

低温对美国白蛾越冬蛹的影响研究*

孔雪华^{1,2**} 夏江宝¹ 吴玉新³ 王 勇⁴ 韩瑞东^{1,3***}

(1. 山东省黄河三角洲生态环境重点实验室 滨州学院 滨州 256600;

2. 潍坊科技学院 寿光 262700; 3. 潍坊市林业局 潍坊 261041; 4. 寿光市林业局 寿光 262700)

摘 要 美国白蛾 *Hyphantria cunea* Drury 是我国唯一一种被农业、林业共同列为检疫对象的害虫。本论文通过 2010 与 2011 年室内测定和室外调查的一系列研究表明,美国白蛾蛹在不同低温处理下随着处理时间的延长存活率逐渐降低。其中, -10℃ 下处理 30 h 后几乎没有越冬蛹存活, -15℃ 下处理 3 h 后越冬蛹的存活率低于 5%, -20℃ 处理 25 min 后越冬蛹几乎没有羽化为成虫的个体。0℃ 低温处理对越冬蛹的低温存活率有重要影响,且随着 0℃ 下处理的时间长短而发生变化,在 0℃ 下处理时间越长则在 -10℃ 下存活率越高。在 0℃ 下处理 150 min 以后,存活率随处理时间的延长差异不显著。

关键词 低温, 美国白蛾, 存活

The effect of low temperatures on the over-wintering pupae of *Hyphantria cunea*

KONG Xue-Hua^{1,2**} XIA Jiang-Bao¹ WU Yu-Xin³ WANG Yong⁴ HAN Rui-Dong^{1,3***}

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Eco-Environmental Science for Yellow River Delta, Binzhou University,

Binzhou 256600, China; 2. Weifang University of Science & Technology, Shouguang 262700, China;

3. Weifang Forestry Bureau, Weifang 261041, China; 4. Shouguang Forestry Bureau, Shouguang 262700, China)

Abstract The survival rate of *Hyphantria cunea* Drury pupae was found to reduce with increased time at low temperatures. Most pupae did not survive 30 hours at -10℃, 3 hours at -15℃ or 25 minutes at -20℃. The survival rate of over-wintering pupae increased with prolonged exposure to 0℃ up to a maximum time of 150 minutes, after which there was no further significant increase.

Key words low temperature, *Hyphantria cunea*, survive

美国白蛾 *Hyphantria cunea* Drury (fall webworm), 属鳞翅目 Lepidoptera, 灯蛾科 Arctiidae, 是重要的国际、国内植物检疫对象,也是我国唯一一种被农业、林业共同列为检疫对象的害虫(杨艳伍, 2010)。近年来在我国东北、华北地区均有发生,且呈现出大暴发态势(孔锋, 2007)。该害虫食量大、食性杂、适应性、繁殖力强,防控难度大,因此国内外都非常重视对该虫的生物学和生态学研究。

目前,国内外对美国白蛾的研究主要侧重于生物学特性、种群生态学及其发生与防治方面(唐

燕平和衡学敏, 2004; 杨艳伍, 2010), 而关于低温对美国白蛾的影响研究很少。事实上,美国白蛾以蛹态越冬,冬季极端低温对美国白蛾越冬蛹的影响大小直接关系到翌年第 1 代越冬虫口基数。因此,研究低温对美国白蛾越冬蛹存活的影响具有重要的指导意义。

1 材料与方 法

1.1 供试虫源

美国白蛾下树化蛹越冬后,从 10 月份到翌年的 3 月份每月 15 日左右在山东省寿光市的白蜡

* 资助项目: 山东省黄河三角洲生态环境重点实验室开放基金项目(2010KFJJ03)、山东省科技攻关项目(2009GG10009020)。

**E-mail: kongxuehua888@163.com

***通讯作者: E-mail: hanruidong1976@163.com

收稿日期: 2012-02-22, 接受日期: 2012-05-08

林收集美国白蛾越冬蛹进行试验。美国白蛾卵块采自山东寿光 (119°10'E, 36°41'N), 在第 2 代成虫产卵后, 采取若干采回的卵块放在人工气候箱内 (哈尔滨东联电子技术公司) 饲养至成虫 (温度 $(28 \pm 0.5)^\circ\text{C}$, 湿度 60% ~ 80% RH, 光照 L:D = 16:8), 初产的卵或孵出的幼虫开始试验。幼虫用新鲜的法桐 (*Platanus orientalis*) 或白蜡 (*Fraxinus americana*) 叶片饲养, 每天换 1 次叶子。美国白蛾幼虫用高 90 cm、宽 60 cm 的养虫笼饲养。

1.2 低温对美国白蛾越冬蛹存活的影响研究

1.2.1 低温胁迫对越冬蛹存活的影响 根据淮

坊的历史记录, 该地区极端低温能达到 -21°C 。因此, 作者设置了 (-10 ± 1) 、 (-15 ± 1) 和 $(-20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 3 个温度梯度。2011 年 1 月份将野外自然越冬的美国白蛾蛹 100 头蛹放于塑料盒内 ($12\text{ cm} \times 17\text{ cm} \times 7\text{ cm}$), 每个温度设置 18 个塑料盒。每个温度下每过一段时间作者从中取出 3 个盒子 (时间间隔见表 1, 6 个时间间隔主要考虑自然条件下低温的持续时间)。然后置于 $(27 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的气候箱内, 待羽化记录其死亡率 (其中将寄生或其它原因致死数量扣除)。

表 1 美国白蛾低温环境下的不同温度设置及处理时间

Table 1 Different times and temperatures for low temperatures designing

温度 Temperatures	处理时间 Treat time					
$-10^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$	5 h	10 h	15 h	20 h	25 h	30 h
$-15^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$	0.5 h	1 h	1.5 h	2 h	2.5 h	3 h
$-20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$	10 min	15 min	17.5 min	20 min	22.5 min	25 min

1.2.2 0°C 低温预处理 (低温脉冲) 后置于 -10°C 低温处理下蛹的死亡率 将 100 头室内人工饲养后采集的蛹置于一个塑料盒 ($12\text{ cm} \times 17\text{ cm} \times 7\text{ cm}$) 中, 塑料盒放在 0°C 冰箱中, 持续 0、30、60、90、120、150 和 180 min, 每个处理时间用 3 个盒子 (3 个重复, 每个处理共用 300 头蛹)。 0°C 暴露不同时间后, 蛹被转入 -10°C 下持续 5 h, 然后放回到 $(27 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的人工气候箱中, 持续至羽化, 观察记录存活率 (其中将寄生或其它原因致死的数量扣除, 不处理直接放入 -10°C 做对照)。

1.2.3 自然条件下越冬蛹的存活 从 2010 年 11 月到 2011 年 3 月, 每月 15 日左右选择往年化蛹基数大的场所, 从老树皮内、乱石堆中、墙缝、屋檐下等, 采集越冬蛹 100 ~ 300 个, 混合置于养虫笼内, 待羽化, 计算存活率。

1.3 统计分析

数据分析采用 Tukey's 多重比较 (SAS Institute, 1996)。所有结果均用平均数 \pm 标准误来表示, 显著性差异水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 低温对美国白蛾越冬蛹存活的影响研究

2.1.1 低温胁迫对越冬蛹存活的影响 低温胁迫试验表明, 不同低温处理下随着处理时间的延长, 美国白蛾蛹的存活率逐渐降低。 -10°C 下处理 30 h 后几乎没有越冬蛹存活 (图 1), -15°C 下处理 3 h 后越冬蛹的存活率低于 5% (图 2), -20°C 处理 25 min 后越冬蛹几乎没有羽化为成虫的个体 (图 3)。

图 1 ~ 3 还显示, 3 种低温胁迫下, 均表现为第 1 个阶段下降的幅度大, 也就是说蛹刚置于低温下第 1 时间段死亡的比例最大。第 2 个阶段次之。

2.1.2 0°C 低温预处理 (低温脉冲) 后置于 -10°C 低温处理下蛹的死亡率 进一步通过低温预处理试验表明, 所有经过 0°C 低温处理的蛹的存活率都高于没有经过处理的存活率 (图 4)。而且在 0°C 下处理的时间长短影响它们的存活率, 在 0°C 下处理时间越长则在 -10°C 下存活率越高。在 0°C 下处理 150 min 以后, 存活率随处理时间的延长差异不显著。

2.1.3 自然条件下越冬蛹的存活 从图 5 自然条件下越冬蛹的存活状况可以看出, 从 11 月份到翌年 3 月份, 死亡率逐渐提高。而且 2010 与 2011 年死亡率存在一定差异。总体上看越冬死亡率较

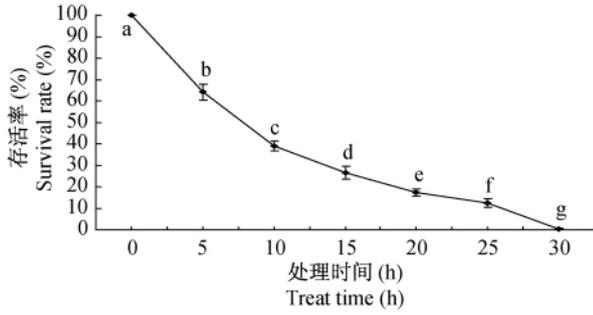


图1 -10℃处理不同时间后美国白蛾越冬蛹存活率
Fig.1 Survival rate of pupae under different exposed time to -10℃

图中数据点上不同的小写字母表示所在数据经 Tukey 检验后差异显著 ($P < 0.05$)。下图同。

Different small letters for data above the data points indicate significantly different by Tukey's test at 0.05 level. The same below.

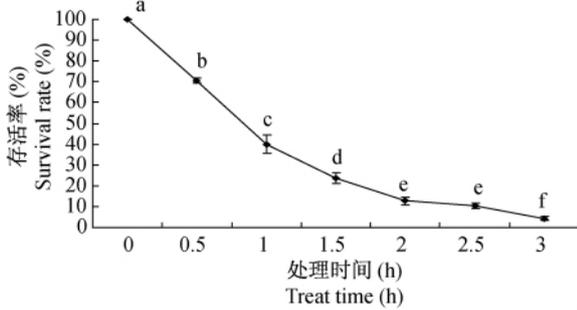


图2 -15℃处理不同时间后美国白蛾越冬蛹的存活率
Fig.2 Survival rate of pupae under different exposed time to -15℃

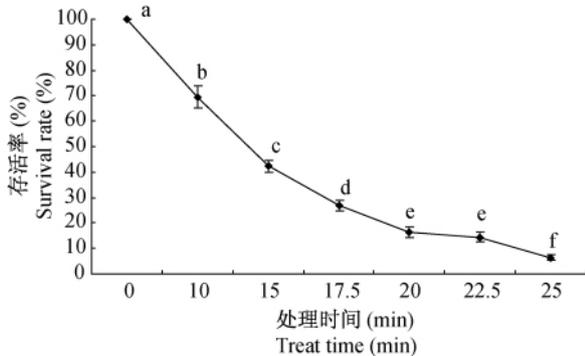


图3 -20℃处理不同时间后美国白蛾越冬蛹存活率
Fig.3 Survival rate of pupae under different exposed time to -20℃

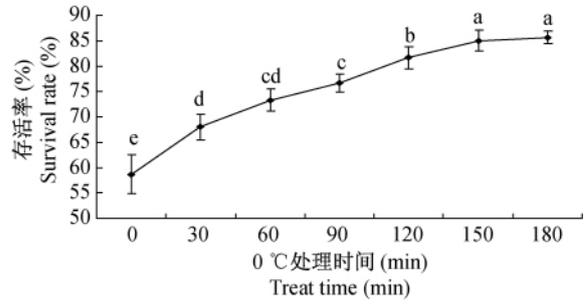


图4 0℃下处理不同时间后置于-10℃下5 h后蛹的存活率
Fig.4 Survival rate of pupae under different exposedtime to 0℃ then exposed to -10℃ for 5 hours

低,2010年大约有47.4%左右的越冬蛹死亡,而2011年3月的调查发现仅仅有35.7%的越冬蛹死亡。不同月份越冬蛹的死亡率结果表明(表2),在刚进入越冬期死亡率较高,此外就是12月到2月间死亡率也较高。

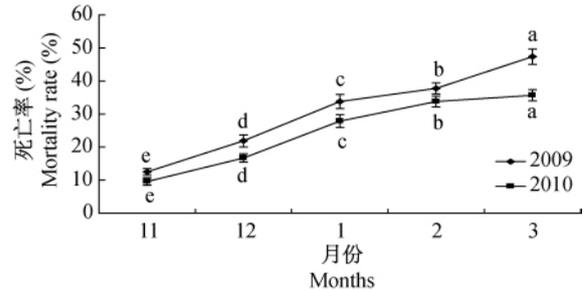


图5 连续2年间美国白蛾越冬蛹不同月份的死亡率
Fig.5 Death rate of pupae of different months during two years

3 讨论

孔锋等(2007)研究报道了美国白蛾越冬蛹不同时期的过冷却点以2月份最低,为(-27.07 ± 0.38)℃,11、12月份最高,分别为(-20.38 ± 2.26)℃和(-22.99 ± 4.03)℃。作者设计的3种低温处理不同时间对蛹的影响结果显示,不同低温处理下美国白蛾的存活率不同。美国白蛾蛹在不同低温处理下随着处理时间的延长存活率逐渐降低。其中,-10℃下处理30 h后几乎没有越冬蛹存活,-15℃下处理3 h后越冬蛹的存活率低于

表 2 美国白蛾不同月份的越冬蛹月死亡率 (%)

Table 2 Death rate of pupae in different months

年 Year	死亡率 Death rate (%)				
	10—11 月 Oct. — Nov.	11—12 月 Nov. — Dec.	12—1 月 Dec. — Jan.	1—2 月 Jan. — Feb.	2—3 月 Feb. — Mar.
2010	12.5% ± 1.02b	9.4 ± 1.87b	11.9 ± 2.16b	13.6 ± 1.62a	9.4 ± 2.33b
2011	9.6 ± 1.11b	7.1 ± 1.24c	11.2 ± 1.98a	5.9 ± 1.65c	1.9 ± 1.74d

注:同行数据后标有不同小写字母表示经 Tukey 检验后差异显著 ($P < 0.05$)。

Data followed by different small letters in the same row indicate significantly different by Tukey's test at 0.05 level for the same year.

5%, -20°C 处理 25 min 后越冬蛹几乎没有羽化为成虫的个体。鞠珍(2007)报道了在室内用不同寄主植物饲养美国白蛾后化的蛹的过冷却点差异,均说明美国白蛾越冬蛹的抗寒能力非常强,能耐受山东冬季的极端低温。Hanec (1966) 研究森林天幕毛虫 *Malacosoma disstria* Hübner 初孵幼虫的过冷却点为 -13.4°C , 而 Raske (1975) 在实验室内用 -12°C 处理 7 d 后有的幼虫还能存活,当温度达到 -7°C 到 -1°C , 只有极少量的幼虫死亡。由此可见,过冷却点仅仅是反映不同时期的抗寒能力差异(Hanson and Craig, 1995),与实际气温变化有很大区别。将蛹置于低温下处理一段时间后受低温冻害而出现死亡现象。在野外,如果美国白蛾越冬蛹所处环境温度保持 -10°C 30 h 蛹就几乎不会成活, -15°C 的低温如果能持续 3 h 后仅仅有不到 5% 的蛹能生长发育, -20°C 持续 25 min 蛹大部分都已经结冰致死。一般而言,低温暴露初期存活率下降的最剧烈。这种低温强度在山东出现,但是持续时间不会太长,这或许也就是越冬蛹死亡和存活存在一定差异的原因之一。

低温驯化过程是指昆虫在接受低温胁迫前(cold stress),在较低温度下进行一定时间的锻炼,可以显著提高昆虫的耐寒性。在自然条件下,昆虫越冬前都是经历一个温度渐变的过程,使它们得以为渡过低温环境做一些生理上的准备,在某种程度上是这正是冬季种群受到自然界低温驯化的缘故。而快速冷驯化(rapid cold-hardening)则是经历短时间的低温锻炼,对很多昆虫来说,这样的过程可以使它们免于遭受过冷却点以上的低温的伤害。如红尾肉蝇 *Sarcophaga crassipalpis* 的非滞育虫态,接受 -10°C 的低温胁迫前,在 0°C 驯化 10 ~ 60 min, 其存活率可从 20% 增到 80% (Lee

et al., 1987)。 0°C 低温处理对美国白蛾越冬蛹的低温存活率有重要影响。且随着 0°C 下处理的时间长短而发生变化,在 0°C 下处理时间越长则在 -10°C 下存活率越高。在 0°C 下处理 150 min 以后,存活率随处理时间的延长差异不显著。野外调查的结果表明:从 11 月份到翌年 3 月份,越冬美国白蛾蛹死亡率逐渐提高。但是越冬蛹的月死亡率最高的时间段主要是在刚进入越冬期及 12—2 月之间。

Kelty 和 Lee (1999) 认为在快速冷驯化的诱导中,冷却速率起很重要的作用,以 $0.05^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 或 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的接近自然昼夜变温的速率进行冷驯化可显著地增强耐寒性。作者用室内饲养的美国白蛾化的蛹与野外 1 月份采集到的蛹均在 -10°C 处理 5 h, 人工饲养的蛹置于 -10°C 下 5 h 的存活率较自然界采集的越冬蛹低,野外的蛹置于 -10°C 下 5 h 后存活 64.2%, 而人工饲养的蛹置于 -10°C 下 5 h 存活 58.7%。室内饲养的存活率低于野外饲养的,说明野外 1 月份采集的蛹可能已经受到逐渐降温的影响,也就是得到了低温驯化。

Lee 等(1987)报道,当给红尾肉蝇幼虫一个低温锻炼后,其在低温下的存活率要高于没有经过低温锻炼的幼虫。他们也指出,低温锻炼的时间长短对存活率的影响也是有差异的。作者对美国白蛾越冬蛹的研究也发现, 0°C 的低温脉冲也能影响其在 -10°C 下的存活率。低温脉冲处理时间的延长提高低温存活率。因此,短时间的 0°C 低温处理能够保护昆虫免受高于过冷却点的低温的危害。 0°C 的低温脉冲试验表明,在野外气温下能在 0°C 持续 3 h 以上,就能显著提高其越冬存活率。这也就揭示了我国北方大部分地区美国白蛾能顺

利越冬,造成分布和危害的现象。

对野外状态下美国白蛾越冬蛹的死亡率的研究发现,以每月统计,越冬蛹死亡以越冬初期及 12 月和 2 月之间的 2 个月死亡率最高,占越冬死亡率的近一半。可以看出,尽管冬季由于失水等原因其过冷却点降低了,抗寒性提高了,但是这一段时间低温强度最大,持续时间最长(Ring and Danks, 1994),也或许是导致其死亡率较高的原因。

通过低温的影响试验,揭示了美国白蛾在冬季低温影响下仍有一半左右甚至一半以上的越冬蛹能正常羽化进入繁育循环。当然,低温的影响也是形成美国白蛾“一代轻”现象的重要原因。由于其产卵量大,“一代轻”后迅速繁殖,造成“二代重”,“二代重”后尽管是夏季,但是在林间即便是在极端高温天气下,高温对美国白蛾的各虫态存活率的影响小于其繁殖力,由此造成“三代猖”。同时,从理论上推断,由于我国大部分地区的极端气温不会对美国白蛾的种群产生大的影响,如单纯依赖天气条件,美国白蛾很有可能在我国的大部分地区发生危害。

参考文献(References)

Hanec W, 1966. Cold-hardiness in the forest tent caterpillar *Malacosoma disstria* Hübner (Lasiocampidae:

- Lepidoptera). *J. Insect Physiol.*, 12(11):1443—1449.
- Hanson SM, Craig GB Jr, 1995. Relationship between cold hardiness and supercooling point in *Aedes albopictus* eggs. *J. American Mosq. Control Assoc.*, 11(1):35—38.
- Kelty JD, Lee RE Jr, 1999. Induction of rapid cold hardening by cooling at ecologically relevant rates in *Drosophila melanogaster*. *J. Insect Physiol.*, 45(8):719—726.
- Lee RE Jr, Chen CP, Denlinger DL, 1987. A rapid cold-hardening process in insects. *Science*, 238(4832):1415—1417.
- Raske AG, 1975. Cold-hardiness of first instar larvae of the forest tent caterpillar, *Malacosoma disstria* Hbn. (Lepidoptera: Lasiocampidae). *Can. Entomol.*, 107(1):75—80.
- Ring RA, Danks HV, 1994. Desiccation and cryoprotection: over lapping adaptations. *CroLett*, 15:181—190.
- SAS Institute, 1996. SAS/STAT Software computer program. version 6. 12. By SAS Institute, Cary, NC.
- 鞠珍, 2007. 美国白蛾在不同树种上的生物学特性及抗寒性的研究. 硕士学位论文. 泰安:山东农业大学.
- 孔锋, 韩瑞东, 裴元慧, 李红梅, 孙绪良, 2007. 美国白蛾 *Hyphantria cunea* (Drury) 越冬蛹的抗寒性研究. *蚕业科学*, 33(4):534—537.
- 唐燕平, 衡学敏, 2004. 检疫害虫美国白蛾生物学特性的研究. *安徽农业科学*, 32(2):250—257.
- 杨艳伍, 2010. 美国白蛾综合防控技术与措施. *中国植保导刊*, 30(10):29.