

第五章 它们在实验室中——战绩斐然

动物们在自然界中尽情展示了它们的聪明智慧。现在我们要看看它们在实验室中是否同样出色？这里，我们选用几种实验动物明星作为代表，考察一下它们在实验室中是怎样的表现，同时，也将它们从事的任务介绍给大家。

1. 小鼠的漫游

我喜欢小白鼠，看见它们机灵、乖巧的模样，就觉得可爱。那红红的小眼睛总是泛着天真的柔光。我曾经统领过近万只小白鼠，可谓小白鼠大军，知其者莫如我也。令人欣慰的是，它们无一不聪明、伶俐。在各种学习记忆任务中，它们总能给我一张张人见人爱的成绩单。

避暗法

小鼠避暗法的工作室是两间小屋，底部都铺着金属栅栏。外间小屋有灯光照射，里间则是黑暗的，两屋之间有一道小门相通。训练的时候，我们把小鼠放在外间。第一次，小鼠会因为“见光怕”的习性，不出十几秒，就钻进黑暗的里间，躲起来。这时，两屋之间的门就自动关闭。还没等小鼠明白是怎么回事，那间神秘的黑屋子——也称暗室，底部的栅栏突然通电，电流很微弱，让小鼠觉得脚底有点刺痛。雌性小鼠小姐大声“吱吱”尖叫并蹦跳不已，雄性小鼠绅士则闷不吭声地蹦跶几下，强忍疼痛——男儿有泪不轻弹，面子比啥都重要。很短的3秒钟之后，我们把小鼠从暗室里拿出来，放回它住的笼内。再接着训练下一只。

大多数小鼠训练完毕，往往有点惊慌，个个如同刚到鬼门关闯了一趟似的，暗室的门才打开，它们就急不可耐地蹿出暗室。虽然，情形的确有点残酷，但电击并不会对小鼠造成什么伤害，顶多留下一点“不良记忆”。

第二天，我们再把小鼠放入外间明室，这时，记忆力好的小鼠会记住昨天在暗室里的不愉快体验，它会很犹豫。一方面，它想钻进暗室，因为天然的习性使它们觉得黑暗的地方似乎更安全。但当它探头进暗室时，昨天在鬼门关惊慌徘徊的经历令它颤栗。于是有些小鼠就耐着性子在明亮的外间踟蹰。而这次时间可是长得多，需要考验整整5分钟。更有聪明的小鼠连头都不探入暗室，一直远远地躲在离门最远的角落，匍匐不动，头都不回一下。直到考验结束。当

然，有些天不怕、地不怕的小鼠依然执着地一头钻入暗室，全然忘了昨天的惨痛经历——这些小鼠就是不会吃一堑，长一智的笨小鼠。

正常情况下，小鼠的记忆非常出色。虽然第二天的抉择对于它们来说还是很痛苦的，但大多数小鼠都能克制自己的本能和天性，暂时在它们不喜欢的环境里委屈一下。看得出来，那是违背它们本性的，但是一旦它们回忆起昨天的脚部疼痛，那种厌恶的情绪就使它们不愿再接近暗室。也许它们“预见”到如果再进入暗室，将遭受与昨天一样的痛苦经历，所以在一番权衡之后，它们选择了放弃暗室。在生物学上，我们称之为回避反应。

虽然，这是一种条件反射，但我们在小鼠的犹豫中，看到了它们在做自我斗争，在矛盾、选择、决定着。如果我们事先给它们注射某些损伤记忆的药物，它们将遗忘电击的痛苦，而迅速再次钻入暗室。这时我们得到的结论是它们的记忆力很糟，但同时我们也看到它们的行为很鲁莽，缺乏应有的“三思而行”——在这个过程中，我们能否这样理解，它们或许是有思维的，有意识的？

跳台法

与避暗法类似，在这个任务中，也是要求小鼠“学会”逃避危险，而这种逃避也违背了它的天性。跳台法的工作间是一个塑料盒，盒内一角离底面几公分处有一悬空的小平台。训练最初将小鼠放在平台上，它觉得难受，就“噌”地跳下来——这很符合正常情况下的鼠。小鼠因为“老鼠过街，人人喊打”的阴影，自幼最害怕暴露在光天化日之下，只恨不能隐形。所以，一有机会，它们就往黑暗低处跑。不料当它四只脚刚着箱底，即遭遇电击。顿时脚底像是被小虫咬住。有点疼哟！它央求着寻找安全的地方。俗话说“狗急跳墙”，此时，鼠急跳台。箱内除了那块平台，别无它物，慌乱之中，它纵身跳上平台，咦，脚底的疼痛消失了！好像发现了新大陆，它喘吁着趴在平台上，一动也不敢动。可是没过多久，它又按捺不住自己：这平台实在太小太突兀，呆在上面既不舒服也很暴露，很不符合自己一贯低调的作风。平坦宽广的箱底多舒服啊，没准躲到角落里还是会很安全呢……它开始想入非非。于是，以标准跳水姿势，奋不顾身跳了下去。可是，还没等它好好品味成就，脚底的疼痛又重新袭来，经过一番无谓的东躲西藏，最后小鼠只好又跳回平台。但呆了一会儿，它又蠢蠢欲动，跳将下来，接着又被逼回平台……就这样反复折腾，几次之后，小鼠终于懵懵懂懂明白在这个工作间内，最危险的地方才是最安全的。虽然不情愿，但它一直委曲求全，呆在高高危踞的一隅平台上，再也不跳下去。结果小鼠成功通过考核，被获准归乡——回到自己温暖的小笼。

可是，这一教训在它的头脑里能保持多久呢？当第二天小鼠再次被放上平台时，可怜的小鼠胡须乱颤，没了主意。意志坚强的就死死呆在狭小的平台上，愣是坚持 5 分钟。意志薄弱的，没过多长时间，就又稀里糊涂跳下去，以身相试，结果可想而知。但读者请放心，意志薄弱的小鼠毕竟是少数，大多数小鼠记忆力非凡，所以免遭电击之苦。

左转还是右转

相信大家都看过几米的《向左走，向右走》，对于小白鼠来说，如何决策左转还是右走呢？

我们选择的实验方法是“T 型迷宫法”。在这个模型中，三个塑料板组成的通道，构成一个“T”字形。3 个臂的交会处有一连接的区域，称中央区。

训练时，将小鼠放在起始臂的臂端，小鼠天生好奇，它很快就开始向前探究。当它来到中央区时，面对它的将是两个在外形上看起来都一样的通道，但是右侧臂内有一个大红的圆形，左侧臂内贴了一个白的三角形。

小白鼠其实是个色盲，它们无法分辨色彩，但是对黑白灰三色深浅变化的洞悉，也使它们拥有一个层次分明的世界。

T 型迷宫两个臂的臂端各有一个食盘，其中只有一个食盘内有小鼠爱吃的花生。另一个食盘是空的，只当摆设。惟有跑到食盘跟前，才知道里面是否有花生。

开始，馋嘴的小白鼠不知道哪个食盘内有花生，只见两个食盘乐呵呵地分别在召唤它。它冲其中一个奔跑过去，运气好的时候，第一次就选对了有食物的食盘，能够吃上美味的花生。运气不好的时候，就只能退回到中央区。不过这时，机灵的小鼠在下一次选择时，就会换一个通道，结果不出几次，它就能清楚地记得哪个臂内的食盘有食物了。

时间长了，小鼠连想都不用想，再也不看通道内的圆形或三角形。冲到中央区的时候，只用老练地向右或向左拐，就直奔花生而去。

这时，小鼠便从原先根据周围环境来确定方向，变成了习惯性左拐右拐了。

开始的学习是位置学习（Place learning），待小鼠训练次数超过 90 次后，学习就变成了反应能力的学习（Response learning）——这时，小鼠一跑到岔路口，就习惯性地向左转或向右转，不需要再看迷宫周围是否有路标。此过程不再经海马来指挥，而是由脑内另一个结构——纹状体来实现。

我们都有这样的经历，初来乍到一个新的城市，面对每一个转弯，或许都需要看路标或街边房子的颜色来仔细辨认方向。时间长了，待我们记得路了，再到这样的岔路口时，头也不用

抬，就自动向左或向右转了。

我们弹钢琴，骑自行车，一开始时学习很艰难，熟练后便形成简单的习惯性动作。一旦练习到一定次数，记忆就不再被察觉，下手成曲，骑车如飞，一切变成了下意识的习惯性动作。这时的记忆称为技巧性记忆，或程序性记忆。

电脑打字也一样，开始时记不住字母在键盘上的排列顺序，每次输入字母时，要在脑子里转一圈，在键盘上来回搜索，才能打出来。但是当我们经常打字，很熟练之后，手指便仿佛被施了魔法，自动将字母准确打出来。这时，手指的动作好像脱离了大脑。字母似乎无需过脑，直接便由手指敲出来，打字的速度变得飞快。

随着经验的增加，学习的类型发生了转化。原先承担责任的脑区退休，新的脑区开始“上班”。此外，大脑内的某些物质变得吝啬起来，另一些却源源不断涌出。大脑和整个生物体就是这样精密地运转着，各个系统之间密切配合，差了秋毫，便有可能产生疾病。

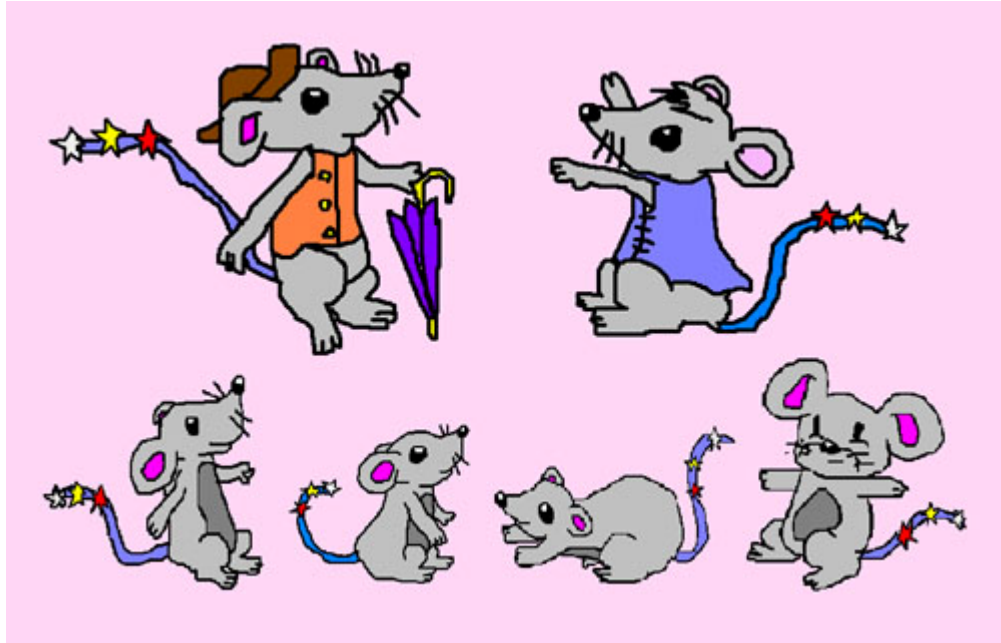
北京大学李量教授实验室中还有一种会自动旋转的 T 型迷宫，除了可以供大小鼠正常的迷宫学习，还可以测试“反转学习”——也就是忘却过去，学习新规则。在黑暗的 T 型迷宫内，一个臂内有微弱亮光，另两个臂完全没有光明。大鼠先被放入一个黑暗的臂内，之后，各个臂的门悄然打开，大鼠跑到迷宫中央区。继而，一半大鼠跑到黑暗臂便有可口的食物粒伺候，另一半大鼠只有跑到光明之臂才有零食。如此训练多次，大鼠学会了到哪里去“寻宝”。然后，再给它们做反转实验，也即是将食物从原先的臂里拿出，放到另一个臂内，这样，原先没有食物的臂就摇身变成富足的地方。可怜的大鼠一开始糊里糊涂，总是固执地认为原先有食物的地方理所当然应该有食物，因为一贯如此嘛！它们跑了一次又一次，却总是白费功夫，与食物无缘，吃亏的原因在于太认死理。而头脑灵活的大鼠迅速调整心态，改变寻宝策略，努力抑制自己习惯性的冲动，丢开不久前曾写下辉煌战绩的那只臂，而将从前没有食物的那个臂当作进攻目标，于是，很快，它们就辞旧迎新，频频吃到小零食。在这个实验中，涉及到哪些心理过程呢？另外，为什么要将动物分成两批，一批在有光亮的臂内寻宝，另一批却只在黑暗的臂内才有食物奖励？

答案

反转实验中首先要求动物抑制从前获得的经验，也就是遗忘过去；其次要求动物迎头学习新的规则，不受过去羁绊。所以，要求动物改变固有观念，随机应变。

之所以将动物随机分成两批，是生物学设计最常见的匹配平衡原则，这样可以校正动物天

生对黑暗之地的喜好，或对微弱光源的好奇之心。从而使反转实验基于同一水平的起点上。



小老鼠的缤纷世界 （周穆如 10 岁画）

忙碌的穿梭

穿梭箱是小鼠学习记忆的另一个工作间，与避暗法类似，但没有固定的明室和暗室之分，且连接两室的门不关闭。任务也较避暗法复杂：无论小鼠在哪个室，当它一看见该室的信号灯亮了，就必须开始行动——跑到对面的屋子去。否则，如果它对信号灯视而不见，数秒钟后，将有电击“咬噬”它的四脚。这对它来说，无疑是一个考验。

一开始，小白鼠总是二丈摸不清头脑，不是在原地遭受电击之苦；就是由于电击惊慌失措，东躲西藏，不知所措，一会儿跑到对面安全室，一会儿又跑回电击室，形如热锅上的蚂蚁……就这样，总是闹不少笑话。不过，每天坚持训练几次，五、六天后，它们就渐渐掌握了规律，似懂非懂地明白了什么。突然有一天，只要把它放进工作间，它立马竖起耳朵，瞪大眼睛，进入戒备状态。如同弓上的箭，随时待发。信号灯才一亮，它就像子弹一般迅速冲向对面安全室，在电击来临之前逃之夭夭。到这时，它终于大彻大悟了。

游泳比赛

别看小白鼠总是在地上跑来跑去，其实游泳也很在行——全得益于它的多才多艺。

游泳比赛是小鼠学习记忆测试中一项很有趣的任务。常用的水迷宫是由简单的挡板组成，另一种是没有挡板的 Morris 水迷宫。

前一种水迷宫是一个长方形水池，内有很多竖起的挡板，将水池分成很多水通道。只有一条正确的水路通向岸边，其它通道均是死胡同。小鼠开始在岸边熟悉 3 次，然后从离岸不同距离的起始点出发。小鼠要穿过迷路，避开死胡同，游经正确的通路，才能到达岸边。上岸越快者，成绩越佳。与其它学习任务相似，经过几天的训练，即便是从离岸较远的地方出发，小鼠也能在数秒内迅速找到岸。它们虽然会游泳，但是并不喜欢水世界，所以极力凭借本能寻找陆地，驱于此，它们牢记各个死胡同的特征，做到不再误入歧途，而是准确无误地找到捷径，爬上岸。

在这个过程中，动物因为害怕溺水而进行“尝试—错误—再尝试……”的学习。很快，动物总结了经验，不再盲目钻进毫无出路的死胡同，它们在经验的总结中看到了对未来的选择。慢慢地，它们了解自己该如何游，才能最快逃避危险。这是集本能和学习为一体的过程，但在其中，我们能否看到意识的存在呢？如果小鼠没有意识到水的危险，没有意识到盲端对逃生无任何作用……它们怎能飞快学会寻找捷径呢？这就如同一个人头脑里很清楚自己应该做什么一样，是带着想法和意识去做的。

后一种水迷宫是由美国科学家 Morris 在上个世纪八十年代发现，并由他的名字命名。到现在，全世界几乎每个研究学习记忆的实验室都有一个 Morris 迷宫（如图）。大小鼠天生会游泳，我们把它放到水中，它们就会不停地游。以大鼠为例，我们在一个直径 1.5—2 米的大盆内注上温水——这就建立了一个 Morris 水迷宫。水温不要太高或太低，20 度多一点最好。水温太高，动物会舒服地泡在热水中，懒得活动；反之，水温太低，动物因为太冷了，只会缩做一团，牙齿打颤，更不愿游动，而且还会感冒。

（图待附）

事先在迷宫水面下放置一个小平台，大鼠在游泳过程中一旦脚碰到平台，就会踩上去。训练刚开始时，大鼠大多沿着水盆的边缘一圈一圈绕游，随后便盲目向中央游去。一个平台隐藏在东、南、西或北水面下，只要大鼠来来回回搜索，它便会在无意之中碰到平台。而一旦踩上平台，聪明的大鼠就再也不下来了。每天我们把大鼠放进迷宫训练几次，训练几天后，它根据迷宫周围的环境线索，就记住了平台的位置，只要一入水，它便如饥似渴奔向平台。甚至当平台撤除后，它依然徘徊在平台附近，久久不肯离去，仿佛那里才是它的归宿。这就表明大鼠记忆很好，但要注意的是，这种记忆属于空间记忆，因为大鼠是根据迷宫周围的环境来确定平台

位置的。

如果我们把平台放得高一点，露出水面，再在平台的位置处插一面小旗子，这样大鼠一进水迷宫就能看见平台，然后向它游去。这种学习记忆不再依靠迷宫外界的环境和标志来定位，大鼠不需要太费脑筋来记忆，只要直接看着旗子或平台游过去就行，连探索的过程也省了。所以称为非空间记忆。

原生态Y型迷宫

当然，小动物们决不会心甘情愿参加各种测试的，以上学习记忆实验，都必须设立奖励或惩罚。好像学校里学生考试，考好了有嘉奖，考砸了便责备。在压力之下才有动力，所以，这些小动物的学习是在一定的压力之下进行的。

于是，我们要问，面对奖励的欢喜或惩罚的惊慌，动物的情绪波动会不会影响它们的学习成绩？

因而，最理想的方法是不要给动物任何惩罚，这样可以避免动物因害怕、饥饿等可能导致的烦躁心情。

一个简单的 Y 迷宫，我们就可以做到。这次是依靠小鼠对新环境天生的兴趣、好奇而设计。可谓专门为它们的娱乐活动而订制。

Y 迷宫有三个间隔均匀的臂，我们把其中一个臂的门关起来。让小鼠在另外两个臂内呆上一段时间，它们往往在没关门的两个臂内跑来跑去。就像小孩子进了游乐场一样快乐。

10 分钟后，我们把它们从游乐场取出，让它们在笼内休息 1 小时或 4 小时。之后再检测它们还记不记得刚才去过哪些地方。

这次与 10 分钟前的训练不同，原先关了的门被打开，迷宫的 3 个臂全面敞开。小鼠对新异环境天生充满探究、好奇，它很快察觉有一个地方刚才没有去过，便马上钻进去，呆在里面左看看，右瞅瞅。随后，它又退出来，四处走走，结果发现另外 2 个臂和先前去的时候没有什么两样。于是它又转到这个陌生的通道，仔细察看，因而在这个臂内探究的时间就很长。

倘若小鼠记忆力不好，它在游乐场内稀里糊涂，根本分不清哪些地方去过，哪些地方没去过。它不会对陌生臂显示出特殊的喜好。

小鼠一般在 1 小时后记忆力仍然完好，但是 4 小时后，就开始犯糊涂了。间隔时间越长，小鼠便像失忆病人一样，彻底忘记去过哪儿，没去过哪儿了。

问题

由于大、小白鼠的嗅觉非常灵敏，它们有可能依靠迷宫中前面训练过的动物遗留下来的尿液，来“指导”自己的行为，这样就不能确定动物到底是用眼睛，还是用鼻子，记住了一系列的线索——这也是水迷宫为什么受欢迎的原因。因为在水环境中，任何嗅觉线索都会被掩盖掉。那么，对于没有水的迷宫呢？要如何做才能排除气味的干扰？

答案

一个非常简单的办法是：在迷宫底部铺上干净的锯末，每只小鼠测完之后，就把迷宫各个臂内的锯末充分混匀。此外，还可以在每次测试结束后，用酒精棉球给迷宫来一个大消毒。

还有一个更好的办法是，使用可以更换臂的迷宫。每次训练完毕，就将各个臂更换一次，但一定要保证各臂的方向、角度、内部图案一成不变。这样，即便迷宫的臂调换了，但空间位置和内部环境没有变化，就可以彻底排除气味的干扰。

身体锻炼有利于记忆

当给大鼠进行体能锻炼，在健身器材——跑步机上，每天跑1个小时或半个小时，这样的大鼠做学习记忆的任务就会很轻松，不仅速度快，成绩也好。而且它们的肌肉也会变得更发达、更强健。这是我在曼谷市朱拉隆功大学（Chulalongkorn University，泰国最古老的大学）药理学院看到的实验。

学生把不爱动的大鼠放到跑步机上，大鼠不得已随着跑步机上滚动的履带向前跑去，如果它稍微懒惰一下，便会被履带倒推到跑步机末端，十分不舒服。于是，它们只有奋发疾跑，对跑步机宣战。渐渐地它们喜欢上了跑步机，因为这样的运动使它们吃得更香，睡得更好，而且还变得更聪明。

根据每只大鼠的灵活度，我们可以将履带滚动的速度调快或调慢，以控制每只大鼠的运动量。

经过锻炼后的大鼠在水迷宫中的成绩远远好于不爱运动的大鼠。

体能锻炼可以刺激动物脑内更多的神经元新生，如果海马内的神经元源源不断地新生，将有助于动物更快更好地学习新事物。所以，经常锻炼身体，不仅对健康有好处，还能提高智商，同时也磨砺了毅力，可谓一箭三雕。

与之类似，让小鼠处于适度的饥饿状态，对学习记忆也有裨益。当小鼠摄取比平时卡路里

少 10% 的饮食时，它们脑内海马的新生细胞数目增多，因而变得更聪明，更长寿。

相反，终日饱食无忧的小鼠容易肥胖、倦怠、不思进取，沦为油光满面的落魄少爷，长久以往，各方面均落后于总是吃不饱饭的贫困小鼠。不仅学习能力差，寿命也不如饥饿鼠长。

所以，适度的节食可以保护神经元不易受损，健全神经系统。这也是我们常说的教育孩子要使其“食至七分饱，衣留三分寒”的动物学依据。

小贴士

工作记忆

每个人的脑袋里总是住着一个矮人，帮你记录下所有重要的事情。有些事要记成一本书，比如汉字、英语、数学定律……有些事情只需要记录成便笺，比如一个临时的电话号码，用过之后，便笺就被撕去，这个号码也消失在脑海里……

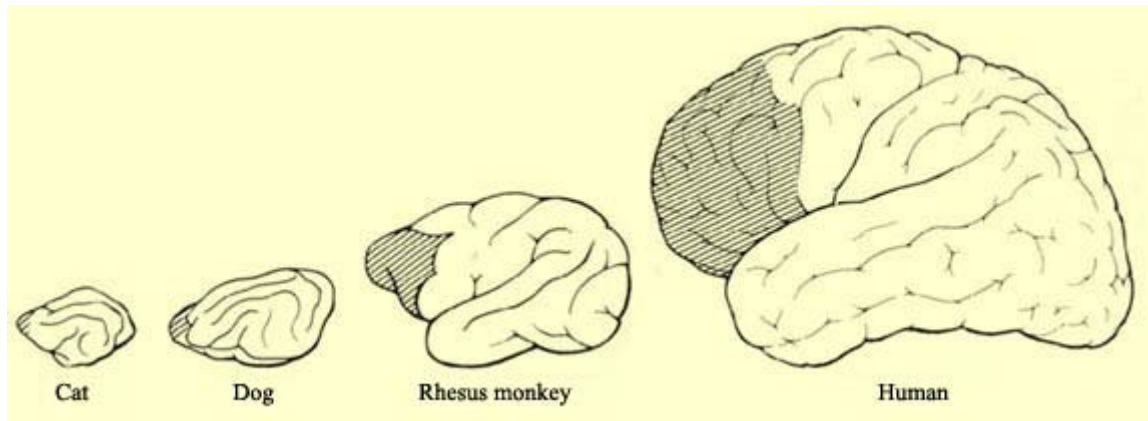
记录成书本的记忆是长时记忆，而记录成便笺的记忆就是工作记忆（Working memory），它属于一类特殊的短时记忆——也就是短期停留在我们脑海中的记忆，时间一长就忘了。

工作记忆虽然也是一段容易遗忘的记忆，但并非简单的短时记忆。它带有很强的目的性。譬如我们快速记住一个新的电话号码，是为了打电话，电话一打完，就不再需要号码；下棋打牌时临时记住对手的棋招牌路，是为了胜棋……这些记忆只在当时需要的情形下使用，用完之后就如释重负，立马丢弃。

对于反复使用的电话号码，也许你会长久地记住它，这时，便笺被装订成书本，短时记忆转化为长时记忆。

与工作记忆密切相关的脑区叫做前额叶，它是一块漂浮在大脑半球最前沿的皮层。顾名思义，位置在大脑里首当其冲。我们眼睛上方脑门里面装着的就是前额叶。这块大脑的前沿地带在我们做慎密的决策，转移注意力，尤其在我们短暂记住电话号码、对手棋牌的招数时大显身手。可以说，前额叶是为工作记忆量身订做。此外，前额叶也负责“反转学习”。如果前额叶受损，动物在学习与前一个任务相悖的新规则时，总是受到从前经验的干扰，难以随机应变。

并不是所有的动物都有前额叶。进化地位发展到较高等的动物才开始拥有完善的前额叶。人类的前额叶面积是所有动物中最大的，占整个大脑皮层近三分之一，猩猩的前额叶也很大，大约占总脑面积的五分之一，其次是恒河猕猴约十分之一，狗（7%），猫（3.5%）。因而，前额叶在一定程度上代表了生物的高等程度。



图示：大脑阴影部分为不同动物的前额叶，从左自右依次为：猫、狗、猕猴、人类的大脑。

2. 猕猴的工作

猜猜看

记得几年前，我们在配合中央电视台《走近科学》的拍摄时，我给猕猴丁丁做过一个这样的游戏——猜猜看。

在夏日绿茵茵的草坪上，猕猴小丁丁跟在我后面，因为非常熟悉我，它总是和我形影不离。我手里攥着几粒向日葵瓜子，它的眼睛一直盯着我的手。我将瓜子在它眼前晃一晃，故意逗它着急，然后，把两只手捏成拳头，两个胳膊交叉，骨碌骨碌在它面前绕圈圈。丁丁紧张地站起来，一只小手拉着我的衣襟，眼睛忙不迭地跟着我转动的拳头。过了一会儿，我停下来，把两个拳头伸到它面前，让它猜猜看。它马上两只小手一齐上来，握住我攥了瓜子的拳头，急不可耐掰开手掌，将瓜子送到嘴里。

这个游戏很类似测定猕猴工作记忆常用的方法——威斯康星通用测试法（The Wisconsin General Test Apparatus, WGTA），该测试是1930年在美国威斯康星大学哈劳（Harlow）中心发展起来的。

我们在猕猴的眼皮底下，打开两个碗的盖子，往其中一个碗内放一粒花生米，然后用盖子把两个碗都盖起来。再在猕猴和碗之间，降落一块挡板，让猕猴暂时什么也不看见。这样过几秒钟，再把挡板拉起来。猕猴若仍然记得花生在哪个碗，它就会伸手去掀开那个碗的碗盖，把花生取出来吃。食物真可谓开发智力最强有效的动力，用这招，科学家总是屡试不爽。

这是个很简单的测试。实验的关键是在挡板挡住猕猴视线的那段时间——延缓时间。如果

这段时间较长，超过几十秒，猕猴往往记不住花生在哪个碗里。如果延缓时间短，仅仅几秒钟，那么，猕猴记住花生碗的正确率一般就高。所以这样的测试也称作延缓反应测试。

如果给儿童做类似的测试，在两个碗中的一个碗里装上玩具或糖果，把碗盖起来，并用布帘将碗和儿童隔开。过一会儿，把布帘打开，让他们伸手选择。这时，研究工作记忆和前额叶功能的鼻祖高德曼·冉克契（Goldman-Rakic）教授发现，8—12个月大的儿童已经可以准确记住哪个碗里有玩具或糖果。但是，年龄再小一点的儿童虽然眼睛看着有玩具的碗，但是手却不自主地去抓其它的碗。说明什么呢？（答案见后）。

我们还给猕猴做过一个稍微困难一点的任务。在5米开外，让猕猴看着我在三个小杯子中的两个内各放上1块苹果。随即把杯子翻过来，将水果扣在杯内。待猴子看清楚后，另一个实验员牵着猴子去其它地方溜一溜，再回来，这时猴子往往等不及去掀开杯子想得到苹果。

一次只能让猕猴挑一个杯子。猕猴选择了一个杯子之后，再出去遛一溜，回来再取第二个杯子。如果猕猴两次都能挑对，就可以吃到2块苹果。这个任务需要猕猴记住存有苹果的是哪两个杯子，并且要记住已经拿掉了苹果的那个杯子，避免重复选择，从而希望落空。

猕猴的智力有时相当于人类儿童，所以我们到幼儿园测试儿童。让小朋友看着阿姨往三个桶中的两个里面放上玩具，然后让他们出屋到走廊上，过一会儿，再回来，猜一猜哪个桶内有玩具。取走一个玩具后，再出去呆一会儿，回来再选择另一个藏有玩具的桶。5岁左右的儿童能够很好地完成这项任务。年龄小点的孩子往往只记得一个藏着玩具的桶，出去转一圈后，却忘了另一个装玩具的桶。

目前，猕猴的延缓作业也引进计算机技术，在电脑屏幕的两侧分别显示红色和蓝色的图标。红色图标暗示食物奖励，猕猴很快学会伸手去触摸屏幕上的红色图标，得到橘子水。一旦触碰蓝色图标，什么也得不到。类似地，猕猴很快就学会选择三角形而不是正方形，选择屏幕左方亮点而不是右边亮点等等。由此，我们可以检测猕猴对颜色、物体形状、三维特性、空间位置，甚至物体排列顺序的辨别能力。事实上，它们的确是辨认高手。

猕猴除了依靠“看”视觉线索，还可以依靠“听”不同的声音来做记忆任务——也即是根据前后听到的声音是否一样，来决定自己的行动。比如，给坐在猴椅上的猕猴听一个很短的声音“啪！”，间隔一段延缓时间之后，再给它听一种声音，如果这个声音和先前的声音一样，是“啪！”，猕猴确认后，就伸手拉一拉手里的杆——有点像汽车上的刹车闸。这个“刹车闸”通过电缆与电脑连接，可以将信息迅速传到电脑。

电脑监测到猕猴拉杆之后，就给猕猴发放橘子水作为奖励。

如果延缓一段时间后，猕猴听到的是另一种长音“啪啪啪——”，而不是单音“啪！”。

“咦？”猕猴想，好像和先前的声音不一样，于是它的手就不动，刹车闸保持静止，但它似乎又有些担忧橘子水。还好，电脑很快评分——正确！并将橘子水送到猕猴的嘴里。它喜滋滋享受着，如同王者凯旋一样自豪——现如今，知识就是财富，对于动物，智力就是食物。

这种测试方法利用了猕猴的自主决定——拉杆或不拉杆。猕猴对声音或图形进行判断，决定行动与否，所以又称为“行动/不行动”（Go/NoGo）模式。

这种模式要求猕猴对前后一致的线索做出积极反应。也就是后面看到的图形或听到的声音如果与之前的信息一样的时候，猕猴就拉杆，便有奖励。反之，前后信息不一样的时候就不拉杆，这样也会有奖励。这种任务称为配对样本测试，即“如果是 A，就选择 A”。

反过来，我们也可以训练猕猴对前后不一样的信息拉杆，比如先前看见红色小方块，延缓一段时间之后，再给猕猴呈现红色方块或蓝色圆形。如果猕猴选择蓝色圆形物，则有橘子水奖励，选择红色方块，则什么也得不到。该模式即“如果是 A，就选择 B”，属于非配对样本方法。

延缓反应测试往往要求猕猴坐在铁笼内或是坐在特制的猴椅上。猴椅有点像古代押送犯人的囚枷，猕猴的头和身子被套在猴椅中，它们可以转动，但是跑不出来。生性好动的猕猴懊恼地觉得行为受到限制。所以，最理想的测试模式是利用动物的天性，尽可能使其自由行动，在最大的自由限度内检测它们的行为。这样得到的实验结果更为可靠，更人性化。迷宫就是一个很好的选择。

问题 1

给猕猴做工作记忆测试时，碗被盖了起来，猕猴已看不见碗里的花生，为什么还要放一块挡板下来或要猕猴出去溜一溜？同样，在小朋友的测试中，倒扣的桶遮住了玩具，儿童已看不见玩具，为什么还要让他们出去绕一圈呢？

答案

让我们反过来设想一下，如果给猕猴的碗盖起来，小孩的玩具扣起来，让他们仍然呆在碗或桶的旁边，他们会怎么做？——他们可能一直用眼睛盯着那只藏有食物的碗或有玩具的桶，直到实验人员允许他们前来选择。这时，测定的结果将不再完全依赖工作记忆。即便心不在焉，早已忘了哪个碗或哪个桶有奖励，但眼睛的方向依然会告诉他们是这个碗或那个桶。

因而，我们要用一块挡板暂时隔断视线或让儿童出去绕一圈，两者的共同点是，短时间内

切断被试眼睛和藏奖励地点的连接。使被试不是依靠视觉，而完全依靠工作记忆来完成任务。

问题 2

在给儿童做工作记忆测试时，当打开布帘让儿童猜一猜时，年龄幼小的(8-12 月)儿童虽然眼睛知道哪个碗里有玩具，但是手却不由自主地伸向其它方向。为什么？

答案

此时儿童的前额叶开始发育，已形成工作记忆雏形，但是却缺乏完整的肌肉执行环路。也就是说，他们徒有光杆司令部，却没有手下兵将响应其指挥。所以，手拿不到大脑想要的东西。只好看着玩具糖果望洋兴叹，体验“身不由己”的痛苦。

问题 3

看起来，猕猴很容易完成配对和非配对样本延缓反应作业，人类儿童也能很好地完成。那么，其它动物呢？它们是否也认为这样的作业很简单？

答案

野外生存中，无数动物需要迅速、反复找到食物，所以，它们普遍都具备很强的短时记忆，其中就包含工作记忆能力。在实验室中，科学家已用实验证实，大小鼠，鸟类，甚至蜜蜂，都能顺利完成配对和非配对样本延缓反应作业，在这点上，它们和高等灵长类动物相比，毫不逊色。

问题 4

猕猴坐在猴笼里，实验员在它面前的一排小碗内中选一个，放入花生米。再用一块红色圆形木片盖起来，猕猴伸手打开这块红色木片，吃到了花生米。实验员拉下帷幕，将猕猴和碗之间隔开。延缓一段时间后，再拉起帷幕，这时，猕猴面前的小碗上出现了两种情况：2 个小碗分别盖着红色圆形木块和黄色三角形木块。猕猴思忖片刻，并没有像第一次一样掀开红色木块，而是将黄色三角形的木片拿开，它发现下面有一粒花生米。这属于配对延缓还是非配对样本延缓作业？

答案

因为该实验遵循“如果是 A，就选择 B”原则，所以是非配对样本延缓作业。

猕猴的大迷宫

自然界中，很多野生动物由于生存需要，有很强的空间方向感，能够在森林里迅速找到食物。在实验室中，我们根据动物的这一特性，可以设计适合于大小鼠、猪、鸡等的迷宫，各种动物在自己的迷宫中愉快畅游，成绩出色。

我们在昆明，为猕猴专门设计了一个很漂亮的大迷宫。这个迷宫有 6 米长，6 米宽，四周插上彩色小旗帜。大迷宫里面平均分隔成 4 个小迷宫。每个小迷宫向外均有一道门，供猕猴出入。和小鼠用的迷宫类似，迷宫中有很多可拆卸的隔板，将迷宫分割出很多通道，只有一条通道通向迷宫内部最深处，在那儿有水果片装在小杯子里等候猕猴的发现。其它通道均是死胡同，各处悬挂了空杯子，以充分混淆猕猴的视觉。

我手下有几只猕猴，每天我们牵着它们从一个小迷宫的入口进去，让它们在迷宫中寻找食物。第一天，它们非常困惑，在迷宫中来回转悠，摸不到门路。见到小杯子就扑过去，恨不得把头 and 手都伸到杯子里去，结果可想而知，众多杯子中只有 1 个盛着水果。

不出三天，几只猕猴就迅速记住到达食物的最捷路径，只要一进迷宫，低着头坚定地走到目的地，拿了水果就吃，吃了便原路返回，准备下一轮寻食运动，一点儿不耽搁。看起来，它们好像很喜欢这样的游戏，一天走 15 回，不到 20 分钟就完成。食物若是苹果、香蕉，它们吃得最欢喜，若是胡萝卜，到后来，就可吃可不吃了。此时，它们也很老道地闷头踏进迷宫，大步流星奔赴目的地，一看是胡萝卜，扭头就撤。下次仍然意气风发地冲进迷宫，再走个来回。

有趣的是，猕猴学习第一个迷宫花费的时间要长些，犯的错误也多。但之后学习第 2-4，甚至第 5-8 个迷宫时，就要容易得多，做得又快又好。看起来，猕猴能把在第一个迷宫中学到的规则运用于后面的迷宫，因而大大提高了效率。

我们在迷宫内拐角转弯的地方贴一些彩色图片，给猕猴做路标。一开始时，有的猕猴很好奇，像高度近视眼一样，把整个脸儿凑上去，紧贴着图片琢磨一阵子，模样十分好笑。但是这样的情况很少发生，大约在百次训练中只有 1 次，而且是在最开始的时候。大部分情况下，猕猴似乎没看见图片。当猕猴学会了寻找正确路径之后，我们将这些图片撤除，结果猕猴依然准确无误地走到目的地，一丁点儿影响也没有。

我们又在迷宫不同的地方贴上新的图片，猕猴还是对此漠不关心，好像根本没发觉，依然勇往直前奔赴目的地。因而，一旦猕猴学会了如何最快捷地找到水果，它们对迷宫内原有图片

是否消失，是否出现新的图片，均无所谓。

猕猴在开始学习时，是不是借助了迷宫中的图片呢？如果是，何时是敏感期呢？

它们是否也像小白鼠一样，先参考迷宫内的图片位置和迷宫周边的五彩旗帜，来辅助认路。而后就转变为简单的向左转或向右转的习惯动作？这些问题还有待研究。

除了大迷宫可供猕猴使用，猕猴还可以在大的水迷宫中接受训练。这种迷宫类似于大鼠的 Morris 水迷宫，也就是让猕猴在游泳池内游泳，水面下不同的地方放置隐蔽的平台——一般是透明的，猕猴即便在水中也看不见。找到这样的平台，只有靠游泳池周围的环境线索。因而，可以测试猕猴的空间记忆能力。

还有一种更有趣的迷宫——虚拟的视觉迷宫。猕猴坐在游戏机前，手握操纵杆。它们看着屏幕上出现各种通道、路标，用操纵杆来决定该往哪个方向走，不该往哪个方向走。如果选择正确，到了通路末端，就有一个大得可喜的水果状图片出现在眼前。于是，现实中的猕猴也会得到真实的食物奖励，一片苹果或几滴橘子汁。

这种电脑游戏玩起来要难一些，需要猕猴专心致志，并有充分的想象力。如果猕猴习惯了，也许会和人一样从中感到乐趣。



猕猴用的大迷宫 （作者摄）

问题 1

如何使用猕猴大迷宫，在测试猕猴空间记忆的同时，也检测它们的工作记忆呢？

答案

由于迷宫中只有一条通路是正确的，其它都是死胡同。我们在死胡同的地方，悬挂一些空杯子，作为幌子，诱使猕猴上当受骗。猕猴有极强的记忆力，它们一旦搜寻过空杯子，下次几乎就不再光顾。

但是猕猴也有失策的时候，一旦踏进迷宫，尚可直奔有水果的地方而去，出迷宫的时候，有时就忍不住贪心，要去看看沿途的杯子中是否还有意外的食物。如果又到先前已经搜寻过的杯子中搜寻，或者到已取过苹果的杯子中再次搜寻，这就是工作记忆错误，指在短期内重复犯的错误。它记不住刚才已看过那个杯子，又跑去看——源于暂时性失忆。

问题 2

到了目的地后，有些猕猴也许就会偷懒等在那里，期望新水果片的出现。如何设计实验，让猕猴在目的地吃过水果后，迅速返回迷宫门口，我们好开始新一轮实验呢？

答案

当猕猴进入迷宫寻找水果片的时候，我们在迷宫门口也放一个小杯子，杯子内放几片水果——数量比目的地的水果要少一些。这样一来，猕猴拿了迷宫内部的食物后，就会马上撤离，因为它知道，再等下去，徒劳无益。而在迷宫门口还有水果呢，这样做就可以成功吸引它从迷宫中快速凯旋而归。

问题 3

当我们记录动物的脑电，了解到动物某种行为之后蕴含的生物学意义时，我们是否可以反其道而行？也就是说，将代表一定行为意义的脑电活动反过来输入脑内，是否可以触发动物与之相匹配的行为呢？

答案

这个问题也是科学家长期以来一直在思索和探讨的。如果我们能够收集导致动物的某些行动的脑内电信号——从某种意义上说，代表了动物的一部分思想，然后将它们施加于动物的大

脑。如果能够诱发动物产生我们期望出现的行为，那么这些信号就成为行为密码。接着，再将这些密码，也就是电信号输入机器人，使机器人建立行为密码库。将机器人和动物相连接，机器人仿佛动物脑中的“小人”，知道动物在想什么，需要什么，从而代替动物做事。只要动物头脑中想到什么，机器人就立即执行。

对于人类瘫痪或行动不能的患者，这种机器人无疑是美好的福音。因为我们只要动动思想，无需动用我们的肢体，就可以借助机器人拿到我们想要的水杯，打开电视。

事实上，科学家们已经在大鼠和猕猴上实现了这样的尝试。

3. 惊现思想

大脑内无时无刻不发生着化学物质的联接和电信号的传递。瞬间即逝的电信号和瞬时复现的电信号充斥着我们的大脑，使它随时处于忙碌的工作状态。这个带电的大脑给我们提供着意识、思想和行动的指令。长期以来，我们一直希冀能够从大脑的电信号中窥探思想的痕迹。也许，动物，乃至人类的思想就蕴藏在这些纷纭错综的电信号中？然而，人类总是很失望，因为电的信号转瞬即逝，难以捕捉。我们不能精确地将某一思想和某一电活动一一配对起来。脑电的活动看起来很混沌，似乎一直在和我们捉迷藏。人类的技术显然还达不到准确破译所有脑电密码，但是，研究仍然有了长足进步。

1999年，美国宾西法尼亚州和北卡罗莱纳州的科研人员成功地抽提出大鼠喝水时的脑电活动，将它作为模板记录到电脑中。当大鼠再次想喝水的时候，它的脑电信号被电脑接收、识别、确认。当电脑判定该脑电信号和原先储存的“想喝水”的信号相同时，电脑自动满足大鼠的要求，将水滴释放出来。整个过程最关键的是，电脑识别了大鼠的思想，随之代替大鼠的手，使大鼠不用亲自动手就喝到水。

2008年5月底，美国宾西法尼亚州的研究人员再次在猕猴上证实，机器可以解读动物的思想，旋即替代之行事。

研究人员在猕猴大脑的运动皮层上收集了手臂运动导致的放电模式，然后将这些脑电信号抽提，存储在电脑中，电脑经过一系列的算法，可以识别来自猕猴大脑的真实的脑电信号。同时，电脑连接着一只机器手。如果电脑判断脑电信号正确，将操纵机器手臂做出和真实手臂相同的动作。

科研人员在猕猴的面前递上一小块蜜饯，猕猴的双手被限制在椅子扶手上的两个金属管中，不能伸出来取食。它焦急地看着蜜饯这块美食，激动万分，却无能为力。这时，猕猴肩旁

的一个机器手臂开始向前伸出。机器手通过电脑感觉到猕猴强烈的愿望——“拿到那块蜜钱！”机器手臂真的伸到了蜜钱面前，继而用两个指头夹起蜜钱，返回到猕猴嘴边。于是，猕猴轻而易举吃到了蜜钱。

一次成功后，猕猴大受鼓励，吃到蜜钱的次数越来越多。偶尔，机器手臂也有不慎的时候——蜜钱掉到了地上，猕猴立即停止机器手的动作，使其返回，去拿新的蜜钱。如果蜜钱的位置临时发生了变化，机器手也会做出相应的调整，目的只有一个——取到美食。

猕猴不仅能控制机器手臂的运动，也能控制两个手指的运动。当手指夹着食物即将到达猕猴的嘴边时，手指会略微松开，以便蜜钱达到嘴边时能即刻被吃到，不浪费任何时间。多次之后，猕猴发现蜜钱这东西粘性很大，在手臂伸过去，拿到食物后，即便手指略微松开，蜜钱也不容易滑落。因而，它对手指的松弛度做了相应的调整，当手臂伸过去拿到蜜钱后，只顾快速送到嘴边就是了，不用过分担心手指是否夹紧了食物。

机器手为何能如此清晰地了解猕猴的愿望和想法，并准确地遵照执行呢？成功的秘诀在于电脑能够识别、“读懂”猕猴大脑的思想，接着，控制机器手按照猕猴大脑的思想去行事。此时，机器手变成了猕猴真实意义上的另一只手。

这样的机器手比实际情况中的手行动要缓慢得多，机器手取食一直到猕猴吃到食物，整个过程需要 3-5 秒。而当可以用自己的手拿蜜钱时，动作要快得多，只需要 1-2 秒。

这项实验和先前大鼠的工作都发表在世界顶级科学杂志《自然》上，喻示了该研究对人类的意义，尤其对于瘫痪或截肢的病患者，他们亟需这样的机器手，帮助自己随意拿取东西，以便生活自理。从前，人们可以满足假肢的安装，但是，现在，如果能让假肢像自己的肢体一样受大脑控制，是每个截肢者的美好愿望。

更有甚者，我们还可以仅仅通过眼神的控制，启动手机摁键，不用手，就将我们想打的电话拨出去。

除了让动物的思想被机器实现，也可以反过来，让动物随我们的意愿行事。2002 年在《自然》杂志上报道了人类可以操控大鼠的脑，让它按照人类的意愿行走。

科学家在大鼠的大脑两个部位安置了电极，当刺激这两个脑区的时候，大鼠产生了非常奇特的行为——百依百顺。于是，人类遥控大鼠脑内的电极，就像小孩玩遥控车一样，“指使”大鼠爬上楼梯，转弯，再从楼梯上爬下来，在平台绕一圈……

大鼠肩负着“遥控箱”，温顺地听从人类给它发出的指令，一步一步按照人类的命令向前，向左或向右行进。

运用这样的“遥控生物”，再结合摄像技术，我们可以在人类惨遭自然灾害，比如地震的

时候，积极采取救援措施，汶川大地震的伤亡将大大减少。在扫雷时也可大显身手，避免不必要的人员伤亡。

问题 1

类似的技术能否用到耳朵失聪或眼睛失明的人类患者上，使他们重新听见声音或看见光明呢？

答案

人们正在做这样的尝试，相信有一天聋人不再聋，盲人不再盲。

问题 2

当我们把金属做的电极丝埋到动物脑内，记录动物大脑神经元电信号，可以“读懂”动物的部分思想，但是在我们人类身上，无法将电极丝埋到脑内，做电生理记录。那么，如果我们企图读懂人类的思想，通常用什么办法呢？

答案

脑成像技术是最好的选择。当给人类被试做一些测试任务，通过功能脑成像（fMRI）技术，我们可以看见脑区内哪些部位处于激动的状态，便可以推测这些脑区和正在执行的任务相关。反过来，当脑成像技术发展 to 更高层次，可以使我们根据哪些脑区发生了变化，推测被试所思所想。

4. 小鸡的任务

小鸡啄球

在一块扁平的橡皮泥中央，嵌有一颗小珠子，研究人员把刚孵出来的小鸡放到橡皮泥上，于是小鸡开始啄珠子。由于小球既光滑又陷在橡皮泥里，小鸡不可能不偏不倚地啄到小球，因而，它总是会啄到橡皮泥。这样，坚硬的小嘴喙就在橡皮泥上留下一道道痕迹。从橡皮泥上留下的印迹数目，就可以判断小鸡啄球的兴趣。

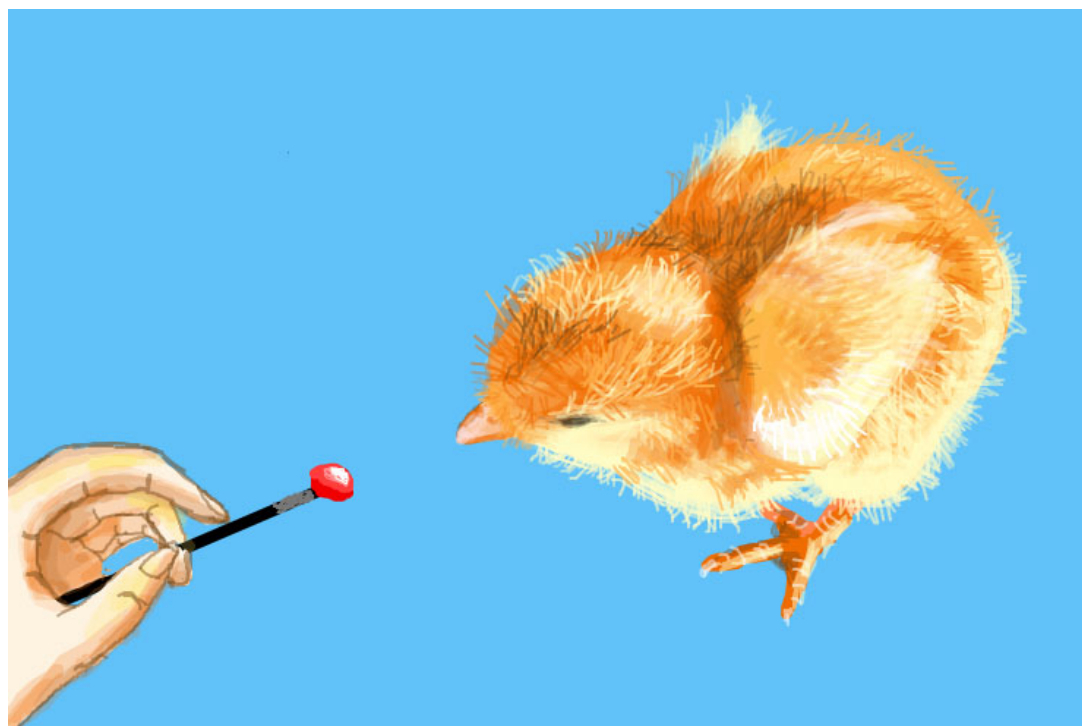
小鸡从蛋壳里孵出来，就有了啄食的天性。如果给它听细碎的敲击声音，它们就会条件反

射般开始低头啄食。这种行为也像哺乳动物一出生就会吮吸一样，是遗传的反射行为。

既然小鸡啄球是天生的反应，科学家根据这一特性，设计出一系列实验方案，发现小鸡学习记忆的三个阶段：短时、中时和长时记忆。

把刚从蛋壳里孵出一天的两只小鸡分别放到一个个小纸盒中。然后，递给它们一根顶端粘着一个小球的棍子，小球是白色的。小鸡见到小球，以为是米粒呢，就好奇地扑过来，张开嘴啄小球。

如果小鸡们普遍都对小球这么热情，那下一步就把小球的颜色换成红色的，再给小球蘸上苦味的液体，随后递给小鸡。这时小鸡像上次一样，马上去啄小球，一边想：怎么白米变成了红色？不幸的是，它们啄完之后，发现味道好苦啊！便“叽叽叽”尖叫着，惊慌地跳到一边，不住地甩头，企图把这不开心的经历甩掉。过一段时间，把小球清洗干净，再把白色和红色的小球递给小鸡。它们会有怎样的反应呢？（见答案）。



小鸡啄珠子 （周穆如 12 岁画）

和其他动物，包括人类一样，小鸡的记忆有三个阶段：短时、中时和长时记忆。只不过，人类的短时记忆可以以“小时”为单位计算，而小鸡则是以“分钟”计算。

5—15 分钟之内，属于小鸡的短时记忆；20—55 分钟为中时记忆；60 分钟之后的记忆为长时记忆。同样，便笺式的短时记忆由某些离子通道负责，长时记忆的书本则是由一页页蛋白质装订的。

问题

当递给小鸡红色或白色的小球，小鸡的反应是怎样的？

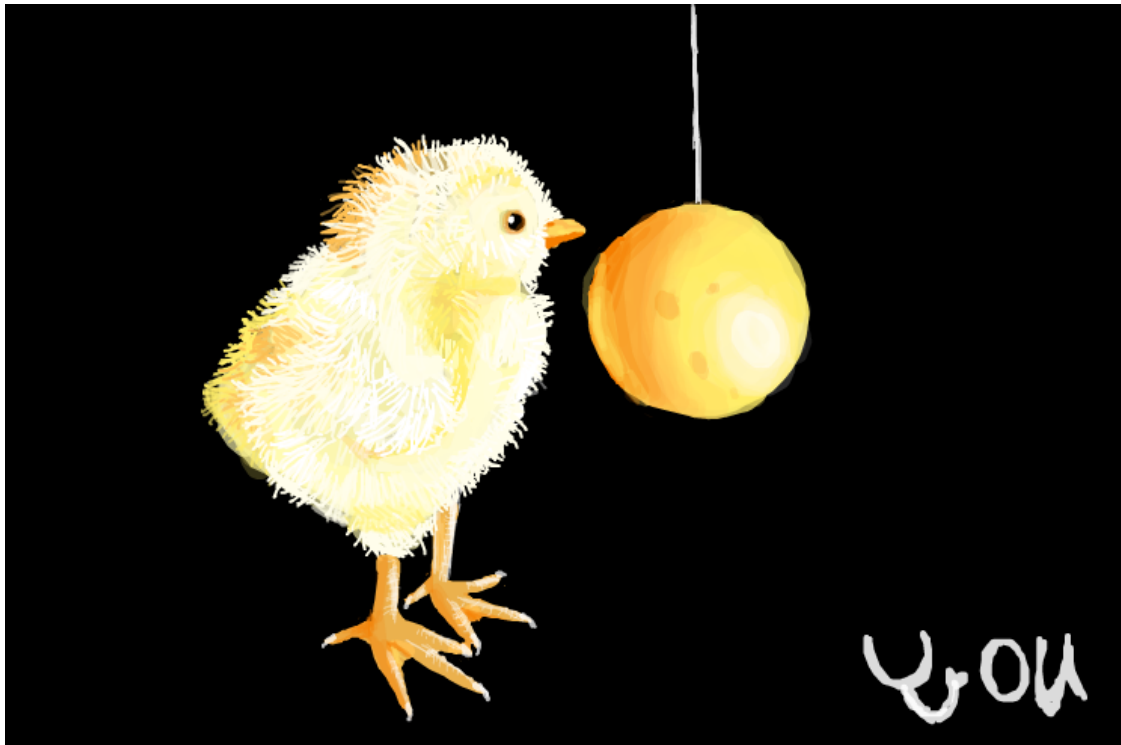
答案

面对白色的小球，小鸡知道它没有苦味，依然去啄。对于红色的小球，记性好的小鸡马上就采取回避的姿态，“叽叽”尖叫着躲开，好像见了瘟神一般。记性不好的小鸡则又扑上去。根据这些情况，就可以判断小鸡记忆好坏。

印记学习

前面讲过奥地利动物学家劳伦兹发现小鸭子的印记学习，这个现象普遍存在于鸟类。小鸡也有明显的印记学习。让我们利用印记学习，给小鸡设计一个找妈妈的任务。

小鸡刚刚孵出后，就把它放到一个小盒中，盒内用细线悬挂了一只黄色的乒乓球，小鸡在盒内走动时碰到乒乓球，球便左右摆动。由于小鸡出生后一直与这个乒乓球相伴，很快，奇特的印记记忆就形成。小鸡把黄色的乒乓球当作了妈妈或同伴去依恋，去跟随。



小鸡以为乒乓球是母亲 （周穆如 12 岁画）

这时，我们就可以开始实验了。把小鸡放到一个透明的小玻璃房内，在玻璃房前方不远处，

分别有两间黑色的小房间。让小鸡看着我们用手把黄色乒乓球从透明的玻璃房外，慢慢移到两个黑色房间中的一间后面藏起来。小鸡注视着乒乓球“母亲”离去，很焦急，但玻璃房的门是锁着的，它暂时出不去。

过了一会儿，我们把玻璃房的门打开，小鸡便急急忙忙向前冲过去，寻找它的乒乓球“妈妈”。若小鸡等待的时间——也就是延缓时间太长，它可能就记不住乒乓球藏在哪间黑色小房内，所以，延缓时间的长短很重要。

这种方法要求小鸡记住乒乓球在哪间小屋，带有很强的目的性。因而测试的是小鸡的工作记忆。记性好的小鸡很容易找到自己的乒乓球“母亲”，记性不好的小鸡总是一出玻璃门就乱蹿，无法判断“母亲”在哪里。

在小鸡的印记学习中，是否有敏感时期呢？就像鸟类学唱歌，人类学语言，都有敏感期一样，小鸡的印记学习也有敏感期，即从蛋壳孵出后 14-42 小时内，最易形成印记学习和记忆。

如果给小鸡呈现一个活跃转动的物体，小鸡更容易把它当作母亲。如果在物体旋转的同时，播放一段母鸡叫声的录音磁带，那么，小鸡更依恋这个会动会叫的母亲。

经典的巴甫洛夫条件反射需要条件刺激和非条件刺激。狗吃骨头时给它听铃声，铃声是条件刺激，骨头是非条件刺激。如此反复之后，狗一听见铃声就口流唾液。这其中，动物将条件和非条件刺激两者之间建立了联系，形成条件反射。奇怪的是，在印记学习过程中缺乏相应的非条件刺激，看起来似乎只有条件刺激（母亲或代理母亲），便可使小鸡产生依赖感，有的人认为，印记学习不属于通常意义上的条件反射。

问题 1

是不是所有的物体都能使小鸡产生印记学习和记忆呢？如果我们让孵出来的小鸡整天和一个老鹰或蛇的模型呆在一起，那么，小鸡是否会把原先是天敌的老鹰和蛇当作自己的母亲或兄弟姐妹呢？

答案

小鸡会把老鹰或蛇的模型当作自己的亲人。但在现实中，如果小鸡碰到真实的老鹰或蛇，只用一次惊吓，就足以令它们一辈子都胆寒。被当作母亲的模型毕竟和现实中的天敌有很大差别。

问题 2（小学生提出的问题）：

如果把刚孵出来的小鸡和同样刚孵出来的小鸡放在一起，它们会互相认作是母亲吗？

答案

在这种情况下，更多的可能是小鸡们互认为兄弟姐妹，形影相随。

问题 3

鸟类体内暗藏指南针，那么，我们如何借助小鸡寻找乒乓球“母亲”这一任务，检查小鸡也怀揣指南针？

答案

在小鸡找妈妈的训练场地设置一个磁场环境，比如南、北方向的磁场。小鸡经过训练，大多飞快跑去寻找乒乓球“妈妈”。待小鸡们学习成绩达到一个稳定的好分数后，将磁场方向换一下，变成东、西走向。这时小鸡们一下子手足无措起来，原来的好成绩一落千丈，再也找不到妈妈了。所以，用这个实验便可证实小鸡体内也有能感知地磁的指南针。

鸟儿逸事

除了米粒，农场里的鸡还会喜欢什么呢？我们在一间鸡舍内设几个小屋，每个小屋都装了刨花和锯末，但是有的垫得薄，有的垫得厚。将母鸡放进鸡舍，这时，面对它的是数间小屋，它东探探西看看，走进每间小屋去勘察一番。最后，它一抬腿钻进刨花锯末最多的那间屋子，迫不及待地趴下，两脚开始愉快地刨弄。这是母鸡抱窝的天性使然，它们喜欢更柔软更舒适的垫料，这样下鸡蛋时会更感安全，更惬意。

当再次把母鸡放入鸡舍时，它会径直走到原先呆过的刨花锯末最多的那间小屋，因为在它的头脑中，这间小屋已经被归为“五星级”。如果在农场，根据母鸡的偏好，为它们设计舒适的小窝，可以令它们心情舒畅，从而更愉快地产蛋，产的鸡蛋既多又好。

成年鸟有高度发达的视觉系统，鸽子只用看一看图片，就能将它们分门别类。它们会将“树木”、“水”、“人”和“兔”归为自然物体，把人造的“车”，“椅子”等归为非自然物体，甚至还可区分人面部“高兴”或“生气”的表情，并对几何图形进行一定的分类。种种实验结果提示，在鸽子中，已出现了对“概念”的认识。

乌鸦在辨识面孔上也绝顶聪明，它们能够牢记捕捉过它的人的脸，将这个人划分为心目中的“恐怖分子”。即便这个人戴了帽子，它也能准确认出，并迅速躲开。同时，乌鸦还能把这种危险信息传递给同伙，使得同伴也知道什么人危险，什么人安全，以便及时做出反应。虽然，记仇并不是一件什么好品质，但是对于野外生存，记仇意味着保全生命。

5. 清晨的露水

精灵小果蝇

在中学时，一次自然课，不知什么原因我选了饲养果蝇的小课题。也许是因为大家都不愿把当时归为“臭虫”的蝇类当做宠物一样对待吧。我和一个同学，照着书上介绍的，分头去准备东西。

那是我第一次知道什么是琼脂，浅黄干瘪的几缕，像枯黄的草儿，微微透明，韧性十足。按重量秤好，放在水里，像煮面条一样煮上一阵子，就化了不见踪影。水变得发黄而粘稠，放一点白糖，就成了一锅营养液。趁热把营养液倒入小三角瓶中，待它凝固了，就植入果蝇的卵——它们就躲藏在一小块事先暴露在空气中的香蕉肉中。自然界中的果蝇有着异常灵敏的嗅觉，它们最喜欢熟透腐烂的水果。只要熟透的香蕉有一小块缺口，它们就会争先恐后围上去，把自己幼小的几乎看不见的卵种植到肥美的香蕉肉里。我们挑一小块香蕉肉放到小三角瓶中的琼脂营养液里。然后用透气的纱布把瓶口扎上，再把这果蝇小小的温床放到温暖的地方。很快，原先泛黄的凝固的琼脂营养液变得透明起来，仔细一看，原来是很多细小的蛆样的东西在涌动。它们愉快而热闹地穿梭在营养液中，就像勤劳的蚯蚓在地下耕耘一样。当然，它们是为了寻找口味更好的食物，抑或是由于饱食无忧，太愉快了而把渐稀的营养液当做了美妙的游泳池，在其中畅游。

几天后，透明的小蛆开始着色，先是头部，有一点点黑色。再不久，瓶内营养液以上的空间就开始飞舞着几只幼稚的小果蝇。它们的翅膀还不够强壮，身子也略微有点瘦弱。愣头青的小样儿很惹人怜爱。很快，瓶里的空间就被飞舞的小果蝇占满了，它们业已身强力壮，腹部饱满艳丽，一个个透露出对玻璃瓶外世界的向往。不得已，我们用了一个塑料袋接住瓶口，打开纱布，小果蝇像初次放学的小学生，小心翼翼从瓶口钻出来。顿时，塑料袋内就爬满了黑黑点点的果蝇。我们不知道怎样结束实验。有人说把它们弄死吧，它们可是“臭虫”啊。然而，我们无法下手，最后，将塑料袋打开，让这些从出生到长大都一直在玻璃三角瓶内生活的干干

净净的小生命投入大自然的怀抱。

这是我第一次认识果蝇。后来上大学时，在显微镜下仔细观察过果蝇，显微镜下的果蝇浑身上下透露着精灵的光泽，神采熠熠，色彩斑斓。这样微小的生物，有着世间最完美的造型和色彩。日后，我终于明白了我国乃至全世界都很有名的专门从事果蝇学习记忆研究的郭爱克院士一次感叹：那是多么精致小巧的生命啊。晶莹剔透的翅膀，灵活的小脑袋，绚丽的色彩……世界上再没有什么比它们更美丽了！——教授双手合抱胸前，深情而虔诚地说：在它们面前，你会情不自禁对生命发出赞美和惊叹，造物主怎么把它们设计得这样漂亮……

在郭教授充满深情的赞叹声中，我反复看到两个字：热情。正是由于对果蝇有着浓厚的兴趣和执著的热情，使得他在神经生物学领域中频频有重大发现。他所研究的对象就是平常在水果摊上飞来飞去的小果蝇。使我想起一次在香港大学听课时，一位教授做了一场名为“小科学，还是大科学？”的报告。他也是做果蝇的，他不盲从当今“大科学”潮流，专心致志地研究果蝇，在貌似“小科学”的世界里，亦有着大的发现。

果蝇从卵发育成幼虫，再结蛹，直至成虫从蛹里钻出来，整个过程只要 10 天左右。一只雌果蝇一生中可产下几百甚至上千个卵。在果蝇体内有 1.3 万个基因，有 60% 的基因与人类的基因相近。

因为果蝇的生命周期很短，在短时间内可制造出多种突变体，所以在生物学研究中颇具优势。早在上世纪二十年代，美国科学家托马斯·亨特·摩尔根(Thomas Hunt Morgan, 1866—1945)采用放射照射等方法，导致一只可爱的突变体白眼小果蝇出世。要知道，普通的果蝇眼睛大多是红色的。

这只著名的白眼果蝇虽然只活了短暂的时间，但是它的出现，引发了声势浩大的基因遗传学研究，由此，以果蝇为主角的遗传学研究轰轰烈烈地开始了，一直持续至今。

大量的果蝇突变体被人们发现，有的色彩更为绚丽，有的如老年痴呆一样健忘，有的不停颤抖，宛若人类帕金森患者……

我们还可以找到注意力缺失的果蝇，这种果蝇的注意力和小儿多动症患者一样差。小儿多动症又称注意力缺陷症，患者最大的特点就是注意力不集中，做事情忽东忽西，不能坚持做完一件事。这类患儿情绪也非常不稳定，不时会发出骇人的尖叫，随即将手里的东西“呼”地全掳到地上……患多动症的果蝇自然没有如此丰富的行为表现，但它和人类患者有一个共同点，就是缺乏持久的注意力。脑袋里仿佛有一个失灵的舵手，指使它一会儿做这个，一会儿做那个……到头来，一件事也做不好。

五花八门的果蝇接连不断诞生，为我们提供丰富多彩的人类疾病动物模型。

简约的、精灵般的小果蝇就这样活跃在生物医学领域，默默地为人类，为自然界做着自己的一份贡献。

小科学大发现

果蝇的学名 *Drosophila* 源于希腊文“清晨的露水”，顾名思义，在果蝇的世界中，也有清晨、夜晚之别。的确，小小的果蝇也像人类一样日出而作，日落而息，并且有时还有午间小睡的习惯呢。熟睡的时候，小果蝇与人一样，对外界的干扰反应非常迟钝。初生的幼果蝇像人类的婴儿一样，需要较长时间睡眠。果蝇的睡眠也会受到某些药物的影响，吸食了安眠药的果蝇长眠不醒，而把一块饱蘸咖啡的绵纸放到果蝇瓶中，舔食过咖啡的果蝇即刻兴奋不已，难以入睡。

果蝇有一双大大的复眼，和一对敏锐的触角。复眼就像无数只睁大的小眼，使得果蝇对外界洞察秋毫。触角则像空气探测器，随时挥舞着监控空气中分子的细微变化。因而，果蝇的视觉和嗅觉都非常灵敏。大家也许有这样的经历，家里一堆腐烂的水果忘了收拾，这时，早有一群果蝇闻味而至，围着水果转个不停。它们拥有超强的嗅觉，因而，这些貌似柔弱的小生物在地球上，在人类的缝隙中惬意地穿梭，顽强地生存着。

当你把水果移开，小果蝇还会在一段时间内飞到这里，视察一番，确认没有水果后，才会离开——说明小果蝇有很好的学习记忆能力。

科学家们在实验室里设计了一些很有趣的实验，使小小的果蝇精灵也成为好帮手。

如果把果蝇的背部用胶水和一个扭力传感器粘起来，放在一个圆形的飞行模拟器内。扭力传感器可以灵敏地感知果蝇任何轻微的转动，及时将这种转动变成数字信号传输到电脑。

飞行器内壁贴着一些图形，左侧是正“T”，右侧是“⊥”形。一旦果蝇欲飞向某个方向，只要它幼小的身体一扭转，扭力传感器即可迅速察觉，并通过计算机，决定是否启动红外激光束。一旦小果蝇转向可能会导致惩罚的方向，假设是左侧的正“T”形，一束热激光将悄悄启动，准确照射到果蝇的腹部，它会感到腹部有灼痛感，马上停止转动。如果果蝇向无惩罚的“⊥”图形转动，将没有热激光，果蝇相安无事。

记性好的果蝇，几次训练之后，就学会不再往有惩罚的图形方向转动，只往无惩罚的图形方向扭转了。条件反射再次将危险信号和腹部疼痛建立桥梁。

当小果蝇发生了基因突变，或脑内发生病变的时候，果蝇的记忆力和学习能力就没有这么好了，因此我们可以推测学习记忆由哪些基因，哪些脑区负责。

在果蝇上还有一个精彩的发现，郭爱克教授和同事们用实验证明：果蝇对外界的认识是凭借多通道感觉模式完成的。也即是果蝇在学习某项任务时，常同时闻、看，甚至听，尽量从多个方面感受任务。

由于多种感觉器官合作使用，寻找食物变得有效，更利于生存。所以，在自然界中，小到昆虫，大到猕猴甚或人类等高等动物，都不约而同采用这样的行为模式，以应付生存中遇到的各种问题。

问题

多通道感觉模式是几乎所有动物，在自觉或不自觉的情况下，经常使用的一种生存技能。我们在认识一件东西的时候，往往同时运用眼睛、耳朵，甚至鼻子。自然演化使我们虽然在单项感觉上可能薄弱，诸如视觉不如鸟类，嗅觉不如狗和蜜蜂，但是我们能够协调共用多种感觉通道，从而变得生存能力很强。多感觉通道并用的模式似乎是我们理所当然的首选，但为什么直到最近才在果蝇上得到证实？而且还引起很大的轰动，实验结果刊登在国际顶级杂志《科学》上？

答案

这就是研究“小科学”的优势。其一，小果蝇的脑结构，学习通路比高等动物简单得多，使研究容易入手，容易得到更“干净”、更直接的实验结果。其二，正是大家都理所当然的规律或习以为常的现象，才值得我们用最简单的动物去验证。当得知低等动物确实拥有和我们人类一样复杂的智慧时，我们可以从中解释智力的起源，并将这些动物运用于寻找人类疾病的治疗手段。

可操控的蛋白

无论我们庞大的身体，还是小动物娇小的身躯，都无一例外由一颗颗细胞堆砌而成。细胞就像砖瓦一样，按照不同的施工图纸，建筑着不同身形的生物体。而蛋白质则是打造细胞砖瓦的混凝土。混凝土的配料是氨基酸，二十几种氨基酸以不同的配方，夜以继日地生产出各种用途的蛋白质。生物体自有生命开始，就仿佛一座巨大的工厂，按照固有的生产流程运转着：氨基酸→蛋白质→细胞→生物。每时每刻，无数蛋白质在机器中搅动，为每一个生命提供原材料，忙碌地搭建新的细胞。同时，蛋白质工厂也制造激素，并为生物的长高、跑、跳、喘气提供能

量。直到生物体死亡，这座工厂才会停工。

通常，蛋白质的生产有自己的运行规律，不受打扰，但近来，人们意识到，生物体内的蛋白质也可以被轻易操控。

果蝇体内某些基因的表达很奇特地受温度调控，当外界温度比正常体温高，达到人们所说的亚致死温度——略微低于可致果蝇于死地的温度。在这样的温度里呆一段时间后，果蝇体内正常的蛋白质工厂因为过热，而停止生产。与此同时，另外一些基因大量表达，产生相应的新型蛋白质。这类蛋白质在高温的应激状态下，能够保护果蝇，使果蝇耐热，被称为“热休克蛋白”（heatshock protein, HSP），意为在热得要休克，甚至要夺命时，体内产生的一类保护性蛋白质。1962 年，人们在果蝇的唾液腺中首先发现这种蛋白质。

到了 1982 年，短短 20 年间，科学家又发现热休克蛋白不仅只存在于果蝇，在其它动物、微生物，甚至植物中也有这种蛋白质。也就是说，热休克蛋白普遍存在于地球上的生物体内。

不仅如此，人们又发现很多动物在面临紧张状态（包括热、冷、创伤、缺氧等环境）时，均会产生这种热休克蛋白。所以它又有一个别名——应激蛋白。这时，热休克蛋白已经不只局限于热环境了。随后，人们发现，热休克蛋白也不只局限于应激环境，在正常的缺乏应激的情况下，生物体也会制造这种蛋白质。

果蝇体内还有各种各样执行不同功能的蛋白质。我们甚至可以在果蝇体外掌控这些蛋白质的启动，从而改变果蝇的行为，使它们从活泼突然变得文静，从沉默突然变得欢呼雀跃……一束激光就能做到！激光一点，果蝇立即一反常态，改变了原先的状态，仿佛现代版的点金术。看起来似乎很神奇，但原理却很简单。我们给果蝇导入控制运动的基因，这种基因使体内产生某种蛋白质，而这种蛋白质可以操纵果蝇的运动，但它发挥作用的前提是要获得一定的能量。

然后我们把包裹着 ATP 能量分子的小球注射到果蝇体内。这些能量分子暂时处于不活跃的状态，仿佛定时炸弹一般。唯有激光能够使这些受困的能量分子爆炸，从小球中释放出来……

如同多米诺效应，只要给果蝇照射一束激光，炸弹即点燃，能量分子激活控制运动的蛋白质，于是乎，本来静默的果蝇连连跳起舞来；本来好动的果蝇静默下来。

类似地，我们也可将一些包裹着不同蛋白质的“炸弹”注射到果蝇，甚至蜜蜂中，这些“炸弹”都有一个特点，就是对光敏感。一旦遇见光，原先不活跃的蛋白质就从包裹的炸弹中释放出来，有的甚至还会阻断动物的学习记忆……

目前，还有一种“变魔法”的技术。一只小白鼠正在缓慢行走，给它照射一束黄光，突然，它像是想起什么，停止脚步，驻步不前。把黄光撤离，它又若无其事接着往前走。这时，再给

它一束蓝色光照，它突然加快了步伐，好像感到前方有激动人心的事正在发生。

这就是光控制大脑神经元的魔法现象。一旦我们给动物身上，或脑内引入一种基因，使它们产生对光敏感的蛋白质，然后，启动不同颜色的光照，光线就可以轻而易举地操控蛋白质，进而指挥动物疾走或慢行。在脑内，蓝光使神经元变得活跃，黄光则抑制神经元的活动……仿佛在操控室操控各个开关，动物的喜好因为物理光线的开启和关闭而被改变。这就是充满魔幻的光基因技术。

实际上，因为光照而改变行为的例子在自然界并不少见，我们人类日出而作，日落而息。向日葵的花盘随着太阳光转动，所以有“向日”之称。生活在水中的海藻也有趋光性，一旦太阳出来，它们就浮到水面上，拼命吸收光能。而光基因技术正是受此启发而发明，对光敏感的蛋白基因即是从海藻中提取的。人类只用操纵光线，就可随意控制哺乳类动物的疾行或慢爬，确实是一伟大的创举。

问题 1

小小的果蝇，无论从分类地位，还是从脑结构，和人类相距十万八千里，研究它们对人类有什么意义？即便清楚了它们的发病机理，对人类解决疾病又有什么贡献呢？

答案

有关果蝇的神经科学研究势头不减，反而蒸蒸日上。究其原因，最有利的一点就是果蝇的基因已调查得非常清楚，科学家可以随意制备各种基因突变的果蝇，直接把基因和行为对号入座。当我们使某些基因在果蝇体内消失，或定时启动某些埋藏在果蝇体内的“炸弹”，便可以改变果蝇的学习记忆，抉择能力……当果蝇缺少了与“注意”相关的基因，就可能变成小儿多动症的模型；当果蝇失去与运动相关的基因，就摇身变成人类运动障碍模型，小果蝇的每一步爬行都会像人类病患者一样艰难……或者像人类帕金森氏症那样，手足颤抖不停……

甚至当果蝇的未成年幼虫——也就是我们平时说的“蛆”，它们缺少痛觉基因时，我们也可以用它们来寻找人类的止痛药。

最复杂的成分也能拆分成最简单的单元，如果人类和果蝇在某些疾病的表现上有共性，就说明它们在某一点上，尤其是疾病的发病基因上，有最基本的共同点。假如我们知道果蝇体内哪个基因在起作用，而这个基因正好在人身上也有，就可以试着为人类疾病做基因疗法。

这也是很多小科学中蕴含着大发现的道理。

问题 2

当温度变化的时候，果蝇学习能力也会发生变化吗？

答案

正常状态下果蝇最喜欢的温度是 25-26° C，如果把温度提升到 32-34° C，果蝇体内的热休克蛋白就迅速合成，对其学习记忆便可能产生影响。

6. 1 立方毫米脑袋的蜜蜂

不仅果蝇是神经生物学中研究学习记忆的好帮手，它的同类，昆虫中的勤劳使者——蜜蜂，虽然脑袋小，但也有很多卓越的学习本领，使得它们不仅在昆虫界以“园丁”著称，也在神经生物学领域上占有重要的一席之地。

蜜蜂有 9 个品种，通常实验室使用的是意大利蜂，也称西方蜂(*Apis mellifera*)。

意大利蜂生性温顺，身材略微臃肿，浑身毛绒绒、黄灿灿的，珠圆玉润，总是专心致志地闷头采花蜜携花粉，两耳不闻窗外事。生活格调雍容高贵，不紧不慢。

因为意大利蜂采蜜高效，打蜜场上的蜂农多半用这个品种。一次我们在开春去云南的罗平，由于是油菜花时节，罗平的山山凹凹全铺满了金黄色的油菜花，进入罗平就像进入了花海。客车在花海中切出来的道路上缓慢行驶，辛勤的蜜蜂在花之间飞来飞去，哪不知却频频撞上我们的客车，于是车前巨大的玻璃窗上不时有蜜蜂壮烈牺牲。车速并不快，但不少蜜蜂前仆后继，撞上挡风窗，摔得粉身碎骨。看了令人触目惊心，也十分心疼——这就是蜜蜂惨烈挥舞生命的花儿的世界啊。

来到蜂农的蜂箱处，只见几十个蜂箱叠放在花海中，无数只蜜蜂密密麻麻飞舞着，寻找着各自的家。令人奇怪的是，如此高的密度下，它们居然不会相互撞在一起。总是在临到碰撞前就划了弧线绕开了，同时也撞不上其它飞来的蜜蜂。这个现象和刚才蜜蜂频繁撞上客车挡风窗十分不符。而且，蜂巢处的蜜蜂密度远远高于车道上的蜜蜂。

看来，蜜蜂之间会发出某种信号，以快速避免个体间的追尾或碰撞，而如果面对不会发出信号的客车，即便相距甚远，蜜蜂也会鲁莽地撞将上来。

当我们在实验室也养了蜜蜂，我得以有机会近距离观察蜜蜂时，我被蜜蜂的忙碌和勤劳深深感动。一早，就见小工蜂们携着花粉团急急忙忙地飞回来，它们的两只携粉足各裹了一团圆鼓鼓的花粉，花粉有金黄色、橙色、淡黄色、浅绿色，五彩缤纷。这些小工蜂一旦降落在蜂巢

前，就探头探脑，寻找入巢的门。旋即，前拥后挤一头扎进狭小的入口不见了。同时，又有干干净净的工蜂——它们一定是把花粉卸在蜂巢里了——从入口处钻出来，一旦钻出来就立即原地起飞，像弹簧一样，“腾”地不见踪影。

就这样，一只又一只蜜蜂采集了花粉，满载而归。一旦在蜂巢口降落，它们就急匆匆钻进蜂巢，同时，一只又一只蜜蜂钻出蜂巢，离地起飞……简直就像战争中的机场，战斗机紧张地起飞又降落。有的蜜蜂飞回来时由于过于匆忙，撞到了玻璃窗上，跌了个大跟头，掉落在地，但很快又爬起来，恢复常态，再次起飞，跌跌撞撞奔到蜂巢入口。还有的小蜜蜂犹如顽皮的小学生，浑身上上下下粘满了金黄色的花粉，在蜂巢门口不停地用小手和小腿刮拭花粉，好像弄不干净就无颜进蜂巢似的。也有的冒失鬼摇摇晃晃挤进蜂箱，不管花粉是怎样涂满了全身。它们大约是初学采蜜的工蜂，还不知道怎样把花粉变成团，挂在两只小腿上。我能想象，也许它们在花朵中央打了几个滚，就回来了——它们以为采蜜就是这样。这样的初学者很少，一上午只能碰到几只，绝大部分蜜蜂都在两只小腿上挂了结实的色彩缤纷的花粉团，鼓腹而歌，飞来又涌去，像与时间赛跑的搬运工似的。

看着蜜蜂忙碌的盛况，我不禁想：是什么力量驱使它们任劳任怨，争分夺秒地采集花粉，酿制花蜜呢？是生存的力量？还是某种说不清的力量？它们采花粉、花蜜并非为了自己，却是为了整个群体。而蜂王则在蜂箱里夜以继日地产卵，每天可产两千粒卵。一切显得井然有序。

后来，每每清晨我骑车到动物所上班，一进大门，就仿佛觉得自己和同事们形如一只只小蜜蜂，动物所则变成了一个巨大的蜂箱，我们每天在固定的时候飞来，在各自的巢穴做自己的事，下班的时候从蜂箱口飞走……直到我们退休，这样的往返活动才会停止。

在观察蜜蜂的时候，有时会看到体型强壮的大黄蜂如幽灵般潜入，它们头部硕大，浑身裹着醒目的黑黄相间的条纹，显得杀气腾腾。大黄蜂飞行缓慢，稳健，无声无息，看准目标，迅速靠近，抓起一只还在飞行的蜜蜂，便快速离去。

大黄蜂是吃肉的。带着蜜香的蜜蜂显然是它们首选的佳肴。在蜜蜂稀少的季节，它们也捉其它昆虫，改善生活。

有一次在动物所的操场边，不知谁遗忘了一只臭气熏天的黑桶，桶内盛了黑黑的东西。奇怪的是恶臭似乎吸引了一批大黄蜂，它们颜色鲜艳靓丽，体型健硕，像穿着黄色运动背心的田径队员，在黑黢黢的桶内跳跃，盘旋，和肮脏的背景十分不协调。

我好奇地在一旁察看，发现桶里有很多苍蝇，这才明白是什么把大黄蜂吸引到这里，原来是苍蝇。大黄蜂在费劲地捉苍蝇！

看来，这场运动远不如捉蜜蜂那么得心应手。绿头苍蝇身手敏捷，躲闪有方，既不耽误进食，又能及时逃避危险。这可忙坏了大黄蜂，它们不惜弄脏自己漂亮的衣服，在灼热的阳光下，东跳西飞，费尽九牛二虎之力，却总是扑空。不过，偶尔也有得手的时候，然后就喜滋滋飞回去，给巢内的小宝宝送美食。过一会儿它们又飞回来……

此时，蜂巢边，大黄蜂不放过任何一只蜜蜂。由于蜜蜂动作缓慢，所以，不一会儿功夫，我就见大黄蜂叼走了好几只蜜蜂。

小蜜蜂对此却毫无察觉，也没有任何警戒之举，依旧在蜂巢前埋头忙碌。后来，我听同事说，到了秋季蜜蜂减少的季节，大黄蜂捕捉蜜蜂就没有这么容易了。蜂巢边的蜜蜂变得机灵起来，它们采取不同的策略，要么直接快速飞到入口，要么采取迂回政策，想方设法躲避大黄蜂。

我拿来一个电苍蝇拍，待黄蜂入侵时，举起电拍打下去。“啪”响亮一声，黄蜂被击中在电网上，一阵抽搐。我把垂死的黄蜂放在蜜蜂飞回蜂箱的必经之路，也是黄蜂的必经之地。蜜蜂来来往往，对因痛苦而抽搐的黄蜂根本视而不见。过了一会儿，飞来一只大黄蜂，与蜜蜂不同，它马上注意到垂死的同伴，并迅速俯冲下去，在垂死的同伴上空盘旋了几圈，突然直冲我飞来！

看来黄蜂的判断是对的，我也迅速举起电苍蝇拍反击，大黄蜂仓惶而逃。

小蜜蜂还是跟什么都没发现似的，依旧忙忙碌碌地采花蜜，运花粉……好像命中注定就是这样，一切威胁和痛苦都不能阻止它们劳动的快乐。

在感动之余，我们会想：蜜蜂是怎样知道在哪儿可以采到丰盛的花蜜和花粉？又怎样将它们送回千里之外温暖的小家呢？

外出采蜜的蜜蜂是工蜂，它们的大脑只有1立方毫米，1毫克重，却有95—100万个神经元。人类的大脑约1.4公斤重，所含神经元数目是1000亿，相当于银河系星球的数量。

拥有小得几乎看不见的脑袋的小蜜蜂，为何有很多令人惊叹的智能呢？

蜜蜂的眼睛

长期以来，人们一直感兴趣于蜜蜂是如何寻找花源，并把花源的确切位置转换成舞蹈，告诉同伴，使得它们群体出动寻找花源。

一些科学家认为，蜜蜂是根据花粉花蜜的卡路里含量来决定选择什么样的花朵。它们可能遵循一个简单的规律：奖励成分越高，则越趋向于该奖励。这与其它动物通用的“追求更多的”

原则是一样的。

蜜蜂具有发达的复眼，因而视力很好，能够一眼就看清物体的形状、颜色。可是，蜜蜂怎样从万木丛中一下子就发现有花蜜的花朵呢？

蜜蜂的复眼只能看到蓝光、绿光等。此外，它们可以感觉到一些我们肉眼看不见的光，比如紫外光。这是蜜蜂能够快速探测花朵的秘诀，也是蜜蜂最奇特的地方之一。在紫外光线照射下的花朵，比我们在正常光下看见的花朵更绚丽，细节也更丰富，尤其花的中央花蕊部分——也就是花粉所在之地，在蜜蜂眼里特别醒目，特别艳丽。

一朵迎春黄花，在我们人类眼睛看起来通体艳黄，除了黄色，没有其它颜色。但在蜜蜂眼中，这朵花是粉色的，而花心却是奇异的玫瑰红，还带有暗红色的条纹流向花蕊，使得蜜蜂一眼就能辨别花蕊在哪里，所以蜜蜂不费什么功夫就直奔主题而去。

蜜蜂也是辨认形状的高手。把蜜水放在一个盘子的中央，在盘子的四周，呈圆形围一圈彩色的小矮人模型。第 1 只蜜蜂偶然发现了蜜水，随后它回巢跳舞，蜜水的信息变成了舞蹈语言，兄弟姐妹一看即懂。不一会儿，大量的蜜蜂纷纷涌到小矮人这里。待它们都来采蜜之后，将蜜源撤去，结果蜜蜂还是会飞来，围着空盘子转悠。它们是记住了盘子本身呢？还是蜜源外的小矮人？我们把空盘子移开到小矮人圈外。这时，可以看到蜜蜂多盘旋在小矮人围成的圈内，说明它们是靠某些标记物来定位的。那么，它们是借助标记物的颜色，还是几何形状呢？我们将小矮人围成一个三角形，另外用小鸟的彩色模型围成一个与原先小矮人相似的圆形。这时，蜜蜂选择哪个呢？答案见下。

答案

它们选择了小鸟模型围成的圆形。说明它们是凭借标记物的几何图形来识别方位的。

欢喜喝糖水

蜜蜂的嘴喙就像我们喝饮料的吸管一样，但却是扁平狭长的几缕，它们吸食蜜水的速度快得惊人。只要小蜜蜂把嘴喙欢快地探入蜜水中，几秒钟后，一大滴蜜水就不见踪影，全都跑到它肚里去了。

蜜蜂的嘴喙相对它们的身体来说很长，有时可达 5 毫米长。所以我们可以肉眼观察，或用摄像头将其录制下来。由于蜜蜂总是飞来飞去，容易蜇人，现在最常用的一种方法是将小蜜蜂固定在小管子里，只露出它们的头，这样就可以察看蜜蜂嘴喙的伸缩情况，同时配与不同的气味，建立条件反射，检查它们的学习能力。

小蜜蜂舒适地呆在小管子里，突然闻到一阵好闻的柠檬气味，随后，它愉快的小触角被蘸了糖水的牙签棒轻轻碰了碰，它赶快把嘴喙伸了出来，于是喝到可口的糖水。

过一会儿，突然它又闻到一阵同样好闻的玫瑰花气味，但这时，触碰它小触角的却是干燥的牙签。小触角将这种“什么也没有”的信息传到大脑，大脑又将阻止伸喙的命令传达出来，于是，小蜜蜂的小嘴喙很吝啬地蜷在嘴下，没有舒展也没有伸长，因为它们从来不喜欢做无功。

经过这样的训练之后，小蜜蜂很快就能区别哪种气味代表糖水，哪种气味预示什么都没有。因而，当我再给蜜蜂闻玫瑰气味时，它绝不伸喙。但是一闻到柠檬气味，就迫不及待把嘴喙探出来，欢喜地喝糖水。

这一过程有一专业术语——伸喙反射。情形很像巴甫洛夫的经典条件反射中狗听到铃声就伸舌头、流口水一样。

运用蜜蜂的伸喙反射，给它们安排一些学习作业——让它们闻气味或看图片，使它们学会将圆形、蓝色、或柠檬气味中一项与糖水相联系。之后，我们给它们复现这些情景，由于回忆起从前愉快的经历，它们就会把喙伸出来。此时，我们可以记录它们脑内的活动。用电生理或钙成像技术，监测脑内某个特定细胞的放电，或某块脑区的兴奋性（一旦脑区活跃，钙水平即刻增加）。于是我们就知道在蜜蜂小小的脑袋中，是哪些脑细胞或脑区操控它们正在回忆的任务。

问题 1

如何将会蜇人的小蜜蜂老老实实放在小管子里，检测它们的伸喙反射呢？（提示：昆虫在低温下，大多数会昏迷，晕倒，形如麻醉。）

答案

将蜜蜂放到碎冰块或冰箱里，1、2 分钟之后，小蜜蜂就昏迷到地，一动不动了。此时，将它们套入小塑料管中，使其头部露出在小管的顶端，用胶带纸将蜜蜂粘好。或用溶化的蜂蜡和甘油将小蜜蜂的背部粘在管缘，它就不能飞啦。只几分钟，蜜蜂就从麻醉中苏醒，开始扭动它的身躯，摆动它的头，变得活泼好动，但这时它发现失去了飞翔的自由。把装了蜜蜂的小管子一排排竖起来放好，就好像士兵接受检阅似的。蜜蜂很快就在各自的小管中安营扎寨，随遇而安了——好在这样的小管子和它们的蜂巢结构很相似，虽然不是紧密相连的，但也可与蜂巢的

管状结构媲美。

问题 2

我们还给蜜蜂做过这样的任务，将薄荷香精混入糖水，用细针管吸满饱含香味的糖水，将一滴糖水悬挂在针头尖，在蜜蜂面前左右轻晃 6 下——这时蜜蜂们被束缚在小管子里。待它们彻底闻够薄荷的气味后，用糖水轻轻触碰它的小触角，因为触角感知到糖水，蜜蜂马上将嘴喙伸出来，热切地喝糖水。相反，我们将天竺葵花香精混入浓盐水，在蜜蜂充分闻了天竺葵花香味后，触角感受到的却是不爽口的浓盐水，这可没有一点吸引力，甚至令人厌恶。所以，小蜜蜂的嘴喙没有动弹。如此训练 1 次，间隔 1 个小时之后，再给蜜蜂闻这两种气味，蜜蜂将怎样反应呢？

答案

蜜蜂若是闻到薄荷香味，便成了“闻香识蜜蜂”，迅速将嘴喙递过来，因为从前的经验告诉它：薄荷气味是和糖水相伴的。反之，若是天竺葵花香，则不伸宝贵的喙。当然，这是学习成绩好的蜜蜂所为，如果记忆力差的蜜蜂，则很混乱，不能正确判断。

问题 3

做伸喙反射实验，有一个很关键的步骤，即一定要排除蜜蜂本身对气味可能存在的特殊偏好。也就是说，蜜蜂可能天生就喜欢气味 A，而厌恶气味 B。如果给蜜蜂糖水+气味 A，盐水+气味 B 时，得到的实验结果就会缺乏公正性。如何设计实验，排除蜜蜂可能存在的对天然气味的特殊偏好呢？

答案

当我们给蜜蜂训练糖水+气味 A，盐水+气味 B，之后，还要做一个反转实验，即糖水+气味 B，盐水+气味 A，再训练另一批蜜蜂，如果蜜蜂仍然能够很好地完成这个任务，就说明我们已有效地排除了蜜蜂可能对气味 A 或 B 的自然偏好。

此外，我们还可以在实验前，先用两种气味检测蜜蜂是否有自然偏好。在不给奖励（糖水）或惩罚（盐水）的情况下，分别给蜜蜂 A 或 B 气味，看它们伸不伸出嘴喙。若它们频频伸出嘴喙，就说明它们天生喜欢这样的气味。

在这类实验中，最好选用没有任何采花蜜花粉经验的蜜蜂，因为它们对花香一无所知。如

何才能做到呢？我们可以把尚在蛹壳里的蜜蜂放到温度恒定的人工孵化箱中，很快，稚嫩的蜜蜂就从六边形的巢洞中钻了出来，它们在蜂巢上爬来爬去，见了哪个洞穴里有蜂蜜，就一头扎进去，只露着尖尖的尾部在外面，随喝水一伸一缩。喝够了它们再退出来。这些小蜜蜂自打出生，就从来没有接触过花香，用来做嗅觉实验较为公平。

刚出来的蜜蜂浑身柔软，覆盖了一层薄薄的黄色绒毛，肚子松松扁扁，看来已经饿得不行。给它们喂食糖水，几天后，它们就强壮起来，腹部开始饱满闪光，条纹颜色变深，似巧克力样的褐色。此时它们已具备了蜇人的能力。孵化 7 天后的蜜蜂就可以做实验了，这时，它们已是学龄前儿童，到了可以上学校学知识的时候了。

问题 4

通常，蜜蜂外出寻蜜，远远地闻到花香，就飞过去，再用紫外眼检查一下，花朵颜色不错，那就确定是这些花了。如果我们反向思维，在蜜蜂离巢时给它们一种花香的气味，也就是给它们一种暗示，它们能否主动寻找带这种气味的花朵或蜜源呢？

答案

会的。我们可以训练蜜蜂到 A 地采集含有玫瑰气味的蜜水，然后，训练蜜蜂到 B 地采集含柠檬气味的蜜水。A 和 B 两地间隔一定的距离。当它们学会分别到这两个地方采集蜜水后，在它们出发前，让它们闻玫瑰气味。结果，小蜜蜂就都飞到 A 地去寻找含玫瑰味的蜜水。反之，在它们要离巢的时候，给它们闻柠檬气味，小蜜蜂们就愉快地接受暗示，飞赴有柠檬蜜水的 B 地去了。

辨别气味在蜜蜂的寻食过程中非常重要，在实验室中，我们可以使用单一气味来训练蜜蜂，但是在自然界中，气味绝不是单一的。所以，一些科学家就研究蜜蜂对复杂气味的辨识和记忆。给蜜蜂同时闻 A 和 B 两种气味，结果可能出现三种情况：1) 蜜蜂分别闻到了 A 气味和 B 气味，用公式表示： $A+B=A+B$ ；2) 蜜蜂闻到的是一种新气味，即 A 和 B 混合产生出一种新的气味 u， $A+B=u$ ；3) 蜜蜂分别闻到了 A 气味和 B 气味，同时也闻到了 u 气味，即 $A+B=A+B+u$ 。

研究蜜蜂对混合气味的识别，我们便可探知分类地位虽低，但嗅觉异常灵敏的非脊椎动物小蜜蜂，在气味搜索和学习中采取的策略是什么。

问题 4

小鸡的记忆有短时、中时、长时记忆之分，那么在昆虫的记忆中是否也有类似的分类？

答案

是的，理论上，几乎所有动物的记忆都可根据保持的长短，有短时和长时之分，介于短时和长时记忆之间的就是中时记忆。

在昆虫中，也有类似的记忆之分，但时间比小鸡的更短。保持 1 分钟以上的，为随时可撕去的便笺式短时记忆，15 分钟为中时记忆，1 小时以上为书本式的长时记忆。

同样，长时记忆需要蛋白质来形成，所以果蝇若凡事都要形成长时记忆的话，将付出惨重代价——不停地生产蛋白质，最终可能导致寿命缩短。因而每一段长时记忆对于果蝇来说，便代表着向坟墓靠近一步。所以，很多聪明的果蝇宁愿选择健忘，以换取更长的寿命。

智取迷宫

将蜜蜂束缚起来，对我们的研究有便利之处，可以防止被蜇，也便于细察它们嘴喙的伸缩。但是蜜蜂在小管子内可能会觉得不适应，因为毕竟失去了大部分自由，因而，可能会对实验有一些干扰。

所以，科学家还设计了适合蜜蜂飞行的各种迷宫，小小的蜜蜂在简单或复杂的迷宫中更能够发挥探路的本领，很容易在迷宫中找到糖水。

迷宫在人类社会中已有几千年的历史，自古它被用作娱乐、战争、竞技，伴随人类的智慧历程，迷宫的设计也越来越高超，甚至还有电脑虚拟游戏迷宫。

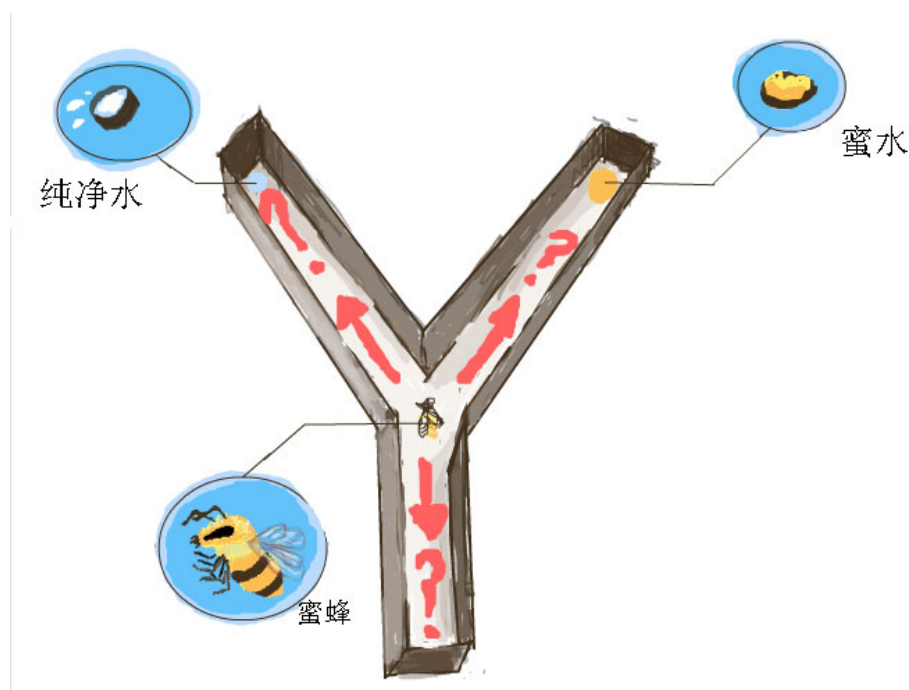
实验室中，迷宫除了用于大小鼠，还用于一些低等动物，如线虫，甚至阿米巴菌都可以成功漫游迷宫。

小蜜蜂在迷宫中也毫不逊色，不过，相对于大动物的迷宫，它们的迷宫较为小巧可爱。

这天，我和澳大利亚国立大学蜜蜂视觉实验室的朱宏老师坐在敞亮的暖房里，天空是湛蓝色的，堪培拉的冬天下过雨后很晴朗。阳光悠闲地在暖房顶上游过来荡过去，透过房顶洒下来，明亮而温暖。

朱老师和我坐在蜜蜂的迷宫旁——运用这样的迷宫，朱老师和她的丈夫张少吾教授在世界顶级杂志《自然》和《科学》上已发表了多篇有关蜜蜂认知学习的论文。

蜜蜂的迷宫是一个约 3—4 米长，由塑料板构成的 Y 字形装置。一个长长的走廊通向两个分叉的顶端。蜜蜂从走廊入口处飞进迷宫，到了走廊末端它们将面临选择，一个入口进去将有糖水奖励，而另一个入口进去什么也没有。



蜜蜂闯迷宫（周穆如 12 岁画）

小蜜蜂天性警觉，不会轻易钻入陌生的迷宫内，所以开始实验时，我们要耐心地教它们一步一步迈入迷宫内。

引入蜜蜂的第一步，便是在蜂巢到迷宫沿途，放置一个个可渗出蜜水的小瓶——我们称为蜜源。由于是冬天，蜜蜂的活动不如春天频繁和热烈。我们等了一会儿，几只蜜蜂发现了蜜源，飞了过来，停留在小瓶上喝蜜水。朱老师教我用水彩在蜜蜂的背部点上颜色，作为标记。不同颜色代表不同的数字，这样我们就可以区分各只蜜蜂。蜜蜂喝起蜜水来专心致志，所以，它们对于标记在背上的水彩不太介意，偶尔有挑剔的蜜蜂翘起后肢挠一挠背上的水彩，再接着专心喝蜜水。

喝够之后，小蜜蜂就飞回蜂巢，不出几分钟，它又飞回来喝蜜水——这也是蜜蜂比小鼠或大鼠在这类实验上更具优势的原因之一。蜜蜂不像自私的小鼠，只顾自己吃饱，吃饱之后就不再取食。蜜蜂是辛勤的搬运工，在一天之内可以反复采食花蜜，喂给蜂巢里的同伴。所以，用蜜蜂做这样的实验效率很高。就这么来来回回，不多长时间，便可以看到背着各种颜色的小蜜蜂在蜜源和蜂巢之间来回穿梭。

这时，把蜜源向迷宫内移。小蜜蜂又飞来，一看，咦，蜜水呢？找一找，很快就发现蜜瓶新的位置，于是飞过去，吮吸蜜水。就这样，一步一步移动蜜瓶，直到它到了迷宫的内部。小蜜蜂很有经验，一旦喝饱了蜜水，就飞起来，倒退着，在蜜源上方盘旋几圈，好像直升机考察地形一样，然后才飞离迷宫，这样就牢牢记住迷宫中蜜源的位置，下次再来时便不难找了。

待蜜蜂学会之后，我们在蜜蜂飞行途中，设置一些不同图形的挡板——可以看到蜜蜂每次遇到新的不熟悉的图片时，它们会很犹豫，在原地徘徊，不知道是不是应该继续前行。总会有几只蜜蜂非常勇敢，大胆闯入迷宫，不管发生了什么样的新情况，这类蜜蜂学起来速度非常快。

蜜蜂在这样的迷宫中，能够区分重心偏下，而不是偏上的图形后面藏有糖水，圆形而不是方形的图形后有糖水。它们还会在迷宫中做算术题，最高能数到 3-4。

蜜蜂具备很出色的工作记忆，所以，它们能轻松完成猕猴和大小鼠也喜欢做的延缓配对作业。这项作业的关键还是延缓时间的长短。和其它动物的测试方法不同，在啮齿类和灵长类动物中，我们可以主动调节延缓时间的长短。但在蜜蜂的学习中，我们要尽量保证它们的自由飞翔状态，因而无法限制它们什么时候起飞。研究人员想出一个好办法，使蜜蜂既能自由飞行，我们又能控制它们的飞行时间，这是个什么样的办法呢？（见问题答案）。

除了蜜蜂和果蝇，昆虫世界中的蟋蟀、蚂蚁、蝗虫，甚至蟑螂都是科学家研究的宠物。它们体型虽小，但却具备超强的感觉优势和生存能力。我们可以训练这些小昆虫，使它们闻到某种气味，或看到某种图形，就凑上去，因为它们知道糖水或美食即将来临。相反，闻到另一种气味，或看到另一种图形，它们要学会躲避，因为在这类线索的后面，隐藏着残酷的电击或难喝的盐水。这些貌不起眼的小型昆虫，在科研人员耐心的调教下，很快就学会了趋向奖励而躲避厌恶的刺激，在这一点上，昆虫和其它高等动物一样，无一例外地陷入了巴甫洛夫的条件反射定律。

问题 1

如何在蜜蜂迷宫中控制它们的飞行时间，从而使它们在执行延缓反应任务时的延缓时间可被人为调节呢？

答案

蜜蜂的飞行速度基本上是不变的。因而通过调整 Y 迷宫走廊的长度，我们可以控制蜜蜂的飞行时间。如果走廊的距离长，蜜蜂飞行的时间就要长些。反之，如果我们想让蜜蜂在做选择之前的延缓时间短，就缩短迷宫走廊的距离，这样蜜蜂很快就飞到目的地，进行选择。

问题 2

蜜蜂每天辛勤地飞来飞去，我们如何测定蜜蜂的活动量呢？

答案

在蜂箱里装上摄像镜头，就可以察看蜜蜂的活动。但是我们也可以用另一个更巧妙的方法。

当你将一个乒乓球放在水中，球很轻，飘在水面上。这时你用手指在乒乓球上轻轻一拨弄，球就会转动。

如果把蜜蜂放在乒乓球上，只要蜜蜂一动脚，球就会滚动，球的运动情况就相当于蜜蜂的运动情况。但是，在水中的乒乓球并不好控制，所以，人们设计出一种用气流支撑浮球的装置。

在一个玻璃管道中，风扇匀速地将一股气流向上传送，管道口有一个泡沫塑料做的非常轻盈的浮球。气流将浮球轻轻托起。蜜蜂就着陆在浮球顶端，它的翅膀被一张小纸片粘住了，纸片将它夹在浮球上方的支架上。它无法飞行，但是脚却可以在浮球上走动。只要蜜蜂的脚一动，轻盈的浮球就会随着移动。蜜蜂缓慢走几步，浮球就轻轻转动几下；蜜蜂疾跑，浮球就像个飞速旋转的陀螺，疾速滚动。

在浮球两旁安装两只电脑用的光电鼠标，鼠标就将浮球的移动情况真实地记录下来，用编好的软件，我们就可以记录浮球向左向右，向前向后的移动，便知道蜜蜂跑得多，还是行得少，并且还可以知道它是向哪个方向而去……

里程表的欺骗

在澳大利亚国立大学湖边的小路上，不时见到各种漂亮的小鸟和黑天鹅在悠闲地散步，寻找食物。

来到湖边一个土丘前，朱老师指着土丘上的小草棚，兴奋地告诉我，那是他们做实验搭的小棚，那篇著名的蜜蜂飞越湖面的跟踪试验就是在这儿完成的。他们和几个德国来的教授、学生一起，把蜂箱搬到小棚内。然后从小棚到湖边几百米的距离处，由近及远分别在不同的地方放置糖水瓶作为蜜源。

他们先哄几只蜜蜂在蜜源上喝糖水，这几只蜜蜂就会飞回去通风报信。很快，蜜蜂就知道哪里有甜蜜的糖水。再把蜜源一步一步引向湖边，继而移向湖面的小船上，一直移到湖对岸……整个过程一定要循序渐进，蜜源移动距离不能太大，否则蜜蜂会因一时找不到蜜瓶的新位置而放弃任务。

蜜瓶移到湖对岸后，小蜜蜂就飞越湖面去寻找蜜糖水了，研究人员在对岸等待着蜜蜂的出

现，并在它们的背上涂颜色，做记号。在训练蜜蜂飞越湖面的同时，他们也训练了一批蜜蜂在湖边的陆地上相同的距离处寻找蜜源。然后比较两类蜜蜂在蜂巢内跳摇摆舞有什么不同。

为什么要这样做呢？在解释这个实验之前，有两点需要说明。

第一，当蜜蜂飞行时，两旁的风景就会向后迅速移去，这个现象被称为“光流”(Optic flow)。我们都有这样的体验，坐车时，身边的树木、房子等景物飞速向后退去，表明我们前行的速度非常快。如果景物向后倒退得慢，我们前行的速度就相对较慢。仿佛我们揣着一个视觉里程表、计时器，可以对自己移动的速度和里程估计得八九不离十。但里程表也有失误的时候，倘若我们以很快的速度在空旷的地带疾行，远处的景致后移的速度似乎很慢，容易使我们产生错觉，好像我们前行的速度较慢。在飞机上，云彩后移的速度非常慢，甚至有时感觉它们是静止的。而我们的速度其实是所有交通工具中最快的。因而，“光流”里程表有时会给我们的判断造成失误。那么，在蜜蜂上是不是也存在类似的判断误差呢？进一步，如果它们有这样的误差，那么就表明它们和我们人类一样，可能是用光流里程表来计时和估算距离的。

第二，蜜蜂的舞蹈代表着蜜源的方位和远近。所以，观看蜜蜂在蜂巢内的舞蹈，我们可以大体推算出它们向同伴表达的信息——蜜源的距离和在什么位置。

蜜蜂在巢内的舞蹈大致有两种：“摇摆”舞蹈(Waggle dancing)和“环形”舞蹈(Round dancing)。当蜜源的位置距离蜂巢 50 米之内时，蜜蜂跳的舞蹈就是简单的环形舞，也就是转圆圈舞。当距离大于 50 米时，蜜蜂的舞蹈变成了复杂的“摇摆”舞。也即是人们常说的“8”字舞。蜜蜂先向左绕个圈，再向右绕个圈，在两个圈的交界处，它们会强烈地煽动翅膀，摇摆尾部，整个身体就像处在剧烈的地震中似的。

摆尾的次数代表了蜜源的远近，“8”字的两个圈圈交叉重叠处的方向透露了蜜源与太阳光源之间的角度。

知道了这两点，我们就可以根据这些原理设计蜜蜂的“光流”实验。

第一组蜜蜂是在湖面上飞翔，广阔的湖面缺少景物，如果蜜蜂和人一样，也易产生错觉，它们会以为飞行的距离不长。而在陆地上放飞的第二组蜜蜂则有丰富的景物做参考，陆地后移的景致令它们认为飞行的距离远于湖面距离。实际上，湖面和陆地的飞行距离是一样的。

如果是这样的话，我们就可以认为，蜜蜂是依据“光流”里程表来确定飞行距离的。研究人员回过头来核对蜜蜂的舞蹈。果然，第一组跨越湖面的蜜蜂跳的舞蹈摆尾次数少于陆地飞翔的蜜蜂，这组蜜蜂向同伴传达的蜜源的距离低于正常距离。而陆地飞行蜜蜂传达的信息是正常的。因而，蜜蜂飞跃光滑的湖面时产生了距离错觉，蜜蜂平时判断蜜源的距离借助的是“光流”里程表。

在实验室中如何确证蜜蜂是依赖“光流”来定位蜜源的位置呢？

澳大利亚的学者又设计了一个巧妙的实验，他们在蜂巢外安装一条隧道，蜜蜂外出采蜜时，必须穿越这条隧道。隧道两边画满了垂直的、间隔密集的条纹。蜜蜂飞行时就像是穿越了漫长而拥挤的树道，它们容易以为飞行了很长距离。因为细密的条纹往后移动时，使蜜蜂产生错觉，认为它们移动速度很快。这时，当蜜蜂飞出隧道找到蜜源，返回蜂巢跳舞时，就会告诉同伴错误的里程信息，使得同伴飞到比实际距离远的地方去寻找蜜源。真是聪明反被聪明误！

而如果隧道墙壁的条纹稀疏，看起来景物后移速度减慢。这种情况下的蜜蜂回去跳舞报告同伴的就是近距离的蜜源。

随之，另一个疑问可能会产生，研究人员发现蜜蜂在隧道里飞翔时，总是准确无误地在管道中央飞行，蜜蜂凭借什么将自己不偏不倚地放在隧道中央飞行呢？这也是一件司空见惯的事实，飞行的昆虫和鸟，在一个圆形管道中总是选择中庸途径，人在隧道中开车，也倾向于走中间，似乎这样更安全。

为了研究这一“理所当然”的现象，科学家让蜜蜂在实验室内的一条人造通道中飞行。在通道的两侧画有垂直条纹。当两侧条纹的粗细、间隔一致时，蜜蜂总是在通道的中央飞行。那么，它们是依据什么线索来判断并计算，严格遵守中央飞行的原则呢？

根据“光流”里程表，读者可能已经推测出，蜜蜂或许会利用通道两侧的条纹疏密度来调整飞行方向的吧。可是，我们将怎样用实验来证明呢？

既然已经知道，管道条纹一致时，蜜蜂飞行在中央，感觉到两侧条纹向后移的速度是一样的，如果让管道两侧的条纹变得不一样，蜜蜂的飞行情况又将有什么变化呢？

结果出乎意料，小小的蜜蜂还是遵循中庸政策。我们可以设想，小蜜蜂一开始时有点迷惑：左眼已经向后晃过 5 棵树了，右眼却才扫过 1 棵树。似乎有点不对劲，但是，两边管道墙壁向后移动的速度毕竟是一样的，所以，里程表及时得到调整，小蜜蜂很快就飞到中央轨道。

那么，如果两边墙壁会移动，造成速度上的差异，将出现怎样的情况呢？

当一边墙壁的条纹变成动态的，方向和蜜蜂前行的方向一致，也就是说，一边墙壁的条纹开始和蜜蜂一样往前走，这时，蜜蜂的飞行轨迹出现了偏移，它靠向了移动的墙壁——因为这块墙看起来移动速度太慢了，是“远景”。一远一近，视觉发出不对称的信号，蜜蜂身体开始不平衡，它便不由自主调整飞行，以缩短和“远景”的距离，而加大和“近景”的距离。

相反，如果把这边墙壁的条纹方向调转，变得向后移，和蜜蜂逆向，这时，光流里程表给蜜蜂的信息是这边景物的后移太快，是“近景”，需要远离，所以，蜜蜂就转而趋向不动的那

块墙。

可见，蜜蜂的确是根据景物后移的“光流”来制定中央飞行原则。

人类被试若在一个虚拟的隧道里模拟开车，隧道两侧的景物后移速度将决定被试的前行方向。只有在隧道两侧的景物后移速度保持一致时，被试才会把虚拟的车开在隧道中央。景物后移速度稍不一致，行车方向将偏移，被试由此保持身体尽量平衡。

朱老师一讲起他们的蜜蜂实验，就滔滔不绝，神采飞扬。她柔和的脸颊上闪现着微笑的光芒，于是我又看到两个字：热情。因为对科研的无限热情，使得他们虽然孤独地身居国外，但在神经生物学研究中建树颇丰，是在国际顶级杂志上发表论文最多的中国人之一。

小贴士

什么是拓扑？

“拓扑”从英文 Topology 直译过来。其直译的意思是“地貌”，“地志学”，原意是研究地形、地貌的学科。后来，拓扑学也发展为数学的一个学科，成为几何学中的一个分支。

假设一个物体是实心的，中间没有洞，如一团随手捏揉的橡皮泥。另一团橡皮泥则在中间掏了一个洞。两团橡皮泥只要一个内部有完整的洞，另一个没有洞，这两团橡皮泥的拓扑性质就不一样。而如果两团橡皮泥，无论一个揉成一只鸭子，另一个揉成一片叶子，只要它们中间没有洞，它们的拓扑性质就是一样——也就是说，这两团中间没有裂隙或空洞的橡皮泥在“地貌”上是一致的。

人类可以在 5 毫秒内，飞快地区分一个物体有洞还是没有洞。当某个图形快速呈现眼前，眼睛还看不清究竟是什么东西时，你却能够辨别图形有洞还是没有洞，将有洞的归为一类，没洞的归为另一类。在这段时间，大脑还来不及反应，所以我们人类可以下意识地迅速辨别物体的拓扑性质。

绝大部分哺乳动物均可区分简单的拓扑性质。在几个形状不同的物体中，小鼠首先根据有洞无洞，将物体进行分类。空心的正方形“□”和空心的圆形“○”在小鼠看来是相似的，因为在它们内部均有一个洞——中间的空心。小鼠还会把实心的正方形“■”和一个粗体的“S”看作一类，因为两个图形中间没有封闭的洞。小鼠不会根据形状，将外形轮廓一致的“□”和“■”看作是一类，因为它们两者内部一个有洞，一个没有洞。

这种把“有洞无洞”首选为判断物体特征的本领，可能和哺乳动物总是在洞穴内生存有关，

动物回家首先要寻找到作为巢穴的“洞”。山坡上或墙角处的“洞”对于它们来说意味着安全，因而，它们也许由此进化出对“洞”的敏锐。

我国中科院生物物理研究所的陈霖院士和澳大利亚的张少吾教授合作发现，蜜蜂也可以成功地区分拓扑性质不同的图形，比如一个空心圆“O”和一个实心圆“●”虽然在轮廓上近似，都是圆形，但是聪明的小蜜蜂很快就发现它们两者其实是不一样的，它们一个是空心且有洞的，另一个却是实心，没有洞的，因而不属于一个拓扑类别；一个空心正方形“□”和一个十字叉“+”也不同类，前者中央有空洞，后者却没有洞。相反，“O”和“□”因为都有空洞，在拓扑上是一致的；“●”和“+”因为没有空洞而具有一样的拓扑性质。蜜蜂能够成功区分哪类拓扑图形后面藏着糖水。

问题 1

空心和实心的正方形，“□”和“■”，如果边长一样，那么，光通量——也就是我们人眼能够感觉到的光线强度是不一样的，空心的正方形“□”若在白色背景上，会显得比实心正方形明亮得多，可能令人产生错觉，觉得它面积很大。而实心“■”则因为是黑色的，会显得暗淡而缩小。若是这样，一个物体看起来“亮”和“不亮”，“大”和“小”将有助于我们区分它们是否属于一类，而并非完全依据“有洞无洞”这一拓扑性质？如何排除光通量的干扰呢？

答案

保持光通量的一致是拓扑实验关键的一步。当选择两个拓扑性质不一样的图片时，必须保证两个图片中黑色的部分面积相同，以确保同等面积的黑色进入眼帘。因而，两个图形对眼睛的光刺激是一样的，被试便无法区分哪张图片更亮，哪张图片更暗，他们只有完全依赖拓扑性质的不同而区分图片。

从前为了做到这一点，需要将图片的黑色部分剪下来，用天平秤，以确保它们的面积等同。现在，我们可以运用软件计算每张图片的黑色面积是多少，进行绘图。

问题 2

实心的圆形“●”，与粗体的“S”在拓扑上是一致的，因为它们都没有形成封闭的洞。那么，空心的圆“O”，与有一个小缺口的空心圆“C”相比，它们的拓扑性质是一样的吗？

答案

不一样。只要有了一个小缺口，虽然乍一看，都是空心图形，但一个形成了封闭的洞，另一个的空心内部和外部是连通的，没有封闭的洞，所以，尽管有细微差别，但在拓扑上却是天壤之别。

问题 3

研究拓扑认知，在我们实际生活中，有什么意义？

答案

拓扑认知能够解决一个很有意思的问题——究竟我们看一个物体是“自上而下”还是“自下而上”？也就是先看大局，再看细节，还是倒过来，先看局部，再看整体？这在我们看一幅画或一幅照片的时候，尤其明显。巴黎卢浮宫有一幅奇特的男子肖像画，这张五彩缤纷的画是由蔬菜水果组成，远看是一幅男子的侧面头像。近看就发现男子的鼻子是一个绿色的瓜，脸颊是一个红润的油桃，下巴是个熟透的无花果，他的头发由玉米、葡萄点缀，而眉毛却是一缕麦穗。它是由朱塞佩·阿尔钦博托（Giuseppe Arcimboldo）1573 年创作。这个出生在米兰的画家擅长将瓜果、海鲜、树根巧妙地拼成一幅幅肖像。



如果我们先看到头像，再看到各个水果蔬菜，就说明我们运用了“自上而下”的策略。事实上，陈霖院士一直致力于研究拓扑认知，他采用各种实验证明“大范围优先”，也即是当我

们认识一个物体时，我们首先注意的是它的轮廓、形状，其次才是物体的质地，细节是什么，甚至有多少瑕疵……陈霖院士的理论在国际上得到很多同行的认同。

7. 只有鱼儿才知道

记得上小学时，常去一个废旧的水池中捉鱼。那是一个泡洗金属仪器的水池，不知不觉就有了小鱼在水中游。仿佛蒲公英的种子似的，飘落下来，就生出很多小的生命来。水池边有台阶浸在水里，上面铺了一层薄薄而滑腻的青苔。我们赤足踩在台阶上，躬着腰，耐心地等啊等。看见小鱼静静地游来，也不慌，悄悄把两只手掌拢起，伸到小鱼的下方，手掌再随着小鱼游一段，慢慢抬高，直到露出水面，这样小鱼就稳稳地落入手掌中了。捉到的小鱼都是不足一厘米长的幼鱼仔。放到罐头瓶中，可以养很长时间。

可是有一次，不知什么缘故，妈妈把我养着鱼的小罐头瓶倒了，瓶里的小鱼不见了。我生气地躲在门背后抹眼泪，怪妈妈粗心。

从此，对鱼就有一种敬而远之的感情，好像那是一群遥远而美丽的仙女，我只能远远地观望，永远也别想靠近。

后来一次郊游，很随意地从溪水中带回家几只小虾，连同几根水草一起放入玻璃鱼缸中，不料，虾们竟蓬蓬勃勃地繁衍起来。水草上常常见到晶莹的虾卵，小虾和大虾们在不大的鱼缸中悠然自得地生活着。直到后来出现了很多白化的虾，它们的眼睛白得发亮，身子也明显泛白。随后，我们又引进了几条鱼，很快，虾们数量锐减，我们看了也干着急，最后，鱼缸里只是鱼的天下了。

在实验室里，有个年轻的女研究生非常喜欢水培植物，她桌上放着一株根部泡在水里的绿色龟背竹，植物的根系很发达，几乎挤满了瓶子。在不大的空间中，赫然游着一尾红色的金鱼。那神仙般的金鱼飘飘然在植物的根系中穿梭，使得这瓶植物从上到下都那么优雅、生动。

有一天，实验室外间要消毒，大家用紫外光照射了几个小时，有金鱼和植物的这间小屋并没有消毒，但门是开着的，所以空气是连通的。周末过去了，我们像往常一样来上班，养鱼的女孩叫了起来：看啊，我的金鱼变白了！我们凑上去一看，果不然，原先红色的金鱼现在一半身子都发白了。大家议论纷纷，好好的鱼儿怎么一下子就褪色了呢？想来想去，只有一个可能的原因，那就是几天前的外间紫外光消毒。紫外光的照射使空气中的氧气发生光解，产生臭氧。臭氧的积累使空气中弥漫出一种特殊气味。难道小小的鱼儿对空气中臭氧的变化有这么强烈的反应吗？何况它还是生活在水里，没有直接暴露在空气中啊。这不禁令我想起小小的蚂蚁能够

感知地震，水中的泥鳅能够预知暴雨的来临……很多貌似幼小的动物有着比人类灵敏得多的感知……

静静的一周过去了，我每天使劲地嗅空气，期望能从中觅到任何反常的气味。在细胞培养间，我可以准确地分辨紫外消毒后特有的味道，但是，在这里，一切都是徒劳的。素来鼻子灵敏的我最后不得不放弃，但是那游曳在根系间的小金鱼却一如既往地褪色，最后我们看到的是——一条浑身泛白，没有一点妩媚的“苍老”的鱼了——说它老，是因为它身上的颜色真的好像老人满头的银丝。美丽不在，元凶为孰？



对外界敏感的小鱼 （周穆如 12 岁画）

鱼是很脆弱的动物，同时也是实验室中的一名好帮手。这不由地让我想起在曼谷神经科学学校上课时，听一个美国教授讲有关“斑马鱼”的实验，他神采飞扬，像讲故事一样津津乐道，不禁令我对斑马鱼充满好奇。后来发现，斑马鱼作为一种实验动物，名字频频出现在生物学术论文中，原来它已经是“元老级明星”了。

8. 明星斑马鱼

人们给斑马鱼如此好听的名字，也许为它们的娇小灵活所感动。斑马鱼有 40 多个品种，

却有 4000 多个突变种。实验室中最常用的品种 *Danio rerio* 名字源于孟加拉语“稻米之乡”，盛产稻米的印度是斑马鱼的主要故乡。正是这些娇小的鱼儿，为生物学研究带来了巨大的荣誉和便利，成为 21 世纪生物学实验室的明星。

斑马鱼有高而快捷的繁殖率，雌性鱼一次可以下卵几百粒，甚至上千粒。受精卵发育的胚胎通体透明，水温合适时，36 小时就变成小鱼仔，再过 2-3 天，小鱼仔就会觅食，还能回避令它感到厌恶的东西。因为这些特点，斑马鱼倍受科学家宠爱。

把两条斑马鱼饲养在一起，它们马上决斗，胜出地位的高低，势力强的鱼在体色上颜色绚丽，活动的范围也较大。而地位从属的鱼，体色黯淡，活动范围较为狭窄。胜利者总是神采奕奕，失败者却萎靡不振。

几年前，新加坡培育出能够发出红色荧光的斑马鱼，检测水质的污染情况。这种斑马鱼在光照下，像红色的舞娘一样，十分艳丽夺目。

更有甚者，美国科研人员在 2008 年培育出通体透明的斑马鱼，使我们可以直接查看肿瘤生长、迁移情况。当给斑马鱼体内种植肿瘤，第二天就可以看见肿瘤在斑马鱼体内开始有目的地生长，而这一切都是透明的。当然，不等这些肿瘤长到太大，就会被科学家取出来，小斑马鱼只是借腹怀胎，很快便又健健康康，四处游耍了。

斑马鱼的基因与人类的基因相似性高达 87%，所以可以用来研究人类疾病。

斑马鱼也喜欢像其它动物一样游迷宫，随着年龄的增加，它们的记忆力也越来越差。和人类老年痴呆症相似，老年斑马鱼脑内胆碱功能下降。如果服用可以提升胆碱系统的药物，老年斑马鱼的痴呆症状就得到好转。

虽然斑马鱼被普遍用于行为研究，但运用最广的领域仍在基因水平。斑马鱼有众多的基因突变体，如果我们知道了某些基因是疾病的罪魁祸首，就可以通过基因检测，提前预知疾病，并从基因水平治疗疾病——这是最根本，也是最有的放矢的治疗方法。

问题

斑马鱼的卵透明，胚胎发育迅速，因而是研究人员最喜欢的实验材料之一。但是斑马鱼有食用自己鱼卵和幼鱼的习惯，如何才能采集到完整的鱼卵呢？

答案

在养鱼的水缸底部铺上带网格的塑料板，鱼卵就会漏到网格下。而网格的宽度又不允许鱼潜入，所以就将鱼卵和鱼分隔开来。还有一个简单的办法，就是在鱼缸底部铺上一层玻璃珠，

鱼卵落下来时，就随着玻璃珠的缝隙滑落下去，而鱼不大可能将嘴挤入狭小的缝隙去叼鱼卵。这样就把鱼卵保护起来了。等鱼把卵产完，我们将鱼儿转移到另一个鱼缸，就可以很方便取出鱼卵了。

服用脑白金的斑马鱼

在电视上，我们经常看到一个经久不衰的广告，两个卡通老夫妻在热烈地跳迪斯科，一边唱道：“今年过节不送礼……送礼就送脑白金……”。很多人可能会好奇，脑白金究竟是什么呢？

在我们大脑内有一个小小的结构，像松子仁一样，被称为松果体。这个不起眼的松果体平时释放一种和黑夜相关的激素——褪黑素。褪黑素又被称为“黑夜荷尔蒙”，它在夜晚时分泌最多，在白天却一向沉静。对于像我们人类一样昼行型的动物——也就是白天活动，晚上睡觉的一类动物，褪黑素像安眠剂一样，督促我们睡眠。广告里的脑白金，主要成分就是褪黑素。

这几年，脑白金在市面上非常红火，是送给老人礼物的首选。因为老年人的松果体分泌褪黑素不足，所以睡眠不好，如果吃了脑白金，褪黑素被补充，睡眠质量就有可能提高。

褪黑素——也就是脑白金，不仅帮助睡眠，还在学习记忆上有一定影响，读者能否根据“能量守恒”定律，初步推断一下，这种脑白金对学习记忆的影响是积极的，还是消极的呢？让我们先来看看褪黑素如何影响动物的学习能力吧。

小小的昼行型动物斑马鱼在褪黑素研究上有很大贡献。2007年，休斯敦大学的学者训练斑马鱼在水中小屋内学习一项任务。这个任务和小鼠的避暗法类似。水中有两间小屋，黑暗的屋子内可能有电击提供，因而是危险的。对面那间屋子安装了红色信号灯，是安全的。

斑马鱼原先在的那间屋子是黑暗的。一旦对面小屋屋内红灯信号亮起，10秒钟之内，斑马鱼必须从黑屋撤离，到红屋去。否则，黑屋将启动电击，电压尽管微弱，但足以使斑马鱼感觉惊恐。

和小鼠一样，斑马鱼也喜欢黑暗的地方，所以开始时，它们总是对黑屋恋恋不舍，代价就是频频遭遇电击，几次经历之后，它们学会了一看见红灯亮，就迅速游至红灯屋，以躲避危险。

训练过程中，科研人员发现斑马鱼在白天学习的速度比夜晚要快，成绩也好。

如果白天给斑马鱼服用褪黑素，模拟黑夜褪黑素较多的情况，果不出所料，头昏昏的斑马鱼仿佛处在黑夜里一样，学习成绩一落千丈。而如果在夜晚给斑马鱼服用降低褪黑素分泌的药物，模拟白天的情况——白天褪黑素较少。这时，即便是在夜晚，斑马鱼学习起来也像在白天一样敏捷而优秀了。

因而，看起来，褪黑素使斑马鱼学习记忆受到损害。乍一看，褪黑素——也就是脑白金，似乎有负面的影响，实际上，这很符合生物能量守恒原则。夜晚睡眠的时候，动物无需像白天一样忙于应付各种学习记忆，所以就安心地睡觉。倘若人和动物在夜晚时分，睡不着，爬起来想做点有意义的事情，比如学习，这时，褪黑素就积极地起到“捣乱”的作用，使我们学习不成，记忆不能，学了也是白学。因而，还是回头睡觉的好，这样就保证了我们和很多动物专门把夜晚当作睡眠的温床，而不会无休止地加班了。

科研人员又连续几天给斑马鱼光线照明，因为没有黑夜，褪黑素分泌减少，这时再检测斑马鱼的学习，它的成绩是好还是坏呢？

答案

由于褪黑素不足，学习成绩反而上升了。

寻找同伴

斑马鱼对来自外界的刺激非常敏感。如果用手抓握，或是把它们置身拥挤的环境，它们会很紧张，而若把它们一条一条隔离起来饲养的话，也会令它们情绪沮丧。

斑马鱼是群居的鱼类，它们在浅滩上成群结队生活，不同的团体各自结为伙伴。可是，它们是如何区分孰是同伙中的一员，孰又非团体中的一员呢？

根据身体上条纹的颜色？这是我们最快想到的一个猜测。

斑马鱼纵然都具有斑马似的条纹，但每条鱼在条纹上有细微的差别。如果是基因突变的斑马鱼，在颜色上往往和正常的野生鱼更不同。人们发现，野生鱼往往和野生鱼“扎堆”，突变鱼和突变鱼“扎堆”。难道斑马鱼知道自己的体色、着装，从而根据“物以类聚”的原则，和其它具有相似体色的鱼儿结识为朋友？可是，有一个难题，斑马鱼怎么知道自身的体色呢？它再费劲儿地扭头，也看不全自己的着装啊。

所以，这个推测也许不全面。那么斑马鱼会不会也像大多数动物一样，对从小一起长大的伙伴更熟悉，更容易扎堆呢？

根据这个思路，研究人员将着装不一样的野生斑马鱼和突变型斑马鱼从童年时代就混养在一起，它们之间会有友谊吗？

结果，它们形影相随，长大后，依然如此。这时候，斑马鱼不在乎同伴的条纹是否和自己的一样，反正它们也看不全自己身上的条纹。和我们人类一样，它们对儿时一起长大的同伴更

亲近。

相反，如果斑马鱼从小独处，长大后，是不是反而没有限制，更易和其它鱼儿扎堆呢？

的确是这样的，将年幼的斑马鱼一条一条分开饲养。结果，隔离饲养的斑马鱼一旦面对群体生活时，对同伴的体色没有了挑剔，它们很容易和各种条纹的斑马鱼相处，融入新的小团队。所以，童年的孤独使斑马鱼不再有择友的框框条条，它们变得更随和。

斑马鱼倾向于和年幼时的玩伴相依相偎，除了用眼睛看，还会用鼻子闻。试想，斑马鱼如何将长得几乎一模一样的鱼群与儿时同伴相互区分开来呢？在眼睛无能为力时，它们便依赖敏锐的鼻子，凭借水中的气味熟悉与否，斑马鱼把老相识和鱼目混珠的新相识分开。可见，水世界的动物，也有和陆地动物一样敏捷的感觉器官和较高的使用频率。

问题 1

如果把一条野生的深蓝条纹鱼和很多突变的浅色条纹鱼从小混合饲养在一起，长大后，让野生的深蓝条纹鱼来到一个特制的鱼缸，做“扎堆”选择。在这个大鱼缸左右两侧各豢养着野生的深蓝条纹鱼和突变的浅色鱼群，两类鱼群用透明的玻璃隔开，使大家伙可以彼此看得见，但却游不过去。那条深蓝条纹的野生鱼被放到大鱼缸中央，它将选择哪种鱼扎堆呢？

答案

深蓝鱼一下子就游到鱼缸内豢养着浅色突变鱼群的那侧，在那里徘徊流连，仿佛遇见亲人一般，却视同类（野生鱼）不顾。如果不是玻璃挡着，它兴许一头就扎进去，和“同伙”欢庆相聚了。

问题 2

雌性斑马鱼小姐能闻出鱼缸里是否有雄鱼先生。如果有雄鱼，它们就将卵释放，如果它们察觉没有雄鱼，卵就一直放在肚子里，像个孕妇似地大腹便便，绝不把宝贵的卵空撒鱼缸。这样做，可以保证资源不被浪费。可是我们如何用实验证明它们闻出雄鱼先生的存在呢？

答案

科学家设计了一个 T 型迷宫，在迷宫两端供选择的臂端，一边放置鱼小姐的雌性荷尔蒙气味，一边放置鱼先生的雄性荷尔蒙气味，让雌鱼小姐从出发点向前游，做出选择。结果发现它

们总是朝散发雄鱼气味的臂游去。

9. 诺贝尔奖青睐的线虫

实验室中的线虫有一个很优雅的名字——秀丽隐杆线虫。和以上介绍的动物截然不同，在分类中，线虫属于很低等的线形纲动物。没有心脏，没有肺，也没有大脑。在土壤里生活，只有短短的一厘米长，浑身透明。卵变成成虫只要二天半时间，二到三周后生命就结束。

正是这样一种看似微不足道的小生命，使得爱恋它的科学家一连获得 2002 年和 2006 年的诺贝尔奖。

在进化树上，线虫是足够低等的动物，它究竟有什么本事，能让科学家频频夺得诺贝尔奖呢？原因很简单——就是因为它简单！

让我们看看线虫的神经系统。全身所有的神经细胞只有 302 个，但却占整个身体细胞总数的三分之一，神经元之间相互联系的突触数目有 7000 个，比例也不小。

虽然线虫的神经细胞，和我们人类大脑中的一千亿个神经细胞比较，简直是沧海一粟。但是，小小的简单的线虫却有着不简单的智能。

首先，它们像大多数动物一样，能感觉物体表面是粗糙还是细腻，能闻到味道，并且能知冷知暖。环境的细微变化会引起线虫的强烈反应。

线虫也是学习记忆的高手。在一个容器的一端放上线虫喜欢的食物——细菌，另一端放上有毒的细菌。线虫会东嗅嗅西闻闻，选择无毒的细菌，而避开有毒的细菌。即便一开始它无意间品尝了有毒的细菌，只一次后，下次绝对不会再“以身试毒”——这就是“吃一堑，长一智”的线虫版本。

有趣的是，1960 年左右，人们在大鼠上发现了与线虫类似的趋利避害的现象——距今也只有 40 年，如今又在比大鼠低等得多的线虫上发现了该现象。这种不谋而合使我们认识到，随着新发现被源源不断证实，生物物种之间的差距，尤其是智能上的差距，实际比我们想象的要小得多。

除了能闻出细菌的味道，线虫还能够避轻就重。平时，线虫对所处环境中的化学物质的变化很敏感。线虫最喜欢的氧气浓度是 5-12%。低于或高于这个浓度，它们会感到头昏不舒服。但美食可以改变这种喜好。

当我们在 1% 令人头昏的的氧气浓度下，给线虫提供美味细菌，而在最适浓度 10% 氧气中不提供食物，线虫就会在最适和头昏氧气浓度中选择后者——尽管它们不喜欢 1% 的氧气浓度。

真可谓为了填饱肚子，环境再险恶也在所不辞啊。而当线虫偶尔发现 1%氧气浓度中已经没有细菌，耐心等待 6 小时后，依然没有的话，它就立马撤退，回到它所喜欢的 10%氧气浓度。可见，线虫也有自己的思维判断，它不会一味地“守株待兔”直到永远，它和人一样，会见机行事。

随机应变是一种智能的表现，当我们学会了某项知识，如果不用，渐渐地可能就把它遗忘，以便迎接新知识储存入脑。在自然界，我们也难以发现十分顽固的“一棵树上吊死”的特例。一旦动物察觉原先储备奶酪的地方没有奶酪了，它们就会选择放弃，重新去寻找新的食源。同样，反过来，对厌恶性的刺激也一样，如果大鼠一到它喜欢的地方就给它足部电击，它很快学会厌恶那个地方，但如果我们把电击撤除，大鼠很快又会高高兴兴返回那个它曾经喜欢过的地方了。

因而，生存使得动物面对新的变迁，把过去的规则遗忘，以便迅速适应环境。

问题

遗忘是一种学习过程吗？

答案

是的。当狗吃肉，铃声不再响起，多次之后，狗就将肉和铃声的联系消弱，甚或擦除，当铃声再次响起时，狗便不会流唾液了。这就是遗忘的过程，也叫记忆消退。这一过程需要脑内的橡皮擦将旧的联系擦干净，以迎接新的学习。每一次擦除都是一个学习的过程。

10. 进退两难的抉择

人的一生可能会面临很多选择。尤其在左右为难的时候，抉择显得相当痛苦。当我们在生活中做着各种抉择的时候，是否也会停下来想一想，我们身边的动物，在一生中是不是也要应对各种出其不意的选择？它们会怎样做呢？

一只食肉的狮子追逐一只食草的羚羊，羚羊在慌乱中只有一个反应：逃跑。除此之外，它别无选择。可是，如果它身边还有一个自己的孩子，逃跑意味着牺牲孩子，不逃跑意味着丧失生命。此时，出现了痛苦的两难抉择。

野外的生存竞争很残酷，大多数动物每天都自觉或不自觉地做着各种选择。让我们把眼光转移到实验室中进退两难的环境，看看动物是怎样解决这种局势的。

在两难面前，小小的果蝇显示了一定的抉择能力。如果当它转向绿色的“T”图形时，它将惨遭一束红外激光热击腹部，它感到火烧一样的痛。而当它转向蓝色的“⊥”字时，不会遭致热击。果蝇很快学会躲避绿色的“T”，欢迎蓝色的“⊥”。这时，再给果蝇呈现一个充满矛盾的图形——绿色的“⊥”，绿色代表危险，“⊥”代表安全，两者的组合令人匪夷所思。相似的，蓝色的“T”也令人无从抉择，因为蓝色提示安全，“T”暗示险恶。这时，果蝇在两难中，是怎样做的呢？而这样的抉择又和哪个脑结构相关呢？

郭爱克院士的实验室发现，当果蝇缺乏一种叫做“蘑菇体”的脑结构时，它们的抉择出现问题，果蝇会变得胡乱选择，没有头绪。而正常的野生型果蝇却可以根据线索随机应变，在一定程度上做出相应的选择。因而，“蘑菇体”参与了抉择。

蘑菇体是果蝇和蜜蜂脑中一个精巧的结构，被称为昆虫的“海马”。它的形状像一对蘑菇，由于在大脑两侧都有，所以是一对。它像我们通常吃的蘑菇一样，各有一把伞，和一个支撑的伞柄。蘑菇体像个司令官似地指挥昆虫的嗅觉学习记忆。

最近郭爱克院士率研究组又发现，果蝇在面对两难时，调用蘑菇体内的多巴胺来应付尴尬，当制定好决策后，蘑菇体指挥官就隐退下去，安心等待新抉择的来临。仿佛蘑菇体和其内的多巴胺是制定“如何应对选择”的门户，而一旦决策制定，其它就由下属来执行了。

当果蝇面临新的选择时，会迅速做出新的决断，而不再受从前事件的干扰。弃旧迎新——充分体现了小果蝇和它们的相貌一样，能够灵活应对突发事变。

除了能够辨别什么细菌有害，什么细菌无害，并准确记住它们的位置，学会忘却之外，微小的线虫也有类似高等动物的抉择能力。它们会在两种不同的水溶性食物之间，或在水溶性和挥发性物质之间做出抉择。

问题

还可以给昆虫设计哪些两难的矛盾？

答案

在视觉训练上，除了不同形状（T 和 ⊥）与不同的颜色相匹配，然后交换二者，制造两难外，还可以让果蝇选择位于不同高度的物体，使它们感知重心的差异。再将不同高度与颜色相匹配，便可使它们处于痛苦的十字路口。比如，位置处于下方的绿色代表惩罚，当果蝇飞向下位的绿色时，将有热刺激的疼痛“伺候”。而飞向位于上方的蓝色则很安全。经过几番训练后，

聪明的果蝇总是避开下位的绿色，而偏爱上位的蓝色。这时，给它看位于上方的绿色和位于下方的蓝色，出现了矛盾的信号，两难环境即形成。

我们还可以增添一些嗅觉刺激，让昆虫闻到柠檬味，接着伴随糖水奖励；闻到玫瑰花香味却只有难喝的盐水，这些气味分别匹配不同颜色的图形，蓝色预示糖水，绿色则是盐水。之后，再将交叉组合的“柠檬气味+绿色图形”或“玫瑰气味+蓝色图形”呈现给昆虫，看它们情愿选择哪种组合。

11. 笨猪并不笨

平时在童话里，小猪总是又笨又憨，容易上当受骗的角色，其实不然，在现实生活中，猪也是很聪明的。养猪场里，人们给每条猪的脖子套上项圈，项圈标有数字 1 号，2 号……就像它们的名字一样，每个编号代表一只猪。入口处的摄像头会在家猪进入长廊时，准确记录它们脖子上的编号。每天，猪儿钻进一个长廊，长廊内有很多单通道的门，只允许猪拱开门往前走，却不能往回退。在长廊沿途安置着大大小小的食槽。位于通道中的某个食槽会自动发放零食。注意，这些零食一天只会发放 2 次。也就是说，母猪钻一次长廊，它可以吃到 1 次食槽内的食品。如果它再钻一次，由于计算机已经登记过它的编号，所以将最多再发放食品 1 次。只要它吃过 2 次零食后，无论它再钻多少次长廊，也是徒劳的。贪吃的猪一开始拼命钻长廊，期望能获得更多的零食，但很快，它发现了规律，于是，钻长廊的次数迅速减少，最后，一般一天只钻 2 次。

这样的钻长廊游戏可以使我们探究猪的记忆能力，也可使母猪锻炼身体，增强体质。

小时候，为了给母亲养的植物施肥，我曾经到猪圈里掏过猪粪。看见猪们脏脏地躺在臭池子里，睡姿十分惬意。它们不计较头顶上“嗡嗡嗡”飞来飞去的苍蝇，也不计较前来打扰的我。而我站在那儿简直无从下脚。当时想，也许猪们是世界上最知足常乐的动物吧。

后来才知道，虽然猪看起来对什么都无所谓，实际上，它们对外界的变化也会很敏感。

英国苏格兰农业大学的科研人员训练家猪在某块地域寻找食物，在这块平地上有 10 个藏食物的地点，每天随机选 1 个地点藏食物，一共藏两次，第二次还藏在同一个地方，而每天藏食物的地点却不同。譬如，第一天，藏食地点是 A→A，第二天便是 B→B。

家猪第一次寻找食物时一般采用搜索式策略，每个地点都要搜一遍。当它第一次找到食物后，则被研究人员暂时带回它原来的饲养圈内，过 10 分钟或 2 小时后，再放开让它自由寻找第二次藏好的食物。这时，家猪表现得比第一次更有效。它们往往集中火力，重点排查，尽量

减少徒劳的搜索。有的猪很聪明，直奔上次找到食物的地方。因而，很快就吃到它们期望的美食。

英国学者发现，家猪的记忆力相当棒，它们在第一次寻食后 10 分钟一直到 2 小时，均能再次顺利有效地找到新藏好的食物。而若在第一次寻食后 10 分钟之内给家猪一些干扰，诸如将猪儿孤立圈养，让它们处于新的环境中——这些在大鼠看来是很轻微的刺激，将导致家猪的空间辨别能力大为下降。说明家猪对外界干扰非常敏感。

和猴群一样，家猪中也有地位高低之分。当把不同地位的家猪赶到陌生的环境中，我们会发现地位高的猪首领更警戒，也更好斗，似乎它们知道自己在新的场合下更有责任来保护猪群似的。

而饲养环境是否丰富对于家猪的学习记忆能力也有影响。有干草、玩具陪伴的家猪 22 个月大时，就显示出很强的记忆能力。它们和从小在单调环境中生活的同龄家猪相比，完成迷宫任务的分数要高得多。

当我们了解了家猪在丰富环境中生活更舒适，在变换环境时会紧张，便投其所好，养出的猪儿更健壮。

小猪也不逊色，它们走起迷宫来可不在话下。大鼠惯用的 8 臂迷宫在小猪上照样通用，只不过尺寸大些而已。在放射状迷宫 8 个臂的臂端各放置牛奶杯，只有 1 个臂的牛奶可以喝到，另外 7 个臂的牛奶杯都罩上铁网罩子，小猪只能看，不能喝。在可以喝到牛奶的那个臂的入口处贴上三个黑点，其余喝不到牛奶的臂口贴上一个黑点。经过短暂的尝试，小猪们都能欢快而迅速地朝贴着三个黑点的臂冲进去，它知道那里可以喝到鲜美的牛奶。

猪和大小鼠一样，还能区分玩具。当我们把两个分别涂了不同颜色，形状不一样，但是大小相似的物体——一个黄色的木棒槌，一个蓝色的碗，给猪儿玩耍。一段时间后，猪儿就熟悉了这两个物品。这时，我们把棒槌和碗拿走，隔段时间后，再在猪儿面前放上两个物体。其中一个是一会儿给它玩过的黄色木棒槌，而另一个物品却是它从来没有见过的，比如一个银色的小球。这时，家猪和大小鼠一样，对它们从没见过的小球产生了浓厚兴趣，频频用鼻子去嗅，去拱这个陌生的玩具，这是大多数实验动物都有的共性——对新鲜的事物总是充满了好奇。和人类的“喜新厌旧”异曲同工。

利用动物的这一特性，我们可以检测它们识别不同物体的记忆能力。如果家猪记忆力好，它会很快辨别出哪个物品是从前玩过，哪个玩具是从没见过的。但如果间隔时间太长，家猪就记不住哪个玩具是熟悉的，哪个是不熟悉的了。

问题 1

在小猪喝牛奶迷宫中，有牛奶的那个臂口贴着三个黑点。如果把喝不到牛奶的所有臂的臂口处贴上两个黑点，而不是一个黑点做标记。小猪寻找牛奶的速度会有变化吗？

答案

一个黑点和三个黑点之间的区别很明显，而二个黑点和三个黑点之间的差别要小一些，不容易辨别。所以，天真的小猪在无数个黑点点中眼花缭乱，会觉得区分二个黑点和三个黑点太困难，寻找牛奶的成功率猛然下降，再也不像完成第一个任务那样轻而易举。

问题 2

我们如何通过具体的数据来判断猪儿对物体的识别记忆是好还是坏呢？

答案

我们记录动物对不同物体的琢磨时间和触碰次数，便可以推算出它们记忆力的好坏。如果猪儿反复亲近新出现的物体，长时间用鼻子拱该物体，或频繁闻这个物体，却很少光顾已经熟悉的物体，就说明它的物体识别记忆好。反之，如果它对所有物体都一视同仁，都充满热情，或漠不关心，则记忆力差。因而，记录并比较猪儿对不同物体的探索时间和次数，就可以判断出猪儿对物体的记忆能力。

第六章 它们会说话吗？

动物会说话吗？也许很多人认为动物会说话，但是我们听不懂。也有人认为它们没有语言功能。首先，我们需要确定“会说话”和“语言功能”指的是什么。

会发出声音并不等于会说话，所有的语言都需要具备两大要素，那就是：抽象符号和语法。抽象符号是组成我们语言的单位——一个个字、词。语法呢？就是把一个个字、词串连起来的规则，语法使得字词生动起来，从无意义的符号变成一个个有意思的句子。

一个字或词的形象，在大多数语言中并无任何意义，也就是说，从某个字的拼写上，你看不出它的意思。比如英文字“rain”（雨）和“train”（火车），你无论如何都看不出有关“雨”

和“火车”的信息，以及两者为什么只差一个“t”字母。但是在古代的象形文字，甚至有些现代汉字中，还可以猜出一点点意思。“雨”字中就有水滴的特征。然而，大多数现代文字无法从字形上看出它的含意，而如果想从英文、德文等字母语言中猜出意思，那几乎是天方夜谭。

每个国家的语言都有不同的字、词及语法，而有些国家中尚生活着讲不同民族语言或方言的人，因而，形形色色的语言使我们地球的文化异常丰富。目前，世界上人类的语言约有 6000 多种，如果将各地的方言算进去，那将更为庞大。语言使人类成为迄今发现的，唯一可以将自己的思想、故事、历史用文字记录下来，并流传百世的生物。

除了常规可阅读、可做口头交流的语言，还有供盲人使用的盲文，以及供聋哑人使用的哑语——手势语言。我们还有一种常用的语言，那就是：肢体语言——表示爱意的拥抱，高兴的拍手，着急的跺脚等等。在肢体语言中，我们也可获得有效的交流信息。

这只是我们熟知的人类的语言，对于那些和人类共同生活在地球上的众多的其它生物呢？它们究竟有没有语言？如果有，它们的语言又是怎样的呢？

让我们先挑选一些会发声的动物来勘察，而后再观察不会发声或疏于发声的动物，看看它们是用怎样的眼神或肢体语言来交流……

1. 可爱的DEGUS

Degus 是从智利来的一种惹人怜爱的小宠物，貌似松鼠，只是尾巴狭细短小一些，有时也称为“智利松鼠”。圆滚滚的身子毛茸茸的，机灵的眼珠闪着温和的光泽。它们在日本理化（RIKEN）脑研究所的一间实验室的大笼子里上上下下跑着，这个笼子里有爸爸妈妈和 6 个小 Degus，不同的是 Degus 的爸爸被单独关在大笼子内的小笼子里，Degus 妈妈急得在小笼子外爬上爬下，关切地叫着。爸爸在小笼子内也焦急地转动身子，不停地“吱吱”叫唤，仰头迎合 Degus 妈妈。

就是这种叫声，是 Degus 们交流的语言。采用特殊的仪器，就可以破译此时 Degus 妈妈正在授意丈夫如何越狱。

Degus 有一个非常独特的习性——昼行性，也就是说这种动物白天活动，夜晚睡觉，像我们人类一样。但是这在啮齿类动物中却很少见。很多啮齿类动物，包括我们常见的大鼠、小鼠，白天昏昏欲睡，一到晚上精神就来了。而 Degus 却正好相反。这样做的好处是白天获得的信息要多，所以，白天活跃的动物交流空间变得更宽广，彼此的社会活动也随之增多。Degus 于是发展出比大小鼠更丰富的交流方式。

可爱的日本学生把一只小 Degus 放在我的手心里，小家伙一个月大了，可依然像一个小婴儿。毛像新生的小草一样柔软、零乱，一看就是尚未学会如何梳理毛发、装饰自己的懵懂顽童，整天只知贪玩，什么也不用想。它身子虽蓬松却很纤弱，支愣着一对大耳朵，一副怯生生的模样。它的妈妈已有 5 岁多，孩子出生后要吃奶 1-2 个月才能独立生活。所以我手心中的小 Degus 还在嗷嗷待哺。

哺乳的 Degus 妈妈经常不管谁家的孩子，只要来吃奶的就都热烈欢迎。同时，Degus 很善于筑巢，可以用来研究社会关系。

这种在智利被当做宠物的小动物，在实验室的笼子里也表现出活泼的天性。因为它们天生爱筑巢，所以当学生把玩具放到它们笼内时，Degus 便会像搭积木一样叠玩具。把小的彩色塑料碗套在较大的碗中，再在小碗中套一个更小的碗，最后把一个小球放在最小碗的顶端。科学家认为这是它们渴望筑巢的表现，也许搭出来的栗状结构是它们对原始森林的向往。总之，这种现象在实验室啮齿类动物如大、小白鼠是不存在的——它们顶多将锯末堆在碗里，随便凑成一个小窝，决不会将不同型号碗摞起来。小而机灵的 Degus 就这样在实验室——远离智利的新家里，过着从容而有憧憬的生活。

RIKEN 脑研究所“动物交流”研究实验室里有两种鸟，虽然都是百灵鸟，但一种会唱动听的旋律，它们披着全白或白中有黑的羽毛，在宽敞的笼子里飞来飞去，显得平和安详，间或哼上两句，宛如高傲的贵族一般。另一种鸟儿只会唱简朴的调儿，形如平民百姓，全身黑扎扎的，神形颓废。

为什么科学家要选择这两种鸟做语言发生的研究呢？就因为它们唱歌的功底不同。

第一种鸟是歌星，能唱出婉转的歌谣。在它们的歌声中甚至可以听出句法。它们用一些类似词的单音序列，组成不同的歌词，唱出复杂的曲调。

而第二种鸟，五音不全，一如它们比较简拙的外形，唱出的歌声也相当朴实，只是一些零乱组合的单音。

仔细聆听、分析这两种鸟的歌声，就可以了解语言如何从简单发展到复杂。

2. 表达自己，领悟他人

在悉尼的塔朗加（Taronga）动物园，一个四周环绕着水的小岛上，生活着一群黑猩猩。它们大小不一，悠然自得，有的怀里还挂着小的黑猩猩。我正看得入神，突然，一个游客违反规定，向岛上抛了一块汉堡包！这无疑于扔了一枚炸弹。原先悠闲散在的黑猩猩们迅速聚拢过

来，争抢汉堡，奇特的是，它们的动作看起来还算优雅，一点不像猕猴——猕猴总是大打出手，非常粗鲁。也许它们各自非常明白自己在群体中的地位，所以绝不破坏规矩。汉堡包很快集中在一两只黑猩猩手上。没抢到汉堡的黑猩猩懂得放弃，旋即把目标转移到游客身上。这时它们的举动十分激昂，像人一样站立起来，伸出两只长手，“叭叭”起劲地上下拍打手掌，弄出很大的声响，有的直接用手“啪啪”拍击胸脯，嘴里发出“噢噢”的声音，由于非常用力，嘴的形状活像一只只鼓胀的小喇叭。此时，我眼前仿佛伫立着一群浑身披着黑色毛发的顽皮乡村孩童，它们站在岸那头，伸着手，叫嚷着，看谁叫得最响，谁击掌的声音最大，谁就能够被引起注意，谁就可能得到新的汉堡……



向游人索要汉堡的黑猩猩 （作者摄）

刹那间，恍惚笼罩我，人和动物的界限再次模糊。在人类中，我们常见到这样“伸手央求”的行为。而如果向鼠类、猕猴投放食物，它们的注意力只局限于自身群体，绝不会转而面向投放食物的人类，更不会采用各种手势乞求。

不足为奇，自然界中，类人猿通常将两只手摆成不同的姿势，合并张嘴等面部表情，嗓子发出各种声音来彼此交流和联络。在这种情况下，手势的动作和平时的运动——行走、拿物、吃食不同，仅只是为了交流而产生。手势在不同的场合下表达不同的意思。黑猩猩向外伸长了

手臂，张开双手，在战斗中表示“我需要帮助！”，而在食物面前，则表示“给我一点食物吧！”。

在人类，语言专门由大脑左半球的一小块脑区掌管。猕猴的大脑中也有一块类似的脑区。有趣的是，当猕猴产生手势动作时，左脑这块语言脑区便很活跃。但是，当猕猴发声的时候，这块脑区却并不活跃。提示我们，这块区域指挥着语言的前期——手势语言。作为语言的中枢，当动物的进化还未达到人类这样能通过真正意义上的语言——发声说话，来进行交流时，这块脑区也只能参与编码低级的语言处理形式——手势语言。

不同的类人猿，表达感情的方式也有差异。倭黑猩猩比黑猩猩更多地运用面部表情来表达喜怒哀乐，其面部肌肉的使用率也大于手势语言，而黑猩猩的面部表情和手势使用率一样高，因而，“小人”倭黑猩猩的确比黑猩猩更靠近人类一步。倭黑猩猩合并使用面部表情和手势语言，在表达亲密，进行防御或斗争时，其效果远胜于单独使用手势语言。

动物不仅能够用自己的方式表达自己，也能够领悟一些人类的手势。最常见的例子就是马戏团里，动物总是及时根据驯兽员的指示，准确做出跳跃、奔跑或穿越火圈的动作。当然，这也是一种条件反射，驯兽员经过多次训练，使动物明白驯兽员的手势和它们的动作以及其后发放的食物奖励三者之间有密切联系。

我们看到的马戏一般都是动物听从驯兽员的指示做出预期的动作，是单向的反射。

2008年元旦，我在三亚的南湾猴岛，却看到了一出不同寻常的猕猴“幽默小品”表演。这是我看到的动物表演中印象最深刻，也是最疑惑不解的。在一位河南驯兽员的调教下，小巧的海南猕猴竟像人一样出演话剧，扮演各自的角色，和驯兽员浑然一起，上演一幕猕猴版“喜儿”反抗“黄世仁”的滑稽剧。

《白毛女》是上世纪中叶一出著名的歌剧，喜儿是贫苦人家的女儿，被地主黄世仁逼迫，逃到深山，成为白毛女，后来被共产党营救。

剧幕开始，面目狰狞的驯兽员用长绳做鞭子，扮演残酷的地主“黄世仁”，他甩着鞭子让众“长工”——猕猴们听从他，俯首他。他命众猴下跪，扔帽子给它们命其戴在头上。偶尔不听话的猕猴经他一甩鞭子，马上就吓得把帽子扣在头上。

岂料，有一只强壮的猕猴反抗者——我们姑且称它为“喜儿”，就是不愿听从驯兽员这个地主，总是和他对着干，先是企图逃跑，然后撅着屁股不肯下跪；不仅拒绝戴帽子，还把帽子一遍一遍往空中扔。这还得了，“黄世仁”气得连连对它挥鞭子，但“喜儿”还是我行我素。

与这只桀骜不驯的猕猴相反，有一只猕猴不仅自己殷情戴帽子，还把“喜儿”扔到一边的帽子捡起来，一颠一颠两脚直立走过去，毕恭毕敬将帽子递给驯兽员。猕猴“喜儿”扔一次帽

子它捡一次——简直就是超级马屁精。马屁精还会一脚踹倒不肯趴下的小长工，使臣民俯首。

奇怪的是，尽管驯兽员发出怒号，甩动鞭子做凶狠状，甚至把“喜儿”拉到身边严厉“教训”——轻搨它的脸。“喜儿”依然不畏不惧，还敢冲上前去对着驯兽员呲牙咧嘴，更有甚者，竟然用小手连连去刮驯兽员的耳光！碰他的头！观众无不为此只倔强的“喜儿”捏着一把汗。剧情结束时，其它猕猴皈依了勇敢的猕猴“喜儿”，把它视为新时代的“米哈伊”，齐心协力反抗驯兽员，使“黄世仁”不得不屈服。

我简直看入迷了，台上的小猴仿佛是一个个小小人。他们和人类一样有着同样杰出的表演天赋和令人惊叹的领悟力。

导游每次来猴岛都要看这出幽默剧，他说百看不厌，“每次表演都一模一样呢！”他满意而骄傲地说。

而我一直在想，猕猴怎么知道剧情需要，怎么一次一次扮演各自的角色呢？猕猴“喜儿”看见驯兽员的凶恶，非但不害怕，还敢与之做斗争，搨他的耳光。当然，一切都是假戏真做，可是，猕猴是怎样理解并表演这一切的呢？猕猴“喜儿”如何知道不用真的害怕，如何将小拳头碰向驯兽员做得那么惟妙惟肖呢？而且，猕猴“马屁精”还知道用脚踹不听话的同伴，使其下跪；知道把“喜儿”甩出去的帽子捡起来讨好驯兽员……这其中，它们至少要了解三个角色——它自己，反抗者猕猴“喜儿”，驯兽员“黄世仁”三者的互相关系。最难的是“喜儿”要理解驯兽员的教训是假装的，而自己的反抗也是在演戏。看来，猕猴的领悟能力的确是我们所不能预料的。

末了，小猕猴们退出剧情，聚集在舞台上，游人纷纷跑上舞台照相。猴儿们一伺客人坐稳，就“噌”地跳上去，用手扶着客人的肩头，摆一个很酷的“Pose”——无论是中国游人还是俄罗斯游人，它们一边站一个，与游人合影。照完相就跳下地等着下一位游客上场，善解人意，彬彬有礼。简直看不出是充满野性的猴子！



海南猕猴 （作者摄）

我因此查了一些文献，发现家养的动物，包括狗、羊、马和狐狸等，或多或少能读懂人类的一些肢体语言。比如，它们可以根据人手指的方向，或眼睛盯看的方向，寻找到藏匿的食物。然而，对于非人灵长类，人们的意见却不一致。它们似乎不能运用人类的手势和眼神寻找藏匿的食物，也许因为它们和人类接触的时间不如家养动物长吧，而且它们一贯回避与人类的眼睛对视。但也有少量实验报道，自由活动的猕猴可以对人类的手势有所领悟，它们能看懂人的指示，将隐藏的食物找出来。

问题

猕猴根据人的指示寻找食物，能否判断猕猴和人类之间可以进行手势交流？

答案

如果在没有美食刺激时，猕猴还能够读懂人的手势，才能说明它们可以和人类进行交流。如果只是为了得到食物，才“懂”人的手势，那么只是一种条件反射。

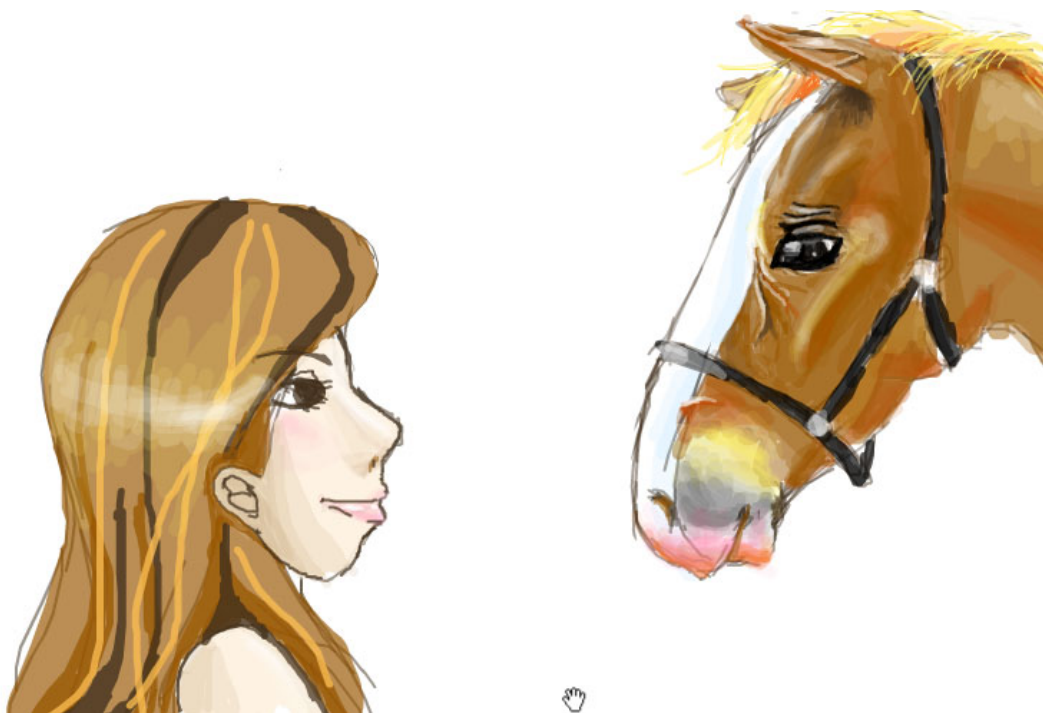
它的眼神

蔡琴有一首歌唱道：像一阵清风，洒落我心底，那感觉如此神秘……那是你的眼神，明亮又美丽……当我第一次在几年前的春晚听到这首《你的眼神》时，我的心突然被触动……的确，我们的眼神，总是在不经意间，将我们的心思泄露……

有一部小说《马语者》(Horse whisperer)，叙述的是一起交通事故致使一个女孩和一匹马受到重伤，这创伤无论对于女孩，还是对于马，不仅是生理上的，也是心理上的。后来，女孩的母亲请来一位驯马人，安抚并医治受惊的马。驯马人以他的耐心和爱心，不仅使心灵受到创伤的马匹恢复正常，也使女孩走出心理阴影。这部小说后来被编拍成电影，它深深感动我的是马和人类一样有情感，它同样需要人的爱抚、关怀和沟通。在情感上，马和女孩是平等的，两者同样受到心灵创伤，最后又都得到了治愈。

后来，我在墨尔本大学的图书馆看了一段有关心理学的录像，讲述的是有经验的驯马人仅靠眼神和话语将桀骜不驯的野马驯服的奇特经历。谁都不能降伏的野马在驯马场地紧张地来回奔跑。这时，驯马人走过来，他站在场地中央，轻轻地呼唤那匹烦躁的野马，跟它说话，用眼睛温柔地看着它。慢慢地，野马的眼神不再慌张，它仿佛听懂了驯马人的意思，放慢脚步，安静下来。最后，野马向驯马人走来，就像是做错事的孩子一样，依偎着驯马人。而驯马人抚摸着马的背脊，亲昵地对它述说着，呢喃着……马儿一改当初的张惶，神情变得温和，他们的眼神互相对视着……

显然，马从驯马人的眼神和谈话中领悟了什么，沟通了什么，于是，它变得温顺。如果马没有意识，没有情感，它如何能理解驯马人的呼唤？又如何能顺从对于它来说是陌生的驯马人呢？



马语者 （周穆如 12 岁画）

猕猴一旦眼睛和人或其它猕猴对视，便会立即激动起来，焦躁不安，继而龇牙突出，四肢紧张，准备进攻。眼睛对视启动了它们因受到威胁而准备进攻的信号。

一次，由于实验需要，我又迎来 4 只新猕猴。它们一个个安好地生活在动物房的铁笼内。只要我站在笼前，用眼睛一看它们，它们就像触了电似地激烈跳动，在笼子里对我猛烈地摇晃猴笼，发出尖利的吼声，恐吓我，仿佛我的眼光是利刃刺痛了它们。我不理会，反而不时给它们一点苹果、花生什么的。几天讨好之后，我再和它们眼睛对视，奇迹发生了。它们看见我的眼光，愣了一会儿——若是从前，它们早已发作。可现在，它们马上装作没看见，侧过头或低下头去，若无其事地把眼光漂移到别处，看其它地方。我正觉得好奇，它们又把眼光移回来瞟一瞟我，见我还盯着它们，便又故伎重演，把眼光再次漂到其它地方。过一会儿，再漂过来，偷偷看我一眼。那种想看又不敢看，还要装作是不愿看的模样实在好笑。

黑猩猩外表很随和，因而与野性十足的猕猴，以及冷漠的大猩猩不同，它们的眼睛能友好地看着人类的眼睛。年幼的黑猩猩已经懂得运用眼神，它们不仅和母亲眼睛对视，还可以根据母亲的眼光方向，寻找食物。更有趣的是，黑猩猩还会模仿人的眼神凝视。如果一直盘腿坐在黑猩猩旁边的实验员突然把头仰起来，朝天空望去，坐在一旁的黑猩猩也会跟着仰起头，和实验员一起，聚精会神朝天望，仿佛它也发现天空中有什么东西很有趣似的，却无法理解实验员可能在练瑜伽。

黑猩猩还能察言观色。我看过这样一段实验录像，黑猩猩想喝橘子水，这时在它面前有两个人，其中一个倒了满满一杯橘子水，递给黑猩猩，但在黑猩猩刚要接到杯子时，故意将杯里的橘子水一点不剩地倒在地上——黑猩猩对此很失望，也非常气愤。另一个人呢，同样也倒了一杯橘子水，与第一个人不同的是他在递杯子给黑猩猩时，不小心把杯子碰翻了，橘子水依然洒了一地——黑猩猩同样很失望。下一次让猩猩选择要谁倒橘子水时，它毫不犹豫选择后者，因为它从两人的行为上看出了差别，前者存心不让她喝橘子水，后者却可能是出于不小心，所以它对后者更抱希望。

问题 1

马匹能够领悟驯马人的声音声调，那它们对自己同伴的声音有什么反应呢？

答案

最近，英国苏塞克斯大学的学者做了一项有趣的实验，证明马儿能够准确识别老相识——尽管这些马儿平时看起来沉默不语，老死不相往来，实际上，它们心里可清楚了。每匹马的大脑中都存有一本通讯录——绝不是只有名字的通讯录，是录制着同伴语音和身形特征的高级通讯录。

然而，我们怎样才能看到它们大脑中这本神秘的通讯录呢？实验人员设计了一个很巧妙的测试方法。他们事先录制了一些马匹发出的声响，这些声音来自不同马群的马。然后这样测试：在一匹全身白色的马儿面前，牵过一匹浑身黑色的黑马，这匹黑马来自与白马相同的马群，因而它们是老相识。当黑马在白马面前沉默走过，消失之后，实验人员给白马听录音。如果录音机里放出的声音恰恰就是刚才这匹黑马的声音，那么被测试的白马并不诧异，它很镇静：“和我想象的一样嘛，这不就是它——整天穿得很深沉的黑马老弟吗？”白马在心中说。但是，如果录音机里的声音是另一匹花马的声音，白马立刻表现出惊讶。它抬起头，竖起耳，马上顺着发出声音的地方望过去，眼神疑惑，专注而长久。仿佛在问：“咦，刚才明明走过去的是黑马老弟，我对它的声音再熟悉不过，可它怎么能发出花马大姐的声音呢？难道刚才我看错了不成？困惑！……”白马费劲地思索着。就在它苦苦思索的时候，我们看到了它的疑惑。通过记录它迟疑的眼神，我们窥探到动物所思所想。真可谓“眼睛是灵魂的窗户”。

另一个有趣的现象是“老马识途”在这里行不通。按常理，年纪越大的马匹社会经验越丰富，但是在这个实验中，年纪大的马匹并不比年轻的马反应更快。它们在识别谁是老相识，谁是新人上，显然比年轻后生更糊涂。也许因为年纪大，啥都记不住了。

在性别上，雄马先生和雌马女士识别同伴的速度一样快。

问题 2

野生小猕猴一旦眼睛和不熟悉的人对视时，会紧张得往后跳，一边张嘴，露牙，发出“吡吡”的声音。同样年龄，在实验室由人抚养大的猕猴小茜茜和人眼对视时，会有什么反应呢？

答案

没有任何反应。小茜茜眼睛平和，大而湿润，和人对视，看不出任何感情。它只关心自己是否在养母养父的怀抱里，否则总是寻找机会，“嗤溜”下地，自由自在地青蛙式跳跃，奔跑。

3. 牧羊犬瑞柯识字术

在马戏团的表演中，我们经常看到诸如小狗或鹦鹉认字之类的表演——惊喜之余，或许你会疑问：动物真的具有和人类一样高超的智商吗？它们真的能够识字吗？——答案令人非常失望，你看到的马戏表演实际上和动物是否能识字无关。

那么，是不是所有类似的游戏都是骗人的？是不是动物就没有识字的能力呢？

答案也是否定的。有的动物的确能掌握文字，并用之与人交流。到目前为止，已经发现具备文字和语言天赋的动物至少有：狗、鹦鹉和猩猩。

家有宠物狗的人，大多会有这样的经历。当我们给小狗取了好听的名字，一段时间后，如果我们开口叫这个名字，无论小狗在做什么，大多数时候它会回过头来，或停止正在做的事，抬起头，竖起耳朵。似乎知道你是在叫它。它知道这个名字代表自己而不是别人。

但是，只看到这样的现象是不够的，我们需要用实验去求证，探索隐藏在其后更多的未知。中国古代人发明了火药，因为仅仅满足于现象，忽略了对火药原理的探讨，所以没有像西方人那样形成理论，“化学”、“物理”这样的学科就只有在大洋彼岸诞生了。

中国自古以来对现象的探索有这样的习惯：由无数事例归纳出一个总结。这在写作上也略见一斑，每段文章的重点往往在最后，前面大段内容都是铺垫。西方人正好相反，文章出现的第一句便概括该文的重点，之后是围绕该关键句的层层叙述和论证。同样，对于一个科学理论的形成，西方人不满足于总结，他们还要通过各种实验证实，并挖掘出隐藏在其中的规律。

“狗听人话”对于我们并不陌生，但是，只看到这样的现象是不够的，我们需要用实验去

求证，探索隐藏在其后更多的未知。中国古代人发明了火药，因为仅仅满足于现象，忽略了对火药原理的探讨，所以没有像西方人那样形成理论，“化学”、“物理”这样的学科就只有在大洋彼岸诞生了。同样，“狗听人话”在德国有了别样的解释。

德国马普人类进化学研究所的科研人员在 2004 年的《科学》上，叙述了一只叫瑞柯 (Rico) 的牧羊犬，掌握了 200 个字，并理解每个字的意思。它还能像小孩一样，将陌生物品与陌生词汇快速匹配，搜索出来。也就是说，它可以判断从来没有听到过的词汇和哪样东西相当，随后，在一堆物品中把它挑出来。

这只 9 岁的牧羊犬，在 10 个月大的时候就开始和主人玩“叼物识字”的游戏。主人给它一些物品，然后向它介绍每个物件的名称。训练到一定程度后，主人把瑞柯熟知的物品放在隔壁屋内，这时，主人在没有物品的房间内对瑞柯说：“拿袜子来！”。瑞柯就乖乖跑到隔壁，把袜子叼来，交给主人。主人说：“拿玩具熊来！”瑞柯又马上跑去，把玩具熊找出来。

如果只有这个能力，瑞柯并不引人注目，很多狗都可以做到这一点。接下来的一幕非常精彩，也是实验的亮点。主人在瑞柯已经熟悉的物品中混入一个陌生的东西——比如铅笔盒，瑞柯从来没有见过铅笔盒，也不知道它叫什么。这时，主人对瑞柯说：“拿铅笔盒来！”，瑞柯就跑到隔壁储物间，居然在熟悉的物品中，将这个从未谋面过的铅笔盒叼了过来。

当陌生物品增加到两个时，瑞柯也成功地把它们叼了过来，虽然瑞柯不知道它们叫什么，但只要是没听过的单词，它就把没见过的东西和它对号入座，认定陌生的单词就是陌生的物件。

这个实验巧妙地选用了两间不同的房间，避免了主人在选择现场可能提供的暗示，瑞柯在这个任务中只能根据语音识别来寻找物品。

可见，瑞柯的行为很像人类 2-3 岁的儿童，因为这个年龄的孩子也具有“快速匹配”的能力。“狗听人话”在德国科学家那里，从平民熟视无睹的层面上升到科学的理论层次。



瑞柯识字 （周穆如 12 岁画）

问题

瑞柯实验的执行者若是换一个人，不是它的主人，会出现怎样的情况？它还会成功吗？如果依然成功，说明瑞柯真的掌握了词汇，而不依赖谁在说话。如果它不成功，又说明什么呢？

答案

换了一个人命令瑞柯取东西，瑞柯也许会不知所措，它只习惯主人的声音和吩咐。所以，我们不能简单地定论瑞柯有或没有识字能力，我们只能说它在一定的条件下具有一定的听字能力。

4. 鹦鹉阿列克斯

艾琳·佩佩博格因为她训练的鹦鹉会学舌而闻名世界。当然那绝对不是简单的鹦鹉学舌，她创造了人和鸟交流迄今为止最好的记录。

有趣的是，艾琳·佩佩博格原先是学化学的，1970年初，她在牛津大学攻读化学博士，一次偶然的电视节目使她萌发了与野生动物交流的愿望，于是她决定辍学改行去从事动物学研究。由于临近博士毕业，经家人的劝说，她还是坚持完成学业，但在每周40小时毕业论文实验完成后，她把大部分业余时间都花在了对动物行为资料的收集上。博士一毕业，她便从宠物

店买来一只年仅 13 个月的小鹦鹉，取名“阿列克斯”（Alex）。这只鹦鹉日后成为大名鼎鼎的语言大师，一直进取学习并取得非凡的成绩，持续二十多年。

阿列克斯属于非洲灰鹦鹉（Grey parrot），和其它色彩艳丽的鹦鹉不同，这种非洲灰鹦鹉浑身上下只有静静的银灰色，除了尾羽有一抹深红外，实在貌不起眼。

但是，它却时常抬起它那小豆豆一般如鹰的眼睛警惕地盯着任何靠近它的人，最重要的是它能够准确地回答佩佩博格提出的问题。

“阿列克斯，这是什么？”

“钥匙。给我坚果！”——每次回答都想得到美食。

“不，等一会儿。什么颜色？”

“玫瑰色。给我坚果！”——真有点被宠坏了。

“好的，好孩子。这是什么形状？”——佩佩博格给它一块坚果作为奖励，然后又拿出一个三角形物体。

“三角。”阿列克斯回答道。

佩佩博格拿出一堆球形和方形的色彩斑斓的小木块，问：“阿列克斯，有多少黄色的小球？”

阿列克斯沉默了一会儿，回答道：“六个。给我坚果！”

佩佩博格给阿列克斯看两块牛皮，问：“有区别吗？”

“没有。”

佩佩博格又拿出一块塑料问鹦鹉：

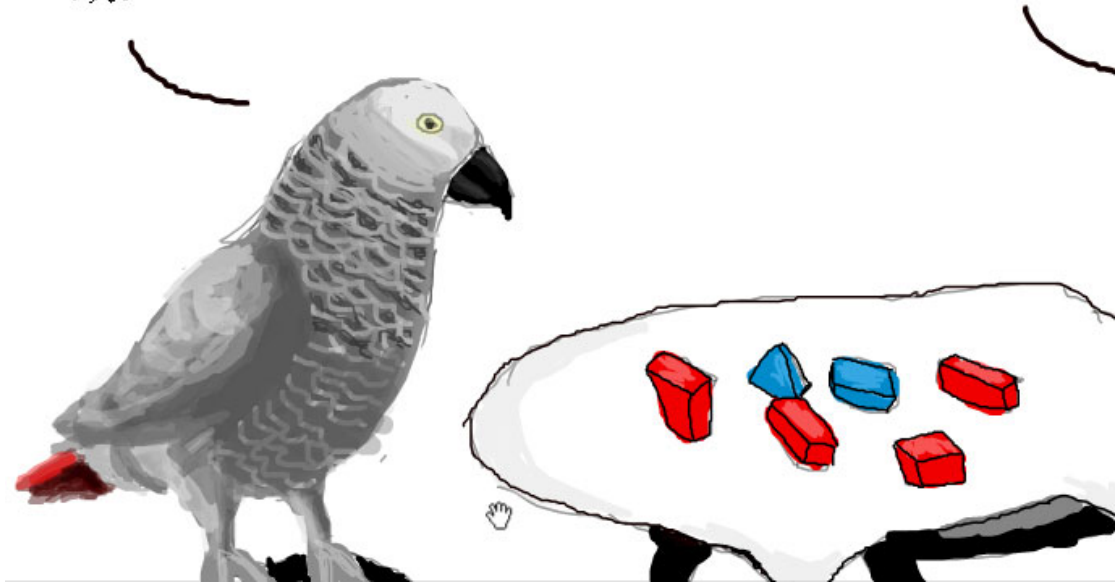
“阿列克斯，这是用什么材料做成的？”

“塑料。”

拿出一大一小两个玩具，问：“哪个大？”小鹦鹉也能准确回答出来。

阿列克斯，有几块红色的物体？

4块。



阿列克斯识字 （周穆如 12 岁画）

阿列克斯不仅知道许多物品的名称，还能说出它们的颜色、形状、材料。当然，就像嘴馋的小孩，它总是在回答问题之后就要求吃一粒坚果，有时也会不耐烦，调皮捣蛋，故意答错。

除了不停地索要食物，阿列克斯还会主动提出一些另类要求，站累了佩佩博格的肩膀，它会说：“想要去健身房。”——也就是它平时做锻炼的横杠处。

阿列克斯也能够把一些词汇连接起来，形容一个物体，将“绿色木头”和“绿色销子”连在一起说“绿色的木头销子”。

它还能识别英文字母，给它一个“S”形的冰箱贴，它会说：“Ssss”，再放一块“H”，它就说“SHhhh”。甚至给它一个英文“OR”，它也能准确发音。

阿列克斯五岁时就学会了命名 4 种颜色，4 种形状和 40 多个物品。到二十多岁时掌握了 100 多个单词，虽然还远未达到吉斯尼的记录——英国一只灰鹦鹉拥有的 800 个词汇量。但是，阿列克斯看起来善于思考，勤于和人交流，并知道它嘴里说出来的是什么。这一点远比毫无意义地发出一个个单音重要得多。

人类的近亲——猩猩也只会比划手势或借助键盘和人打“哑语”，与之相比，阿列克斯可是聪明多了，它能和人一问一答，用标准的英语对话。

其实，鹦鹉会像人一样说话，已不是什么新鲜事，很早以前，人们就发现鹦鹉、八哥会说

话，甚至会背诵诗歌、学人唱歌，是众所周知的“学舌家”。但是，它们给我们的印象仅仅是——傻子讲故事，噪聒而激昂，毫无意义。

直到阿列克斯的出现，使我们对鹦鹉的印象发生改变。现在我们知道，它们是在思考的。否则，在野外生活中，它们如何知晓食物藏在什么地方，如何彼此联络？它们是像我们一样会理解问题，会思考的动物啊。

后来，阿列克斯的学语生涯又有了新的进展。那就是有了“零”样概念的认识——为什么说是“零”样概念呢？因为对于阿列克斯，似乎还不能断言它能否真正理解“零”的明确含义。

人类正常儿童，到3-4岁才能理解“零”这个抽象的概念。统观人类对“零”数量的认识，发生较晚，大约在一千万年前的印度，在西方国家更晚，约1600年才传播开来。

而近30岁的阿列克斯似乎领悟到了什么，从前问及它两个相同物品的区别时，它会回答：“没有”。现在，当它数数的时候，它也会使用“没有”（none）来代替“零”（zero）了。当实验员给它三组颜色不同的物体，2个红色球体，3个绿色方块，6个黄色锥体。问它：“5个一样颜色的物体是什么？”阿列克斯回答：“没有。”

“没有”和“零”在概念上存在一点差别，“零”虽然表示什么也没有，但仍属于数字范畴。阿列克斯小小的脑袋还不能完全理解“零”数字，但已开始逐渐理解什么是“空无一物”，什么是“不存在”了。

黑猩猩和松鼠猴也有“零”样概念，但它们是通过训练学会的。而阿列克斯再一次凭借自己的“思考”创造奇迹。

问题

阿列克斯的语言水平相当于人类的哪个阶段，或哪些人群？

答案

科学家认为，阿列克斯的智力接近4、5岁的人类儿童。

同时，研究人员也指出，阿列克斯“零”样的概念并不等同它有很好的数学天赋，让我们把它比做有语言及数字障碍的儿童可能更安全些。虽然对于阿列克斯，这样的比喻似乎欠公平，但毫无疑问，我们对于动物，包括阿列克斯、大猩猩等的语言的研究，除了有助于理解语言如何产生，也将更方便我们了解、帮助语言障碍儿童。

5. 猩猩与人对话

毫无疑问，很多动物随时在进行着交流，其中有声音的交流，也有无声的体态交流。从大象发出次声波，猩猩们为食物欢呼雀跃，到鱼儿摆动裙裾，翩翩起舞寻觅“另一半”筑巢，以及蜜蜂寻蜜回来跳摇摆舞……大自然中，几乎所有的生灵都因为生存，因为生活而进行着各式各样的交流。

对于动物的肢体语言，我们尚可以猜测，虽然同一动作可能表达不同的含义，比如狗摇尾巴和猫摇尾巴，分别代表友好和发怒的情绪。

但是，对于动物的声音语言，我们人类显得这样无能为力，因为它们实在难以捕捉，含意复杂。然而，作为唯一能够统筹地球的生物，人类可贵之处就在于有强大的好奇心和想方设法解决问题的决心和勇气。

我们不知道动物的语言，所以不知道它们在想什么。但是，反过来，我们可以让它们来学我们的语言，然后，用这种大家都知道的语言，和它们交流，探知它们在想什么。

虽然有这样的想法，但是对于很多动物，它们不具备我们人类说话的生理结构。我们人类是依靠喉咙的声带来发出声音，舌头在口腔内上下翻滚，发出好听的音调。而鸟的发声是靠鸣管，除了少数鹦鹉也会使用舌头外，其它动物几乎不会翻动舌头来辅助发音。即便是人类的近亲猩猩，也因为缺少必要的发声结构而在语言上无法与人类抗衡。

从前认为，人类的喉结构在幼儿期发生了一次下降，是人类能够发声的关键所在。喉下沉使得人类发声的共鸣空间增大，为说话提供了条件。但后来发现，猩猩的喉在幼年时期也发生了一次下降，可是它们依然不会说话。所以研究者认为，幼年时期的喉下降只是使人类走上发声之路的一个促进因素，而非决定因素。另外，猩猩的嘴唇不如人类的灵巧，人类的嘴唇可以形成很多形状，以制造不同的气流共鸣空间，帮助发出不同的声音。还有一个重要的原因是，猩猩不能像人一样，自如地尽可能长时间地控制呼吸，所以不能发出柔和而节律自如的声音。

人的直立行走也给发声创造了很好的条件，直立行走使得人的脊柱和地面垂直，头完全抬起来，因而喉咙后面留了一块足够大的空间，使我们在需要发出不同声音的时候可以随意控制呼吸。同时，直立行走也使我们的舌头在口腔里能够灵活翻动，发出各种美妙的声音。

人们极力想找出为什么自己能说人语，而动物却不能的原因。除了发声的结构不同，进化上猜测由陆地潜入水再由水登上陆地，人们还在基因上找到了片语只言的证据。比如，FoxP2 基因。这个基因最早发现于上世纪九十年代初，一群有说话障碍的英国家族（后被命名为 KE 家族），他们的 7 号染色体有一段出现异常，导致该基因的表达产物在脑内不足，从而影响了

说话功能。这个基因就是 FoxP2，曾被人们认为是“说话的基因”。

探讨语言必须要研究会唱歌的鸟，在 FoxP2 基因上也不例外。科学家认为，在鸟儿负责鸣唱的脑区内有 FoxP2 基因表达的蛋白质。鸟儿在学唱时，大脑内的 FoxP2 基因的活性增高。最近，人们采用基因手段，将鸣禽的 FoxP2 基因表达阻断 70%，经 2 个月的学唱后，这些鸟不会唱婉转的歌了，它们只能发出不合时宜的单调之音，和原先本应唱出来的悠扬歌曲相差十万八千里。而 FoxP2 基因正常表达的小鸟却依然能够唱出委婉的歌曲。

既然基因、发声结构注定动物不能像我们一样说话，人类就想出一个好办法——让动物去学习一些我们人类可以理解的语言方式，不一定非要它们开口说话。

最著名的例子是让猩猩学习人用的信号语言——也就是类似哑语的手势比划。美国的科学家率先让猩猩学习美式手势语（American Sign Language, ASL），结果，猩猩在出色地完成规定的语言学习之后，也像人类一样富有创新精神，不仅发展自己的语法，还混入一些独创的手势，把“西瓜”比做“喝的水果”，把萝卜比做“哭的食物”。这就构成了独特的“大猩猩式手势语”（Gorilla Sign Language, GSL），甚至还有“猩猩式手势语”（Orangutan Sign Language, OSL）等等，五花八门。当然，猩猩的手掌和我们人的手掌不同，它们的手掌较长，指头较短。所以不能和我们人的手语比划得一模一样。

还有一种常用的语言方式——键盘语言，就是在一张键盘上标有各种几何图形，每个图形分别代表不同的字、词。图形本身在形状上没有任何含义，就像字的特性一样。也就是说，从代表“西瓜”的符号上看不出任何西瓜的影子。但是为了方便记忆，每种类别的符号又都有一定的小规律，比如有关食物的符号（也即是“字”）或许都会有一个共同的方形框框。框框里画上圆形、三角形等，代表西瓜、梨……而与食物无关的“字”或许有圆形边界。另外还有一些表示“送”、“给”、“喜欢”等动词的符号，以及表示“好”、“坏”、“美丽”、“丑”等形容词的图形字。当猩猩摁键盘上特定的符号时，电脑会用英语读出来。于是，猩猩在学习键盘语言时，也在听英语口语。

另外还有一种语言学习方式——符号象征语言（language token）。用的字是一些塑料做成的各种形状和颜色的小薄片，不同的小薄片代表不同的词汇，在磁性小黑板上按不同的组合排列，构成一个个句子。

这三种语言方式发明于 1969，1973，1971 年，是使用最成功的用于猩猩的语言模式。



黑猩猩学习键盘语言 （周穆如 12 岁画）

问题

鸟和哺乳类动物除了在发声器官上有差异，还有什么主要的区别？

答案

哺乳动物大多用喉部的声带来产生声音，而鸟类则使用鸣管。哺乳动物只能在呼气时发出声音，在吸气时候发不出声音。而鸟类在呼气 and 吸气两种过程中，均可自如地发出婉转的声音，效率显然要高得多。

猩猩科语言明星档案

有这样几只猩猩科明星掌握语言最成功。

沃什（Washoe）：1965 年生于非洲的黑猩猩，1966 年被美国内华达大学的心理学家加德纳夫妇收养，并开始教它美式手势语言。沃什成为世界上第一只能够用手语和人类交流的动物。它学会了 160 多个美式手语（ASL）单词，并能组成近 250 个句子；能够像小孩子一样，出其不意地组词连成一些短句，表达不同的意思。不过语法都非常简单，省略了介词、冠词等，通常只有两、三个主要的单词。比如，“沃什对不起”、“给我花”、“请挠痒”等。此外，它经常

把自己的手语演示、解释给它的孩子或其它年轻的黑猩猩，以训练它们。它的养子从它及同伴中学到很多手语词汇。2007 年 10 月 30 日，这位伟大的黑猩猩去世，享年 42 岁。各大新闻媒体报道了沃什的业绩，并将它的名字记入史册，以纪念这位对语言研究有杰出贡献的黑猩猩。

出生晚于沃什的新时代黑猩猩，也在老师耐心的调教下，学会了各种和人类交流的语言。迄今，最著名的猩猩非两位明星莫属，它们就是：大猩猩“科科”（Koko）和黑猩猩“坎兹”（Kanzi）。

科科的明星档案：

来自家族：大猩猩（Gorilla）

性别：雌

生日：1971 年 7 月 4 日

出生地：加利福尼亚，旧金山

最喜欢的书：三只小猫

最喜欢的电影：自由的威利

最喜欢露脸的事：上杂志封面，上电视

宠物：小猫(名字叫：All Ball)

业余爱好：绘画，作诗，制作 CD

关于学习的情况：

老师姓名：Francine Patterson （弗朗西斯·帕特森）

开始上学时间：1 岁

智商：70-75

小时候到现在使用频率最高的词汇：吃、渴

开始表达自己的思想、给不熟悉的物体命名、会撒谎的年龄：6 岁

目前可理解的英语口语词汇量：2000 多个

目前掌握的信号语言词汇：1000 多个

可以拼组最长的一个句子：由 7 个词组成

能够理解抽象意义的词汇：“怀孕”（新生）、“死亡”（再也看不到了）、“嫉妒”、“羞耻”等。

大猩猩科科也有自己的思想，当比划“花朵”的时候，它和我们人类比划的不一样。因为

它首先从味觉上认识花，而且觉得那所谓人认为的香味是很难闻的臭味，所以就比划“花”为“臭味”。一旦这样认定，它就不再改变这个词的表达方法了。于是，大猩猩的词汇库中就有一些特殊的“方言”，如：“嘴唇”表示“妇女”；“皱眉”表示“悲伤”；“恶魔”和“卫生间”表示“心情不好”。科科表示“卫生间”是用手搔胳肢窝——风牛马不相及。但这也是语言的特点，词汇本身并无任何意义。你能从“糖果”这两个字看出糖果的形状、色彩吗？显然不能。但是你可以想象面前有一堆五颜六色的糖果，而这种想象是在你学会了将这两个字和实物联系起来之后才可能建立的。

虽然科科掌握了千余字，会和人交流，但它的语言方式还是缺少了最重要的一环——语法。科科所能做的就是把一些词汇用手势表达出来，形成一个简单句，以表达它的需要，它的情绪。但是，在自行独创一个新的句子来表达新想法上，它还是有困难，它不会运用现有的词汇来创造新的句子。它也缺乏幽默感——不擅长开玩笑。

科科是个名符其实的印象派画家，它的很多画作价格不菲。不过，在用手绘画的同时，它的嘴皮往往也涂抹了花花绿绿的色彩，好像嘴也参与了部分创作过程。其实那是因为猩猩与人类相比，智力仍显低下，近似于人类的婴孩期，对物品的最初认识是靠嘴的品尝来完成的。

如果你想购买或欣赏科科的印象派涂鸦，请到网址 <http://www.koko.org> 上去淘一淘。

坎兹的采访记录——自我介绍

来自家族：倭黑猩猩(Bonobo chimpanzee, *Pan paniscus*)

性别：雄性

生日：1980 年 10 月 23 日

我的相貌：从头黑到尾，像个黑脸关公。虽然貌不起眼，但却是所有类人猿中最苗条的，有人叫我们“侏儒猩猩”，我不在乎，因为在四种猩猩中，我们是最聪明的，基因分析也表明我们和人类的差异最小。所以也被称为“小人类”。虽然我们也不认为人类就是最聪明的，但它们这样称呼我们，我倒也不介意。

学习缘由：当萨维之·蓝姆波老师给我养母上课，教它语言文字的时候，年幼的我常在一旁玩耍，翻跟头，间或也听听课，但都不认真，仅出于好奇而已。结果我养母学了 5 年才记得 6 个字，还都是些有关吃食的名称。而我呢？——无心插柳，柳成荫——不知不觉就学会了好些单词。6 岁时掌握了 200 多个字，并会造句了。现在若是给我一个文字键盘，我能用上面的符号，组成上百个句子。

我的超强本领：我在学习语言和与人类交流时，常不自觉地发出“咿咿呀呀”的声音，我

能够说话，但是他们听不懂。到现在为止，他们似乎只听懂了我说的“香蕉”、“葡萄”、“果汁”和“是”这几个字。和我养母一样，他们人类只对“吃”感兴趣，所以只能领会我说的这几个字。人类真的还没有我们聪明，我能听懂他们说的好些话，并能借助键盘和手语与他们交流，可是，他们只能听懂我说的几个字，还只是因为我说的这几个字是模仿他们的发音！

喜欢的东西：我喜欢所有小孩子喜欢的东西，比如“M&Ms”巧克力豆，爬树，在水中嬉戏，驾驶高尔夫球车，野营——顺便说一下，烧烤是我的最爱，看着烧烤架上的袅袅青烟，真是让人觉得心旷神怡。最近我还热衷制作音乐，玩游戏，看电影，看录像。看到我喜欢的部分，我还会反复倒带，把它看个够。

关于我的课程：我学习的不只是大猩猩 Koko（科科）学的“信号语言”，我更多的是在学习摁键盘上的“字”——也就是一些几何图形、符号。一个键盘上有各种符号，有时是三百多个呢。每种符号代表一个字。所以要记住每个符号代表的意思的确是不容易的。除了知道并记住每个字，还要根据一定的语法，将各个词汇连接起来，形成一些句子，表达不同的意思。当然，在这里，人类科学家的是明智的，他们让电脑根据我们在键盘上的选择发出人的声音。也就是说，虽然我们学的文字与他们的文字不一样，但发出的声音却是人话，意思也和他们的文字一样。这样，如果我摁“要吃苹果”的符号，电脑就会发出声音：“要吃苹果”——当然是纯正的英语了。但我相信，只要电脑愿意，它还能说出这句话的中文、西班牙文、法语等多国版本的语言。瞧，我只要摁几个符号，就能够和多国人士交流呢。同时，我也在听这些人话，无形中就记住了发音，虽然我不会说，但听到别人说这些话时，我就明白意思了。

最令我激动的回忆：我们住进了豪宅！好心的科学家花了上千万美元，为我们建造了一座豪宅。里面有十多个房间，房间里有电视机，我们可以看电影《人猿泰山》。屋外有讨人喜欢的人工溪流、瀑布和花草。最让人高兴的是还有一间宽敞的厨房，我们可以力所能及地“做饭”，想吃啥就做啥。厨房里还有一个自动贩卖机，有的姐妹已经知道怎样扔进硬币得到自己想要的可乐和巧克力威化饼了。

房间里还有一些画笔、颜料和乐器等，我们高兴时就画上几笔。我们也得到了一台摄像机，必要的时候，我们可以拿它来对准房屋外，摄像那些在外面观看我们的人类。他们可真是不注重隐私权，他们在我们的房间各处都安装了摄像镜头，所以我们住进豪宅是有代价的——那就是要充分暴露我们的隐私。好在我们也不在乎自己的一举一动是否被别人偷窥。因为世代生活在丛林里，没有什么可遮掩的。他们想看看我们能否被打造成人类，或者被他们人类的文化所感染，为什么不呢？我们猩猩也有进化的意识，要想生存，就要跟得上时代啊。

其它有语言天赋的黑猩猩档案：

谷兰（Gua）：上世纪三十年代的语言明星，不到一岁半时，就能理解 100 多个字的意思。

维姬（Vicky）：上世纪五十年代被一对科学家夫妇当做自己的小孩一样养育，它能够说出：“妈妈”、“爸爸”、“杯子”。

尼姆（Nim）：上世纪七十到八十年代明星。四年后学会了上百个信号手语。并可组成两个词或三个词的短语，如“我吃”、“你……我……香蕉”。但是它的训练者赫伯·特雷斯却不相信猩猩可以掌握语言，他认为，猩猩只是为了取悦训练者，而不是自己乐意，才使用手语的。他发现尼姆的确显示出应用语言的天赋，但却不能用词汇组成新的句子表达它内心的所有想法。

莎拉（Sarah）：上世纪六、七十年代。使用塑料制作的各种形状、各种颜色的小薄片，在磁力黑板上造句。同时参加学习的还有另外三只黑猩猩，但只有莎拉是最出色的，它会分析，并运用一定的语法，将代表词汇的小塑料片连成简单的句子。比如：“莎拉给约翰苹果”。但是，莎拉只对它的老师有反应，对其他人的命令充耳不闻，更拒绝拼写。所以它的学习能力相当有限。

问题 1

沃什和聋哑小孩相遇会怎样？

答案

也许，他们会互相观望，自我谦让一番，然后很可能开始打哑语。沃什挥动手臂，表示“孩子”，而聋哑的孩子用手抓胳肢窝，比划说：“猴子”——这时，沃什很可能会以为小孩想去卫生间。

问题 2

猩猩们学的语言究竟是不是真正的语言？

答案

动物如果能够创造出新的句子，而不只限于理解，才是真正有了语言，那应该是本能、自动地使用，而不只是在表演时，或在想和驯兽员交换美食时才去做的。

或许有一天，我们发明了动物语言翻译器，那就不用麻烦动物学着和我们交流，而是我们

主动和动物交流了。这样就可以避免交流的误区——我们至今仍要怀疑，究竟它们是真的在和我们交流？还是我们看到的仅只是一种简单的模仿，抑或为了食物而迫不得已建立的条件反射？就像狗看到肉就流口水，猩猩也许看到某个符号就想起香蕉或其他什么水果，它所谓的语法或句子无非是把某种水果和这些符号，乃至连接符号的顺序联系了起来而已。它们不能像人一样本能地使用这些手语或符号，它们是靠后天学来的，而这些后天学来的手语或符号并不是它们有生俱来的交流方式。

6. 叫声代表什么？

蓝鲸是地球上体型最大的动物，胜过已灭绝的任何巨大恐龙，同时也是目前地球上叫得最响亮的动物。它们可发出高达 188 分贝的“隆隆”声，这么高的耗能是有原因的——便于穿透厚重的海水，进行个体之间的联络和寻找配偶。我们人类叫喊的声音约 70 分贝，如果听到超过 120 分贝的声音，我们将感到耳部刺痛，非常难受。

蓝鲸生活在海洋，那么，在地球的另一半——陆地上，叫得最响的动物是谁呢？

吼猴(*Alouatta* spp)，当选陆地上叫得最响的动物。吼猴，顾名思义，吼叫的猴，是灵长类动物，也是陆地动物中，最喜欢叫，最擅长叫的冠军。它的叫声仅次于蓝鲸，吼出来的分贝数在地球排名第二。

我曾在电视上看见吼猴张大嘴，摆出“吼”不惊人，誓不罢休的凶狠架势，它们发出此起彼伏，长久跌宕的叫吼声，十分震撼。如果数只吼猴一起吼叫，那声音可穿越茂密的丛林，传到五公里之外。吼猴们在美洲的热带雨林间荡来荡去，仿佛飞跃的蝴蝶，伴奏的音乐却是肆意激昂的交响乐，使你霎那间感到原始丛林的粗犷和野性。我国动物生态学家张树义是进入南美洲考察 19 个月的中国首位科学家，曾在亚马逊的热带丛林遭遇过吼猴，在他的著作《野性亚马逊》中，这样写道：吼猴吼叫的本领源于其下颌部可振鸣的声囊。一旦两组相邻的吼猴遭遇在领域的分界处，便会爆发一场惊天动地的“吼战”，而胜利往往属于吼声最响和吼叫时间最长的一方。自然界的许多动物都是以仪式化的战斗形式取代了直接的肉体冲突，这样会降低种群内部的损耗。

吼猴用持久，尖厉的吼声来吓倒入侵者，同时也用这样特殊的吼声来进行群体间彼此的交流。每天清晨及日落，它们便像一只只巨大的闹钟，积极吼叫，联络大家，确定领地是否完整，家人是否安康。

由于吼猴和蓝鲸发出的声音尚处于比较简单的单音阶段，只是配与不同的声调，所以，和

语言相距甚远。那么，有没有这样的动物，它们能够像人类一样，把不同的单音组合在一起，形成较为复杂的句子呢？

2006 年，人类找到了这样的动物，再一次，发生在人类的近亲——灵长类动物。美国圣安德鲁大学科学家发现，非洲墨鼻猴能够把两种叫声连在一起，构成一个句子。

通常，雄性的墨鼻猴在清晨出去觅食和傍晚归来时都会发出叫声，彼此问候一下。它们常用的两种声音是“扑呀”（Pyow）和“嗨克”（Hack）。在遇到豹子时，它们会发出“扑呀”的报警声，当老鹰出现时，它们就发出“嗨克”的报警声。但是，有时，它们会将“扑呀”和“嗨克”这两种声音连在一起，比如：1-3 声重复的“扑呀”之后，跟随几声（最多 4 声）“嗨克”。此时，并没有豹子或老鹰出现，但这种叫声却能起到很好的号召作用，仿佛在说：“快走啊！”，于是，其它墨鼻猴听见后，就抬起脚步开始走了。能发出“扑呀——嗨克”组合的墨鼻猴移动的距离和范围要大得多。

这是人们发现除人类之外，会使用类似句子式的发声语言交流的动物。墨鼻猴仅用两种最常见的叫声，“扑呀”和“嗨克”——像两个不同的词汇，将其进行组合，表达的意思就和单纯使用时明显不同。

更有甚者，2009 年法国科学家花了 20 个月，在西非的塔伊国家公园观察了 6 个家族的坎贝尔长尾猴。他们惊喜地发现，家族里的雄性“家长”猴会给词汇加上后缀“—oo”。通常，长尾猴在遇到危险时会发出 6 种声音，分别警告豹子、老鹰、蛇来了，或是某棵树即将倒塌……

当给这些词汇加上后缀，意思就会发生变化，由特指的某种天敌逼近，变成泛指危险要来临——也难怪，在莽莽大森林，并不能保证每次都清楚地看见危险是什么，但凭感觉，总是会发觉有某种危险来临，所以，使用这样的带后缀的词汇就很必需。

不仅如此，长尾猴还会像墨鼻猴一样，将 6 种词汇进行搭配组合，召集家族成员：我在这儿，跟上我！

坎贝尔长尾猴和 3 千万年前的人类享有共同的祖先，也就是说，人类语言中“后缀”的基因在那时就已经潜伏在长尾猴身上了，同时，也让人们发现句法在动物上灵活运用的先河。

其实，用不同的声音来警示同伴是否有危险，这在很多动物都有发现。啮齿类动物地松鼠，当天敌离得很远时，放哨的地松鼠就声嘶力竭叫出一种曲调绵长的声音，以提醒大伙注意，远处有危险，不过也不必惊慌，情况待观察。一旦山猫冲上来，眼看快要到眼皮底下了，地松鼠便张开嘴，呲着牙，焦急地发出另一种短促而尖锐的警告之音，仿佛在催促：快！快！快回洞里去，敌人已经来啦！于是眨眼之间，所有在草地上吃草的地松鼠一跃而入洞穴，不见了踪影。

鸟儿在看见陆地的敌人和空中的猎禽时，向同伴发出的警报声会有所不同。

但是，这些动物发出的警报声并非复杂的语言，它们只能算作是一种叫声。不同的频率形成不同的声音，代表不同的意思。因为缺乏语法，所以仅是语言的初级形式。而墨鼻猴的发音已经开始初具语法规模。

平时，大多数动物均处在沉默安静的状态，它们的语言功能低下，所以在日常生活中，语言并不占主要地位。但是，关键时候，沉默的动物会奋力发出各种声音。一种情况是在面临危险时。在进化伊始，动物对即将来临的危险快速产生应激反应，全身被迅速调动，时刻准备应战，其中也包括喉部快速鸣叫，也许是为了吓跑对方，也许是自身紧张的一种表现。直到今天，我们人类仍忠实地保留了这一进化产物，当我们突遇惊吓，在还未明白过来时，总会抢先听见自己的一声尖叫——频率很短，但声调高得足以警告全身处于备战状态，并附带吓倒对方——纵使前方也许什么也没有，仅只是一场虚惊。这样的尖声同时也警示同伴：前方可能有危险。

其次，在表达愉悦时。甚至最沉默的考拉在靠近心仪的对象时，也会欢叫起来。此时，它们急切地爬上树，“吱吱”呼唤着，看起来像是分散多年的老友喜相逢一般，热烈而欢欣鼓舞。

“民以食为天”。很多饥饿的动物在美食面前总会赞不绝口地发出愉快的低吟。此时它们的嘟囔声表达着它们满意而高兴的心情。



憨厚考拉 （作者摄）

声音的作用除了警告，表达愉悦外，最奇怪的是还可以被动物用来作为捕食的工具。宽吻

海豚会发出低频声音来扰乱鲑鱼的方寸。一旦小鱼们晕头转向，布阵混乱，就很容易成为海豚的美食。

此外，动物的声音还蕴含了丰富的信息。最近，匈牙利科学家录制了狗的 6000 种声音，将其分为 6 大类，由此开发出一个破译狗语言的软件。通过这个软件，我们可以“读懂”狗的 6 种状态：孤独、玩耍、遇见陌生人、打斗等……

澳大利亚科学家亦努力解读海豚在深海中的语言，他们确认了近 200 种海豚的声音，发现 6 种最为常见。不同情况下海豚使用不同的声音，比如口哨声和猝发的脉冲声，用于通讯交流；“咔嗒”声用于目标定位。欢乐的海豚会发出类似小孩般兴奋的“呜呜——”声。

中国学者在神农架考察金丝猴，也把金丝猴的声音归为大约 18 种，“噫——噫——”表示心情很好，大家相安无事；“呜嘎——”、“呼哈——”即“危险来啦，大家做好警戒工作！”；“呱呱”是在说“这是我的地盘，不容侵犯！”；而温柔的“哇——哇——”则是老猴在招呼小猴不要闹，快跟上。

……

问题 1

上个世纪，人们就发现黑猩猩和大猩猩能够用符号或手势语言表达一些简单的句子，那么，为什么说非洲墨鼻猴和坎贝尔长尾猴是除了人类外，可用句子式的语言交流的动物呢？它们最大的区别在哪里？

答案

最大的区别是：黑猩猩和大猩猩打的是“哑语”，而非洲墨鼻猴开始“说话”——说句子了，这些句子带有句法的雏形。而且，它们没有经过任何训练，是在自然界中进化出来的天赋。

7. 豚鼠豚豚

家里新近又来了一只小豚鼠，它的名字叫“豚豚”。每天，豚豚都安静地伏在小笼子里，有时稍微走动走动，抖抖毛发，来几个小幅度的跳跃。

开始一段时间，它默不作声，渐渐地，它熟悉了新环境，胆子也大起来，就会发出一些声响。我下班回家，钥匙刚刚插入门锁扭动，就会听见小豚豚在屋里“唧唧”地叫起来，一声比一声急，好像在催促：“快点，快点，我饿了！”。

女儿把莴笋叶塞入它的笼内，它就像农场里的猪一样，咕噜咕噜吟出一阵低沉愉快的耳语，好像在说“太好了，莴笋叶是我的最爱！”，继而，忙不迭地啃食起来。

到了我们准备吃晚饭的时间，小豚豚阵阵清脆地叫唤，仿佛在说：“你们要吃饭了，也别忘了我啊。”

有一晚，莴笋和饲料都没有了，豚豚突然喊出高亢无比的“唧唧”尖叫，连绵不断，声声凄厉。把我们吓坏了，赶快为它找来食物。后来我就把新买来的大包莴苣叶放在冰箱里，这样就不用担心断粮了。

没想到，后来只要我们一开冰箱门，远在窗户底下的豚豚立马就呼唤出尖利的“唧唧”声，仿佛它知道莴苣叶放在冰箱里。显然，这又是条件反射的功劳。而最可爱的是，豚豚会主动张嘴唤出“唧唧”声来提醒我们开冰箱时，不要忘了给它拿莴苣叶。

后来，我把它带到实验室，放在垫了锯末的塑料盒里，给它一些它爱吃的饲料。它就一动不动地蜷在盒子的一角，像被惊吓的受气包……我想也许它在新环境里很不适应。后来我女儿来看它，还在几米之外，它听到我女儿说话的声音，马上又发出我们熟悉的、高亢无比的“唧唧——”尖叫，我突然觉得我们的豚豚又回来了，它还是那个仿佛这一生一世除了能吃上莴苣叶就别无他求的豚豚。它记得我女儿的声音，因为平时它的吃喝拉撒全是女儿负责，女儿还经常给它洗澡，带它出去玩，所以，女儿对于它来说，无疑于母亲。

除了莴苣叶别无所求的豚豚也是有感情的啊，它高唱着不同的音调来表达它的激动、饥饿和满足……

渐渐的，实验室里的豚豚将叫声转向了我的高跟鞋，一听到“咔咔”的鞋跟声，它就慌不迭地“唧唧”叫起来——因为整个冬天，我都踩着这样的足音，给它喂食。憨厚的豚豚一听到高跟鞋的声音，就以为“母亲”来临，莴苣叶来临，扯开嗓子，欢欣地尖叫，呼唤我……竟然像小时候在幼儿园的女儿见我去接她回家一样。

动物除了能够发出我们能听得见的声音外，还能发出我们听不见的声音。大象既能洪亮地哀鸣，也能发出我们听不见的次声波联络同伴。这种次声波的频率多在 14-35 赫兹，有时还低于 5 赫兹。经过长鼻子的放大，大象发出的这种次声波可穿越数公里，而人类对此却置若罔闻。所以，在西双版纳，如果偷猎者把小象捕走，无论藏在什么地方，大象妈妈都会找来，那是因为大象妈妈听到小象发出的求救的次声波，就匆忙赶来啦。

有些动物还能发出超声波。蝙蝠、鲸类、海豚和一些啮齿类动物，能够发出频率大于 2 万赫兹的超声波。超声波一般被认为是某些哺乳动物所独有，因为进化的历程使得它们发展出这

样超强的交流方式。有一次我听实验室的同事说，大鼠可以发出超声波，在高兴和恐惧时发出超声波在频段上还不一样。

当外界环境的背景声音很高，掩盖了个体说话的声音时，日本鹌鹑、帝企鹅、豚尾猴，会像人一样，及时提高自己声音的幅度。以便交流的对象能在水声、风声，以及其它动物的叫喊声中，辨别出自己的声音。

或者相反，当动物意识到周围的环境太嘈杂时，会适当降低自己的音量，因为它们知道自己的叫声在嘈杂的背景噪音中凸现不出来，所以就将徒劳无益的叫唤声做一些出其不意的改变。这样就可以使自己在同类中突出，使对方一下子听出自己的与众不同。

海豚在海底碰到大批同伙的时候，倾向于降低自己的声量，在节省能量的同时，又表现自己的特殊。可谓“沉默是金”。

有些燕类的雏鸟在鸟巢里等待母亲喂食时，并不和吵杂的兄弟姐妹比谁的声音大，却默不作声，这也是一种很好的策略。诚然，会叫的孩子有食吃，但有时母亲也会更加关照貌似弱小的孩子——此地无声胜有声，一旦小鸟不吭声，就会引起母亲的怀疑和担心，怕它生病了或是哪儿不舒服，于是投入更多的关注。

这在我们人类看起来是非常简单的一件事，但在动物，却意味着它们能根据外界情况，来反馈调节自己声音的高或低，说明它们已经明白声音的作用，并知道声音是自己，不是别人发出来的——这其中已经开始闪现“自我意识”的火花。

凹耳湍蛙（*concave-eared torrent frog, Amolops tormotus*）却另辟蹊径，走了另外一条进化的路。

这种蛙也叫做凹耳急流蛙，顾名思义，它的耳道是凹陷的，而且生活在湍急的瀑布河流间。它们发出的声音常常被瀑布急流的声音掩盖，当声嘶力竭的“呱呱”声仍然比拼不过环境的噪音，而沉默显然更无济于事时，凹耳湍蛙便进化出超声波——显然，发出独特高频的超声波穿越瀑布急流，比提高声音分贝数更经济，更节省能量。接着，接受超声波的凹陷的外耳道也在同伴中被进化出来。

于是，凹耳湍蛙的雄蛙先生充分运用这项发明，用鸟鸣般的超声波交流，争夺领地，从而获得不少雌性小姐的青睐。这是 2006 年在中国的黄山，由中科院生物物理研究所沈钧贤教授等人发现的，结果刊登在《科学》杂志上。

8. 茜茜的语言

最近，美国科学家注意到，当猴群中出现其它年幼的小猴时，母猴会呼唤出比平时更响亮的“叽叽”声——就像妇女见了可爱的小孩总要换个温柔幼稚一点的语气说话一般，同时雌猴们还会热情地摇尾巴。但是对自己的孩子，它们没有这样戏剧般的变化，可能因为它们对自己的孩子很熟悉了的缘故。

现实中，我们也有幸观察到猕猴在不同情况下，发出各种变幻莫测的声音。

实验室的小猕猴茜茜白天在笼子外面游荡了一天，晚上，喂它的学生——我们称茜茜的养母——把它关到笼内，刚一离开，可怜的茜茜就惨烈地叫道“啊——啊”。每一声“啊——”都呈急速的升调，绵长而绝望。像极了我们遇到非常伤心的事情时的恸哭。有天中午吃饭时间，屋里一个学生也没有，除了可怜的小茜茜。它一听到我的开门声，就急切地叫起来，喊出“呜——”的高音。等我拿了东西要走，它的叫声愈发急促高扬，仿佛在央求：不要走，不要丢下我！最后是声声绝望至极，高亢无比的“啊——啊”之音，仿佛小孩在嚎哭一般。

我想起刚开始送一岁多的女儿去一家人借宿的时候，还在半路，她就开始哭喊。那声嘶力竭的哭叫声，仿佛生死离别一般。



茜茜 （谭恒摄）

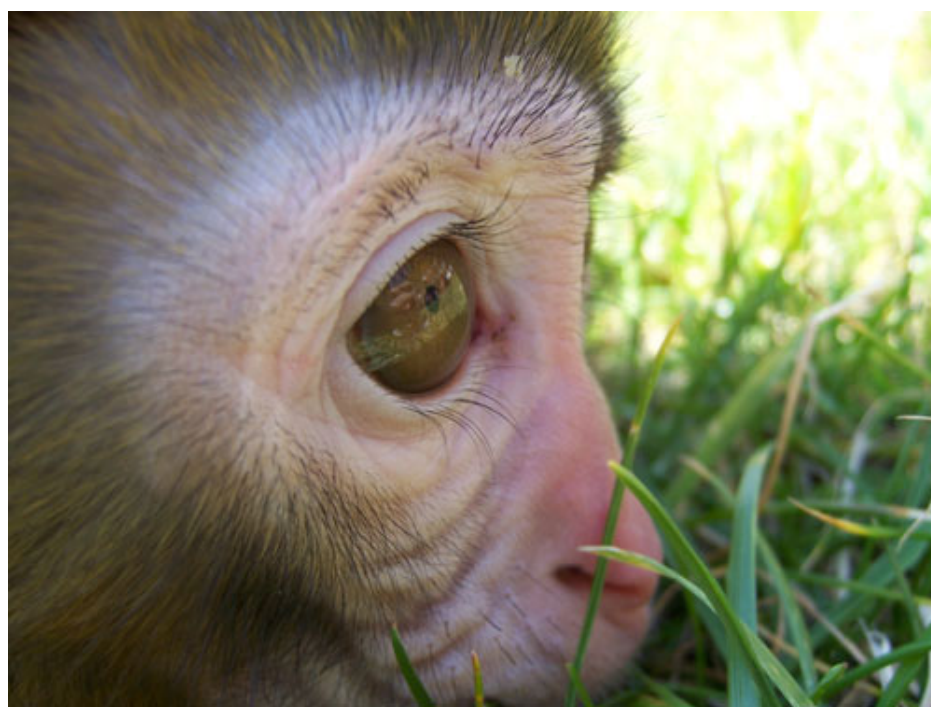
需要依赖母亲的幼童在与母亲离别时，总会表现出惊恐和慌张。在动物乃至人类中亦非常

普遍。它们拥有共同的语言特点——连绵不断地叫喊，或是啼哭（人类），用这样世代相同的方式表达它们内心的恐惧。在这一点上，语言是同源，同功，且是同形的。

一旦屋内有人坐着，即便不陪茜茜玩，它也不会这样焦慌无助。但它也不会很老实地自己玩，它总是想钻出笼子和人亲近亲近，这时它时不时叫一声：“喔……”的上升长音，中间夹杂着“咔咔咔”短促的叹息，仿佛在思索什么，又好像在说：“放我出来玩一会儿吧，我不会闹的啊。”——由于觉得希望不大，所以它就这么持久地，不紧不慢地，周期性唱着同一个调调，每段“喔……”之后都拖着一截悠扬好听，呈上升调的尾音。

当茜茜发觉有人注意到它，正走近它的笼子时，它的“喔……”音开始变短促，音调也逐渐降低，满怀希望地等待来人的“相救”。当来人只是看了看又走开，令茜茜大失所望，它的“咔咔咔”声就占了主导，仿佛人生气时结结巴巴：“你，你，你，咋不开门让我出去呢？！”。

茜茜高兴的时候，比如在甜点心面前，它会发出和豚豚一样含糊的咕啾声，夹杂着“库库库”之音，仿佛喉音一般。遇见它喜欢的男生，它抬起头，嘴巴开始急速活跃，塑成不同造型，焦急地发出“喱喱喱”和“库库库”混合的低音，看起来像在说话——那是一种想与对方交流的声音。尤其遇见萍水相逢的男生，它总是立马抛弃矜持，殷勤备至迎上前去套近乎，仿佛对方是一块巨大无比的磁石，而茜茜是个柔弱无力的小图钉一样。对于已熟悉的男生，它无需再用激昂的声音表达热情，取而代之的是大大地张开双臂扑过去，间或发出“喔……”的委婉之音。



茜茜 （谭恒摄）

除了四处游荡，偶尔爬爬高，冒冒险，或在热水中泡泡澡，茜茜最爱做的事就是躺在学生身上睡大觉。这时的茜茜浑身瘫软，像一只慵懒的猫咪，粘在人身上就下不来。如果有人强行将它拽下来，它会抗议地“叽叽”短叫，中间还掺杂不满的“咔咔”声，最后极为委屈地“喔……喔……”呻吟。

茜茜在发脾气时，或它想出来遛达，却长时间被学生忽略时，会突然气愤至极地爆发“嗞嘶——”之声，有如飞机离开地面即将冲向高空时，锐利令人窒息的尖鸣，每次我都想起“超音波”这几个字。

当茜茜极度恐惧——和自己的亲生母亲关在一起时，由于从未和其它猴子有过这样近距离的接触，即便是亲生母亲，它也极度惊恐，这时它的嚎叫变成了青蛙似的“呱——呱——呱”声。高亢之中显示出它内心的万分恐惧。

虽然从小和人类相处在一起，茜茜也并非对所有人都见面熟。它没有由来地对某些人有天然的害怕和畏惧。当这些人向它走过来，它无法躲避时，便发出颤抖的“叽叽”和低沉的“哦哦”声。我们不知道它为什么对人有不同的喜好，当然，茜茜对大多数人，就像见了亲人一样友好热情，尤其是男性。对于极少数人的天然恐惧，实在令人费解。这些人并未曾伤害或恐吓过它，但它第一次见了就不喜欢，甚至面露畏惧。对于一些女生，它也会挑几个来劈头盖脸地不喜欢，时常借机挑衅，抱着她们的鞋啃咬。仅凭一面之交，就决定自己的喜好，实在有点欠考虑。

成年的大猕猴，在猴笼中经常发出“喔……”的悠扬长音，表明它们很悠闲，情绪稳定。它们面对陌生人时会张嘴吼出低沉的喉音“嚯嚯嚯——”，同时俯身，龇牙，做攻击状。在我将动物房中的一只猕猴牵出来时，总会引起其它群猴的强烈不满，这时它们用手抓住铁笼，使劲摇，双脚撑在铁笼上，使劲蹬，铁笼于是被摇撼得惊天动地，引得更多猕猴加入狂呼乱叫。几乎每次我牵了猕猴离开时，身后都会留下一片狼藉而震撼天地的骚动之音。

9. 鸟儿“感谢主”

实验室里的学生都很喜欢动物，不仅在实验室里豢养实验动物，有的也在家养一些小动物。两只八哥就由一个博士后小心地养在家里。一天，博士后新婚的妻子在家里通过电脑视屏高兴地给我们“实况转播”八哥学人说话。电脑视屏上一只黑色健壮的八哥好奇地冲着摄像头探头探脑。

妻子说：感谢主！八哥仰头，似乎很费劲地憋出一声：“感——”，连续几次“感——”之后，突然冒出一句：“感谢主！”吐字流畅清晰，只是语速稍微比人说话快了一点。此后，我们就听见黑色健壮的八哥不停地絮叨“感谢主！感谢主！”一声声犹如小孩子稚嫩的学语，十分有趣。

我问了一下此时八哥的年龄，大约4个月，之前它并不会说话，总是无意识地叫，在没有人 and 它玩的时候，它叫得越厉害。新婚妻子在八哥小的时候就经常在它面前说：感谢主！——因为她是一个基督徒。没想到，无心插柳柳成荫，八哥长大后就会学舌了，而且学得还很像，有时我们简直分不清是新婚妻子在说话，还是八哥在说话。

很多鸣禽——也就是会唱歌的鸟，如斑胸草雀（*Zebra finch*），黄鹌鸟等，在年幼的时候会向父鸟学习唱歌，待长到一定的年龄后，它们就能像父鸟一样引吭高歌了。

在这些会唱歌的鸟中，只有雄鸟才会委婉地歌唱——学习唱歌的目的之一是等成年后，向雌鸟献殷勤。

幼小的斑胸草雀鸟从蛋壳中孵出来后，先听父亲唱歌——这个阶段小鸟并不发声，为聆听阶段。熏陶大约一个月后，幼鸟开始模仿发声——为学唱阶段，这时，幼鸟只单纯地做喉部运动。在此阶段，幼鸟的唱歌不时得到反馈和修正。三个月后，幼鸟的学唱开始稳定，形成固有的歌唱模式，几乎和父鸟一样能唱出婉转的曲调——为稳定阶段。

所以，鸣鸟的学唱有一段敏感期，不同脑区启动并负责不同阶段的学唱。学唱初期，控制喉部发声运动的脑区积极上班，活跃非凡，而负责学习旋律的脑区相对沉寂，仿佛下岗工人一样。这段时间，小鸟主要练习如何运用喉部肌肉发出声音来。但是到了学唱后期和稳定时期，控制喉部运动的脑区就相对寂静，退居二线，而负责学习曲调的脑区则上岗，忙碌起来。此时，小鸟已经会发出声音了，所以需要集中精力来学习如何唱出婉转的歌曲。在繁殖季节，雄鸟先生要抓住各种机会向雌鸟小姐展现美妙歌喉，它们会将脑内歌唱的脑区体积增大，以便“唧唧—喳喳”唱比平时多，比平时好听的歌谣。结束繁殖后，这些歌唱脑区便完成了使命，又缩小到原来的大小。由此可见，任何生物个体在使用自己的时候，极尽可能减少浪费，做到最合理经济地使用，以充分节省能量。

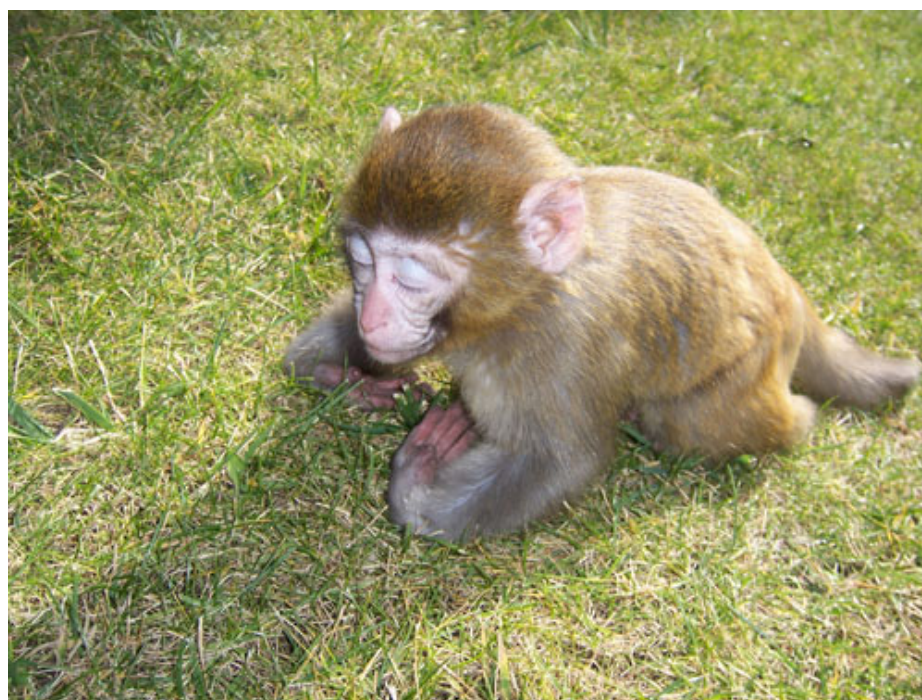
有些鸟还会在歌声中使用循环句式，美国科学家发现，欧洲椋鸟经过训练后，在它们的歌唱中，会反复使用某种结构，如把A，B两个音节重叠使用，先是一串A，再接一串同样数目的B，形成AAABBB等 A^nB^n 结构，而以往很多鸟的歌唱模式是ABABAB的 $(AB)^n$ 模式。前者和后者相比，大大进步。前者可以根据不同的组合产生更多的曲调，而后者听起来就很单调，只有一种音节。

自然界总是有其奇妙的规律，赋予各种生物不同的才能，使得它们在地球上各施其能，有的会唱，有的会听，有的会闻……自然界因而变得丰富多彩，分别在水中、陆地和天空中演化出各种生物种群，将地球的每一寸空间都渲染得流彩缤纷。

第七章 茜茜也会发脾气

从动物的声音，我们或许可以听出它们的高兴、愤怒或警觉……除此之外，有的动物还会发脾气、重男轻女、嫉妒，大象还会哀悼死者……各种表现令人瞠目，现在让我们来一一品味动物微妙而丰富的情绪变化……

1. 超级大脾气



茜茜作揖 （谭恒摄）

茜茜爱发脾气，脾气也大得吓人。刚满半岁时，一天，茜茜独自趴在地上啃一块水果糖，因为不会用手吃，它只能像小狗啃骨头那样，把地板当作碗。

茜茜的养母见水果糖在地上被弄脏了，就伸手把糖块拿起，到水龙头下去冲洗。这下可不得了，小茜茜马上跳起来，跺足捶胸，歇斯底里地尖声叫嚷，然后气急败坏地跑到屋角，对着

墙壁继续发射“超音波”。它不再回头，坚决拒绝再吃糖块。简直就像被溺爱的孩子在“撒泼”。

有趣的是，小茜茜只对养母有这样大的脾气，对不亲近的人并不敢如此耍横。一次我给它吃甜馒头，它不小心把馒头弄在地上，我赶快捡起来想把它放到干净的地方，不料茜茜以为我没收它的馒头，一下子转过脸来对着我呲牙咧嘴尖叫起来。反倒吓了我一跳。我不及它的养母和它亲近，所以它的脾气也只限于此。令我想起小侄儿，在我家里中规中矩，一旦见了自己的母亲，就会表现出另外的性格——除了分外亲昵，有时也会蛮横不讲理。看来，动物和人类一样，也能区分谁是亲近的人——可以对其任意发泄怒气而不至担心关系破裂；谁是不亲近的人——一定要克制自己的脾气以免对将来造成不良影响……小茜茜对养母发脾气的时候会想到这些吗？我想人类的小孩决不会想这么多，一切都在下意识中进行，但也是一个学习的过程，一旦第一次撒泼未得到母亲的阻止，以后将越演越烈。因为小孩子从母亲的纵容中察觉到母亲的溺爱，学会了采用这样的手段令母亲就范。当然，小茜茜一会儿就把不愉快的糖块忘记了，它很快又快快乐乐地东跑西跳了。

后来，还有一次，着实让我领略了茜茜的超级大脾气。新年那几天，由于学生放假，我负责茜茜的饮食，茜茜因此也对我有些熟悉起来。一天见小茜茜喜欢喝酸奶，我就一勺一勺地喂给它吃，小茜茜忙得不亦乐乎，欢喜地弄得一脸都是乳白色的酸奶，活像长了白胡子一般。中间一次我换手，把酸奶杯放到地上，小勺也放下。这时，茜茜突然像中了邪似地狂叫起来，发出刺耳的“超音波”之声，一边弓着腰跳将起来。此时，它头部毛发向后伏倒，脑袋霎时变得狭小而狰狞。耳朵也不见了，原来早已后抿，贴到后脑勺去了。它狂怒着，整个身子像只弯虾似地剧烈颤抖，我赶快把酸奶杯递过去，可是，小茜茜陷入它的狂暴中不可自拔，再也不理会我送上去的酸奶。它一口都不吃了！

我想它也许和我有点熟了，所以发这样大的脾气，它以为我不再给它喝酸奶，但这么强烈的反应还真是让人吃惊。它平时被学生宠爱惯了，脾气变得太坏，简直像被宠坏的小孩一样。

“小茜茜以为它是人哩！”这是我常听到的话，心里总是会涌起一阵难过，小茜茜应该在它该呆的地方啊，人类豢养了它，使它以为它与我们是同类，而实际上，它永远都是一只猴子，需要到它的猕猴同伴中去寻找属于自己的真正生活。



茜茜 1 岁半在女儿怀中 （作者摄）

有一天，女儿告诉我：茜茜还会撒娇呢。原来春节放假，茜茜借居我处，待再重返学生实验室时，见没有人欢迎它，它就“倏”地倒在地上，仰面朝天，四只小手脚在空中张舞，嘴里嘟噜着“叽叽呱呱”的声音——这种情况在宠物狗身上并不陌生，它们因为受到人的暗示，总会躺下来接受人给予的爱抚，同时也企图以这种姿势吸引人的注意。但在猕猴上，却很罕见。我因实验的缘故，经常要和猕猴亲近。关系最好的猕猴“丁丁”是一只 3 岁的成年猴，有时不用牵它，它也会若即若离地跟着我走。在太阳下，树荫间，我经常给它挠痒。但它最多也只会趴下来，伸着四肢，让我给它搔痒，却几乎没有见过猕猴主动躺在地上仰面朝天的——这种姿势对于它们来说，是非常危险的。野外的猕猴彼此之间抓痒，大多也采取坐式或卧式，只有在最亲密的群体内，才有脑袋朝天肚皮暴露的放松姿势——即便偶尔采取这样的姿势，也相当警觉，一有动静便翻身跃起。

茜茜不仅长时间主动仰面朝天，还发出耍赖撒娇的声音。在野外，幼小的猕猴若长时间得不到母亲的关注，也会“嚎啕大哭”或上窜下跳，以胡闹的方式来吸引母亲的注意。

人类幼儿也有类似的行为。当迫切想得到母亲的娇宠时，他们一边叫着“要抱抱，要抱抱……”，一边也会在地上跺足，甚至就地打滚。

半岁多的茜茜，也学会了这无赖的一招。它是怎么学来的呢？

有趣的是，野外的猕猴母亲在孩子胡闹的时候，会视情况而采取不同策略。如果当时围观的猕猴地位不重要，孩子的母亲能不管娃儿就不管。但如果围观者中间有猕猴曾经有过暴力记录或是地位较高时，母亲的反应便积极得多。它会迅速向孩子妥协，平息事态，以防遭周围猕猴的无端暴打——这些暴力围观者很可能因为不能忍受幼猴的胡闹而迁怒于其母亲。反之，有的幼年猕猴若想成功得到母亲的妥协，就需要挑选周围有威严的大伯大婶的时候开始耍赖。可谓见人行事，将获得事半功倍的成效。

我在人类儿童中也见到这样的情况。单独向母亲撒泼远不如趁爷爷奶奶在的时候撒泼更为有效。此时，爷爷奶奶成为撒泼儿童的“靠山”，幼儿可以凭借两位老者来共同对母亲施加压力。在人流吵杂的百货商场耍赖也会提高成功率，因为众目睽睽之下的母亲总是想尽快息事宁人。

蜜蜂也会愤怒，当我把蜂箱盖打开，用工具铲除溢出的蜂蜡时，激怒了蜜蜂。充当护卫队的蜜蜂一个个轮番向我盘旋飞来，带着飞机引擎般剧烈的轰鸣声。这种声音洪亮低沉而持久，透露出不赶走敌人，誓不罢休的架势。而处于和平快乐状态下的蜜蜂，往往发出一种瓮声瓮气，如鼻音般的“嗡嗡”声，短促而柔和，就像人的轻笑一样。当活着的蜜蜂用脚足“叼”起即将死去的蜜蜂空中搬运时，也会发出飞机引擎般的轰鸣，可能因为它们需要极力煽动翅膀才能托起和自己一样体重的蜜蜂，所以很吃力。但是，护卫的蜜蜂也采取同样的方式，增加煽翅频率，制造浩大声势，目的是吓跑入侵者，还是号召同胞处于备战状态？大概两者皆有之吧。

黑猩猩由于没有眉毛，所以不会因为欢喜而舒展眉头或因为愤怒而紧蹙眉梢，但是它们脑门上有足够多的皮肤可以产生皱纹，无形中，也表达了部分情绪。

猕猴受到惊吓时，会有和人类似的反应。一次我们去饲养房挑选猕猴，在群养猕猴的动物房内，饲养员挥舞着捕猴用的兜网，“唰”地就把一只强壮的猕猴扑了下来。饲养员把猕猴的手反扣起来，让我们记录它腿上的出生标记。这时，我看见被擒的猕猴脸颊红扑扑的，透过细密的绒毛，似乎可以看见血液在剧烈地涌动。猕猴的嘴微微张开，喘着粗气，眼神紧张却又坐以待毙。非常像在逃跑过程中，被警察捉拿归案的年轻匪徒，十分惊慌，也十分无奈。从它们脸部肌肉似乎看不出与正常猕猴有多大区别，但是从它的呼吸，面色，以及眼神，分明能够感受到它剧烈起伏的心情。

问题 1

茜茜在愤怒时，为什么耳朵不见了？

答案

达尔文在《人和动物的感情表达》中曾叙述过动物在紧张的时候，耳朵极富表现力。一些动物面临危险时，耳朵会后擎，耷到脑袋后面，这样做可以避免伤残。而有些动物正相反，在示威时，却将耳朵竖起来，以增大头部面积，起到威胁的作用。动物越高等，到了人类，类人猿，耳朵就渐渐失去丰富动人的表情。可能与它们在斗争中，逐渐依赖心智有关，因而放弃了低浅的表面假象。茜茜的进化地位尚低于类人猿，所以仍然保留着激怒时将耳朵后抵的滑稽夸张本事。乍一看，耳朵不见了，其实全贴在后脑勺了。

问题 2

我们可以像使用万用表测量电流、电压一样，测量动物，甚或我们的情绪吗？

答案

电流、电压是具备一定数值的物理量，而人或动物的情绪是飘浮不定的心理状态，难以测定。即便是这样，人类还是不懈地致力研究情绪，并尽力使其定量化。由于人类可以说出自己的感受，并具备丰富的面部表情，所以对于人类自身情绪的研究要比动物简单得多。面对不说话的动物，我们要做到知己知彼，有极大难度。对于会说话的动物，我们的障碍是无法听懂它们的语言，但人类毕竟一直梦想成为地球芸芸众生的翻译家。所以他们运用“声音探测器”记录动物分别在老朋友不期而遇，仇敌狭路相逢等诸多状态时发出的声音，然后分析这些声音，寻找出激动、高兴、恶意、厌恶等的情绪符号。当下次动物发出叫声时，就可以用这些情绪符号解析各种尖叫的诸多含义，从而测定动物的情绪是极度高兴还是轻微的欢愉，是异常悲哀还是淡淡的忧愁。声音探测器在某些方面充当了心灵探测器的角色，使我们在一定范围内可以窥探动物的心理。

2. 茜茜重男轻女

小茜茜除了学会人类的一些“陋习”之外，对人的选择还带有明显的“重男轻女”倾向，也许因为它是一个小雌猴的缘故吧。它没有理由地喜欢男生，每次学生带它来我们办公室，我赶紧掏出早已准备好的糖块喂它吃。买的一斤糖快吃完了，它还是不怎么理会我。却对办公室

里的一名男学生“一见钟情”，只要有那男生在，它就谁都不要，只顾去抱男生的腿，再顺腿爬上去。我们把它拉过来，它便挣扎不休，两眼凄楚地看着男生，双手直愣愣地伸向男生——像极了小孩要母亲抱时张开的小手，同时茜茜嘴噙着发出央求的“喔……喔……”声。一旦投入男生的怀抱，“喔……”声就变了调儿，换成温柔的“唧唧叭叭”耳语。

有一次，办公室里来了一对中年夫妻，他们坐在屋里靠窗的地方。小茜茜从门前经过，一般情况下，它不轻易主动来我们屋，何况现在还有陌生人。所以我看着它走过门口，消失，一切都很正常。不料，几秒钟后，它突然来了一个大回转，小脑袋折了回来，接着整个身子出现在门口。它径直走了进来，毫不犹豫直接走到中年夫妇中的男方，同时它的声音也欢快地变换成急促的“唧唧叭叭”，嘴巴一张一合激动地像在讲话一般。在我们惊讶的目光下，它爬上了那个中年男人的腿，勇往直前一直爬到男人的胸口。它仰着头，嘴里发出不连贯的急切耳语，像见到亲人一般——“茜茜在和他说话呢！”。小茜茜伸开双手，紧紧抱着男子的脖颈，再也不放手。

中年男人受宠若惊，不知所措，忙乎了一阵后，把小茜茜递给妻子，小茜茜依依不舍地抓着男子，死活不离开。惹得我们“哈哈”大笑。

后来我们还测试了几次，屡试不爽。只要见了男性，即便从未谋面过，它也像是逢了知己一样，亲热得不得了。

一次，来自德国的海森伯格教授——当年其父由于“测不准原理”而获诺贝尔物理奖，来访实验室。小茜茜隔了老远就张开热情的双手，像见了故人一样，扑向头发花白的海森伯格教授，别提多亲近了。第一次见了我 18 岁的小侄儿，茜茜也殷勤地围上去，嘴里嘟哝着，渴望交流。它亦步亦趋，直把我侄儿追得躲起来。但是小茜茜也有对男性不感兴趣的时候，那就是小学一年级的 7 岁男孩。小茜茜对小男孩熟视无睹，不仅没有围着打转，也没有伸出热情的双手。看来小茜茜还不能童叟无欺。

对于女性，除了它养母外，极少有它主动喜欢的。在它不喜欢的女生怀里它一点儿也坐不住，总像抽筋似地蹦跳，无论这个人平时如何讨好它。而它喜欢的人——往往是男性，不管接触还是没接触过，对于它都算生死之交。显然它有强烈的性别选择。这真是一件奇妙的事，它凭借什么确定谁是可以依赖，谁是不能亲近的呢？凭借嗅觉，闻出对方带荷尔蒙的气味？还是依据其它？本能的力量在雌性小猕猴茜茜这里体现无遗。

问题

为什么猕猴茜茜不喜欢 7 岁的小男孩，对中年男人却老远错过了还会跑回来？

答案

如果茜茜的确是依赖男人身上发出的雄性荷尔蒙气味来决定喜好，那么，7岁的小男孩还未经历青春期，周身尚未环绕浓厚的雄性荷尔蒙气味，所以茜茜辨别不出来。中年或青年男人身上散发着我们可能闻到却没有意识到，而茜茜却能清楚地闻到，并且也能意识到的雄性荷尔蒙气味，所以导致它对年幼和成年男人的不同偏爱。

3. 丁丁捉迷藏

有时，我会回想我接触过的猕猴，大约有十多只，每一只个性都不同。不像我接触的鼠类大军，几乎都是一个性格。

有一只叫“金金”的熊猴——熊猴是猕猴中另一个物种。它长得十分可爱，模样像只憨头憨脑的小熊，浑身的毛发是金黄色的。很多时候，我一叫它的名字“金金”，它就会哼一声，像是在答应我。如果它正看着别的地方，对我的呼唤还这样哼哼，就显得漫不经心，完全是应付。

若是唤小狗的名字，小狗往往会转过头来，好像听懂了你的呼唤。但是，和我共处过的其它猕猴没有一只会应答我，它们都是和熊猴不一样的恒河猕猴。

另一只恒河猕猴“得得”生性顽皮，从不放过和其它猕猴打架的机会，它的耳朵残缺不全，却和人特别亲近。经常两条腿站着，伸手掏我的衣口袋。“拉拉”则桀骜不驯，不肯听从人类，却异常聪明，做学习任务总是不做则已，一做一鸣惊人，一副天才领导者的风范。“托尼”长得像只可爱的玩具熊，大头大脑，身材粗壮，却胆小如鼠，见了人就将背脊紧紧地贴着笼壁，一动也不动，它可以保持这样的姿势2个小时——真应了“人不可貌相”这句古训。“小小”像没长开的小猴，总是胆战心惊的样子，动不动就用嘴啃自己手上的毛发，只有见到酸奶瓶时它才奋不顾身，捧了瓶子就往嘴里灌。它曾在中央电视台《走近科学》节目中露脸。“蹦蹦”对人温顺，充满信任，但总是一个劲儿上下蹦跹，姿势永远只有一个，直跳得人心烦意乱……

猕猴“丁丁”年幼的时候就来到实验室，所以和我们关系最近。情绪好的时候还会和我捉迷藏。那时每天我都要带它下楼到花园里走走，回实验楼的时候，它远远地跟着我，脖子上拖着一条链子——由于彼此很熟悉，我不再牵链条。我在大楼后的草坪上走了一会儿，回头看看，它已跳上一楼的窗台，正蹲在上面看我。我喊了一声“丁丁”，它无动于衷。于是，我接着往前走，快到楼拐角了，回头看，顽皮的丁丁仍逗留在窗台上，好像没有注意到我即将消失。我

喊了一声，唯恐它听不见，又用手比划让它跟上我，但它还是不理不睬。我只好绕过楼角，彻底消失。这样我和丁丁谁也看不见了。我心中不免有些焦急，害怕它万一趁此机会跑掉，或是迷路回不了动物房，但我又不愿回头去央求它。走了几步，我犹豫着停下来。哪不知，才一回头，就见丁丁已迈着四方步悠然出现在楼角了！——从窗台到楼角尚有几十米距离，一定是小丁丁见我消失在楼拐角，便跳下窗台，一路狂奔赶了过来，看来顽童也有害怕被遗弃的担心啊。我大喜过望，连忙牵着它回动物房去了。

和人相处一段时间的野生猕猴，虽然生性向往自由，但不久就皈依人类，变得胆怯，一旦离开人类，就有点手足无措。有时不小心实验猕猴跑了，我们很着急，四处寻找。最后猕猴却往往自己主动跑回动物房——它们平时住的地方，在门口安然等候了。

有一天，我带丁丁在水池边的草地上嬉戏，杂草丛生，一不留神，它踩到悬在水面上的草棵，滑入水中。我发现它时，它已经在水里扑腾了。我吓了一跳，丁丁更是惊慌失措，两只手在水面上扑楞，溅起阵阵水花。我赶快伸过手去营救它，它也把手伸向我。于是我一拉，它就被拽上岸来。

丁丁的手仍死死抓着我的手，浑身哆嗦，那一刻，我心里特别感动。若换了是人，不足为奇。但它是一只动物啊。一只野生的动物信任我，知道我要帮助它，令我心中再次抹平动物和人类的区别。

而后，湿漉漉的丁丁第一次允许我将它抱在怀中，迅速奔回实验室，用吹风机、毛巾将它弄干。

4. 花栗鼠的性格

我们家里一共住过两只野生的小松鼠，咖啡毛色，背脊有几条浅色条纹，行动十分敏捷。这种松鼠也称花栗鼠。第一只没养几天，就在马路边女儿抚摸它的时候冲出笼门，眨眼不见了。第二只也是秉性难改，在家里一共出逃五次。第一次出逃时由于不了解地形，饥饿又惊慌，以至于第三天跌入深桶中无力反抗，被捉归案。其时，已奄奄一息。给它喂足水，吃饱食，它裹在毛巾中昏睡一天才算恢复元气。

最后一次出逃最为逍遥，很快就在碗橱里找了一块风水宝地筑下温暖巢穴，无事时嗑嗑瓜子，躺在高脚酒杯中睡睡觉……捉它回来时，按女儿的话说：“它比以前长胖了！”。

五次出逃，在外逗留的时间一次比一次长，捕捉它的难度一次比一次大，甚至有一次在情急之中，它尾巴上的毛被我捋下来一截。第五次把它抓回来后没多久，我们就把它放归大自然

了——它一生向往也是一生应该居住的自由之地。

花栗鼠在家居住的这段时间，还发生了一件令人惊悚的事。

考虑到花栗鼠一人孤单，我把女儿的两只豚鼠放进了花栗鼠的笼子。

笼子里有一个像鸟巢一样可以调节高度的小房子。平时，花栗鼠就钻在小房子里蜷伏着睡觉。自从豚鼠入住，它的清闲生活就增添了热闹和烦恼。

那只大一点的豚鼠浑身雪白，名字叫“跳跳”，因为它确实是个跳高能手。它尤其喜欢花栗鼠的小房子，一到晚上就挤进去。因为长得较胖，所以一进去，整个小屋就塞满了。我怕花栗鼠不高兴，就一点一点地把小房子往笼子上方挪升，想用这样的方式阻止豚鼠“跳跳”进入小房子。从零距离，到距地面三厘米，十厘米，二十厘米，一直到笼顶。每升高一截，我就放心地去睡觉。可是第二天一早，笼底还是不见跳跳的身影，再一找，它每次都安逸地躺在高悬的小房子里。



爱跳高的跳跳 （作者摄）

我真是不明白，它既无翅膀，笼子里又无可攀援的什物，它是怎样准确跳上去并钻入高悬的小屋？难道它真的会飞不成？看它的个头，体格也不小啊，这胖嘟嘟臃肿的身材……？真是令人费解。

看到花栗鼠似乎也没什么异议，三只小动物相安无事，我也就没再在意了。

可是，没想到，两天后，悲剧发生了。女儿刚从学校回到家就打来电话，她嚎啕大哭：“豚鼠被花栗鼠咬死了！”。

待我急急忙忙赶回家，看到的惨景不忍目睹。跳跳一头扎在小房子里，庞大的身躯堵住了小房子的门。我把它费劲地拽出来，只见它满脸是血，一只眼睛已经被咬坏闭上。而小房子内的角落里，花栗鼠恼怒地僵直着身子，乌黑的眸子狠狠地盯着受伤的豚鼠，好像在说：“你豚鼠为什么要挡着我的道儿？为什么要来挤我的小屋，这是我的屋子！”

豚鼠跳跳死了。花栗鼠并未咬到它的致命处，但是跳跳经受不了突发事件的刺激，以生命换来了几天“快乐小屋”的生活。我心中不禁非常内疚，同时也可怜其不争——花栗鼠咬它，它依然把头送在花栗鼠面前，不躲避不退却，更别指望它勇敢一点，仗它比花栗鼠大近三倍的身躯和花栗鼠格斗一番。它什么也不做，只一味地执着地要霸占那小房子，却不考虑变通。结果，就这么轻而易举地贡献了生命——这不恰是家养动物的悲哀。它们丧失了动物应有的基本的求生本领。野生动物花栗鼠则相反，它不仅勇敢地对付比它大得多的入侵者，还不停伺机出逃，甚至不惜断尾。

出逃在外，花栗鼠很快适应了环境，能够悠闲地在外生存。即便是在笼子里，它也要为属于自己的一席之地和敌人斗争。最终，它战胜了比它大得多的豚鼠，甚至我们——人类，获得了小房子，继而，获得了自由，也获得了尊严。为此，我尊敬花栗鼠，因为它无畏的勇气和敢于战斗的决心。

同时，我也惊叹另一只豚鼠的性格。它是和跳跳一起住在花栗鼠笼内的“豚豚”。豚豚无所求，整天只一味地低着头静静呆在笼内一角，像个思想家一样一动不动。它绝不和花栗鼠争抢地盘。只有肚子饿了，听到冰箱开门的声音，它才“唧唧”尖叫。在它咀嚼食物时会发出欢快的“咕咕”声。此外，绝大部分的时间里，它沉默着，让我们几乎感觉不到它的存在。

正是这样一只低调，极容易满足的豚鼠，比它的同伴“跳跳”多活了两年多。这两年在人类相当于近 20 年，可见是多么宝贵、富足。让我想到人类社会，虽然医疗水平日益发达，使人类的寿命愈发延长。但纵观高寿的老人，无一不清心寡欲，恬淡经营，心底开阔。那些争强好胜，追求名利，贪图利欲的人，大多以多付出几年或数十年的生命为代价。由此看来，世界是公平也是符合进化规律的。当人，或鼠，与世无争，悠然地过好自己的小生活，便可以避免因过多的周旋而损耗太多精力，从而节约能量，多活几年。而抗争、冒险的人或动物，不仅消耗更多的能量，而且将面临更多不确定因素，有时很可能以早早地牺牲生命为代价。



与世无争的豚豚躲在杯子里（左），好争抢的跳跳在外游荡（右） （作者摄）

息事宁人的生活准则在 12 岁的小孩上就能观察到。有时我责备凡事退让的女儿懦弱，她却悠悠哉哉地说：这样安全！有一次，她告诉我同座的数学成绩很好，在一次自批的测验中得了满分 100 分，但他却把原来做对的两道题故意再改错了，使分数降为 94。女儿惊讶地问他为什么，他说：不想得第一，以免引来嫉妒。

看来，人类的不出风头，和动物的“胆小”是一样的，具有进化上的意义，其目的之一便是为了更好地生存下去。

当然，作为人类，绝不像豚豚一样，只有最低要求——吃饱就行，人类的生命因为有多样的追求而丰富多彩。符合历史潮流的追求可以使生命更加精彩，和历史相悖的追求将缩短生命的历程，贪官入狱或被判死刑就是最好的例证。

关于家养动物习性改变的例子也鲜为人知。从前看过电视上的报道“家猫哺育鼠仔”——那是在一户农村人家，有只猫原本很凶猛，平时绝不放过任何小鼠。可是当它生了一窝猫仔之后，慈心大发，甚至还开始喂养水老鼠的幼崽。

很多家养的猫，面对小白鼠，无动于衷，竟然任小鼠在自己身上爬来爬去，野性全无。

最近，还看了一档电视节目，一只宠物猫面对偷粮的仓鼠束手无措，甚至还倍受仓鼠的反扑和欺负。宠物猫自出生就没见过仓鼠，从小吃的是人给它的食物，终日饱食无忧。见了老鼠也不知是何物，倒是生存力强的老鼠敢于和比它大得多的猫格斗。

我时常想，当人类以其庞大的影响力和控制力，给某些动物提供舒适的环境，使动物丧失

原先野蛮的特性，这究竟是进化的喜悦，还是退化的悲哀？——一旦这样的习性代代相传，原先“吃老鼠”的基因能否改造成“不吃老鼠”的基因，而后变成一种规律，遗传下去，使得猫儿永远丧失了“吃老鼠”这一本性。人类有意或无意地“改造”、“干涉”动物的能力强大得可怕，同时涉及范围之广。

所幸，地球上仍生存着像松鼠一样顽强、自由不羁的动物，人类改造的欲望在它们那儿碰壁，于是，它们仍然可以像原来那样生活，肆意奔腾、跳跃在丛林间，享受着与生俱来世代相传的爱吃的食物，执着地保留着它们原先的生活方式——也可喻为一种“文化”。就如同原始部落、土著们固执地保持着他们独特的文化传统、社会结构一样……在地球多元化的生物圈中，松鼠也像濒临灭绝的动物一样，艰难地维持着自身的环境，而现代人类的文化入侵，不仅于豚鼠、猫、狗，也同样对各种野生动物——在这个层次上，各个物种的相互关系是平行的，同时又像一张巨大无边的网交错而复杂。

当某一天，所有人，所有动物，都具备了一种共同的特征——同一化了之后的地球生物，我们难道不会觉得乏味吗？

所以，人类为了避免面对可怕的同一化，提出了“保护生物多样性”，这样做，可以使地球上原先丰富多彩的生物物种得以继续百“灵”齐放……

问题

除了人工饲养的动物可能会失去野性，丧失捕食和逃避天敌的天性，在实验室中，我们如何使小鼠不再怕猫，也不再怕狐狸雪豹呢？

答案

当我们使小鼠鼻腔内主管嗅觉的细胞不再闻得见味道，小鼠对猫、狐狸、雪豹的尿液就不再表现畏惧。而正常的小鼠，喜欢花生酱的气味，厌恶甚至躲避猫、狐狸、雪豹的尿液——这些气味令它们想起受威胁的经历，让它们极为不安。但是，如果使小鼠主管嗅觉的细胞变得迟钝，什么也闻不到了，小鼠便对花生酱或天敌的气味都满不在乎，对天敌的惧怕也随之消失。说明，小鼠的鼻子在对天敌的防御中功不可没。

丧失嗅觉对人类也会造成一些异常，老年痴呆症和抑郁症患者的鼻子就不如正常人灵。

5. 狗的个性

曾经在我家驻留过的小狗大约有 8 只，斑点狗，北京犬，杂牌犬……时间呆得最短的只有一夜，最长的有 3 个月。呆了 3 个月的是一条短毛的小黄狗，由于脸部鼻头处是黑色的，因而取名“黑星”。我不知道它是什么品种，大约是土狗和某个品种狗的杂交后代。因为它的土狗脾气很明显，见了别的狗就不管三七二十一冲上去，把对方咬个天翻地覆，看起来不拼个你死我活就决不罢休似的。黑星跑起步来浑身都在颤动，从耳朵到翘起的小尾巴，全都夸张地左右扭动，随时表现着喜乐的心情。好像傍晚干完农活吃饭饱，哼着小曲，打着饱嗝回家的农夫一般。

然而，自从我接触了邻家的博美犬后，才认识到原来狗也有极优雅的。邻家的博美犬走路来从不扭动，总是高昂着头，踮着四肢尖端，像模特一样地走路。看见它的身姿，总令我想起马术表演时，训练有素的马匹踮着脚尖走的小步舞，十分轻巧、优雅。一次我捧起博美犬前翘的脸颊，它就那么温顺娴静地看着我，呈小鸟依人状，一动也不动——这在我家黑星，简直是天方夜谭，黑星总是在我摸它的脸和它亲近的时候，张开嘴乱咬，浑身狂喜地颤抖，又蹦又跳，激动得不得了。因为它特殊的表达喜悦的方式，我和女儿先后进了防疫站打狂犬病疫苗。而我手中的博美犬，一直温柔高贵地靠着我，眼睛忽闪忽闪地看着我，就像它身上的毛发一样柔若无骨。

在博美犬面前，黑星是一个粗俗的乡下佬，而博美是一个高雅的贵妇人。

因而我才发现，原来不同品种的狗，不仅在毛色，长相上有差别，在性格脾气上也有天壤之别。



狗狗（周穆如添画）



狗狗（周穆如添画）

问题

不同品种的狗之间是否可区分好坏，或高低贵贱？是否也会像鹦鹉一样欺负弱者？

答案

养狗的人会有这样的经验，品种好的狗在众狗们面前很有尊严。而有些狗专门欺负流浪犬，但这些狗见到好品种狗后，却表现得卑恭屈膝。朋友说，那是因为好品种的狗头脑聪明，具有控制其它狗的能力。我想，也许狗会观察彼此的肢体语言，从而推测谁更有威严，可谓察言观色，于是等级制度便形成。另一个朋友说，不能排除还有一种可能，就是“狗仗人势”。有主人陪伴的狗，因为有主人撑腰，所以可以欺负流浪狗。而好品种的狗往往随时有主人陪伴，所以其它狗对它都要屈膝三分。

不管怎样，从小鱼到人类社会，均有等级地位的划分，这样的生存原则在进化中是有利的，优胜劣汰，以牺牲部分弱势来保全强者的生存，从而保证优良物种在地球上站稳脚，并延续下去。

6. 嫉妒之心

嫉妒是普遍存在于人类的一种情绪。当我们发现有人比我们表现好，能力强，获得的赞誉比我们多时，伴随着羡慕，往往还产生嫉妒。这是一种我们自认为不良，却又无法控制的情绪。这种情绪和羡慕的区分界限很模糊，对我们的身心并无益处，严重时还可能导致复仇的灾难。和人类的另一种负性情绪——“生气”不同，嫉妒并不能像“生气、愤怒”那样，帮助人把不良的情绪发泄出去。嫉妒有可能长久地蓄积于心中，影响人们彼此之间的关系。那么，从生物进化的角度来看，这样的负性情绪到底有怎样的意义呢？它是否有利于生存？还是进化上一个未来得及处理的遗留痕迹？

大凡养过狗的人，都对狗具有强烈的嫉妒心有所共识。我经常听到这样的故事：某家人原先养了一条狗，后来又养了第二条狗，第一条狗就会千方百计向主人争宠，并寻机挑衅或欺负新来者。还有甚者，狗嫉妒主人新添的小婴儿，对主人把爱转移给婴儿十分不满。不仅狗，猩猩也会嫉妒。

“语言明星”倭黑猩猩坎兹就有一个很不好的习惯：爱嫉妒妹妹。网络新闻报道，因看到妹妹表现出比自己更强的绘画天赋，坎兹生气地把妹妹的蜡笔洒了一地。后来又有一天，坎兹

见妹妹弹电吉他比它弹得好，妒心大发，把妹妹的一只玩具熊的手臂扯了下来。事后，坎兹又觉得后悔，想把玩具熊的手臂接上去，可是，回天无术，羞愧使它无颜抬头，只好闷头地盯着地面看了好一阵子——好像自我检讨一般。还有一次，新闻报刊来采访，坎兹满心欢喜以为记者像往常一样，要采访它。不料他们却只采访了妹妹——它已渐渐长大，开始成为新一代明星。坎兹觉得心灵受到重创，一气之下，把学习用的键盘咬坏了。

看来，嫉妒并非人类所特有，一次我自言自语问：嫉妒到底是由什么引起的呢？有什么意义呢？不料，坐在一旁的女儿大叫道：是因为食物！——此时，她正因为肠胃不适不能进食，饥肠辘辘。一想到她父亲会给我带回来可口的食物，她就忿忿不平。

正巧她父亲打来电话，说有事无法将我的午饭带回来。女儿马上幸灾乐祸地说：“这样就不用看着你吃美味的烧鸡盖饭，我吃不成而难过了。哈哈！”——嫉妒就是这样简单么？

问题

嫉妒除了给人或动物带来威胁的信号，是否也给被嫉妒者带来什么信息？这样的信息有什么作用呢？

答案

一旦被嫉妒者察觉到有人在嫉妒自己，往往变得小心翼翼，收敛许多。从而反馈调节了彼此的关系，提升了和谐亲密度。

7. 大象的“眼泪”

这个话题也许最能表现动物是否有情感——它们会不会哭？它们是否意识到同伴倒下去再也起不来，那就是死亡，而不是普通的睡觉或休息？

人类知道“死亡”的概念，并会哀悼逝去的亲人或朋友，动物知不知道呢？

迄今为止，还没有发现有哪一种动物会像人一样大哭，或者悲情落泪。狗会流眼泪，那多半是因为眼疾。鳄鱼会流眼泪，那是为了排出体内多余的盐分。

大象是一种高大、高智商的动物，也是目前知道的唯一有迹象表明它们能够对死者表示“哀悼”或“祭祀”的动物。

在迪士尼动画片《狮子王》中，小狮子辛巴险些命丧“大象墓园”——这个名词并非只出现在童话里，在现实生活中，大象墓地似乎也存在着。在大象生活的山谷，往往会有一些山洞，

里面堆放了大量的大象遗骸，包括头骨、象牙等等。传说，大象临死前会被长者引导到大象墓地，在那里送终。同时，活着的大象也会把死去的同伴的尸骨搬运到大象墓地——仿佛人类为死者建设的供瞻仰、缅怀的纪念堂一样。

这也许不仅仅是传说，据科学家观察，大象的确对死去的同伴的骨骼很感兴趣。它们能够闻出同类死者，尤其是女族长的遗骨，其中最令它们感兴趣的是女族长的象牙和头骨，它们对异类动物的遗骨却毫无兴趣。大象的社会是“母系社会”，往往 10 多头大象聚在一起，由一个女族长带领着生活。然而，它们是怎样辨别女族长的遗骨，仍是一个谜。

大象甚至会表现出一种“缅怀”、“哀悼”的行为——用脚掌在象牙遗骨上蹭来蹭去，仿佛在抚摩死去的亲人，就像生前经常触碰彼此的象牙以示关爱一样。用象鼻卷起遗骨，上上下下反复嗅闻，仿佛在追忆逝去的先辈……它们专注地这样做着，久久不肯离去。

当大象发现同伴要死了或正在死去，它们会表现得很紧张。用鼻子嗅触同伴的身体，卷着象鼻躁动不安地来回走动，仿佛闻到了死亡的气息。

在一个电视节目里，有这样一个场景，当一头小象随队伍远行，途中受伤，最后倒地不起，它的父母就用自己长长的鼻子不停地推拱孩子的身体，同时发出咆哮般的哀鸣，仿佛在喊：“儿子，起来吧！”——当这样的动作重复无数次后，大象父母意识到呼唤已徒劳，小象已浑身僵硬，它们才悻悻离去。这样的呼唤可以维持好几天。当离开儿子时，大象父母似乎已经明白，自己的儿子再也站不起来，是因为它已死了，去了另一个与现实不一样的世界。

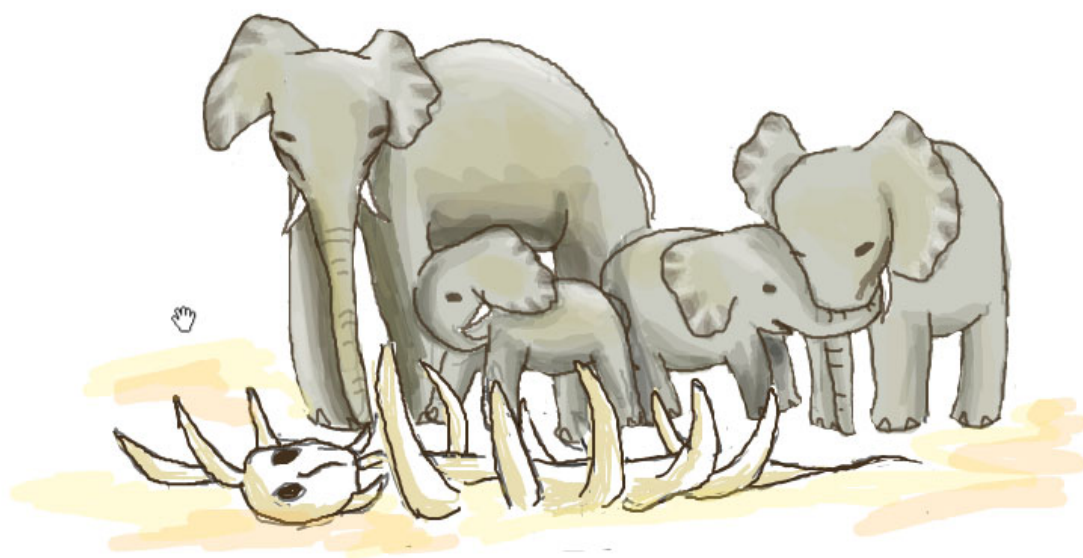
种种迹象表明，大象是感情丰富的动物，它们的寿命一般和人的差不多。年长的大象会照顾年幼的小象，有的大象还会收留失去父母的孤儿小象。受伤的大象也会得到其它大象的照顾。不仅如此，它们还有自己的喜怒哀乐。当彼此陌生的大象第一次见面，它们会用象鼻“握手”——当然也是为了暗中探试和较量彼此的力量。当两个从前认识的大象家族再次见面时，它们会彼此触碰，身体旋转，直立，用象鼻吹出喇叭长音，以示欢迎。甚至从脸颊上的两个小洞里会流出黑色、油状的液体——如同人类欢乐的泪水。流出“眼泪”的小洞是位于眼睛和耳朵之间的一个裂隙般的腺体，大象激动的时候，这个腺体就会分泌液体，但绝不是真正意义的眼泪。这种“眼泪”的味道奇特古怪，实在不是人所能消受得了的。

如果有一天，人类能够破译大象的语言，我们就可以知道大象埋葬遗骨是为了纪念死者还是纯属无意义的活动。它们面对死亡是怎样的感受？它们是否能理解“死亡”的意思。

对死亡似乎能够有所领会的动物，还有猩猩。当小猩猩在妈妈怀里死去，母亲会紧紧抱着尸体数日，一如它还活着一样。虽然小猩猩不再会动，不再吸奶，但母猩猩仍然执著、持久地抱着它，无视孩子已经腐烂。猕猴也有类似的情况，有的母猴一如既往地怀抱着死去的小猕猴，

给它喂奶，理毛。有时，直到小猕猴只剩一张皮，母猴还会拖着形如虚设的“小猴”四处走动。

这是不是一种“哀悼”呢？虽然它们不会如大象一样对死者遗骨表示特殊的兴趣，也不会时常表现出“祭祀”、“扫墓”的行为。但它们固执地守候着死去的婴孩，是否也是一种不愿接受事实的哀悼呢？



大象哀悼族长的遗骨 （周穆如 12 岁画）

大猩猩还能够对死去的同伴表示悲哀，甚至事后，当给它看死者生前的照片或问询此事时，它也会显露出悲伤的神情，表明这种动物能够窥探过去，回忆不属于目前状况的事件。

鲸鱼集体搁浅海滩死亡，是否就像人们所说的“集体自杀”？鲸鱼有可能受到电磁波的误导，从而共赴死亡。在搁浅之前，它们应该还是有机会逃生的，可是看起来，它们视死如归，仿佛受某些邪教迷蛊惑的自焚者，鲸鱼能否意识到它们赴向死亡？为什么集体而行？这些都是值得探索的问题——但至少，我们从“大象墓地”看出，很多情感并不是我们人类所独有。

8. 扶老携幼

除了灵长类动物，大象和海豚有共情或利他的行为，这两种动物也成功通过了镜像自我识别实验，说明它们可能有自我意识。最近又发现小鼠也有共情行为，但要让我们承认小鼠也有自我意识，还相当困难，况且它们永远也没法完成镜像自我识别实验。让我们再看看蜜蜂吧。

蜜蜂从蛹里孵出后一到两周之内是呆在蜂箱里的，虽然年幼，它们也各自充当着一定的社会角色，照顾蜂蛹，清洁蜂箱，或做防御卫士专门对付外来入侵者。

清洁蜂负责清理垃圾，主要是死去的蜜蜂。我曾看见从蜂巢小小的出口处，滚落出一对蜜蜂，当一只蜜蜂放开另一只蜜蜂起飞时，我发现它带出来的是一只已萎缩的泛着黑灰色的死蜜蜂。活着的那只蜜蜂把死去的同伴扔在门口，一转身飞回蜂巢口，钻进去就不见了踪影。想必它又进去清理卫生了。

我在想：蜜蜂怎么判断孰是死蜜蜂呢？如果它们能区分活着的和死去的蜜蜂，并分别对待，能否说明它们知道死亡的意思？也许它们把死蜜蜂当作了垃圾，那么，同样的，它们是如何区分作为垃圾的死蜜蜂和正常的蜜蜂呢？通过气味？颜色？还是活动性？

在蜂巢附近，常常有一些即将逝去的，奄奄一息的年老蜜蜂垂落在地上，总会有好事的蜜蜂如直升机似地在拖拉这些蜜蜂，它们常常因为负重太过，起飞困难，只能低低地盘旋，经常和这些病弱者一起滚落在地。但它们依然顽强地衔着几乎和自己一样重的蜜蜂衰兵，起飞，跌落，再起飞……朝上或朝水平方向，不懈地飞翔，却不知要飞到哪里，为什么要这样做？仅仅只是为了清洁吗？——可这些老蜜蜂是在蜂巢一米之外，而不在蜂巢内啊——还是蜜蜂在竭力替年老的或垂死的同伴寻找一个好的归宿？

这让我想起大象面对垂死的同伴，总是极力去拱它，拖曳它，仿佛想让同伴起死回生，返回队伍。而实验室里的小白鼠也有掩埋同伴尸体的行为。我家里从前养过一只鸽子，鸽子下蛋后，就蹲在鸽蛋上起劲地孵。到 21 天小鸽子还不出来，它就把鸽蛋毫不留情地扔到外面去，不再理会。这些现象是否暗示我们：自然界中很多动物能意识到一些原先我们以为只有人类才具备的一些“想法”，比如对死亡的认识？

9. 微笑的脸

柬埔寨吴哥窟“微笑的脸”给我印象极深。在很多寺庙高高的城门上，都伫立着立体多面的由火山石堆砌而成的佛像的脸——微笑的脸。到了大吴哥，整个寺庙内均是高耸的微笑的脸，面朝四方，以菩萨般宽厚的微笑，审视着世间的喜怒哀乐。这些石雕已有 800 年以上的历史，在战乱无数的柬埔寨，无疑于一种优美的启示。

自古以来，人们就注视着这样微笑的脸，期望世界在微笑的注视下和平安康。



柬埔寨微笑大佛下巴上的三对母子 （作者摄）

为什么微笑即表征了幸福和快乐呢？它是何时在进化历程中出现，又作为一种标志，使得人类如此着迷，向往？

我们复又追溯到动物，这些在演化中各自履行角色，默默行走在进化路途上的动物们。

结论并不令人惊奇，与死亡的哀鸣截然相反，很多动物会表现出喜乐的心情。除了最常见的用声音表达欢乐之外，高等的类人猿还有面部微笑的迹象。

在墨尔本动物园里，豢养着浑身猩红色长毛的猩猩，坐下去像极了稻田里的麦秸垛。好不容易找到它的脸，嗨！如此内容丰富的一张脸。松弛的皮肉一滩一滩垂挂下来，犹如被流水冲刷的层层钟乳岩。宽宽的长嘴巴月牙般弯弯往上翘，小眼睛正眨巴得起劲，好像在琢磨什么。



猩猩 （作者摄）

突然我身旁的孩子们笑了起来，原来那边走过来一个“大仙”——另一只猩猩，只见它头上顶着一块破麻袋，一摇一晃地走过来。麻袋在震颤中垂下来遮住了这位大仙的脸。听到笑声，它站住，用手很老练地撩起一角麻布，露出小眼睛，瞅了瞅那些笑个不停的小孩，然后又放手，一任麻袋垂落遮着脸。继续摆动双手走路。“哈哈……”孩子们看到这滑稽的情景，笑得更高兴了。这时，这位大仙，还嫌不够劲儿，索性拣起一个破纸盒往头上一套。这样一来，它的整个脑袋就套在麻袋和纸盒两层障碍之中，我猜它的眼睛绝对看不见前方，可是它居然也能一摇一摆，直立着往前走。同时，两只手伸直了在空中摸索，就像小孩子玩“瞎子摸鱼”的游戏一样。连我也忍不住随孩子们笑了。

玩够了游戏，这位猩猩大仙把麻袋、纸盒往地上一甩，一屁股坐在离观众最近的石墩上。双手依旧没闲着，扯几根干草送到嘴里嚼。它整个脸部朝向孩子们，眼睛眨巴着瞅着他们。孩子的父亲嘬起嘴，大声地嘬出夸张的“滋滋”声，逗引猩猩。猩猩观看了一会儿，竟也嘬了嘬嘴！那模样像极了“咿呀”学语的人类婴儿。孩子们又“哈哈”大笑起来。不料这位可爱的猩猩也随即裂了裂嘴，呈现了一个动人的笑脸！这下孩子们更兴奋了，他们不停地嚷：“它笑了！它在微笑！……”猩猩用它的小眼睛友善地瞅着孩子们，嘴里继续叼着干草咀嚼，像一位宽厚的母亲慈善地注视着自己的孩子一样。刚才那些套麻袋、纸盒的滑稽动作仿佛也是专为孩子们表演的。



玩游戏的猩猩 （作者摄）

这时，在远处石头墙处，突然探出一个脑袋，另一只猩猩出现了，它手扶着墙，站立着朝这边张望，显然，它是被我们热闹的笑声吸引。只见它正使劲将脑袋探过墙头，瞧个究竟，一脸认真而充满好奇。活脱脱像一个走在街上爱看热闹的妇人。

我突然再次产生错觉，仿佛围墙内的猩猩是一些人类。其实，在很多地方，动物和我们之间就像兄妹，存在互相的沟通，甚至交流。而笑容，也早在数百万年前，就已经在猩猩上出现了。

在悉尼动物园，我还有幸看见一只懒洋洋的猩猩趴在高高的树杆上，头也不回地，一只手偷偷用酸奶瓶接自己的尿，随后它把酸奶瓶举到自己的鼻子面前，嗅一嗅，再一扬头把尿倒到嘴里。我以为看错了，却见这只滑稽的猩猩把酸奶瓶一扔，侧过脸来笑眯眯地看着我，仿佛在问：“吃惊吧？没见过吧？”它的嘴角向上弯着，惬意地笑着一般，是一幅满意极了的模样。如一个终日无所事事的嬉皮士，又像一个顽皮捣蛋的孩子，总之，在它们面前，就像在人的面前一样。

然而，它们在面部表情上还是逊于人类。我们可以轻易模仿别人的面部或伪装成其他表情，动物却普遍缺乏丰富的面部表情，狒狒、猕猴、卷尾猴和松鼠猴等似乎也不具备面部模仿或伪

装的能力，但对于可能有自我意识的大猩猩、猩猩，它们可以部分控制自己的面部表情。因而我们可以在它们的脸上发现一些表情的痕迹，但却依然很模糊。微笑也是如此。



声音酷似笑声的澳大利亚笑翠鸟 （作者摄）

10. 茜茜的笑声

我们实验室的小猕猴茜茜三个月的时候，学生握着它的小身体，用手指头在它的胳肢窝处给它挠痒痒，茜茜竟然发出与平时不同的“嘎嘎”声——很像在打机关枪，并夹杂着鸟叫般啼鸣声，仿佛短促的笑声一般。“笑”的同时，还不住地挥动四肢，好像痒得实在忍不住，把手塞到嘴里去咬。它的脸上没有任何表情，但是我们却从它与往日不同的叫声和体态中感到它无以言述的快乐。

如果我们用手给成年猕猴挠痒，它们一般也很惬意，更加舒展身子，却不会笑出声。

关于动物的笑，达尔文在他的著作《人和动物的感情表达》中写道：类人猿，如小黑猩猩，在被抓痒时，特别在腋窝处被咯吱时，发出一种反复的“咯咯”声，相当于我们的笑声。有时是无声的笑，此时，它们的嘴角向后擎，有时下眼皮略微皱缩——人类笑的时候，也会皱眼皮。

卷尾猴在与它的所爱相遇时，也会发出嘻笑声，以示愉快。

刚出生的黑猩猩和人类新生儿一样，会呈现动人的新生儿式的笑脸——一种眼睛紧闭的不自主的微笑。2—3 个月后，这样的笑脸消失。人类婴儿则继而以社会性的微笑代替新生儿式的笑脸。社会性的笑脸以眼睛睁开为特征，是一种人为的可以控制的笑。

人类对自己的笑声研究得很透彻，一组典型的笑是由一些“哈”“呵”“嘿”音符组成，相同的音符各自串在一起，比如“哈哈”“呵呵”“嘿嘿”，构成笑的基本组成片断。不同的音符不可能连在一起，所以，我们从没有听过“哈哈呵呵”或“呵呵嘿嘿”的笑声。但是“哈哈”“呵呵”“嘿嘿”不同的片断可能在一组笑声中出现。

同音节的片断笑声往往持续 75 毫秒，发完一组笑声后，平均间隔 200 毫秒，笑声片断再次发生。由于这样的笑有高度的重复性，因而若将笑声在录音机中回放，听起来仍然是笑声。

男女笑声的差别在于声音频率不同，女声的音频高于男声，但两者笑声片断重复发生的间隔时间是一样的，均为 200 毫秒左右。

黑猩猩在互相追逐和推搡的玩耍时会发出笑声。猩猩、大猩猩也有和黑猩猩相似的笑声。虽然它们的笑在声学和社会意义上与人类的笑有异曲同工之处，但是它们的笑却有着和人类截然不同的神经肌肉活动。

人类笑的时候发出一连串“哈哈”或“呵呵”声音，并且在呼气的时候将它们一古脑推出。经过再次吸气后，将新的笑声连贯发生下去。他们在笑的过程中能够自如地呼吸和进气，借助呼吸将好听的、不留痕迹的笑声送出来。而黑猩猩的笑却远没有这么老练，也没有这么悦耳，它们的笑声更像喘气或打呼噜，在呼气 and 吸气时，只能传送一个气喘式的单音，比如“咯”，随着下一次呼吸，再发出一个短促的“咯”。因而，黑猩猩不能抑扬顿挫地笑，它们的笑声听起来就像一个会发声的呼吸机一样。

虽然黑猩猩不能像人类一样完美地把呼吸和发声结合在一起，但它们“呼吸式的笑”暗示发声和呼吸已经开始结合在一起，这无疑为今后进化出“说话”做了准备，因为开口说话的首要条件就是要能够很好地控制呼吸，在呼吸的同时，将各种话语、声音传递出去。

微笑与大笑不同，但也不能简单地看作是低幅度的大笑，它很容易发生。微笑是一种看得见的视觉的笑，而大笑则是听得到的听觉的笑。

如果我们有意识地去大笑，其结果就象在说一连串的“哈哈”，与自然的笑大不相同。

真正的笑首先需要放松，然后吸一口气，再持续呼气。大笑时，横膈肌痉挛收缩，带动整

个胸腔颤动。日本学者已尝试像测量声音分贝数一样测量笑声了。笑的单位以“aH”（啊哈）来计算。将测量装置放在被试的腹部，记录横膈肌的振动和肌电，便可以测定笑的程度和数量。还可区分假笑、冷笑和嘲笑等等。

笑，与呵欠一样，也具有传染性。但是笑比呵欠更具有性别上的差异。当扮演的角色不同时，笑的传染也有差异。作为舞台上的演说者和听众在笑的频率上大相径庭。演说者往往为了吸引听者，更多地呈现璀璨的笑容。

呵欠的发生也比笑要早，胎儿还没出生，就在母体的子宫中时常张开嘴打呵欠了，刚出生的婴儿更是频频打呵欠。而笑则在胎儿出生后 3-4 个月才开始出现，但显然笑不是后天习得的，因为看不见也听不到的聋哑人也会笑。

问题 1

动物的笑与人类的笑最大差别在哪里？

答案

动物不能像人类一样自如控制呼吸，所以它们的笑声不如人类一样清朗悦耳。此外，动物的面部表情不如人类丰富，所以，不可能像人类一样在笑容中蕴涵很多内容。

问题 2

如何区分人类的真笑和假笑？

答案

听声音——假笑的笑声很有规律，真笑则要随意得多。

看表情——人类面部会在极短的时间内制造一系列微表情——也即是在表情全面展开之前，不易被察觉的，只有五十毫秒的细微表情。在这短短的一瞬间，往往泄漏了人们企图极力掩盖的真实心情。过了这五十毫秒，人的表情就可以自由伪装了——从而使笑容有爽朗、虚假、轻蔑、奸诈的……种种成分。

11. 惊悚母爱

以前曾经在《读者》杂志上读过一篇描写大鼠母爱的故事，讲的是一只身患绝症的大鼠母

亲，一直努力坚持生命，直到将幼鼠哺育完毕，才撒手而去。

没想到自己也亲身经历了一番动物母爱的遭遇，令我在以后的任何时候想起来都会感到震惊，也很内疚。

那是我做实验豢养的一只雌性大白鼠，模样文静，眼睛泛着温顺的红光。几天前它做了母亲，产下一窝鼠仔，每次我走近鼠笼，就看见它展开四肢，殷勤而愉快地让它的宝贝们伏在身下，拥挤着，“吱吱”叫着吮吸乳汁。

鼠仔粉红的身体开始长出细细的绒毛。为了更精确地记录小家伙的状况，一天，我戴上乳胶手套，用手轻轻去拨弄小鼠仔。鼠仔们因我的举动吓得东倒西歪，“敖敖”乱叫。当数到第3只时，一直在一旁蹿动不安的母鼠忽然伸直脖子，冲我的手飞快地一扬头。顿时一阵剧痛！我一愣，只见手套已撕裂一个大口子，鲜血汩汩流出，手指已被愤怒的母亲狠狠咬了一大口。

我从事大小鼠实验数年，第一次被咬得这样惨痛，足足让我愣了好半天，不明白母鼠怎么一下子变得这样凶猛。

我仓促地奔上楼去处理伤口，楼梯上留下了滴滴像小红花一样的血迹。以后每次走过，见了那些变了色的血痕时，我内心就涌起一阵说不清的感觉。

又过了一段时间，鼠仔们渐渐长大，一个个虎头虎脑，浑身长满洁白柔顺的毛发，活像小型北极熊。鼠妈妈稍微放松了些，时常蜷在笼内一角惬意地观望孩子们玩耍。

“五一”节到了，我们有几天工休。我外出度假。天气非常炎热，由于担心鼠箱里的水喝完了，度假一回来，我就急急忙忙赶来看望它们。

水瓶内一滴水也没有了。害怕大鼠缺水出逃，我迅速数了数笼内的大鼠。鼠笼里，少了一只大鼠。

检查鼠笼，笼盖关得严严实实，鼠笼没有任何缺口。大鼠似乎不可能逃走。怎么会少了一只鼠呢？

再细看，笼内的锯末里，依稀可辨几根纤细的鼠骨头。我第一个反应是数一遍鼠仔的只数——因为缺乏维生素，成年鼠吃幼鼠的现象屡见不鲜。数了两遍，鼠仔们一只不少，而且它们个个体格均匀，毛光水滑。那么，那堆骨头是谁的呢？难道是……鼠妈妈？究竟发生了什么事呢？

纳闷的我给空空如也的水瓶灌满水后，突然想到：莫非鼠妈妈为了给鼠仔们解渴，将自己牺牲……？可是，这种事情会发生吗？然而，如果不是这样，鼠妈妈活得好好的，为什么会变成一堆骨头呢？按常理，鼠笼内若有鼠死亡，会被其它鼠用锯末掩盖起来，保持尸首完整。而这次，只剩一堆骨头，实属罕见。

看来，的确只有这样解释，鼠妈妈迫于天热口渴无奈，将自己饱含血汁的身体奉献给了孩子们。我心怀愧疚，埋怨自己回来晚了。

手上的伤口还留着深深的裂痕，而鼠妈妈却再也见不到了。为保护自己的子女，鼠妈妈不仅敢与人格斗，还敢用生命与干渴抗争。我被深深地震撼着：弱小的动物心中亦存有不曾意料，同时也望尘莫及的强大的母爱啊。

问题

母爱是否是一种天生的习性，进化的产物？

答案

是的。只有通过这种天生的进化产物，新生后代才能在母亲强有力的保护下，度过生命最脆弱的时期。但是也有的动物由于种种原因缺乏母爱，尤其是第一次生育，比如小茜茜的妈妈，这种情况是少数。经过几代生育后，不负责任的母亲逐渐知道母爱的重要性，会变得对新生儿关怀备至。

第八章 它们与人类疾病

人类和动物共同生活在地球的同一片天空下，人类患的很多疾病都能在动物身上重演。所以，我们可以通过治疗动物的疾病来寻求治疗人类疾病的方法。

除了肝炎、胃病等，动物也会和人类一样患上神经系统类疾病，比如抑郁症，老年痴呆，甚至还会药物成瘾，所以，在攻克疾病的道路上，动物是人类最重要的助手。

1. 它们也抑郁

抑郁症像感冒一样，浸染着我们身边很多人，而同时它也像感冒一样能够被治愈。

这种病大多由于我们所处的环境中出现太大的压力造成，也有的是因为个人生活遭遇不幸而导致。说它是一种心理疾病，其实也不然。因为抑郁症也像感冒、发烧一样，能够引起人体内一系列的生理性变化。患者脑内的一些物质，比如 5-羟色胺会大大减少。牛奶中含有大量的 5-羟色胺，所以多喝牛奶可以改善情绪有一定道理，尤其在临睡觉前，喝杯牛奶使人安神，睡得更好。

抑郁症在发达国家中很常见，到医院看病开药，到心理咨询所吐露心结，便能够得到改善。在中国，“抑郁症”逐渐频频出现在大众的谈话中，但很多人得了抑郁症并未意识到自己得了病，家人、朋友也不愿意承认。好像抑郁症是一种离我们很远、也见不得人的疾病。事实上，抑郁症就在我们身边，也并不可怕。

它不是人们常说的“精神病”，而是一种像感冒发烧一样普通的疾病。重度抑郁症患者靠自己的力量摆脱不开绝望时，最后只好走上不归之路——自杀。当我们认识到抑郁症和平常的疾病一样，需要到医院里治疗，我们就可以挽救无数轻身的生命。

同时，我们也在动物那里，寻找更有效的可以抵抗抑郁症的药物，在这块意义非常的前沿领域里做贡献的仍然是我们钟爱的猕猴、大鼠、小鼠等动物。

我们在猕猴中能发现天然的抑郁症患者。猕猴以群体为单位生存，在每个社会群体中，有猴王，以及猴王以下按等级分类的臣民们。就像我国明朝时的宰相制度，皇帝高高在上，依次是丞相，巡抚和知县。

经过体格上的残酷较量和智力上的斗智斗勇，一个群体的猴王脱颖而出。但是，猴王不是永久的终身制，它们随时会被新的、更健壮、更有智谋的雄猴替代，老猴王的结局是别妻离子，被逐出境，独自流落他乡。所以，猴王随时处于高高在上和警惕好斗之中。

猴群等级一级一级排列下去，到了最末尾的那只猴就是这个群体的最弱者，它在群体中总是最后得到食物，总要看其它猕猴的脸色行事。每天生活得胆战心惊，如履薄冰。长期下去，往往就成为群猴的首发抑郁者。

说到这，令我想起目前的中小学校教育，按分数排名次，排名最后的那几个学生每天承受的压力和责难，远远大于其他学生。长此以往，有可能形成他们自暴自弃、缺乏信心的性格。尤其现在，学生的成绩可有 0.25 分的差异，这在 100-150 分满分的情况下，简直微不足道。在我看来，相差 10 分并不能说明学生之间太大的差距。而我女儿在的初中，成绩若低于 1 分，在年级上就有可能排到 20 多名之后，这对年少孩子的自信确是一个打击。所以，国外教学多采取模糊分数，也就是 A，B，C 打分制，这样可以避免名次的精细排列，从而保护学生的自信心。

不过，人类的境况与猕猴不同，学校生活毕竟只是一部分，学生三分之二的时间是在家里和学校之外度过，在学校外，他们有机会获得其它关怀。因而，排名最后的学生不一定像排名最后的猕猴一样出现抑郁症状。相反，分数居中的学生既得不到表扬，也得不到责骂，长期处于被忽视的状态，在心理上可能需要更多的关注。

抑郁的猕猴有一系列和抑郁的人类患者类似的行为表现：处于劣势，被群体孤立，显得不

合群。这类猕猴不参与群体间的理毛和交流，它们时常在一旁独自蹲着，佝偻着头，用手刻板地拔自己身上的毛发。

在柬埔寨吴哥窟附近，我曾见过一群食蟹猴在山坡上慢跑玩耍。其中有一只猕猴长得非常瘦小，毛发凌乱，脸部因被咬伤愈合后扭曲变形，显得猥琐而丑陋。它总是一副战战兢兢的样子，只要它一靠近猴群，就会引来其它猴子的疯狂追击。于是它尖叫着仓卒逃开，不敢再靠近一步。

自然界中的抑郁猕猴是天然的动物模型，如果我们给它们服用抗抑郁的药物，它们也许会变得英勇无畏，不再畏缩。

实验室中的大小鼠如果每天体验不同的环境，如：昼夜颠倒、强光照射、冷水刺激、噪声干扰、位置倾斜等等——虽然像在游乐场玩耍一样，但这些环境对于大小鼠来说，是不可预料的。由于不太适应，大小鼠们很快变得情绪不稳定。

这时，我们要检测一下它们是否有抑郁症状。也就是让它们在一个玻璃水缸中游泳。水缸最好是很深的圆柱状，内部面积不要太大。往玻璃缸内倒入水，把历经刺激之后的小鼠或大鼠放入水缸内。一开始，动物会在狭窄的水面上奋力游泳，抓爬四壁，企图逃出去。但是，很快它会发现，任何努力都是徒劳的，在狭小而四壁光滑的空间，无处逃生。于是，它变换了策略，从焦急过渡到失望，甚至放弃。它不再白费工夫游水，而是静静地飘在水面，听天由命，同时也节省了体能。我们只让动物在水中呆 5 分钟，否则它们会感冒的。如果动物很抑郁，在水面上漂浮的时间就很长。

相反，正常心态的大小鼠态度积极乐观，有很强的决心和毅力寻找逃生出路，它们不停地游水，攀援玻璃容器内壁，总以为隐性的阶梯在等待它们爬上去，它们较坚定地认为终有办法出逃。因而，静止漂浮在水面上的时间就很短。

还有一个办法可以检测动物是否抑郁。抑郁的人往往有一个特点——对身边发生的事不感兴趣，对美食也无动于衷，这叫做“快感缺失”。动物也一样，一旦抑郁了，便对一向喜欢喝的糖水不再期盼。因而，我们检查动物对糖水的喜好是否下降，便可得知它们是否“快感缺失”了。

读者也许会责怪我们太冷酷，总是折磨动物们。其实这些折磨既不很严重，也不长期，所以，动物的抑郁症状很短暂，一旦停止应激刺激，动物很快就恢复常态，复又健健康康了。

用这样的模型，我们可以给抑郁的动物服用抗抑郁药物，如果这些药物可以减缓它们的抑郁状况，那我们就有可能将药物用于人类。

有趣的是，抗抑郁药物还可以加强动物脑内海马的细胞再生。从前，人们以为，大脑内的

细胞不会更新，出生时有多少脑细胞，一辈子就有多少。脑细胞，也即是神经元，数目只可能逐渐递减，不可能有新的细胞产生。这条“规律”在我上大学时仍写在教科书中。但是，近年来，科学家意识到它是错误的。大脑内至少海马这块区域的脑细胞可以再生，细胞的新生在动物完成某项任务之后，尤为突出，因为新出生的细胞参与了这些任务。最近，新的发现认为，抑郁症患者脑内海马细胞再生数目减少。因而，提示科学家，也许我们可以使海马内的细胞增生，从而缓解或改善抑郁症？反过来，研究人员给年轻动物注射治疗抑郁症的药物，结果动物脑内海马上新生细胞增多了。

由此看来，科学并非一成不变，它无时无刻不在发展之中。很多新发现完全可能颠覆从前我们一直视为真理的东西。而生物学上的新发现，若用在解决人类疾病上，则是它的最高使命。

在人类，抑郁有时和躁狂相伴随，也就是说，病人在一个阶段很抑郁，在另一阶段却狂躁，情绪不稳定，处于消极和积极的两个极端。这种疾病被称为“双极抑郁—躁狂”症。目前我们能在动物上模拟抑郁症，但对于躁狂症状，却有一定难度。

焦虑也是常出现在人类中的一种情绪障碍。这类人比正常人胆小，却又非常容易被激怒。在动物上，我们也可借助一些模型来检查动物是否焦虑。

用木板或塑料板制作一个“十”字形迷宫，将迷宫抬高，使之距离地面约一米高，故称为高架“十”字迷宫。这种迷宫和测动物学习记忆的“游乐场”迷宫有一点差别。学习记忆的“游乐场”迷宫各个臂都有高高的围墙挡着，而测试焦虑的高架“十”字迷宫只有两个臂有围墙，另两只臂敞开，没有围墙。站在敞开的臂上，可以对四周景物一览无余。

正常的小鼠，好奇心很强，喜欢探究和冒险，它在这样的高架迷宫中，会四处走动，尤其喜欢探究敞开的臂，因为站在那里可以看到外面的风景。所以只要小心不掉下去，它们就不惧危险，勇于出来“见世面”。而焦虑水平高的动物，则宁愿躲在有围墙的臂内，好像它们总担心会有什么闪失，唯唯诺诺。所以，根据动物在敞开臂内的停留时间和造访次数，我们可以看出它们焦虑与否。

2002年我在墨尔本做访问学者时，每周都能看到一档电视节目，一位和蔼的中年兽医讲授如何照顾宠物，如何给宠物治病，包括治疗心理疾病。他探访家有问题宠物的主妇，和她们聊天，查看宠物的病情，然后一步一步分析，对症下药。

正是在这档电视节目中，我才知道原来宠物也和人一样，不仅身体会不适，也会有人类易患的心理障碍。一些宠物狗因为主人搬了新家，换了新环境，变得抑郁、焦虑。趁主人不在家

时，将家里的摆设弄得一塌糊涂——撕咬窗帘、床罩，甚至把主人的枕头咬破，看羽毛在屋内飞舞，它欢腾跳跃……还有的狗到了新家后，不停地狂吠，吵得四周不得安宁。而这些狗从前在旧居十分乖巧，讨人喜欢。为什么发生翻天覆地的变化呢？医生分析道：这些狗因为环境变迁，情绪紧张，于是变得焦虑、抑郁甚至狂躁。当主人了解自家宠物的心结之后，耐心温柔地抚慰狗儿，对狗轻言细语，花更多时间和它相处，狗儿们奇怪的表现就渐渐消失了。

问题 1

抑郁症很可怕吗？

答案

抑郁症不可怕，是和感冒、发烧一样常见的疾病。需要吃药和心理治疗。抑郁症不是人们常说的精神病，精神病是现阶段人类无法治愈，学名：精神分裂症。抑郁症却是可以治愈的。

问题 2

除了有抑郁的人、猕猴、大鼠、狗，其它小动物，比如果蝇，也会得抑郁症吗？

答案

这也是目前科学家很感兴趣的。果蝇喜欢向上爬，当它一往上爬，就将它攀爬的网变成电网……久而久之，果蝇就不愿往上爬，变得有些郁闷了。但有些基因突变的果蝇却不会抑郁，总是乐呵呵的，对电击视而不见，还是一味地往上爬。这种果蝇将成为科学研究的宝贝，因为它体内某些基因的变化可能对抗抑郁症。

问题 3

从小生活在丰富环境中的动物，长大后，其抑郁程度和焦虑水平都要低，学习记忆能力也比从小生活在单调环境中的动物强。这对我们人类，有什么启示呢？

答案

在婴儿早期，如果我们给幼儿玩能够发出声音的玩具，看色彩鲜艳的图片，经常抚摸他们，对他们讲话……尽量给他们提供丰富的环境，将有利于日后他们拥有较高的情商和智商。

2. 脆弱的精神

很多人都有这样的体会，当你静静地坐着或站着的时候，突然一声巨响可能会令你一下子跳起来，甚至“啊”地叫出声，这就是惊跳反射。其实在现实生活中，惊跳反射这种现象很常见。你去抬炉子上的一只锅，没想到锅这么烫，你的手迅速缩了回来。针扎了你的手指，你的手本能地缩回。这些反应都是人或生物体面对刺激时的一种自我保护。听到巨响时，本能地惊跳起来，全身肌肉调动，处于高度警觉、防御的状态，以准备应付可能出现的危险。

我们所处的世界分外精彩。各种声音、光线、场景……无时无刻不在更新。正常人不会对外界源源不断涌来的信号一一进行反应，否则，如果大脑整天忙于应付各种能够听到的声音，处理所有能够看到的景物，会因为随时处于高度运转状态，而变得疲劳甚至崩溃。

为什么我们的大脑没有被忙坏呢？

我们脑内有一个过滤系统，叫做“感觉门控”，能够对纷纭的信号过滤，筛选出当下对自己最重要的信息，比如热锅烫手的信号，针扎的痛感。这套“信息过滤”机制，可以把无关紧要的信息过滤掉，使我们在看书的时候，不久就达到忘我的境界，对周围发生的一切一无所知，更别说远处的火车声，日落黄昏……这样的过滤机制可以保证大脑不会被各种各样的信息湮没。

自然界中也存在着信息过滤机制不健全的人，他们就是精神分裂症病人。精神分裂症病人俗称“精神病人”。他们在一百个人群中就有一个。这种疾病给病人本身，以及病人的家属都带来莫大的痛苦。导致这类病的原因很多，基因遗传首当其冲，其次后天的经历也决定了是否发病。

精神分裂症病人拥有一个破败的“感觉门控”，他们的大脑随时都在忙碌地处理外界各种信息，因而很快就陷入混乱状态。他们能听到莫须有的声音，看到莫须有的景象，整天生活在一个奇幻异常的世界，和正常的生活相距甚远。使人们觉得他们精神不正常。

我们不知道在动物中，是否也有精神狂乱的“精神分裂症”动物，即便有，这样的病例在自然界中可能也存活不长，早早就夭折了。

我曾在动物房见过这样一只猴子，它一听见声音，就站起来在笼内不停地面壁左右摇摆，背对着我，左一下，右一下，左一下，右一下……动作机械刻板，像个上了弹簧的钟摆，不肯停歇。这种对外界不闻不问的情形很像人类的精神分裂症患者。

毕竟自然状态的精神分裂症动物难求，为了研究人类的精神分裂症，我们可以在动物上模拟精神分裂症症状。

但是，我们怎么知道建立的动物模型和人类的精神分裂症相似呢？一旦我们找到两者的共同点，就可以确定模型是行之有效的。

还是要回到“感觉门控”上，既然我们已经知道，信息过滤系统不完善是精神分裂症患者最主要的特点，那么，我们就可以检查动物的感觉门控完善与否，从而确定该动物能否模拟“精神分裂症”。

有一个非常简单的原则来做这件事。

前面提到，人处于安静状态的时候，如果突然听到一声巨响，会引起很大的反应。这在动物中也可看到。当在大鼠旁，突然给它一声 115 分贝的巨响，它会一跃而起，反应不强烈的大鼠则抽筋似地耸起双肩，缩头，仿佛受到惊吓，要后退逃避。这是正常的惊跳反射。

如果在 115 分贝声音出现之前半秒之内，先给动物听一个很弱的声音——比正常背景噪音高几分贝的声音。仿佛一个轻微而有效的提示，这之前出现的弱声提醒了动物，使得动物对紧随而来的 115 分贝的惊跳动作大大降低，这就是前抑制。它很符合动物的自我保护机制，如果没有前面的弱声音提示，动物将对后面出现的强声毫无准备——一声尖叫或是惊恐跃起，都是要消耗能量的。有趣的是，两个声音出现的时间间隔非常短，动物根本来不及意识到前面的弱声音，但是在潜意识中，它已“听”到这个弱音刺激，并本能地迅速做好准备。这也是我们手被烫了之后，总是在手已缩回来后才感到痛，才明白锅是烫手的罪魁祸首，好像我们的行动跑得比思想快似的。

能够正常过滤信息的人，他的前抑制是完善的，但在感觉门控异常的精神分裂症病人，前抑制却不完善。也就是说，无论强烈的声音刺激之前是否出现一个弱声，精神分裂症病人都有很大的惊跳动作，前面的弱声刺激并不起任何警告作用。

我们可以将大鼠放在传感器上，测量它的惊跳幅度。如果大鼠经过某些处理，过滤系统遭到破坏，它们的表现就会和精神分裂症病人类似，前抑制出现障碍。这样，我们就可以在动物身上模拟人类的精神分裂症，从而寻找治疗药物。

问题 1

精神分裂症的感觉门控是缺损的，其中有一个原因是精神分裂病人无法专心致志，他们注意不到巨大声响之前微小的“提示”。那么，根据这个线索，我们能否预测哪些因素可以提高感觉门控的门户作用呢？

答案

感觉门控负责对各种信息的筛选，所以注意力首当其冲影响了这道门户。如果注意力高度集中，感觉门控的作用将发挥得淋漓尽致。而在各种注意力中，攸关生存信号的注意力尤其突出。比如，令动物感到受生命威胁的电刺激，会引起动物的极大关注。如果电刺激和“弱音提示”一同出现，感觉门户将自动提高警惕性，前抑制会比平时大大提高。动物越警觉，越有准备，能量损失越小，越有余地指向更重要的事件。另外也说明，如果把动物具生物学意义的感觉调动起来，感觉门控“上班”的效率会更高。北京的大学李量教授的实验室便“集中注意力”在这方面的研究上。

问题 2

人类在婴儿时期，如果和母亲分离，对幼儿的成长会有一定影响，那么动物在幼年时期如果和母亲分离，长大后，会有什么变化呢？

答案

当小鼠生下来后，每天把它们和母亲隔离一段时间，哪怕只是 1 个小时，长大后，这些小鼠和未经母婴隔离的小鼠相比，出现了一些性格差异，认知功能和情绪得分都较低。而且这类小鼠注意力很差，所以前抑制也破败，就像精神分裂患者一样。因而，人们认为，母婴隔离可能是导致精神分类症的罪魁祸首之一。

问题 3

我们很难把人放到巨大的传感器上去测量他们的惊跳幅度，那么，我们如何测量人类被试的惊跳反射？

答案

有一个现象不能忽略，那就是人受到惊吓时，除了全身惊跳，发出尖叫外，还有一个显著的特点就是：快速眨眼——本能地期望通过多眨眼睛，以便看到更多更清楚的景象，好快速确定发出巨响的地方，了解令自己惊吓的原因真相。

所以，察看人眨眼的情况，记录眼部肌肉电活动，便可衡量人的惊跳反应。

3. 老年也痴呆

二次世界大战后，无数士兵阵亡战场，很多家庭失去亲人。于是在二战之后的和平年代，世界人口出生率出现了一个高峰。这个高峰期内出生的婴儿到现在，大多已进入老年。在中国，由于解放后未及时控制人口出生率，导致人口剧增，所以目前，老年人也呈现高峰趋势，并且这个趋势将维持一段时间不减。也就是说，中国，乃至世界，人口老年化是一个日益突出的问题。在公共汽车上，我们上车刷交通卡时，听到最多的声音就是刷卡机自报的“爱心卡”——老年人年龄超过 60 岁，就可办理免费乘坐公交车的“爱心卡”。每次我都有些许感叹：老年人越来越多了。

伴随而来的是与老年人相关的疾病日益增多。其中，老年痴呆症是最令人困惑的老年人疾病之一。

老年痴呆症是上世纪初由德国的爱罗斯·阿尔兹海默（Alois Alzheimer, 1864-1915）医生发现并首次详细记录的，所以又称阿尔兹海默氏症。

阿尔兹海默发现这类病人大多在 50 岁以上发病，患者记忆力急剧衰退，方向感丧失。他们的大脑皮层比正常人的变薄且缩小，在大脑中有很多纤维缠结，俗称“老年斑”——不是出现在老年人手上或脸上的“老年斑”，而是出现在病人大脑内一团一团的斑块状缠结，斑块里积聚着特殊的淀粉样蛋白。

第一次见到患老年痴呆的病人是在养老院，远远地我看见一栋楼里，走廊上，有几个老人在游荡。他们佝偻着身子，面部呆滞，仿佛幽灵一般。一道大铁门锁住整栋楼的出口。后来我知道，大铁门上锁是为了防止老人们溜出门后就找不到回路。在我看来，就像监狱的铁门一般，却是用来锁住患老年痴呆症的老人。

后来，我一个朋友的父亲得了老年痴呆症，才几年功夫，原先很矍铄健谈的人就大变了样。在餐桌上，他面无表情地端起我们的杯子，一只接一只，将里面的水一饮而尽。然后，呆呆地看着前方，他认不出我们是谁，而三、四年前，他能清楚地叫出我们的名字。现在，他甚至有时认不出自己的家人……和他说什么他都沉默不语，没有一点反应，只是呆滞地看着前方……朋友甚至不敢给父亲碗里添太多的饭，因为他根本没数，给多少吃多少。

早期老年痴呆症和正常老人的记忆衰退混淆不清，所以难以诊断。当发现病症时，往往已无法治疗。

除了抑郁症、精神分裂症和老年痴呆症外，人类还有其它一些和神经系统相关的疑难疾病，如帕金森氏症、亨廷顿舞蹈症、重肌无力症等，这些疾病带给我们巨大的痛苦……所以，动

物在这些疾病研究中扮演非常重要的角色，我们只有借助于动物模拟各种疾病，才有可能为人类疾病的治疗寻找新的突破和策略。

问题

为什么大多数老人虽然年纪大了，记忆减退，但却没有患老年痴呆症？是什么因素导致该疾病的发生？

答案

引发老年痴呆症的原因很多，包括基因遗传和环境的因素。基因忠实地将致病基因遗传给后代。糖尿病也多引发老年痴呆症。我朋友的父亲先前就患有糖尿病。环境因素较为复杂，人体内锌、铜、铝等金属含量异常，均是导致老年痴呆症的原因之一。目前，老年痴呆症的发病机理仍在研究中，及早诊断该病也是一个棘手的问题。

小贴士

什么是毒品？

毒品有很多种，其中最常见的毒品其万恶之源来自于一种娇媚的花。这种花的名字叫做罂粟，在李时珍的《本草纲目》中，它还有一个雍容的别名：阿芙蓉。它的长相和它的名字一样，毫不逊色，白的、紫的、或红的花瓣娇滴滴地开放在纤细的茎端，微风一吹，便像蝴蝶一样招摇飘摆。几片挂着白粉的绿叶故做姿态地伸展着，掩饰不了叶片边缘上毗裂的一排排利齿。而一个个像小棒槌似的蒴果则羞答答低垂着，好像心中怀着不可告人的秘密。冷眼一看，人们或许会以为是虞美人——的确，虞美人与罂粟同属罂粟科罂粟种植物，长相相似，但心地却有天壤之别。虞美人内心像外表一样纯洁、善良，所以遍开庭院，为人们喜爱。而罂粟则是一种危险的植物，浑身流满了白色有毒的汁液，只能长在见不得人的地方——它曾害得多少人倾家荡产、痛不欲生。

貌似娇柔的罂粟为什么会有如此大的“威力”呢？原来，罪恶源于那一颗颗低垂着的蒴果，当这些“小棒槌”充分长成，临近成熟，用锯齿小刀将果皮割破，乳汁就会流出，白色乳汁遇空气逐渐变成棕黑色，凝结成膏状物粘附在果皮上，将其刮下，干燥，就得到我们常说的毒品——鸦片。

从鸦片中可以精炼提取出吗啡。吗啡在医疗上有卓越的功效，它可以镇痛、止咳、止泻，但它也有一致命的弱点——能快速使人产生成瘾性和耐受性。成瘾性是指当人们初次尝试吗啡一次或几次后，吗啡就能从生理和心理上完全控制人，使人不仅在身体上，而且在精神上对它上瘾，从此像离不开空气一样离不开它。而耐受性是指在短至几天或几周的时间内，人对吗啡的需求量大大增高，原来可以满足身体的普通剂量现在不起作用了，所要的药量可高达普通剂量的 20-200 倍。雪球越滚越大，使吸食毒品的人身陷其中，不能自拔。所以在医院里，给病人使用吗啡有一套严格的规章制度管理，病人就是产生了耐受性，也不会产生成瘾性。

吗啡的这些特性使一些不法分子有利可图，他们根据吗啡的化学结构合成比吗啡药效更强的海洛因等毒品。还有一些毒品，化学结构与吗啡不相似，但作用相似，如可卡因、大麻、酒精等。吸毒者服用毒品的方式一般有用鼻子吸，用嘴巴直接吞服，或用注射器注射。注射后药性发作快，但往往因为吸毒者是偷偷摸摸自己注射，针头易污染而传染疾病——很多爱滋病患者就是这样被传染上的。服用毒品后，人会兴奋、飘飘然，产生强烈的欣快感，吸毒者正是为了寻求这种欣快感而不惜花费巨金，甚至触犯法律。他们不知道，那神仙般的感觉是多么短暂啊，其后的漫漫长路从此苦不堪言！

“一旦吸毒，终身想毒”沾染毒品容易，戒毒却极难，纵使有决心戒毒，身体和精神却不答应，为什么呢？

人若偶尔吸食海洛因后，毒品使大脑迅速分泌“快乐物质”——多巴胺。使人产生强烈的欣快感。这种感觉像蝎子一样，牢牢抓着这些人迫使他们再次吸毒。于是更多的多巴胺分泌，继而再刺激对毒品的渴求……恶性循环发展到一定程度后，吸毒者就欲罢不能了。由于多巴胺过量刺激，大脑原有的平衡遭到破坏，不再给予毒品时，失去平衡的大脑将勒令身体出现一系列极端难受的症状，以示抗议。接下来，吸毒者就是想戒毒也不可能了，因为他已陷入可怕的“戒断症状”。

戒断症状实际上是毒品在瘾君子准备摆脱它的时候进行的疯狂报复，戒毒者感觉像有数千只蚂蚁在骨头上爬行、噬咬，又痒又难受。他们阿欠连天、流眼泪、肚子痛、心慌、失眠，甚至哭泣叫喊，严重者虚脱昏迷、意识丧失。许多人因忍受不了可怕的戒断症状而再次吸毒，以求暂时的宁静和快乐，从而陷入更可怕的恶性循环。此时，他的“想毒”已不完全是为了追求欣快感，而是为了逃避戒断症状了，他的钱财连同身体和意志一起被毒品吸得干干净净。

毒品就像一张毒蜘蛛的网，用绮丽的网诱惑、捕获猎物，牢牢抓住猎物，直到猎物形如枯槁、气绝身亡。

所以，与其在毒网上挣扎，不如不碰；与其戒毒，不如防毒。

4. 动物瘾君子

动物们会像人类一样抑郁、长肿瘤，也会像人类的瘾君子一样受毒品的诱惑而不能自拔。当给大鼠背上自我给药系统，如果大鼠按压一个键一次，身上背着给药系统就会给大鼠体内提供吗啡。吗啡在医院中常作为镇痛剂，令人感觉平和安逸。所以，大鼠很快就落入可怕的圈套。它们在一天之内会上千次按压那个键，以获得源源不断的吗啡享受。

其实，人类，乃至动物在自己脑内都存在一种类似毒品的物质——阿片物质。当我们由于一些令人高兴的事产生了愉悦的感觉时，就是这些阿片物质在作祟——它们从原先贮存的地方跑出来，腐蚀大脑，使大脑感觉分外良好，飘飘欲仙。

另外，阿片物质的释放，也使得大脑内另一种“快乐物质”——多巴胺增多。多巴胺在大多数动物脑中普遍存在，并作为一种强有力的化学物质，左右着我们的幸福。我们在比赛或考试中获得好成绩时，脑内的阿片物质和多巴胺纷纷跑出来，使我们感觉很欣快——也即产生所谓的“得意”“骄傲”和“荣誉”感。由于这种感觉非常美好，从而使得人甘愿为此再一次去拼搏，去努力充当胜利者，于是形成一种良性的奖赏循环。

恋爱中的人大脑内的“快乐物质”多巴胺大量分泌，使得彼此眼里看出西施，并有很大的满足感。一段时间后，当“快乐物质”渐渐恢复正常水平，恋人开始视彼此为左手右手，没什么新奇。这种“快乐物质”给我们人类，乃至很多动物，带来了生命的愉悦和享受。

自然状态下，我们和动物体内的阿片类物质含量极微少，而“快乐物质”多巴胺也能够快速恢复平衡，所以，快乐的感觉常常很短暂。但如果我们或动物服用吗啡、海洛因，就可能持久激发欣愉的感觉。其结果是药物成瘾，脑内多巴胺超量生产，大脑功能失调。

因而，不仅人类深受毒品的侵害，动物也会受到毒品的侵扰。

当动物受到吗啡的侵扰，它们不会说话，我们如何知道它们是否成瘾了呢？

一个在昆明曾经吸过毒的人，解放后逃到国外，从此不再吸毒。然而，几十年后，他回到昆明寻访亲友，却发现自己的毒瘾突然变得不可遏制！这也是绝大多数吸毒的瘾君子频繁出入戒毒所，而无法彻底戒毒的原因——熟悉的环境总是要命地勾起吸毒时愉快的感受，这是最根深蒂固，也是最可怕的一个条件反射。

根据这个思路，我们可以设计出一个检测大小鼠是否成瘾的实验。它就是“位置偏好测试”。

一个箱子内有三间小屋。左边和右边两个小屋的墙上分别贴着不同的图案。地板质地也不

同，一间光滑，另一间地板粗糙。我们在固定的一间屋内给动物“享受”吗啡的飘飘然感觉，在另一间屋内却不给动物任何享受。

如果动物记得在哪间屋子内“享受”过吗啡，它就会很喜欢这间屋子，一有机会就造访那里。由此，我们可以看出动物是否对吗啡上瘾。

除了对吗啡成瘾，有些动物还会醉酒。如果把小果蝇们放到通有酒精气体的瓶中，不一会儿，它们就呈醉态，跌跌撞撞，纷纷坠落。此时，果蝇的表现再次和人类一样，大多数果蝇需要经历一段时间才会酒醉，而总有一小部分果蝇，它们一沾酒就醉。经过基因分析，这些小酒量的果蝇在基因上发生了突变，改变了酒精代谢中的一个环节。

一旦服用兴奋剂后，小小的果蝇就会兴奋不已，它们不停地转圈，跳舞，激动万分。如果服用了镇静剂，它们则安静得一动也不想动。所以，果蝇可望被用来作为缉毒或缉爆的后选侦察兵。

斑马鱼也不逊色，它和其它动物一样，也会对可卡因等药物成瘾。小龙虾亦非常偏爱能够享受到吗啡的小屋。

最近，澳大利亚的科学家惊奇地发现，蜜蜂对可卡因一往情深。当给小蜜蜂服用可卡因之后，蜜蜂回巢后的舞蹈发生了戏剧般的变化。它们更倾向于跳激烈的摇滚舞，迫切地同伴昭示，在某个地方有个万分神秘的蜜源……

当给蜜蜂们慢性服用可卡因再停药后，蜜蜂显示出相应的“戒断”症状，学习记忆受到严重破坏。种种迹象表明，蜜蜂对可卡因能够上瘾。

缉毒士兵

除了在药物戒断研究上的贡献，有些小动物们还因为拥有灵敏的感觉，被选为“侦察兵”，帮助人类缉毒或缉爆。

毒品危害人类社会，扼杀人类的灵魂。毒品的原料——罂粟，在东南亚“金三角”生长，非法人员把罂粟制作成毒品，从海关输入内地，因而，海关缉查毒品功不可没。携带毒品的人非常狡猾，往往将毒品藏到很隐蔽的地方，如果我们运用仪器探测不出来的话，就需要借助嗅觉灵敏的动物来帮助人类了。

于是，人们就想到组建嗅觉灵敏的动物缉毒队，来拦截毒品的入关。

迄今为止，缉毒队伍中有缉毒犬、缉毒鼠和缉毒蜜蜂等成员。我们可以训练它们将毒品的

气味和美食联系起来，一旦闻到毒品特有的气味，狗就想到肉，鼠就想到花生米，蜜蜂就想到糖水。于是，它们就有行为上别样的反应。狗、鼠围着携带毒品的行李嗅个不停，以为内装美食，蜜蜂则欢快地伸出细长的嘴喙迎接假想的“糖水”。根据动物的表现，海关人员缉查毒品的效率将大大提高。

除了能够缉毒，还可以训练动物缉爆——也就是让它们去寻找非法炸药。在中国农村，很多人悄悄制造，并随意堆放炸药，炸药一旦爆炸，将导致许多意想不到的伤亡。所以，我们也许可以训练出一批缉爆鼠。当给它们闻炸药的味道时，同时给它们足底电击，电击使得它们脚部疼痛难耐，蹦跳不已。如此训练几次，再给它们炸药的味道时，即便没有电击，它们也会和平时有不同的表现。国外已成功训练出扫雷鼠，大鼠一旦嗅到地雷的味道——炸药泄露的气味，它们便会表现异常，变化的肢体语言告诉人们：地底下埋有地雷！

钟情迷幻

在澳大利亚墨尔本郊区，我经常看见高大的桉树枝杈间挂着毛绒绒的考拉。白天的大部分时间，它们总在迷迷糊糊地睡觉。因为常年生活在桉树上，考拉只会食用桉树叶。桉树叶散发出浓烈的桉油味，不仅使考拉浑身不长寄生虫，也使考拉终日处于昏睡的状态。桉树叶有毒，但对于考拉来说，却是一种超级享受。仿佛吸了毒一样，白天它们昏昏沉沉，细缝般的小眼睛始终睁不开，憨态可掬。即便是在人流攒动的动物园，我们排队前去和考拉合影留念，它也一动不动地卡在树杈间，连眼皮都懒得抬一下。

成天挂在树上的考拉是因为食性怪癖而貌似“成瘾”，实验室中的动物会对药物成瘾。那么，自然界里是否有其它动物真正懂得药物带来的欢愉沉醉？它们是否也会像人一样不可遏制地去追寻这种享受呢？

在BBC节目中详细介绍了动物也懂得如何追求迷幻的感觉。

有的猫喜欢吃一种芳香类药用植物的花，用植物的叶子蹭自己身子。借助这种植物，身上的寄生虫被驱赶得无影无踪。猫儿迷恋这种芳香植物还有另一个重要原因——这种植物可以使猫儿产生迷幻的感觉。食用这种植物不久，猫儿便双眼迷茫，陶醉而愉快地四处打滚。看起来它们很享受这种感觉，并乐此不疲。有趣的是，这种对迷幻状态的嗜好还可以遗传到下一代。

马达加斯加生活着一种黑狐猴。它们有个很奇怪的行为，就是绝不放过爬行在树干上的千足虫。千足虫的身体两侧密密麻麻长满了纤细的脚，像只棕红色的大蜈蚣一样。

黑狐猴一把抓过千足虫，它们并不急着吃掉这种软体虫，只是把它们放在嘴里轻轻地咬。

经不住牙齿的刺激，千足虫身上喷射出一种汁液，这种汁液正是黑狐猴所爱。汁液里含有毒的氰化物，使动物神经系统麻痹，产生痴迷的幻觉。黑狐猴深知这一点。它尽情享受千足虫喷射的汁液，不一会儿，就陷入神志不清的迷糊状态，昏昏欲睡，痛苦并快乐着。仿佛人吸了毒之后，沉醉迷离，置身仙境一般……

亚吉藤是土著人常用的迷幻植物，能够提升感觉灵敏度。美洲豹对亚吉藤也情有独钟，吃了亚吉藤，美洲豹神情愉悦，浑身瘫软，处于心旷神怡的迷醉状态。

驯鹿喜欢吃一种叫做捕蝇蕈的蘑菇。即便在冰天雪地里，它们也能准确无误地将蘑菇从雪地里刨出来。捕蝇蕈是一种略微有毒的粉红色蘑菇。吃了蘑菇的驯鹿就有了想飞的感觉，那种状态真是太好了。也许圣诞老人驾驶的驯鹿就是吃了这种蘑菇才起飞的吧？

人类的酒瘾是在自然界中发展起来的，人们最先在森林中寻找发酵的水果，感受酒精的沉迷。后来才逐渐学会发酵葡萄及粮食酿酒。

同样，自然界中的酒瘾动物也是因为偶尔食用发酵的植物而逐渐开始喜好“这一口”。

蜜蜂初尝酸橙树发酵的汁液后便恋恋不舍，成瘾后更是义无反顾地奔赴酸橙树，吸食带有酒精的汁液。喝醉了的蜜蜂跌跌撞撞，到蜂巢门口时，往往被守卫蜂赶走，不让它们进入蜂巢，以防扰乱次序。

加勒比海小岛上生活着一种黑脸、橘红眼睛的长尾黑颚猴，它们受人类的影响，嗜好吃发酵的甘蔗，由此染上酒瘾。最后发展到成群结队去沙滩偷喝游人的酒饮料。

这些顽皮的猴子中间，有的嗜酒如命，有的却滴酒不沾，嗜酒的比例和人类的酒鬼比例一致。

唯一和人类不同的是，因喝了酒耍酒疯的猴子更容易受到其它猴子的尊重，容易被推选为首领。人类却正好相反，醉醺醺的酒鬼总是招人唾弃。但是，人类对于讲义气、豪情饮酒的绿林好汉也颇尊敬，这一点也许可以从长尾黑颚猴上寻找到这种尊敬之情的起源。

戒毒难题

毒品戒断是成瘾研究中的一大难题。

毒品成瘾容易，戒断难。很多人命丧吸毒，就因为无法克服毒瘾，他们充满希望地从戒毒所出来，但总是绝望地一次又一次返回戒毒所，难以控制的复吸最终害了他们。我们曾在昆明强戒所做了一段时间的实验。当我和吸毒人员相谈时，被他们的沮丧和无奈震撼。年轻的女人

在手臂上用小刀划出一道道醒目的裂痕，这是她们在毒瘾难耐时绝望的痕迹。她们双眼迷茫、呆滞，面色萎靡，浸透了痛苦和麻木的神情。看着她们，就让人想为她们摆脱痛苦做点什么。

目前，治疗吸毒人员的方法一般是替代疗法，用一些药物逐渐代替毒品，使吸毒者渐渐脱离毒瘾。但人们无奈地发现，瘾君子往往转而又开始依赖这些替代药物，对它们成瘾。

还有一些比较极端的方法，就是将吸毒人员脑内和成瘾有关的脑区切除，这样做的后果是被切除者在人格、智力上都有所改变。这是最不提倡的办法。

一次，马原野教授和我们谈起，他一旦生病，就一点也不想喝酒——而平时，喝点小酒对于他来说，是一种莫大的享受。无独有偶，2008年1月，《科学》杂志上刊登了一篇文章，通过实验，使实验鼠患上破伤风，它们的神经细胞便停止释放神经信号。看起来，神经通路被破伤风毒素切断了。一旦再给动物注射抑制毒素的药物，动物从破伤风中恢复过来，实验鼠的神经回路开关立即被打开，通路复又畅通无阻。

就像抽烟成瘾的烟民，嗜酒如命的酒鬼，在感冒或发烧期间烟酒不沾，仿佛抽烟喝酒会加重病情一样。

吸毒者呢？也有类似的现象——他们在吸毒期间，鲜有喝酒抽烟的，按他们的话说，毒品和烟酒是相冲的。

如果患上感冒或发烧，使得整个人精神恹恹，对什么都丧失兴趣，更别说平时嗜好的抽烟喝酒。我们能否根据这个线索，“以毒攻毒”，寻找根除毒瘾的方法呢？

这是本书的最后一个问题，我们还需要设计精准而巧妙的实验去证实。

人和动物原本一家，有些地方，人类发展得比动物好些，有些地方却不如动物。但殊途同归，人和动物源于自然，最终也归于自然。无论人，还是动物，在自然界中走了一遭生命，都会留下他/它的故事和痕迹，这些故事对于整个进化历程是渺小而微不足道的，但是，对于一个个鲜活的生命，却是具体而丰盈的。让我们珍爱所有的故事和痕迹，珍爱所有的故事主角……

后序

记得我在阅读大象照镜子这篇文献的时候，身边一位博士后感叹道：为什么我们不在圆通山动物园做这个实验呢？的确，离我们昆明动物所不远的圆通山动物园豢养着大大小小的亚洲象，可是远在美国的科研人员在纽约的动物园把这个实验做了，结果发表在 PNAS——一个非

常好的科学杂志上，发表的时间也不远，2006 年。

所以，这本书的目的，也在给我们一些启示：好的科研工作，没有做不到的，只有想不到的。姑且以这句老生常谈作为本书的结语吧。

最初写书稿的缘来自与马原野教授的一次谈话，在撰写过程中亦得到他真诚的帮助和关注，尤其感谢他随时提供的最新科研“八卦消息”。此外，书稿部分资料的来源得益于郭爱克院士、陈霖院士、李量教授、张少吾教授及夫人朱宏老师、张树义教授、胡新天教授、陈南晖博士等；以及实验室的研究生们：胡英周、谭恒、周东明、刘宁、马漫修、付玉、张洁、陈艳梅、毛羽、王丽娜、秦冬冬等。孙华英、胡英周、王沧恺、何静等同学为本书提出细致而中肯的意见。谭恒和王秀松提供了精彩照片。在此一并致谢。

特别值得一提的是，女儿周穆如的绘画天赋为本书增添了色彩和童趣，同时，她也用童稚的笔触为我修改了部分书稿。

还要感谢抚养茜茜的养父养母和热爱茜茜的老师 and 学生们，他们的关爱使得小茜茜健康成长。感谢周佳美老师不时将茜茜“介绍”到我们办公室，使我得以零距离接触并观察幼小的灵长类动物。

感谢中科院昆明动物研究所主页“传媒扫描”栏目。

书中难免有错误之处，敬请指正和原谅。

动物伴随在我们的生活和科研中，功劳不可泯灭。让我再次表示对它们深深的感激和喜爱之情。

参考文献

Ch. 达尔文。《达尔文进化论全集，第七卷——人和动物的感情表达》，曹骥译，科学出版社，1996 年第一版。

镜子与自我意识:

de Waal FBM, Dindo M, Freeman CA, Hall MJ. The monkey in the mirror: Hardly a stranger. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 2005, 102 (32): 11140–11147.

Ferrari1 PF, Visalberghi E, Paukner A, Fogassi L, Ruggiero A, Suomi SJ. Neonatal Imitation in

Rhesus Macaques. *PLoS Biology*, 2006, 4 (9):1501-1508.

Heschl A and Burkart J. A new mark test for mirror self-recognition in non-human primates. *Primates*, 2006, 47:187–198.

Hirata S. A note on the responses of chimpanzees (*Pan troglodytes*) to live self-images on television monitors. *Behavioural Processes*, 2007, 75: 85–90.

Iriki A, Tanaka M, Obayashi S, Iwamura Y. Self-images in the video monitor coded by monkey intraparietal neurons. *Neuroscience Research*, 2001, 40: 163–173.

Kitchen A, Denton D and Brent L. Self-recognition and abstraction abilities in the common chimpanzee studied with distorting mirrors. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 1996, 93: 7405-7408.

Paukner A, Anderson¹ JR, Borelli E, Visalberghi E and Ferrari PF. Macaques (*Macaca nemestrina*) recognize when they are being imitated. *Biol. Lett.*, 2005, 1: 219–222.

Plotnik JM, de Waal FBM, and Reiss D. Self-recognition in an Asian elephant. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 2006, 103 (45): 17053–17057.

Posada S and Colell M. Another Gorilla (*Gorilla gorilla gorilla*) Recognizes Himself in a Mirror. *American Journal of Primatology*, 2007, 69: 576–583.

Prior H, Schwarz A, Gunturkun O. Mirror-Induced Behavior in the Magpie (*Pica pica*): Evidence of Self-Recognition. *PLoS Biology*, 2008, 6(8): e202.

Reiss D and Marino L. Mirror self-recognition in the bottlenose dolphin: A case of cognitive convergence. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 2001, 98(10):5937–5942.

Subiaul F, Cantlon JF, Holloway RL, Terrace HS. Cognitive Imitation in Rhesus Macaques. *Science*, 2004, 305 (16): 407-410.

Rajala AZ, Reininger KR, Lancaster KM, Populin LC. Rhesus Monkeys (*Macaca mulatta*) Do Recognize Themselves in the Mirror: Implications for the Evolution of Self-Recognition. *Plos One*, 2010, 5(9): e12865.

预测未来:

Clayton NS, Bussey TJ and Dickinson A. Can animals recall the past and plan for the future? *Nature Reviews, Neuroscience*, 2003, 4: 685-691.

Dally JM, Emery NJ, Clayton NS. Food-Caching Western Scrub-Jays Keep Track of Who Was Watching When. *Science*, 2006, 312: 1662-1665.

Mulcahy NJ and Call J. Apes Save Tools for Future Use. *Science*, 2006, 312: 1038-1040.

Raby CR, Alexis DM, Dickinson I A, Clayton NS. Planning for the future by western scrub-jays. *Nature*, 2007, 445: 919-921.

共情:

Langford DJ, Crager SE, Shehzad Z, Smith SB, Sotocinal SG, Levenstadt JS, Chanda ML, Levitin DJ, Mogil JS. Social Modulation of Pain as Evidence for Empathy in Mice. *Science*, 2006, 312: 1967-1970.

Raber P, Devor M. Social variables affect phenotype in the neuroma model of neuropathic pain. *Pain*, 2002, 97: 139–150.

传递性推理:

Benard J and Giurfa M. A Test of Transitive Inferences in Free-Flying Honeybees: Unsuccessful Performance Due to Memory Constraints. *Learning and Memory*, 2006, 11:328–336.

Grosenick L, Clement TS, Fernald RD, Fish can infer social rank by observation alone. *Nature*, 2007, 445(7126): 429-32.

Paz-y-Mino CG, Bond AB, Kamill AC, Balda RP. Pinyon jays use transitive inference to predict social dominance. *Nature*, 2004, 430: 778-781.

雪猴:

Matsuzawa T. The Ai project: historical and ecological contexts. *Anim Cogn.*, 2003, 6 : 199–211.

合作:

Brosnan SF and de Waal FBM. Monkeys reject unequal pay. *Nature*, 2003, 425: 297-299.

de Waal FBM, Berger ML. Payment for labour in monkeys. *Nature*, 2000, 404: 563.

Dubreuil D, Gentile MS and Visalberghi E. Are capuchin monkeys (*Cebus apella*) inequity averse? *Proc. R. Soc. B.*, 2006, 273: 1223–1228.

Jensen K, Hare B, Call J and Tomasello M. What's in it for me? Self-regard precludes altruism and spite in chimpanzees. *Proc. R. Soc. B.*, 2006, 273: 1013–1021.

Slocombe K and Newton-fisher N. Fruit Sharing Between Wild Adult Chimpanzees (*Pan troglodytes schweinfurthii*): A Socially Significant Event? *American Journal of Primatology*, 2005, 65: 385–391.

Silk JB, Brosnan SF, Vonk J, Henrich J, Povinelli DJ, Richardson AS, Lambeth SP, Mascaró J, Schapiro SJ . Chimpanzees are indifferent to the welfare of unrelated group members. *Nature*, 2005, 437: 1357-1359.

工具使用:

Kru' tzen M, Mann J, Heithaus MR, Connor RC, Bejder L, Sherwin WB. Cultural transmission of tool use in bottlenose dolphins. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 2005, 102 (25): 8939–8943.

Miklósi A, Andrew RJ, Gasparini S. Role of right hemifield in visual control of approach to target in zebrafish. *Behavioural Brain Research*, 2001, 122: 57–65.

Sovrano VA. Visual lateralization in response to familiar and unfamiliar stimuli in fish. *Behavioural Brain Research*, 2004, 152: 385–391.

智能:

Herrmann E, Call J, Hernández-Lloreda MV, Hare B, Tomasello M. Humans Have Evolved Specialized Skills of Social Cognition: The Cultural Intelligence Hypothesis. *Science*, 2007, 317: 1360-1366.

Marino L, Connor RC, Fordyce RE, Herman LM, Hof PR, Lefebvre L, Lusseau D, McCowan B, Nimchinsky EA, Pack AA, Rendell L, Reidenberg JS, Reiss D, Uhen MD, Van der Gucht E, Whitehead H. Cetaceans Have Complex Brains for Complex Cognition. *PLoS Biology*, 2007, 5(5): 966-972.

Premack D. Human and animal cognition: Continuity and discontinuity. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 2007, 104 (35) :13861–13867.

教学:

Franks NR, Richardson T. Teaching in tandem-running ants. *Nature*, 2006, 439: 153.

Thornton A and McAuliffe K. Teaching in Wild Meerkats. *Science*, 2006, 313: 227-229.

蝙蝠:

Holland RA, Thorup K, Vonhof MJ, Cochran WW, Wikelski M. Bat orientation using Earth's magnetic field. *Nature*, 2006, 444: 702.

Wang Y, Pan Y, Parsons S, Walker M and Zhang S. Bats respond to polarity of a magnetic field. *Proc. R. Soc. B*, doi:10.1098/rspb.2007.0904, Published online.

数字识别:

Brannon EM and Terrace HS. Ordering of the Numerosities 1 to 9 by Monkeys. *Science*, 1998, 282: 746-749.

Flombauma JJ, Junge JA, Hauser MD. Rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) spontaneously compute addition operations over large numbers. *Cognition*, 2005, 97: 315–325.

Hauser MD, Macneilage P, Ware M. Numerical representations in primates. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 1996, 93: 1514-1517.

Kawai N, Matsuzawa T. Numerical memory span in a chimpanzee. *Nature*, 2000, 403: 39-40.

Hauser MD, Sulkowskia GM. Can rhesus monkeys spontaneously subtract? *Cognition*, 2001, 79:

239-262.

Tetsuro Matsuzawa. Symbolic representation of number in chimpanzees. *Current Opinion in Neurobiology*, 2009, 19:92–98.

Irie-Sugimoto N, Kobayashi T, Sato T, Hasegawa T. Relative quantity judgment by Asian elephants (*Elephas maximus*). *Anim Cogn.*, 2009, 12:193-199.

Uller C, Jaeger R, Guidry G, Martin C. Salamanders (*Plethodon cinereus*) go for more: rudiments of number in an amphibian. *Anim Cogn.*, 2003, 6:105-112.

Gross HJ, Pahl M, Si A, Zhu H, Tautz J, Zhang S. Number-based visual generalisation in the honeybee. *PLoS ONE*, 2009, 4:e4263.

大脑不对称:

Fletcher AW. Clapping in Chimpanzees: Evidence of Exclusive Hand Preference in a Spontaneous, Bimanual Gesture. *American Journal of Primatology*, 2006, 68: 1081–1088.

Filip A, Cahusac P. Behavioural lateralization of tactile performance in the rat. *Physiology & Behavior*, 2007, 91: 335–339.

Lonsdorf EV, Hopkins WD. Wild chimpanzees show population-level handedness for tool use. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 2005, 102 (35): 12634–12638.

Sherwood CC, Wahl E, Erwin JM, Hof PR, Hopkins WD. Histological Asymmetries of Primary Motor Cortex Predict Handedness in Chimpanzees (*Pan troglodytes*). *J of Comparative Neurology*, 2007, 503: 525–537.

Stashkevich LS and Kulikov MA. Reorganization of Bimanual Motor Responses on Formation of a Lateralized Food-Procuring Skill in Rats. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 2007, 3: 37(3):257-62.

呵欠传染:

Anderson JR, Myowa-Yamakoshi M, Matsuzawa T. Contagious yawning in Chimpanzees. *Proc. R. Soc. Lond. B (Suppl.)*, 2004, 271: S468–S470.

Annika P and James R. Anderson. Video-induced yawning in stumptail macaques (*Macaca arctoides*). *Biol. Lett.*, 2006, 2: 36–38.

Steven M P, Feroze BM, Gordon G. Gallup J. Contagious yawning and the brain. *Cognitive Brain Research*, 2005 (23): 448–452.

因果关系:

Aaron PB, Kosuke S, Kenneth JL, Michael RW. Causal Reasoning in Rats. *Science*, 2006, 311: 1021-1022.

语言:

Vargha-Khadem F, Gadian DG, Copp A and Mishkin M. FoxP2 and the neuroanatomy of speech and language. *Nature Reviews, Neuroscience*, 2005, 6: 131-138.

睡眠:

Ji D, Wilson MA. Coordinated memory replay in the visual cortex and hippocampus during sleep. *Nature Neuroscience*, 2007, 10: 100-107.

裸鼹鼠:

Park TH, Lu Y, Jüttner R, Smith E, Hu J, Brand A, Wetzel C, Milenkovic N, Erdmann B, Heppenstall HA, Laurito CE, Wilson SP, Lewin GR. Selective Inflammatory Pain Insensitivity in the African Naked Mole-Rat (*Heterocephalus glaber*). *PLoS Biology*, 2008, 6, (1): e13, 156-170.

蛙:

Feng AS, Narins PM, Xu CH, Lin WY, Yu ZL, Qiu Q, Xu ZM, Shen JX. Ultrasonic communication in frogs. *Nature*, 2006, 440(7082): 333-6.

Gridi-Papp M, Feng AS, Shen JX, Yu ZL, Rosowski JJ, Narins PM. Active control of ultrasonic hearing in frogs. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 2008, 105(31):11014-9.

规则学习:

Murphy RA, Mondragón E, Murphy VA. Rule Learning by Rats. *Science*, 2008, 319: 1849-1851.

斑马鱼:

Adam M and Richard JA. The Zebrafish as a Model for Behavioral Studies. *Zebrafish*, 2006, 3 (2): 227-234.

Catherine LP. Social Behavior: How Do Fish Find Their Shoal Mate? *Current Biology*, 2004, 14: R503–R504.

Shang EH, Zhdanova IV. The circadian system is a target and modulator of prenatal cocaine effects. *PLoS ONE*, 2007, 7: e587.

Spence R, Gerlach G, Lawrence C, Smith C. The behaviour and ecology of the zebrafish *Danio rerio*. *Biol. Rev.*, 2008, 83: 13–34.

耐心:

Hirata S, Fuwa K. Chimpanzees (*Pan troglodytes*) learn to act with other individuals in a cooperative task. *Primates*, 2007, 48:13–21.

Jensen K, Call J, and Tomasello M. Chimpanzees are vengeful but not spiteful. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 2007, 104 (32): 13046–13050.

模仿:

Paukner A, Anderson JR, Borelli E, Visalberghi E and Ferrari PF. Macaques (*Macaca nemestrina*) recognize when they are being imitated. *Biol. Lett.*, 2005, 1: 219–222.

Subiaul F, Cantlon JF, Holloway RL, Terrace HS. Cognitive imitation in rhesus macaques. *Science*, 2004, Vol 305: 407-410.

人机对话:

Chapin JK, Moxon KA, Markowitz RS and Nicolelis MAL. Real-time control of a robot arm using simultaneously recorded neurons in the motor cortex. *Nature Neuroscience*, 1999, 2: 664-670.

Velliste M, Perel S, Spalding MC, Whitford AS, Schwartz AB. Cortical control of a prosthetic arm for self-feeding. *Nature*, 2008, 453 (7198):1098-101.

Talwar SK, Xu S, Hawley ES, Weiss SA, Moxon KA, Chapin JK. Rat navigation guided by remote control. *Nature*, 2002, 417: 37-38.

磁场:

Begall S, Cervený J, Neef J, Vojtech O, Burda H. Magnetic alignment in grazing and resting

cattle and deer. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 2008, 105(36): 13451–13455.

Kimchi T, Etienne AS, Terkel J. A subterranean mammal uses the magnetic compass for path integration. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 2004, 101(4): 1105-1109.

Neŷmec P, Altmann J, Marhold S, Burda H, Oelschlager HHA. Neuroanatomy of Magnetoreception: The Superior Colliculus Involved in Magnetic Orientation in a Mammal. *Science*, 2001(294): 366-368.

蜜蜂期待:

Gil M, Menzel R, Marco RJD. Does an insect's unconditioned response to sucrose reveal expectations of reward? *PLoS ONE*, 2008, 3 (7) : e2810.

蜜蜂成瘾:

Barron AB, Maleszka R, Helliwell PG and Robinson GE. Effects of cocaine on honey bee dance behaviour. *The Journal of Experimental Biology*, 2009, 212: 163-168.

蜜蜂时间概念

Skorupski P and Chittka L. Animal cognition: an insect's sense of time? *Current Biology*, 2006, 16 (19): R851-R853.

马识同伴

Proops L, McComb K, Reby D. Cross-modal individual recognition in domestic horses (*Equus caballus*). *PNAS*, 2009, 106(3): 947–951.