光肩星天牛对河西走廊几种树种的寄主选择研究*

赵晨茵[1**] 王改进[1] 杨宗基[1] 王 萱[1] 李文兴[2]
任利利[3] 骆有庆[3] 王立祥[1***]

（1. 甘肃农业大学植物保护学院，兰州 730070；2. 嘉峪关市林业和草原局，嘉峪关 735100；
3. 北京林业大学林木有害生物防治北京市重点实验室，北京 100083）

摘 要 【**目的**】沙枣 *Elaeagnus angustifolia* 作为甘肃河西走廊地区植树造林的先锋树种，对光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis* 有诱杀功能，但与其他寄主树种相比，光肩星天牛对沙枣的选择偏向性尚没有量化。【**方法**】通过室内寄主选择试验，测试光肩星天牛对不同树种的产卵选择，并结合野外调查自然条件下光肩星天牛对不同树种的行为选择和危害情况，评估沙枣作为诱杀树保护抗虫树种新疆杨 *Populus alba* var. *pyramidalis* 的可行性。【**结果**】室内试验结果显示，光肩星天牛偏好在高感树种二白杨 *Populus* × *xiaohei* var. *gansuensis* 木段上刻槽，平均每个木段上刻槽数达（16.0±4.5）个；其次为沙枣和感虫树种旱柳 *Salix matsudana*，平均每个木段刻槽数分别为（11.3±2.8）和（7.5±2.8）个，新疆杨木段上仅有 1 个刻槽，这与光肩星天牛对沙枣与其他树种两两选择结果一致。在配植沙枣的混交林中，沙枣和二白杨上光肩星天牛成虫取食、栖息、交配、刻槽和产卵等行为的频次显著多于其他树种（$P < 0.05$），且沙枣上天牛取食痕迹的数量和当年新刻槽的数量显著多于线叶柳 *Salix wilhelmsiana*、旱柳和新疆杨（$P < 0.05$），与二白杨无明显差异（$P > 0.05$），说明沙枣树对光肩星天牛成虫有很强的引诱能力。不同混交林样地的新疆杨上光肩星天牛成虫活动极少，几乎无受害。不同寄主树种上光肩星天牛的有卵刻槽率无显著差异（$P > 0.05$），均大于 70 %。【**结论**】光肩星天牛成虫的取食和刻槽均对沙枣树有明显的选择偏好性，沙枣可作为诱杀树种高效保护抗性树种新疆杨。

关键词 光肩星天牛；寄主树种；树种选择；沙枣树

Study on host selection of *Anoplohora glabripennis* to several tree species in the Hexi Corridor

ZHAO Chen-Yin[1**] WANG Gai-Jin[1] YANG Zong-Ji[1] WANG Xuan[1] LI Wen-Xing[2]
REN Li-Li[3] LUO You-Qing[3] WANG Li-Xiang[1***]

(1. College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;
2. Forestry and Grassland Bureau of Jiayuguan City, Jiayuguan 735100, China;
3. Beijing Key Laboratory for Forest Pest Control, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract [**Aim**] To determine the relative preference of the Asian longhorned beetle, *Anoplophora glabripennis*, for ovipositing on the Russian olive tree, *Elaeagnus angustifolia*, a species with the ability to kill the eggs and larvae of this pest and that is also a pioneer tree species for afforestation in the Hexi Corridor region in Gansu Province. [**Methods**] The oviposition preferences of *A. glabripennis* for different tree species were tested under laboratory conditions, and combined with field surveys of the damage caused by *A. glabripennis* on different tree species in the field. [**Results**] Laboratory tests of the oviposition preferences of *A. glabripennis* revealed

*资助项目 Supported projects：国家自然科学基金（32160379）；国家重点研发计划（2022YFD1401000）；国家林业和草原局揭榜挂帅项目（202401-10）；兰州市科技计划项目（2023-QN-47）；嘉峪关市重点研发计划（24-23）

**第一作者 First author，E-mail：771041667@qq.com 核对

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：wanglx@gsau.edu.cn

收稿日期 Received：2024-11-17；接受日期 Accepted：2024-12-21

a preference for *Populus* × *xiaohei* var. *gansuensis*, with an average number of oviposition scars of (16.0±4.5) per segment. This was followed by *E. angustifolia* and the insect-susceptible tree species *Salix matsudana*, with an average of (11.3±2.8) and (7.5±2.8) oviposition scars per segment, respectively. The least preferred host species was *P. alba* var. *pyramidalis* with only one oviposition scar. A two-by-two comparison of date palms and other potential hosts revealed no difference in the number of eggs laid on *E. angustifolia* compared to other tree species. In mixed forests planted with *E. angustifolia*, the numbers of adult *A. glabripennis* feeding, perching, mating, scarring and ovipositing, on *E. angustifolia* and *P. gansuensis* were significantly higher than on other tree species ($P < 0.05$). The numbers of *A. glabripennis* feeding and scarring on *E. angustifolia* were significantly higher than on *Salix wilhelmsiana*, *S. matsudana* and *P. alba* var. *pyramidalis* ($P < 0.05$), but were not significantly different than on *P. gansuensis* ($P > 0.05$). These results indicate that *E. angustifolia* is highly attractive to *A. glabripennis*. Very few adult *A. glabripennis* were found on *P. alba* var. *pyramidalis* in different mixed forest plots, and almost no damage was observed on this species. There was no significant difference in the proportion of individual trees of each species that had *A. glabripennis* oviposition scars; > 70 % of trees of each species had scars. [**Conclusion**] *A. glabripennis* has an obvious preference for *E. angustifolia* for both feeding and oviposition, which means that the latter can act as a trap-tree to protect the more susceptible species *P. alba* var. *pyramidalis*.

Key words *Anoplophora glabripennis*; host species; species selection; *Elaeagnus angustifolia*

光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis* 属鞘翅目 Coleoptera 天牛科 Cerambycidae，是危害“三北”防护林最为严重的蛀干害虫之一（李浩培等，2020）。该虫原产于东北亚，现已入侵到北美和欧洲的多个国家和地区，成为了国际重大林业检疫性害虫（Wang *et al.*，2023a）。在我国，据 1959 年出版的《中国经济昆虫志. 第一册，鞘翅目天牛科》（王平远，1959）载，该虫主要分布于华北地区，对于我国甘肃省河西走廊地区和新疆等地而言，光肩星天牛也属入侵害虫（张玉良等，2014）。目前，这些区域的杨树防护林网正在遭受光肩星天牛的严重危害。

光肩星天牛可危害的树种广泛（Hu *et al.*，2009）。不同树种和品种对光肩星天牛危害产生的抗性强弱不同，按照树种对光肩星天牛的抗性可分为免疫树种、抗性树种、感虫树种和诱杀树种 4 大类（李丰等，1999）。然而，某一树种对某种有害生物的抗性是相对的，不是绝对或不变的（骆有庆，2005；Dodds *et al.*，2013）。在甘肃河西走廊地区和新疆等地，新疆杨 *Populus alba* var. *pyramidalis* 或河北杨 *Populus hopeiensis* 与喜食树种箭杆杨 *Populus nigra* var. *thevestina* 或二白杨 *Populus* × *xiaohei* var. *gansuensis* 混植时，新疆杨或河北杨受害轻，表现为抗性树种；而在新疆杨纯林中，如周围天牛虫源较多时，仍会受到光肩星天牛的严重危害（Yan *et al.*，2022）。

沙枣 *Elaeagnus angustifolia* 是西北地区的乡土树种，其适应性强，具有抗旱、防风沙、耐盐碱和耐贫瘠等特点，是我国西北地区防风固沙和保持水土的主要造林树种之一。研究发现，沙枣树能诱集光肩星天牛成虫取食、刻槽和产卵，并能在刻槽处分泌树胶杀灭天牛卵，被认为具有诱杀光肩星天牛的特性（张波和徐庆林，1991；李丰等，1999；田润民等，2003；桑巴叶等，2010；邵鹏鹏等，2023；Wang *et al.*，2023a）。前期调查发现，在光肩星天牛入侵的甘肃省河西走廊和新疆等地，本土树种沙枣对光肩星天牛的诱集能力很强，不亚于以往多树种合理配植防控光肩星天牛所应用的一些诱饵树种，而且沙枣树会在天牛刻槽处分泌大量树胶，将虫卵包裹致死（Li *et al.*，2024；杨宗基等，2024）。但也有研究表明，沙枣树诱杀光肩星天牛的效果十分有限，只将其认为是一般的高抗树种或免疫树种（张恩光等，1995；宝山等，1999；贾隽和李红彦，2008；Sun *et al.*，2024）。因此，沙枣树能否作为诱杀树种用于光肩星天牛的防治实践亟待研究。

光肩星天牛对寄主的选择是一个复杂的过程，主要包括寄主定向、寄主识别、接受等过程（马晓乾等，2012）。羽化后的成虫需要定向选择寄主植物进行补充营养取食，这对成虫的繁殖起着决定性作用（Straw *et al.*，2016；Javal *et al.*，2019）。交配后的雌成虫对其刻槽产卵部位进行

定位与识别，以确保为后代选择适宜的寄主树种。因此，光肩星天牛成虫对寄主的选择主要包括补充营养的取食选择和刻槽产卵选择。光肩星天牛幼虫没有选择寄主的能力，只能利用雌成虫产卵选择的寄主生存（黄铭昊等，2023）。

本试验以光肩星天牛在甘肃河西走廊地区防护林的代表性寄主树种为研究对象，结合室内、室外试验明确光肩星天牛对不同树种的选择偏好性，评估沙枣作为诱杀树保护抗性树种新疆杨的可行性，以期为基于诱杀树种沙枣与抗性树种新疆杨混交造林生态自控光肩星天牛灾害提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试树种 在甘肃省河西走廊地区的嘉峪关市和酒泉市选择光肩星天牛的主要寄主树种，包括抗虫树种新疆杨；感虫树种二白杨、线叶柳 *Salix wilhelmsiana* 和旱柳 *Salix matsudana*，其中二白杨为光肩星天牛的高感树种；诱杀树种沙枣。

1.1.2 供试虫源 光肩星天牛成虫采自嘉峪关市和酒泉市光肩星天牛自然危害的林带内。

1.2 试验方法

1.2.1 室内测试光肩星天牛在不同树种上刻槽产卵的选择 为了明确多树种混交林中光肩星天牛对沙枣的选择性，试验选择健康的沙枣、二白杨、旱柳和新疆杨各 4 株，平均胸径为 16-20 cm，砍伐后截为长度 1 m 的木段。将 4 种树木木段（长 1 m，直径 13-20 cm）竖直放置在长×宽×高为 3 m×3 m×2.5 m 的不锈钢纱窗网制作的养虫笼中，远离地面的一端封石蜡，另外一端埋入土中，每天喷水保湿。每种树选取 4 个木段，每个木段间距大约 60 cm，随机地排列在网笼四周，网笼中心位置放置 4 个水桶（高 50 cm，直径 45 cm），分别插入沙枣、二白杨、新疆杨和旱柳的 4 年生枝条进行水培，以提供天牛成虫取食的条件。期间定期向养虫笼内投放光肩星天牛成虫，共计 178 头，雌雄虫分别为 97 和 81 头。试验开始后每天每 2 h 记录一次光肩星天牛在不同木段上的刻槽数量，并做标记。为避免偶然性误差，试验每隔 5 d 随机更换一次木段位置，重复更换 4 次，共观察 25 d。

为了明确沙枣与其他树种的两两混交林中光肩星天牛对沙枣的选择性，试验准备 3 个长×宽×高为 1 m×1 m×1 m 的不锈钢纱网笼，每个网笼内随机放 3 个沙枣木段（长 1 m，直径 14-16 cm），间隔 30 cm 左右，然后将二白杨、新疆杨、旱柳木段各 3 段（长 1 m，直径 15-19 cm）分别放入有沙枣木段的笼内，网笼中心位置分别放入沙枣与二白杨、新疆杨、旱柳的 3 年生枝条进行水培，为天牛成虫提供取食的环境。每个笼内放入雌雄天牛成虫各 10 头，试验开始后每天每 2 h 记录一次不同木段上的天牛刻槽情况，每隔 5 d 随机调换一次笼内木段位置，重复更换 4 次，共观察 25 d。待试验结束后，解剖刻槽统计有卵刻槽率。

1.2.2 野外调查光肩星天牛在不同树种上行为的选择 本试验选择有光肩星天牛危害且包括沙枣的混交林样地 3 个，其中样地 1（39°47′20.76″ N，98°08′30.12″ E）为沙枣与新疆杨、旱柳和线叶柳的混交林，2012 年栽植，4 种树种的配植比例约为 19.5%、21.1%、16.5%和 42.9%；样地 2（39°51′59.40″ N，98°35′20.76″ E）为沙枣与新疆杨和二白杨的混交林，2000 年栽植，3 种树种的配植比例约为 44.9%、7.0%和 48.1%；样地 3（39°46′46.46″ N，98°15′4.32″ E）为沙枣与新疆杨的混交林，2012 年栽植，2 种树种配植比例约为 30.3%和 69.7%。

试验在不同样地内各随机选取 3 段至少 10 m 长的样方，每个样方随机选取不同树种各 5 株，观察并记录光肩星天牛成虫在不同树种上的取食、栖息、交配、刻槽和产卵等行为的频次。样方内同种样树上天牛某一行为出现的频次之和即为该样方内某一树种上天牛出现的频次，3 个样方内天牛出现频次的平均值，即为样地内某树种上的最终天牛出现频次。样地 1 的调查时间为 2023 年 8 月 8 日至 2023 年 8 月 24 日，共调查 10 次；样地 2 和样地 3 的调查时间为 2024 年 7 月 14 日至 2024 年 8 月 3 日，分别调查了 11 次。

不同样地内的调查时间均为上午 10：00-12：00，此时光肩星天牛成虫较为活跃。

上述野外观察光肩星天牛行为试验结束后，立刻统计所有样方内不同树种上光肩星天牛成虫当年取食痕迹和刻槽数量（沙枣树天牛当年刻槽的胶块为黄色，往年刻槽的胶块为黑色），每个样地不同树种均统计 15 株样树。取食的调查方法：样方内不同样树的东、南、西、北 4 个方向各随机抽样选择一个 4 年生的大枝，统计 1-4 年生枝条及叶子（叶片和叶柄）上全部光肩星天牛取食痕迹数，同一树种取食痕迹的平均值，即为该树种上光肩星天牛的株均取食痕迹数。刻槽的调查方法：样方内不同树种上的所有当年新刻槽数量，同一树种刻槽数量的平均值，即为该树种上光肩星天牛的株均刻槽数。待野外调查结束后，在各树种上随机抽样解剖当年新刻槽，统计有卵刻槽率。

1.3　数据处理

利用 Excel 2022 整理试验数据，采用 SPSS 26 软件进行统计分析。采用单因素方差分析（One-way ANOVA）对光肩星天牛室内刻槽产卵选择数据、野外不同树种上取食、栖息、交配、刻槽和产卵等行为数据及不同树种的取食和刻槽产卵选择数据进行统计分析，使用 Tukey HSD 法进行多重比较。室内条件下光肩星天牛对沙枣树与其他寄主树种刻槽产卵的两两比较试验数据不符合正态分布，采用非参数检验（χ^2 检验）进行分析。

2　结果与分析

2.1　光肩星天牛在不同树种木段上刻槽产卵的选择

在多树种选择试验中，光肩星天牛成虫共刻槽 140 个，不同树种木段上的刻槽数量差异显著（$F = 5.302$，$P < 0.05$）（图 1），其中二白杨木段上光肩星天牛的刻槽数最多，为 64 个，占所有刻槽数的 46.4%，平均每个二白杨供试木段上刻槽数为（16.0±4.5）个；沙枣木段次之，共刻槽 45 个，平均每个木段刻槽数为（11.3±2.8）个；旱柳木段上天牛刻槽数量为 30 个，平均每个木段刻槽数为（7.5±2.8）个；新疆杨木段天牛刻槽数仅 1 个，占所有刻槽的 0.7%。二白杨、沙枣和旱柳木段上的光肩星天牛成虫有卵刻槽率差异不显著（$F = 0.847$，$P > 0.05$）（图 2），其中旱柳木段上天牛有卵刻槽率为 80.3%，二白杨木段上天牛有卵刻槽率约为 72.4%，沙枣木段上

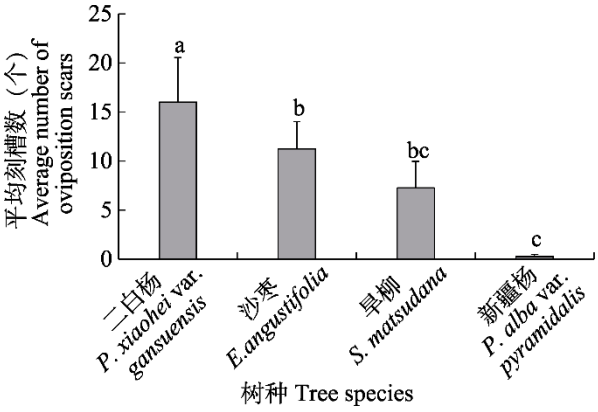

图 1　室内选择条件下光肩星天牛在 4 种树种木段上的平均刻槽数

Fig. 1　The average number of oviposition scars of *Anoplophora glabripennis* on 4 tree species in laboratory conditions

数据均为平均值±标准误，柱上不同字母表显著差异（$P < 0.05$，单因素方差分析）。图 2、图 4、图 5 和图 6 同。

Data are mean±SE, different letters above bars mean significant difference ($P < 0.05$, one-way ANOVA analysis). The same for Fig. 2, Fig. 4, Fig. 5 and Fig. 6.

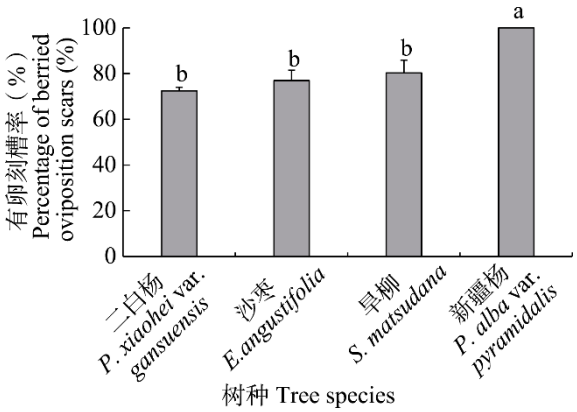

图 2　室内选择条件下光肩星天牛在 4 种树种木段上的有卵刻槽率

Fig. 2　The percentage of berried oviposition scars of *Anoplophora glabripennis* on 4 tree species in laboratory conditions

天牛有卵刻槽率约为 76.9%。新疆杨木段上的 1 个刻槽为有卵刻槽。

在光肩星天牛成虫对沙枣木段与其他寄主树种木段的两两刻槽选择试验中，沙枣与旱柳相比，沙枣上光肩星天牛的刻槽数量比例（51.9%）与旱柳（48.1%）无显著差异（$\chi^2 = 0.32$，$P > 0.05$）；沙枣与二白杨相比，光肩星天牛在沙枣木段上的刻槽数量比例为 37.5%，显著少于二白杨木段的刻槽数量比例（62.5%）（$\chi^2 = 12.38$，$P < 0.01$）；沙枣与新疆杨木段相比，沙枣木段上光肩星天牛刻槽数量比例为 78.6%，显著多于新疆杨上的刻槽数量比例（21.4%）（$\chi^2 = 67.28$，$P < 0.001$）（图 3）。

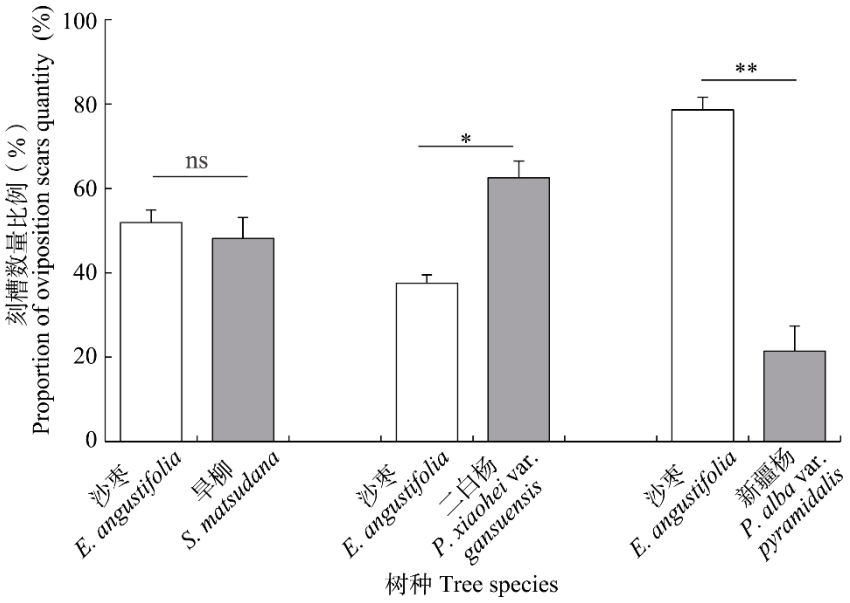

图 3　光肩星天牛在沙枣与其他寄主木段上的刻槽选择

Fig. 3　Oviposition scars selection of *Anoplophora glabripennis* on *Elaeagnus angustifolia* and other host tree species

数据均为平均值±标准误，“**”表示在 0.01 水平上显著相关（$P < 0.01$，单因素方差分析）；“*”表示在 0.05 水平上相关（$P < 0.05$，单因素方差分析）；“ns”表示在 0.05 水平上不相关（$P > 0.05$，单因素方差分析）。

Data are mean±SE, “ ** ” indicates significant difference at 0.01 level ($P < 0.01$, one-way ANOVA analysis); “ * ” indicates significant difference at 0.05 level ($P < 0.05$, one-way ANOVA analysis); “ns” indicates non-significant difference at 0.05 level ($P > 0.05$, one-way ANOVA analysis).

2.2　野外光肩星天牛在不同树种上行为的选择

通过观察野外条件下光肩星天牛对不同树种的选择行为指标可知，成虫对不同树种的选择存在显著差异（表 1）。样地 1 由沙枣、线叶柳、旱柳和新疆杨混交，沙枣树上的平均天牛成虫栖息、交配、刻槽、产卵和取食的频次均显著多于其他树种（$P < 0.05$）；线叶柳上成虫栖息、刻槽、产卵和取食的频次显著多于旱柳（$P < 0.05$），成虫交配频次略多于旱柳，但不显著（$P > 0.05$）；新疆杨上光肩星天牛成虫活动极少。样地 2 由沙枣、二白杨和新疆杨混交，沙枣和二白杨上的天牛栖息、交配、刻槽、产卵和取食的频次显著多于新疆杨（$P < 0.05$）；二白杨上天牛栖息、刻槽和取食的频次略多于沙枣，沙枣树上天牛交配和产卵的频次略多于二白杨，但均无显著差异（$P > 0.05$）。样地 3 由沙枣与新疆杨混交，沙枣树上天牛不同行为的频次均显著多于新疆杨（$P < 0.05$）。不同样地中，相比于沙枣树，抗性树种新疆杨上光肩星天牛成虫活动频次极少，仅发现个别成虫在新疆杨枝干上栖息、取食和刻槽；即使与感虫树种二白杨相比，沙枣对光肩星天牛也具有较强的引诱能力，说明光肩星天牛对沙枣树存在明显的选择偏好性。

在野外条件下，不同样地沙枣树上光肩星天牛取食的痕迹数均最多，新疆杨均最少（图 4）。

表 1　不同样地光肩星天牛对不同树种的行为选择

Table 1　Behavioral selection on different tree species by *Anoplophora glabripennis* in different sample plots

样地编号 Sample plots no.	树种 Tree species	栖息频次 Inhabit frequency	交配频次 Mating frequency	刻槽频次 Oviposition scar frequency	产卵频次 Ovipositing frequency	取食频次 Feeding frequency	有卵刻槽率（%） Percentage of berried oviposition scars (%)
1	沙枣 *E. angustifolia*	6.3±1.2 a	3.2±0.4 a	2.9±0.4 a	2.6±0.2 a	3.2±0.4 a	80.6 (*n*=36)
	新疆杨 *P. alba* var. *pyramidalis*	0.1±0.1 d	0.0±0.0 c	0.0±0.0 c	0.0±0.0 d	0.1±0.0 c	-
	线叶柳 *S. wilhelmsiana*	3.1±0.5 b	1.3±0.2 b	0.8±0.1 b	0.7±0.2 b	0.9±0.2 b	82.4 (*n*=34)
	旱柳 *S. matsudana*	1.6±0.2 c	1.0±0.2 b	0.4±0.1 c	0.5±0.1 c	0.4±0.2 c	81.8 (*n*=11)
2	沙枣 *E. angustifolia*	3.3±0.1 a	1.9±0.1 a	2.7±0.1 a	2.1±0.2 a	3.6±0.2 a	77.4 (*n*=31)
	二白杨 *P.* × *xiaohei* var. *gansuensis*	3.6±0.2 a	1.9±0.0 a	3.1±0.4 a	1.6±0.1 a	3.6±0.1 a	80.7 (*n*=31)
	新疆杨 *P. alba* var. *pyramidalis*	0.1±0.1 b	0.0±0.0 b	0.2±0.0 b	0.0±0.0 b	0.2±0.0 b	-
3	沙枣 *E. angustifolia*	1.6±0.3 a	0.8±0.0 a	1.7±0.3 a	0.6±0.1 a	1.9±0.2 a	81.3 (*n*=32)
	新疆杨 *P. alba* var. *pyramidalis*	0.1±0.1 b	0.0±0.0 b	0.2±0.0 b	0.0±0.0 b	0.2±0.1 b	-

表中数据为平均数±标准差。同一样地同一列的不同小写字母表示差异显著（$P < 0.05$，单因素方差分析）。括号内数字表示调查的刻槽数。Data are mean±SD. Different lowercase letters within the same column line and the same sample plot indicate significant difference ($P < 0.05$, one-way ANOVA analysis). The numbers in parentheses represent the number of oviposition scar surveyed.

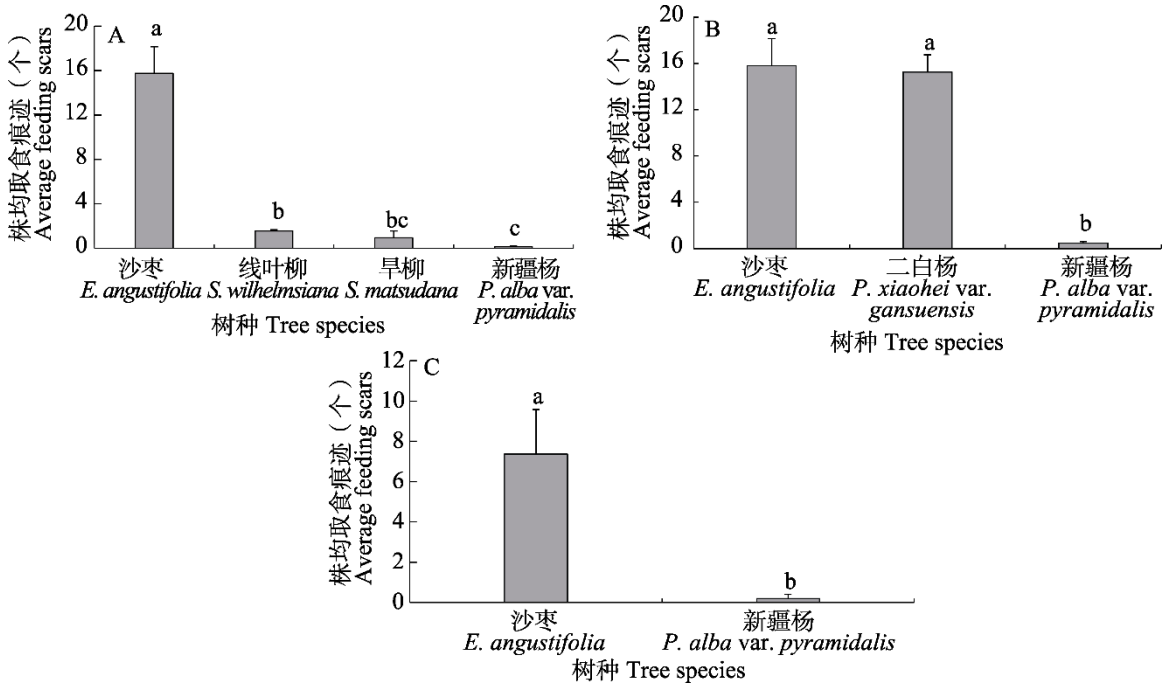

图 4　不同样地不同树种上的株均光肩星天牛取食痕迹数量

Fig. 4　Average feeding scars of *Anoplophora glabripennis* on different tree species in different sample plots

A. 样地 1；B. 样地 2；C. 样地 3。

A. Sample plot 1; B. Sample plot 2; C. Sample plot 3.

样地 1 中，沙枣树平均 4 年生大枝上天牛成虫取食痕迹数为（15.8±1.4）个，显著多于其他树种（$P < 0.05$）；线叶柳次之，但与旱柳无显著差异（$P > 0.05$）（图 4：A）；新疆杨上平均每枝仅有（0.1±2.9）个取食痕迹。样地 2 中沙枣与二白杨上的天牛取食痕迹数量无差异（$P > 0.05$），分别为（15.8±2.3）和（15.3±1.5）个，但显著高于新疆杨[（0.5±0.1）个]（$P < 0.05$）（图 4：B）。样地 3

的沙枣树上天牛取食痕迹为（7.4±2.2）个，显著高于新疆杨[（0.2±0.2）个]（$P < 0.05$）（图 4：C）。

光肩星天牛成虫对不同树种不同年生枝条取食存在偏向性。以样地 1 为例，不同树种的 4 年生枝皮上均未发现光肩星天牛的取食痕迹。光肩星天牛在沙枣的叶子上取食痕迹数显著多于 1 年生、2 年生和 3 年生枝皮的取食痕迹数（$P < 0.05$）（图 5：A）；线叶柳上光肩星天牛在 1 年生枝皮上的取食痕迹数量显著多于叶子、2 年生和 3 年生枝皮的取食痕迹数（$P < 0.05$）（图 5：B）；旱柳上光肩星天牛在叶子上的取食痕迹数量最多，3 年生枝皮未发现取食痕迹（图 5：C）；新疆杨上光肩星天牛仅在叶子和 1 年生枝皮上取食，这可能与新疆杨上光肩星天牛活动频次少有关（图 5：D）。

在样地 1 中（图 6：A），沙枣树干上光肩星天牛成虫当年新刻槽数量远多于线叶柳、旱柳和新疆杨（$P < 0.01$）；线叶柳和旱柳上的成虫新刻槽数量平均每株为（4.1±1.3）和（1.8±1.6）个，无显著差异（$P > 0.05$）；新疆杨上虽发现个别光肩星天牛成虫取食，但未发现新刻槽。样地 2 中（图 6：B），二白杨上株均天牛成虫新刻槽数量最多，为（16.9±2.1）个，沙枣为（14.8±1.3）个，两者无差异（$P > 0.05$）；新疆杨株均天牛成虫新刻槽数量仅为（0.3±0.2）个。样地 3 中（图 6：C），沙枣的株均天牛新刻槽数量[（6.1±2.1）个]显著多于新疆杨[（0.1±0.1）个]（$P < 0.05$）。由此可见，在配植沙枣的不同混交林样地中，除二白杨的株均天牛成虫新刻槽数量略多于沙枣之外，其余树种的天牛新刻槽数量均显著少于沙枣，新疆杨几乎无受害。此外，除样地 2 的沙枣上光肩星天牛的有卵刻槽率为 77.4%之外，其余样地的不同树种上光肩星天牛的有卵刻槽率均大于 80%（表 1）。

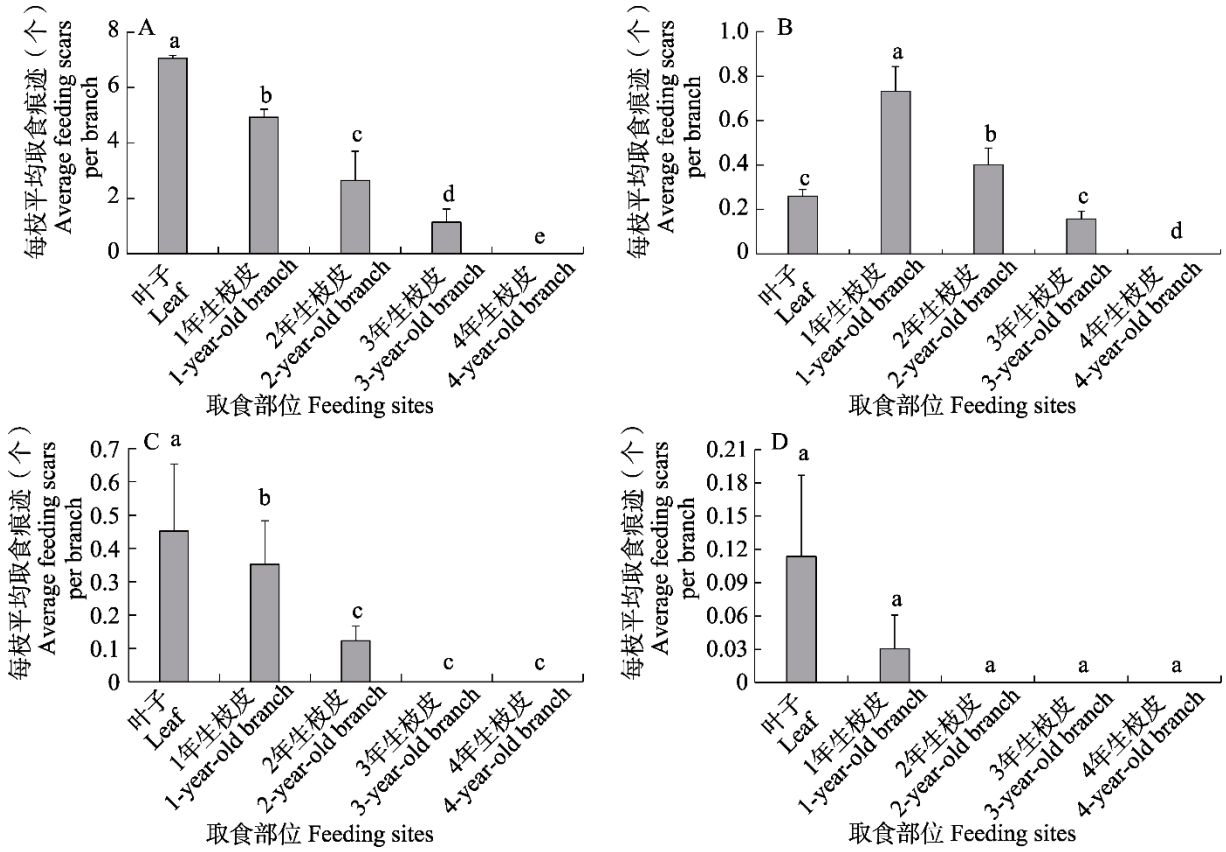

图 5 不同树种上光肩星天牛取食部位的偏好性

Fig. 5 The preference of *Anoplophora glabripennis* for feeding sites on different tree species

A. 沙枣；B. 线叶柳；C. 旱柳；D. 新疆杨。

A. *E. angustifolia*; B. *S. wilhelmsiana*; C. *S. matsudana*; D. *P. alba* var. *pyramidalis*.

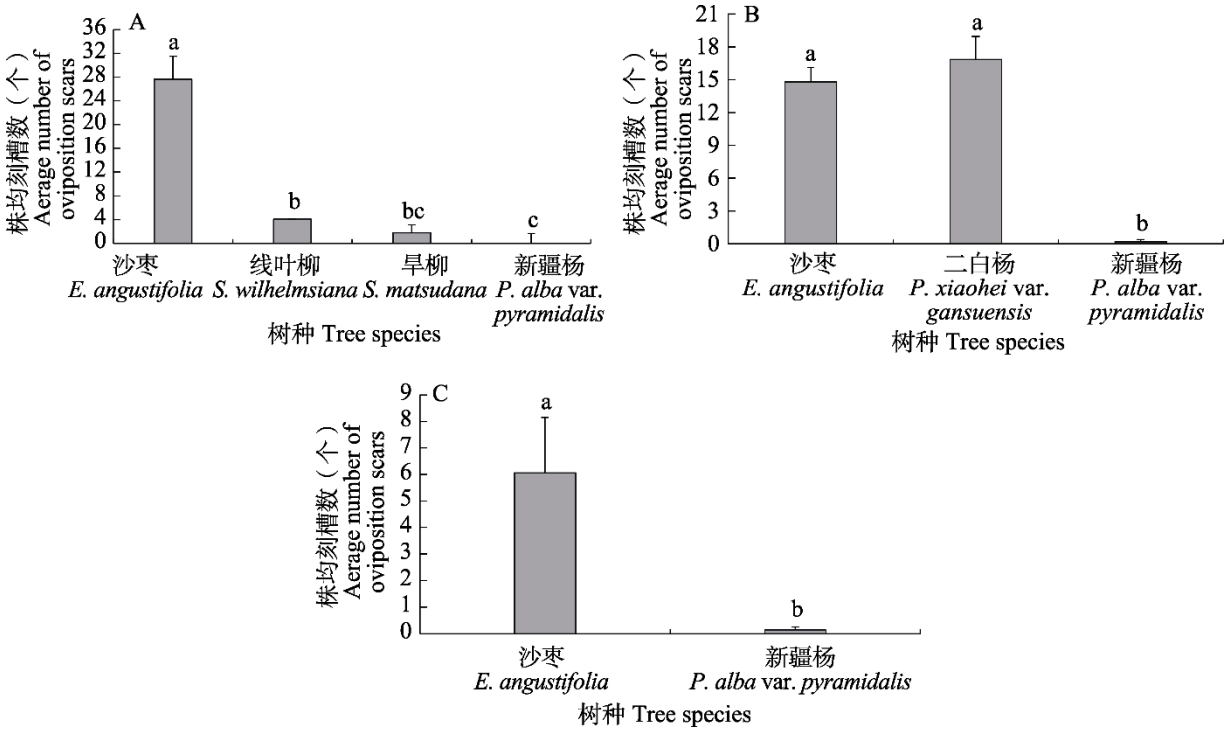

图 6　不同样地不同树种上的株均光肩星天牛当年刻槽数

Fig. 6　Average number of new oviposition scars of *Anoplophora glabripennis* on different tree species in different sample plots

A. 样地 1；B. 样地 2；C. 样地 3。

A. Sample plot 1; B. Sample plot 2; C. Sample plot 3.

3　讨论

不同寄主树种对光肩星天牛选择的影响有所差别。补充营养后的光肩星天牛成虫从寄主树冠爬至树干为后代选择适宜的生境，树皮则是成虫刻槽产卵所选择的唯一场所，偶尔发生差错，就停止刻槽产卵（Haack *et al.*，2010）。在室内测试天牛成虫对 4 种树种的选择试验中，光肩星天牛偏好选择在二白杨上刻槽，其次是沙枣和旱柳，少见在新疆杨上刻槽，这与光肩星天牛对沙枣与其他寄主树种的两两选择试验结果一致。黄铭昊等（2023）认为不同寄主树皮的粗糙度与光肩星天牛是否刻槽产卵直接相关，相比于其他寄主树种，新疆杨树皮更光滑，不利于光肩星天牛刻槽（Lyu *et al.*，2021）。野外调查发现新疆杨树干分叉处受光肩星天牛危害的比例显著高于光滑的主干，这可能与树干不同部位的粗糙度有关。然而，自然条件下的新疆杨纯林，也能遭到光肩星天牛的严重危害，说明抗性是相对的（骆有庆，2005）。本试验发现不同树种木段上光肩星天牛的有卵刻槽率无差异，均大于 70%，这与邵鹏鹏等（2023）的研究结果有所不同，他们发现光肩星天牛在沙枣木段的有效产卵率为 58%，显著低于新疆杨。这可能与试验所选取的沙枣木段及实验条件有关，不同地域、不同树势和不同管护条件下，光肩星天牛雌虫的产卵行为、产卵选择以及沙枣树对天牛的诱杀能力可能存在差异。

昆虫在寄主树上的行为选择是判断其对寄主选择偏向性的重要因素之一。本文通过观察野外天牛行为、并统计当年刻槽产卵情况，发现在配植沙枣树的样地 1 和样地 3 中，沙枣树上天牛成虫栖息、交配、刻槽、产卵和取食的频次显著多于线叶柳、旱柳和新疆杨，其中新疆杨上天牛成虫各行为的频次极少；在样地 2，沙枣、二白杨和新疆杨的混交林中，沙枣上天牛成虫活动频次与二白杨无差异，但显著多于新疆杨。

通过调查不同样地光肩星天牛的取食痕迹

数量和当年新刻槽数量发现，沙枣树上天牛取食痕迹和刻槽数量与二白杨无差异，但显著多于其他树种，新疆杨几乎无受害。这与野外观察不同树种上光肩星天牛的行为选择试验结果吻合。说明沙枣不仅能引诱天牛成虫取食，而且还能吸引成虫刻槽产卵，不亚于高感树种二白杨。而且，沙枣能在天牛刻槽处分泌大量树胶包裹并杀死虫卵，具备作为光肩星天牛诱杀树的特性，这与李丰等（1999）、田润民等（2003）、桑巴叶等（2010）和邵鹏鹏等（2023）的研究结果一致。从本研究结果也可得出，在沙枣树与抗性树种新疆杨的混交林中，沙枣对光肩星天牛展现出很强的诱杀能力，高效保护了新疆杨；即使在与感虫树种的混交林中，沙枣树也能诱杀大量天牛种群，提高林分的整体抗性，这与杨宗基等（2024）研究结果一致。需要指出的是，本研究所选野外样地的沙枣树龄约为 12 和 24 年生，一般 6 年生以上的沙枣主干或大枝才适合光肩星天牛刻槽与产卵（杨宗基等，2024）。因此，低于 6 年生的沙枣树虽能引诱光肩星天牛成虫取食，但可能不满足其刻槽与产卵。

研究表明，寄主植物的被取食面积与寄主的可溶性糖含量呈正相关，可溶性糖是昆虫生长发育的能量来源，可以促进昆虫取食（杨璐等，2015）。本研究发现沙枣树上光肩星天牛取食痕迹均多于其他树种，且光肩星天牛偏向于在沙枣的叶子和 1-3 年生的枝皮上取食，可能是相比于其他树种，沙枣有更高的可溶性糖含量（Wang *et al.*，2023b）。本研究发现室内天牛刻槽产卵的选择结果与野外调查结果有所不同，即室内测试天牛在二白杨木段上刻槽数量显著多于沙枣，但野外调查发现两者无显著差异。造成室内外刻槽数量差异的原因可能是：（1）野外条件下沙枣枝叶的挥发物能够强烈引诱光肩星天牛取食（邵鹏鹏等，2023），取食后成虫从树冠爬至树干刻槽产卵，沙枣树皮物理特征和营养物质又能为天牛成虫刻槽与产卵提供便利（黄铭昊等，2023），而室内供试材料为不同树种砍伐的木段，与活立木差异较大，其挥发性物质对天牛刻槽选择的影响小于树皮物理特性；（2）室内条件光肩星天牛在不同树种木段上刻槽受到多重因素影响，如昆虫本身，木段树皮形态结构、颜色、含水量、挥发物和环境因素等（刘敏，2020）。因此，光肩星天牛在不同寄主树种上的取食产卵行为是一个复杂的过程，受多种因素综合影响（王紫薇，2016），造成本研究室内外试验结果不同的具体原因还需进一步探索。

在甘肃省河西走廊地区，二白杨和沙枣树均作为乡土树种，在抵御光肩星天牛灾害能力上有所差别。野外条件下，光肩星天牛成虫偏好在沙枣树上取食，但沙枣树分泌胶体包裹虫卵使其不能发育而死亡，极少有羽化孔出现，可作为光肩星天牛的诱杀树。光肩星天牛成虫同样偏好在二白杨上取食，且二白杨利于天牛幼虫生长发育，目前是河西走廊地区防控光肩星天牛所应用的主要诱饵树之一。新疆杨因其树体高大、干形通直、耐干旱、耐贫瘠，且对光肩星天牛有一定的抗性，是目前河西走廊地区营建防护林的主栽树种。因此，将沙枣树与新疆杨混交可形成很好的防风沙林，相比于“三北”防护林二代加强型林网（骆有庆等，2002），免去了对诱饵树的复杂管理，通过合理配植能够实现生态自控光肩星天牛（杨宗基等，2024）。然而，沙枣树是否会因地域、气候、树势和管护条件的差异而影响诱杀能力需进一步研究。

4 结论

与甘肃河西走廊光肩星天牛的主要寄主树种相比，沙枣树上光肩星天牛成虫取食痕迹和当年新刻槽数量显著高于感虫树种线叶柳、旱柳和抗性树种新疆杨，不亚于高感树种二白杨，说明沙枣对光肩星天牛成虫有强烈的引诱能力。特别是在沙枣与新疆杨的混交林中，新疆杨受到沙枣的高效保护几乎无受害。光肩星天牛成虫偏向于在沙枣叶子和 1-3 年生的枝皮上取食，且沙枣上天牛的有卵刻槽率与其他树种无差异。因此，沙枣树可作为光肩星天牛的诱杀树，与抗性树种新疆杨混交造林持续控制光肩星天牛灾害。

参考文献 (References)

Bao S, Shen XH, Tang J, Wu T, Hideshi M, 1999. Research of controlling poplar longicorn with forestry measures. *Journal of Beijing Forestry University*, 21(4): 73–79. [宝山, 沈向海, 唐杰, 吴彤, 丸田秀士, 1999. 林业措施控制杨树天牛的研究. 北京林业大学学报, 21(4): 73–79.]

Dodds KJ, Hull-Sanders HM, Siegert NW, Bohne MJ, 2013. Colonization of three maple species by Asian longhorned beetle, *Anoplophora glabripennis*, in two mixed-hardwood forest stands. *Insects*, 5(1): 105–119.

Haack RA, Hérard F, Sun JH, Turgeon JJ, 2010. Managing invasive populations of Asian longhorned beetle and citrus longhorned beetle: A worldwide perspective. *Annual Review of Entomology*, 55: 521–546.

Hu JF, Angeli S, Schuetz S, Luo YQ, Hajek AE, 2009. Ecology and management of exotic and endemic Asian longhorned beetle *Anoplophora glabripennis*. *Agricultural and Forest Entomology*, 11(4): 359–375.

Huang MH, Shang SQ, Cui SP, Wang GJ, Luo YQ, Deng B, Wang LX, 2023. Relationship between bark physical characteristics of different host trees and damage of *Anoplohora glabripennis*. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 32(6): 952–959. [黄铭昊, 尚素琴, 崔树鹏, 王改进, 骆有庆, 邓彬, 王立祥, 2023. 不同树种树皮物理特征与光肩星天牛危害的关系. 西北农业学报, 32(6): 952–959.]

Javal M, Roques A, Haran J, Hérard F, Keena M, Roux G, 2019. Complex invasion history of the Asian long-horned beetle: Fifteen years after first detection in Europe. *Journal of Pest Science*, 92(1): 173–187.

Jia J, Li HY, 2008. Resistance of several mixed plantation to *Anoplophora nobilis*. *Journal of West China Forestry Science*, 37(1): 82–85. [贾隽, 李红彦, 2008. 几种混交林对黄斑星天牛的抗虫性研究. 西部林业科学, 37(1): 82–85.]

Li F, Liu RG, Bao S, Wu T, 1999. Selection of trap trees for controlling *Anoplophora glabripennis* and *A. nobilis*. *Journal of Beijing Forestry University*, 21(4): 85–89. [李丰, 刘荣光, 宝山, 吴彤, 1999. 选择诱杀树种防治光肩星天牛、黄斑星天牛的研究. 北京林业大学学报, 21(4): 85–89.]

Li CC, Pei JH, Wang LX, Tian Y, Ren LL, Luo YQ, 2024. Interactions at the oviposition scar: Molecular and metabolic insights into *Elaeagnus angustifolia*'s resistance response to *Anoplophora glabripennis*. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(17): 9504.

Li HP, Lyu F, Bi YG, Wang ZG, 2020. Reviews on the serious wood-boring pest *Anoplophora glabripennis* in forestry of China. *Forestry and Ecological Sciences*, 35(1): 1–9. [李浩培, 吕飞, 毕拥国, 王志刚, 2020. 我国林业重要蛀干害虫光肩星天牛研究进展. 林业与生态科学, 35(1): 1–9.]

Liu M, 2020. Key influencing factors in host selection behavior of *Dendroctonus valens*. Master dissertation. Beijing: Beijing Forestry University. [刘敏, 2020. 影响红脂大小蠹寄主树种选择行为关键因子的研究. 硕士学位论文. 北京: 北京林业大学.]

Luo YQ, 2005. Theory and techniques of ecological regulation of poplar longhorned beetle disaster in shelter-forest. Doctor dissertation. Beijing: Beijing Forestry University. [骆有庆, 2005. 防护林杨树天牛灾害的生态调控理论与技术研究. 博士学位论文. 北京: 北京林业大学.]

Luo YQ, Liu RG, Xu ZC, Sun CC, Wen JB, 2002. Theories and technologies of ecologically regulating poplar longhorned beetle disaster in shelter forest. *Journal of Beijing Forestry University*, 24(S1): 164–168. [骆有庆, 刘荣光, 许志春, 孙长春, 温俊宝, 2002. 防护林杨树天牛灾害的生态调控理论与技术. 北京林业大学学报, 24(S1): 164–168.]

Lyu F, Hai XX, Wang ZG, 2021. Green-colored paperboard enhances the Asian longhorned beetle response to host plant odor cues. *Journal of Pest Science*, 94(4): 1–11.

Ma XQ, Wang Q, Deng X, Zhao HY, Song XS, Zhou Q, Yu WJ, 2012. Studies on oviposition site selection of *Anoplophora glabripennis* in *Acer saccharum* and its gnawing nidus oviposition habits. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 40(7): 4078–4079, 4107. [马晓乾, 王茜, 邓勋, 赵红盈, 宋小双, 周琦, 遇文婧, 2012. 光肩星天牛在糖槭上产卵部位的选择及刻槽产卵习性研究. 安徽农业科学, 40(7): 4078–4079, 4107.]

Shao PP, Yang BJ, Su Z, Sun ZX, Wang Z, Liu YT, Wei JR, 2023. Preference of *Anoplophora glabripennis* to *Populus alba* var. *pyramidalis* and *Elaeagnus angustifolia*. *Forest Research*, 36(4): 122–128. [邵鹏鹏, 杨兵军, 苏智, 孙佐翔, 王卓, 刘宇婷, 魏建荣, 2023. 光肩星天牛对沙枣和新疆杨的偏好性. 林业科学研究, 36(4): 122–128.]

Sun ZX, Sun HQ, Zhong QM, Shao PP, Su Z, Wang Z, Liu YT, Wei JR, 2024. Attract and kill trees? No simple solution for *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) control. *Environmental Entomology*, Doi: 10.1093/EE/NVAE075.

Straw NA, Fielding NJ, Tilbury C, Williams DT, Cull T, 2016. History and development of an isolated outbreak of Asian longhorn beetle *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) in southern England. *Agricultural and Forest Entomology*, 18(3): 280–293.

Sang BY, Zhu YW, Bahatiguli, Aihemaiti, Jilili, 2010. Resistance of several mixed plantation to *Anoplophra bobilis* of Yanqi area. *Protection Forest Science and Technology*, 2010(5): 26–28. [桑

巴叶, 朱玉伟, 巴哈提古丽, 艾合买提, 吉力力, 2010. 焉耆地区几种混交林对黄斑星天牛的抗虫性研究. 防护林科技, 2010(5): 26–28.]

Tian RM, Yu JB, Zhao WD, 2003. On the function of *Elaeagnus angustifolia* L. to induce and control *Anoplophora glabripennis* (Motsch.). *Journal of Inner Mongolia Forestry Science & Technology*, 29(4): 23–25. [田润民, 于静波, 赵卫东, 2003. 沙枣树对光肩星天牛种群诱控功能的初步研究. 内蒙古林业科技, 29(4): 23–25.]

Wang LX, Li CC, Luo YQ, Wang GJ, Dou ZP, Haq IU, Shang SQ, Cui MM, 2023a. Current and future control of the wood-boring pest *Anoplophora glabripennis*. *Insect Science*, 30(6): 1534–1551.

Wang GJ, Wang X, Yang ZJ, Wang SS, Li WX, Shang SQ, Luo YQ, Wang LX, 2023b. Effects of *Fusarium solani* on the growth and development of *Anoplophora glabripennis* larvae. *Microbial Ecology*, 87(1): 23.

Wang PY, 1959. Chinese Economic Insect Fauna-The First Volume Coleoptera Cerambycidae. Beijing: Science Press. 177. [王平远, 1959. 中国经济昆虫志——第一册 鞘翅目天牛科. 北京: 科学出版社. 177.]

Wang ZW, Xu HC, Zhang WW, Wang PX, 2016. *Anoplophora glabripennis* host-plant selection with main host-plant volatile chemical component analysis. *Journal of Zhejiang A & F University*, 33(4): 558–563. [王紫薇, 徐华潮, 张娓娓, 王佩星, 2016. 光肩星天牛对寄主的选择及主要寄主挥发物的化学成分分析. 浙江农林大学学报, 33(4): 558–563.]

Yan SY, Zhang G, Liu JF, Su Z, Wei JR, 2022. *Anoplophora glabripennis*: Host choice, oviposition and performance of new hatched larvae on ‘resistant’ poplar species. *Journal of Applied Entomology*, 146(1/2): 98–105.

Yang L, Zhu XF, Zhu MM, Li H, 2015. Analysis of relationship between the nutritive material in Apricot and its damage by *Scolytus seulensis* Murayama. *Journal of Environmental Entomology*, 37(2): 320–327. [杨璐, 朱晓锋, 朱苗苗, 李宏, 2015. 杏树营养物质含量与多毛小蠹危害关系的分析. 环境昆虫学报, 37(2): 320–327.]

Yang ZJ, Wang LX, Luo YQ, Ren LL, Wang XQ, Wang XB, Chen YL, 2024. Study on planting model of dead-end trap tree *Elaeagnus angustifolia* and resistant host tree *Populus alba* var. *pyramidalis* for ecological self-regulation of the *Anoplophora glabripennis* disaster. *Forest Pest and Disease*, 43(6): 44–53. [杨宗基, 王立祥, 骆有庆, 任利利, 王小强, 王小兵, 陈宇琳, 2024. 生态自控光肩星天牛灾害的诱杀树沙枣与抗性树种新疆杨配植模式研究. 中国森林病虫, 43(6): 44–53.]

Zhang B, Xu QL, 1991. Study on adult behavior of *Anoplophora glabripennis*. *Forest Pest and Disease*, 10(4): 14–17. [张波, 徐庆林, 1991. 光肩星天牛成虫行为的研究. 森林病虫通讯, 10(4): 14–17.]

Zhang YL, Dong P, Jiang YQ, 2014. Thoughts on the *Anoplophora glabripennis* prevention and control issues in Jiuquan City. *Protection Forest Science and Technology*, 132(9): 82–83. [张玉良, 董平, 蒋银荃, 2014. 对酒泉市黄斑星天牛防控问题的思考. 防护林科技, 132(9): 82–83.]

Zhang EG, Zhou JX, Liu RG, Yang XY, Bai ZJ, Liu YN, 1995. Investigation of the hazard of Cerambycidae in the shelterbelt of Ningxia and the configuration of stand structure. *Journal of Northwest Forestry College*, 10(2): 16–21, 39. [张恩光, 周嘉熹, 刘荣光, 杨雪彦, 白正甲, 刘益宁, 1995. 宁夏防护林天牛危害调查及林分结构配置. 西北林学院学报, 10(2): 16–21, 39.]