

# 外源保幼激素类似物对白蜡虫泌蜡和发育的影响

刘妮<sup>1</sup>, 陆沁<sup>1</sup>, 张金稳<sup>1</sup>, 凌晓霏<sup>1</sup>, 刘宏屏<sup>3</sup>, 陈航<sup>1\*</sup>, 陈晓鸣<sup>1,2</sup>

(1. 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南昆明 650224; 2. 国家林业局资源昆虫培育与利用重点实验室, 云南昆明 650224;  
3. 云南省森林自然中心, 云南昆明 650224)

**摘要:** [目的] 探讨外源保幼激素类似物(JHA)对白蜡虫泌蜡和发育的影响。[方法] 使用高、中、低浓度保幼激素类似物经喷施、涂干、注射处理白蜡虫2龄雄幼虫。[结果] 表明: 白蜡虫2龄雄幼虫经外源中等浓度保幼激素类似物( $2.5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ )喷施处理可以显著提高白蜡虫2龄雄幼虫的个体泌蜡量, 昆明地区增产率平均可达41.50%, 峨眉地区增产率平均达25.56%; 但此方法在2地区之间表现出差异性, 原因可能与两地种虫来源所处的生态环境差异有关。在中、低浓度范围内, JHA对白蜡虫蛹体质量表现出促进作用, 高浓度表现出抑制作用; JHA对蛹体长的抑制随着外源保幼激素浓度的增加而增强; 外源保幼激素类似物还可以提高白蜡虫蛹的羽化率, 羽化率达62.70%~81.62%。[结论] 中浓度JHA( $2.5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ )喷施处理2龄雄幼虫显著提高白蜡虫泌蜡量; 白蜡虫蛹的体长与JHA浓度之间存在一定的负相关性; 白蜡虫蛹的体质量表现出低浓度促进, 高浓度抑制; 喷施和涂干处理, 高浓度可显著提高白蜡虫蛹的羽化率; 白蜡虫蛹的羽化可能并不受其体质量和体长的影响。

**关键词:** 白蜡虫; 保幼激素类似物; 泌蜡量; 增产率; 羽化率

中图分类号: S791

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2017)02-0114-06

## Impact of Exogenous Juvenile Hormone Analogue on Wax Excretion and Development of Chinese White Wax Scale (*Ericerus pela* Chavannes)

LIU Ni<sup>1</sup>, LU Qin<sup>1</sup>, ZHANG Jin-wen<sup>1</sup>, LING Xiao-fei<sup>1</sup>, LIU Hong-ping<sup>3</sup>, CHEN Hang<sup>1</sup>, CHEN Xiao-ming<sup>1,2</sup>

(1. Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, Yunnan, China;

2. Key Laboratory of Resources Insects Breeding and Utilization of the State Forestry Administration, Kunming 650224, Yunnan, China;

3. Natural Forest Center of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

**Abstract:** [Objective] To study the effects of exogenous juvenile hormone analogue (JHA) on Chinese white wax scale with focus on wax secretion and development. [Method] High, medium and low concentrations of JHA were sprayed on the second-instar male scale, smeared on and injected in the stem of host tree respectively. [Result] The results of test showed that spraying the male second-instar with medium concentration of JHA ( $2.5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ ) can significantly improve the wax secretion of Chinese white wax scale (*Ericerus pela*), the average production rate in Kunming region reached 41.50%, the average production rate in Emei region reached 25.56%. However, the experimental results show difference between the 2 regions, the reason may be related to the difference of ecological environment in the two areas. For the effects of JHA on pupal development of *E. pela*, medium and low concentration JHA can promote the weight of pupa, but high concentration showed inhibition; the inhibition of JHA on pupal length was enhanced with the increase of JHA concentration. JHA can promote pupae eclosion, the eclosion rate could reach as high as 62.70% - 81.62%. [Conclusion] The treatment of 2nd instar male larvae with medium

收稿日期: 2017-09-25

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金重点项目(CAFYBB2017ZB005); 国家林业局948项目(2014-4-66)

作者简介: 刘妮, 女, 硕士研究生. 研究方向: 资源昆虫分子生态与进化. E-mail: liuni0918@163.com

\* 通讯作者: 陈航, 男, 博士, 研究员. 研究方向: 资源昆虫学. E-mail: stuchen6481@gmail.com

concentration of JHA could significantly increase the wax secretion of *E. pella*. There is a negative correlation between the length of pupa and JHA concentration in the *E. pella*. The body weight of *E. pella* pupae showed low concentration promotion and high concentration inhibition; Under spraying and smearing treatments, high concentration can significantly increase the emergence rate of *E. pella* pupae. The emergence of *E. pella* pupae is not influenced by its body weight and body length.

**Keywords:** *Ericerus pella*; juvenile hormone; wax excretion; increase rate; eclosion rate

白蜡虫(*Ericerus pella* Chavannes)在分类上属于半翅目(Hemiptera),蚧总科(Coccoidea)白蜡蚧属(*Ericerus*)<sup>[1]</sup>。白蜡虫是一种具有重大经济价值的资源昆虫,2龄雄幼虫分泌的白蜡主要成分为二十六酸二十六酯( $C_{25}H_{51}COOC_{26}H_{53}$ ),在中国已有上千年的历史,广泛应用于化工、机械、医药、食品等行业,提高白蜡产量推动经济发展,发展白蜡需要大量寄主植物,对于改善环境也具有重要的生态、经济和社会效益<sup>[2]</sup>。

白蜡虫生活周期为1年1代,存在两性生殖和孤雌生殖<sup>[3]</sup>。白蜡虫雄虫发育经若虫、前蛹、蛹和成虫阶段,属于完全变态<sup>[1]</sup>,雄虫喜阴,1龄到2龄从寄主叶背面转移到枝干,1龄和2龄初期虫体角质化并有少许蜡丝覆盖,2龄中后期达到泌蜡高峰期<sup>[4]</sup>。2龄雄虫泌蜡包括复杂的生态和生理问题,为适应复杂的生态环境过程中产生泌蜡等生理现象,主要受到湿度、光照的影响,且呈现高湿度、低光照地区白蜡虫泌蜡量高的趋势<sup>[5-6]</sup>。白蜡虫2龄雄幼虫的泌蜡合成途径已有前期理论基础<sup>[7]</sup>,自然种群间缺乏杂交(基因交流),扩散力较低,证实白蜡虫在生产上具有安全性<sup>[8]</sup>。

保幼激素是昆虫咽侧体分泌的一种倍半萜烯类物质,是一种生长调节剂,调控昆虫生命周期中每一个重要发育阶段的转变,在昆虫发育的临界期高浓度保幼激素会阻碍变态提前发生<sup>[8-10]</sup>。目前,已发现外源保幼激素类似物也可控制昆虫的生殖<sup>[11-13]</sup>、发育<sup>[14-18]</sup>以及生理<sup>[19-20]</sup>等过程,但对白蜡虫这一资源昆虫目前还未涉及研究,本研究以外源保幼激素类似物对白蜡虫雄虫的生理和发育的控制为主线进行展开。

本研究主要目的:(1)采用喷施、涂干、注射3种处理方式,哪种对白蜡虫泌蜡量增加更有效?(2)采用外源激素类似物高、中、低3种浓度方式,哪种浓度能达到最好的增产效果?(3)采用外源激素类似物高、中、低3种浓度方式在喷施和涂干处理下,白蜡虫雄虫蛹的发育情况?从这3个目的出发探讨

外源保幼激素对白蜡虫2龄雄幼虫泌蜡量和蛹发育的影响,为扩大白蜡生产和后续推广工作积累试验数据与技术储备,也为白蜡虫的培育和种群的扩大提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试虫源

供试昆虫为白蜡虫2龄雄幼虫。试验地点:昆明地区位于102°37' E,27°26' N,四川峨眉地区位于103°21' E,29°28' N。

表1 2不同地区气候指标<sup>[4]</sup>

Table 1 Climate indicators in two different regions<sup>[4]</sup>

气候条件 Climatic conditions	昆明 Kunming	峨眉 Emei
海拔 Altitude/m	1 800 ~ 1 900	460
年均温度 Annual average temperature/°C	14.80	17.20
5—8月温度 The temperature from 5 to 8/°C	20.76	23.08
相对湿度 Relative humidity/%	73.00	85.00
5—8月光照时数 Illumination hours/h	700.5	423.7
年光照时数 Annual illumination hours/(h · a <sup>-1</sup> )	2 400 ~ 2 500	1 300 ~ 1 400

### 1.2 实验仪器及试剂

梅特勒-托利多分析天平购自梅特勒-托利多国际有限公司;丙酮(95%)为国产分析纯,购自南京化学试剂股份有限公司;保幼激素类似物(JHA,吡丙醚,≥99.0%)购自成都艾德化工有限公司。

### 1.3 试验设计

经预实验后将外源保幼激素类似物用1%丙酮稀释成高(JH<sub>3</sub>)、中(JH<sub>2</sub>)、低(JH<sub>1</sub>)3种不同浓度(25、2.5、1.25 mg · mL<sup>-1</sup>)。根据白蜡虫若虫习性,在2龄期雄幼虫期初期虫体轻微角质化且有蜡丝覆盖(图1)时进行试验处理。采用喷施、注射、涂干3种不同方法进行外源保幼激素处理,每个虫体使用量约3 μL。

1.3.1 喷施 将外源保幼激素类似物用1%丙酮稀释成不同浓度后,直接喷施在虫体上。

1.3.2 注射 将外源保幼激素类似物用1%丙酮

稀释成不同浓度后,用注射器将保幼激素类似物溶液注射在白蜡虫取食点附近枝条的韧皮部。

1.3.3 涂干 将外源保幼激素类似物用1%丙酮稀释成不同浓度后,用毛笔直接涂抹在虫体上。

对照组分别用同体积的1%丙酮代替保幼激素类似物,按整株和同株不同枝条设置对照(JH0),同时保留3株不加任何处理作为空白对照(CK),每种浓度、方法处理分别设置10次重复。



A: 1龄雄幼虫定叶;B: 2龄雄幼虫定杆初期;C: 2龄雄幼虫泌蜡高峰期。

A: 1 instar male larvae fixed on leaves; B: 2 instar male larvae prime "stem"; C: the peak time of wax secretion 2 instar male larvae.

图1 白蜡虫雄虫“定叶”和“定杆”

Fig. 1 Males of *E. pela* "fixed on leaves" and "stem"

## 1.4 数据收集与分析

1.4.1 泌蜡测定 在泌蜡结束时(前蛹期)将蜡块从树上取下,根据性状分块切割为 $2\text{ cm}^2$ 以内的长方形或正方形,测定蜡块的长度和宽度,计算蜡块的面积, $20^\circ\text{C}$ 烘箱中烘干水分,称蜡块质量,然后挑出雄虫计数,称质量,计算单位面积个体泌蜡质量,用下列公式换算出白蜡虫个体泌蜡质量( $\text{mg}\cdot\text{头}^{-1}$ )。

个体泌蜡质量 = (单位面积泌蜡质量 - 虫质量) / 白蜡虫数目

增产率 = (JHA处理后个体泌蜡质量 - 自然泌蜡质量) / 自然泌蜡质量  $\times 100\%$

1.4.2 羽化率、体质量以及体长的测定 主要分析喷施和涂干处理下,峨眉地区的白蜡虫。羽化率的测定,在泌蜡结束后(蛹期)将蜡块从树上取下,分块切割为 $2\text{ cm}^2$ 以内的长方形或正方形,然后挑出成虫和蛹,进行计数、称质量和测量。

羽化率 = 成虫 / (成虫 + 蛹)  $\times 100\%$

1.4.3 数据分析 利用SPSS软件对不同浓度和处理的白蜡虫雄虫泌蜡量、羽化率以及体质量、体长多重比较(LSD)  $P < 0.05$ 水平进行差异性分析。

## 2 结果分析

### 2.1 个体泌蜡量

高、中、低3种保幼激素类似物分别采用喷施、

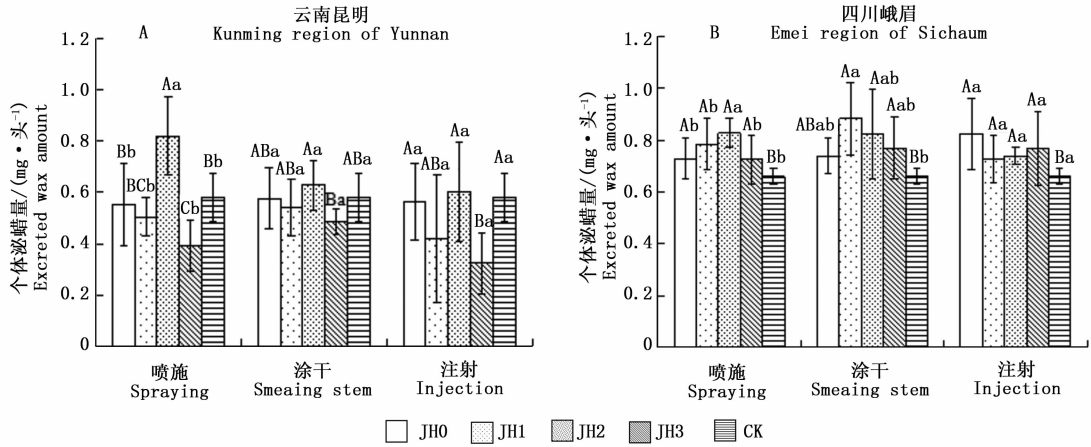
涂干和注射3种方法处理白蜡虫2龄雄幼虫种群,与自然状态下2龄雄幼虫的个体泌蜡量(CK)进行比对。图2A表明:在喷施处理下,JH2与CK、JH0、JH1、JH3之间均存在极显著差异,而JH0、JH1与CK之间差异不显著;在涂干处理下,JH1、JH2、JH3、JH0与CK之间差异均不显著,仅JH2与CK差异显著;在注射处理下,JH3与CK、JH0、JH2之间存在显著差异。

图2B表明:在喷施处理下,JH2与CK、JH0、JH1、JH3之间均存在极显著差异;在涂干处理下,JH1与CK之间存在极显著差异,而JH2、JH3与CK之间存在显著差异;在注射处理下,各个浓度下白蜡虫个体泌蜡量与CK之间均存在显著差异,但各浓度之间其差异不显著。

在云南昆明和四川峨眉地区,JH2在喷施处理下,白蜡虫个体泌蜡量增加且与CK均表现出显著性差异。

在不同处理下,2地区白蜡虫个体泌蜡量在不同浓度外源保幼激素类似物处理下增产率也表现出差异性(表2)。

在昆明地区,JH0、JH1、JH3在喷施、涂干和注射3种处理下,对白蜡虫的个体泌蜡量表现出不同程度的抑制作用;JH2在在喷施、涂干和注射3种处理下,对白蜡虫的个体泌蜡量表现出促进作用,增产率为 $4.02\% \sim 41.50\%$ ,且JH2在喷施处理下白蜡虫



不同大写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ); 不同小写字母表示差异极显著 ( $P < 0.01$ )。

Capital letters indicate  $P < 0.05$ , indicated significant difference; lowercaed indicate  $P < 0.01$  extremely significant difference.

图2 2地区不同浓度JHA处理后白蜡虫个体泌蜡量

Fig. 2 Individual wax secretion of *E. pela* under different concentrations of JHA treatment in two regions

表2 2地区不同浓度处理下白蜡虫个体泌蜡量增产率

Table 2 The growth rate of individual wax secretion of *E. pela* under different concentrations of JHA treatment in two regions

试验号 Test numbers	喷施 Spraying		涂干 Smearing stem		注射 Injection	
	增产率 Rate of growth/%		增产率 Rate of growth/%		增产率 Rate of growth/%	
	昆明 Kunming	峨眉 Emei	昆明 Kunming	峨眉 Emei	昆明 Kunming	峨眉 Emei
JH0	-4.63	10.53	-0.52	12.12	-2.54	24.90
JH1	-12.82	18.98	-6.37	33.76	-27.62	9.84
JH2	41.50	25.56	8.42	24.76	4.02	11.97
JH3	-32.12	10.14	-16.2	16.69	-44.11	16.44

注：“-”表示负增长。

Note: “-” means negative growth.

个体泌蜡量增产率最高。四川峨眉地区, JH0、JH1、JH2、JH3 在喷施、涂干和注射3种处理下, 对白蜡虫的个体泌蜡量均表现出促进作用, 增产率为 9.84% ~ 33.76%。

在昆明和四川峨眉地区, JH2 在喷施、涂干和注射3种处理下对白蜡虫的个体泌蜡量均表现出促进作用, 且喷施处理昆明 ( $41.50 \text{ mg} \cdot \text{头}^{-1}$ ) 和峨眉地区 ( $25.56 \text{ mg} \cdot \text{头}^{-1}$ ) 白蜡虫个体泌蜡量的增产率比涂干和注射处理的高。

## 2.2 峨眉地区白蜡虫蛹的羽化率、体质量和体长的变化

2.2.1 羽化率 表3表明: 不同浓度的保幼激素类似物在喷施和涂干处理下都表现出不同程度的促进作用, 羽化率达 62.70% ~ 81.62%。喷施和涂干2种处理中, 高浓度保幼激素类似物 JH3 的促进作用明显比 JH1 和 JH2 的高; 在同一浓度不同处理下, 涂干处理表现出的促进作用高于喷施处理。试验结果

表3 不同浓度和处理方法下白蜡虫蛹的羽化率

Table 3 Eclosion rate of *E. pela* under different concentrations of JHA and processing methods %

试验号 Test numbers	喷施 Spraying	涂干 Smearing stem
JH0	37.51	45.05
JH1	62.70	71.28
JH2	62.79	66.76
JH3	66.43	81.62
CK	62.45	62.45

表明: 保幼激素类似物可以提高白蜡虫蛹的羽化率, 这一结果也说明白蜡虫蛹的羽化率与外源保幼激素之间也存在着密切的联系。

2.2.2 体长 表4表明: 不同浓度的外源保幼激素类似物在喷施和涂干处理下均对白蜡虫蛹体长发育表现为抑制作用, 且随着外源保幼激素浓度的增加其抑制作用增强, 且与 CK 之间均差异显著; 在 JH1 处理下, 涂干处理的抑制强度高于喷施处理, 且差异显著; 而在 JH2、JH3 处理中, 喷施和涂干处理的抑制

效果差异不显著。

表4 不同浓度和处理方法下白蜡虫蛹的个体体长

Table 4 individual body length of *E. pella* pupae under different concentrations of JHA and treatments

试验号 Test numbers	喷施 Spraying 体长 Body length/mm	涂干 Smearing stem 体长 Body length/mm
JH0	2.4790 ± 0.03581 b A	2.5071 ± 0.05115a A
JH1	2.4493 ± 0.006135 b A	2.2395 ± 0.07571 bc B
JH2	2.0811 ± 0.001018 cd A	2.1563 ± 0.009207 c A
JH3	1.9864 ± 0.02453 d A	1.9603 ± 0.006137d A
CK	2.6524 ± 0.1392 a	2.6524 ± 0.1392a

注:不同小写字母表示在不同浓度同一处理下差异显著( $P < 0.05$ ),不同大写字母表示在同一浓度不同处理下差异显著( $P < 0.05$ ),下同。

Note: Mean ± standard deviation is given in the table data, different lowercase letters indicate under different concentrations of JHA and same treatment significant difference ( $p < 0.05$ ), different capital letters indicate under same concentrations of JHA and different treatment significant difference ( $p < 0.05$ ). The same below.

2.2.3 个体质量 从JH0数据分析,丙酮对蛹的个体质量存在抑制作用,与CK存在显著差异。在不同浓度同一处理下,高、中、低保幼激素类似物在喷施处理下,JH3对蛹的个体质量表现出了抑制作用,与CK和JH0存在显著差异;高、中、低保幼激素类似物在涂干处理下,JH1和JH2对蛹的个体质量发育起到促进作用,但相对CK而言,JH3对蛹的个体质量起到抑制作用,与CK之间存在显著差异;在同一浓度不同处理下,2处理之间蛹个体质量均表现出显著差异。保幼激素类似物对白蜡虫蛹个体质量的影响,在低浓度的范围内,表现出促进作用,达到一定浓度后表现出抑制作用(表5)。

表5 不同浓度和处理方法下白蜡虫蛹个体质量

Table 5 Individual body weight of *E. pella* pupae under different concentrations of JHA and treatments

试验号 Test numbers	喷施 Spraying 个体质量 Body length/mg	涂干 Smearing stem 个体质量 Body length/mg
JH0	0.7037 ± 0.03744 b A	0.4873 ± 0.06828 c B
JH1	0.7327 ± 0.03068 b B	0.9436 ± 0.03834 a A
JH2	0.7386 ± 0.04929 b B	0.8541 ± 0.07161 b A
JH3	0.3750 ± 0.04574 c B	0.5190 ± 0.05090 c A
CK	0.8256 ± 0.04322 a	0.8256 ± 0.04322 b

### 3 讨论

#### 3.1 JHA对白蜡虫泌蜡的影响

2龄雄幼虫是泌蜡高峰期,自然界中,湿度和光照也是影响白蜡虫泌蜡的主要因素,根据气象统计资料显示,白蜡虫在泌蜡时期(5—8月份)昆明的相

对湿度高于峨眉地区<sup>[5-6]</sup>。本研究中,施用JHA影响白蜡虫个体泌蜡量存在一个浓度石闸,中、低浓度(2.5、1.25 mg · mL<sup>-1</sup>)JHA施用对白蜡虫个体泌蜡的促进作用较明显,且中等浓度相对优于低等浓度,高浓度JHA(25 mg · mL<sup>-1</sup>)施用对白蜡虫个体泌蜡无效或起抑制作用;就3种不同处理方式而言,采用涂干与喷施JHA对白蜡虫泌蜡有明显促进作用,最主要的原因可能是,注射处理只将JHA注射到寄主植物韧皮部,吸食植物枝液降低了保幼激素类似物的利用率。JHA处理后,光照和温度以及降雨量,造成虫体表面的保幼激素类似物的挥发和流失,不同程度的降低实际作用的效果,直接的影响JHA对2地区白蜡虫2龄雄幼虫的作用,造成白蜡虫个体泌蜡量的差异。由此可以推断,外源保幼激素类似物对白蜡虫泌蜡量的作用效果也存在地域差异主要与所处生态的环境(光照、气温、寄主植物、土壤)有关,其次还与两地种虫来源存在密切的关系。

#### 3.2 JHA对白蜡虫雄虫蛹发育的影响

保幼激素作为一种生长调节剂,控制着生命中很多位点,JHA结合内源保幼激素协同调节昆虫的发育,不同浓度JHA会显示不同的调节效果<sup>[10,21]</sup>。JHA降低小菜蛾羽化率但对幼虫的蛹质量没有显著影响<sup>[18]</sup>。基于外源保幼激素类似物喷施和涂干下对四川峨眉地区白蜡虫的作用效果优于昆明地区,数据分析选择四川峨眉地区。JHA处理后,从白蜡虫雄虫蛹的体长、个体质量以及羽化率的结果分析来看,在一定浓度范围内,白蜡虫雄虫蛹的体长与JHA之间存在一定的负相关性,且喷施的作用效果整体上优于涂干处理;JHA处理下,大多数试验结果表明,低浓度JHA可能促进白蜡虫蛹的个体质量发育,高浓度JHA抑制白蜡虫蛹的个体质量发育;然而,无论是喷施处理还是涂干处理,高浓度JHA处理下蛹的羽化率都表现出了最高值,最高达81.62%。在完全变态昆虫发育的蛹期,昆虫蛹期缺乏保幼激素才得以向成虫转变<sup>[10]</sup>,然而,在白蜡虫的研究中发现,JHA却不同程度的增加了蛹的羽化率,似乎与其他昆虫之间存在差异,可能本试验选取的JHA的浓度过低并没有达到阻断羽化的阈值。

综合分析喷施中等浓度的保幼激素类似物既增加白蜡虫2龄雄幼虫的泌蜡量又增加白蜡虫蛹的羽化率,为进一步扩大白蜡的生产和白蜡虫种群的繁衍奠定基础。

## 4 结论

(1)中浓度 JHA 喷施处理 2 龄雄幼虫可显著提高白蜡虫的泌蜡量,峨眉白蜡虫种群增产率最高可达 25.56%,昆明白蜡虫种群增产最高达 41.50%。

(2)JHA 处理能显著影响白蜡虫雄虫的生长,造成蛹体长明显下降;JHA 浓度越高,影响越大;大多数试验结果表明,低浓度 JHA 可能促进白蜡虫蛹的体质量发育,高浓度 JHA 抑制白蜡虫蛹的体质量发育;喷施和涂干处理,高浓度可显著提高白蜡虫蛹的羽化率。

(3)本试验,中高浓度 JHA 促进白蜡虫蛹的羽化,说明白蜡虫蛹的羽化可能并不受其体质量和体长的影响。

## 参考文献:

[1] 陈晓鸣,冯颖. 资源昆虫学概论[M]. 北京:科学出版社,2009.

[2] 陈晓鸣. 白蜡虫自然种群生态学[M]. 北京:科学出版社,2011.

[3] 王自力,陈晓鸣,王绍云,等. 白蜡虫孤雌生殖的研究[J]. 林业科学研究,2003,16(4):386-390.

[4] Yang P, Chen X M, Liu W W, et al. Transcriptome analysis of sexually dimorphic Chinese white wax scale insects reveals key differences in developmental programs and transcription factor expression[J]. Scientific Reports, 2015, 5: 8141-8148.

[5] 陈晓鸣,王自力,陈勇,等. 环境因子对白蜡虫泌蜡量的影响[J]. 生态学报,2007,27(1):103-112.

[6] 陈晓鸣,王自力,陈勇,等. 影响白蜡虫泌蜡主要气候因子及白蜡虫的生态适应性分析[J]. 昆虫学报,2007,50(2):136-143.

[7] Yang P, Zhu J Y, Gong Z J, et al. Transcriptome analysis of the Chinese White Wax Scale *Ericerus pela* with focus on genes involved in wax biosynthesis[J]. Plos One, 2012, 7(4): e35719.

[8] Chen H, He R, Wang Z L, et al. Genetic diversity and variability in populations of the white wax insect *Ericerus pela*, assessed by AFLP analysis[J]. Genetics and Molecular Research, 2015, 14(4): 17820-17827.

[8] Nijhout H. Insect Hormones[M]. Princeton: Princeton University Press, 1994.

[9] Bownes M, Rembold H. The titre of juvenile hormone during the pupal and adult stages of the life cycle of *Drosophila melanogaster*[J]. Eur J Biochem,1987,164(3):709-712.

[10] 王萌长. 昆虫生物化学[M]. 北京:中国农业出版社,2001.

[11] Steigenga M J, Hoffmann K H, Fischer K. Effects of the juvenile hormone mimic pyriproxyfen on female reproduction and longevity in the butterfly *Bicyclus anynana*[J]. Entomological Science, 2006, 9(3):82-125.

[12] 林峰,袁冬菊,赵博光,等. 昆虫蜕皮激素和保幼激素对松材线虫繁殖的影响[J]. 江西农业大学学报,2014,36(2):309-313.

[13] Parthasarathy R, Tan A, Sun Z, et al. Juvenile hormone regulation of male accessory gland activity in the red flour beetle, *Tribolium castaneum*[J]. Mech Develop, 2009, 126(7):563-579.

[14] Elekonich M M, Jez K, Ross A J, et al. Larval juvenile hormone treatment affects pre-adult development, but not adult age at onset of foraging in worker honey bees (*Apis mellifera*) [J]. Insect Physiol, 2003, 49(4):359-366.

[15] 刘建涛,赵利,苏伟. 昆虫保幼激素及其类似物的应用研究进展[J]. 安徽农业科学,2006,34(11):2446-2448.

[16] 周冰峰,周碧青,王育敏,等. 保幼激素类似物 ZR-512 对蜜蜂蜂王发育、交配和蜂群繁殖的影响[J]. 福建农林大学学报:自然科学版,2002,31(1):94-97.

[17] Zera A J. The endocrine regulation of wing polymorphism in insects: state of the art, recent surprises, and future directions[J]. Integrative and Comparative Biology, 2004, 43(5):607-616.

[18] 洪珊珊,贾变桃,焦鹏,等. 虱螨脲对小菜蛾生存、化蛹和羽化的影响[J]. 中国农学通报,2014,30(4):312-315.

[19] 崔为正,牟志美,张友英,等. 保幼激素和蜕皮激素配合使用提高家蚕产丝量的研究[J]. 蚕业科学,1995,21(3):178-183.

[20] 覃维鹏. 保幼激素类似物和胰岛素配合应用对家蚕的影响[J]. 南方农业,2015,9(27):179-180.

[21] Flatt T, Kawecki T J. Juvenile hormone as a regulator of the trade-off between reproduction and life span in *Drosophila melanogaster* [J]. Evolution, 2007, 61(8):1980-1991.

(责任编辑:张玲)