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

东方木蠹蛾幼虫龄期划分及形态判别指标筛选

魏龙海 王立祥 张逸凡 李春春 谢博将 王小强

Instar classification and selection of optimal morphological discriminant traits for *Cossus orientalis* larvae

Wei Longhai, Wang Lixiang, Zhang Yifan, Li Chunchun, Xie Bojiang, Wang Xiaoqiang

引用本文:
魏龙海, 王立祥, 张逸凡, 李春春, 谢博将, 王小强. 东方木蠹蛾幼虫龄期划分及形态判别指标筛选[J]. 北京林业大学学报, 2026, 48(10):147–156. doi: 10.12171/j.1000–1522.20250516
Wei Longhai, Wang Lixiang, Zhang Yifan, Li Chunchun, Xie Bojiang, Wang Xiaoqiang. Instar classification and selection of optimal morphological discriminant traits for *Cossus orientalis* larvae[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2026, 48(10):147–156. doi: 10.12171/j.1000–1522.20250516

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20250516

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

板栗种质资源矮化相关形态指标的综合评价

Comprehensive evaluation of morphological indicators related to dwarfism in chestnut germplasm resources

北京林业大学学报, 2025, 47(8): 88–100. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20240383

短毛切梢小蠹幼虫头部感器的类型、分布与数量特征

Type, distribution and quantitative characteristics of sensory organs on the larval head of *Tomicus brevipilosus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae)

北京林业大学学报, 2024, 46(4): 63–73. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20230105

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

脱氢表雄酮对美国白蛾幼虫G6PD活性及几丁质合成的影响

Effects of dehydroepiandrosterone on G6PD activity and chitin synthesis in *Hyphantria cunea* larvae

北京林业大学学报, 2025, 47(10): 108–119. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20240420

桉蝙蛾幼虫对不同寄主的取食偏好与生理响应

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

北京林业大学学报, 2026, 48(4): 148–155. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20250462

蝽对美国白蛾的捕食行为观察和捕食能力评价

Observation of predation behavior and evaluation on predation capacity of *Arma chinensis* against *Hyphantria cunea*

北京林业大学学报, 2022, 44(1): 94–102. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20200299

DOI:10.12171/j.1000−1522.20250516

东方木蠹蛾幼虫龄期划分及形态判别指标筛选

魏龙海[1] 王立祥[1] 张逸凡[2] 李春春[1] 谢博将[1] 王小强[3]
（1. 甘肃农业大学植物保护学院，甘肃 兰州 730070；2. 甘肃农业大学林学院，甘肃 兰州 730070；
3. 嘉峪关市林业管理站，甘肃 嘉峪关 735100）

摘要:【目的】东方木蠹蛾是我国重要的林木蛀干害虫，对甘肃河西走廊地区的二白杨和旱柳等防护林树种造成严重危害。因其幼虫钻蛀取食，世代长且不整齐，虫龄精准判定较为困难，明确幼虫龄数及最佳分龄指标是实现精准预测与科学防控的重要依据。**【方法】**于 2023 年 7 月 8 日至 2025 年 9 月 18 日在甘肃省嘉峪关市样地共获得不同龄期东方木蠹蛾幼虫 2 139 头，通过野外采集并结合室内饲养，系统测定东方木蠹蛾幼虫头壳宽、上颚长、上颚宽、体长、体宽和前胸背板宽 6 项形态指标，运用频次分布法和 Dyar 定律初步判断幼虫龄数，并利用 Crosby 生长法则和回归模型对各项指标的龄数判别进行交叉验证与评估。**【结果】**在东方木蠹蛾幼虫的 6 项形态指标中，头壳宽、上颚长、上颚宽和前胸背板宽的频次分布均呈现出 19 个聚集峰值（离散峰），体长的频次分布有 18 个离散峰，体宽有 20 个离散峰，其中头壳宽、上颚长和上颚宽的变异系数均低于 20%，Crosby 指数均低于 10%，符合 Crosby 生长法则，可作为分龄指标，因此，可确定东方木蠹蛾幼虫为 19 龄。回归分析显示三次模型与东方木蠹蛾幼虫分龄拟合效果最佳，头壳宽与龄数拟合度最高，决定系数最大（R^2 = 0.997 1），且 Crosby 指数和变异系数均最低，为幼虫最佳分龄指标。**【结论】**研究发现河西走廊地区东方木蠹蛾的幼虫为 19 龄，头壳宽为幼虫龄数判别的最佳指标。本研究弥补了该虫龄数判别量化标准的不足，为发生规律研究与监测防控提供了依据。

关键词：东方木蠹蛾；幼虫龄数；分龄指标；Crosby 生长法则；拟合回归模型
中图分类号：S763.42 **文献标志码：**A **文章编号：**1000−1522(2026)10−0147−10
引文格式：魏龙海，王立祥，张逸凡，等. 东方木蠹蛾幼虫龄期划分及形态判别指标筛选［J］. 北京林业大学学报，2026，48(10)：147−156. Wei Longhai, Wang Lixiang, Zhang Yifan, et al. Instar classification and selection of optimal morphological discriminant traits for *Cossus orientalis* larvae［J］. Journal of Beijing Forestry University, 2026, 48(10): 147−156.

Instar classification and selection of optimal morphological discriminant traits for *Cossus orientalis* larvae

Wei Longhai[1] Wang Lixiang[1] Zhang Yifan[2] Li Chunchun[1] Xie Bojiang[1] Wang Xiaoqiang[3]
(1. College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China;
2. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China;
3. Jiayuguan City Forestry Management Station, Jiayuguan 735100, Gansu, China)

Abstract: ［**Objective**］ The carpenter moth *Cossus orientalis* is an important wood-boring pest of forest trees in China, which causes severe damage to shelterbelt tree species such as *Populus* × *xiaohei* var. *gansuensis* and *Salix matsudana* in the Hexi Corridor of Gansu Province. Its larvae bore into trunks for feeding, with a long and asynchronous life cycle, leading to considerable difficulty in the precise determination of larval instars. Clarifying the number of larval instars and identifying the optimal indicators

收稿日期: 2025−12−22 **修回日期:** 2026−03−17
基金项目: 嘉峪关市重点研发计划（24-23、25-28），国家自然科学基金项目（32501666）。
第一作者: 魏龙海。主要研究方向：林业有害生物监测与防治。Email: 384593789@qq.com 地址：730070 甘肃省兰州市安宁区营门村 1 号甘肃农业大学植物保护学院。
责任作者: 王立祥，副教授。主要研究方向：林业有害生物监测与防治。Email: wanglx@gsau.edu.cn 地址：同上。
本刊网址: https://j.bjfu.edu.cn; https://journal.bjfu.edu.cn

for instar discrimination serve as an important basis to realize accurate forecasting and scientific pest management. [**Method**] A total of 2 139 larvae of the *Cossus orientalis* at different developmental stages were collected from sampling plots in Jiayuguan City, Gansu Province, from July 8, 2023 to September 18, 2025. Through field sampling combined with indoor rearing, six morphological indicators of *C. orientalis* larvae were systematically measured, including head capsule width, mandibular length, mandibular width, body length, body width, and pronotum width. Frequency distribution analysis and Dyar's law were used to preliminarily determine the larval instars, and Crosby's growth rule together with regression models were applied to cross-validate and evaluate the instar determination performance of each indicator. [**Result**] Among the six morphological indicators of *C. orientalis* larvae, the frequency distributions of head capsule width, mandibular length, mandibular width, and pronotum width each showed 19 aggregation peaks (distinct peaks), while body length and body width showed 18 and 20 distinct peaks, respectively. The coefficients of variation of head capsule width, mandibular length, and mandibular width were all below 20%, and the Crosby indices were all below 10%, which conform to Crosby's growth rule and can therefore be used as instar determination indicators. Based on these results, the larvae of *C. orientalis* were determined to have 19 instars. Regression analysis showed that the cubic model provided the best fit for larval instar determination, with head capsule width showing the highest goodness of fit with instar, the largest coefficient of determination (R^2 = 0.997 1), and the lowest Crosby index and coefficient of variation, indicating that it is the optimal indicator for larval instar determination. [**Conclusion**] This study demonstrated that *C. orientalis* larvae in the Hexi Corridor region undergo 19 instars, and that head capsule width is the optimal indicator for larval instar determination. This study makes up for the deficiency in quantitative criteria for larval instar discrimination of this insect, and provides a basis for research on its occurrence regularity, monitoring and control

Key words: *Cossus orientalis*; larval instar; instar indicators; Crosby's growth rule; regression models

东方木蠹蛾(*Cossus orientalis*)隶属于鳞翅目(Lepidoptera)木蠹蛾科(Cossidae)木蠹蛾属(*Cossus*),是我国重要的林木蛀干害虫。该虫曾被视为芳香木蠹蛾(*Cossus cossus*)的亚种,现已提升为独立种[1]。其分布于我国华北、东北、西北、华中地区及山东等地,主要危害杨属(*Populus* spp.)、柳属(*Salix* spp.)、榆属(*Ulmus* spp.)及多种果树等阔叶树木[2]。近年来,该虫在甘肃省河西走廊地区及新疆等地猖獗成灾,严重威胁当地林业生态与经济发展,且现有研究未明确河西走廊种群东方木蠹蛾幼虫龄期数量与最优判别指标,无法支撑虫害预测预报,因此,开展本研究具备重要的生产与科研价值。

东方木蠹蛾在我国多数地区 2 年发生 1 代,发育过程需跨越 3 个年度,以幼虫在枝干或土中越冬;成虫 4—6 月羽化,产卵量大,多产于树皮裂缝和伤口处[1]。初孵幼虫侵入寄主韧皮部,可在单株树干内部上下迁移蛀食;高龄幼虫向根基、主干木质部纵深钻蛀,破坏树木输导组织,引发枯梢、整株枯死[2]。该虫幼虫长期隐匿于树干内部蛀食危害,野外难以收集各龄期完整连续样本,也难以直观判定发育阶段。蛀干害虫不同龄期的幼虫对环境的适应性不同[3],在危害寄主部位、取食策略和营养需求等方面存在差异[4]。因此,准确判定幼虫龄数,不仅是评估种群发育阶段和预测危害周期的关键前提,也是确定最佳防治时机的关键依据[5],对提升害虫综合治理的精准性具有重要意义[6]。

目前,昆虫幼虫龄数划分主流统计方法包含频次分布法、聚类算法与核密度估计法。形态测定指标以头壳宽为核心,辅以头壳长、上颚长、上颚宽、体长、体宽和前胸背板宽等指标。研究发现,鳞翅目毒蛾科舞毒蛾(*Lymantria dispar*)[7]、夜蛾科素点夜蛾(*Condica capensis*)[8]、木蠹蛾科小线角木蠹蛾(*Streltzoviella insularis*)[9]和鞘翅目豆象科皂角豆象(*Megabruchidius dorsalis*)[10]均采用上述方法与形态指标完成幼虫龄数划分。头壳宽之所以被广泛作为核心指标,是因为 Dyar[11]提出的 Dyar 定律(戴氏定律)指出,昆虫在连续龄期发育过程中,头壳宽通常呈几何级数规律递增,且其用于划分龄数的稳定性和准确性已得到大量研究[12−15]的验证,被视为一种公认的可靠指标。此外,Crosby 生长法则可用于交叉验证。该法则建立在戴氏定律基础上,是昆虫龄数划分的验证准则,用于检验幼虫骨化形态指标(头壳宽、前胸背板宽、上颚宽等)分龄是否合理,可有效排除因个体差异导致的“伪峰”或“漏龄”现象。

然而，针对东方木蠹蛾的龄期划分研究严重滞后。受其生活史长、世代重叠及获取连贯发育期标本难度大等限制，目前对其龄期的记载仅见于 1990 年《中国木蠹蛾志》[16]中关于“18 龄”的简述，既缺乏系统的指标测量数据，也未建立科学的分龄指标体系及相关理论验证。基于此，本研究以甘肃河西走廊地区东方木蠹蛾幼虫为研究对象，系统测定其头壳宽、上颚长、上颚宽、前胸背板宽、体长及体宽 6 项形态指标，运用频次分布法推测幼虫龄数，并结合室内饲养数据，运用 Dyar 定律、Crosby 生长法则和回归模型对各项指标进行多维度交叉验证与评估，进而筛选最佳分龄指标。本研究旨在明确东方木蠹蛾幼虫龄数并筛选最佳分龄指标，进一步完善该虫的基础生物学资料，并为该害虫在西北地区的精准防控提供理论支撑。

1　材料与方法

1.1　供试幼虫

1.1.1　野外种群采集

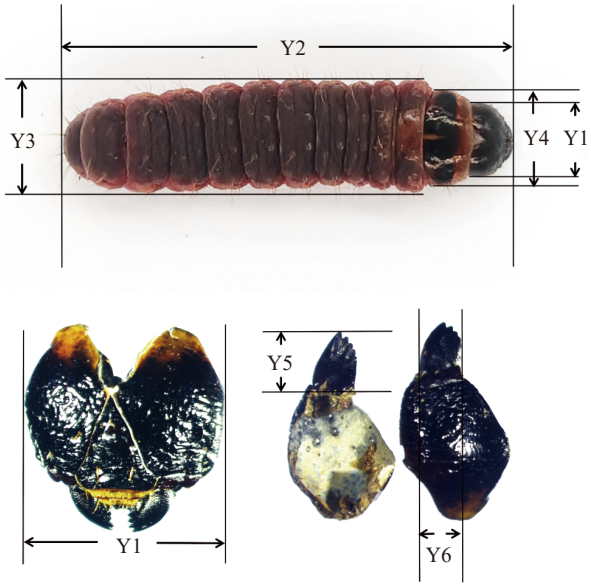
于 2023 年 7 月 8 日至 2025 年 9 月 18 日，在甘肃省嘉峪关市机场路（39°46′46.38″N，98°18′48.89″E）与阳关路（39°46′48.02″N，98°15′03.77″E）的防护林带定期采集东方木蠹蛾幼虫样本。在幼虫危害期（5—10 月）每 15 d 采集 1 次，共采集 23 次；在幼虫越冬期（11 月至次年 4 月）每 2 个月采集 1 次，共采集 6 次，共计野外采样 29 次。每次随机选取 2～3 株严重受害树木伐倒，主要为旱柳（*Salix matsudana*）和二白杨（*Populus* × *xiaohei* var. *gansuensis*），收集东方木蠹蛾幼虫，其中初孵幼虫和末龄幼虫分别收集。初孵幼虫获取方法：4 月下旬收集土中虫蛹，待其羽化后置于 1 m × 1 m × 1 m 养虫笼中，使其交配并产卵后收集卵粒，孵化获得初孵幼虫。末龄幼虫获取方法：在越冬期结束前，于被害树木周围 2～3 m 范围内的土层搜集预蛹，并收集末龄幼虫[11]。本试验累计收集不同龄期幼虫 2 139 头。

1.1.2　室内种群饲养

为获得连续发育龄期的形态数据，在室内利用人工饲料（杨树粉、麦胚、酵母、琼脂、山梨酸、维生素 C 等混合配制）进行同步饲养。将孵化后的幼虫饲养于培养皿（150 mm × 15 mm）中，共设置 18 个培养皿，每皿 50 头，初始总计 900 头。随虫龄增大适时降低每皿饲养密度并做好标记，每日观察蜕皮情况，收集并记录幼虫蜕下的头壳。受限于该虫极长的发育期，室内饲养数据记录至幼虫第 10 次蜕皮（即 11 龄）。饲养条件设定为温度（25 ± 1）℃，相对湿度（60 ± 5）%，在甘肃农业大学植物保护学院昆虫生态实验室完成。

1.2　分龄指标及测量方法

参考榆木蠹蛾（*Holcocerus vicarius*）[17]和沙棘木蠹蛾（*Eogystia hippophaecola*）[18]的幼虫龄期划分方法，本研究选定头壳宽、体长、体宽、前胸背板宽、上颚长及上颚宽 6 项形态特征作为东方木蠹蛾幼虫的分龄指标（各项指标测量部位见图 1）。



Y1. 头壳宽；Y2. 体长；Y3. 体宽；Y4. 前胸背板宽；Y5. 上颚长；Y6. 上颚宽。

图 1　东方木蠹蛾幼虫 6 项分龄指标测量部位

Fig. 1　Measurement sites of 6 instar-dividing indicators for *Cossus orientalis* larvae

测量工作视样品大小而定：体型微小、几丁质化程度低的低龄幼虫，使用奥林巴斯体式显微镜（SZX16 + EP50）及配套图像分析系统测量；体型较大、骨化程度高的高龄幼虫，则采用数显游标卡尺（精度 0.01 mm）直接测量。野外采集的活体幼虫以及室内饲养定期抽样测定的幼虫，均浸泡于 75% 乙醇中致死并固定后进行测量。确保每个预测龄期的有效样本量 60 头，以满足统计分析要求。

1.3　数据分析

试验数据采用 SPSS Statistics 27.0 与 Origin 2024 软件进行统计分析并作图。首先，对 6 项形态指标的测定数据进行频次分布分析，绘制频次分布图，根据图中峰值的数量与分布特征，对幼虫可能存在的龄数进行初步判定。其次，在初步定龄的基础上，分别计算各龄期上述形态指标的平均值、标准误差及变异系数。为检验划分结果的准确性，依据 Crosby 生长法则，分别计算各相邻龄期间的 Brooks 指数（I_{Brooks}）与 Crosby 指数（I_{Crosby}）。一般认为，当同龄期单项指标的变异系数小于 20%，且 Crosby 指数小于 10% 时，判定该指标的龄数划分结果可靠[19]。

$$I_{\text{Brooks}} = \frac{X_n}{X_{n-1}} \quad (1)$$

式中：X_n 与 X_{n-1} 分别代表第 n 龄与第(n−1)龄幼虫各测量指标的均值。

$$I_{\text{Crosby}} = \frac{B_n - B_{n-1}}{B_{n-1}} \quad (2)$$

式中：B_n 与 B_{n-1} 则分别为对应的第 n 与第(n−1)个 Brooks 指数。

最后，将符合上述检验标准的各项指标数据与对应虫龄进行回归分析[20]，比较不同回归模型的拟合优度[21]，从而筛选出判定东方木蠹蛾幼虫龄数的最佳形态指标。回归模型包括一次、二次、三次和指数模型，以决定系数(R^2)最大、Crosby 指数和变异系数最小作为最佳分龄指标的筛选依据。

2 结果与分析

2.1 东方木蠹蛾幼虫龄数初步划分

2.1.1 野外捕获幼虫 6 项指标频次分布

对野外采集的东方木蠹蛾幼虫头壳宽、体长、体宽、前胸背板宽、上颚长和上颚宽 6 项形态数据进行测定，并绘制频次分布图(图 2)。结果显示，头壳宽、上颚长、上颚宽和前胸背板宽 4 项指标均呈现 19 个

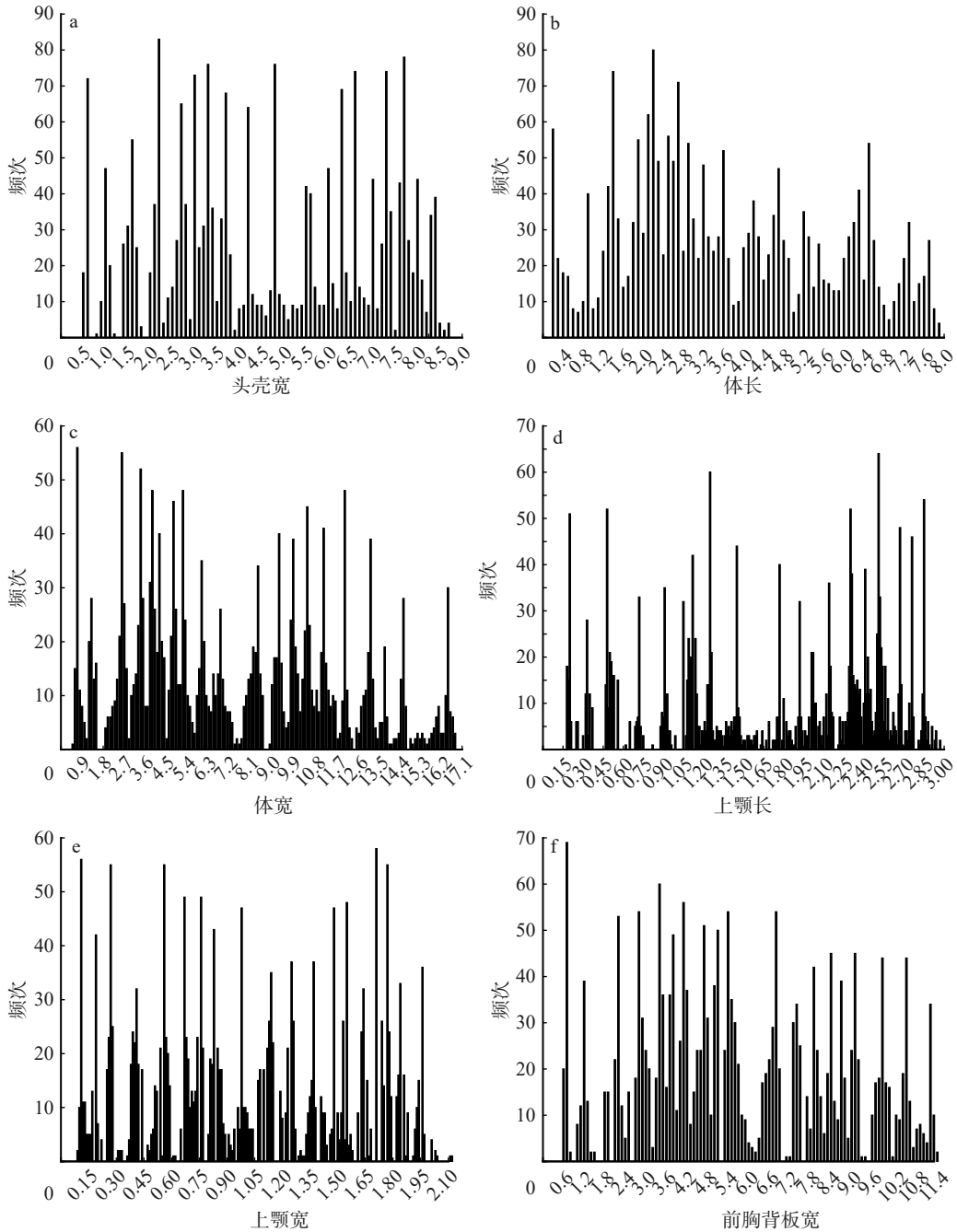


图 2 野外捕获东方木蠹蛾幼虫 6 项分龄指标频次分布图

Fig. 2 Frequency distribution of six instar-determination indicators for field-collected larvae of the *Cossus orientalis*

离散峰（图 2a、d~f），体长和体宽频次分布图分别呈现 18 个（图 2b）和 20 个离散峰（图 2c）。基于上述主要稳定指标的峰值数量，将野外东方木蠹蛾幼虫龄数初步划分为 19 龄。不同龄期幼虫的形态特征（体色、大小）差异明显（图 3）。

2.1.2　室内饲养幼虫 6 项指标频次分布

室内饲养幼虫不同指标的频次分布图（图 4）显示，头壳宽、体宽、前胸背板宽、上颚长、上颚宽 5 个试指标均呈现 11 个离散峰（图 4），这与试验记录结果一致（10 次蜕皮，即 11 龄），表明室内饲养幼虫龄数初步划分为 11 龄；但体长仅呈现 10 个离散峰（图 4b），说明相邻期幼虫体长数据存在重叠现象，不宜作为独立分龄指标。

2.2　东方木蠹蛾幼虫分龄指标的确定

2.2.1　野外幼虫分龄指标的确定

进一步分析各项指标的变异系数和 Crosby 指数（附表 1）发现，头壳宽、上颚长和上颚宽的变异系数均小于 20%，且 Crosby 指数均小于 10%，符合 Crosby 生长法则。其中，头壳宽的变异系数和 Crosby 指数均最小，表现出极高的稳定性。相比之下，体长、体宽和前胸背板宽存在个别龄期 Crosby 指数大于 10% 的情况，仅可作为次要分龄依据。据此确定，东方木蠹蛾幼虫划分为 19 龄是合理的，且头壳宽为最佳分龄指标（各龄期具体测量数值见附表 1）。

2.2.2　人工饲养幼虫分龄指标的确定

室内饲养幼虫的数据验证（附表 2）得出了一致的结论：仅头壳宽、上颚长和上颚宽 3 项指标符合 Crosby 生长法则（变异系数小于 20%，Crosby 指数小于 10%），且头壳宽的两项数值均最小。幼虫体长、体宽和前胸背板宽的变异系数均小于 20%，仅个别龄期的 Crosby 指数大于 10%，仅可作为次要分龄指标。

综上所述，室内测定结果与野外结果均说明头壳宽、上颚长和上颚宽可为分龄指标，其中头壳宽最佳。对比室内饲养幼虫与野外幼虫头壳宽频数分布图（图 5）发现，室内饲养幼虫龄数划分结果与野外结果一致，进一步说明野外采集幼虫初步划分的龄数可信度高，分龄恰当。

2.3　东方木蠹蛾幼虫龄数的确定与拟合回归分析

为量化评估各项分龄指标与幼虫龄数的相关性，建立拟合回归模型，并比较不同模型的决定系数



图 3　东方木蠹蛾各龄期幼虫

Fig. 3　Larvae of *Cossus orientalis* at different instars

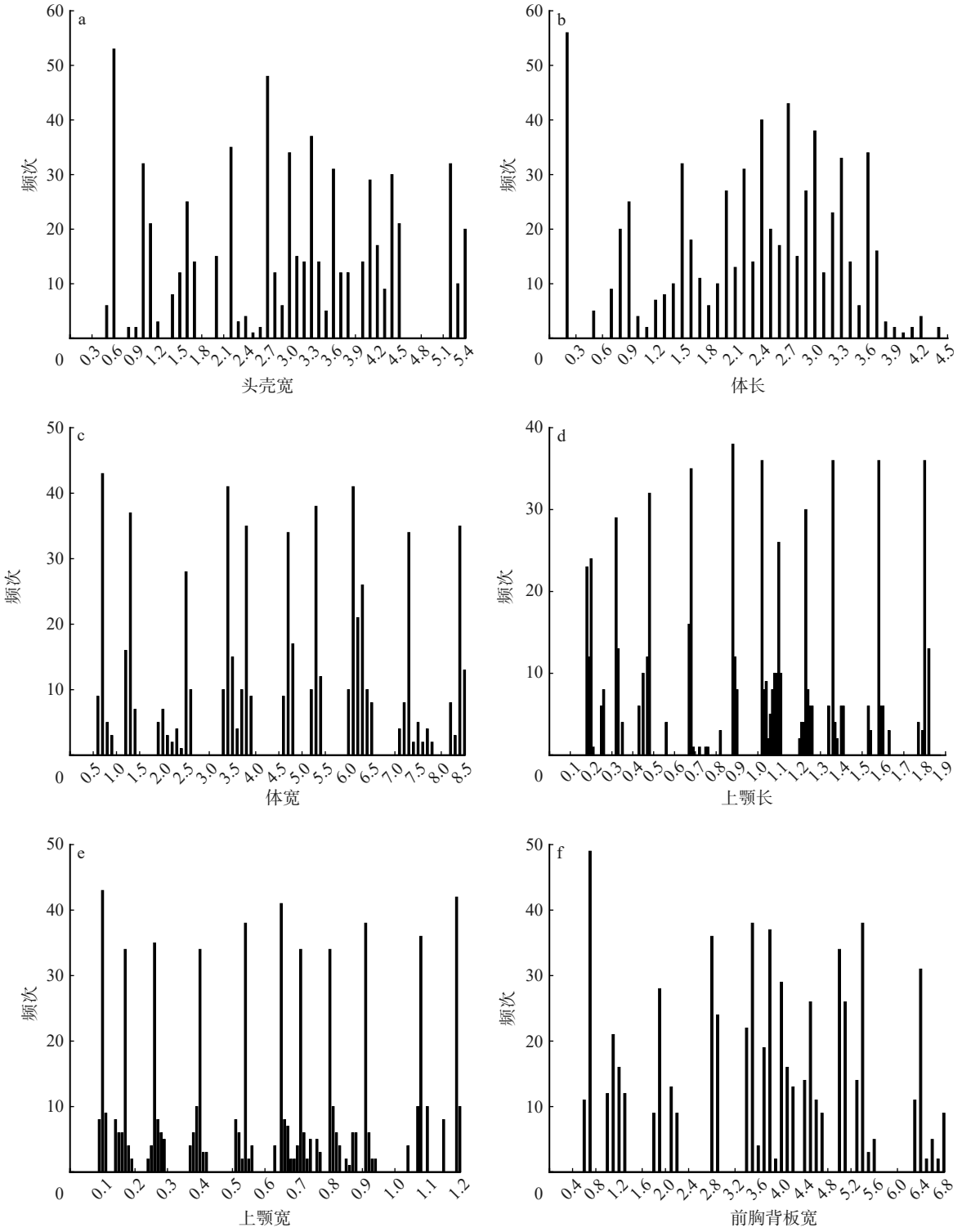


图 4 室内饲养东方木蠹蛾幼虫 6 项分龄指标频次分布图

Fig. 4 Frequency distribution of six instar-determination indicators for larvae of the *Cossus orientalis* in artificial rearing

(R^2)。R^2 越接近 1，表明模型对“指标–龄数”关系的解释能力越强。由表 1 可知，三次模型的各项指标与幼虫龄数拟合效果最佳(R^2 均在 0.993 以上)；其次是二次模型和一次模型的拟合效果，指数模型的拟合度较低。其中，头壳宽的决定系数最大(R^2 = 0.997 1)，上颚宽(R^2 = 0.996 8)和上颚长(R^2 = 0.994 7)次之，可作为分龄指标；但结合 Crosby 指数和变异系数，头壳宽仍为最佳分龄指标。此外，通过对幼虫 1 ~ 18 次蜕皮头壳形态观察(图 6)发现，不同龄期幼虫头壳上均具明显的“Y”字刻纹和“V”字形缺口；低龄幼虫头壳颜色较浅且表面光滑，高龄幼虫头壳颜色逐渐加深，质地较粗糙，且伴有不规则凹痕。结合上述统计学推断与形态学证据，最终确定甘肃河西走廊地区东方木蠹蛾幼虫共划分为 19 龄。

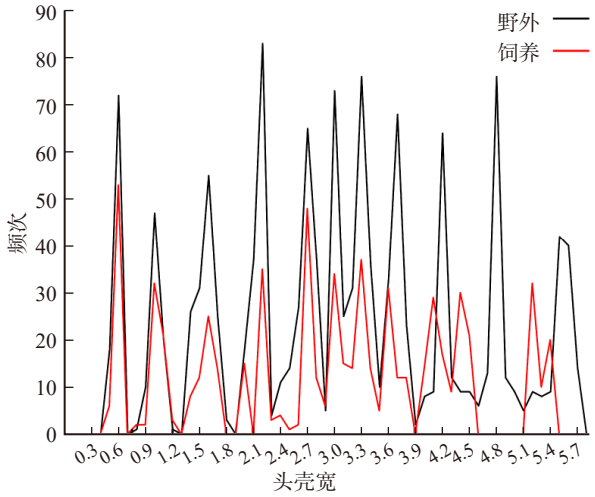


图 5　野外与室内饲养的东方木蠹蛾幼虫头壳宽频数分布比较

Fig. 5　Comparison of head capsule width frequency distribution between field-collected and laboratory-reared larvae of *Cossus orientalis*

3　讨　　论

明确蛀干害虫幼虫龄数是研究其生物学特性、制定精准防控策略的基础[22]。本研究以野外调查数据为主，结合室内饲养验证，确定甘肃河西走廊地区东方木蠹蛾幼虫共分为 19 龄。此前，杨美红等[17]和宗世祥等[18]也分别证实了同科的榆木蠹蛾幼虫（20 龄）和沙棘木蠹蛾幼虫（16 龄）具有极多的发育龄期。这说明木蠹蛾类幼虫普遍具有“多龄期”的发育特征。值得注意的是，《中国木蠹蛾志》中记载东方木蠹蛾幼虫为 18 龄[16]。本研究确定的 19 龄与之有微小差异，可能与地理种群的生态适应性密切相关。昆虫的发育历期和蜕皮次数受环境温度[23]及寄主营养状况[24]的显著影响。甘肃河西走廊地区气候

表 1　东方木蠹蛾幼虫 6 项分龄指标不同拟合回归模型及决定系数

Tab. 1　Different fitting regression models and coefficients for six instar-determination indicators of *Cossus orientalis* larvae

指标	拟合模型	回归方程	决定系数（R^2）
头壳宽	一次	$y = 0.397 + 0.439x$	0.992 8
	二次	$y = 0.041 + 0.533x - 0.004x^2$	0.995 2
	三次	$y = 0.239 + 0.422x + 0.009x^2 - 4.837 \times 10^{-4}x^3$	0.997 1
	指数	$y = 9.557 - 10.298e^{-0.134x}$	0.592 0
体长	一次	$y = 0.057 - 0.413x$	0.993 4
	二次	$y = 0.390 + 0.280x - 0.006x^2$	0.993 0
	三次	$y = 0.058 + 0.465x - 0.016x^2 + 8.330 \times 10^{-4}x^3$	0.994 7
	指数	$y = -7.845 + 8.224e^{0.035x}$	0.993 4
体宽	一次	$y = 0.211-0.778x$	0.989 0
	二次	$y = 0.507 + 0.580x + 0.009x^2$	0.993 1
	三次	$y = 0.327 + 0.630x + 0.005x^2 + 1.005 \times 10^{-4}x^3$	0.995 0
	指数	$y = -0.552 + 1.161e0.133x$	0.640 2
前胸背板宽	一次	$y = 0.358 - 0.564x$	0.991 3
	二次	$y = 0.446 + 0.540x + 0.001x^2$	0.991 4
	三次	$y = 0.206 + 0.633x - 0.008x^2 + 2.812 \times 10^{-4}x^3$	0.993 8
	指数	$y = -0.956 + 1.507e^{0.110x}$	0.640 1
上颚长	一次	$y = 0.079 + 0.153x$	0.990 3
	二次	$y = -0.045 + 0.188x - 0.001x^2$	0.993 1
	三次	$y = 0.080 + 0.123x + 0.006x^2 - 2.622 \times 10^{-4}x^3$	0.994 7
	指数	$y = 5.096 - 5.15e^{-0.046x}$	0.958 7
上颚宽	一次	$y = 0.004 - 0.107x$	0.992 1
	二次	$y = 0.085 + 0.131x - 0.001x^2$	0.996 3
	三次	$y = 0.001 + 0.088x - 0.004x^2 - 1.784 \times 10^{-4}x^3$	0.996 8
	指数	$y = 2.797 - 2.923e^{-0.067x}$	0.756 1

注：回归方程中x代表自变量龄数，y代表应变量对应的形态测量指标（头壳宽、上颚长等）。



第1～18代表第1至第18次蜕皮的头壳。

图 6 东方木蠹蛾幼虫 1～18 次蜕皮头壳

Fig. 6 Head capsules of *Cossus orientalis* larvae from the 1st to 18th instar

干旱、冬夏温差剧烈，加之幼虫在树干内部营隐蔽生活时常面临木质部营养匮乏的胁迫，东方木蠹蛾极可能通过增加蜕皮次数来延长发育历期（2 年 1 代，跨越 3 个年度[1]），从而达到度过极端环境和完成营养积累的生态适应目的。

在探讨分龄指标的可靠性时，Dyar 提出“昆虫骨化部位随蜕皮呈几何级数增长”规律[11]。本研究中，东方木蠹蛾幼虫的头壳宽、上颚长和上颚宽均完全符合 Crosby 生长法则[19]。其中，头壳宽表现出最优的稳定性，且与龄数的三次模型回归方程拟合度最高（R^2 = 0.997 1），上颚宽和上颚长的拟合度也较高。这一结论高度契合木蠹蛾科昆虫分龄体系的共性规律：在榆木蠹蛾[17]、沙棘木蠹蛾[18]及小线角木蠹蛾[9]的相关研究中，头壳宽均被证实为最佳核心分龄指标，而上颚等相关形态特征则作为重要的辅助验证指标，二者协同保障了分龄结果的准确性。

不同类群昆虫的幼虫分龄指标体系既存在共性规律，也表现出物种特异性。除木蠹蛾科外，鳞翅目枯叶蛾科[25]，以及鞘翅目豆象科[10]、露尾甲科[26]和直翅目网翅蝗科[27]的现有研究均证实，头壳宽、前胸背板宽与上颚相关骨化指标可有效地应用于昆虫幼虫龄数判别。相比之下，体长、体宽等由于易受幼虫取食状态、含水量及测量时虫体伸缩程度的影响，变异系数通常较大，仅宜作为次要或辅助参考，如蚁科的日本弓背蚁（*Camponotus japonicus*）[28]用幼虫的体毛、体色作为龄期划分辅助参考。综合本研究的数据与前人研究规律，昆虫幼虫头壳宽、前胸背板宽、上颚长、上颚宽等高度骨化结构的间断式增长特征，均可作为幼虫龄期划分的关键依据。

4 结 论

本研究综合野外种群调查与室内同步饲养数据，确定甘肃省河西走廊地区的东方木蠹蛾幼虫龄数为 19 龄。在其 6 项主要形态指标中，头壳宽是最稳定、最可靠的分龄指标，上颚长和上颚宽可作为次要辅助验证指标。本研究填补了东方木蠹蛾龄期量化标准的不足，为河西走廊地区东方木蠹蛾的发生动态监测、危害程度评估及针对性防治策略的制定提供理论依据。未来仍需进一步开展跨区域的地理种群比较，以揭示温湿度变化及不同寄主植物等对该虫龄数发育的可塑性影响。

附表 1～2 数据详见 https://j.bjfu.edu.cn/article/exportSupplementary?id=89f7cfc9-80da-46b1-b4a3-0830299bcd62&pageType=cn。

参 考 文 献

[1] 李成德. 森林昆虫学 [M]. 2 版. 北京: 中国林业出版社, 2022: 359−360.
Li C D. Forest entomology [M]. 2nd ed. Beijing: China Forestry Publishing House, 2022: 359−360.

[2] 黄事焜, 樊军锋, 葛舒悦, 等. 芳香木蠹蛾东方亚种危害与不同杨树品系物理性状的关系 [J]. 东北林业大学学报, 2024, 52(10): 119−123,141.
Huang S K, Fan J F, Ge S Y, et al. Relationship between damage caused by *Cossus cossus orientalis* gaede and physical characteristics of different *Populus strains* [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2024, 52(10): 119−123,141.

[3] Keena M A, Richards J Y. Effects of temperature on *Anoplophora chinensis* (Coleoptera: Cerambycidae) larvae and pupae [J]. Environmental Entomology, 2022, 51(1): 153−166.

[4] Simović N, Dobrosavljević J, Milenković I L, et al. Enhancement of bioactivity of common ash and *Manna ash* leaf extracts against spongy moth larvae using a chitosan–gelatin biopolymer matrix [J]. Forests, 2025, 16(5): 774.

[5] 张亚杰, 蒋媛, 陈连芳, 等. 桑褶翅尺蛾幼虫龄期的划分 [J]. 绿色科技, 2026, 28(9): 110−113.
Zhang Y J, Jiang Y, Chen L F, et al. Division of Larval Instars of

Zamacra excavata Dyar [J]. Journal of Green Science and Technology, 2026, 28(9): 110−113.

[6] Cao D D, Liu J F, Zhao Z P, et al. Chemical compounds emitted from *Mentha spicata* repel *Aromia bungii* females [J]. Insects, 2022, 13(3): 244.

[7] 马晓凡, 李亚飞, 窦烽瑞, 等. 舞毒蛾幼虫龄数和龄期的划分 [J]. 植物保护学报, 2023, 50(6): 1625−1632.
Ma X F, Li Y F, Dou F R, et al. Division of instar number and stage of the spongy moth *Lymantria dispar* larvae [J]. Journal of Plant Protection, 2023, 50(6): 1625−1632.

[8] 钱鹏帆, 张永科, 张晓媛, 等. 基于 4 种聚类算法对素点夜蛾幼虫龄期的划分 [J]. 云南农业大学学报 (自然科学), 2025, 40(2): 24−31.
Qian P F, Zhang Y K, Zhang X Y, et al. Division of *Condica capensis* larval instar based on four clustering algorithms [J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 2025, 40(2): 24−31.

[9] 信晓萌, 韩世德, 王勇, 等. 小线角木蠹蛾幼虫龄数的划分 [J]. 中国森林病虫, 2024, 43(1): 1−8.
Xin X M, Han S D, Wang Y, et al. Division of larval instars of *Streltzoviella insularis* [J]. Forest Pest and Disease, 2024, 43(1): 1−8.

[10] 李和萍, 陈思雨, 武承旭, 等. 皂角豆象幼虫龄期指标与判别 [J]. 植物保护, 2025, 51(2): 215−224.
Li H P, Chen S Y, Wu C X, et al. Instar index and discrimination of *Megabruchidius dorsalis* (Coleoptera: Chrysomelidae: bruchinae)larvae [J]. Plant Protection, 2025, 51(2): 215−224.

[11] Dyar H G. The number of molts of lepidopterous larvae [J]. Psyche: A Journal of Entomology, 1890, 5(175-176): 420−422.

[12] 彭少刚, 李玉春, 王霞, 等. 内蒙古额济纳天然胡杨林柳脊虎天牛幼虫龄数划分研究 [J]. 环境昆虫学报, 2025, 47(1): 214−221.
Peng S G, Li Y C, Wang X, et al. Study on the denineation of larval instar numbers of *Xylotrechus* namanganensis Heyden in natural forest of *Populus* euphraticain Oliv in Ejina, Inner Mongolia [J]. Journal of Environmental Entomology, 2025, 47(1): 214−221.

[13] 张桂芬, 殷惠军, 王玉生, 等. 番茄潜叶蛾幼虫的龄数和龄期测定 [J]. 中国生物防治学报, 2023, 39(2): 340−345.
Zhang G F, Yin H J, Wang Y S, et al. Determination of larval instars and duration of the tomato leaf miner, *Tuta absoluta*(Meyrick)(Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. Chinese Journal of Biological Control, 2023, 39(2): 340−345.

[14] 张方梅, 尤伟晨, 陈磊, 等. 茶蚜龄期划分及各龄期形态特征的识别 [J]. 应用昆虫学报, 2024, 61(1): 197−205.
Zhang F M, You W C, Chen L, et al. Identification of the instar and morphological characteristics of *Toxoptera aurantia* Fonscolombe [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2024, 61(1): 197−205.

[15] 潘雪红, 魏吉利, 商显坤, 等. 甘蔗黄螟幼虫龄数的划分及其发育历期观察 [J]. 环境昆虫学报, 2025, 47(2): 651−657.
Pan X H, Wei J L, Shang X K, et al. Larval instars determination of *Tetramoera schistaceana* (Lepidoptera: Olethreutidae) and observation of its developmental periods [J]. Journal of Environmental Entomology, 2025, 47(2): 651−657.

[16] 花保祯, 周尧, 方德齐, 等. 中国木蠹蛾志: 鳞翅目 木蠹蛾科 [M]. 杨凌: 天则出版社, 1990: 2−3.
Hua B Z, Zhou Y, Fang D Q, et al. Notes on coccidiphyllidae from China: Lepidoptera [M]. Yanglin: Tianze Publishing House, 1990: 2−3.

[17] 杨美红, 张金桐, 宗世祥, 等. 榆木蠹蛾幼虫龄数的确定 [J]. 昆虫学报, 2012, 55(6): 710−718.
Yang M H, Zhang J T, Zong S X, et al. Determination of the larval instar number of the carpenter moth *Holcocerus vicarius* (Lepidoptera: Cossidae) [J]. Acta Entomologica Sinica, 2012, 55(6): 710−718.

[18] 宗世祥, 骆有庆, 许志春, 等. 沙棘木蠹蛾幼虫龄期的初步研究 [J]. 昆虫知识, 2006, 43(5): 626−631.
Zong S X, Luo Y Q, Xu Z C, et al. Preliminary study on different larval instars of seabuckthorn carpenter moth, *Holcocerus hippophaecolus* [J]. Chinese Bulletin of Entomology, 2006, 43(5): 626−631.

[19] 王静, 袁媛, 王宇英, 等. 柚木驼蛾幼虫龄数和龄期的划分 [J]. 林业科学研究, 2026, 39(3): 192−199.
Wang J, Yuan Y, Wang Y Y, et al. Division of Instar Number and Stage of *Hyblaea puera* Cramer [J]. Forest Research, 2026, 39(3): 192−199.

[20] 董灵波, 邵威威, 田栋元, 等. 基于林木分级的大兴安岭天然兴安落叶松树高曲线研究 [J]. 北京林业大学学报, 2023, 45(5): 88−96.
Dong L B, Shao W W, Tian D Y, et al. Height curve of natural *Larix gmelinii* in the Daxing'anling Mountains of northeastern China based on forest classification [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2023, 45(5): 88−96.

[21] 程雯, 武晓昱, 叶尔江·拜克吐尔汉, 等. 基于混合效应和分位数回归的温带针阔混交林树高与胸径关系研究 [J]. 北京林业大学学报, 2024, 46(2): 28−39.
Cheng W, Wu X Y, Yeerjiang Baiketuerhan, et al. Research on the relationship between tree height and DBH of temperate coniferous and broadleaved mixed forests based on mixed effects and quantile regression [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2024, 46(2): 28−39.

[22] 戴歆祎, 党英侨, 王小艺. 中国森林昆虫学研究进展与展望 [J]. 应用昆虫学报, 2025, 62(5): 1445−1457.
Dai X Y, Dang Y Q, Wang X Y. Research progress and prospects of forest entomology in China [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2025, 62(5): 1445−1457.

[23] 崔小林, 樊楠楠, 白鹏华, 等. 不同温度下绿豆象幼虫的龄期划分 [J]. 山西农业科学, 2021, 49(6): 754−759.

Cui X L, Fan N N, Bai P H, et al. Division of Larval Instars of *Callosobruchus chinensis* under Different Temperatures [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2021, 49(6): 754−759.

[24] 李亚茹, 张连军, 刘宁, 等. 番茄麦蛾生物学特性观察及人工饲料优化 [J]. 环境昆虫学报, 2023, 45(6): 1738−1746.
Li Y R, Zhang L J, Liu N, et al. Observation on biological characteristics of *Tuta absoluta* and its optimization of artificial diet [J]. Journal of Environmental Entomology, 2023, 45(6): 1738−1746.

[25] 王和旺, 王伟, 郭福莹, 等. 红树榄李害虫——木麻黄胸枯叶蛾 *Streblote castanea* 的形态学特征及幼虫龄期快速鉴定 [J/OL]. 应用昆虫学报, 2025, 1−11. [2025−12−18]. https://link.cnki.net/urlid/11.6020.Q.20251011.0913.002.
Wang H W, Wang W, Guo F Y, et al. Morphological characteristics of Streblote castanea, a pest ofmangrove *Lumnitzera littorea*, and rapid identification of its larval instars [J/OL]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2025, 1−11. [2025−12−18]. https://link.cnki.net/urlid/11.6020.Q.20251011.0913.002.

[26] 李丽莉, 田粟粟, 迟宝杰, 等. 花斑露尾甲幼虫龄期测定指标及发育历期研究 [J]. 应用昆虫学报, 2026, 63(4): 1032−1037.
Li L L, Tian S S, Chi B J, et al. Morphological indicators of the larval instars and developmental duration of *Phenolia picta* [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2026, 63(4): 1032−1037.

[27] 李志红, 柳璎珊, 张威, 等. 基于不同特征指标的黄脊竹蝗若虫龄期判别 [J]. 应用昆虫学报, 2023, 60(1): 275−286.
Li Z H, Liu Y S, Zhang W, et al. Identification of the nymphal instars of the yellow-spined bamboo locust, *Ceracris kiangsu* (Orthoptera: Arcypteridae), based on different morphological characteristics [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2023, 60(1): 275−286.

[28] 杨绿, 张亮亮, 马若清, 等. 日本弓背蚁不同发育阶段形态特征及幼虫体毛研究 [J]. 应用昆虫学报, 2026, 63(1): 100−111.
Yang L, Zhang L L, Ma R Q, et al. Morphological characteristics of the different developmental stages and larval body hair of *Camponotus japonicus* [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2026, 63(1): 100−111.

（责任编辑 范 娟
责任编委 骆有庆）