

# 弗氏窄吉丁对山杨和钻天杨危害特性的差异\*

臧 凯\*\* 王小艺\*\*\* 杨忠岐 魏 可

(中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林保护学重点实验室, 北京 100091)

**摘 要** 【目的】 弗氏窄吉丁 *Agrilus fleischeri* Obenberger 是我国东北地区新发现的一种杨树蛀干害虫。为探讨该害虫的有效防治策略, 指导生产上科学营林, 我们调查研究了弗氏窄吉丁对本地杨树山杨 *Populus davidiana* 及外来引种杨树钻天杨 *Populus nigra* var. *italica* 的危害情况。【方法】 试验设置了钻天杨与山杨两块纯林样地, 采用完全随机取样法于两样地内各选取 20 株样木进行环割以诱集弗氏窄吉丁。调查两树种的自然受害和人工胁迫后的受害情况, 通过解剖感虫株分析虫口密度、死亡率及天敌种类。【结果】 钻天杨的自然受害株率 (11.76 %) 显著高于山杨 (0), 人工环割后钻天杨和山杨的受害株率分别为 90 % 和 65 %, 感虫的钻天杨和山杨平均虫口密度分别为 61.95 头/株和 34.89 头/株。钻天杨树上的卵孵化率 (91.78 %) 显著高于山杨 (77.61 %)。弗氏窄吉丁幼虫在钻天杨树上的蛀道长度 (48.68 cm) 与山杨 (29.59 cm) 相比差异显著。对比两树种上的蛹室, 发现其长度、宽度和深度差异不明显。分析比较弗氏窄吉丁成虫羽化孔在两树种上的分布, 发现在钻天杨上主要分布在 1~6 m 的主干, 山杨为 1~3 m。此外, 两样地中弗氏窄吉丁幼虫的生态位宽度也存在不同, 钻天杨林中为 0.53, 山杨林中仅为 0.32。【结论】 研究结果显示, 相对于本地树种山杨而言, 非本地的引种树种钻天杨更易感虫。研究结果可为生产上防治该害虫和受害林分的合理改造提供基础信息和科学依据。

**关键词** 弗氏窄吉丁, 钻天杨, 山杨, 危害习性, 植物抗虫性

## Differences of infestation and damage between *Populus davidiana* and *P. nigra* var. *italica* by *Agrilus fleischeri* Obenberger

ZANG Kai\*\* WANG Xiao-Yi\*\*\* YANG Zhong-Qi WEI Ke

(Key Laboratory of Forest Protection, State Forestry Administration, Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract** 【Objectives】 *Agrilus fleischeri* Obenberger is a newly emerged wood borer of poplar trees, which has been becoming a destructive pest in Liaoning Province, northeast China recently. To develop effective management strategies of this beetle, and provide suggestions for reasonable matching tree species in reforestation process, we studied the damage of exotic species *Populus nigra* var. *italica* and native species *P. davidiana*. 【Methods】 Two pure stands of *P. nigra* var. *italica* and *P. davidiana* were set up as field investigation sites. Twenty *P. nigra* var. *italica* and twenty *P. davidiana* trees were selected randomly and girdled in early spring of 2013 and 2014 respectively to attract *A. fleischeri* female adults for oviposition. Natural and stressed infestation rates of two species of poplar trees were surveyed in the field. Population densities, mortality and lethal factors of the beetle were investigated by dissecting infested host trees. 【Results】 Results indicated that the natural infested percentages of *P. nigra* var. *italica* and *P. davidiana* were 11.76% and 0 with a significant difference, while 90% artificially stressed *P. nigra* var. *italica* and 65% stressed *P. davidiana* were infested by *A. fleischeri* after girdling. The average population densities of the pest were 61.95 larvae per tree on *P. nigra* var. *italica* and 34.89 larvae per tree on *P. davidiana*. Egg hatch rate on *P. nigra* var. *italica* (91.78%) was significantly higher than that on *P. davidiana* (77.61%). Larvae of *A. fleischeri* were mainly found in galleries with an average 48.68 cm in length on *P. nigra* var. *italica* and those were 29.59 cm

\*资助项目 Supported projects: 美国农业部农业研究局 USDA-ARS 资助项目 (58-8010-5-001F)

\*\*第一作者 First author, E-mail: 522769226@qq.com

\*\*\*通讯作者 Corresponding author, E-mail: xywang@caf.ac.cn

收稿日期 Received: 2016-03-18, 接受日期 Accepted: 2016-10-27

on *P. davidiana*. The differences of pupal chambers on the two species of poplar trees were not significant in length, width and depth. Moreover, a vertical distribution model illustration of exit holes of *A. fleischeri* on the trunk was established, which revealed that exit holes mainly distributed in 1-6 m on *P. nigra* var. *italica* and 1-3 m on *P. davidiana* above ground. Difference of niche width of *A. fleischeri* larvae and their natural enemies also accounted for the different damage degrees. Niche width of *A. fleischeri* larvae were 0.53 and 0.32 on *P. nigra* var. *italica* and *P. davidiana* respectively. **[Conclusion]** Exotic poplar species *P. nigra* var. *italica* is more vulnerable than native poplar *P. davidiana*. Our findings can provide information and scientific support for the management of the pest and rational reforestation in practice.

**Key words** *Agrilus fleischeri* Obenberger, *Populus nigra* var. *italica*, *Populus davidiana*, damage traits, plant resistance to insect pest

钻天杨 *Populus nigra* var. *italica* 是我国引进栽培的一种速生树种, 原产于欧洲南部及亚洲西部, 由于其速生性较好, 因此在我国多地均有栽培 (盛炜彤, 2014)。近年来随其在我国东北地区的广泛种植, 加之树种结构较为单一、生物多样性较差, 使得一些蛀干害虫的种类和数量呈上升态势, 如光肩星天牛、杨干象等 (金亚荣, 2013)。山杨 *Populus davidiana* 原产我国, 主要分布于东北、华北、西北等地区, 该树种天然更新能力强, 在东北及华北常于老林破坏后, 与桦木类混生或成纯林, 形成天然次生林 (中国科学院中国植物志编辑委员会, 1984)。近几年新疆塔城额敏县地区的山杨树受山杨楔天牛 *Saperda carcharias* (Linnaeus) 危害较为严重 (哈米提, 2012)。

弗氏窄吉丁 *Agrilus fleischeri* Obenberger 属鞘翅目 (Coleoptera) 吉丁甲科 (Buprestidae), 是近年在我国东北地区新发现的一种杨树蛀干害虫。其寄主除钻天杨与山杨外, 还有苦杨 *P. laurifolia* 和柳属 (*Salix*) 等植物, 分布范围在亚洲主要是中国、日本、哈萨克斯坦、朝鲜、韩国等, 而在我国主要分布于北京、黑龙江、山西、四川等地区 (Jendek and Grebennikov, 2011)。弗氏窄吉丁幼虫蛀食钻天杨、山杨的韧皮部及木质部, 切断导管及筛管, 致使水分及营养物质的运输受阻, 导致树势衰弱最终引起树木的死亡, 这与窄吉丁属 (*Agrilus*) 其它种的危害特点相似, 如白蜡窄吉丁 *A. planipennis* Fairmaire、苹小吉丁 *A. mali* Matsumura 等 (Cappaert et al., 2005; Wang et al., 2010; 王智勇, 2013)。此外, 幼虫的蛀道还严重影响了木材的使用及美观价值, 给

林业生产造成损失。

寄主植物是影响昆虫种群动态变化的一个重要因子, 取食不同寄主植物的同种昆虫, 其生长发育和种群增长具有明显差异 (郭建英等, 2011; 许秀萃等, 2014)。杨小凡 (2013) 选择 6 种不同寄主植物桃 *Amygdalus persica* L.、梨 *Pyrus communis* L.、苹果 *Malus pumila* Mill.、李 *Prunus salicina* Lindl.、杏 *Armeniaca vulgaris* Lam.、油桃 *P. persica* var. *nectarina*, 从发育历期、幼虫存活率、单雌产卵量、产卵期 4 个指标, 评价取食不同寄主植物对梨小食心虫 *Grapholitha molesta* (Busck) 发育进度和繁殖能力的影响, 结果表明梨、苹果和油桃为其最适寄主。罗进仓等 (2012) 发现不同寄主植物上马铃薯甲虫的发育状况有所不同, 在其最适宜寄主马铃薯上的繁殖力和种群净增长率均最高。本研究拟从受害株率、虫口密度上测量两树种的受害程度, 进而分析两树种上弗氏窄吉丁成虫羽化孔的分布、幼虫生态位等, 明确本地和非本地杨树对弗氏窄吉丁的敏感性差异及其原因。以期对林业生产中树木的合理布局以及控制该虫种群密度提供建议, 同时也为其他相似树种的栽植提供思路。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区及样地概况

试验地位于辽宁省凤城市赛马镇, 地处辽东半岛内陆边缘, 属北温带季风性气候, 年平均气温 6°C, 极端最高气温 33°C, 极端最低气温 - 32°C, 年平均降水量 800~1 200 mm。钻天杨林位于南庙村 (124°16'E, 40°54'N), 平均树高为 14.86 m,

平均胸径为 15.42 cm, 树龄 10 年; 山杨林位于赛马村(124°15'E, 40°59'N), 平均树高为 7.18 m, 平均胸径为 8.83 cm, 树龄 7 年。

## 1.2 研究方法

**1.2.1 样树的选择及木段的解剖** 2013 年 5 月和 2014 年 4 月在设定好的钻天杨和山杨两块样地中(40 m × 40 m), 其中钻天杨样地中共有 54 株, 山杨样地中共有 76 株, 分别完全随机选取 20 株健康钻天杨和山杨进行环割作为诱木, 即在距离地面约 30 cm 处环形剥去树皮。树势衰弱一年后, 成功招引到弗氏窄吉丁。在 2014 和 2015 年 4—9 月进行木段的解剖及林间的调查工作, 试验过程中, 优先选择环割并受弗氏窄吉丁危害的树木, 其次为未环割但受弗氏窄吉丁危害的树木, 将感虫株截成 70 cm/段, 编号后带回室内解剖。

**1.2.2 两寄主树种的受害状、有虫株率和虫口密度调查** 首先对比两树种的受害株与健康株外观上的差异; 其次对比两树种树皮的受害情况, 最后比较虫道的特点。在已设定好的两块样地内, 定期林间踏查, 以计算每块样地的有虫株率。解剖调查死亡树上的害虫种类、虫态、虫体所在高度、死亡数量、致死因子等数据, 根据受害株数, 计算每株树上的平均虫口数量。同时试验进一步分析了虫口密度与树胸径大小、树高之间的相关关系。

**1.2.3 弗氏窄吉丁对两树种危害特点的调查方法**

卵期: 调查统计卵在不同树种上的孵化率。根据受害程度的不同, 选取 5 株已受害的钻天杨及 1 株已受害的山杨, 将其截成段编号并标记, 置于室内玻璃缸内使成虫自然羽化, 根据寄主树种的不同, 将其分开饲养。每日定时收集新产的卵, 取新产卵各 60 粒, 来源于钻天杨与山杨吉丁虫所产的卵各分为 3 组, 每组 20 粒并置于指形管内, 室温下保湿培养直至孵化, 记录寄主名称、产卵日期、孵化日期、卵总数量及孵化的数量, 并利用华图 S320EH 型温湿度记录仪(深圳华图测控系统有限公司)记录每天 2:00, 8:00,

14:00, 20:00 的温湿度, 以求得每日平均温湿度。

幼虫期: 林间定期调查收集幼虫, 并测量虫道的长度与宽度, 制作长度随日期的变化图与宽度的频次分布图。同时记录幼虫虫道的特点, 如幼虫蛀道随时间的变化情况、蛀道方向等。

蛹期: 测量两树种上蛹室的长度、宽度及深度。由于解剖木段时已经将树皮撕开, 因此该深度表示蛹室最深处到木质部表面的距离, 并调查记录蛹越冬的部位。

**1.2.4 弗氏窄吉丁成虫羽化孔的垂直分布** 试验过程中, 记录弗氏窄吉丁成虫羽化孔距地面的高度, 统计在两树种上危害的分布范围。由于钻天杨与山杨高度相差较大, 虫口分布范围不一致, 因此在钻天杨树上以 1 m 为单位等级, 在山杨树上以 0.5 m 作为一个等级进行统计。

**1.2.5 弗氏窄吉丁及其主要天敌的空间生态位宽度和生态位重叠** 在设定好的钻天杨和山杨样地内, 选取受蛀干害虫危害的树, 伐倒后按 0~70 cm、70~140 cm、140~210 cm、210~280 cm、..., 70 cm 每段进行划分, 木段解剖过程中记录弗氏窄吉丁幼虫的数量和高度, 以及幼虫寄生蜂的种类和数量。生态位宽度的计算公式

为:  $B = 1 / \sum_{i=1}^s P_i^2(s)$ , 式中:  $P_i$  表示一个资源集

合中, 第  $i$  单元中该物种所占的比例, 本文为某部位的弗氏窄吉丁幼虫数在整个取样部位弗氏窄吉丁幼虫数量的比例;  $s$  表示资源集合中的总单元数, 本文为取样的木段数(徐汝梅, 1987; 王自力等, 2011; 陈洪凡, 2015)。生态位重叠

的计算公式为:  $a_{ij} = \sum_{h=1}^n P_{ih} P_{jh} (B_i)$ , 式中:  $P_{ih}$  和  $P_{jh}$  分别表示第  $i$  和第  $j$  个物种在资源集第  $h$  个单元中的比例;  $B_i$  表示第  $i$  种的生态位宽度(Morris, 1959; Schoener, 1982)。

**1.2.6 数据统计与分析** 试验所获得数据在 Excel 2013 中进行整理, 危害程度的差异性、卵的孵化率等用 SPSS 19.0 数据处理系统进行分析。两树种的自然受害株率和人工胁迫后的受害株率比较采用 Fisher 精确检验方法进行, 虫口密度的差异比较采用  $t$ -检验进行, 虫口密度与树

高、胸径的关系采用简单相关分析的方法。两树种间弗氏窄吉丁卵孵化率差异显著性比较、幼虫蛀道方向差异比较采用卡方检验进行,两树种上弗氏窄吉丁幼虫蛀道长短、蛹室的对比采用  $t$ -检验方法(薛薇, 2011)。

## 2 结果与分析

### 2.1 两种寄主树种上受害状、有虫株率与虫口密度

试验所选两种杨树受弗氏窄吉丁危害后,外观表现不一。整体外观来看,与健康株相比,两树种在受害后均表现为树势衰弱,叶片变黄,树枝枯梢等症状(图 1)。山杨树皮较光滑,受害处为深褐色、有纵裂,与健康株差别明显;钻天杨的树皮较为粗糙,受害株与健康株在外观上难以有效辨别(图 2)。弗氏窄吉丁成虫羽化出孔后,在树皮上留下一“D”形羽化孔,是最明显的危害特点。弗氏窄吉丁卵孵化为幼虫后,首先蛀入树皮,而后逐渐向内蛀食,依次危害韧皮部、形成层和木质部。剖开树皮发现其幼虫蛀道呈“S”型,内充满新鲜虫粪,由于幼虫蛀食韧皮部及木质部,导致筛管及导管的运输能力下降,致使树势衰弱,最终引起树木的死亡。

根据 2015 年对 20 株山杨及 20 株钻天杨的调查,得到两种树种的受害株率及虫口密度。钻天杨和山杨的自然受害株率分别为 11.76% 和 0,经 Fisher 精确检验,钻天杨的自然受害率显著高

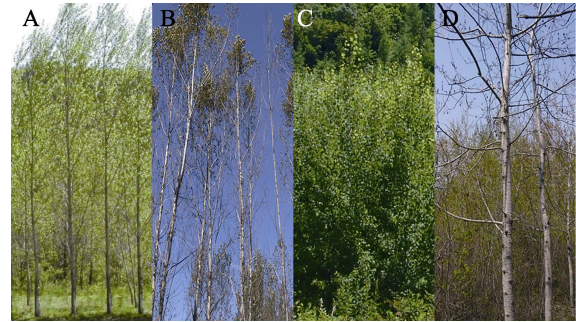


图 1 两种杨树林受害状

Fig. 1 Damage symptoms of two species of poplar forests

- A. 健康钻天杨林 Healthy *Populus nigra* var. *italica* stand ; B. 受害钻天杨林 Infested *Populus nigra* var. *italica* stand ; C. 健康山杨林 Healthy *Populus davidiana* stand ; D. 受害山杨林 Infested *Populus davidiana* stand.



图 2 两种杨树树皮特征及受害状

Fig. 2 Bark of the two host poplar trees

- A. 钻天杨树皮特征 Characteristics of *Populus nigra* var. *italica* bark ; B. 山杨树皮特征及受害状 Characteristics of *Populus davidiana* bark and its damage symptoms.

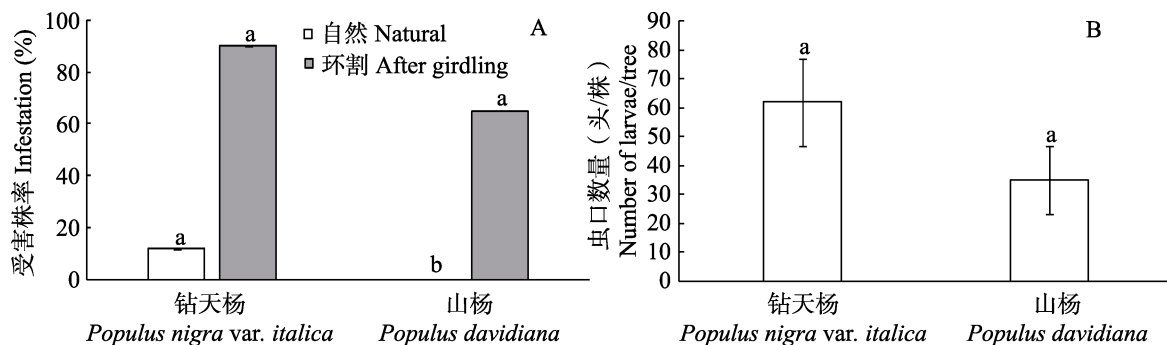


图 3 两种杨树受害株率(A)和虫口密度(B)情况对比

Fig. 3 Comparison of infestation rates (A) and population densities (B) between *Populus nigra* var. *italica* and *Populus davidiana*

柱上标有不同的字母表示在 5% 的水平上差异显著。下图同。

Histograms with the different letters indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

于山杨 ( $P=0.018$ ,  $n=90$ ) (图 3:A)。人工环割样树衰弱后的钻天杨和山杨的受害株率分别为 90% 和 65%, 经 Fisher 精确检验二者差异不显著 ( $P=0.127$ ,  $n=40$ )。钻天杨的虫口密度为 61.95 头/株, 山杨为 34.89 头/株, 经  $t$ -检验, 二者无显著差异 ( $df=27$ ,  $t=-1.094$ ,  $P=0.284$ ) (图 3:B)。

考虑到山杨树龄和大小明显较钻天杨小, 因此将虫口密度与两种树的胸径和树高做相关分析, 结果显示钻天杨胸径 ( $df=1, 18$ ,  $r=0.082$ ,  $P=0.730$ ) 和山杨胸径 ( $df=1, 7$ ,  $r=0.197$ ,  $P=0.612$ ) 与虫口密度均无明显相关性 (图 4:A, B), 钻天杨树高 ( $df=1, 18$ ,  $r=0.318$ ,  $P=0.171$ ) 和山杨树高 ( $df=1, 7$ ,  $r=-0.155$ ,  $P=0.692$ ) 与虫口密度也不存在明显相关关系 (图 4:C, D)。

## 2.2 弗氏窄吉丁对两树种危害特点

### 2.2.1 卵 室温条件下 (平均温度 23℃), 寄主

为山杨的吉丁虫所产卵的孵化率为 77.61%, 与寄主为钻天杨的吉丁虫所产卵孵化率 91.78% 之间差异显著 ( $df=1$ , 似然比卡方  $\chi^2=5.623$ ,  $P=0.018$ ) (图 5)。

### 2.2.2 幼虫

通过林间调查, 在钻天杨树上共记录了 102 头幼虫的蛀道方向, 有 45.10% ( $n=46$ ) 的幼虫向上蛀食, 54.90% ( $n=56$ ) 向下蛀食危害。在山杨树上共记录了 37 头幼虫的蛀道方向, 有 56.76% ( $n=21$ ) 的幼虫蛀道向上, 43.24% ( $n=16$ ) 向下。弗氏窄吉丁幼虫在两树种间的蛀道分布方向也没有明显不同 ( $df=1$ ,  $\chi^2=1.480$ ,  $P=0.224$ ) (图 6:A)。

根据收集到的蛀道长度数据, 发现在钻天杨树上 1 头幼虫完整的蛀道平均长度为 48.68 cm (28.60 ~ 77.00 cm,  $n=37$ ), 在山杨树上 1 头幼虫完整的蛀道平均长度为 29.59 cm (15.80 ~

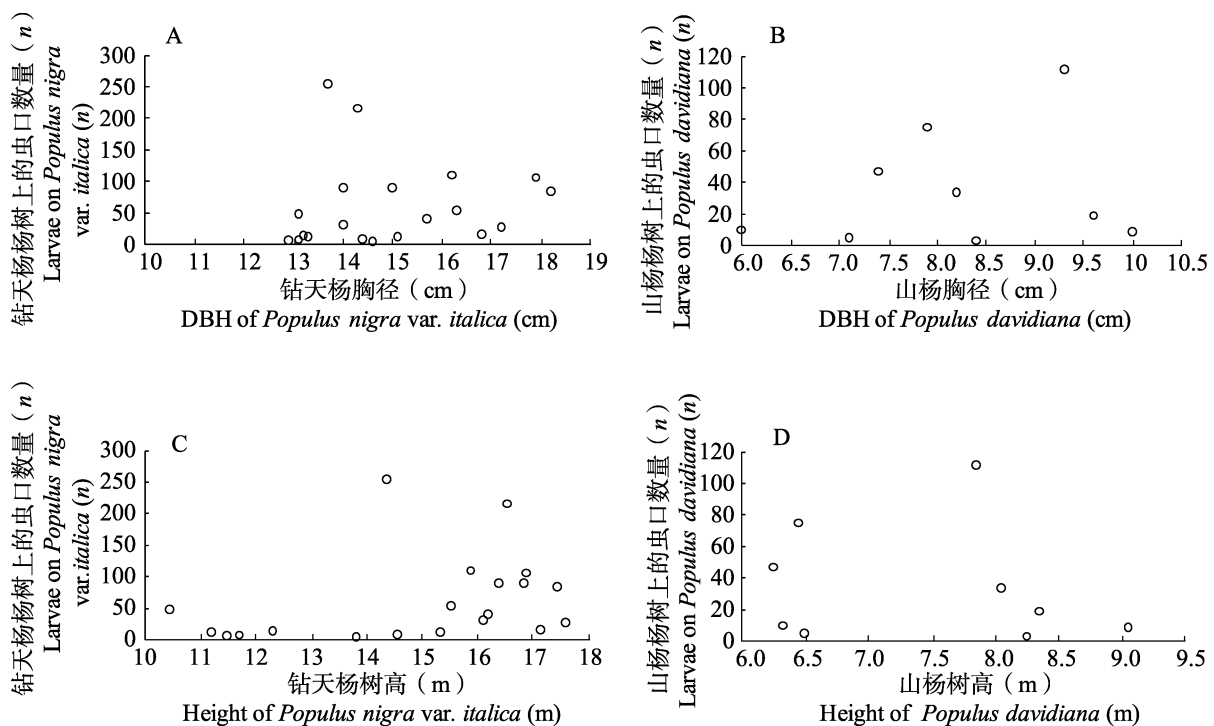


图 4 两树种上虫口密度与胸径、树高的关系

Fig. 4 Relationship between population density of the two species of host trees and diameter at breast height (DBH) and height of the trees

A. 钻天杨胸径与虫口密度; B. 山杨胸径与虫口密度; C. 钻天杨树高与虫口密度; D. 山杨树高与虫口密度。

A. Larval population density and DBH of *Populus nigra* var. *italica*; B. Larval population density and DBH of *Populus davidiana*; C. Larval population density and height of *Populus nigra* var. *italica*;

D. Larval population density and height of *Populus davidiana*.

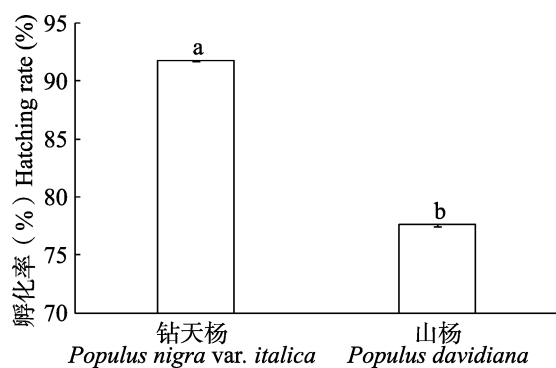


图5 弗氏窄吉丁卵在两树种上的孵化率

Fig. 5 Hatching rate of eggs of *Agrilus fleischeri* on *Populus nigra var. italica* and *Populus davidiana*

42.10 cm,  $n = 15$ ), 经  $t$ -检验二者具有明显差异 ( $df=50$ ,  $t=6.925$ ,  $P<0.001$ )。随着幼虫的发育, 蛀道的长度逐渐增长, 在老熟幼虫阶段增长变慢直至进入蛹室后不再增长, 相关方程为  $y = 0.008x^2 + 0.481x + 2.646$  ( $df = 2, 92$ ,  $P < 0.001$ ,  $F = 115.706$ ,  $R^2 = 0.720$ )。该方程以 7 月 8 日为起始

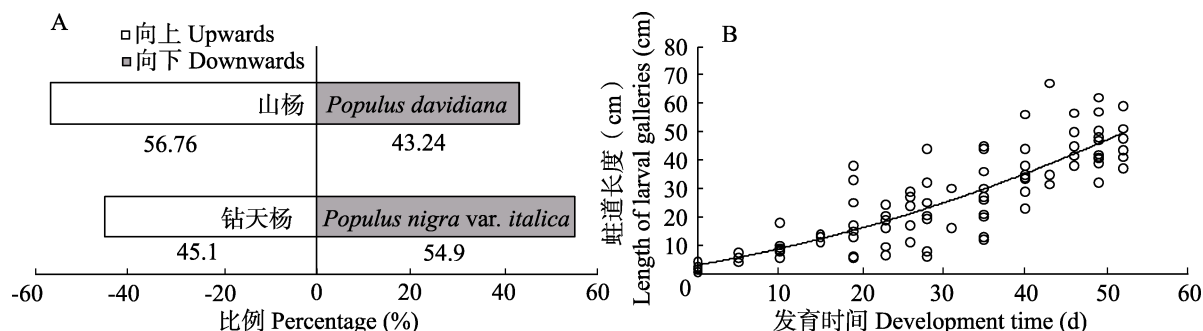


图6 弗氏窄吉丁幼虫的蛀道方向 (A) 和长度 (B)

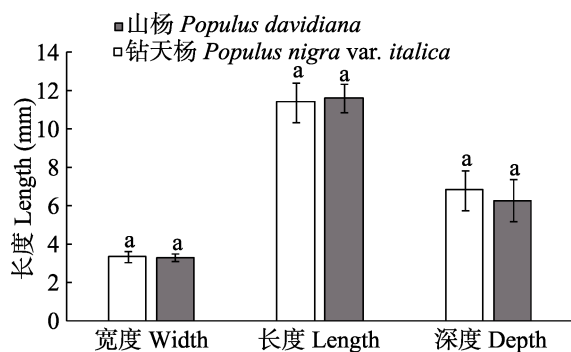
Fig. 6 Galleries of *Agrilus fleischeri* larval gallery directions (A) and lengths (B)

图7 两树种上弗氏窄吉丁蛹室的对比

Fig. 7 Pupal chambers on two species of poplar trees

### 2.3 弗氏窄吉丁成虫羽化孔的垂直分布特点

根据调查所得数据, 制作弗氏窄吉丁成虫羽

化孔在两树种上的高度分布图。结果发现, 在钻天杨树上, 成虫羽化孔主要分布在 1~6 m 的主干, 占总羽化孔数量的 61.07 %; 山杨树上成虫羽化孔主要分布在 1~3 m 的主干, 占总羽化孔数量的 66.66 % (图 8)。

2.2.3 蛹 通过解剖木段发现, 在山杨树上弗氏窄吉丁的越冬场所均为木质部。在钻天杨树上, 弗氏窄吉丁的主要越冬场所为木质部, 调查发现有极少数的老熟幼虫在韧皮部内制作蛹室。通过测量并经  $t$ -检验后, 发现钻天杨树上蛹室的平均长度为 11.38 mm, 山杨树上为 11.59 mm, 二者差异不明显 ( $df=41$ ,  $t = -0.623$ ,  $P=0.537$ ); 钻天杨树上蛹室的平均宽度为 3.31 mm, 山杨树上的平均宽度为 3.29 mm, 二者之间差异不显著 ( $df=41$ ,  $t=0.231$ ,  $P=0.819$ ); 钻天杨树上蛹室的平均深度为 6.81 mm, 山杨树上为 6.25 mm, 深度无明显差异 ( $df=41$ ,  $t=1.527$ ,  $P=0.134$ ) (图 7)。

化孔在两种树种上的高度分布图。结果发现, 在钻天杨树上, 成虫羽化孔主要分布在 1~6 m 的主干, 占总羽化孔数量的 61.07 %; 山杨树上成虫羽化孔主要分布在 1~3 m 的主干, 占总羽化孔数量的 66.66 % (图 8)。

### 2.4 弗氏窄吉丁及重要天敌的空间生态位宽度和生态位重叠

弗氏窄吉丁幼虫在钻天杨树上的生态位宽度为 0.53, 山杨为 0.32 (表 1 和表 2)。在钻天杨林中, 皱腹矛茧蜂 *Polystenus rugosus* Foerster 与光翅瘿蜂 *Paramblynotus* sp. 的重叠指数为 0, 这是因为光翅瘿蜂主要发生期为 4 月底 5 月初,

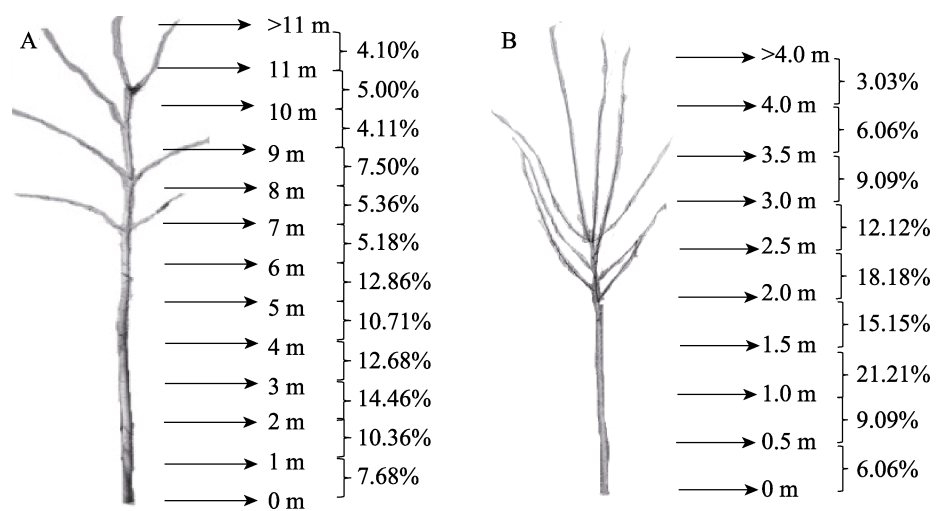


图 8 弗氏窄吉丁成虫羽化孔在两树种上的分布  
Fig. 8 Distribution of exit holes on the two host poplar trees  
A. 钻天杨 *Populus nigra* var. *italica*; B. 山杨 *Populus davidiana*.

即弗氏窄吉丁老熟幼虫阶段,而皱腹矛茧蜂主要发生期为 8 月中下旬,即弗氏窄吉丁幼虫大龄阶段。又因光翅瘦蜂寄生的幼虫数量远高于皱腹矛茧蜂所寄生幼虫的数量,所以弗氏窄吉丁幼虫与光翅瘦蜂的重叠指数(0.15, 0.12)高于弗氏窄吉丁幼虫与皱腹矛茧蜂的重叠指数(0.03, 0.01)。在山杨林中,弗氏窄吉丁幼虫的天敌有弗氏窄吉丁艾姬小蜂 *Euderus fleischeri* Yang、皱腹矛茧蜂和柄腹茧蜂 *Spathius* sp.。寄生蜂之间重叠指数最高的为弗氏窄吉丁艾姬小蜂和皱腹矛茧蜂,达到了 0.14,这是因为两种寄生蜂的数量较多、发生时间有重叠,竞争较为激烈。林间调查只发现一头幼虫被柄腹茧蜂寄生,导致其与其他物种的重

叠指数较小。

3 结论与讨论

钻天杨的自然受害株率及受胁迫后的受害株率均高于山杨,虫口密度钻天杨也高于山杨,说明钻天杨受害较山杨严重。根据成虫羽化孔在两树种上的分布规律,可方便快捷地进行林间弗氏窄吉丁虫情调查和危害程度的预估,同时也可作为生产防治该虫成虫提供指导,如羽化前采用触杀型药剂喷干处理防治出孔期成虫。由于树龄的不同,试验中两种杨树的胸径、树高存在一定差别,这对于试验结果有一定的影响。因此关于杨树胸径、树高对于危害株率、虫口密度的影响还

表 1 钻天杨树上弗氏窄吉丁幼虫及其天敌的生态位宽度和生态位重叠  
Table 1 Spatial niche breadth and spatial overlap of *Agrilus fleischeri* larvae and their natural enemies on *Populus nigra* var. *italica*

|                                       | 生态位宽度<br>Niche breadth | 生态位重叠 Niche overlap                   |                                  |                                    |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
|                                       |                        | 弗氏窄吉丁幼虫<br><i>A. fleischeri</i> larva | 光翅瘦蜂<br><i>Paramblynotus</i> sp. | 皱腹矛茧蜂<br><i>Polystenus rugosus</i> |
| 弗氏窄吉丁幼虫<br><i>A. fleischeri</i> larva | 0.53                   | 1.00                                  | 0.15                             | 0.03                               |
| 光翅瘦蜂<br><i>Paramblynotus</i> sp.      | 0.42                   | 0.12                                  | 1.00                             | 0                                  |
| 皱腹矛茧蜂<br><i>Polystenus rugosus</i>    | 0.08                   | 0.01                                  | 0                                | 1.00                               |

表 2 山杨树上弗氏窄吉丁幼虫及其天敌的生态位宽度和生态位重叠  
Table 2 Spatial niche breadth and spatial overlap of *Agrilus fleischeri* larvae and their natural enemies on *Populus davidiana*

|                                        | 生态位宽度<br>Niche breadth | 生态位重叠 Niche overlap                |                                     |                                 |                          |
|----------------------------------------|------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
|                                        |                        | 弗氏窄吉丁幼虫 <i>A. fleischeri</i> larva | 弗氏窄吉丁艾姬小蜂 <i>Euderus fleischeri</i> | 皱腹矛茧蜂 <i>Polystenus rugosus</i> | 柄腹茧蜂 <i>Spathius</i> sp. |
| 弗氏窄吉丁幼虫<br><i>A. fleischeri</i> larva  | 0.32                   | 1.00                               | 0.11                                | 0.15                            | 0.05                     |
| 弗氏窄吉丁艾姬小蜂<br><i>Euderus fleischeri</i> | 0.23                   | 0.09                               | 1.00                                | 0.14                            | 0.03                     |
| 皱腹矛茧蜂<br><i>Polystenus rugosus</i>     | 0.24                   | 0.1                                | 0.14                                | 1.00                            | 0.04                     |
| 柄腹茧蜂<br><i>Spathius</i> sp.            | 0.10                   | 0.03                               | 0.03                                | 0.04                            | 1.00                     |

需进一步完善。

生态位宽度反映的是物种对一定生活环境的占据程度。但是生态位不能反映害虫的数量,结合前部分调查的虫口密度结果,表明该虫在钻天杨树上分布范围更广、虫口数量更多,这也证实了钻天杨比山杨对弗氏窄吉丁更为敏感。生态位重叠是度量物种间对生态位共享程度的一个指标,反映的是群落中物种对空间、食物及其它资源的利用程度与关系(刘贵河等, 2013)。本研究测量了弗氏窄吉丁及其幼虫天敌的生态位,获知了不同种类的天敌对同一害虫的控制作用大小,明确了优势天敌的种类,为天敌的保护和利用提供了依据。在钻天杨林中幼虫期的主要天敌为光翅瘿蜂,寄生率高达 52%,但目前关于该蜂生物学特性还未见报道,还需进一步深入探索。在山杨林中主要天敌是弗氏窄吉丁艾姬小蜂和皱腹矛茧蜂,二者对弗氏窄吉丁均有良好的寄生作用。研究这 3 种寄生蜂的人工利用技术,则将成为弗氏窄吉丁生物防治的重要天敌资源。

不同寄主植物自身结构特点和化学成分的不同,导致害虫的生长发育和繁殖的不同,进而对其生活史特点造成显著影响。弗氏窄吉丁的卵多产在树皮缝之间等隐蔽处,钻天杨的树皮粗糙、纵裂较多,从而为雌虫产卵提供了适宜的场所,而山杨的树皮较光滑、致密,成虫所产卵易受天敌、雨水冲刷等因素干扰,因此树皮的结构特点决定了钻天杨比山杨更适合产卵。此外,不

同种类的植物组织中所含的化学成份和含量不同,对昆虫的生长发育也必然造成不同的影响。杜以梅等(2015)等研究 B 型烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 在选择不同茄子品种时发现,该虫在抗性较强的品种上,从卵到成虫的发育存活率越低,世代发育历期也较短。曹宇等(2011)研究发现西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Pergande) 的繁殖力与寄主植物叶片可溶性蛋白质含量存在正相关关系。本研究中两种寄主上弗氏窄吉丁卵孵化率在室内相同的条件下测定,这与林间实际情况可能存在一定的差异。有些钻蛀性害虫的幼虫在不同寄主植物上的蛀道长短存在显著差异,美洲斑潜蝇 *Liriomyza sativae* Blanchard 可取食危害芸豆、青瓜和番茄,但该虫在芸豆上的蛀道最长,这与芸豆是该虫最喜好的寄主相吻合(余道坚等, 1997)。本研究中幼虫在钻天杨树上的蛀道显著长于山杨树上的蛀道,表明幼虫更偏向于蛀食钻天杨。

我国的本地害虫对本土树种危害较轻,而外来引进的树种则表现出较差的抗虫性,如萧氏松茎象 *Hylobitelus xiaoi* Zhang 严重危害外来引进树种湿地松 *Pinus elliottii* Engelm.、火炬松 *P. taeda* L.等,而对我国的本地树种马尾松 *P. massoniana* Lamb.、华山松 *P. armandii* Franch. 等危害较轻(温小遂等, 2004;戴立霞等, 2006);白蜡窄吉丁 *Agrilus planinennis* Fairmaire 对北美树种美国白蜡 *Fraxinus americana* L.、洋白蜡

*F. velutina* Torr 危害较重, 对我国本土树种水曲柳 *F. mandshurica* Rupr. 危害较轻 (王小艺, 2005); 光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) 严重危害黑杨派树种如箭杆杨 *Populus nigra* var. *thevestina*, 而对我国本地的白杨派树种危害较轻, 如毛白杨 *P. tomentosa* 不易受害 (Haack *et al.*, 1997; 赵同海等, 2007)。本地树种通过进化所拥有的抗虫性使得本地害虫的种群密度维持在较低的水平, 当引进与本地树种亲缘关系较近的树种时, 害虫暴发风险增大, 这样不仅对外来树种造成巨大的损失, 并且害虫种群数量的剧增也使得本地树种遭受更严重的危害 (赵同海等, 2007)。因此在弗氏窄吉丁危害较重的地区, 可充分挖掘和利用本地的优良树种资源, 以降低危害程度。此外, 当需要引进外来树种时, 还应全面评估本地害虫对外来树种的危害及影响, 将虫害控制在环境可承受程度范围之内, 从而实现生态系统的稳定, 最终实现森林的可持续发展。

## 参考文献 (References)

- Cao Y, Zhi JR, Kong YX, 2011. Relationships between fertility of *Frankliniella occidentalis* and nutrient contents in host foliage. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(3): 524–529. [曹宇, 郅军锐, 孔译贤, 2011. 西花蓟马繁殖力与寄主营养物质的关系. 应用昆虫学报, 48(3): 524–529.]
- Cappaert D, McCullough DG, Poland TM, Siegert NW, 2005. Emerald ash borer in North America: a research and regulatory challenge. *American Entomology*, 51(3): 152–165.
- Chen HF, Huang JH, 2015. A comparative study on time niche of rice planthoppers and their natural enemies in paddy fields by the yellow board trap sampling. *Journal of Environmental Entomology*, 37(2): 258–262. [陈洪凡, 黄建华, 2015. 黄板诱集法取样下稻田稻飞虱及其天敌种群的时间生态位研究. 环境昆虫学报, 37(2): 258–262.]
- Dai LX, Li X, Wang MX, Zhang ZP, Chen LC, 2006. Studies on biology and control techniques of *Hylobius xiaoi*. *Scientia Silvae Sinicae*, 42(7): 60–65. [戴立霞, 李恂, 王明旭, 张占平, 陈良昌, 2006. 萧氏松茎象的生物学特性和防治技术. 林业科学, 42(7): 60–65.]
- Delectis Florae Reipublicae Popularis Sinicae, Agendae Academiae, 1984. *Populus* L. Flora Reipublicae Popularis Sinicae, Tomus 20(2). Beijing: Science Press. 11–64. [中国科学院中国植物志编辑委员会, 1984. 杨属 *Populus* L. 中国植物志, 第二十卷第二分册. 北京: 科学出版社. 11–64.]
- Du YM, Sun W, Liu XN, Du YZ, 2015. Selectivity and fitness of the *Bemisia tabaci* B-biotype with regard to different varieties of eggplant, *Solanum melongena*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(1): 80–88. [杜以梅, 孙伟, 刘晓娜, 杜予州, 2015. B 型烟粉虱对不同茄子品种的选择及适生性分析. 应用昆虫学报, 52(1): 80–88.]
- Guo JY, Yang Y, Cong L, Chen T, Wan FH, 2011. Development fitness of *Bemisia tabaci* B-biotype feeding on different host plants. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(1): 43–47. [郭建英, 杨洋, 丛林, 陈婷, 万方浩, 2011. 不同寄主植物对 B 型烟粉虱发育适合度的影响. 应用昆虫学报, 48(1): 43–47.]
- Haack RA, Law KR, Mastro VC, Ossenbruggen HS, Raimo BJ, 1997. New York's battle with the Asian long-horned beetle. *Journal of Forestry*, 95(12): 11–15.
- Hamiti, Bahaiti J, Wei JR, 2012. Occurrence and damage of *Saperda carcharias* in Emin County of Xinjiang Uygur Autonomous Region. *Plant Protection*, 38(6): 151–153. [哈密提, 巴海提·居马汗, 魏建荣, 2012. 新疆额敏县山杨楔天牛发生与为害调查. 植物保护, 38(6): 151–153.]
- Jendek E, Grebennikov V, 2011. *Agrilus* of East Asia. Prague: Jan Farkac. 95–96.
- Jin YR, 2013. Identification and management of wood borers on poplar trees in Lingyuan region. *Protection Forest Science and Technology*, (4): 90–91. [金亚荣, 2013. 凌源地区杨树蛀干害虫的识别及防治. 防护林科技, (4): 90–91.]
- Liu GH, Hao SG, Shao XQ, Zhang YJ, Wang SP, 2013. Diet composition and trophic niche of *Oedaleus asiaticus* (Orthoptera: Acrididae) in natural grasslands under different grazing pressure in Inner Mongolia, northern China (In English). *Acta Entomologica Sinica*, 56(5): 537–547. [刘贵河, 郝树广, 邵新庆, 张英俊, 汪诗平, 2013. 内蒙古天然草原不同放牧压力下亚洲小车蝗的食性及营养生态位(英文). 昆虫学报, 56(5): 537–547.]
- Luo JC, Liu CZ, Zhou ZX, 2012. A comparative study of development and reproduction of the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae), on different host plants. *Acta Entomologica Sinica*, 55(1): 84–90. [罗进仓, 刘长仲, 周昭旭, 2012. 不同寄主植物上马铃薯甲虫种群生长发育的比较研究. 昆虫学报, 55(1): 84–90.]
- Morris RF, 1959. Single-factor analysis in population dynamics. *Ecology*, 40(4): 580–588.
- Schoener TWA, 1982. Intraspecific variation in home range size in some *Anolis* lizards. *Ecology*, 63(3): 809–823.
- Sheng WT, 2014. Plantation Forest and Their Silviculture Systems in China. Beijing: Chinese Forestry Publishing House. 29–30. [盛

- 炜彤, 2014. 中国人工林及其育林体系. 北京: 中国林业出版社. 29–30.]
- Wang XY, 2005. Biology of the emerald ash borer and its biological control. Postdoctoral Research Report. Beijing: Chinese Academy of Forestry. [王小艺, 2005. 白蜡窄吉丁的生物学及其生物防治研究. 博士后出站报告. 北京: 中国林业科学研究院.]
- Wang XY, Yang ZQ, Gould JR, Zhang YN, Liu GJ, Liu ES, 2010. The biology and ecology of the emerald ash borer, *Agrilus planipennis*, in China. *Journal of Insect Science*, 10(1): 128.
- Wang ZY, 2013. Research on biological control of *Agrilus mali* Matsumura (Coleoptera: Buprestidae) in stands of *Malus sieversii* in Xinjiang. Doctoral dissertation. Beijing: Chinese Academy of Forestry. [王智勇, 2013. 新疆野苹果林苹小吉丁生物防治技术研究. 博士学位论文. 北京: 中国林业科学研究院.]
- Wang ZL, Chen Y, Chen XM, Wang SY, Zhao JJ, 2011. Temporal-spatial niches of Chinese white wax scale insect (*Ericerus pela*) and its three dominant parasitoid wasps. *Acta Ecologica Sinica*, 31(4): 914–922. [王自力, 陈勇, 陈晓鸣, 王绍云, 赵杰军, 2011. 白蜡虫及其 3 种优势寄生蜂的时空生态位. 生态学报, 31(4): 914–922.]
- Wen XS, Kuang YY, Shi MQ, Luo YS, Deng RL, Sun JH, 2004. Life history, oviposition and feeding behavior of *Hylobitelus xiaoi* Zhang (Coleoptera: Curculionidae). *Acta Entomologica Sinica*, 47(5): 624–629. [温小遂, 匡元玉, 施明清, 罗永松, 邓荣林, 孙江华, 2004. 萧氏松茎象的生活史、产卵和取食习性. 昆虫学报, 47(5): 624–629.]
- Xu RM, 1987. Entomological Population Ecology. Beijing: Beijing Normal University Publishing Group. 313–316. [徐汝梅, 1987. 昆虫种群生态学. 北京: 北京师范大学出版社. 313–316.]
- Xu XP, Tan XM, Wang JQ, Zhang HY, Leng CM, Men XY, 2014. Effects of different host plants on morphological development of *Apolygus lucorum* adults. *Journal of Environmental Entomology*, 36 (5): 667–671. [许秀苹, 谭秀梅, 王吉青, 张慧妍, 冷春蒙, 门兴元, 周洪旭, 2014. 不同寄主植物对绿盲蝽成虫形态发育的影响. 环境昆虫学报, 36 (5): 667–671.]
- Xue W, 2011. Statistical Analysis and SPSS Application. Beijing: China Renmin University Press. 54–113. [薛薇, 2011. 统计分析与 SPSS 的应用. 北京: 中国人民大学出版社. 54–113.]
- Yang XF, 2013. Effect of host plant factors on occurrence and growing development and oviposition preference of *Grapholita molesta* Busck. Masteral dissertation. Baoding: Agricultural University of Hebei. [杨小凡, 2013. 寄主因子对梨小食心虫的发生生长发育及其产卵选择性的影响. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学.]
- Yu DJ, Zhang RJ, Zhou CQ, 1997. Study on larval leafmining behaviors of *Liriomyza sativae* (Diptera: Agromyzidae). *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 36(S1): 134–137. [余道坚, 张润杰, 周昌清, 1997. 美洲斑潜蝇幼虫潜食行为的研究. 中山大学学报(自然科学版), 36(S1): 134–137.]
- Zhao TH, Zhao WX, Gao RT, Zhang QW, Li GH, Liu XX, 2007. Induced outbreaks of indigenous insect species by exotic tree species. *Acta Entomologica Sinica*, 50(8): 826–833. [赵同海, 赵文霞, 高瑞桐, 张青文, 李国宏, 刘小侠, 2007. 外来树种对本地林业虫害的诱发作用. 昆虫学报, 50(8): 826–833.]