

啮齿动物作用下退耕地山杏种子扩散与贮藏的季节变化*

马庆亮¹ 赵雪峰¹ 孙明洋¹ 路纪琪^{1**} 孔茂才²

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

摘要 啮齿动物对植物种子的取食和扩散影响种子的时空分布, 继而影响种子的萌发和幼苗建成, 因而在森林更新中起着重要作用. 在国有济源市愚公林场, 选择退耕地生境, 于春季、夏季、秋季分别释放人工标记的山杏种子, 观察啮齿动物扩散与埋藏山杏种子的季节性差异. 结果表明: 1) 退耕地中的啮齿动物主要包括大林姬鼠、社鼠、黑线姬鼠; 2) 山杏种子扩散速率在春季显著慢于夏季, 夏季显著慢于秋季; 3) 种子搬运量受季节和种子状态交互作用影响, 春季显著少于夏季, 夏季显著少于秋季; 4) 不同季节种子平均搬运距离不同, 秋季不同状态种子的搬运距离均大于春季和夏季; 5) 啮齿动物对山杏种子的贮藏点大小多为 1 粒种子, 少量为 2、3 粒种子, 且贮藏点大小与季节间存在显著的交互作用, 春季单粒种子的贮藏点数量显著少于夏季和秋季, 而夏季与秋季的贮藏点则倾向于多粒种子; 6) 在夏季和秋季各有 5 枚(共释放 1800 枚)被啮齿动物分散贮藏的山杏种子建成幼苗.

关键词 啮齿动物 贮藏 山杏 退耕地 季节

文章编号 1001-9332(2010)05-1238-06 中图分类号 Q958.1 文献标识码 A

Seasonal variations of wild apricot seed dispersal and hoarding by rodents in rehabilitated land. MA Qing-liang¹, ZHAO Xue-feng¹, SUN Ming-yang¹, LU Ji-qi¹, KONG Mao-cai² (¹Department of Bioengineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; ²State-owned Yugong Forest Farm, Jiyuan 454693, Henan, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2010, 21(5): 1238-1243.

Abstract: Rodents feed with and disperse plant seeds, which may thereby affect the seed spatio-temporal distribution, germination, and seedling establishment, and eventually play an important role in the restoration of deforested area. Taking the State-owned Yugong Forest Farm in Jiyuan of Henan, China as study site, the tagged seeds of wild apricot (*Prunus armeniaca*) were artificially released in rehabilitated land in the spring, summer, and autumn 2008, aimed to investigate their dispersal and hoarding by rodents in different seasons. It was found that *Apodemus peninsulae*, *Niviventer confucianus*, and *Apodemus agrarius* were the main rodent species acting on the seed dispersal and hoarding. The dispersal rate of the seeds was significantly lower in spring than in summer, and also, lower in summer than in autumn. The amount of removed seeds was affected by the interaction of season and seed status, being significantly lesser in spring than in summer, and lesser in summer than in autumn. The mean transportation distance differed with seasons, which was longer in autumn than in spring and summer. The cache size in majority caches was 1 seed, but in a few caches, each cache contained 2 or 3 seeds. The cache number was affected by the interaction of season and seed status, *i. e.*, one seed cache was lesser in spring than in summer and autumn, while the caches containing 2 or 3 seeds were more in summer and autumn. Among the 1800 seeds released, there were five seeds hoarded in summer and autumn respectively established seedlings in the next year of the experiment.

Key words: rodent; hoarding; wild apricot; rehabilitated land; season.

* 国家基础研究发展计划重点项目(2007CB109106)资助.

** 通讯作者. E-mail: lujq@zsu.edu.cn

2009-09-23 收稿, 2010-02-28 接受.

植物的繁殖体如种子是啮齿动物的重要食物资源^[1]。啮齿动物找到食物(植物的种子或果实)后会立即取食一部分,而将另一部分分散贮藏(scattered hoarding)或集中贮藏(larder hoarding)起来以度过食物短缺期,或为交配、繁殖储备能量^[2-4]。啮齿动物通过搬运、贮藏活动将种子搬离母树或种子源,避免了与母树的资源竞争,成为种子的有效扩散者^[5]。少量被啮齿动物埋藏在适宜微生境中的种子一旦逃脱贮藏者或其他动物的捕食,就可能萌发并最终建成幼苗,这对森林的更新和生境的演替有利^[6-7]。动物对种子的分散埋藏在植物更新和扩散中的作用在温带地区已得到证实^[4]。

植物更新主要包括种子生产、种子运动、种子萌发和幼苗建成等多个阶段^[8]。影响植物更新的因素很多,如啮齿动物密度、微生境、微生物对种子的侵害等。以前的研究主要集中在种子生产(种子雨、种子库)^[9-10]、种子运动(种子的扩散、贮藏等)^[11-13]阶段以及影响这些阶段的因素,而对不同季节释放种子在野外的萌发和幼苗建成涉及较少。

山杏(*Prunus armniaca*)是王屋山地区(属太行山区)较为常见的小乔木。山杏种子富含蛋白质、糖、脂肪和维生素,是当地啮齿动物较为常见的贮藏食物。退耕还林等生态保护政策实施以来,在农林交错地区,出现了较多的退耕地,而这些退耕地的植被大多处于自然演替状态,进展缓慢,主要植被以1年生种类为主。为加快植被恢复与演替进程,可采用种子直播技术。退耕地中生活着一些啮齿动物,它们的食物分散贮藏行为与种子直播技术有相似之处,从而可在一定程度上促进植物的更新。本研究在退耕地中释放山杏种子,旨在了解春、夏、秋3个季节山杏种子在退耕地中的存留动态,啮齿动物对种子的搬运、贮藏情况,调查被啮齿动物搬离释放点的山杏种子的最终命运、埋藏种子的发芽和幼苗建成状况,探讨啮齿动物与森林退化地区植被更新的关系。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

本研究在国有济源市愚公林场(112°16' E, 35°08' N, 海拔600 m)进行。该地位于河南省济源市西北部的王屋山地区,地处太行山南麓,地势北高南低,最高海拔1715 m。区内位于南北气候过渡地带,属大陆性季风气候,夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥,年平均气温14.3℃,年平均降水量600~700 mm。由于人类活动的干扰,海拔600 m以下的森林受到

较为严重的破坏,植物群落类型主要是次生林、灌丛、退耕地。退耕地一般位于距沟底较近的缓坡上,植被类型以1年生或多年生草本植物为主,如铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)、艾蒿(*Artemisia argyi*)、野菊花(*Dendranthema indicum*)、蒲公英(*Herba taraxaci*)等;还有少量由荆条(*Vitex negundo*)、酸枣(*Ziziphus jujuba*)等组成的矮灌。

从动物区系成分来看,王屋山区位于古北界与东洋界的交界地带,动物种类较为丰富,当地的啮齿动物主要有社鼠(*Niviventer confucianus*)、大林姬鼠(*Apodemus peninsulae*)、岩松鼠(*Sciurotamias davidianus*)、花鼠(*Eutamias sibiricus*)、黑线姬鼠(*Apodemus agrarius*)、大仓鼠(*Cricetulus triton*)等^[14]。

1.2 啮齿动物种类和相对密度调查

参照李宏俊等^[15]的方法,用直线铗夜法进行啮齿类动物种类和相对密度调查。选择与研究样地类似的生境,在其中选择一条样带,在样带上布铗25个,铗间距5 m,以花生为诱饵,傍晚布铗,翌日清晨检查鼠铗,记录所捕到啮齿动物的种类和数量,鼠铗连续放置2 d,于春季、夏季、秋季各调查1次。

1.3 样地设置与种子释放

在研究地区位于缓坡(坡度<5°)上的退耕地中选择样地,在样地中设置15个种子释放点(直线间隔10 m)。释放点大小为1 m²。

在山杏成熟季节,收集并选择成熟而完整的山杏种子,用塑料牌对种子进行标记^[16],山杏种子的平均质量0.83±0.22 g($n=100$)。分别于2008年4月16日(春季)、7月24日(夏季)和10月1日(秋季),在选好的释放点分别释放40枚标记的山杏种子,共计40(枚)×15(样点)×3(季节)=1800(枚)。从释放当天算起,每隔2 d检查1次,持续约60 d。由于春季种子消失率慢,释放天数适当延长。

1.4 种子命运定义

根据咬痕和搬运距离来确定处理种子的动物种类;从种子释放第2天开始在释放点50 m范围内寻找被啮齿动物扩散的种子,种子状态的定义参照有关文献^[17-18]。检查并记录种子的原地存留量、原地取食和埋藏的数量及种子编号;搬运种子的编号、状态、方位、所处1 m²的微生境及盖度;记录贮藏点大小和二次扩散情况。于2009年4月(春季),调查了被啮齿动物搬运后分散埋藏的山杏种子的最终命运,以了解埋藏种子的萌发和幼苗建成情况。

1.5 数据分析

利用SPSS 13.0对数据进行统计分析。所有数

据均采用单次探索分析 (explore) 去除奇异值 (outliers), 再利用 Kolmogorov-Smirnov 检验确定其正态性. 用可重复测量的单因素方差分析 (repeated measures one-way ANOVA) 种子消失速率之间的差异, 用单因素方差分析 (one-way ANOVA) 各个季节不同状态种子搬运距离的差异, 用双因素方差分析 (two-way ANOVA) 确定季节与种子搬运数量和埋藏点大小之间的关系, 以 Levene 检验确定其方差齐次性, LSD (least significant differences) 法进行多重比较. 数据以平均值 \pm 标准误 (mean \pm SE) 表示, 均为双尾 (two-tailed) 检验, 差异显著为 $\alpha=0.05$.

2 结果与分析

2.1 啮齿动物的种类和密度

调查结果表明, 样地中的啮齿动物主要有大林姬鼠、社鼠、黑线姬鼠, 其中大林姬鼠和社鼠为优势鼠种 (表 1). 啮齿动物相对密度以秋季最高, 夏季次之, 春季最低. 由于岩松鼠和花鼠体格较大, 且喜欢在陡峭的岩壁处觅食, 不易捕获, 但曾见到其在样地周围活动.

2.2 山杏种子存留量的季节动态

山杏在释放点的存留动态存在显著的季节差异 (图 1, 表 2). 可重复测量的单因素方差分析结果表

表 1 研究地区啮齿动物种类和相对密度调查
Tab. 1 Survey on rodent species and relative densities in study area among three seasons

种类 Species	捕获数 Captured No. / 捕获率 Capture rate (%)		
	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn
大林姬鼠 <i>Apodemus peninsulae</i>	0/0	2/4	1/2
社鼠 <i>Niviventer confucianus</i>	0/0	0/0	2/4
黑线姬鼠 <i>Apodemus agrarius</i>	0/0	0/0	1/2
总计 Total	0/0	2/4	4/8

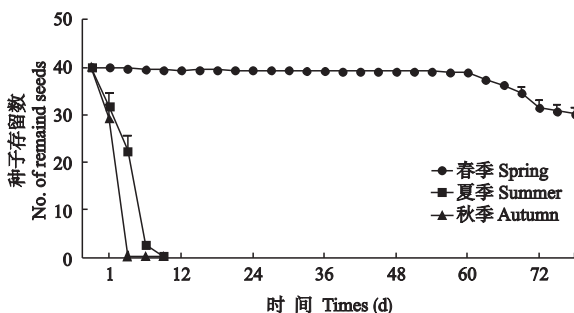


图 1 不同季节释放点山杏种子的存留动态
Fig. 1 Survival dynamics of wild apricot seeds in releasing place among different seasons.

明, 山杏种子存留量随时间显著降低 ($F_{(27,1134)} = 314.056, P < 0.001$), 且存在显著的季节差异 ($F_{(2,42)} = 7850.740, P < 0.001$), 山杏种子存留量的季节与释放时间亦存在显著交互作用 ($F_{(54,1134)} = 80.245, P < 0.001$). 进一步采用 LSD 法进行多重比较分析表明, 山杏种子存留量秋季显著低于夏季 ($P = 0.004$), 夏季也显著低于春季 ($P < 0.001$).

2.3 山杏种子命运的季节差异

不同季节被啮齿动物搬运后埋藏 (分散贮藏)、弃置地表和取食的山杏种子数量存在显著差异 (图 2, 表 3). 双因素方差分析结果表明, 不同季节间被搬运的种子数量有显著差异 ($F_{(2,126)} = 17.227, P < 0.001$), 不同状态的种子数量间也存在显著差异 ($F_{(2,126)} = 84.951, P < 0.001$), 季节和状态之间存在显著的交互作用 ($F_{(4,126)} = 84.951, P < 0.001$). 采用 LSD 法进行多重比较分析发现, 春季搬运的种子数量显著少于夏季 ($P < 0.001$), 夏季显著少于秋季 ($P = 0.032$); 搬运后埋藏的种子显著多于取食和弃置地表的种子 ($P < 0.001$), 而搬运后取食和弃置地表的种子数量之间没有差异 ($P = 0.161$).

调查期间, 啮齿动物在春季原地取食山杏种子 2 枚, 占释放种子的 0.3%; 夏季原地取食 3 枚, 占 0.5%; 秋季原地取食的种子 18 枚, 占 3%, 原地埋藏种子 4 枚, 占 0.7%.

表 2 山杏种子存留季节动态的可重复测量单因素方差分析
Tab. 2 Repeat measured one-way ANOVA on survival dynamics of wild apricot seeds among different seasons

变异来源 Source		df	F	P
组内效应检验	时间 Time	27	314.056	<0.001
Tests of within-subjects effects	时间 \times 季节 Time \times Season	54	80.245	<0.001
组间效应检验	季节 Season	2	7850.740	<0.001
Tests of between-subjects effects				

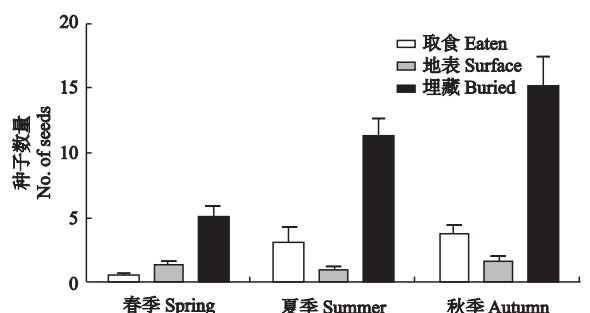


图 2 不同季节啮齿动物作用下山杏种子的命运
Fig. 2 Fate of wild apricot seeds after removed by rodents among different seasons (mean \pm SE).

表 3 啮齿动物搬运后不同状态种子数量的双因素方差分析
Tab.3 Two-way ANOVA on seed number with different status after removal by rodents

变异来源 Source	df	F	P
季节 Season	2	17.227	<0.001
状态 Status	2	84.951	<0.001
季节×状态 Season×status	4	7.601	<0.001

2.4 山杏种子扩散距离的季节差异

释放的山杏种子只有少量被啮齿动物原地埋藏或取食,大部分种子被啮齿动物搬运到其他地方.用单因素方差分析进行多重比较结果表明,不同季节被啮齿动物搬运后取食、弃置地表、埋藏种子的平均搬运距离不同(图 3).春季取食和埋藏种子的搬运距离之间有显著差异($P<0.001$),夏季取食种子与地表和埋藏种子的搬运距离有显著差异($P<0.001$),秋季埋藏和取食种子的搬运距离亦有显著差异($P<0.001$).

2.5 山杏种子贮藏点大小的季节差异

山杏种子被搬离释放点后,分散贮藏是啮齿动物处理食物资源的一种重要方式,不同季节啮齿动物贮藏点大小(cache size)有较大差异(图 4,表 4).双因素方差分析结果表明,不同大小的贮藏点数量存在着显著的季节差异($F_{(2,126)} = 16.050, P<0.001$);贮藏点数量在不同大小贮藏点间也存在显著差异($F_{(2,126)} = 104.947, P<0.001$),季节和贮藏点大小之间存在显著的交互作用($F_{(4,126)} = 6.940, P<0.001$);进一步采用 LSD 法进行多重比较分析表明,春季的贮藏点数量显著少于夏季和秋季($P<0.001$),而秋季和夏季贮藏点数量之间没有差异($P=0.917$);单粒贮藏点数量显著大于 2 粒和 3 粒种子的贮藏点数量($P<0.001$),而 2 和 3 粒种子的

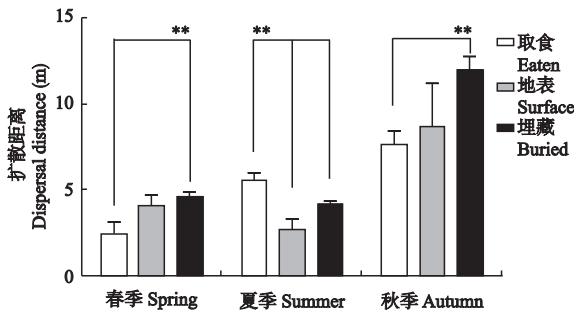


图 3 不同季节山杏被搬运后的状态和平均距离
Fig.3 Status and mean distance after removed by rodents among different seasons(mean±SE).

* $P<0.05$; ** $P<0.01$.

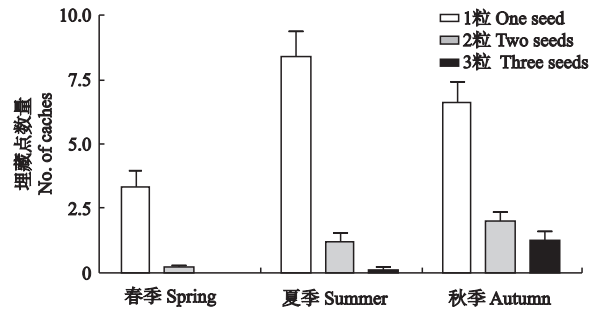


图 4 不同季节山杏种子的贮藏点大小
Fig.4 Cache size of buried wild apricot seeds in different seasons(mean±SE).

表 4 种子贮藏点大小的双因素方差分析结果
Tab.4 Two-way ANOVA of cache size of buried wild apricot seeds

变异来源 Source	df	F	P
季节 Season	2	16.050	<0.001
贮藏点 Cache	2	104.947	<0.001
季节×贮藏点 Season×Cache	4	6.490	<0.001

贮藏点数量间没有差异($P=0.120$).啮齿动物倾向于对种子进行单粒贮藏,但在夏季和秋季行 2 粒或 3 粒种子的贮藏点多于春季.

2.6 释放种子的最终命运

于 2009 年 4 月,调查了被啮齿动物扩散后山杏种子命运.夏季和秋季各有 5 枚搬运后被分散埋藏的种子萌发并最终建成幼苗,而春季埋藏种子则未发现幼苗建成.

3 讨论

通过对研究样地中啮齿动物的调查,并与活捕后室内饲养鼠对山杏种子咬痕比较发现,在研究地区取食山杏种子的啮齿动物主要是大林姬鼠、社鼠、岩松鼠和黑线姬鼠.尽管有学者认为,鸟类如松鸦(*Garrulus glandarius*)、环颈雉(*Phasianus colchincus*)等也搬运和取食一些坚果类种子^[19],但从本研究中就地取食和搬运后取食的种子咬痕特征来看,几乎均为啮齿动物所为.鸟类对较小的、有丰富果肉的种子或果实的搬运影响较大,但对较大的、有坚硬种皮的种子搬运影响较小^[20-22].由于鸟类无法取食而会选择将这些种子搬进鸟巢或丢弃在地表,使其脱离与土壤等基质的接触,这可能对种子萌发和幼苗建成极其不利^[23].

季节是影响种子扩散速率的重要原因,越冬时啮齿动物受寒冷天气和食物缺乏的影响大量死亡,

而新个体尚未出生,这导致春季啮齿动物密度相对较低,山杏的扩散速率较慢;到夏季和秋季时,啮齿动物经过繁殖,种群数量增加,密度较大,捕获率分别为4%(夏季)和8%(秋季),因而释放山杏种子的扩散速率较快(图1)。啮齿动物倾向于将种子搬运到草丛或附近的灌丛中埋藏或取食而不是原地取食,原因可能是山杏种皮较硬,咬破种皮需花费较长的时间,原地取食会使动物长时间暴露在天敌的视野下,遭受更大的捕食风险^[24],且原地取食或埋藏种子会使竞争者发现食物源,增加盗食几率^[25]。

已有研究表明,一些啮齿动物发现食物源后除了取食少部分以满足当前能量消耗外,会将大部分种子搬离食物源并分散埋藏起来,这样能够在一定程度上避免其他啮齿动物对食物源的竞争,更好地应对将来可能出现的恶劣环境^[4,11,16-18];通过对不同季节生境中食物资源调查(另文发表)发现,春季和夏季退耕地中食物资源较为匮乏,主要是草本植物和周边灌类植物的嫩茎、幼叶、根等,啮齿动物的食物选择范围小,种子被搬运后也会被迅速找到并取食,很少有二次或多次扩散的现象,所以搬运距离较近^[18]。而秋季食物资源相对较多,周边灌丛和栓皮栎林中大量成熟种子增加了食物的选择范围,使啮齿动物将不容易腐烂变质的山杏种子贮藏起来而不是立刻吃掉^[17,26],且啮齿动物要为即将到来的寒冬储备食物,资源竞争异常激烈,为了避免盗食,啮齿动物倾向于将山杏种子搬运到距食物源较远的地方分散贮藏^[25],同时,啮齿动物对山杏种子的二次扩散和多次扩散较多,因而种子扩散距离较远。

啮齿动物通常会将暂时多余的食物贮藏起来,贮藏方式有集中贮藏和分散贮藏。贮藏点的大小和啮齿动物对食物保护能力的强弱有关。本研究结果提示,贮藏点大小还受到季节等因素的影响。在小的贮藏点,啮齿动物对每个贮藏点的管理投入少,这可能导致丢失一部分贮藏点,不利于啮齿动物安全过冬;而对大的贮藏点则需要啮齿动物投入更多的管理耗费,重新找到贮藏种子的概率相应增大,进而可以获得更高的回报^[4],这促使啮齿动物选择在秋季采用较大贮藏点以应付将来的食物缺乏期。

幼苗建成是生态恢复和森林更新中的关键一环,啮齿动物是地表种子库的主要消耗者,其种群密度会影响种子库的丰富度,进而影响第2年幼苗建成率。本研究中幼苗的建成率较低(秋季和夏季释放种子各有5枚埋藏种子建成幼苗,春季种子未发现),可能受多方面因素的影响:1)种子本身的质

量。种子释放后,会遭到一些昆虫、霉菌的侵害,导致种子腐烂变质,失去发芽能力^[27],作者也在野外观察到大量土蟥(*Adrisa magna*)搬运和取食山杏种子;2)季节。啮齿动物的取食是种子损失的主要原因^[28],不同季节啮齿动物密度不同,对种子库的消耗也不同;3)微生境质量。合适的微生境(盖度较大,较隐蔽)有助于种子逃避取食而存活下来,且能为种子萌发提供所需的温度、湿度等条件^[18]。Guo等^[29]认为,地表和埋藏的种子都能萌发,而本研究发现野外释放种子只有埋藏后才能萌发,可能是因为退耕地中地表种子更容易遭受啮齿动物和昆虫的捕食,且地表变化较大的温差以及干旱环境不利于种子萌发。在春季,山杏种子很少被啮齿动物搬运后埋藏,且萌发需要经过更长的时间(第2年春季萌发),期间将经受更多啮齿动物和昆虫的捕食,经历更大的微生境变化,因此萌发率更低。

总之,啮齿动物的搬运和贮藏行为有利于种子的萌发和幼苗建成,且夏季和秋季分散贮藏的种子更易萌发。因此,在植被退化地区进行人工造林时,可于夏季或秋季将种子直播埋藏在草丛或灌丛下,来提高翌年春季种子的萌发率和幼苗建成率。

致谢 本研究野外工作期间,得到太行山猕猴国家级自然保护区济源管局王好峰、汤发有、刘金栋等的大力支持;张洪茂博士审阅论文;王振龙副教授指导数据分析,在此一并致谢。

参考文献

- [1] Janzen DH. Seed predation by animals. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1971, **2**: 465-492
- [2] Howe HF, Smallwood J. Ecology of seed dispersal. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1982, **13**: 201-228
- [3] Smith CC, Reichman OJ. The evolution of food caching by birds and mammals. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1984, **15**: 329-351
- [4] Vander Wall SB. *Food Hoarding in Animals*. Chicago: University of Chicago Press, 1990: 1-455
- [5] Nilsson SG. Ecological and evolutionary interaction between reproduction of beech *Fagus sylvatica* and seed eating animals. *Oikos*, 1985, **44**: 157-164
- [6] Vander Wall SB, Joyner JW. Recaching of Jeffrey pine (*Pinus jeffreyi*) seeds by yellow pine chipmunks (*Tamias amoenus*): Potential effects on plant reproductive success. *Canadian Journal of Zoology*, 1998, **76**: 154-162
- [7] Forget PM. Post-dispersal predation and scatter hoarding of *Dipteryx panamensis* (Papilionaceae) seeds by rodents

- in Panama. *Oecologia*, 1993, **94**: 255–261
- [8] Nathan R, Helene C, Muller L. Spatial patterns of seed dispersal, their determinants and consequences for recruitment. *Trends in Ecology and Evolution*, 2000, **15**: 278–285
- [9] 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)
- [10] Du XJ, Guo QF, Gao XM, et al. Seed rain, soil seed bank, seed loss and regeneration of *Castanopsis fargesii* (Fagaceae) in a subtropical evergreen broad-leaved forest. *Forest Ecology and Management*, 2007, **238**: 212–219
- [11] Vander Wall SB, Kuhn KM, Gworek JR. Two-phase seed dispersal: Linking the effects of frugivorous birds and seed-caching rodents. *Oecologia*, 2005, **145**: 282–287
- [12] Zhang HM, Chen Y, Zhang ZB. 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*, 2008, **255**: 1243–1250
- [13] Shen Z-H (沈泽昊), Tang Y-Y (唐圆圆), Li D-X (李道兴). Species preference and spatiotemporal patterns of predation by rodents. *Acta Ecologica sinica* (生态学报), 2008, **28**(12): 6018–6024 (in Chinese)
- [14] Lu J-Q (路纪琪), Lü G-Q (吕国强), Li X-M (李新民). Glires Fauna of Henan Province. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1997: 32–40 (in Chinese)
- [15] Li H-J (李宏俊), Zhang Z-B (张知彬), Wang Y-S (王玉山), et al. Small rodents community composition and seasonal changes of their dominant populations in Dongling Mountain. *Acta Theriologica Sinica* (兽类学报), 2004, **24**(3): 215–221 (in Chinese)
- [16] Yi XF, Xiao ZS, Zhang ZB. Seed dispersal of Korean pine *Pinus koraiensis* labeled by two different tags in a northern temperate forest, northeast China. *Ecological Research*, 2008, **23**: 379–384
- [17] Lu J-Q (路纪琪), Zhang Z-B (张知彬). Seed-hoarding behavior of wild apricot and Liaodong oak by small rodents. *Acta Theriologica Sinica* (兽类学报), 2004, **24**(2): 132–138 (in Chinese)
- [18] Lu JQ, Zhang ZB. Effects of habitat and season on removal and hoarding of seeds of wild apricot (*Prunus armeniaca*) by small rodents. *Acta Oecologica*, 2004, **26**: 247–254
- [19] Wang W (王巍), Ma K-P (马克平). 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* (生态学报), 2001, **21**(2): 204–210 (in Chinese)
- [20] Yao X-L (姚晓琳), Piao Z-J (朴正吉), Li B-H (李步杭), et al. *Pinus koraiensis* seed consumption by rodents and birds. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2008, **19**(8): 1759–1763 (in Chinese)
- [21] Li HJ, Zhang ZB. Effect of rodents on acorn dispersal and survival of the Liaodong oak (*Quercus liaotungensis* Koidz). *Forest Ecology and Management*, 2003, **176**: 387–396
- [22] Zhao X-F (赵雪峰), Lu J-Q (路纪琪), Qiao W-T (乔王铁), et al. Dispersal and hoarding on acorns of *Quercus variabilis* by rodents in different habitats. *Acta Theriologica Sinica* (兽类学报), 2009, **29**(2): 160–166 (in Chinese)
- [23] Vander Wall SB, Balda RP. Ecology and evolution of food-storage behavior in conifer-seed-caching corvids. *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 1981, **56**: 217–242
- [24] Lima SL. Stress and decision making under the risk of predation: Recent development from behavioral, reproductive, and ecological perspectives. *Advances in the Study of Behavior*, 1998, **27**: 215–290
- [25] Lisa A, Laver, Lucy Hopewell, et al. Audience effects on food caching in grey squirrels (*Sciurus carolinensis*): Evidence for pilferage avoidance strategies. *Animal Cognition*, 2007, **10**: 23–27
- [26] Zhang HM, Zhang ZB. Endocarp thickness affects seed removal speed by small rodents in a warm-temperate broad-leaved deciduous forest, China. *Acta Oecologica*, 2008, **34**: 285–293
- [27] Xiao ZS, Harris MK, Zhang ZB. Acorn defenses to herbivory from insects: Implications for the joint evolution of resistance, tolerance and escape. *Forest Ecology and Management*, 2007, **238**: 302–308
- [28] Maron JR, Simms EL. Rodent-limited establishment of bush lupine: Field experiments on the cumulative effect of granivory. *Journal of Ecology*, 2001, **89**: 578–588
- [29] Guo CR, Lu JQ, Yang DZ, et al. Impacts of burial and insect infection on germination and seedling growth of acorns of *Quercus variabilis*. *Forest Ecology and Management*, 2009, **258**: 1497–1502

作者简介 马庆亮,男,1981年生,硕士研究生.主要从事动物生态学研究. E-mail: maqingliang6688@163.com

责任编辑 肖红
