

阿维菌素亚致死浓度对美国白蛾幼虫生长发育及成虫繁殖能力的影响*

王 晴** 袁莉莎 李 涛 姜 磬 严善春***

(东北林业大学林学院, 森林生态系统可持续经营教育部重点实验室, 哈尔滨 150040)

摘 要 【目的】明确阿维菌素亚致死效应对美国白蛾 *Hyphantria cunea* 的毒理作用, 为合理使用阿维菌素提供理论依据。【方法】用含阿维菌素亚致死浓度 (LC_{10} 和 LC_{30}) 的人工饲料分别饲喂美国白蛾 4、5 和 6 龄幼虫, 饲喂 72 h 后, 测定 4、5 和 6 龄幼虫生长发育和成虫繁殖能力, 对照组为含 0.1% 二甲基亚砜的水溶液。【结果】与对照相比, LC_{30} 处理组的美国白蛾 4 龄幼虫生长量受到显著抑制 ($P<0.05$), 抑制率为 22%, 5 龄和 6 龄幼虫无显著差异 ($P>0.05$); LC_{10} 的各处理组均没有显著差异 ($P>0.05$)。 LC_{30} 处理组的 4、5 和 6 龄幼虫发育历期均显著延长 ($P<0.05$), 分别较对照延长 3.4、2.2 和 1.7 d; LC_{10} 的各处理组均没有显著差异 ($P>0.05$)。 LC_{10} 和 LC_{30} 各处理组的成虫寿命均显著缩短 ($P<0.05$), 与对照相比, LC_{10} 各处理组的成虫寿命分别缩短 1.0、1.5 和 1.7 d; LC_{30} 各处理组的成虫寿命分别缩短 2.7、2.3 和 2.5 d。 LC_{10} 、 LC_{30} 各处理组的化蛹率、羽化率、产卵量和卵孵化率均被显著抑制 ($P<0.05$)。 LC_{30} 各处理组的化蛹率分别仅为对照的 48%、56% 和 36%。 LC_{30} 各处理组的羽化率分别仅为对照的 47%、66% 和 33%。 LC_{10} 各处理组的产卵量分别为对照的 88%、80% 和 66%; LC_{30} 处理组分别为对照的 78%、68% 和 49%。 LC_{10} 各处理组的卵孵化率分别为对照的 82%、66% 和 62%; LC_{30} 各处理组分别仅为对照的 62%、54% 和 45%。 LC_{10} 与 LC_{30} 处理组相比, 4 龄幼虫处理组的取食量、发育历期、化蛹率和羽化率, 5 龄幼虫处理组的发育历期和化蛹率, 以及 6 龄幼虫处理组的羽化率和孵化率差异显著, LC_{30} 表现出更强的抑制作用。【结论】亚致死浓度的阿维菌素能够抑制美国白蛾的生长发育和繁殖能力。

关键词 美国白蛾; 阿维菌素; 亚致死浓度; 生长发育; 繁殖能力

Effects of sublethal concentrations of abamectin on larval growth, development and adult reproductive capability of *Hyphantria cunea*

WANG Qing** YUAN Li-Sha LI Tao JIANG Dun YAN Shan-Chun***

(Key Laboratory of Sustainable Forest Ecosystem Management-Ministry of Education,
School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract 【Objectives】To clarify the toxicological effect of sublethal doses of avermectin on *Hyphantria cunea*, and thereby provide a theoretical basis for the rational use of this pesticide. 【Methods】The growth and development of 4th to 6th instar *H. cunea* larvae were measured after these had consumed artificial diets containing sublethal concentrations of abamectin (LC_{10} or LC_{30}) for 72 h. Control groups were fed an aqueous solution containing 0.1% dimethyl sulfoxide. The reproductive ability of adults obtained from these treatment groups was also measured. 【Results】The 4th instar LC_{30} treatment group grew 22% less than the respective control group ($P<0.05$), whereas there were no significant differences in growth between the 5th and 6th instar LC_{30} treatment groups and their respective control groups ($P>0.05$). There was no significant difference in growth between the LC_{10} treatment groups and their respective control groups ($P>0.05$). Development of the 4th, 5th and 6th larval instars in the LC_{30} treatment groups (3.4, 2.2 and 1.7 days, respectively) was significantly prolonged relative

*资助项目 Supported projects: 国家“十四五”重点研发计划项目 (2021YFD1400300)

**第一作者 First author, E-mail: 1030766646@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: yanshanchun@162.com

收稿日期 Received: 2022-10-26; 接受日期 Accepted: 2022-12-06

to the respective control groups ($P<0.05$), but there was no significant difference in the duration of development of the LC₁₀ treatment groups ($P>0.05$) and the respective control groups. Adult longevity in the LC₁₀ and LC₃₀ treatment groups (1-1.7 and 2.3-2.7 days, respectively) was significantly shorter than that of the respective control groups ($P<0.05$). The pupation rate, emergence rate, fecundity and hatching rate of the LC₁₀ and LC₃₀ treatment groups were also significantly shorter compared to the respective control groups ($P<0.05$). Pupation and emergence rates, fecundity, and hatching rate in the LC₃₀ treatment group were 36%-56%, 33%-66%, 49%-78% and 45%-62%, respectively, those of the respective control groups. The fecundity and hatching rate of the LC₁₀ treatment groups were 66-88% and 62-82%, respectively, those of the respective control groups. Only the feeding, larvae period, emergence rates and pupation rates of 4th instar larvae, the larvae period and emergence rates of 5th instar larvae, and the emergence rates and egg hatching rate of 6th instar larvae, were significantly less in the LC₁₀ and LC₃₀ treatment groups than in the respective control groups; the differences were greater for the LC₃₀ treatment group than for the LC₁₀ treatment group. [Conclusion] Exposure of *H. cunea* larvae to sublethal concentrations of abamectin (LC₁₀ and LC₃₀) inhibits both larval growth and development and the reproductive capacity of larvae that survive to adulthood.

Key words *Hyphantria cunea*; abamectin; sublethal concentration; growth and development; reproductive capability

美国白蛾 *Hyphantria cunea* 属于鳞翅目 Lepidoptera, 目夜蛾科 Erebidae, 适应性强, 传播范围广, 是我国重要的检疫性害虫(杨忠岐和张永安 2007)。该虫原产于北美洲, 自 1979 年在我国辽宁丹东首次发现, 已经扩散至 14 个省(自治区、直辖市)(Yang *et al.*, 2006; 耿慧舒等, 2022)。美国白蛾寄主广泛, 危害严重, 对我国生态和经济造成重大损失。目前, 化学防治仍然是防治美国白蛾的重要措施, 常用的药剂有灭幼脲Ⅲ号、苦参碱、烟参碱及阿维菌素等(回瀛瀛, 2021 芦晓春, 2021)。阿维菌素是一类生物杀虫剂, 具有明显的胃毒和触杀作用, 因其具有较强的杀虫杀螨活性, 且高效低残留等特点而被广泛关注(Pu *et al.*, 2010; 刘文茹等, 2022), 常用于防治鳞翅目害虫。常将阿维菌素与其他化学杀虫剂复配, 用于防治美国白蛾(张贵学, 2016)。

在害虫化学防治过程中, 由于不合理使用化学农药, 导致害虫产生抗药性(赵玉玉等, 2018; 张帅, 2016; Liu *et al.*, 2017)。同时, 杀虫剂施于田间后, 除了直接杀死昆虫外, 对昆虫还存在亚致死效应(王小艺, 2004)。因此, 研究杀虫剂亚致死效应, 对合理使用农药、减少药剂用量, 延缓害虫抗药性发展和保护环境具有重要意义。杀虫剂亚致死效应对害虫种群往往有抑制或延缓作用。如氟虫脲亚致死浓度能够抑制异迟眼蕈蚊 *Bradysia difformis* 生长, 延长其发育历期, 使幼虫化蛹率、羽化率等降低(沈登荣等, 2018);

在多杀菌素亚致死浓度处理下, 棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 体重和取食量显著降低, 化蛹率也明显下降(宋永辉等, 2021); 氟啶脲亚致死浓度能够降低甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 繁殖能力, 使成虫产卵量及卵孵化率等降低(张天澍等, 2013); 氯虫苯甲酰胺亚致死浓度能够使二点委夜蛾 *Athetis lepigone* 体重和蛹重显著降低, 发育历期也明显延长(张自启等, 2014)。

本研究采用饲料混毒法饲喂美国白蛾 4-6 龄幼虫, 研究阿维菌素亚致死浓度对其生长发育和繁殖能力的影响, 为美国白蛾的综合治理及阿维菌素的合理应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

美国白蛾卵块及人工饲料均为中国林业科学研究院提供。试验前, 先用浓度为 10% 的甲醛溶液将卵块消毒 45 min, 之后用清水冲洗 3 遍, 自然晾干后放入光照培养箱中孵化。虫卵孵化后, 用人工饲料进行喂养, 每日更换新鲜干净的饲料。取 4、5 和 6 龄幼虫进行试验。饲养条件: 温度为 $(25\pm 1)^{\circ}\text{C}$, 湿度为 70%-80%, 光周期为 16L: 8D。

1.2 阿维菌素对美国白蛾幼虫亚致死浓度的确定

采用饲料混毒法确定亚致死浓度。先用 0.1% 二甲基亚砷 (DMSO) (哈尔滨那纳生物科

技有限公司)水溶液,将97%阿维菌素(上海源叶生物科技有限公司)配置成5 g/100 mL母液,之后用蒸馏水将阿维菌素母液按梯度稀释成应用液:50、75、125、150和175 μg/kg,用于4龄幼虫;125、175、200、240和280 μg/kg,用于5龄幼虫;180、220、260、290和320 μg/kg,用于6龄幼虫。分别取上述各应用液5 mL添加于100 g人工饲料中,搅拌均匀,用于饲喂美国白蛾4、5和6龄幼虫;在对照组人工饲料中添加5 mL 0.1%DMSO水溶液。每个处理组各设置3个重复,每个重复20头幼虫,饲喂72 h后,统计各个处理组幼虫的死亡数量,确定阿维菌素针对4、5和6龄幼虫的72 h亚致死浓度LC₁₀和LC₃₀。

1.3 阿维菌素亚致死浓度对美国白蛾幼虫生长发育及繁殖能力的影响

分别将4、5和6龄幼虫亚致死浓度LC₁₀和LC₃₀的阿维菌素药液5 mL加入100 g人工饲料中,分组饲喂美国白蛾4、5和6龄幼虫,72 h后将各组活虫分别转移到无毒人工饲料中饲养。取食前和取食72 h后,各测量一次各龄幼虫的体重和饲料重,计算体重生长量和取食量;并在取食72 h后每天定时观察幼虫的发育状况,统计幼虫的存活数,记录各组幼虫的发育历期和化蛹率、蛹期及羽化率、成虫产卵和卵孵化率。每

个处理组各设置3个重复,每个重复20头幼虫。

幼虫取食量=(取食前饲料质量-取食后饲料质量)/(1-校正失水率),

幼虫拒食率=(对照取食量-处理取食量)/对照取食量×100%,

幼虫生长抑制率=(对照幼虫生长量-处理幼虫生长量)/对照幼虫生长量×100%。

1.4 数据处理与分析

用IBM SPSS Statistics 25.0进行单因素方差分析,确定亚致死浓度LC₁₀、LC₃₀及其95%的置信区间。生长发育指标采用t检验法进行差异显著性分析(P<0.05)。

2 结果与分析

2.1 阿维菌素对美国白蛾幼虫的亚致死浓度

亚致死浓度测定结果显示,阿维菌素对美国白蛾不同龄期幼虫均表现较高的杀虫活性,幼虫龄期越小,对药剂越敏感;随着美国白蛾幼虫龄期增加,耐药性逐渐增强,亚致死浓度逐渐增大。阿维菌素对4龄幼虫的LC₁₀为55.237 μg/kg,LC₃₀为91.534 μg/kg;对5龄幼虫的LC₁₀为113.750 μg/kg,LC₃₀为155.509 μg/kg;对6龄幼虫的LC₁₀为185.130 μg/kg,LC₃₀为192.244 μg/kg(表1)。

表 1 用阿维菌素处理 72 h 对美国白蛾 4-6 龄幼虫的亚致死浓度
Table 1 Sublethal concentrations of abamectin to 4th-6th instars larvae of *Hyphantria cunea* at 72 h after treatment

处理龄期 Treatment instar	LC ₁₀ (μg/kg)	LC ₁₀ 95%置信区间 (μg/kg) LC ₁₀ 95% confident limit (μg/kg)	LC ₃₀ (μg/kg)	LC ₃₀ 95%置信区间 (μg/kg) LC ₃₀ 95% confident limit (μg/kg)
4 龄 4th instar	55.230	34.120-69.724	91.534	73.509-109.698
5 龄 5th instar	113.750	87.672-131.264	155.509	135.524-169.478
6 龄 6th instar	185.130	150.575-205.067	192.244	176.739-209.731

2.2 阿维菌素亚致死浓度对美国白蛾幼虫生长量和生长抑制率的影响

由表2可以看出,阿维菌素亚致死浓度对美国白蛾4-6龄幼虫生长量和生长抑制率的

影响不同。与对照相比,LC₁₀处理组的均无明显的差异(P>0.05);LC₃₀的4龄幼虫处理组受到显著抑制(P<0.05),5龄和6龄幼虫处理组无显著差异(P>0.05)。LC₃₀的4龄和5龄幼虫生长抑制率受到显著抑制(P<0.05),

抑制率分别为 22%和 25%，6 龄幼虫处理组没有显著差异（ $P>0.05$ ）。LC₁₀与 LC₃₀各处理组相比，仅 4 龄幼虫处理组的生长量差异显著（ $P<0.05$ ）。

表 2 阿维菌素亚致死浓度对美国白蛾 4-6 龄幼虫处理组生长量和生长抑制率的影响
Table 2 Effects of sublethal concentrations of abamectin on the growth and growth inhibition rate of *Hyphantria cunea* 4th-6th instars larvae treatment group

处理浓度 Treatment concentration	4 龄处理组 4th instar treatment group		5 龄处理组 5th instar treatment group		6 龄处理组 6th instar treatment group	
	72 h 生长量 Growth quantity for 72 h (mg)	生长抑制率 Growth inhibition rate (%)	72 h 生长量 Growth quantity for 72 h (mg)	生长抑制率 Growth inhibition rate (%)	72 h 生长量 Growth quantity for 72 h (mg)	生长抑制率 Growth inhibition rate (%)
对照 CK	28.80±1.60 a	0.00±0.00 b	102.60±11.40 a	0.00±0.00 b	91.60±9.70 a	0.00±0.00 b
LC ₁₀	24.30±1.20 abA	15.53±0.41 abA	73.70±12.40 abA	28.16±1.20 aA	83.80±4.50 abA	8.56±2.94 abA
LC ₃₀	22.30±1.30 bA	22.45±0.44 aA	77.00±8.70 abA	24.91±0.84 aA	74.90±2.40 abA	18.30±2.67 aA

表中数据为平均值±标准差。同列数据后标有不同小写字母表示不同亚致死浓度处理组与对照相比差异显著（ $P<0.05$ ）；同列数据后标有不同大写字母表示不同亚致死浓度处理间差异显著（ $P<0.05$ ）。下表同。

The data in the table are mean ±SE, and followed by the different lowercase letters in the same column indicate significant differences among treatment and control with different sublethal concentrations ($P<0.05$); While followed by the different capital letters in the same column indicate significant differences among treatments with different sublethal concentrations ($P<0.05$). The same below.

2.3 阿维菌素亚致死浓度对美国白蛾幼虫取食量和拒食率的影响

阿维菌素亚致死浓度对美国白蛾 4、5 和 6 龄幼虫的取食拒食情况见表 3。与对照相比，

LC₃₀ 的 4 龄幼虫处理组受到显著抑制（ $P<0.05$ ），5 龄和 6 龄幼虫处理组均无显著差异（ $P>0.05$ ）。LC₁₀ 与 LC₃₀ 各处理组相比，4 龄幼虫处理组的取食量差异显著（ $P<0.05$ ），5 龄和 6 龄幼虫处理组均无显著差异（ $P>0.05$ ）。

表 3 阿维菌素亚致死浓度对美国白蛾 4-6 龄幼虫处理组取食量、拒食率的影响
Table 3 Effects of sublethal concentrations of abamectin on the each feeding and antifeedant of *Hyphantria cunea* 4th-6th instars larvae treatment group

处理浓度 Treatment concentration	4 龄处理组 4th instar treatment group		5 龄处理组 5th instar treatment group		6 龄处理组 6th instar treatment group	
	72 h 取食量 Each feeding for 72 h (mg)	拒食率 Antifeedant rate (%)	72 h 取食量 Each feeding for 72 h (mg)	拒食率 Antifeedant rate (%)	72 h 取食量 Each feeding for 72 h (mg)	拒食率 Antifeedant rate (%)
对照 CK	72.90±4.40 a	0.00±0.00 b	230.00±16.10 a	0.00±0.00 b	570.70±42.60 a	0.00±0.00 b
LC ₁₀	69.50±1.80 aA	47.50±2.47 aA	177.20±37.30 aA	22.96±1.62 aA	436.10±69.70 abA	39.36±5.22 aA
LC ₃₀	58.00±2.70 bB	20.46±3.77 aA	189.60±11.20 aA	17.56±4.88 abA	470.40±65.30 abA	17.57±0.44 abA

2.4 亚致死浓度阿维菌素对美国白蛾幼虫发育历期及变态的影响

美国白蛾 4 龄幼虫处理组的发育历期及变态情况见表 4。与对照相比，LC₃₀ 处理组的幼虫

发育历期显著延长（ $P<0.05$ ），较对照延长 3.4 d；LC₁₀ 处理组的幼虫发育历期没有显著差别（ $P>0.05$ ）。LC₁₀ 和 LC₃₀ 处理组的成虫寿命均显著缩短（ $P<0.05$ ），分别较对照缩短 1 d 和 2.7d。LC₁₀ 和 LC₃₀ 处理组的幼虫化蛹率均显著被抑制

表 4 阿维菌素亚致死浓度对美国白蛾 4 龄幼虫处理组发育历期及变态的影响
Table 4 Effects of sublethal concentrations of abamectin on the developmental duration and metamorphosis of *Hyphantria cunea* 4th instar larvae treatment group

处理浓度 Treatment concentration	幼虫历期 (d) Larvae period (d)	蛹期 (d) Pupal period (d)	化蛹率 (%) Pupation rate (%)	羽化率 (%) Emergence rate (%)	成虫寿命 (d) Longevity of adult (d)
对照 CK	11.65±0.55 b	10.50±0.29 a	83.30±1.60 a	81.80±3.60 a	9.16±0.16 a
LC ₁₀	12.63±0.62 bA	10.16±0.60 aA	63.30±1.60 bA	51.00±1.60 bA	8.16±0.16 bA
LC ₃₀	15.11±0.58 aB	11.00±1.00 aA	40.00±3.00 cB	38.30±2.70 cB	6.50±0.28 cB

($P<0.05$), 分别为对照的 76%和 48%; LC₁₀ 和 LC₃₀ 处理组的羽化率均显著被抑制($P<0.05$), 分别为对照的 62%和 46%。LC₁₀ 与 LC₃₀ 处理组相比, 幼虫历期、化蛹率、羽化率及成虫寿命均显著被抑制 ($P<0.05$)。

5 龄幼虫处理组的发育历期及变态情况见表 5。与对照相比, LC₃₀ 处理组的幼虫历期和蛹期均显著延长 ($P<0.05$), 分别较对照延长 2.2 d 和 1.1 d; LC₁₀ 处理组的幼虫历期和蛹期没有显著差别 ($P>0.05$)。LC₁₀ 和 LC₃₀ 处理组的成虫寿命均显著缩短 ($P<0.05$), 分别较对照缩短 1.5 d 和 2.3 d。LC₁₀ 和 LC₃₀ 处理组的化蛹率均显著被抑制 ($P<0.05$), 分别为对照的 75%和 65%; LC₁₀ 和 LC₃₀ 处理组的羽化率均显著被抑制 ($P<0.05$), 分别为对照的 77%和 66%。LC₁₀

与 LC₃₀ 处理组相比, 仅幼虫历期和化蛹率差异显著 ($P<0.05$)。

6 龄幼虫处理组的发育历期及变态情况见表 6。与对照相比, LC₃₀ 处理组的幼虫历期显著延长 ($P<0.05$), 较对照延长 1.7 d; LC₁₀ 处理组的幼虫历期无显著差异 ($P>0.05$)。LC₁₀ 和 LC₃₀ 处理组的蛹期均显著延长 ($P<0.05$), 分别较对照延长 2.7 d 和 2.4 d。LC₁₀ 和 LC₃₀ 处理组的成虫寿命均显著缩短 ($P<0.05$), 分别较对照缩短 1.7 d 和 2.5 d。LC₁₀ 和 LC₃₀ 处理组幼虫的化蛹率均显著被抑制 ($P<0.05$), 分别仅为对照的 44%和 36%; LC₁₀ 和 LC₃₀ 处理组幼虫的羽化率均显著被抑制 ($P<0.05$), 分别仅为对照的 53%和 33%。LC₁₀ 与 LC₃₀ 处理组相比, 仅羽化率差异显著 ($P<0.05$)。

表 5 阿维菌素亚致死浓度对美国白蛾 5 龄幼虫处理组发育历期及变态的影响
Table 5 Effects of sublethal concentrations of abamectin on the developmental duration and metamorphosis of *Hyphantria cunea* 5th instar larvae treatment group

处理浓度 Treatment concentration	幼虫历期 (d) Larvae period (d)	蛹期 (d) Pupal period (d)	化蛹率 (%) Pupation rate (%)	羽化率 (%) Emergence rate (%)	成虫寿命 (d) Longevity of adult (d)
对照 CK	11.31±0.12 b	9.58±0.22 b	86.70±1.60 a	78.30±3.30 a	10.50±0.28 a
LC ₁₀	11.47±0.12 bA	10.00±0.00 abA	65.00±2.80 bA	60.00±2.80 bA	9.00±0.28 bA
LC ₃₀	13.55±0.29 aB	10.50±0.28 aA	48.30±1.60 cB	51.60±1.60 bA	8.16±0.16 bA

2.5 亚致死浓度阿维菌素对美国白蛾成虫繁殖能力的影响

美国白蛾成虫繁殖情况见表 7。与对照相比, LC₁₀ 和 LC₃₀ 的 4、5 和 6 龄幼虫各处理组的成虫产卵量及卵孵化率均显著被抑制($P<0.05$), LC₁₀ 各处理组的产卵量分别为对照的 86%、80%和

66%; LC₃₀ 各处理组的产卵量分别为对照的 77%、68%和 49%。LC₁₀ 各处理组卵孵化率分别为对照的 82%、66%和 62%; LC₃₀ 各处理组的卵孵化率分别仅为对照的 62%、54%和 45%。LC₁₀ 与 LC₃₀ 各处理组相比, 仅 6 龄幼虫处理组的卵孵化率显著被抑制 ($P<0.05$), 4 龄和 5 龄幼虫处理组无明显差异 ($P>0.05$)。

表 6 阿维菌素亚致死浓度对美国白蛾 6 龄幼虫处理组发育历期及变态的影响
Table 6 Effects of sublethal concentrations of abamectin on the developmental duration and metamorphosis of *Hyphantria cunea* 6th instar larvae treatment group

处理浓度 Treatment concentration	幼虫历期 (d) Larvae period (d)	蛹期 (d) Pupal period (d)	化蛹率 (%) Pupation rate (%)	羽化率 (%) Emergence rate (%)	成虫寿命 (d) Longevity of adult (d)
对照 CK	6.00±0.28 b	10.16±0.16 b	72.60±2.90 a	67.60±2.60 a	10.33±0.44 a
LC ₁₀	6.76±0.14 abA	12.83±0.14 aA	32.00±2.30 bA	35.60±1.40 bA	8.66±0.44 bA
LC ₃₀	7.66±0.44 aA	12.50±0.18 aA	26.30±0.88 bA	22.00±1.70 cB	7.83±0.16 bA

表 7 阿维菌素亚致死浓度对美国白蛾成虫繁殖能力的影响
Table 7 Effects of sublethal concentrations of abamectin on adult reproductive ability of *Hyphantria cunea*

处理浓度 Treatment concentration	4 龄处理组 4th instar treatment group		5 龄处理组 5th instar treatment group		6 龄处理组 6th instar treatment group	
	产卵量 (粒) Fecundity (grains)	卵孵化率 (%) Hatching rate of eggs	产卵量 (粒) Fecundity (grains)	卵孵化率 (%) Hatching rate of eggs	产卵量 (粒) Fecundity (grains)	卵孵化率 (%) Hatching rate of eggs
对照 CK	801±56.82 a	73.40±4.22 a	750±47.25 a	76.20±3.58 a	770±31.56 a	78.20±5.12 b
LC ₁₀	702±60.53 bA	60.20±3.01 bA	602±50.81 bA	50.20±2.15 abA	510±45.23 bA	49.20±3.26 aA
LC ₃₀	622±61.48 bA	45.20±2.31 bA	510±41.23 bA	41.30±3.58 abA	380±40.25 bA	35.40±3.65 bB

3 结论与讨论

杀虫剂施于田间后,随着时间推移,残留量逐渐变为亚致死剂量,部分个体会受到杀虫剂亚致死剂量的胁迫,并对其生长发育及繁殖能力等方面会产生不同程度影响。亚致死效应的研究为药剂合理使用、减少该药剂的副作用提供一定的理论依据。在本研究中,阿维菌素亚致死浓度(LC₁₀和LC₃₀)能够抑制美国白蛾生长发育,使幼虫化蛹率和羽化率显著降低,成虫寿命显著缩短。这与陈洪凡等(2014)及袁敏等(2020)报道杀虫剂亚致死浓度会抑制昆虫生长发育结果相似。

杀虫剂的亚致死浓度不仅会影响昆虫的生长发育,还可以影响其繁殖能力。在本研究中,阿维菌素亚致死浓度(LC₁₀和LC₃₀)能够降低美国白蛾繁殖能力,使成虫产卵量和卵孵化率显著降低。这与游灵等(2013)及胡桂萍等(2016)报道杀虫剂亚致死浓度能够抑制昆虫繁殖能力,使其产卵量显著降低结果一致。但是也有研究发现,亚致死浓度药剂能够刺激昆虫生殖。如徐学农等(1998)用亚致死浓度唑螨酯处理山楂叶螨

*Tetranychus viennensis*后,雌成螨的平均产卵量明显增加;Fujiwara等(2002)用亚致死剂量氰戊菊酯处理小菜蛾后,小菜蛾单雌产卵量增加。此外,谢佳燕等(2022)发现,吡虫啉亚致死剂量对麦二叉蚜亲代(F₀)生殖力起抑制作用,但是随着世代数增加,生殖力逐渐恢复,产蚜总数随着世代数的增加而增多。说明亚致死浓度杀虫剂对昆虫的影响与杀虫剂种类、昆虫种类不同而有所差异,以及同一昆虫因测量代数不同而导致昆虫生殖力产生不同的影响。

综上所述,阿维菌素亚致死浓度(LC₁₀和LC₃₀)能够抑制美国白蛾生长发育和繁殖能力,在此研究基础上,可以进一步开展生理生化及分子机理的研究,以便明确阿维菌素亚致死浓度对美国白蛾的作用机制,为防治美国白蛾提供更充分的理论依据。

参考文献 (References)

Chen HF, Chen Q, Huang SJ, 2014. Influences of sublethal concentration of metaflumizone on growth, development and fecundity of *Plutella xylostella*. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 26(8): 46–48, 52. [陈洪凡, 陈琼, 黄水金, 2014. 亚致死浓度氰氟虫腙对小菜蛾生长发育及繁殖的影响. 江西农业学报, 26(8):

- 46–48, 52.]
- Fujiwara Y, Takahashi T, Yoshioka T, 2002. Changes in egg size of the diamondback moth *Plutella xylostella* treated with fenvalerate at sublethal doses and viability of the eggs. *Applied Entomology and Zoology*, 37(1): 103–109.
- Geng YS, Zhao XD, Han YY, Qiao H, Hao DJ, 2022. Effects of host switch on the development and digestive enzyme activities of *Hyphantria cunea* (Lepidoptera: Erebidae) larvae. *Acta Entomologica Sinica*, 65(3): 312–321. [耿慧舒, 赵旭东, 韩阳阳, 乔恒, 郝德君, 2022. 寄主转换对美国白蛾幼虫生长发育和消化酶活性的影响. 昆虫学报, 65(3): 312–321.]
- Hu GP, Shi XP, Zhang GB, Zhu YH, Ouyang XL, 2016. Effect of sublethal dose of pyridaben on *Acapylla theae* population. *Journal of Agriculture*, 6(8): 29–32. [胡桂萍, 石旭平, 张国彪, 朱运华, 欧阳雪灵, 2016. 哒螨灵亚致死浓度对茶橙瘿螨种群的影响. 农学学报, 6(8): 29–32.]
- Hui YY, 2021. Damage characteristics and control of *Hyphantria cunea*. *New Agricultural*, 2021(9): 88. [回瀛瀛, 2021. 美国白蛾的危害特点及防控. 新农业, 2021(9): 88.]
- Liu LP, Gao MJ, Yang S, Liu SY, Wu YD, Carrière Y, Yang YH, 2017. Resistance to *Bacillus thuringiensis* toxin Cry2Ab and survival on single-toxin and pyramided cotton in cotton bollworm from China. *Evolutionary Applications*, 10(2): 170–179.
- Liu WR, He ZZ, Gui LY, Shi YF, Zhou RD, Yang X, Jiang ZY, Zhang GH, 2022. Effects of sublethal doses of carbosulfan and abamectin on development of adult *Bactrophila minax*. *Hubei Agricultural Sciences*, 61(12): 51–56. [刘文茹, 何章章, 桂连友, 石永芳, 周仁迪, 杨璇, 姜振宇, 张国辉, 2022. 亚致死剂量的丁硫克百威和阿维菌素对柑橘大实蝇成虫生长发育的影响. 湖北农业科学, 61(12): 51–56.]
- Lu XC, 2021. Occurrence regularity and control measures of *Hyphantria cunea*. *Rural Science and Technology*, 12(23): 103–105. [芦晓春, 2021. 美国白蛾的发生规律及防治措施. 乡村科技, 12(23): 103–105.]
- Pu X, Yang Y H, Wu SW, Wu YD, 2010. Characterisation of abamectin resistance in a field-evolved multiresistant population of *Plutella xylostella*. *Pest Management Science*, 66(4): 371–378.
- Shen DR, He C, Lu Q, Chen XX, Tian XJ, Zhang HR, 2018. Bioactivity and sublethal effects of benzoylurea insecticides against *Bradysia difformis*. *Northern Horticulture*, 2018(18): 42–47. [沈登荣, 何超, 陆谦, 陈潇潇, 田学军, 张宏瑞, 2018. 苯甲酰基脲类杀虫剂对异迟眼蕈蚊的生物活性及亚致死效应. 北方园艺, 2018(18): 42–47.]
- Song YH, Xu MC, Xue YY, Wei JZ, Du MF, Yin XM, Liu XG, An SH, 2021. Effects of sublethal concentration of spinosad on the metabolism and physiology of cotton bollworm *Helicoverpa armigera*. *Journal of Plant Protection*, 48(5): 1156–1163. [宋永辉, 徐梦超, 薛玉莹, 魏纪珍, 杜孟芳, 尹新明, 刘晓光, 安世恒, 2021. 多杀霉素亚致死浓度对棉铃虫幼虫生理及代谢的影响. 植物保护学报, 48(5): 1156–1163.]
- Xie JY, Wu C, Lin J, Li R, Cai GH, 2022. Sublethal effects imidacloprid on the survival and reproduction of *Schizaphis graminum* (Rondani). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(1): 172–178. [谢佳燕, 吴聪, 林佳, 李睿, 蔡光华, 2022. 亚致死剂量吡虫啉对麦二叉蚜生存和繁殖的影响. 应用昆虫学报, 59(1): 172–178.]
- Xu XN, Wang G, Gao SP, 1998. Effects of sublethal concentration of fenpyroximate on reproduction of *Tetranychus viennensis*. *Anhui Agric. Univ.*, 25(4): 352–355. [徐学农, 王刚, 高仕朋, 1998. 杀螨王的亚致死浓度处理桃叶对山楂叶螨雌成螨生殖的影响. 安徽农业大学学报, 25(4): 352–355.]
- Wang XY, 2004. Sublethal effects of insecticides on insects. *World Pesticide*, 2004(3): 24–27. [王小艺, 2004. 杀虫剂对昆虫的亚致死效应. 世界农药, 2004(3): 24–27.]
- Yang QZ, Zhang YA, 2007. Researches on techniques for biocontrol of the fall webworm, *Hyphantria cunea*, a severe invasive insect pest to China. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(4): 465–471, 622. [杨忠岐, 张永安, 2007. 重大外来入侵害虫——美国白蛾生物防治技术研究. 昆虫知识, 44(4): 465–471, 622.]
- Yang Z, Wei J, Wang X, 2006. Mass rearing and augmentative releases of the native parasitoid *Chouioia cunea* for biological control of the introduced fall webworm *Hyphantria cunea* in China. *BioControl*, 51(4): 401–418.
- You L, Wang GL, Tian SR, Wei HY, 2013. Sublethal effects of four low-toxicity insecticides on the development and reproduction of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Plant Protection*, 40(6): 551–556. [游灵, 王广利, 田生荣, 魏洪义, 2013. 四种低毒杀虫剂对小菜蛾生长发育及繁殖的亚致死效应. 植物保护学报, 40(6): 551–556.]
- Yuan M, Wei ZY, Yang H, Ou HD, Yang MF, Jin X, 2020. Effects of sublethal concentration of deltamethrin on biological characteristics of *Ephestia elutella*. *Journal of Environmental Entomology*, 42(2): 459–470. [袁敏, 韦治艳, 杨洪, 欧后丁, 杨茂发, 金鑫, 2020. 溴氰菊酯亚致死浓度对烟草粉螟生物学特性的影响. 环境昆虫学报, 42(2): 459–470.]
- Zhang GX, 2016. Experimental study on the mixture of abamectin and diflubenzuron against *Hyphantria cunea*. *Inner Mongolia Forestry Investigation and Design*, 39(2): 91–93. [张贵学, 2016. 阿维菌素与除虫脲混配防治美国白蛾试验研究. 内蒙古林业调查设计, 39(2): 91–93.]
- Zhang S, Ma Y, Min H, Yu XQ, Rui CH, Gao XW, 2016. Insecticide resistance monitoring and management demonstration of major insect pests in the main cotton-growing areas of northern China. *Acta Entomologica Sinica*, 59(11): 1238–1245. [张帅, 马艳, 闵红, 于晓庆, 李娜, 芮昌辉, 高希武, 2016. 华北棉区主要害虫抗药性监测与治理技术示范. 昆虫学报, 59(11): 1238–1245.]
- Zhang TS, Zhang QL, Xi YY, Yuan YD, Teng HY, Wang DS, 2013. Sublethal effects of chlorfenvinazuron on growth and fecundity of beet armyworm (*Spodoptera exigua*). *Acta Agriculturae Shanghai*, 29(1): 1–4. [张天澍, 章巧利, 习育艺, 袁永达, 滕海媛, 王冬生, 2013. 氟啶脲对甜菜夜蛾生长发育的亚致死效应. 上海农业学报, 29(1): 1–4.]
- Zhang ZQ, Zhong JW, Han RH, Liu CY, 2014. Sublethal effects of chlorantraniliprole on *Athetis lepigone*. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 27(5): 1949–1952. [张自启, 仲嘉伟, 韩瑞华, 刘长营, 2014. 氯虫苯甲酰胺对二点委夜蛾的亚致死效应研究. 西南农业学报, 27(5): 1949–1952.]
- Zhao YY, Li BL, Li MM, Chu JX, Li YP, 2018. Preliminary research on resistance mechanism of *Mythimna separata* to beta-cypermethrin. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(5): 857–864. [赵玉玉, 李伯辽, 李梅梅, 仵均祥, 李怡萍, 2018. 粘虫对高效氯氰菊酯抗性机制的初步研究. 应用昆虫学报, 55(5): 857–864.]