

网络出版时间:2018-04-26 15:24

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2018.10.015

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20180426.1522.030.html>

# 低温胁迫对栎黄枯叶蛾越冬卵发育和存活的影响

刘永华<sup>1</sup>, 阎雄飞<sup>1</sup>, 陆鹏飞<sup>2</sup>, 李鲜花<sup>1</sup>, 贺英<sup>1</sup>

(1 榆林学院 陕西省陕北矿区生态修复重点实验室, 陕西 榆林 719000;

2 北京林业大学 省部共建森林培育与森林保护教育部重点实验室, 北京 100083)

**【摘要】**【目的】明确低温胁迫对栎黄枯叶蛾(*Trabala vishnou gigantina* Yang)越冬卵发育和存活的影响,以便预测其发生范围并采取有效的防治措施。【方法】将栎黄枯叶蛾越冬卵在6个低温(-15, -20, -25, -30, -35和-40℃)条件下处理12, 24和48h或在-30℃下处理不同时间(1, 3, 5, 10, 20, 30, 50d),每日观察卵的发育情况,统计卵的发育历期和存活率。【结果】低温胁迫强度和處理时间对栎黄枯叶蛾越冬卵的发育和存活有显著影响,随着温度的降低和處理时间的延长,越冬卵的发育历期延长,存活率降低。越冬卵在-35℃低温下分别处理12, 24和48h后,其发育历期显著长于其他处理。当温度≤-30℃时,无论处理时间长短,越冬卵的存活率均大幅度下降。越冬卵处理12, 24和48h的致死中温度分别为-33.45, -32.08和-30.69℃, -30℃下致死中时间为19.63d。【结论】栎黄枯叶蛾越冬卵的抗寒性较强,大部分可以安全越冬。

**【关键词】** 栎黄枯叶蛾; 低温胁迫; 存活率; 发育历期; 致死中温度; 致死中时间

**【中图分类号】** S763.420.1

**【文献标志码】** A

**【文章编号】** 1671-9387(2018)10-0126-05

## Effects of low temperature stress on development and survivorship of overwintering eggs of *Trabala vishnou gigantina* Yang (Lepidoptera: Lasiocampidae)

LIU Yonghua<sup>1</sup>, YAN Xiongfei<sup>1</sup>, LU Pengfei<sup>2</sup>, LI Xianhua<sup>1</sup>, HE Ying<sup>1</sup>

(1 Shaanxi Key Laboratory of Ecological Restoration in Shaanbei Mining Area, College of Yulin, Yulin, Shaanxi 719000, China; 2 Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** 【Objective】 *Trabala vishnou gigantina* Yang is a serious leaf-eating pest of *Hippophae rhamnoides* in recent years, and overwinters as eggs on branch and litter. This study determined the effect of low temperature stress on the development and survivorship of overwintering eggs of *T. vishnou gigantina* to forecast its distribution and scientific management. 【Method】 At a series of low temperatures (-15, -20, -25, -30, -35 and -40℃) at 12, 24, and 48 h, or at -30℃ for different periods (1, 3, 5, 10, 20, 30 and 50 d), the development of the eggs were observed every day, and the survival rates and developmental periods of overwintering eggs of *T. vishnou gigantina* were investigated. 【Result】 Intensity and time of low temperature stress significantly affected the survival rates and developmental periods of overwintering eggs of *T. vishnou gigantina*. The survival rates declined and the developmental period extended with the decrease of temperature and the extension of time. The developmental duration of overwintering eggs prolonged significantly at -35℃ for 12, 24 and 48 h. The survival rates of overwintering eggs remarkably de-

〔收稿日期〕 2017-07-14

〔基金项目〕 国家自然科学基金项目(31760209); 陕西省教育厅专项科学研究项目(17JK0898); 榆林学院科研项目(16GK08)

〔作者简介〕 刘永华(1978-), 男, 山西阳泉人, 副教授, 博士, 主要从事有害生物生态控制研究。E-mail: liuyonghua@126.com

creased at temperatures  $\leq -30\text{ }^{\circ}\text{C}$  regardless of the length of time. The lower half lethal temperatures ( $LT_{50}$ ) after 12, 24 and 48 h exposures were  $-33.45$ ,  $-32.08$  and  $-30.69\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectively, and the half lethal time ( $Lt_{50}$ ) at  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  was 19.63 d. 【Conclusion】 The overwintering eggs of *T. vishnou gigantina* have strong cold hardiness, and most overwintering eggs may live through the winter.

**Key words:** *Trabala vishnou gigantina*; low temperature stress; survival rate; developmental period; half lethal temperature; half lethal time

昆虫属于变温动物,外界环境温度能直接影响其新陈代谢,从而对其发育、繁殖、存活和种群动态产生重要影响<sup>[1]</sup>。只有在一定的温度范围内,昆虫的生命活动才能正常进行<sup>[2]</sup>,温度过高或过低都会对其生长发育产生不利影响<sup>[3]</sup>。尤其是在温带和寒带地区,冬季低温已成为昆虫存活的最大限制因子,直接影响着昆虫越冬虫态的成活率,并对翌年的种群基数、种群增长力以及危害程度起到决定性作用<sup>[4]</sup>。因此,昆虫对低温的耐受性直接影响着昆虫种群的发生和分布,低温胁迫对昆虫越冬虫态的影响研究已成为昆虫生态学研究热点之一。

栎黄枯叶蛾 (*Trabala vishnou gigantina* Yang) 属鳞翅目 (Lepidoptera) 枯叶蛾科 (Lasiolepididae) 昆虫,又名大黄枯叶蛾、黄绿枯叶蛾,主要分布于我国西北、华北和东北各省区,寄主广泛,主要危害栎类、沙棘、板栗、核桃、苹果、海棠等植物<sup>[5-7]</sup>。该虫自 2008 年开始在陕西吴起沙棘人工林中大面积暴发,此后为害面积不断增加,危害程度逐年加重,幼虫以沙棘叶片为食,虫口密度大时会将树叶全部吃光,严重影响沙棘生长,对沙棘的生态价值和经济效益产生巨大影响。栎黄枯叶蛾 1 年发生 1 代,以卵在枝条及枯枝落叶等处越冬,越冬卵的存活率决定了来年该虫的发生基数<sup>[8]</sup>。目前,对栎黄枯叶蛾的研究主要集中在生物生态学特性<sup>[8-14]</sup>、寄主选择性机制<sup>[15-16]</sup>等方面,而关于低温胁迫对其越冬卵的影响尚未见研究报道。本研究分析低温胁迫对栎黄枯叶蛾越冬卵的影响,旨在明确栎黄枯叶蛾越冬卵对低温的耐受性,从而为更深入地了解栎黄枯叶蛾的生物生态学特性、提高预测预报的准确性及制定合理的防治措施提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试虫源

栎黄枯叶蛾越冬卵采自陕西省吴起县人工沙棘林地,将其带回实验室后置于人工气候箱 (RXZ 智能型,宁波江南仪器厂) 中,在光照周期 14 h/10 h (L/D)、温度 ( $25 \pm 1$ )  $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 ( $80 \pm 5$ ) % 条件

下放置 70 d,待其解除滞育后进行试验(前期研究发现,栎黄枯叶蛾卵在上述条件下大约 50 d 即开始解除滞育,70 d 后滞育全部解除)。

### 1.2 低温胁迫强度对栎黄枯叶蛾卵的影响

据资料记载,陕北地区历史极端低温能达到  $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,故本试验设置了一 15, -20, -25, -30, -35, -40  $^{\circ}\text{C}$  6 个温度梯度(温度波动范围  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),以 25  $^{\circ}\text{C}$  作为对照。将卵放入塑料瓶(高 20 cm,直径 10 cm)中的纱布上,置于 6 个温度处理的低温培养箱中,分别处理 12, 24, 48 h 后,即刻转移至人工气候箱(无光照,温度 ( $25 \pm 1$ )  $^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度 ( $80 \pm 5$ ) %) 内,每日观察记录卵的发育情况,直至 30 d 后卵不再孵化为止(前期研究表明,卵在 25  $^{\circ}\text{C}$  下发育历期约为 20 d),统计卵的存活率(未孵化卵干瘪变黑,经检查确认全部死亡,因此孵化率即为存活率)、发育历期,计算致死中温度 ( $LT_{50}$ )。每处理 3 次重复,每重复 100 粒卵。

### 1.3 低温胁迫时间对栎黄枯叶蛾卵的影响

卵的处理方法同 1.2 节。将卵置于 ( $-30 \pm 1$ )  $^{\circ}\text{C}$  的低温培养箱中,分别处理 1, 3, 5, 10, 20, 30, 50 d 后,即刻转移至人工气候箱(无光照,温度 ( $25 \pm 1$ )  $^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度 ( $80 \pm 5$ ) %) 内,以 0 d 为对照。每日观察记录卵的发育情况,直至 30 d 后卵不再孵化为止,统计卵的存活率、发育历期,计算致死中时间 ( $Lt_{50}$ )。每处理 3 次重复,每重复 100 粒卵。

### 1.4 数据分析

试验数据采用 DPS 13.5 软件进行统计与分析,对不同处理间的存活率、发育历期等数据进行方差分析 (ANOVA), 并采用 Duncan's 新复极差法进行差异显著性比较。

致死中温度和致死中时间的计算公式<sup>[17]</sup>为:

$$S(x) = [\exp(a - bx)] / [1 + \exp(a - bx)]$$

式中:  $S(x)$  为昆虫种群在一定时间或低温下的死亡率 (%),  $x$  为温度  $T$  或者时间  $t$ ,  $a$  和  $b$  为模型参数。当死亡率  $S(x)$  为 50% 时,即  $a - bx = 0$ ,  $x = a/b$ ,  $x$  值即致死中温度 ( $LT_{50}$ ) 或致死中时间 ( $Lt_{50}$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 低温胁迫强度对柞黄枯叶蛾越冬卵的影响

柞黄枯叶蛾卵在  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  下全部死亡,故只统计  $-15, -20, -25, -30$  和  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  5 个温度处理的数据。

2.1.1 发育历期 由表 1 可以看出,低温胁迫强度对柞黄枯叶蛾越冬卵的发育历期有显著影响。在  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  低温处理 12 h 后,卵的发育历期为  $(35.65 \pm 3.56)$  d,与其他低温处理的发育历期相比显著延长 ( $P < 0.05$ ),而其他温度下卵的发育历期无显著差异 ( $P > 0.05$ )。在  $-35$  和  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  低温下处理 24 h

后,卵的发育历期分别延长为  $(36.84 \pm 4.53)$  和  $(28.03 \pm 3.58)$  d,两者之间差异显著 ( $P < 0.05$ ),且均与其他低温处理的发育历期有显著差异 ( $P < 0.05$ )。低温处理 48 h 后,  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  下卵的发育历期为  $(36.53 \pm 3.48)$  d,显著长于其他低温处理 ( $P < 0.05$ ),  $-30$  和  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  下卵的发育历期分别为  $(30.55 \pm 6.12)$  和  $(29.45 \pm 5.46)$  d,二者之间无显著差异 ( $P > 0.05$ ),但显著长于  $\geq -20\text{ }^{\circ}\text{C}$  下各处理的发育历期 ( $P < 0.05$ )。而在  $\geq -20\text{ }^{\circ}\text{C}$  下处理 12, 24 和 48 h,卵的发育历期无显著差异 ( $P > 0.05$ )。以上结果表明,随着低温胁迫强度的加剧和低温时间的延长,卵的发育历期显著延长,发育显著变慢。

表 1 不同低温处理下柞黄枯叶蛾越冬卵在  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  时的发育历期

Table 1 Developmental duration of *Trabala vishnou gigantina* eggs at  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  with different low temperatures d

处理时间/h Treatment time	处理温度/ $^{\circ}\text{C}$ Treatment temperature					
	25(CK)	-15	-20	-25	-30	-35
12	18.45±2.85 b	18.95±4.13 b	20.05±4.38 b	18.21±3.68 b	20.15±2.36 b	35.65±3.56 a
24	18.45±2.85 c	20.05±4.38 c	22.46±1.25 c	19.73±5.75 c	28.03±3.58 b	36.84±4.53 a
48	18.45±2.85 c	19.35±2.79 c	17.96±4.67 c	29.45±5.46 b	30.55±6.12 b	36.53±3.48 a

注:表中数据为“平均值±标准误”。同行数据后标不同小写字母表示 Duncan's 多重比较差异显著 ( $P < 0.05$ )。表 2 同。

Note: Date in the table are "mean±SE". Different letters in same row mean significant difference by Duncan's multiple range test ( $P < 0.05$ ). The same as Table 2.

2.1.2 致死中温度 不同低温胁迫下柞黄枯叶蛾越冬卵的存活率见表 2。由表 2 可知,柞黄枯叶蛾卵的存活率随温度的降低而下降,在  $-30$  和  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  低温下分别处理 12, 24 和 48 h 后,柞黄枯叶蛾卵的存活率显著低于其他处理 ( $P < 0.05$ ),而  $\geq -30\text{ }^{\circ}\text{C}$  时处理时间对存活率几乎无影响 ( $P > 0.05$ ),而在  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  低温下,随着处理时间的延长,存活率大幅

度下降,处理 24 和 48 h 的存活率与处理 12 h 间差异显著 ( $P < 0.05$ )。采用致死中温度计算公式,可以很好地模拟柞黄枯叶蛾卵存活率与各低温处理的关系,计算可得低温处理 12, 24 和 48 h 后卵的致死中温度 ( $LT_{50}$ ) 分别为  $-33.45, -32.08$  和  $-30.69\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,这说明柞黄枯叶蛾越冬卵的抗寒能力很强,冬季低温对其存活率影响不大。

表 2 不同低温处理对柞黄枯叶蛾卵存活率的影响

Table 2 Survival rates of *Trabala vishnou gigantina* eggs with different low temperatures %

处理时间/h Treatment time	处理温度/ $^{\circ}\text{C}$ Treatment temperature					
	25(CK)	-15	-20	-25	-30	-35
12	82.48±5.45 a	78.34±6.76 a	83.50±5.44 a	79.54±4.55 a	56.15±6.58 b	19.38±5.76 b
24	82.48±5.45 a	80.26±5.45 a	79.23±4.35 a	80.32±5.86 a	55.58±5.86 b	8.55±5.22 c
48	82.48±5.45 a	83.58±7.31 a	80.96±6.46 a	81.82±6.84 a	56.33±7.25 b	2.43±1.68 c

### 2.2 低温胁迫时间对柞黄枯叶蛾越冬卵的影响

2.2.1 发育历期 由表 3 可以看出,柞黄枯叶蛾卵在  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  条件下处理不同时间后,其发育历期均有所延长,且与对照相比差异均达显著水平 ( $P < 0.05$ ),但在  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  下处理不同时间对卵的发育历期并无显著影响 ( $P > 0.05$ ),说明低温可以延长卵的发育历期,但低温下放置时间长短对卵的发育历期并无明显影响。

2.2.2 致死中时间 由表 3 可知,与对照相比在  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  条件下,随着处理时间的延长,除处理 5 d 的

存活率略有增加外,其余处理柞黄枯叶蛾卵的存活率均有所下降。但  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  低温处理 10 d 以内,各处理的存活率均无显著差异 ( $P > 0.05$ )。  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  处理 20, 30 和 50 d 后,越冬卵的存活率分别为 48.39%, 25.5% 和 10.45%,均显著低于对照 ( $P < 0.05$ )。采用致死中时间计算公式,可以很好地模拟计算柞黄枯叶蛾卵存活率与低温处理时间的关系,得到  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  低温下卵的致死中时间 ( $Lt_{50}$ ) 为 19.63 d,这也说明柞黄枯叶蛾越冬卵的抗寒能力较强。

表 3 -30 °C 低温处理不同时间后栎黄枯叶蛾卵在 25 °C 时的发育历期和存活率  
Table 3 Developmental duration and survival rate of *Trabala vishnou gigantina* eggs at 25 °C after -30 °C treatment for different treatment durations

处理时间/d Treatment time	发育历期/d Developmental duration	存活率/% Survival rate	处理时间/d Treatment time	发育历期/d Developmental duration	存活率/% Survival rate
0(CK)	18.49±2.88 b	82.03±3.45 a	10	30.08±3.45 a	78.85±5.43 a
1	29.96±3.47 a	80.95±4.26 a	20	31.23±2.18 a	48.39±3.69 b
3	30.15±3.68 a	79.65±3.55 a	30	30.35±2.45 a	25.54±2.73 c
5	29.56±4.25 a	82.33±2.78 a	50	28.96±1.98 a	10.45±2.05 d

注:表中数据为“平均值±标准误”。同列数据后不同小写字母表示 Duncan's 多重比较差异显著( $P<0.05$ )。

Note: Date in the table are “mean±SE”. Different letters in same column mean significant difference by Duncan's multiple range test ( $P<0.05$ ).

### 3 讨论

昆虫抗冻耐寒能力的测定与分析是昆虫低温生态学的重要内容,其中致死中温度和致死中时间 2 个指标可以用来定量分析低温对昆虫的伤害作用<sup>[17]</sup>,从而可以反映出昆虫对低温的耐受力。本试验发现,栎黄枯叶蛾越冬卵低温处理 12、24 和 48 h 的致死中温度分别为 -33.45、-32.08 和 -30.69 °C, -30 °C 低温条件下的致死中时间为 19.63 d。根据资料记载,陕北地区平均极端最低温度为 -22~-27 °C,且持续时间很短,所以陕北地区冬季低温对栎黄枯叶蛾越冬卵的伤害很小,大部分卵可以安全越冬。

本研究结果表明,栎黄枯叶蛾越冬卵在 -35、-30 和 -25 °C 低温下分别处理 12、24 和 48 h 后,其发育历期显著长于其他处理,并且在 ≤-30 °C 低温下卵的存活率大幅下降,证明低温胁迫强度增大不仅使卵的发育速率下降,而且会造成卵大量死亡。对其他昆虫如沙葱萤叶甲 (*Galeruca daurica*)<sup>[18]</sup>、宽翅曲背蝗 (*Pararcyptera microptera meridionalis*)<sup>[19]</sup>、飞蝗 (*Locusta migratoria*)<sup>[20]</sup> 等越冬卵的研究也证实了这一点,并且低温胁迫对昆虫其他虫态的生长发育都会造成类似的影响<sup>[21-23]</sup>。栎黄枯叶蛾越冬卵在经历了高强度低温胁迫后,对其所孵化幼虫、蛹和成虫是否造成影响,还需进一步研究。

昆虫的滞育是指在不利环境到来之前,昆虫能够主动停止发育而进入一个代谢降低、抗逆性增强的过程<sup>[24]</sup>,是昆虫对环境条件长期适应的结果,在昆虫的生存、进化和繁殖等方面发挥着重要的作用<sup>[25]</sup>。一直以来,人们对滞育与抗寒性之间是否具有相关性,认识上还存在着分歧,但是越来越多的研究表明,滞育与抗寒性之间关系密切,滞育对昆虫抗寒性的提高有明显的促进作用<sup>[19,26]</sup>。前期研究表明,栎黄枯叶蛾越冬卵也要经过一定时间的滞育,滞育

是否能提高该虫抗寒性还有待于进一步验证。

在昆虫低温生物学中,伤害低温总和、过冷却点、冷伤害昏迷恢复时间等也被看作昆虫耐寒性评价的重要指标,下一步应深入研究栎黄枯叶蛾的上述指标,并且探究这些指标与该虫致死温度和时间的关系,以便更准确地判断该虫的抗冻耐寒能力。

本研究结果对栎黄枯叶蛾灾情的预测预报具有重要的应用价值,在实际工作中,可将本研究的致死中温度和致死中时间与当地气象数据结合,从而大致判断该害虫发生的范围以及其越冬情况,并预报虫害发生量和发生期,进而及时采取合理的防治措施。

### [参考文献]

- [1] 石保坤,胡朝兴,黄建利,等. 温度对褐飞虱发育、存活和产卵影响的关系模型 [J]. 生态学报, 2014, 34(20): 5868-5874.  
Shi B K, Hu C X, Huang J L, et al. Modeling the influence of temperature on development, survival and oviposition of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(20): 5868-5874.
- [2] Campbell A, Frazer B D, Gilbert N, et al. Temperature requirements of some aphids and their parasites [J]. Journal of Applied Ecology, 1974, 11(2): 431-438.
- [3] 向玉勇,殷培峰,汪美英,等. 金银花尺蠖发育起点温度和有效积温的研究 [J]. 应用昆虫学报, 2011, 48(1): 152-155.  
Xiang Y Y, Yin P F, Wang M Y, et al. Developmental threshold temperature and effective accumulative temperature of *Heterolochoa jinyinhua phaga* [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2011, 48(1): 152-155.
- [4] Bale J S. Cold hardiness and overwintering of insects [J]. Agricultural Zoology Reviews, 1989, 3: 157-192.
- [5] 同长寿. 栎黄枯叶蛾的生活习性与防治初步研究 [J]. 昆虫知识, 1966, 10(2): 96-97.  
Tong C S. A preliminary study on *Trabala vishnou gigantina* Yang of life habit and control [J]. Chinese Bulletin of Entomology, 1966, 10(2): 96-97.
- [6] 萧刚柔. 中国森林昆虫 [M]. 2 版. 北京: 中国林业出版社, 1992: 981-983.  
Xiao G R. Forest entomology in China [M]. 2nd ed. Beijing:

- China Forestry Press, 1992:981-983.
- [7] 刘友樵,武春生. 中国动物志 [M]. 北京:科学出版社, 2006: 338-339.  
Liu Y J, Wu C S. Chinese journal of animal [M]. Beijing: Science Press, 2006:338-339.
- [8] 刘永华,章一巧,阎雄飞,等. 栎黄枯叶蛾对沙棘林的危害及生物学特性 [J]. 植物保护, 2013, 3(2):147-151.  
Liu Y H, Zhang Y Q, Yan X F, et al. Damage and biological characteristic of *Trabala vishnou gigantina* (Lepidoptera: Lasiocampidae) [J]. Plant Protection, 2013, 3(2):147-151.
- [9] 刘永华,阎雄飞,章一巧,等. 栎黄枯叶蛾羽化及生殖行为研究 [J]. 应用昆虫学报, 2013, 50(5):1253-1259.  
Liu Y H, Yan X F, Zhang Y Q, et al. The eclosion and reproduction of *Trabala vishnou gigantina* (Lepidoptera: Lasiocampidae) [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2013, 50(5):1253-1259.
- [10] 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.  
Liu Y H, Zhang Y Q, Yan X F, 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.
- [11] 刘永华,阎雄飞,温冬梅,等. 温度对栎黄枯叶蛾生长发育及繁殖的影响 [J]. 昆虫学报, 2016, 59(3):309-315.  
Liu Y H, Yan X F, Wen D M, et al. Effects of temperature on the growth, development and reproduction of *Trabala vishnou gigantina* (Lepidoptera: Lasiocampidae) [J]. Acta Entomologica Sinica, 2016, 59(3):309-315.
- [12] 刘永华,温冬梅,阎雄飞,等. 栎黄枯叶蛾幼虫体色变化规律及生长发育特性研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2017, 45(3):126-130.  
Liu Y H, Wen D M, Yan X F, et al. Color change and growth characteristic of *Trabala vishnou gigantina* Yang larvae [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2017, 45(3):126-130.
- [13] 章一巧,刘永华,宗世祥,等. 基于 GS+ 的大黄枯叶蛾卵的空间分布关系 [J]. 林业科学, 2013, 49(10):100-104.  
Zhang Y Q, Liu Y H, Zong S X, et al. Spatial distribution of *Trabala vishnou gigantina* eggs with GS+ [J]. Scientia Silviculturae Sinica, 2013, 49(10):100-104.
- [14] 章一巧,宗世祥,刘永华,等. 陕西省栎黄枯叶蛾蛹的空间分布 [J]. 生态学报, 2012, 32(20):6308-6317.  
Zhang Y Q, Zong S X, Liu Y H, et al. Spatial distribution of *Trabala vishnou gigantina* Yang pupae in Shaanxi Province, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(20):6308-6317.
- [15] 温冬梅,刘永华,任利利,等. 栎黄枯叶蛾生长发育与几种寄主内含物的关系 [J]. 应用昆虫学报, 2016, 53(1):157-163.  
Wen D M, Liu Y H, Ren L L, et al. The effect of host plant species on the development of *Trabala vishnou gigantina* Yang (Lepidoptera: Lasiocampidae) [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2016, 53(1):157-163.
- [16] Wen D M, Yu L F, Liu Y H, et al. *Trabala vishnou gigantina* Yang (Lepidoptera: Lasiocampidae) larval fitness on six sympatric plant [J]. Journal of Insect Behavior, 2016, 29(5):1-14.
- [17] 欧阳芳,戈峰. 昆虫抗冻耐寒能力的测定与分析方法 [J]. 应用昆虫学报, 2014, 51(6):1646-1652.  
Ouyang F, Ge F. Methodology of measuring and analyzing insect cold hardiness [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2014, 51(6):1646-1652.
- [18] 高靖淳,周晓榕,庞保平,等. 低温对沙葱萤叶甲越冬卵存活和发育的影响 [J]. 昆虫学报, 2015, 58(8):881-886.  
Gao J C, Zhou X R, Pang B P, et al. Effects of low temperature on the survivorship and development of overwintering eggs of *Galeruca daurica* (Coleoptera: Chrysomelidae) [J]. Acta Entomologica Sinica, 2015, 58(8):881-886.
- [19] 李娜,周晓榕,庞保平. 宽翅曲背蝗卵的过冷却能力与抗寒性 [J]. 应用生态学报, 2014, 25(7):2099-2104.  
Li N, Zhou X R, Pang B P. Supercooling capacity and cold hardiness of the *Pararcyplera microptera meridionalis* (Orthoptera: Acrididae) [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(7):2099-2104.
- [20] Jing X H, Kang L. Seasonal changes in the cold tolerance of eggs of the migratory locust, *Locusta migratoria* (Orthoptera: Acrididae) [J]. Environmental Entomology, 2004, 33(2):113-118.
- [21] Ju R T, Xiao Y Y, Li B. Rapid cold hardening increases cold and chilling tolerances more than acclimation in the adults of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliate* (Say) (Hemiptera: Tingidae) [J]. Journal of Insect Physiology, 2011, 57:1577-1582.
- [22] Morey A C, Hutchison W D, Venette R C, et al. Cold hardiness of *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) pupae [J]. Environmental Entomology, 2012, 41:172-179.
- [23] 李浩,周晓榕,庞保平,等. 低温胁迫对沙葱萤叶甲幼虫过冷却能力及生长发育的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2015, 52(2):434-439.  
Li H, Zhou X R, Pang B P, et al. Effects of low temperature stress on the supercooling capacity and development of *Galeruca daurica* Joannis larvae (Coleoptera: Chrysomelidae) [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2015, 52(2):434-439.
- [24] Hahn D A, Denlinger D L. Energetics of insect diapause [J]. Annual Review of Entomology, 2011, 56:103-121.
- [25] 梁瀚清,钟杨生,陈芳艳,等. 昆虫滞育机制研究进展 [J]. 广东农业科学, 2014, 41(20):84-89.  
Liang H Q, Zhong Y S, Chen F Y, et al. Research progress on insect diapause mechanism [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2014, 41(20):84-89.
- [26] 徐丽荣,何康来,王振营. 不同寄主上桃蛀螟越冬幼虫体内生化物质变化与抗寒性研究 [J]. 应用昆虫学报, 2012, 49(1):197-204.  
Xu L R, He K L, Wang Z Y. Studies on variation in cold hardiness in relation to the *in vivo* water, lipid, and sugar content of *Conogethes punctiferalis* (Guenée) [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2012, 49(1):197-204.