乙酰胆碱引起的，冯·欧拉又加入药物阿托品。阿托品能阻断乙酰胆碱的作用，如果收缩是乙酰胆碱引起的，就会被阿托品抑制住。然而小肠还在收缩，这就说明在小肠提取液中另外一种能刺激小肠收缩的物质。冯·欧拉和实验室的另一名研究人员随后发现，这种活性物质在脑组织里最多。他们把它从编号“P”的制剂中提取了出来，又不知道那究竟是

什么东西，就把它叫做 P 物质。这个临时乱叫的名称后来就沿用了下来。

P 物质作为一种神经递质，有多项功能，最主要的一项功能是把疼痛信号从周围神经传导到中枢神经，从而在大脑皮层中产生痛觉。既然裸鼯鼠体内没有 P 物质，是不是就意味着它们对疼痛没感觉了呢？如果我们用手去触摸一个温度在 45 摄氏度以上的炽热灯泡，就会感到烧痛而立即缩手。在手上涂一些辣椒素再去摸热灯泡的话，反应会更厉害。但是裸鼯鼠的脚掌对热灯泡无动于衷，涂上辣椒素也不起作用。

为了证明裸鼯鼠对疼痛的麻木是由于缺乏 P 物质导致的，帕克等人往裸鼯鼠的脚掌中注射进疱疹病毒。这些疱疹病毒经过了改造，加了能制造 P 物质的基因。疱疹病毒沿着脚掌里的神经末梢迁移，几天后跑到了脊髓附近的神经细胞中，躲在那里制造 P 物质。不出所料，这些接受了“基因疗法”的裸鼯鼠有了正常的痛觉，它们的脚掌一碰到热灯泡，立即就缩了回去。

痛觉虽然很讨厌，对动物的生存却是至关重要的。例如，如果我们对热产生的痛失去了知觉，碰到炽热的物体不知道缩手，皮肤就会被烫伤。那么，是什么原因让裸鼯鼠丧失了 P 物质，变得不怕痛了呢？

不怕痛有时也有好处，比如，在战斗中受伤不觉得痛的话，就不会退缩。裸鼯鼠在面对天敌入侵时的确非常勇敢，甚至为了保护集体而不惜牺牲自己，是否这就与它们不怕痛有关？不过，这种情形毕竟不是经常发生，裸鼯鼠值得为此而牺牲痛觉的种种益处吗？

第 66 节：比目鱼的眼睛(1)

裸鼯鼠也有可能不是为了不怕痛而失去痛觉的，不怕痛可能只是一个副作用。P 物质还有其他功能，其中一个功能是让血管舒张。在特殊的生活环境中，这一功能可能会危及裸鼯鼠的生存。裸鼯鼠动则几十只、上百只挤在一块儿，又是在地下，呼出的二氧化碳难以扩散，这样，环境中二氧化碳的浓度很高。在其他哺乳动物中，高浓度的二氧化碳会导致 P 物质被释放到肺血管中，使肺血管舒张，发展下去就会导致肺水肿、死亡。也许，正是为了能在高浓度二氧化碳的环境中安然生活，裸鼯鼠才丧失了 P 物质？帕克等人做的实验表明，裸鼯鼠由于没有 P 物质，对二氧化碳有极强的忍受能力。在二氧化碳浓度达到 15% 时，小白鼠就出现了严重的肺水肿；但是二氧化碳浓度增加到 50%，裸鼯鼠仍没有出现肺水肿的迹象。

为了研究某种蛋白质的功能，有时需要用到“基因剔除技术”，把制造该蛋白质的基因剔除掉，看看动物体内少了这种蛋白质后，会出现什么变化。这项技术的发明者 2007 年获得了诺贝尔奖。不过，不用我们人类费心，裸鼯鼠自己就剔除了 P 物质，它天生就是研究 P 物质功能的很好材料，可以用它来阐明疼痛机理，发现

镇痛方法。基础研究看似无用，但在研究过程中经常会有有用的意外发现。人们对裸鼯鼠的研究，本来只是出于对一种有着奇异习性的有趣动物的好奇，谁能想到这竟能衍生出有望造福人类的实用价值？

比目鱼的眼睛

达尔文 1859 年出版的《物种起源》一书，被他称为“一个长篇论证”，想要论证两个大问题：第一，生物是进化而来的。这一点证据非常充足，他完成得很成功，到 1872 年《物种起源》出最后一版时，达尔文已可以宣布几乎所有的生物学家都接受了进化论。第二，生物是在自然选择的作用下，通过累积微小的优势变异，逐渐进化来的。这在当时基本上只是一个天才的推理，既找不到一个合理的遗传理论来解释，也没有直接的证据，难怪在相当长一段时间内，大多数生物学家都不接受自然选择学说。

英国著名动物学家米瓦特（St.George Jackson Mivart, 1827~1900）起初是自然选择学说的大力支持者，随后却变成了激烈反对者。1871 年，米瓦特出版《物种发生》，列举许多例子试图说明自然选择无法用以解释生物结构的由来，其中一个后来经常被提及的著名例子，是比目鱼的进化。

比目鱼在英文里被叫做“扁平鱼”(flatfish)，这指的是它的身体形状。不过，正如中文名称所表明的，比目鱼最奇特的特征是它的眼睛。长着两只眼睛的动物一般都是左右对称各一只，比目鱼的眼睛却是挤在身体一侧。由于长着一个不对称的扁平身体，侧鳍很小又没有鱼鳔，使得比目鱼难以游动，而习惯于潜伏在海底。对比目鱼来说，两只眼睛都长在一起向上看，在水底可以很方便地监视上方的动静。如果有一只眼睛长在下边，不仅派不上用场，还容易被水底的沙石伤到。

第 67 节：比目鱼的眼睛(2)

如果比目鱼是从两侧对称的鱼在自然选择作用下逐渐进化来的，那么一开始时，有一侧的眼睛只是向头顶移动了一点儿，变得不那么对称。但是，这种斜眼鱼能有什么生存优势呢？在现存的鱼中，没有一种是长着斜眼的，化石中也找不到这样的过渡型。最接近过渡型的是现存的一种比目鱼——大口鲾（俗称左口），它的一只眼睛接近头顶，似乎刚刚从另一侧迁移过来，但是两只眼睛也都在同一侧。

因此，米瓦特认为比目鱼的眼睛形态不是自然选择逐渐形成的，而是在动物“内在动力”的驱使下跃变而来，一蹴而就的。在最后一版《物种起源》中，达尔文专门用一章来反驳“对自然选择学说的种种反对意见”，主要就是在反驳米瓦特的《物种发生》举的例子，特别是比目鱼的例子。

达尔文注意到，比目鱼刚出生的时候眼睛其实也是对称的，但是长着长着，随着身体越来越扁平，底侧的眼睛就逐渐移到朝上的一侧去了。而有某些两眼对称的鱼，偶尔会在水底侧卧，这时它会让下面的眼睛尽量往上看，使头部出现变形。达尔文的意思是，即使比目鱼的祖先的眼睛有一只长在底侧，也能通过肌肉运动把它

移到顶侧去，而由于用进废退，其后代的底侧眼睛就会逐渐变得越来越靠近顶部，并被自然选择保留下来。我们没能找到这些过渡型化石，是因为化石记录很不完全。

达尔文在此试图用“用进废退”来弥补自然选择的不足，把拉马克主义和达尔文主义结合起来。但是进入20世纪后，随着遗传学的建立，生物学家不再相信后天获得的性状能够遗传，即使比目鱼的祖先拼命地把下面的眼睛往上拉，也不能让它的后代的眼睛就会变得更靠上。这样，达尔文的解释就存在着先天不足。一些遗传学家又回过头来相信跃变论，只不过用基因学说进行了改造。这一学派的代表人物是德裔美国遗传学家高兹史密特（Richard Goldschmidt, 1878~1958）。1933年，他在美国《科学》发表的一篇著名论文中提出基因大突变论，也举比目鱼的眼睛为例，认为只要通过一个基因突变，就能让比目鱼祖先的眼睛从对称一下子长到一边去，无需过渡形态。

但是，高兹史密特的观点并没能被普遍接受，因为遗传学的研究表明，对生物形态有重大影响的大突变的结果几乎总是产生无法存活的怪物。比目鱼的进化还是必须通过小突变的累积，但是又找不到过渡型作为证

明。神创论者幸灾乐祸，经常举比目鱼为例来“驳斥”进化论。

神创论者笑得太早了。比目鱼过渡型化石最近被找到了，而且是两种。这些化石其实早被发现了，有的在博物馆的仓库里躺了两百多年。芝加哥大学博士生马特·弗里德曼（Matt Friedman）用计算机断层成像术对这些积满灰尘的化石进行研究，认定它们正是预料中的比目鱼过渡型化石：它们的眼睛虽然是一边一只，但是有一侧的眼睛位置偏上，靠近头顶。把这些生活在始新世（距今约 4500 万年前）的比目鱼祖先化石与大口鲾和其他现存比目鱼依次放在一起，可以清楚地显示出比目鱼的眼睛是如何一步步迁移的。斜眼能有什么优势呢？可能有别的优势，例如两只眼可以有不同的作用，一只用来监视天敌，一只用来寻找猎物。

这场持续了 100 多年的关于比目鱼眼睛进化的争论到此接近尾声了。至于神创论者，他们的思想已经僵化，我们不必指望他们会从此洗心革面，只希望他们以后能诚实一点儿，不要再嚷嚷“找不到比目鱼过渡型化石”。