〔美〕威廉 H. 诺尔特 主编

科学年鉴

SCIENCE YEAR



1983

科学出版社

China 需要全本请访问 www.ertongbook.com

N 54
N 59
C.1

科 学 年 鉴

（1983）

〔美〕威廉 H. 诺尔特 主编

钢铁研究院图书馆藏书之章

科学出版社

1984

China

Editorial Director: William H. Nault

SCIENCE YEAR

The World Book Science Annual

World Book Childcraft International, Inc.

1983

科学年鉴

(1983)

〔美〕威廉 H. 诺尔特 主编

责任编辑 王晓华 鲍建成

科学出版社 出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂 印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1984 年 7 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

1984 年 7 月第一次印刷 印张：13 1/2

印数：0001—17,410 字数：310,000

统一书号：13091·2639

本社书号：3699·13—18

定价：1.70 元

China

目　　录

专　题　论　述

研究古马雅的新线索……R. E. W. 亚当斯（1）
猫头鹰的耳朵……M. 小西（8）
食虫植物……A. S. 莫法特（13）
彗星……M. J. S. 贝尔顿（20）
追捕地中海果蝇……B. 帕特鲁斯基（29）
血液里的定时炸弹……T. H. 莫氏二世（36）
精神病的照片疗法……B. 扎凯姆（43）
将来的天气会更温暖、更潮湿吗？……W. L. 盖茨（47）
电视唱片前景广阔……A. 费希尔（54）
万世不竭的能源……D. M. 米德（61）
人体内变化多端的防御系统……L. E. 胡德（68）
宇宙间最亮的灯塔……H. E. 史密斯（74）
人类最神秘的器官功能……J. N. 小拉博斯（81）
拍下大自然一个瞬时的动作……R. H. 马奇（88）

学　科　进　展

天文学……（93）
物理学……（102）
化学……（112）
能源……（118）
电子学……（122）
空间探索……（126）
地球科学……（129）
动物学……（142）
植物学……（146）
生态学……（148）
神经科学……（152）
分子生物学……（154）
遗传学……（158）
心理学……（161）
农业……（163）
营养学……（166）
医学……（169）
免疫学……（179）
公共卫生……（182）
药物学……（184）
考古学……（188）
人类学……（194）
环境问题……（195）
科技新书……（199）

科学奖金和奖励……（203）
一年来逝世的著名科学家……（207）

China

专　题　论　述

研究古马雅的新线索

亚当斯 (Richard E.W. Adams)*

科学家们正在利用现代工具来努力揭开一个在中美洲一度繁荣发达的文明古国的兴衰史。

图纹常常是解开奥秘的关键。侦探用它清查罪行，考古学家则用它来发现有关古代的线索。1979 年的某一天，这种图纹在我的实验室里意外地出现过。当时我正要离开实验室去吃午饭，我注意到先前研究过的那条狭长的雷达照片还放在明亮的工作台上，便漫不经心地将一张普通白纸扔在这些照片上面。突然，我看到一幅由灰色线条组成的网状图形。是纸上的水印图案呢，还是从纸下面透出来的影子？图案的位置正处于雷达地图上危地马拉北部的一个地区。据我所知，那里是一片很大的沼泽地。这正是我所需要的线索。我怀疑我看到的是运河——或者说是古马雅人挖掘的水道。该民族从公元前 800 年至公元 1500 年间居住在今日的危地马拉、伯利兹、洪都拉斯以及墨西哥的尤卡坦地区。

自十九世纪中叶发现马雅废墟城址以来，考古学家们就被它强烈地吸引住了。在如今人烟稀少的沼泽地或茂密的森林中，马雅人曾建立过伟大的文明社会。他们创立了"新大陆"上唯一真正的书写体系。建立了高深的天文学和数学，并发明了两种复杂的历法。他们还创立了一种完善的宗教，建造了宏伟的庙宇和宫殿。他们鼓励生产优美实用的工艺品，建立了一个遍及中美洲的贸易网。

这一卓越的文明在公元 250 年至 900 年间达到了高峰——考古家们称之谓"全盛时期"——接着突然衰落了。没有人知道其原因。人们为寻求答案所做的许多努力都碰了壁。在十六世纪西班牙人征服马雅时，他们几乎把全部有关马雅文明的文字记录毁坏殆尽。

在马雅地区，考古学家们沿用传统的研究方法，挖掘和考察一些遗留下来的建筑和墓穴残迹，发现了若干陶器和图画，并试图释读在广场和寺庙内发现的刻在石碑或石柱上的象形文字。直到本世纪二十年代，考古学家们才得出了一些有关马雅的论据。

马雅遗址之谜给我们提出了三个主要问题：这些城市都起过什么作用？当时有多少人口？他们以何为食？在很长一段时间里，本世纪二十年代中考古学家们取得的答案似乎是可信的。科学家相信这些城市是当时礼仪的中心，只有几千个贵族终生住在那里，进行宗教及文化活动。他们认为，危地马拉的蒂卡尔 (Tikal) 是马雅人的最大城邦，居民可

---

* 亚当斯是得克萨斯大学考古研究中心的人类学教授。

China 需要全本请访问 www.ertongbook.com

能有一万五千人，绝大多数居住在农村，遇有宗教和政治事务时才去城里，其余时间都是用刀耕火种的方式生产粮食。用这种方法耕种，肥力只能维持一段不长的时间。

可是，在这些理论确立五十多年之后，新证据的积累引起了人们对它们的怀疑。考古学家们已发现了其它一些城址，找到了估算人口的更好方法，并释读了更多的刻画象形文字和图象。结果使我们对马雅文化的看法有了根本的改变。

极大多数新的研究成果是在最近十年里取得的。例如，科学家们已知道，马雅的农民住在以柱竿为墙、茅草为顶、筑于土丘上的房子里。根据土丘遗址的多少，考古学家们可以估算城市周围地区的人口。他们也进一步认定这些城市是真正的都市中心，而不仅仅是进行礼仪活动的场所。伯林特市弗蒙特大学的哈维兰（William A. Haviland）在1969年估计，至少有五万人居住在蒂卡尔。然而，用刀耕火种的方式生产的粮食是远远不够这么多人食用的。所以他们以何为食仍然是个谜。

圣安东尼奥市得克萨斯大学的伊顿（Jack D. Eaton）提供了一个答案。1968年，他发现了数千平方公里周围筑有石墙的山坡和田地。这说明马雅人已懂得并掌握了较高级的农田工程技术。现在在马萨诸塞州伍斯特市克拉克大学的小特纳(B. L. Turner Jr.)在1973年做了进一步的研究，并支持这种说法。

翌年，一批对马雅文化起源有兴趣的科学家聚集在新墨西哥州圣菲市的美洲研究所，考虑了我们对马雅文化的了解程度以及今后工作的协作计划。当时我们认识到仍需大量的资料，其中最重要的是全部城市数目和发现供给这些城市食物的农地。这将有助于我们核实对当时人口的估计和了解马雅的统治范围。

因此，我和图森市亚利桑那大学的人类学家卡伯特（T. Patrick Culbert）决定对古马雅地域进行一次空中勘查。1977年10月，我和卡伯特乘坐一架装有能够穿透云雾而看到太空其它星球的特殊雷达仪器的飞机。飞临这一地区，希望这部雷达仪器也能穿透覆盖在雨林地带上的浓密的叶障，看到它下面的情况。

当我1979年在光学实验室里看到那些运河时，我感到我们的使命至少已在一个方面取得了成功。这就是许多已为人知的水道与一个广阔的纵横交织的运河系统相联。这一事实使1968年的发现得到了证实。那时，加拿大不列颠哥伦比亚大学的地理学家西门斯(Alfred Siemens)和明尼阿波利斯市明尼苏达大学的考古学家普利斯顿(Dennis C. Pulesston)在墨西哥坎佩切西部的一条河谷中发现了运河。他们确定在河渠之间的高地可能已用作耕地。但科学家们对河渠的范围一无所知，也许是极为广阔的吧！我们的雷达勘测标明，高地和河渠面积有1250—2500平方公里。

我和卡伯特在1980年2月开始对雷达网状图象进行地面核实。利用船和飞机，我们在伯利兹和危地马拉发现了几条马雅水道以及与之相连的高地，包括蒂卡尔东面沼泽地的一块高田。在这个地区工作的另外一些科学家协助了我们。例如，特纳和阿尔伯克基市新墨西哥大学的哈里森（Peter D. Harrison）当时正在伯利兹的一个地方进行挖掘，英国移民给那地方取了一个很妙的名字“提裤子沼泽地”(Pulltrouser Swamp)。他们的发现揭示了水道高地系统的工作原理。

马雅的农民开挖了大大小小的水道，较大的平行间隔约18米，较小的间隔约9米。农民们移去并贮存起从沼泽地底挖出的淤泥。他们用压碎的石灰石铺垫在两条水道间，然后，他们再把肥土铺在垫料上，以造出一个植物生长的地层。地层高出水位线60—90

厘米。植物在这样的高田里生长既可有湿润的土壤，又能够免遭水浸之患了。

这样看来，与其说马雅人只是使用刀耕火种这种简单方法耕种，不如说他们似乎已懂得了精耕细作。高地耕作是马雅经济的基础之一，它连同山坡梯田和果树栽植，这样就可能供养了自公元 600 年至 900 年间居住在马雅低地的约一千四百万至二千万人口。另外，水道是水上公路。我们曾经认为每个马雅城市在森林中是彼此孤立的——象今天看到的废墟一样。但我们现在知道，这些城市是建在沼泽地的边缘，以使贸易和交通往来尽可能地方便。

由于马雅研究和其它方面的进展，人们对于有关马雅粮食生产和人口位置的认识日见增加。一个新的丰富的资料来源是马雅雕刻家们精心雕刻在数以千计的石碑上的象形文字。早先，考古学家们认为这些石碑是表示日历修正和在某一时期统治万物的神的偶像。1960 年，哈佛大学皮博迪考古人种学博物馆的曾是建筑师的考古学家普罗斯库里亚科夫（Tatiana Proskouriakoff）承担了极其困难的任务——释读这些碑文。她认为那些文字记录了一些历史性事件，还有神话、天文、典礼和宗教。普罗斯库里亚科夫的初步工作已证实，这段历史大约是有关统治王朝以及他们所控制的城邦的历史，有统治者的姓名、官职并强调了他们家族的重要。这些都告诉我们：马雅是一个复杂的、多阶层的社会。例如，在 1962—1963 年，普罗斯库里亚科夫释读了在危地马拉亚克西兰（Yaxchilán）石碑上的碑文。她从刻有统治者伯德-吉格尤二世（Bird-Jaguar II）个人名字的字形里，在他的身旁发现的一个符号中，读出了他的历史。伯德-吉格尤二世于公元 752 年继其父希尔德-吉格尤（Shield-Jaguar）上台执政。据记载，他在统治期间，征服了许多部落。自 1975 年开始，费城宾夕法尼亚大学的琼斯（Christopher Jones）和波士顿哈佛大学的科金斯（Clemency Coggins）对墓中的摆设及雕刻进行了研究，列出了蒂卡尔城自公元 350 年至 870 年各个统治者的先后次序。幸运的是，这些记载都是彼此相连的。就是说在蒂卡尔的象形文字中也记载了其它一些较不重要的城市和统治者的情况，使我们能够核对其准确性。

把这些历史朝代同描绘战争的文字以及一些已知的城堡，像伊顿和我在 1970 年在危地马拉的里奥贝克（Rio Bec）地区所发掘的那个城堡联系起来，我们得到的印象是：马雅人经常作战。尤其在公元 600 年之后的碑文记载中，战争次数愈见频繁，这暗示了其内部祸乱也许导致了最终的崩溃。

在整个马雅兴盛时期，贵族人士对葬礼是十分讲究的，他们营造豪华的陵墓以表达对死者的敬重。一些墓中的证物推翻了马雅是孤立的看法。马雅和其周围文化，如脱第华坎（Teotihuacán）的当时强大的墨西哥城市，看来是相互影响的。马雅各城市的贵族也似乎都有密切联系，许多统治者也都有血缘关系。

根据象形文字记录及在蒂卡尔的统治者坟墓中发现的随葬物推出大约在公元 378 年有一与脱第华坎缔结同盟的统治者曾侵入马雅地区。这个统治者建立了世袭统治，后来似乎一度中断。随后又有一个被考古学家称之为“统治者 A”的人重建了世袭统治。“统治者 A”的名字图形似可释为卡尔·卡卡比尔(Kal Cacabil)，意思是“巧克力生产者”。这个名字看来是恰当的，因为马雅人重视可可豆生产，而可可豆是制作巧克力的原料。马雅人用它作为交换的媒介物。“统治者 A”也是最先建造特大墓碑人之一。他在大约公元 730 年死后，一个高达 40 米的巨大庙宇建立在他的墓上。在墓内有大量珍贵物品，包括

China

7.5公斤重的玉石和许多彩色陶器。还有几块刻着漂亮泛舟图景的动物骨头，以及一把刻有他名字的骨头镊子。

一个极重视自己祖先的文化社会里，它的贵族阶级的葬礼一定是十分讲究的。有些挖掘出来的东西可以修复。在帕森河（Pasión River）畔的阿尔塔·德萨克里非西奥斯（Altar de Sacrificios）小城镇发现了一个记有引人注目的景象的彩色花瓶。那时，我是哈佛大学考古学家威利（Gordon R. Willey）领导的在1962年挖掘一座大寺庙的小组成员。在这座庙宇建筑内，我们发现一所早期的建筑，那里有两个坟墓。一个是精心建造的，另一个较为简单。

在精美的墓里有一具中年妇女的尸骨，随葬的有十五件陶器、玉器及珠宝饰物。这表明她是一位贵族妇女。在简单的墓穴中，是一具二十多岁年轻妇女的骸骨。玉镶齐整的牙，说明她的身份也高。在她身旁发现了四件陶器。其中一件是画工精细的彩色花瓶，上面描绘了四个作舞蹈姿态人体形象。象形文字解释了这一画面并表明了这些人的身份。时间是公元754年，舞蹈人之一是亚克西兰的统治者——伯德·吉格尤二世；另一个被认为是蒂卡尔人的可能是"统治者A"的弟弟；第三个是危地马拉高地人；第四个人是一个被割断喉咙而死去的或将要死去的女人。

我认为这个仪式是为那位中年妇女而举行的葬礼。被割去喉咙的那个人很明显就是在简朴墓穴中的年轻女人——那位中年贵妇的殉葬者，陪同贵妇投奔来世。其他的人是从各地方来参加葬礼的，他们带来了另外一些我们发现的陶器。

我相信马雅至少有十二个区域性的国家，其中一些有时是统一在一个首府的管辖下，但许多是各自独立或彼此竞争的。在地区国家内是城邦和较小的城市，周围都是农田，我们认为贵族们大多数时间是住在城市里的，因为我们发现城市里有许多宫殿，每个宫殿都有几套房子。在一个典型的马雅城市里，发掘者们还发现了一些下层社会的住宅，以及货栈、作坊、水库和道路。

在各个国家的政治界限内社会组织一定是多种多样的。在大多数地方这种社会组织很可能都是以封建制度为基础的。在这种制度下，下层阶级向上层阶级效忠以获得农地使用权，在外敌侵犯时得到上层阶级庇护。1981年我和在圣安东尼奥市得克萨斯大学的历史学家史密斯（Woodruff D. Smith）曾经提到在里奥贝克和附近的蒂卡尔北部切尼斯（Chenes）地区的封建组织比较松散。

伊顿曾经发现过一些农村住房的遗迹，它们是由小面积屋基和山顶上的农田建筑组成的，周围有山坡梯田。农民就生活在这样的土地上，并为拥有这些土地的城市贵族耕种。这一地区周围散布着一些小庭院，院外是面积较大的屋基或者多数情况是一座小的石头建筑物。这些院子可能是地主阶层的住所——所谓地主阶层是指介于贵族和平民之间的中产阶级，我们经营房产和耕地。较不常见的是一些散布在乡间普通房屋之间的单式或复式宫殿或叫"庄园住宅"，这是供贵族来作客使用的。

马雅农村的农民生活状况是很容易想象出来的，因为世界各地的农民都具有某些共同特点，由于"人多好办事"的概念，他们一般都有关系密切的大家族。他们的生活是与季节气候的变换、收获和牲畜繁殖的循环紧紧相连的。因为马雅人生活在沼泽地带，某些农业劳动整年都可以进行。在马雅洼地的多山和较干燥的地区，一年分为两季，6月至11月为雨季，12月至5月为旱季。在旱季这一段农闲时期，平民都被动员去做建筑工作。

China

乡间和城市的宫殿看来是经历了不断的改造和扩建，这说明兼职工艺匠的存在。这些人就是掌握了如石刻之类技术的农民。农业劳动可能占据了他们全年的大部分时间，同时他们一定利用旱季农闲的大部分时间进行建造和整修工作。当然，一些重要人物死后也需要建一些庙宇，根据需要还要建造一些水库、大道和其它一些公共设施。这些所需要的工程常常规模很大。例如，蒂卡尔各个水库的总容量是1000万公升。再如马雅的高路基大道，通常很宽，能容纳十多个人并肩行走。这些大道在村落之间笔直穿越，为人们提供了一条条通过农田密集区的公用道路。在洪都拉斯的科潘（Copán）城，这些大道也通向贵族阶层的农村庄园。哈佛大学的威利和利文撒尔（Richard W. Leventhal）在1977年进行的勘测和发掘工作中，发现了一种早期的快速大道。这一道路的开始部分是一些铺石小斜坡，从科潘城一直通到沿路各处的贵族住宅前。

马雅帝国的这些建筑工程，自然要求有许多种工具。从1979年至1981年，得克萨斯大学的赫斯特（Themas R. Hester）和得克萨斯 A & M 大学的谢弗（Harry Shafer）在伯利兹的科尔哈的挖掘工作，表明当时已生产了成千上万件高质量的石制工具，其中大多数似乎是供出口所需的。实际上，哈里森和特纳1980年和1981年在"提裤子"沼泽地的梯田和运河中发现了一些科尔哈工具的残片。我们过去没有认识到有这么多的工具是作为商品而制造的。

其它商品贸易是在各个城邦间展开的，包括蜂蜜、原棉，也许还有纤维布之类的成品。从这些东西的重量和人力搬运的困难程度上看，这些物资大概是用独木舟运走的。尽管马雅人在文明各领域取得了许多进展，但他们从未用过带轮的运输工具，也没有动物做驮运工具。十六世纪，在尤卡坦半岛周围盛行独木舟运输。达拉斯南卫理公会大学的弗雷德尔（David A. Freidel）七十年代后期在伯利兹北部的塞罗斯同他的同事们一起发掘一个早期港口。除了科尔哈工具以外，运出塞罗斯的其它东西尚无法肯定，但从公元前250年至公元250年，塞罗斯已是一个很兴旺的集镇了，并建造了一些中等规模的庙宇。然而，自公元250年后，马雅低地的港口不再是独立的了。墨西哥坎佩切历史和社会研究中心的福兰（William J. Folan）1980年认为尤卡坦的每一个主要史前城市都控制着一个较小的沿海集镇作为它的港口。较大的城市保护着较小的集镇以防敌人的入侵，而它本身也不易受飓风之类的威胁。

马雅的贸易是在几种不同的水平上进行的。如同读者们所能设想的，最奢华、最昂贵的商品仅限社会最高层所享用。精美的陶器和石器礼品无容置疑地在权贵们的私人和政治关系中起着重要作用。马雅精湛的美术工艺品，如雕刻品、拉毛粉饰品、玉雕和其它具有很高技巧的工艺品，无疑是出自专业人员之手。这些人不仅要学会复杂的工艺技术，而且还要精通马雅人的象征规则和象形文字的书写体系。因为，这样的艺术家专为贵族阶级制造工艺品，他们大概或多或少地长期住在大贵族的邸宅里。

马雅的艺术家们注重描绘神和那些有统治权的显赫贵族的祖先们，这些祖先也常被视为神。艺术家们也记录统治者及其国家的历史，同时还记录神权和俗权的象征符号。他们画花瓶，用纸生产折叠式书籍，雕刻木盒、门楣和横梁，凿刻石碑。他们还设法把极坚硬的玉石扭拉成漂亮的形式。这些工艺品有助于提高贵族阶层的威严并伴随他们进入来世，或者说，至少随他们进了坟墓。

China

这些贵族的现世生活就过得相当舒适。无疑，他们中的大多数人是有人侍候的。佣人及侍从的形象都被画在雕刻品上，也画在如墨西哥伯纳姆帕克（Bonampak）的始于公元752年的卓越的连续壁画上。礼仪和宫廷典礼(政治交易都在这种形式下进行)可能占据了大量的时间。联盟的组成，阴谋的扑灭，诡计的策划，所有这些在其它文化中司空见惯的个人和宫廷生活的特征在马雅帝国处处可见。这些上层人物决不是一些哲学空想家。遗憾的是，我们对他们这种日常生活的细节所知甚少，因此对马雅文明的性质和基调也大多茫然。但是，就象我协助发现葬罐的情况一样，随时会出现一些新线索，使我们恍然大悟。

对于我们这些致力于研究马雅文化的人来说，这个高度文明的社会竟遭受到一场我们至今不能充分理解的毁灭，这更使我们难以相信。历代的考古学家们都考虑了马雅文明崩溃的原因。据迄今已发现的证据，绝大多数人认为导致崩溃的原因可能是不同地区的不同因素的混合。看来，没有一个地区能在极端困难的情况下恢复起来。一次灾难酿成另一次灾难，这种螺旋向下的趋势，可能是把马雅的崩溃形象化的最贴切的说法。

我们知道，约在公元600年马雅人口开始增长，人口扩散到新的地区。农民们排尽大面积沼泽地的水，在山坡上修建了梯田。但事实证明，要生产够这些人口吃的粮食是困难的。

1973年，俄亥俄大学医学院的生理人类学家索尔（Frank P. Saul）研究了许多马雅人的尸骨。他发现由于营养不良而引起的坏血病和其他疾病在公元900年时有所增多。这在下层阶级中更为明显。他们可能吃了较多的几乎没有蛋白质的块根植物。此外，索尔的研究表明，马雅人患有多种疾病，常发病包括疟疾、黄热病、锥虫病，也可能有梅毒。另外，饥饿和严重饥荒会降低人对疾病的抵抗力，这就为瘟疫的流行提供了方便。这些转而进一步削弱了农业生产所需的劳动力。

另一个造成歉收的原因可能是气候的变化。1981年，我和得克萨斯大学的冈恩（Joel Gunn）曾指出，马雅崩溃时期正是气候开始变得较燥热的时期。由于降雨量普遍减少，甚至沼泽地也可能干涸，粮食收成则进一步下降。

有些科学家认为，马雅贵族可能曾作出过不明智的行政决定，导致了起义或战争。1980年，得克萨斯 A & M 大学的考古学家泰勒（A. J. Taylor）发现约在公元850年科尔哈的马雅贵族曾遭到过一场屠杀的遗迹。有28名不同年龄的人被处死，显然他们并不全是士兵，他们的头骨与一些碎陶片一起堆在一个坑里。这个坑挖在一座已被烧毁的宫殿式建筑前面，这个建筑或许就是这些人的家宅。坑的附近还散布着至少二十多具破碎的尸骨，这些人可能是在战争中被杀害的。虽然这很象是一场军事入侵，但我们不能确定这是入侵还是造反，我们知道在那时外族至少已征服了马雅其他五个城邦。

感谢普罗斯库里亚科夫和她的同事们所做的工作，马雅人的书写系统正逐渐被解释出来，但是要全部转写和翻译这些马雅人遗留下来的文献，还需要很长一段时间。在1975年至1982年期间，哈佛大学的格雷厄姆（Ian Graham）出版了预计出一套五十卷丛书中的八卷，全套丛书将是一切已知的马雅文献的精确记录。这项任务是紧急的，因为它不但使科学家们在未来能研究雕刻文字，还能在这些石碑雕刻毁坏前，提供具有奇特吸引力的石雕照片。

China

令人遗憾的是，现在在考古学家和偷盗文物的人之间展开了一场竞争。偷窃和倒卖古代文物被确定是非法的，但这也制止不住这些盗贼。由于买卖古物的黑市正在加速古迹的毁坏，所以我们的工作必须尽快完成。

马雅的崩溃问题仍旧萦绕在我们这些研究中美洲古迹的人的脑中。由于我们不知道马雅人是怎样维持他们的文明，也就不能想象出这些文明是怎样覆灭的，所以我们正在探索新的研究途径。例如，我们最近已开始研究马雅社会的结构。我们需要更多地了解农业体系，需要进一步了解城市的道路网和乡下的村落。

我们还有许多东西要学，有许多工作要做。

（雷若平译）

China 需要全本请访问 www.ertongbook.com

猫 头 鹰 的 耳 朵

小 西 (Masakazu Konisni)*

谷仓猫头鹰是一种夜猎鸟，它所以能得以生存，不仅由于它具有敏锐的视力，而且还由于它具有比任何其他动物更为准确的听力。

谷仓猫头鹰不动地栖息在高椽上，静听着夜晚的声音。当听到干树叶底下微弱的沙沙声时，它的头突然转动，停顿瞬间之后，便由它的栖息处向下猛扑去。在飞行中，它摆好了爪的姿势，随即进行袭击。几秒之内，它就带着每天的正餐——一只小灰田鼠，回到它的栖息处。

我作为一名从事谷仓猫头鹰听力研究工作的动物生理学家，曾上百次地观察过这类情景。过去 16 年来的研究表明，这类猫头鹰的生存是依赖于比已研究过的所有其他动物更为准确的直接听觉功能。然而，当我每一次目睹猫头鹰的行为时，还是为它仅仅靠被捕食动物所发出的声音去捕捉猎物的能力所迷惑。对猫头鹰有浓厚兴趣的不只是我一个人。那圆圆的脸、睁着大眼的表情和丰满的体态已使它成为全世界画家、雕塑家、玩具制造商宠爱的对象。古希腊人把猫头鹰能在其他鸟类扑扇着翅膀动来动去时纹丝不动地栖息着的举止看成智慧的象征。他们把猫头鹰叫做神话里智慧女神雅典娜的宠鸟。但在一些早期亚非文化中，却把猫头鹰夜出狩猎的习性当作邪恶的化身。尽管猫头鹰一直为人们所崇拜、敬畏、甚至害怕，但人们迄今为止对它仍然所知甚少。

对猫头鹰的一个常见的错误认识是以为它能在黑暗中看东西。安阿伯密执安大学的动物学家戴斯（Lee R. Dice）在四十年代就反驳了这种错误看法。他在一间完全漆黑的屋子里的地板上，散放了许多死老鼠。然后，在屋里放进一组猫头鹰。结果，它们全都没发现老鼠。

那么，晚上大多数猫头鹰是如何猎取它们捕食的动物——田鼠和其他啮齿动物的呢？首先，夜晚很少是漆黑的，并且猫头鹰有很好的视力，使它能在暗淡的光线下确定目标物。但在有些情况下，敏锐的视力并不能解释猫头鹰猎取食物的准确性。科学家们开始猜测猫头鹰是在使用另一种感官。在大自然里的活老鼠做了一件在实验室地板上的死老鼠所没做的事，那就是它们引起了沙沙声响。因此，猫头鹰是否有可能既用它的眼睛又用它的耳朵去确定捕食对象的位置呢？

在我 1966 年来到新泽西州的普林斯顿大学当生物学助理教授，开始研究啼鸟的听觉之前，我对猫头鹰知道得非常少。我们的实验室某种意义上说是无家可归的鸟类的庇护所。有一天，一位当地的护鸟人员带来了他从一座即将拆毁的教堂里搭救出来的三只幼小的谷仓猫头鹰。这一礼物改变了我研究工作的重心。我决心用这些猫头鹰去研究它们

---

* 小西是帕萨迪纳加利福尼亚理工学院的行为生物学教授。

的大脑是如何判断由耳朵所听到的声音的。

我在沃森（Michael Watson）的帮助下喂养了这些猫头鹰及其后代。沃森是来自澳大利亚的生物学研究生，他对研究谷仓猫头鹰的捕食技能的进化很有兴趣。到1967年底，我们已有20只谷仓猫头鹰，我就开始计划我的研究方案了。

首先，我需要一只驯服的实验对象。虽然我们所有已长大的猫头鹰一直是关起来饲养的，但它们都是同其他猫头鹰一起喂养的，所以没有一只猫头鹰可认为是驯服的。只有单独饲养的猫头鹰才能与驯养者建立密切的关系。

我从那年春天孵出的最后一窝小猫头鹰中取出一只放在自己家中人工喂养，并以谷仓猫头鹰听觉研究的开拓者，动物学家佩恩（Roger S. Payne）的名字罗杰来命名它。直到1975年，我才发现罗杰这名字起得不合适，因为那时"她"开始下蛋了。

我希望罗杰能教我认识两件事，一是谷仓猫头鹰是如何追踪声源的；二是声音的哪些变化能提供线索帮助猫头鹰确定声源。

在纽约州伊萨卡康奈尔大学工作的佩恩在六十年代初期就为我们的研究工作打下了基础。佩恩在校内一间屋子里安装了红外线电影摄影机，并在地板上散放一些枯叶子，他把房间搞得漆黑，并让一些老鼠在屋里自由活动。然后，他把一只猫头鹰放进去，并打开摄影机。后来，他看底片时，发现它的猫头鹰已轻易地捉到了沙沙作声的老鼠。他用磁带录下老鼠声，当他用播放老鼠声的扬声器来代替活老鼠做重复试验时，发现猫头鹰袭击了扬声器。后来，佩恩用一条线绳把一个纸球绑在一只老鼠尾巴上，并用砂子代替枯叶来压低老鼠可能发出的任何一点声音。当松开猫头鹰时，它就袭击声源——纸球，而不是老鼠。这些结果表明猫头鹰并不是靠气味或体温去确定捕杀对象的。它捕捉猎物的唯一线索是老鼠发出的声音。

谷仓猫头鹰的听觉进化到异乎寻常的程度。尽管没有一种鸟能听到人类所能听到的那样高的音调的声音。但猫头鹰与任何其他鸟相比，它却能听到较高音调的声音。猫头鹰还能听到人们听不见的极其微弱的声音。

谷仓猫头鹰对声音有很高的灵敏性，这与它的脸部翎颌的集音性能有关。它的翎颌象一堵密密排列硬翎毛的墙壁，在脸部四周形成鸡心型的外廓。翎颌的每一边都从猫头鹰额部向下伸展，沿着耳孔背后，直至它的"下巴"。翎颌这两堵墙，在脸部中线的翎毛脊上汇合。具有很大表面的翎颌，象一只在耳朵后面做成杯状的手，汇集声音，并引导声音进入耳孔。诸如谷仓猫头鹰那样的夜间捕食的猫头鹰种，要比那些白天捕食的鸟类有较大的翎颌。因为它们需要较大的翎颌所提供的特大的声音放大效应。

对佩恩的方法稍作变动，我和罗杰开始了试验。我想知道猫头鹰是如何准确地判定声源的，以及这些声音的哪一些变动对猫头鹰来说是重要的。我训练罗杰去袭击放在一层软土上的耳机。起先，我放一只死老鼠在耳机旁，并播放沙沙作响的老鼠声。罗杰飞下来，掠取了老鼠。经过几次成功试验后，我把老鼠拿起。这时，罗杰就袭击耳机。有时，甚至把耳机抓在爪中飞回它的栖息处。

但是，我对测定罗杰袭击准确性的这种办法并不满意。在每次试验之后，我得测量耳机与爪子印记间的距离，然后弄平软土。这样做不但繁琐乏味，而且也不太准确。

为解决所有这些问题，在1970年，我设计了一个新系统。我装备了一间在一块活动

地板下面藏有六个扩音器的试验间，并将一个微开关网络纵横地排在地板上，只要轻微的触动这些开关，就能使在控制室操作盘上的相应指示灯打开。我以随机的顺序，由六个扩音器之一播放老鼠的声音。因此，罗杰无法记住它们的位置。当罗杰袭击地板时，指示灯就会显示出她的位置，我便可立刻算出播出声音的扩音器与她的袭击点间的距离。

利用这个系统，我弄清了有关谷仓猫头鹰听觉的许多情况。我经常改变播放声音的类型，以各种频率和频带宽度的声音来试探罗杰。声音的频率是以发声物每秒钟振动的次数来确定的。一秒钟振动一次称为 1 赫。声音频率越高，音调也就越高。声音的带宽是指所发的声音里包含的最高和最低频率间的音域。

我发现对频率在 6000 至 9000 赫间的声音，罗杰以及我曾试验过的其他谷仓猫头鹰所作的袭击最为准确。这些试验还告诉我们猫头鹰对诸如含有约 16,000 赫的嘶嘶闹声的声源能作出较为准确的判断，而对象笛子那类可能只有 300 赫带宽的窄音域的声音的判定就没那么准确了。所以谷仓猫头鹰能轻易地辨出田鼠发出的宽音域的沙沙声。

我一旦弄清了猫头鹰能较好地判定哪些特定声音之后，我就渴望确切地弄清它是如何做到这一点的。我需要更为精确的发声装置和测定猫头鹰准确判定这些声音的能力的装置。在 1975 年我搬到了在帕萨迪纳的加利福尼亚理工学院（Caltech）贝克曼行为生物学实验室的新住处。当我到达时，同事们已开始为我的研究工作建造一间非常大的、隔音无回声的房间。

因为我想让猫头鹰以不通过袭击播音器的方式去确定声源的位置，我便利用过去对罗杰和其他谷仓猫头鹰所作的工作中注意到的一些现象。我曾观察到猫头鹰在准确判定声音时，要把它的脸转向发出勉强听得见的噪声方向。因此，我想训练一只猫头鹰，在我播放声音时，它仍能留在栖息处，并要研究出一种方法，以精确测定它的头作出响应时转动的方向。利用这一系统，我还能够消除由于猫头鹰不能直接飞向它所确定的目标物而引起误差的可能性。这样我就可以更准确地断定猫头鹰是如何确定声音的位置的。

我和神经生理学的同事佩蒂格鲁（Jack B. Pettigrew）设想了一种装置，用它可使一个直径为 5 厘米的小扬声器沿着围绕猫头鹰的头设置的一个导轨移动。我们请曾参加过制造美国空间计划设备的机械技师亚当斯（C. Herber Adams）帮助我们设计这个装置。

我们研制了一个直径 2 米，半圆型的扬声器导轨。它绕着猫头鹰的头形成一个 180° 的圆弧。圆弧的两头是用可调的螺丝固定在三脚架上的。这种螺丝可使我们绕猫头鹰转动半圆型导轨几乎达 360°。这样，扬声器在导轨上移动时，其踪迹可布满猫头鹰周围假想球面上的每一点。利用这个装置，我不仅继续进行猫头鹰对声音定位的研究工作，而且还着手进行有关猫头鹰听觉神经元的新的研究工作。

加利福尼亚理工学院的神经生理学家布莱兹德尔（Gary G. Bladsdel），在 1977 年研制了一台我所需要的测试装置。我们先给猫头鹰上麻药，并在它的脑壳上粘上一个小陶瓷插座。然后，我们在插座中安放一个叫做探测线圈的小线圈，并把猫头鹰置于二对较大线圈之间：一对在猫头鹰的上下二头，一对在它的左右二边。流过每只大线圈的电流构成二个磁场——在第一组间是一垂直方向的磁场，第二组间是一水平方向的磁场。

当探测线圈在任一磁场中移动时，都能使它产生感生电流。探测线圈中感生的电流量取决于它与各对大线圈的相对位置。当探测线圈平行于任一对线圈时，即猫头鹰的脸直对下面或向右或向左时，那时探测线圈中产生的电流量最大。当探测线圈垂直于任一

对线圈时，即猫头鹰脸对着前方时，它产生的感生电流量就最小。因此，我们通过测定流过探测线圈的电量，能准确地判定猫头鹰的头在空间的水平和垂直方向的精确位置。

于是我们把扬声器放在导轨上，播放老鼠的声音。猫头鹰立刻作出了反应，在百分之一秒里把它的头转到声源方向。这个装置向我们表明了猫头鹰确定声音位置时是何等的准确。我们把扬声器放在不同位置上，重复了这个试验。

用这个方法，我和我的从事高于博士级研究工作的学生努森（Eric I. Knudsen）能够测定猫头鹰是怎样准确地把头转向扬声器的。我发现，当扬声器直接对着猫头鹰脸部时，误差幅度最小，在垂直面和水平面的误差均为 1.5°。对离脸部中线 30° 范围内的声音，猫头鹰能够比包括人类在内的任何其他已研究过的陆上动物更为精确地确定它的位置。

我还注意到，即使播放的声音很短促，猫头鹰的头甚至还未来得及转动声音就停止了，它也能准确的判定声音的位置。这个事实表明猫头鹰的耳和脑系统几乎能在瞬间确定声音的位置，即甚至是在猫头鹰把它的头开始转向扬声器之前，它就能确定声音的位置。因此为了确定声音的位置，它必须找出特殊的听觉信号，即每一空间位置所特有的某些信号。

我们下一步的任务是细致地弄清这是些什么信号。我们都知道听觉信号有二类：单耳的——这类信号给每一个耳朵提供同一信息；和双耳的——这类信号给每一个耳朵提供不同的信号。如果猫头鹰处理的仅是单耳的信息，那么它就能象用二个耳朵那样，用一只耳朵来准确地判定声音的位置。所以我们分别完全堵塞猫头鹰的耳朵，以此来试试看信号是否是单耳的，而且还看看它确定声音位置的能力如何。可是，猫头鹰用一只耳朵一点也不能确定声音的位置。因此，我们得出结论，信号是双耳的。但猫头鹰用的是那类双耳信号呢？

由于二只耳朵是长在头的左右两侧，所以一个从右面发来的声音，对左耳来说就似乎要弱些。自然，声源离脸部的中线越近，其强度差别就越小。我们把猫头鹰的耳朵部份堵塞起来，以此来测定它是如何处理音量的差别的。我们发现，当部份堵塞住它的左耳时，猫头鹰就尽量把它的脸向上仰，并稍微偏向扬声器的右面，但堵住它的右耳时，它就尽量把它的脸向下垂，并稍微偏向扬声器的左面。

在这项试验中，猫头鹰的反应也向我们表明它们的听觉系统的不对称结构是如何起作用的。猫头鹰的右耳长得比左耳稍低些，而右耳周围的翎颌是略微偏向上方的，这就使得它的右耳对来自上方的声音反应较灵敏。它的左耳却有偏向下方的翎颌，这使它能较好地探测来自下面的声音。所以部份堵塞左耳时，猫头鹰的右耳就能听到较强的声音，表示声源在“高处”。当右耳部份堵塞时，左耳就能听到较强的声音，表示声源在“低处”。

这说明了猫头鹰在垂直方向上确定声音的能力。然而，它并没说明在水平方向上是如何确定声音的。在水平方向上却是另一种因素显得更为重要了。右耳总是稍先于左耳听到来自右面的声音。我和我的同事神经生物学家莫伊塞夫（Andrew Moiseff）在 1980 年开始探索猫头鹰在精确判定声音位置时是如何利用这时间差的。

因为猫头鹰的头不大，所以时差是极小的——仅若干微秒而已（一微秒是一秒的百万分之一）。我们测定了这些时差，发现当扬声器在脸部中线右面 20° 时，声音到达右耳比左耳早 40 微秒。

China

我和莫伊塞夫给一只猫头鹰上麻药之后，把一个装有小耳机的小环缝合到它的耳孔内。在麻药作用消失后，我们分别给每个耳机播音。我们发现，如果向一耳机播放的声音是在另一耳机之前若干微秒的话，那么猫头鹰就把它的脸转向我们所预料的地方。例如，我们向左耳播音之前 40 微秒先向右耳播音，猫头鹰就面向中线右侧 20°——好象声音正好从那个方向传来似的。我们证实，猫头鹰察觉和处理这些一刹那信号的能力对它准确地判定声音的水平位置来说是至关重要的。

我和努森曾经研究过哪些神经元传递声音脉冲。现在我和佩蒂格鲁一直在试图确定哪些神经元专用于判定声音位置。当这些神经细胞受声音刺激时，会产生电荷。这种电荷可用电极检出，并在示波器的荧光屏上显示出来。

为了确定并跟踪这些猫头鹰的神经元，我们给它上麻药，并在它脑壳中插入一个微电极。我们还给猫头鹰套上一件薄薄皮外套，防止它翅膀拍动而损伤自己。然后，我把猫头鹰放在扬声器的导轨下，开始进行在神经元上插微电极的繁琐操作。我们让扬声器通过一系列位置，在每个位置上播音，直到该神经元受刺激为止。我们发现，每个神经元仅对来自非常小空间范围的声音有响应。我们通过神经元有响应的声源位置识别了很多神经元。

紧接着我们想看看当一个耳朵部份堵塞时，一个神经元对来自相应空间的声音又是如何反应的。我们把微电极插在一个神经元上，并把扬声器放在与它相应的地方，随即播音，神经元就受刺激。但当我们堵塞猫头鹰的一个耳朵时，神经元就不再会受刺激。为了刺激此神经元，我们就得移动扬声器。当堵塞左耳时，得把播音器往下移；并挪到原来位置的左面。当堵右耳时，我们就得把播音器向上移，并挪向右面。在这些试验中，猫头鹰的大脑犯了与早先试验中它的脑袋所犯的同样错误。

这个试验告诉我们垂直方向的声音是怎样记入猫头鹰脑的，但是我们还希望了解水平方向的声音信号是怎样定位的。我们把一个微电极放在一个事先找出的神经元上，我们知道该神经元与脸部中线右侧 20° 的声音相对应，同时将微小的耳机插入猫头鹰的双耳内，然后用跟前面相同的方法，先给一只耳朵放音，几微秒之后再给另一只耳朵放音。我们发现，只有当声音相隔 40 微秒播放时，该神经元才会受激。这充实了我们先前的发现，即猫头鹰是靠到达第一只耳朵和第二只耳朵的声音的时间间隔来判断水平方向的声音的。

在我和努森以对神经元有响应的声音位置来继续绘制神经元的同时，我们也在绘制一幅表明大脑中神经元的位置与相应的声源位置间的关系图。正如我们所期望的，对相邻声源的声音有响应的神经元位于脑子的同一区域。

我们对谷仓猫头鹰所做的工作，使我们弄清了很多有关我们所听到的声音和察觉它们的途径之间的错综复杂关系。虽然猫头鹰在垂直方向上准确地判定大多数声音的能力比人类强，但它对水平方向上声音的定位能力，和我们人类差不多。因此，我们对猫头鹰的研究可帮助我们深入认识人类的用双耳声音定位，而且或许还能帮我们更好地认识诸如建筑上的声学和立体声技术之类课题。

（林茵蕙译）

China

食　虫　植　物

莫法特 (Anne Simon Moffat)*

关于食虫植物的研究正在揭示一个事实，即这些高度发达的植物所具有的功能，在某些方面酷似它们所吞食的昆虫。

在新泽西州的一块泥炭沼泽地中，有一只蓝绿色的小家蝇在四处盘旋，一心想找到一个合适的地方歇脚进食。它看到一株长满玫瑰色花丝，看上去就象挂满晶莹露珠一样的鳞茎状植物，便飞落了下去。可是当它一落脚，人们便清楚地看到，它这一抉择是致命的。这种植物身上的所谓"露水"，实际上是一种粘性分泌液，那只家蝇一旦沾上它，便立即陷入绝境。尽管它竭力想从花茎上逃脱，但沾在脚上的胶却越来越多。当它接近边缘时，它的路被许多布满同一种致命粘胶的红色花丝堵死了。

家蝇拼命撞击着花丝，妄图得以脱身。但这反而使植物的触毛向前弯曲，把家蝇向前推去。当花茎慢慢把家蝇包住时，它停止了挣扎。仅在数小时之内，这只家蝇便消失在植物的魔爪中，落得了可悲的下场。

弱肉强食这样的事，在自然界是无时不在发生的。但在上述例子中，被捕食者是一种动物，而捕食者却是一种植物，它就是茅膏菜。

茅膏菜的植物学名是 *Drosera*。它是一种食虫植物，或者也可以称作食肉植物。茅膏菜所吃的只是昆虫，而有些较大的食虫植物还能够吞食小哺乳动物甚至小鸟。由于它们这种令人难以置信的胃口，所以，早在英国自然学家达尔文的经典性著作《食虫植物》发表以前，这类植物就一直是民间传说和科学趣闻的话题。

同其他领域如病毒或核物理的研究相比，对食虫植物的研究缺少组织，进展也不甚大。然而，它已逐渐形成了一个独特的知识体系。在这个体系中，用肉眼观察到的东西和通过电子显微镜观察到的东西同样重要。实际上，许多最有价值的贡献都是由一些业余爱好者们作出的。他们同分类学家和植物生理学家一起对食虫植物进行鉴定，并对它们的进食过程作了描述。

这不是一项简单的任务，因为食虫植物有四百多种。其中有的，例如捕虫堇 (*Pinguicula*)，长有娇美的花朵，可以与非洲紫罗兰媲美。也有的例如瓶子草 (*Sarracenia flava*)，长有黄色的喇叭形的花，它们一堆一堆的在河边的低草滩上生长，常常被错当成一簇簇的黄水仙。还有如奥尔巴尼瓶子草 (*Cephalotis follicalaris*)，长得与短鬃一样，全然象是天外的怪物。另外还有眼镜蛇草 (*Darlingtonia californica*)，外形长得与眼镜蛇一模一样，非常可怕。但所有这些食虫植物，都有一个共同的特点，它们都具有诱捕动物，消化其尸体并从中吸取养分的本领。

---

* 莫法特是一个专门撰写植物题材文章的自由作家。

China 需要全本请访问 www.ertongbook.com