



吴佳昊, 黄波, 王德辉, 顾宇彤, 杜永斌, 郑凯文, 樊建庭. 光肩星天牛与星天牛种间竞争行为研究 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (3): 651–657.

光肩星天牛与星天牛种间竞争行为研究

吴佳昊¹, 黄波², 王德辉³, 顾宇彤¹, 杜永斌¹, 郑凯文¹, 樊建庭^{1*}

(1. 浙江农林大学, 林业与生物技术学院, 生物农药高效制备技术国家地方联合工程试验室, 杭州 311300;

2. 常山县森林病虫害防治检疫站, 浙江衢州 324200; 3. 建昌县自然资源事务服务中心, 辽宁葫芦岛 125300)

摘要: 光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis* 和星天牛 *Anoplophora chinensis* 是我国两种重要的林业蛀干害虫, 存在很多共同的寄主植物。为了阐明两种星天牛之间的物种竞争关系, 本文采用行为观察试验, 研究两种星天牛寄主危害部位、异种危害寄主识别和种间争斗行为等试验。结果显示, 光肩星天牛和星天牛在寄主植物上的取食危害部位有很大差异, 光肩星天牛主要取食寄主植物的枝条上部, 取食面积为 2 390.0 mm², 占整个寄主植物取食面积的 69.3%, 星天牛主要取食寄主植物的树干上部, 取食面积为 3 140.0 mm², 占整个寄主植物的 96.6%; 两种星天牛都能识别异种天牛危害过的寄主, 对其具有显著的回避性, 其中光肩星天牛对星天牛危害过的寄主取食量平均值为 420.8 mm², 显著低于健康寄主取食量平均值 2 518.8 mm², 同样, 星天牛对光肩星天牛危害过的寄主取食量平均值为 436.8 mm², 显著低于健康寄主取食量平均值 1 803.5 mm², 而对同种天牛危害过的寄主没有显著的选择性; 两种星天牛之间争斗共发生 34 次, 其中星天牛获胜 30 次, 表现出更强的竞争力。两种星天牛之间存在显著的种间竞争关系, 并且能够识别对方物种的存在, 其对寄主的感受机制和植物免疫反应机制需要进一步的试验研究。

关键词: 光肩星天牛; 星天牛; 取食; 识别; 竞争

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2022) 03-0651-07

Study on the interspecific competition behaviors between *Anoplophora glabripennis* and *Anoplophora chinensis*

WU Jia-Hao¹, HUANG Bo², WANG De-Hui³, GU Yu-Tong¹, DU Yong-Bin¹, ZHENG Kai-Wen¹, FAN Jing-Ting^{1*} (1. National Joint Engineering Laboratory for Efficient Preparation of Biopesticides, School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300, China; 2. Changshan County Forest Pest Control and Quarantine Station, Quzhou 324200, Zhejiang Province, China; 3. Jianchang Natural Resources Service Center, Huludao 125300, Liaoning Province, China)

Abstract: *Anoplophora glabripennis* and *Anoplophora chinensis* are major forestry pests in our country, and there are many common host plants. In order to clarify the species competition relationship between them, this article used behavioral observation experiment to study hazard parts, feeding and mating day rhythms, identification of heterogeneous hazard hosts, and fighting behavior of two species of longhorn beetles. The results showed that there was a big difference between the harmful parts of *A. chinensis* and *A. glabripennis* on the host plant. *A. glabripennis* mainly damaged the upper part of branches on the

基金项目: 浙江省重点研发项目 (2019C02023)

作者简介: 吴佳昊, 男, 1996 年生, 浙江义乌人, 在读研究生, 从事森林害虫控制研究, E-mail: 770737229@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 樊建庭, 博士, 副教授, 从事入侵生物学、化学生态学和森林害虫控制研究, E-mail: fanjt123@sina.com

收稿日期 Received: 2021-01-30; 接受日期 Accepted: 2021-07-09

host, and *A. chinensis* mainly damaged the upper part of trunk on the host. Both species of longhorn beetles could identify the hosts endangered by different species of longhorn beetles and had significant avoidance. Among them, the average food intake of *A. glabripennis* on the host endangered by *A. chinensis* was 420.8 mm^2 , significantly lower than the average food intake on healthy host of $2\,518.8 \text{ mm}^2$. The same phenomenon, the average food intake of *A. chinensis* on the hosts endangered by *A. glabripennis* was 436.8 mm^2 , significantly lower than the average food intake of healthy hosts of $1\,803.5 \text{ mm}^2$. However, there was no significant selectivity to the host endangered by the same species of longhorn beetle. There were 34 battles between the two species of longhorn beetles, of which *A. chinensis* won 30 times, showing stronger competitiveness. There was a significant inter-species competition between the two species of longhorn beetles, and they could recognize the existence of each other's species. Their host perception mechanism and plant immune response mechanism required further experimental research.

Key words: *Anoplophora glabripennis*; *Anoplophora chinensis*; feeding; identify; competition

光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis* 和星天牛 *Anoplophora chinensis* 是我国重要的蛀干害虫 (张宇凡和王小艺, 2019; 李浩培等, 2020), 两种天牛常以卵或幼虫虫态在港口被截获, 从形态上难以区分 (覃海文等, 2019)。由于其成虫期长、生活隐蔽、寄主众多且天敌威胁少等特点, 给当地生态和经济带来了严重的威胁 (Haack *et al.*, 1997; Nowak *et al.*, 2001)。光肩星天牛广泛分布于华东和华北地区, 其中在“三北”防护林和沿海防护林危害最为严重, 星天牛在我国南方的柑橘园区、沿海防护林带和山核桃苗圃林均有发现 (陈世镛等, 1959; 萧刚柔, 1992; 杨忠岐, 2018)。两种星天牛都是多食性害虫 (Keena, 2002; Keena and Sánchez, 2018), 具有繁殖快、危害大、寄主范围广和取食种类多等特点 (Zhang *et al.*, 2002; Zhang *et al.*, 2003; 黄咏槐等, 2018)。对我国经济林、防护林等树类产生严重危害, 影响生态环境 (朱宁, 2017)。

同域分布的贮食动物通常会因食物和空间资源而竞争 (张杰, 2017)。光肩星天牛和星天牛作为分布区域相似的物种, 是否存在竞争关系的生态学问题, 并没有受到关注。目前国内外对生态位分化的研究, 从无脊椎动物 (张琳琳, 2019) 到高等的灵长类 (Porter, 2001) 都有涉及。入侵动物往往以牺牲本地的、密切相关的生物为代价茁壮成长 (Liu *et al.*, 2007), 例如: 三叶斑潜蝇 *Liriomyza trifolii* 在我国的东部和南部地区迅速蔓延, 已蔓延至我国华南地区以及江苏、浙江, 局

部地区危害严重。在海南省, 其已取代美洲斑潜蝇 *Liriomyza sativae* 成为优势种群 (相君成, 2011)。西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 和花蓟马 *Frankliniella intonsa* 均属于花蓟马属, 具有相似的营养和空间生态位, 西花蓟马在单种群中的增长速度较花蓟马慢, 而在与花蓟马共存的混合种群中, 增长速度却快于花蓟马, 表现出更强的竞争能力 (禹云超等, 2020)。邵越研究发现, 丽蚜小蜂 *Encarsia formosa* 与海氏桨角蚜小蜂 *Eretmocerus haati* 在温室大棚条件下比较两种寄生蜂的竞争能力, 发现海氏桨角蚜小蜂处于优势地位 (邵越, 2019)。

另外, 种间竞争也会产生积极影响。王健立等研究发现, 烟蓟马 *Thrips tabaci* Lindeman 在紫甘蓝上单独生存时, 其繁殖力小于与西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 共存时的繁殖力, 两种昆虫共存能提高烟蓟马的竞争能力, 使其在短时间迅速取代西花蓟马 (王健立等, 2011)。凡泽云等研究中, 高比例种间竞争显著延长了烟粉虱 *Bemisia tabaci* 和桃蚜 *Myzus persicae* 雌成虫的寿命, 而低比例竞争缩短了寿命, 进而降低了产卵量 (凡泽云等, 2018)。

光肩星天牛和星天牛同属于星天牛属, 存在大量共同的寄主植物, 包括杨属 *Populus*、柳属 *Salix* 和槭属 *Acer* 等 (朱宁等, 2017)。经调查, 在宁波慈溪海防林有两种星天牛分布, 但两种星天牛具有显著的区域性, 很少危害同一片林区。本文为了阐明两种星天牛之间的生态位差异, 期望

通过研究光肩星天牛和星天牛的取食、打斗等行为,寻找两者之间的差异性,通过研究两种星天牛的竞争关系,为从生态学角度精准控制这两种林业害虫奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

6月初,从浙江省慈溪市海防林(东经 $121^{\circ}14'$,北纬 $30^{\circ}10'$,平均海拔2.2 m)采集光肩星天牛和星天牛成虫,并带回实验室饲养。防护林为青皮垂柳 *Salix ohsidare*、夹竹桃 *Nerium indicum*、海滨木槿 *Hibiscus hamabo*、木麻黄 *Casuarina equisetifolia*、苦楝 *Melia azedarach* 和白蜡 *Fraxinus chinensis* 等树种组成的混交林带,林地地势较为平坦,其中青皮垂柳受到光肩星天牛和星天牛危害较为严重。饲养条件:温度 $30^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $65\% \pm 10\%$,光周期14:10,以栽种在花盆中的青皮垂柳 *Salix ohsidare* 作为食物进行饲喂。将养虫笼放置在室外阴凉且通风的自然环境中,并在顶部覆盖遮雨布,适应3 d后,作为供试虫源。试验时,选择大小相近、行为活动正常的个体。

1.2 供试寄主

根据防护林树种受灾情况,选择青皮垂柳作为试验寄主植物。青皮垂柳树苗,胸径4 cm,高1.5 m,栽种在花盆中。

1.3 试验内容

1.3.1 寄主危害部位

在大养虫笼(120 cm×60 cm×180 cm)中放入两棵健康垂柳,再放入光肩星天牛和星天牛各10头(雌雄各5头),设置5个养虫笼作为重复,在危害6 d后用透明硫酸纸记录下垂柳被天牛取食的部位和面积,并用网格坐标纸计算出取食面积。

将寄主植物分为4个部位:树干基部指树干距离地面30 cm以下部分;树干上部指距离地面30 cm至树枝分叉部位;枝条下部指枝条距离基部1/3部分;枝条上部指枝条距离末端2/3部分。

1.3.2 异种危害寄主识别

在大养虫笼(120 cm×60 cm×180 cm)内放置一株被星天牛危害过的垂柳和一株健康的垂柳,再放入8头光肩星天牛(4♂+4♀)。对照养虫笼内放置光肩星天牛危害过的垂柳和一株健康垂柳,

再放入8头光肩星天牛(4♂+4♀)。每日分不同时间段观察并记录光肩星天牛的着落情况,在危害6 d后观察其取食部位,用透明硫酸纸记录下被天牛取食的树干和枝条上的刻痕,并用网格坐标纸计算出取食面积,设置5个重复。

与上述试验步骤相同,同时开展对星天牛的试验。

1.3.3 种间争斗行为

在大养虫笼(120 cm×60 cm×180 cm)中混合饲养两对星天牛成虫(2♂+2♀)和两对光肩星天牛(2♂+2♀),每天8:00–20:00连续12 h进行观察,观察并记录两种天牛之间的种间争斗行为,观察持续5 d。打斗行为以咬断失败方触角、足或是以弱者逃离斗争区域为判断胜负的依据。

1.4 统计方法

用SPSS 22.0数据处理系统进行数据处理,光肩星天牛和星天牛危害寄主的不同部位进行单因素方差法(One-way ANOVA)分析,采用LSD检验法($P=0.05$)对不同处理组间差异显著性进行比较;天牛对不同危害寄主识别分析使用卡方检验法($P=0.05$)对不同处理组间差异显著性进行比较。

2 结果与分析

2.1 寄主危害部位

结果显示,光肩星天牛和星天牛在寄主植物垂柳上的取食危害部位有很大差异,光肩星天牛主要取食寄主植物的枝条上部,取食面积为 $2\,390.0\text{ mm}^2$,占整个寄主植物取食面积的69.3%,其次是树干上部的取食面积为 697.5 mm^2 ,占整个寄主植物取食面积的20.2%,然后是枝条下部,取食面积为 360.0 mm^2 ,占整个寄主植物的10.2%,树干基部取食面积为0;而星天牛主要取食寄主植物的树干上部,树干上部取食面积为 $3\,140.0\text{ mm}^2$,占整个寄主植物的96.6%,其次是树干基部,取食面积为 102.2 mm^2 ,占整个寄主植物取食面积的3.1%,然后枝条上部取食面积为 10.0 mm^2 ,占整个寄主植物取食面积的0.3%,枝条下部取食面积为0(见表1)。

表 1 两种星天牛成虫在垂柳上取食面积

Table 1 Feeding area of *Anoplophora chinensis* and *Anoplophora glabripennis* on weeping willow

天牛种类 Longhorn beetle species	树干基部 (mm ²) Base of trunk	树干上部 (mm ²) Upper part of trunk	枝条下部 (mm ²) Lower part of branch	枝条上部 (mm ²) Upper part of branch
光肩星天牛 <i>A. glabripennis</i>	0 c	697.5 ± 204.6 b	360.0 ± 191.9 b	2 390.0 ± 614.6 a
星天牛 <i>A. chinensis</i>	102.2 ± 40.5 b	3 140.0 ± 472.8 a	0 c	10.0 ± 4.3 b

注: 同一行不同字母表示天牛在寄主不同部位取食面积之间的差异性显著 ($P < 0.05$)。Note: Different letters in the same row indicated that the feeding area of longicorn beetle in different parts of the host was significantly different ($P < 0.05$).

2.2 异种危害寄主识别

结果显示, 光肩星天牛能够识别异种昆虫星天牛危害过的寄主植物, 大多数光肩星天牛在着落和取食行为上显著回避异种昆虫危害过的寄主, 选择在健康寄主上着落和取食, 而对照中的光肩星天牛在同种昆虫危害过的寄主和健康寄主两者之间没有显著的偏好性行为。同样, 星天牛也能够识别异种昆虫光肩星天牛危害过的寄主植物, 大多数星天牛会回避在异种昆虫光肩星天牛危害过的寄主上着落和取食, 选择于在健康寄主上着落和取食, 而在同种昆虫危害过的寄主和健康寄主之间没有显著的选择偏好性。

在对不同危害状态寄主的着落选择差异性试验中, 试验组中光肩星天牛对星天牛危害过的寄

主着落头数为 11 头, 对健康的寄主着落头数为 47 头, 会显著回避异种昆虫星天牛危害过的寄主, 趋向在健康的寄主植物上着落; 而在对照组中, 光肩星天牛对同种天牛危害过的寄主着落头数为 22 头, 对健康的寄主着落头数为 20 头, 两种寄主之间没有显著回避性和选择性。相似的现象, 试验组中星天牛对光肩星天牛危害过的寄主着落头数为 11 头, 对健康的寄主着落头数为 44 头, 显著回避异种昆虫光肩星天牛危害过的寄主植物, 而趋向于健康的寄主; 对照组中星天牛对同种昆虫星天牛危害过的寄主着落头数为 22 头, 对健康的寄主着落头数为 23 头, 在两种寄主之间没有显著的选择性 (见表 2)。

表 2 两种星天牛对异种危害寄主着落选择

Table 2 Landing choices of *Anoplophora chinensis* and *Anoplophora glabripennis* on heterogeneous endangered hosts

	着落数量 (头) Number of landing			回避率* (%) Avoidance rate*	χ^2	P^{**}
	星天牛危害寄主 Host endangered by <i>A. chinensis</i>	光肩星天牛危害寄主 Host endangered by <i>A. glabripennis</i>	健康寄主 Healthy host			
光肩星天牛 <i>A. glabripennis</i>	11	—	47	81.03	14.051	0.000
光肩星天牛 (对照) <i>A. glabripennis</i> (CK)	—	22	20	47.62	0.484	0.487
星天牛 <i>A. chinensis</i>	—	11	44	80.00	11.829	0.001
星天牛 (对照) <i>A. chinensis</i> (CK)	22	—	23	51.11	0.051	0.822

注: 回避率为天牛选择健康寄主占选择总数的百分比。Note: Avoidance rate was the percentage of healthy hosts selected by longicorns to the total number of selections.

在取食量试验中, 试验组中光肩星天牛对星天牛危害过的寄主取食量的平均值为 420.8 mm², 显著低于健康的寄主取食量的平均值 2 518.8 mm², 光肩星天牛显著地回避异种昆虫星天牛危害过的

寄主, 趋向于在健康寄主植物上取食; 对照组中光肩星天牛对同种天牛危害过的寄主的取食量的平均值为 789.3 mm², 与健康的寄主取食量的平均值 856.7 mm² 差异不显著, 没有显著的选择性。

同样的现象, 试验组中星天牛对光肩星天牛危害过的寄主取食量的平均值为 436.8 mm^2 , 显著低于健康的寄主取食量的平均值 $1\,803.5\text{ mm}^2$, 回避在异种昆虫光肩星天牛危害过的寄主上取食, 趋向于健康寄主植物; 对照组中星天牛对同种天牛危害过的寄主的取食量的平均值为 644.3 mm^2 , 与健康的寄主取食量的平均值 681.7 mm^2 差异不显著, 没有显著的选择性 (见表 3)。

表 3 两种星天牛对异种危害寄主取食选择
Table 3 Feeding choices of *Anoplophora chinensis* and *Anoplophora glabripennis* on heterogeneous endangered hosts

	取食面积 (mm^2) Feeding area		
	星天牛危害寄主 Host endangered by <i>A. chinensis</i>	光肩星天牛危害寄主 Host endangered by <i>A. glabripennis</i>	健康寄主 Healthy host
光肩星天牛 <i>A. glabripennis</i>	$420.8 \pm 83.8\text{ b}$	—	$2\,518.8 \pm 519.5\text{ a}$
光肩星天牛 (对照) <i>A. glabripennis</i> (CK)	—	$789.3 \pm 35.2\text{ a}$	$856.7 \pm 122.6\text{ a}$
星天牛 <i>A. chinensis</i>	—	$436.8 \pm 217.0\text{ b}$	$1\,803.5 \pm 162.8\text{ a}$
星天牛 (对照) <i>A. chinensis</i> (CK)	$644.3 \pm 172.4\text{ a}$	—	$681.7 \pm 188.8\text{ a}$

注: 同一行中不同字母表示不同危害状态寄主之间的取食面积存在显著差异 ($P < 0.05$)。Note: Different letters in the same row indicated that there was a significant difference in the feeding area between hosts in different hazard states ($P < 0.05$) .

2.3 种间争斗行为

两种星天牛之间存在种间争斗现象, 星天牛的竞争能力强于光肩星天牛, 处于优势 (表 4)。两种星天牛之间争斗共发生 34 次, 其中星天牛获胜 30 次, 表现出更强的竞争力。将光肩星天牛和星天牛放入试验笼, 多数情况下, 雄虫之间一旦发生触角的接触便会发生打斗行为。雄虫主要攻击部位在触角和足, 打斗过程中, 雄虫试图用上颚咬住对方的触角, 一旦成功, 振翅发力, 打斗行为的结束以弱者逃离为止。

表 4 两种星天牛种间争斗行为
Table 4 Interspecies fighting behavior of *Anoplophora chinensis* and *Anoplophora glabripennis*

天牛种类 Longhorned beetle species	争斗次数 Number of fights	获胜次数 Number of wins	获胜率 (%) Win rate
光肩星天牛 <i>A. glabripennis</i>	34	4	11.8
星天牛 <i>A. chinensis</i>	34	30	88.2

3 结论与讨论

本文通过研究光肩星天牛和星天牛种间的竞

争关系, 证明了光肩星天牛和星天牛在寄主上的生态位具有选择性, 光肩星天牛主要取食危害寄主植物垂柳的枝条上部, 而星天牛主要取食危害寄主植物的树干上部。研究发现, 光肩星天牛对寄主的垂直高度和胸径生态位有选择性, 主要危害和取食胸径 11 ~ 21 cm 的柳树, 危害部位集中在枝条, 受害木胸径在 5 cm 以上, 与本文研究结果基本一致 (郭新荣, 2007)。张冬勇等在对鉴别山核桃天牛种类的研究上发现, 星天牛幼虫主要分布在山核桃树木根部和树干 30 cm 以下部位, 且在根部分布最多 (张冬勇等, 2017)。Haack 等研究发现, 光肩星天牛通常沿树干上半部和主枝产卵, 而星天牛通常沿树干下半部、根颈区和暴露根产卵 (Haack 等, 2010)。与本试验研究结果相契合, 验证光肩星天牛和星天牛在生态位上存在差异。

2 个生态位相似的物种, 必然产生种间竞争, 其结果是一个物种排挤掉另外一个物种或导致生态位的分化 (Reitz and Trumble, 2002), 尤其是在昆虫纲中, 种间竞争的现象更为频繁 (Nagy-Reis, 2019)。本试验研究结果显示, 两种天牛都对另外一个天牛物种已经危害过的寄主有明显的回避行为, 并且在同种寄主植物上取食部位上也存在差异性, 可能是两个物种在空间尺度上相互分离避免生态位竞争的结果。罗梅浩等研究指出, 烟青虫 *Helicoverpa assulta* (Guenée) 和 棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) 的空间生态位宽度

和生态位重叠指数相近,对环境资源资源的利用相似,存在激烈的种间竞争,因此在同一烟草部位共存的比例仅 9.30% (罗梅浩等,2002)。Zhou 等研究发现,斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* (Fabricius) 和烟青虫 *Helicoverpa assulta* (Guenée) 空间生态位的比例相似性仅为 0.0973,说明两种害虫对空间资源的选择不同,基本不存在竞争 (Zhou *et al.*, 2006)。另外,有的近似物种是在时间尺度上相互分离避免生态位竞争,黄琼瑶等 (2009) 对 3 种竹笋夜蛾 *Oligia vulgaris* 研究发现,淡竹笋夜蛾 *Kumasia kumaso* Suqi 和笋秀夜蛾 *Apamea repetita conjuncta* Leech 在种群数量上明显占优,前者发生高峰期集中于 4 月底-5 月初,约 7 d,后者集中于 5 月中旬,约 10 d,二者在发生时间上相互分离。这些现象都符合“生态位相似的两个物种不能共存”的竞争排斥原理 (孙儒泳, 1987)。

Liu 等认为, B 型烟粉虱 *Bemisia tabaci* 的入侵导致土著烟粉虱的迁移 (Liu *et al.*, 2007)。在本试验中,两种星天牛之间存在种间争斗现象,星天牛的竞争能力强于光肩星天牛,在争斗中处于优势,在不同地理种群的两种星天牛竞争行为中是否会存在相同的现象,是否会在长期的生态位竞争中产生某种生物的迁移,仍值得进一步研究。

两种星天牛都对异种天牛取食危害过的寄主植物产生显著的回避性,而对同种天牛危害过的寄主植物没有回避性,它们是如何识别这些寄主植物的危害状态,其不同危害状态寄主植物的化学指纹图谱是否已经发生变化,寄主植物体内是否会对某种昆虫危害产生特异性免疫反应。庄敏研究发现,雪松 *Cedrus deodara*、华山松 *Pinus armandii* Franch. 等植物枝叶挥发物对悬铃木方翅网蝽 *Corythucha ciliate* 成虫具有明显忌避作用 (庄敏, 2019)。邬亚红指出证明,柠檬烯和 α -蒎烯是芹菜 *Apium graveolens* L. 重要的驱烟粉虱的活性物质 (邬亚红, 2019)。二甲基萘对鞘翅目昆虫具有趋避作用 (王文慧, 2015)。另一方面,昆虫在危害过程中留下特定气味,标记宣示自己的存在,这些问题需要我们进一步的研究阐述和解释。

参考文献 (References)

Chen SX, Xie YZ, Liu GF. China Economic Insects, Vol. 1. Coleoptera, Cerambycidae [M]. Beijing: Science Press, 1959: 74-75. [陈世镛, 谢蕴贞, 刘国藩. 中国经济昆虫志, 第一

- 册鞘翅目, 天牛科 [M]. 北京: 科学出版社, 1959: 74-75]
- David JN, Judith EP, Ronaldo AS, *et al.* Potential effect of *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) on urban trees in the United States [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2001, 94 (1): 116-122.
- Fan ZY, Fan XZ, Ren LM, *et al.* Effects of interspecific competition on the growth and fecundity of *Bemisia tabaci* and *Myzus persicae* [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2018, 39 (1): 70-75. [凡泽云, 范许哲, 任丽梅, 等. 种间竞争对烟粉虱和桃蚜生长发育及繁殖力的影响 [J]. 华南农业大学学报, 2018, 39 (1): 70-75]
- Guo XR. A study on the niche selectivity of the host space of *Anoplophora glabripennis* [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2007, 6: 89-91. [郭新荣. 光肩星天牛寄主空间生态位选择性研究 [J]. 西北林学院学报, 2007, 6: 89-91]
- Huang QY, Shu JP, Zhang AL, *et al.* A study on the niche of three species of bamboo shoot armyworm and their interspecific competition [J]. *Forestry Science Research*, 2009, 22 (5): 647-651. [黄琼瑶, 舒金平, 张爱良, 等. 3 种竹笋夜蛾生态位及其种间竞争的研究林业科学研究 [J]. 林业科学研究, 2009, 22 (5): 647-651]
- Haack R, Mastro V, Ossenbuegg H, *et al.* Forestry science research [J]. *Journal of Forestry*, 1997, 92 (12): 11-15.
- Haack RA, Herard F, Sun J, *et al.* Managing invasive populations of Asian longhorned beetle and citrus longhorned beetle: A worldwide perspective [J]. *Annual Review of Entomology*, 2010, 55 (1): 521-546.
- Huang YH, Qian MH, Huang HY, *et al.* Research progress in the prevention and control technology of *Anoplophora chinensis* [J]. *Forestry and Environmental Science*, 2018, 34 (4): 162-167. [黄咏槐, 钱明惠, 黄华毅, 等. 星天牛防治技术研究进展 [J]. 林业与环境科学, 2018, 34 (4): 162-167]
- Keena MA. *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) fecundity and longevity under laboratory conditions: Comparison of populations from New York and Illinois on *Acer saccharum* [J]. *Environmental Entomology*, 2002, 31 (3): 490-498.
- Keena MA, Sánchez V. Reproductive behaviors of *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) in the laboratory [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2018, 111 (2): 620-628.
- Li HP, Lv F, Bi YG, *et al.* Progress in the study of *Anoplophora glabripennis*, an important stem-boring pest of forestry in my country [J]. *Forestry and Ecological Science*, 2020, 35 (1): 1-9. [李浩培, 吕飞, 毕拥国, 等. 我国林业重要蛀干害虫光肩星天牛研究进展 [J]. 林业与生态科学, 2020, 35 (1): 1-9]
- Luo MH, Guo XR, Zheng XJ, *et al.* Niche and interspecific competition of *Helicoverpa assulta* and *Helicoverpa armigera* on tobacco [J]. *Journal of Chinese Tobacco*, 2002, 8 (4): 34-37. [罗梅浩, 郭线茹, 郑晓军, 等. 烟青虫和棉铃虫在烟草上的生态位及其种间竞争 [J]. 中国烟草学报, 2002, 8 (4): 34-37]
- Liu SS, De Barro PJ, Jing X, *et al.* Asymmetric mating interactions drive widespread invasion and displacement in a whitefly [J].

- Science*, 2007, 318 (5857): 1769–1772.
- Nagy-Reis MB, Iwakami VHS, Estevo CA, *et al.* Temporal and dietary segregation in neotropical small-felid assemblage and its relation to prey activity [J]. *Mammalian Biology*, 2019, 95 (1): 1–8.
- Porter LM. Dietary differences among sympatric Callitrichinae in Northern Bolivia: *Callimico goeldii*, *Saguinus fuscicollis* and *S. labiatus* [J]. *International Journal of Primatology*, 2001, 22 (6): 961–992.
- Qin HW, Huang MY, Shi J. Rapid molecular identification of *Anoplophora glabra* and *Anoplophora chinensis* [J]. *Acta Plant Protection*, 2019, 46 (3): 709–710. [覃海文, 黄梦伊, 石娟. 光肩星天牛和星天牛的分子快速鉴定 [J]. 植物保护学报, 2019, 46 (3): 709–710]
- Reitz SR, Trumble JT. Competitive displacement among insects and arachnids [J]. *Annual Review of Entomology*, 2002, 47: 435–465.
- Sun RY. Principles of Animal Ecology [M]. Beijing: Beijing Normal University Press, 1987. [孙儒泳. 动物生态学原理 [M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1987]
- Shao Y. The Influence of Temperature and Host Age on the Competition, Interaction and Pest Control Potential of Two Whitefly Parasitic Wasps [D]. Zhejiang: Zhejiang University, 2019. [邵越. 温度和寄主龄期对两种烟粉虱寄生蜂的竞争互作及控害潜能的影响 [D]. 浙江: 浙江大学, 2019]
- Wang JL, Li HG, Feng ZG, *et al.* Interspecific competition between *Thrips occidentalis* and *Thrips tobacco* on purple cabbage [J]. *Science Agricultural Sinica*, 2011, 44 (24): 5006–5012. [王健立, 李洪刚, 冯志国, 等. 西花蓟马与烟蓟马在紫甘蓝上的种间竞争 [J]. 中国农业科学, 2011, 44 (24): 5006–5012]
- Wang WH, Yang HL, Wen M, *et al.* Research on the repellency and attraction of three chemical substances to insects [J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2015, 21 (Z1): 29–32. [王文慧, 杨怀林, 闻鸣. 3 种化学物质对昆虫的趋避与吸引作用研究 [J]. 安徽农学通报, 2015, 21 (Z1): 29–32]
- Wu YH, Heng S, Zhou FC, *et al.* The repellent effect of celery plant volatiles on vegetable whitefly [J]. *Acta Environmental Entomology*, 2019, 41 (4): 900–907. [邬亚红, 衡森, 周福才, 等. 芹菜植株挥发物对蔬菜烟粉虱的驱避作用 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (4): 900–907]
- Xiao GR. Forest Insects of China. 2nd ed [M]. Beijing: China Forestry Press, 1992: 454–455. [萧刚柔. 中国森林昆虫 (第 2 版) [M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 454–455]
- Xiang JC. Preliminary Study on the Competition between *Liriomyza sativae* Blanchard and *Liriomyza trifolii* and *Liriomyza huidobrensis* [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2011. [相君成. 美洲斑潜蝇与三叶斑潜蝇和南美斑潜蝇种间竞争的初步研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2011]
- Yang ZQ. Research progress in biological control of major forest pests in my country (1) [J]. *Forestry Science and Technology Newsletter*, 2018, 4: 40–43. [杨志岐. 我国重大林木害虫生物防治研究进展 (一) [J]. 林业科技通讯, 2018, 4: 40–43]
- Yu YC, Zhi JR, Zeng G, *et al.* Interspecific competition between the *Frankliniella occidentalis* and other insects [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2020, 42 (1): 94–100. [禹云超, 郅军锐, 曾广, 等. 入侵种西花蓟马与其它昆虫的种间竞争 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (1): 94–100]
- Zhang AJ, Oliver JE, Aldrich JR, *et al.* Stimulatory beetle volatiles for the Asian longhorned beetle, *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) [J]. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 2002, 57 (5–6): 553–558.
- Zhang AJ, Oliver JE, Kamal C, *et al.* Evidence for contact sex recognition pheromone of the Asian longhorned beetle, *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. *Naturwissenschaften*, 2003, 90 (9): 410–413.
- Zhang DY, Zhou SY, Zhu N, *et al.* Investigation on hazards of hickory longhorn beetle and identification methods of species [J]. *Journal of Zhejiang A & F University*, 2017, 34 (1): 42–49. [张冬勇, 周书永, 朱宁, 等. 山核桃天牛危害调查及种类的鉴别方法 [J]. 浙江农林大学学报, 2017, 34 (1): 42–49]
- Zhang J. The Influence of Competition Interference on the Feeding Behavior of Rodents [D]. Hubei: Central China Normal University, 2017. [张杰. 竞争干扰对啮齿动物贮食行为的影响 [D]. 湖北: 华中师范大学, 2017]
- Zhang LL, Jiang RJ, Yin R, *et al.* Spatial niche and differentiation of main swimming animals in Yueqing Bay [J]. *Chinese Journal Applied Ecology*, 2019, 30 (11): 3911–3920. [张琳琳, 蒋日进, 印瑞, 等. 乐清湾主要游泳动物空间生态位及其分化 [J]. 应用生态学报, 2019, 30 (11): 3911–3920]
- Zhuang M. The Effects of Non-host Plant Volatiles and Crude Extracts on the Adult *Corythucha ciliate* [D]. Shandong: Shandong Agricultural University, 2019. [庄敏. 非寄主植物挥发物及粗提物对悬铃木方翅网蝽成虫的影响 [D]. 山东: 山东农业大学, 2019]
- Zhu N. Study on the Behavioral Characteristics and Attractants of Two Species of *Anoplophora glabripennis* [D]. Hangzhou: Zhejiang A & F University, 2017. [朱宁. 两种星天牛的行为特性和引诱剂研究 [D]. 杭州: 浙江农林大学, 2017]
- Zhu N, Zhang DY, Shen HX, *et al.* Spawning preference of *Anoplophora glabripennis* and analysis of host plant volatiles [J]. *Journal of Zhejiang Agriculture and Forestry University*, 2017, 34 (6): 1059–1064. [朱宁, 张冬勇, 沈红霞, 等. 光肩星天牛产卵偏好性及寄主植物挥发物成分分析 [J]. 浙江农林大学学报, 2017, 34 (6): 1059–1064]
- Zhang YF, Wang XY. Progress in research on the biological control of *Anoplophora chinensis* [J]. *Chinese Journal Biological Control*, 2019, 35 (1): 134–145. [张宇凡, 王小艺. 星天牛生物防治研究进展 [J]. 中国生物防治学报, 2019, 35 (1): 134–145]
- Zhou ZS, Chen ZP, Xu ZF. Niches of *Spodoptera litura* (Faricius) and *Helicoverpa assulta* (Guenée) in tobacco plants [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (10): 3245–3249.