

保幼激素类似物 ZR-515 对杜仲梦尼夜蛾幼虫生长发育的影响*

王俊雅^{1**} 李孟楼¹ 王云果¹ 贺虹^{1***} 王宏涛²

(1. 西北农林科技大学林学院, 陕西省林业综合重点实验室, 杨陵 712100;

2. 陕西汉中永扬医药有限责任公司, 略阳 724300)

摘要 【目的】为了解保幼激素对杜仲梦尼夜蛾 *Orthosia songi* Chen et Zhang 幼虫生长发育的影响。【方法】本研究采用不同浓度的保幼激素类似物 ZR-515 处理其 4 龄、5 龄和 6 龄幼虫, 测定了幼虫的发育历期、取食量、排粪量以及后期的化蛹率和羽化率。【结果】(1) 保幼激素类似物 ZR-515 处理可延长杜仲梦尼夜蛾幼虫的发育历期, 增加体重, 提高取食量和排粪量; 但是对后期的化蛹率和成虫羽化率影响较大, 导致幼虫和蛹的死亡率较高, 且处理浓度越大, 影响越显著。(2) 处理 4 龄或 5 龄幼虫, 对其后的各龄期的生长发育产生很大的影响。(3) 综合考虑激素处理对幼虫生长产生的有利影响及后期的不利影响, 认为 1 000 ng/μL 为最适处理浓度, 5 龄为最佳处理龄期。【结论】研究结果可为后续杜仲梦尼夜蛾的规模化人工饲养和开发利用提供理论依据。

关键词 杜仲梦尼夜蛾, 保幼激素类似物 ZR-515, 历期, 体重, 取食量, 排粪量, 化蛹率和羽化率

The effect of juvenile hormone analogue ZR-515 on the larval development of *Orthosia songi* Chen et Zhang

WANG Jun-Ya^{1**} LI Meng-Lou¹ WANG Yun-Guo¹ HE Hong^{1***} WANG Hong-Tao²

(1. College of Forestry, Key Laboratory of Comprehensive Forestry of Shaanxi Province, Northwest

A&F University, Yangling 712100, China; 2. Yongyang Pharmaceutical Co., LTD, Lueyang 724300, China)

Abstract 【Objectives】To explore the effect of juvenile hormone on the growth and development of *Orthosia songi* Chen et Zhang larvae. 【Methods】Fourth, 5th and 6th instar larvae were treated with juvenile hormone analogue ZR-515, and their food consumption, fecal production, pupation rate, and eclosion rate, measured. 【Results】(1) Juvenile hormone analogue ZR-515 prolonged larval development and increased weight, food consumption and fecal production, but it also significantly reduced the rate of pupation and adult eclosion and lead to high larval and pupal mortality. These adverse effects were more obvious at higher hormone concentrations. (2) Hormone treatment had obvious effect on the subsequent growth and development of 4th and 5th instar larvae. (3) Considering the pros and cons of hormone treatment, administering 1 000 ng/μL to the 5th instar is the best approach. 【Conclusion】The results provide a theoretical basis for the large-scale artificial breeding and utilization of *O. songi*.

Key words *Orthosia songi*, juvenile hormone analogue ZR-515, developmental duration, body weight, ingestion, defecation

杜仲 *Eucommia ulmoides* Olive 是中国特有的重要经济树种 (张康健, 1991), 尤其杜仲的叶、皮和种子富含的白色丝状杜仲胶是一种天然高

分子物质“反式-聚异戊二烯”(天然三叶橡胶则为“顺式-聚异戊二烯”), 是除三叶橡胶以外唯一具有巨大开发前景的天然橡胶资源 (杨丹和

*资助项目 Supported projects: 汉中永扬医药科技发展有限公司专项经费; 陕西省协同创新计划项目 (2015)

**第一作者 First author, E-mail: 1063353621@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: hehong@nwsuaf.edu.cn

收稿日期 Received: 2016-09-12, 接受日期 Accepted: 2016-12-15

黄慧珍, 2009; 严瑞芳, 2010)。

针对杜仲胶的提取, 许多研究者进行了深入的研究, 提出多种方法(杨丹和黄慧珍, 2009; 丁奋霞等, 2012; 汪聪等, 2012; 谢晓婷等, 2013)。但这些方法提胶工艺比较复杂且成本高昂、效率低下, 尤其是大量使用有机溶剂造成后期的环境污染。王宏涛(2014)从取食杜仲叶片的昆虫粪便中检测到了杜仲胶, 并进行了分离, 发现所获得的胶纯度高、色泽好。因此, 利用食叶昆虫大量取食杜仲叶片并消除其中的非胶成分, 然后再从其粪便中提取杜仲胶, 既可简化提胶工艺程序又能减少环境污染, 该方法为杜仲资源的深度开发利用提供了新思路。

杜仲梦尼夜蛾 *Orthosia songi* Chen et Zhang 是鳞翅目夜蛾科昆虫, 是目前专食杜仲叶的主要害虫, 食叶量大, 一年 3~4 代, 危害期长达 6 个月(周云龙等, 1996; 赵阳等, 2015)。室内饲养结果表明杜仲梦尼夜蛾 1 代的发育历期约为 (44.3 ± 1.57) d (26°C 条件下), 幼虫期约 (21.6 ± 0.97) d, 1~3 龄幼虫仅取食叶肉部分, 至 4 龄时, 叶片被食用后逐渐成透明网状; 到 5 龄至 6 龄, 叶片可被全部食完, 取食量最大(王俊雅等, 2016)。为了在室内饲养条件下获得较多的排粪量, 就需要适当延长幼虫的取食期、减少其发生代数。昆虫保幼激素(Juvenile hormone, JH)是由咽侧体合成并分泌到血淋巴中的生理活性物质, 具有调控昆虫生长、发育、变态和生殖的生理功能(周冰峰等, 1995; 徐豫松和徐俊良, 2001; Wyatt and Davey, 1996; Watanabe and Tanaka, 2000; Kodrik et al., 2010), 能延长幼虫的发育历期、提高取食量和消化率(崔为正和张国基, 1993; 刘永平等, 2005)。目前已经成功合成多种保幼激素类似物 JHA 如 ZR-515 (烯虫酯 Methoprene、增丝素)、ZR-512 (烯虫乙酯)、ZR-7777 (烯虫炔酯)、JH286 (保幼炔)、734、双氧威等(刘永平和张慧琴, 2007), 其中 ZR-515 在鳞翅目昆虫如天蚕 *Antheraea yamamai* (林永丽等, 1997) 和斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* (沈萍, 2006) 应用较多。因此, 本研究选用保幼激素类似物 ZR-515 处理杜仲梦尼夜蛾幼虫, 研究

了其对幼虫发育历期、取食量、排粪量, 以及后期化蛹率、羽化率的影响, 旨在探索理想的保幼激素处理浓度和适宜的处理虫期, 以期为杜仲梦尼夜蛾规模化人工饲养及害虫资源化利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

杜仲梦尼夜蛾的虫源采自于陕西汉中略阳县汉中永杨医药科技发展有限公司的杜仲林, 将采集的卵和幼虫带回实验室进行饲养。4~6 龄幼虫期是取食量和排粪量比较大的龄期, 故本研究选用这 3 个龄期的幼虫开展研究。

1.2 研究方法

1.2.1 溶液配制 保幼激素类似物 ZR-515 原液购自武汉国邦达医药化工有限公司, 纯度 95% 以上。

实验溶液配制参考沈萍(2006)的方法。首先将 ZR-515 原液配制成浓度为 $10\ 000\ \text{ng}/\mu\text{L}$ 的母液, 配制方法: 将 $0.1\ \text{g}$ 的原液溶于 $1\ \text{mL}$ 丙酮中, 再加 $9\ \text{mL}$ 蒸馏水, 配成 $10\ \text{mL}$ 的母液。然后将母液依次稀释为 $1\ 000$ 、 100 、 10 、 1 、 $0.1\ \text{ng}/\mu\text{L}$ 的溶液。丙酮和蒸馏水的比例为 $1:10$, 作为对照组溶液。将配制好的溶液放于 4°C 冰箱中备用。

1.2.2 激素处理 选择健康活泼、大小相当、蜕皮后 $12\ \text{h}$ 的 4 龄、5 龄和 6 龄幼虫用 ZR-515 溶液分别进行处理。处理时将测试幼虫置于培养皿中, 用微量进样器将试剂涂布在每头幼虫的身体背面, 以增大激素溶液同幼虫的接触面积进而能被幼虫快速吸收。考虑到 4 龄、5 龄、6 龄幼虫生命力不同, 所以 4 龄幼虫点滴 $2\ \mu\text{L}/\text{头}$, 2 头/皿, 处理 30 头; 5 和 6 龄幼虫点滴 $4\ \mu\text{L}/\text{头}$, 均为 1 头/皿, 各处理 25 头。ZR-515 溶液处理浓度分别为 $10\ 000$ 、 $1\ 000$ 、 100 、 10 、 1 、 $0.1\ \text{ng}/\mu\text{L}$, 对照组为丙酮溶液处理。

保幼激素处理后, 在 26°C 室温条件下继续用杜仲叶片饲养, 观察幼虫的生长发育情况, 测定其各龄末期的发育历期、体重、取食量和排粪量。

1.2.3 幼虫发育历期、体重、取食量、排粪量的测定 发育历期的观察:每天观察记录各处理组幼虫生长发育和存活情况,统计其发育历期。

幼虫体重的称量:激素处理前先待处理的幼虫(蜕皮 12 h 后)称重,激素处理后待幼虫发育至 6 龄末期,再次称量其体重。

取食量的测定:激素处理后每天上午 9:00 更换新鲜叶片,将新鲜叶片、上一次取食后的残余叶片分别称重,同时另称取两份鲜叶作为对照,用于校正因叶片失水造成的取食量计算误差,每天记录新鲜叶片及被替换叶片的重量。通过以下公式计算幼虫每天的取食量,进而得到各龄期当龄发育阶段中的总取食量。校正取食量公式(赵阳等,2015):

$$w = m_1 - m_2 - (m_1 \times a + m_2 \times b) / 2$$

$$a = (m_3 - m_4) / m_3$$

$$b = (m_3 - m_4) / m_4$$

其中 w 是校正取食量, m_1 为取食前新鲜叶片的重量, m_2 为取食后叶片重量, m_3 为空白对照中新鲜叶片的重量, m_4 为空白对照中失水后叶片重量。

排粪量的测定:每天将幼虫粪便称重,并计算各龄期当龄发育阶段中排粪量总和。

1.2.4 幼虫化蛹率和成虫羽化率的测定 将老熟幼虫转入土中化蛹,统计化蛹率;在成虫羽化前,将蛹从土内取出,放入内壁附有白纸的玻璃瓶中,统计羽化率。

1.3 数据处理

数据处理采用 SPASS 18.0 软件进行,结果以平均数±标准差 (Mean ± SD) 表示,并对其进行方差分析(ANOVA)和多重比较分析(LSD)(廉梅霞和张育平,2011)。

2 结果与分析

2.1 保幼激素 ZR-515 处理对幼虫发育历期的影响

由表 1 可以看出,不同浓度保幼激素 ZR-515 处理杜仲梦尼夜蛾 4 龄、5 龄和 6 龄幼虫后,与对照相比,各处理幼虫的发育历期随处理浓度的

升高均有延长;在低浓度 (0.1~100 ng/μL) 处理组,发育历期虽有延长但未达显著水平 ($P > 0.05$);而在高浓度 (1 000~10 000 ng/μL) 处理组,对各处理幼虫发育历期的影响均达到了显著水平 ($P < 0.05$);用 1 000 ng/μL 浓度处理后,4 龄、5 龄和 6 龄幼虫发育至 6 龄末的历期总和与对照相比平均分别延长了 5、4、1.8 d,而用 10 000 ng/μL 浓度处理后,分别平均延长了 8.6、6.8、3.6 d。

2.2 保幼激素 ZR-515 处理对幼虫体重的影响

由表 2 可知,不同浓度保幼激素 ZR-515 处理杜仲梦尼夜蛾 4 龄、5 龄和 6 龄幼虫后,与对照相比,随激素处理浓度的增大,各龄幼虫在 6 龄末期体重增长倍数(6 龄末的体重/处理的当龄幼虫体重)增大,且差异显著;与对照相比,当用 0.1 ng/μL 浓度处理时,即可对 5 龄和 6 龄幼虫体重的增长产生显著影响,当浓度高于 10 ng/μL 时,可显著促进 4 龄幼虫的体重增长;当用 10 000 ng/L 高浓度处理时,6 龄末幼虫体重增加倍数最大,相比对照,4、5、6 龄各处理中体重分别增加了 1.38 倍、1.34 倍、1.81 倍。

2.3 保幼激素 ZR-515 处理对幼虫取食量的影响

由表 3 可知,不同浓度保幼激素 ZR-515 处理 4 龄、5 龄和 6 龄幼虫后,与对照相比,幼虫平均取食量随处理浓度升高呈增加趋势,但 10 000 ng/μL 浓度处理后取食量的增加减缓;在低浓度 (0.1~10 ng/μL) 处理组,各龄期幼虫的取食量增加不显著 ($P > 0.05$);而在高浓度 (100~10 000 ng/μL) 处理组,各龄幼虫取食量的增加均达到显著水平 ($P < 0.05$)。与对照相比,在 1 000 ng/μL 浓度处理组,4 龄、5 龄和 6 龄处理幼虫发育至 6 龄末期的总取食量分别增加了 0.66, 0.56, 0.26 g,而在 10 000 ng/μL 浓度处理组,分别增加了 0.52, 0.36, 0.28 g。

2.4 保幼激素 ZR-515 处理对幼虫排粪量的影响

由表 4 可知,不同浓度保幼激素 ZR-515 处理 4 龄、5 龄和 6 龄幼虫后,与对照相比,各龄幼虫的平均排粪量随处理浓度的升高而增加,且差异显著 ($P < 0.05$);但 10 000 ng/μL 浓度处理

表 1 保幼激素 ZR-515 处理对杜仲梦尼夜蛾幼虫发育历期的影响 (d)

处理浓度 Treatment concentration (ng/ μ L)	4 龄处理组 Treatment of 4th instar				5 龄处理组 Treatment of 5th instar				6 龄处理组 Treatment of 6th instar			
	4 龄前期 Duration of 4th instar	5 龄前期 Duration of 5th instar	6 龄前期 Duration of 6th instar	相比 CK 总延 长天数 Total extended days compared to CK	5 龄前期 Duration of 5th instar	6 龄前期 Duration of 6th instar	相比 CK 总 延长天数 Total extended days compared to CK	6 龄前期 Duration of 6th instar	相比 CK 总延 长天数 Total extended days compared to CK	6 龄后期 Duration of 6th instar	相比 CK 总延 长天数 Total extended days compared to CK	6 龄后期 Duration of 6th instar
1 0000	7.80 $\pm$ 0.84 a	7.60 $\pm$ 0.55 a	13.60 $\pm$ 0.55 a	8.6	7.40 $\pm$ 0.55 a	14.60 $\pm$ 0.55 a	6.8	14.80 $\pm$ 0.84 a	3.6			
1 000	6.20 $\pm$ 0.84 b	6.20 $\pm$ 0.45 b	13.00 $\pm$ 1.00 a	5.0	6.60 $\pm$ 0.55 b	12.60 $\pm$ 0.55 b	4.0	13.00 $\pm$ 0.71 b	1.8			
100	5.60 $\pm$ 0.89 bc	5.20 $\pm$ 0.45 cd	12.20 $\pm$ 0.45 ab	2.6	5.80 $\pm$ 0.84 c	12.20 $\pm$ 0.45 b	2.8	12.00 $\pm$ 0.71 c	0.8			
10	5.20 $\pm$ 0.84 bc	5.40 $\pm$ 0.55 c	12.40 $\pm$ 1.14 ab	2.6	5.40 $\pm$ 0.55 c	11.60 $\pm$ 0.55 b	1.8	11.60 $\pm$ 0.55 c	0.4			
1	4.80 $\pm$ 0.45 c	5.20 $\pm$ 0.45 cd	11.60 $\pm$ 0.55 bc	1.2	5.40 $\pm$ 0.55 c	11.20 $\pm$ 0.45 bc	1.4	12.20 $\pm$ 0.45 b	1.0			
0.1	5.00 $\pm$ 0.71 c	4.80 $\pm$ 0.84 cd	11.60 $\pm$ 1.14 bc	1.0	5.20 $\pm$ 0.45 c	11.80 $\pm$ 0.84 b	1.8	12.00 $\pm$ 0.71 bc	0.8			
CK	4.80 $\pm$ 0.84 c	4.60 $\pm$ 0.55 d	11.00 $\pm$ 1.00 c	-	4.40 $\pm$ 0.55 d	10.80 $\pm$ 0.45 c	-	11.20 $\pm$ 0.45 c	-			

表中数据为平均值 $\pm$ 标准差。同列数据后标有不同字母表示经 LSD 多重比较后差异显著 ($P<0.05$)。下表同。
The data in the table are mean $\pm$ SD, and followed by different letters within the same column indicate significantly different at 0.05 level tested by LSD's multiple range test. The same below.

表 2 保幼激素 ZR-515 处理对杜仲梦尼夜蛾幼虫体重的影响 (g)

处理浓度 (ng/ μ L)	4 龄处理组 Treatment group of 4th instar				5 龄处理组 Treatment group of 5th instar				6 龄处理组 Treatment group of 6th instar			
	4 龄前期 Pre-treated 4th instar	发育至 6 龄末 6th instar ending	增重倍数 Growth multiple	5 龄前期 Pre-treated 5th instar	发育至 6 龄末 6th instar ending	增重倍数 Growth multiple	6 龄前期 Pre-treated 6th instar	发育至 6 龄末 6th instar ending	增重倍数 Growth multiple	6 龄后期 Pre-treated 6th instar	发育至 6 龄末 6th instar ending	增重倍数 Growth multiple
10 000	0.0129	0.4039 $\pm$ 0.02 a	31.31	0.0555	0.4073 $\pm$ 0.03 a	7.34	0.1544	0.4632 $\pm$ 0.00 a	3.00			
1 000	0.0123	0.3488 $\pm$ 0.01 b	28.36	0.0520	0.3697 $\pm$ 0.01 a	7.11	0.1535	0.3270 $\pm$ 0.02 b	2.13			
100	0.0126	0.3034 $\pm$ 0.01 cd	24.08	0.0515	0.3332 $\pm$ 0.02 b	6.47	0.1567	0.2961 $\pm$ 0.02 c	1.89			
10	0.0127	0.3228 $\pm$ 0.02 c	25.42	0.0524	0.3448 $\pm$ 0.01 ab	6.58	0.1540	0.2957 $\pm$ 0.02 c	1.92			
1	0.0129	0.2991 $\pm$ 0.01 d	23.19	0.0524	0.3437 $\pm$ 0.01 ab	6.56	0.1560	0.2980 $\pm$ 0.00 c	1.91			
0.1	0.0124	0.2949 $\pm$ 0.02 cd	23.78	0.0525	0.3444 $\pm$ 0.01 ab	6.56	0.1563	0.3047 $\pm$ 0.01 c	1.95			
CK	0.0122	0.2758 $\pm$ 0.01 d	22.61	0.0543	0.2976 $\pm$ 0.01 c	5.48	0.1559	0.2588 $\pm$ 0.01 d	1.66			

表 3 ZR-515 处理对杜仲梦尼夜蛾幼虫平均取食量的影响 (g)
Table 3 Effect of juvenile hormone ZR-515 on the average food consumption of *Orthosia songi* larvae (g)

处理浓度 Treatment concentration (ng/ μ L)	4 龄处理组 Treatment of 4th instar				5 龄处理组 Treatment of 5th instar		6 龄处理组 Treatment of 6th instar	
	4 龄 4th instar	5 龄 5th instar	6 龄 6th instar	相比 CK 总增加的取 食量 Total increment of food consumption compared to CK	5 龄 5th instar	6 龄 6th instar	相比 CK 总增加的取 食量 Total increment of food consumption compared to CK	6 龄 6th instar
								相比 CK 总增加的取 食量 Total increment of food consumption compared to CK
10 000	0.30 $\pm$ 0.02b	0.38 $\pm$ 0.02ab	1.92 $\pm$ 0.07a	0.52	0.38 $\pm$ 0.02a	1.94 $\pm$ 0.05b	0.36	1.98 $\pm$ 0.12a
1 000	0.38 $\pm$ 0.03a	0.38 $\pm$ 0.01ab	1.98 $\pm$ 0.14a	0.66	0.40 $\pm$ 0.02a	2.12 $\pm$ 0.10a	0.56	1.96 $\pm$ 0.07a
100	0.29 $\pm$ 0.02b	0.40 $\pm$ 0.01a	1.92 $\pm$ 0.10a	0.53	0.36 $\pm$ 0.05ab	1.90 $\pm$ 0.08b	0.30	1.85 $\pm$ 0.06a
10	0.19 $\pm$ 0.02c	0.37 $\pm$ 0.03ab	1.79 $\pm$ 0.08b	0.27	0.36 $\pm$ 0.02ab	1.80 $\pm$ 0.03bc	0.20	1.89 $\pm$ 0.10a
1	0.17 $\pm$ 0.02c	0.35 $\pm$ 0.03b	1.74 $\pm$ 0.05b	0.18	0.35 $\pm$ 0.03b	1.76 $\pm$ 0.09c	0.15	1.81 $\pm$ 0.13b
0.1	0.17 $\pm$ 0.01c	0.29 $\pm$ 0.02c	1.76 $\pm$ 0.08b	0.14	0.32 $\pm$ 0.03b	1.75 $\pm$ 0.08c	0.11	1.87 $\pm$ 0.11a
CK	0.14 $\pm$ 0.01d	0.26 $\pm$ 0.03c	1.68 $\pm$ 0.04b	-	0.26 $\pm$ 0.03c	1.70 $\pm$ 0.06c	-	1.70 $\pm$ 0.04b

表 4 保幼激素 ZR-515 处理对杜仲梦尼夜蛾幼虫排粪量的影响 (g)
Table 4 Effect of juvenile hormone ZR-515 on faeces output of *Orthosia songi* larvae (g)

处理浓度 Treatment concentration (ng/ μ L)	4 龄处理组 Treatment of 4th instar				5 龄处理组 Treatment of 5th instar		6 龄处理组 Treatment of 6th instar	
	4 龄 4th instar	5 龄 5th instar	6 龄 6th instar	相比 CK 总增加的排粪 量 Total increment of faeces compared to CK	5 龄 5th instar	6 龄 6th instar	相比 CK 总增加的排粪 量 Total increment of faeces compared to CK	6 龄 6th instar
								相比 CK 总增加的排粪量 Total increment of faeces compared to CK
10 000	0.07 $\pm$ 0.00b	0.30 $\pm$ 0.02a	1.32 $\pm$ 0.03a	0.72	0.28 $\pm$ 0.00a	1.36 $\pm$ 0.02a	0.61	1.32 $\pm$ 0.02a
1 000	0.09 $\pm$ 0.00a	0.32 $\pm$ 0.04a	1.34 $\pm$ 0.04a	0.78	0.27 $\pm$ 0.01b	1.34 $\pm$ 0.02a	0.58	1.33 $\pm$ 0.03a
100	0.07 $\pm$ 0.00b	0.28 $\pm$ 0.04a	1.29 $\pm$ 0.03a	0.67	0.25 $\pm$ 0.01c	1.29 $\pm$ 0.02bc	0.51	1.31 $\pm$ 0.01a
10	0.04 $\pm$ 0.00c	0.29 $\pm$ 0.02a	1.27 $\pm$ 0.03a	0.53	0.23 $\pm$ 0.01d	1.29 $\pm$ 0.03bc	0.49	1.28 $\pm$ 0.01b
1	0.04 $\pm$ 0.00c	0.23 $\pm$ 0.01b	1.13 $\pm$ 0.10b	0.43	0.22 $\pm$ 0.01d	1.27 $\pm$ 0.01c	0.46	1.32 $\pm$ 0.03a
0.1	0.04 $\pm$ 0.00d	0.18 $\pm$ 0.01c	0.99 $\pm$ 0.10c	0.24	0.22 $\pm$ 0.01d	1.30 $\pm$ 0.02b	0.49	1.25 $\pm$ 0.03b
CK	0.03 $\pm$ 0.00e	0.14 $\pm$ 0.00c	0.80 $\pm$ 0.06d	-	0.15 $\pm$ 0.00e	0.88 $\pm$ 0.01d	-	0.83 $\pm$ 0.04c

后排粪增加量有下降的趋势；在 1 000 ng/μL 浓度处理组，相比对照，4 龄、5 龄和 6 龄幼虫发育至 6 龄末期时的总排粪量分别增加了 0.78, 0.58, 0.50 g，而在 10 000 ng/μL 浓度组，6 龄末期时的总排粪量分别增加了 0.72, 0.61, 0.49 g，排粪量没有因处理浓度增加而持续显著增长。

2.5 保幼激素 ZR-515 处理对幼虫发育后期化蛹率和羽化率的影响

由表 5 可知，与对照相比，ZR-515 的不同

浓度处理均对 4 龄、5 龄和 6 龄幼虫后期的化蛹和成虫羽化产生抑制作用，并且随着处理浓度的升高，幼虫的化蛹率和成虫羽化率呈降低趋势，尤其 ZR-515 高浓度（1 000~10 000 ng/μL）处理后，对 4 龄幼虫发育后期的化蛹率和羽化率抑制作用较 5 龄和 6 龄幼虫更为明显，如用 10 000 ng/μL 浓度处理后，与对照相比，4 龄、5 龄、6 龄幼虫后期的化蛹率分别仅为 9.09%、23.00%、36.67%，羽化率分别为 4.00%、13.64%、10.05%。

表 5 保幼激素 ZR-515 处理对幼虫发育后期化蛹率和成虫羽化率的影响
Table 5 Effect of juvenile hormone ZR-515 on the pupation rate of larvae and eclosion rate of adults

处理浓度 (ng/μL) Treatment concentration (ng/μL)	化蛹率 (%) Pupation rate			羽化率 (%) Eclosion rate		
	4 龄处理组 Treatment of 4th instar	5 龄处理组 Treatment of 5th instar	6 龄处理组 Treatment of 6th instar	4 龄处理组 Treatment of 4th instar	5 龄处理组 Treatment of 5th instar	6 龄处理组 Treatment of 6th instar
10 000	9.09	23.00	36.67	4.00	13.64	10.05
1 000	48.75	62.86	58.33	36.67	55.00	50.00
100	77.89	72.35	74.29	61.43	74.62	71.43
10	73.75	76.00	78.57	61.82	61.82	70.00
1	66.92	71.43	85.71	75.71	77.78	73.33
0.1	73.35	84.29	76.36	66.67	78.89	80.25
CK	86.67	94.48	90.68	79.83	85.00	85.79

3 结论与讨论

杜仲梦尼夜蛾幼虫是一种专门取食杜仲叶片的害虫，它只取食消化叶片中的非胶成分，而含胶成分会通过粪便排出，因此杜仲胶可以从其粪便中提取，这个思路为杜仲胶的开发利用提供了新方法。本研究前期的室内饲养结果表明杜仲梦尼夜蛾 1 年可发生 6 代，26℃条件下 1 代的发育历期为（44.30±1.57）d，幼虫期仅为（21.60±0.97）d。为了延长幼虫期的取食时间，从而获得高的排粪量，故本研究参考其他昆虫的研究采用保幼激素来调控其生长发育。

3.1 保幼激素类似物 ZR-515 对杜仲梦尼夜蛾生长发育的影响

本研究结果表明，利用不同浓度的保幼激素类似物 ZR-515 处理杜仲梦尼夜蛾的 4 龄、5 龄和 6 龄幼虫后，可明显延长幼虫的发育历期，增加幼虫的体重，且均随着处理浓度的升高而增

加。比如用高浓度 10 000 ng/μL 分别处理 4 龄、5 龄和 6 龄幼虫后，各处理幼虫发育至 6 龄末的历期总和和相比对照分别延长了 8.6, 6.8, 3.6 d，各处理中 6 龄末幼虫体重相比对照分别增加了 1.38 倍, 1.34 倍, 1.81 倍，这一研究结果与报道的外源保幼激素对家蚕 *Bombyx mori* 和斜纹夜蛾发育历期的影响一致（崔为正等，1995；沈萍，2006）。

前人的研究表明 ZR-515 处理可以促进斜纹夜蛾和天蚕幼虫对饲料的吸收，显著增加其幼虫的取食量（林永丽等，1997；刘永平等，2005）。在本实验中，用 ZR-515 处理杜仲梦尼夜蛾幼虫后，其平均取食量和排粪量也随处理浓度的升高呈现增加趋势，但到一定浓度时增加趋势减缓甚至下降，如用浓度 1 000 ng/μL 分别处理 4 龄，5 龄和 6 龄幼虫时，各处理幼虫发育至 6 龄的总取食量相比对照分别增加了 0.66, 0.56, 0.26 g，而用浓度 10 000 ng/μL 处理时，分别增加了 0.52，

0.36, 0.28 g。这表明了一定浓度的保幼激素 ZR-515 能促进杜仲梦尼夜蛾幼虫的取食量, 而过高浓度 ($>10\ 000\text{ ng}/\mu\text{L}$) 处理, 会导致幼虫取食量的下降。同时, 一些研究也表明用保幼激素类似物处理家蚕和甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 的早期蛹, 可显著影响蛹到成虫的变态, 使成虫羽化受到干扰 (Dedos and Fugo, 1999; Kim *et al.*, 2000)。而在本研究中, 用保幼激素处理幼虫后对其后期的化蛹率和成虫羽化率也产生了明显的不利影响, 导致化蛹率和羽化率显著下降, 尤其用高浓度 $10\ 000\text{ ng}/\mu\text{L}$ 处理时的不利影响极其明显。同前人不同的是, 本研究处理的是杜仲梦尼夜蛾的幼虫, 不是蛹, 但仍对成虫的羽化产生不利影响, 这进一步表明了保幼激素的影响具有后效性。

3.2 保幼激素类似物 ZR-515 处理浓度的选择

本研究结果表明, 不同浓度保幼激素 ZR-515 处理, 对幼虫产生的影响存在明显的差异。高浓度能明显延长幼虫的发育历期并能增加幼虫的体重, 而用高浓度 $1\ 000\text{ ng}/\mu\text{L}$ 和 $10\ 000\text{ ng}/\mu\text{L}$ 处理时, 幼虫的总取食量和排粪量差异不显著, 但 $10\ 000\text{ ng}/\mu\text{L}$ 对处理幼虫后期的化蛹率和成虫羽化率的抑制作用明显大于 $1\ 000\text{ ng}/\mu\text{L}$, 所以就本研究的结果看, 用浓度 $1\ 000\text{ ng}/\mu\text{L}$ 处理较为合适。但本研究设置的两个高浓度 $1\ 000\text{ ng}/\mu\text{L}$ 和 $10\ 000\text{ ng}/\mu\text{L}$ 之间跨度较大, 应在以后的研究中, 可以在 $1\ 000\sim10\ 000\text{ ng}/\mu\text{L}$ 浓度范围内再设置不同梯度, 以确定更为精细的理想处理浓度。如刘永平等 (2005) 认为斜纹夜蛾在 6 龄用浓度为 $2\ 500\text{ ng}/\mu\text{L}$ 的剂量为最佳处理, 既可延长幼虫历期, 又能保持幼虫正常生长发育。

3.3 杜仲梦尼夜蛾处理幼虫龄期的选择

王俊雅等 (2016) 室内饲养结果表明, 杜仲梦尼夜蛾 5 龄和 6 龄幼虫的总取排量占总量的 90% 以上, 因此要得到最大的取排量, 延长 5 龄和 6 龄幼虫的取食时间是关键。本研究结果表明用适当浓度的保幼激素分别处理 4 龄和 5 龄幼虫后, 确能延长 5 龄和 6 龄幼虫的历期, 且也能显著增加其幼虫的取排量, 但由于 4 龄幼虫取食量较小, 处理 4 龄幼虫对整体取食量影响不大, 而

且 4 龄幼虫生命力相对较弱, 抗干扰能力也较弱, 而经室内饲养发现 5 龄幼虫是个体参数显著变化的一个龄期, 如体长、体重、头宽等体参数, 较快的生长发育也能促进体表激素溶液的快速吸收并发挥作用, 为此作者认为 5 龄可作为最佳处理龄期。庄大恒等 (1984) 用保幼激素体喷 5 龄蚕的不同时期 (从起蚕到熟蚕分为四个时期), 发现不同的处理时期对龄期的延长具有不同效果。因此, 在下一步的研究中, 可以将杜仲梦尼夜蛾 5 龄幼虫的历期分为 3 个时期 (前、中和后期) 分别进行试验, 以精准定位 5 龄幼虫的最佳处理时期。

3.4 保幼激素处理方式的选择

保幼激素的处理方式常见的有点滴法、体喷法和注射法等 (崔为正和张国基, 1993), 针对不同的研究目的可采用不同的方法。体喷法虽然简便, 但难以定量; 注射法虽然精确, 但技术要求较高, 难于掌握。本研究主要是初步确定保幼激素对杜仲梦尼夜蛾幼虫生长发育的影响, 比较不同处理浓度的差异, 因而采用点滴法将定量的保幼激素完全涂布于幼虫的体表, 尽可能增大激素溶液与虫体的接触面积, 便于定量化分析研究的结果, 但是在以后开展规模化饲养时, 点滴法存在费时费工的缺点, 应当考虑采用体喷法进行处理, 可能更具有可操作性。

参考文献 (References)

- Cui WZ, Mu ZM, Zhang YY, Duan HM, Zhou WD, Li FQ, Liu Y, 1995. Studies on increasing silk amount by using juvenile hormone and ecdysone cooperatively in silkworm. *Canye Kexue*, 21(3): 178–183. [崔为正, 牟志美, 张友英, 段会民, 周文东, 李富强, 刘义, 1995. 保幼激素和蜕皮激素配合使用提高家蚕产丝量的研究. 蚕业科学, 21(3): 178–183.]
- Cui WZ, Zhang GJ, 1993. Physiological effects of exogenous juvenile hormone and moulting hormone on silk worms and their application in sericulture. *Journal of Shandong Agricultural University*, 24(3): 354–358. [崔为正, 张国基, 1993. 外源保幼激素和蜕皮激素对家蚕的生理效应及其在蚕业上的应用. 山东农业大学学报, 24(3): 354–358.]
- Dedos SG, Fugo H, 1999. Disturbance of adult eclosion by fenoxycarb in the silkworm, *Bombyx mori*. *Journal of Insect Physiology*, 45(3): 257–264.
- Ding FX, Su YQ, Du ST, Zhang Q, ZhongZe QJ, Di YS, 2012.

- Screening strains for extraction of rubber from the bark of *Eucommia ulmoides* and optimization of fermentation conditions. *Journal of Northwest Forestry University*, 27(2): 149–154. [丁奋霞, 苏印泉, 杜双田, 张强, 中泽庆久, 堤雅史, 2012. 生物法提取杜仲胶菌株筛选及发酵条件优化. 西北林学院学报, 27(2): 149–154.]
- Kim Y, Kim D, Lee J, 2000. Disturbance of adult eclosion by fenoxycarb, a juvenile hormone mimic, in the beet armyworm, *Spodoptera exigua*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 3(2): 103–111.
- Kodrik D, Alquicer G, Socha R, 2010. Methoprene modifies adipokinetic hormone characteristics in the firebug *Pyrrhocoris apterus* (Heteroptera: Pyrrhocoridae). *European Journal of Entomology*, 107(1): 33–39.
- Lian MX, Zhang YP, 2011. The ingestion and defecation of the *Dendrolimus suffusus illustratus* larvae. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(4): 982–985. [廉梅霞, 张育平, 2011. 明纹柏松毛虫各龄幼虫取食量和排粪量. 应用昆虫学报, 48(4): 982–985.]
- Lin YL, Hu C, Ye GY, 1997. Effect of methoprene on the growth, development and food transformation rate of *Antheraea yamamai*. *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 23(5): 515–519. [林永丽, 胡萃, 叶恭银, 1997. Methoprene 对天蚕生长发育及饲料转化效率的影响. 浙江农业大学学报, 23(5): 515–519.]
- Liu YP, Wang FH, Su ZJ, Li GH, Pang Yi, 2005. Effect of juvenile hormone analogues on multiplication of *Spodoptera litura* nucleopolyhedrovirus. *Entomologica Sinica*, 48(6): 866–870. [刘永平, 王方海, 苏志坚, 李广宏, 庞义, 2005. 保幼激素类似物对斜纹夜蛾核多角体病毒增殖的影响. 昆虫学报, 48(6): 866–870.]
- Liu YP, Zhang HQ, 2007. Research and application of juvenal hormone and its analogues. *Shanxi Chemical Industry*, 27(4): 28–31. [刘永平, 张慧琴, 2007. 保幼激素及其类似物的研究与应用. 山西化工, 27(4): 28–31.]
- Shen P, 2006. The effect of juvenile hormone Analogues ZR-515 on the development of *Spodoptera litura*. Master dissertation. Guangzhou: Sun Yat-Sen University. [沈萍, 2006. 保幼激素类似物 ZR515 对斜纹夜蛾生长发育的影响. 硕士论文. 广州: 中山大学.]
- Wang C, Mao B, Wang X, Yang Q, Wan DJ, 2012. Extraction of *Eucommia ulmoides* gum by high-temperature cooking combined with solvent extraction method. *Chemistry and Bioengineering*, 29(2): 77–79. [王聪, 毛波, 王旭, 杨青, 万端极, 2012. 高温蒸煮结合溶剂提取法提取杜仲胶的工艺研究. 化学与生物工程, 29(2): 77–79.]
- Wang JY, Li ML, Wang YG, He H, Wang HT, 2016. Effects of temperature on the development, ingestion and defecation of *Orthosia songi*. *Journal of Northwest Forestry University*, 27(2): 31(6): 204–209. [王俊雅, 李孟楼, 王云果, 贺虹, 王宏涛, 2016. 温度对杜仲梦尼夜蛾生长发育及取食量和排粪量的影响. 西北林学院学报, 31(6): 204–209.]
- Wang HT, 2014. Extraction method and device of *Eucommia ulmoides* gum from insect fecula feeding on *Eucommia ulmoides*. Chinese patent: 102838759B. [王宏涛, 2014. 一种利用食用杜仲的昆虫虫粪提取杜仲胶的方法及装置. 中国专利: 102838759B.]
- Watanabe M, Tanaka K, 2000. Hormonal control of diapause and overwintering traits in a leaf beetle, *Aulacophora nigripennis*. *Physiological Entomology*, 25(4): 337–345.
- Wyatt GR, Davey KD, 1996. Cellular and molecular actions of juvenile hormone II: roles of juvenile hormone in adult insects. *Advances in Insect Physiology*, 26(8): 1–156.
- Xie XT, Lu BQ, Wang ZB, Ding LX, 2013. Extraction technique of eucommia gum from residue of *Eucommia ulmoides* leaves. *Biomass Chemical Engineering*, 47(5): 35–39. [谢晓婷, 路博琼, 王自波, 丁来欣, 2013. 杜仲叶渣中杜仲胶提取工艺的研究. 生物质化学工程, 47(5): 35–39.]
- Xu YS, Xu JL, 2001. Advance in insect juvenile hormone. *Sericulture in China*, 22(1): 56–57. [徐豫松, 徐俊良, 2001. 昆虫保幼激素研究新进展. 中国蚕业, 22(1): 56–57.]
- Yan RF, 2010. Development and application of eucommia rubber. *China Rubber Science and Technology Market*, (10): 9–13. [严瑞芳, 2010. 杜仲橡胶的开发及应用概况. 橡胶科技市场, (10): 9–13.]
- Yang D, Huang HZ, 2009. Study and development of *Eucommia ulmoides* gum. *World Rubber Industry*, 36(7): 13–17. [杨丹, 黄慧珍, 2009. 杜仲胶的研究与发展. 世界橡胶工业, 36(7): 13–17.]
- Zhang KJ, 1991. *Eucommia ulmoides*. Beijing: Chinese Forest Press. 1–118. [张康健, 1991. 杜仲. 北京: 中国林业出版社. 1–118.]
- Zhao Y, ZHU JL, Li FD, Du LY, Sun ZQ, 2015. Developmental duration and feeding behavior of *Orthosia songi*. *Plant Protection*, 41(2): 75–79. [赵阳, 朱景乐, 李芳东, 杜兰英, 孙志强, 2015. 杜仲梦尼夜蛾发育历期及取食行为研究. 植物保护, 41(2): 75–79.]
- Zhou BF, Bao XL, Gong M, Wu G, Dai ZY, 1995. Effect of Juvenoid (ZR512) on the emergence weight of bee queen. *Journal of Fujian Agricultural University*, 24(1): 109–112. [周冰峰, 鲍秀良, 龚蜜, 吴刚, 戴祝英, 1995. 保幼激素类似物 ZR-512 对蜜蜂蜂王初生重的影响. 福建农业大学学报, 24(1): 109–112.]
- Zhou YL, Zhang ST, Liu XY, Qin HC, Wu RX, Li FS, 1996. Studies on biological characteristics of *Orthosia songi* and control measures. *Journal of Northwest Forestry University*, 11(2): 64–68. [周云龙, 张声堂, 刘湘银, 覃汉初, 吴仁铤, 李发声, 1996. 杜仲梦尼夜蛾生物学特性及防治研究. 西北林学院学报, 11(2): 64–68.]
- Zhuang DH, Xiang MH, Dai ZY, Chen GH, 1984. Bioactivity effect of insect juvenile hormone and ecdysone on the different developmental stage of *Bombyx mori* L. *Canye Kexue*, 10(3): 139–144. [庄大恒, 项美华, 戴祝英, 陈国湖, 1984. 昆虫保幼激素和蜕皮激素在家蚕不同发育阶段的生物活性效应. 蚕业科学, 10(3): 139–144.]