

# 温度对杜仲梦尼夜蛾生长发育及取食量和排粪量的影响

王俊雅<sup>1</sup>,李孟楼<sup>1</sup>,王云果<sup>1</sup>,贺 虹<sup>1\*</sup>,王宏涛<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学 林学院,陕西省林业综合重点实验室,陕西 杨陵 712100; 2. 陕西汉中永杨医药有限责任公司,陕西 略阳 724300)

**摘 要:**为了明确温度对杜仲梦尼夜蛾生长发育的影响,采用室内人工恒温饲养方法,设置 18、22、26、28℃ 和 30℃ 5 个温度处理,研究温度对杜仲梦尼夜蛾各虫态发育历期、头宽、体长、体重及取食量和排粪量的影响。结果表明,在 18~30℃ 范围内,杜仲梦尼夜蛾各虫态的发育历期随温度的升高而缩短,其世代发育历期在 30℃ 时最短,为 17 d;该虫完成 1 个世代的发育起点温度和有效积温分别为 10.72℃ 和 670.37 日·度;随温度的变化,同龄幼虫的头宽、体长及体重的差异性不大,但随龄期的变化,这些参数的差异均达到显著水平;温度和龄期对幼虫的取排量均存在显著影响,随龄期的增加,幼虫的取排量显著增多,末龄幼虫取排量达到最大,占整个取排量的 70% 左右。

**关键词:**杜仲梦尼夜蛾;温度;历期;头宽;体长;体重;取食量;排粪量

**中图分类号:**S763.3      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2016)06-0204-06

## Effects of Temperature on the Development, Ingestion and Defecation of *Orthosia songi*

WANG Jun-ya<sup>1</sup>, LI Meng-lou<sup>1</sup>, WANG Yun-guo<sup>1</sup>, HE Hong<sup>1\*</sup>, WANG Hong-tao<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Comprehensive forestry of Shaanxi Province, College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Hanzhong Yongyang Pharmaceutical Co., Ltd, Lueyang, Shaanxi 724300, China)

**Abstract:** In order to evaluate the effects of the temperature on the development of *Orthosia songi* Chen et Zhang, the developmental duration, head width, body length, body weight, food consumption and defecation of *O. songi* were studied at five different temperatures (18℃, 22℃, 26℃, 28℃ and 30℃) in the laboratory. The results showed the developmental duration decreased with the increase of temperature in the range of 18 to 30℃, and the shortest developmental duration (17 d) existed at 30℃. The development threshold temperature was 10.72℃, and the effective accumulated temperature required for the whole generation was 670.37 degree-days. There was no significant difference in head width, body length and body weight with the increase of temperature in the range of 18—30℃ of *O. songi* larvae, but there was a significant difference in larval development ( $P<0.05$ ). The effects of the temperature and instar on the food consumption and defecation of *O. songi* larvae had a significant difference ( $P<0.05$ ), food consumption and defecation increase with the growth of the larvae, both reaching a maximum in the final instar larvae for about 70% of total amount.

**Key words:** *Orthosia songi*; temperature; developmental duration; head width; body length; body weight; ingestion; defecation

杜仲 (*Eucommia ulmoides*) 属杜仲科 (Eucommiaceae) 植物, 该科仅 1 属 1 种, 是仅存于我国的第三纪孑遗植物, 也是珍稀濒危的“活化石”。杜仲具

有很高的经济价值, 特别是作为世界上适用范围最广的重要胶原植物, 从杜仲树的籽、叶及皮中提取的杜仲胶性能优良, 是天然橡胶的潜在替代品, 成为亟

收稿日期: 2016-03-02    修回日期: 2016-06-29

基金项目: 汉中永杨医药科技发展有限公司专项 (K403021411); 陕西省协同创新计划项目 (2015)。

作者简介: 王俊雅, 女, 在读硕士, 研究方向: 森林昆虫学。E-mail: 1063353621@qq.com

\* 通信作者: 贺 虹, 女, 教授, 博士生导师, 研究方向: 森林昆虫学。E-mail: hehong@nwsuaf.edu.cn

待开发利用的新型材料<sup>[1]</sup>。近年来,由于杜仲的大规模种植及杜仲果园化栽培面积的扩大,相继爆发了毁灭性的食叶害虫,成为杜仲集约化栽培的潜在威胁<sup>[2]</sup>。

杜仲梦尼夜蛾(*Orthosia songi*)隶属于鳞翅目夜蛾科,是 20 世纪 80 年代发现的危害杜仲的食叶害虫,自 1979 年以来,在贵州遵义和湖南慈利的一些杜仲林场先后爆发<sup>[3]</sup>,近年来又在陕西、湖北等地相继发生。陕西汉中地区受害面积曾高达 500 hm<sup>2</sup>,受害株数超过 2 000 万株,盛发时能将成片杜仲林的树叶全部吃光,严重影响杜仲的正常生长及资源利用<sup>[4]</sup>,作者在略阳县杜仲林采集虫源时也发现有虫株率达到 100%。该害虫食性专一,食叶量大,蔓延扩散快,危害期长,杜仲的整个生命周期皆受其危害,是目前危害杜仲的最主要食叶害虫。

目前关于杜仲梦尼夜蛾的研究比较少,主要集中在其生物学特性的初步研究<sup>[3,5]</sup>,发育历期和取食行为的研究<sup>[6]</sup>,而有关温度对杜仲梦尼夜蛾的影响还无报道。昆虫属于变温动物,受外界环境的影响较大,在昆虫的生长发育中,温度是所有气象因素中对昆虫影响最显著的因素<sup>[7]</sup>。开展温度对杜仲梦尼夜蛾发育历期、头宽、体长、体重及取食量和排粪量的影响,旨在为该虫的预测预报、综合治理以及资源利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

杜仲梦尼夜蛾卵和幼虫采集于陕西省汉中市略阳县杜仲林(105°57′39″E,33°10′48″N)中,经室内饲养至成虫产卵供试。

### 1.2 研究方法

1.2.1 试验条件 试验在恒温光照培养箱内进行。设置 18、22、26、28℃ 和 30℃ 5 个温度(±0.5℃)处理,光周期为 16/8(L/D),RH 为(75±5)%。

1.2.2 温度对杜仲梦尼夜蛾发育历期的影响 挑选发育良好的初孵幼虫单头放入 10 mL 离心管中饲养,同时群体饲养同批孵化的幼虫用于补充单头饲养过程中死亡的幼虫。每天 8:00、14:00 和 20:00 各观察 1 次,记录幼虫的蜕皮时间及各虫态的形态变化,依据蜕皮次数确定幼虫龄期<sup>[8]</sup>,及时更换饲料,并进行清洁处理,直至成虫羽化。每处理 25 头。

1.2.3 温度对杜仲梦尼夜蛾幼虫头宽、体长、体重的影响 选取同一时间孵化、健壮的初孵幼虫移入 1 000 mL 的烧杯中用新鲜杜仲叶群体饲养,饲养密度为每烧杯 30 头,每天定时观察,分别用数显游标卡尺(精度 0.01 mm)和电子天平(精度为 0.000 01

g)测量各龄幼虫的头宽、体长和体重(在各龄幼虫龄期初和龄期末分别测量 1 次)。每处理每个龄期 10 个重复。

1.2.4 温度对杜仲梦尼夜蛾幼虫取食量和排粪量的影响 选择同时孵化、发育良好的初孵幼虫用毛笔轻挑至 10 mL 离心管中,1~4 龄幼虫每管 2 头,5、6 龄幼虫每管 1 头。每天 9:00 用电子天平称量其取食量和排粪量,并更换新鲜杜仲叶片。试验过程中如果有幼虫死亡,用同龄幼虫补充,继续饲养观察。每处理 20 头。

为了更准确地测定幼虫的取食量,在试验时设置空白对照,以测定试验期间叶片因水分散失而减少的重量。首先分别称量空白对照组和试验组最初叶片的重量  $ck$  和  $m$ ,试验结束后分别称量空白对照组及试验组残余的叶片重量  $ck'$  和  $m'$ ,将数据代入公式(1),得到校正取食量<sup>[6]</sup>。

$$\text{校正取食量} = m - m' - (a \times m + b \times m') / 2 \tag{1}$$

$$a = (ck - ck') / ck$$

$$b = (ck - ck') / ck'$$

### 1.3 数据处理

数据处理采用 SPASS 18.0 软件。结果以平均数±标准差( $Mean \pm SD$ )表示,并对其进行方差分析(ANOVA)和多重比较分析(Tukey)<sup>[9]</sup>。用线性日度模型拟合发育速率与温度关系,用直线回归法计算杜仲梦尼夜蛾发育起点温度(C)和有效积温(K)。

## 2 结果与分析

### 2.1 温度对杜仲梦尼夜蛾发育历期的影响

在 18~30℃ 恒温条件下,杜仲梦尼夜蛾各虫态的发育历期随着温度的升高而缩短(表 1)。在供试 5 个温度条件下,整个世代的发育历期分别为 89.50±2.55、59.50±2.72、44.30±1.57、37.30±1.25 d 和 36.40±2.41 d,18℃ 和 30℃ 条件下的世代历期相差 53.1 d。在 18℃ 和 22℃ 条件下,各虫态的发育历期均存在显著差异,但在 26~30℃ 范围内,卵、预蛹、蛹的历期差异性不显著;幼虫历期在 18℃ 下 37.80 d,而在 30℃ 下仅需 17 d。

根据发育历期的数据计算出各虫态在不同温度下的发育速率,并用线性日度模型拟合各虫态发育速率与温度的关系(表 2)。在 18~30℃ 范围内,卵、幼虫、蛹的发育速率与温度的关系拟合效果较好( $R^2 > 0.81$ );不同龄期的幼虫发育速率与温度的关系拟合效果存在差异,其中以 6 龄幼虫拟合效果最差。

用直线回归法计算出各虫态发育起点温度和有效积温(表 3)结果显示,卵的发育起点温度为 12.7℃;幼虫期 5 龄幼虫的发育起点温度最低,为 12.50℃;预蛹期的发育起点温度最高,为 19.45℃,

而其有效积温最低,为 16.10 日·度;蛹期的发育起点温度为 11.38℃;该虫完成 1 个世代的发育起点温度和有效积温分别为 10.72℃和 670.37 日·度。

表 1 不同温度下杜仲梦尼夜蛾各虫态的发育历期  
Table 1 Developmental duration of *O. songi* at different temperatures

发育阶段	18℃	22℃	26℃	28℃	30℃
卵	6.83±0.76 a	5.50±0.50 b	3.73±0.25 c	3.00±0.00 c	2.67±0.29 c
1 龄幼虫	7.00±0.47a	5.00±0.67 b	4.00±0.74c	2.00±0.00 e	3.00±0.69d
2 龄幼虫	6.00±0.67 a	3.60±0.52 b	2.80±0.42 c	2.00±0.67 d	2.00±0.00 d
3 龄幼虫	5.60±0.70 a	3.20±0.42 b	2.60±0.52 c	2.20±0.42 cd	2.00±0.00 d
4 龄幼虫	5.40±0.52 a	4.80±0.63 a	3.20±0.63 b	2.70±0.48 b	3.00±0.00 b
5 龄幼虫	7.00±0.94 a	4.20±0.63 b	3.50±0.85 bc	3.50±0.53 bc	3.20±0.42 d
6 龄幼虫	6.80±0.63 a	6.00±0.82 ab	5.50±0.97 b	4.90±0.88 bc	3.80±1.03 c
幼虫	37.80±1.69 a	26.80±1.75 b	21.60±0.97 c	17.30±1.16 d	17.00±1.25 d
预蛹	9.40±0.89 a	5.00±0.71 b	3.00±0.71 c	2.00±0.71 c	2.40±0.55 c
蛹	35.33±1.53 a	22.00±1.73 b	15.67±1.15 c	15.00±1.00 c	14.00±2.00 c
世代	89.50±2.55 a	59.50±2.72 b	44.30±1.57 c	37.30±1.25 d	36.40±2.41 d

注:表中数据为平均值±标准差。同行数据后相同字母表示经 Tukey 多重比较差异不显著( $P>0.05$ ),下同。

表 2 杜仲梦尼夜蛾发育速率与温度的关系模型  
Table 2 Model of the development rate and temperature for *O. songi*

发育阶段	线性日度模型	相关系数的平方 $R^2$
卵	$V=0.020t-0.229$	0.916
1 龄幼虫	$V=0.023t-0.276$	0.609
2 龄幼虫	$V=0.031t-0.402$	0.559
3 龄幼虫	$V=0.026t-0.284$	0.827
4 龄幼虫	$V=0.016t-0.110$	0.585
5 龄幼虫	$V=0.014t-0.080$	0.643
6 龄幼虫	$V=0.010t-0.045$	0.333
幼虫	$V=0.001t-0.015$	0.962
预蛹	$V=0.034t-0.520$	0.534
蛹	$V=0.004t-0.037$	0.897
世代	$V=0.001t-0.015$	0.962

表 3 杜仲梦尼夜蛾各虫态及世代的发育起点温度和有效积温  
Table 3 Developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of *O. songi*

发育阶段	发育起点温度/℃	有效积温/(日·度)
卵	12.60	46.56
1 龄幼虫	17.04	27.22
2 龄幼虫	17.98	18.10
3 龄幼虫	13.11	31.36
4 龄幼虫	14.15	36.99
5 龄幼虫	12.50	47.51
6 龄幼虫	17.80	34.83
幼虫	10.01	325.15
预蛹	19.45	16.10
蛹	11.38	241.97
世代	10.72	670.37

## 2.2 温度对杜仲梦尼夜蛾幼虫头宽、体长、体重的影响

幼虫的头宽随龄期的增加而增加,但不同温度条件下各龄期幼虫头宽无显著差异(表 4)。对龄期进行单因素的方差分析,并对龄期与幼虫头宽之间的关系进行线性回归分析,发现各龄幼虫头宽的差异均达到显著水平( $P<0.05$ ),且两者的相关程度极高( $R^2$  在 0.934~0.951)。在 18℃条件下,2 龄和 1 龄幼虫的头宽比为 1.53,3 龄和 2 龄的头宽比为 1.69,4 龄和 3 龄幼虫的头宽比为 1.40,5 龄和 4 龄幼虫的头宽比为 1.46,6 龄和 5 龄幼虫的头宽比为 1.37,平均比值为为 1.49,其他 4 个温度条件下相邻龄期幼虫头宽的平均比值分别为 1.47、1.49、1.48与 1.49。因此,杜仲梦尼夜蛾幼虫的头宽符合戴尔法则,即连续的相邻龄期间的头宽有一个相对恒定的增长比。

随温度的变化,除 2 龄在 18℃和 30℃之间达到显著差异外,其余各龄幼虫体长的差异性均不显著(表 5)。对龄期进行单因素方差分析并对龄期与幼虫体长之间的关系进行线性回归分析,发现 1~3 龄幼虫体长的差异性小,4~6 龄幼虫的差异性均达到显著水平,且体长与龄期的相关程度极高( $R^2>0.81$ )。由于试验时测量的是每龄幼虫龄期初和龄期末的体长,所以所得标准差的值越大,说明离散程度越大,即测得值与其平均值差异程度越大,也潜在表明了龄期初末的差值大,即此龄期体长变化比较明显,由此知,5 龄和 6 龄的体长变化最为显著。

表 4 不同温度下杜仲梦尼夜蛾幼虫的头宽

Table 4 Head width of *O. songi* at different temperatures

mm

龄期	18℃	22℃	26℃	28℃	30℃
1 龄	0.34±0.07 a	0.36±0.02 a	0.35±0.01 a	0.36±0.01 a	0.35±0.01 a
2 龄	0.52±0.04 b	0.54±0.03 b	0.57±0.02 ab	0.55±0.04 ab	0.60±0.04 a
3 龄	0.88±0.12 ab	0.78±0.10 b	0.90±0.06 a	0.83±0.06 ab	0.85±0.05 ab
4 龄	1.23±0.06 ab	1.18±0.02 b	1.29±0.06 a	1.23±0.09 ab	1.21±0.05 ab
5 龄	1.80±0.04 a	1.75±0.04 a	1.74±0.09 a	1.82±0.08 a	1.82±0.06 a
6 龄	2.46±0.10 a	2.45±0.04 a	2.54±0.07 a	2.58±0.13 a	2.52±0.08 a

表 5 不同温度下杜仲梦尼夜蛾幼虫的体长

Table 5 Body length of *O. songi* larvae at different temperatures

mm

龄期	18℃	22℃	26℃	28℃	30℃
1 龄	3.45±0.21 a	3.47±0.18 a	3.44±0.12 a	3.48±0.17 a	3.43±0.13 a
2 龄	4.39±0.33 b	4.67±0.53 ab	5.05±1.14 ab	5.18±0.45 ab	5.56±0.31 a
3 龄	7.91±1.41 a	7.35±2.24 a	8.01±1.55 a	8.34±2.00 a	7.80±1.28 a
4 龄	12.19±1.99 a	11.94±2.23 a	11.58±1.70 a	12.58±2.54 a	12.42±2.34 a
5 龄	18.94±4.13 a	18.17±4.72 a	17.02±4.05 a	18.75±4.02 a	18.59±4.11 a
6 龄	26.39±3.64 a	26.24±7.47 a	23.44±3.23 a	26.75±2.51 a	26.27±3.52 a

温度对各龄幼虫的体重影响较小,但随龄期增大,幼虫体重增加比较明显,如初孵幼虫的体重不足 0.5 mg,3 龄后幼虫的体重迅速增加,超过 20 mg,到 6 龄幼虫时体重已超过 200 mg(表 6)。对龄期进

行单因素方差分析并对龄期与幼虫体重之间的关系进行线性回归分析,得出 1 龄、2 龄、3 龄、4 龄幼虫体重的差异性基本不显著,5 龄、6 龄的差异性达到显著水平,而体重与龄期的相关程度较高( $R^2>0.5$ )。

表 6 不同温度下杜仲梦尼夜蛾幼虫的体重

Table 6 Body weight of *O. songi* larvae at different temperatures

mg

龄期	18℃	22℃	26℃	28℃	30℃
1 龄	0.41±0.10 a	0.38±0.11 a	0.40±0.12 a	0.33±0.10 a	0.38±0.11 a
2 龄	1.42±0.81 a	1.90±1.42 a	1.42±0.80 a	1.67±0.45 a	1.64±0.89 a
3 龄	6.04±3.40 a	5.43±2.38 a	6.67±4.33 a	7.10±4.67 a	7.04±4.73 a
4 龄	23.33±15.72 a	21.10±12.76 a	21.28±0.96 a	25.18±13.78 a	23.00±12.31 a
5 龄	84.48±48.70 a	88.24±55.20 a	96.94±44.78 a	84.48±48.72 a	88.07±55.45 a
6 龄	224.48±85.02 a	258.18±119.71 a	202.56±59.34 a	217.93±85.44 a	222.94±75.67 a

### 2.3 温度对杜仲梦尼夜蛾幼虫取食量和排粪量的影响

在不同的温度条件下,同一龄幼虫的取食量存在显著差异;在同一温度下,随着龄期的增加,幼虫的取食量增大,但 1~3 龄幼虫的取食量差异性不显著,4~6 龄幼虫的取食量差异达到显著水平,取食量与龄期的相关程度较高( $R^2>0.5$ )(表 7)。在 18、22、26、28℃和 30℃条件下,单头幼虫从 1 龄到 6 龄平均总取食量分别为 1 761.35、2 120.33、1 363.77、1 715.55 mg 和 1 537.10 mg,取食量与温度的关系模型为  $S=-30.12t+2\,446.54$ ,两者的相关程度不显著( $R^2=0.238$ );不同温度下,同龄幼虫的取食量占整个幼虫期总取食量的百分比变化不大,但同一温度下,随着龄期的增加,幼虫取食量所占百分比大幅增加,特别是 5 龄和 6 龄幼虫取食量的总和占整个幼虫期总取食量的 90%以上,其中仅

6 龄幼虫取食量所占的比例为 70%左右。

各龄幼虫的排粪量随温度和龄期的变化趋势同取食量相近(表 8),不同温度下,同龄幼虫的日均排粪量存在差异,其中在 18℃条件下,各龄幼虫的日均排粪量均低于其他温度条件;而同一温度下,随龄期的增加日均排粪量也在不同程度增加。1 龄幼虫在各温度条件下排粪量相差不大,4 龄幼虫在各温度条件下排粪量差异性最大。在 18、22、26、28℃和 30℃条件下,单头幼虫从 1 龄到 6 龄平均总排粪量分别为 879.93、1 022.90、945.00、1 062.46 mg 和 1 004.07 mg,排粪量与温度的关系模型为  $P=9.777t+740.390$ ,两者的相关性达到显著水平( $R^2=0.318$ );随着龄期的增加,幼虫排粪量所占百分比大幅增加,5 龄和 6 龄排粪量的总和近乎整个幼虫期总排粪量的 95%,其中仅 6 龄幼虫排粪量所占的比例高达 77%以上。

表 7 杜仲梦尼夜蛾各龄幼虫平均取食量  
Table 7 The average food consumption of *O. songi* larvae

龄期	温度 /℃	各龄期 取食总量 /mg	各龄期 取食量占 总取食量/%	日均取食量 /(mg·d <sup>-1</sup> )
1 龄	18	1.23±0.09 c	0.07	0.18
	22	1.30±0.02 c	0.06	0.26
	26	8.24±0.55 b	0.60	2.06
	28	8.28±0.58 b	0.48	4.14
	30	8.94±0.45 a	0.58	2.98
2 龄	18	6.63±0.45 e	0.38	1.10
	22	12.70±0.64 b	0.60	3.53
	26	11.60±0.85 c	0.85	4.14
	28	13.84±0.93 a	0.81	6.92
	30	10.27±0.37 d	0.67	5.14
3 龄	18	20.44±1.29 c	1.16	3.65
	22	18.19±0.53 d	0.86	5.68
	26	33.97±1.52 a	2.49	13.07
	28	16.88±1.31d	0.98	7.67
	30	28.54±1.20 b	1.86	14.27
4 龄	18	143.05±2.09 a	8.12	26.49
	22	137.84±6.55 a	6.50	28.72
	26	88.43±3.62 c	6.48	27.63
	28	104.44±2.04 b	6.09	38.68
	30	71.36±1.70 d	4.64	23.79
5 龄	18	317.67±16.81 b	18.04	45.38
	22	254.80±11.21 c	12.02	60.67
	26	240.14±10.07 cd	17.61	68.61
	28	394.62±11.85 a	23.00	112.75
	30	233.68±8.68 d	15.20	73.02
6 龄	18	1272.33±38.17 b	72.24	187.11
	22	1695.51±25.27 a	79.96	282.59
	26	981.40±20.14 d	71.96	178.44
	28	1177.49±31.95 c	68.64	240.30
	30	1184.31±56.25 c	77.05	311.66

表 8 杜仲梦尼夜蛾各龄幼虫平均排粪量  
Table 8 The average faeces of *Orthosia songi* larvae

龄期	温度 /℃	各龄期 排粪总量 /mg	各龄期 排粪量占 总排粪量/%	日均排粪量 /(mg·d <sup>-1</sup> )
1 龄	18	0.69±0.17 a	0.08	0.10
	22	0.57±0.09 a	0.06	0.11
	26	0.34±0.07 b	0.04	0.09
	28	0.32±0.02 b	0.03	0.16
	30	0.34±0.06 b	0.03	0.11
2 龄	18	2.34±0.24 c	0.27	0.39
	22	2.72±0.25 b	0.27	0.76
	26	3.99±0.28 a	0.42	1.42
	28	1.14±0.13 d	0.11	0.57
	30	1.40±0.09 d	0.14	0.70
3 龄	18	11.53±0.79 a	1.31	2.06
	22	7.04±0.26 c	0.69	2.20
	26	11.25±0.61 a	1.19	4.33
	28	8.10±0.55 b	0.76	3.68
	30	7.03±0.41 c	0.70	3.51
4 龄	18	25.93±1.54 e	2.95	4.80
	22	31.69±2.35 d	3.10	6.60
	26	56.18±3.02 a	5.95	17.56
	28	41.53±3.25 b	3.91	15.38
	30	36.49±2.25 c	3.63	12.16
5 龄	18	99.86±6.16 d	11.35	14.27
	22	139.93±3.03 c	13.68	33.32
	26	102.29±5.67 d	10.82	29.23
	28	191.93±10.61 a	18.06	54.84
	30	165.34±6.81 b	16.47	51.67
6 龄	18	739.59±34.45 c	84.05	108.76
	22	840.96±31.60 a	82.21	140.16
	26	770.95±24.57 bc	81.58	140.17
	28	819.45±40.87 a	77.13	167.23
	30	793.46±34.09 ab	79.02	208.80

3 结论与讨论

在 18~30℃ 范围内,杜仲梦尼夜蛾各虫态的发育历期随着温度的升高而缩短,其发育速率随着温度的升高而加快,表明了温度显著影响杜仲梦尼夜蛾幼虫发育历期。在 22℃ 条件下,杜仲梦尼夜蛾完成一个世代平均需要 59.5 d,与赵阳<sup>[6]</sup>等在 23℃ 饲养条件下报道的结果一致。用直线回归法得出各虫态发育起点温度,与其他鳞翅目昆虫如斜纹夜蛾<sup>[11]</sup>报道的结果较为一致。研究各虫态的发育历期能对后期该害虫虫情的预测预报提供重要的依据。

昆虫幼虫的虫龄和龄期观察是昆虫生物学特别是幼虫期生长发育的重要研究内容<sup>[12]</sup>。依据幼虫蜕皮次数对幼虫龄期进行判别,发现杜仲梦尼夜蛾幼虫期在本研究设置的 5 个温度条件下均蜕皮 5 次,应为 6 个龄期,此结果与李剑豪<sup>[5]</sup>等和周云龙<sup>[3]</sup>等分别将杜仲梦尼夜蛾幼虫期划分为 4 个龄期和 5

个龄期不同,也与赵阳<sup>[6]</sup>等得出杜仲梦尼夜蛾幼虫有 8 个龄期的结果不一致,可能是因为外在环境条件如温度、光照、食物供给、幼虫密度、物理损伤等因素影响了昆虫的蜕皮,进而导致龄期的不同<sup>[13]</sup>。对杜仲梦尼夜蛾幼虫头宽、体长、体重与龄期之间的关系分别进行线性回归分析并对龄期进行单因素方差分析,结果表明,其拟合程度均达到了差异显著水平,其中头宽与龄期的相关系数最大( $R^2>0.9$ ),体长次之,体重最小( $R^2>0.5$ );各龄幼虫头宽均达到显著水平,而体长和体重仅在 4、5 龄及 6 龄大龄幼虫时期达到显著水平。表明杜仲梦尼夜蛾幼虫不同龄期的头宽变化符合戴尔定律,在野外,可根据其头宽和其他形体参数快速判别其所处的龄期,进而为监测和防治害虫提供依据<sup>[14]</sup>。

温度对鳞翅目昆虫取食量的影响已有较多研究,如甘薯麦蛾的取食量随温度升高而增加<sup>[15]</sup>,而尖锥额野螟幼虫<sup>[16]</sup>和椰心叶甲幼虫<sup>[17]</sup>的取食量随

温度变化未出现明显的增长规律。本研究表明,温度和龄期对杜仲梦尼夜蛾幼虫的取食量均有显著影响。在不同温度条件下,同一龄幼虫的取食量和取食速率均存在显著差异,且随温度变化其取食量呈现的规律同尖锥额野螟幼虫相似,其幼虫期总取食量以 22℃ 最大,为 2 120. 33 mg,18℃ 与 28℃ 条件下次之。随着杜仲梦尼夜蛾幼虫龄期的增加,其取食量和取食速率大幅增大。5 龄以后幼虫进入暴食阶段,头宽、体长和体重等体参数也明显增加,其中仅末龄幼虫取食量占整个幼虫期取食量的 68%~80%,该结果与其他鳞翅目昆虫的取食情况相近,杜仲梦尼夜蛾末龄幼虫的危害之大,不仅与末龄幼虫的日均取食量大有关,还与末龄幼虫龄期持续时间长有关。

温度和龄期对杜仲梦尼夜蛾幼虫排粪量的影响与取食量相似。随着杜仲梦尼夜蛾幼虫的发育,食叶量增加,所排粪粒越大,粪便重量也在增加,这些与幼虫龄期基本对应。在 18、22、26、28℃ 和 30℃ 条件下,杜仲梦尼夜蛾不同龄期幼虫的取食量和近似消化率<sup>[10]</sup>[(幼虫期的取食量-幼虫期的排粪量)/幼虫期取食量]分别为 1 761. 35、2 120. 33、1 363. 77、1 715. 55 mg 与 1 537. 10 mg 和 50. 04%、51. 76%、30. 71%、38. 07%与 34. 68%,取食量、消化率是生理、生化方向研究的重要性状,亦被作为饲料有效利用水平的标志,消化率与饲料效率相关性的研究结果证明,两者呈明显的正相关关系<sup>[18]</sup>。在这 5 个温度条件下,相比 26~30℃ 温度范围内杜仲梦尼夜蛾幼虫的取食量和饲料利用率,在较低温 18~22℃ 这个温度范围内的取食量较大,饲料的利用率较高。在 28℃ 条件下,杜仲梦尼夜蛾幼虫的取食量同 18℃ 相近,而其排粪量远远高于 18℃,是 5 个温度中排粪量最多的;在 22℃ 条件下,其取食量和饲料利用率是 5 个温度中最高的。至于温度对杜仲梦尼夜蛾幼虫取排量影响的机制待进一步探讨。

本试验结果是在室内恒温条件下获得的,与田间自然条件存在一定差异;此外,影响杜仲梦尼夜蛾幼虫生长发育的环境因子除了温度外,还有湿度、天敌、寄主植物等,需要进一步研究。

参考文献:

[1] 严瑞芳. 杜仲橡胶的开发及应用概况[J]. 橡胶科技市场, 2010 (10): 9-13.

[2] 孙志强, 杜红岩, 李芳东. 杜仲集约化栽培潜在的病虫害及其应对策略[J]. 经济林研究, 2011, 29(14): 70-76.

[3] 周云龙, 张声堂, 刘湘银, 等. 杜仲梦尼夜蛾生物学特性及防治研究[J]. 西北林学院学报, 1996, 11(2): 64-68.

ZHOU Y L, ZHANG S T, LIU X Y, *et al.* Studies on biological

characteristics of *Orthosia songi* and control measures[J]. Journal of Northwest Forestry University, 1996, 11(2): 64-68. (in Chinese)

[4] 李建林, 吕永材, 杨森保, 等. 杜仲夜蛾的生物学特性初探[J]. 西北林学院学报, 1994, 9(4): 64-66.

LI J L, LV Y C, YANG S B, *et al.* Preliminary study on biological characteristics of *Orthosia songi*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 1994, 9(4): 64-66. (in Chinese)

[5] 李剑豪, 李东平, 黄祖慧, 等. 杜仲梦尼夜蛾生物学特性初步研究[J]. 森林病虫通讯, 1997(4): 19-21.

[6] 赵阳, 朱景乐, 李芳东, 等. 杜仲梦尼夜蛾发育历期及取食行为研究[J]. 植物保护, 2015, 41(2): 75-79.

ZHAO Y, ZHU J L, LI F D, *et al.* Developmental duration and feeding behavior of *Orthosia songi*[J]. Plant Protection, 2015, 41(2): 75-79. (in Chinese)

[7] 陈丽芳, 邵东华, 段景攀, 等. 温度对昆虫的影响[J]. 内蒙古林业科学, 2015, 41(2): 57-61.

[8] 罗礼智, 刘大海, 张蕾. 草地螟幼虫取食量、头宽、体长及体重的测定[J]. 植物保护, 2008, 34(6): 32-36.

LUO L Z, LIU D H, ZHANG L. Determination of food consumption, head width, body length, and body weight of the larvae of the meadow moth, *Loxostege sticticalis*[J]. Plant Protection, 2008, 34(6): 32-36. (in Chinese)

[9] 廉梅霞, 张育平. 明纹柏松毛虫各龄幼虫取食量和排粪量[J]. 应用昆虫学报, 2011, 48(4): 982-985.

LIAN M X, ZHANG Y P. The ingestion and defecation of the *Dendrolimus suffuscus illustratus* larvae[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2011, 48(4): 982-985. (in Chinese)

[10] 赵磊, 杨群芳, 解海翠, 等. 大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高对亚洲玉米螟生长发育及繁殖的直接影响[J]. 生态学报, 2015, 35(3): 1-11.

ZHAO L, YANG Q F, XIE H C, *et al.* Direct effects of the elevated atmospheric carbon dioxide levels on the growth development and reproduction of *Ostrinia furnacalis* (Guenee)[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(3): 1-11. (in Chinese)

[11] 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.

QIN H G, YE Z, XIANG D J, *et al.* Effect of temperature on the development, survival and fecundity of *Spodoptera litura* Fabricius[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2002, 10(3): 76-79. (in Chinese)

[12] 彩万志, 庞雄飞, 花保祯, 等. 普通昆虫学[M]. 2 版. 北京: 中国农业大学出版社, 2011, 229-230.

[13] 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 X Y, YANG Z Q, TANG Y L, *et al.* Determination of larval instar number and duration in the oak long horn beetle, *Massicus raddei* (Coleoptera: Cerambycidae)[J]. Acta Entomologica Sinica, 2012, 55(5): 575-584. (in Chinese)

[14] 高勇, 谭秀梅, 周洪旭, 等. 绿盲蝽分龄与其形态发育指标的关联性[J]. 棉花学报, 2013, 25(4): 339-344.

GAO Y, TAN X M, ZHOU H X, *et al.* Correlation between larval instar and morphological development indexes of *Apolygus lucorum*[J]. Cotton Science, 2013, 25(4): 339-344. (in Chinese)

University,2009,30(3):151-154. (in Chinese)

[6] 叶美玲,洪金庆,陈翠雪,等. 聚氨酯/有机蒙脱土纳米硬质泡沫的制备及表征[J]. 高分子材料科学与工程,2013,29(1):140-148.

YE M L,HONG J Q,CHEN C X,*et al.* Preparation and characterization of polyurethane/ organo-montmorillonite nanocomposites[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2013,29(1):140-148. (in Chinese)

[7] 何栋,秦齐,周宏伟,等. 混合型聚氨酯/有机蒙脱土纳米复合材料的制备与表征[J]. 高分子材料科学与工程,2015,31(5):139-143.

HE D,QIN Q,ZHOU H W,*et al.* Preparation and characterization of hybrid polyurethane/organic montmorillonite nanocomposites[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2015,31(5):139-143. (in Chinese)

[8] 薛振华,赵广杰. 蒙脱土/木材复合材料的结晶性能[J]. 北京林业大学学报,2008,30(1):114-118.

XUE Z H,ZHAOG J. Crystal properties of montmorillonite-wood composite[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2008,30(1):114-118. (in Chinese)

[9] 程爱民,田艳,韩冰,等. 聚氨酯/蒙脱土纳米复合材料的制备与性能研究[J]. 高分子学报,2003(4):591-594.

CHENG A M,TIAN Y,HAN B,*et al.* Synthesis and characterization of polyurethane/ montmorillonite nanocomposites [J]. Acta Polymerica Sinica,2003(4):591-594. (in Chinese)

[10] 马晓军,赵广杰. 木材苯酚液化物的纳米纤维制备工艺[J]. 西北林学院学报,2007,22(5):155-158.

MA X J,ZHAO G J. On technology of nano-fiber prepared wood liquefaction products in phenol[J]. Journal of Northwest Forestry University,2007,22(5):155-158. (in Chinese)

[11] KORNMANN X,LINDBERG H,BERGLUNDL A. Synthesis of epoxy-clay nanocomposites. Influence of the nature of the clay on structure[J]. Polymer,2001,42(4):1301-1310.

[12] 吕文华,赵广杰. 杉木木材/蒙脱土纳米复合材料的结构和表征[J]. 北京林业大学学报,2007,29(1):131-135.

LU W H,ZHAO G J. Structure and characterization of *Cunninghamia lanceolata* wood-MMT inter-calation nanocomposite[J]. Journal of Beijing Forestry University,2007,29(1):131-135. (in Chinese)

[13] LEE J Y,LEE H K. Characterization of organobentonite used for polymer nanocomposites [J]. Materials Chemistry and Physics,2004,85(2/3):410-415.

[14] GARCIA-LOPEZ D,GOBERNADO-MITRE I,FERNANDEZ J F,*et al.* Influence of clay modification process in PA6-layered silicate nanocomposite properties[J]. Polymer,2005,46(8):2785-2765.

[15] 王胜军. 水基聚氨酯纳米/蒙脱土复合树脂的制备与性能[D]. 青岛:青岛科技大学,2009.

(上接第 209 页)

[15] 王佳璐,谭荣荣. 温度对甘薯麦蛾发育历期和幼虫取食量的影响[J]. 长江蔬菜,2011(4):75-77.

WANG J L,TAN R R. Effect of temperature on developmental duration and feeding amount in *Brachmia macroscopa* Meyrick[J]. Journal of Changjiang Vegetables,2011,(4):75-77. (in Chinese)

[16] 崔娟,史树森,徐伟,等. 温度对尖锥额野螟幼虫取食量的影响[J]. 中国农学通报,2014,30(25):313-316.

CUI J,SHI S S,XU W,*et al.* Effects of temperature on the feeding amount of *Sitochroa verticalis* (L.) larvae[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2014,30(25):313-316. (in Chinese)

[17] 周荣,曾玲,陆永跃,等. 温度对椰心叶甲取食量的影响[J]. 中山大学学报:自然科学版,2004,43(25):41-43.

ZHOU R,ZENG L,LU Y Y,*et al.* Effect of temperature on the feeding of palm leaf beetle *Brontispa longissima* (Gestro) [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2004,43(25):41-43. (in Chinese)

[18] 刘佩锋,杨宝山. 柞蚕食下量、消化率与饲料效率的相关性研究[J]. 蚕业科学,2004,30(4):432-435.

LIU P F,YANG B S. Studies on the correlativity between amount of food ingested,digestibility and dietary efficiency of tussah silkworm *Antheraca pernyi* [J]. Canye Kexue,2004,30(4):432-435. (in Chinese)