

槲栎种子雨进程中昆虫的捕食特征

刘文静¹, 汪广垠¹, 牛可坤¹, 焦广强¹, 于飞¹, 易现峰^{1,2,*}

(1. 河南科技大学农学院, 河南洛阳 471003; 2. 中国科学院动物研究所农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101)

摘要: 为了了解昆虫捕食与槲栎 *Quercus aliena* 种子大小和产量的关系以及在栎林更新中的作用, 于 2008 和 2009 年秋季, 分别在暖温带伏牛山系天池山国家森林公园内研究了两个年度槲栎的种子雨过程及昆虫捕食特征。结果表明: (1) 种子雨过程从 8 月中下旬到 9 月底约经历 40 d 存在高峰期且时段较明显, 高峰期下落种子量分别占全部种子雨量的 78.13% (2008 年) 和 75.91% (2009 年); (2) 槲栎的种子雨强度年间存在较大差异, 2008 年明显小于 2009 年 (两年分别为 31.75 ± 16.65 粒 $\cdot m^{-2}$ 和 51.92 ± 29.26 粒 $\cdot m^{-2}$), 但 2009 年的橡子明显比 2008 年小 (两年分别为 1.94 ± 0.61 cm^3 和 2.46 ± 0.57 cm^3); (3) 种子雨构成比例在两个年份间存在差异, 完好种子的量分别为 59.05% (2008 年) 和 36.12% (2009 年), 虫蛀率在大量结实的 2009 年显著提高; (4) 虫蛀橡子 (2.29 ± 0.42 cm^3) 显著大于完整橡子 (1.59 ± 0.32 cm^3), 且虫蛀种子中所含虫卵数与种子大小显著正相关, 昆虫有选择大种子产卵寄生的偏好。本研究的结果说明, 昆虫对槲栎大种子有寄生选择偏好; 大部分槲栎种子遭遇象甲虫蛀而降低生命活力, 这可能是影响槲栎林更新的主要因素之一。

关键词: 槲栎; 种子雨; 昆虫捕食; 种子大小; 寄主选择偏好

中图分类号: Q968 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2010)04-0436-06

Insect acorn predation over the seed rain of *Quercus aliena*

LIU Wen-Jing¹, WANG Guang-Yin¹, NIU Ke-Kun¹, JIAO Guang-Qiang¹, YU Fei¹, YI Xian-Feng^{1,2,*}

(1. College of Agriculture Henan University of Science and Technology Luoyang Henan 471000 China; 2. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents in Agriculture Institute of Zoology Chinese Academy of Sciences Beijing 100101, China)

Abstract: Insect seed predation and its relationships with seed rain of *Quercus aliena* were investigated in Tianchi Mountain National Forest Park of Funiu Mountain in Luoyang a warm temperate forest from August to September in 2008 and 2009. The results indicated that the duration of seed rain of *Q. aliena* lasted from middle August to late September. The seed amount at the peak accounted for 78.13% and 75.91% of all seeds in 2008 and 2009 respectively. The seed rain density of *Q. aliena* was 31.75 ± 16.65 and 51.92 ± 29.26 nuts $\cdot m^{-2}$ in 2008 and 2009 respectively. Seed size in 2009 (1.94 ± 0.61 cm^3) was significantly smaller than that in 2008 (2.46 ± 0.57 cm^3). The proportion of intact seeds in 2008 and 2009 was 59.05% and 36.12% respectively and the proportion of the insect-infested seeds was increased significantly in 2009. We also found that the number of weevil eggs and larvae in each insect-infested acorn was significantly correlated with acorn size and the infested acorns (2.29 ± 0.42 cm^3 in size) were much larger than the sound ones (1.59 ± 0.32 cm^3 in size), indicating the preference of weevils to larger acorns for oviposition. The results suggest that weevils prefer larger acorns for oviposition and the higher proportion of weevil-infested acorns may be one of the main causes of decline in seedling establishment of *Q. aliena*.

Key words: *Quercus aliena*; seed rain; insect predation; seed size; host preference

种子雨是植物体将其有性繁殖体 (种子或果实) 从母树向地表扩散的过程, 是森林群落更新繁殖体的主要来源 (Moles and Drake 1999)。Haper

(1977) 形象地把在特定时间和特定空间从母株上散落的一定数量的种子称为种子雨, 它既具有季节动态, 又具有年季变化。有关种子雨的研究对更好

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (“973”计划) 项目 (2007CB109102); 河南省高校科技创新人才计划项目 (2008HASTIT003)

作者简介: 刘文静, 女, 1983 年 11 月生, 河南人, 硕士研究生, 研究方向为动植物间的相互作用, E-mail: wenjingli83@126.com

* 通讯作者 Corresponding author E-mail: yxfeng1975@126.com

收稿日期 Received: 2009-07-01; 接受日期 Accepted: 2010-04-01

地了解种群和群落动态具有重要意义(于顺利等, 2007)。然而, 植物的繁殖体在种子雨过程中总是面临各类生物(如昆虫、脊椎动物、真菌)的捕食风险(Janzen 1970; Harper 1977)。栎属 *Quercus* 植物的种子(俗称橡子)由于富含淀粉等营养物质, 也极易被昆虫、鸟类和其他小型哺乳动物捕食(Lewis 1991; 王巍等, 2000; 肖治术等, 2003; 张洪茂, 2007; 马杰等, 2008; Bonal and Munoz 2008)。危害我国栎属橡子的昆虫种类非常多, 常见的辽东栎 *Quercus liaotungensis* 蒙古栎 *Quercus mongolica* 麻栎 *Quercus acutissima* 槲栎 *Quercus aliena* 等几种栎属植物的橡子, 常常受到柞栎象 *Curulio dentipes* 麻栎象 *Curulio robustus* 榛实象 *Curulio dieckmanni* 或剪枝栎实象 *Cylbrihychites ursulus* 的侵害(赵养昌和陈元清, 1980; 陈元清, 1988; 于晓东等, 2002; 王学等, 2008)。近年来, 在对蒙古栎(王学等, 2008; Yi and Zhang 2008)、辽东栎(于晓东等, 2001; Yu et al 2003)以及栓皮栎(肖治术等, 2001)的研究中, 都涉及到昆虫寄生对种子萌发力、种群更新等方面的影响。这些研究表明, 昆虫作为栎属植物种子扩散前的主要捕食者, 对种子的命运及栎林天然更新都具有重要的影响。

槲栎 *Quercus aliena* 为壳斗科的栎属植物, 广布于日本和中国西北、华北、华中、华南、西南地区及辽宁省的东部, 是我国暖温带落叶林、亚热带常绿阔叶林的主要树种之一。槲栎橡子富含淀粉、脂肪等营养物质, 其主要昆虫捕食者是栗实象 *Curulio davidi* 且寄生程度较高。目前, 对于栎属橡子的研究多侧重于昆虫捕食以及对种子萌发和种群更新的影响(Yu et al 2003; 马杰等, 2008; Yi and Zhang 2008), 而对于昆虫捕食在种子雨过程的动态研究也比较少(Yu et al 2003)。鉴于槲栎橡子昆虫寄生方面的研究还未见报道, 本研究以伏牛山系天池山地区的优势树种槲栎为研究对象, 通过两年的野外调查, 揭示槲栎的种子雨过程及年际变化动态, 昆虫捕食与种子雨过程、种子量以及种子大小之间的关系, 阐明槲栎种子雨过程中昆虫的寄生特征及其在槲栎种群更新中的作用。

1 材料和方法

1.1 样地概况

天池山属于伏牛山系, 地处河南洛阳, 地理位

置为 $33^{\circ}45' \sim 33^{\circ}85' \text{N}$ $111^{\circ}75' \sim 112^{\circ}45' \text{E}$ 气候温凉湿润, 雨量充沛, 四季分明, 森林的覆盖率达 98.7%, 有大量槲栎种群分布其中, 年平均降水量 812 mm, 年最高气温 28°C , 天池山主峰王莽寨海拔达 1 800 m 以上。海拔 500 m 之下为新积土, 以农田为主; 海拔在 500 ~ 1 500 m 之间为褐土, 主要为槲栎 *Q. aliena* 栓皮栎 *Q. variabilis* 枹栎 *Q. serretia* 榛 *Corylus* spp. 等落叶阔叶树种。样地设置在海拔 1 430 m 的一个向阳山坡, 土壤为山地褐壤, 枯落物层的平均厚度为 3 ~ 5 cm, 土层厚度 30 cm 左右。群落组成: 乔木层主要有槲栎、栓皮栎、板栗、云杉、油松、核桃、柿树等, 相对密度和盖度都达 80% 以上。

1.2 调查方法

于种子开始下落前在槲栎林内随机选择样树 24 株用于种子雨的调查。为避免不同植株之间的果实混淆, 选样树时要求样树之间、样树与其他结实栎树之间保持足够的间隔。槲栎样树平均胸径为 24.72 cm ($n=24$)。种子雨收集框按照肖治术等(2001)的方式制作, 用铁丝(直径为 5 mm)做框架, 框口直径为 79.8 cm, 整个框的面积为 0.5 m^2 , 框底用尼龙网做成。网眼为 $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ 用 3 根 2 m 长的竹竿做支架撑起收集框, 置于样树的下方, 框内尼龙网放松降低, 以免下落的橡子弹出收集框。同时, 使网底离地面 1 m 以上, 从而尽可能减少动物取食对种子雨统计的影响(刘足根等, 2007)。为避免不同植株之间的果实混淆, 选样树时要求样树之间、样树与其他结实栎树之间保持足够的间隔。

自 8 月下旬种子雨开始, 每天对种子收集框进行调查, 直到 9 月末种子雨结束(调查时间 2008 年为 8 月 23 日至 9 月 24 日, 2009 年为 8 月 21 日至 9 月 28 日)。调查收集框时, 将包括壳斗在内的种子收集在已标好序号的封口袋中带回。将收集物分为 4 类: 完好(子叶完好新鲜, 具有萌发能力)、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)、败育(胚未发育)、壳斗(仅有包托种子的基部呈杯状的部分)。将橡子逐一称重, 测量长径和短径后剥开, 统计健康和虫蛀橡子的比例以及虫蛀橡子内的卵和幼虫头数及伤害等级。种子大小按椭球体积公式 $\frac{4}{3}\pi ab^2$ 计算(a 为长半径, b 为短半径, 因所调查槲栎种子形状极其接近椭球)。

1.4 数据统计与分析

Independent Sample T Test 用于分析两年间种

子量、种子大小、完好种子、败育种子和虫蛀种子比例之间的差异。Pearson correlation用于分析种子内象甲虫卵数与种子大小之间的相关关系。

2 结果

2.1 种子雨过程

调查结果表明, 2008年和2009年的槲栎种子雨动态基本一致, 种子雨从8月中下旬开始(图1), 到9月下旬基本结束, 持续40 d左右。种子雨初期(9月5日前)下落种子量较小, 高峰期(9月6日到9月20日)的种子量分别占种子雨总量的78.13%(2008年), 75.91%(2009年)。在调查的两年中, 槲栎的种子雨密度分别为 31.75 ± 16.65 粒 m^{-2} (2008年)和 51.92 ± 29.26 粒 m^{-2} (2009年), 年际种子密度差异性显著($t=3.432$ $df=1$, $P=0.007$)。

2.2 种子雨构成特征

2.2.1 种子雨组成: 从图2中可以看出, 两年间种子雨构成比例有较大差异。2008年, 完好种子、败育种子和虫蛀种子的比例分别为59.05%, 10.50%和30.45%。2009年, 完好种子仅有36.12%, 而败育种子和虫蛀种子的比例分别为21.50%和42.38%。2008年完好种子的比例显著高于2009年($t=6.753$ $df=1$, $P=0.002$), 而败育和虫蛀种子比例均显著低于2009年($t=-3.068$ $df=46$ $P=0.003$; $t=-2.667$ $df=46$ $P=0.011$)。

2.2.2 不同命运种子大小分布: 结果表明, 2008年的完好与虫蛀种子大小分别为 2.38 ± 0.20 mm^3

和 2.53 ± 0.45 mm^3 , 无显著性差异($t=-0.757$ $df=14$ $P=0.462$), 而2009年的完好与虫蛀种子大小分别为 1.59 ± 0.32 mm^3 和 2.29 ± 0.42 mm^3 , 差异性显著($t=-2.533$ $df=16$ $P=0.022$)(图3)。2008和2009年种子的平均大小分别为 2.46 ± 0.57 mm^3 和 1.94 ± 0.61 mm^3 , 2008年的种子显著大于2009年($t=-2.226$ $df=32$ $P=0.033$)(图3)。

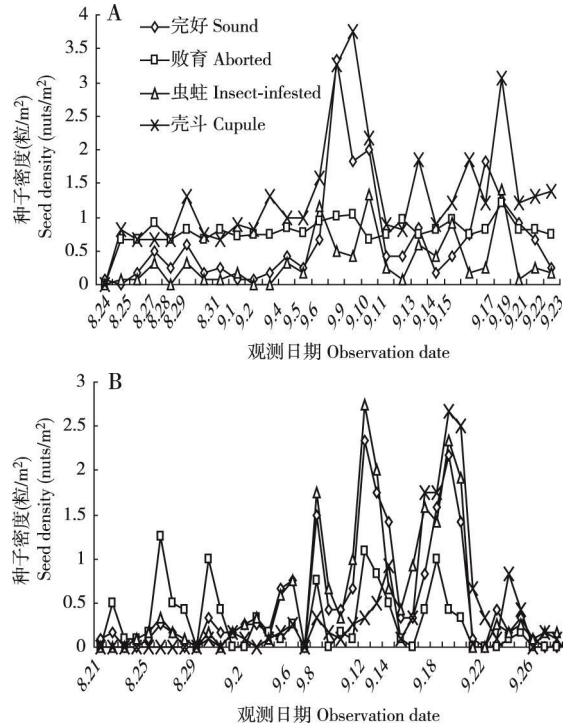


图1 2008(A)和2009年(B)槲栎种子雨进程(河南天池山)
Fig. 1 The seed rain process of *Quercus aliena* in 2008 (A) and 2009 (B) (Tianchi Mountain, Henan)

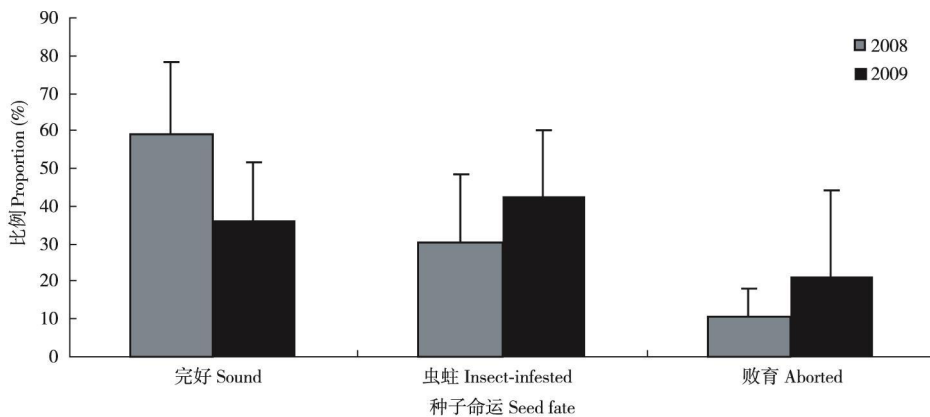


图2 2008和2009年槲栎的种子雨组成(河南天池山)
Fig. 2 The seed rain composition of *Quercus aliena* in 2008 and 2009 (Tianchi Mountain, Henan)

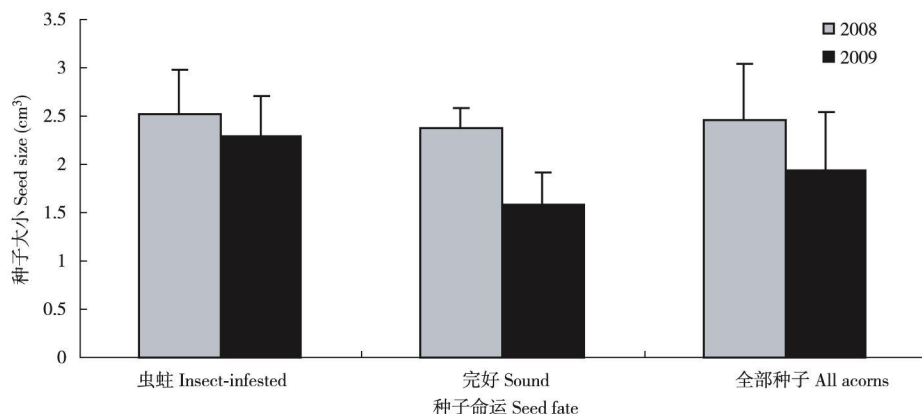


图3 2008和2009年不同命运的槲栎种子的大小分布(河南天池山)

Fig. 3 Distribution of the seed fate of *Quercus aliena* acorns in different sizes in 2008 and 2009 (Tianchi Mountain, Henan)

2.3 昆虫捕食特征

图4表明, 2008年的槲栎种子虫蛀率随种子雨进程并没有显著变化($P=0.794$), 整个种子雨期间的虫蛀率均较稳定, 除早期有1 d达到100%之外, 其他时段虫蛀率均在20%~40%左右。2009年, 槲栎种子虫蛀率随种子雨进程显著上升($P=0.026$), 种子雨初期的虫蛀率多在25%以下, 之后逐步上升, 高峰期和末期都在50%~60%以上。在2008年虫蛀种子中, 象甲的虫卵数最多可达7个, 平均为 2.33 ± 1.3 个, 2009年虫蛀种子内象甲虫卵数最多可达11个, 平均为 2.92 ± 1.9 个。相关分析表明, 2008和2009年虫蛀种子所含的象甲虫卵数与种子大小显著相关($r=0.864$ $n=7$ $P=0.012$; $r=0.816$ $n=10$ $P=0.004$), 即种子越大, 所含象甲虫卵数就较多, 说明象甲有选择大种子产卵的偏好(图5)。

3 讨论

陈波等(2003)提到一些栎属植物具有明显的两年一次大年结实现象, 但也有人认为一些栎属及松属的种子产量在不同年份连续变化, 当观测年份少时根本无法确定种子大小年(Norton and Kelly 1988)。研究结果表明, 2009年槲栎种子量较2008年显著增多, 说明槲栎可能也具有大年结实现象。同时, 2009年的种子显著比2008年的小, 说明资源分配在种子大小和产量之间存在权衡, 这和王有才等(2000)关于松属植物的种子品质和种子产量负相关的研究在某些方面相一致。目前, 不少研究证实(Maeto and Ozaki 2003; Bonal et al. 2007), 一些植物种子的周期性变化与种子的取食者种群大小之间有某种相关关系。他们认为在种子产量歉收

年份, 栎属橡子的虫蛀率高, 反之虫蛀率低。在我们调查的两年中, 种子量小的2008年完好种子量占一半以上, 而种子量大的2009年虫蛀率和败育率反而显著提高, 与以上的研究结果及捕食者“饱和”假说(Cavers 1983; Crawley and Long 1995; Selas 1998)不太一致。这可能与象甲在不同年份的滞育有关(Maeto and Ozaki 2003)。两个年度的野外调查发现, 槲栎橡子的虫蛀率均保持较高的水平, 象甲寄生必将对槲栎橡子的生活力产生负面作用, 进而影响槲栎种群的天然更新。

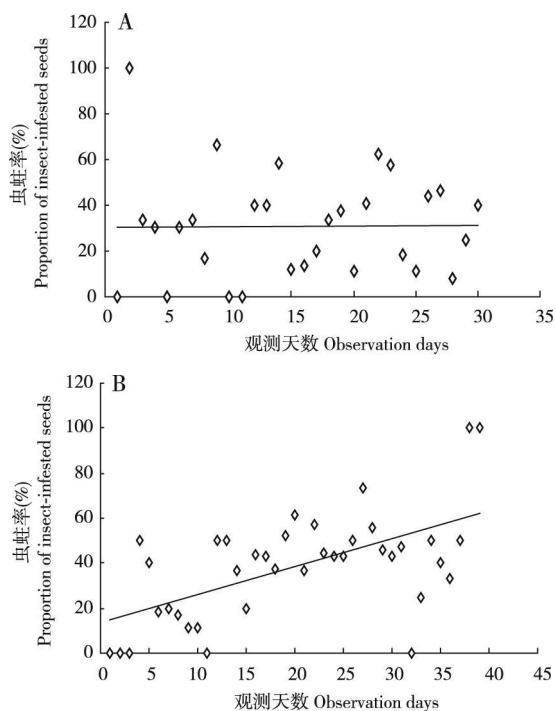


图4 2008(A)和2009年(B)槲栎虫蛀率随种子雨进程的变化(河南天池山)

Fig. 4 The proportion of insect-infested seeds in seed rain of *Quercus aliena* in 2008 (A) and 2009 (B) (Tianchi Mountain, Henan)

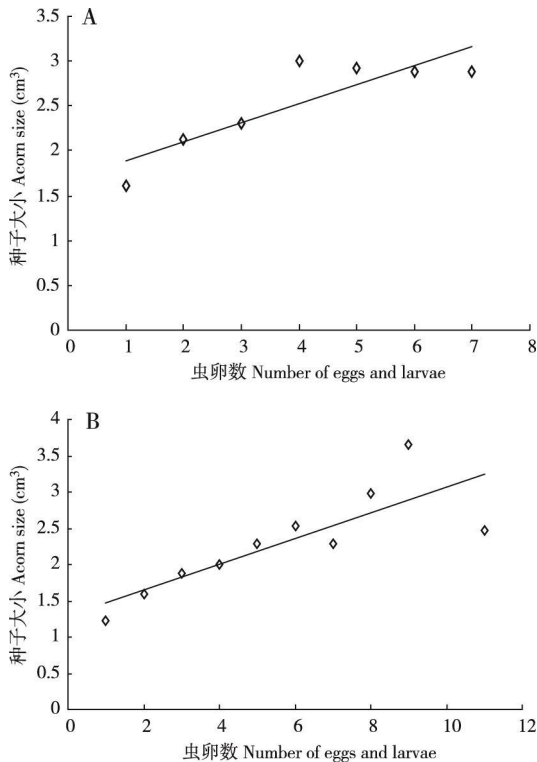


图 5 2008(A)和 2009年(B)槲栎种子大小与寄生虫卵数的关系(河南天池山)

Fig. 5 Relationship between acorn size of *Quercus aliena* and the number of infesting weevil eggs and larvae in 2008 (A) and 2009 (B) (Tianchi Mountain, Henan)

结果表明, 部分槲栎虫蛀和败育橡子在种子雨初期提前下落(图 1), 这和其他一些研究结果相一致(Boucher and Sork 1979, Yu et al 2003, Bonal and Munoz 2008)。在昆虫与植物的相互关系中, 虫蛀和败育种子的提前下落被认为是受伤害栎树的一种直接反应(Yu et al 2003)和植物的一种自我保护机制(Boucher and Sork 1979, Strauss and Zangerl 2002)。植物可以通过让败损种子停止生长而提前下落, 把更多的能量用来繁殖那些萌发力更强的种子。此外, 从长远来看, 这样有助于降低昆虫的适应性, 减少它们对植物的伤害(Bonal and Munoz 2008)。

研究表明(Xiao et al 2007, 王学等, 2008), 种子大小影响昆虫的取食。在都江堰亚热带常绿阔叶林, 象甲在大种子的栓皮栎内产卵的数量明显比小种子的青冈内的要多。王学等(2008)发现, 蒙古栎种子越大, 所含象甲的虫卵数就较多, 昆虫选择大种子有较高的适应价值。我们的结果表明: 虫蛀种子的虫卵数与种子大小呈现明显的正相关关系, 且在大种子量的 2009年, 虫蛀种子显著大于

完好种子, 说明昆虫有选择大种子产卵寄生的偏好。昆虫选择寄生大种子原因可能有利于幼虫的成长并提高其以后存活的机率。另外, 在 2008年种子雨中后期, 虽然虫蛀种子内的虫卵数有上升的趋势, 但此时完好种子比例却增加, 说明槲栎种子在小年可能是以少量的大种子吸引更多的昆虫寄生作为代价, 借此使得更多的大种子在种子雨中后期逃脱昆虫的寄生, 这也是有利于其种群繁衍更新的一种逃避昆虫寄生的策略。

参考文献 (References)

- Bonal R, Munoz A. 2008. Seed growth suppression constrains the growth of seed parasites: Premature acorn abscission reduces *Curculio elephas* larval size. *Ecological Entomology* 33: 31–36.
- Bonal R, Munoz A, Dfaz M. 2007. Satiation of predispersal seed predators: the importance of considering both plant and seed level. *Evolutionary Ecology* 21: 376–380.
- Boucher DH, Sork VL. 1979. Early drop of nuts in response to insect infestation. *Oikos* 33: 440–443.
- Cavers PB. 1983. Seed demography. *Canadian Journal of Botany* 61: 578–590.
- Chen B, Song YG, Da LJ. 2003. A review on mast seeding studies. *Chinese Journal of Applied Ecology* 14(1): 117–120. [陈波, 宋永昌, 达良俊, 2003. 植物大年结实研究概述. 应用生态学报, 14(1): 117–120]
- Chen YQ. 1988. Identification of weevils from forest seeds and nuts. *Forest Pest and Disease* (1): 37–41. [陈元清, 1988. 林木种子果实象虫的识别和鉴定. 森林病虫害通讯, (1): 37–41]
- Crawley MJ, Long CR. 1995. Alternate bearing, predator satiation and seedling recruitment in *Quercus robur*. *Journal of Ecology* 83: 683–696.
- Harper JL. 1977. *Population Biology of Plants*. Academic Press, London: 83–147, 458–482.
- Janzen DH. 1970. Herbivores and the number of tree species in tropical forests. *American Naturalist* 104: 501–528.
- Lewis VR. 1991. The temporal and spatial distribution of filbert weevil infested acorns in an oak woodland in Marin County, California. *USDA Forest Service Gen Tech Rep* 126: 156–160.
- Liu ZG, Zhu JJ, Yuan XL, Wang HX, Tan H. 2007. On seed rain and soil seed bank of *Larix olgensis* in montane regions of eastern Liaoning Province, China. *Acta Ecologica Sinica* 27(2): 579–587. [刘足根, 朱教君, 袁小兰, 王贺新, 谭辉, 2007. 辽东山区长白山落叶松种子雨和种子库. 生态学报, 27(2): 579–587]
- Moles AT, Drake DR. 1999. Potential contribution of the seed rain and seed bank to regeneration of native forest under plantation pine in New Zealand. *New Zealand Journal of Botany* 37: 83–93.
- Mæto K, Ozaki K. 2003. Prolonged diapause of specialist seed-feeders makes predator satiation unstable in masting of *Quercus crispula*. *Oecologia* 137: 392–398.

- Ma J Yan W J Li Q F Sun R Y Liu D Z 2008. Insect infestation of *Quercus liaotungensis* acorns in Dongling Mountain of Beijing. *Chinese Journal of Ecology* 27(2): 282-285. [马杰, 闫文杰, 李庆芬, 孙儒泳, 刘定震, 2008. 东灵山辽东栎虫损种子调查. 生态学杂志, 27(2): 282-285]
- Norton DA Kelly D 1988. Mast seeding over 33 years by *Dacrydium cupressinum* Lamb. (Pinus) (Podocarpaceae) in New Zealand: the importance of economics of scale. *Functional Ecology* 2: 399-408.
- Selas V 1998. Mast seeding and microtine cycles: a reply to Lennart Hansson. *Oikos* 82(3): 595-596.
- Strauss SY Zangerl AR 2002. Plant-insect interactions in terrestrial ecosystems. In: Herrera CM Pellnyr O eds. *Plant-Animal Interactions: An Evolutionary Approach*. Blackwell Science Ltd Oxford U. K. 77-106.
- Wang W Ma K P Gao X M 2000. Spatial and temporal patterns of *Quercus liaotungensis* acorn predation by vertebrates in Dongling Mountain Northern China. *Acta Botanica Sinica* 42(3): 289-293. [王巍, 马克平, 高贤明, 2000. 东灵山地区脊椎动物对辽东栎坚果捕食的时空格局. 植物学报, 42(3): 289-293]
- Wang X Xiao Z S Zhang Z B Pan H C 2008. Insect seed predation and its relationships with seed crop and seed size of *Quercus mongolica*. *Acta Entomologica Sinica* 51(2): 161-165. [王学, 肖治术, 张知彬, 潘红春, 2008. 昆虫种子捕食与蒙古栎种子产量和种子大小的关系. 昆虫学报, 51(2): 161-165]
- Wang Y C Wang X S Ma H Dong X G 2000. Study on seed production and fruiting law of seed orchard in *Larix kaempferi* (Lamb.) Carr. *Scientia Silvae Sinicae* 36(2): 53-59. [王有才, 王笑山, 马浩, 董晓光, 2000. 日本落叶松子园种子产量及结实规律研究. 林业科学, 36(2): 53-59]
- Xiao Z S Wang Y S Zhang Z B 2001. Seed bark and the factors influencing it for three Fagaceae species in Dujiangyan Region Sichuan. *Biodiversity Science* 9(4): 373-381. [肖治术, 王玉山, 张知彬, 2001. 都江堰地区三种壳斗科植物的种子库及其影响因素研究. 生物多样性, 9(4): 373-381]
- Xiao Z S 2003. Effects of Small Mammals on Tree Seed Fates and Forest Regeneration in Dujiangyan Region China. PhD Dissertation Graduate University of Chinese Academy of Sciences Beijing 324 pp [肖治术, 2003. 都江堰地区小型兽类对森林种子命运及森林更新的影响. 北京: 中国科学院研究生院博士学位论文. 324页]
- Xiao Z S Harris M 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: 302-308.
- Yi X F Zhang Z B 2008. Influence of insect-infested cotyledons on early seedling growth of Mongolian oak *Quercus mongolica*. *Photosynthetica* 46(1): 139-142.
- Yu X D Zhou H Z Luo T H He J J Zhang Z B 2001. Insect infestation and acorn fate in *Quercus liaotungensis*. *Acta Entomologica Sinica* 44(4): 518-524. [于晓东, 周红章, 罗天宏, 何君舰, 张知彬, 2001. 昆虫寄生对辽东栎种子命运的影响. 昆虫学报, 44(4): 518-524]
- Yu X D Zhou H Z Luo T H 2002. Interactions of insects and oak trees and their impacts on the regeneration of oakwoods. *Biodiversity Science* 10(2): 225-231. [于晓东, 周红章, 罗天宏, 2002. 昆虫与栎树的相互关系及其对栎林更新的影响. 生物多样性, 10(2): 225-231]
- Yu X D Zhou H Z Luo T H 2003. Spatial and temporal variations in insect-infested acorn fall in a *Quercus liaotungensis* forest in North China. *Ecological Research* 18: 155-164.
- Yu S L Lang N J Peng M J Zhao L Guo Y Q Zheng K Zhang L X Wen S L Li H 2007. Research advances in seed rain. *Chinese Journal of Ecology* 26(10): 1646-1652. [于顺利, 郎南军, 彭明俊, 赵琳, 郭永清, 郑科, 张立新, 温绍龙, 李晖, 2007. 种子雨研究进展. 生态学杂志, 26(10): 1646-1652]
- Zhao Y C Chen Y Q 1980. *Economic Insect Fauna of China Fasc. 20. Coleoptera Curculionidae* (1). Science Press Beijing [赵养昌, 陈元清, 1980. 中国经济昆虫志(第二十册): 鞘翅目象虫科(一). 北京: 科学出版社]
- Zhang H M 2007. Interactions between Rodents and Forest Seeds in the Dongling Mountain Northwestern Beijing. PhD Dissertation Graduate University of Chinese Academy of Sciences Beijing 361 pp [张洪茂, 2007. 北京东灵山区啮齿动物与森林种子间相互关系研究. 北京: 中国科学院研究生院博士学位论文. 361页]

(责任编辑: 袁德成)