

# 蒙古栎种子相对丰富度对小兴安岭5种木本植物种子扩散的影响\*

于飞<sup>1,3</sup> 史晓晓<sup>2</sup> 易现峰<sup>3,4\*\*\*</sup> 王得祥<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>西北农林科技大学林学院,陕西杨凌 712100; <sup>2</sup>西北农林科技大学动物科技学院,陕西杨凌 712100; <sup>3</sup>河南科技大学农学院,河南洛阳 471003; <sup>4</sup>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 100080)

**摘要** 2009和2010年秋季,在黑龙江省伊春市带岭区东方红林场研究了蒙古栎结实量及啮齿动物密度变化对胡桃楸、红松、蒙古栎、毛榛和平榛5种木本植物种子扩散的影响。结果表明:在小兴安岭林区,啮齿动物种群数量具有年际变化,2009年小型啮齿动物的总捕获率(31.0%)显著高于2010年(16.7%);2009年蒙古栎种子雨密度( $6.2 \pm 2.1$ 粒·m<sup>-2</sup>)和种子相对丰富度(20.0)均显著低于2010年( $26.7 \pm 10.2$ 粒·m<sup>-2</sup>和160.0)。2009年,除胡桃楸种子外,其他种子全部被扩散或者被原地取食,其中蒙古栎种子被分散埋藏的比例最高,且种子平均扩散距离最大;2010年,胡桃楸种子被分散埋藏的比例最高,且种子平均扩散距离最大。研究区蒙古栎种子相对丰富度是影响其他木本植物种子扩散的重要因素。

**关键词** 蒙古栎种子 种子扩散 种子相对丰富度 小兴安岭

文章编号 1001-9332(2013)06-1531-05 中图分类号 Q958.11 文献标识码 A

**Effects of relative abundance of *Quercus mongolica* acorns on five tree species seed dispersal in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China.** YU Fei<sup>1,3</sup>, SHI Xiao-xiao<sup>2</sup>, YI Xian-feng<sup>3,4</sup>, WANG De-xiang<sup>1</sup> (<sup>1</sup> College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; <sup>2</sup> College of Animal Science and Technology, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; <sup>3</sup> Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, Henan, China; <sup>4</sup> State Key Laboratory of Integrated Pest Management, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China). -Chin. J. Appl. Ecol. 2013 24(6): 1531-1535.

**Abstract:** An investigation was conducted in a forest farm in the Xiaoxing'an Mountains in autumn, 2009 and 2010 to study the effects of *Quercus mongolica* acorn quantity and rodent density on the seed dispersal of five tree species (*Juglans mandshurica*, *Pinus koraiensis*, *Corylus mandshurica*, *Corylus heterophylla*, and *Q. mongolica*). In the farm, there was an annual change in rodent density. The total capture rate of small rodents in 2009 (31.0%) was significantly higher than that in 2010 (16.7%). The acorn quantity and relative seed abundance (per capita rodent) of *Quercus mongolica* in 2009 ( $6.2 \pm 2.1$  acorns · m<sup>-2</sup> and 20.0, respectively) were significantly lower than those in 2010 ( $26.7 \pm 10.2$  acorns · m<sup>-2</sup> and 160.0, respectively). In 2009, all the seeds of the five tree species except *J. mandshurica* were dispersed or eaten *in situ*, among which, the acorns of *Q. mongolica* were scatter-hoarded most, and their average dispersal distance was the furthest. In 2010, the seeds of *J. mandshurica* were scatter-hoarded most, and their average dispersal distance was the furthest. The relative seed abundance of *Q. mongolica* could be the key factor determining the seed dispersal of the other tree species in the study area.

**Key words:** *Quercus mongolica* acorn; seed dispersal; relative seed abundance; Xiaoxing'an Mountain.

种子产量显著影响动物对种子的扩散过程<sup>[1-2]</sup>。植物大量结实可以减少种子被捕食率并有

助于其扩散<sup>[3-5]</sup>,而种子小年中啮齿动物重新找回种子的比例显著高于种子大年<sup>[6]</sup>。种子捕食者种群会随着种子的结实量而波动<sup>[1]</sup>,有时因为食物不足而维持较小种群,随后出现的种子大年使得种子产

\* 国家自然科学基金项目(31172101,30930016)资助。

\*\* 通讯作者。E-mail: yxfeng1975@126.com

2012-08-07 收稿,2013-03-21 接受。

量超出捕食者的消耗量,被动物贮藏的种子得以萌发成苗<sup>[7]</sup>.因此,啮齿动物的种群数量波动也会对植物种子扩散产生重要的影响<sup>[8-10]</sup>.有研究表明,啮齿动物密度较高时,种子扩散速率会显著增加<sup>[11]</sup>;当扩散者密度低时,会增加对种子的埋藏<sup>[9,12]</sup>.Vander Wall<sup>[11]</sup>认为,啮齿动物在种子大年的搬运速率和种子平均扩散距离要显著高于种子小年.也有研究认为,种子产量越高,其扩散速率越慢<sup>[13-15]</sup>.由此可见,种子扩散常常会受到种子产量和扩散者种群密度的双重影响<sup>[16-17]</sup>.

以往的研究主要涉及大年结实对自身种子扩散的影响,很少涉及对其他木本植物种子的影响<sup>[17-18]</sup>,而且大多关注种子产量,很少同时考虑扩散者密度对种子扩散的影响<sup>[9,12]</sup>.由于啮齿动物群落组成和数量有着明显的年际变化,种子产量也会有所变动,这些因素都可能影响种子的扩散.2009年和2010年,除蒙古栎外,研究地点其他树种几乎没有结实,许多鼠类都将橡子作为过冬和繁殖期所需食物来源.本研究通过分析蒙古栎(*Quercus mongolica*)种子雨年际变化,探讨种子产量和啮齿动物种群数量变化对5种木本植物种子扩散的影响,阐明同域分布树种的种子扩散对种子相对丰富度的响应,以期进一步揭示动、植物间的相互关系,丰富扩散生态学理论.

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

本试验在小兴安岭南麓的黑龙江省伊春市带岭林业局东方红林场(45°58'N,129°08'E)进行,最高海拔1050 m,最低海拔250 m.该地区属于北温带大陆季风气候,年均气温1.4℃,极端最低温(1月上旬)-40℃,极端最高温37℃,月平均最低和最高气温分别为-19.4℃和20.9℃,≥10℃年积温2156℃.年均降水量660 mm,降水主要集中在5—9月,全年无霜期115 d.土壤为暗棕壤森林土.主要优势树种有:胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、蒙古栎、红松(*Pinus koraiensis*)、白桦(*Betula platyphylla*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、黄柏(*Platycladus orientalis*)和色木槭(*Acer mono*)等.在树冠下方常分布有毛榛(*Corylus mandshurica*)、平榛(*Corylus heterophylla*)、北五味子(*Schisandra chinensis*)和刺五加(*Acanthopanax senticosus*)等灌丛<sup>[19]</sup>.研究区的小型啮齿动物主要有大林姬鼠(*Apodemus peninsulae*)、棕背鼯(*Clethrionomys rufocanus*)和花鼠(*Tamias sibiricus*),

以植物种子为食.偶见松鼠(*Sciurus vulgaris*)和松鸦(*Garrulus glandarius*)参与植物种子的扩散<sup>[19]</sup>.

### 1.2 研究方法

**1.2.1 小型啮齿动物调查** 本试验使用活捕笼调查小型啮齿类的种类和数量<sup>[19]</sup>.选择与试验区相隔1 km左右的样地,设置6条样带,样带间隔50 m,每条样带上相隔5 m放置1个活捕笼,笼开口方向一致.下午置笼,翌日开始检查,清晨和黄昏各检查1次,连续置笼3 d.鼠类的捕获率=鼠类捕获数/总笼数.

**1.2.2 蒙古栎种子雨和种子相对丰富度调查** 在蒙古栎种子开始下落前,于样地内随机设置收集框30个,用于种子雨的调查.收集框用直径为5 mm铁丝做框架,框口直径79.8 cm,框的面积为0.5 m<sup>2</sup>,框底用网眼2 mm×2 mm的尼龙网做成.用3根2 m长的竹竿为支架撑起收集框,置于蒙古栎样树的下方,使网底距离地面1 m以上,避免动物取食影响种子雨的统计<sup>[20-21]</sup>.于2009年8月24日至9月20日和2010年8月21日至9月28日,每天收集种子收集框中的种子,装袋带回,标记.将收集物分类:1)完好(子叶完好新鲜,具有萌发能力);2)虫蛀(种皮上存在虫蛀孔,或切开后发现虫或卵或子叶被伤害);3)败育(胚未发育);4)壳斗.最后以完好和虫蛀橡子之和计算单位面积蒙古栎种子产量.

蒙古栎种子相对丰富度=蒙古栎种子雨密度/鼠类捕获率<sup>[17]</sup>.

**1.2.3 5种木本植物种子的收集、标记和释放** 选用胡桃楸、红松、蒙古栎、毛榛和平榛5种木本植物种子进行试验.种子特征值详见文献<sup>[19]</sup>.其中,胡桃楸种子最大、种皮最厚;毛榛种子最小、种皮最薄<sup>[19-20]</sup>.种子成熟时,直接从树上采集或从地上收集.利用水浮法筛选出健康的种子,然后对木本植物种子进行选择 and 标记.每粒种子用微钻在远离型胚的一端钻取一个直径0.3 mm小孔,再用10 cm长的细铁丝栓系一枚2.5 cm×3.5 cm的塑料标签(<0.3 g),标签连续编号,以便对种子进行追踪和确定<sup>[22]</sup>.当小型啮齿动物将种子埋入土壤中或树叶下时,标签往往留在地面上,便于寻找.该标记方法对啮齿动物扩散种子的影响可以忽略<sup>[23]</sup>.

分别于2009年9月27日和2010年9月17日,在试验区选择2条平行样带,每条长约300 m,每25~30 m设置一个1 m<sup>2</sup>的种子释放点,共计10个.每个释放点分别放置5种种子各10粒,每种子间隔0.1 m,成列均匀放置,合计释放种子共500

粒. 种子释放后, 在释放点周围 0~20 m 范围内寻找被扩散的种子, 并记录种子的命运: 原地剩余 (IS)、原地取食 (EIS)、移动后取食 (EAR)、移动后完好 (IAR)、移动后埋藏 (CAR)、丢失 (M). 从种子释放当天开始, 每天 8:00—14:00 检查一次, 直至释放点种子全部消失 (取食或搬运) 或处于较稳定状态 (不变或每天消失数量很少) 时为止. 利用各种种子在释放点的消失 (取食或搬运) 速度确定林鼠对种子的选择次序, 发现被移动的种子后, 记录种子编号, 并测量其与对应种子释放点之间的距离.

### 1.3 数据处理

采用 SPSS 16.0 软件对数据进行统计分析. 以 Cox 回归法分析不同木本植物种子扩散速度的差异. 用 General Linear Model 分析种子命运及种子扩散距离之间的差异. 采用 Mann-Whitney U test 检验年间种子产量之间的差异. 用 Chi-square tests ( $\chi^2$ ) 检验年间扩散者密度及蒙古栎种子相对丰富度的差异 ( $\alpha=0.05$ ). 所有数据均以平均值±标准误差表示.

## 2 结果与分析

### 2.1 小型啮齿动物种类及其相对密度

2009 年共捕获小型啮齿动物 3 种, 为花鼠、棕背䟽和大林姬鼠, 总捕获率为 31.0%, 期间未曾发现松鼠及其活动痕迹; 2010 年小型啮齿动物的总捕获率为 16.7%, 调查期间 3 次见到松鼠活动. 两年间啮齿动物的捕获率有显著差异 (表 1).

### 2.2 蒙古栎种子雨密度及相对丰富度

研究期间, 2009 年和 2010 年蒙古栎的种子产量分别为 (6.2±2.1) 和 (26.7±10.2) 粒·m<sup>-2</sup>, 两年间差异显著 ( $Z=-2.166$ ,  $df=1$ ,  $P=0.030$ ). 2009 年和 2010 年蒙古栎种子相对丰富度分别为 20.0 和 160.0, 年间差异极显著 ( $\chi^2=108.889$ ,  $df=1$ ,  $P<0.001$ ).

表 1 2009 年和 2010 年啮齿动物的种类和相对密度  
Table 1 Composition and trap success of rodents in 2009 and 2010

种类 Species	2009		2010	
	捕获数 Trapped individuals	捕获率 Trap success (%)	捕获数 Trapped individuals	捕获率 Trap success (%)
大林姬鼠 <i>A. peninsulae</i>	10	14.1a	13	10.8a
棕背䟽 <i>C. rufocanus</i>	7	9.8a	2	1.7b
花鼠 <i>T. sibiricus</i>	5	7.0a	5	4.2a
合计 Total	22	31.0a	20	16.7b

同行不同字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ) Different letters in the same row meant significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

### 2.3 5 种木本植物种子的扩散速度

两年间 5 种种子的扩散情况有显著差异 (图 1). 2009 年调查结束时, 胡桃楸种子原地剩余 100%, 而 2010 年原地仅存留 4%; 其他 4 种树木的种子 2009 年的扩散速度显著高于 2010 年.

### 2.4 试验树种的种子命运

2009 年, 小型啮齿动物分散贮藏的蒙古栎种子的比例显著高于毛榛、平榛和红松种子 (表 2), 但这 3 种种子间的分散贮藏比例没有明显差异; 2010 年, 小型啮齿动物分散贮藏的胡桃楸种子的比例高于毛榛、平榛、红松和蒙古栎种子, 蒙古栎种子分散贮藏的比例显著高于红松和平榛种子.

2009 年, 蒙古栎、红松、平榛种子的分散贮藏比例均显著高于 2010 年, 但在两年间原地存留、移动后取食、移动后完整的比例均没有明显差异. 2009 年胡桃楸种子全部原地存留, 而 2010 年 96% 的种子被搬运, 且埋藏率较高 (52%). 毛榛的种子命运在两年间无显著变化.

### 2.5 种子扩散距离

2009 年, 蒙古栎种子的平均扩散距离显著大于毛榛、平榛和红松种子 (表 3). 2010 年, 胡桃楸种子的扩散距离显著大于毛榛、平榛、红松和蒙古栎种子. 除胡桃楸种子外, 2010 年同种种子的平均扩散距离均显著小于 2009 年.

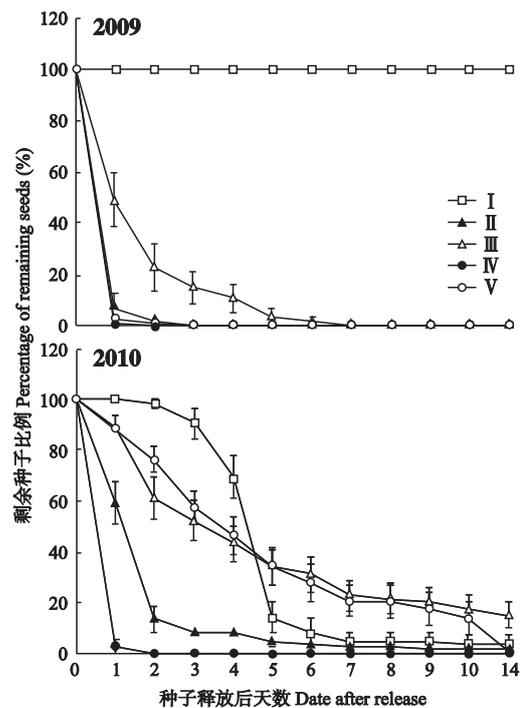


图 1 不同木本植物种子的扩散情况

Fig. 1 Dispersal of the seeds of different tree species.

I: 胡桃楸 *J. mandshurica*; II: 毛榛 *Corylus mandshurica*; III: 平榛 *C. heterophylla*; IV: 红松 *P. koraiensis*; V: 蒙古栎 *Q. mongolica*.

表 2 不同木本植物种子扩散后的命运

Table 2 Seed fates of different tree species after dispersal

种类 Species	年份 Year	原地剩余 Remained in situ	原地取食 Eaten in situ	移动后埋藏 Cached after removal	移动后取食 Eaten after removal	移动后完好 Intact after removal	移动后丢失 Missing after removal
胡桃楸	2009	100.0c	0.0a	0.0a	0.0a	0.0a	0.0a
<i>J. mandshurica</i>	2010	4.0±4.0a	0.0a	52.0±6.5b	0.0a	17.0±4.7b	27.0±3.0b
毛榛	2009	0.0a	23.0±8.6b	29.0±5.3c	26.0±6.7b	6.0±3.1b	16.0±4.5c
<i>C. mandshurica</i>	2010	2.0±1.3a	47.0±8.0b	23.0±5.2c	18.0±4.2b	6.0±2.2b	4.0±2.2c
平榛	2009	0.0a	20.0±9.1b	32.0±6.6c	28.0±6.5b	12.0±8.1b	8.0±2.9e
<i>C. heterophylla</i>	2010	15.0±6.0a	28.0±5.9b	10.0±4.2d	19.0±6.0b	13.0±4.5b	15.0±3.7c
红松	2009	0.0a	22.0±9.8b	28.0±8.7c	32.0±7.9b	4.0±3.1b	14.0±3.1c
<i>P. koraiensis</i>	2010	0.0a	22.0±5.7b	9.0±3.1d	41.0±4.3b	10.0±3.3b	18.0±7.4c
蒙古栎	2009	0.0a	17.0±4.7b	50.0±8.3b	18.0±4.9b	0.0a	15.0±5.0c
<i>Q. mongolica</i>	2010	1.0±1.0a	15.0±2.2b	27.0±6.0f	24.0±4.8b	6.0±2.2a	27.0±5.6b

同列不同小写字母表示同一物种年间和相同年份种间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different letters in the same column meant significant difference between years for the same species and between species in the same year at 0.05 level.

表 3 不同木本植物种子的平均扩散距离

Table 3 Average dispersal distances of seeds of different tree species (m)

年份 Year	蒙古栎 <i>Q. mongolica</i>	红松 <i>P. koraiensis</i>	毛榛 <i>C. mandshurica</i>	平榛 <i>C. heterophylla</i>	胡桃楸 <i>J. mandshurica</i>
2009	7.61±0.62a	4.50±0.40b	5.49±0.43b	4.76±0.33b	-
2010	3.54±0.34c	3.67±0.30c	2.63±0.22c	2.49±0.21c	5.66±0.46d

### 3 讨 论

#### 3.1 蒙古栎种子相对丰富度与种子扩散速度的关系

研究表明,种子产量影响鼠类对种子的扩散。种子大年的种子扩散速度慢,种子小年的种子扩散速度快,但种子被捕食率较高<sup>[9,13-14]</sup>。但也有研究指出,鼠类在种子大年对种子的扩散速率要显著高于种子小年<sup>[1]</sup>。本研究结果表明,2010年蒙古栎种子产量显著高于2009年,蒙古栎种子大年中红松、平榛和蒙古栎种子的扩散速率显著降低,这与Vander Wall<sup>[1]</sup>的研究结果不同。单独探讨种子产量并不能完全解释种子扩散速度的差异,扩散者密度可能起主导作用<sup>[9,24]</sup>。当鼠类密度较低时,种子扩散速率也降低。由此看来,在研究种子扩散时,应同时考虑鼠类数量和组成对种子扩散的影响,种子的相对丰富度可能是影响啮齿动物对种子扩散速度的主要因素。2009年胡桃楸种子未被扩散而2010年有少量剩余,可能与样地内松鼠活动有关。因为松鼠是当地取食和贮藏胡桃楸种子的主要啮齿类<sup>[25]</sup>。

#### 3.2 蒙古栎种子相对丰富度与种子埋藏率的关系

在种子产量较高的年份,鼠类会增加对种子的埋藏<sup>[9,12]</sup>,当鼠类密度较低时,其埋藏率也会增加<sup>[9]</sup>。本研究中,2010年是蒙古栎种子大年,但啮齿动物种群密度较低,蒙古栎种子相对丰富度较高;而2009年蒙古栎种子相对丰富度较低。2009年红松、

平榛和蒙古栎种子的埋藏率显著高于2010年。这与先前的研究不同<sup>[9,12]</sup>,说明种子相对丰富度可能是影响啮齿动物对种子捕食和贮藏选择的主要因素<sup>[26]</sup>。

在蒙古栎种子相对丰富度高的年份,植物种子的平均扩散距离较小,这与前人的研究结果不同<sup>[9,27]</sup>,但与Liu等<sup>[17]</sup>的研究结论一致。说明木本植物种子扩散距离除受到种子产量影响<sup>[9,28]</sup>外,还与啮齿动物的组成和数量有关<sup>[24,29]</sup>,种子相对丰富度可能是影响种子扩散距离的主要因素<sup>[30]</sup>。另外,无论松鼠是否存在,大种子(胡桃楸或蒙古栎)扩散的距离最远,支持了大种子扩散更远的假设<sup>[20]</sup>。

综上所述,种子扩散存在种间和年际差异,蒙古栎种子大年结实不仅影响其自身的扩散,而且对其他种子的扩散产生影响。种子扩散受到种子产量和扩散者密度的双重影响,种子的相对丰富度可能是影响种子扩散速度、种子命运以及平均扩散距离的关键因素。

致谢 野外工作得到曹艳双、焦广强、牛可坤、李文达的大力协助,表示感谢。

#### 参考文献

- [1] Vander Wall SB. Masting in animal-dispersed pines facilitates seed dispersal. *Ecology*, 2002, **83**: 3508-3516
- [2] Malo JE, Suarez F. Herbivorous mammals as seed dis-

- persers in a Mediterranean dehesa. *Oecologia*, 1995, **104**: 246–255
- [3] Jansen PA, Bartholomeus M, Bongers F. The role of seed size in dispersal by a scatter hoarding rodent// Levey D. Seed Dispersal and Frugivory: Ecology, Evolution and Conservation. Wallingford: CABI, 2002: 209–225
- [4] Yi XF, Yang YQ, Zhang ZB. Effect of seed availability on hoarding behaviors of Siberian chipmunk (*Tamias sibiricus*) in semi-natural enclosures. *Mammalia*, 2011, **75**: 321–326
- [5] Zhang HM, Cheng JR, Xiao ZS, et al. Effects of seed abundance on seed scatter-hoarding of Edward's rat (*Leopoldamys edwardsi* Muridae) at the individual level. *Oecologia*, 2008, **158**: 57–63
- [6] Jansen PA, Bongers F, Hemerik L. Seed mass and mast seeding enhance dispersal by a neotropical scatter-hoarding rodent. *Ecological Monographs*, 2004, **74**: 569–589
- [7] Janzen DH. Seed predation by animals. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1971, **2**: 465–492
- [8] Demattia EA, Curran LM, Rathcke BI. Effects of small rodents and large mammals on neotropical seeds. *Ecology*, 2004, **85**: 2161–2170
- [9] Li HJ, Zhang ZB. Effects of mast seeding and rodent abundance on seed predation and dispersal by rodents in *Prunus armeniaca* (Rosaceae). *Forest Ecology and Management*, 2007, **24**: 511–517
- [10] Obeso JR, Martínez I, García D. Seed size is heterogeneously distributed among destination habitats in animal dispersed plants. *Basic and Applied Ecology*, 2011, **12**: 134–140
- [11] Busch M, Knight C, Maziá NC, et al. Rodent seed predation on tree invader species in grassland habitats of the inland Pampa. *Ecological Research*, 2012, **27**: 369–376
- [12] Chang G (常 罡), Wang K-F (王开锋), Wang Z (王 智). Effect of forest rodents on predation and dispersal of *Pinus armandii* seeds in Qinling Mountains. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2012, **32**(10): 3177–3181 (in Chinese)
- [13] Sork VL. Mammalian seed dispersal of pignut hickory during three fruiting seasons. *Ecology*, 1983, **54**: 1049–1056
- [14] Xiao ZS, Zhang ZB, Wang YS. The effects of seed abundance on seed predation and dispersal by rodents in *Castanopsis fargesii* (Fagaceae). *Plant Ecology*, 2005, **177**: 249–257
- [15] Sun M-Y (孙明洋), Ma Q-L (马庆亮), Tian S-L (田澍辽), et al. Effects of seed productivity on dispersal of nuts of *Quercus variabilis* by rodents. *Acta Theriologica Sinica* (兽类学报), 2011, **31**(3): 265–271 (in Chinese)
- [16] Cao L, Guo C. Effectiveness of small rodents dispersing seeds of *Castanopsis indica* in Xishuangbanna tropical seasonal rain forest. *Acta Theriologica Sinica Sinica*, 2011, **31**: 323–329
- [17] Liu CQ, Liu GQ, Shen Z, et al. Effects of disperser abundance, seed type, and interspecific seed availability on dispersal distance. *Acta Theriologica Sinica*, 2012, Doi 10.1007/s13364-012-0119-4
- [18] Yi XF, Yang YQ, Zhang ZB. Intra- and inter-specific effects of mast seeding on seed fates of two sympatric *Corylus* species. *Plant Ecology*, 2011, **212**: 785–793
- [19] Yu F (于 飞), Niu K-K (牛可坤), Jiao G-Q (焦广强), et al. Effect of small rodents on seed predation of five tree species in Xiaoxing'an Mountains. *Journal of Northeast Forestry University* (东北林业大学学报), 2011, **39**(1): 11–13 (in Chinese)
- [20] Xiao ZS, Zhang ZB, Wang YS. Effects of seed size on dispersal distance in five rodent-dispersed fagaceous species. *Acta Oecologica*, 2005, **28**: 221–229
- [21] Liu Z-G (刘足根), Zhu J-J (朱教君), Yuan X-L (袁小兰), et al. On seed rain and soil seed bank of *Larix olgensis* in montane regions of eastern Liaoning Province, China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2007, **27**(2): 579–587 (in Chinese)
- [22] Zhang ZB, Wang FS. Effect of rodents on seed dispersal and survival of wild apricot *Prunus armeniaca*. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**: 839–845
- [23] Xiao ZS, Jansen PA, Zhang ZB. Using seed-tagging methods for assessing post-dispersal seed fate in rodent-dispersed trees. *Forest Ecology and Management*, 2006, **223**: 18–23
- [24] Jiao G-Q (焦广强), Yu F (于 飞), Niu K-K (牛可坤), et al. Effects of intra- and inter-specific interference competition on scatter hoarding behavior of Siberian chipmunk (*Tamias sibiricus*) in semi-natural enclosures. *Acta Theriologica Sinica* (兽类学报), 2011, **31**(1): 62–68 (in Chinese)
- [25] Vieira EM, Pizo MA, Izar P. Fruit and seed exploitation by small rodents of the Brazilian Atlantic forest. *Mammalia*, 2003, **67**: 1–7
- [26] Cheng J-R (程瑾瑞), Zhang Z-B (张知彬), Xiao Z-S (肖治术). Analysis of the effect of a conspecific competitor on the caching of oil tea seeds by Edward's rats. *Acta Theriologica Sinica* (兽类学报), 2005, **25**(2): 143–149 (in Chinese)
- [27] Vander Wall SB. Effects of seed size of wind-dispersed pines (*Pinus*) on secondary seed dispersal and the caching behavior of rodents. *Oikos*, 2003, **100**: 25–34
- [28] Moore J, McEuen AB, Swihart RK, et al. Determinants of seed removal distance by scatter-hoarding rodents in deciduous forests. *Ecology*, 2007, **88**: 2529–2540
- [29] Hulbert AJ, Macmillan RE. The influence of ambient temperature, seed composition and body size on water balance and seed selection in coexisting heteromyid rodents. *Oecologia*, 1988, **75**: 521–526
- [30] Carlo TA, Collazo JA, Groom MJ. Avian fruit preferences across a Puerto Rican forested landscape: Pattern consistency and implications for seed removal. *Oecologia*, 2003, **134**: 119–131

作者简介 于 飞 男, 1986 年生, 博士研究生, 主要从事森林生态研究, 发表论文 10 篇. E-mail: yufei096@163.com

责任编辑 李凤琴