

美国白蛾对我国东北地区八种主要树种的选择及取食偏好性*

吕金言^{1,2**} 陶萌萌^{1,2} 张春文^{1,2} 叶懿^{1,2} 吴成丹^{1,2}
孟昭军^{1,2***} 严善春^{1,2***}

(1. 东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040; 2. 东北林业大学森林生态系统可持续经营教育部重点实验室, 哈尔滨 150040)

摘要 【目的】明确美国白蛾 *Hyphantria cunea* 对黑龙江省广泛分布、栽植的 8 种树木的选择及其取食适应性。【方法】采用 Y 型嗅觉仪测定美国白蛾雌雄成虫及 4 龄幼虫对紫椴 *Tilia amurensis*、黄檗 *Phellodendron amurense*、小叶杨 *Populus simonii*、兴安落叶松 *Larix gmelinii*、蒙古栎 *Quercus mongolica*、水曲柳 *Fraxinus mandshurica*、紫丁香 *Syringa oblata* 和白桦 *Betula platyphylla* 的选择反应; 养虫盒内放入 1 种树木叶片及美国白蛾 4 龄幼虫, 24 h 后分别测定 4 龄幼虫对 8 种树木的取食率。【结果】除兴安落叶松外, 美国白蛾未交尾雌虫对其余 7 种树木选择率均显著高于对照 ($P < 0.05$); 已交尾雌虫对紫椴、小叶杨、蒙古栎和水曲柳的选择显著大于对照 ($P < 0.05$); 而未交配雄虫对 8 种树木均无显著选择反应。美国白蛾 4 龄幼虫对紫椴、黄檗、小叶杨、蒙古栎、水曲柳和白桦的选择显著大于对照 ($P < 0.05$); 4 龄幼虫对紫椴的平均取食率最高, 且显著高于小叶杨、黄檗、兴安落叶松、蒙古栎、水曲柳和紫丁香 ($P < 0.05$), 对白桦、小叶杨、黄檗、兴安落叶松、蒙古栎和水曲柳的取食率显著高于紫丁香 ($P < 0.05$)。【结论】美国白蛾雌成虫和 4 龄幼虫均对紫椴、小叶杨、蒙古栎和水曲柳有明显的选择偏好, 且 4 龄幼虫对以上树木取食率显著高于紫丁香, 该 4 种树木可能为美国白蛾生长发育的适宜寄主。

关键词 美国白蛾; 寄主树木; 取食行为; 选择率

Preferences of *Hyphantria cunea* for the leaves of eight widely planted main tree species in Heilongjiang, China

LÜ Jin-Yan^{1,2**} TAO Meng-Meng^{1,2} ZHANG Chun-Wen^{1,2} YE Yi^{1,2}
WU Cheng-Dan^{1,2} MENG Zhao-Jun^{1,2***} YAN Shan-Chun^{1,2***}

(1. School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China; 2. Key Laboratory of Sustainable Forest Ecosystem Management-Ministry of Education, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract 【Objective】To investigate the selection and feeding adaptability of *Hyphantria cunea* with respect to eight widely distributed and planted trees in Heilongjiang province. 【Methods】The behavioral responses of 4th instar larvae and male and female adults to the leaf odors of *Tilia amurensis*, *Phellodendron amurense*, *Populus simonii*, *Larix gmelinii*, *Quercus mongolica*, *Fraxinus mandshurica*, *Syringa oblata* and *Betula platyphylla* were measured in a Y-type olfactometer. The leaves of a single tree species and 4th instar larvae of *H. cunea* were placed in the olfactometer and the feeding rate of larvae on the leaves was determined after 24 hours. 【Results】Unmated female moths significantly preferred the leaves of all tree species, except of *L. gmelinii*, to the control ($P < 0.05$). Mated female moths significantly preferred the leaves of *T. amurensis*, *P. simonii*, *Q. mongolica* and *F. mandshurica* to the control ($P < 0.05$). However, unmated male moths showed no significant preference for the leaves of all eight tree species over the control. Fourth instar larvae significantly preferred the leaves of *T. amurensis*, *P. amurense*, *P. simonii*, *Q. mongolica*, *F. mandshurica* and *B. platyphylla* to the control ($P < 0.05$). Fourth instar larvae fed

*资助项目 Supported projects: 国家“十四五”重点研发计划项目 (2021YFD1400300)

**第一作者 First author, E-mail: 382459967@qq.com

***共同通讯作者 Corresponding author, E-mail: mengzj2018@nefu.edu.cn; yanshanchun@126.com

收稿日期 Received: 2022-10-03; 接受日期 Accepted: 2022-12-07

significantly more on *T. amurensis* leaves than they did on those of *P. simonii*, *P. amurense*, *L. gmelinii*, *Q. mongolica*, *F. mandshurica* or *S. oblata* ($P < 0.05$). They also fed significantly more on the leaves of *B. platyphylla*, *P. simonii*, *P. amurense*, *L. gmelinii*, *Q. mongolica* and *F. mandshurica* than on those of *S. oblata* ($P < 0.05$). **[Conclusion]** Female adults and 4th instar larvae of *H. cunea* preferred the odour of leaves *T. amurensis*, *P. simonii*, *Q. mongolica* and *F. mandshurica* to those of *P. amurense*, *L. gmelinii*, *S. oblata* or *B. platyphylla*, and fourth instar larvae also consumed significantly more of the leaves of these species than those of *S. oblata*. These results suggest that *T. amurensis*, *P. simonii*, *Q. mongolica* and *F. mandshurica* could be suitable hosts for the growth and development of *H. cunea*.

Key words *Hyphantria cunea*; host trees; feeding behavior; selective rate

美国白蛾 *Hyphantria cunea*, 属鳞翅目 Lepidoptera, 目夜蛾科 Erebidae, 灯蛾亚科 Arctiinae (韩辉林, 2019), 是世界性检疫害虫, 现已分布于我国 14 个省(自治区、直辖市)的 611 个县级行政区, 扩散速度极为迅猛(国家林业和草原局公告, 2022)。美国白蛾取食量大、分布范围广、繁殖和适应能力强(邓煜等, 2016), 世界范围内寄主植物多达 630 余种(Sullivan and Ozman-Sullivan, 2012), 国内主要有桑树 *Norus alba*、糖槭 *Acer saccharum*、梧桐 *Firmiana simplex* 等超 300 种植物受其危害(王凤琴和桑成武, 2008)。其中, 对阔叶树为害尤为严重, 每年给社会经济发展造成严重损失(赵铁珍等, 2007)。在国内自北向南的不同气候区, 美国白蛾一年可发生 1 代、2 代至多代, 以蛹越冬, 2 代、3 代出现世代重叠现象(Tadashi, 2007)。随着气候的变化, 美国白蛾的潜在适生区整体向中国北部和内陆湿度较高地区偏移, 为害面积逐渐扩大, 发生程度逐渐加重(纪烨琳等, 2019)。东北地区辽宁省、吉林省美国白蛾发生范围和数量逐年上升, 且分布区有不断向北扩散的趋势, 黑龙江作为美国白蛾潜在生境, 森林资源丰富(徐晓蕊, 2013; 林晓等, 2016), 防控形势较为严峻, 对美国白蛾进行科学有效防治是当前我国林业发展急需解决的问题。

自然界中, 植食性昆虫对寄主植物的选择及取食行为大致分为两个过程: 一是昆虫通过视觉和嗅觉获得植物信息, 远距离定位适宜的寄主植物, 并缩短与植物的距离; 二是对植物进行试探取食的过程, 即昆虫通过嗅觉、味觉和触觉近距离对植物进行比较以确定该植物是否满足自身的需要(钦俊德, 2003)。幼虫的取食偏好行为

是评价昆虫对寄主喜好程度的指标之一, 如在核桃 *Juglans regia*、苹果 *Malus pumila* 和山楂 *Crataegus pinnatifida* 3 种植物叶片同时存在时, 核桃缘吉丁 *Meliboëus ohbayashii* 成虫能准确选择寄主核桃, 且取食选择性最高(崔亚琴和宗世祥, 2021)。生态条件与地理环境的改变会导致美国白蛾的食性发生改变, 在北美, 桑和白蜡槭 *Acer negundo* 广泛分布, 但受害程度较低; 而在我国, 两者却为受害较重的常见寄主(赵铁珍, 2005)。近年, 美国白蛾对不同植物的选择取食的室内试验陆续开展, 如王芳等(2020)研究显示, 美国白蛾幼虫对江苏省宿迁地区常见园林植物悬铃木 *Platanus acerifolia*、紫叶李 *Prunus cerasifera*、樱花 *Cerasus serrulata* 和紫荆 *Cercis chinensis* 叶片的选择性较强, 其次是木槿 *Hibiscus syriacus*、金枝国槐 *Ophor japonica* 和紫薇 *Lagerstroemia indica* 叶片; 李路莎(2018)研究发现, 美国白蛾 4 龄幼虫对北京地区洋白蜡 *Fraxinus pennsylvanica*、垂柳 *Salix babylonica* 的选择率均高于金银木 *Lonicera maackii*; 而成虫对寄主的选择与幼虫的取食选择有差异, 鞠珍(2007)研究发现, 美国白蛾成虫选择桑树、垂柳显著强于紫叶李, 但幼虫取食选择结果则相反。

迄今为止, 室内测定及野外调查结果多集中于美国白蛾发生区常见寄主, 对其潜在北方适生区常见树木研究较少, 有关美国白蛾幼虫、成虫与不同树种之间的作用研究仍处于初级阶段。因此, 本研究选择黑龙江地区分布广泛的 8 种树: 紫椴 *Tilia amurensis*、黄檗 *Phellodendron amurense*、小叶杨 *Populus simonii*、兴安落叶松 *Larix gmelinii*、蒙古栎 *Quercus mongolica*、水曲

柳 *Fraxinus mandshurica*、紫丁香 *Syringa oblata* 和白桦 *Betula platyphylla*, 分别测定美国白蛾雌、雄成虫对不同树木的选择反应; 美国白蛾幼虫常群集危害, 4 龄前主要群集在网幕内取食叶片, 而 4 龄后开始破网分散, 选择不同寄主危害 (卞忠玲等, 2022), 因此本研究测定 4 龄幼虫对不同树木选择、取食行为, 分析美国白蛾成虫、幼虫对不同树木的偏好性, 为明确黑龙江省美国白蛾寄主种类及其选择、取食适应性, 对美国白蛾的科学防控与发生预测具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 供试材料

于 2021 年 6-9 月, 在东北林业大学校园内采摘小叶杨、白桦、水曲柳、蒙古栎、紫椴、黄檗、紫丁香和兴安落叶松成龄树的新鲜枝叶, 插入水瓶中进行实验。

将购买的美国白蛾卵置于温度为 $(25 \pm 1) ^\circ\text{C}$, 相对湿度为 70%-80%, 光周期为 16L:8D) 恒温培养箱中饲养, 卵孵化后用人工饲料饲养至 4 龄幼虫或成虫 (均为第一代) 待用, 卵及人工饲料均购自中国林科院森林生态环境与保护研究所昆虫病毒研发中心。

1.2 试验方法

1.2.1 美国白蛾雌雄成虫对不同树木的选择行为测定 试验操作: 用特氟龙软管顺序连接空气泵、活性炭吸附管、双孔蒸馏水瓶、气体流量计、气味源、Y 型嗅觉仪 (主臂长 30 cm, 侧臂长 25 cm, 内径 5 cm)。测试过程中, 温度为 $(25 \pm 1) ^\circ\text{C}$, 相对湿度 70%-80%, 处于黑暗条件下, 用一盏 5 W 红色灯泡控制光源; Y 管连接装有枝叶味源袋的侧臂为处理臂, 另一侧臂连接无枝叶味源袋作对照臂, 味源袋连接蒸馏水瓶、空气泵, 气流量控制在 200 mL/min; 从 Y 管主臂末端接入美国白蛾雌雄成虫。

试验设置: 供试成虫为羽化 1-3 d 的个体, 8 种树木分别与对照为一个处理组; 每组每个重复测试 20 头虫, 重复 3 次; 每次测试 5 头虫, 每

测试 4 次更换一次 Y 管。当试虫越过 Y 管各臂 1/2 处且在此区域停留 5 s 以上时, 则记为选择, 并分别记录对 Y 管各臂气味源做出选择的虫数; 计算选择率和反应率, 计算公式如下:

对照选择率 (%) =

$$\frac{\text{对照臂内总虫数}}{\text{对照臂内总虫数} + \text{处理臂内总虫数}} \times 100,$$

处理选择率 (%) =

$$\frac{\text{处理臂内总虫数}}{\text{对照臂内总虫数} + \text{处理臂内总虫数}} \times 100,$$

反应率 (%) =

$$\frac{\text{对照臂内总虫数} + \text{处理臂内总虫数}}{\text{测试总虫数}} \times 100.$$

1.2.2 美国白蛾 4 龄幼虫对不同树木的选择行为测定 试验方法及设置同成虫选择行为测定, 供试 4 龄幼虫实验前饥饿 24 h, 试验使用尺寸为主臂长 15 cm, 侧臂长 10 cm, 内径 2.5 cm 的 Y 型嗅觉仪, 从 Y 管主臂末端释放美国白蛾 4 龄幼虫。

1.2.3 美国白蛾 4 龄幼虫取食率测定 将不同树木新鲜叶片清水冲洗、晾干后称重, 分别放入养虫盒中, 每种树设置 3 次重复, 即 3 盒取食组和 1 盒对照, 取食组每盒放入 20 头美国白蛾 4 龄幼虫; 24 h 后, 分别测定对照组叶片的质量与取食组每种叶片所剩的质量, 并计算叶片失水率及取食率, 公式如下:

叶片失水率 (%) =

$$\frac{\text{原对照质量} - \text{24 h 后对照质量}}{\text{原对照质量}} \times 100,$$

$$\text{取食量 (g)} = \text{原叶片质量} - \frac{\text{取食后叶片质量}}{1 - \text{寄主失水率}},$$

$$\text{取食率 (\%)} = \frac{\text{取食量}}{\text{原叶片质量}} \times 100.$$

1.3 数据处理

采用 SPSS24.0 进行实验数据分析, 通过配对样本 *t* 检验 (Matched samples *t*-test) 分析美国白蛾 4 龄幼虫、雌雄成虫的嗅觉选择行为; 通过单因素方差分析 (One-way analysis of variance) 并使用 LSD 多重比较分析 4 龄幼虫对 8 种树木的 24 h 取食率。

2 结果与分析

2.1 美国白蛾成虫对 8 种树木的选择行为

2.1.1 美国白蛾雌成虫的嗅觉选择反应 美国白蛾未交尾雌虫对不同树木的平均反应率均超过 80%。在 8 种树木中, 除兴安落叶松、紫丁香外, 未交尾雌虫对其余 6 种树木的平均选择率均显著高于对照组[($P < 0.05$), 紫椴 ($t = -4.583$, $df=2$, $P=0.044$), 黄檗 ($t = -4.553$, $df=2$, $P=0.045$), 小叶杨 ($t = -4.352$, $df=2$, $P=0.049$),

蒙古栎 ($t = -4.912$, $df=2$, $P=0.039$), 水曲柳 ($t = -5.266$, $df=2$, $P=0.034$)], 其中, 未交尾雌虫对白桦的选择差异极显著 ($P < 0.01$, $t = -12.203$, $df=2$, $P=0.007$); 未交尾雌虫对紫丁香的平均选择率均显著低于对照组 ($P < 0.05$, $t=6.500$, $df=2$, $P=0.023$), 对兴安落叶松的选择不显著 ($P > 0.05$, $t=1.409$, $df=2$, $P=0.294$) (图 1)。结果表明, 未交尾雌虫对紫椴、黄檗、小叶杨、蒙古栎、水曲柳和白桦具有明显的趋向反应, 而显著躲避紫丁香。

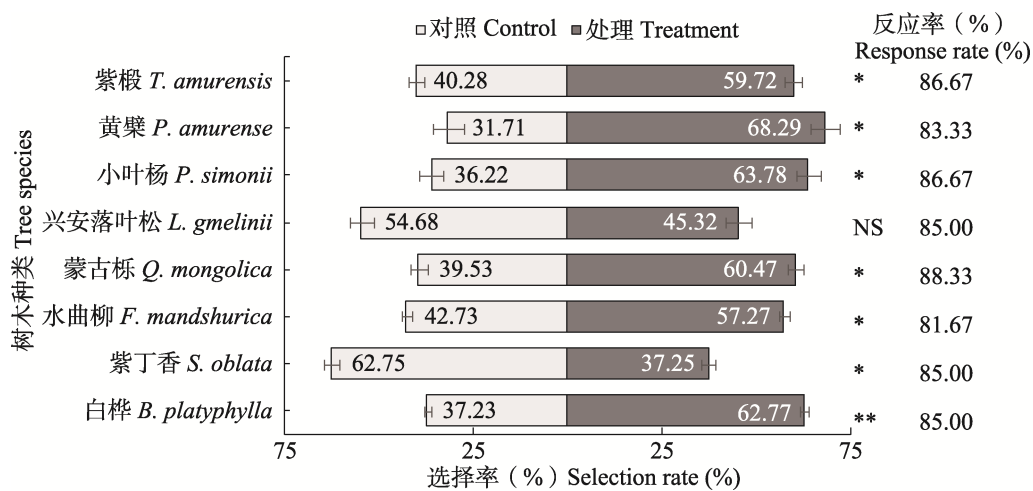


图 1 美国白蛾未交尾雌虫对 8 种树木的选择反应

Fig. 1 Selective responses of *Hyphantria cunea* unmated female adults to 8 tree species

*表示差异显著 ($P < 0.05$); **表示差异极显著 ($P < 0.01$); NS 表示差异不显著 ($P > 0.05$, 配对样本 t 检验)。图 2-图 4 同。

* indicates significant differences between the control (no branch) and treatment ($P < 0.05$); ** indicates extremely significant differences between a treatment and the control ($P < 0.01$); while NS means no significant difference ($P > 0.05$, matched samples t -test). The same as Fig.2-Fig.4.

美国白蛾已交尾雌虫对不同树木的平均反应率均达 80%以上。在 8 种树木中, 已交尾雌虫对紫椴 ($t = -4.330$, $df=2$, $P=0.049$)、小叶杨 ($t = -5.530$, $df=2$, $P=0.031$) 和水曲柳 ($t = -7.456$, $df=2$, $P=0.018$) 的平均选择率显著高于对照 ($P < 0.05$), 且对蒙古栎的选择差异极显著 ($P < 0.01$, $t = -23.500$, $df=2$, $P=0.002$); 而已交尾雌虫对其余 4 种树木的选择率与对照不显著[($P > 0.05$), 黄檗 ($t = -3.393$, $df=2$, $P=0.077$), 兴安落叶松 ($t=0.737$, $df=2$, $P=0.538$), 紫丁香 ($t = -3.967$, $df=2$, $P=0.058$), 白桦 ($t = -2.265$, $df=2$, $P=0.152$)] (图 2)。结果表明, 已交尾雌虫对紫椴、小叶

杨、蒙古栎和水曲柳有明显的趋向反应, 对其余树木的选择不显著。

2.1.2 美国白蛾未交尾雄虫的嗅觉选择反应

美国白蛾未交尾雄虫对 8 种树木的平均反应率均大于 80%。与雌蛾不同的是, 雄蛾对 8 种树木均无明显的选择[($P > 0.05$), 紫椴 ($t = -1.887$, $df=2$, $P=0.200$), 黄檗 ($t = -3.621$, $df=2$, $P=0.069$), 小叶杨 ($t = -3.477$, $df=2$, $P=0.074$), 兴安落叶松 ($t=0.500$, $df=2$, $P=0.667$), 蒙古栎 ($t=-3.632$, $df=2$, $P=0.068$), 水曲柳 ($t=3.429$, $df=2$, $P=0.076$), 紫丁香 ($t = -3.703$, $df=2$, $P=0.066$), 白桦 ($t = -1.357$, $df=2$, $P=0.308$)] (图 3)。因此,

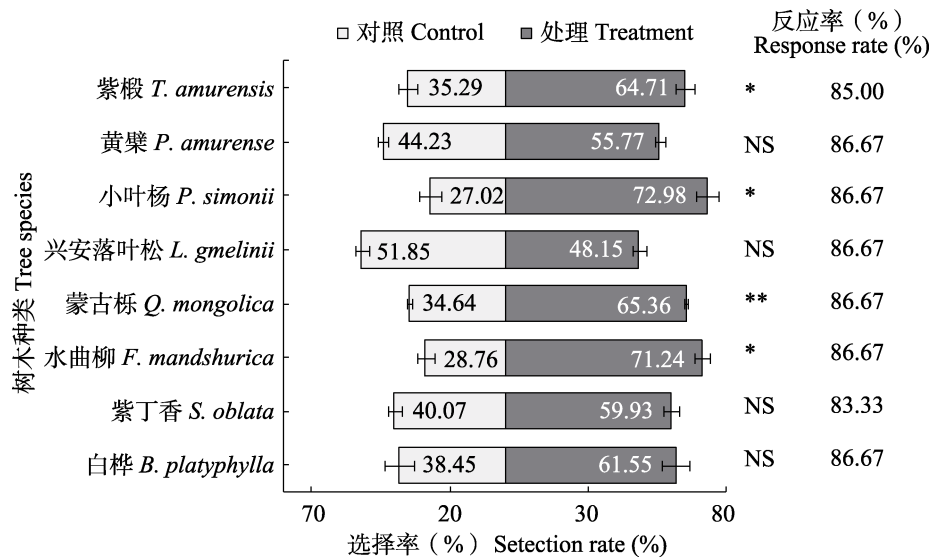


图 2 美国白蛾已交尾雌成虫对 8 种树木的选择反应

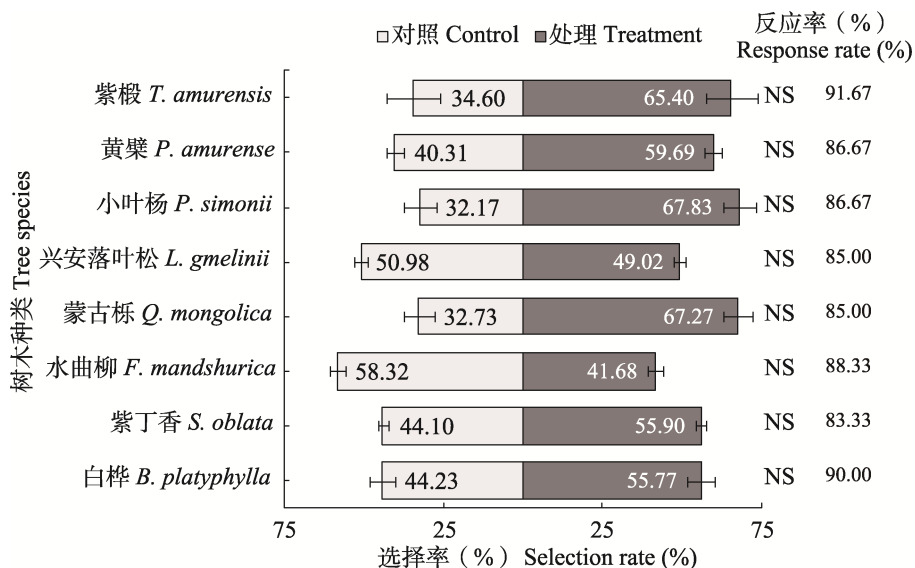
Fig. 2 Selective responses of *Hyphantria cunea* mated female adults to 8 tree species

图 3 美国白蛾未交尾雄虫对 8 种树木的选择反应

Fig. 3 Selective responses of *Hyphantria cunea* unmated male adults to 8 tree species

未交尾雄虫对 8 种树木的选择均不明显。

2.2 美国白蛾 4 龄幼虫对 8 种树木选择及取食行为

美国白蛾 4 龄幼虫对 8 种树木平均反应率均在 60% 以上。对紫椴 ($t = -5.443$, $df=2$, $P=0.032$), 黄檗 ($t = -4.763$, $df=2$, $P=0.041$), 小叶杨 ($t = -4.866$, $df=2$, $P=0.040$), 蒙古栎 ($t = -8.094$, $df=2$, $P=0.015$) 和水曲柳 ($t = -8.000$, $df=2$, $P=0.015$) 的平均选择率显著高于对照 ($P < 0.05$), 对白桦

的选择差异极显著 ($P < 0.01$, $t = -10.338$, $df=2$, $P=0.009$); 而对兴安落叶松 ($t = -0.730$, $df=2$, $P=0.541$) 和紫丁香 ($t = -3.810$, $df=2$, $P=0.620$) 的选择不显著 ($P > 0.05$) (图 4)。结果表明, 美国白蛾 4 龄幼虫对紫椴、黄檗、小叶杨、蒙古栎、水曲柳和白桦具有明显的趋向性。

美国白蛾 4 龄幼虫对 8 种树木叶片的 24 h 取食率存在差异 ($F=17.922$, $df=7$, $P < 0.05$)。其中, 4 龄幼虫对紫椴叶片的平均取食率最高, 为 45.64%, 显著高于小叶杨、黄檗、兴安落叶松、

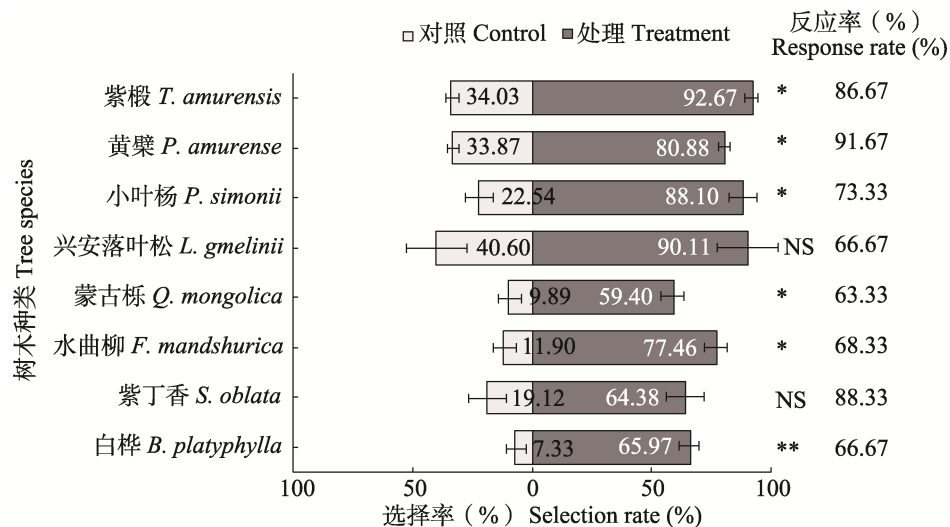


图 4 美国白蛾 4 龄幼虫对 8 种树木的选择反应

Fig. 4 Selective responses of *Hyphantria cunea* 4th instar larvae to 8 tree species

蒙古栎、水曲柳和紫丁香 ($P < 0.05$); 其次, 对白桦、小叶杨和黄檗的平均取食率居中, 分别为 37.55%、29.73%和 26.97%; 4 龄幼虫对兴安落叶松、蒙古栎和水曲柳 3 种树木叶片的平均取食率在 18.40%-20.73%之间, 且显著高于紫丁香 ($P < 0.05$); 而对紫丁香的平均取食率最低, 仅为 9.47% (图 5)。

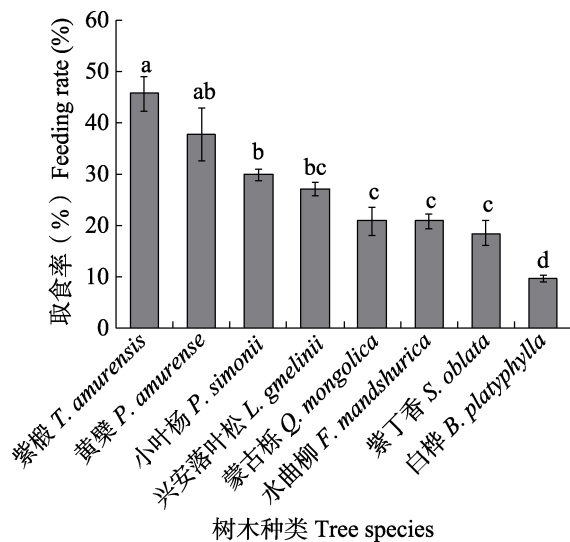


图 5 美国白蛾 4 龄幼虫对 8 种树木 24 h 取食率

Fig. 5 24 h feeding rate of *Hyphantria cunea* 4th instar larvae to 8 tree species

柱上标有不同小写字母表示差异显著

(单因素方差分析及 LSD 检验, $P < 0.05$)。

Histograms with different lowercase letters indicate significant differences (One-way analysis of variance and LSD test, $P < 0.05$).

3 结论与讨论

本实验中, 美国白蛾未交尾及已交尾雌虫对紫椴、小叶杨、蒙古栎和水曲柳均有明显的选择反应, 而未交尾雌虫对黄檗、紫丁香及白桦表现显著的趋向或躲避反应, 而已交尾雌虫对其却无明显反应, 说明雌蛾对该 3 种树木的产卵选择可能较低, 而紫椴、小叶杨、蒙古栎和水曲柳可能是美国白蛾雌虫优先选择的寄主作为食物或产卵场所。与雌蛾不同, 美国白蛾未交尾雄虫对 8 种树木均未表现明显的趋向性, 即树木对未交尾雄虫无引诱作用, 可能原因是鳞翅目昆虫雌虫主要通过感知植物释放的挥发物选择寄主、进行产卵等活动, 而雄虫主要通过远距离识别雌虫释放的性信息素, 进而定位雌虫, 完成交尾行为 (刘伟, 2020)。已有的研究表明, 华北大黑鳃金龟 *Holotrichia oblata* 雌成虫对 5 种桃树 *Prunus persica* 挥发物成分的 EAG 反应均显著高于雄成虫 (张诺等, 2021); 而同种昆虫雌雄虫对不同浓度植物挥发物的反应也可能存在差异, 如 $1 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ 的氧化芳樟醇对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 雌蛾具有明显引诱作用, 而雄蛾则显著排斥 $10 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ 的氧化芳樟醇 (钟永志等, 2020)。对植物选择行为的性别差异可能与昆虫触角感器的类型、数量及分布有关, 美国白蛾雌蛾触角无缘毛腔锥形感器, 锥形突长 ($5.75 \pm$

0.84) μm , 长度显著大于雄蛾(狄贵秋等, 2020), 推测其可能与识别植物气味, 协助雌蛾定位寄主、产卵选择有关, 而雄蛾的毛形感器明显多于雌蛾(刘丹, 2021), 因此, 美国白蛾雌蛾、雄蛾对寄主的选择行为存在差异。

本研究中, 24 h 内美国白蛾 4 龄幼虫对 8 种树木均取食, 其中对紫椴取食率显著高于小叶杨、黄檗等 6 种树木 ($P < 0.05$), 其次, 对白桦、小叶杨、黄檗、兴安落叶松、蒙古栎和水曲柳的取食率显著高于紫丁香 ($P < 0.05$)。美国白蛾幼虫对许多树种的取食选择已有研究, 如蔡东章(2019)室内测定结果表明, 4 龄幼虫对桑树、悬铃木和杨树 *Pterocarya stenoptera* 等 7 种植物具有明显的取食选择性; 而孙守慧等(2015)研究中, 5 龄幼虫对龙爪槐 *Robinia pseudoacacia* 的取食率最大(42.12%), 对山杏 *Armenianca sibirica* 的取食率最低(4.01%)。在日本, 针叶树黑松 *Pinus thunbergii* 和赤松 *Pinus densiflora* 作为常见园林观赏植物常受美国白蛾为害(Joelle *et al.*, 2018), 本实验中美国白蛾 4 龄幼虫对兴安落叶松的取食量甚至大于一些阔叶树种, 但当环境中存在喜食树种时, 可能会产生不同的取食偏好, 如赵铁珍(2005)调查研究发现, 国内美国白蛾一般情况下不为害针叶树, 但在老龄幼虫分散时也会对针叶树造成危害。自然环境中, 美国白蛾会优先选择喜食寄主, 但若出现无寄主的情况, 同样会为害针叶树等非寄主树木; 因此, 针叶林广泛分布地区, 对于美国白蛾的预报及防治也不容忽视。王伟和姚昌盛(2020)研究发现, 饲喂水杉 *Metasequoia glyptostroboides* 仅能满足美国白蛾低龄幼虫的生长, 饲喂杨树 *Populus* 的幼虫体长最长, 饲喂垂柳 *Salix babylonica* 和东京樱花 *Cerasus yedoensis* 的幼虫和蛹最重; 幼虫的生长发育, 对植物的敏感性和适应程度可能对成虫或下一代幼虫的寄主选择产生一定影响, 因此进一步研究美国白蛾取食不同树种的营养效应指标、生长发育指标等, 有助于更好的探明美国白蛾对寄主植物的取食偏好及生态适应机制, 为预测其在黑龙江省的潜在生境提供科学依据。

美国白蛾 4 龄幼虫及未交尾、已交尾雌蛾均对紫椴、小叶杨、蒙古栎和水曲柳具有显著的选择反应, 且 4 龄幼虫对 4 种树木的 24 h 取食率较高, 推测以上 4 种树木是美国白蛾适宜寄主, 可为其提供食物及产卵场所; 试验中 4 龄幼虫平均反应率低于成虫, 可能由于多数鳞翅目昆虫幼期移动能力较弱, 从而会有很强的选择压促使雌成虫为其后代选择合适的寄主所致(Jiménez *et al.*, 2014); 此外, 4 龄幼虫对蒙古栎和水曲柳产生明显的趋向性, 但对两种树木叶片的取食率较低, 根据最优觅食理论, 植食性昆虫偏好在自身表现(生殖能力能够实现)最优的寄主上取食(郭线茹等, 2021), 对美国白蛾来说, 可能在定位并选择寄主后, 会结合视觉及味觉系统进行辨别、接受食物, 最终选择最优食物(Matthews and Matthews, 2010), 因此, 成虫及 4 龄幼虫的选择结果与取食情况存在一定差异。美国白蛾 4 龄幼虫、成虫对兴安落叶松均无显著选择反应, 且 4 龄幼虫对其取食率较低, 但未确定对美国白蛾具有显著驱避作用; 而只有未交尾雌虫对紫丁香有明显的躲避反应, 后续的研究可针对美国白蛾对该 2 种树木的行为选择开展研究。另外, 杨丹等(2021)研究中, 美国白蛾 4 龄幼虫对水曲柳和白桦取食量较大, 本研究与其存在一定差异, 可能与昆虫自身遗传因素、生理状态、个体发育阶段、植物生长状态及特性等潜在影响因素有关(王政等, 2014); 而昆虫的取食需要一定时间的适应, 本研究仅测定了 4 龄幼虫 24 h 取食率, 与 4 龄幼虫整个龄期的取食量可能也存在差异。研究显示, 昆虫在同一龄期内取食行为有明显变化, 可能是受蜕皮前后其消化系统形态及生理方面周期性变化的影响(周荣等, 2004)。

研究表明, 大多数昆虫主要依靠嗅觉来定位和区别寄主植物和非寄主植物(Joelle *et al.*, 2018), 如李娜(2020)已鉴定出桑树、洋白蜡等美国白蛾喜食寄主挥发物成分, 并筛选出对美国白蛾成虫具有引诱作用的 2,4-二甲基-1-庚烯。未来在确定寄主及非寄主植物种类的研究基础上, 可进一步筛选对美国白蛾具有引诱或驱避效果的化合物, 进而研制引诱剂或驱避剂, 如已在

夜蛾类、甲虫类、实蝇类等害虫防控中应用了推拉策略, 这对开展绿色、科学、有效的害虫防治具有重要意义(王珏, 2013; 王琼等, 2014; 马艳, 2019)。

参考文献 (References)

- Announcement of the National Forestry and Grassland Administration (No. 5, 2022), (*Hyphantria cunea* Epidemic Areas in 2022), 2022, 3.18. [国家林业和草原局公告(2022年第5号), (2022年美国白蛾疫区), 2022, 3.18. <http://www.forestry.gov.cn/main/5461/20220318/110715854936547.html>]
- Bian ZL, Liu Z, Wang XM, Zhao LQ, 2022. Effects of larval density on the life history parameters of fall webworm, *Hyphantria cunea* (Lepidoptera: Arctiidae). *Journal of Environmental Entomology*, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1640.Q.20220615.1453.020.html>. [卞忠玲, 刘郑, 王馨玫, 赵吕权, 2022. 幼虫密度对美国白蛾生活史参数的影响. 环境昆虫学报, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1640.Q.20220615.1453.020.html>]
- Cai DZ, 2019. Study on Feeding preference of *Hyphantria cunea* Drury larvae. *Modern Agricultural Science and Technology*, 48(22): 63–64. [蔡东章, 2019. 美国白蛾幼虫取食选择性研究. 现代农业科技, 48(22): 63–64.]
- Cui YQ, Zong SX, 2021. Feeding choice behavior and mechanism of adult *Meliboeus ohbayashii primoriensis*. *Journal of Beijing Forestry University*, 43(9): 121–130. [崔亚琴, 宗世祥, 2021. 核桃缘吉丁成虫的取食选择行为及机制. 北京林业大学学报, 43(9): 121–130.]
- Deng Y, Sun SH, Qi JY, Yin DC, Li F, 2016. Factors affecting *Hyphantria cunea* supercooling point. *Chinese Journal of Ecology*, 35(3): 767–771. [邓煜, 孙守慧, 祁金玉, 尹大川, 李飞, 2016. 美国白蛾过冷却点的影响因子. 生态学杂志, 35(3): 767–771.]
- Di GQ, Ma QH, Ma WC, Meng ZJ, Yan SC, 2020. Ultrastructure of the antennal sensilla of the fall webworm, *Hyphantria cunea* (Drury) (Lepidoptera: Erebiidae). *Journal of Northeast Forestry University*, 48(3): 95–99, 104. [狄贵秋, 马庆辉, 马维超, 孟昭军, 严善春, 2020. 美国白蛾触角感器超微结构. 东北林业大学学报, 48(3): 95–99, 104.]
- Guo XR, Li WZ, Dong JF, Ding SB, Zhou Z, Song N, Ma JS, 2021. An introduction to phytophagous insect host-plant selection hypotheses. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 58(6): 1245–1256. [郭线茹, 李为争, 董钧锋, 丁识伯, 周洲, 宋南, 马继盛, 2021. 植食性昆虫寄主植物选择假说述介. 应用昆虫学报, 58(6): 1245–1256.]
- Han HL, 2019. Progress of taxonomy of Erebiidae (part), Euteliidae, Nolidae and Noctuida (Lepidoptera) in the northeast China. *Journal of Environmental Entomology*, 41(6): 1181–1195. [韩辉林, 2019. 中国东北目夜蛾科(部分)、尾夜蛾科、瘤蛾科和夜蛾科(鳞翅目)分类学研究进展. 环境昆虫学报, 41(6): 1181–1195.]
- Ji YL, Su XY, Yu ZJ, 2019. Potential habitat prediction of *Hyphantria cunea* based on a random forest model in China. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 43(6): 121–128. [纪烨琳, 苏喜友, 于治军, 2019. 基于随机森林模型的美国白蛾在中国的潜在生境预测. 南京林业大学学报(自然科学版), 43(6): 121–128.]
- Jiménez MIG, Sarmiento CE, Díaz MF, Chaeta A, Pérez A, Ramírez A, Paved K, 2014. Oviposition, larval preference, and larval performance in two polyphagous species: Does the larva know best?. *Entomol. Exp. Appl.*, 153(1): 24–33.
- Joelle K, Lemmen-Lechelt, Tyler J, Evenden ML, 2018. State-dependent plasticity in response to host-plant volatiles in a long-lived moth, *Caloptilia fraxinella* (Lepidoptera: Gracillariidae). *Journal of Chemical Ecology*, 44(3): 1–12.
- Jv Z, 2007. Biology on different tree species and cold hardiness of *Hyphantria cunea* Drury. Master dissertation. Shandong: Shandong Agricultural University. [鞠珍, 2007. 美国白蛾在不同树种上的生物学特性及抗寒性的研究. 硕士学位论文. 山东: 山东农业大学.]
- Li LS, 2018. Feeding preference of *Hyphantria cunea* (Drury) to host plants and its metabolic mechanisms against the secondary metabolites. Master dissertation. Beijing: Beijing Forestry University. [李路莎, 2018. 美国白蛾对寄主植物的取食选择及对次生代谢物质的解毒响应. 硕士学位论文. 北京: 北京林业大学.]
- Li N, 2020. Electrophysiological and behavioral responses of *Hyphantria cunea* to several volatiles from 11 plants. Master dissertation. Beijing: Beijing Forestry University. [李娜, 2020. 美国白蛾对11种植物的挥发物的电生理及行为反应. 硕士学位论文. 北京: 北京林业大学.]
- Lin X, Qiu LX, Qu T, Lu XL, 2016. Discussion on the occurrence status and management strategy of *Hyphantria cunea*. *Forest Pest and Disease*, 35(5): 41–42, 16. [林晓, 邱立新, 曲涛, 卢修亮, 2016. 美国白蛾发生现状及治理策略探讨. 中国森林病虫, 35(5): 41–42, 16.]
- Liu D, 2021. Ultrastructure of the sensilla on adult antenna and larval head of *Hyphantria cunea* (Lepidoptera: Arctiidae). Master dissertation. Anhui: Anhui Agricultural University. [刘丹, 2021. 美国白蛾成虫触角及幼虫头部感器超微结构. 硕士学位论文. 安徽: 安徽农业大学.]
- Liu W, 2020. The mechanism of pheromone detection in cotton bollworm and Asian corn borer. Post-doctoral research report. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [刘伟, 2020. 棉铃虫和亚洲玉米螟对性信息素的识别机制研究. 博士后研

- 究报告. 北京:中国农业科学院.]
- Ma Y, 2019. Develpent of a synthetic plant volatiles-based attractants for longicorn beetles that infest *Carya cathayensis*. Master dissertation. Zhejiang: Zhejiang A&F University. [马艳, 2019. 山核桃天牛植物源引诱剂的初步研究. 硕士学位论文. 浙江: 浙江农林大学.]
- Matthews RW, Matthews JR, 2010. Foraging and feeding// Matthews RW, Matthews JR(eds.). *Insect Behavior* (2nd Edition). Dordrecht: Springer Netherlands. 131–184.
- Qin JD, 2003. Explain how herbivorous insects select food plants. *Bulletin of Biology*, 38(6): 1–3. [钦俊德, 2003. 诠释植食性昆虫是怎样选择食料植物的. 生物学通报, 38(6): 1–3.]
- Sllivan GT, Ozman-Sullivan SK, 2012. Tachinid (Diptera) parasitoids of *Hyphantria cunea* (Lepidoptera: Arctiidae) in its native North America and in Europe and Asia-A literature review. *Acta Entomol. Fenn.*, 23(4): 181–192.
- Sun SH, Zheng Y, Xu XR, Lv HY, Xin B, Zhou X, 2015. Feeding preference and cold-hardiness of *Hyphantria cunea* Drury in Shenyang area. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 46(2): 225–229. [孙守慧, 郑晔, 徐晓蕊, 吕海燕, 辛蓓, 周昕, 2015. 沈阳地区美国白蛾的食性偏好及其耐寒性研究. 沈阳农业大学学报, 46(2): 225–229.]
- Tadashi G, 2007. Seasonal adaptations of the fall webworm *Hyphantria cunea* (Drury) (Lepidoptera: Arctiidae) following its invasion of Japan. *Ecological Research*, 22(6): 855–861.
- Wang F, Zhang LH, Han HZ, Wang XL, Zhang Y, Li SH, 2020. Feeding preference of *Hyphantria cunea* Drury larvae to common garden plants in Suqian area. *Journal of Henan Agricultural University*, 54(6): 1002–1008. [王芳, 张丽华, 韩浩章, 王晓立, 张颖, 李素华, 2020. 美国白蛾幼虫对宿迁地区常见园林植物的取食选择. 河南农业大学学报, 54(6): 1002–1008.]
- Wang FQ, Sang CW, 2008. Integrated control of *Hyphantria cunea*. *Forestry of China*, 15(7): 43. [王凤琴, 桑成武, 2008. 美国白蛾的综合防治. 中国林业, 15(7): 43.]
- Wang J, 2013. Optimization of noctuid floral attractants and associative learning behaviour of *Helicoverpa armigera* adults to key floral components. Master dissertation. Henan: Henan Agricultural University. [王珏, 2013. 夜蛾花香引诱剂的优化及棉铃虫成虫对关键活性物质的联系性学习行为. 硕士学位论文. 河南: 河南农业大学.]
- Wang Q, Li WZ, Chen HJ, Gong DF, Hu JJ, Guo S, Yuan GH, 2014. Advances in studies on attractants of bactroids from plants. *Central China Insect Research*, 10: 144–152. [王琼, 李为争, 陈汉杰, 龚东风, 胡晶晶, 郭帅, 原国辉, 2014. 实蝇类植物源引诱剂研究进展. 华中昆虫研究, 10: 144–152.]
- Wang W, Yao CS, 2020. Effects of 6 host landscape plant species on the growth of *Hyphantria cunea*. *Anhui Forestry Science and Technology*, 46(5): 16–18. [王伟, 姚昌盛, 2020. 6种常见园林寄主植物对美国白蛾生长的影响. 安徽林业科技, 46(5): 16–18.]
- Wang Z, Meng QQ, Zhong GH, 2014. Study on the feeding behavior process and mechanism of phytophagous insect. *Journal of Environmental Entomology*, 36(4): 612–619. [王政, 孟倩倩, 钟国华, 2014. 植食性昆虫取食行为过程及机制研究. 环境昆虫学报, 36(4): 612–619.]
- Xu XR, 2013. Research on cold-hardiness of *Hyphantria cunea* Drury in physiological characteristics in northeast region of China. Master dissertation. Liaoning: Shenyang Agricultural University. [徐晓蕊, 2013. 东北地区美国白蛾耐寒生理特性的研究. 硕士学位论文. 辽宁: 沈阳农业大学.]
- Yang D, Bo R, Xuan SJ, Ma QH, Meng ZJ, Yan SC, 2021. Adaptability of three tree species in Heilongjiang province to *Hyphantria cunea*. *Plant Protection*, 47(6): 153–157. [杨丹, 博睿, 玄善姬, 马庆辉, 孟昭军, 严善春, 2021. 黑龙江省3种林木对美国白蛾的适生性. 植物保护, 47(6): 153–157.]
- Zhang N, Chen L, Xie GL, 2021. Electrophysiological responses of *Holotrichia oblita* (Coleoptera: Melolonthidae) to peach tree volatiles. *Acta Entomologica Sinica*, 64(9): 1112–1119. [张诺, 陈立, 谢广林, 2021. 华北大黑鳃金龟对桃树挥发物的电生理反应. 昆虫学报, 64(9): 1112–1119.]
- Zhao TZ, 2005. Damage analysis and loss evaluation after *Hyphantria cunea* (Drury)'s Invading China. Doctoral dissertation. Beijing: Beijing Forestry University. [赵铁珍, 2005. 美国白蛾入侵对我国的危害分析与损失评估研究. 博士学位论文. 北京: 北京林业大学.]
- Zhao TZ, Gao L, Ke SF, Wen YL, 2007. Establishment on the loss evaluation index system of *Hyphantria cunea* Drury' s invading China. *Journal of Beijing Forestry University*, 29(2): 156–160. [赵铁珍, 高岚, 柯水发, 温亚利, 2007. 美国白蛾入侵损失评估指标体系的构建. 北京林业大学学报, 29(2): 156–160.]
- Zhong YZ, Xie MH, Lin LL, Zhang GL, Xu LN, Wang ZY, Zhang JP, Zhang F, Su WH, Chen HL, 2020. Orientational response of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) to linalool oxide. *Plant Protection*, 46(4): 178–180, 222. [钟永志, 谢明惠, 林璐璐, 张光玲, 徐丽娜, 王振营, 张金平, 张峰, 苏卫华, 陈浩梁, 2020. 草地贪夜蛾对氧化芳樟醇的趋性. 植物保护, 46(4): 178–180, 222.]
- Zhou R, Zeng L, Lu YY, Liang GW, Cui ZX, 2004. Feeding behavior of *Brontispa longissimi*. *Journal of South China Agricultural University*, 25(4): 50–52. [周荣, 曾玲, 陆永跃, 梁广文, 崔志新, 2004. 椰心叶甲取食行为及取食为害量研究. 华南农业大学学报, 25(4): 50–52.]