

鼠类扩散种子的几种标签标记法的比较*

常 罡^{1,2**}

(¹陕西省动物研究所, 西安 710032; ²农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101)

摘 要 以四川省都江堰市亚热带常绿阔叶林内的优势鼠种——小泡巨鼠为实验动物, 通过半自然状态围栏控制实验, 检验了几种种子标签法对鼠类扩散植物种子的影响。结果表明: 鱼线和细钢丝两种标记线在跟踪扩散种子命运上都是很有有效的, 但考虑到鱼线有时会被实验鼠咬断, 细钢丝是更值得推广应用的一种标记线。3 种标记牌(大塑料牌、小塑料牌和金属牌)在跟踪扩散种子命运上没有显著差异, 但由于较大的尺寸和较强的可见度, 大塑料牌更适合作为标签应用于野外种子扩散标记。

关键词 标签法; 种子扩散; 种子贮藏; 半自然围栏

中图分类号 Q958.12 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2012)3-0684-05

Comparison of several tag-marked methods in seed dispersal by rats. CHANG Gang^{1,2**} (¹Shaanxi Institute of Zoology, Xi'an 710032, China; ²State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents in Agriculture, Beijing 100101, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(3): 684-688.

Abstract: Using Edward's long-tailed rat (*Leopoldamys edwardsi*), a dominant species in subtropical evergreen broadleaf forests in Dujiangyan City of Sichuan Province, as the experimental animal, a field study with semi-natural enclosure was conducted to examine the effects of several tag-marked methods on the seed dispersal by rats. Among the methods examined, both the marked lines fishing thread and thin steel wire were effective on tracking the seed fates dispersed by rats, but, in considering that the fishing thread was sometimes bitted off by experimental rats, the steel wire was more worthy of application as a kind of perfect marked line. Three kinds of marked tags, *i. e.*, large plastic tag, small plastic tag, and wire tag, did not differ on tracking the seed fates dispersed by rats, but the large plastic tag, due to its large size and strong visibility, was more suitable to be a perfect marked tag for field seed dispersal.

Key words: tag-marked method; seed dispersal; seed hoarding; semi-natural enclosure.

以动物为媒介的种子扩散是植物实现自身更新的关键过程(Howe & Smallwood, 1982), 如何确定种子的最终命运是研究种子扩散的一个重要方面。因此, 种子扩散过程中面临的障碍就是如何追踪被扩散种子的命运(Levey & Sargent, 2000)。目前, 许多的标记方法已经被应用到鼠类扩散植物种子的过程中(肖治术和张知彬, 2003), 例如直接观察法(Stapanian & Smith, 1984)、金属(磁铁)标记法(Moore *et al.*, 2007)、荧光标记法(Levey & Sargent, 2000)、同位素标记法(Vander Wall, 2002; Hollander & Vander Wall, 2004; Briggs & Vander Wall, 2009)、

遗传标记法(Godoy & Jordano, 2001; Hardesty *et al.*, 2006)、线标法(Forget, 1992; Theimer, 2001; Jansen *et al.*, 2002)、标签法(Zhang & Wang, 2001; Cheng *et al.*, 2005; Xiao *et al.*, 2006, 2008; Li & Zhang, 2007; Zhang *et al.*, 2008; 常罡和邵发道, 2011)等。

标签法是由 Zhang 和 Wang(2001)在线标法的基础上改进而成的, 它突出了对每个种子的数字化编号, 从而能够识别每个种子的来源和去向, 并能详细了解鼠类的多次贮藏行为及其对种子命运和种子扩散的影响(肖治术和张知彬, 2006)。这种方法所需要的费用相当低廉, 而且不会带来像荧光染料、同位素等所造成的安全性和环境污染等问题, 因此被越来越多的国外生态学家所采用(Gomez *et al.*,

* 国家自然科学基金重点项目(30430130)资助。

** 通讯作者 E-mail: snow1178@snnu.edu.cn

收稿日期: 2011-08-15 接受日期: 2011-11-24

2008)。但是,标签法同样存在缺点,线、金属丝或者数字化标牌(金属片或塑料片)是否影响鼠类搬运、取食和贮藏种子还存在一定的争论(Forget & Wenny 2005)。

因此,本研究旨在通过围栏控制实验,检验几种标签法对鼠类搬运和贮藏种子的影响,以期标签法的应用提供详实的实验证据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地点

本研究于2006年9—12月在四川省都江堰市般若寺实验林场内进行,该地区(30°45′N—31°22′N,107°25′E—103°47′E)气候属于中亚热带,年均气温15.2℃左右,雨量充沛,年降水量1200~1800mm,湿度大,云雾多,日照少(常罡等2008)。

1.2 实验动物及种子

本研究选择该地区的优势鼠种——小泡巨鼠为实验动物。小泡巨鼠(*Leopoldamys edwardsi*)隶属于啮齿目(Rodentia)鼠科(Muridae)长尾巨鼠属(*Leopoldamys*),是都江堰亚热带常绿阔叶林内的优势鼠种之一(胡锦涛和王西之,1984;肖治术等,2002)。前期研究表明,小泡巨鼠分散贮藏多种坚果,如栓皮栎(*Quercus varialilis*)、枹栎(*Q. serrata*)、栲树(*Castanopsis fargesii*)、石栎(*Lithocarpus harlandii*)、青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)和油茶(*Camellia oleifera*)等(肖治术等2003; Cheng *et al.* 2005),而且是该地区鼠类中分散贮藏种子的主要鼠种(Chang & Zhang 2011)。所有实验鼠均在实验开始之前用活捕笼在野外捕获,待称重、鉴定性别后放入45 cm×30 cm×25 cm的饲养笼内以鼠饲料(四川大学实验中心提供)单独喂养2~3周后用于实验。本次实验共选择了8只健康成年小泡巨鼠(雌雄各半,平均体重394.95 g±24.6 g)。所有8只个体均进行以下两部分检验。

前期的研究工作表明小泡巨鼠喜好贮藏油茶种子(Cheng *et al.* 2005),因此本研究选择油茶种子来进行标记检验。油茶,隶属于茶科(Theaceae)茶属(*Camellia*),是我国南方特有的重要的木本油料树种之一,主要分布在淮河和秦岭以南的广大地区。油茶为多年生常绿灌木或小乔木,花两性,11月—翌年2月为主要开花期,到次年秋季(9—11月)果实成熟,蒴果木质,内含1至数粒种子(平均重量0.87 g±0.07 g, n=60)。当油茶种子在秋季成熟

后,从地面或母树上收集若干种子,从中选取饱满的种子用于实验。

1.3 实验设计

所有实验均在4个10 m×10 m的半自然围栏内进行。围栏构造以及种子标记的详细过程详见常罡等(2008)的报道。本研究共分为两部分实验:1)不同标记线的检验;2)不同标记牌的检验。每部分实验均包含找回和扩散两个阶段。实验开始前,所有的实验个体被依次放入围栏中自由活动2个昼夜,使其适应围栏的环境。

1.3.1 不同标记线的检验 将围栏均匀分为大小约2.0 m×1.6 m的30小格,每一小格中央处人工随机埋入无标记的种子、鱼线(直径0.7 mm)标记的种子和细钢丝(直径0.3 mm)标记的种子各10粒(图1),然后放入实验鼠,任其自由活动一夜。第2天取出实验鼠,调查埋藏种子的命运(存留或消失的比例)(找回阶段)。之后将围栏清理干净,再放入各10粒无标记的种子、鱼线标记的种子和细钢丝标记的种子于围栏中央释放点处,放入同一只实验鼠。第3天取出实验鼠,调查所有种子命运(主要为搬运和分散贮藏的比例)(扩散阶段)。最后清理围栏,放入其他个体重复实验。

1.3.2 不同标记牌的检验 分别采用人工埋藏和鼠类自身埋藏这两种方式来检验种子标记牌的影响。因为人工埋藏的种子在围栏内是均匀分布的,而鼠类自身埋藏的种子在围栏内则是随机分布的,所以同时采用这两种方法来检验种子标记牌的影响。

在人工埋藏实验中,将围栏均匀分为大小约2.0 m×1.2 m的40小格(类似于图1),每一小格中央处随机埋入无标记的种子、大塑料片(2 cm×

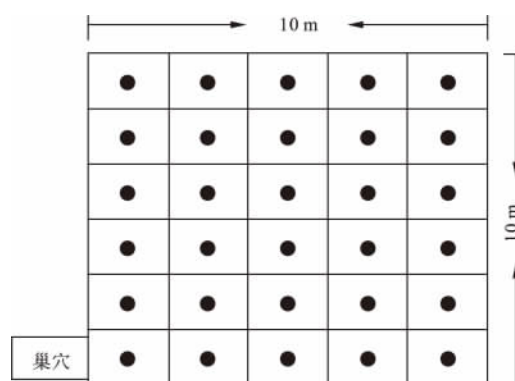


图1 不同标记种子在围栏内的人工埋藏分布
Fig.1 Artificial hoarding distribution of different marked seeds in enclosures

5 cm) 标记的种子、小塑料片(1 cm×3 cm) 标记的种子以及金属片(1 cm×3 cm) 标记的种子各 10 粒(标记线均为细钢丝), 然后放入实验鼠, 任其自由活动一夜。第 2 天取出实验鼠, 调查埋藏种子的命运(存留或消失的比例)(找回阶段)。之后清理围栏, 再放入各 10 粒无标记的种子、大塑料片标记的种子、小塑料片标记的种子以及金属片标记的种子于围栏中央释放点处, 放入同一只实验鼠。第 3 天取出实验鼠, 调查所有种子命运(主要为搬运和分散贮藏的比例)(扩散阶段)。最后清理围栏, 放入其他个体重复实验。

在鼠类自身埋藏实验中, 第 1 天将大塑料片标记的种子、小塑料片标记的种子以及金属片标记的种子各 10 粒放入围栏中央释放点处, 然后放入一只实验鼠, 任其自由活动一夜。第 2 天取出实验鼠, 保留被埋藏的种子并记录其坐标, 清理存留的种子及取食碎片。然后放入另一只实验鼠, 任其自由活动一夜。第 3 天调查所有埋藏种子的命运(存留或消失的比例)。最后清理围栏, 放入其他个体重复实验。

本研究将种子命运主要分为以下 3 种: 1) 存留: 种子在释放点完好保留, 未被取食或移动; 2) 搬运: 种子被搬离释放点, 包括被取食和被分散贮藏; 3) 分散贮藏: 种子被分散埋藏于地表或草丛中。

1.4 统计分析

所有数据均在 SPSS for Windows(Version 13.0) 软件上进行分析。百分比数据均先经过反正弦-开平方根转换后用于统计分析。单因素方差分析(one-way ANOVA) 及多重比较(Bonferroni) 用来检验人工埋藏的不同标记线或标记牌种子被实验鼠发现的差异以及检验不同标记线或标记牌种子被实验鼠搬运和分散贮藏的差异(其中不同标记线的分散贮藏差异用配对样本 *T* 检验(paired-samples *T* test) 来分析); 单因素方差分析也用来检验鼠类自身埋藏的不同标记牌种子被其他个体发现的差异。

2 结果与分析

2.1 不同标记线的检验

从图 2 可见, 尽管鱼线和细钢丝标记的种子被发现的比例稍高于无标记的种子, 但是它们之间并没有达到显著差异($F = 0.582, df = 2, P = 0.568$) (图 2), 两两配对的多重比较检验也没有显著差异($P > 0.05$)。同样, 实验鼠对这几种标记种子的搬运

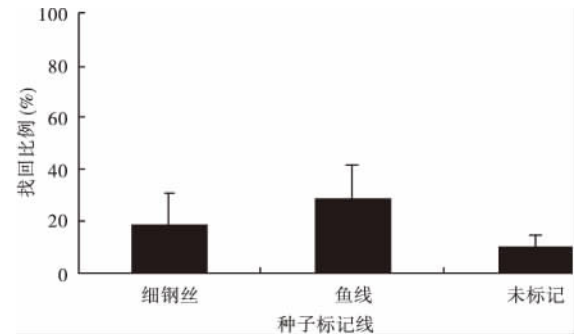


图 2 不同标记线种子的找回比例

Fig. 2 Recovery proportion of different line-marked seeds 数值为平均值±标准误。下同。

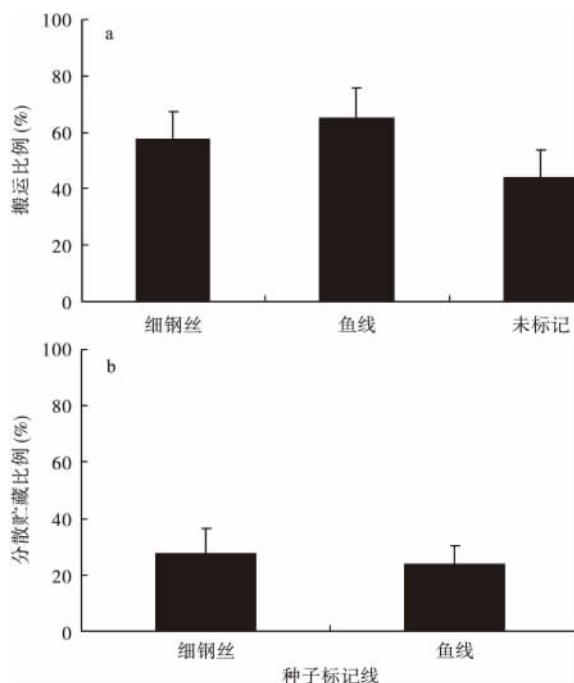


图 3 不同标记线种子的搬运和分散贮藏比例

Fig. 3 Removal and hoarding proportion of different line-marked seeds

a) 搬运比例; b) 分散贮藏比例。

($F = 1.314, df = 2, P = 0.290$) 和分散贮藏($T = 0.227, df = 1, P = 0.827$) 也没有显著差异(图 3)。

2.2 不同标记牌的检验

在人工埋藏检验中, 各种标记牌并没有显著影响鼠类对埋藏种子的选择($F = 0.759, df = 3, P = 0.526$) (图 4), 两两配对的多重比较检验也没有显著差异($P > 0.1$)。同样, 实验鼠对这 3 种标记牌所标记的种子在搬运($F = 0.987, df = 3, P = 0.413$) 和分散贮藏($F = 0.912, df = 2, P = 0.417$) 上也没有显著差异(图 5)。在鼠类自身埋藏检验中, 3 种标记牌在找回比例上也没有显著差异($F = 0.810, df = 2, P = 0.475$) (图 6)。

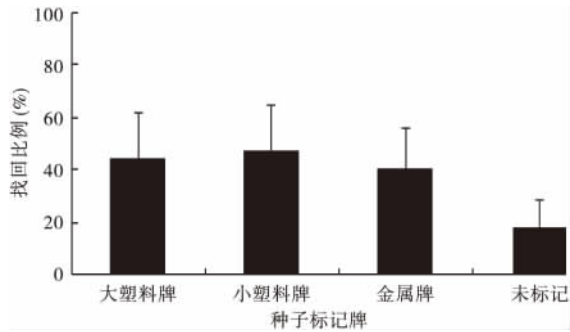


图4 不同标记牌种子的找回比例
Fig. 4 Recovery proportion of different tag-marked seeds

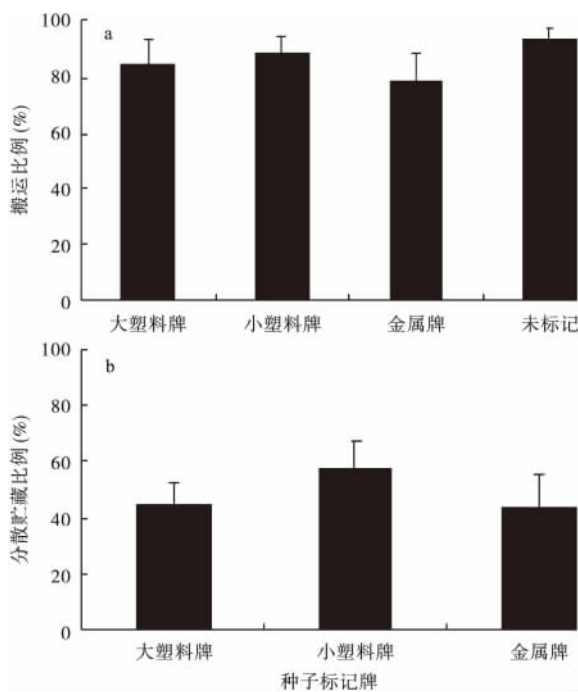


图5 不同标记牌种子的搬运和分散贮藏比例
Fig. 5 Removal and hoarding proportion of different tag-marked seeds
a) 搬运比例; b) 分散贮藏比例。

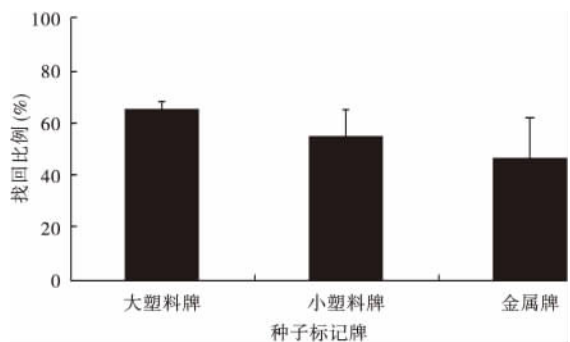


图6 不同标记牌种子的找回比例
Fig. 6 Recovery proportion of different tag-marked seeds

3 讨论

本研究结果表明,不同标记线和标记牌对鼠类搬运和贮藏种子并没有显著的影响,这和 Xiao 等(2006)的野外研究结果是相一致的。他们的野外研究表明,线或者标记牌标记的种子同样会被动物进行多次的搬运和贮藏,这与同位素标记法所观察到的多次贮藏现象非常相似(Vander Wall, 2002),证明标签法在追踪种子扩散命运方面是非常有效的,而且这种方法被越来越多的国外生态学家所认可(Gomez et al., 2008)。

通过几种标记方法的比较,本研究认为细钢丝和大塑料牌是最合适的标记材料。实验中发现鱼线有被咬断的现象,一旦鱼线被咬断,就无法继续跟踪其所标记的种子的命运。而细钢丝则非常坚固,不易被鼠类咬断,所以是线标法非常理想的替代品。以往的线标法尽管在追踪种子命运方面非常有效,但都普遍存在一个问题,即无法定位所埋藏的种子。因为当标记种子的样本量非常大时,就无法判断每个种子的来源信息。直到 Zhang 和 Wang(2001)在线标法的基础上增加了数字化标牌,对每一个种子都进行数字化标记,这样就能够知晓每一个种子的来源和去向。本研究检验了3种数字化标牌,结果表明这3种标牌之间没有显著差异,但是考虑到大塑料牌在野外调查中会提供更强的视觉信号(体积大,便于寻找),因此本研究认为大塑料牌更适合作为数字化标牌应用于野外种子扩散标记。

本研究结果表明,标签法还存在一定的局限性。首先,在找回比例方面,两个实验中未标记种子的找回比例都偏低,说明线或者标记牌对鼠类的搜寻行为会起到一定的引导作用。其他一些学者的研究表明,标记物会给某些日行性鼠类(如松鼠等)传递某种信号(视觉或记忆),从而便于这些鼠类快速的找到标记种子(Jacobs & Liman, 1991; Vander Wall, 2003)。例如, Jacobs 和 Liman(1991)通过采用不同颜色的石块作为视觉信号,来引导灰松鼠埋藏和找回种子,结果显示,灰松鼠更多的找回自身所埋藏的种子,说明灰松鼠能够凭借一些视觉信号来记住自身的埋藏点。但是,在本研究地区主要分布的是一些夜行性鼠类,它们主要依靠嗅觉来觅食,因此标记线或者标记牌所表现出来的视觉信号对这些鼠类的觅食和贮藏行为可能不会有太大的影响。潜在的影响可能是鼠类会通过初次的接触而熟悉这些标记,

从而在以后的觅食和贮藏过程中尽可能多的搜寻标记种子。其次,正如 Xiao 等(2006)所观察到的那样,标签法会降低某些种子的幼苗萌发率。因为在标记过程中会对种子进行穿孔,尽管不会损害种子的胚部分,但是穿孔的种子容易受到细菌或微生物的感染(Jansen *et al.* 2004),从而影响其萌发。

总而言之,本研究表明,标签法是一种非常可行的种子标记方法。几种不同标记线和标记牌对鼠类搬运和贮藏种子没有显著的影响,但是细钢丝和大塑料片更适合作为标签应用于野外种子扩散标记。尽管标签法还存在一定的缺陷,但是它简单的操作、低廉的费用以及不会对环境造成污染等优点仍然使得标签法成为目前应用最为广泛的种子标记方法之一。

致谢 中国科学院动物研究所张知彬研究员、肖治术副研究员对本研究进行了指导和帮助,在此表示感谢!

参考文献

- 常 罡, 邵发道. 2011. 季节变化对锐齿栎种子扩散的影响. *生态学杂志*, **30**(1): 189-192.
- 常 罡, 肖治术, 张知彬. 2008. 种子大小对小泡巨鼠贮藏行为的影响. *兽类学报*, **28**(1): 37-41.
- 胡锦矗, 王西之. 1984. 四川资源动物志: 兽类. 成都: 四川科学技术出版社.
- 肖治术, 王玉山, 张知彬, 等. 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.
- 肖治术, 张知彬, 王玉山. 2003. 小泡巨鼠对森林种子选择和贮藏的观察. *兽类学报*, **23**(3): 208-213.
- 肖治术, 张知彬. 2003. 食果动物传播种子的跟踪技术. *生物多样性*, **11**(3): 248-255.
- 肖治术, 张知彬. 2006. 金属片标签法: 一种有效追踪鼠类扩散种子的方法. *生态学杂志*, **25**(10): 1292-1295.
- Briggs JS, Vander Wall SB. 2009. Forest rodents provide directed dispersal of Jeffrey pine seeds. *Ecology*, **90**: 675-687.
- Chang G, Zhang ZB. 2011. Differences in hoarding behaviors among six sympatric rodent species on seeds of oil tea (*Camellia oleifera*) in Southwest China. *Acta Oecologica*, **37**: 165-169.
- Cheng JR, Xiao ZS, Zhang ZB. 2005. Seed consumption and caching on seeds of three sympatric tree species by four sympatric rodent species in a subtropical forest, China. *Forest Ecology and Management*, **216**: 331-341.
- Forget PM, Wenny D. 2005. How to elucidate seed fate? A review of methods used to study seed removal and secondary seed dispersal// Forget PM, Lambert J, Hulme PE, eds. *Seed Fate: Seed Predation, Seed Dispersal and Seedling Establishment*. Wallingford: CABI Publishing: 379-393.
- Forget PM. 1992. Seed removal and seed fate in *Gustavia superba* (Lecythidaceae). *Biotropica*, **24**: 408-414.
- Godoy JA, Jordano P. 2001. Seed dispersal by animals: Exact identification of source trees with endocarp DNA microsatellite. *Molecular Ecology*, **10**: 2275-2283.
- Gomez JM, Puerta-Pinero C, Schupp EW. 2008. Effectiveness of rodents as local seed dispersers of Holm oaks. *Oecologia*, **155**: 529-537.

- Hardesty BD, Hubbell SP, Bermingham E. 2006. Genetic evidence of frequent long-distance recruitment in a vertebrate-dispersed tree. *Ecology Letters*, **9**: 516-525.
- Hollander JL, Vander Wall SB. 2004. Effectiveness of six species of rodents as dispersers of singleleaf pinon pine (*Pinus monophylla*). *Oecologia*, **138**: 57-65.
- Howe HF, Smallwood J. 1982. Ecology of seed dispersal. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **13**: 201-228.
- Jacobs LF, Liman ER. 1991. Grey squirrels remember the locations of buried nuts. *Animal Behaviour*, **41**: 103-110.
- Jansen PA, Bartholomeus M, Bongers F, *et al.* 2002. The role of seed size in dispersal by a scatter-hoarding rodent// Levey D, Silva WR, Galetti M, eds. *Seed Dispersal and Frugivory: Ecology, Evolution and Conservation*. Wallingford: CABI Publishing: 209-225.
- Jansen PA, Hemerik L, Bongers F. 2004. Seed mass and mast seeding enhance dispersal by a neotropical scatter-hoarding rodent. *Ecological Monographs*, **74**: 569-589.
- Levey DJ, Sargent S. 2000. A simple method for tracking vertebrate dispersed seeds. *Ecology*, **81**: 267-274.
- Li HJ, Zhang ZB. 2007. Effects of mast seeding and rodent abundance on seed predation and dispersal by rodents in *Prunus armeniaca* (Rosaceae). *Forest Ecology and Management*, **242**: 511-517.
- Moore JE, McEuen AB, Swihart RK, *et al.* 2007. Determinants of seed-removal distance by scatter-hoarding rodents in deciduous forests. *Ecology*, **88**: 2529-2540.
- Stapanian MA, Smith CC. 1984. Density-dependent survival of scatter hoarded nuts: An experimental approach. *Ecology*, **65**: 1387-1396.
- Theimer TC. 2001. Seed scatter-hoarding by white-tailed rats: Consequence for seedling recruitment by an Australian rain forest tree. *Journal of Tropical Ecology*, **17**: 177-189.
- Vander Wall SB. 2002. Second dispersal of Jeffrey pine seeds by rodent scatter hoarders: The roles of pilfering, reaching, and a variable environment// Levey DJ, Silva WR, Galetti M, eds. *Seed Dispersal and Frugivory: Ecology, Evolution and Conservation*. Wallingford: CABI Publishing: 193-208.
- Vander Wall SB. 2003. Effects of seed size of wind-dispersed pines (*Pinus*) on secondary seed dispersal and the caching behavior of rodents. *Oikos*, **100**: 25-34.
- Xiao ZS, Chang G, Zhang ZB. 2008. Testing the high-tannin hypothesis with scatter-hoarding rodents: Experimental and field evidence. *Animal Behaviour*, **75**: 1235-1241.
- Xiao ZS, Jansen PA, Zhang ZB. 2006. Using seed-tagging methods for assessing post-dispersal seed fate in rodent-dispersed trees. *Forest Ecology and Management*, **223**: 18-23.
- Zhang HM, Chen Y, Zhang ZB. 2008. Differences of dispersal fitness of large and small acorns of Liaodong oak (*Quercus liaotungensis*) before and after seed caching by small rodents in a warm temperate forest, China. *Forest Ecology and Management*, **255**: 1243-1250.
- Zhang ZB, Wang FS. 2001. Effect of rodents on seed dispersal and survival of wild apricot (*Prunus armeniaca*). *Acta Oecologica Sinica*, **21**: 839-845.

作者简介 常 罡 男, 1978年生, 博士, 助理研究员, 主要从事动物行为生态及动植物相互关系的研究。E-mail: snow1178@snnu.edu.cn

责任编辑 刘丽娟