

# 笼捕法和陷阱法对森林小型兽类 多样性监测效率比较

杨锡福<sup>1 2</sup> 谢文华<sup>1 2</sup> 陶双伦<sup>1</sup> 李俊年<sup>1</sup> 肖治术<sup>2\*</sup>

(1 吉首大学生物资源与环境科学学院, 湖南吉首 416000)

(2 中国科学院动物研究所农业虫害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101)

关键词: 小型兽类; 笼捕法; 陷阱法; 多样性监测

中图分类号: Q958.1

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 1050 (2014) 02 - 0193 - 07

## A comparison of live traps and pitfall traps for monitoring the diversity of ground - dwelling small mammals in forests

YAGN Xifu<sup>1 2</sup>, XIE Wenhua<sup>1 2</sup>, TAO Shuanglun<sup>1</sup>, LI Junnian<sup>1</sup>, XIAO Zhishu<sup>2\*</sup>

(1 College of Biology and Environmental Sciences, Jishou University, Jishou, Hunan 416000, China)

(2 State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents in Agriculture, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** Small mammals are among the most important indicators used for monitoring wildlife diversity. Live traps and pitfall traps are common methods used to investigate community and population dynamics of ground - dwelling small mammals. However, it is poorly explored which trapping method is more efficient to evaluate diversity patterns of ground - dwelling small mammals. We compared the advantages, limitations and applications of live traps and pitfall traps based on species richness, community diversity and body mass of ground - dwelling small mammals in forest ecosystems. During August and September of 2012, we monitored ground - dwelling small mammals using live traps and pitfall traps in the Banruosi forest in the Dujiangyan City, Southwest China. We found that species composition biodiversity patterns and body mass of small mammals varied greatly between live traps and pitfall traps, though species richness was quite similar between them. In addition, species composition, species diversity indices and evenness indices for small mammals were lower using live traps than using pitfall traps, but the dominance indices and body masses were higher using live traps than using pitfall traps. Our study indicates that live traps can capture more rodents with larger body mass, while pitfall traps are more efficient for monitoring insectivores and rodents with smaller body mass. Live traps had a relatively higher cost and also required bait during trapping compared to non - bait pitfall traps. Since most of the trapped animals are dead using pitfall traps, live traps are better to monitor community and population dynamics of small rodents. We also recommend that both live traps and pitfall traps should be used simultaneously to monitor the whole diversity patterns of ground-dwelling small mammals.

**Key words:** Diversity monitoring; Live traps; Pitfall traps; Small mammals

小型兽类包括食虫目 (Insectivora)、啮齿目 (Rodentia)、翼手目 (Chiroptera)、兔形目 (Lagomorpha) 等, 物种数量多, 分布广, 适应能力强, 对环境变化敏感, 因此其群落组成和种群数量变化可较好地反映生境变化的质量和人类活动的干扰程度 (肖治术等, 2002; 李俊生等, 2003; 仝磊和路

纪琪, 2010)。小型兽类多样性一直是生物多样性和生态环境监测与评价的重要指示类群之一 (周立志和马勇, 2002)。统计动物毛发、粪便、巢穴、叫声、足迹等动物痕迹以及直接观察等方法已被广泛用于兽类物种监测和种群密度估计 (Eberhardt and Van Etten, 1956; Bider, 1968; Gannon

基金项目: “十二五”国家科技支撑项目 (2012BAD19B02); 国家自然科学基金资助项目 (31240470); 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KSCX2 - EW - N - 05); 湖南省和吉首大学大学生研究性学习和创新性实验计划项目 (JSU - CX - 2011 - 39)

作者简介: 杨锡福 (1987 -), 男, 硕士研究生, 主要从事动物生态学和行为生态学研究。

收稿日期: 2013 - 10 - 24; 修回日期: 2013 - 12 - 24

\* 通讯作者, Corresponding author, E - mail: xiaozs@ioz.ac.cn

and Foster, 1996; Fashing and cords, 2000; Barnes, 2001)。近十年来,红外相机技术正逐渐发展成为兽类多样性和种群密度监测的常规方法 (Silveira *et al.*, 2003; 何佰锁等, 2009; 章书声等, 2013)。尽管小型兽类物种丰富多样,但它们极少被直接观察到。对于地栖性小型兽类而言,红外相机技术常难以区分物种和个体 (Silveira *et al.*, 2003; 李勤等, 2013), 而笼捕法、夹捕法、陷阱法易于捕获到多数小型兽类而被广泛使用 (Smith *et al.*, 1975; Boonstra and Krebs, 1978; Williams and Braun, 1983; Boonstra and Rodd, 1984)。然而,没有一种捕获方法可以等几率地捕获到所有物种或不同性别和年龄段的个体 (Smith *et al.*, 1975)。此外,因调查区域的季节 (Pucek, 1969)、气候 (Doucet and Bider, 1974)、个体所处的地位 (Boonstra and Krebs, 1978) 以及物种组成 (Williams and Braun, 1983) 等的影响,捕获方法对不同动物 (类群) 的捕获效率亦有显著差异。因此,选择合理的监测技术对于快速评价小型兽类生物多样性和种群动态有重要的影响 (Williams and Braun, 1983; Silveira *et al.*, 2003)。

笼捕法主要用于啮齿目动物的种群和群落调查,而陷阱法主要用于调查食虫目动物 (Mengak and Guynn, 1987; Gerard and Feldhamer, 1990)。尽管一些研究对笼捕法与陷阱法在监测地栖性小型兽类群落和种群动态等方面进行过比较 (Williams and Braun, 1983; Lyra-Jorge and Pivello, 2001; Hice and Schmidly, 2002; Umetsu *et al.*, 2006), 但笼捕法和陷阱法在小型兽类多样性监测方面的相对影响却鲜有报道。此外,相比啮齿目种类 (特别是害鼠) 而言,我国对食虫目种类的多样性和种群监测与研究仅有零星报道 (李俊生等, 2003, 张美文等, 2010), 亟待深入、系统开展相关研究。因此,我们在都江堰常绿阔叶林 (般若寺林场) 比较研究了笼捕法和陷阱法在地栖性小型兽类多样性监测方面的优缺点,为建立有效监测和评价小型兽类多样性的方法体系提供参考依据。

## 1 研究方法

### 1.1 研究地区概况

本研究于2012年8-9月在四川省都江堰市般若寺林场进行。都江堰地区位于四川盆地西缘山地

(东经  $107^{\circ}25' - 103^{\circ}47'$ , 北纬  $30^{\circ}45' - 31^{\circ}22'$ ), 该地区气候属于中亚热带,是从青藏高原向成都平原的过渡地带。年均温  $15.2^{\circ}\text{C}$  左右,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的年积温  $4\ 677.1^{\circ}\text{C}$ 。雨量丰沛,年降水量  $1\ 200 - 1\ 800\ \text{mm}$ , 云雾多,日照少 (年日照时数只有  $800 - 1\ 000\ \text{h}$ ), 湿度大 (年平均相对湿度  $80\%$  以上) (陈昌笃, 2000)。般若寺林场的植被为中亚热带常绿阔叶林。由于人类活动干扰强烈,原始植被已不复存在,仅在较低海拔以残存的小片状分布,如般若寺附近原生林被较好地保存下来。研究样地的常见树种有栲树 (*Castanopsis fargesii*)、青冈 (*Cyclobalanopsis glauca*)、栓皮栎 (*Quercus variabilis*)、枹树 (*Q. serrata*)、灯台树 (*Cornus controversa*)、梓叶槭 (*Acer catalpifolium*)、楠木 (*Phoebe zhennan*)、油茶 (*Camellia oleifera*)、老鼠矢 (*Symplocos stellaris*) 和海桐 (*Pittosporum daphniphylloloides*) 等。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 笼捕法与陷阱法监测小型兽类

2012年8-9月,根据植被、地形特征及人类活动干扰程度 (砍伐和人工造林) 等情况在般若寺林场共选择21个森林斑块 (生境),分为4类生境: (1) 原生林 ( $>80 - 90\ \text{a}$ ), 树种丰富且多为年久高大的乔木,中间夹杂少许灌木,草本很少; (2) 次生林 ( $\approx 40\ \text{a}$ ), 乔木层有栓皮栎、青冈、栲树和楠木等,灌木层以老鼠矢、冬青 (*Ilex purpurea*)、铁仔 (*Myrsine africana*) 较多,草本层以芒箕 (*Dicranopteris pedata*) 为主; (3) 灌丛 ( $>10\ \text{a}$ ), 木本植物丰富,主要有栓皮栎、梓叶槭、灯台树、海桐、冬青等,且灌木多数为有果植物,乔木较少,草本以芒箕为最多; (4) 柳杉林 ( $<15\ \text{a}$ ), 柳杉林是人工种植林,其中柳杉 (*Cryptomeria fortunei*) 占绝对优势,高郁闭度导致低地表覆盖率。

在选择21个森林斑块 (生境) 上同一时段先后采用笼捕法和陷阱法调查小型兽类。每个森林斑块按2-4条样线布设鼠笼 ( $27\ \text{cm} \times 14\ \text{cm} \times 24\ \text{cm}$ ) 共40个,样线、鼠笼之间的间距分别约为15 m和10 m。调查中,以花生作诱饵,每日下午布设鼠笼,次日清晨检查动物进笼情况,连捕3 d。对捕获的个体测定其体重,记录性别和繁殖状况,并采用不同颜色标记,以区分重捕个体,原

地释放。每一斑块各布设 120 笼日, 共计 2 520 笼日。

在笼捕法调查后, 于同一斑块按  $3 \times 3 = 9$  宫格布设陷阱, 样线、陷阱之间的间隔约为 25 m。每个陷阱安放 1 个圆形塑料桶 (高 24.0 cm, 上口和桶底的直径分别为 22.5 cm 和 17.2 cm)。尽量选择枯倒木边缘布设陷阱, 使桶上口缘略低于地面, 并用泥土填充周围空隙以及用枯叶覆盖周围新土以保持原有状态, 桶内加水 4-5 cm, 以防止捕获物逃离或动物之间相互残杀。每日下午布设陷阱, 次日清晨检查动物进陷阱情况, 连捕 3 d。对捕获的个体带回实验室, 鉴定到种, 记录其体重、头体长、尾长、性别和繁殖情况, 并将其用无水酒精保存作为凭证标本用。每一斑块各置 27 陷阱日, 共计 621 陷阱日。

### 1.2.2 数据分析

小型兽类多样性特征主要采用 Shannon-Wiener 多样性指数, Pielou 均匀度指数和 Simpson 优势度指数等 (Hill, 1973):

Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H$ ):

$$H = - \sum_{i=1}^i P_i \ln P_i;$$

Pielou 均匀度指数 ( $J$ ):

$$J = H/H_{\max}, \quad H_{\max} = \ln S;$$

Simpson 优势度指数 ( $D$ ):  $D = \sum_{i=1}^i (P_i)^2$ ;

式中:  $P_i = n_i/N$ ,  $n_i$  为第  $i$  种的个体数,  $N$  为样本的总个体数,  $S$  为群落的物种数。

对所有数据利用 Kolmogorov-Smirnov 检验确定其正态性, 对符合正态分布的采用参数检验; 否则采用非参数检验。采用配对样本  $t$  检验比较笼捕法与陷阱法所调查小型兽类的物种丰富度以及多样性特征 (多样性指数、均匀度指数和优势度指数) 等参数之间的差异; 采用独立样本  $t$  检验对所捕获个体的体重进行比较分析。所有数据分析均在 SPSS for Windows (Version 13.0) 进行。

## 2 结果

### 2.1 物种组成及群落多样性参数

本次笼捕法与陷阱法共捕获小型兽类 10 种 (个体 200 只), 隶属于啮齿目与食虫目两目, 其中仓鼠科 (Cricetidae) 1 种, 鼠科 (Muridae) 7 种,

鼯鼠科 (Soricidae) 2 种。笼捕法的捕获率为  $(2.02 \pm 1.67) \%$ , 陷阱法的捕获率达  $(6.96 \pm 3.79) \%$ 。虽然笼捕法与陷阱法所捕获的物种数 (物种丰富度 species richness) 无显著差异 ( $t = 0.121, df = 20, P = 0.905$ ) (图 1a), 但二者所捕获的种类有所不同, 其中中华姬鼠 (*Apodemus draco*)、大耳姬鼠 (*A. latronum*)、高山姬鼠 (*A. chevrieri*)、黑腹绒鼠 (*Eothenomys melanogaster*)、巢鼠 (*Micromys minutus*)、针毛鼠 (*Niviventer fulvescens*) 和社鼠 (*N. confucianus*) 等 7 种啮齿目动物为 2 种方法所捕获, 而小泡巨鼠 (*Leopoldamys edwardsi*) 仅为笼捕法所捕获, 四川短尾鼯 (*Anourosorex squamipes*) 和灰麝鼯 (*Crocidura attenuata*) 仅为陷阱法所捕获 (表 1)。此外, 笼捕法调查到的小型兽类多样性指数和均匀度指数均略低于陷阱法 (多样性指数:  $t = -0.461, df = 20, P = 0.650$ ; 均匀度指数:  $t = -1.196, df = 20, P = 0.246$ ) (图 1b, c), 而笼捕法调查到的小型兽类优势度指数略高于陷阱法 ( $t = 1.504, df = 20, P = 0.148$ ) (图 1d)。

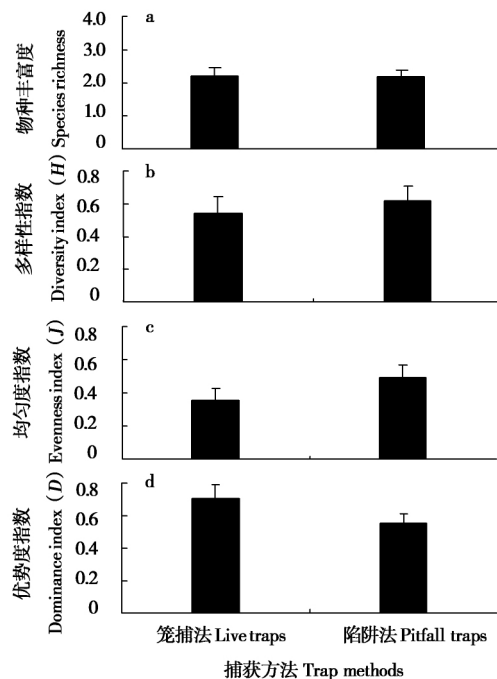


图 1 笼捕法和陷阱法所调查到的小型兽类的物种丰富度及物种多样性比较. a: 物种丰富度; b: 多样性指数; c: 均匀度指数; d: 优势度指数

Fig. 1 Comparison on species richness and species diversity of small mammals trapped by live traps and pitfall traps (Mean  $\pm$  SE). a: Species richness; b: Diversity index; c: Evenness index; d: Dominance index

## 2.2 小型兽类的数量及体重

笼捕法捕获最多的为针毛鼠 43 只, 其次为社鼠 (28 只), 零星捕获到高山姬鼠、黑腹绒鼠、巢鼠 1 只或 2 只, 未曾捕获到食虫目动物 (灰麝鼩和四川短尾鼩), 即个体较小的小型兽类不易被笼子捕获; 而在陷阱法调查中, 捕获最多的为灰麝鼩 39 只, 其次为巢鼠及中华姬鼠 (各 13 只), 未曾

捕获到小泡巨鼠, 说明陷阱法对小型个体捕获效果好, 大型个体 (如个体重量超过 100g 的针毛鼠、小泡巨鼠等) 可以从陷阱边上绕过或从陷阱里跳出而逃逸 (表 1)。对所捕获到的小型兽类体重进行统计分析, 表明笼捕法所捕获到个体的体重为  $(87.8 \pm 91.3) \text{ g}$  为陷阱法所捕获到个体的体重的近 4 倍  $(23.9 \pm 19.8) \text{ g}$  ( $t = 6.546$ ,  $df = 198$ ,  $P < 0.001$ )。

表 1 笼捕法与陷阱法所捕获的小型兽类

Table 1 Small mammals trapped by live traps and pitfall traps in the Banruosi forest in Dujiangyan Region, Southwest China

物种 Species	捕获个体数 Specimens collected	
	笼捕法 Live traps	陷阱法 Pitfall traps
中华姬鼠 <i>Apodemus draco</i>	11	13
大耳姬鼠 <i>A. latronum</i>	15	8
高山姬鼠 <i>A. chevrieri</i>	1	8
黑腹绒鼠 <i>Eothenomys melanogaster</i>	1	3
小泡巨鼠 <i>Leopoldamys edwardsi</i>	8	-
巢鼠 <i>Micromys minutus</i>	2	13
社鼠 <i>Niviventer confucianus</i>	28	4
针毛鼠 <i>N. fulvescens</i>	43	1
四川短尾鼩 <i>Anourosorex squamipes</i>	-	2
灰麝鼩 <i>Crocidura attenuata</i>	-	39
合计 Totals	109	91
物种总数 Species occurring in each method	8	9

## 3 讨论

研究结果显示, 笼捕法和陷阱法所捕获的地栖性小型兽类在物种丰富度上存在较小差异, 但在物种组成、多样性特征和物种体重上则存在较大差异。这可能与不同调查方法的捕获原理、取样方式和取样强度等存在一定关系。结合肖治术等 (2002) 报道秋季采用夹捕法在同一区域 (都江堰般若寺林区) 对 7 个生境类型 (森林斑块) 所调查到的小型兽类物种组成和体重数据, 发现笼捕法和夹捕法主要捕获个体较大的啮齿目种类, 如小泡巨鼠和社鼠等, 但极少捕获食虫目种类; 而陷阱法主要捕获个体较小的啮齿目种类和食虫目种类, 如巢鼠、四川短尾鼩、灰麝鼩等。通常, 个体较大的种类如小泡巨鼠和针毛鼠等易于爬出或跳出陷阱, 故较难为陷阱法所捕获。因此, 一些研究建议通过增加陷阱高度来提高个体较大物种的捕获效率 (Wil-

liams and Braun, 1983; Umetsu *et al.*, 2006; 古晓东等, 2009)。Umetsu 等 (2006) 研究发现, 笼捕法和陷阱法均适合于调查成年个体, 而陷阱法也适合于捕捉亚成年个体, 而且所捕获的种类与陷阱大小呈正相关关系。还需指出的是, 陷阱法也能捕获一些两栖类、爬行类动物 (如蜥蜴、蟾蜍、蛇) 以及许多地表昆虫等节肢动物。

综合国内外的相关研究, 本文对笼捕法、陷阱法和夹捕法等 3 种调查方法在小型兽类多样性监测与研究方面的优缺点和应用等情况进行了总结 (表 2)。就捕获动物类群来看, 笼捕法和夹捕法主要用于捕获啮齿目动物, 而陷阱法可捕获啮齿目、食虫目、两栖类和地表昆虫等多个动物类群。这说明陷阱法比笼捕法和夹捕法在小型兽类和相关动物的多样性监测和研究中具有明显的优势。此外, 笼捕法和夹捕法需要诱饵来捕获相关动物, 在诱捕期间, 笼捕法和夹捕法易受生境内食物可利用性的影

响,当食物资源丰富时可降低诱饵对动物的吸引,特别是食果或食种子的小型兽类(Adler and Lambert, 1997; 古晓东等, 2009)。而且单个捕获器单次通常仅捕获 1 个个体,从而影响后续其它个体的捕获,降低单位时间内的捕获效率。但陷阱法通常不需要诱饵,代价较低,一旦布设完成,在相同时间内可连续捕获落入陷阱中的各类动物,即单个捕获器可连续工作,在单位时间内可捕获更多个体

和种类。在本研究中,陷阱法的捕获率( $6.96 \pm 3.79$ )%比笼捕法的( $2.02 \pm 1.67$ )%高,这与 Williams 和 Braun (1983)、Maddock (1992)、Hice 和 Schmidly (2002) 等的调查结果一致。此外,陷阱法还可通过在陷阱周围增设围栏、改变陷阱高度或大小等来提高捕获率以捕获更多物种或动物类群(Williams and Braun, 1983; 古晓东等, 2009)。

表 2 笼捕法、夹捕法与陷阱法等 3 种调查方法在地栖性小兽多样性监测中的优缺点与应用

Table 2 Advantages, limitations and application among three trapping methods (live traps, snap traps and pitfall traps) for monitoring the diversity of ground-dwelling small mammals

比较项目 Comparative items	捕获方法 Trap methods		
	笼捕法 Live traps	陷阱法 Pitfall traps	夹捕法 Snap traps
捕获动物类群 Animal group			
啮齿目 Rodentia	多数种类 Most species	以小型种类为主 Species with small body mass	多数种类 Most species
食虫目 Insectivora	极少种类 Few species	多数种类 Most species	极少种类 Few species
两爬类 Reptilia & Amphibia	无 No	多数种类 Most species	无 No
地表昆虫 Surface insects	无 No	多数种类 Most species	无 No
代价与工作量 Cost & Workload	代价高且工作量较大 Higher cost and more workload	代价低但工作量较大 Lower cost but more workload	代价较低且工作量最小 Lower cost and less workload
诱饵 Baits	需要 Required	不需要但需添加适量的清水 Not required but need water for keeping animals from escaping	需要 Required
单个捕获器单位时间可否连续捕获 More animals trapped with one trap per unit time	不能 No	能 Yes	不能 No
被捕后的动物状态 Conditions of animals captured	活的,但有少数个体死亡 Alive but some individuals dead occasionally	死亡 Dead	死亡 Dead
其他 Others	捕鼠又放鼠不受群众欢迎 Captured then released, not favored by local people	可在陷阱边缘增设围栏、改变围栏大小或高度等以增加捕获率; 鼠害控制 Established with fences or change trap size to increase trap success; pest rodent control	可用于鼠害控制 Pest rodent control
应用 Applications	种群和多样性监测 Monitoring population and biodiversity	多样性监测 Monitoring biodiversity	种群和多样性监测 Monitoring population and biodiversity

笼捕法的最大优点在于所捕获的动物个体多数是活体(但因天气等因素可造成少量个体死亡),对物种和生境的影响最小,故其经常被国外学者用于小型兽类(主要为啮齿类动物)的多样性和种群的连续监测(Weiner and Smith, 1972; Williams and Braun, 1983; Boonstra and Rodd, 1984; Lyra-

Jorge and Pivello, 2001)。从野生动物保护和动物伦理的角度考虑,笼捕法是一种值得采用和推广的小型兽类群落和种群调查方法。不过,笼捕法使用时因代价高、工作量大,且捕鼠又放鼠不受群众欢迎,在国内应用不广泛。此外,夹捕法和陷阱法常导致个体死亡,故可用于灭鼠,也可用于短期种群

密度估计和多样性调查 (表 2)。由于夹捕法安放简单、快速, 代价较低且可操作性强, 因此可在偏远区域应用夹捕法来替代笼捕法对啮齿类动物的多样性进行监测。

综上所述, 笼捕法适合于调查个体较大的啮齿目种类, 但需要诱饵引诱; 而陷阱法代价较低, 可连续捕获以增加单位时间的捕获效率, 适合于捕获个体较小的啮齿目和食虫目种类。由于笼捕法、陷阱法在捕获小型兽类种类上存在较大差异, 可以相互补充。因此在野外调查中应根据研究目的、研究问题以及人力、物力等来选择最佳调查方法。由于陷阱法 (或夹捕法) 常导致动物个体死亡, 因此在小型兽类 (特别是啮齿类动物) 种群和群落监测中最好采用笼捕法。也建议同时采用笼捕法和陷阱法来全面监测地栖性小型兽类的多样性, 且可夹捕法在偏远区域替代笼捕法来监测啮齿动物的多样性。

致谢: 感谢中国科学院动物所于晓东副研究员对本文提出的修改建议; 感谢汪成强、汪训龙、周光平等协助野外调查。

#### 参考文献:

- Adler G H, Lambert D. 1997. Ecological correlates of trap response of a neotropical forest rodent, *Proechimys semispinosus*. *Journal of Tropical Ecology*, **13** (1): 59–68.
- Barnes R F W. 2001. How reliable are dung counts for estimating elephant numbers? *African Journal of Ecology*, **39** (1): 1–9.
- Bider J R. 1968. Animal activity in uncontrolled terrestrial communities as determined by sand transect technique. *Ecological Monographs*, **38** (4): 269–308.
- Boonstra R, Krebs C J. 1978. Pitfall trapping of *Microtus townsendii*. *Journal of Mammalogy*, **59** (1): 136–148.
- Boonstra R, Rodd F H. 1984. Efficiency of pitfall versus live traps in enumeration of populations of *Microtus pennsylvanicus*. *Canadian Journal of Zoology*, **62** (5): 758–765.
- Chen C D. 2000. The Dujiangyan Region-Pivot sector of assemblage, differentiation and maintenance of biodiversity in northern part of Hengduan Mountain. *Acta Ecologica Sinica*, **20** (1): 28–34. (in Chinese)
- Doucet G J, Bider J R. 1974. The effect of weather on the activity of the masked shrew. *Journal of Mammalogy*, **55** (2): 348–363.
- Eberhardt L, Van Etten R C. 1956. Evaluation of the pellet group count as a deer census method. *Journal of Wildlife Management*, **20** (1): 70–74.
- Fashing P J, Cords M. 2000. Diurnal primate densities and biomass in the Kakamega forest: an evaluation of census methods and a comparison with other forests. *American Journal of Primatology*, **50**: 139–152.
- Gannon W L, Foster M S. 1996. Recording mammal calls. In: Wilson D E, Cole F R, Nichols J D, Rudran R, Foster M S eds. *Measuring and Monitoring Biological Diversity*. Washington: Smithsonian Institution Press, 311–325.
- Gerard A S, Feldhamer G A. 1990. A comparison of two survey methods for shrews: pitfalls and discarded bottles. *American Midland Naturalist*, **124** (1): 191–194.
- Gu X D, Liang C P, Dai Q, Li C. 2009. A simple and convenient method for measuring and monitoring small terrestrial vertebrates: drift fences and pitfall traps. *Sichuan Journal of Zoology*, **28** (2): 273–276. (in Chinese)
- He B S, Yuan Z H, Zhang X M, Li X J, Li J. 2009. Infrared triggered camera trap survey technique and monitoring. *Science Journal of Northwest University Online*, **7** (10): 1–5. (in Chinese)
- Hice C L, Schmidly J. 2002. The effectiveness of pitfall traps for sampling small mammals in the Amazon basin. *Mastozoologia Neotropical*, **9** (11): 85–89.
- Hill M O. 1973. Diversity and evenness: a unifying consequence. *Ecology*, **54**: 427–431.
- Li J S, Song Y L, Xu C B, Zeng Z G, Song Y. 2003. Studies on biodiversity of small mammals along different habitat gradients in the Xi'aoxing'anling forest region, China. *Acta Ecologica Sinica*, **23** (6): 1037–1047. (in Chinese)
- Li Q, Wu J G, Kou X J, Feng L M. 2013. Applications of camera trap in wildlife population ecology. *Chinese Journal of Applied Ecology*, **24** (4): 947–955. (in Chinese)
- Lyra-Jorge M C, Pivello V R. 2001. Combining live trap and pitfall to survey terrestrial small mammals in savanna and forest habitats, in Brazil. *Mammalia*, **65** (4): 524–530.
- Maddock A H. 1992. Comparison of two methods for trapping rodents and shrews. *Israel Journal of Zoology*, **38** (3): 333–340.
- Mengak M T, Guynn D C. 1987. Pitfalls and snap traps for sampling small mammals and herpetofauna. *American Midland Naturalist*, **118** (2): 284–288.
- Pucek Z. 1969. Trap response and estimation of numbers of shrews in removal catches. *Acta Theriologica*, **14** (28): 403–426.
- Silveira L, Jacomo A T A, Diniz-Filho J A F. 2003. Camera trap, line transect census and track surveys: a comparative evaluation. *Biological Conservation*, **114**: 351–355.
- Smith M H, Gardner R H, Gentry J B, Kaufman D W, O'Farrell M H. 1975. Density estimation of small mammal populations. In: Golley F B, Petrusewicz K, Ryszkowski L eds. *Small Mammals: Their Productivity and Population Dynamics*. Cambridge, Cambridge University Press, 25–53.
- Tong L, Lu J Q. 2010. Community structure and its seasonal variation of small mammals in Xishuangbanna of Yunnan, China. *Chinese Journal of Ecology*, **29** (9): 1770–1776. (in Chinese)

- Umetsu F, Nacara L, Pardini R. 2006. Evaluating the efficiency of pitfall traps for sampling small mammals in the neotropics. *Journal of Mammalogy*, **87** (4): 757–765.
- Weiner J G, Smith M H. 1972. Relative efficiencies of four small mammal traps. *Journal of Mammalogy*, **53** (4): 868–873.
- Williams D F, Braun S E. 1983. Comparison of pitfall and conventional traps for sampling small mammal populations. *Journal of Wildlife Management*, **47** (3): 841–845.
- Xiao Z S, Wang Y S, Zhang Z B, Ma Y. 2002. Preliminary studies on the relationships between communities of small mammals and habitat types in Dujiangyan, Sichuan. *Biodiversity Science*, **10** (2): 163–169. (in Chinese)
- Zhang M W, Li B, Wang Y, Jiang F, Guo Y W, Guo C, Huang Y, Zhu Y X, Zhou Z H, Zhang G Q. 2010. Report on the surveillance of the population fluctuations of small mammal (include Insectivora and Rodentia) in earthquake area of Sichuan, China. *Acta Ecologica Sinica*, **30** (19): 5253–5263. (in Chinese)
- Zhang S S, Bao Y X, Wang Y N, Fang F P, Ye B. 2013. Estimating rodent density using infrared-triggered camera technology. *Acta Ecologica Sinica*, **33** (10): 3241–3247. (in Chinese)
- Zhou L Z, Ma Y. 2002. Distribution patterns of rodent diversity in arid regions of West China. *Biodiversity Science*, **10** (1): 44–48. (in Chinese)
- 陈昌笃. 2000. 都江堰地区——横断山北段生物多样性交汇、分化和存留的枢纽地段. *生态学报*, **20** (1): 28–34.
- 古晓东, 梁春平, 戴强, 李成. 2009. 一种简便实用的小型陆栖脊椎动物监测方法——围栏陷阱法. *四川动物*, **28** (2): 273–276.
- 何佰锁, 袁朝晖, 张希明, 李小技, 李健. 2009. 红外线触发数码相机陷阱技术在大熊猫监测中的应用. *西北大学学报(自然科学网络版)*, **7** (10): 1–5.
- 李俊生, 宋延龄, 徐存宝, 曾治高, 宋影. 2003. 小兴安岭林区不同生境梯度中小型哺乳动物生物多样性. *生态学报*, **23** (6): 1037–1047.
- 李勤, 邬建国, 寇晓军, 冯利明. 2013. 相机陷阱在野生动物种群生态学中的应用. *应用生态学报*, **24** (4): 947–955.
- 全磊, 路纪琪. 2010. 西双版纳地区小型哺乳动物群落结构及其季节变动. *生态学杂志*, **29** (9): 1770–1776.
- 肖治术, 王玉山, 张知彬, 马勇. 2002. 都江堰地区小型哺乳动物群落与生境类型关系的初步研究. *生物多样性*, **10** (2): 163–169.
- 张美文, 李波, 王勇, 蒋凡, 郭永旺, 郭聪, 黄英, 朱云学, 周志辉, 张光清. 2010. 四川地震灾区灾后一年农村小兽监测报告. *生态学报*, **30** (19): 5253–5263.
- 章书声, 鲍毅新, 王艳妮, 方平福, 叶彬. 2013. 红外相机技术在鼠类密度估算中的应用. *生态学报*, **33** (10): 3241–3247.
- 周立志, 马勇. 2002. 中国西部干旱地区兽类多样性分布格局. *生物多样性*, **10** (1): 44–48.