

秦岭南坡短柄枹栎和锐齿槲栎的种子产量和种子大小及其与昆虫寄生的关系

王京¹, 张博², 侯祥¹, 陈晓宁¹, 韩宁¹, 常罡^{1,*}

(1. 陕西省动物研究所, 西安 710032; 2. 陕西师范大学生命科学学院, 西安 710062)

摘要:【目的】为了解昆虫寄生特征与短柄枹栎 *Quercus glandulifera* 和锐齿槲栎 *Quercus aliena* var. *acuteserrata* 的种子产量及种子大小的关系。【方法】本研究于 2011 和 2012 年在秦岭南坡佛坪自然保护区, 对短柄枹栎和锐齿槲栎种群的种子产量和昆虫寄生特征进行了野外调查研究。【结果】2 年中短柄枹栎、锐齿槲栎种子雨密度和种子产量均差异明显, 2011 年短柄枹栎种子雨密度和种子产量分别为 145.76 ± 24.56 粒/ m^2 和 74.97 ± 11.56 粒/ m^2 , 分别显著高于 2012 年的 64.09 ± 9.61 粒/ m^2 和 34.30 ± 3.51 粒/ m^2 ; 2011 年锐齿槲栎种子雨密度和种子产量分别为 238.88 ± 43.97 粒/ m^2 和 117.34 ± 18.76 粒/ m^2 , 分别显著高于 2012 年的 112.00 ± 19.20 粒/ m^2 和 55.96 ± 19.20 粒/ m^2 。2011 年短柄枹栎和锐齿槲栎的种子产量中完好种子所占比例分别为 49.73% 和 50.73%, 分别显著高于 2012 年的 38.69% 和 44.28%; 而 2011 年虫蛀短柄枹栎和锐齿槲栎种子所占比例分别为 28.05% 和 19.31%, 分别低于 2012 年的 39.77% 和 26.63%, 但并无显著差异。2011 和 2012 年, 短柄枹栎和锐齿槲栎虫蛀种子个体均显著大于完好种子, 且 2011 年二者虫蛀种子所含幼虫数与种子大小的相关性显著, 2012 年二者相关性不显著。【结论】短柄枹栎和锐齿槲栎种子的虫蛀率与种子产量有一定的关系, 即在种子产量较低年份, 虫蛀率有升高趋势, 反之有降低趋势。同时, 昆虫对这两种栎树种子中个体大的种子有寄生选择偏好, 同时虫蛀种子所含幼虫数与种子大小也有一定的关系, 即种子越大, 所含昆虫幼虫数就越多。

关键词: 短柄枹栎; 锐齿槲栎; 种子产量; 种子大小; 昆虫寄生

中图分类号: Q968 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2015)12-1307-08

Seed production and seed size and their relationship with insect infestation in *Quercus glandulifera* and *Quercus aliena* var. *acuteserrata* in the south slopes of the Qinling Mountains

WANG Jing¹, ZHANG Bo², HOU Xiang¹, CHEN Xiao-Ning¹, HAN Ning¹, CHANG Gang^{1,*}

(1. Shaanxi Institute of Zoology, Xi'an 710032, China; 2. College of Life Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: 【Aim】 This study aims to understand the relationship between insect infestation and seed production and seed size of *Quercus glandulifera* and *Quercus aliena* var. *acuteserrata*. 【Methods】 The seed production of *Q. glandulifera* and *Q. aliena* var. *acuteserrata* and insect infestation characteristics on their seeds in Foping National Natural Reserve, Qinling Mountains were investigated in 2011 and 2012. 【Results】 The seed rain density and seed production of *Q. glandulifera* and *Q. aliena* var. *acuteserrata* were obviously different between 2011 and 2012. The seed rain density and seed production of *Q. glandulifera* in 2011 were 145.76 ± 24.56 nuts/ m^2 and 74.97 ± 11.56 nuts/ m^2 , respectively, which were significantly higher than those in 2012 (64.09 ± 9.61 nuts/ m^2 and 34.30 ± 3.51 nuts/ m^2 , respectively). The seed rain density and seed production of *Q. aliena* var. *acuteserrata* in 2011 were

基金项目: 陕西省科学院科技计划项目(2015K-26); 陕西省自然科学基金项目(2014JM3066); 国家自然科学基金项目(31100283); “西部之光”人才培养计划项目(2012DF04); 陕西省科学院科技计划项目(2011K-07)

作者简介: 王京, 女, 1986 年 12 月生, 陕西榆林人, 硕士, 实习研究员, 研究方向为从事动物行为生态及动植物相互关系的研究,

E-mail: wangjing122411@yeah.net

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

收稿日期 Received: 2015-07-16; 接受日期 Accepted: 2015-10-09

238.88 ± 43.97 nuts/m² and 117.34 ± 18.76 nuts/m², respectively, which were also significantly higher than those in 2012 (112.00 ± 19.20 nuts/m² and 55.96 ± 19.20 nuts/m², respectively). The proportions of intact seeds of *Q. glandulifera* and *Q. aliena* var. *acuteserrata* in 2011 were 49.73% and 50.73%, respectively, which were significantly higher than those in 2012 (38.69% and 44.28%, respectively). The proportions of insect-infested seeds of *Q. glandulifera* and *Q. aliena* var. *acuteserrata* in 2011 were 28.05% and 19.31%, respectively, which were lower than those in 2012 (39.77% and 26.63%, respectively), but the difference was not significant between 2011 and 2012. The seed size of the two insect-infested seed species was significantly larger than that of their intact seeds in 2011 and 2012. There were significant correlations between the number of insect larvae infesting seeds and seed size of *Q. glandulifera* and *Q. aliena* var. *acuteserrata* in 2011, but the correlations were not significant in 2012. 【Conclusion】 Our study demonstrated that there is a certain relationship between the insect infestation rate and the seed production of *Q. glandulifera* and *Q. aliena* var. *acuteserrata* in the lower seed production year, *i. e.*, the insect infestation rate of seeds has a rising trend in the lower seed production year, and *vice versa*. Insects prefer to larger seeds of the two oaks for oviposition, and there is also a certain relationship between the number of insect larvae infesting seeds and the seed size, *i. e.*, larger infested seeds contain more larvae.

Key words: *Quercus glandulifera*; *Quercus aliena* var. *acuteserrata*; seed production; seed size; insect infestation

种子是植物有性生殖的重要器官,其既是植物种群生活史的起点,也是生活史的终点。种子雨是指在特定时间和空间从母树上散落一定数量的种子成为种子雨(Fenner and Thompson, 2005; 刘文静等, 2010),而种子产量反映了母树个体间的产量差异,是种子雨研究的一个重要方面(杜彦君和马克平, 2012),二者均具有年际变化动态,关于植物种子雨和种子产量的研究对于更加深入了解植物种群的更新以及群落的组成和结构具有重要意义(于顺利等, 2007; 刘文静等, 2010)。植物种子在种子雨下落的过程通常会面临昆虫、真菌、脊椎动物等各类生物的寄生取食和捕食风险(刘文静等, 2010)。尤其是栎属 *Quercus* 植物,由于其种子内含有丰富的淀粉、脂肪等营养物质,往往成为许多昆虫优先寄生取食的对象(王巍等, 2000; 马杰等, 2008)。危害我国栎属植物的昆虫种类丰富,常见的有柞栎象 *Curculio dentipes*、蒙栎象 *Curculio sikkimensis*、麻栎象 *Curculio robustus*、榛实象 *Curculio dieckamanni*、剪枝栎实象 *Cyllorhynchites ursulus* 和一些蛾类(于晓东等, 2002; 王学等, 2008)。马杰等(2008)通过对辽东栎虫蛀调查的研究结果表明寄生在种子内的虫卵和昆虫幼虫会大量消耗、汲取种子内营养物质,最终会导致种子提早掉落或出现不饱满现象。因此,昆虫寄生在种子内可能会影响种子活力、成熟率、存活率、发芽率等,进而间接影响植物种群的更新和群落

的演替(Crawley and Long, 1995; 于晓东等, 2011)。因此,昆虫作为栎属植物扩散前的重要寄生取食者,对种子的命运、种群的更新和群落的演替都具有重要影响。

近年来,许多研究表明植物自身具有防御昆虫寄生的方式。其中,种子产量大小年周期变化就是栎属等植物一种很好的防御昆虫寄生机制,即植物通过种子产量大小年的周期性变化来改变取食者的饥饿(种子小年)或饱足程度(种子大年)来确保其种群实现有效更新(Crawley and Long, 1995; Fletcher *et al.*, 2010; Linhart *et al.*, 2014)。在种子产量较小的年份,种子取食者会因为食物不足而维持较小的种群,而在接下来出现的种子产量大年,其种子产量可能超出所有取食者的取食量,从而使大量种子逃脱被取食而最终萌发建成幼苗,这种方式被认为是植物抵御昆虫寄生的最好方式之一(胡兴华和陈小勇, 2012)。另外,种子大小变化也是植物自身防御昆虫寄生的机制之一。例如植物通过增加种子体积使其胚乳可以满足或超过昆虫的取食需求,降低种胚被取食的概率,从而使得被寄生的种子多数仍具有萌发能力(于晓东等, 2002)。但是,大种子内营养物质含量更多(Hendrix, 1984; 肖治术和张知彬, 2004),昆虫可能会选择大种子产卵,从而可以使孵化的幼虫可以吸取更多的营养物质(Bonal and Munoz, 2009),所以,大种子相比小种子

并不利于植物逃避昆虫取食的危害。

短柄枹栎 *Quercus glandulifera* 和锐齿槲栎 *Quercus aliena* var. *acuteserrata* 属于壳斗科栎属植物, 主要分布于山西、陕西、甘肃、山东、江苏、安徽等地, 是分布在秦岭地区优势落叶阔叶树种, 在生态环境保护、减少水土流失等方面具有重要作用。目前, 关于短柄枹栎和锐齿槲栎的研究主要集中在物种组成、种群数量特征、种群遗传多样性、病虫害防治、种子扩散等方面(刘华, 2013; 吴昊等, 2013; 于飞等, 2013; 曹倩等, 2014; 石子俊等, 2014; 张博等 2014; 黄雅昆等, 2015), 但关于短柄枹栎、锐齿槲栎种子产量和种子大小及其与昆虫寄生关系的研究尚未见报道。因此, 本研究以秦岭南坡壳斗科栎属植物短柄枹栎和锐齿槲栎作为研究对象, 通过对这两种植物的种子产量、种子大小和昆虫寄生特征进行野外调查研究, 揭示这两种栎树的种子产量和种子大小及其与昆虫寄生之间的关系, 从而进一步了解昆虫寄生在短柄枹栎和锐齿槲栎种群更新中的作用。

1 材料和方法

1.1 研究地点概况

本研究分别于 2011–2012 年在秦岭南坡佛坪国家自然保护区内进行。该保护区位于秦岭南坡中段(107°40′~107°55′E, 33°33′~33°46′N), 气候处于北亚热带向暖温带过渡区的北缘, 年均气温为 11.4℃, 年均降水为 943 mm。该区植被可分为 3 个垂直自然带, 分别为低中山典型落叶阔叶林带(海拔 2 000 m 以下, 栎林带)、中山落叶阔叶小叶林带(海拔 2 000~2 500 m, 桦林带)和亚高山针叶林带(海拔 2 500 m 以上, 巴山冷杉林带)(常罡等, 2012)。本研究在位于海拔 2 000 m 以下的低中山典型落叶阔叶林带内进行。短柄枹栎 *Quercus glandulifera* 和锐齿槲栎 *Quercus aliena* var. *acuteserrata* 是本区分布的壳斗科优势树种, 其他常见乔木树种有板栗 *Castanea mollissima*、栓皮栎 *Quercus variabilis*、油松 *Pinus tabulaeformis*、青冈 *Cyclobalanopsis glauca*、红桦 *Betula albo-sinensis*、秦岭冷杉 *Abies chinensis* 等(张凤臣等, 2007)。在我们的研究中, 我们所选取的研究样地面积是 3.61 ha, 其中短柄枹栎所占比例约为 15%, 锐齿槲栎所占比例为 40%, 其他物种如板栗和栓皮栎等树种所占比例约为 45%。

1.2 调查方法

在研究地区内随机选取 8 棵短柄枹栎和锐齿槲栎母树用于种子雨和种子产量的调查。所选定的母树要求在 15 m 内没有其他相同树种干扰, 并对所选母树进行编号。在每棵样树下设置 1 个种子雨收集框, 面积约为 1 m², 用铁丝做框架(直径为 5 mm), 用尼龙网(2 mm×2 mm)做网底, 在样点周围选择 3~4 棵小树用粗麻线绳将收集框固定, 框面保持水平, 尼龙网保持自然下垂状态, 距离地面约 60 cm, 以防种子掉入框内反弹出去及被其他动物取食(Xiao and Zhang, 2004)。种子雨的调查时间为每年种子开始掉落之前 8 月 20 日起至种子掉落结束为止 11 月 24 日, 每隔 7 d 收集 1 次。每次收集时将框内所有种子全部收集起来装入带有编号的密封袋, 在当天调查结束后进行分类及统计。种子雨类型主要分为完好种子(子叶完好新鲜)、虫蛀种子(种皮上有虫孔、切开后有虫子或虫卵)、败育种子(胚未完全发育)和壳斗(仅有包托种子的基部呈杯状的部分), 最后以完好、虫蛀和败育种子之和计算单位面积种子产量。同时, 由于种子雨收集框所收集的种子量偏小, 为了降低虫蛀率调查误差, 使统计分析结果更加接近实际, 我们在种子雨下落高峰期(10 月 15 日左右)从研究地区每棵母树下随机收集成熟种子各约 200 粒, 并一一测量其重量、直径和长度, 然后将种子切开确认是否被虫蛀, 记录昆虫种类、数量、虫孔数及种子受害程度。种子大小按体积大小来估算, 即 $V = \pi \times L \times R^2 / 4$, 其中 V 为体积, L 为长度, R 为直径(王学等, 2008)。

1.3 数据统计与分析

所有数据均采用 Office Excel 2003 和 Origin 8.0 软件进行绘图。百分比数据均先经过反正弦转换后用于统计分析。短柄枹栎和锐齿槲栎的种子雨密度、种子产量、种子雨构成(完好种子率、虫蛀种子率和败育种子率)和种子大小 2 年之间的差异均在 SPSS17.0 统计分析软件中采用 Mann-Whitney U 检验进行分析, 虫蛀种子内的幼虫数与种子大小之间的关系采用线性回归方法进行分析。

2 结果

2.1 短柄枹栎和锐齿槲栎种子雨构成比例及种子产量

2 年中短柄枹栎的种子雨密度和种子产量均具有显著差异, 短柄枹栎的种子雨密度分别为 $145.76 \pm$

24.56 粒/m² (2011 年) 和 64.09 ± 9.61 粒/m² (2012 年), 2012 年种子雨密度显著小于 2011 年 ($Z = 2.383, P = 0.017$)。2011 年短柄枹栎的种子产量为 74.97 ± 11.56 粒/m², 显著高于 2012 年的 34.30 ± 3.51 粒/m² ($Z = 3.026, P = 0.002$) (图 1: A)。在种子雨构成比例中, 2011 年完好种子、虫蛀种子和败育种子占种子产量的比例分别为 49.73%,

28.05% 和 22.22%; 2012 年, 完好种子所占比例为 38.69%, 显著低于 2011 年的 ($Z = 2.606, P = 0.009$), 虫蛀种子所占比例为 39.77%, 明显高于 2011 年的, 但二者无显著差异 ($Z = 1.255, P = 0.209$), 而败育种子所占比例为 21.54%, 与 2011 年的无显著差异 ($Z = 0.116, P = 0.908$) (图 1: B)。

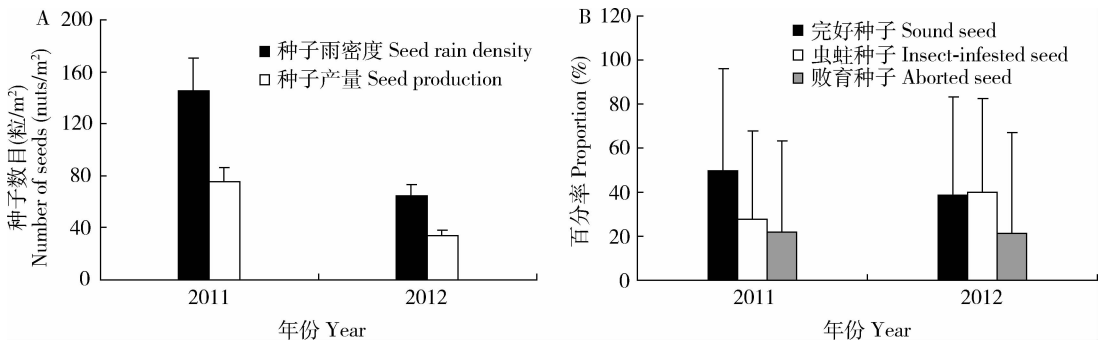


图 1 2011 和 2012 年短柄枹栎种子雨密度和种子产量(A)及种子雨构成比例(B)

Fig. 1 Dynamics of seed rain density and seed production (A) and seed rain composition proportion (B) of *Quercus glandulifera* in 2011 and 2012

2 年中锐齿槲栎的种子雨密度和种子产量也均具有显著差异, 锐齿槲栎的种子雨密度分别为 238.88 ± 43.97 粒/m² (2011 年) 和 112.00 ± 19.20 粒/m² (2012 年), 2012 年种子雨密度显著小于 2011 年 ($Z = 2.414, P = 0.016$)。2011 年锐齿槲栎的种子产量为 117.34 ± 18.76 粒/m², 显著高于 2012 年的 55.96 ± 19.20 粒/m² ($Z = 2.308, P = 0.021$) (图 2: A)。在种子雨构成比例中, 2011 年完好种子、虫

蛀种子和败育种子占种子产量的比例分别为 50.73%, 19.31% 和 29.96%; 2012 年, 完好种子所占比例为 44.28%, 显著低于 2011 年的 ($Z = 2.210, P = 0.027$), 虫蛀种子所占比例为 26.63%, 高于 2011 年的, 但无显著差异 ($Z = 1.091, P = 0.275$), 败育种子所占比例为 29.09%, 与 2011 年的无显著差异 ($Z = 0.961, P = 0.337$) (图 2: B)。

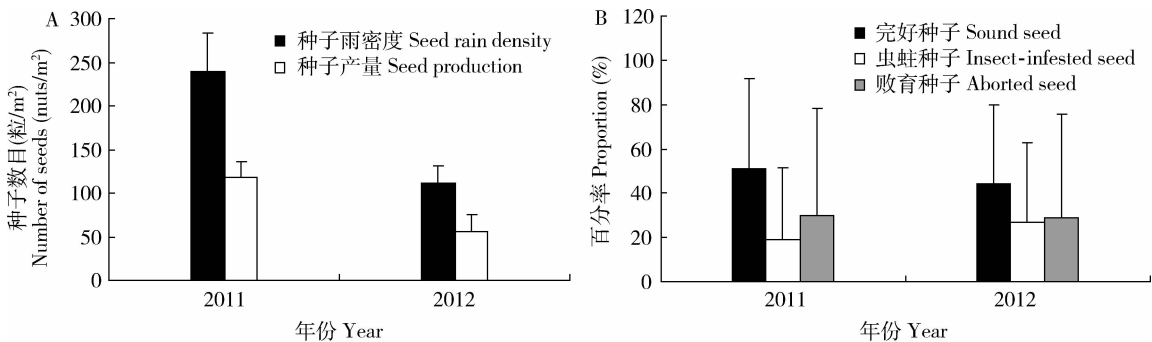


图 2 2011 和 2012 年锐齿槲栎种子雨密度、种子产量(A)和种子雨构成比例(B)

Fig. 2 Dynamics of seed rain density and seed production (A) and seed rain composition proportion (B) of *Quercus aliena var. acuteserrata* in 2011 and 2012

2.2 短柄枹栎和锐齿槲栎种子大小与昆虫寄生的关系

2011 年短柄枹栎完好种子和虫蛀种子的体积大小分别为 1.06 ± 0.33 cm³ 和 1.28 ± 0.43 cm³, 虫蛀种子的体积极显著大于完好种子 ($Z = 8.418,$

$P < 0.01$); 2012 年短柄枹栎完好种子和虫蛀种子的体积大小分别为 0.99 ± 0.33 cm³ 和 1.07 ± 0.39 cm³, 虫蛀种子的体积也极显著大于完好种子 ($Z = 3.059, P < 0.01$) (图 3: A)。

2011 年锐齿槲栎完好种子和虫蛀种子的体积

大小分别为 $1.61 \pm 0.35 \text{ cm}^3$ 和 $1.76 \pm 0.59 \text{ cm}^3$, 虫蛀种子的体积极显著大于完好种子 ($Z = 5.034$, $P < 0.01$); 2012 年锐齿枹栎完好种子和虫蛀种子的

体积大小分别为 $1.55 \pm 0.54 \text{ cm}^3$ 和 $1.64 \pm 0.62 \text{ cm}^3$, 虫蛀种子的体积显著大于完好种子 ($Z = 2.218$, $P < 0.05$) (图 3: B)。

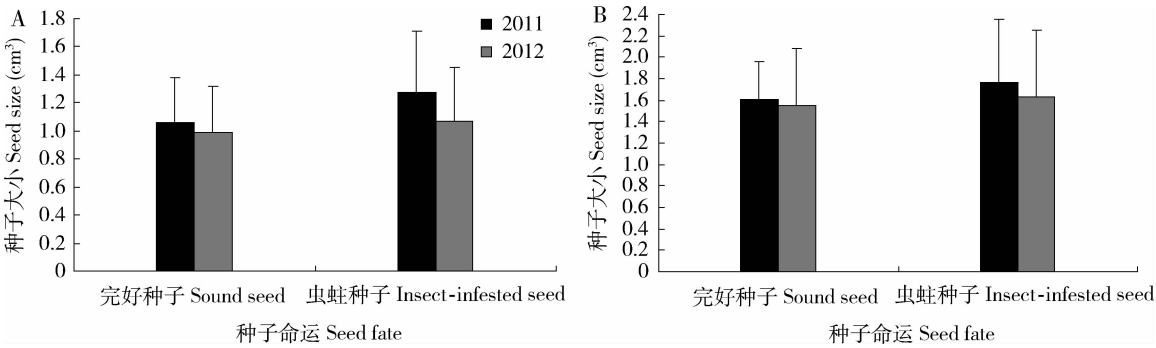


图 3 短柄枹栎(A)和锐齿枹栎(B)种子大小与种子命运的关系

Fig. 3 Relationship between seed size and seed fate of *Quercus glandulifera* (A) and *Quercus aliena* var. *acuteserrata* (B)

2.3 昆虫寄生变化规律及寄生偏好

通过解剖短柄枹栎和锐齿枹栎的虫蛀种子,发现寄生在二者种子内的昆虫种类主要为象甲科 (Curculionidae) 和小卷蛾科 (Olethreutidae) 昆虫。2011 年短柄枹栎虫蛀种子中所含幼虫数平均为 1.09 ± 0.31 头, 最多可达 4 头, 含 2 头及以上幼虫的虫蛀种子体积大小平均为 $1.57 \pm 0.44 \text{ cm}^3$, 而含 1 头幼虫的虫蛀种子体积大小平均仅为 $1.28 \pm 0.38 \text{ cm}^3$, 回归分析表明, 2011 年短柄枹栎虫蛀种子中所

含幼虫数与种子体积大小相关性显著 ($F = 14.681$, $r = 0.221$, $P = 0.000$) (图 4: A)。2012 年短柄枹栎虫蛀种子中所含幼虫数平均为 1.08 ± 0.27 头, 最多可达 2 头, 含 2 头幼虫的虫蛀种子体积大小平均为 $1.31 \pm 0.59 \text{ cm}^3$, 而含 1 头幼虫的虫蛀种子体积大小平均仅为 $1.07 \pm 0.37 \text{ cm}^3$, 回归分析表明, 2012 年短柄枹栎虫蛀种子中所含幼虫数与种子体积大小相关性无显著差异 ($F = 1.318$, $r = 0.159$, $P = 0.256$) (图 4: B)。

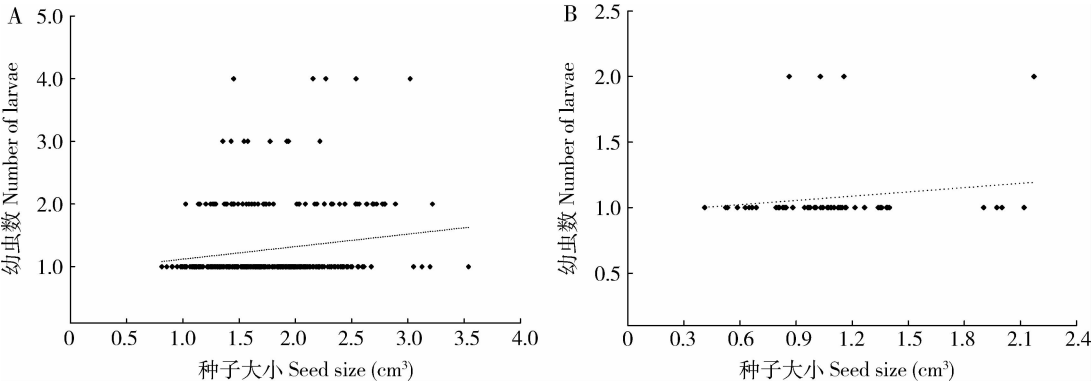


图 4 2011(A)和2012(B)年短柄枹栎种子大小与昆虫寄生幼虫数的关系

Fig. 4 Relationship between the seed size of *Quercus glandulifera* and the number of insect larvae infesting seeds in 2011 (A) and 2012 (B)

2011 年锐齿枹栎虫蛀种子中所含幼虫数平均为 1.28 ± 0.59 头, 最多可达 4 头, 含 2 头及以上幼虫的虫蛀种子体积大小平均为 $1.93 \pm 0.57 \text{ cm}^3$, 而含 1 头幼虫的虫蛀种子体积大小平均仅为 $1.73 \pm 0.45 \text{ cm}^3$, 回归分析表明, 2011 年锐齿枹栎虫蛀种子中所含幼虫数与种子体积大小相关性显著 ($F = 9.011$, $r = 0.167$, $P = 0.003$) (图 5: A)。2012 年

锐齿枹栎虫蛀种子中所含幼虫数平均为 1.15 ± 0.40 头, 最多可达 3 头, 含 2 头及以上幼虫的虫蛀种子体积大小平均为 $1.59 \pm 0.44 \text{ cm}^3$, 而含 1 头幼虫的虫蛀种子体积大小平均仅为 $1.49 \pm 0.41 \text{ cm}^3$, 回归分析表明, 2012 年锐齿枹栎虫蛀种子中所含幼虫数与种子体积大小相关性无显著差异 ($F = 0.420$, $r = 0.083$, $P = 0.519$) (图 5: B)。

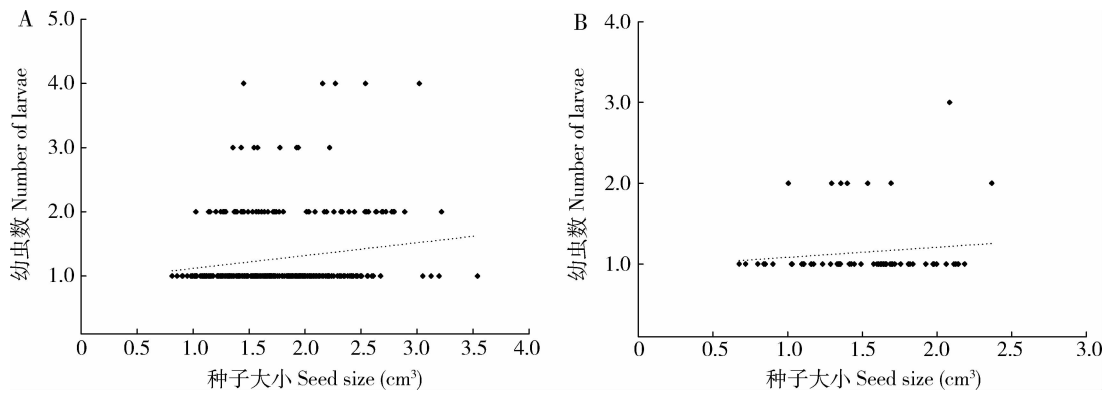


图 5 2011(A)和2012(B)年锐齿槲栎种子大小与昆虫寄生幼虫数的关系

Fig. 5 Relationship between the seed size of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* and the number of insect larvae infesting seeds in 2011 (A) and 2012 (B)

3 讨论

有关栎属植物种子雨年际变化的研究结果表明,这类植物的种子产量一般都具有种子大小年现象(陈波等,2003;刘文静等,2010)。种子产量大小年的周期变化除了受气候因子变化、植被演替变化外等外部影响因素外,更多研究表明种子产量的年际变化是植物本身应对种子取食者和促进种子扩散的一种策略。种子小年,种子取食者会因为食物不足而维持较小的种群,接下来出现的种子大年,其种子产量可能超出所有取食者的取食量,从而使大量种子逃脱被取食而最终萌发建成幼苗(Jansen *et al.*, 2004)。本研究中,2011年短柄枹栎和锐齿槲栎的种子雨密度和种子产量均显著高于2012年,说明短柄枹栎和锐齿槲栎可能也具有种子大小年结实现象。目前,许多研究表明,植物种子产量大小年的周期变化与其种子取食者种群有某种相关关系(王学等,2008;刘文静等,2010)。本研究中,2年中短柄枹栎和锐齿槲栎的虫蛀率虽无显著差异性,但二者的虫蛀率与其种子产量的高低有一定的关系。短柄枹栎和锐齿槲栎的虫蛀率分别从种子产量较高年份(2011年)的28.05%和19.30%明显提升至种子产量较低年份(2012年)的39.77%和26.63%,即在种子产量较低年份,虫蛀率有升高趋势,反之则虫蛀率有降低趋势,此研究结果与捕食者饱和和效应假说(Maeto and Ozaki, 2003; Bonal *et al.*, 2007; 王学等, 2008)一致。目前,许多研究表明植物种子产量与虫蛀率也存在类似现象,证实一些植物种子产量大小年周期变化与种子取食者种群大小有密切相关关系,这种周期变化可能是应对昆虫取食寄生的

一种防御策略。

有研究表明种子大小也会影响昆虫寄生取食(Xiao *et al.*, 2007)。王学等(2008)的研究发现,蒙古栎种子越大,虫蛀种子内所含的象甲虫卵数就较多;在都江堰亚热带常绿阔叶林的研究中,表明大种子的栓皮栎相比小种子的青冈树 *Cyclobalanopsis glauca* 被象甲虫产卵的数量多(Xiao *et al.*, 2007)。本研究中,短柄枹栎与锐齿槲栎虫蛀种子体积均显著大于完好种子,表明昆虫有选择大种子产卵寄生的偏好。另一方面,回归分析表明,2011年短柄枹栎和锐齿槲栎虫蛀种子所含幼虫数与种子大小的相关性显著,2012年二者间相关性虽无显著差异性,但短柄枹栎和锐齿槲栎虫蛀种子所含幼虫数为2头及以上的虫蛀种子体积大小均明显高于含有1头幼虫的虫蛀种子,这表明短柄枹栎和锐齿槲栎虫蛀种子所含幼虫数与种子体积大小有一定的关系,即种子越大,所含寄生的昆虫幼虫数就越多,这说明昆虫选择大种子产卵寄生有较高的适应价值。昆虫选择大种子寄生的主要原因可能是因为大种子内含有更多营养物质,在大种子内寄生的虫卵、幼虫可以获得更多的营养,有利于昆虫的生长发育,从而提高其存活率和繁殖率(刘文静等,2010)。另外也有可能是因为大种子相比小种子更能容忍昆虫的部分取食,部分取食可能没有伤害到大种子的胚,那么部分受损的大种子仍有可能萌发并成功建立幼苗(Xiao *et al.*, 2007; 王学等, 2008),这些机制是否同样适应于短柄枹栎和锐齿槲栎,有待今后进行进一步深入的研究和探讨。

总之,本研究结果表明短柄枹栎和锐齿槲栎的种子产量也可能存在大小年结实现象,同时二者的种子虫蛀率与种子产量有一定的关系,即在种子产

量较低年份, 虫蛀率有升高趋势, 反之则有降低趋势。此外, 昆虫对这两种栎树种子中个体较大的种子有寄生选择偏好, 同时虫蛀种子所含幼虫数与种子大小也有一定的关系, 即种子越大, 所含寄生的昆虫幼虫数就越多。

参考文献 (References)

- Bonal R, Muñoz A, 2009. Seed weevils living on the edge: pressures and conflicts over body size in the endoparasitic *Curculio* larvae. *Ecol. Entomol.*, 34: 304–309.
- Bonal R, Muñoz A, Diaz M, 2007. Satiation of predispersal seed predators: the importance of considering both plant and seed level. *Evolutionary Ecology*, 21: 376–380.
- Cao Q, Liu YF, Huang HW, 2014. Restoration of genetic diversity of *Quercus glandulifera* var. *brevipetiolata* population after artificial logging. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 22(1): 68–76. [曹倩, 刘义飞, 黄宏文, 2014. 人工砍伐后短柄枹栎的居群遗传重建研究. 热带亚热带植物学报, 22(1): 68–76]
- Chang G, Wang KF, Wang Z, 2012. Effect of forest rodents on predation and dispersal of *Pinus armandii* seeds in Qinling Mountains. *Acta Ecologica Sinica*, 32(10): 3177–3181. [常罡, 王开锋, 王智, 2012. 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, 32(10): 3177–3181]
- Chen B, Song YC, 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]
- Crawley MJ, Long CR, 1995. Alternate bearing, predator satiation and seedling recruitment in *Quercus robur* L. *J. Ecol.*, 83: 683–696.
- Du YJ, Ma KP, 2012. Temporal and spatial variation of seedfall in a broad-leaved evergreen forest in Gutianshan Nature Reserve of Zhejiang province, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 36(8): 717–728. [杜彦君, 马克平, 2012. 浙江古田山自然保护区常绿阔叶林种子雨的时空变异. 植物生态学报, 36(8): 717–728]
- Fenner M, Thompson K, 2005. The Ecology of Seeds. Cambridge University Press, Cambridge.
- Fletcher QE, Boutin S, Lane JE, Lamontagne JM, Mcadam AG, Krebs CJ, Humphries MM, 2010. The functional response of a hoarding seed predator to mast seeding. *Ecology*, 91: 2673–2683.
- Hendrix SD, 1984. Variation in seed weight and its effects on germination in *Pastinaca sativa* L. (Umbelliferae). *American Journal of Botany*, 71(6): 795–802.
- Hu XH, Chen XY, 2012. Effects of seed size on the survival of insect-infected acorns in the three oak species. *Guihaia*, 32(2): 208–213. [胡兴华, 陈小勇, 2012. 壳斗科三种植物种子大小对昆虫寄生及种子存活率的影响. 广西植物, 32(2): 208–213]
- Huang YK, Wang DX, Zhang HW, Guo TD, Hu YN, 2015. Quantitative characteristics of *Quercus glandulifera* var. *brevipetiolata* population in Foping National Reserve of Qinling Mountains. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 35(3): 594–600. [黄雅昆, 王得祥, 张洪武, 郭廷栋, 胡有宁, 2015. 秦岭佛坪自然保护区短柄枹栎种群的数量特征. 西北植物学报, 35(3): 594–600]
- Jansen PA, Bongers F, Hemerik L, 2004. Seed mass and mast seeding enhance dispersal by a neotropical scatter-hoarding rodent. *Ecological Monographs*, 74(4): 569–589.
- Linhart YB, Moreira X, Snyder MA, Mooney KA, 2014. Variability in seed cone production and functional response of seed predators to seed cone availability: support for the predator satiation hypothesis. *J. Ecol.*, 102: 576–583.
- Liu H, 2013. Preliminary investigation of the pests of *Quercus serata* Thunb. var. *brevipetiolata* (A. DC.) Nakai in Jinsi Valley. *Shaanxi Forest and Technology*, (3): 50–53. [刘华, 2013. 金丝大峡谷短柄枹栎害虫的初步调查. 陕西林业科技, (3): 50–53]
- Liu WJ, Wang GY, Niu KK, Jiao GQ, Ye F, Yi XF, 2010. Insect acorn predation over the seed rain of *Quercus aliena*. *Acta Entomologica Sinica*, 53(4): 436–441. [刘文静, 汪广根, 牛可坤, 焦广强, 于飞, 易现峰, 2010. 槲栎种子雨进程中昆虫的捕食特征. 昆虫学报, 53(4): 436–441]
- Ma J, Yan WJ, Li QF, Sun RY, Liu DZ, 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]
- Maeto K, Ozaki K, 2003. Prolonged diapause of specialist seed-feeders makes predator satiation unstable in masting of *Quercus crispula*. *Oecologia*, 137: 392–398.
- Shi ZJ, Zhang B, Chen XN, Lian ZM, Chang G, 2014. Composition and dynamics of seed rain in four species of Fagaceae in Qinling Mountains. *Guihaia*, 34(1): 1–6. [石子俊, 张博, 陈晓宁, 廉振民, 常罡, 2014. 秦岭壳斗科四种植物种子雨组成及其动态变化. 广西植物, 34(1): 1–6]
- Wang W, Ma KP, Gao XM, 2000. Spatial and temporal patterns of *Quercus liaotungensis* acorn predation by vertebrates in Dongling Mountains, Northern China. *Acta Botanica Sinica*, 42(3): 289–293. [王巍, 马克平, 高贤明, 2000. 东灵山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 ZS, Zhang ZB, Pan HC, 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]
- Wu H, Zhang MX, Wang DX, 2013. Diversity characteristics in different layers of *Pinus tabulaeformis*-*Quercus aliena* var. *accuteserata* mixed forest and environmental inter predation in the southern slope of Qinling Mountains. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 33(10): 2086–2094. [吴昊, 张明霞, 王得祥, 2013. 秦岭南坡油松-锐齿槲栎混交林群落不同层次多样性特征及环境解释. 西北植物学报, 33(10): 2086–2094]
- Xiao ZS, Harris MK, Zhang ZB, 2007. Acorn defenses to herbivory from insects: implications for the joint evolution of resistance, tolerance

- and escape. *Forest Ecology and Management*, 238(1): 302 – 308.
- Xiao ZS, Zhang ZB, 2004. Small mammals consuming tree seeds in Dujiangyan forest. *Acta Theriologica Sinica*, 24(2): 121 – 123. [肖治术, 张知彬, 2004. 都江堰林区小型鼠类取食林木种子的调查. 兽类学报, 24(2): 121 – 123]
- Yu F, Wang DX, Shi XX, Chen LL, Huang QP, Song B, 2013. Species composition and regeneration characteristics of main woody plant seeding in a pine-oak mixed forest in Qinling Mountains. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 33(3): 592 – 598. [于飞, 王得祥, 史晓晓, 陈莉莉, 黄青平, 宋彬, 2013. 秦岭山地松栎混交林主要木本植物组成及更新特征. 西北植物学报, 33(3): 592 – 598]
- Yu SL, Lang NJ, Peng MJ, Zhao L, Guo YQ, Zheng K, Zhang LX, Wen SL, Li H, 2007. Research advance 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]
- Yu XD, Zhou HZ, Luo TH, 2002. Interactions of insects and oak tress 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 XD, Zhou HZ, Luo TH, He JJ, Zhang ZB, 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]
- Zhang B, Shi ZJ, Chen XN, Lian ZM, Chang G, 2014. Effects of weevil-infestation on seed dispersal of *Quercus aliena* handled by rodents. *Acta Ecologica Sinica*, 34(14): 3937 – 3943. [张博, 石子俊, 陈晓宁, 廉振民, 常罡, 2014. 昆虫蛀蚀对鼠类介导下的锐齿槲栎种子扩散的影响. 生态学报, 34(14): 3937 – 3943]
- Zhang FC, Yang XZ, Gong HS, 2007. Community structure of rodents in Foping Nature Reserve. *Chinese Journal of Wildlife*, 28(1): 13 – 17. [张凤臣, 杨兴中, 巩会生, 2007. 陕西佛坪自然保护区啮齿动物群落结构研究. 野生动物杂志, 28(1): 13 – 17]

(责任编辑: 赵利辉)