

内蒙古额济纳天然胡杨林柳脊虎天牛幼虫 龄数划分研究

彭少刚^{1*}, 李玉春^{2*}, 王霞³, 巴依苏拉⁴, 鲍婉婷³, 李红霞²,
乔轶华², 贾雨桥¹, 陆鹏飞^{1**}, 程业森^{3**}

(1. 北京林业大学, 林木资源高效生产全国重点实验室, 北京 100083; 2. 额济纳旗林业和草原局胡杨研究所, 内蒙古自治区阿拉善盟额济纳旗 735400; 3. 阿拉善盟林业和草原有害生物防治检疫站, 内蒙古自治区阿拉善盟阿拉善左旗 750300; 4. 额济纳胡杨林国家级自然保护区管理局, 内蒙古自治区阿拉善盟额济纳旗 735400)

摘要: 柳脊虎天牛 *Xylotrechus namanganensis* Heyden 是危害胡杨 *Populus euphratica* Oliv、榆树 *Ulmus pumila* L 等多种阔叶树的蛀干性害虫, 2013 年柳脊虎天牛被国家林业局列入“林业危险性有害生物名单”。

因其隐蔽性极强, 龄数划分十分困难。本研究通过在额济纳旗天然胡杨林区定期收集不同发育阶段的柳脊虎天牛幼虫, 并选取体长、体宽、头壳宽度、触角孔间距、前胸背板宽度 5 项形态指标进行测定。利用频次分布图初步判定龄数, 同时运用 Crosby 生长法则和回归分析等方法进行验证分析。结果表明柳脊虎天牛幼虫龄数可以划分为 6 龄, 体宽、头壳宽度、触角孔间距、前胸背板均符合 Dyar 法则, 测量值与龄数呈现显著的拟合关系。其中前胸背板宽 (Y) 与虫龄 (X) 的拟合度最高, 回归方程为 $Y=0.5192e^{0.3782x}$ ($r^2=0.9667$), 是幼虫龄数划分的最佳指标。本文对研究柳脊虎天牛发生规律及生物生态学特性, 制定防治策略和预测预报害虫发生规律都有一定的指导价值, 同时也可为其他地区珍稀胡杨林保护提供可借鉴的经验。

关键词: 胡杨林; 柳脊虎天牛; 幼虫龄数; 头壳宽; 前胸背板

中图分类号: Q968.1; 文献标识码: A 文章编号: 1674-0858 (2024) 00-0000-00

Study on the denination of larval instar numbers of *Xylotrechus namanganensis* Heyden in natural forest of *Populus euphratica* Oliv in Ejina, Inner Mongolia (Coleoptera: Cerambycidae)

PENG Shao-Gang^{1*}, LI Yu-Chun^{2*}, WANG Xia³, BA Yi-Su-La⁴, BAO Wan-Ting³, LI Hong-Xia², QIAO Yi-Hua², JIA Yu-Qiao¹, LU Peng-Fei^{1**}, CHENG Ye-Sen^{3**} (1. Beijing Forestry University, State Key Laboratory of Efficient Production of Forest Resources, Beijing 100083, China; 2. Ejina Forestry and Grassland Administration, Hu Yang Research Institute, Ejina Banner, Alxa League, Inner Mongolia 735400, China; 3. Alxa League State of Forestry and Grassland Pest Control and Quarantine, Alxa Left Banner, Alxa League, Inner Mongolia 750300, China; 4. Ejina Hu Yang

基金项目: 阿拉善盟科技计划项目 (AMYY2022-14); 国家自然科学基金 (32371889); 国家重点研发计划 (2021YFD1400900)

*共同第一作者: 彭少刚, 男, 1997 年生, 湖北鄂州人, 硕士研究生, 研究方向为森林昆虫, E-mail: Psg2017@126.com;

李玉春, 女, 1972 年生, 内蒙古额济纳旗人, 正高级工程师, 研究方向为林业有害生物防治, E-mail: liyuchun720@yeah.net

**共同通讯作者 Author for correspondence: 陆鹏飞, 男, 博士, 教授, 研究方向为昆虫化学生态学、林木钻蛀性害虫生态调控,

E-mail: lpengfei224@126.com; 程业森, 男, 正高级工程师, 研究方向为林业有害生物防控技术与荒漠化防治, E-mail:

chys7210@163.com

收稿日期 Received: 2024-01-09; 接受日期 Accepted: 2024-05-20

National Nature Reserve Administration, Ejina Banner, Alxa League, Inner Mongolia 735400, China)

Abstract: *Xylotrechus namanganensis* Heyden is an important wood-boring pest of *Populus euphratica* Oliv, *Ulmus pumila* L and other broad-leaved trees, it was included in the "List of Dangerous Pests in Forestry" by the State Forestry Administration in 2013. It is very difficult to classify the instar of the larvae because it is extremely cryptic. In this study, the larvae of *X. namanganensis* were regularly collected from *P. euphratica* forests in Ejina at different developmental stages, and selected five morphological index data, namely, body length, body width, Head capsule width, Distance between antennal rings, Prothoracic plate width, respectively. Frequency distribution diagrams were used to determine the preliminary age number, and Crosby's rules and regression analysis were used to verify the analysis. The results showed that the larvae of *X. namanganensis* could be divided into six instars. body width, Head capsule width, Distance between antennal rings, Prothoracic plate width, All of them conformed to Dyar's and Measurements showed a significant fit with instar. Among which the fit between the width of the anterior thoracic dorsal plate (Y) and the age of the larvae (X) was the highest, and the regression equation was $Y=0.5192e^{0.3782x}$ ($r^2=0.9667$). It is the best indicator for larval instar classifications. This article has some guiding value for the study of the occurrence pattern and bioecological characteristics of *X. namanganensis*, the development of control strategies and prediction and forecasting of the occurrence pattern of the pest, and also provides experience for the protection of rare *P. euphratica* forests in other regions.

Key words: *Populus euphratica* forest; *Xylotrechus namanganensis*; larval instar number; head capsule width; prothoracic plate width

柳脊虎天牛 *Xylotrechus namanganensis* Heyden, 又名纳曼干脊虎天牛, 属鞘翅目 Coleoptera 天牛科 Cerambycidae, 主要危害胡杨 *Populus euphratica* Oliv、丝棉木 *Euonymus maackii* Rup、国槐 *Sophora japonica* L、旱柳 *Salix matsudana* Koidz、榆树 *Ulmus pumila* L. 等多种阔叶树种, 是重要的蛀干性害虫 (李玉春, 2018)。该虫是古北区中亚亚区的特有种, 在国外分布于阿富汗、哈萨克斯坦等国 (王爱静, 2000), 国内目前在新疆克拉玛依市和内蒙古额济纳旗确定有柳脊虎天牛危害 (李玉春, 2018), 2013 年柳脊虎天牛被国家林业局 (现国家林草局) 列入“林业危险性有害生物名单”[国家林业局公告 (2013 年第 4 号)]。胡杨是第三纪的孑遗植物, 在欧、亚、非大陆均有天然林分布, 主要聚集分布区在地中海周围和我国新疆, 内蒙古等地 (乔海莉, 2007)。胡杨不仅具有极高的观赏旅游价值, 也是额济纳地区荒漠和沙地上唯一能够自然成林的乔木种, 具有耐盐碱、耐大气干旱、抗风沙、抗寒和抗贫瘠等特性, 其对维持我国西北地区生态系统的稳定发挥着重要作用 (张伊莹等, 2023)。目前额济纳旗境内 70% 天然胡杨林为过熟林, 衰弱的树势非常适宜该虫寄生, 其幼虫在树木韧皮部和木质部取食为害, 进一步加剧了胡杨林的衰败。李玉春利用定性及半

定量的有害生物风险评估方法（PRA）研究分析了柳脊虎天牛对我国天然胡杨林的风险情况，确定其在阿拉善盟额济纳旗地区的综合风险值（R）为 2.24，属于胡杨林的高度危险性有害生物，严重威胁额济纳绿洲的生态安全。但由于胡杨为珍稀古树无法砍伐，树皮又纵裂极深，该虫的隐蔽性极强，因此很难系统地观察到幼虫的生活习性以及确定其龄数。

目前，关于柳脊虎天牛生物学特性和防治防控有过相关研究（王爱静，2000），但龄数划分还未见报道。昆虫幼虫虫体在生长发育过程中表现出一定的规律性，大多数昆虫幼虫的体长生长呈现连续性、Dyar 发现昆虫幼虫在某些骨化程度较高的部位，随着生长发育龄数的增加，会呈现出一定的几何级数方式增长，这一现象被称为 Dyar 法则（彩万志等，2011），其对于钻蛀性昆虫龄数的确定具有重要指导作用。参考相关文献来看，Dyar 法则在鞘翅目天牛科的幼虫分龄研究中应用广泛，在分龄指标的选取上头壳宽度、前胸背板宽度，触角孔间距这三项骨化程度高的部位指标选择较多，参考价值较大（张海滨等，2011；王小艺等，2012；任骥等，2014；吕东等，2022），上颚宽、体宽等部位也可作为分龄的辅助指标（潘龙等，2015；张燕如等，2018）。本研究通过定期在胡杨林区收集不同发育阶段的幼虫标本，测量其前胸背板宽度、头壳宽、触角孔间距、体宽、体长 5 项形态结构指标数据，探讨其与柳脊虎天牛的龄数划分关系，并确定出一种划分龄数的最佳形态指标，这对天然胡杨林的防治保护和科学研究都具有重大意义，它能够为进一步深入研究其生物生态学特性以及在胡杨林中的发生规律奠定基础，为预测预报以及最佳防治策略的制定提供理论支撑。同时也可为其地区珍稀胡杨林保护提供借鉴的经验，具有重要的理论和应用价值。

1 材料与方法

1.1 调查地概况

研究区域位于我国西北干旱地区第二大内陆河—黑河流域的下游三角洲地区。虫源采集地位于内蒙古额济纳旗达来呼布镇以东的胡杨林自然保护区内，地理坐标为 41°30'~42°07'N、101°03'~101°17'E，平均海拔 930 m，年平均降水量为 38 mm，年蒸发量高达 3 700 mm 以上，具有干旱少雨、降水量少、蒸发量大、日照充足、风沙多等气候特点，是典型的大陆性气候。

1.2 供试虫源

本试验所用虫源均采集于上述地区，通过在 2022 年至 2023 年两年间，在保护区内定期收集胡杨风折木带回实验室砍伐成每段长为 25~35 cm 木段解剖获取幼虫，采集日期自 2022 年 4 月 20 日起至 2023 年 5 月 10 日结束，幼虫活动高峰期（5 月下旬-8 月中旬）采集周

期为每周剖取 1 段木段，剩余未剖取幼虫的木段进行室内笼养，其余时间段各龄幼虫间隔约半个月剖取一次木段，直到翌年幼虫进入蛹期为止（4 月中下旬）。在采集过程中，将正在蜕皮的幼虫进行单独保存，以便在后续分龄时作为参考。为确保能准确获取到柳脊虎天牛初龄幼虫，2022 年 5 月上旬在柳脊虎天牛交尾产卵高峰时段，单独收集产于室内胡杨树皮裂缝中的卵粒进行培养，待幼虫自然孵化后即可收集初孵幼虫（1 龄）供试。每次采集的幼虫标注好采集头数和采集日期，先放入热水中使虫体自然舒展然后置于 75%酒精浸泡保存待测。

1.3 实验方法

本研究选取了柳脊虎天牛幼虫前胸背板宽、头壳宽度、触角孔间距、体宽、体长（如图 1 所示）这 5 项形态结构指标进行测量，各个指标之间具有不同的特点（如表 1 所示）。

实验中 670 头天牛幼虫共 3 350 头测量指标均使用 Leica SMZ168 体视显微镜拍摄成 TIF 格式照片文件，配合图像分析软件 ImageJ 最后测量出每头幼虫各项指标实际长度。试验中采用游标卡尺对少数体长超过体视显微镜量程的高龄幼虫进行单头测量，最后通过比较分析得出柳脊虎天牛幼虫最佳的分龄指标。

表 1 柳脊虎天牛幼虫分龄测量指标及特点

Table 1 Indicators and characteristics of *Xylotrechus namanganensis* larval instar measurements

分龄测量指标 Larval instar measurements	特点 Characteristic
头壳宽 Head capsule width	头壳骨化度高但是头壳常缩于体内 The Head capsule is highly ossified but the cephalic shell is often retracted within the body
前胸背板宽 Prothoracic plate width	骨化程度强、特征明显、易于观察、无伸缩等优点 Strong ossification, distinctive features, easy to observe, no stretching and other advantages
触角孔间距 Distance between antennal rings	方便林间调查快速判断柳脊虎天牛大致虫龄 Facilitating forest surveys to quickly determine the approximate age of <i>Xylotrechus namanganensis</i>
体长 Body length	
体宽 Body width	

1.4 数据处理与分析

试验测得的全部数据先使用 Excel 2019 进行预处理，然后用 SPSS Statistics 27.0 统计分析软件绘制出柳脊虎天牛各项测量指标的频次分布图，通过观测频次图中的相对集中区域，以此来初步确定柳脊虎天牛幼虫的龄数（张海滨等，2011）。龄数确定后，根据分龄结果计算前胸背板宽度、头壳宽度、体宽、触角孔间距的均值、标准误差及变异系数等，以确定最佳分龄指标。各指标不同龄数之间的范围值，采用 LSD 检验的多重比较法检验各龄期幼虫指标间的差异性。根据 Dyar 定律和 Grosby 生长法则计算 Brooks 指数和 Grosby 指数（Brooks, 1886; Dyar and Rhinebeck, 1890; Crosby, 1973），当变异系数 < 20%、Crosby

指数 $<10\%$ 时，即表明龄数划分指标合理，若 Crosby 指数绝对值大于 0.10，说明分龄不合理，Crosby 指数和 Brooks 指数按照如下公式计算（王小艺等，2012；王芳等，2016）。

$$\text{Brooks 指数} = x = \frac{B_n - B_{n-1}}{B_n - 1} \quad \text{Crosby 指数} = x = \frac{X_n}{X_{n-1}}$$

$$\text{平均头壳宽值} (\bar{x}) = \frac{\sum f(x)}{\sum f} \quad \text{标准差值} (s) = \sqrt{\frac{\sum f(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

公式中 B_n 和 B_{n-1} 分别表示相邻两龄幼虫的 Brooks 指数， X_n 和 X_{n-1} 分别表示相邻两龄幼虫的各个测量指标的平均值，最后通过 5 项测量指标的实际数据与相应龄数之间的关系进行回归分析筛选，通过决定系数 r^2 比较各指标分龄的合理性，并判断幼虫龄数和所测部位的相关性，从而获得柳脊虎天牛幼虫龄数划分的最佳指标。

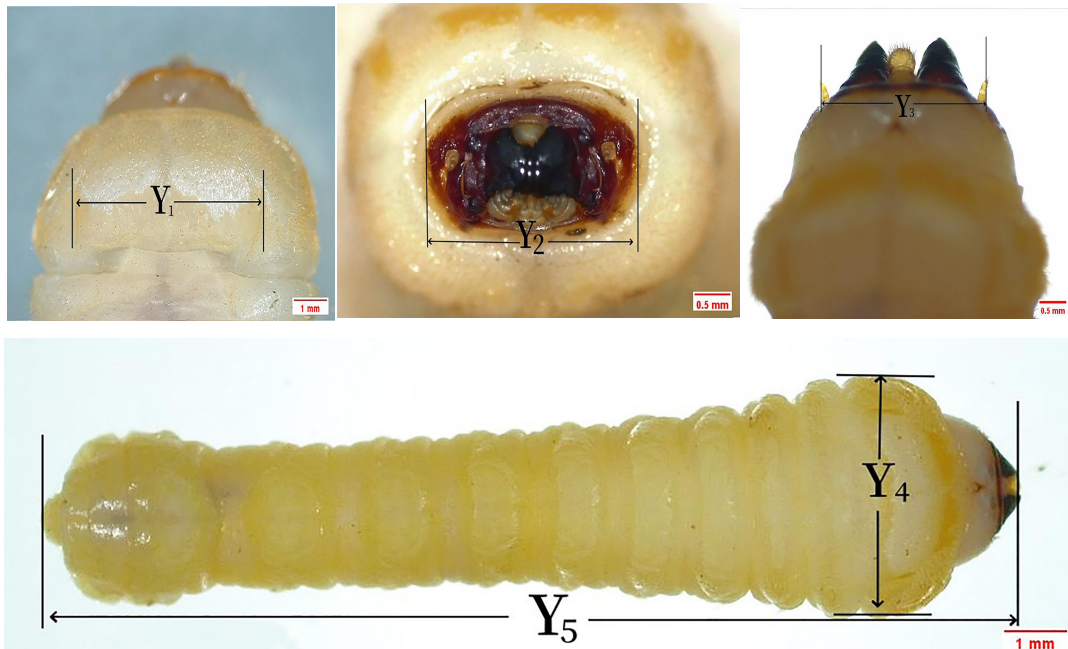


图 1 柳脊虎天牛幼虫龄划分的 5 个测量指标

Fig. 1 Five variables measured for separating instars of *Xylotrechus namanganensis* larvae

注：Y1，前胸背板宽度；Y2，头壳宽；Y3，触角孔间距；Y4，体宽；Y5，体长。Note: Y1, Prothoracic plate width; Y2, Head capsule width; Y3, Distance between antennal rings; Y4, Body width; Y5, Body length.

2 结果与分析

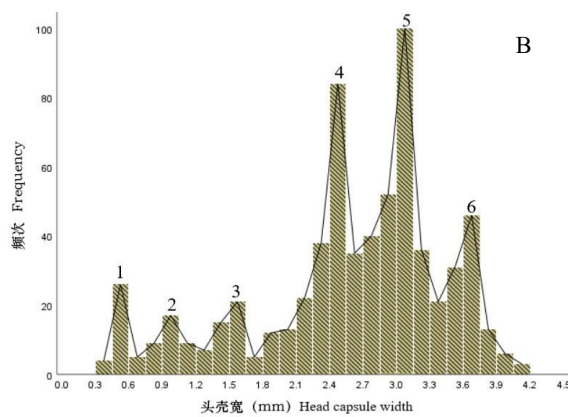
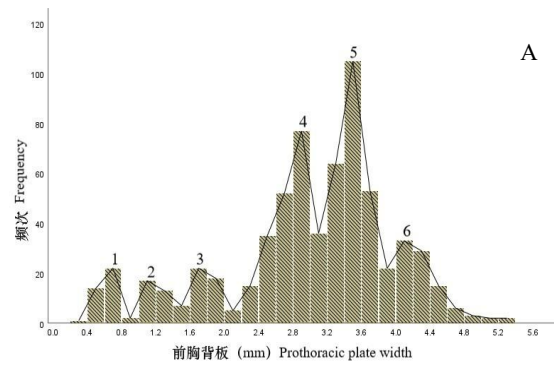
2.1 幼虫龄数的确定及频次分布

通过对 670 头柳脊虎天牛幼虫共 3 350 头指标的测定，并对这 5 项指标实际测量值由小到大排序作频次分布图。结果表明：前胸背板宽度、头壳宽、触角孔间距，体宽四项指标的测定数据均出现了频次相对集中的 6 个分布区，基于每个分布区对应一个龄数的原则，则可以初步确定柳脊虎天牛的龄数为 6 龄。其中前胸背板宽的 6 个峰值分别在 0.70、1.11、

1.75、2.90、3.50、4.10 mm (图 2-A); 头壳宽的 6 个峰值分别在 0.50、1.00、1.60、2.50、3.10、3.70 mm (图 2-B); 触角孔间距的 6 个峰值分别在 0.45、0.85、1.20、1.85、2.35、2.65 mm (图 2-C); 体宽 6 个峰值分别在 0.90、1.43、2.63、3.90、5.13、5.90 mm (图 2-D)。

2.2 Crosby 指数分析

根据测得的数据可分别计算出 4 项指标相对应的均值、变幅、变异系数、Brooks 指数以及 Crosby 指数 (表 2)。根据 Crosby 生长法则, Crosby 指数小于 10%, 则说明划分合理, 且各指标不同龄数之间变异系数均小于 20%, 平均值差异显著无重叠, 上述统计结论表明, 将柳脊虎天牛幼虫龄数划分为 6 龄完全符合 Dyar 氏法则 (Craig, 1975; 张锦坤等, 2021)。体长指标 (图 2-E) 的测定数据频次分布图未显示出相对集中的分布区, 且相邻两龄幼虫之间的体长数据有较大程度的相互重叠, 说明体长指标变异过大, 不宜作为柳脊虎天牛幼虫龄数划分的依据。



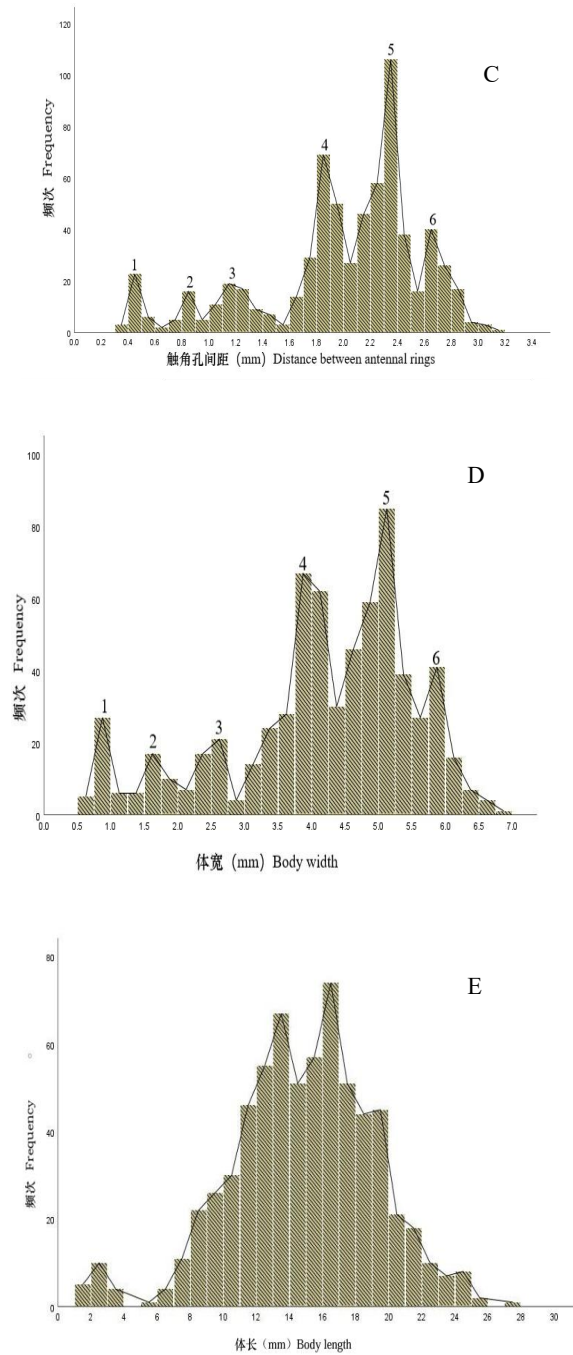


图 2 柳脊虎天牛幼虫分龄 5 项形态指标测量值频次分布图

Fig. 2 Five metrics used for distinguishing instars of *Xylotrechus namanganensis* larvae

表 2 柳脊虎天牛幼虫分龄 5 项指标测量结果

Table 2 Results of examination of the five variables separating instars of *Xylotrechus namanganensis* larvae

形态指标 Morphological feature	龄数 Instar	实测样本数 Samples	均值±标准差 Mean±SE	变幅 Range	变异系数 (%) CV	Brooks 指数 Brooks' ratio	Crosby 指数 Crosby' ratio
前胸背板宽 Prothoracic plate width	1	37	0.650 ± 0.019 f	0.389~0.799	0.173	—	—
	2	33	1.153 ± 0.024 e	0.816~1.450	0.117	1.774	—
	3	51	1.750 ± 0.024 d	1.450~2.199	0.096	1.517	-0.145
	4	215	2.792 ± 0.016 c	2.219~3.195	0.084	1.595	0.051
	5	233	3.515 ± 0.012 b	3.203~3.896	0.052	1.259	-0.211

	6	101	4.286 ± 0.036 a	3.903~5.355	0.071	1.219	-0.032
头壳宽 Head capsule width	1	33	0.518 ± 0.015 f	0.317~0.695	0.161	—	—
	2	32	0.926 ± 0.018 e	0.713~1.149	0.107	1.787	—
	3	53	1.466 ± 0.022 d	1.156~1.799	0.110	1.583	-0.114
	4	204	2.398 ± 0.015 c	1.806~2.698	0.087	1.636	0.033
	5	249	3.035 ± 0.012 b	2.701~3.440	0.060	1.266	-0.226
	6	99	3.669 ± 0.015 a	3.453~4.143	0.041	1.209	-0.045
体宽 Body width	1	34	0.851 ± 0.020 e	0.563~1.098	0.137	—	—
	2	37	1.607 ± 0.039 f	1.118~1.985	0.145	1.889	—
	3	51	2.474 ± 0.036 d	2.011~3.084	0.103	1.539	-0.185
	4	223	3.900 ± 0.024 c	3.101~4.499	0.091	1.577	0.024
	5	229	5.020 ± 0.017 b	4.506~5.493	0.052	1.287	-0.184
	6	96	5.919 ± 0.030 a	5.515~6.901	0.049	1.179	-0.084
触角孔间距 Distance between antennal rings	1	32	0.468 ± 0.008 f	0.383~0.587	0.092	—	—
	2	29	0.820 ± 0.017 e	0.621~1.044	0.112	1.754	—
	3	62	1.223 ± 0.016 d	1.051~1.483	0.099	1.491	-0.150
	4	192	1.871 ± 0.009 c	1.503~2.097	0.063	1.530	0.026
	5	248	2.301 ± 0.007 b	2.102~2.498	0.046	1.230	-0.196
	6	107	2.725 ± 0.013 a	2.501~3.182	0.049	1.184	-0.037

注：表中同一栏内平均值数据后不同字母表示经多重比较（LSD）在5%水平上具有显著差异。Note: Different letters within the same column indicated significant differences between instars based on LSD at 5% level.

2.3 柳脊虎天牛幼虫各龄测量指标与龄数之间的拟合关系

利用指数生长模型对柳脊虎天牛幼虫龄数（X）与4项分龄指标的测得值（Y）之间的关系进行回归分析。结果表明前胸背板宽度（Y₁）、头壳宽度（Y₂）、触角孔间距（Y₃）、体宽（Y₄）这4组数据的实测值与与龄数（X）之间均满足Dyar氏定律所表述的指数关系，经统计检验，幼虫分龄指标与龄数的指数模型存在极显著的相关关系，拟合效果较好（ $P < 0.001$ ），进一步验证表明柳脊虎天牛幼虫龄数划分为6龄是合理的。指数函数曲线拟合结果表明，前胸背板宽（Y₁）与虫龄的拟合最佳，决定系数 r^2 最高，用来估计幼虫龄数效果最好，因此可作为柳脊虎天牛虫龄的最佳判定指标（潘龙等，2014），其它3项指标也可以作为幼虫分龄时的辅助和验证指标。

表3 柳脊虎天牛幼虫分龄指标与龄数之间指数关系拟合结果

Table 3 Regression analysis of the number of larval instars and measured variables of *Xylotrechus namanganensis*

分龄指标 Variables	回归方程 Regression equation	决定系数 r^2 Determination coefficient	统计参数 Significance
前胸背板宽（Y ₁ ） Prothoracic plate width (Y ₁)	$Y_1 = 0.5192e^{0.3782x}$	0.9667	$P < 0.001$
头壳宽（Y ₂ ） Head capsule width (Y ₂)	$Y_2 = 0.4087e^{0.3954x}$	0.9641	$P < 0.001$
触角孔间距（Y ₃ ） Distance between antennal rings width (Y ₃)	$Y_3 = 0.3871e^{0.3523x}$	0.9594	$P < 0.001$
体宽（Y ₄ ） Body width (Y ₄)	$Y_4 = 0.6964e^{0.3877x}$	0.9579	$P < 0.001$

3 结论与讨论

柳脊虎天牛幼虫具体龄数和虫龄划分最佳指标的确定，能够为林业生产上准确测报和科学防治提供理论支撑。目前，国内外尚未对柳脊虎天牛幼虫的龄数划分展开系统性的研究，潘龙等（2015）在脊虎天牛属中的青杨脊虎天牛 *Xylotrechus rusticus* Linn. 幼虫龄数划分研究中，确定了幼虫前胸背板宽度可作为最佳龄数划分指标。张海滨等（2010）在星天牛 *Anoplophora chinensis* Forster 幼虫的分龄研究中选取的是额宽、上颚长和上颚宽 3 项指标用于分龄。蒋琦等（2021）确定了双条杉天牛 *Semanotus bifasciatus* Motschulsky 龄数划分最佳龄数划分指标为幼虫前胸背板、头壳宽、上颚宽三项指标。张燕如等（2018）将柠条绿虎天牛 *Chlorophorus caragana* Xie & Wang 龄数划分为 7 龄，其分龄参考的指标是选取骨化程度较高的触角孔间距和前胸背板宽度。由此可见，对于鞘翅目天牛科幼虫龄数划分研究来说，形态结构上选取骨化程度较高的头壳宽度和前胸背板宽度是较为可靠的测量指标，触角孔间距在幼虫期形态特征较明显且受环境干扰程度小、也可作为较好的分龄辅助指标。

本试验通过林间采集和室内木段笼养相结合从初孵幼虫开始便持续收集柳脊虎天牛不同时段幼虫发育进度依次进行测量，为数据分析的准确性提供了保障。最终试验选取 670 头柳脊虎天牛幼虫虫源的 5 项形态指标中头壳宽、前胸背板宽、触角孔间距、体宽 4 项指标作为分龄依据，这些指标的测量值能够比较直观的反映出幼虫不同部位在不同生长阶段所呈现的密切关系，并且运用 Dyar 规律、Crosby 指数及回归分析后均得出柳脊虎天牛幼虫龄数被划分为 6 龄。各龄幼虫的 4 项测量指标值与龄数之间均呈现差异性显著的指数关系，并且相邻两龄幼虫之间测量指标未发生重叠，进一步说明幼虫前胸背板宽度、头壳宽、触角孔间距、体宽的生长发育呈几何级数增长是符合 Dyar 规律，用来判定龄期是十分可靠的。从数据结果来看，各个指标的频次图初孵幼虫样本量过少，可能与低龄幼虫的发育历期比较短和虫体过小收集困难相关，另外背板宽度虽然是最合适的分龄指标，然而在林间虫害调查时，无法通过观察背板宽度迅速判断出龄数，相比之下，体长和体宽易于肉眼观察，为了在野外快速判定柳脊虎天牛的幼虫龄期，本试验也收集了测量相对便捷的体长指标数据（闫家河等，2021；吕东等，2022）。试验结果证明体长由于变异较大不宜用于柳脊虎天牛幼虫龄期的划分，而体宽数据却可以作为野外幼虫分龄的便捷参数，因此在林间调查时，可以参考体宽各龄范围值快速判定柳脊虎天牛幼虫大致虫龄。

王爱静（2001）在新疆克拉玛依市柳脊虎天牛生活习性的研究中描述该幼虫可分为 6 龄，这与本试验研究结果相一致，但研究的方法和虫龄的具体判断依据并未作详细说明。

由于昆虫幼虫期的生长发育受多种因素共同影响,秦厚国等(2002)发现温度因素对斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* Fabricius 幼虫的虫龄有显著影响。Calvo 和 Molina (2008)发现一种枯叶蛾 *Streblote panda* Hübner 幼虫取食不同寄主,龄数也不相同。蒋琦等(2021)发现虫口密度过大会导致双条杉天牛幼虫在生存空间和食物资源上存在竞争而导致个体偏小。范丽清(2008)发现杨黑点叶蜂 *Pristophora conjugata* Dahlbom 的两性间幼虫龄数上存在差异。新疆和内蒙两个地区柳脊虎天牛幼虫的寄主种类、环境因素和幼虫雌雄的差异对龄数划分的影响尚需进一步研究。

本研究明确了柳脊虎天牛幼虫的龄数及最佳分龄形态指标,同时获取了不同龄数间前胸背板宽度、头壳宽、触角孔间距、体宽四项指标的范围值及相关参数,这些数据为进一步开展柳脊虎天牛生物生态学研究、林间发生规律的预测预报以及最佳防治时机的合理制定奠定了基础,也为荒漠地区特有的珍贵天然胡杨林资源保护发展提供了借鉴。

参考文献 (References)

- Brooks WK. Report on the Stomatopoda collected by H. M. S. Challenger during the Years 1873-1876 [M]. London: Neill and Co, 1886, 5: 105.
- Cai WZ, Pang XF, Hua BZ, et al. General Entomology. The Second Edition [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2011: 229-230. [彩万志, 庞雄飞, 花保祯, 等. 普通昆虫学. 第2版 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011: 229-230]
- Calvo D, Molina JM. Head capsule width and instar determination for larvae of *Streblote panda* (Lepidoptera: Lasiocampidae) [J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 2008, 101 (5): 881-886.
- Craig DA. The larvae of *Tahitian simuliidae* (Diptera: Nematocera) [J]. *Journal of Medical Entomology*, 1975, 12 (4): 463-476.
- Crosby TK. Dyar's rule predated by Brooks's rule [J]. *New Zealand Entomology*, 1973, 5 (2): 175-176.
- Dyar HG, Rhinebeck NY. The number of molts of lepidopterous larvae [J]. *Psyche*, 1890, 5: 420-422.
- Fan LQ. Number and age of larvae of *Pristophora conjugata* Dahlbom [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2008, 1: 144-145. [范丽清. 杨黑点叶蜂幼虫龄数和龄期 [J]. 昆虫知识, 2008, 1: 144-145]
- Jiang Q, Ren LL, Luo YQ. Determination of larval instar number *Semanotus bifasciatus* (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2021, 43 (1) 1: 25-30. [蒋琦, 任利利, 骆有庆. 双条杉天牛幼虫龄数的划分(鞘翅目: 天牛科) [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (1): 25-30]
- Li YC. Risk Analysis of *Xylotrechus namanganensis* Heyden to Natural Forest of *Populus euphratica* Oliv [J]. *Journal of Inner Mongolia Forestry Science and Technology*, 2018, 44 (3) 3: 53-55. [李玉春. 柳脊虎天牛对我国天然胡杨林的风险分析 [J]. 内蒙古林业科技, 2018, 44 (3): 53-55]
- Liu YH, Zhang YQ, Yan XF, et al. Determination of the larval instars of *Trabala vishnou gigantina* Yang (Lepidoptera: Lasiocampidae) [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2014, 51 (5): 1343-1349. [刘永华, 章一巧, 阎雄飞, 等. 栎黄枯叶蛾幼虫龄数的确

- 定 [J]. 应用昆虫学报, 2014, 51 (5): 1343-1349]
- Lü D, Zhao G, Zhao XP, *et al.* Measurement of larval instars of *Megastigmus sabinae* (Hymenoptera: Megastigmidae) [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2022, 44 (3) 1: 768-774. [吕东, 赵祜, 赵兴鹏, 等. 圆柏大痣小蜂幼虫龄期测定 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (3): 768-774]
- Pan L, Li JW, Luo YQ. Determining larval instars in grey tiger longicorn beetle, *Xylotrechus rusticus* (L.) (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2015, 43 (1): 110-113. [潘龙, 李珏闻, 骆有庆. 青杨脊虎天牛幼虫龄期的划分 [J]. 东北林业大学学报, 2015, 43 (1): 110-113]
- Qiao HL, Diversity of Microorganism and Insects, Invasive Risk of *Anoplophora Glabripennis* in Natural Forest of *Populus Euphratica* in Tarim, Xinjiang [D]. Beijing: Beijing Forestry University Doctor Thesis, 2007. [乔海莉. 塔里木天然胡杨林微生物与昆虫多样性及光肩星天牛的入侵风险 [D]. 北京: 北京林业大学博士学位论文, 2007]
- Qing HG, Ye ZX, Ding J, *et al.* Effect of temperature on the development, survival and reproduction of *Spodoptera litura* Fabricius [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2002, 10 (3): 76-79. [秦厚国, 叶正襄, 丁建, 等. 温度对斜纹夜蛾发育、存活及繁殖的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2002, 10 (3): 76-79]
- Ren J. Study on the Indoor Artificial Breeding, the Larvae Instar Determination and the Ovipositing Characters of *Monochamus Alternatus* [D]. Shandong: Shandong Agricultural University Master Thesis, 2014. [任骥. 松褐天牛室内饲养、幼虫龄期及成虫产卵特性的研究 [D]. 山东: 山东农业大学, 2014]
- Wang AJ. Biological Characteristics of *Xylotrechus namanganensis* Heyden (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. *Forest Research*, 2001, 5: 560-565. [王爱静. 纳曼干脊虎天牛的生物学特性研究 [J]. 林业科学研究, 2001, 5: 560-565]
- Wang F, Yu Q, Guo GM, *et al.* Determination of larval instar number and duration of the *Grapholitha molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2016, 53 (2): 390-395. [王芳, 庾琴, 郭贵明, 等. 梨小食心虫幼虫龄数和龄期的划分 [J]. 应用昆虫学报, 2016, 53 (2): 390-395]
- Wang XY, Yang ZQ, Tang YL, *et al.* Determination of larval instar number and duration in the oak longhorn beetle, *Massicus raddei* (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2012, 55 (5): 575-584. [王小艺, 杨忠岐, 唐艳龙, 等. 栗山天牛幼虫龄数和龄期的测定 [J]. 昆虫学报, 2012, 55 (5): 575-584]
- Wang XY, Yang ZQ, Tang YL, *et al.* Parasitism of *Scleroder muspupariae* (Hymenoptera: Bethyridae) on the young larvae of *Massicus raddei* (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2010, 53 (6): 675-682. [王小艺, 杨忠岐, 唐艳龙, 等. 白蜡吉丁肿腿蜂对栗山天牛低龄幼虫的寄生作用 [J]. 昆虫学报, 2010, 53 (6): 675-682]
- Yan JH, Xia MH, Liu HX, *et al.* Measurement of larval instars and stadia of *Stenocephus fraxini* larva [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2021, 43 (1): 31-39. [闫家河, 夏明辉, 刘焕秀, 等. 白蜡外齿茎蜂幼虫龄数和龄期测定 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (1): 31-39]
- Zhang GF, Yin HJ, Wang YS. 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. [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 HB, Wang JW, Zhu XF, *et al.* Determination of larval instars of citrus long-horned beetle, *Anoplophora chinensis* (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48 (3): 688-694. [张海滨, 王建伟, 朱小峰, 等. 星天牛幼虫龄期的划分 [J]. 应用昆虫学报, 2011, 48 (3): 688-694]
- Zhang JK, Hu KY, Zhang GX, *et al.* Observation of emergence rhythm and reproductive behavior of *Cricula variabilis*: A insect pest of *Machilus chinensis* [J]. *Forest Research*, 2020, 33 (6): 23-31. [张锦坤, 胡可炎, 张国祥, 等. 中华润楠食叶新害虫: 异斑酷大蚕蛾羽化节律与生殖行为观察 [J]. 林业科学研究, 2020, 33 (6): 23-31]
- Zhang YR, Li JW, Zhao TT, *et al.* Determination of larval instars of *Chlorophorus caragana* Xie & Wang (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. *Plant Protection*, 2018, 44 (4): 87-91. [张燕如, 李珏闻, 赵婷婷, 等. 柠条绿虎天牛幼虫龄期的划分 [J]. 植物保护, 2018, 44 (4): 87-91]
- Zhang YY, Zou XG, Wang Y, *et al.* Effects of *Tamarix ramosissima* on the distribution of *Populus euphratica* in various soil water and salinity environments in the Ejina Oasis, Inner Mongolia of northern China [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2023, 45 (3): 11-20. [张伊莹, 邹旭阁, 王寅, 等. 额济纳绿洲不同土壤水盐条件多枝桤柳对胡杨种群分布的影响 [J]. 北京林业大学学报, 2023, 45 (3): 11-20]