

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 10 期 Vol.32 No.10 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 10 期

2012 年 5 月 (半月刊)

目次

基于系统动力学的城市住区形态变迁对城市代谢效率的影响.....	李旋旗,花利忠 (2965)
居住-就业距离对交通碳排放的影响	童抗抗,马克明 (2975)
经济学视角下的流域生态补偿制度——基于一个污染赔偿的算例	刘涛,吴钢,付晓 (2985)
旅游开发对上海滨海湿地植被的影响.....	刘世栋,高峻 (2992)
汶川地震对大熊猫主食竹——拐棍竹竹笋生长发育的影响.....	廖丽欢,徐雨,冉江洪,等 (3001)
江西省森林碳蓄积过程及碳源/汇的时空格局.....	黄麟,邵全琴,刘纪远 (3010)
伊洛河流域草本植物群落物种多样性.....	陈杰,郭屹立,卢训令,等 (3021)
新疆绿洲农田不同连作年限棉花根际土壤微生物群落多样性.....	顾美英,徐万里,茆军,等 (3031)
荒漠柠条锦鸡儿 AM 真菌多样性.....	贺学礼,陈杰,郭辉娟,等 (3041)
彰武松、樟子松光合生产与蒸腾耗水特性	孟鹏,李玉灵,尤国春,等 (3050)
中亚热带常绿阔叶林粗木质残体呼吸季节动态及影响因素.....	刘强,杨智杰,贺旭东,等 (3061)
盐土和沙土对新疆常见一年生盐生植物生长和体内矿质组成的影响	张科,田长彦,李春俭 (3069)
长白山北坡林线灌木草本植物与岳桦的动态关系.....	王晓东,刘惠清 (3077)
不同生态条件对烤烟形态及相关生理指标的影响.....	颜侃,陈宗瑜 (3087)
基于因子分析的首蓿叶片叶绿素高光谱反演研究	肖艳芳,官辉力,周德民 (3098)
三峡库区消落带水淹初期土壤种子库月份动态.....	王晓荣,程瑞梅,唐万鹏,等 (3107)
三种利用方式对羊草草原土壤氨氧化细菌群落结构的影响.....	邹雨坤,张静妮,陈秀蓉,等 (3118)
西洋参根残体对自身生长的双重作用	焦晓林,杜静,高微微 (3128)
不同程度南方菟丝子寄生对入侵植物三叶鬼针草生长的影响	张静,闫明,李钧敏 (3136)
山东省部分水岸带土壤重金属含量及污染评价.....	张菊,陈诗越,邓焕广,等 (3144)
太湖蓝藻死亡腐烂产物对狐尾藻和水质的影响.....	刘丽贞,秦伯强,朱广伟,等 (3154)
不同生态恢复阶段无瓣海桑人工林湿地中大型底栖动物群落的演替.....	唐以杰,方展强,钟燕婷,等 (3160)
江西鄱阳湖流域中华秋沙鸭越冬期间的集群特征.....	邵明勤,曾宾宾,尚小龙,等 (3170)
秦岭森林鼠类对华山松种子捕食及其扩散的影响	常罡,王开锋,王智 (3177)
内蒙古草原小毛足鼠的活动性、代谢特征和体温的昼夜节律	王鲁平,周顺,孙国强 (3182)
温度和紫外辐射胁迫对西藏飞蝗抗氧化系统的影响.....	李庆,吴蕾,杨刚,等 (3189)
“双季稻-鸭”共生生态系统 C 循环	张帆,高旺盛,隋鹏,等 (3198)
水稻籽粒灌浆过程中蛋白质表达特性及其对氮肥运筹的响应.....	张志兴,陈军,李忠,等 (3209)
专论与综述	
海水富营养化对海洋细菌影响的研究进展	张瑜斌,章洁香,孙省利 (3225)
海洋酸化效应对海水鱼类的综合影响评述.....	刘洪军,张振东,官曙光,等 (3233)
入侵种薇甘菊防治措施及策略评估.....	李鸣光,鲁尔贝,郭强,等 (3240)
研究简报	
渭干河-库车河三角洲绿洲土地利用/覆被时空变化遥感研究	孙倩,塔西甫拉提·特依拜,张飞,等 (3252)
2009 年冬季东海浮游植物群集	郭术津,孙军,戴民汉,等 (3266)
新疆野生多伞阿魏生境土壤理化性质和土壤微生物.....	付勇,庄丽,王仲科,等 (3279)
塔里木盆地塔里木沙拐枣群落特征	古丽努尔·沙比尔哈孜,潘伯荣,段士民 (3288)
矿区生态产业共生系统的稳定性.....	孙博,王广成 (3296)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-05	



封面图说: 哈巴雪山和金沙江——“三江并流”自然景观位于青藏高原南延部分的横断山脉纵谷地区,由怒江、澜沧江、金沙江及其流域内的山脉组成。它地处东亚、南亚和青藏高原三大地理区域的交汇处,是世界上罕见的高山地貌及其演化的代表地区,也是世界上生物物种最丰富的地区之一。哈巴雪山在金沙江左岸,与玉龙雪山隔江相望。图片反映的是金沙江的云南香格里拉段,远处为哈巴雪山。哈巴雪山主峰海拔 5396 m,而最低江面海拔仅为 1550 m,山脚与山顶的气温差达 22.8℃,巨大的海拔差异形成了明显的高山垂直性气候。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201104130487

常罡,王开锋,王智. 秦岭森林鼠类对华山松种子捕食及其扩散的影响. 生态学报, 2012, 32(10): 3177-3181.

Chang G, Wang K F, Wang Z. Effect of forest rodents on predation and dispersal of *Pinus armandii* seeds in Qinling Mountains. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(10): 3177-3181.

秦岭森林鼠类对华山松种子捕食及其扩散的影响

常 罡^{1,2,*}, 王开锋¹, 王 智³

(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;

3. 陕西师范大学生命科学学院, 西安 710062)

摘要: 森林鼠类的种子贮藏行为对植物的扩散和自然更新有着非常重要的影响。通过塑料片标记法, 2008 和 2009 年的 9 月—11 月分别在秦岭南坡的佛坪国家级自然保护区内调查了森林鼠类对华山松 (*Pinus armandii*) 种子的捕食和扩散, 结果显示: 森林鼠类对华山松种子有着非常大的捕食压力。在 2008 年, 几乎所有的种子 (96.4%) 在第 3 天后就被全部取食, 而在 2009 年, 也有将近一半的种子 (49.6%) 在第 3 天后被取食。但与此同时, 鼠类对华山松种子的扩散也起着非常重要的作用。尤其在 2009 年, 第 3 天时鼠类最高分散贮藏了 17.75% 的种子, 而且直到第 19 天后仍然有 12.25% 被贮藏的种子存活下来。华山松种子在两个年份间的扩散历程有很大差异。在 2008 年, 几乎所有的种子都被鼠类取食, 贮藏量非常小; 而在 2009 年, 种子被贮藏的比例显著的增加。这个结果可能与种子大小年现象有着十分紧密的联系。2008 年是华山松种子的小年, 产量非常低。鼠类为了满足其日常的能量需求, 只能大量的取食有限的种子, 而减少其贮藏量。而 2009 年是华山松种子的大年, 产量非常高。鼠类在满足其日常能量需求的同时, 还有大量剩余的种子供其贮藏。

关键词: 华山松; 森林鼠类; 种子贮藏; 扩散距离; 种子大小年

Effect of forest rodents on predation and dispersal of *Pinus armandii* seeds in Qinling Mountains

CHANG Gang^{1,2,*}, WANG Kaifeng¹, WANG Zhi³

¹ Shaanxi Institute of Zoology, Xi'an 710032, China

² State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents in Agriculture, Beijing 100101, China

³ College of Life Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China

Abstract: Seed dispersal is recognized as a key phase affecting plant regeneration and distribution. By acting as seed dispersal vectors, forest rodents play an essential role in this phase through their scatter hoarding behavior. Although rodents can consume a large number of seeds to meet their immediate energy requirements, they also store some seeds in scatter caches for future use to ensure overwinter survival or reproductive success. Buried seeds are more likely to germinate and survive to the seedling stage if the animal fails to recover some of the seeds; this may occur if, for instance, the animal has died or moved, or stored more than it could use. *Pinus armandii*, which are common and often dominant tree species in many temperate and subtropical forests, are an important food source for many wild animals. Much attention has been paid to the dispersal biology of *Pinus* spp.; however, knowledge of the interactions between *P. armandii* seeds and rodents in Qinling Mountains is still poor. The predation and dispersal of *P. armandii* seeds by forest rodents were investigated using plastic tags in Foping National Nature Reserve (35°0'N, 105°30'E), located in the southern aspect of Qinling Mountains

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目 (20090451366); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目 (GK200902035); 农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室开放研究基金资助项目 (ChineseIPM1004)

收稿日期: 2011-04-13; 修订日期: 2011-08-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: snow1178@snnu.edu.cn

in Shaanxi Province during September–November of 2008 and 2009. Approximately 20 plots (1 m × 1 m), separated by 15 m along a transect line, were established as seed stations in a deciduous broad-leaved forest. In September of each year, 50 tagged seeds were placed at each station and seed fates were monitored on 1, 2, 3, 11 and 19 days after initial placement. During each visit, we searched the area around each station (radius < 30 m) for seeds removed by rodents and recorded their fates. The results showed that rodents imposed a strong predation pressure on *P. armandii* seeds in this study site. In 2008, nearly all the seeds (96.4%) were consumed by the third day, and almost half of the seeds (49.6%) were consumed by the third day in 2009. Rodents also played an important role in seed dispersal of *P. armandii*. In 2009, rodents scatter hoarded 17.75% seeds by the third day and 12.25% of hoarded seeds were still alive by day 19. There was a significant difference in seed dispersal of *P. armandii* between the two years. In 2008, almost all the seeds were consumed by rodents and the quantity of cached seeds was very small. The proportion of cached seeds was significantly greater in 2009 than in 2008. This result may be associated with mast seeding. The yield of *P. armandii* seeds was very low in 2008 and rodents had to consume a large number of seeds to meet their daily energy needs, leading to a reduction in storage. Whereas the yield of *P. armandii* seeds was very high in 2009, and there were sufficient seeds to not only meet the daily energy needs of rodents but also to hoard seeds for future use.

Key Words: *Pinus armandii*; forest rodents; seed hoarding; dispersal distance; mast seeding

植物种子是森林鼠类的主要食物资源,它们一方面取食种子补充自身在觅食过程中的能量需求,另一方面又将种子分散或集中贮藏起来而渡过将来的食物短缺期,以保证自身的生存和物种繁衍^[1-2]。鼠类常常会将种子分散埋藏于土壤浅表,而这里正是种子萌发较为理想的位点^[3]。一旦这些种子将来成功逃避了鼠类的捕食,在环境条件适宜时就有可能萌发成为幼苗,从而实现植物的自我更新^[4]。

由此可见,森林鼠类的种子贮藏行为对植物的扩散和自然更新有着非常重要的影响^[5]。然而,目前国内多数的研究主要关注温带与热带的常见优势树种——橡子(壳斗科 Fagaceae)的扩散^[6-14],对秦岭山区华山松等松科树种的扩散研究尚很少有报道。华山松是分布在秦岭山地的一类优势常绿乔木树种,在生态环境保护、减少水土流失等方面发挥着重要的作用。因此,本研究在秦岭南坡的佛坪国家级自然保护区内对华山松种子的野外扩散进行调查,以期为该地区华山松树种的自然更新和生态系统保护提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究地点及物种

本研究分别于2008年和2009年的9—11月在秦岭南坡的佛坪国家级自然保护区内进行。该保护区气候处于北亚热带向暖温带过渡区的北缘,年平均气温11.4℃,年平均降水943 mm。本区植被可分为3个垂直自然带:低中山典型落叶阔叶林带(海拔2000 m以下,栎林带),中山落叶阔叶小叶林带(海拔2000—2500 m,桦林带)和亚高山针叶林带(海拔2500 m以上,巴山冷杉林带)。本项研究在低中山典型落叶阔叶林带内进行。华山松是本区分布的优势松科树种,其它常见乔木树种有板栗(*Castanea mollissima*),茅栗(*C. seguinii*),栓皮栎(*Quercus variabilis*),小橡子(*Q. glandulifera*),多脉青冈(*Cyclobalanopsis multinervis*),小青冈(*C. engleriana*),油松(*P. tabulaeformis*),红桦(*Betula albo-sinensis*),秦岭冷杉(*Abies chinensis*),铁杉(*Tsuga chinensis*),巴山冷杉(*A. fargesii*),太白红杉(*Larix chinensis*)等;本区分布的啮齿动物主要有小家鼠(*Mus musculus*),中华姬鼠(*Apodemus draco*),大林姬鼠(*A. peninsulae*),黑线姬鼠(*A. agrarius*),褐家鼠(*Rattus norvegicus*),社鼠(*Niviventer confucianus*),针毛鼠(*N. fulvescens*),岩松鼠(*Sciurotamias davidianus*)和花鼠(*Eutamias sibiricus*)等。在低中山典型落叶阔叶林带内,社鼠、岩松鼠和中华姬鼠为主要常见鼠种^[15-17]。

华山松隶属于松科(Pinaceae)松属(*Pinus*),常绿乔木,树冠广圆锥形。小枝平滑无形毛,冬芽小,圆柱形,栗褐色。幼树树皮灰绿色,老则裂成方形厚块片固着树上。叶5针1束,长8—15 cm。球果圆锥状长卵形,长10—20 cm,柄长2—5 cm,成熟时种鳞张开,种子脱落。种鳞与苞鳞完全分离,种鳞和苞鳞在幼时可区

分开来,苞鳞在成熟过程中退化,最后所见到的为种鳞。种子无翅或近无翅,花期4—5月,球果次年9—10月成熟。华山松主产中国中部和西南部高山上,分布于西北、中南及西南各地,主要分布地区有宁夏、山西、陕西、河南、甘肃等省以及四川西部、湖北西部和西南部、贵州中部和西北部、云南北部和中部、西藏雅鲁藏布江下游^[18]。

1.2 种子标记方法

为了方便快速找到被鼠类扩散的种子,采用塑料片标记法来标记实验种子。具体操作方法详见常罡和邵发道^[16]。通过野外及围栏的研究表明,塑料片和细钢丝对鼠类鉴别、搬运及埋藏种子没有显著影响^[19-20]。

1.3 森林鼠类群落结构调查

每年开始实验前,在低中山典型落叶阔叶林带内随机选择3个研究样地,每个样地按直线设置2条样线,间隔约15—20 m。样线上每间隔10 m放置一活捕笼(30 cm × 25 cm × 20 cm,以花生为诱饵),2条样线共放置60笼。每个研究样地连续调查3 d。捕获的鼠类待鉴定、称重后原地释放。

1.4 实验设计及步骤

2008年9月—11月,在低中山典型落叶阔叶林带内随机选择20个样点(1 m × 1 m)作为种子释放点,释放点之间间隔大约15 m,每个样点同时放入50粒标记的华山松种子。种子扩散的调查时间为释放后的第1, 2, 3, 11, 19天,调查范围以每个种子释放点为中心30 m以内。调查时记录每个样点所有种子的命运及扩散距离(丢失的种子未作统计分析),2009年9—11月重复上述实验。

本研究将种子命运分为4种:(1)存留,种子在释放点完好保留,未被取食或移动;(2)原地取食,种子在释放点被取食;(3)扩散取食,种子被搬运后取食;(4)贮藏,种子被埋藏于地表。

1.5 统计与分析

所有数据都在SPSS for Windows (Ver. 16.0)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。其中释放点存留、原地取食和扩散取食的数据为当天调查的结果,贮藏的数据为累积调查的结果。多因素方差分析(General Linear Model)用来比较种子在释放点存留、被原地取食、被扩散取食和被贮藏时间动态上的差异;配对样本(Paired-Samples) *T* 检验用来比较种子在取食距离和贮藏距离上的差异。

2 结果

2.1 森林鼠类群落结构

2008年共捕获鼠类27只,其中社鼠和岩松鼠数量最多,分别占到总数的74.1%和18.5%。同时捕获到少量的中华姬鼠(3.7%)和大足鼠(3.7%)。2009年共捕获鼠类35只,其中社鼠(71.4%)和岩松鼠(17.1%)仍然占绝对优势,同时捕获到的鼠类还包括中华姬鼠(5.7%)、针毛鼠(2.9%)和大足鼠(2.9%)。

2.2 种子扩散命运

在2008年,华山松种子在4种种子命运(释放点存留、被原地取食、被扩散取食和被贮藏)动态上存在极显著的差异($F = 10.828$, $df = 3$, $P < 0.001$),多数的种子在第1天就被原地或扩散取食,几乎所有的种子(96.4%)在第3天后就被全部取食,种子被贮藏的比例非常低(图1)。在2009年,华山松种子在4种种子命运动态上也存在极显著的差异($F = 52.415$, $df = 3$, $P < 0.001$),种子主要在第2天和第3天经历了捕食和扩散。种子被贮藏的比例要高于2008年,第19天后仍然有12.25%被贮藏的种子存活下来(图2)。

2.3 种子扩散距离

在2008年,华山松种子被取食的平均距离是(5.69 ± 1.31) m,被贮藏的平均距离是(6.71 ± 1.35) m,二者之间没有显著的差异($t = 1.00$, $P = 0.339$);在2009年,华山松种子被取食的平均距离是(1.68 ± 0.23) m,被贮藏的平均距离是(1.94 ± 0.20) m,二者之间也没有显著的差异($t = 0.871$, $P = 0.391$)。

3 讨论

当森林鼠类发现种子后,它会面临两种抉择:首先,是否吃这些种子;其次,如果决定吃这些种子,是原地取食还是将它搬运到其他地方贮藏以备将来食用。因此,森林鼠类对种子的喜好也可以分为两种,即取食喜

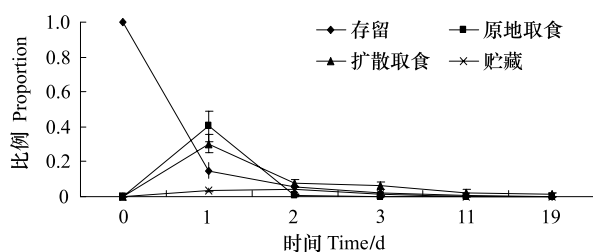


图1 华山松种子的4种命运动态(2008年)

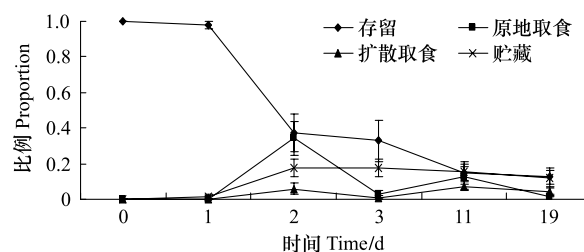
Fig. 1 Four seed fates dynamics of *Pinus armandii* in 2008

图2 华山松种子的4种命运动态(2009年)

Fig. 2 Four seed fates dynamics of *Pinus armandii* in 2009

好和搬运或贮藏喜好^[21]。本研究结果表明该研究地区分布的森林鼠类对华山松种子有着非常大的捕食压力。在2008年,几乎所有的种子(96.4%)在第3天后就被全部取食,而在2009年,也有将近一半的种子(49.6%)在第3天后被取食。但与此同时,鼠类对华山松种子的扩散也起着非常重要的作用。尤其在2009年,最高时鼠类分散贮藏了17.75%的种子,直到第19天后仍然有12.25%被贮藏的种子存活下来。由此可见,华山松种子是该地区森林鼠类所喜好的食物,它的自然更新很大程度上依赖鼠类的传播。

本研究结果发现华山松种子在2个年份间的扩散历程有很大差异。在2008年,几乎所有的种子都被鼠类取食,贮藏量非常小;而在2009年,种子被贮藏的比例显著的增加。这个结果可能与种子大小年现象有着十分紧密的联系。

种子大小年是植物界一种常见的自然现象,即种子的产量在年与年之间有非常大的差别。在种子大年,种子产量高,结实多;在种子小年,种子产量低,结实少^[22]。许多研究已经表明种子大小年现象影响着鼠类对植物种子的扩散策略^[23-25]。例如 Xiao 等的野外研究发现,在种子大年,鼠类埋藏了更多的栲树(*Castanopsis fargesii*)种子^[26]。2008年是华山松种子的小年,产量非常低(研究样地内球果的数量非常少)。鼠类为了满足其日常的能量需求,只能大量的取食有限的种子,而减少其贮藏量。而2009年是华山松种子的大年,产量非常高(研究样地内掉落的球果数量非常多)。鼠类在满足其日常能量需求的同时,还有大量剩余的种子供其贮藏。因此,两个年份间华山松种子扩散历程的差异反映了种子大小年现象对森林鼠类取食和贮藏策略的影响。

华山松种子在两个年份内的取食和贮藏距离都没有显著差异,但是在两个年份内却有极大的差异。2008年的扩散距离(包括取食和贮藏)远远地大于2009年,这个结果同样受到种子大小年现象的影响。正如最优贮藏空间模型(Optimal Cache Spacing Model, OCSM)^[27-28]预测的那样,当种子产量丰富时,动物首先在资源点附近埋藏食物,然后逐渐将贮藏点向远距离迁移。因此从短期的扩散历程来看,种子大年的扩散距离要小于种子小年。然而如果考虑长期的扩散历程,随着动物对食物的反复多次贮藏,贮藏距离会不断增加,那么种子大年的扩散距离可能会大于种子小年。

本研究发现绝大多数的分散贮藏点(90.6%)都只含有1枚种子,这样的贮藏行为对种子的扩散和更新更加有利。因为小的贮藏点有利于幼苗的存活,它减少了种子之间的竞争,降低了种子被贮藏者重新找回的几率^[3, 29]。

总之,研究结果表明秦岭南坡分布的森林鼠类对华山松种子有着非常大的捕食压力,但与此同时,鼠类对华山松种子的扩散也起着非常重要的作用。此外,华山松种子在两个年份间的扩散历程有很大的差异,这种差异反映了种子大小年现象对森林鼠类取食和贮藏策略的影响。

致谢: 佛坪国家级自然保护区管理局大古坪保护站的宋兆全、张小林等同志协助野外实验,特此致谢。

References:

- [1] Smith C C, Reichman O J. The evolution of food caching by birds and mammals. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1984, 15: 329-351.

- [2] Vander Wall S B. Food Hoarding in Animals. Chicago: University of Chicago Press, 1990: 1-43.
- [3] Vander Wall S B. A model of caching depth: implications for scatter hoarders and plant dispersal. *The American Naturalist*, 1993, 141(2): 217-232.
- [4] Vander Wall S B, Joyner J W. 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(1): 154-162.
- [5] Howe H F, Smallwood J. Ecology of seed dispersal. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1982, 13(1): 201-228.
- [6] Cheng J R, Xiao Z S, Zhang Z B. 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*, 2005, 216(1/3): 331-341.
- [7] Li H J, Zhang Z B. Effect of rodents on acorn dispersal and survival of the Liaodong oak (*Quercus liaotungensis* Koidz.). *Forest Ecology and Management*, 2003, 176(1/3): 387-396.
- [8] Wang B, Chen J. Seed size, more than nutrient or tannin content, affects seed caching behavior of a common genus of old world rodents. *Ecology*, 2009, 90(11): 3023-3032.
- [9] Xiao Z S, Zhang Z B, Wang Y S, Cheng J R. Acorn predation and removal of *Quercus serrata* in a shrubland in Dujiangyan Region, China. *Acta Zoologica Sinica*, 2004, 50(4): 535-540.
- [10] Xiao Z S, Zhang Z B, Wang Y S. Dispersal and germination of big and small nuts of *Quercus serrata* in a subtropical broad-leaved evergreen forest. *Forest Ecology and Management*, 2004, 195(1/2): 141-150.
- [11] Xiao Z S, Zhang Z B, Wang Y S. Effect of seed size on dispersal distance in five rodents-dispersed fagaceous species. *Acta Oecologica*, 2005a, 28(3): 221-229.
- [12] Xiao Z S, Zhang Z B. Nut predation and dispersal of Harland Tanoak *Lithocarpus harlandii* by scatter-hoarding rodents. *Acta Oecologica*, 2006a, 29(2): 205-213.
- [13] Xiao Z S, Chang G, Zhang Z B. Testing the high-tannin hypothesis with scatter-hoarding rodents: experimental and field evidence. *Animal Behaviour*, 2008, 75(4): 1235-1241.
- [14] Zhang H M, Chen Y, Zhang Z B. 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(3/4): 1243-1250.
- [15] Liu S F, Zhang J. Study and Conservation of Biodiversity in Foping Nature Reserve. Xi'an: Shaanxi Scientific and Technological Press, 2003: 196-418.
- [16] Chang G, Tai F D. Effects of seasonal change on dispersal of *Quercus aliena* seeds. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(1): 189-192.
- [17] Wei W, Zhang Z J, Sun Y R, Fan Z, Yang H, Hu J C, Nie Y G, Liu X Y, Liu X B. Species and distribution patterns of small mammals in Foping Nature Reserve, Shaanxi. *Sichuan Journal of Zoology*, 2010, 29(2): 314-319.
- [18] National Service Center for State-Owned Forest Farms and Forest Seed and Seedling Affairs of the Forestry Ministry. Seeds of Woody Plants in China. Beijing: Chinese Forestry Press, 2000: 43-67.
- [19] Xiao Z S, Zhang Z B. Tin-tagging method: a powerful method for tracking seeds dispersed by rodents. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 25(10): 1292-1295.
- [20] Xiao Z S, Jansen P A, Zhang Z B. Using seed-tagging methods for assessing post-dispersal seed fate in rodent-dispersed trees. *Forest Ecology and Management*, 2006b, 223(1/3): 18-23.
- [21] Shimada T. Hoarding behaviors of two wood mouse species: different preference for acorns of two Fagaceae species. *Ecological Research*, 2001, 16(1): 127-133.
- [22] Kelly D, Sork V L. Mast seeding in perennial plants: why, how, where? *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2002, 33: 427-447.
- [23] Vander Wall S B. The evolutionary ecology of nut dispersal. *Botanical Review*, 2001, 67(1): 74-117.
- [24] Vander Wall S B. Mastling in animal-dispersed pines facilitates seed dispersal. *Ecology*, 2002, 83(12): 3508-3516.
- [25] Jansen P A, Forget P M. Scatter-hoarding rodents and tree regeneration // Bongers F, Charles-Dominique P, Forget P M, Thery M, eds. *Nouragues: Dynamics and Plant-Animal Interactions in a Neotropical Rainforest*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 2001: 275-288.
- [26] Xiao Z S, Zhang Z B, Wang Y S. The effects of seed abundance on seed predation and dispersal by rodents in *Castanopsis fargesii* (Fagaceae). *Plant Ecology*, 2005b, 177(2): 249-257.
- [27] Clarkson K., Eden S F, Sutherland W J, Houston A I. Density dependence and magpie food hoarding. *Journal of Animal Ecology*, 1986, 55(1): 111-121.
- [28] Stapanian M A, Smith C C. A model for seed scatter-hoarding: coevolution of fox squirrels and black walnuts. *Ecology*, 1978, 59(5): 884-896.
- [29] Hollander J L, Vander Wall S B. Effectiveness of six species of rodents as dispersers of singleleaf pinon pine (*Pinus monophylla*). *Oecologia*, 2004, 138(1): 57-65.

参考文献:

- [15] 刘诗峰, 张坚. 佛坪自然保护区生物多样性研究与保护. 西安: 陕西科学技术出版社, 2003: 196-418.
- [16] 常罡, 郇发道. 季节变化对锐齿栎种子扩散的影响. *生态学杂志*, 2011, 30(1): 189-192.
- [17] 韦伟, 张泽钧, 孙宜然, 樊智, 杨好, 胡锦鑫, 聂永刚, 刘新玉, 刘小兵. 陕西佛坪自然保护区小型兽类的组成与分布. *四川动物*, 2010, 29(2): 314-319.
- [18] 国家林业局国有林场和林木种苗工作总站. 中国木本植物种子. 北京: 中国林业出版社, 2000: 43-67.
- [19] 肖治术, 张知彬. 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*, 2006, 25(10): 1292-1295.

CONTENTS

Landscape aesthetic assessment based on experiential paradigm assessment technology	LI Xuanqi, HUA Lizhong (2965)
Significant impact of job-housing distance on carbon emissions from transport: a scenario analysis	TONG Kangkang, MA Keming (2975)
The watershed eco-compensation system from the perspective of economics: the cases of pollution compensation	LIU Tao, WU Gang, FU Xiao (2985)
The tourism development impact on Shanghai coastal wetland vegetation	LIU Shidong, GAO Jun (2992)
Effects of the Wenchuan Earthquake on shoot growth and development of the umbrella bamboo (<i>Fargesia robusta</i>), one of the giant panda's staple bamboos	LIAO Lihuan, XU Yu, RAN Jianghong, et al (3001)
Forest carbon sequestration and carbon sink/source in Jiangxi Province	HUANG Lin, SHAO Quanqin, LIU Jiyuan (3010)
Species diversity of herbaceous communities in the Yiluo River Basin	CHEN Jie, GUO Yili, LU Xunling, et al (3021)
Microbial community diversity of rhizosphere soil in continuous cotton cropping system in Xinjiang	GU Meiying, XU Wanli, MAO Jun, et al (3031)
Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of <i>Caragana korshinskii</i> Kom. in desert zone	HE Xueli, CHEN Zheng, GUO Huijuan, et al (3041)
Characteristics of photosynthetic productivity and water-consumption for transpiration in <i>Pinus densiflora</i> var. <i>zhangwuensis</i> and <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	MENG Peng, LI Yuling, YOU Guochun, et al (3050)
Seasonal dynamic and influencing factors of coarse woody debris respiration in mid-subtropical evergreen broad-leaved forest	LIU Qiang, YANG Zhijie, HE Xudong, et al (3061)
Influence of saline soil and sandy soil on growth and mineral constituents of common annual halophytes in Xinjiang	ZHANG Ke, TIAN Changyan, LI Chunjian (3069)
Dynamics change of <i>Betula ermanii</i> population related to shrub and grass on treeline of northern slope of Changbai Mountains	WANG Xiaodong, LIU Huiqing (3077)
Effects of ecological conditions on morphological and physiological characters of tobacco	YAN Kan, CHEN Zongyu (3087)
A study on the hyperspectral inversion for estimating leaf chlorophyll content of clover based on factor analysis	XIAO Yanfang, GONG Huili, ZHOU Demin (3098)
Monthly dynamic variation of soil seed bank in water-level-fluctuating zone of Three Gorges Reservoir at the beginning after charging water	WANG Xiaorong, CHENG Ruimei, TANG Wanpeng, et al (3107)
Effects of three land use patterns on diversity and community structure of soil ammonia-oxidizing bacteria in <i>Leymus chinensis</i> steppe	ZOU Yukun, ZHANG Jingni, CHEN Xiurong, et al (3118)
Autotoxicity and promoting: dual effects of root litter on American ginseng growth	JIAO Xiaolin, DU Jing, GAO Weiwei (3128)
Effect of differing levels parasitism from native <i>Cuscuta australis</i> on invasive <i>Bidens pilosa</i> growth	ZHANG Jing, YAN Ming, LI Junmin (3136)
Heavy metal concentrations and pollution assessment of riparian soils in Shandong Province	ZHANG Ju, CHEN Shiyue, DENG Huanguang, et al (3144)
Effect of decomposition products of cyanobacteria on <i>Myriophyllum spicatum</i> and water quality in Lake Taihu, China	LIU Lizhen, QIN Boqiang, ZHU Guangwei, et al (3154)
Succession of macrofauna communities in wetlands of <i>Sonneratia apetala</i> artificial mangroves during different ecological restoration stages	TANG Yijie, FANG Zhanqiang, ZHONG Yanting, et al (3160)
Group characteristics of Chinese Merganser (<i>Mergus squamatus</i>) during the wintering period in Poyang Lake watershed, Jiangxi Province	SHAO Mingqin, ZENG Binbin, SHANG Xiaolong, et al (3170)
Effect of forest rodents on predation and dispersal of <i>Pinus armandii</i> seeds in Qinling Mountains	CHANG Gang, WANG Kaifeng, WANG Zhi (3177)
Circadian rhythms of activity, metabolic rate and body temperature in desert hamsters (<i>Phodopus roborovskii</i>)	WANG Luping, ZHOU Shun, SUN Guoqiang (3182)
Effects of temperature stress and ultraviolet radiation stress on antioxidant systems of <i>Locusta migratoria tibetensis</i> Chen	LI Qing, WU Lei, YANG Gang, et al (3189)
Carbon cycling from rice-duck mutual ecosystem during double cropping rice growth season	ZHANG Fan, GAO Wangsheng, SUI Peng, et al (3198)
Protein expression characteristics and their response to nitrogen application during grain-filling stage of rice (<i>Oryza Sativa</i> L.)	ZHANG Zhixing, CHENG Jun, LI Zhong, et al (3209)
Review and Monograph	
Advances in influence of seawater eutrophication on marine bacteria	ZHANG Yubin, ZHANG Jiexiang, SUN Xingli (3225)
A review of comprehensive effect of ocean acidification on marine fishes	LIU Hongjun, ZHANG Zhendong, GUAN Shuguang, et al (3233)
Evaluation of the controlling methods and strategies for <i>Mikania micrantha</i> H. B. K.	LI Mingguang, LU Erbei, GUO Qiang, et al (3240)
Scientific Note	
Dynamics of land use/cover changes in the Weigan and Kuqa rivers delta oasis based on Remote Sensing	SUN Qian, TASHPOLAT. Tiyp, ZHANG Fei, et al (3252)
Phytoplankton assemblages in East China Sea in winter 2009	GUO Shujin, SUN Jun, DAI Minhan, et al (3266)
On the physical chemical and soil microbial properties of soils in the habitat of wild Ferula in Xinjiang	FU Yong, ZHUANG Li, WANG Zhongke, et al (3279)
The community characteristics of <i>Calligonum roborowskii</i> A. Los in Tarim Basin	Gulnur Sabirhazi, PAN Borong, DAUN Shimin (3288)
Stability analysis of mine ecological industrial symbiotic system	SUN Bo, WANG Guangcheng (3296)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 32 卷 第 10 期 (2012 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 10 (May, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元