

辽东栎主要种实害虫种群生态位研究*

连俊华^{1**} 邱雅林² 白应统^{1***} 郭自发¹ 徐周周¹ 金义凯¹

(1. 甘肃省子午岭林业管理局宁县分局, 宁县 745200; 2. 庆阳市林木病虫害检疫和防治站, 庆阳 745000)

摘要 【目的】通过调查辽东栎种实害虫群落组成及为害特点, 分析各种害虫对资源的利用程度, 探究其相互之间的竞争共存机制和混合为害特点, 为辽东栎种实害虫科学测报和综合防控提供理论依据。

【方法】在梁峁缓坡、阴坡和半阳向沟坡地设置 3 个试验样地, 采用典型抽样法按对角线 5 点取样法选取 15 株样树, 并采用阶层抽样法调查每株树冠东、南、西、北 4 个方位的上、中、下 3 个层次害虫群落组成及为害特点; 在树冠下布设 2 m×2 m 小样方, 收集样方内所有种子, 并在体视显微镜下解剖橡实, 按不同资源序列及等级统计种子内幼虫种类与数量; 采用 Levins 生态位宽度指数和 Pianka 生态位重叠指数进行生态位分析。【结果】优势种柞象 *Curculio dentipes* 空间生态位宽度最大 ($0.999\ 2\pm0.000\ 3$), 桃蛀野螟 *Dichocrocis punctiferalis* 营养生态位宽度最大 ($0.996\ 1\pm0.001\ 5$), 榛实象 *Curculio dieckmanni* 时间生态位宽度最大 ($0.966\ 8\pm0.004\ 9$)。柞象和栎实黑象 *Curculio* sp. 的混合为害率最高 (10.72%), 三维生态位重叠最大 ($0.881\ 9\pm0.002\ 3$), 均显著高于其它混合为害种类 ($P<0.01$)。【结论】柞象、榛实象和桃蛀野螟分别占据最大空间资源、最长时间资源和最多营养资源, 且分布较广, 发生分散, 常造成严重为害; 柞象和栎实黑象、柞象和栗子小卷蛾、榛实象和桃蛀野螟、桃蛀野螟和栗子小卷蛾、柞象和桃蛀野螟在时间上具有同步性、空间上具有同域性、营养上具有同质性, 两两具有类似的资源占有量, 当种群数量增加时, 种间竞争加剧, 常造成严重混合为害。

关键词 辽东栎; 种实害虫; 群落组成; 混合为害; 生态位

Niche analysis of the main seed pests of *Quercus liaotungensis*

LIAN Jun-Hua^{1**} QIU Ya-Lin² BAI Ying-Tong^{1***} GUO Zi-Fa¹
XU Zhou-Zhou¹ JIN Yi-Kan¹

(1. Gansu Ziwuling Forestry Administration Ningxian Branch, Ningxian 745200, China;

2. Qingyang City Forest Disease and Pest Quarantine and Control Station, Qingyang 745000, China)

Abstract 【Objectives】To investigate the community composition and damage caused by seed pests of *Quercus liaotungensis*, including the degree of utilization of various resources by these pests and their competitive coexistence with other pest species. 【Methods】From mid-April to October 2020, standard sampling methods were used to identify three test sample sites, after which the diagonal line 5 point sampling method was used to select 15 sample trees, within which the tree stratum sampling method was used to collect seed samples from 2 m × 2 m squares situated at three levels in the south, east, west and northern aspects of the canopy. Seeds samples were brought back to the laboratory and acorns were dissected under a stoichiometric microscope. The species and number of larvae in seeds were counted and classified into different resource sequences and grades. Niche analysis was conducted using Levin's niche width index and the Pianka niche overlap index, and the significance of differences analyzed using Duncan's multiple test method. 【Results】*Curculio dentipes* had the largest spatial niche width ($0.999\ 2\pm0.000\ 3$), *Dichocrocis punctiferalis* the largest trophic niche width ($0.996\ 1\pm0.001\ 5$) and *Curculio dieckmanni* the largest temporal niche width ($0.966\ 8\pm0.004\ 9$). The mixed damage rate was (10.72%) and the highest three-dimensional niche overlap ($0.881\ 9\pm0.002\ 3$) was between *Curculio dentipes* and *Curculio* sp.; significantly higher than

*资助项目 Supported projects: 甘肃省林业和草原科技项目 (2020kj024)

**第一作者 First author, E-mail: 1832983501@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: 276865378@qq.com

收稿日期 Received: 2022-01-01; 接受日期 Accepted: 2022-06-09

that between other species ($P < 0.01$). **[Conclusion]** *C. dentipes*, *C. dieckmanni* and *D. punctiferalis* have respectively the largest spatial resources, the longest time resources and the most nutritional resources. These species are widely distributed and often cause serious seed damage. The following pairs of species; *C. dentipes* and *Curculio* sp., *C. dentipes* and *C. glandicolana*, *C. dieckmanni* and *D. punctiferalis*, *D. punctiferalis* and *C. glandicolana* and *C. dentipes* and *D. punctiferalis*, are sympatric in both space and time and often causing serious damage to *Q. liaotungensis* seeds.

Key words *Quercus liaotungensis*; seed pests; community composition; mixed harm; niche

辽东栎 *Quercus wutaishanica* Mayr 或 *Quercus liaotungensis* Koiz 为壳斗科 Fagaceae、栎属 *Quercus* 落叶乔木, 是黄土高原子午岭天然林区森林群落的主要建群种之一, 广泛分布于我国东北、西北、华北等地, 同时由于其种子淀粉含量高达 46.71%-52.56%, 是优良的木本淀粉能源植物树种, 可替代玉米等粮食作为饲料或生产生物燃料乙醇, 对保障国家的粮食安全和能源安全具有重大意义(韩亚琦等, 2006; 厉月桥等, 2011)。但是, 在辽东栎种子生长发育过程中, 常见同一橡实同时被柞栎象 *Curculio dentipes*、栎实黑象 *Curculio* sp.、榛实象 *Curculio dieckmanni*、桃蛀野螟 *Dichocrocis punctiferalis* 和栗子小卷蛾 *Cydia glandicolana* 等多种昆虫为害(连俊华等, 2022), 致使种子产量和质量降低(马杰等, 2008), 如种实被害率高达 45.40%, 虫害种子发芽率仅为 15.90%, 种子重量减少 16.05%(于晓东等, 2001), 害虫的为害不仅是影响辽东栎种群实生苗更新的关键因素之一, 更成为制约辽东栎种子资源利用的主要瓶颈之一(程积民等, 2009)。几种害虫混合为害同一寄主, 它们之间必然存在着种内和种间竞争(Fraser *et al.*, 1995; 张大治, 2012)。近年来, 生态位概念在研究生物群落内混合种群各物种间关系上已被广泛应用(Adama, 1985; 钟章成, 1987; 尚玉昌, 1988), 尤其是在害虫综合治理方面, 通过对比各物种在资源序列上的生态位宽度和重叠指数异同, 分析各种物种之间的竞争共存机制和混合为害特点, 为害虫综合治理提供了理论依据(张晓爱等, 2001; 王凤等, 2006)。目前, 关于辽东栎种实害虫的研究主要集中在种类、生活史、生物学特性及对种子命运的影响等方面(于晓东等, 2001), 而有关辽东栎种实害虫种群生态位的研究鲜见报道。本研究通过调查辽东栎主

要种实害虫群落组成及混合为害, 探究混合种群各物种在时间、空间和营养资源序列上的种群数量变化规律, 明确生态位宽度指数、重叠指数及各物种相互之间的生态分离、竞争排斥或共存关系, 旨在为辽东栎种实害虫科学测报和可持续防控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地设在黄土高原子午岭林区, 横跨陕甘两省, 位于 E107°30'-109°40', N33°50'-36°50', 植被区属于暖温带北部落叶栎林亚地带, 辽东栎林分总面积高达 183 211.83 hm², 林分蓄积 2 076 819 m³, 约占森林面积 64.08%及森林蓄积 71.96%(来源于 2020 年度全国林地“一张图”更新数据), 作为该林区第一位优势森林群落, 也是气候演替的顶极森林群落, 主要分布于海拔 1 100-1 650 m 之间的梁峁缓坡和阴坡、半阴坡和半阳向沟坡地(刘立品, 1998), 大多处于中龄林阶段, 胸径 10-20 cm, 树高 6-12 m, 冠幅 3-8 m, 但是种实害虫为害严重, 实生苗更新困难, 以萌蘖林为主, 整个种群呈现退化现象(胡秀娟等, 2010)。

根据辽东栎林群落分布的立地类型(康永祥等, 2007), 采用典型抽样法选取梁峁缓坡、阴坡和半阳向沟坡地 3 种立地类型布设试验样地 3 个。各样地情况如下: 1)梁峁缓坡样地位于东华池林场牛头岭(E108°25'23", N36°12'10"), 海拔 1 467 m, 树龄 35 年, 平均胸径 16 cm, 平均树高 6.7 m, 平均冠幅 3.9 m, 乔木层郁闭度 0.6, 灌木层盖度 53%, 群落组成主要有辽东栎、油松 *Pinus tabulaeformis*、土庄绣线菊 *Spiraea pubescens*、虎榛子 *Ostryopsis davidiana* 等; 2)阴坡样地位于连家砭林场老城后山(E108°31'24", N36°5'49"),

海拔 1 386 m, 树龄 40 年, 平均胸径 32 cm, 平均树高 8.2 m, 平均冠幅 5.1 m, 乔木层郁闭度 0.8, 灌木层盖度 27%, 群落组成为辽东栎、油松、白桦 *Betula platyphylla*、茶条槭 *Acer ginnala*、水栒子 *Cotoneaster multiflorus*、虎榛子、南蛇藤 *Celastrus orbiculatus* 及北五味子 *Schisandra chinensis* 等; 3) 半阳向沟坡地样地位于桂花源林场龙池 (E108°27'25", N35°43'16"), 海拔 1 355 m, 树龄 35 年, 平均胸径 26 cm, 平均树高 6.9 m, 平均冠幅 4.7 cm, 乔木层郁闭度 0.6, 灌木层盖度 31%, 群落组成有辽东栎、油松、黄蔷薇 *Rosa hugonis*、卫矛 *Euonymus alatus*、虎榛子和达乌里胡枝子 *Lespedeza dahurica* 等。

1.2 调查方法

调查于 2020 年 4 月上旬至 10 月中旬进行, 每隔 5 d 调查 1 次。按对角线 5 点取样法每隔 2-3 株树选取 1 株样树, 每个样地各选取树高、树势基本一致的样树 5 株, 共选 15 株, 用红色油漆标记。采用阶层抽样法每株树冠分东、南、西、北 4 个方位的上、中、下 3 个层次, 分为 12 个资源单位, 每个资源单位随机摘取 20 粒种子(张大治, 2012); 在树冠下布设 2 m×2 m 小样方, 捡拾样方内下落的所有种子, 随后将采集的种子分类装入封口袋, 贴好标签带回实验室(马杰等, 2008)。在体视显微镜下剥离壳斗、解剖橡实观察, 统计种子内幼虫种类与数量, 暂鉴定不到具体种的幼虫, 按不同形态特征进行分类编号、拍照、登记, 采用室内饲养和林间饲养相结合的方法, 饲养至成虫后在体视显微镜下鉴定。

1.3 分析方法

根据系统调查资料, 以辽东栎种子生长发育阶段为时间单元, 分为幼果期、生长期和成熟期 3 个时间资源维度(黄泽东, 2014); 采用典型抽样法选取梁崩缓坡、阴坡和半阳向沟坡地 3 种立地类型构成空间资源序列(康永祥等, 2007); 从不同时期所收集的种子中随机选取 30-50 粒, 分别用游标卡尺和电子天平测定其直径、称取鲜重, 采用聚类分析方法, 根据直径和鲜重的分布范围, 将种子分成大粒(>1.6 cm)、中粒(1.3-

1.6 cm) 和小粒(<1.3 cm) 3 类营养资源等级, 对应的鲜重分别为<2 g、2-3 g 和>3 g(孙书存和陈灵芝, 2000)。

采用 Levins(1968) 提出的公式 $B = 1 / S \sum_{i=1}^n P_i^2$

计算生态位宽度指数; 采用 Pianka(1973) 修正

的公式 $O_{jk} = \sum_{i=1}^n P_{ij} P_{ik} / \sqrt{\sum_{i=1}^n P_{ij}^2 \sum_{i=1}^n P_{ik}^2}$ 计算生态位

重叠指数; 采用营养、时间和空间生态位指数的乘积计算时间、空间和营养三维生态位宽度和生态位重叠指数(赵志模和郭依泉, 1990)。上述式中 B 为生态位宽度指数($B_{\max}=1$, $B_{\min}=1/S$), S 为资源序列等级数, P_i 为物种利用第 i 等级资源的数量占利用总资源数量的比例; O 为生态位重叠指数, O_{jk} 为物种 j 与物种 k 的生态位重叠, P_{ij} 与 P_{ik} 分别为物种 j 与物种 k 利用第 i 等级资源的数量占利用总资源数量的比例, n 为资源序列等级数。分析各类害虫在时间、空间和营养资源上的分布及相互之间对资源的竞争(黄保宏等, 2005)。

1.4 数据处理

数据利用 Excel 2020 和 SPSS/PC+ 软件进行统计和分析, 不同时间维度、不同空间序列、不同营养等级之间的差异显著性及不同害虫在相同资源上的差异显著性采用 Duncan's 多重检验法检验。

2 结果与分析

2.1 辽东栎种实害虫的群落组成及为害

经系统调查, 辽东栎种实害虫主要有 5 种, 隶属 2 目 3 科, 其中鞘翅目象虫科 3 种, 鳞翅目卷蛾科 1 种及螟蛾科 1 种。鞘翅目象虫科占全部种类的 60%, 个体数量占总样本量的 86.51%, 为该群落的主要类群, 柞栎象为优势种, 栎实黑象、榛实象和桃蛀野螟为亚优势种, 栗子小卷蛾为偶见种。幼果期害虫群落结构较为简单, 但随着种子的生长发育, 无论是害虫种类还是个体数量, 都先逐渐增加后不断减少, 群落结构逐渐复

杂,最终形成混合为害。优势种柞栎象和栎实黑象的混合为害率(10.72%)及混合为害占比最高(17.27%),显著高于其它混合为害($P < 0.01$);柞栎象和榛实象混合为害、柞栎象和桃蛀野螟混合为害、柞栎象、榛实象和栎实黑象混合为害、柞栎象、栎实黑象和桃蛀野螟混合为害、柞栎象、榛实象、栎实黑象和桃蛀野螟混合为害的为害率依次分别为7.94%、6.59%、5.90%、4.90%、2.30%和

1.43%,占混合为害的比例依次分别为12.78%、10.61%、9.50%、7.90%、3.71%和2.30%,均存在极显著性差异($P < 0.01$)(图1)。

2.2 不同资源序列中辽东栎种实害虫种群数量及为害动态

柞栎象、榛实象、栎实黑象、栗子小卷蛾和桃蛀野螟在时间、空间和营养资源序列上的群数量的调查结果如图2,图3,图4所示。

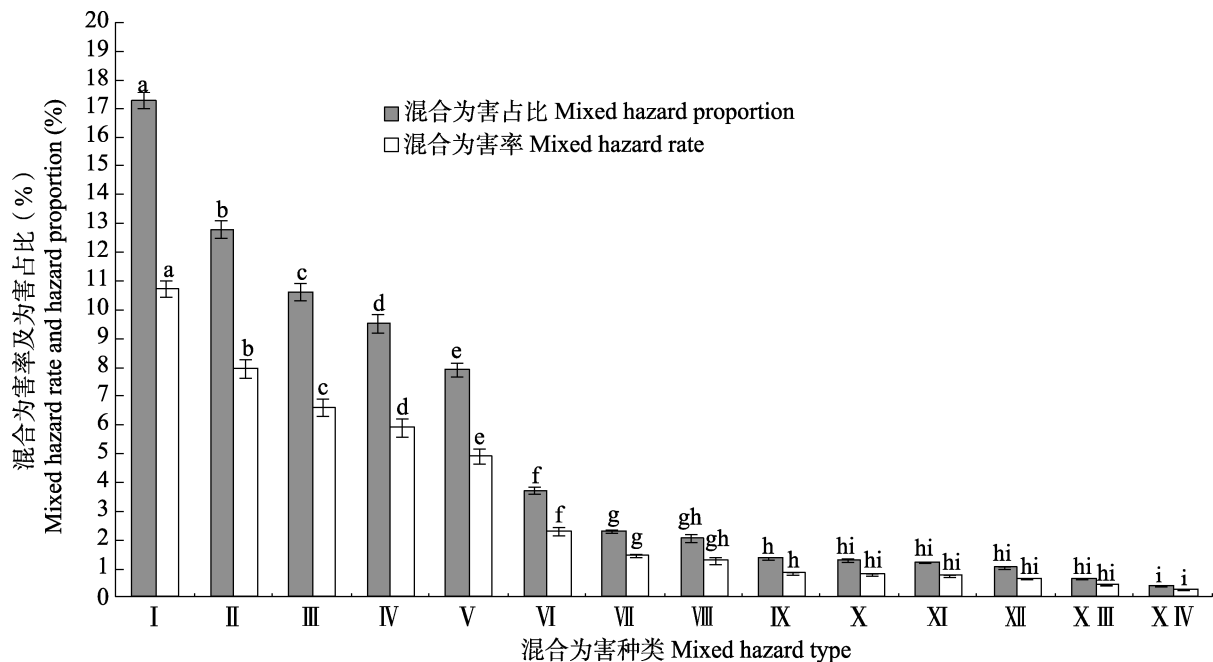


图1 辽东栎种实害虫混合为害

Fig. 1 Mixed hazard of *Quercus liaotungensis* seed pests

图中数据为平均值±标准误;柱上标有不同小写字母表示不同混合为害之间差异显著($P < 0.05$, Duncan's 多重比较检验)。下同。

Data are mean $\pm$ SE, and histograms with different lowercase letters indicate significant differences between different mixed hazards ($P < 0.05$, Duncan's multiple range test). The same below.

- I: 柞栎象+栎实黑象; II: 柞栎象+榛实象; III: 柞栎象+桃蛀野螟; IV: 柞栎象+榛实象+栎实黑象;
 V: 柞栎象+栎实黑象+桃蛀野螟; VI: 柞栎象+榛实象+桃蛀野螟; VII: 柞栎象+榛实象+栎实黑象+桃蛀野螟;
 VIII: 柞栎象+栎实黑象+栗子小卷蛾; IX: 柞栎象+栗子小卷蛾; X: 柞栎象+榛实象+栎实黑象+栗子小卷蛾;
 XI: 柞栎象+榛实象+栗子小卷蛾; XII: 柞栎象+桃蛀野螟+栗子小卷蛾;
 XIII: 柞栎象+栎实黑象+桃蛀野螟+栗子小卷蛾; XIV: 柞栎象+榛实象+桃蛀野螟+栗子小卷蛾。
 I: *Curculio dentipes* + *Curculio* sp.; II: *Curculio dentipes* + *Curculio dieckmanni*; III: *Curculio dentipes* + *Dichocrocis punctiferalis*; IV: *Curculio dentipes* + *Curculio dieckmanni* + *Curculio* sp.; V: *Curculio dentipes* + *Curculio* sp. + *Dichocrocis punctiferalis*; VI: *Curculio dentipes* + *Curculio dieckmanni* + *Dichocrocis punctiferalis*; VII: *Curculio dentipes* + *Curculio dieckmanni* + *Curculio* sp. + *Dichocrocis punctiferalis*; VIII: *Curculio dentipes* + *Curculio* sp. + *Cydia glandicolana*; IX: *Curculio dentipes* + *Cydia glandicolana*; X: *Curculio dentipes* + *Curculio dieckmanni* + *Curculio* sp. + *Cydia glandicolana*; XI: *Curculio dentipes* + *Curculio dieckmanni* + *Cydia glandicolana*; XII: *Curculio dentipes* + *Dichocrocis punctiferalis* + *Cydia glandicolana*; XIII: *Curculio dentipes* + *Curculio* sp. + *Dichocrocis punctiferalis* + *Cydia glandicolana*; XIV: *Curculio dentipes* + *Curculio dieckmanni* + *Dichocrocis punctiferalis* + *Cydia glandicolana*.

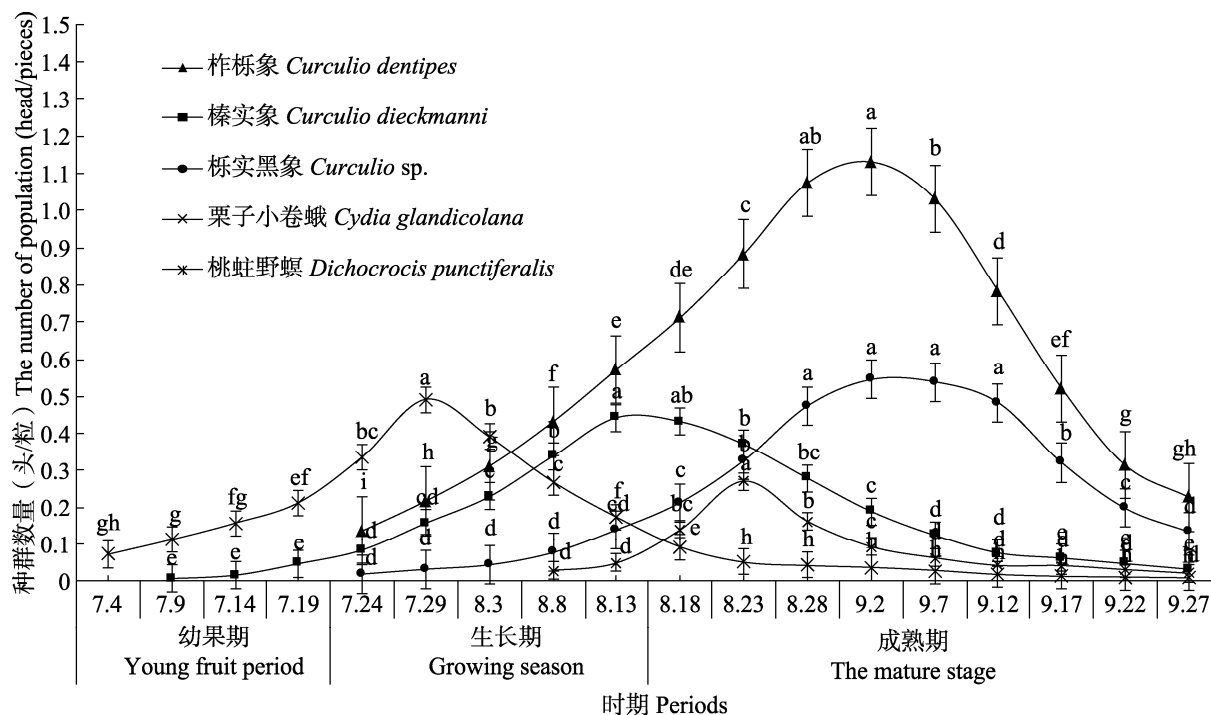


图 2 不同时期种子内辽东栎种实害虫种群数量

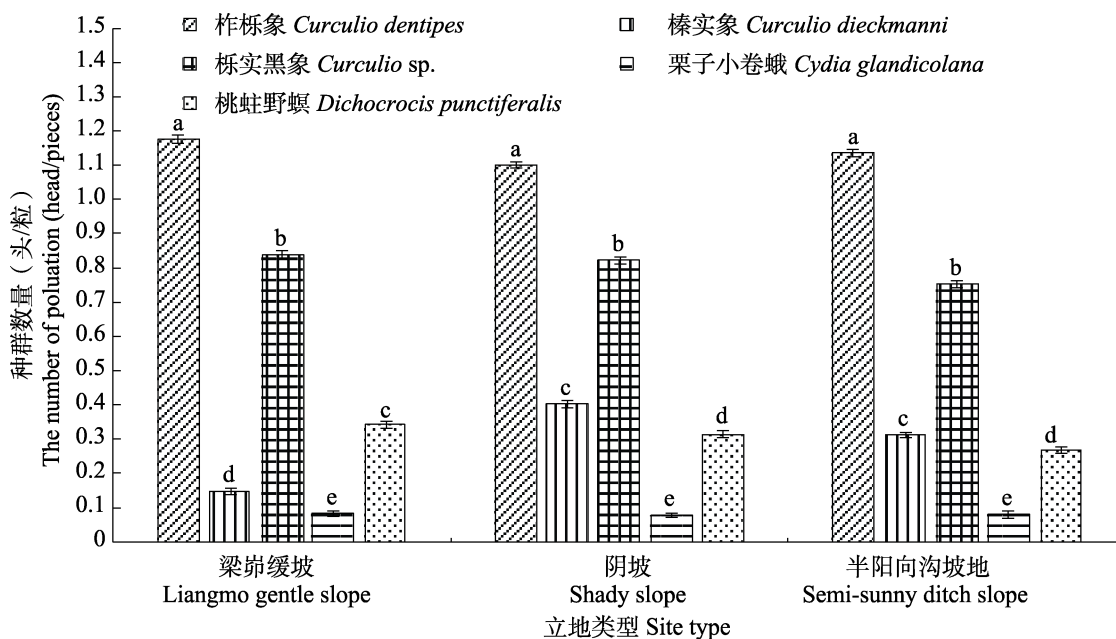
Fig. 2 Populations of insect pests of *Quercus liaotungensis* in different seed periods

图 3 不同立地类型内辽东栎种实害虫种群数量

Fig. 3 Populations of insect pests of *Quercus liaotungensis* in different site types

结果表明, 种子成熟期 5 种害虫种群数量达到最大, 幼果期、种子生长期和种子成熟期 3 个时期的害虫种群数量差异极显著 ($P < 0.01$)。在幼果期仅有榛实象 (1.30 头/粒) 和桃蛀野螟 (0.40 头/粒) 2 种害虫为害, 且二者之间的种群

数量差异极显著 ($P < 0.01$)。生长期榛实象种群数量最大 (1.43 头/粒), 显著高于其它 4 种害虫 ($P < 0.01$); 其次桃蛀野螟 (0.42 头/粒), 柞栎象 (0.37 头/粒) 次之, 二者之间的种群数量差异显著 ($P < 0.05$); 栎实黑象 (0.60 头/粒) 和

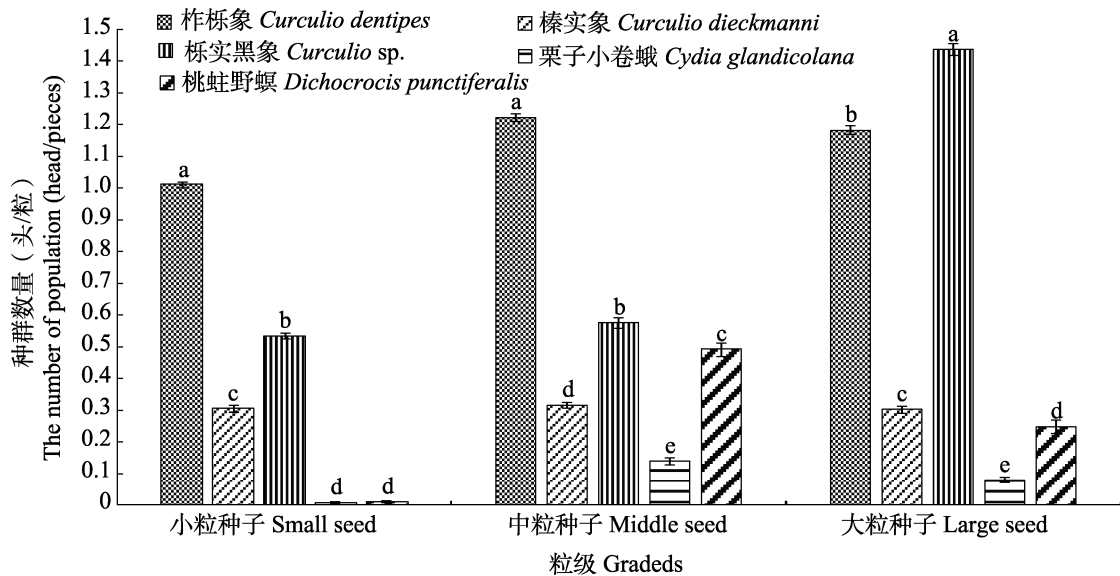


图 4 不同粒级种子内辽东栎种实害虫种群数量

Fig. 4 Populations of insect pests of *Quercus liaotungensis* in different seed grades

栗子小卷蛾 (0.40 头/粒) 种群数量最小, 二者差异不显著 ($P>0.05$)。种子成熟期柞栎象种群数量最大 (1.14 头/粒), 显著高于其它 4 种害虫 ($P<0.01$); 栎实黑象、榛实象、桃蛀野螟和栗子小卷蛾种群数量依次为 0.75、0.31、0.27 和 0.08 头/粒, 4 种害虫之间种群数量差异也极显著 ($P<0.01$) (图 2)。

阴坡上害虫种群数量最大 (2.672 头/粒), 显著高于梁岭缓坡和半阳向沟坡地 ($P<0.05$); 梁岭缓坡和半阳向沟坡地最小, 分别为 2.576 头/粒、2.538 头/粒, 二者之间无显著差异 ($P>0.05$)。在梁岭缓坡上, 柞栎象、榛实象、桃蛀野螟、栎实黑象和栗子小卷蛾的种群数量依次为 1.18、0.84、0.34、0.15、0.08 头/粒; 在阴坡上, 柞栎象、榛实象、栎实黑象、桃蛀野螟和栗子小卷蛾的种群数量依次为 1.10、0.82、0.40、0.31 和 0.78 头/粒; 在半阳向沟坡地上, 柞栎象、榛实象、栎实黑象、桃蛀野螟和栗子小卷蛾的种群数量依次为 1.14、0.75、0.31、0.27 和 0.08 头/粒, 在同一立地类型内 5 种害虫之间差异均极显著 ($P<0.01$), 但同一种害虫在不同立地类型内无显著差异 ($P>0.05$) (图 3)。

大粒种子内害虫的种群数量最大 (3.26 头/粒), 中粒种子次之 (2.76 头/粒), 小粒种子最小

(1.87 头/粒), 三者之间差异极显著 ($P<0.01$)。在大粒种子内, 榛实象种群数量最大 (1.44 头/粒), 柞栎象次之 (1.19 头/粒), 栎实黑象和桃蛀野螟的种群数量分别为 0.30 头/粒和 0.25 头/粒, 栗子小卷蛾最小 (0.08 头/粒), 5 种害虫种群数量存在显著差异 ($P<0.05$); 在中粒种子内, 柞栎象种群数量最大 (1.23 头/粒), 栎实黑象、栗子小卷蛾和榛实象次之, 种群数量分别为 0.58、0.50 和 0.32 头/粒, 桃蛀野螟最小 (0.14 头/粒), 且 5 种害虫种群数量有极显著性差异 ($P<0.01$); 在小粒种子内, 柞栎象种群数量最大 (1.01 头/粒), 显著高于其它 4 种害虫 ($P<0.01$), 其次榛实象和栎实黑象, 种群数量分别为 0.54 头/粒和 0.31 头/粒, 二者之间差异显著 ($P<0.05$), 栗子小卷蛾和桃蛀野螟的最小, 分别为 0.06 头/粒和 0.04 头/粒, 二者之间无显著差异 ($P>0.05$), 但显著低于柞栎象、榛实象和栎实黑象 (图 4)。

2.3 生态位分析

2.3.1 时间生态位 由表 1 可知, 在时间维度上, 5 种害虫的生态位宽度存在显著差异 ($P<0.01$), 其中桃蛀野螟最大, 榛实象次之, 时间资源序上分布均匀, 说明它们占用的时间资源多, 为害时

间长, 发生期分散, 常大发生; 栗子小卷蛾、柞栎象和栎实黑象最小, 集中分布在 8 月中旬至 9 月下旬种子成熟期, 说明它们在时间上具有聚集分布的特点, 为害时间短, 发生期集中, 高峰期明显, 竞争激烈, 常在特定时期内造成严重为害。从生态位重叠来看, 柞栎象和栗子小卷蛾、栎实黑象、桃蛀野螟的重叠指数均较大, 说明它们在发生时间上具有同步性, 两两共同占用的时间资源较多, 共同为害的时间长, 种间竞争激烈, 混合为害严重。

2.3.2 空间生态位

表 1 5 种辽东栎种实害虫时间生态位
Table 1 Time niche of five species of *Quercus liaotungensis* seed pests

害虫种类 Pest species	柞栎象 <i>Curculio dentipes</i>	栎实黑象 <i>Curculio</i> sp.	榛实象 <i>Curculio diecknni</i>	桃蛀野螟 <i>Dichocrocis punctiferalis</i>	栗子小卷蛾 <i>Cydia glandicolana</i>
柞栎象 <i>Curculio dentipes</i>	0.530 1±0.004 7d	0.972 1±0.002 1a	0.377 2±0.009 3g	0.604 4±0.015 8d	0.982 3±0.007 9a
栎实黑象 <i>Curculio</i> sp.		0.386 2±0.005 7e	0.216 0±0.012 1h	0.472 9±0.014 9ef	0.917 8±0.018 9b
榛实象 <i>Curculio diecknni</i>			0.804 1±0.004 7b	0.961 1±0.004 4a	0.472 1±0.025 5f
桃蛀野螟 <i>Dichocrocis punctiferalis</i>				0.966 8±0.004 9a	0.670 7±0.021 3c
栗子小卷蛾 <i>Cydia glandicolan</i>					0.599 7±0.018 8c

主对角线为生态位宽度指数, 主对角线以上为生态位重叠指数; 表中数值为平均值±标准误, 数据后标有不同小写字母表示不同害虫生态位之间差异显著性 ($P < 0.05$, Duncan's 多重比较检验)。下表同。
Values on the main diagonal are niche width parameter. Values obove the main diagonal are niche overlap parameter. The data in the table are mean ± SE, and followed by the different lowercase letters indicate the significant differences between different seed pests ($P < 0.05$, Duncan's multiple range test). The same below.

表 2 5 种辽东栎种实害虫空间生态位
Table 2 Spatia niche of five species of *Quercus liaotungensis* seed pests

害虫种类 Pest species	柞栎象 <i>Curculio dentipes</i>	栎实黑象 <i>Curculio</i> sp.	榛实象 <i>Curculio diecknni</i>	桃蛀野螟 <i>Dichocrocis punctiferalis</i>	栗子小卷蛾 <i>Cydia glandicolana</i>
柞栎象 <i>Curculio dentipes</i>	0.999 2±0.000 3a	0.998 6±0.000 4a	0.928 7±0.004 0b	0.994 7±0.001 0a	0.987 2±0.004 9a
栎实黑象 <i>Curculio</i> sp.		0.997 4±0.000 7a	0.931 6±0.004 0b	0.997 2±0.001 1a	0.985 3±0.003 6a
榛实象 <i>Curculio diecknni</i>			0.880 2±0.007 2c	0.914 0±0.011 9b	0.921 3±0.014 2b
桃蛀野螟 <i>Dichocrocis punctiferalis</i>				0.987 5±0.006 0ab	0.980 3±0.004 7a
栗子小卷蛾 <i>Cydia glandicolan</i>					0.974 3±0.008 4b

为害空间上具有同域性,两两共同占据的空间资源较多,共同为害的空间广,种间竞争激烈,混合为害严重。

2.3.3 营养生态位 由表 3 可知,在营养维度上,榛实象的生态位宽度最大,其次为柞栎象,营养资源序列上分布均匀,二者之间无显著差异 ($P>0.05$),但显著高于其它 3 种害虫 ($P<0.01$),说明它们占有的营养资源多,寄主丰富,食料分散,常大发生;桃蛀野螟和栗子小卷蛾的生态位宽度较小,多分布在大粒和中粒种子内,说明它们占有的营养资源较少,寄主单一,食料集中,竞争激烈,常在特定粒级内造成严重为害。从生态位重叠来看,柞栎象和榛实象的重叠指数最大,其次是栗子小卷蛾和桃蛀野螟,说明它们在营养

选择上具有同质性,两两共同占有的营养资源较多,共同为害的寄主多,种间竞争激烈,混合为害严重。

2.3.4 时间-空间-营养三维生态位 由表 4 可知,在时间、空间和营养三维资源序列上,5 种害虫生态位宽度具有显著差异 ($P<0.01$),其中榛实象最大,桃蛀野螟、柞栎象次之,说明这 3 种害虫占用时间资源较长、占据空间资源较大、占有营养资源较多,分布较广,发生分散,常造成严重为害;栗子小卷蛾、柞实黑象最小,说明这 2 种害虫不仅占用的时间资源最短,而且利用的营养资源较少,同时占据的空间资源小,分布局限,发生集中,竞争激烈,往往大发生。从三维生态位重叠指数来看,柞栎象和柞实黑象最

表 3 5 种辽东栎种实害虫营养生态位
Table 3 Nutritional niche of five species of *Quercus liaotungensis* seed pests

害虫种类 Pest species	柞栎象 <i>Curculio dentipes</i>	柞实黑象 <i>Curculio sp.</i>	榛实象 <i>Curculio diecknni</i>	桃蛀野螟 <i>Dichocrocis punctiferalis</i>	栗子小卷蛾 <i>Cydia glandicolan</i>
柞栎象 <i>Curculio dentipes</i>	0.993 3±0.000 5a	0.908 5±0.002 9b	0.996 1±0.001 5a	0.824 1±0.010 6c	0.837 4±0.023 9c
柞实黑象 <i>Curculio sp.</i>		0.806 5±0.062 8b	0.891 9±0.011 9bc	0.711 8±0.019 5d	0.742 6±0.050 3d
榛实象 <i>Curculio diecknni</i>			0.997 5±0.001 3a	0.788 1±0.013 0cd	0.807 0±0.020 9c
桃蛀野螟 <i>Dichocrocis punctiferalis</i>				0.634 5±0.032 5c	0.979 6±0.123 9a
栗子小卷蛾 <i>Cydia glandicolan</i>					0.608 2±0.015 9c

表 4 5 种辽东栎种实害虫时间-空间-营养三维生态位
Table 4 Three-dimensional niche of five species of *Quercus liaotungensis* seed pests in time, space and nutrition

害虫种类 Pest species	柞栎象 <i>Curculio dentipes</i>	柞实黑象 <i>Curculio sp.</i>	榛实象 <i>Curculio diecknni</i>	桃蛀野螟 <i>Dichocrocis punctiferalis</i>	栗子小卷蛾 <i>Cydia glandicolan</i>
柞栎象 <i>Curculio dentipes</i>	0.526 1±0.004 8c	0.881 9±0.002 3a	0.348 9±0.008 4g	0.495 0±0.010 5e	0.812 3±0.025 7b
柞实黑象 <i>Curculio sp.</i>		0.310 7±0.005 6e	0.179 1±0.008 9h	0.335 1±0.010 7g	0.671 4±0.047 2d
榛实象 <i>Curculio diecknni</i>			0.705 9±0.004 4a	0.692 0±0.011 6cd	0.351 9±0.026 4fg
桃蛀野螟 <i>Dichocrocis punctiferalis</i>				0.580 3±0.011 9b	0.641 5±0.015 5d
栗子小卷蛾 <i>Cydia glandicolan</i>					0.371 4±0.025 4d

大,其次依次为柞栎象和栗子小卷蛾、榛实象和桃蛀野螟、桃蛀野螟和栗子小卷蛾、柞栎象和桃蛀野螟。栎实黑象与榛实象的三维生态位重叠指数最小。

3 讨论

生态位理论阐明了生物群落内混合种群各物种对资源的利用程度,反映了各物种在特定资源环境中的竞争关系,资源可以是时间序列、空间区域和食物类型等,其定量描述主要包括生态位宽度和生态位重叠(Hutchison, 1965; Levins, 1968; 尚玉昌, 1988)。在协调有害生物综合治理方面,通过引入生态位概念,对协调化学防治和生物防治之间的矛盾,具有十分重要的推动作用(王凤等, 2006)。前期的研究多集中在枣园(师光禄等, 2003, 2006)、梅园(黄保宏等, 2005)、桃园(黄保宏等, 2005)和蔬菜(吴伟坚, 2003; 张乃芹等, 2011)等害虫的时间、空间一维或二维生态位,对营养生态位的研究较少。本研究在时间和空间生态测度的基础上,按不同粒级将种子划分为大粒、中粒和小粒3个营养资源等级,测度了营养生态位,发现寡食性近缘种害虫榛实象、柞栎象、栎实黑象的生态位宽度和生态位重叠均较大,显著高于桃蛀螟和栗子小卷蛾,说明它们对辽东栎种子具有极强的嗜好,在营养资源序列上分布均匀,营养选择上具有同质性,应作为重点防控对象;辽东栎种子仅为多食性非近缘种桃蛀野螟和栗子小卷蛾的食源之一,多分布在大粒和中粒种子内,其生态位宽度最小,可以通过引进外部生态位因子、去除有害生态元或定向改变基础生态位加以防控。同时,大粒种子能够为害虫提供的栖息、取食、交配及产卵等的提供足够的空间和充足的营养,害虫对大粒种子具有一定偏好,种子粒级越大往往形成的混合为害越严重。营养是物种食料竞争的物质基础,营养生态位及三维生态位的测度有助于全面准确的研究物种的基础生态位和实际生态位,能够客观真实的反映物种对资源的利用程度,尤其是在种实害虫生态位研究上更具有实质

意义。

就辽东栎种实害虫而言,为害期幼虫隐藏在种子内,防治难度较大,应在进入种子之前或爬出种子之后进行防控。桃蛀野螟1年发生2-3代,6月上旬和中旬初孵幼虫在果模或果带基部吐丝蛀食果皮;榛实象多3年发生1代,5月上旬开始在树上取食嫩叶,6月下旬至7月上旬为害种子,由于榛实象发生世代叠加,加之发生较早且分散,所以时间生态位宽度较大。柞栎象、栎实黑象和栗子小卷蛾1年发生1代,7月下旬至8月上旬卵孵化后在橡实内取食,发生较晚且集中,时间生态位宽度较小,不同时期5种害虫的种群数量和生态宽度均存在显著差异。在辽东栎种实害虫防治中,结合时间生态位,对精细化确定防治适期具有重要意义。多种害虫为害同一植物的同一部位,有先有后,是否因为先锋种为害之后,造成了更加有利的取食条件,其它害虫才开始为害,有待进一步深入研究。由于目前尚未明确发现辽东栎种实害虫的天敌昆虫,本研究仅对种子内种实害虫之间生态位重叠进行了分析,若结合天敌昆虫进行分析研究,将有助于通过引进外部生态位因子、去除有害生态元招引天敌来定向改变害虫基础生态位,实现害虫的绿色、生态、可持续调控。

致谢: 甘肃农业大学林学院张君霞老师和植保学院张树武老师在论文数据分析过程中给予指导和帮助。敬致谢呈!

参考文献 (References)

- Adama JA, 1985. The definition and interpretation of guild structure in ecological communities. *Journal of Animal Ecology*, 54(1): 43-59.
- Cheng JM, Zhao LP, Cheng J, 2009. Seed quality and forest regeneration of a 60-year *Quercus liaotungensis* forest in the Ziwuling region. *Journal of Beijing Forestry University*, 31(2): 10-16. [程积民, 赵凌平, 程杰, 2009. 子午岭 60 年辽东栎林种子质量与森林更新. 北京林业大学学报, 31(2): 10-16.]
- Fraser DF, Gilliam JF, Yip-Hoi T, 1995. Predation as an agent of population fragmentation in a tropical watershed. *Ecology*, 76(5): 1461-1472.
- Han YQ, Tang YD, Shi L, Zhang YS, Li XY, 2006. Research advance in *Quercus wutaishanica*. Chinese Botanical Society Botanical Garden Branch 2006 Academic Conference. Beijing:

- 101–109. [韩亚琦, 唐宇丹, 石雷, 张少英, 李向应, 2006. 辽东栎研究进展. 中国植物学会植物园分会 2006 年学术会议. 北京: 101–109.]
- Hu XJ, Cheng JM, Yang XM, Fan WJ, Meng L, Han JJ, 2010. Spatial distribution pattern and the community characteristic of *Quercus liaotungensis* forest in the Ziwouling region. *Journal of Northwest Forestry University*, 25(5): 1–6. [胡秀娟, 程积民, 杨晓梅, 范文娟, 孟蕾, 韩娟娟, 2010. 黄土高原子午岭林区辽东栎种群分布格局及群落特征研究. 西北林学院学报, 25(5): 1–6.]
- Huang BH, Zhou YD, Bi SD, Li HK, Zhu QL, 2005. Characteristics, dynamics and niche of insect community in plum orchard. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 37(10): 2951–2958. [黄保宏, 邹运鼎, 毕守东, 李恒奎, 朱巧丽, 2005. 梅园昆虫群落特征、动态及优势种生态位. 应用生态学报, 16(2): 307–312.]
- Huang ZD, 2014. Development and component analysis on fruits of energy plants *Quercus variabilis* and *Quercus wutaishanica*. Master dissertation. Beijing: Beijing Forestry University. [黄泽东. 2014. 能源植物栓皮栎与辽东栎果实的发育和成分分析. 硕士学位论文. 北京: 北京林业大学.]
- Hutchison GE, 1965. The Niche: An Abstractly Inhabited Hyper Volume. New Haven: Yale University Press. 26–78.
- Kang YX, Kang BW, Yue JW, Liang ZS, Lei RD, 2007. The classification of *Quercus liaotungensis* communities and their niche in Loess plateau of north Shaanxi. *Acta Ecological Sinica*, 27(10): 4096–4105. [康永祥, 康博文, 岳军伟, 梁宗锁, 雷瑞德, 2007. 陕北黄土高原辽东栎群落类型划分及其生态位特征. 生态学报, 27(10): 4096–4105.]
- Levins R, 1968. Evolution in Changing Environments. New Jersey: Princeton University Press. 120.
- Li YQ, Wang ZJ, Wu ZZ, Wu ZZ, Li Gang, 2011. Analysis on variation in seed morphological characters and starch content of *Quercus liaotungensis* Koidz from different provenances. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 39(26): 16170–16173. [厉月桥, 汪泽军, 吴志庄, 李刚, 2011. 不同种源辽东栎种子表型性状与淀粉含量变异分析. 安徽农业科学, 39(26): 16170–16173.]
- Lian JH, Bai YT, Qiu YL, Bai SJ, Guo F, 2022. Damage characteristics and control measures of *Quercus liaotungensis* seed pests. *Seed Science & Technology*, 40(6): 68–71. [连俊华, 白应统, 邱雅林, 白帅军, 郭芳, 2022. 辽东栎种实害虫为害特点及防治措施. 种子科技, 40(6): 68–71.]
- Liu LP, 1998. Flora Arborum et Fruticum Ziwu Montium. Lanzhou: Lanzhou University Press. 41–43. [刘立品, 1998. 子午岭木本植物志. 兰州: 兰州大学出版社. 41–43.]
- Ma J, Yan WJ, Li QF, Yan WJ, Sun RY, Liu DD, 2008. Insect infestation of *Quercus liaotungensis* acorns in Dongling mountain of Beijing. *Chinese Journal of Ecology*, 27(2): 282–285. [马杰, 阎文杰, 李庆芬, 孙儒泳, 刘定震, 2008. 东灵山辽东栎虫损种子调查. 生态学报, 27(2): 282–285.]
- Shang YC, 1988. Niche theory of modern ecology. *Development of Ecology*, 5(2): 77–84. [尚玉昌, 1988. 现代生态学中的生态位理论. 生态学进展, 5(2): 77–84.]
- Shi GL, Wang YN, Liu SQ, Miao ZW, Cao H, Li DK, Zhang TQ, Yu TQ, 2006. Population structure and niche of main scale insects in jujube orchards intercropped with wheat. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17(7): 1234–1238. [师光禄, 王有年, 刘素琪, 苗振旺, 曹挥, 李登科, 张铁强, 于同泉, 2006. 枣麦间作枣园主要蚜虫复合种群结构及生态位. 应用生态学报, 17(7): 1234–1238.]
- Shi GL, Xi YB, Wang HX, Li ZY, Xia NB, 2003. The niche of important pests and natural enemies and competition among the species in jujube orchard ecosystem. *Scientia Silvae Sinicae*, 39(5): 78–86. [师光禄, 席银宝, 王海香, 李镇宇, 夏乃斌, 2003. 枣园生态系统中主要害虫、天敌生态位及种间竞争的研究. 林业科学, 39(5): 78–86.]
- Sun SC, Chen LZ, 2000. Seed demography of *Quercus liaotungensis* in Dongling mountain region. *Acta Phytocological Sinica*, 24(2): 215–221. [孙书存, 陈灵芝, 2000. 东灵山地区辽东栎种子库统计. 植物生态学报, 24(2): 215–221.]
- Wang F, Ju RT, Li YZ, Du YZ, 2006. Niche concept and its application in insect ecology. *Chinese Journal of Ecology*, 25(10): 1280–1284. [王凤, 鞠瑞亭, 李跃忠, 杜予州, 2006. 生态位概念及其在昆虫生态学中的应用. 生态学杂志, 25(10): 1280–1284.]
- Wu WJ, 2003. The ecological niches of several pests of cruciferous vegetables. *Entomological Knowledge*, 40(1): 42–44. [吴伟坚, 2003. 几种十字花科蔬菜害虫生态位的研究. 昆虫知识, 40(1): 42–44.]
- Yu XD, Zhou HZ, Luo TH, He JJ, Zhang ZB, 2001. Insect infestation and acorn fate in *Quercus liaotungensis*. *Acta Entomologica Sinica*, 44(3): 518–523. [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(3): 518–523.]
- Zhang DZ, 2012. Spatial niches of *Caragana korshinskii* seed pests in desert steppe landscape of Ningxia. *Chinese Journal of Ecology*, 31(11): 2841–2847. [张大治, 2012. 宁夏荒漠草原景观柠条种实害虫的空间生态位. 生态学杂志, 31(11): 2841–2847.]
- Zhang NQ, Yu LC, Wang MY, 2011. Temporal ecological niche of major insect community in cruciferous vegetable fields. *Northern Horticulture*, 2018(24): 170–172. [张乃芹, 于凌春, 王明友, 2011. 十字花科蔬菜主要昆虫群落时间生态位研究. 北方园艺, 2018(24): 170–172.]
- Zhang XA, Zhao L, Kang L, 2001. Evolutionary mechanisms of species coexistence in ecological communities. *Biodiversity Science*, 9(1): 8–17. [张晓爱, 赵亮, 康玲, 2001. 生态群落中物种共存的进化机制. 生物多样性, 9(1): 8–17.]
- Zhao ZM, Guo YQ, 1990. Principle and Methods of Community Ecology. Chongqing: Publishing House of Scientific and Technical Documentation, Chongqing Branch. 12. [赵志模, 郭依泉, 1990. 群落生态学原理与方法. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社. 12.]
- Zhong ZC, 1987. Ecology and its application in ecological research. *Resource Development & Conservation*, 3(3): 7–12. [钟章成, 1987. 生态位及其在生态学研究中的应用. 资源开发与保护, 3(3): 7–12.]