

生物科学研究方法丛书

# 动物行为学方法

中国生物技术发展中心  
中国科学院动物研究所

组织编著



科学出版社

生物科学研究方法丛书

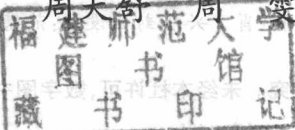
# 动物行为学方法

中国生物技术发展中心 组织编著  
中国科学院动物研究所

主 编 蒋志刚 梅 兵 唐业忠 张健旭

主要参编人员(按姓氏汉语拼音排序)

陈洁君	陈 立	陈 勤	戴振东	方光战
胡忆虹	吉爱红	蒋志刚	旷 苗	李小慧
刘定震	刘小峰	龙成生	马原野	梅 兵
邱宏伟	施国跃	史 远	隋 南	孙江华
唐业忠	王冬梅	王建红	王 晶	王 毅
王 莹	王智如	王周义	魏辅文	吴德华
薛小琳	杨 萍	岳 林	张健旭	张礼标
张 弢	张瑶华	张永文	赵莉茵	赵饮虹
周乃元	周天舒	周 雯		



1051886



T1051886

科学出版社

北京

· 版权所有 侵权必究 ·

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303(打假办)

## 内 容 简 介

本书围绕动物行为学的重要科学问题,对开展整合研究所涉及的研究方法进行了比较全面的总结和分析。全书包括4篇,19章。第一篇包括野生动物行为生态研究所涉及的遥感、自动摄影/像等跟踪和记录技术,以及利用动物行为学原理改善动物福利的途径;第二篇包括实验行为学有关的神经递质分析、遗传工程、脑的光电及成像技术,以及学习记忆行为的实验设计和技术;第三篇包括动物利用的多种物理信号(人类可听声、超声、地磁、红外等)以及动物运动的记录和分析及其仿生;第四篇包括高等动物(包括人类)、昆虫等化学信号的化学分析技术和解码的思路。本书适合与动物行为学研究有关的各个层面的人员使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

动物行为学方法 / 中国生物技术发展中心,中国科学院动物研究所组织编著;蒋志刚等主编. —北京:科学出版社,2012.9

(生物科学研究方法丛书)

ISBN 978-7-03-035585-0

I. 动… II. ①中… ②中… ③蒋 III. 动物行为-研究方法 IV. Q958.12-3

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第221842号

责任编辑:朱 华 邹梦娜 / 责任校对:刘小梅

责任印制:肖 兴 / 封面设计:范璧合

版权所有,违者必究。未经本社许可,数字图书馆不得使用

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2012年9月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2012年9月第一次印刷 印张:16 1/2

字数:389 000

定价:69.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 前 言

行为学是一门引人入胜并且人们喜闻乐见、易于接受的学科。人类继承了许多动物的行为。人类观察动物的行为以了解自己的行为,人类也常以自身的行为揣摩动物的行为。同时,行为学是一门深邃的科学。行为发生的终极原因是什么?行为有何生态适应机制?行为的生理机制是什么?行为的神经机制是什么?行为是如何受到基因的调控?行为是如何受到心理因素的控制?这些问题是研究者们一直在探索的问题。

现代动物行为来源于医学解剖和生理研究,生物进化研究以及心理学研究。早期的医学解剖促进了人们对大脑结构、人体和动物机体形态结构的认识,有助于人们理解行为的基础——动物的运动和动作。1859年,达尔文在《物种起源》一书中提出了进化论,其中他为本能(instinct)专门写作了一章。在《人与动物的情感表达》一书中,达尔文更深入地研究了人与动物的行为。达尔文将进化论思想应用于动物行为的研究,推测了动物行为的内在机制。在心理学领域中,Herbert Spencer在1855年发表了Principle of Psychology《心理学原理》,指出从低等动物到高等动物存在意识的连续性。不同领域的学术思想后来形成了与行为学有关的三大学科:行为学(Ethology)、比较心理学(Comparative Psychology)和神经生物学(Neurobiology),这些学科都对行为的内在控制机制感兴趣,但是早期的行为学、比较心理学和神经生物学彼此很少注意与行为有关的其他学科的工作,在各自的领域里几乎是独立地发展起来的。早期的行为学主要在欧洲发展起来,早期的比较心理学的工作则主要在美国进行。在1950年以前,行为学研究集中研究自然界与特定物种有关的动物行为,很少涉及学习行为、人类行为甚至很少涉及哺乳动物行为。比较心理学研究主要利用大鼠、家鸽、狗和灵长类等几种驯化的动物作为模型动物开展研究。神经生物学家对神经形态的即时、直接效应感兴趣,而不太关心整个生物体的行为功能单元和行为最终的进化内涵。

20世纪早期,Konrad Lorenz、Niko Tinbergen和Karl von Frish的研究工作奠定了经典行为学研究的理论基础。Tinbergen提出了4个关于动物行为研究的著名问题:①生理机制怎样调节动物的行为?②这些机制在动物个体水平上如何发育?③行为特征的适应价值在哪里?④在进化历史上这些行为特征是如何出现的?是如何变化的?到20世纪60年代,行为学、比较心理学与神经生物学开始走向融合,形成现代综合行为学。尽管在研究对象上心理学仍侧重研究人类,行为学主要研究动物,但行为学与比较心理学之间的分歧在逐渐消失。

进入21世纪后,现代行为学仍面临的一系列问题,同时科学与社会发展为学科的发展带来了空前的发展机遇。

人类的大脑是一个结构复杂的器官。了解脑的工作原理,将揭示认知、意识、情感的脑机制,记忆、学习与个性的生物学基础,在这方面,神经生物学已经取得了长足的进展,但是仍然没有简单明了的答案。

行为是基因与环境共同作用的结果。现代分子生物学技术的突飞猛进,为现代行为学的遗传基础研究注入了活力。从利用基因敲除技术研究行为,到行为的基因定位,现代分子学为

行为学研究开启了一扇通往未知世界之门。全基因组测序时代的到来之际,为我们研究行为的遗传基础创造了条件,但要全面了解行为的遗传基础仍需要时间与研究方法的创新。

行为学研究有着无穷无尽的应用潜力。了解从远距离迁徙动物的导航定向,到动物对红外线的感知,动物对超声、长波的感知,动物的化学通讯机制,动物对个体声音、气味的识别原理,都有潜在应用价值。研究动物的形态结构、动作原理,探索动物如何跑得快、跳得高、游得快,将启迪人类在竞赛时跑得更快、跳得更高、游得更快;结合身体形态组织结构研究动物如何在跑得快、跳得高、游得快的同时,如何跑得省力、跳得省力、游得省力,也将为仿生学研究带来启迪。

应当看到,行为学是我国生物学研究中的一块短板,行为学研究方法与技术又是我国生物学研究中短板中的短板。“工欲善其事,必先利其器”。科技部中国生物技术发展中心高瞻远瞩,部署了生物学技术与方法战略研究,作为《生物科学研究方法丛书》的一本,安排了《动物行为学方法》一书的写作。这套丛书从生物学各分支学科的核心研究技术与方法着眼,跟踪国际前沿发展动态,研讨行为学研究方法与技术基本原理,探索研究方法与技术的应用前景以及改进的潜力和展望。我们承担了这项任务。本书的完成与2007年、2009年、2011年分别在北京、合肥和西安进行的3届动物行为学研讨会及动物高级研究技术研讨班分不开。历次动物行为学研讨会的参与者与组织者为中国行为学方法积累了经验,贡献了智慧。

在国外,行为学研究设备是一项产业。从研发动物捕捉、麻醉、保定、标识、跟踪、定位、摄像、录音的野外行为学研究设备,到用于研究行为的实验设备,形成了一条完整的产业链。用于行为学实验室研究的实验动物生产,也是一项产业。我们遗憾地看到,在我国有关产业还没有发展起来。我们期待在这套丛书出版之后,国家引导研发力量和研发经费投入行为研究仪器设备的研究,逐步建立我国的生物研究仪器设备产业。

我们在这里感谢科技部中国生物技术发展中心和动物学会对本书写作的支持和指导。参加本书编写的作者包括:中国科学院动物研究所蒋志刚研究员、张健旭研究员、陈立博士、赵莉茵博士、张瑶华博士、孙江华研究员,华东师范大学梅兵教授、施国跃教授、周天舒博士、王智如博士、薛小琳博士,中国科学院成都生物研究所唐业忠研究员、方光战博士、陈勤博士、杨萍,中国科学院生物物理研究所王毅研究员,北京师范大学刘定震教授,广东省昆虫研究所张礼标博士,常州大学刘小峰教授、史远博士,中国科学院心理研究所隋南研究员、周雯研究员、张强博士、王冬梅博士,公安部南京警犬研究所吴德华研究员、李小慧博士、龙成生博士,中国科学院昆明动物研究所马原野研究员、王建红博士,南京航空航天大学戴振东教授、岳林教授、吉爱红博士、王周义博士,这些专家在各自负责的章节中贡献了自己的智慧和时间,其中蒋志刚研究员负责第一篇统稿;梅兵教授负责第二篇统稿;唐业忠研究员负责第三篇统稿;张健旭研究员负责第四篇统稿。方红霞高级实验师对全书的编排做了大量工作。这本书作为中国行为学研究方法著作的开篇,希望能够抛砖引玉,启动中国行为学研究的新阶段。由于时间仓促,编写人员的工作繁忙,文稿中的错误在所难免,望不吝指正,以便本书再版时修正。

蒋志刚、张健旭、唐业忠、梅兵

2012年4月6日于中国科学院奥运园区

# 目 录

前言

## 第一篇 宏观动物行为学研究

第一章 野生动物行为研究跟踪技术	(1)
第一节 创新方法范围	(1)
第二节 国内外发展现状	(2)
第三节 需求分析	(15)
第四节 主要研究内容和目标	(15)
第五节 预期成果的应用前景和技术影响力	(16)
第六节 应用实例	(17)
参考文献	(17)
第二章 红外照相机与摄像机	(19)
第一节 国内外发展现状	(19)
第二节 需求分析	(27)
第三节 主要研究内容和目标	(28)
第四节 预期成果的应用前景和技术影响力	(28)
第五节 应用实例	(29)
参考文献	(30)
第三章 动物行为学技术在改善动物福利方面的应用	(32)
第一节 概述	(32)
第二节 环境丰容内容及方法	(35)
第三节 现状与发展趋势	(46)
参考文献	(49)
第四章 动物行为学技术在犬的驯化和福利方面的应用途径	(53)
第一节 基本原理	(53)
第二节 操作流程	(69)
第三节 行为学测试方法的优点与不足	(73)
参考文献	(77)

## 第二篇 动物行为学实验研究技术

第五章 概述	(80)
第一节 动物行为学实验研究方法的范围	(80)
第二节 动物行为学实验研究技术的发展历程	(82)
参考文献	(93)

第六章 行为有关的神经递质的在体分析技术 .....	(95)
参考文献 .....	(101)
第七章 在体膜片钳电生理记录技术在动物行为学研究中的应用 .....	(103)
参考文献 .....	(106)
第八章 非人灵长类行为学研究中的微电极记录技术 .....	(107)
参考文献 .....	(115)
第九章 活体小动物可见光成像系统 .....	(117)
参考文献 .....	(120)

### 第三篇 动物行为学研究的物理方法

第十章 基于动物语音的物种和个体的识别技术 .....	(122)
第一节 语音信号的物理属性 .....	(122)
第二节 动物鸣声的结构特征 .....	(124)
第三节 动物语音的计算机自动识别技术的研究——案例分析 .....	(135)
参考文献 .....	(144)
第十一章 动物超声定位及仿生技术研究 .....	(149)
第一节 基本原理 .....	(149)
第二节 操作流程 .....	(152)
第三节 优点和不足 .....	(154)
第四节 改进的方向和途径 .....	(154)
参考文献 .....	(155)
第十二章 动物磁定向与导航系统的研究方法与技术 .....	(156)
参考文献 .....	(162)
第十三章 基于力传感器阵列的3维反力测试:以壁虎运动为模式 .....	(165)
第一节 设计原理与技术集成 .....	(165)
第二节 测试 .....	(170)
参考文献 .....	(173)
第十四章 红外觉认知的研究技术和方法 .....	(175)
第一节 红外信号的物理属性 .....	(175)
第二节 动物的红外感知 .....	(176)
第三节 蛇类红外感知的研究方法 .....	(184)
参考文献 .....	(190)

### 第四篇 动物行为学研究的化学方法

第十五章 脊椎动物社会气味的信号组成研究技术及途径 .....	(193)
第一节 国内外发展现状 .....	(193)
第二节 需求分析 .....	(201)
第三节 主要研究内容和目标 .....	(202)
第四节 实施方案和可行性分析 .....	(202)
第五节 预期成果的应用前景和技术影响力 .....	(203)

第六节 应用实例 .....	(203)
参考文献 .....	(203)
<b>第十六章 高等动物及人的化学信号解码技术及感受机理研究人体气味化学信号</b>	
<b>解码技术 .....</b>	<b>(205)</b>
第一节 基本原理 .....	(205)
第二节 操作流程 .....	(212)
第三节 优点与不足 .....	(215)
第四节 改进的方向和途径 .....	(216)
参考文献 .....	(217)
<b>第十七章 昆虫信息素的化学结构和活性综合鉴定技术 .....</b>	<b>(220)</b>
第一节 昆虫信息素的化学 .....	(220)
第二节 昆虫信息素的提取 .....	(223)
第三节 昆虫信息素的分离和纯化 .....	(225)
第四节 昆虫信息素的结构鉴定 .....	(229)
第五节 昆虫信息素的合成 .....	(236)
第六节 昆虫信息素的综合鉴定实例 .....	(237)
参考文献 .....	(241)
<b>第十八章 调控线虫行为和发育的化学信息研究技术 .....</b>	<b>(242)</b>
第一节 主要创新方法(基本原理与改进方向) .....	(243)
第二节 分学科创新方法改进的发展策略与途径 .....	(246)
第三节 案例研究 .....	(248)
参考文献 .....	(251)
<b>第十九章 人类化学信号方面研究 .....</b>	<b>(253)</b>
第一节 人类嗅觉系统解剖 .....	(253)
第二节 人类的化学交流 .....	(253)
参考文献 .....	(255)



# 第一篇 宏观动物行为学研究

为了研究野生动物行为,需要识别跟踪个体,观察记录动物行为。野生动物行为研究方法已经从根据运动踪迹、采食痕迹、粪便、尿迹以及卧迹等对野外动物个体的进行跟踪研究,发展到利用移动式跟踪监测装置和固定式跟踪监测装置对野外动物进行研究。本篇第一章介绍了如何以无线电颈圈、GPS 颈圈标识等移动式跟踪监测装置进行动物个体标记、无线电遥测和 GPS 遥测的技术。这类跟踪监测装置固定在动物身上,随动物的运动而移动。第二章介绍了远红外被动触发式照相机、远红外被动触发式数码照相机和野外视频监测网络等野外固定安放的跟踪监测装置。动物的正常行为表达是动物的福利的标志。第三章介绍动物福利这一应用动物学行为领域以及如何人工圈养状态下,改进饲养方法、丰富圈养环境,促进圈养动物的行为多样性和正常行为的表达,以利于圈养动物的生存与繁殖。利用操作子条件反射训练犬是一项古老的技术。第四章介绍了动物行为学技术在犬的驯化和福利方面的应用。

## 第一章

### 野生动物行为学

## 野生动物行为研究跟踪技术

### 第一节 创新方法范围

“动”的特征是动物的基本特征,动物怎样动,为什么而动,是动物行为学研究的关键问题。动物行为学探讨动物如何以行为与环境相互作用,以达到适应生存环境,增加自身的适合度。动物的生存环境包括物种的种内环境和种间环境。物种种内环境包括不同年龄、不同性别、不同社会序位的同种个体之间的相互关系,种间环境包括生态系统中一种动物与从微生物、植物到动物所有物种的关系,还包括其与非生物因子组分的关系。动物的运动能力,如肢体的运动,行走到各种复杂的动作,决定了动物寻找适宜生境、觅食食物、追逐猎物、逃避恶劣环境、寻找配偶、哺育子代以及动物群体表现出的一系列复杂社会行为。动物行为即特定环境中动物的一定姿势和动作。

为了研究动物的个体行为与群体行为,第一需要标示动物个体;第二需要知道什么时候动物个体在什么地方?什么时候动物个体在什么地方与哪一个个体在一起?动物发出了何种行为?野生动物的活动是隐蔽的,野生动物会回避人类,一般用肉眼很难观察到野生动物的活动,同时,观察人员不可能每时每刻都在野外现场。因此,野生动物行为跟踪技术创新方法的内涵是如何自动准确记录野外野生动物个体的位置、状态和行为,并将记录的

信息无遗漏地传输到研究者。

为了掌握野生动物在自然界的运动规律,必须识别跟踪野生动物个体,观察记录动物的行为。动物行为学研究方法已经从早期动物学家在野外根据动物个体的运动踪迹、采食痕迹、粪便、尿迹以卧迹等对动物进行跟踪研究,发展到利用移动式跟踪(监测)装置和固定式跟踪(监测)装置两大类进行跟踪研究动物行为。前者指现代动物的跟踪技术,例如动物个体标记技术、无线电遥测技术和 GPS 遥测技术。这类跟踪(监测)装置固定在动物身上,随动物的运动而移动;后者指远红外被动触发式照相机、远红外被动触发式数码照相机和野外摄像机监测网络,这些跟踪(监测)装置在野外固定安放。

准确地掌握野生动物的生态、行为、分布与种群动态,是濒危物种保育与野生动物资源可持续利用的前提。在人口急剧增加,人类活动范围日益扩大、经济开发强度日益增加的今天,野生动物,特别是珍稀濒危物种,数量下降。野生动物逐步在分化成为两个类型:能够利用边缘生境的类型和能够利用人居环境的伴人种类。许多野生动物多分布在人迹罕至的地区,而分布在人类居住区的野生动物则改变了活动节律,野生动物调查监测的难度日益增加。野生动物研究存在“看不见、测不准、难重复”三大难题。在野外,野生哺乳动物很难见到,它们有的以夜行方式、有的营洞道生活、有的以潜伏方式回避人类,因而,在野外很难见到野生哺乳动物。有时,动物是快速运动的,有时是成群活动,因此,野生动物的数量、性别和位置很难测准确。由于野生动物的活动性、隐蔽性和难接近性,野生动物种群数量监测结果常常难以重复。因此,必须研制用于野生动物调查监测定位的新型仪器技术,解决野生动物调查监测中的“看不见、测不准、难重复”三大难题。

## 第二节 国内外发展现状

### 一、动物个体标识

标识动物个体是识别动物个体,对动物个体进行跟踪研究的第一步。可以利用动物的自身特征,如虎豹体表的花纹、动物的角型、狮的鼻镜色斑,甚至犀牛在沙土地面留下的掌纹来识别个体,也可以人工对野生动物外加标记。最早的标识动物的方法有在动物体表烙印、给动物毛发标识染色、活捕动物后,用剪趾、佩戴颈圈、彩色塑料、金属脚环等方法进行标记,然后,将标记的个体放归自然,对放归个体进行观察或再次活捕。目前,对野生动物,特别是人工饲养的野生动物已经开始植入计算机微芯片工作进行标识。例如,国家林业局实施的野生动物植入 RFID 芯片工程。野生动物植入 RFID 芯片后,工作人员利用手持式读码器识读芯片,采用全国统一、国际通行的标准,对人工饲养野生动物进行统一的身份编码管理。由各个野生动物饲养单位提供信息,国家利用野生动物编码信息系统进行监控管理,对动物管理过程中的数据采集和信息共享提供便利条件。微芯片编码有利于动物识别和管理,保障了对野生动物的有效监测,方便了动物养殖和管理单位。

无线电遥测技术是研究野生动物的有效手段(Kenward, 1987)。在过去 20 多年中,无线电遥测技术有了长足的发展(Tomkiewicz, 1997)。野生动物无线电遥测技术在国外已经成为野生动物研究的常规技术。随着无线电技术的发展,野生动物的无线电遥测技术日臻成熟。无线电遥测技术公司生产了一系列在不同野生动物类群中应用的、不同大小、不同电池以及不同无线电信号强度的无线电遥测装置,并时刻在更新他们的产品。目前,卫星

定位技术已经在野生动物无线电遥测上投入实用。商业公司投产了系列产品,如图 1.1 所示。在野生动物研究中,无线电遥测技术在以下方面得到了应用:

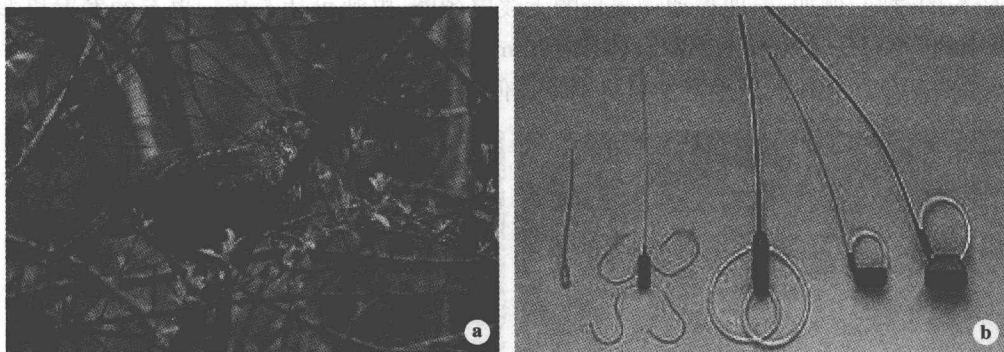


图 1.1 佩戴无线电发射装置的雉类与鸟类用无线电发射装置  
a. 一只戴有无线电发射装置的斑尾榛鸡(孙悦华摄); b. 鸟类使用的无线电颈圈

- (1) 给不能用肉眼观察到的野生动物佩戴无线电颈圈后,可在野外对其活动进行定位,并可测定、计算它领域面积。
- (2) 给野生动物佩戴无线电颈圈后,通过无线电定位,帮助野生动物研究人员在野外找到要观察的野生动物。
- (3) 给野生动物佩戴、安放一只只有呼吸率、体温和运动传感器的无线电颈圈后,记录野生动物的呼吸率、体表或体内温度。
- (4) 给野生动物佩戴一只只有麦克风和运动传感器的无线电颈圈后,可以发射动物的声音供录音或遥测动物的行为。

## 二、移动式跟踪(监测)装置

### (一) 基本原理

无线电遥测的基本原理是研究人员在野外让研究对象带上无线电发射机,研究人员在一定距离外利用无线电接收装置接收无线电发射机发出的无线电信号。一般在野外需要利用两套或两套以上无线电接收装置在不同的地点同时接收无线电信号,以从信号的来源方位确定研究对象的方位。

除了定位以外,我们还可以利用无线电遥测技术获得许多有关研究对象的其他的生理指标(Mackay, 1993)与行为信息(Alkon, 1989)。我们可以利用带活动感应器的无线电遥测装置来遥测动物的活动,带活动感应器的无线电遥测装置对应于动物的不同运动状态如行走、卧息发出不同频率的无线电信号。目前,野生动物无线电遥测设备由专业厂家生产,每个厂家形成了自己的产品系列,但是,主流公司的产品系列都有相似的产品。这里以 Televilt 公司和 Yagi 公司的产品为主介绍有关遥测设备([www.positioning.televilt.se](http://www.positioning.televilt.se))。

### (二) 无线电发射装置

无线电发射装置可以外挂在动物的身体上,如制成颈圈和甲冑,套在动物的颈上或身上,可以用胶粘在大型鸟类,如天鹅的背上,还可以植入到动物的腹腔里。图 1.2 图示了正

在桉树林中活动的一只脖子上佩戴了无线电发射器的树袋熊(考拉)。使用一段时间后,无线电发射装置必须更换电池。大的无线电发射装置可以装上较大的电池,从而在野外可以使用较长的时间,例如,给鹿类动物佩戴的无线电颈圈,电池可达5年。也有的发射机非常小,最小的TXH-1发射机只有2g,体积18mm×8mm×6mm,电池寿命40天(3.0V)或130天(1.5V)。这种型号小型发射机不带任何感应器。



图 1.2 澳大利亚悉尼大学研究人员利用无线电项圈研究树袋熊(考拉)(蒋志刚摄)

a. 一只佩戴了无线电项圈的树袋熊正透过茂密的桉树枝条眺望;b. 研究人员正在桉树林中用无线电接收机搜索佩戴了无线电项圈的树袋熊

野生动物跟踪用无线电发射机发出甚高频无线电信号,由无线电接收机接收后转换为人能听得见的“嘟嘟”声。“嘟嘟”声的长度从标准的18微秒到1250微秒(每分钟48次)。“嘟嘟”声的长度可在无线电发射机颈圈出厂时设置。使用者可以根据无线电发射机电池的寿命而决定,如果希望无线电发射机载野外工作的时间长一些,则可以加大无线电发射机发出的“嘟嘟”声的间隔时间。使用者可以通过生产厂家,根据自己的研究需要,预设无线电发射机发出的甚高频无线电信号的频率,可以设定每天利用无线电进行定位的次数,或每周定位的次数。有时,野外工作者由于有其他工作,不能进行跟踪定位,这时也可以设定一段时间无线电发射机不发出甚高频无线电信号的日期。这样,可以大大以节省无线电发射机的电源。

研究野生动物用的甚高频无线电发射机可以附加一些感应器,这些感应器将感应到的生物学信息通过改变无线电发射机发射的甚高频无线电信号频率或信号长度发出,供研究者接受。感应器有如下类型:

**1. A 感应器** A 感应器是一种动物活动状态感应器,当动物处于活动状态时,无线电发射机发射的无线电信号的频率增高。无线电接收机将这种频率转化为“嘟嘟”声。当这种“嘟嘟”声鸣叫频率达到每分钟60次时,表明动物处于活动状态,当“嘟嘟”声的频率降低到为每分钟35次时,表明动物处于相对不活动状态。这两种状态之间,可以预设2秒到10分钟的时间间隔,表明动物活动状态的转移。

**2. O 感应器** O 感应器是一种微芯片开关,当无线电发射机所处的位置相对于地平面发生变化 $\pm 5^\circ$ 以上的倾斜时,无线电发射机发出的“嘟嘟”声周期会发生改变,如果再增加一个感应器,“嘟嘟”声长度将会发生改变。O 感应器也可以作为一种简单的活动感应器使用,当O 感应器和A 感应器一同使用时,将能得到有关动物活动的更详细的信息。

**3. L 感应器** L 感应器有一种感光组件,当光照强度以对数尺度增加时,无线电发射机发出的“嘟嘟”鸣叫周期或长度会增加。

**4. M 感应器** M 感应器是一种运动感应器。这种感应器对动物的运动敏感。当动物处于活动状态时,无线电发射机发射的“嘟嘟”鸣叫频率达到每分钟 100 次,当“嘟嘟”鸣叫频率为每分钟 25 次时,动物处于相对不活动状态。这两种状态之间,可以预设 30 分钟到 10 小时的间隔,表明动物活动状态的转移。当 M 感应器和 A 感应器一同使用时,可以得到 3 种不同的“嘟嘟”鸣叫频率,将能得到有关动物活动的更详细的信息。

**5. T 感应器** T 感应器是一种温度感应器,用于感应气温或动物的体温。T 感应器感应温度的精度于所处温度的范围有关。研究人员使用带有 T 感应器的无线电颈圈时,应对 T 感应器进行校正。

狗獾(*Meles meles*)是鼬科动物中体型较大的一个种,广布于欧亚大陆。中国青藏高原的青海湖地区的是全球狗獾分布区海拔最高的一个分布点。狗獾是一种夜行性和晨昏活动的动物,不同季节之间,它们是日活动节律不同。狗獾是如何适应青藏高原的高寒缺氧生态环境的?人们对青藏高原的狗獾尚未开展过研究。我们在青藏高原利用无线电颈圈研究了狗獾的活动范围和活动节律。研究人员给狗獾戴上一只无线电颈圈(图 1.3);狗獾戴上无线电颈圈后,自由活动(图 1.4)。研究人员上利用无线电跟踪佩戴无线电颈圈发射的信号跟踪狗獾的活动范围和活动节律(图 1.5)。



图 1.3 研究人员正在将无线电发射机固定在狗獾(*Meles meles*)颈部(李峰摄)



图 1.4 一只戴有无线电颈圈的狗獾 (*Meles meles*)(蒋志刚摄)

根据不同的野生动物种类而不同,现在有专门为研究两栖爬行类动物、鱼类、鸟类和哺乳动物而生产的无线电发射机(表 1.1~表 1.7)。无线电发射机的固着方式也随着研究对象的不同而有所差异。如哺乳动物用无线电发射机一般是颈圈式,鸟类用无线电发射机的固着方式则有背负式、尾夹式、胶粘式等(表 1.6),两栖爬行类动物和鱼类用的无线电发射机可以是以物理或化学方法固定在体外或用手术植入动物体内。但是,那些植入动物体内的无线电发射机的信号微弱,于是,在野外跟踪研究鱼类时,只有当在体外不可能固定无线电发射机时,才采用将无线电发射机植入鱼类体内的方法。

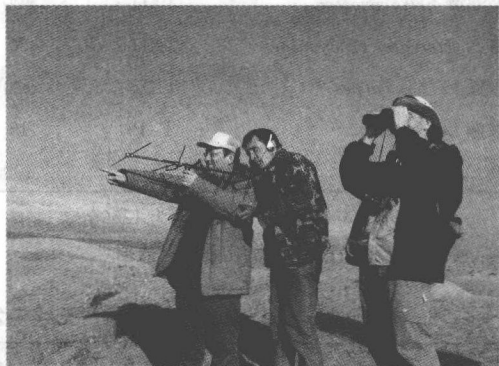


图 1.5 研究人员在青藏高原上利用无线电跟踪佩戴无线电颈圈的狗獾(*Meles meles*)(李峰摄)

表 1.1 草食动物用无线电发射机的重量、寿命及可探测距离

适用种类	发射机	重量(g)	寿命*(月)	天线	可探测距离** (km)
岩羚羊 <i>Rupicapra rupicapra</i>	TXH-3	280	30.0	鞭式	4~6
非洲象 <i>Loxodonta africana</i>	TXH-3	3600	60	内置于颈圈背带	6~8
黇鹿 <i>Dama dama</i>	TXH-3	360	60.0	鞭式	4~6
山羊 <i>Capra</i>	TXH-3	300	60.0	内置于颈圈背带	4~6
驼鹿(幼体) <i>Alces alces</i>	TXP-1	20 (cartag)	7.5	内置(环状)	1.0~1.5
驼鹿(成体) <i>Alces alces</i>	TXH-3	850~1000	60.0	内置于颈圈背带	6~8
鹿 <i>Muntiacus muntjak</i>	TXH-2	100	25.0	鞭式	2~3
马鹿(雌性) <i>Cervus elaphus</i>	TXH-3	360	60.0	内置于颈圈背带	4~6
驯鹿 <i>Rangifer tarandus</i>	TXH-3	350	60	内置于颈圈背带	4~6
狍(成年个体) <i>Capreolus capreolus</i>	TXH-3	220	30.0	鞭式	4~6
野猪 <i>Sus scrofa</i>	TXP-1	22 (耳标)	10.0	内置(环状)	1.0~1.5
野猪 <i>Sus scrofa</i>	TXH-3	320	30.0**	内置于颈圈背带	3~4

\* 基于“嘟”声长度为 18ms 周期为 1250ms。

\*\* 基于研究对象的实际野外工作数据

表 1.2 肉食动物用无线电发射机的重量、寿命及可探测距离

适用种类	发射机	重量(g)	寿命*(月)	天线	可探测距离** (km)
北极狐 <i>Alopex lagopus</i>	TXH-2	55	15	鞭式	3.0
狗獾 <i>Meles meles</i>	TXH-2	110	20	内置于颈圈背带	2.0
短尾猫 <i>Felis Rufus</i>	TXH-2	105	25	鞭式	3
棕熊 <i>Ursus arctos</i>	TXH-2	30 (cartag)	9	Loop (internal)	1~1.5
棕熊 <i>Ursus arctos</i>	TXH-3	630	60	内置于颈圈背带	6~8
日本熊 <i>Selenarcios thibetanus</i>	TXH-3	450	30	内置于颈圈背带	4~6
狮(雌性) <i>Panthera leo</i>	TXH-3	630	60	内置于颈圈背带	6~8
狮(雄性) <i>Panthera leo</i>	TXH-3	900	50	内置于颈圈背带	6~8
猞猁 <i>Lynx lynx</i>	TXH-3	200	30	内置于颈圈背带	3~5
美洲狮 <i>Felis concolor</i>	TXH-3	400	60	内置于颈圈背带	4~6
貉 <i>Nyctereutes procyonides</i>	TXH-2	90	15	鞭式	3.0
赤狐 <i>Vulpes vulpes</i>	TXH-2	120	23	内置于颈圈背带	2.5
水獭 <i>Lutra lutra</i>	TXP-1	15	25	植入式	0.5
狼 <i>Canis lupus</i>	TXH-3	400	60	内置于颈圈背带	4~6

\* 基于“嘟”声长度为 18ms 周期为 1250ms。

\*\* 基于野外研究对象的实际工作数据

表 1.3 肉食动物用无线电发射机的重量、寿命及可探测距离

适用种类	发射机	重量(g)	寿命*(月)	天线	可探测距离** (km)
北美水貂(雌性) <i>Mustela vison</i>	TXH-2	22.0	5.0	环状	1.5
黑足猫 <i>Felis nigripes</i>	TXH-2	50	10	鞭式	3.0

续表

适用种类	发射机	重量(g)	寿命*(月)	天线	可探测距离** (km)
黑家鼠 <i>Rattus rattus</i>	TXH-1	6.0	10.0	鞭式	0.3
草兔 <i>Lepus europaeus</i>	TXP-1	40	30	环状	1.5
非洲冠豪猪 <i>Hystrix cristata</i>	TXH-2	66	15	内置于颈圈背带	2.0
地黄鼠 <i>Spermophilus citellus</i>	TXH-2	10.0	3.0	鞭式	0.5
黑田鼠 <i>Microtus agrestis</i>	TXH-1	2.5	1.0	鞭式	0.1
刺猬 <i>Erinaceus europaeus</i>	TXP-1	5.5 (glued)	1.6	鞭式	1.0
旅鼠 <i>Lemmus lemmus</i>	TXH-1	3.0	3.0	鞭式	0.2
雪兔 <i>Lepus timidus</i>	TXH-2	50	15	环状	2.5
松貂 <i>Martes martes</i>	TXH-2	35	8	环状	2.0
穴兔 <i>Oryctolagus cuniculus</i>	TXP-1	33	6.5	环状	1.5
松鼠 <i>Sciurus vulgaris</i>	TXP-1	12.0	9.0	环状	0.5~1.5
蝙蝠 <i>Order Phyllostomus sp.</i>	TXH-1	2.0	1.0	鞭式	0.5~1.0
白鼬(雄性) <i>Mustela erminea</i>	TXH-2	10.0	3.0	鞭式	0.5~1.0
林鼬(雄性) <i>Mustela putorius</i>	TXH-2	29.0	10.0	环状	2.0
林姬鼠 <i>Apodemus sylvaticus</i>	TXH-1	2.5	1	鞭式	0.2

\* “嘟”声长度为 18ms 周期为 1250ms。

\*\* 基于野外研究对象的实际工作数据

表 1.4 海洋哺乳动物用无线电发射机的重量、寿命及可探测距离

适用种类	发射机	重量(g)	寿命*(月)	天线	可探测距离*** (km)
灰海豹 <i>Halichoerus grypus</i>	TXH-3	70	12*	鞭式	20
斑海豹 <i>Phoca vitulina</i>	TXH-3	50	3**	鞭式	20

\* “嘟”声长度为 18ms 周期为 500ms。

\*\* “嘟”声长度为 18ms 周期为 800ms。

\*\*\* 基于在开阔海面在船上对研究对象的实际测量数据

表 1.5 鸟类用无线电发射机的固着方式、重量、寿命及可探测距离

适用种类	发射机	固着方式	重量(g)	寿命*(天)	天线长度(cm)	可探测距离** (km)
乌鸫 <i>Turdus merula</i>	TXH-1	背负式	2.2	60	20	1.0
黑啄木鸟 <i>Dryocopus martius</i>	TXP-1	尾夹式	6.0	60	20	1.5
灰鹤 <i>Grus grus</i>	TXH-3	背负式	50.0	450	45	6.0
长脚秧鸡 <i>Crex crex</i>	TXH-1	背负式	2.5	75	15	1.0
大杜鹃 <i>Cuculus canorus</i>	TXH-1	尾夹式	2.5	130	20	1.0
欧绒鸭 <i>Somateria mollissima</i>	TXH-2	背负式	14.0	120	30	3.5
灰雁 <i>Anser anser</i>	TXP-1	颈圈式	25.0	650	20	1.5
中沙锥 <i>Gallinago media</i>	TXH-1	胶粘	4.0	60	20	1.0
小嘴乌鸦 <i>Corvus corone</i>	TXH-2	背负式	8.5	90	30	3.5
三趾鸥 <i>Rissa tridactyla</i>	TXH-2	尾夹式	9.0	75	30	3.5

续表

适用种类	发射机	固着方式	重量(g)	寿命*(天)	天线长度(cm)	可探测距离** (km)
绿头鸭 <i>Anas platyrhynchos</i>	TXH-2	尾夹式	7.5	80	30	3.0
疣鼻天鹅 <i>Cygnus olo</i>	TXH-2	颈圈式	35.0	650	30	4.0
夜鹰 <i>Caprimulgus caprimulgus</i>	TXH-1	尾夹式	2.0	35	15	0.8
紫翅椋鸟 <i>Sturnus vulgaris</i>	TXH-1	胶粘	2.0	35	15	0.8
欧鸽 <i>Columba oenas</i>	TXP-1	背负式	6.0	60	20	1.5
斑尾林鸽 <i>C. palumbus</i>	TXP-1	背负式	8.0	160	25	2.0

\* “唧”声长度为18ms 周期为1250ms。

\*\* 基于野外研究鸟类的实际数据

表 1.6 鱼类用无线电发射机的固着方式、寿命及可探测距离

适用鱼类	发射机	固着方式与面积 (长度 mm×高度 mm)	寿命*(月)	天线长度 (cm)	可探测距 离** (km)
棕鲑(体重 2.5~6.0kg) <i>Salmo trutta</i>	TXH-2	体外固定 65×12	4	鞭式, 25cm	1.0~2.0
棕鲑(体重 0.2~0.5kg) <i>Salmo trutta</i>	TXP-1	体外固定 30×8	2	鞭式, 15cm	0.5
棕鲑 <i>Salmo trutta</i>	TXH-1	体外固定 28×6	1	鞭式, 10cm	0.2
鲑鱼(体重 4~10kg) <i>Salmo salar</i>	TXH-2	体外固定 75×17	9	鞭式, 25cm	1.0~2.0

\* “唧”声长度为18ms 周期为1250ms。

\*\* 基于研究水深不超过2~3m,的淡水鱼类的野外实际数据

表 1.7 两栖爬行类动物用无线电发射机的固着方式、寿命及探测距离

适用动物种类	发射机	固着方式体积 (L×W×H)mm <sup>3</sup>	寿命*(月)	天线长度 (cm)	探测距离** (km)
蜥蜴类 <i>Fam. Lacertidae</i>	TXP-1	颈圈/甲冑(重 8g)	200	鞭式(20cm)	1.5
蝾螈类(体长 20cm) <i>Triturus sp.</i>	TXH-1	甲冑 18×9×5	45	鞭式(15cm)	0.4
蟒类(体长 1.5 m) <i>Python sp.</i>	TXH-2T	植入式 12×12×8	180	鞭式(30cm)	2.0
蟾蜍类(体长 15cm) <i>Fam. Ranidae</i>	TXH-1	植入式 20×10×8	40	螺旋式	0.1
龟类 Order <i>Testudines</i>	TXH-3	外壳固定 60×30×20	550	鞭式(30cm)	4.0
蛙类(体长 80cm) <i>Fam. Viperidae</i>	TXH-1T	植入式 30×9×5	100	鞭式(20cm)	1.0

\* “唧”声长度为18ms 周期为1250ms。

\*\* 基于野外研究两栖爬行动物的实际数据

### (三) 无线电接收装置

无线电接收装置是一种甚高频无线电接收装置。由于无线电技术的发展,用于野生动物无线电跟踪研究的无线电接收装置已经可以做成体积小、重量轻、不怕摔的像录音笔大小的装置(图 1.6)。RX-900 接收机可以接收无线电跟踪信号、GPS 定位信号、陷入陷阱或活捕器的动物发出的信号以及野生动物的生理状态监测等。RX-9700 接收机带拉杆天线,重 350 克,体积 180mm×50mm×25mm,可以接收 100 频道,电池可以工作 40 小时。

为了在野外接收到甚高频无线电信号,无线电接收装置离不开天线。天线有手持式天线、车载式天线和使用天线竿的固定天线。这些天线或天线竿都有商业公司生产。



专门生产天线的 Yagi 公司生产的部分定向天线的参数如下：  
H-2 (HB9CV): (重量: 350g; 信号增益: 6dBd), 用于载飞机上跟踪野生动物。

Y-3 (3-EL): (重量: 700g; 信号增益: 6dBd), 作为使用天线竿的固定天线, 不能手持。

Y-4FL: (重量: 800g; 信号增益: 8dBd), 可用作野外用无线电接收机的手持式天线, 可折叠, 具有良好的方向性。

Y-6: (重量: 1300g; 大小: 125mm × 1140mm; 信号增益: 9dBd), 作为使用天线竿的固定天线, 不能手持。

松鼠、黄鼠、鼯鼠等常常会钻入地下。当给一些这些动物, 如松鼠、黄鼠、鼯鼠带上无线电颈圈时, 这些动物常常会钻入地下活动, 由于地层的屏蔽, 无线电信号微弱。GS: 天线是探测地下活动动物而研制的一种特种天线 (重量: 400g; 长度: 1200mm), 与适当的接收机配用, 可以以 10 × 10cm 的精度探测来自地下的无线电信。

#### (四) 无线电跟踪技术应用实例

1985 年我国从英国引入在我国已灭绝的麋鹿 (*Elaphurus davidianus*), 分别建立了北京和大丰两个麋鹿种群。这两个麋鹿种群经历了风土驯化和种群增长两个阶段。2011 年底, 中国麋鹿数量达 2000 余只。麋鹿种群的性比已经基本平衡, 有效种群数目接近实际种群数目。北京麋鹿苑面积有限, 大丰麋鹿仍生活围栏之中。于是, 目前北京和大丰种群的增长都受到了种群密度的制约。对北京种群进一步的发展应加以人工调控, 目前可能采取的措施有人工迁出部分个体和控制雌性生育率。江苏大丰麋鹿保护区有大面积海滩, 将圈养麋鹿释放到没有围栏的海滩, 实现建立自然生境中的野生麋鹿种群的中国麋鹿保护战略目标。从 1998 年开始, 江苏大丰麋鹿自然保护区分批向野外释放了麋鹿, 以其建立野生麋鹿种群, 恢复野生麋鹿 (蒋志刚, 丁玉华, 2011)。1998 年, 江苏大丰麋鹿保护区野放一群麋鹿, 我们利用无线电颈圈跟踪了这群野放的麋鹿, 记录它们的活动范围, 掌握了它们的生境利用情况 (图 1.7)。



图 1.7 研究人员在黄海海滩上利用无线电跟踪野放的麋鹿 (蒋志刚摄)

在 Kissama 基金会开展的诺亚方舟计划中, 安哥拉的野生动物研究人员将一只无线电颈圈套在一只非洲象身上, 研究人员首先在野外跟踪了一只非洲象, 用麻醉枪麻醉了非洲象, 抽取非洲象的血样后。兽医对大象的颈部进行消毒; 给那只非洲大象佩戴上无线电颈圈被连夜运到飞机场; 飞机将非洲象运到重新放归地点目的地, 释放到新的生境。然后, 研究人员对这只佩戴颈圈的非洲象进行卫星的活动进行了跟踪研究。

### 三、卫星定位遥测技术

现在人们已经利用全球定位系统 (GPS) 接收机制成无线电发射装置, 这类装置首先利

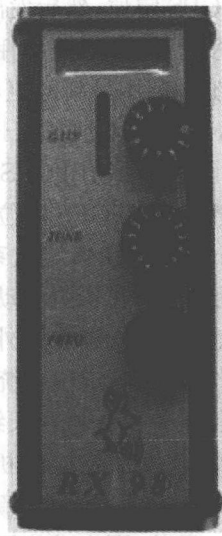


图 1.6 RX-98E 接收机  
接收频率范围 138 ~ 175MHz,  
使用两节 5 号电池。重 350g