

# 生境类型对啮齿动物扩散和贮藏栓皮栎坚果的影响

赵雪峰<sup>1</sup> 路纪琪<sup>1\*</sup> 乔王铁<sup>2</sup> 汤发有<sup>2</sup>

(1 郑州大学生物工程系, 郑州 450001) (2 国有济源市愚公林场, 济源 454693)

**摘要:** 在河南省济源市王屋山地区, 研究了次生林、灌丛、退耕地三个生境中啮齿动物对栓皮栎坚果的取食、扩散与贮藏情况。结果表明: 1) 在研究地区, 取食栓皮栎坚果的啮齿动物主要有大林姬鼠、社鼠和黑线姬鼠; 2) 在次生林中, 啮齿动物对坚果的搬运速率慢于在灌丛和退耕地生境中的搬运速率; 3) 次生林生境中, 贮藏坚果占被扩散坚果的比例高于灌丛和退耕地, 而灌丛生境中被取食坚果占被扩散种子的比例高于退耕地和次生林; 4) 栓皮栎坚果的中位存留时间在三个生境间有显著性差异。研究结果提示, 在人工造林时, 可通过对栓皮栎坚果进行埋藏处理, 以提高种子萌发率。

**关键词:** 栓皮栎; 啮齿动物; 生境; 贮藏; 扩散

中图分类号: Q958.1

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 1050 (2009) 02 - 0160 - 07

## Dispersal and hoarding on acorns of *Quercus variabilis* by rodents in different habitats

ZHAO Xuefeng<sup>1</sup>, LU Jiqi<sup>1\*</sup>, QIAO Wangtie<sup>2</sup>, TANG Fayou<sup>2</sup>

(1 Department of Bioengineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001)

(2 State-owned Yugong Forest Farm, Jiyuan 454693)

**Abstract:** We studied the fate of tagged acorns of cork oak (*Quercus variabilis*), which were released in three different types of habitats, secondary forest, shrub, and rehabilitated land, in Wangwu Mt. area in Jiyuan, Henan, China. In mid-September 2007, 15, 10, and 8 plots were set in secondary forest, shrub, and rehabilitated land, respectively. Forty tin-tagged acorns were placed in each plot. Checking and recording on the released acorns was, at two-day intervals, carried out till the end of field investigation, namely, 62 days after the acorns were released. SPSS for Windows (version 13.0) was used for data analysis and statistics. The results of this study showed that: 1) *Apodemus peninsulae*, *Niviventer confucianus*, *A. agrarius*, and *Sciurotamias davidianus* are the principle rodent species that predate acorns of cork oak; 2) The acorn-removal rate in forest habitat was lower than that in shrub and rehabilitated land, while seed the consumption rate by rodents in shrub and rehabilitated land was higher than that in secondary forest; 3) The median survival time was significantly different among three habitats; 4) The average dispersal distances were not significantly different among these habitats, while the differences between eaten and hoarded acorns were significant in each type of habitat. Our results indicated that habitat is one of the key biotic factors influencing seed survival and subsequent seedling establishment.

**Key words:** Cork oak (*Quercus variabilis*); Dispersal; Habitat; Hoarding; Rodents

植物的繁殖体如果实、种子、茎等是啮齿动物的重要食物, 啮齿动物通过消耗大量的林木种子而不利森林植物的更新。但是, 这些动物通过搬运、贮藏行为而成为种子的有效扩散者 (Vander Wall, 1990, 1997; Wilson and Traveset, 2000)。对于部分被分散贮藏 (埋藏) 的果实或种子, 如果以后未被贮藏者或其他个体所取食, 当条件适宜

时, 这些种子就有可能萌发并最终建成幼苗, 从而促进植物的更新 (Vander Wall, 1990; Price *et al.*, 2000; Lu and Zhang, 2004; Zhang *et al.*, 2005)。有关啮齿动物对植物果实、种子的扩散、贮藏行为及其对植物更新的作用, 国内外已有较多的研究报告, 种子本身的物理、化学特性和营养价值 (Xiao *et al.*, 2005, 2008; 常罡等, 2008)、种子的数量

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (2007CB109106); 郑州大学引进人才科研基金

作者简介: 赵雪峰 (1981 - ), 男, 硕士研究生, 主要从事动物生态学研究。

收稿日期: 2008 - 10 - 15; 修回日期: 2009 - 01 - 13

\* 通讯作者, corresponding author, E-mail: roadjq@163.com

(Silvertown, 1981; Li and Zhang, 2007)、啮齿动物的相对密度 (Kollmann and Schill, 1996; Russell and Schupp, 1998; Li *et al.*, 2006)、生境和季节 (Lu and Zhang, 2004)、霉菌、昆虫的寄生 (Xiao *et al.*, 2003) 等因素都影响啮齿动物对植物种子取食与扩散, 同时啮齿动物对种子的取食与扩散也影响植物种子的命运, 动物与植物之间形成一种互惠关系。在自然条件下, 随着植物群落结构、生境类型的不同, 其中所栖息的啮齿动物种类亦将随之变化 (孙儒泳等, 1993), 因而植物种子面临的捕食压力亦不相同 (Lu and Zhang, 2004; Zhang *et al.*, 2005)。

栓皮栎 (*Quercus variabilis*) 分布广泛, 是温带、亚热带地区的优势树种之一, 属壳斗科栎属落叶乔木, 其坚果富含淀粉, 是许多啮齿动物的重要食物。在秋季, 啮齿动物会搬运、集中或分散贮藏大量坚果以备冬季食物缺乏时利用 (Smith and Reichman, 1984), 而啮齿动物的分散贮藏行为将有利于植物的更新 (Vander Wall, 1990; 李宏俊和张知彬, 2001; Lu and Zhang, 2004; 肖治术和张知彬, 2004; Xiao *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2005)。本研究选择次生林、灌丛、退耕地三种生境, 分别释放人工标记的栓皮栎坚果, 定期检查坚果的存留以及被啮齿动物取食、扩散、贮藏的情况, 旨在探明: 1) 释放种子在不同生境中的生存时间; 2) 在三种生境中, 啮齿动物对栓皮栎坚果的搬运距离、方位、微生境的选择; 3) 释放种子在不同生境类型中的命运。在此基础上, 探讨适宜于种子萌发的最佳生境条件, 为人工造林提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究地点

本研究在河南省济源市愚公林场 (E 112° 16', N 35°12') 进行。该地位于济源市西北40 km处, 地处太行山南麓、王屋山主脉, 地势北高南低, 最高海拔1 715 m (天坛山)。区内属大陆性季风气候, 年平均气温 14.3℃, 1 月份平均气温 -0.1℃, 极端最低温 -20℃, 7 月份平均气温 27.3℃, 极端最高温 43.4℃, 年平均降水量为 600~700 mm, 降水量时空分布不均是该地区的主要特点。该地区的植物群落以次生林、灌丛为主。森林植物种类有栓皮栎、槲栎 (*Q. aliena*)、漆树 (*Toxicodendron vernicifluum*)、刺槐 (*Robinia pseudoacacia*)、华北五角枫 (*Acer truncatum*) 等, 灌丛植被主要

有黄栌 (*Cotinus coggygria*)、荆条 (*Vitex negundo* var. *heterophylla*)、胡枝子 (*Lespedeza bicolor*)、连翘 (*Forsythia suspense*)、蒙古绣线菊 (*Spiraea salicifolia*)、酸枣 (*Ziziphus jujuba* var. *spinosa*) 等; 退耕地生境中的植物则以野菊花 (*Chrysanthemum indicum*)、艾蒿 (*Aremisia argyi*)、黄刺玫 (*Rosa xanthina*) 等为主 (宋朝枢和瞿文元, 1996)。

### 1.2 样点设置

在次生林、灌丛、退耕地三种生境类型中, 分别设置一块样地, 面积约 2 hm<sup>2</sup>, 样地间间距约 1 km。样地 1 位于次生林生境, 属于纯栓皮栎林, 树龄 20 年左右, 林下有少量荆条等灌丛植物, 树木生长良好。样地 2 设置于灌丛生境中, 以荆条、黄刺玫、黄栌为主, 其中荆条、黄刺玫为优势种植物, 人为破坏少。样地 3 设置于退耕地生境中, 艾蒿和荆条为优势植物, 位于退耕还林地带, 正处于生态恢复阶段。在三块样地中各设置一条样带, 以调查啮齿动物对栓皮栎坚果的取食、搬运和贮藏情况。在每条样带上分别设置 15、10、8 个样点, 样点间距约 10 m, 并记录每个样点的微生境情况, 包括植被的类型、盖度、高度等。

### 1.3 栓皮栎坚果的标记与释放

在栓皮栎成熟季节 (2007 年 8 月) 收集成熟完好的栓皮栎坚果, 阴干以备研究使用。栓皮栎坚果呈卵圆形, 重量为 6.02 ± 0.79 g, 长径为 2.25 ± 0.18 cm, 宽径为 1.9 ± 0.21 cm ( $n=100$ )。

参照张知彬和王福生 (2001) 的方法对栓皮栎坚果进行标记。在坚果的基底部与种仁之间钻一小洞, 用长 10 cm 的细钢丝拴一块长 3 cm、宽 1 cm 的薄金属牌 (约 0.1 g) 系于小洞处, 每一块金属牌上刻有唯一的编号, 代表坚果释放的时间、生境、样点以及坚果序号。已有的研究表明, 该方法对追踪被啮齿动物搬运种子的命运十分有效, 细钢丝及金属标签对啮齿动物搬运植物种子没有显著影响 (Li and Zhang, 2003; Xiao *et al.*, 2006)。

2007 年 9 月 18 日, 在选定样地中的每个样点上 (约 1 m<sup>2</sup>), 释放人工标记的栓皮栎坚果 40 枚, 共计 1 320 枚。从坚果被释放后的第二天起, 检查样点处坚果的存留动态 (存留、取食和搬运情况)。一旦发现坚果被搬离释放处, 详细记录金属牌的编号、方位、与释放点间的距离、坚果的状态以及所在位置 1 m<sup>2</sup> 的微生境。每两天检查一次 (上午进行)。野外调查至 2007 年 11 月 19 日结束, 持续 62 d。

啮齿动物处理后栓皮栎坚果状态的定义如下：

释放点

存留 (Remaining, R)：坚果停留在释放点未动；就地取食 (Eaten in situ, EI)：坚果被啮齿动物在释放点取食，仅留下带有标志牌的种皮。

扩散后

贮藏 (Hoarded, H)：坚果被啮齿动物搬离释放点，置于地表或埋藏 (但标志牌可见)；取食 (Eaten, E)：坚果被啮齿动物取食，带有标志牌的种皮被弃置于地表。

#### 1.4 啮齿动物的种类和相对密度调查

研究期间，为减少对研究样地中啮齿动物种群的影响，选择与研究样地类似的三个生境，采用标准钢板鼠夹，以花生为饵，进行啮齿动物种类和种群相对密度调查 (直线夹夜法)。每个生境中各布设 25 个，夹间距约 5 m，每天傍晚布设，翌日清晨检查鼠夹，连续调查 2 d，对捕获到的啮齿动物进行常规测量和记录。在研究样地中，用活捕笼进行活捕调查，每生境中放置捕鼠笼 25 个，以花生为饵，每天早、晚各检查 1 次，对捕到的动物登记、称重之后原地释放。活捕调查持续 5 d。

#### 1.5 统计分析

采用 SPSS for Windows (Version 13.0) 对有关数据进行统计分析。用存活分析 (Survival analysis) 中的 Life table 比较不同生境类型坚果在释放点的存留时间的差异性。用 One-Sample Kolmogorov-Smirnov 过程检验数据的分布类型。如果数据呈正态分布，则用 One-Way ANOVA 过程检验扩散距离的差异性。否则，用 Kruskal-Wallis Test 检验三个生境栓皮栎坚果搬运距离的差异程度；用 Z 检验比较不同生境条件下原地取食、扩散后取食、贮藏的比例有无差异。

## 2 结果

### 2.1 取食栓皮栎坚果的主要啮齿动物种类

由于栓皮栎坚果的种皮薄而易碎，从咬痕上几乎无法鉴别啮齿动物的种类。而夹捕和活捕调查的结果在一定程度上可以反映作用于栓皮栎坚果的啮齿动物。啮齿动物种类和相对密度结果见表 1。在次生林、灌丛和退耕地生境中捕获到的啮齿动物有大林姬鼠 (*Apodemus peninsulae*)、社鼠 (*Niviventer confucianus*) 和黑线姬鼠 (*A. agrarius*)。

表 1 研究样地中啮齿动物调查结果

Table 1 Survey on rodent species and populations in selected habitats

生境 Habitats	大林姬鼠 <i>A. peninsulae</i>		社鼠 <i>N. confucianus</i>		黑线姬鼠 <i>A. agrarius</i>	
	捕获数	捕获率 (%)	捕获数	捕获率 (%)	捕获数	捕获率 (%)
	Captured number	Capture rate (%)	Captured number	Capture rate (%)	Captured number	Capture rate (%)
次生林 Secondary forest	1	2	0	0	0	0
灌丛 Shrub	3	6	0	0	0	0
退耕地 Rehabilitated land	0	0	1	2	1	2

### 2.2 栓皮栎坚果在释放处的命运

#### 2.2.1 原地存留

在次生林、灌丛、退耕地三个生境中，栓皮栎坚果在释放样点处的中位存活时间分别为 62.0 d、37.0 d、28.0 d，三者之间有显著差异 ( $W = 369.682$ ,  $df = 2$ ,  $P < 0.001$ ) (图 1)。次生林与灌丛的中位存活时间有显著性差异 ( $W = 319.47$ ,  $df = 1$ ,  $P < 0.001$ )。次生林与退耕地的中位存留时间亦有显著性差异 ( $W = 293.19$ ,  $df = 1$ ,  $P < 0.001$ )。而灌丛、退耕地的中位存留时间没有显著性差异 ( $W = 1.480$ ,  $df = 1$ ,  $P = 0.224$ )。至调查结束时，次生林、灌丛、退耕地原地存留栓皮栎

坚果的数量分别是 511、117 和 103 枚。

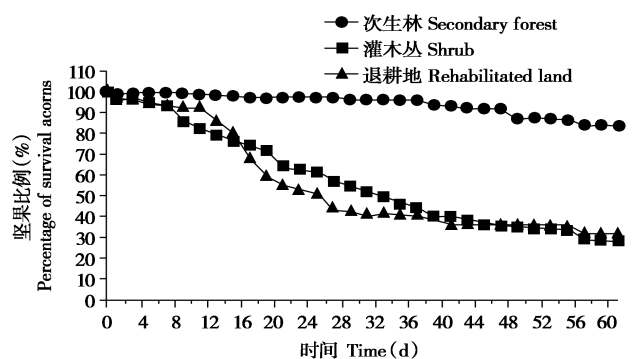


图 1 栓皮栎坚果在三种生境中释放点的存留动态

Fig. 1 Survival dynamics of tagged acorns in each plots among three habitats

### 2.2.2 原地取食

在每类生境中的坚果释放点，都有一些坚果被啮齿动物原地取食。在次生林生境中，啮齿动物原地取食栓皮栎坚果 20 枚，占释放坚果总数的 3.3% (20/600)，在灌丛中原地取食 61 枚，占释放坚果总数的 15.3% (61/400)，在退耕地生境中原地取食 35 枚，占总数的 10.9% (35/320)，次

生林生境中，原地取食比例低于灌木丛 ( $Z = 6.30, P < 0.05$ )，亦低于退耕地生境 ( $Z = 4.02, P < 0.05$ )，而灌木丛与退耕地生境中比例没有显著性差异 ( $Z = 1.72, P > 0.05$ )。

### 2.3 栓皮栎坚果被啮齿类动物搬运后的命运

在三个生境中，被啮齿动物搬运后取食、贮藏的栓皮栎坚果的搬运距离统计结果见表 2。

表 2 搬运后不同状态坚果搬运距离的统计

Table 2 Transport distances of different status of acorns after treatment by rodents

生境 Habitat	取食 Eaten			贮藏 Hoarding		
	坚果比例 (%) Percentage	平均值 ± 标准差 Mean ± SD (m)	范围 Range	坚果比例 (%) Percentage	平均值 ± 标准差 Mean ± SD (m)	范围 Range
次生林 Secondary forest	18.84	7.65 ± 5.78	0.4 - 21.0	39.13	2.66 ± 3.27	0.2 - 14.1
灌丛 Shrub	63.96	4.17 ± 3.26	0.3 - 23.2	17.12	2.77 ± 2.07	0.4 - 9.5
退耕地 Rehabilitated land	34.62	3.64 ± 3.15	0.4 - 16.4	15.93	5.03 ± 4.89	0.3 - 14.3

### 2.3.1 取食

次生林生境中，搬运后取食 13 枚，占搬运坚果的 18.8% [13/(600-511-20)]；在灌丛生境中，搬运后取食的坚果为 142 枚，占搬运坚果的 64.1% [142/(400-117-61)]；退耕地生境中，搬运后取食 63 枚，占释放总数的 34.6% [63/(320-103-35)] (表 2)。次生林生境中被取食比例低于灌木丛生境，差异显著 ( $Z = 7.91, P < 0.05$ )，亦低于退耕地生境 ( $Z = 2.68, P < 0.05$ )，而灌丛生境高于退耕地生境 ( $Z = 6.14, P < 0.05$ )。

### 2.3.2 贮藏

在研究中发现，除了原地取食和搬运后取食之外，还有一些栓皮栎坚果被啮齿动物搬运并贮藏起来。在次生林、灌丛、退耕地三类生境中，分别有 27 枚、38 枚、29 枚栓皮栎坚果被啮齿动物贮藏，分别占搬离释放点坚果数的 39.1% [27/(600-511-20)]、17.1% [20/(400-117-61)] 和 15.9% [14/(320-103-35)] (表 2)。次生林生境中明显高于灌丛，有显著性差异 ( $Z = 3.44, P < 0.05$ )，亦高于退耕地 ( $Z = 3.59, P < 0.05$ )，而灌木丛、退耕地二者没有显著性差异 ( $Z = 0.32, P > 0.05$ )。

### 2.3.4 被取食、贮藏坚果的扩散距离

被取食坚果的平均搬运距离在次生林生境中为 7.65 m，灌丛中为 4.17 m，退耕地生境中为

3.64 m，其差异达到显著水平 (Kruskal-Wallis Test,  $\chi^2 = 7.586, df = 2, P = 0.023$ )。三个生境间被取食坚果扩散距离的频次分布如图 2 所示，结果表明，次生林中被取食坚果扩散距离最远，灌木丛次之，退耕地最近。

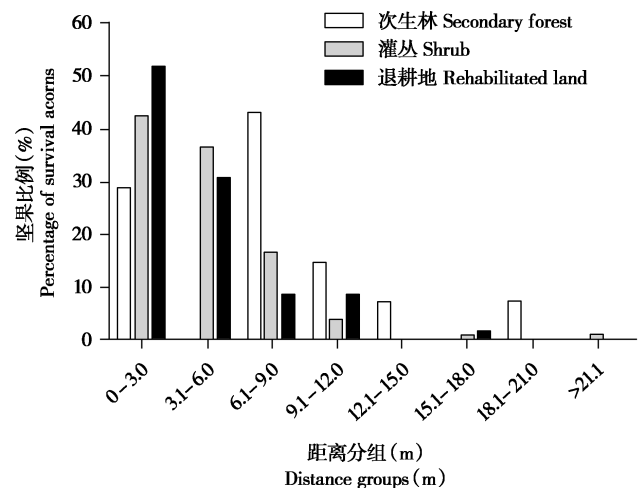


图 2 被取食坚果搬运距离的频次分布

Fig. 2 Proportional distribution of transported distances of consumed acorns among three habitats

在次生林、灌丛、退耕地三个生境中，被啮齿动物贮藏的栓皮栎坚果的平均搬运距离分别为 2.66 m、2.77 m 和 5.03 m，被贮藏坚果的扩散距离的频次分布如图 3 所示。这部分坚果的搬运距离在三个生境具有一定差异，但其差异无统计学意义 ( $\chi^2 = 3.962, df = 2, P = 0.138$ )。结果表明，在次

生林、灌丛、退耕地三种生境中，盖度依次减少，啮齿动物面临的捕食压力和竞争也相应增加。啮齿动物倾向于把食物（栓皮栎坚果）搬运到更远的位点贮藏，以保证贮藏食物的安全，如最大搬运距离为 14.3 m，见于退耕地生境中。

在次生林生境和灌丛生境中，被啮齿动物取食和贮藏坚果的搬运距离均具有显著性差异（Mann-Whitney  $U$  Test，次生林： $Z = -3.190$ ， $P < 0.001$ ；灌丛： $Z = -3.320$ ， $P < 0.001$ ）；在退耕地生境中，被取食坚果的搬运距离小于被贮藏坚果的搬运距离，但二者的差异不具有统计学意义（Mann-Whitney  $U$  Test， $Z = -1.200$ ， $P = 0.230$ ）。

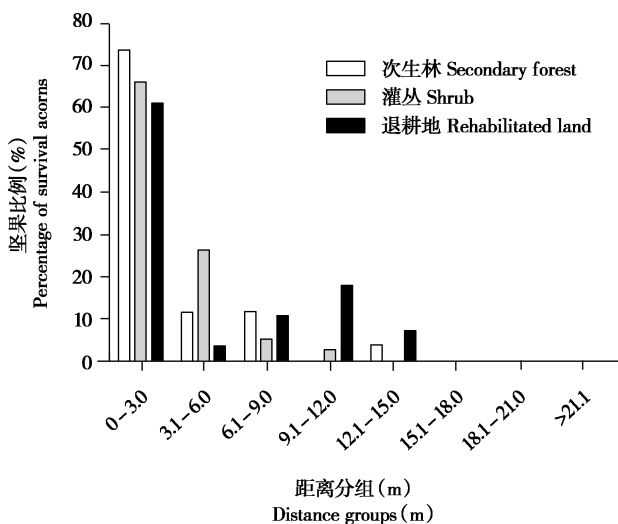


图3 被贮藏坚果搬运距离的频次分布

Fig. 3 Proportional distribution of transported distances of hoarded acorns among three habitats

### 3 讨论

#### 3.1 取食栓皮栎种子的啮齿动物

本文研究结果表明，从残留于被取食的栓皮栎坚果壳上的咬痕来判断，其作用者是啮齿动物。有学者认为，有些鸟类如松鸦（*Garrulus glandarius*）、勺鸡（*Pucrasia macrolopha*）、环颈雉（*Phasianus colchincus*）等也搬运和取食一些栎类的坚果（孟智斌和张知彬，1997；王巍和马克平，1999，2001）。本研究结果表明，从就地取食和搬运后取食的坚果咬痕和分散贮藏的特征来看，几乎均为啮齿动物所为。因此可以认为，鸟类对于人工释放的栓皮栎坚果搬运和贮藏的影响很小。

在研究地区取食栓皮栎坚果的啮齿动物主要为大林姬鼠、社鼠、黑线姬鼠。但还可能有岩松鼠和花鼠，因为在检查种子状态时，发现有这两种鼠在

该地区活动。由于岩松鼠、花鼠体格相对较大，其树上活动较多，不易铗捕或活捕。这几种鼠也是当地啮齿动物区系中的主要成分（路纪琪等，1997）。

#### 3.2 生境对种子命运的影响

不同生境存在不同的空间格局、隐蔽条件和食物资源，这必然影响这些生境中的动物群落组成和结构（Forget *et al.*，1998），生境的异质性在一定程度上可以影响分布于其中的啮齿动物密度、啮齿动物的分布和觅食活动，进而影响种子的存活和扩散（Kollmann and Schill，1996；Russell and Schupp，1998）。

栓皮栎坚果在次生林生境中，由于母树的影响不利于种子的萌发（Li and Ma，2003；肖治术和张知彬，2004；Xiao *et al.*，2007），而在灌丛生境中，存在适宜于种子萌发的阳光、有机物质（路纪琪和张知彬，2005），经过啮齿动物对种子（坚果）的埋藏等处理（Zhang，2001；程瑾瑞等，2007），提高了种子的存活能力，并提供了种子萌发所需要的水分条件。在植被退化地区进行人工造林时，通过对种子的人工埋藏（Zhang and Wang，2001），能够有效提高种子的萌发率（2008年4月，调查了2007年埋藏的1000枚埋藏坚果，发芽率为86.2%）。

#### 3.3 搬运距离

啮齿动物为了避开捕食者和竞争者，把坚果搬到较远的地方去取食或贮藏（Vander Wall，1990；Lima，1998）。在三个生境中，栓皮栎坚果被扩散后取食、埋藏的扩散距离间有差异。另外，在同一生境中，啮齿动物搬运后取食、贮藏的距离间也有差异。研究地区生态环境保护较好，啮齿动物的天敌猫头鹰、蛇等多分布于次生林和灌木丛生境，因而啮齿动物在不同生境中面临不同的捕食风险。较短的扩散距离也印证了对坚果起作用的主要是一些啮齿动物，因为鸟类通常会将栎类坚果搬运较长距离进行贮藏或取食（Vander Wall，1990；王巍和马克平，1999）。生境条件不同，其中所栖息的啮齿动物数量、种类构成以及啮齿动物的天敌数量亦有差异，因而扩散距离有差异（Wang and Gao，2006）。

啮齿动物通过对栓皮栎坚果较远距离的扩散，使种子摆脱母树周围对种子存活不利的包括较强的捕食压力、母树对资源的竞争、霉菌、昆虫对种子的较强的破坏等（肖治术和张知彬，2004；Xi-

ao et al., 2007; Takeuchi and Nakashizuka, 2007)。一旦种子逃脱了啮齿动物的取食, 客观上为栓皮栎坚果的萌发提供了有利条件。

## 参考文献:

- Chang G, Xiao Z S, Zhang Z B. 2008. Effect of seed size on hoarding behavior of Edward's long-tailed rats (*Leopoldamys edwardsi*). *Acta Theriologica Sinica*, **28** (1): 37–41. (in Chinese)
- Cheng J R, Xiao Z S, Zhang Z B. 2007. Effects of burial and coating on acorn survival of *Quercus variabilis* and *Quercus serrata* under rodent predation. *Chinese Journal of Ecology*, **26** (5): 668–672. (in Chinese)
- Forget P M, Milleron T, Feer F. 1998. Patterns in post-dispersal seed removal by neotropical rodents and seed fate in relation to seed size. In: Newbery D M, Print H H T, Brown N D eds. *Dynamics of Tropical Communities*. Blackwell, 25–49.
- Kollmann J, Schill H P. 1996. Spatial patterns of dispersal, seed predation and germination during colonization of abandoned grassland by *Quercus petraea* and *Corylus avellana*. *Vegetatio*, **125**: 193–205.
- Li Q K, Ma K P. 2003. Factors affecting establishment of *Quercus liaotungensis* Koidz under mature mixed oak forest overstory and in shrubland. *Forest Ecology and Management*, **176** (1–3): 133–146.
- Li H J, Zhang Z B. 2001. Relationship between animals and plant regeneration by seed II. Seed predation, dispersal and burial by animals and relationship between animals and seedling establishment. *Biodiversity Science*, **9** (1): 25–37. (in Chinese)
- Li H J, Zhang Z B. 2003. Effect of rodents on acorn dispersal and survival of the Liaodong oak *Quercus liaotungensis* Koida. *Forest Ecology and Management*, **176**: 387–396.
- Li H J, Zhang H M, Zhang Z B. 2006. Acorn removal of Liaodong oak (*Quercus liaotungensis*) by rodents. *Acta Theriologica Sinica*, **26** (1): 8–12.
- Li H J, Zhang Z B. 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.
- Lima S L. 1998. Stress and decision making under the risk of predation: recent development from behavioral, reproductive, and ecological perspectives. *Advances in the Study of Behaviour*, **27**: 215–290.
- Lu J Q, Lü G Q, Li X M. 1997. *Glires fauna of Henan Province*. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 32–40.
- Lu J Q, Zhang Z B. 2004. Effects of habitat and seasons on hoarding and dispersal of seeds of wild apricot (*Prunus armeniaca*) by small rodents. *Acta Oecologica*, **26** (3): 247–254. (in Chinese)
- Lu J Q, Zhang Z B. 2005. Effects of high and low shrubs on acorn hoarding and dispersal of Liaodong oak *Quercus liaotungensis* by small rodents. *Acta Zoologica Sinica*, **51** (2): 195–204. (in Chinese)
- Meng Z B, Zhang Z B. 1997. The species and habitats of birds and mammals and characteristics of rodent community in the mountain area of Beijing. In: Chen L Z, Huang J H eds. *The Study of Structure and Function of Forest Ecosystem in the Warm Temperate Zone*. Beijing: Science Press, 76–87. (in Chinese)
- Price M V, Waser N M, McDonald S. 2000. Seed caching by Heteromyid rodents from two communities; implications for coexistence. *Journal of Mammalogy*, **81** (1): 97–106.
- Russell S K, Schupp E W. 1998. Effects of microhabitat patchiness on patterns of seed dispersal and seed predation of *Cercocarpus ledifolius* (Rosaceae). *Oikos*, **81**: 434–443.
- Silvertown J W. 1981. The evolutionary ecology of mast seeding in trees. *Biological Journal of Linn Society*, **14**: 235–250.
- Smith C C, Reichman O J. 1984. The evolution of food caching by birds and mammals. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **15**: 329–351.
- Song C S, Qu W Y. 1996. *Scientific Survey of Taihangshan Macaque Nature Reserve*. Beijing: China Forestry Publishing House, 56–105. (in Chinese)
- Sun R Y, Li B, Zhu G Y, Shan Y C. 1993. *General Ecology*. Beijing: China High Education Press. (in Chinese)
- Takeuchi Y, Nakashizuka T. 2007. Effect of distance and density on seed/seedling fate of two dipterocarp species. *Forest Ecology and Management*, **247** (1–3): 167–174.
- Vander Wall S B. 1990. *Food hoarding in animals*. Chicago: University of Chicago Press.
- Vander Wall S B. 1997. Dispersal of singleleaf pinon pine (*Pinus monophylla*) by seed-caching rodents. *Journal of Mammalogy*, **78** (1): 181–191.
- Wang W, Ma K P. 1999. Predation and dispersal of *Quercus liaotungensis* acorns by Chinese Rock squirrel and Eurasian Jay. *Acta Botanica Sinica*, **41** (10): 1142–1144. (in Chinese)
- Wang W, Ma K P. 2001. Predation and dispersal of *Quercus liaotungensis* Koidz acorns by animals in Dongling Mountain, Northern China I. Effect of rodents removal on loss of acorns. *Acta Ecologica Sinica*, **21** (2): 204–210. (in Chinese)
- Wang Z L, Gao X M. 2006. Predating strategy of rodents on acorns of *Quercus salicina* var. *acuteserrata* under different predating risks and fate of acorns. *Acta Ecologica Sinica*, **26** (11): 3533–3540.
- Wilson M F, Traveset A. 2000. The Ecology of Seed Dispersal. In: Fenner M ed. *The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, 2nd. Wallingford, UK: CAB International Publishing, Wallingford, 85–110.
- Xiao Z S, Zhang Z B, Wang Y S. 2003. Rodent's ability to discriminate weevil-infested acorns: potential effects on regeneration of nut-bearing plants. *Acta Theriologica Sinica*, **23** (4): 312–320. (in Chinese)
- Xiao Z S, Zhang Z B. 2004. Hoarding behavior of rodents and plant seed dispersal. *Acta Theriologica Sinica*, **24** (1): 61–70. (in Chinese)
- Xiao Z S, Zhang Z B, Wang Y S. 2004. Impacts of scatter-hoarding rodents on restoration of oil tea *Camellia oleifera* in a fragmented forest. *Forest Ecology and Management*, **196**: 405–412.
- Xiao Z S, Zhang Z B, Wang Y S. 2005. Effects of seed size on dispersal distance in five rodent-dispersed Fagaceae species. *Acta Oecologi-*

- ca, **28** (3): 221 - 229.
- Xiao Z S, Jansen P A, Zhang Z B. 2006. Using seed-tagging methods for assessing post-dispersal seed fate in rodent-dispersed trees. *Forest Ecology and Management*, **223**: 18 - 23.
- Xiao Z S, Harris M K, Zhang Z B. 2007. Acorn defenses to herbivory from insects: implications for the joint evolution of resistance, tolerance and escape. *Forest Ecology and Management*, **238** (1 - 3): 302 - 308.
- Xiao Z S, Chang G, Zhang Z B. 2008. Testing the high-tannin hypothesis with scatter-hoarding rodents: experimental and field evidence. *Animal Behaviour*, **75** (4): 1235 - 1241.
- Zhang Z B. 2001. Effect of burial and environmental factors on seedling recruitment of *Quercus liaotungensis* Koidz. *Acta Ecologica Sinica*, **21** (3): 374 - 384.
- Zhang Z B, Wang F S. 2001. Effect of burial on acorn survival and seedling recruitment of Liaodong oak (*Quercus liaotungensis*) under rodent predation. *Acta Theriologica Sinica*, **21** (1): 35 - 42.
- Zhang Z B, Wang F S. 2001. Effect of rodents on seed dispersal and survival of wild apricot (*Prunus armeniaca*). *Acta Ecologica Sinica*, **21** (5): 839 - 845. (in Chinese)
- Zhang Z B, Xiao Z S, Li H J. 2005. Impact of small rodents on tree seeds in temperate and subtropical forests, China. In: Forget P M, Lambert J, Hulme P E, Vander Wall S B eds. Seed Fates: Seed Predation, Seed Dispersal and Seedling Establishment. CAB International Publishing, Wallingford, 269 - 282.
- 王巍, 马克平. 1999. 岩松鼠和松鸡对辽东栎坚果的捕食和传播. 植物学报, **41** (10): 1142 - 1144.
- 王巍, 马克平. 2001. 东灵山脊椎动物对辽东栎坚果的捕食和传播 I. 排除小型哺乳动物对坚果生存的影响. 生态学报, **21** (2): 204 - 210.
- 孙儒泳, 李博, 诸葛阳, 尚玉昌. 1993. 普通生态学. 北京: 高等教育出版社.
- 宋朝枢, 瞿文元. 1996. 太行山猕猴自然保护区科学考察集. 北京: 中国林业出版社.
- 张知彬, 王福生. 2001. 鼠类对山杏 (*Prunus armeniaca*) 种子扩散及存活作用研究. 生态学报, **21** (5): 839 - 845.
- 李宏俊, 张知彬. 2001. 动物与植物种子更新的关系 II. 动物对种子的捕食、扩散、贮藏及与幼苗建成的关系. 生物多样性, **9** (1): 25 - 37.
- 肖治术, 张知彬. 2004. 啮齿动物的贮藏行为与植物种子的扩散. 兽类学报, **24** (1): 61 - 70.
- 孟智斌, 张知彬. 1997. 北京山区的鸟兽及其生境和啮齿类动物群落特征. 见: 陈灵芝, 黄建辉主编. 暖温带森林生态系统结构与功能的研究. 北京: 科学出版社, 76 - 87.
- 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.
- 程瑾瑞, 肖治术, 张知彬. 2007. 包衣、埋藏的栓皮栎和枹栎种子在鼠类捕食下的存留. 生态学杂志, **26** (5): 668 - 672.
- 路纪琪, 吕国强, 李新民. 1997. 河南啮齿动物志. 郑州: 河南科学技术出版社.
- 路纪琪, 张知彬. 2005. 灌丛高度对啮齿动物贮藏和扩散辽东栎坚果的影响. 动物学报, **51** (2): 195 - 204.