

舞毒蛾幼虫龄数和龄期的划分

马晓凡^{1,2} 李亚飞^{1,2} 窦烽瑞^{1,2} 艾流卡玛丽·吐木逊¹ 石娟^{1,2*}

(1. 北京林业大学林木有害生物防治北京市重点实验室, 北京 100083;

2. 北京林业大学中法欧亚森林入侵生物联合实验室, 北京 100083)

摘要: 为明确舞毒蛾 *Lymantria dispar* 幼虫龄数和龄期划分的形态依据, 以室内饲养的来自内蒙古自治区、山西省、辽宁省、贵州省、云南省和四川省的亚洲型舞毒蛾种群以及亚洲型舞毒蛾和欧洲型舞毒蛾的杂交种群作为试验材料, 收集每次蜕皮时掉落的头壳并测量其宽度和长度, 绘制频数分布图后基于 Dyar 法则划定幼虫龄数和龄期, 并利用 Crosby 生长法则和线性回归分析进行验证。结果显示, 舞毒蛾幼虫头壳宽度和头壳长度的频次分布图可以划分为 7 个相对集中的区域, 1~7 龄幼虫的头壳宽度平均值分别为 0.55、0.92、1.54、2.42、3.51、4.74 和 5.88 mm; 1~7 龄幼虫的头壳长度平均值分别为 0.49、0.78、1.21、1.93、2.83、3.89 和 4.90 mm。幼虫头壳宽度和头壳长度的 Crosby 指数均小于 10%, 说明幼虫的头壳宽度和长度均可作为划分龄期的形态指标。在室内饲养过程中, 只有小部分雌性舞毒蛾幼虫才能成长至 7 龄, 全部的雄性幼虫和大部分雌性幼虫的龄期为 6 龄。1~7 龄幼虫的众数龄期值分别为 10.75、4.99、4.68、6.27、8.24、10.20 和 4.90 d, 整个幼虫众数龄期为 50.03 d。

关键词: 舞毒蛾; 幼虫龄期; 头壳宽度; 头壳长度; 形态学特征

Division of instar number and stage of the spongy moth *Lymantria dispar* larvae

Ma Xiaofan^{1,2} Li Yafei^{1,2} Dou Fengrui^{1,2} Ailiukamali Tumuxun¹ Shi Juan^{1,2*}

(1. Beijing Key Laboratory for Forest Pest Control, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Sino-France Joint Laboratory for Invasive Forest Pests in Eurasia, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: To elucidate the morphological basis for determining instar number and stage division in larvae of the spongy moth *Lymantria dispar*, we utilized populations as experimental materials, including indoor-reared populations of the flighted spongy moth complex from Inner Mongolia Autonomous Region, Shanxi Province, Liaoning Province, Guizhou Province, Yunnan Province, and Sichuan Province, as well as hybrid populations of the flighted spongy moth complex and the spongy moth. During each molting event, shed head capsules were collected, and their width and length were measured to construct frequency distribution graphs. Instar number and stage division were determined using Dyar's rule, further validated through Crosby's growth rule, and confirmed using linear regression analysis. The results demonstrated that the frequency distribution graphs of head capsule width and length could be categorized into seven distinct regions with high concentrations. The mean values of head capsule width for instars 1–7 were 0.55, 0.92, 1.54, 2.42, 3.51, 4.74, and 5.88 mm, respectively. The mean values of head capsule length for instars 1–7 were 0.49, 0.78, 1.21, 1.93, 2.83, 3.89 and 4.90 mm, respectively. The Crosby index for both head capsule width and length was less than 10%, indicating that both can

基金项目: 国家自然科学基金(32171794)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: BJshijuan@bjfu.edu.cn

收稿日期: 2023-09-06

serve as reliable morphological indicators for larval stage division. The results also revealed that only a small proportion of female spongy moth larvae reached the seventh instar stage; all male larvae, along with most female larvae, attained the sixth instar stage. The modal age values for instars 1–7 were 10.75, 4.99, 468, 627, 824, 10.20, and 4.90 d, respectively. The entire larval period lasted approximately 50.03 d.

Key words: *Lymantria dispar*; larval instar; head capsule width; head capsule length; morphological feature

舞毒蛾 *Lymantria dispar* 属鳞翅目裳蛾科, 是一种世界范围内的检疫性食叶害虫。在1758年刊行的《自然系统》第十版上由瑞典博物学家林奈首次发表, 其寄主植物多达500种(赵仲苓, 1978), 主要为害桃树、杏树、李树和落叶松等树木, 在其大量发生期若没有足够多树木时, 也会为害农作物和杂草(刘贵鹏, 2019)。舞毒蛾广泛分布于我国东北、华北、华中、西北和西南地区, 2013年舞毒蛾在黑龙江大兴安岭呼玛县发生0.53万余 hm^2 , 严重为害杨树、柳树、柞树、落叶松和樟子松等(陈海玲和梁继国, 2016); 2014—2018年舞毒蛾在新疆维吾尔自治区法库县暴发, 严重为害落叶松等(任振波等, 2018)。舞毒蛾主要以幼虫取食叶片进行为害(宋志芳, 2013), 其主要防治阶段之一也是幼虫期。目前国内关于该虫的研究主要集中在其风险性评估(王艳君等, 2021)、形态特征(Zuo et al., 2019)、分类地位、生物学特征(周贤等, 2009; 薛羿等, 2017)、地理溯源(覃责实, 2020)及防治等方面, 而对该虫幼虫龄期划分依据并未见详细报道。

吕亚茹等(2022)通过测定取食接种了摩西斗管囊霉 *Funneliformis mosseae* 的紫枝玫瑰 *Rosa rugosa* 叶片的舞毒蛾3龄幼虫的各项生理生化指标, 发现摩西斗管囊霉通过提高紫枝玫瑰防御蛋白活性和抗虫相关次生代谢物质量分数来增强紫枝玫瑰对舞毒蛾的防御能力; 张波波等(2016)采用食料给毒法进行生物测定, 发现丁香酸可提高舞毒蛾核型多角体病毒 (*Lymantria dispar* nucleopolyhydrovirus, Ld-NPV) 对舞毒蛾2龄幼虫的致病力, 增加其对2龄幼虫的亚致死作用; Podgwaite et al. (2013)测试了Ld-NPV对舞毒蛾2龄幼虫的致病率和致死率, 尝试开发核型多角体病毒试剂。以上研究表明, 许多针对舞毒蛾防治的研究对象均为幼虫, 准确选择对应龄期的幼虫能够使试验开展更加顺利。因此, 明确舞毒蛾幼虫的龄数以及探明可以划分幼虫龄期的形态指标是一项必不可少的基础研究工作。

Dyar(1890)研究发现相邻龄期的鳞翅目昆虫幼虫的头壳宽度存在一定的几何级数关系, 通过Dyar法则进行幼虫龄期划分也变成了一种最常使用的判定方法, 目前已有关于番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* (张桂芬等, 2023)、樱红天牛 *Hemadus oenochrous* (支华等, 2022)和白蜡窄吉丁 *Agrilus planipennis* (王小艺等, 2005)的幼虫龄期划分研究。因此, 本研究以头壳宽度和头壳长度作为划分舞毒蛾幼虫龄期的形态指标, 明确舞毒蛾幼虫的龄数和龄期划分, 以期为今后该虫的预测预报和防治工作提供科学依据(魏书军等, 2006; 董易之等, 2011)。

1 材料与方法

1.1 材料

供试昆虫及饲料: 舞毒蛾幼虫均为实验室饲养所得, 其中, 包括内蒙古自治区(简称内蒙古)、山西省、辽宁省、贵州省、云南省和四川省的亚洲型舞毒蛾种群以及亚洲型舞毒蛾(内蒙古种群以及山西种群)和欧洲型舞毒蛾的杂交种群, 其母代均来自本实验室。于光周期16 L:8 D、相对湿度60%~70%、温度25℃条件下进行母代饲养, 饲养至成虫期后交配产卵获得子代供试。饲料为人工配制饲料, 主成分为麦芽、琼脂、无水葡萄糖、纯净水、复合维生素和多种营养成分。

试剂及仪器: 麦芽, 市中区江北水乡粗粮坊; 复合维生素, 德国Sigma公司; 其他试剂均为国产分析纯。BPH-9162精密恒温培养箱, 上海一恒公司; OLYMOUS SZ61体式显微镜, 青岛中徕科技有限公司; BC-93TMPF冰箱, 青岛海尔股份有限公司。

1.2 方法

1.2.1 获取试验材料

将母代舞毒蛾所产卵块于5℃冰箱放置3个月, 取出已经解除滞育的卵块, 放入光周期16 L:8 D、相对湿度60%~70%、温度25℃的培养箱中培养, 记录孵化时长。将孵化后的幼虫以单头饲养形式放入

装有饲料的直径5.5 cm、底部直径4 cm、高度3 cm的培养杯内,每2 d更换1次饲料。试验中所测量的1至6龄幼虫头壳的每个龄期均有245个样本,其中内蒙古种群幼虫31个,山西种群31个,辽宁种群32个,贵州种群41个,云南种群20个,四川种群20个,欧洲(雄)和内蒙古(雌)杂交种群31个,欧洲(雄)和山西(雌)杂交种群39个。7龄幼虫头壳样本共有101个,其中包括内蒙古种群15个,山西种群13个,辽宁种群11个,贵州种群17个,云南种群7个,四川种群9个,欧洲(雄)和内蒙古(雌)杂交种群13个,欧洲(雄)和山西(雌)杂交种群16个。对供试虫源进行标号处理,观测其蜕皮次数,记录每个龄期。每天收集所蜕头壳直至幼虫化蛹,用于之后的头壳宽度和头壳长度测定试验。

1.2.2 幼虫头壳参数测量及幼虫龄期划分

本次研究中,头壳长度为不包括上唇的头纵向中线长度。由于舞毒蛾头壳宽度值是其头壳的最宽处数值,而头壳的纵向中线不是其头壳纵向距离上的最长之处,纵向中线的上侧端点为凹点,且舞毒蛾的头壳不是平面而是有弧度的面,所以不可以用头壳宽度与头壳长度的乘积代表面积来简化计算判断差异。

取当天收集到的幼虫头壳,放于载玻片上,于体式显微镜下进行整姿处理,使其不与身体相连的一面向上。从目镜中进行观察,对已经整姿完毕的头壳使用体式显微镜配套的S-EYE 2020版软件进行头壳宽度(头两侧最宽处距离)和头壳长度(不包括上唇的头纵向中线长度)的测量,精度为0.01 mm。

在测量头壳宽度和长度过程中,由于舞毒蛾雌性幼虫可能出现更多龄数,除龄数外,与雄性幼虫的区别是雌性幼虫在4龄后体长更长、身体更粗。而要彻底分清该幼虫是雄性还是雌性,需要等到化蛹羽化后观察其成虫形态来进行确定,可以根据羽化后形态统计供试幼虫的雌雄数量。舞毒蛾雌性成虫翅膀基色为白色,雄性成虫翅膀基色为褐色。

1.2.3 幼虫龄期合理性验证

使用SPSS 27.0软件对获得的数据进行非参数性检验和频次分析,用Origin 2021软件进行频次分布图的绘制,每个频次集中区域都代表1个龄期。根据Dyar法则初步划分幼虫龄期,并利用Crosby生长法则和回归分析对所选择的划分龄期的形态指标进行合理性验证。Crosby指数小于10%说明分龄指标合理(Loerch & Cameron, 1983)。Crosby

指数 $= (G_n - G_{n-1}) / G_{n-1}$,其中 G_n 和 G_{n-1} 分别表示第 n 和第 $n-1$ 个Brooks指数,Brooks指数 $= X_n / X_{n-1}$,其中 X_n 和 X_{n-1} 分别表示 n 龄和 $n-1$ 龄幼虫各个测量指标的平均值。

1.2.4 幼虫众数龄期测定

确定舞毒蛾幼虫的龄期后,以累计百分率的方式统计不同日期各龄幼虫的数量和发育进度,将百分率转换为概率值 y 后与调查日期 x 作线性回归分析,卵在解除滞育后孵化所需天数与幼虫第1次蜕皮所需天数的发育中值之差即为1龄的众数龄期。为方便计算,令 x 在7月14日为1; $y_1 \sim y_7$ 分别为1~7龄幼虫的发育进度,均转换为概率值。为避免群体中两端的极端数字的影响,通常采用发育进度的16%~85%之间的数值(戴志一,1980)。相邻2个龄期间幼虫累积百分率为50%(概率值为5)时的日期差值即为前一虫龄的众数龄期(邢礼国等,2017)。依此类推,可以求得其他各龄幼虫的众数龄期。

1.2.5 不同种群间幼虫孵化天数以及发育历期比较

根据上述幼虫龄期划分方法,统计不同种群舞毒蛾各龄期幼虫的孵化天数以及发育历期,并进行Kruskal-Wallis H检验,筛选出有显著差异的幼虫龄期对不同种群间进行比较。

2 结果与分析

2.1 舞毒蛾幼虫龄数的划分

在研究过程中观测到,只有部分雌性幼虫才能成长至7龄,全部的雄性幼虫和部分雌性幼虫在成长至6龄后就会化蛹,因此7龄幼虫头壳样本数少于前6个龄期。舞毒蛾幼虫随着龄期增加,体长与虫体大小逐渐增加,4龄以后身体背部毛瘤颜色逐渐明显,前5对为蓝色,后6对为红色。此外,在对舞毒蛾幼虫的饲养过程中还发现,舞毒蛾幼虫在蜕皮进入4龄后,头壳主体颜色会由深褐色变为黄色,头壳上会出现明显的黑色八字花纹样(图1)。

根据上述样本的测定数据,分别对头壳宽度和头壳长度这2个指标进行了频次分析和频次分析图的绘制。结果表明,头壳宽度的频次分布可明显划分为7个区域,各个区域间无明显重叠现象,平均值分别为0.55、0.92、1.54、2.42、3.51、4.74和5.88 mm(图2);头壳长度的频次分布可明显划分为7个区域,各个区域间无明显重叠现象,平均值分别为0.49、0.78、1.21、1.93、2.83、3.89和4.90 mm(图3)。因此,

根据 Dray 法则和实际观测到的蜕皮情况,可初步判定舞毒蛾幼虫的最大龄数为7。

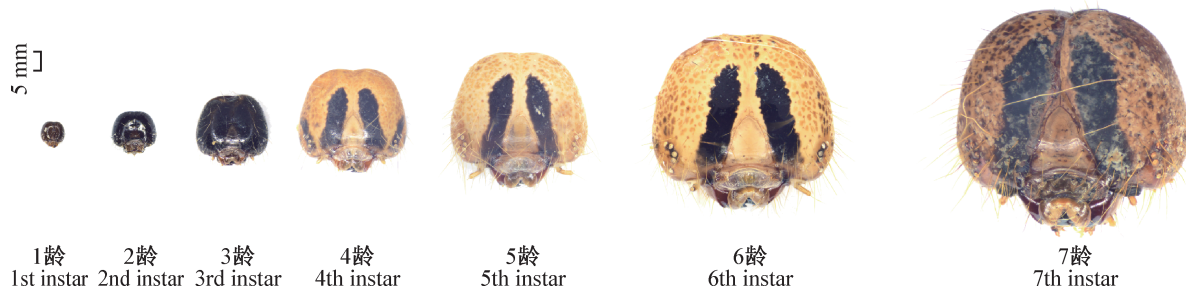


图1 雌性舞毒蛾1~7龄幼虫头壳照片

Fig. 1 Photograph of head capsules from larvae in instars 1-7 of female spongy moths

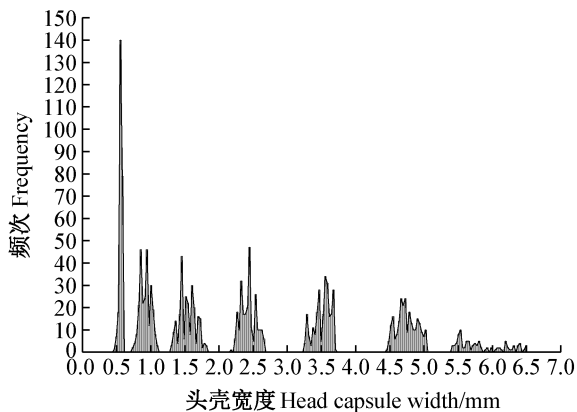


图2 舞毒蛾幼虫头壳宽度频次分布图

Fig. 2 Frequency distribution of head capsule width in spongy moth larvae

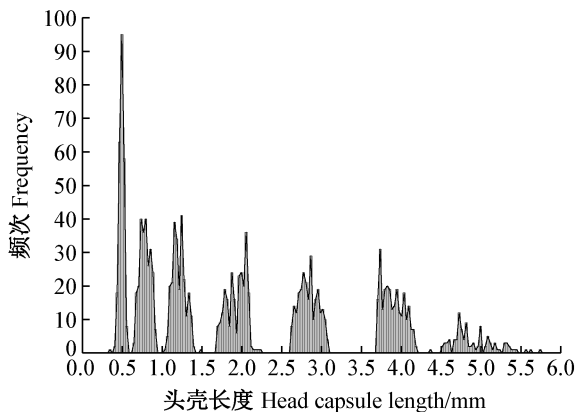


图3 舞毒蛾幼虫头壳长度频次分布图

Fig. 3 Frequency distribution of head capsule length in spongy moth larvae

2.2 舞毒蛾幼虫龄期划分的合理性验证

舞毒蛾幼虫头壳宽度和头壳长度的 Crosby 指数均小于10%(表1),说明以这2个形态指标作为舞毒蛾幼虫龄期的划分指标符合 Crosby 生长法则。

对舞毒蛾幼虫龄期 and 对应龄期的头壳宽度、头壳长度的平均值分别进行回归分析,二者的拟合方程分别为: $y=-0.013x^3+0.24x^2-0.311x+0.649$ 和

$y=-0.008x^3+0.185x^2-0.269x+0.597$,均达到了极显著水平,说明根据头壳宽度和头壳长度划分舞毒蛾幼虫龄期是合理的,进一步验证了频次分布和 Crosby 生长法则的结果,其中头壳宽度的 R^2 是 0.993,头壳长度的 R^2 是 0.992,说明头壳宽度作为形态指标判断龄期和龄数优于头壳长度。

2.3 舞毒蛾幼虫的众数龄期

1~7龄幼虫的众数龄期分别为 10.75、4.99、4.68、6.27、8.24、10.20 和 4.90 d,幼虫总众数龄期为 50.03 d(表2)。

2.4 不同种群间幼虫孵化天数、发育历期比较

2.4.1 幼虫孵化天数和发育历期检验

对不同种群舞毒蛾幼虫的孵化天数和龄期进行 Kruskal-Wallis H 检验。结果表明,只有孵化天数和1龄幼虫发育历期的渐近显著性双侧值 P 小于 0.05(表3),按照 $\alpha=0.05$ 的标准,拒绝原假设,认为各个种群之间的孵化天数和1龄幼虫发育历期的指标不全相等,即8个种群之间至少有2个种群间存在差异。

2.4.2 不同种群舞毒蛾幼虫的孵化天数比较

统计不同种群的舞毒蛾幼虫孵化天数并进行两两比较。结果表明,欧洲型内蒙古杂交种群与辽宁种群、辽宁种群与云南种群、辽宁种群与山西种群、辽宁种群与内蒙古种群、辽宁种群与四川种群、辽宁种群与欧洲型山西杂交种群、辽宁种群与贵州种群、云南种群与山西种群、山西种群与内蒙古种群、山西种群与四川种群、山西种群与欧洲型山西杂交种群、山西种群与贵州种群、内蒙古种群与四川种群、内蒙古种群与欧洲型山西杂交种群、内蒙古种群与贵州种群之间的孵化天数均差异显著(表4)。山西种群的孵化天数分组中位数为 9.00 d,内蒙古种群的孵化天数分组中位数为 15.00 d,辽宁种群的孵化天数分组中位数为 38.68 d(表5)。

表1 舞毒蛾幼虫形态指标测量值的统计分析

Table 1 Statistical analysis of the measured values of morphological indices in spongy moth larvae

形态结构 Morphological feature	龄数 Instar	样本数 Sample size	平均值 Mean/mm	变幅 Range/mm	Brooks 指数 Brooks index	Crosby 指数 Crosby index
头壳宽度 Head capsule width/mm	1	245	0.55±0.02	0.45-0.59	-	-
	2	245	0.92±0.08	0.74-1.10	1.654	-
	3	245	1.54±0.12	1.29-1.81	1.676	0.013
	4	245	2.42±0.11	2.16-2.65	1.578	-0.058
	5	245	3.51±0.12	3.24-3.70	1.449	-0.082
	6	245	4.74±0.15	4.46-5.03	1.351	-0.068
	7	101	5.88±0.38	5.40-6.65	1.240	-0.082
头壳长度 Head capsule length/mm	1	245	0.49±0.03	0.33-0.55	-	-
	2	245	0.78±0.07	0.64-0.92	1.610	-
	3	245	1.21±0.08	1.04-1.48	1.546	-0.040
	4	245	1.93±0.12	1.69-2.22	1.596	0.033
	5	245	2.83±0.12	2.61-3.07	1.470	-0.079
	6	245	3.89±0.13	3.69-4.17	1.375	-0.065
	7	101	4.90±0.27	4.36-5.75	1.259	-0.084

表中数据为平均数±标准差。Data are mean±SD.

表2 舞毒蛾各龄幼虫众数龄期

Table 2 The stadia of spongy moth larvae in different instars

发育进度 Degree of development	回归方程 Regression equation $y=ax+b$	相关系数 Correlation coefficient R	置信水平 Significance level P	发育中值 Median value of development/d	众数龄期值 Population majority stage/d
卵孵化 Egg Hatching	$y_1=0.235x_1+1.133$	0.972	<0.001	16.46	10.75
第1次蜕皮 The first molting	$y_2=0.138x_2+1.245$	0.978	<0.001	27.21	4.99
第2次蜕皮 The second molting	$y_3=0.127x_3+0.911$	0.984	<0.001	32.20	4.68
第3次蜕皮 The third molting	$y_4=0.100x_4+1.312$	0.971	<0.001	36.88	6.27
第4次蜕皮 The fourth molting	$y_5=0.088x_5+1.203$	0.980	<0.001	43.15	8.24
第5次蜕皮 The fifth molting	$y_6=0.094x_6+0.169$	0.977	<0.001	51.39	10.20
第6次蜕皮 The sixth molting	$y_7=0.081x_7+0.011$	0.984	<0.001	61.59	4.90
化蛹 Pupation	$y_8=0.101x_8-1.715$	0.998	<0.001	66.49	-

表3 不同种群舞毒蛾幼虫发育历期差异性检验

Table 3 Developmental duration difference test among spongy moth larvae in different populations

发育历期 Degree of development	P
孵化天数 Hatching period in days	<0.001
1龄幼虫 1st instar larva	0.002
2龄幼虫 2nd instar larva	0.197
3龄幼虫 3rd instar larva	0.229
4龄幼虫 4th instar larva	0.162
5龄幼虫 5th instar larva	0.060
6龄幼虫 6th instar larva	0.380
7龄幼虫 7th instar larva	0.936

2.4.3 不同种群舞毒蛾1龄幼虫的发育历期比较

统计不同种群的舞毒蛾1龄幼虫发育历期并进行两两比较。结果表明,欧洲型内蒙古杂交种群与贵州种群、辽宁种群与贵州种群之间的1龄幼虫发育历期均差异显著(表6)。欧洲型内蒙古杂交种群的1龄发育历期分组中位数为8.17 d, 贵州种群

的分组中位数为11.67 d, 辽宁种群的1龄发育历期分组中位数为8.50 d(表7)。

3 讨论

明确幼虫的龄数和龄期,是昆虫生物学特性研究的基本要求,也是确定幼虫防治时机的重要依据。Jobin et al. (1992)和McClellan & Logan (1994)研究表明,舞毒蛾种群的龄数均只有6龄,而本研究有不同发现,即舞毒蛾幼虫的最大龄数为7龄,但只有部分雌性舞毒蛾幼虫可到达7龄阶段,其余的雌性舞毒蛾幼虫和全部的雄性舞毒蛾幼虫均在6龄后进入蛹期。部分雌性幼虫的龄数多于雄性幼虫可能是因为雌性幼虫在发育阶段需要汲取更多的养分,为之后成虫阶段的生殖行为进行营养储备。刑礼国等(2017)在对松沫蝉 *Aphrophora flavipes* 若虫龄数及龄期划分的研究中发现,雌雄个体的头壳宽度是

有差异的,对于雌雄幼虫的龄期划分应当更加细致。舞毒蛾幼虫的头壳宽度是否因性别不同而有所差异、龄期划分是否因为性别不同而有所差异,还需要进一步研究。

表4 不同种群舞毒蛾幼虫孵化天数的差异性检验

Table 4 Difference test for variations in hatching days among spongy moth larvae in different populations

种群 Population	欧洲×山西 Europe×Shanxi	辽宁 Liaoning	云南 Yunnan	山西 Shanxi	内蒙古 Inner Mongolia	四川 Sichuan	贵州 Guizhou
欧洲×内蒙古 Europe×Inner Mongolia	1.000	<0.001	1.000	<0.001	1.000	1.000	1.000
欧洲×山西 Europe×Shanxi	-	<0.001	1.000	<0.001	<0.001	0.214	0.165
辽宁 Liaoning	-	-	<0.001	<0.001	<0.001	0.048	0.001
云南 Yunnan	-	-	-	0.001	1.000	0.158	0.153
山西 Shanxi	-	-	-	-	0.001	<0.001	<0.001
内蒙古 Inner Mongolia	-	-	-	-	-	0.016	0.007
四川 Sichuan	-	-	-	-	-	-	1.000
贵州 Guizhou	-	-	-	-	-	-	-

表5 不同种群舞毒蛾幼虫孵化天数的统计参数

Table 5 Statistical parameters for the hatching days of spongy moth larvae in different populations

种群 Population	样本量 Sample size	平均数 Average/d	分组中位数 Group median/d	最小值 Minimum value/d	最大值 Maximum value/d
山西 Shanxi	31	9.00	9.00	9	9
内蒙古 Inner Mongolia	31	15.39	15.00	13	20
辽宁 Liaoning	32	37.97	38.68	13	41
贵州 Guizhou	41	18.10	18.29	16	19
云南 Yunnan	20	16.00	16.00	16	16
四川 Sichuan	20	18.25	18.25	14	19
欧洲×山西 Europe×Shanxi	39	16.72	16.00	10	30
欧洲×内蒙古 Europe×Inner Mongolia	31	17.58	16.67	14	29

表6 不同种群舞毒蛾1龄幼虫发育历期的差异性检验

Table 6 Difference test for the first instar larval stage among different populations of spongy moth larvae

种群 Population	欧洲×山西 Europe×Shanxi	辽宁 Liaoning	云南 Yunnan	山西 Shanxi	内蒙古 Inner Mongolia	四川 Sichuan	贵州 Guizhou
欧洲×内蒙古 Europe×Inner Mongolia	0.197	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	<0.001
欧洲×山西 Europe×Shanxi	-	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
辽宁 Liaoning	-	-	1.000	1.000	1.000	1.000	0.028
云南 Yunnan	-	-	-	1.000	1.000	1.000	0.522
山西 Shanxi	-	-	-	-	1.000	1.000	0.232
内蒙古 Inner Mongolia	-	-	-	-	-	1.000	1.000
四川 Sichuan	-	-	-	-	-	-	1.000
贵州 Guizhou	-	-	-	-	-	-	-

表7 不同种群舞毒蛾幼虫1龄发育历期的统计参数

Table 7 Statistical parameters for the first instar larval stage of spongy moth in different populations

种群 Population	样本量 Sample size	平均数 Average/d	分组中位数 Group median/d	最小值 Minimum value/d	最大值 Maximum value/d
山西 Shanxi	31	10.13	8.73	7	18
内蒙古 Inner Mongolia	31	10.29	9.40	7	16
辽宁 Liaoning	32	9.66	8.50	6	17
贵州 Guizhou	41	11.80	11.67	8	18
云南 Yunnan	20	10.00	9.56	6	17
四川 Sichuan	20	10.60	9.67	7	18
欧洲型×山西 Europe×Shanxi	39	10.85	10.38	7	18
欧洲型×内蒙古 Europe×Inner Mongolia	31	9.16	8.17	7	17

大部分昆虫的体重、体长增长是连续性的,而头壳和其他骨化程度较高部分的增长则是随周期性蜕皮而呈现出间断性增长的趋势(陈永年和潘桐, 1988),因此头壳宽度可作为大部分昆虫判定幼虫龄期的指标。如张桂芬(2023)采用头壳宽度和虫体长度作为判定番茄潜叶蛾幼虫龄期的指标;支华等(2022)采用体长、前胸背板宽、头壳宽度和头壳长度作为判定樱红天牛幼虫龄期的指标。除头壳宽度外,其他形态指标也可用于划分幼虫龄期,但不是所有形态指标都能用于判断分龄。王小艺等(2005)探明尾叉的形态特征及尾叉长度和幼虫口缘宽度可以作为判断白蜡窄吉丁幼虫的分龄指标,但体长、体宽、前胸背板宽和尾叉前缘宽这4个指标变异较大,不宜用于分龄。由此可见,每种昆虫用于判断分龄的形态指标不尽相同,每种指标都需要进行验证才能判定其是否可以用于判断分龄。本研究仅证明了头壳宽度与头壳长度这2个指标可用于划分供试舞毒蛾幼虫龄期,其中头壳宽度相比于头壳长度是更好的划分指标。该研究结论与Jobin et al.(1992)和McClellan & Logan(1994)的试验结果不同,二者均认为头壳宽度不能作为当地舞毒蛾幼虫龄期的划分指标,这可能是由于供试舞毒蛾幼虫样本的不同所致。Jobin et al.(1992)和McClellan & Logan(1994)研究中的供试种群均来自于野外采集的欧洲型舞毒蛾,本试验的供试种群则来自于实验室繁育的亚洲型舞毒蛾的后代以及亚洲型和欧洲型舞毒蛾杂交的后代。供试舞毒蛾种群、生活环境和取食食物不同,都可能导致研究结果的出现差异(王丽君,2002;王涛,2022)。

陈晓敏(2009)对不同地理种群家蝇 *Musca domestica* 在卵期、幼虫期和蛹期的发育历程进行比较,发现其中存在显著差异。而在本研究对不同种群舞毒蛾幼虫的发育历期进行分析,发现不同种群间的孵化天数和1龄幼虫发育历期存在显著差异,可能也是由地理种群的差异造成的。

本研究明确了头壳宽度和头壳长度可以作为舞毒蛾幼虫龄数和龄期划分的形态依据,其中头壳宽度相较于头壳长度是更好的划分指标,这为日后舞毒蛾防治的预测预报等工作提供了理论基础。舞毒蛾雌性和雄性幼虫的头壳指标是否存在差异、舞毒蛾幼虫是否存在其他用于判断分龄的指标、不同地理种群舞毒蛾幼虫龄期的差异仍需进行深入研究,以期进一步完善舞毒蛾幼虫龄数和龄期的基础研究。

参 考 文 献 (References)

- Chen HL, Liang JG. 2016. Discussion on monitoring and control of gypsy moth in Huma County. Inner Mongolia Forestry Investigation and Design, 39(4): 106-107 (in Chinese) [陈海玲, 梁继国. 2016. 浅谈呼玛县舞毒蛾的监测与防治. 内蒙古林业调查设计, 39(4): 106-107]
- Chen XM. 2009. Morphology, biology and genetic differentiation of different geographical populations in *Musca domestica*. Master thesis. Wuhan: Huazhong Agricultural University (in Chinese) [陈晓敏. 2009. 家蝇不同地理种群形态学、生物学比较及遗传分化研究. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学]
- Chen YN, Pan T. 1988. On the growth law of head width and food intake of insect larvae. Entomological Knowledge, 25(4): 235-240 (in Chinese) [陈永年, 潘桐. 1988. 也谈昆虫幼虫头宽及摄食量的增长规律. 昆虫知识, 25(4): 235-240]
- Dai ZY. 1980. Determination of the mode age of insect larva population. Entomological Knowledge, 17(4): 185-187 (in Chinese) [戴志一. 1980. 昆虫幼虫种群数龄期的测定法. 昆虫知识, 17(4): 185-187]
- Dong YZ, Chen BX, Xu S, Li PY. 2011. Division of larval instars of the litchi giant looper, *Ascotis selenaria* (Lepidoptera: Geometridae). Journal of Environmental Entomology, 33(4): 552-556 (in Chinese) [董易之, 陈炳旭, 徐淑, 李鹏燕. 2011. 荔枝大造桥虫幼虫龄数的划分. 环境昆虫学报, 33(4): 552-556]
- Dyar HG. 1890. The number of molts of lepidopterous larvae. Psyche, 5(175/176): 420-422
- Jobin L, Hébert C, Bourassa JP. 1992. Head capsule width of larval populations of the gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) in Quebec, with reference to Dyar's hypothesis. Environmental Entomology, 21: 89-93
- Liu GP. 2019. Risk analysis of *Lymantria dispar* in Chaoyang area, Liaoning Province. Forest Science and Technology, (2): 32-33 (in Chinese) [刘贵鹏. 2019. 辽宁朝阳地区舞毒蛾风险分析. 林业科技通讯, (2): 32-33]
- Loerch CR, Cameron EA. 1983. Determination of larval instars of the bronze birch borer, *Agrilus anxius* (Coleoptera: Buprestidae). Annals of the Entomological Society of America, 76(6): 948-952
- Lü YR, Wang F, Zhang TT, Chen H, Yan JX. 2022. Effect of inoculation with AM fungi on *Rosa rugosa* 'ZiZhi' responses to *Lymantria dispar* stress. Journal of Northeast Forestry University, 50(12): 99-103 (in Chinese) [吕亚茹, 王菲, 张婷婷, 陈红, 严俊鑫. 2022. 接种AM真菌对紫枝玫瑰应答舞毒蛾胁迫的影响. 东北林业大学学报, 50(12): 99-103]
- McClellan QC, Logan JA. 1994. Instar determination for the gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) based on the frequency distribution of head capsule widths. Environmental Entomology, 23(2): 248-253
- Podgwaite JD, Martemyanov VV, Slavicek JM, Bakhvalov SA, Pavlushin SV, Hayes-Plazolles N, Zerillo RT. 2013. Potency of Nucleopolyhedrovirus genotypes for Europe and Asian gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae). Journal of Entomological Science, 48: 332-344
- Qin ZS. 2020. Feasibility study on the traceability of species origin

- based on hydrogen stable isotopes-taking *Dendroctonus valens* and *Lymantria dispar* as examples. Master thesis. Beijing: Beijing Forestry University (in Chinese) [覃贵实. 2020. 基于氢稳定同位素对物种来源地追溯的可行性研究. 硕士学位论文. 北京: 北京林业大学]
- Ren ZB, Du J, Wang ZW. 2018. Discussion on the control of larch gypsy moth in Faku County. *The Farmers Consultant*, (22): 107 (in Chinese) [任振波, 杜俊, 王志伟. 2018. 浅谈法库县对落叶松舞毒蛾防治. *农家参谋*, (22): 107]
- Song ZF. 2013. Cloning, sequence analysis and eukaryotic expression of chitinase gene (Group I) from *Lymantria dispar*: Master thesis. Taiyuan: Taiyuan University of Technology (in Chinese) [宋志芳. 2013. 舞毒蛾I型几丁质酶基因的克隆、序列分析及真核表达. 硕士学位论文. 太原: 太原理工大学]
- Wang LJ. 2002. A study on the feeding of *Lymantria dispar* L. and the production and application of it's NPV. Master thesis. Harbin: Northeast Forestry University (in Chinese) [王丽君. 2002. 舞毒蛾人工饲养及其NPV生产应用的研究. 硕士学位论文. 哈尔滨: 东北林业大学]
- Wang T. 2022. Study on the effect of rearing materials on the reproductive growth and the change pattern of juvenile hormone titers of the *Hepialus menyuanicus*. Master thesis. Xining: Qinghai University (in Chinese) [王涛. 2022. 饲养材料对门源蝠蛾繁殖生长的影响以及保幼激素滴度变化规律的研究. 硕士学位论文. 西宁: 青海大学]
- Wang XY, Yang ZQ, Liu GJ, Liu ES. 2005. Larval instars and stadia of *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae). *Scientia Silvae Sinicae*, 41(3): 97-102 (in Chinese) [王小艺, 杨忠岐, 刘桂军, 刘恩山. 2005. 白蜡窄吉丁幼虫的龄数和龄期测定. *林业科学*, 41(3): 97-102]
- Wang YJ, Gao T, Shi J. 2021. Prediction and analysis of the global suitability of *Lymantria dispar* based on MaxEnt. *Journal of Beijing Forestry University*, 43(9): 59-69 (in Chinese) [王艳君, 高泰, 石娟. 2021. 基于MaxEnt模型对舞毒蛾全球适生区的预测及分析. *北京林业大学学报*, 43(9): 59-69]
- Wei SJ, Zheng HH, Huangfu WG, Shi ZH, Chen XX. 2006. Division of larval instars of the citrus borer, *Agrilus auriventris* Saunders (Coleoptera: Buprestidae). *Acta Entomologica Sinica*, 49(2): 302-309 (in Chinese) [魏书军, 郑宏海, 皇甫伟国, 施祖华, 陈学新. 2006. 柑桔爆皮虫幼虫龄期的划分. *昆虫学报*, 49(2): 302-309]
- Xing LG, Wang JJ, Luan QS, Wang Q, Yun LL, Liang LM, Gao M, Lü LL. 2017. Division of nymph instars and stadia of *Aphrophora flavipes* (Homoptera: Cercopidae). *Journal of Northwest Forestry University*, 32(3): 165-169 (in Chinese) [邢礼国, 王建军, 栾庆书, 王琴, 云丽丽, 梁立明, 高明, 吕琳丽. 2017. 松沫蝉若虫龄数及龄期划分. *西北林学院学报*, 32(3): 165-169]
- Xue Y, Jiang D, Jiang H, Yang LN, Yan SC. 2017. Circadian rhythm of emergence and reproduction of the Asian gypsy moth (*Lymantria dispar asiatica*, AGM). *Journal of Northeast Forestry University*, 45(5): 111-116 (in Chinese) [薛羿, 姜敬, 姜虹, 杨丽娜, 严善春. 2017. 亚洲型舞毒蛾的羽化和生殖行为节律. *东北林业大学学报*, 45(5): 111-116]
- Zhang BB, Shao DH, Feng SJ, Myagmar T, Duan LQ. 2016. Syringic acid enhances the lethal and sublethal effects of LdNPV against the gypsy moth, *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae). *Acta Entomologica Sinica*, 59(12): 1348-1353 (in Chinese) [张波波, 邵东华, 冯淑军, 策仁尼玛, 段立清. 2016. 丁香酸可增强LdNPV对舞毒蛾致死及亚致死作用. *昆虫学报*, 59(12): 1348-1353]
- Zhang GF, Yin HJ, Wang YS, Li ZJ, Bi SY, Wang R, Liu WX, Wan FH. 2023. Determination of larval instars and duration of the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Chinese Journal of Biological Control*, 39(2): 340-345 (in Chinese) [张桂芬, 殷惠军, 王玉生, 李振江, 毕思言, 王瑞, 刘万学, 万方浩. 2023. 番茄潜叶蛾幼虫的龄数和龄期测定. *中国生物防治学报*, 39(2): 340-345]
- Zhao ZL. 1978. Chinese economic insecta volume 12: Lepidoptera, Lymantriidae. Beijing: Science Press, pp. 74-76 (in Chinese) [赵仲苓. 1978. 中国经济昆虫志第十二册: 鳞翅目毒蛾科. 北京: 科学出版社, pp. 74-76]
- Zhi H, Geng HL, Xu FL. 2022. Determination of larval instars of *Hemadus oenochrous* Fairmaire. *Forest Pest and Disease*, 41(2): 5-9 (in Chinese) [支华, 耿合雷, 徐芳玲. 2022. 樱红天牛幼虫龄数的划分. *中国森林病虫*, 41(2): 5-9]
- Zhou X, Chen NZ, Yang D. 2009. Research advances in the population genetic relationships of *Lymantria dispar* Linnaeus based on molecular genetic markers. *Plant Protection*, 35(5): 1-5 (in Chinese) [周贤, 陈乃中, 杨定. 2009. 基于分子遗传标记技术的舞毒蛾种群遗传关系研究进展. *植物保护*, 35(5): 1-5]
- Zuo YF, Kurenshchikov DK, Yu JY, Zou YP, Wang YM, Wang YJ, Shi J. 2019. Microsatellite and morphological analyses reveal unexpected diversity in *Lymantria dispar* in China. *Forests*, 10(12): 1100

(责任编辑:王璇)