

华北大黑鳃金龟幼虫龄期的划分*

陆俊姣** 任美凤 李大琪 高晓云 杨 静 董晋明***

(山西农业大学植物保护学院, 农业有害生物综合治理山西省重点实验室, 太原 030031)

摘 要 【目的】华北大黑鳃金龟 *Holotrichia oblita* (Faldermann) 是一种为害严重的地下害虫, 幼虫期较长, 龄期区分困难。为明确华北大黑鳃金龟幼虫的发育状况, 准确进行龄期划分, 进而为预测预报及其防治提供理论依据。【方法】通过测量华北大黑鳃金龟幼虫体宽、头长、头壳宽、触角长、触角间距、单眼间距、上唇宽和体重 8 项指标, 根据所测数据的频次分布图及 Dyar 法则推测幼虫虫龄数, 运用 Crosby 法则、线性回归和指数回归的方法进行验证。【结果】经测量分析, 头壳宽、单眼间距和触角间距符合 Dyar 法则和 Crosby 法则并呈现明显的线性回归关系, 可作为龄期划分的重要指标, 验证其龄期为 3 龄。1-3 龄幼虫头壳宽度分别为 1 496-4 260 μm 、4 261-6 631 μm 、6 631-9 000 μm 。1-3 龄幼虫触角间距分别为 500-2 840 μm 、2 841-3 880 μm 、3 881-5 700 μm 。1-3 龄幼虫单眼间距分别为 1 000-4 120 μm 、4 121-6 070 μm 、6 071-8 800 μm 。【结论】华北大黑鳃金龟幼虫可分为 3 龄, 头壳宽、单眼间距和触角间距宜作为幼虫龄期划分的标准。

关键词 华北大黑鳃金龟; 幼虫; 龄数; 龄期; 头壳宽; 单眼间距; 触角间距

Determination of larval instars of *Holotrichia oblita* (Coleoptera: Melolonthidae)

LU Jun-Jiao** REN Mei-Feng LI Da-Qi GAO Xiao-Yun YANG Jing DONG Jin-Ming***

(College of Plant Protection, Shanxi Agricultural University, Shanxi Key Laboratory of
Integrated Pest Management in Agriculture, Taiyuan 030031, China)

Abstract [Objectives] *Holotrichia oblita* is a kind of serious subterranean pest with long larval stage, which is difficult to distinguish the instar. In order to clarify the development status of the larva and accurately classify the instar, the theoretical basis is provided for the prediction and prevention measures. [Methods] Instars of *H. oblita* were studied by measuring 8 indexes of body width, head length, head capsule width, antenna length, antenna distance, ocellus distance, upper lip width and body weight. A frequency distribution analysis and the Dyar's rule were used to determine the number of larval instars, which was tested using Crosby's growth rule and linear regression and exponential regression. [Results] We found that the larvae of *H. oblita* could separated by head capsule width, eye spacing and antenna spacing into 3 instars. The range of head capsule width from the 1st to 3th instar was 1 496-4 260 μm , 4 261-6 631 μm , 6 631-9 000 μm . The range of antenna spacing from the 1st to 3th instar was 500-2 840 μm , 2 841-3 880 μm , 3 881-5 700 μm . The range of eye spacing from the 1st to 3th instar was 1 000-4 120 μm , 4 121-6 070 μm , 6 071-8 800 μm . [Conclusion] The results indicated that head capsule width, eye spacing and antenna spacing could be used for the separation of instars, and that the larvae of *H. oblita* have 3 instars.

Key words *Holotrichia oblita*; instar number; instar duration; head capsule width; eye spacing; antenna spacing

华北大黑鳃金龟 *Holotrichia oblita* (Faldermann) 属鞘翅目 Coleoptera 鳃金龟科 Melolonthidae, 是

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划(2017YFD0201807; 2018YFD0200404); 公益性行业(农业)科研专项(201503124); 山西省农业科学院特色农业技术攻关项目(YGG17108); 山西省农科院博士基金(YBSJJ1704)

**第一作者 First author, E-mail: lujunjiao@126.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: dongjinming59@163.com

收稿日期 Received: 2019-06-05; 接受日期 Accepted: 2019-07-18

一种为害严重的地下害虫, 幼虫称为蛴螬, 其分布广泛, 主要分布东北、华北、西北等省区(仵均祥, 2002)。华北大黑鳃金龟食性较杂, 成虫取食杨树、柳树、榆树、桑树、核桃树、苹果树、刺槐树、栎树等多种果树和林木叶片, 幼虫为害小麦、玉米、花生, 大豆等农作物, 也可为害阔叶、针叶树根部及幼苗(曹雅忠和武予清, 2015)。目前, 虽对该虫的生物学习性、田间发生规律及防控技术等已有相关报道(Jia *et al.*, 2014; 梁超等, 2015; Guo *et al.*, 2017; 陆俊姣等, 2017; 李雪等, 2018), 但由于华北大黑鳃金龟幼虫长期生活在土壤中, 为害较为隐蔽, 且生活史较长, 据报道其幼虫期可长达 340-380 d(魏鸿钧等, 1989), 龄期确定较为困难, 这对室内试验的精确开展及田间调查造成一定的困难。

幼虫虫龄是研究幼虫生长发育、发生规律、预测预报和防治技术的重要基础, 观察昆虫幼虫的蜕皮是准确掌握虫龄的方法。Dyar 研究发现幼虫某个部位的长宽度随着龄期增长呈一定几何数学关系, 通过 Dyar 法则可推断幼虫龄期(彩万志等, 2011)。目前对幼虫龄期的划分研究中, 最常用的指标是幼虫的头壳宽度, 这可能是由于头壳骨化程度较高, 形态更为稳定。如二点委夜蛾 *Athetis lepigone* (Möschler) 幼虫头壳宽度是龄期划分的最佳指标(李召波等, 2014), 梨小食心虫 *Grapholitha molesta* (Busck) 幼虫主要是通过头壳、上颚宽分龄(王芳等, 2016), 而额宽却是星天牛 *Anoplophora chinensis* (Forster) 龄期划分的最佳指标(张海滨等, 2011), 栗山天牛 *Massicus raddei* (Blessig) 的最佳分龄指标是上颚长、单眼间距和前胸背板宽这 3 项指标(王小艺等, 2012)。综上所述, 头壳宽可作为龄期划分的重要指标, 而其他指标如单眼间距、上颚长、上颚宽也是较为准确的分龄指标。本文对华北大黑鳃金龟进行室内饲养, 定期测定华北大黑鳃金龟幼虫体宽、头长、头壳宽、触角长、单眼间距、触角间距、上唇宽和体重 8 项形态指标数据, 并进行统计分析比较, 以确定其分龄最佳指标, 为华北大黑鳃金龟准确预测预报及其防治提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

供试华北大黑鳃金龟成虫采自山西省太原市和汾阳市农田。将采集到的成虫在实验室内饲养产卵, 每天收集成虫所产的卵并进行标记后放入培养箱中孵化。待幼虫孵化后, 将幼虫单头饲养, 以减少幼虫之间自相残杀, 并进行日期标记。饲养条件为: 温度 (25 ± 1) $^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 $60\%\pm 10\%$, 光周期 L:D=16:8。

1.2 测定方法

从幼虫孵化之日起, 从初孵幼虫 0 d 开始, 每间隔 10 d 取样 1 次, 100 d 后每间隔 20 d 取样 1 次。每次随机选取 15-30 头的华北大黑鳃金龟幼虫, 用 75%酒精浸泡后, 置于解剖镜(上海仪圆光学仪器有限公司)下观察并进行测量, 测量软件为 Toupview 软件(成都励扬精密机电有限公司), 将逐头测量所得的体宽、头长、头壳宽、触角长、触角间距、单眼间距、上唇宽 8 项指标进行记录。华北大黑鳃金龟幼虫形态描述参考魏鸿钧等(1989)。体重采用电子天平(Sartorius-SQP, 实际分度值 0.1 mg)进行称量。饲养中以当天蜕皮的幼虫作为参照, 对其各项指标进行测量记录, 以做参考。对单头饲养的幼虫进行蜕皮和发育历期的记录, 每个龄期不少于 30 头。

1.3 数据分析

使用 EXCEL 2013 软件和 SPSS 18.0 统计分析软件将幼虫 8 项指标对应的各个测量值由小到大绘制频次分布图确定幼虫龄数。龄数划分确定后, 筛选出分龄且较为准确合理的几个指标, 根据测定值计算各龄幼虫这几个指标均值、标准误差、Brooks 指数和 Crosby 指数。进一步确定最佳分龄指标和龄数划分的标准。Brooks 指数和 Crosby 指数的计算公式如下(李召波等, 2014; 王芳等, 2016):

$$\text{Brooks指数} = \frac{x_n}{x_{n-1}}$$

x_n 和 x_{n-1} 分别表示第 n 龄和 $n-1$ 龄幼虫所测

指标的平均值。

$$\text{Crosby指数} = \frac{b_n - b_{n-1}}{b_n}$$

b_n 和 b_{n-1} 分别表示第 n 和 $n-1$ 个 Brooks 指数。

当 Crosby 指数小于 10% 时表明龄期划分指标合理 (Loerch and Cameron, 1983)。

对筛选出的合理指标与龄期进行线性回归分析和指数曲线拟合, 当 $P < 0.05$ 说明整个回归模型有显著作用, $P > 0.05$ 说明拟合的回归模型无效。以此来验证龄期划分的合理性, 以确定最佳分龄指标。

根据每龄幼虫的发育历期计算各龄幼虫的发育历期。

2 结果与分析

2.1 华北大黑鳃金龟幼虫龄数的确定

将测定所得的 8 组数据进行频次分布的统计分析, 结果如图 1。观察频次分布图, 寻找频次集中的区域, 一个集中区域代表一个龄期。

由图 1 可知, 上唇宽、头长和体宽 2 个频次集中区域, 而触角长和体重有 4 个频次集中区域。头壳宽、单眼间距和触角间距出现了相对集中的 3 个频次集中区域, 可分为 3 龄。1 龄幼虫头壳宽范围为 1 496-4 260 μm , 平均为 2 878 μm ; 2 龄幼虫头壳宽范围为 4 261-6 631 μm , 平均为 5 445.5 μm , 3 龄幼虫头壳宽范围为 (6 631-9 000 μm), 平均为 7 815.5 μm 。1 龄幼虫单眼间距范围为 1 000-4 120 μm , 平均为 2 560.0 μm ; 2 龄幼虫单眼间距范围为 4 121-6 070 μm , 平均为 5 095.5 μm ; 3 龄幼虫单眼间距范围为 6 071-8 800 μm , 平均为 7 435.5 μm 。1 龄幼虫触角间距范围为 500-2 840 μm , 平均为 1 670.0 μm ; 2 龄触角间距范围为 2 841-3 880 μm , 平均为 3 360.5 μm ; 3 龄触角间距范围为 3 881-5 700 μm , 平均为 4 790.5 μm 。与室内饲养的幼虫蜕皮次数作为参考, 华北大黑鳃金龟划分为 3 龄更为合理, 将通过 Crosby 指数分析和回归分析来验证其合理性。

2.2 Crosby 指数分析

根据头壳宽、单眼间距和触角间距 3 组形态结构数据, 依次计算 3 个龄期的数值变幅、样本数、均值、标准误、Brooks 指数和 Crosby 指数 (表 1)。结果显示, 头壳宽的 Crosby 指数为 -0.077、单眼间距的 Crosby 指数为 -0.271、触角间距的 Crosby 指数为 -0.240。由此可见头壳宽、单眼间距和触角间距的 Crosby 指数均小于 10%, 表明头壳宽、单眼间距和触角间距这 3 个形态结构作为华北大黑鳃金龟幼虫划分为 3 龄的依据是合理的。

2.3 回归分析

对头壳宽、单眼间距和触角间距和龄数进行线性回归分析和指数回归拟合, 结果见表 2 各方程。3 种分龄指标与龄期的线性拟合和指数回归拟合均较好 ($P < 0.001$), 而线性回归与指数回归拟合相比, 决定系数 R^2 数值更大, 说明线性回归更准确。华北大黑鳃金龟幼虫的头壳宽与龄期的线性拟合方程为 $y = 234.82 + 2\,487.56x$, $R^2 = 0.947$, $P < 0.001$; 单眼间距与龄期的线性拟合方程为 $y = 187.587 + 2\,358.76x$, $R^2 = 0.933$, $P < 0.001$; 触角间距与龄期的线性拟合方程为 $y = 119.49 + 1\,468.93x$, $R^2 = 0.926$, $P < 0.001$ 。说明各分龄指标的线性曲线的拟合度较好, 头壳宽、单眼间距和触角间距这 3 项形态结构可作为龄数划分的依据。进一步验证了利用该 3 项分龄指标进行华北大黑鳃金龟幼虫的划分是合理的。同时, 头壳宽曲线拟合度也优于触角间距、单眼间距。由此表明, 华北大黑鳃金龟幼虫头壳宽为最佳分龄指标。

2.4 华北大黑鳃金龟幼虫龄期

在室内温度 (25 ± 1) $^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 $60\% \pm 10\%$, 光周期 L : D = 16 : 8 条件下, 1 龄幼虫的发育历期为 (21.33 ± 0.88) d, 2 龄幼虫的发育历期为 (29.81 ± 1.68) d, 3 龄幼虫的发育历期为 (180.91 ± 1.01) d, 整个幼虫期的发育历期为 (232.05 ± 1.11) d。

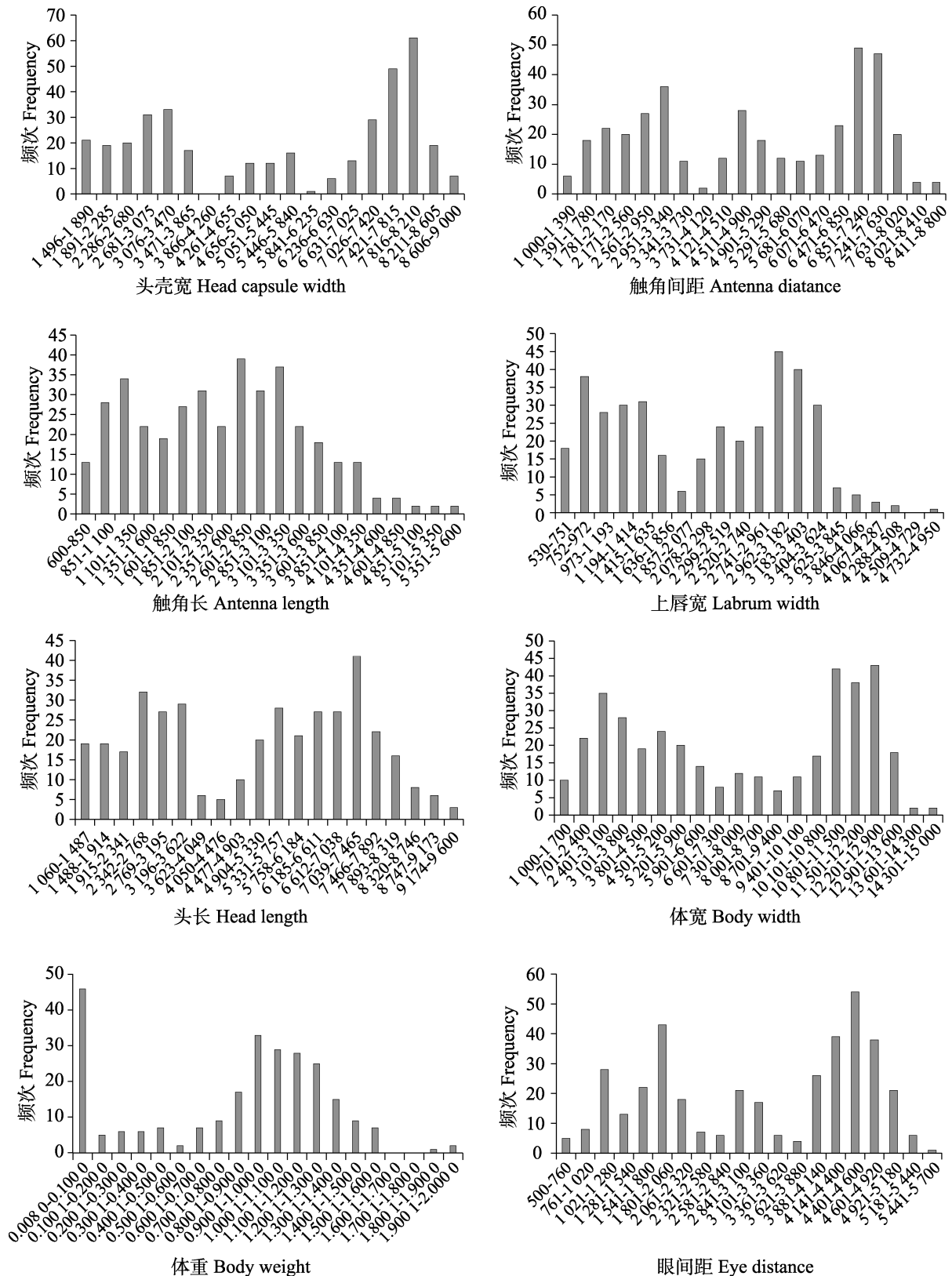


图 1 华北大黑鳃金龟幼虫 8 种形态结构测量值频次分布图

Fig. 1 Frequency distribution histograms of eight morphological structures used for determining larval instars of *Holotrichia oblitra*

表 1 华北大黑鳃金龟幼虫的头壳宽、单眼间距和触角间距测量值统计分析
Table 1 Analyses and results of measures of head capsule width, antenna distance and ocellus distance of *Holotrichia oblita* larvae

形态结构 Morphological structures	龄数 Instar	变幅 Class limits	样本数 Number of samples	均值 Mean	标准误 SE	Brooks 指数 Brooks' ratio	Crosby 指数 Crosby's ratio
头壳宽 Head capsule width	1	1 518.92-3 703.38	141	2 734.35	52.28	—	—
	2	4 370.43-5 816.12	47	5 138.11	62.97	1.879	—
	3	6 228.37-8 914.34	185	8 914.34	37.40	1.735	- 0.077
触角间距 Antenna distance	1	1 077.22-3 582.91	140	2 517.78	53.47	—	—
	2	4 073.58-6 113.14	85	4 999.19	57.32	1.986	—
	3	6 318.01-8 786.30	158	7 238.56	39.03	1.448	- 0.271
单眼间距 Ocellus distance	1	539.61-2 304.70	137	1 600.28	38.60	—	—
	2	2 408.60-3 522.70	57	3 000.29	37.99	1.875	—
	3	3 846.04-5 313.59	185	4 535.06	25.26	1.512	- 0.240

表 2 头壳宽、单眼间距和触角间距的龄数线性和指数回归方程
Table 2 The linear and exponential formula of head capsule width, antenna distance and ocellus distance of *Holotrichia oblita* larvae

分龄指标 Variables	回归方程 Regression equation	决定系数 R^2 Determination coefficient	统计参数 F, P Statistical parameters
头壳宽 Head capsule width	$y=234.82+2\ 487.56x$	0.947	$F=6\ 669.82, P<0.001$
	$y=1\ 595.18e^{0.53x}$	0.899	$F=3\ 290.24, P<0.001$
触角间距 Antenna distance	$y=187.587+2\ 458.76x$	0.933	$F=5\ 345.07, P<0.001$
	$y=1\ 469.69e^{0.54x}$	0.857	$F=2\ 289.87, P<0.001$
单眼间距 Ocellus distance	$y=119.49+1\ 468.93x$	0.926	$F=4\ 732.56, P<0.001$
	$y=908.46e^{0.54x}$	0.843	$F=2\ 019.99, P<0.001$

3 讨论

本文共测定了华北大黑鳃金龟幼虫体宽、头长、头壳宽、触角长、触角间距、单眼间距、上唇宽、体重 8 项指标。其中，最适分龄指标是头壳宽、单眼间距和触角间距，三者的变幅分界明显、与龄数线性拟合的决定系数较大。与 Dyar 法则相一致，结合室内饲养结果，确定可作为幼虫分龄的指标。在关于幼虫虫龄划分的指标中，以头壳宽度最为准确，主要是由于头壳骨化程度高，随着蜕皮呈几何级数增长（陈永年和潘栋，1988）。在这 3 项最适分龄指标中，除头壳宽度的测量较为方便外，单眼间距和触角间距在头壳

的位置容易发现，测量也较为方便（Calvo and Molina，2008）。

华北大黑鳃金龟幼虫体宽随着虫龄的增大而增宽，但在测量过程中体宽容易变形，易引起测量不准确，因此不推荐作为虫龄划分的指标。但在试验中观察发现，体宽大致与龄期一致，龄期越大体宽也越大，而体宽易于肉眼观察，所以在生产实践中，仍可以作为初步区分龄期的辅助参照指标。幼虫体重同样随着虫龄的增加而增大，但体重易受食物和气候的影响（宗世祥等，2006；朱利明等，2017），与体宽一样可以用于简单区分 1 龄和 3 龄幼虫。在测定的其余指标中，头长虽然骨化程度高但是由于头部常缩节于胸部容易引起测量误差，不适合作为区分龄期的指

标。触角虽是骨化程度较高的部位但是由于触角细小且容易折断遗失, 又容易被幼虫隐藏, 所以触角长测量比较困难, 作为龄期划分指标显然不太理想。综上所述, 在测定龄期的研究中最好选取骨化程度高, 易测量和受干扰程度小的部位进行测量研究 (Richardi *et al.*, 2013)。

华北大黑鳃金龟幼虫长期生活在土壤中, 发育历期较长, 且生长发育会受到食物供给、环境温度、湿度、光照等多种因素的影响 (魏鸿钧等, 1989)。在室内温度 (25 ± 1) $^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 $60\% \pm 10\%$, 光周期 $L:D=16:8$ 条件下, 1 龄幼虫的发育历期为 (21.33 ± 0.88) d, 2 龄幼虫的发育历期为 (29.81 ± 1.68) d, 3 龄幼虫的发育历期为 (180.91 ± 1.01) d, 整个幼虫期的发育历期为 (232.05 ± 1.11) d。魏鸿钧等 (1989) 研究华北大黑鳃金龟在北京、山西、山东多地的幼虫期多在 340–380 d 之间, 这可能是由于室内饲养和田间的环境不一致所造成的。周洪旭等 (2009) 研究表明, 用马铃薯块饲养的华北大黑鳃金龟幼虫极显著高于甘薯块和花生米饲养的华北大黑鳃金龟幼虫重量, 土壤湿度对其影响也较大, 土壤湿度为 18% 时最适合幼虫生长发育。在室内饲养中发现, 食物的缺乏会导致幼虫提前蜕皮, 这种现象在多种昆虫中均有相关报道 (Esperk *et al.*, 2007)。

本研究所需的华北大黑鳃金龟幼虫都是在一致的实验室条件下同一个实验员饲养而得, 相同条件下人工饲养的幼虫在形体方面具有高度的一致性, 数据分析结果更为可靠 (杨崇慧等, 2015)。本研究筛选出的头壳宽、单眼间距和触角间距是最适分龄指标, 这为准确区分华北大黑鳃金龟田间种群发育进度, 指导田间调查、预测预报及综合防治措施的制定提供科学依据。

参考文献 (References)

- Cai WZ, Pang XF, Hua BZ, Liang GW, Song DL, 2011. General Entomology. 2nd ed. Beijing: China Agricultural University Press. 229–230. [彩万志, 庞雄飞, 花保祯, 梁广文, 宋敦伦, 2011. 普通昆虫学 (第 2 版). 北京: 中国农业大学出版社. 229–230.]
- Calvo D, Molina JM, 2008. Head capsule width and instar

- determination for larvae of *Streblote panda* (Lepidoptera: Lasiocampidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 101(5): 881–886.
- Cao YZ, Wu YQ, 2015. Soil insect pests//Guo YY (ed.). Crop Diseases and Insect Pests in China (Part 2). 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press. 1494–1524. [曹雅忠, 武予清, 2015. 地下害虫//郭予元(主编). 中国农作物病虫害(中册) (第 3 版). 北京: 中国农业出版社. 1494–1496.]
- Chen YN, Pan D, 1988. About the growth law of feeding ability and head capsule width of insect larvae. *Chinese Bulletin of Entomology*, 25(4): 235–240. [陈永年, 潘栋, 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.]
- Esperk T, Tammaru T, Nylin S, 2007. Intraspecific variability in number of larval instars in insects. *Journal of Economic Entomology*, 100(3): 627–645.
- Guo W, Yan X, Zhao G, Han R, 2017. Increased efficacy of entomopathogenic nematode-insecticide combinations against *Holotrichia oblita* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Journal of Economic Entomology*, 110(1): 41–51.
- Jia Y, Zhao C, Wang Q, Shu C, Feng X, Song F, Zhang J, 2014. A genetically modified broad-spectrum strain of *Bacillus thuringiensis* toxic against *Holotrichia parallela*, *Anomala corpulenta* and *Holotrichia oblita*. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 30(2): 595–603.
- Li X, Li JY, Cao YZ, Yin J, Lan JQ, Li KB, 2018. Identification and bioassay of aggregation pheromone components of northern China scarab beetle *Holotrichia oblita*. *Journal of Plant Protection*, 45(2): 257–265. [李雪, 李建一, 曹雅忠, 尹姣, 兰建强, 李克斌, 2018. 华北大黑鳃金龟聚集信息素的分离鉴定及其引诱效果. 植物保护学报, 45(2): 257–265.]
- Li ZB, Li JW, Zhao N, Yu Y, Zhang AS, Zhai YF, Li LL, 2014. Determination of the larval instars of *Athetis lepigone* (Möschler). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(5): 1350–1355. [李召波, 李静雯, 赵楠, 于毅, 张安盛, 翟一凡, 李丽莉, 2014. 二点委夜蛾幼虫虫龄的测定. 应用昆虫学报, 51(5): 1350–1355.]
- Liang C, Guo W, Lu XJ, Li RJ, Yu HH, Wang W, Zhao D, Xu DQ, 2015. The annual occurrence dynamics and its influencing factors of *Holotrichia oblita* (Faldermann) adults. *Plant Protection*, 41(3): 169–172, 177. [梁超, 郭巍, 陆秀君, 李瑞军, 于浩海, 王伟, 赵丹, 徐大庆, 2015. 华北大黑鳃金龟成虫周年发生动态及影响因素分析. 植物保护, 41(3): 169–172, 177.]
- 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.

- Lu JJ, Dong JM, Ren MF, Li X, Wu YP, Li DQ, Ma EB, 2017. Migration patterns of subterranean pest insects in the soil of winter wheat-summer corn rotation fields in Linfen, Shanxi. *Acta Entomologica Sinica*, 60(9): 1046–1059. [陆俊姣, 董晋明, 任美凤, 李霞, 武宇鹏, 李大琪, 马恩波, 2017. 山西临汾冬小麦-夏玉米轮作田地下害虫种群在土壤中的迁移规律. *昆虫学报*, 60(9): 1046–1059.]
- Richardi VS, Débora R, Aranha JMR, Navarro-Silva MA, 2013. Determination of larval instars in *Chironomus sancticaroli* (Diptera: Chironomidae) using novel head capsule structures. *Zoologia*, 30(2): 211–216.
- Wang F, Yü Q, Guo GM, Hao C, Fan RJ, 2016. Determination of larval instar number and duration of the *Grapholitha molesta* (Lepidoptera: Tortricidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(2): 390–395. [王芳, 庾琴, 郭贵明, 郝赤, 范仁俊, 2016. 梨小食心虫幼虫龄数和龄期的划分. *应用昆虫学报*, 53(2): 390–395.]
- Wang XY, Yang ZQ, Tang YL, Jiang J, Yang YL, Gao C, 2012. Determination of larval instar number and duration in the oak longhorn beetle, *Massicus raddei* (Coleoptera: Cerambycidae). *Acta Entomologica Sinica*, 55(5): 575–584. [王小艺, 杨忠岐, 唐艳龙, 姜静, 杨远亮, 高纯, 2012. 栗山天牛幼虫龄数和龄期的测定. *昆虫学报*, 55(5): 575–584.]
- Wei HJ, Zhang ZL, Wang YC, 1989. Chinese Soil Pests. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers. 1–5. [魏鸿钧, 张治良, 王荫长, 1989. 中国地下害虫. 上海: 上海科学技术出版社. 1–5.]
- Wu JX, 2002. Agricultural Entomology. Beijing: China Agriculture Press. 48–63. [作均祥, 2002. 农业昆虫学. 北京: 中国农业出版社. 48–63.]
- Yang CH, Yan W, Li CX, Hang SC, Liu ZL, Qin WQ, 2015. Division of larval instars of the coconut black-headed caterpillar, *Opisina arenosella*. *Plant Protection*, 41(2): 70–74. [杨崇慧, 阎伟, 李朝绪, 黄山春, 刘丽, 马子龙, 覃伟权, 2015. 椰子木蛾幼虫龄期的划分. *植物保护*, 41(2): 70–74.]
- Zhang HB, Wang JW, Zhu XF, Chen XX, 2011. Determination of larval instars of citrus long-horned beetle, *Anoplophora chinensis* (Coleoptera: Cerambycidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(3): 688–694. [张海滨, 王建伟, 朱小峰, 陈学新, 2011. 星天牛幼虫龄期的划分. *应用昆虫学报*, 48(3): 688–694.]
- Zhou HX, Tan XM, Li CY, Zheng GL, Li GX, 2009. Effect of nourishment and humidity on the development and reproduction of *Holotrichia oblita*. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 24(4): 201–204. [周洪旭, 谭秀梅, 李长友, 郑桂玲, 李国勋, 2009. 营养和湿度对华北大黑鳃金龟生长发育和生殖的影响. *华北农学报*, 24(4): 201–204.]
- Zhu LM, Wen H, Feng LH, Wang LQ, Zhang RX, 2017. Determination of larval instars of *Chironomus flavipiums* Tokunaga (Chironomidae Diptera). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(2): 298–308. [朱利明, 温虹, 冯立辉, 王丽卿, 张瑞雷, 2017. 黄羽摇蚊幼虫龄期的研究. *应用昆虫学报*, 54(2): 298–308.]
- Zong SX, Long YQ, Xu ZC, Wang T, 2006. Preliminary study on different larval instars of seabuckthorn carpenter moth, *Holcocerus hippophaecolus*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(5): 626–631. [宗世祥, 骆有庆, 许志春, 王涛, 2006. 沙棘木蠹蛾幼虫龄期的初步研究. *昆虫知识*, 43(5): 626–631.]