

3种无线发射器在高原鼢鼠生态学研究中的效果测试

周建伟^{1,2}, 花立民^{1,2}, 左松涛^{1,2}, 纪维红^{2,3}

1 甘肃农业大学草业学院, 甘肃 兰州 730070; 2 甘肃农业大学-新西兰梅西大学草地生物多样性研究中心, 甘肃 兰州 730070; 3 新西兰梅西大学

摘要: **目的** 高原鼢鼠是青藏高原高寒草甸区优势危害鼠种之一,但由于栖息于地下,使其研究手段受到限制,进而影响到高原鼢鼠的基础研究。无线电追踪技术是目前用于小型啮齿动物生态学研究的一项新技术,但目前很少用于高原鼢鼠种群生态学研究,为此将该项技术进行效果测试。**方法** 选取英国 Biotrack、新西兰 Sirtrack 和墨西哥 Telenax 3家公司所产的无线发射器,通过测定其无线信号的发射深度、发射距离、频率范围以及高原鼢鼠对佩戴方式的适应性等指标,对其进行综合评价。**结果** 英国 Biotrack 公司所产的无线发射器性能优异,地下目标动物佩戴时间长达3个月以上。水平测试中,信号追踪距离达到50 m,信号强度为25.00。深度测试中,在地下2.5 m处仍能追踪到发射器信号,信号衰减程度为76.74%。其他2种发射器在该深度均无信号。**结论** 选择性能优异的无线发射器并正确佩戴,无线追踪技术完全可用于高原鼢鼠生态学研究,也可为其类似地下鼠研究提供参考依据。

关键词: 高原鼢鼠; 无线追踪技术; 无线发射器; 测试

中图分类号: Q948 文献标志码: A 文章编号: 1003-4692(2013)06-0486-05

DOI: 10.11853/j.issn.1003.4692.2013.06.003

Field evaluation of three types of radio transmitters in ecological study on plateau zokor *Myospalax baileyi*

ZHOU Jian-wei^{1,2}, HUA Li-min^{1,2}, ZUO Song-tao^{1,2}, JI Wei-hong^{2,3}

1 College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu Province, China;

2 Grassland Biodiversity Research Center of Gansu Agricultural University-New Zealand Massey

University, Lanzhou 730070, Gansu Province, China; 3 Massey University, New Zealand

Corresponding author: HUA Li-min, Email: hua-lm@263.net

Supported by the Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest (No. 201203041), Fund for Graduate Supervisor of Gansu Provincial Colleges (No. 1102-02)

Abstract: Objective Plateau zokor *Myospalax baileyi* is one of the dominant pests in the alpine meadow of Qinghai-Tibet Plateau. *M. baileyi* dwells underground, therefore it is difficult to conduct ecological studies on this species due to limited access to their habitats. Radio tracking is a new technique for the ecological study on small rodents, but is rarely utilized in the studies on *M. baileyi* populations. The performance of three types of radio transmitters are evaluated in the field and reported in this paper. **Methods** The radio transmitters manufactured by three companies, Biotrack (Great Britain), Sirtrack (New Zealand) and Telenax (Mexico), were tested for the transmitting depth, transmitting distance, and frequency range of the signals, as well as the adaptability of *M. baileyi* to the attachment of radio transmitters. **Results** The radio transmitter manufactured by Biotrack outperformed the other two counterparts. It was attached to *M. baileyi* for more than 3 months; the radio signals were able to be tracked at a horizontal distance of 50 m, with a signal intensity of 25.00; the transmitter signals were detectable at an underground depth of 2.5 m, with a signal attenuation of 76.74%. The other two types of radio transmitters had no detectable signals at this depth.

Conclusion Selecting and properly attaching high-performance radio transmitter enables radio-tracking technique to be used for the ecological studies on *M. baileyi*, which can be adapted for the similar studies on other subterranean rodents.

Key words: *Myospalax baileyi*; Radio-tracking technique; Radio transmitter; Field evaluation

高原鼢鼠(*Myospalax baileyi*)是青藏高原特有鼠

种,营地下生活,在青藏高原高寒草甸和高寒草原生态系统中占据着重要的生态位置^[1-5]。但是,近年来由于气候变化和人为过度放牧等原因,青藏高原部分地区高原鼢鼠种群密度急剧增加,严重破坏草地生态平衡和威胁草地畜牧业可持续发展^[6-8]。随着草地有害生物可持续控制理论不断推进,如何协调草地生物多

基金项目:农业部公益性行业科研项目(201203041);甘肃省教育厅研究生导师经费项目(1102-02)

作者简介:周建伟(1987-),男,在读硕士,从事草原保护研究。

Email: zhou_3193@163.com

通讯作者:花立民, Email: hua-lm@263.net

样性保护和畜牧业发展之间的矛盾,对草地啮齿类的研究提出了挑战。就高原鼯鼠而言,由于其营地下生活,难于捕获观察,研究手段的限制影响了其生态学基础研究,进而影响到生物多样性保护和草地鼠害防控等应用研究^[9-12]。因此,寻找有效的高原鼯鼠研究工具迫在眉睫。

无线追踪技术(radio-tracking)起源于 20 世纪 60 年代,目前已在大型哺乳动物和鸟类研究中广泛应用^[13-19]。随着无线电技术发展,无线发射器小型化并逐步运用到小型啮齿类的研究中^[20-29]。但是由于无线信号在土壤中的衰减,国外用于地下掘土啮齿动物的研究相对较少^[30-31],国内的应用则极少^[32]。本研究参阅有关文献,从国外 3 家生产无线发射器的公司定制各 5 款无线发射器,测试其无线信号的发射深度、发射距离、频率范围等指标,观察高原鼯鼠佩戴不同无线发射器后的反应,并进行综合评价,旨在为高原鼯鼠的生态学研究方法提供经验借鉴。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 无线发射器 分别选取英国 Biotrack、新西兰 Sirtrack 及墨西哥 Telenax 3 家公司生产的无线发射器。由于这些公司从未生产过专用于鼯鼠类的无线发射器。因此,无线发射器的信号发射距离、质量、性状等参数依据我们提供的高原鼯鼠有关数据和参照目前已生产的部分产品来确定。具体参数见表 1。

表 1 无线发射器参数一览表

Table 1 Parameters of radio transmitters from different manufacturers

型号	频率 (MHz)	重量 (g)	寿命 (月)	发射频次 (bpm) ^a
Biotrack V-381	160.071	4.63	>7	50
Biotrack V-381	160.172	4.63	>7	50
Biotrack V-381	160.273	4.63	>7	50
Biotrack V-381	160.295	4.63	>7	50
Biotrack V-381	160.632	4.63	>7	50
Sirtrack CH-10	160.220	10.00	5.2	30
Sirtrack CH-20	160.320	10.00	10.4	30
Sirtrack CH-30	160.420	10.00	10.4	30
Sirtrack CH-40	160.520	9.00	4.7	30
Sirtrack CH-50	160.620	9.00	4.7	30
Telenax E-405	160.359	14.00	3~8	30
Telenax E-406	160.400	14.00	3~8	30
Telenax E-407	160.440	13.50	2.5~6.0	30
Telenax E-408	160.480	23.00	5~13	30
Telenax E-409	160.559	24.70	6~17	30

注: a. 发射器发射频次(bpm)是指发射器每分钟内发射信号的次数,该指标的设定与发射器寿命有关。bpm=beat per minute。

1.1.2 天线与接收机 天线选自新西兰 Sirtrack 公司生产的手持式 Yagi 天线,接收频率为 155~164 MHz。接收机选自英国 Biotrack 公司生产的 Sika 接收机,接收范围为 138~168 MHz。

1.1.3 试验地概况 试验区选择位于甘肃省天祝县甘肃农业大学高山草原试验站。地处北纬 37°11', 东经 102°29'。海拔 2950 m,年平均气温为 -0.1 °C。1 月平均温度 -18.3 °C,7 月平均温度 12.7 °C, >0 °C 平均积温 1380 °C。年平均降雨量 416 mm,植物生长期平均为 130 d。植被以高寒草甸为主。优势植物主要为嵩草(*Kobresia myosuroides*)、针茅(*Stipa capillata*)、珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、萎陵菜(*Herba potentillae*)。草地啮齿类优势种为高原鼯鼠,伴生种为草原黄鼠(*Spermophilus dauricus*)。

1.1.4 试验对象 选取高原鼯鼠,属青藏高原特有鼠种,营地下生活。2012 年捕获 13 只,体重 145~338 g,体长 15.0~22.5 cm。依据年龄划分为成体和亚成体两大类。

1.2 试验方法

1.2.1 鼯鼠活捕 无线发射器佩戴首先要无损伤活捕目标动物。本研究利用自主研发的鼯鼠无损伤活捕笼,于 2012 年 8—10 月在试验地捕获高原鼯鼠 13 只。

1.2.2 无线发射器无线信号发射深度测试 鉴于高原鼯鼠为地下掘土类啮齿动物,无线发射器发射信号强度是其重要的性能指标之一。本研究用同一接收机,固定接收天线方向不动,考虑到高原鼯鼠采食活动距地表 10~30 cm 之间,但其巢穴一般超过地下 2 m 距离^[31],故将发射器分别埋于地下 10、30、50、100、150、200、250、300 cm,以地面为对照,测试 3 种发射器在不同深度信号的衰减变化,每种型号重复测试 3 次。

1.2.3 无线发射器无线信号发射水平距离测试 高原鼯鼠一般采食活动在地下 15~30 cm^[31]。将发射器埋于地下 20 cm 处,用同一接收机和天线,分别距发射器 0、5、10、15、20、25、30、35、45、50 m 测试 3 种发射器的信号强度,信号强度数据以无线接收机显示的数值为依据。每种型号重复测试 3 次。以无线发射器与天线接触为对照。

1.2.4 无线发射器无线信号发射频率范围 为了测试不同发射器无线信号发射频率范围,减少不同发射器之间的无线信号干扰。将 3 种发射器各 5 个埋置于地下 20 cm 处,以生产公司建议的发射器频率为基准,调节接收机频率接收按钮,直到完全接受不到发射器信号为止,记录各个发射器信号可被接收的频率范围。

1.2.5 无线发射器佩戴 活捕高原鼯鼠后,迅速对其麻醉。测定体重和体长等数据。无线发射器依据动物

体重的3%~5%选择合适的型号佩戴^[28]。由于各公司生产的无线发射器规格和佩戴方式不一,本研究选择3种不同的佩戴方式。一是环颈式佩戴,即将无线发射器通过固定带绑在高原鼯鼠颈部。这种方式采用Biotrack公司生产的无线发射器;二是环腋下颈部斜跨式佩戴,将无线发射器通过固定带从其前腿腋下穿过,斜跨绕过颈部固定。所用无线发射器为Telenax和Biotrack公司生产的无线发射器;三是粘贴式佩戴,将高原鼯鼠背部毛剪去约2 cm²,将发射器用“502胶水”(α-氰基丙烯酸乙酯)粘贴到剪毛处。所用无线发射器为Sirtrack公司生产的无线发射器。

2 结果

2.1 无线发射器无线信号发射深度距离测试 随着无线发射器埋于土壤的深度增加,3种发射器信号强度都有不同程度的衰减。在地下10~30 cm之间,3种无线发射器均有良好表现。50 cm内,Sirtrack信号被严重衰减,Biotrack和Telenax衰减的程度相对较小。当深度增加至100 cm时,Sirtrack信号完全消失,当深度增加至200 cm时,Biotrack和Telenax信号被不同程度的衰减,但仍能被监测到信号,随深度继续增加至250 cm时,Telenax信号完全消失。在300 cm处Biotrack信号也完全消失(表2)。

表2 无线发射器无线信号发射信号深度距离测试结果($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Attenuation of signals from radio transmitters at different depths ($\bar{x} \pm s$)

垂直深度 (cm)	发射器信号衰减程度(%)		
	Biotrack	Sirtrack	Telenax
10	-0.00±0.00	-1.04±0.00	-0.00±0.00
20	-0.00±0.00	-13.48±2.31	-0.00±0.00
30	-0.00±0.00	-39.23±0.60	-0.00±0.00
50	-3.47±1.59	-69.79±4.54	-3.47±1.59
100	-45.83±5.21	-100.00±0.00	-43.40±6.70
150	-50.35±13.19	-	-52.78±10.28
200	-65.28±6.30	-	-65.28±6.28
250	-76.74±4.34	-	-100.00±0.00
300	-100.00±0.00	-	-

2.2 无线发射器无线信号水平距离测试 随着无线发射器水平距离的增加,3种发射器信号强度都有不同程度的衰减。在距发射器5 m范围内,3种无线发射器都表现良好。15 m内,Sirtrack信号被严重衰减,Biotrack和Telenax衰减的程度相对较小。当水平距离达到20 m时,Sirtrack信号完全消失,随水平距离的增加,Biotrack、Telenax信号强度都有不同程度的衰减,但在水平距离50 m处都能监测到信号(表3)。

表3 无线发射器无线信号发射信号水平距离测试结果($\bar{x} \pm s$)

Table 3 Intensities of signals from radio transmitters at different horizontal distances ($\bar{x} \pm s$)

水平距离 (m)	发射器信号强度(%)		
	Biotrack	Sirtrack	Telenax
0	98.00±0.00	98.00±0.00	98.00±0.00
5	97.68±0.58	95.67±3.21	97.33±1.15
10	93.33±3.21	29.00±3.61	97.00±1.00
15	75.67±7.02	22.33±1.53	96.67±0.58
20	62.00±4.00	0.00±0.00	94.67±1.53
25	50.33±4.04	-	93.67±2.08
30	45.67±5.03	-	92.67±3.06
35	43.33±5.03	-	92.33±2.89
40	40.00±3.61	-	82.67±2.52
45	32.33±2.08	-	69.33±3.21
50	25.00±6.08	-	42.00±4.36

2.3 无线发射器无线信号频率范围测试 无线发射器发射无线信号频率变化幅度越小,被接收机接收的信号越好,也对其他相近频率范围的无线发射器干扰越小。根据实地测试的3种发射器无线信号的频率范围(表4),Sirtrack公司生产的产品信号均好,接收到信号的频率范围最窄,对其他无线发射器的干扰最小;Biotrack次之;Telenax接收到信号的频率范围最宽,对其他无线发射器在接收信号时干扰也最大。

表4 无线发射器无线信号频率范围测试结果($\bar{x} \pm s$)

Table 4 Frequency ranges of signals from radio transmitters ($\bar{x} \pm s$)

发射器无线信号频率(MHz)范围		
Biotrack	Sirtrack	Telenax
160.071±0.013	160.220±0.012	160.359±0.140
160.172±0.024	160.320±0.008	160.400±0.240
160.273±0.014	160.420±0.006	160.440±0.120
160.295±0.022	160.520±0.008	160.480±0.220
160.632±0.014	160.620±0.011	160.559±0.110

2.4 无线发射器佩戴效果 3种发射器的不同佩戴方式效果各异(表5)。环颈式佩戴发射器易脱落,在佩戴的5只高原鼯鼠中,只有1只的发射器佩戴时间>3个月,3只的佩戴时间<2周,1只高原鼯鼠死亡,发现其颈部皮肤磨损。环腋下颈部斜跨式佩戴的7只鼯鼠中有4只佩戴一直良好,且佩戴时间均>3个月,另外2只的发射器脱落,其中1只疑是高原鼯鼠地面行走时被天敌捕食,发射器遗落在地面后被发现,另外1只不明原因脱落。Telenax的发射器由于体积过大,只选择佩戴了其中1只,但很快发现鼯鼠死亡。粘贴式佩戴的2只中有1只9周后位置未发生变化,另外1只信号发射位置3周末动,疑是2个目标鼯鼠死亡,可能于背贴过程中剪毛等对鼯鼠有一定的损伤导致死亡。

表 5 无线发射器佩戴效果
Table 5 Attachment conditions of different radio transmitters

佩戴方式	发射器型号	高原鼯鼠个体信息	佩戴后状况	备注
环颈式	Biotrack-V381	雌, 195 g	5 d 后死亡, 发射器未脱落	
	Biotrack-V381	雌, 146 g	发射器 3 周后脱落, 重新捕获	
	Biotrack-V381	雌, 145 g	发射器 2 周后脱落, 未重新捕获	
	Biotrack-V381	雌, 185 g	发射器 2 周后脱落, 重新捕获	
	Biotrack-V381	雄, 338 g	发射器 2 周后脱落, 重新捕获	
环颈腋下斜跨式	Biotrack-V381	雌, 200 g	发射器 2 d 后脱落, 被捕食	
	Biotrack-V381	雌, 210 g	发射器佩戴良好	
	Biotrack-V381	雄, 216 g	发射器 105 d 后脱落, 未重新捕获	
	Biotrack-V381	雌, 175 g	发射器佩戴良好	
	Biotrack-V381	雌, 160 g	发射器佩戴良好	
	Biotrack-V381	雄, 322 g	发射器佩戴良好	
	Telenax-E405	雄, 290 g	1 周后死亡, 发射器未脱落	
	Telenax-E406	-	-	质量大, 未佩戴
	Telenax-E407	-	-	质量大, 未佩戴
	Telenax-E408	-	-	质量大, 未佩戴
Telenax-E409	-	-	质量大, 未佩戴	
粘贴式	Sirtrack-CH10	-	-	死亡率高, 未佩戴
	Sirtrack-CH20	-	-	死亡率高, 未佩戴
	Sirtrack-CH30	-	-	死亡率高, 未佩戴
	Sirtrack-CH40	雄, 160 g	3 周后死亡, 发射器未脱落	
	Sirtrack-CH50	雄, 200 g	9 周后死亡, 发射器未脱落	

3 讨论

Jörn Theuerkauf 等^[28]对无线发射器在 Wild rats 中的应用研究结果显示,无线发射器重量建议为目标动物的 4% 以下。由于高原鼯鼠为地下掘土类啮齿动物,无线发射器体积过大会影响到其正常采食、寻找配偶时挖掘行为,故无线发射器体积不易过大。本研究选取用于测试的无线发射器重量均在高原鼯鼠的 4% 以下。Telenax 公司生产的无线发射器虽然重量符合要求,但是体积较大,不适于高原鼯鼠的无线追踪研究。Sirtrack 公司生产的粘贴式无线发射器重量也符合要求,但是粘贴时要剪毛而且粘贴剂会对高原鼯鼠的皮肤造成损伤,引起感染导致死亡,故也不宜采用。3 种无线发射器中 Biotrack 公司的产品无论从重量和体积上均有较好效果。

高原鼯鼠在挖掘过程中,前肢挖掘,头部拱土至地表。因此,无线发射器的佩戴方式非常重要。本研究中采用 3 个生产公司推荐的佩戴方式,即环颈式和粘贴式。但是在实际应用测试中,环颈式佩戴由于其挖掘活动造成脱落,粘贴式由于高原鼯鼠从亚成体到成体时要换毛,容易造成脱落。而且,粘贴剂的使用也会对高原鼯鼠造成伤害。本测试中用“502 胶水”可能对鼯鼠皮肤有刺激损伤,若采用医用皮肤粘贴剂(如氰基

丙烯酸异丁酯、氰基丙烯酸甲酯、“508 胶水”等)可能效果会好,有待进一步研究。本研究所采用的环颈腋下颈部斜跨式佩戴方式,使用时间较长,无线追踪效果好,而且使用一段时间重捕后发现,这种佩戴方式没有对高原鼯鼠颈部、前肢下部造成损伤,因此,环颈腋下颈部斜跨式佩戴方式可以作为高原鼯鼠无线发射器推荐佩戴方式。

鉴于无线发射信号存在一定的频率范围,为了减少不同无线发射器之间的互相影响,在定制无线发射器时应该注意频率之间的差别。无线信号传输与传输介质有着密切关系^[32],本研究在测试无线信号传输时选取高寒草甸土为介质。但是,由于高原鼯鼠或者其他地下掘土类啮齿动物生活的环境不同,无线信号传输的强弱可能有所不同。如果要开展其他地下掘土类动物的无线追踪研究时,选取的无线发射器信号应根据各自的土壤环境选择。

选取无线发射器的工作时间也是重要指标之一。选择标准与科研目的等相关。无线发射器的工作时间长短与设定的信号发射间隔时间,即蜂鸣时间密切相关。间隔时间越短,耗电速度越快,无线发射器工作时间也就越短。无线发射器工作时间也与土壤环境温度状况密切相关。本研究中没有对其工作寿命进行测试,有待以后进一步完善。

参考文献

- [1] 江小蕾, 张卫国. 试论草原鼠类之定位[J]. 草业科学, 1997, 14(3):34-35.
- [2] 钟文勤, 樊乃昌. 我国草地鼠害的发生原因及其生态治理对策[J]. 生物学通报, 2002, 37(7):1-4.
- [3] Zhang Y, Zhang Z, Liu J. Burrowing rodents as ecosystem engineers: the ecology and management of plateau zokors (*Myospalax fontanierii*) in alpine meadow ecosystems on the Tibetan Plateau[J]. Mammal Review, 2003, 33(3/4):284-294.
- [4] 王太春. 高寒草甸鼢鼠土丘的植被恢复与边缘效应动态的研究[D]. 兰州: 兰州大学生命科技学院, 2007.
- [5] 刘锦上. 高原鼢鼠的洞道空间对高寒草甸植被性状的影响[D]. 兰州: 兰州大学草地农业科技学院, 2009.
- [6] 张知彬. 我国草原鼠害的严重性及防治对策[J]. 中国科学院院刊, 2003(5):343-347.
- [7] 孙飞达, 龙瑞军, 郭正刚. 鼠类活动对高寒草甸植物群落及土壤环境的影响[J]. 草业科学, 2011, 28(1):146-151.
- [8] 郑卫青, 柳小青, 郭学俭, 等. 南昌市鼠类种群结构和季节动态变化研究[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2011, 22(5):446-448.
- [9] 王治宇, 史献明, 高文林, 等. 长爪沙鼠疫自然疫源地磷化铝灭鼠及其寄生蚤的试验研究[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2012, 23(6):583-584.
- [10] 杜国义, 杨建明, 王海峰, 等. 中国鼠疫自然疫源地宿主多样性研究进展[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2012, 23(3):273-274.
- [11] 海荣. 中国鼠疫自然疫源地研究进展[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2011, 22(4):301-303.
- [12] 于晓涛, 魏柏青, 赵小龙, 等. 青海省果洛州久治县鼠疫自然疫源地调查[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2013, 24(1):78.
- [13] Strathearn SM, Lotimer JS, Kolenosky GB, et al. An expanding break-away radio collar for black bear[J]. Wildlife Management, 1984, 48(3):939-942.
- [14] Jackson DH, Jackson LS, Seitz WK. An expandable drop-off transmitter harness for young bobcats [J]. Wildlife Management, 1985, 49(1):46-49.
- [15] Giroux JF, Bell DV, Percival S, et al. Tail-mounted radio transmitters for waterfowl[J]. Field Ornith, 1990, 61(3):303-309.
- [16] 雍严格, 王宽武, 汪铁军. 佛平大熊猫的移动习性[J]. 兽类学报, 1994, 14(1):9-14.
- [17] Adams LG, Singer FJ, Dale BW. Caribou calf mortality in Denali National Park, Alaska [J]. Wildlife Management, 1995, 59(3):584-594.
- [18] Singer FJ, Hartaig A, Symonds KK, et al. Coughenour. Density, dependence, compensation, and environmental effects on elk calf mortality in Yellowstone National Park [J]. Wildlife Management, 1997, 61(1):12-25.
- [19] 马志军, 丁长青, 李欣海. 朱鹮冬季觅食地的选择[J]. 动物学研究, 2001, 22(1):46-50.
- [20] 张知彬. 林姬鼠移位后在农田生态景观中的扩散[J]. 动物学报, 1993, 39(3):338-340.
- [21] Harris S, Cresswell WJ, Forde PG, et al. Home-range analysis using radio-tracking data — a review of problems and techniques particularly as applied to the study of mammals [J]. Mammal Review, 1990, 20(2/3):97-123.
- [22] Otis DL, White GC. Autocorrelation of location estimates and the analysis of radiotracking data [J]. Wildlife Management, 1999, 63(3):1039-1044.
- [23] Atkinson IAE, Towns DR. Advances in New Zealand mammalogy 1990-2000: Pacific rat [J]. J Royal Soc New Zealand, 2001, 31(1):99-109.
- [24] Innes J. Advances in New Zealand mammalogy 1990-2000: European rats [J]. J Royal Soc New Zealand, 2001, 31(1):111-125.
- [25] Desrochers A, Hanski IK, Selonen V. Siberian flying squirrel responses to high and low contrast forest edges [J]. Landscape Ecology, 2003, 18(5):543.
- [26] Goheen JR, Swihart RK, Gehring TM, et al. Forces structuring tree squirrel communities in landscapes fragmented by agriculture: species differences in perceptions of forest connectivity and carrying capacity [J]. Oikos, 2003, 102(1):95-103.
- [27] Russell JC, Towns DR, Anderson SH, et al. Intercepting the first rat ashore [J]. Nature, 2005, 437:1107.
- [28] Jörn Theuerkauf, Sophie Rouys, Clémence Chatreau. Mortality of radio-tracked wild rats in relation to transmitter weight and resilience of transmitters in relation to their design [J]. J Royal Soc New Zealand, 2007, 37(3):85-90.
- [29] 周文扬, 窦丰满. 高原鼢鼠活动与巢区的初步研究[J]. 兽类学报, 1990, 10(1):31-39.
- [30] Diego U, Eileen A, Wiezorek JR. Daily activity patterns of free-living cururos (*Spalacopus cyanus*) [J]. J Mammalogy, 2005, 96(2):302.
- [31] Tassino B, Estevan I, Garbero RP, et al. Space use by Rio Negro tuco-tucos (*Ctenomys rionegrensis*): Excursions and spatial overlap [J]. Mammalian Biol, 2011, 76(2):143-147.
- [32] 张申. 隧道无线电射线传输规律的研究[J]. 电波科学学报, 2002, 17(2):114-124.

收稿日期:2013-07-16