北京林业大学学报
JOURNAL OF BEIJING FORESTRY UNIVERSITY

桉蝙蛾幼虫对不同寄主的取食偏好与生理响应

彭琦 苏小燕 鲁进韬 刘斌 王思佳 杨振德 胡一鸣 胡平

Feeding preferences and physiological responses of *Endoclita vietnamensis* larvae to different hosts

Peng Qi, Su Xiaoyan, Lu Jintao, Liu Bin, Wang Sijia, Yang Zhende, Hu Yiming, Hu Ping

引用本文:
彭琦, 苏小燕, 鲁进韬, 刘斌, 王思佳, 杨振德, 胡一鸣, 胡平. 桉蝙蛾幼虫对不同寄主的取食偏好与生理响应[J]. 北京林业大学学报, 2026, 48(4):148–155. doi: 10.12171/j.1000–1522.20250462
Peng Qi, Su Xiaoyan, Lu Jintao, Liu Bin, Wang Sijia, Yang Zhende, Hu Yiming, Hu Ping. Feeding preferences and physiological responses of *Endoclita vietnamensis* larvae to different hosts[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2026, 48(4):148–155. doi: 10.12171/j.1000–1522.20250462

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20250462

您可能感兴趣的其他文章
Articles you may be interested in

桉蝙蛾幼虫触角及胸腹体表感器形态及分布特征
Morphology and distribution of sensillum on antennal, thoracic and abdominal tegument of *Endoclita signifier* larva
北京林业大学学报, 2021, 43(9): 111–120. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20210145

桉蝙蛾气味结合蛋白EsigOBP8与桉树挥发物的结合特性
Binding characteristics of odor binding protein EsigOBP8 from *Endoclita signifier* and volatile compounds from *Eucalyptus* spp.
北京林业大学学报, 2025, 47(8): 1–9. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20240206

竞争对红松树木的干旱适应性及生长衰退影响
Effects of competition on drought adaptability and growth decline of *Pinus koraiensis* trees
北京林业大学学报, 2022, 44(6): 1–9. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20210198

水曲柳引种栽植20年后生长表现及其影响
Growth performance and its influence of *Fraxinus mandshurica* after 20 years of introduction and planting
北京林业大学学报, 2022, 44(9): 30–39. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20220188

基于SADIE和SPPA的柳蝙蛾小尺度空间格局分析
Analysis of small–scale spatial pattern of *Endoclita excrescens* based on SADIE and SPPA
北京林业大学学报, 2023, 45(9): 95–103. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20220053

4种榕树对榕透翅毒蛾生长发育及取食偏好的影响
Effects of four banyan species on the growth, development and feeding preference of *Perina nuda*
北京林业大学学报, 2023, 45(3): 93–103. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20220028

DOI:10.12171/j.1000−1522.20250462

桉蝙蛾幼虫对不同寄主的取食偏好与生理响应

彭 琦[1] 苏小燕[2] 鲁进韬[1] 刘 斌[1] 王思佳[1] 杨振德[1] 胡一鸣[3] 胡 平[1]
（1. 广西大学林学院，广西 南宁 530004；2. 广西壮族自治区国有六万林场，广西 玉林 537899；
3. 广东省科学院动物研究所，广东 广州 510260）

摘要:【目的】探究桉蝙蛾幼虫对不同嗜食性寄主的适应性机制，阐明植食性昆虫与寄主植物的协同进化关系，并为该虫绿色防控提供理论依据。**【方法】**选取嗜食性等级不同的 3 种寄主植物—巨尾桉（高嗜食性）、白背桐（中嗜食性）、构树（无嗜食性）作为研究材料，系统测定寄主植物的理化性质及幼虫取食后的生理应答变化。统计幼虫取食率与存活率数据并通过相关性分析，探究各指标之间的潜在关联。**【结果】**（1）寄主植物理化性质分析表明，树皮中还原糖和可溶性糖含量是影响幼虫寄主选择的关键因子，其含量表现为巨尾桉 > 白背桐 > 构树，与幼虫嗜食性顺序完全一致；（2）黄酮作为寄主植物的核心防御物质，在幼虫取食后均显著诱导积累，但其含量与幼虫取食率呈显著正相关，表明幼虫已形成有效的耐受机制；（3）幼虫通过动态调节酶系统以适应多寄主环境：保护酶（SOD、CAT）持续激活、解毒酶（AchE、GST）在取食中期达峰值、蛋白酶活性显著下调；（4）幼虫取食率与寄主树皮还原糖含量呈极显著正相关，分别与可溶性糖、黄酮含量及自身 AchE 活性呈显著正相关。**【结论】**桉蝙蛾幼虫通过感知寄主糖信号并动态调控酶系统，实现对多寄主的适应性。该研究为理解昆虫−植物协同进化及害虫绿色防控提供了理论依据。

关键词：桉蝙蛾；生理指标；酶活性；适应性
中图分类号：S763.3 **文献标志码：**A **文章编号：**1000−1522(2026)04−0148−08
引文格式：彭琦，苏小燕，鲁进韬，等. 桉蝙蛾幼虫对不同寄主的取食偏好与生理响应 [J]. 北京林业大学学报，2026，48(4)：148−155. Peng Qi, Su Xiaoyan, Lu Jintao, et al. Feeding preferences and physiological responses of *Endoclita vietnamensis* larvae to different hosts[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2026, 48(4): 148−155.

Feeding preferences and physiological responses of *Endoclita vietnamensis* larvae to different hosts

Peng Qi[1] Su Xiaoyan[2] Lu Jintao[1] Liu Bin[1] Wang Sijia[1] Yang Zhende[1] Hu Yiming[3] Hu Ping[1]
(1. College of Forestry, Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China;
2. Guangxi Liuwan State-Owned Forest Farm, Yulin 537899, Guangxi, China;
3. Institute of Zoology, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510260, Guangdong, China)

Abstract: [**Objective**] This paper aims to explore the adaptive mechanisms of *Endoclita vietnamensis* larvae to different host plants with varied degrees of preference, clarify the co-evolutionary relationship between herbivorous insects and their host plants, and provide a theoretical basis for biological control of this pest. [**Method**] Three host plants with different levels of palatability, i.e. *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla* (high palatability), *Mallotus apelta* (medium palatability), and *Broussonetia papyrifera* (no palatability) were selected as study subjects. The physical and chemical properties of the host plants and physiological responses of the larvae after feeding were measured. Larval feeding rates and survival rates

收稿日期：2025−11−18 **修回日期：**2025−12−31
基金项目：国家自然科学基金面上项目（32371884），广西大学学术新人项目（2025GXUXSXR09），广西八桂青年拔尖人才项目（GXR−2BGQ2525037）。

第一作者：彭琦。主要研究方向：森林保护。Email：2409392050@st.gxu.edu.cn 地址：530004 广西壮族自治区南宁市大学东路 100 号广西大学林学院。
责任作者：胡平，副教授，博士生导师。主要研究方向：森林保护。Email：hupingcs@163.com 地址：同上。

本刊网址：https://j.bjfu.edu.cn；https://journal.bjfu.edu.cn

were statistically analyzed, and potential correlations among the indicators were explored through correlation analysis. [**Result**] (1) The analysis of physical and chemical properties of host plants showed that the content of reducing sugar and soluble sugar in the bark was key factor affecting host selection of the larvae, and the content was in the order of *E. grandis* × *E. urophylla* > *M. apelta* > *B. papyrifera*, which was completely consistent with the order of larval preference. (2) Flavonoids, as the core defense substances of host plants, were significantly induced to accumulate after larval feeding, but their contents were significantly positively correlated with larval feeding rates, indicating that the larvae had developed an effective tolerance mechanism. (3) Larvae dynamically regulated their enzymatic systems to adapt to a multi-host environment: protective enzymes (SOD, CAT) were continuously activated, detoxification enzymes (AchE, GST) reached their peak in the middle of feeding, and protease activity was significantly down-regulated. (4) Correlation analysis confirmed that the larval feeding rate was significantly positively correlated with the content of reducing sugar in host bark, and significantly positively correlated with the content of soluble sugar, flavonoids, and the activity of AchE in larvae themselves. [**Conclusion**] The larvae of *E. vietnamensis* adapt to multiple hosts by perceiving sugar signals from the hosts and dynamically regulating the enzyme system. This study provides a theoretical basis for understanding the co-evolution of insects and plants and the biological control of pests.

Key words: *Endoclita vietnamensis*; physiological indices; enzyme activity; adaptability

桉蝙蛾（*Endoclita vietnamensis*）属鳞翅目（Lepidoptera）蝙蝠蛾科（Hepialidae），是中国南方地区危害严重的蛀干害虫，其寄主范围极广，适应性强，仅在广西的寄主就多达 54 种，涉及 30 科 42 属，包括桃金娘科（Myrtaceae）的桉树（*Eucalyptus* spp.）、豆科（Fabaceae）的相思树（*Acacia confusa*）等经济林木及国家珍贵保护树种[1−2]。该虫以幼虫蛀食树干木质部为害，蛀食树木输导组织，使树势衰退乃至死亡，常给桉树等主要经济林木带来严重损失。

植食性昆虫与寄主植物之间存在着复杂的协同进化关系[3−5]。植物进化出了多种防御机制以抵御昆虫取食，而昆虫则通过适应性进化去获取食物资源[6−7]。桉蝙蛾正是这种协同进化中的典型代表，其表现出极强的寄主转移与适应能力。当前，桉树已成为桉蝙蛾最偏好的寄主植物[8−9]。其中，巨尾桉（*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*）[8]受害程度最为显著。值得注意的是，桉蝙蛾种群并未局限于单一植物，大戟科（Euphorbiaceae）的白背桐（*Mallotus apelta*）作为野生寄主，其受害程度仅次于桉树，属于桉蝙蛾的中高嗜食性寄主[8]。此外，因幼虫对构树（*Broussonetia papyrifera* ）取食偏好显著较差，且目前构树不在桉蝙蛾危害植物的名单中[2]，而其属桑科（Moraceae）[10]，桑科植物在桉蝙蛾的取食范围内，故本研究选择构树作为无嗜食性对照。

现有研究多聚焦于桉蝙蛾的生物学特性与生态防治技术[11−17]，而关于桉蝙蛾幼虫适应不同寄主的生理机制尚未形成系统研究成果。因此，本文通过整合分析 3 种寄主的营养成分与次生代谢物质变化，以及幼虫体内多种酶活性的动态调整，系统揭示桉蝙蛾的寄主适应性生理基础。从植物和昆虫生理机制出发，探讨桉蝙蛾对不同寄主的适应策略，不仅为揭示昆虫与植物协同进化的机制提供新线索，还为预测潜在寄主、创制绿色高效的害虫防控技术开辟了新途径与视角。

1　材料与方法

1.1　样本采集

供试巨尾桉、白背桐样本均采自广西高峰林场六里分场（23°36′N，108°33′E），构树采自广西大学林学院教学实践基地（22°48′N，108°22′E）。健康植株样品为距地面 1 m 处，分别截取直径为 3 ~ 4 cm，1 ~ 3 年生健康巨尾桉、白背桐和构树的树干或枝干（长 10 cm ），每树种 3 个重复。受害植株样品包括自然受害并形成虫粪苞的巨尾桉及人工接虫后被取食并形成虫粪苞的白背桐与构树，取样方法、部位同健康植株。

桉蝙蛾 7 龄幼虫采自广西高峰林场六里分场（23°36′N，108°33′E）的巨尾桉树干中存活的幼虫，随后放入黑色薄膜包裹的 15 mL 离心管中。

1.2　人工转移寄主实验

将单头桉蝙蛾转入 15 mL 无菌离心管，管壁以黑色薄膜遮光，管口用透气纱网封口，模拟蛀道黑暗环境。随后固定于 1~3 年生、直径 3 ~ 4 cm 的白背桐和构树主干距地面 1.0 m 处，1 棵树接 1 头幼虫，每处理设 3 组，每组 25 头，确保虫体与韧皮部紧密接触。转接后每日 12 h 光照、25 ℃、75% RH 条件下

连续观察，直至幼虫完成取食、蛀入并形成典型虫粪苞。依据行为时序，将取食过程划分为初期（仅啃食树皮）、中期（蛀入木质部）、后期（定殖并形成虫粪苞）3 个阶段，用于后续生理取样。

1.3 取食率和存活率的测定

人工寄主转移后，统计正常取食与未取食的幼虫数量。计算取食率（取食植物幼虫数/转接幼虫总数 × 100%）与存活率（存活幼虫数/转接幼虫总数 × 100%），评估幼虫的寄主适应性。

1.4 寄主体内营养成分与次生代谢物测定

取受害前后木段的树皮和木质部，部分鲜样留存，剩下样品经洗净、烘干、粉碎，过 60 目筛，采用四分法混匀制成干样，密封待测。测定 5 大营养物质（可溶性蛋白质、还原糖、可溶性糖、粗纤维、粗脂肪）和 3 种次生代谢物质（单宁、黄酮、总酚）含量。所有指标均做 3 个重复。

可溶性蛋白质和可溶性糖测定参考路文静等[18]人的方法，还原糖测定结合李志霞等[19]和张小贝等[20]方法改进，粗纤维测定参考张志良等[21]的方法，粗脂肪测定结合 Anwar 等[22]和 Hewavitharana 等[23]的方法改进。

单宁测定结合刘慧文[24]和齐笑笑等[25]等的方法改进，黄酮测定参考张华峰[26]的方法，总酚测定结合陈蓬凤等[27]和段笑影等[28]的方法改进。

1.5 幼虫生理指标测定

取转接后取食初、中、后期各 3 头存活幼虫，制备粗酶液。分析幼虫体内保护酶（SOD、CAT）、解毒酶（AchE、CarE、GST）及蛋白酶活性，测定指标统一做 3 个重复。

超氧化物歧化酶（SOD）活性和过氧化氢酶（CAT）活性测定都参考郭春晖[29]的方法，乙酰胆碱酯酶（AchE）、羧酸酯酶（CarE）、谷胱甘肽-S-转移酶（GST）活性活测定参照试剂盒（Solarbio, Beijing）步骤进行。蛋白酶活性测定参考 Botcha 等[30]和柴艳萍等[31]的方法进行改进。

1.6 数据处理

数据都用“平均值 ± 标准误”表示，并采用 IBM SPSS Statistics 25 软件进行单因素方差分析（one-way ANOVA），组间差异显著性则使用 Duncan’s 极差法进行检验（$\alpha = 0.05$）。此外，采用 t 检验进行组间差异分析，并使用 Graphpad Prism 9.5 软件绘制图表。

2 结果与分析

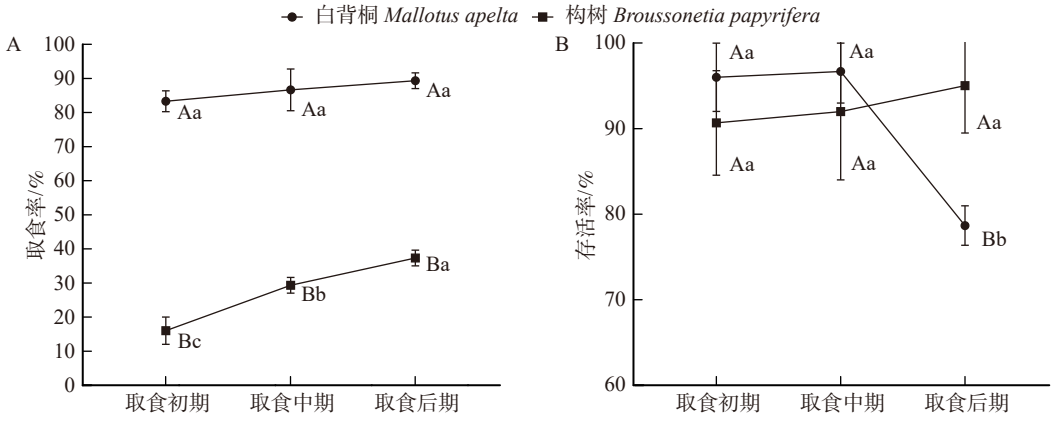
2.1 幼虫取食率与存活率分析

幼虫转移至新寄主后，其取食率整体呈缓慢攀升态势，在取食初、中、后期 3 个阶段，白背桐上的幼虫取食率均表现出显著高于构树的特征（$P < 0.05$）（图 1 A）。存活率方面，白背桐组呈先上升后下降的趋势，于后期降至 78.67%（$P < 0.05$）；而构树组的存活率不断上升，后期达 96.00%，显著高于白背桐组（$P < 0.05$）（图 1 B）。白背桐组后期存活率下降可能与营养耗尽或天敌干扰相关。

2.2 寄主植物化学成分分析

如表 1 所示，3 种植物树皮的还原糖和可溶性糖含量均表现为巨尾桉 > 白背桐 > 构树，且差异显著（$P < 0.05$）。

受害后，3 种寄主植物的次生代谢物质呈现差异响应。单宁含量在巨尾桉（$P < 0.05$）和白背桐（$P < 0.01$）树皮和木质部中显著增加，而在构树树皮和木质部中变化均不显著（图 2 A、D）；黄酮含量在巨尾桉（$P < 0.01$）、白背桐（$P < 0.05$）和构树（$P < 0.05$）树皮和木质部均显著上升（图 2 B、E）；总酚含量仅在白背桐树皮和木质部中显著上升（$P < 0.01$）（图 2 C、F），在巨尾桉和构树中均不显著。尽管巨尾桉受害



不同大写字母表示幼虫同一阶段取食不同植物的取食率和存活率差异显著（$P < 0.05$），不同小写字母表示幼虫不同阶段取食同一植物的取食率和存活率差异显著（$P < 0.05$）。

图 1 桉蝙蛾幼虫寄主转接后的取食率和存活率

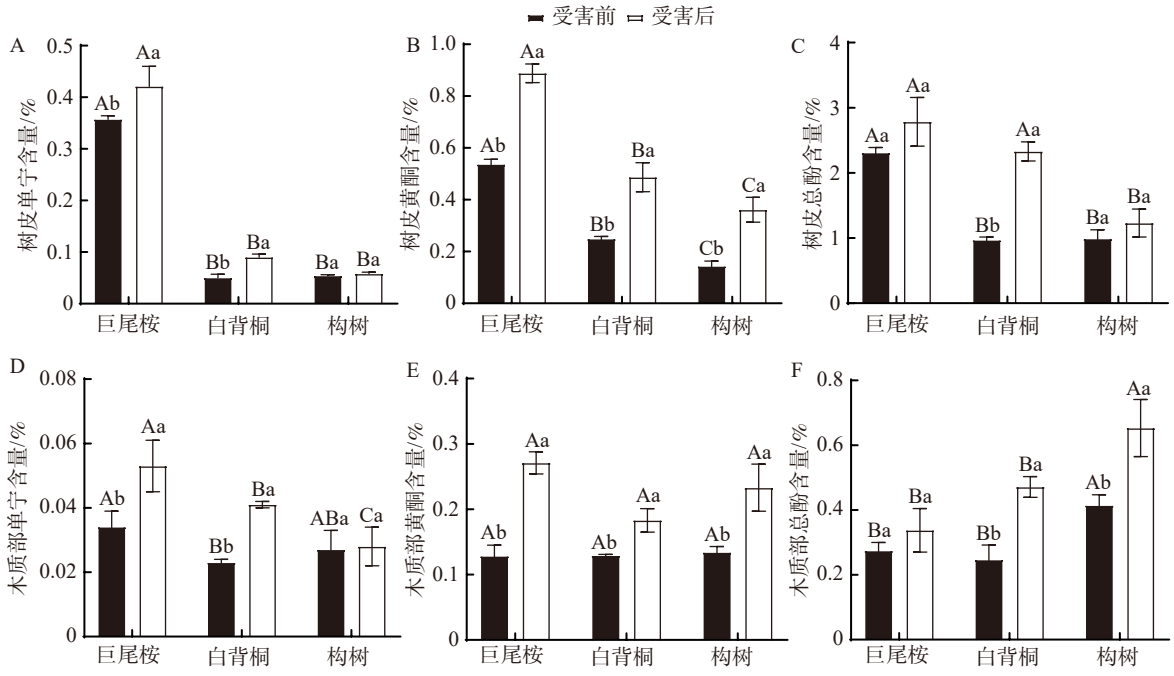
Fig. 1 Feeding rates and survival rates of *Endoclita vietnamensis* larvae after host transferring

表 1　不同植物树皮和木质部营养物质的含量

Tab. 1　Nutrient contents of bark and xylem of different plants　　%

种类	可溶性蛋白质	还原糖	可溶性糖	粗纤维	粗脂肪
巨尾桉树皮	0.391 ± 0.043A	0.269 ± 0.010A	0.970 ± 0.043A	9.313 ± 0.423B	0.499 ± 0.043B
白背桐树皮	0.124 ± 0.035B	0.205 ± 0.015B	0.850 ± 0.005B	12.851 ± 1.095A	1.262 ± 0.228A
构树树皮	0.349 ± 0.036A	0.164 ± 0.010C	0.710 ± 0.051C	6.079 ± 1.592C	0.644 ± 0.054B
巨尾桉木质部	0.081 ± 0.010B	0.038 ± 0.001C	0.247 ± 0.011B	24.313 ± 0.297B	0.203 ± 0.034A
白背桐木质部	0.026 ± 0.004C	0.095 ± 0.007A	1.017 ± 0.030A	28.129 ± 0.480A	0.407 ± 0.346A
构树木质部	0.110 ± 0.017A	0.075 ± 0.006B	0.258 ± 0.048B	27.391 ± 1.121A	0.603 ± 0.027A

注: 数据为均值 ± 标准差, 每列中不同字母代表不同植物营养物质含量差异显著($P < 0.05$)。



不同大写字母表示不同植物次生代谢物含量差异显著（$P < 0.05$），不同小写字母表示相同植物次生代谢物含量在受害前后差异显著（$P < 0.05$）。

图 2　不同寄主次生代谢物含量在受害前后变化

Fig. 2　Changes in secondary metabolite contents of different hosts before and after infestation

后, 树皮黄酮含量激增且显著高于其他寄主, 但其与幼虫取食率却呈正相关($r = 0.78$, $P < 0.05$), 这表明黄酮并未对幼虫产生有效的拒食作用, 幼虫可能已对其产生耐受。

2.3　幼虫生理指标分析

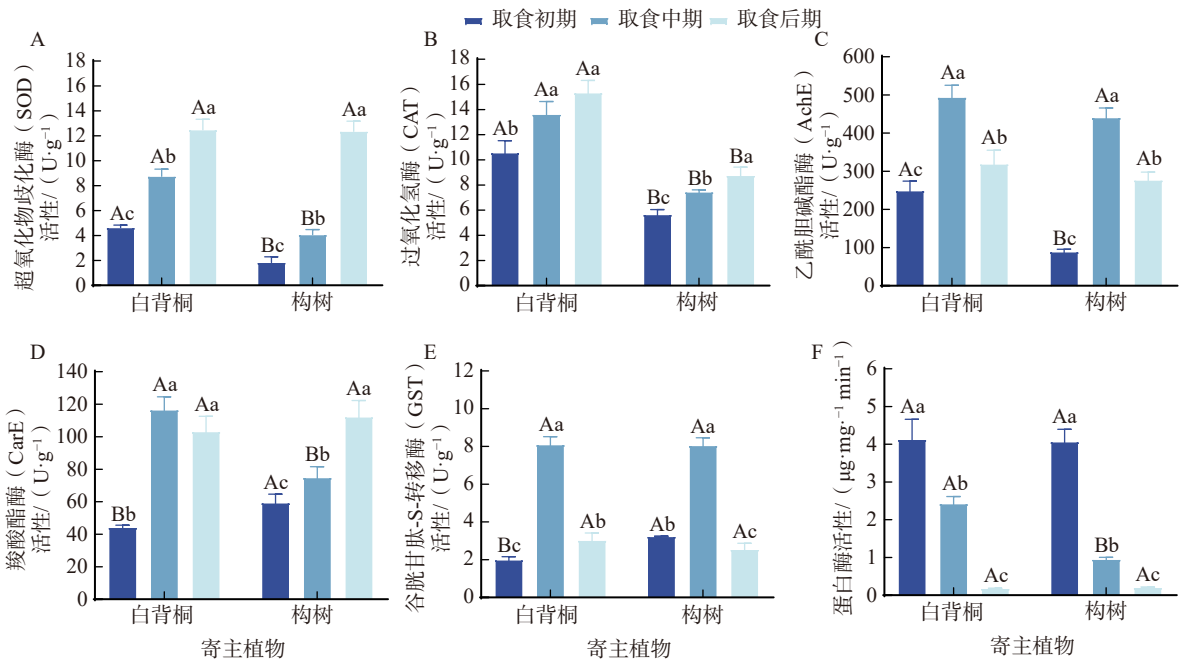
幼虫转接至新寄主后, 其体内多种酶活性发生规律性变化。保护酶(SOD、CAT)系统活性呈上升趋势, 且取食白背桐的幼虫其酶活性均高于构树($P < 0.05$)(图 3 A、B)。解毒酶系统则呈现不同响应, AchE、GST 活性均呈先升后降的变化趋势($P < 0.05$), 其中取食白背桐的幼虫 AchE 活性更高, 而 GST 活性在寄主间无一致规律(图 3 C、E); CarE 活性在取食白背桐的幼虫中先上升后下降($P < 0.05$), 在取食构树的幼虫中则持续上升($P < 0.05$), 两者间无明显规律(图 3 D); 蛋白酶活性则在整个取食过程中显著下降($P < 0.05$), 且在寄主间无明显规律(图 3 F)。

2.4　幼虫取食率、存活率与其寄主及自身生理指标的相关性分析

相关性分析表明, 幼虫取食率与寄主树皮中还原糖含量呈极显著正相关($P < 0.01$), 与可溶性糖、黄酮含量及幼虫体内乙酰胆碱酯酶(AchE)活性呈显著正相关($P < 0.05$)(图 4A、B)。而幼虫存活率与寄主树皮的化学物质及幼虫生理指标均无显著相关性(图 4A、B)。

3　讨　　论

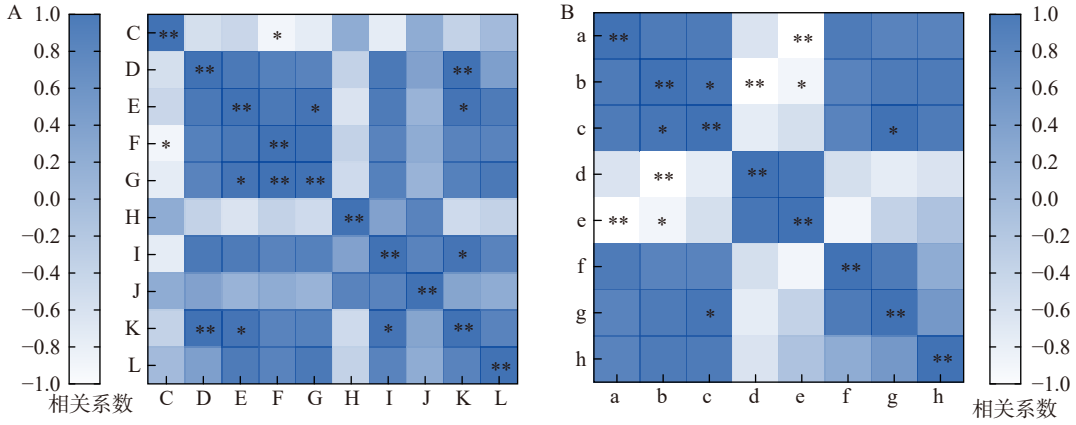
本研究揭示了桉蝙蛾幼虫的寄主适应性是由其寄主理化特性和幼虫自身生理性决定。在寄主植物层面, 树皮中还原糖与可溶性糖含量在 3 种寄主植物中表现为巨尾桉 > 白背桐 > 构树, 与幼虫的嗜食



不同大写字母表示取食不同植物的幼虫同一取食阶段体内酶活性存在显著差异（$P < 0.05$），不同小写字母表示取食同种植物的幼虫不同取食阶段体内酶活性存在显著差异（$P < 0.05$）。

图 3 幼虫体内不同酶活性

Fig. 3 Different enzyme activities in larvae



A. 幼虫取食率、存活率与其寄主生理指标的相关性，C ~ L 分别代表可溶性蛋白质、还原糖、可溶性糖、粗纤维、粗脂肪、单宁、黄酮、总酚、取食率、存活率; B. 幼虫取食率、存活率与其体内生理指标的相关性，a ~ h 分别代表 SOD 活性、CAT 活性、AchE活性、CarE活性、GST活性、蛋白酶活性、幼虫取食率、幼虫存活率。“*” 表示显著性差异（$P < 0.05$），“**”表示极显著性差异（$P < 0.01$）。

图 4 幼虫取食率、存活率与其寄主及自身体内生理指标的相关性

Fig. 4 Correlations between larval feeding rates, survival rates and physiological indicators of their hosts as well as their own bodies

性高度一致，说明糖类物质是桉蝙蛾幼虫寄主选择的关键引诱因子。这与张艳蕾等[32]关于草地贪夜蛾（*Spodoptera frugiperda* ）2 龄幼虫以及高俊平等[33]和沈嘉程等[34]关于南美斑潜蝇（*Liriomyza huidobrensis*）成虫和桑天牛（*Apriona germari*）雌雄成虫的研究结果一致，进一步印证了糖类物质的普遍作用。尽管构树的可溶性蛋白含量与巨尾桉相当，但其较低的糖类含量可能导致幼虫初始接受度低，说明糖类可能在桉蝙蛾的寄主识别中占据主导地位。

在植物防御方面，植物次生代谢物质是其在长期进化过程中形成的防御武器，具有防御昆虫取食的作用[35−39]，且对植物抗虫性有着重要影响[40−43]。本研究中，3 种寄主植物受害后，黄酮含量均显著上升，尤其在巨尾桉中升幅最大，表明黄酮可能是其核心防御物质之一。然而，黄酮含量与幼虫取食率呈正相关，这与王聪慧等[44]等关于杨树抵抗青杨天牛（*Saperda populnea*）的研究结果一致，表明桉蝙蛾幼虫可能已形成有效的黄酮耐受或代谢机制，从而化解了植物的核心化学防御。

在幼虫生理响应层面，其通过动态调节酶系统以应对新寄主。本研究中，保护酶 SOD 和 CAT 活性随取食进程持续上升，这与 Danso 等[45]和 Kumari

等[46]等关于水稻 (*Oryza sativa*) 防御条纹茎螟(*Chilo suppressalis*)和玉米叶蚜虫(*Rhopalosiphum maidis*)的研究结果相似，说明幼虫在应对寄主植物可能引起的氧化胁迫时，通过增强抗氧化能力以维持体内氧化还原平衡。其中，白背桐组的幼虫 CAT 活性显著高于构树，表明白背桐可能含有更多或更强的氧化前体物质(如酚类、醌类)，诱导了更强的保护酶响应；解毒酶 AchE 和 GST 活性在取食中期达到峰值，这与 Dan 等[47]关于白背飞虱(*Sogatella furcifera*)的研究结果相似，说明这些酶在取食中期，解毒机制被激活以应对新寄主次生代谢物；蛋白酶活性在取食过程显著下降，可能与寄主植物中蛋白酶抑制剂诱导有关，也可能反映幼虫转向“糖类优先”的营养利用策略，这种“代谢重编程”现象在 Liu 等[48]对草地贪夜蛾的研究中也曾报道，说明其在多食性昆虫中可能具有一定普遍性，这些酶活性变化共同构成了桉蝙蛾幼虫适应多寄主环境的生理基础。

相关性分析进一步证实，幼虫的取食成功与其寄主的高糖信号、对黄酮的耐受能力以及 AchE 解毒酶的高效激活紧密关联。白背桐组幼虫后期存活率的下降可能与其后期营养供给不足或实验环境中的天敌干扰有关。

综合来看，桉蝙蛾幼虫对多寄主的适应是一个多维度、动态调整的过程。幼虫对寄主植物的适应性不仅受植物营养物质和次生代谢物质的影响，还与幼虫自身的生理调节能力密切相关。

4　结　　论

本研究表明，桉蝙蛾幼虫对多寄主的适应性是其行为选择与生理调节协同作用的结果。寄主树皮中，还原糖与可溶性糖含量越高，幼虫嗜食性越强；黄酮是 3 种寄主植物的重要防御性次生代谢物，但其并未对幼虫产生显著拒食效应，幼虫可能具备对黄酮的耐性机制。生理上，幼虫通过动态调节体内酶系统以适应不同寄主：提升保护酶(SOD、CAT)活性维持稳态，取食中期激活解毒酶(AchE、GST)形成解毒代谢波，蛋白酶活性下降调整营养利用策略。相关性分析进一步证实，幼虫的取食成功与其寄主的高糖含量、自身对黄酮的耐受能力以及 AchE 解毒酶的高效激活紧密关联。本研究从植物与昆虫生理互作的角度，阐明了桉蝙蛾幼虫的适应机制，为理解其协同进化规律及开发绿色防控策略提供了理论依据。

参　考　文　献

[1] 杨秀好. 桉蝙蛾生物生态学特性的研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2013.
Yang X H. Study on the bio-ecological characteristics of *Endoclita vietnamensis* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2013.

[2] 杨秀好, 罗基同, 吴耀军, 等. 林木重大钻蛀性害虫桉蝙蛾分布与危害 [J]. 中国森林病虫, 2021, 40(4): 34−40.
Yang X H, Luo J T, Wu Y J, et al. Distribution and damage of a major wood-boring pest, *Endoclita vietnamensis* [J]. Forest Pest and Disease, 2021, 40(4): 34−40.

[3] 刘晓虹. 深点食螨瓢虫生物学与人工繁育技术的研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2018.
Liu X H. Study on the biology and artificial breeding techniques of *Stethorus punctillum* [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2018.

[4] Erb M, Reymond P. Molecular interactions between plants and insect herbivores [J]. Annual Review of Plant Biology, 2019, 70: 527−557.

[5] Kessler A, Baldwin I T. Defensive function of herbivore-induced plant volatile emissions in nature [J]. Science, 2001, 291(5511): 2141−2144.

[6] Züst T, Agrawal A A. Mechanisms and evolution of plant resistance to aphids[J].Nature Plants, 2016, 2: 15206.

[7] 王小菲, 高文强, 刘建锋, 等. 植物防御策略及其环境驱动机制 [J]. 生态学杂志, 2015, 34(12): 3542−3549.
Wang X F, Gao W Q, Liu J F, et al. Plant defensive strategies and environment-driven mechanisms [J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34(12): 3542−3549.

[8] 顾茂彬, 洪富文. 桉树害虫的生态控制 [J]. 林业科学研究, 2006, 19(3): 316−320.
Gu M B, Hong F W. Ecological control of eucalyptus pests [J]. Forest Research, 2006, 19(3): 316−320.

[9] 王缉健, 杨秀好, 罗基同. 广西近 10 年林业主要害虫的发生演替 [J]. 广西植保, 2018, 31(1): 35−38.
Wang J J, Yang X H, Luo J T. Occurrence and succession of major forest pests in Guangxi in recent 10 years [J]. Guangxi Plant Protection, 2018, 31(1): 35−38.

[10] 丁宇, 仇晶, 刘小宇. 构树新化学成分及生物学活性研究进展 [J]. 天然产物研究与开发, 2014, 26(8): 1327−1331,1337.
Ding Y, Qiu J, Liu X Y. Research progress on new chemical constituents and biological activities of *Broussonetia papyrifera* [J]. Natural Product Research and Development, 2014, 26(8): 1327−1331,1337.

[11] Wondafrash M, Slippers B, Nambazimana A, et al. Distribution and genetic diversity of five invasive pests of *Eucalyptus* in sub-Saharan Africa[J]. Biological Invasions, 2020, 22(7): 2205–2221.

[12] Bouwer M C. Identification of volatile organic compounds from eucalyptus detected by *Gonipterus scutellatus* (Gyllenhal) females[D]. Pretoria: University of Pretoria, 2010.

[13] 杨秀好, 骆有庆, 蓝霞, 等. 桉蝙蛾幼虫危害桉树的空间格局研究 [J]. 北京林业大学学报, 2015, 37(5): 102−109.
Yang X H, Luo Y Q, Lan X, et al. Spatial pattern of *Endoclita vietnamensis* larvae damaging eucalyptus trees [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2015, 37(5): 102−109.

[14] 杨秀好, 于永辉, 曹书阁, 等. 桉树蛀干新害虫——桉蝙蛾形态与生物学研究 [J]. 林业科学研究, 2013, 26(1): 34−40.
Yang X H, Yu Y H, Cao S G, et al. Morphology and biology of a new trunk-boring pest of eucalyptus, *Endoclita vietnamensis* [J]. Forest Research, 2013, 26(1): 34−40.

[15] 林丽静, 陈志云, 李奕震. 我国桉树主要食叶害虫的危害及防治 [J]. 桉树科技, 2006(1): 45−48.
Lin L J, Chen Z Y, Li Y Z. Damage and control of major leaf-eating pests of eucalyptus in China [J]. Eucalypt Science & Technology, 2006(1): 45−48.

[16] 许原, 张玉静, 熊运凡, 等. 桉蝙蛾幼虫对桉树树干及其林下浅层土壤挥发物的嗅觉行为反应 [J]. 南方农业学报, 2022, 53(7): 1953−1962.
Xu Y, Zhang Y J, Xiong Y F, et al. Olfactory responses of *Endoclita vietnamensis* larvae to volatiles of eucalyptus trunks and shallow soil under eucalyptus forest [J]. Journal of Southern Agriculture, 2022, 53(7): 1953−1962.

[17] 张森哲, 刘佳欣, 付恒飞, 等. 桉蝙蛾气味结合蛋白 EsigOBP8 与桉树挥发物的结合特性 [J]. 北京林业大学学报, 2025, 47(8): 1−9.
Zhang S Z, Liu J X, Fu H F, et al. Binding characteristics of odor binding protein EsigOBP8 from *Endoclita vietnamensis* and volatile compounds from *Eucalyptus* spp. [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2025, 47(8): 1−9.

[18] 路文静, 李奕松. 植物生理学实验教程 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2012: 143.
Lu W J, Li Y S. Experimental course of plant physiology [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2012: 143.

[19] 李志霞, 聂继云, 闫震, 等. 响应面法对 3, 5-二硝基水杨酸比色法测定水果中还原糖含量条件的优化 [J]. 分析测试学报, 2016, 35(10): 1283−1288.
Li Z X, Nie J Y, Yan Z, et al. Optimization of 3, 5-dinitrosalicylic acid colorimetric method for determination of reducing sugar content in fruits by response surface methodology [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2016, 35(10): 1283−1288.

[20] 张小贝, 朱国鹏, 祝志欣, 等. 利用 3, 5-二硝基水杨酸法测定菜用甘薯叶中的多糖含量 [J]. 热带生物学报, 2017, 8(3): 359−363.
Zhang X B, Zhu G P, Zhu Z X, et al. Determination of polysaccharide content in sweet potato leaves for vegetable use by 3, 5-dinitrosalicylic acid method [J]. Journal of Tropical Biology, 2017, 8(3): 359−363.

[21] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导 [M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2003: 328.
Zhang Z L, Qu W J. Guidance for plant physiology experiments[M]. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press, 2003: 328.

[22] Anwar A, Sakhawat R, Aysha S, et al. The disposition of bioactive compounds from fruit waste, their extraction, and analysis using novel technologies: a review [J]. Processes, 2022, 10(10): 2014.

[23] Hewavitharana G G, Perera N D, Navaratne S, et al. Extraction methods of fat from food samples and preparation of fatty acid methyl esters for gas chromatography: a review [J]. Arabian Journal of Chemistry, 2020, 13(8): 6865−6875.

[24] 刘慧文. 分光光度法快速测定核桃仁中总单宁含量 [J]. 现代仪器, 2010, 16(6): 35−36.
Liu H W. Rapid determination of total tannin content in walnut kernels by spectrophotometry [J]. Modern Instruments, 2010, 16(6): 35−36.

[25] 齐笑笑, 张雪平, 刘春燕, 等. 超声波辅助提取石榴果皮单宁的工艺优化 [C]// 第三届中国园艺学会石榴分会会员代表大会暨首届中国泗洪软籽石榴高峰论坛论文集. 宿迁: 国家石榴产业科技创新联盟筹备会, 2018.
Qi X X, Zhang X P, Liu C Y, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of tannins from pomegranate peel [C]// Proceedings of the 3rd Member Representative Conference of the Pomegranate Branch of the Chinese Society for Horticulture, the First China Sihong Soft-Seed Pomegranate Summit Forum, and the Preparatory Meeting of the National Pomegranate Industry Technology Innovation Alliance. Suqian: Preparatory Meeting for the National Pomegranate Industry Science and Technology Innovation Alliance, 2018.

[26] 张华峰. 桉树枝瘿姬小蜂侵害机理及寄主桉树化学防御研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2013.
Zhang H F. Study on the infestation mechanism of *Quadrastichus erythrinae* and chemical defense of its host eucalyptus [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2013.

[27] 陈蓬凤, 梅新, 黄师荣, 等. 不同品种薯尖的总酚、总黄酮含量及抗氧化活性比较 [J]. 现代食品科技, 2021, 37(3): 132−138.
Chen P F, Mei X, Huang S R, et al. Comparison of total phenol, total flavonoid contents and antioxidant activities of different varieties of sweet potato tips [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(3): 132−138.

[28] 段笑影, 曹冬冬, 崔强, 等. 狗尾草多酚的提取工艺及抗氧化活性研究 [J]. 中国酿造, 2019, 38(7): 168−173.
Duan X Y, Cao D D, Cui Q, et al. Extraction process and antioxidant activity of polyphenols from *Setaria viridis* [J]. China Brewing, 2019, 38(7): 168−173.

[29] 郭春晖. 温度和寄主植物对桉树枝瘿姬小蜂形态和生理指标的影响 [D]. 南宁: 广西大学, 2018.
Guo C H. Effects of temperature and host plants on the morphological and physiological indices of *Quadrastichus erythrinae* [D]. Nanning: Guangxi University, 2018.

[30] Botcha S, Prattipati S. Role of amylase and protease in germinating *Sterculia urens* Roxb [J]. Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research, 2020, 55(2): 107−112.

[31] 柴艳萍, 张建宇, 王苑馨, 等. 饥饿程度及取食不同植物对莲草直胸跳甲消化酶的影响 [J]. 植物保护学报, 2016, 43(5): 738−744.
Chai Y P, Zhang J Y, Wang Y X, et al. Effects of starvation degree and feeding on different plants on the digestive enzymes of *Agasicles hygrophila* [J]. Journal of Plant Protection, 2016, 43(5): 738−744.

[32] 张艳蕾, 张克信, 马岳, 等. 草地贪夜蛾对玉米品种的取食选择性与玉米叶片中化学物质的关系 [J]. 中国植保导刊, 2021, 41(6): 10−16.
Zhang Y L, Zhang K X, Ma Y, et al. Relationship between feeding preference of *Spodoptera frugiperda* to maize varieties and chemicals in maize leaves [J]. China Plant Protection, 2021, 41(6): 10−16.

[33] 高俊平, 庞保平, 孟瑞霞, 等. 南美斑潜蝇寄主选择性与植物营养物质及叶绿素含量的关系 [J]. 应用生态学报, 2007, 18(3): 701−704.
Gao J P, Pang B P, Meng R X, et al. Relationships between host selectivity of *Liriomyza huidobrensis* and plant nutrient and chlorophyll contents [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(3): 701−704.

[34] 沈嘉程, 廖为财, 罗鹏, 等. 桑天牛寄主选择及其与植物营养和次生代谢物质含量的相关性分析 [J]. 江西农业大学学报, 2021, 43(4): 783−791.
Shen J C, Liao W C, Luo P, et al. Host selection of *Apriona germari* and its correlation with plant nutrients and secondary metabolites contents [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2021, 43(4): 783−791.

[35] 王志刚, 张彦广, 黄大庄. 不同杨树树种枝条木质部酚类次生代谢物质的分析 [J]. 河北农业大学学报, 1999, 22(4): 75−78.
Wang Z G, Zhang Y G, Huang D Z. Analysis of phenolic secondary metabolites in xylem of branches of different poplar species [J]. Journal of Hebei Agricultural University, 1999, 22(4): 75−78.

[36] 王伟, 徐建民, 李光友, 等. 桉树枝瘿姬小蜂危害对桉树次生代谢产物含量的影响 [J]. 热带亚热带植物学报, 2013, 21(6): 521−528.
Wang W, Xu J M, Li G Y, et al. Effects of *Quadrastichus erythrinae* damage on secondary metabolite contents in eucalyptus [J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2013, 21(6): 521−528.

[37] Maag D, Erb M, Köllner T G, et al. Defensive weapons and defense signals in plants: some metabolites serve both roles [J]. Bioessays, 2015, 37(2): 167−174.

[38] Afroz M, Rahman M M, Amin M R. Insect-plant interaction with reference to secondary metabolites: a review[J]. Agricultural Reviews, 2021, 42(4): 427−433.

[39] Divekar P A, Narayana S, Divekar B A, et al. Plant secondary metabolites as defense tools against herbivores for sustainable crop protection [J]. Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(5): 2690.

[40] 梁薇, 麻亚辉, 陈丽慧, 等. 寄主植物对植食性昆虫选择行为影响的研究进展 [J]. 生物灾害科学, 2022, 45(3): 299−304.
Liang W, Ma Y H, Chen L H, et al. Research progress on the influence of host plants on the selection behavior of phytophagous insects [J]. Biological Disaster Science, 2022, 45(3): 299−304.

[41] 樊婷. 大豆对斜纹夜蛾抗性资源的筛选与抗性 QTL 的定位 [D]. 南京: 南京农业大学, 2016.
Fan T. Screening of soybean resistance resources to *Spodoptera litura* and QTL mapping of the resistance [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2016.

[42] Ajmal S, Perveen R, Chohan S, et al. Role of secondary metabolites biosynthesis in resistance to cotton leaf curl virus (CLCuV) disease [J]. African Journal of Biotechnology, 2011, 10(86): 18137−18141.

[43] 禹海鑫, 叶文丰, 孙民琴, 等. 植物与植食性昆虫防御与反防御的三个层次 [J]. 生态学杂志, 2015, 34(1): 256−262.
Yu H X, Ye W F, Sun M Q, et al. Three levels of defense and counter-defense between plants and phytophagous insects [J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34(1): 256−262.

[44] 王聪慧, 张健, 谢振才, 等. 虫害诱导的杨树不同品种次生代谢产物季节变化规律 [J]. 吉林林业科技, 2015, 44(3): 14−20.
Wang C H, Zhang J, Xie Z C, et al. Seasonal variation of secondary metabolites in different poplar varieties induced by insect pests [J]. Jilin Forestry Science and Technology, 2015, 44(3): 14−20.

[45] Danso O A, Su W, Zheng T, et al. Jasmonic acid (JA) signaling pathway in rice defense against *Chilo suppressalis* infestation [J]. Rice, 2025, 18(1): 7.

[46] Kumari P, Jaiswal N, Singh S, et al. Antioxidant enzyme responses in different wheat species infested with the corn leaf aphid, *Rhopalosiphum maidis* Fitch [J]. Frontiers in Plant Science, 2025, 16: 1414672.

[47] Dan L, Fujin X, Minrong H, et al. Sublethal effects of the cis-nitromethylene neonicotinoid insecticide cycloxaprid on the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae) [J]. Crop Protection, 2023, 166: 106172.

[48] Liu Y, Li Z, Chen X, et al. Investigation of the fall armyworm *(Spodoptera frugiperda*) gut microbiome and entomopathogenic fungus-induced pathobiome [J]. Journal of Invertebrate Pathology, 2023, 200: 107976.

（责任编辑　范　娟　李　契
责任编委　骆有庆）