

亚致死浓度除虫脲对朱砂叶螨 生长和繁殖的影响*

辛天蓉** 练涛 李雪儿 王静 邹志文 夏斌***

(南昌大学生命科学学院, 南昌 330031)

摘要 【目的】除虫脲属于苯甲酰脲类杀虫剂, 本研究旨在探讨亚致死浓度除虫脲对朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* 生长发育和繁殖的影响, 为除虫脲的合理使用提供一定的理论依据。【方法】本文采用叶碟浸渍法测定了除虫脲对朱砂叶螨的毒力, 生命表技术探讨亚致死剂量除虫脲对朱砂叶螨实验种群生长发育和繁殖的影响。【结果】结果表明除虫脲对朱砂叶螨卵的 LC_{50} 、 LC_{30} 、 LC_{10} 分别是 15.825、6.089、1.534 mg/L。和对照组相比, 亚致死剂量 (LC_{10} 和 LC_{30}) 除虫脲处理朱砂叶螨卵后, 幼螨期、前若期、后若期历期无显著差异, 卵期、静息期却显著延长; 卵的孵化率、幼螨存活率、若螨存活率、每雌日均产卵量、平均每雌产卵量、雌螨平均寿命均降低; 各处理组产卵前期显著延长; 产卵期缩短, 其中 LC_{30} 处理组产卵期显著缩短; 各处理组的净生殖率 (R_0) 显著降低, LC_{30} 组最低; 内禀增长率 (r_m)、周限增长率 (λ) 均降低, 而 LC_{30} 组显著降低; 种群倍增时间 (D_t) 延长, 其中 LC_{30} 组显著延长; 平均世代历期 (T)、性比例各处理组均无显著差异。【结论】亚致死剂量 (LC_{10} 和 LC_{30}) 除虫脲能够抑制朱砂叶螨的寿命和繁殖力。

关键词 朱砂叶螨; 除虫脲; 亚致死效应; 生命表; 毒力

Sublethal effects of diflubenzuron on the growth and reproduction of an experimental population of *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) (Acari: Tetranychidae)

XIN Tian-Rong** LIAN Tao LI Xue-Er WANG Jing ZOU Zhi-Wen XIA Bin***

(College of Life Science, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract [Objectives] To evaluate the sublethal effects of diflubenzuron on the development and reproduction of *Tetranychus cinnabarinus*. [Methods] The leaf disc dipping method was used to investigate the sublethal effects of diflubenzuron on the development and reproduction of a laboratory population of *T. cinnabarinus*. [Results] The LC_{50} , LC_{30} and LC_{10} of diflubenzuron on the eggs of *T. cinnabarinus* were 15.825, 6.089 and 1.534 mg/L, respectively. Compared with the control group, treating eggs with a sublethal dose (LC_{10} and LC_{30}) of diflubenzuron did not result in a significant difference in the duration of either the larval period, or that of the protonymph or deutonymph, but the egg period and quiescent duration were significantly prolonged. The hatching rate, larval and the nymph survival rate, number of eggs laid and mean female life span, were all decreased by sublethal exposure to diflubenzuron. The LC_{30} treatment group had a significantly longer pre-oviposition period and significantly shorter oviposition period than the control group. The net reproductive rate (R_0) of all treatment groups was significantly lower than that of the control, with that of the LC_{30} group being the lowest. The intrinsic rate of increase (r_m) and the finite rate of increase (λ) of all three treatment groups decreased, but only that of the LC_{30} group

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金 (NSFC-31760621, 31860601); 江西省自然科学基金 (20181BAB204005); 江西省主要学科学术带头人项目 (20172BCB22004)

**第一作者 First author, E-mail: xintianrong@ncu.edu.cn

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: xiabin9@163.com

收稿日期 Received: 2019-04-16; 接受日期 Accepted: 2019-06-18

decreased significantly. The doubling time (D_t) of the LC_{30} group was significantly prolonged. There was no significant difference in the mean generation time (T) and sex ratio of the treatment groups and that of the control. [Conclusion] Different sublethal concentrations of diflubenzuron have significant inhibitory effects on the longevity and fecundity of *T. cinnabarinus*.

Key words *Tetranychus cinnabarinus*; diflubenzuron; sublethal effects; life table; toxicity

朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) 属于蛛形纲 Arachnida 蜱螨亚纲 Acari 真螨目 Acariformes 叶螨科 Tetranychidae (Krantz and Walter, 2009), 是一种世界性分布的重要植食性害螨; 其寄主非常广泛, 包括棉花、花生、玉米、高粱、豆类和瓜类、蔬菜、果树等多种经济作物和观赏植物 (王慧芙, 1984), 给农业生产造成严重影响。近年来为减轻朱砂叶螨在农业生产方面的为害, 许多学者对朱砂叶螨的生物学、生态学、分子生物学及防治等方面都进行了深入的研究 (Sarwar, 2013; 朱文艺, 2013; 辛天蓉, 2015; 刘佳妮等, 2017)。目前在控制朱砂叶螨为害方面, 化学药剂还是起到重要的作用, 但随着长时间大剂量化学药剂的使用, 朱砂叶螨也对多种杀虫剂产生了不同程度的抗性 (Dennehy *et al.*, 1987), 给农业生产上对该螨的防控带来极大困难。除虫脲 (Diflubenzuron) 属苯甲酰脲类选择性杀虫剂, 被国际杀虫剂抗性行为委员会 (IARC) 列为第 15 类杀虫剂 (苏天运, 2014), 通过抑制昆虫几丁质合成、使幼虫在蜕皮时不能形成新表皮、虫体畸形而死亡 (Cetin *et al.*, 2006)。研究发现 4 种苯甲酰脲类杀虫剂 (氟啶脲、除虫脲、氟铃脲和虱螨脲) 不仅可以直接杀死幼虫, 而且当用各药剂 LC_{30} 剂量处理亚洲玉米螟幼虫后, 能显著抑制其幼虫生长发育和成虫的繁殖力, 从而影响其种群的发育速率 (游灵等, 2012)。据报道它对多种农业害虫具有高效的防治效果 (刘炳荣和钟俊鸿, 2006; 陈军, 2014; 陈红等, 2017)。

杀虫剂在田间施用后, 随时间的推移及杀虫剂的逐步降解等, 会对害虫 (害螨) 的生长发育、繁殖以及抗药性等产生亚致死效应; 亚致死剂量的杀虫剂可能刺激害虫的生殖, 导致害虫的再猖獗, 也可抑制害虫的生长发育和繁殖 (全林发等, 2016)。生命表技术可以从种群水平上分析种群

动态规律, 也能更好地阐明杀虫剂对供试昆虫的亚致死效应 (Levin *et al.*, 1996)。目前国内外尚未见亚致死剂量除虫脲对朱砂叶螨生长和繁殖的影响的报道。本研究通过测定除虫脲对朱砂叶螨的毒力, 确定 LC_{10} 和 LC_{30} 剂量; 然后用 LC_{10} 和 LC_{30} 的除虫脲处理朱砂叶螨后, 利用生命表方法评价其对朱砂叶螨实验种群的亚致死效应, 旨在评价亚致死剂量除虫脲对朱砂叶螨生长发育和繁殖的影响, 为朱砂叶螨的综合防治及除虫脲的合理应用提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

供试虫源: 朱砂叶螨于 2010 年采自江西省东乡县木薯种植基地, 在实验室用芸豆苗饲养繁殖, 饲养期间未接触任何药剂。饲养条件为温度 (25 ± 1)^oC, 相对湿度 70% 左右, 光周期 L:D=14:10。

纸膜水生饲养台: 在直径 15 cm 培养皿中放入大小一致的圆形海绵, 加入蒸馏水使其浸透海绵, 再在海绵上平铺同样大小圆形的滤纸, 将洗净并镜检过的鸡冠刺桐 *Erythrina cristagalli* 新鲜叶片背面朝上铺放在圆形滤纸上铺平, 叶柄用湿棉球包裹, 再在叶片上铺 2 张圆形滤纸, 加入蒸馏水使其浸透滤纸, 在滤纸与叶片重叠处用解剖刀在滤纸上划 4 cm×4 cm 或 2 cm×2 cm 的小方框 (尽量不要伤到叶片), 再用镊子将小方框中的纸片扣掉, 做好后将多余的水倒掉, 用吸水纸将叶片背面的水吸干, 每天加一到两次的蒸馏水, 使滤纸维持在一个相应的湿度以防止叶螨逃逸。

供试药剂及来源: 除虫脲 Diflubenzuron, 分子式为 $C_{14}H_9ClF_2N_2O_2$, 化学名为 1-(4-氯苯基)-3-(2,6-二氟苯甲酰基)脲, Sigma 公司产品, 纯度大于 99%。

1.2 除虫脲对朱砂叶螨卵亚致死浓度的测定

准确称取 1.0 mg 除虫脲, 放入 1.5 mL 灭过菌的离心管中, 然后用 1 mL 丙酮溶解(振荡使其充分混匀), 配置成 1 mg/mL 的母液, 备用。用双蒸水配制成 1.0、10、20、40、60、80、100 mg/L 的 7 个不同的浓度梯度的药液。

参照 Keena 等 (1996) 和朱丽梅等 (2001) 的叶碟浸渍法并加以改进。在每个纸膜水生饲养台 (4 cm×4 cm) 的叶片上挑入 20 头 3-5 日龄雌成螨, 让其自然产卵, 6 h 后挑去雌成螨, 在双目解剖镜下观察, 保留每个叶片上的卵为 60 粒左右。将带有卵的叶片轻轻浸入药液中, 约 5 s 后取出, 用吸水纸吸干多余药液, 置于温度 (25±1) °C, L:D=14:10, 相对湿度 80% 左右的光照培养箱中。每 12 h 在显微镜下观察卵的孵化情况, 以卵孵化并发育至幼螨阶段为判断卵孵化的基准, 统计成活的幼螨数量并及时转移幼螨。以浸渍蒸馏水作为对照, 以对照组卵孵化率在 90% 以上为有效实验, 每浓度重复测定 6 次。采用贾春生等 (2006) 机率值分析法求出毒力回归方程、半数致死浓度 LC₅₀、95% 置信区间、卡平方值、相关系数等。

1.3 除虫脲对朱砂叶螨卵的亚致死效应

按照 1.2 的方法获得除虫脲的 LC₁₀ 和 LC₃₀ 剂量处理的卵。待卵孵化后, 立即将幼螨转入新的纸膜水生饲养台 (2 cm×2 cm) 上放入人工气候箱中进行单头饲养, 每隔一个星期换一次叶片, 每天加 1-2 次水保持纸膜湿润, 每隔 12 h 观察一次, 每一处理观察不少于 120 头幼螨, 并记录其生长发育情况。待羽化成成螨后, 雌螨单个饲养, 并挑雄螨与其配对, 每 24 h 记录一次

雌螨的存活及产卵数, 直至所有雌成螨全部死亡为止。以清水处理作为对照。

1.4 数据处理与分析

根据 Birch (1948) 和丁岩钦 (1994) 实验种群生命表的方法, 计算各项繁殖期参数。计算公式分别为:

$$R_0 = \sum l_x m_x ; DT = \frac{\sum l_x m_x x}{R_0} ; r_m = \frac{\ln R_0}{T} ;$$

$$\lambda = e^{r_m} ; D_t = \frac{\ln 2}{r_m} .$$

R_0 : 净增殖率; T : 平均世代历期; r_m : 种群内禀增长力; λ : 周限增长率; D_t : 种群加倍时间。

所有数据处理分析均用 SPSS 22.0 统计软件进行, 拟合毒力回归方程并计算相关系数、致死中浓度 (LC₅₀) 及 95% 置信区间等。采用单因素方差分析显著性差异, Duncan 氏新复极差测验进行多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 除虫脲对朱砂叶螨卵的亚致死剂量

根据室内生物测定的结果, 计算得到除虫脲对朱砂叶螨卵的致死中浓度和亚致死浓度见表 1。结果表明, 除虫脲对朱砂叶螨卵的 LC₅₀、LC₃₀、LC₁₀ 分别是 15.825、6.089、1.534 mg/L。

2.2 亚致死剂量除虫脲对朱砂叶螨存活率及产卵率的影响

分别用亚致死浓度 LC₁₀ 和 LC₃₀ 除虫脲处理朱砂叶螨卵后, 其卵孵化率、幼螨存活率、若螨存活率、每雌日产卵量、平均每雌产卵量、雌螨平均寿命均降低 (表 2)。与对照相比, LC₁₀ 和

表 1 除虫脲对朱砂叶螨卵的致死中浓度和亚致死浓度

Table 1 Median lethal concentration and sublethal dosage of diflubenzuron to *Tetranychus cinnabarinus* eggs

螨态 Developmental stages	毒力回归方程 LC-P equation	相关系数 Correlation coefficient R	卡方值 χ^2	LC ₅₀ (mg/L) (95% CL)	LC ₃₀ (mg/L) (95% CL)	LC ₁₀ (mg/L) (95% CL)
卵 Egg	$y = -1.516 + 1.264x$	0.926	6.242	15.825 (11.895-19.855)	6.089 (3.734-8.534)	1.534 (0.662-2.671)

表 2 亚致死剂量除虫脲处理朱砂叶螨卵后其孵化率、幼螨和若螨存活率的影响
Table 2 Effect of sublethal concentrations of diflubenzuron on egg hatchability, survival rate of larval and nymphal of *Tetranychus cinnabarinus* after treatments with eggs

阶段 Stages	处理 Treatments					
	<i>n</i>	CK	<i>n</i>	LC ₁₀	<i>n</i>	LC ₃₀
卵的孵化率 Egg hatchability (%)	139	97.34±1.23 ^a	129	90.82±2.13 ^a	110	76.75±2.64 ^b
幼螨存活率 Survival rate of larvae (%)	136	95.27±1.23 ^a	124	87.26±2.63 ^b	105	73.54±4.02 ^c
前若螨存活率 Survival rate of protonymph (%)	132	91.90±1.79 ^a	123	86.19±2.29 ^b	97	69.31±1.23 ^b
后若螨存活率 Survival rate of deutonymph (%)	130	90.93±1.19 ^a	122	85.90±2.21 ^a	90	62.85±3.28 ^b

LC₃₀ 处理组卵孵化率分别降低 6.70%和 21.15%，幼螨存活率分别降低 8.41%和 19.44%，若螨存活率分别降低 5.53%和 30.88%，每雌日产卵量分别降低 30.21%和 38.75%，平均每雌产卵量分别降低 23.59%和 31.26%，雌螨平均寿命分别降低 8.22%和 16.35%。

2.3 亚致死剂量除虫脲对朱砂叶螨发育历期的影响

朱砂叶螨卵经过除虫脲亚致死浓度处理后，对其种群发育历期影响的结果见表 3。根据表 3 可知，随着浓度的增加，与对照相比，除虫脲 LC₁₀ 和 LC₃₀ 处理组，其种群卵期显著延长 ($F=47.12$; $P=0.00<0.05$)，分别延长了 10.89%和

11.14%，但两处理组间未见差异 ($P>0.05$)；产卵前期明显延长 ($F=12.11$, $P=0.00<0.05$)，分别延长 18.03%和 32.79%，但两处理组间没有差异 ($P>0.05$)；LC₁₀ 组产卵期虽有缩短，但差异不显著 ($P>0.05$)，LC₃₀ 组产卵期明显缩短 ($F=11.08$, $P=0.00<0.05$)，且缩短了 33.68%；幼螨期 ($F=8.96$, $P=0.00<0.05$) 前若期 ($F=13.05$, $P=0.00<0.05$) 后若期 ($F=14.04$, $P=0.00<0.05$) 这三个阶段的延长主要是其静息期的显著延长 ($P<0.05$)，幼螨期的静息期分别延长 22.89%和 27.71%、前若期的静息期分别延长 16.85%和 37.84%、后若期的静息期分别延长 11.63%和 24.42%，而这三个阶段的活动期未见显著差异 ($P>0.05$)。

表 3 亚致死剂量除虫脲处理朱砂叶螨卵后对其产卵量及雌螨平均寿命的影响
Table 3 Effect of sublethal concentrations of diflubenzuron on fecundity and longevity of female adult of *Tetranychus cinnabarinus* after treatments with eggs

阶段 Stages	处理 Treatments		
	CK	LC ₁₀	LC ₃₀
产卵前期 (d) Preoviposition	1.22±0.05 ^a	1.44±0.05 ^b	1.62±0.07 ^b
产卵期 (d) Oviposition duration	12.59±0.61 ^a	10.90±0.68 ^a	8.35±0.63 ^b
每雌日产卵量 (粒/d) Number of laid eggs per female everyday	4.80±0.29 ^a	3.35±0.22 ^b	2.94±0.28 ^b
平均每雌产卵量 (粒) Number of laid eggs per female	55.03±5.01 ^a	42.05±2.85 ^b	37.83±2.29 ^b
雌螨平均寿命 (d) Female adult longevity	25.07±0.64 ^a	23.01±0.67 ^{ab}	20.97±0.65 ^b
实验螨数 (头) Number of experimental mites	115	79	46

表中数据为平均值±标准误；同一列数据后标有不同的字母表示 Duncan 氏检验差异显著 ($P<0.05$)。下表同。
Values in the table are mean ± SE, and followed by different letters within the same column are significantly different ($P<0.05$) (Duncan's new multiple range test). The same below.

2.4 除虫脲亚致死剂量对朱砂叶螨繁殖的影响

与对照组相比,除虫脲两个亚致死剂量处理朱砂叶螨卵后,各处理组的净生殖率(R_0)显著降低($F=20.38, P=0.002<0.05$), LC_{30} 最小;内禀增长率(r_m)、周限增长率(λ)各处理组均降低,但 LC_{10} 组与对照相比未见显著差异($P>0.05$),

而 LC_{30} 组的 r_m ($F=6.53; P=0.031<0.05$) 和 λ ($F=6.58; P=0.030<0.05$) 与对照相比,差异性显著 ($P<0.05$); 种群加倍时间 (D_t), LC_{30} 组显著延长 ($F=5.59, P=0.043<0.05$), LC_{10} 组未见显著差异 ($P>0.05$); 平均世代历期 (T)、雌性比例各处理组均未见显著差异 ($P>0.05$).

表 4 除虫脲亚致死剂量处理朱砂叶螨卵后对其发育历期的影响
Table 4 Effect of sublethal concentrations of diflubenzuron on developmental duration of *Tetranychus cinnabarinus* after treatments with eggs

阶段 Stages	处理 Treatments		
	CK	LC_{10}	LC_{30}
卵期 (d) Egg period	3.95±0.03 ^a	4.38±0.04 ^b	4.39±0.05 ^b
幼螨期 (d) Larval period	1.67±0.04 ^a	1.58±0.04 ^a	1.65±0.05 ^a
第一静息期 First quiescent stage	0.83±0.03 ^a	1.02±0.05 ^b	1.06±0.05 ^b
前若期 (d) Protonymph period	1.19±0.03 ^a	1.12±0.04 ^a	1.12±0.06 ^a
第二静息期 Second quiescent stage	0.74±0.02 ^a	0.89±0.04 ^b	1.02±0.05 ^b
后若期 (d) Deutonymph period	1.24±0.03 ^a	1.26±0.03 ^a	1.26±0.05 ^a
第三静息期 Third quiescent stage	0.86±0.02 ^a	0.96±0.03 ^a	1.07±0.04 ^b
实验螨数 (头) Number of experimental mites	115	79	46

表 5 除虫脲亚致死剂量处理朱砂叶螨后的种群繁殖参数
Table 5 Effect of sublethal concentrations of diflubenzuron on life table parameters of *Tetranychus cinnabarinus* after treatments with eggs

处理 Treatment	净增值率 R_0 Net reproductive rate	内禀增长率 r_m In trisicrate of increase	周限增长率 λ Finite rate of increase	平均世代历期 T Mean generation time	种群加倍时间 D_t Doubling time	雌性比例 [♀/(♀+♂)] (%) Female rate
CK	54.52±0.74 ^a	0.22±0.01 ^a	1.25±0.01 ^a	18.03±0.51 ^a	3.13±0.09 ^a	83.89±0.14 ^a
LC_{10}	38.30±4.51 ^b	0.19±0.01 ^{ab}	1.21±0.01 ^{ab}	18.67±0.44 ^a	3.57±0.12 ^{ab}	81.13±0.07 ^a
LC_{30}	24.76±3.44 ^c	0.17±0.02 ^b	1.18±0.02 ^b	19.23±1.06 ^a	4.21±0.36 ^b	79.63±0.05 ^a

2.5 除虫脲亚致死剂量对朱砂叶螨雌成螨存活和日均产雌数的影响

除虫脲两个亚致死浓度 LC_{10} 、 LC_{30} 处理朱砂叶螨卵后,其雌成螨存活率曲线如图 1,与对照相比,两个亚致死浓度的雌成螨存活率均低于对照。 LC_{30} 处理组,1-10 d 存活率与对照一致,之后存活率就开始下降; LC_{10} 处理组,1-12 d 存活率与对照一致,以后存活率就逐渐下降。

除虫脲两个亚致死浓度 LC_{10} 、 LC_{30} 处理朱

砂叶螨卵后,其平均每雌日产雌数曲线如图 2 所示,两个处理的平均每雌日产雌数曲线都低于对照组, LC_{10} 只有一个高峰期在 19-24 d 和 LC_{30} 有两个高峰期分别在 19-21 d 和 32-33 d。

3 讨论

除虫脲是一种特异性低毒杀虫剂,属苯甲酰胺类杀虫剂,对害虫具有胃毒和触杀作用,通过抑制昆虫几丁质合成、使幼虫在蜕皮时不能形成

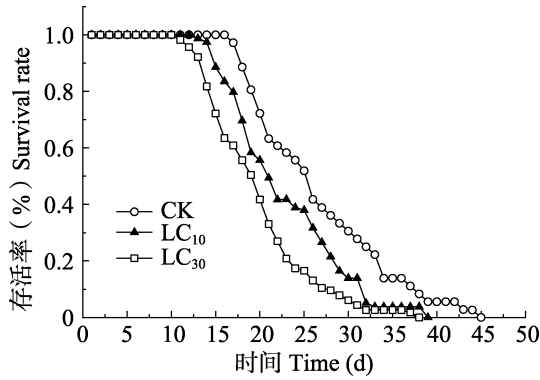


图 1 亚致死浓度除虫脲处理朱砂叶螨卵后对其雌成螨存活率的影响

Fig. 1 Effect of sublethal concentrations of diflubenzuron on the survival rate of adult female *Tetranychus cinnabarinus* after treatments with eggs

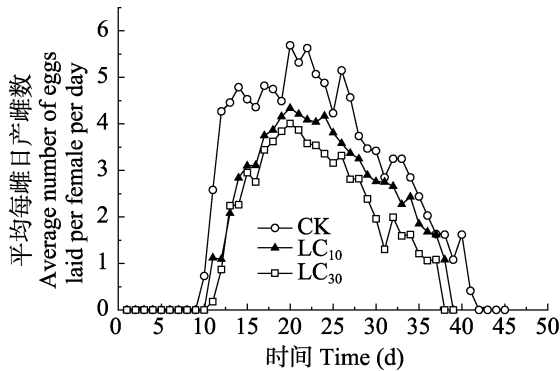


图 2 除虫脲亚致死浓度处理朱砂叶螨卵对其平均每雌日产雌数的影响

Fig. 2 Effect of sublethal concentrations of diflubenzuron on the average number of eggs laid per female per day of *Tetranychus cinnabarinus* after treatments with eggs

新表皮、虫体成畸形而死亡 (Cetin *et al.*, 2006)。本文中除虫脲对昆虫的卵期、幼螨期、若螨期和产卵前期具有显著的抑制作用,从而延长其发育历期,这一结果与其他亚致死研究中药剂亚致死剂量能显著延长昆虫的发育历期的结果相同 (Kumar and Chapman, 2010)。有研究表明用不同浓度的除虫脲处理朱砂叶螨的卵、幼螨、若螨和雌成螨,发现除虫脲能使各螨态体内几丁质的含量降低,并推测可能的原因是除虫脲进入朱砂叶螨体内后,使得不同螨态几丁质不能有效合成,导致它们无法完成正常的蜕皮变态和生长发育而死亡 (辛天蓉, 2015)。本研究一部分幼螨和若螨在静息期难以蜕皮或死在静息期,这一现

象也支持了上述观点。Stark 和 Banken (2010) 及 Fujiwara 等 (2002) 研究发现药剂的亚致死剂量对害虫的整个发育阶段的影响是不一样的,可能对某一发育阶段造成一定的刺激作用,而对另一个发育阶段起到抑制作用,处理不同发育阶段的害虫,杀虫剂的亚致死剂量对种群的增长影响也不同。

通过生命表参数全面评价药剂对朱砂叶螨种群繁殖的影响,其中推测种群增长或下降的重要参数是内禀增长率 (r_m) (Stark *et al.*, 1997)。研究发现用四螨嗪的亚致死剂量 LC_{50} 、 LC_{25} 处理山楂叶螨,可使 (r_m) 由 0.173 降低至 0.149-0.154 (李定旭等, 2006); Yin 等 (2008) 用所杀菌素 (LC_{25} 、 LC_{50}) 处理小菜蛾,发现种群净生殖率 (R_0)、内禀增长率 (r_m)、周限增长率 (λ)、总生殖率 (GRR) 显著低于对照组;用阿维菌素和哒螨灵亚致死剂量处理土耳其斯坦叶螨卵后,发现内禀增长率 (r_m) 由 0.32 降低至 0.11-0.22,净生殖率 (R_0) 降低,平均世代历期 (T) 和周限增长率 (λ) 降低,而种群加倍时间 (D_t) 增长 (谷清义等, 2010);用亚致死浓度毒死蜱处理小麦禾谷缢管蚜, LC_{30} 浓度毒死蜱处理使小麦禾谷缢管蚜的净增殖率 (R_0) 比对照降低了 34.71%,使种群加倍时间 (t) 比对照延长了 17.37% (谢桂英等, 2014);用杀螨剂“克螨特”亚致死剂量 (60.83 mg/L) 处理朱砂叶螨成螨后,成螨寿命降低,雌螨总产卵量显著低于对照组;处理组内禀增长率 (r_m) 也显著低于对照组 (陶士强等, 2006)。在本研究中,除虫脲处理朱砂叶螨卵后,种群的净生殖率和内禀增长率都降低,雌性比例也呈现下降趋势,这说明除虫脲能有效抑制朱砂叶螨种群增长速率,这一结果与上述研究结果类似。

除虫脲亚致死剂量处理朱砂叶螨卵后,种群的存活率和平均每雌每日产雌数都低于对照组,该结果与 Marcic (2003)、陶士强等 (2006) 及谷清义等 (2010) 在亚致死研究中的结果类似。

从本研究结果可知,除虫脲亚致死剂量 LC_{10} 、 LC_{30} 能抑制朱砂叶螨实验种群的发展速率,但随着浓度的降低,这种抑制作用越弱,所

以朱砂叶螨的防治应采取合适浓度，以达到药效。在本研究中只探讨了除虫脲两个亚致死浓度对朱砂叶螨卵的影响，没有对朱砂叶螨其他螨态进行研究，也没有对其进行多代研究，所以，在今后的研究中有必要用除虫脲对朱砂叶螨不同发育阶段进行多代研究。

参考文献 (References)

- Birch LC, 1948. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. *Journal of Animal Ecology*, 17(1): 15–26.
- Cetin H, Yanikoglu A, Cilek JE, 2006. Efficacy of diflubenzuron, a chitin synthesis inhibitor, against *Culex pipiens* larvae in septic tank water. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 22(2): 343.
- Chen H, Wei SL, Chen W, Yang YN, Liang XW, 2017. Field efficacy test of 30% clothianidin and diflubenzuron suspension concentrate control of *Diaphorina citri*. *Agriculture and Technology*, 37(10): 48, 148. [陈红, 魏盛禄, 陈伟, 杨亚男, 梁小文, 2017. 30% 噻虫胺除虫脲悬浮剂防治柑橘木虱的田间药效试验. *农业与技术*, 37(10): 48, 148.]
- Chen J, 2014. Study on the control of *Hyphantria cunea* larvae with 10% avermectin and diflubenzuron. *Forest Pest and Disease*, 33(4): 45. [陈军, 2014. 10% 阿维·除虫脲防治美国白蛾幼虫的试验. *中国森林病虫*, 33(4): 45.]
- Dennehy TJ, Granett J, Leigh TF, Colvin A, 1987. Laboratory and field investigations of spider mite (Acari: Tetranychidae) resistance to the selective acaricide propargite. *Journal of Economic Entomology*, 80(80): 565–574.
- Ding YQ, 1994. *Mathematical Ecology Of Insects*. Beijing: Science Press. 210–220. [丁岩钦, 1994. *昆虫数学生态学*. 210–220. 北京: 科学出版社. 210–220.]
- Fujiwara Y, Takahashi T, Yoshioka T, Nakasuji F, 2002. Changes in egg size of the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) treated with fenvalerate at sublethal doses and viability of the eggs. *Applied Entomology & Zoology*, 37(1): 103–109.
- Gu QY, Chen WB, Wang LJ, Shen J, Zhang JP, 2010. Effects of sublethal dosage of abamectin and pyridaben on life table of laboratory populations of *Tetranychus turkestanii* (Acari:Tetranychidae). *Acta Entomologica Sinica*, 53(8): 876–883. [谷清义, 陈文博, 王利军, 申君, 张建萍, 2010. 阿维菌素和哒螨灵亚致死剂量对土耳其斯坦叶螨实验种群生命表的影响. *昆虫学报*, 53(8): 876–883.]
- Jia CS, 2006. Calculating the LC₅₀ of insecticides with software SPSS. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(3): 414–417. [贾春生, 2006. 利用 SPSS 软件计算杀虫剂的 LC₅₀. *昆虫知识*, 43(3): 414–417.]
- Keena MA, Elizabeth GC, Jeffrey G, 1991. Variability in response of laboratory-reared and field-collected populations of *Tetranychus* spp. (Acari: Tetranychidae) to Hexythiazox. *Journal of Economic Entomology*, 84(4): 1128–1134.
- Krantz GW, Walter DE, 2009. A manual of Acarology (Third Edition). *Florida Entomologist*, 92(3): 526.
- Kumar K, Chapman RB, 2010. Sublethal effects of insecticides on the diamondback moth *Plutella xylostella* (L.). *Pest Management Science*, 15(4): 344–352.
- Levin L, Caswell H, Bridges T, DiBacco C, Cabrera D, Plaia G, 1996. Demographic responses of estuarine polychaetes to pollutants: Life table response experiments. *Ecological Applications*, 6(4): 1295–1313.
- Li DX, Tian J, Shen ZR, 2006. Sublethal effects of selected insecticides on the hawthorn spidermite, *Tetranychus viennensi*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 33(2): 187–192. [李定旭, 田娟, 沈佐锐, 2006. 不同药剂对山楂叶螨的亚致死效应. *植物保护学报*, 33(2): 187–192.]
- Liu BR, Zhong JH, 2006. Research progress of chitin synthesis inhibitors in termite control. *Natural Enemies of Insects*, 28(4): 180–187. [刘炳荣, 钟俊鸿, 2006. 几丁质合成抑制剂在白蚁防治中的研究进展. *昆虫天敌*, 28(4): 180–187.]
- Liu JN, Hu Y, Hu JX, Zhang YF, Chen ZB, Xia TY, 2017. Population dynamics and spatial distribution of *Tetranychus cinnabarinus* and *Tetranychus urticae* on *Dianthus caryophyllus* in Greenhouse. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 30(2): 371–375. [刘佳妮, 胡轶, 胡靖祥, 张永福, 陈泽斌, 夏体渊, 2017. 温室香石竹上朱砂叶螨与二斑叶螨种群动态与空间分布. *西南农业学报*, 30(2): 371–375.]
- Marcic D, 2003. The effects of clofentezine on life-table parameters in two-spotted spider mite *Tetranychus urticae*. *Experimental & Applied Acarology*, 30(4): 249–263.
- Quan LF, Zhang HJ, Sun LN, Li YY, Yan WT, Yue Q, Qiu GS, 2016. Research advances in sublethal effect of pesticide. *Journal of Agriculture*, 6(5): 33–38. [全林发, 张怀江, 孙丽娜, 李艳艳, 闫文涛, 岳强, 仇贵生, 2016. 杀虫剂对害虫的亚致死效应研究进展. *农学学报*, 6(5): 33–38.]
- Sarwar M, 2013. Management of spider mite *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) (Tetranychidae) infestation in cotton by releasing the predatory mite *Neoseiulus pseudolongispinosus* (Xin, Liang and Ke) (Phytoseiidae). *Biological Control*, 65(1): 37–42.
- Stark JD, Banken JA, 1999. Importance of population structure at the time of toxicant exposure. *Ecotoxicology & Environmental Safety*, 42(3): 282–287.
- Stark JD, Tanigoshi L, Bounfour M, Antonelli A, 1997. Reproductive potential: its influence on the susceptibility of a

- species to pesticides. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 37(3): 273–279.
- Su TY, 2014. Resistance development and management in mosquitoes to microbial and insect growth regulator larvicides. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, 25(3): 193–199. [苏天运, 2014. 蚊虫对微生物和昆虫生长调节剂杀幼剂的抗性及其管理. *中国媒介生物学及控制杂志*, 25(3): 193–199.]
- Tao SQ, Wu FA, Cheng JL, 2003. The effect of sublethal dose of propargite on life table parameters of carmine spider mite, *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval. *Science of Sericulture*, 32(3): 411–413. [陶士强, 吴福安, 程嘉翎, 2006. 杀螨剂“克螨特”亚致死剂量对朱砂叶螨实验种群生命参数的影响. *蚕业科学*, 32(3): 411–413.]
- Wang HF, 1984. *Economic Insect Journal of China*(Vol. 23). Acarina, Spider Mites Superfamily. Beijing: Science Press. 121. [王慧英, 1984. *中国经济昆虫志* (第二十三册) 真螨目: 叶螨总科. 北京: 科学出版社. 121.]
- Xie GY, Sun SJ, Zhao YQ, Wu SY, Wu GL, 2014. Sublethal effects of chlorpyrifos on the growth and reproduction of *Rhopalosiphum padi*. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 16(6): 681–686. [谢桂英, 孙淑君, 赵艳芹, 吴少英, 吴国良, 2014. 亚致死浓度毒死蜱对小麦禾谷缢管蚜生长和繁殖的影响. *农药学报*, 16(6): 681–686.]
- Xin TR, 2015. Study on mechanisms of the carmine spider mite, *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) (Acari:tetranychidae) in response to benzoylphenol ureas insecticid stress. Doctor dissertation. Nanchang: Nanchang University. [辛天蓉, 2015. 朱砂叶螨对苯甲酰基脲类杀虫剂胁迫的响应及机制研究. 博士学位论文. 南昌: 南昌大学.]
- Yin XH, Wu QJ, Li XF, Zhang YJ, Xu BY, 2008. Sublethal effects of spinosad on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Crop Protection*, 27(10): 1385–1391.
- You L, Tian SR, Liu W, Wei HY, 2012. Effects of benzoylphenylurea insecticides on the development and reproduction of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(6): 1565–1571. [游灵, 田生荣, 刘伟, 魏洪义, 2012. 苯甲酰脲类杀虫剂对亚洲玉米螟生长发育和繁殖的效用. *应用昆虫学报*, 49(6): 1565–1571.]
- Zhu LM, Ni YP, Huang CX, Cao XU, Cui Q, Hou HM, 2001. Multiple bioassay method to *Tetranychus cinnabarinus*. *Journal of Nanjing Agricultural Technology College*, 17(1): 13–17. [朱丽梅, 倪钰萍, 黄春霞, 曹晓宇, 崔勤, 侯华民, 2001. 螨的综合测试方法的研究. *南京农专学报*, 17(1): 13–17.]
- Zhu WY, 2013. Analysis of insecticide resistance-related genes of the carmine spider mite *Tetranychus cinnabarinus* based on high-throughput sequencing. Master dissertation. Chongqing: Southwest University. [朱文艺, 2013. 基于高通量测序技术的朱砂叶螨抗性相关基因分析. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学.]