

· 研究论文 ·

马拉硫磷亚致死浓度对大豆蚜虫实验种群生理特征和生命表参数的影响

李锦钰, 肖 达, 曲焱焱, 高希武, 宋敦伦*

(中国农业大学 昆虫系, 北京 100193)

摘 要:大豆蚜虫是危害大豆的重要害虫,马拉硫磷作为有效防治大豆蚜虫的杀虫剂之一,不仅可以在致死浓度下直接杀死大豆蚜虫,其在亚致死浓度下还会引起大豆蚜虫生理和行为的改变。分析了马拉硫磷3个亚致死浓度(0.05、0.10和0.20 mg/L)对大豆蚜虫生理特征和生命表参数的影响。结果表明:马拉硫磷在0.20 mg/L下处理大豆蚜虫后,其若蚜的发育历期($7.48 \text{ d} \pm 0.18 \text{ d}$)比对照的($5.78 \text{ d} \pm 0.30 \text{ d}$)显著延长;同时成蚜的生殖期、寿命和全世代周期也分别比对照的缩短了4、6和4 d。在0.10 mg/L处理下,马拉硫磷可刺激大豆蚜虫生殖功能,单头产蚜总量比对照组提高24%;但当浓度增加到0.20 mg/L时,单头产蚜总量却比对照组降低37%。生命表参数结果显示:0.20 mg/L的马拉硫磷可显著降低大豆蚜虫的净增值率(R_0)、内禀增长率(r_m)和周限增长率(λ),但显著增加种群倍增时间(Dt);0.10 mg/L的处理情况则相反;0.05 mg/L处理的各项指标与对照间无显著差异。

关键词:马拉硫磷;亚致死效应;大豆蚜虫;生理特征;生命表参数

DOI:10.3969/j.issn.1008-7303.2014.02.02

中图分类号:TQ450.26 文献标志码:A 文章编号:1008-7303(2014)02-0119-06

Sublethal effects of malathion on biological traits and life table parameters of the soybean aphid, *Aphis glycines* (Matsumura)

LI Jinyu, XIAO Da, QU Yanyan, GAO Xiwu, SONG Dunlun*

(Department of Entomology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: The soybean aphid, *Aphis glycines* is one of the most devastating pests on soybean worldwide. Current management of *A. glycines* relies on insecticides application. The application of malathion has been proposed as an effective strategy to control *A. glycines* in soybean field. Malathion not only kills *A. glycines* at lethal concentration, but also causes various physiological and behavioral changes at sublethal concentration. The effects of three sublethal concentrations of malathion on the biological traits and demographic parameters of *A. glycines* were investigated. After being exposed to 0.20 mg/L malathion, the duration of nymph of *A. glycines* was significantly longer ($7.48 \text{ d} \pm 0.18 \text{ d}$) than that of the control ($5.78 \text{ d} \pm 0.30 \text{ d}$); and the reproductive period, adult longevity and duration of whole life of *A. glycines* decreased significantly, which were 4 d, 6 d and 4 d less than

收稿日期:2014-01-10;修回日期:2014-02-25.

作者简介:李锦钰,女,硕士研究生,E-mail: jinyuxinzi@163.com; *宋敦伦,通信作者(Author for correspondence):男,副教授,主要从事昆虫生理和毒理学研究,E-mail: songdl@cau.edu.cn

基金项目:国家自然科学基金(31272077).

those of the control, respectively. Low concentration (0.10 mg/L) of malathion could stimulate the fecundity, and the total nymphs produced by single aphid increased 24% comparing with that of the control. However, high concentration (0.20 mg/L) of malathion inhibited the fecundity, and the total nymphs produced by single aphid decreased 37% as compared with that of the control. The demographic growth parameters, such as the net reproductive rate (R_0), the intrinsic rate of increase (r_m), and finite rate of increase (λ) of *A. glycines* were significantly lower in the treatment with 0.20 mg/L malathion than those of the control, but the population doubling time (Dt) was significantly longer than that of the control. However, the change of the parameters of *A. glycines* under 0.10 mg/L malathion treatment was opposite to that of 0.20 mg/L malathion treatment. No significant difference of parameters between 0.05 mg/L treatment and control was observed.

Key words: *Aphis glycines*; sublethal effect; malathion; biological traits; life table parameter

大豆蚜虫 *Aphis glycines* (Matsumura) 属于同翅目蚜科, 是危害亚洲大豆种植区的重要害虫^[1], 2000年, 先后侵入北美洲和大洋洲等地, 成为危害当地大豆生产的主要害虫^[2]。大豆蚜虫是一种寡食性、乔迁式昆虫, 寄主植物可分为冬寄主和夏寄主, 每年春季或初夏由越冬寄主鼠李 (buckthorn) 迁移到夏寄主大豆上, 并进行快速繁殖^[3], 以成蚜或若蚜集中在豆株的顶部、嫩叶和嫩茎上刺吸汁液, 从而影响植株的光合作用和营养物质的积累^[4], 同时还可传播大豆花叶病毒造成大豆减产^[5]。

目前生产上对大豆蚜虫的防治主要依靠化学杀虫剂。当杀虫剂施用于田间后, 除了对害虫和天敌有致死作用外, 随着时间的推移以及个体间接触药量的差异, 对部分个体还存在亚致死效应。亚致死效应是指亚致死剂量 (或浓度) 的杀虫剂对存活个体生理和行的影响^[6]。当昆虫个体在接触一定剂量或浓度的药剂后未能被致死而仍有行为活动能力时, 则此剂量或浓度称为亚致死剂量或亚致死浓度^[7]。亚致死效应可影响害虫和天敌的寿命、发育、生殖力以及生命表相关参数^[8]。研究表明, 亚致死浓度的杀虫剂不仅可以减少昆虫的世代周期和生殖力^[9-10], 还有利于那些耐药性强的个体抗药性积累和发展^[11]。此外, 杀虫剂的亚致死效应可以通过对个体行为和生理的改变而影响种群数量变化^[12]。

生命表是了解昆虫种群动态和进行预测预报的有力工具之一, 其显著特点就是可以从整个种群数量变动来评价防治措施的最终效果。其中, 净增值率 (R_0)、周限增长率 (λ)、内禀增长率 (r_m)、平均世代历期 (T) 和种群倍增时间 (Dt) 等是描述种群动态的重要生命表参数, 可敏感地反映出环境细微变化对种群的影响^[8]。马拉硫磷 (malathion) 是一种高

效低毒的有机磷杀虫剂, 进入虫体后可被氧化成毒性更强的马拉氧磷。而进入温血动物体内, 则可被羧酸酯酶水解而失去毒性。目前, 有关马拉硫磷对大豆蚜虫的亚致死效应还未见详细报道。笔者研究了马拉硫磷 3 个亚致死浓度对大豆蚜虫实验种群生理特征以及生命表参数的影响, 以期对杀虫剂的合理使用及大豆蚜虫的综合治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试药剂及虫源

94.3% 马拉硫磷 (malathion) 原药, 购自山东德州恒东农药化工有限公司。

大豆蚜虫于 2006 年 9 月采自河北省廊坊市, 置于光照培养箱中以大豆苗为寄主饲养, 饲养条件 (25 ± 1) °C, 光周期 L:D = 13 d: 11 d, 相对湿度 75%。饲养期间不接触任何药剂。

1.2 试验方法

1.2.1 生物学测定及亚致死浓度的确定 采用 Moores 等^[13] 的叶片药膜法并略有改进。将马拉硫磷用丙酮配制成 1 000 mg/L 的母液, 再用含体积分数为 0.05% Triton X-100 的蒸馏水依次稀释成 5、10、20、40、60 和 80 mg/L 的药液; 将室内水培的大豆叶片 (未接触药剂) 在稀释的药液中浸泡 30 s 后取出, 于阴凉处晾干; 向 12 孔培养板注入 3~5 mm 高的琼脂层 (质量分数 1%) 保湿; 用打孔器将处理好的大豆叶片打成直径为 15 mm 的小圆片, 叶面朝下放入培养板中; 用毛笔将大豆蚜虫接入大豆叶上, 每孔 20 头, 每个浓度重复 3 次, 用透气性良好的宣纸封口, 以防蚜虫逃逸; 将培养板放入培养箱中, 24 h 后检查死亡率, 以毛笔轻触蚜虫, 不能活动的视为死亡。以含体积分数 0.05% Triton X-100 的蒸馏水作对照。

1.2.2 生命表的构建与分析 将马拉硫磷用丙酮配制成1 000 mg/L的母液,再用含体积分数0.05% Triton X-100的蒸馏水梯度稀释为0.05、0.1和0.2 mg/L的药液;将琼脂粉与蒸馏水按 m (琼脂): m (水)=5:800的比例溶解后,分别加入玻璃杯(高50 mm,直径35 mm)中,每杯10 mL;将新鲜的大豆叶片,于稀释的马拉硫磷药液中浸泡30 s后取出,于阴凉处晾干,叶背朝上放于玻璃杯内的琼脂上;用毛笔轻轻挑取大豆蚜虫的成蚜置于大豆叶片上,每片叶5头,用纱布与橡皮筋将玻璃杯封口,放入光照培养箱中,于(25 ± 1)℃、光照周期L:D=13 d:11 d、相对湿度75%条件下培养;24 h后移去成蚜和初孵若蚜,仅留1头初孵若蚜作为试虫,每24 h观察并记录蜕皮次数和产蚜数等,直至蚜虫死亡。每个浓度5次重复,每个重复留15头初孵若蚜。试验期间,每5 d更换1次浸有相同浓度药剂的大豆叶片以保证试虫的营养摄取充足。以含体积分数0.05% Triton X-100的蒸馏水作对照。

生命表分析参照陶士强的方法^[14]:设 x 为以1 d为单位的时间间隔, l_x 表示任何一个个体在 x 期间的存活率, m_x 表示在 x 期间平均每头雌成虫的产蚜数。净增值率(R_0):昆虫经历1个世代所产生的雌性个体数, $R_0 = \sum l_x m_x$;平均世代周期(T):昆虫经历1个世代所需要的平均时间, $T = \sum x l_x m_x / R_0$;内禀增长率(r_m):种群在无限时间、空间、食物等优越条件下的特定瞬时增长率, $r_m = \ln(R_0) / T$;周限增长率(λ):种群在特定条件下,经过单位时间后的增长

倍数, $\lambda = \exp(r_m)$;种群倍增时间(Dt):昆虫种群平均增长1倍所需要的时间, $Dt = \ln(2) / r_m$ 。

1.3 数据统计分析

实验结果采用 POLO 软件 (LeOra Software Inc., Cary, NC) 拟合,计算得到毒力回归直线方程、卡平方和致死中浓度。用亚致死浓度马拉硫磷处理后的大豆蚜虫生理指标参数和生命表参数统计分析应用 ANOVA Tukey's HSD 方法 (Poly Software International, Pearl River, NY, USA)。

2 结果与分析

2.1 生物学测定及亚致死浓度的确定

结果表明:马拉硫磷对大豆蚜虫的致死中浓度(LC₅₀)为24.37 mg/L,95%置信区间为18.08~30.94 mg/L。0.05、0.1和0.2 mg/L的马拉硫磷处理大豆蚜虫24 h后死亡率分别为5.5%、10%和12%,与对照组死亡率(7.3%)均无显著差异($P < 0.05$),可作为该药剂的亚致死浓度用于以下研究。

2.2 马拉硫磷亚致死浓度对大豆蚜虫生理特征的影响

2.2.1 对大豆蚜虫若蚜发育历期的影响 结果(见表1)表明:3个亚致死浓度对大豆蚜虫1龄和4龄若虫的发育历期均无显著影响。但与对照相比,0.2 mg/L的处理显著延长了大豆蚜虫的世代历期以及2龄若虫和3龄若虫的发育历期;0.1 mg/L的处理显著缩短了大豆蚜虫的生殖前期和世代历期;而0.05 mg/L的处理与对照无显著差异。

表1 马拉硫磷亚致死浓度对大豆蚜虫若蚜发育历期的影响

Table 1 Effect of sublethal concentration of malathion on nymph development of *A. glycines*

	一龄若虫 First nymph/d	二龄若虫 Second nymph/d	三龄若虫 Third nymph/d	四龄若虫 Fourth nymph/d	若蚜历期 Duration of nymphs/d	生殖前期 Pre-reproductive period/d	世代历期 Duration of generation/d	
对照 Control/(mg/L)	0	1.98 ± 0.02 a	1.36 ± 0.16 b	1.08 ± 0.05 b	1.36 ± 0.29 a	5.78 ± 0.30 bc	0.58 ± 0.13 a	6.36 ± 0.39 b
亚致死浓度 Sublethal concentration of malathion/(mg/L)	0.05	2.00 ± 0.00 a	1.62 ± 0.11 ab	1.10 ± 0.07 b	1.50 ± 0.13 a	6.22 ± 0.23 b	0.80 ± 0.13 a	7.02 ± 0.17 ab
	0.1	1.96 ± 0.02 a	1.02 ± 0.02 b	1.00 ± 0.00 b	1.00 ± 0.00 a	4.98 ± 0.02 c	0.06 ± 0.04 b	5.04 ± 0.02 c
	0.2	2.06 ± 0.04 a	1.92 ± 0.06 a	1.80 ± 0.08 a	1.70 ± 0.15 a	7.48 ± 0.18 a	0.56 ± 0.09 a	8.04 ± 0.19 a
F值 F value		2.692 3	13.710 5	38.421 1	2.749 3	25.966 0	8.456 1	27.613 4
P值 P value		0.083 4	0.000 1	<0.000 1	0.079 3	<0.000 1	0.001 6	<0.000 1

注:表中数据为5次重复的平均值(每个重复10头蚜虫)。同列中不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Note: The results are presented as the mean and standard errors of five biological replicates (each was carried out ten aphids). Different letters in the same column indicated significant differences ($P < 0.05$).

2.2.2 对大豆蚜虫生殖期和生殖力的影响 与对照(21.39 d ± 0.86 d)相比,0.2 mg/L的处理显著

缩短了大豆蚜虫的成蚜寿命(15.12 d ± 0.77 d)(图1A: $F_{3,16} = 16.64$, $P < 0.000 1$);与对照(16.44 d ±

0.53 d)相比,0.1 mg/L 的处理显著延长了大豆蚜虫的生殖期(18.72 d \pm 0.42 d),而0.2 mg/L 的处理却显著缩短了生殖期(12.46 d \pm 0.78 d)(图 1B: $F_{3,16} = 16.38$, $P < 0.0001$);对于全世代周期相比对照组(27.16 d \pm 0.77 d),0.2 mg/L 的处理显著缩短了大豆蚜虫的全世代周期(22.58 d \pm 0.73 d)(图 1C: $F_{3,16} = 9.42$, $P < 0.001$);用单头产蚜总量和日均单头产蚜量来评价马拉硫磷亚致死浓度对大

豆蚜虫生殖力的影响发现,0.1 mg/L 处理显著增加大豆蚜虫的产蚜总量,比对照组提高了 24%,但当亚致死浓度增加到 0.2 mg/L 时却比对照降低了 37%,差异显著(图 1D: $F_{3,16} = 57.27$, $P < 0.0001$);日均单头产蚜量变化趋势与单头产蚜总量一致(图 1E: $F_{3,16} = 10.81$, $P = 0.0005$)。而 0.05 mg/L 处理的各项指标与对照间均无显著差异。

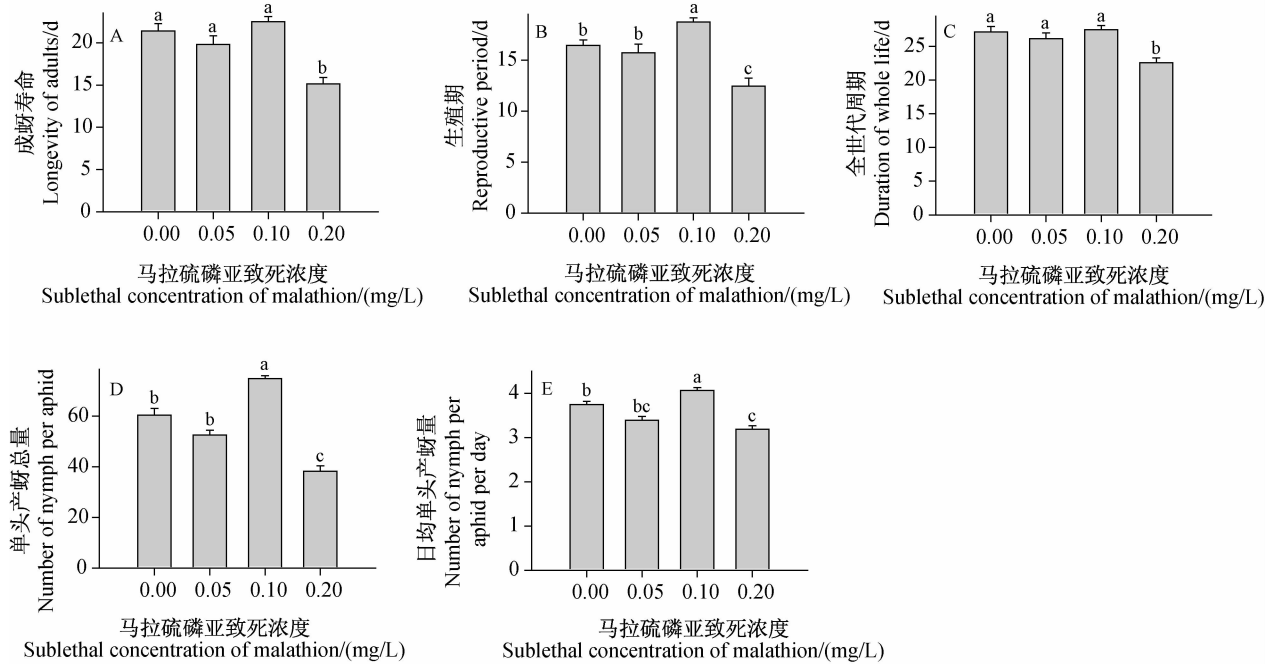


图 1 马拉硫磷亚致死浓度处理对大豆蚜虫生理特征的影响

Fig. 1 Effect of sublethal concentration of malathion on biological traits of *A. glycines*

2.3 马拉硫磷亚致死浓度对大豆蚜虫种群生命表参数的影响

由图 2 可知:与对照组(29.61 \pm 1.30)相比,0.1 mg/L 的马拉硫磷处理后大豆蚜虫种群的净增值率(R_0)显著增加(37.07 \pm 0.29),而0.2 mg/L 处理的 R_0 却显著降低(18.23 \pm 1.88)(图 2A: $F_{3,16} = 45.308$, $P < 0.0001$);相比如对照组(1.28 \pm 0.004),0.1 mg/L 的马拉硫磷显著提高周限增长率(λ)(1.32 \pm 0.007),0.05 和 0.2 mg/L 的处理显著降低了 λ (图 2B: $F_{3,16} = 46.08$, $P < 0.0001$);相比如对照组,0.1 mg/L 处理的种群内禀增长率(r_m)显著增加,0.05 和 0.2 mg/L 的却显著降低(图 2C: $F_{3,16} = 45.63$, $P < 0.0001$)。与对照组相比,3 个亚致死浓度的马拉硫磷对大豆蚜虫种群平均世代周期的影响均不显著,但 0.1 mg/L 的处理显著低于

0.05 mg/L 的(图 2D: $F_{3,16} = 5.744$, $P = 0.0089$)。与对照组(2.76 d \pm 0.038 d)相比,0.1 mg/L 的处理种群倍增时间(Dt)显著缩短(2.47 d \pm 0.050 d),但 0.05 和 0.2 mg/L 的马拉硫磷却显著延长 Dt (图 2E: $F_{3,16} = 55.38$, $P = 0.0001$)。

3 讨论

化学防治是有害生物综合治理的主要措施之一,但随着杀虫剂的广泛应用,害虫再猖獗现象逐渐显露出来。很多研究认为,害虫再猖獗是由于农药处理后其亚致死效应刺激害虫生殖引起的。近年来,关于杀虫剂对生物体的亚致死效应已逐渐成为毒理学研究的热点课题,而且在评价药剂效果时也必须考虑其亚致死效应^[15]。

本研究结果表明,马拉硫磷在 0.1 mg/L 亚致

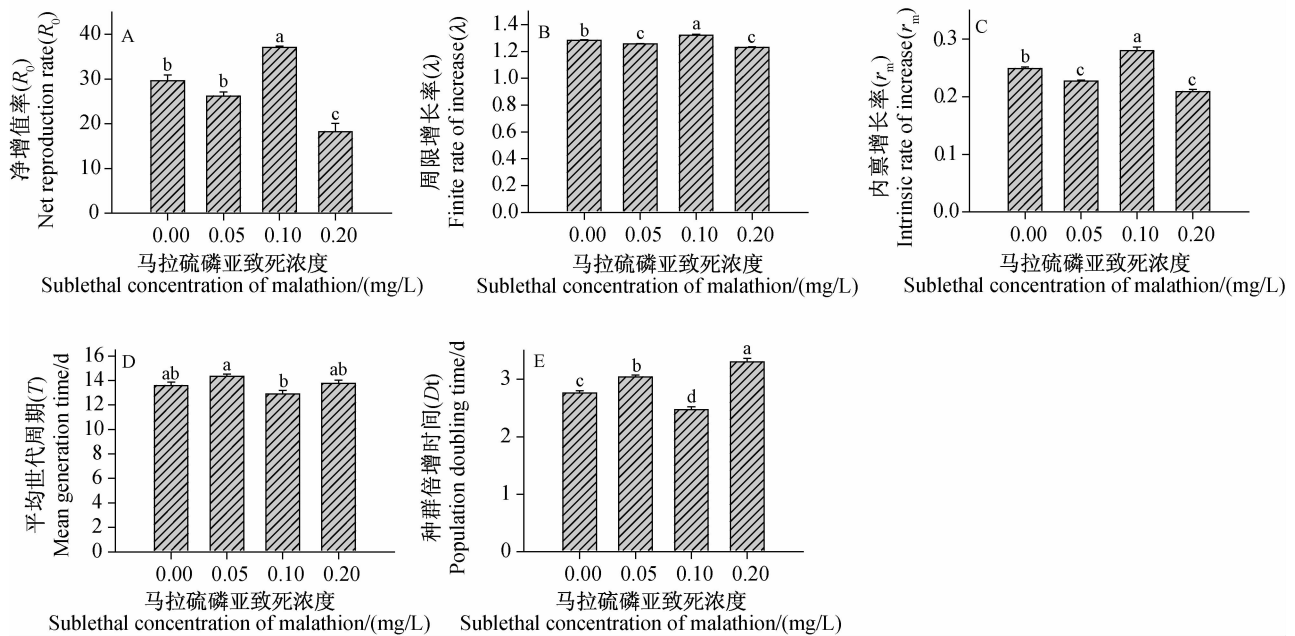


图2 马拉硫磷亚致死浓度处理对大豆蚜虫种群生命表参数的影响

Fig. 2 Effect of sublethal concentration of malathion on life table parameters of *A. glycines*

死浓度下可以刺激大豆蚜虫的增殖,表现为缩短大豆蚜虫的若蚜历期和生殖前期,延长大豆蚜虫生殖期,增加产蚜量。同时生命表参数也显示,净增值率(R_0)、内禀增长率(r_m)和周限增长率(λ)提高,种群倍增时间(Dt)缩短。这种在低剂量药剂作用下刺激生物体增殖的现象叫作毒物兴奋效应(hormesis),这种现象在很多动物对不同药剂的反应中均有报道^[16]。如:当二斑叶螨接触亚致死剂量的吡虫啉后产卵量提高10%~26%^[17];亚致死浓度的吡虫啉可以刺激桃蚜的繁殖^[18]。菊酯类药剂也有类似的现象,如用高效氯氰菊酯LC₁₀处理大豆蚜虫后,其子代产蚜量显著增加^[19];4龄小菜蛾接触亚致死剂量的氰戊菊酯后,其单雌产卵量有所增加^[20];亚致死剂量的三唑磷和氰戊菊酯处理褐飞虱也能显著提高褐飞虱的繁殖力^[10]。可见,亚致死剂量杀虫剂刺激害虫增殖是诱导某些害虫再猖獗的原因之一。亚致死剂量的菊酯类药剂(如溴氰菊酯、氰戊菊酯和氯氰菊酯)可以引起棉蚜的再猖獗现象^[21];小菜蛾连续接触亚致死剂量的多杀菌素会刺激其增殖,增加了小菜蛾种群大爆发的风险^[22]。

亚致死剂量的杀虫剂对害虫生殖力的影响因杀虫剂种类及使用剂量的不同而有所差异。本研究结果表明:与0.1 mg/L的马拉硫磷处理组相反,0.2 mg/L的马拉硫磷处理抑制了大豆蚜虫的增殖,表现为若蚜历期显著增加,成蚜寿命和生殖期显著降低。与此同时,产蚜量显著减少。亚致死剂量的

杀虫剂抑制害虫增殖的现象在其他药剂的研究中也有报道。如:亚致死剂量的吡虫啉可以降低褐飞虱^[10]、白粉虱^[23]、棉蚜^[24]和橘小实蝇^[25]的生殖力;亚致死剂量的氯虫苯甲酰胺可以降低小菜蛾的生殖力^[26]。亚致死剂量的杀虫剂对昆虫生殖力的影响可能与昆虫体内激素失衡有关,关于其抑制害虫增殖的一种解释为激素失调理论,即昆虫体内的激素水平在环境胁迫下会发生变化。神经毒性的杀虫剂在亚致死剂量水平下可通过干扰神经系统影响激素调控进而影响昆虫的繁殖^[27]。某些杀虫剂也可通过阻断害虫取食,引起营养匮乏进而降低其生殖力。

本研究在宏观上揭示了杀虫剂马拉硫磷在特定的亚致死浓度下对大豆蚜虫生殖力的影响,对于其分子机理还有待进一步研究。

参考文献(Reference):

- [1] WU Z S, SCHENK-HAMLIN D, ZHAN W Y, *et al.* The soybean aphid in China: a historical review [J]. *Ann Entomol Soc Am*, 2004, 97(2): 209-218.
- [2] MAGALHAES L C, HUNT T E, SIEGFRIED B D. Development of methods to evaluate susceptibility of soybean aphid to imidacloprid and thiamethoxam at lethal and sublethal concentrations [J]. *Entomol Exp Appl*, 2008, 128(2): 330-336.
- [3] RAGSDALE D W, VOEGTLIN D J, ONEIL R J. Soybean aphid biology in North America [J]. *Ann Entomol Soc Am*,

- 2004, 97(2): 204–208.
- [4] BECKENDORF E A, CATANGUI M A, RIEDELL W E. Soybean aphid feeding injury and soybean yield, yield components, and seed composition [J]. *Agron J*, 2008, 100(2): 237–246.
- [5] BURROWS M E L, BOERBOOM C M, GASKA J M, *et al.* The relationship between *Aphis glycines* and *Soybean mosaic virus* incidence in different pest management systems [J]. *Plant Dis*, 2005, 89(9): 926–934.
- [6] DESNEUX N, DECOURTYE A, DELPUECH J M. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods [J]. *Annu Rev Entomol*, 2007, 52(1): 81–106.
- [7] HAYNES K F. Sublethal effects of neurotoxic insecticides on insect behavior [J]. *Ann Rev Entomol*, 1988, 33(1): 149–168.
- [8] STARK J D, BANKS J E. Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods [J]. *Annu Rev Entomol*, 2003, 48: 505–519.
- [9] DESNEUX N, DENOYELLE R, KAISER L. A multi-step bioassay to assess the effect of the deltamethrin on the parasitic wasp *Aphidius ervi* [J]. *Chemosphere*, 2006, 65(10): 1697–1706.
- [10] BAO H B, LIU S H, GU J H, *et al.* Sublethal effects of four insecticides on the reproduction and wing formation of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* [J]. *Pest Manag Sci*, 2009, 65(2): 170–174.
- [11] 韩文素, 王丽红, 孙姗姗, 等. 杀虫剂对昆虫的亚致死效应的研究进展 [J]. 中国植保导刊, 2011, 31(11): 15–20.
HAN Wensu, WANG Lihong, SUN Huahua, *et al.* Research progress on sublethal effects of insecticides on insect [J]. *China Plant Prot*, 2011, 31(11): 15–20. (in Chinese)
- [12] KERNS D L, STEWART S D. Sublethal effects of insecticides on the intrinsic rate of increase of cotton aphid [J]. *Entomol Exp Appl*, 2000, 94(1): 41–49.
- [13] MOORES G D, GAO X W, DENHOLM I, *et al.* Characterisation of insensitive acetylcholinesterase in insecticide resistant cotton aphids, *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) [J]. *Pestic Biochem Physiol*, 1996, 56(2): 102–110.
- [14] 陶士强, 吴福安. 毒死蜱亚致死剂量对朱砂叶螨实验种群动态的影响 [J]. 应用生态学报, 2006, 17(7): 1351–1353.
TAO Shiqiang, WU Fuan. Sublethal effect of chlorpyrifos on the dynamics of experimental *Tetranychus cinnabarinus* population [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2006, 17(7): 1351–1353. (in Chinese)
- [15] STARK J D, BANK J E. Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods [J]. *Ann Rev Entomol*, 2003, 48: 505–519.
- [16] CALABRESE E J, BALDWIN L A. Hormesis as a biological hypothesis [J]. *Environ Health Perspect*, 1998, 106(Suppl 1): 357–362.
- [17] JAMES D G, PRICE T S. Fecundity in twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) is increased by direct and systemic exposure to imidacloprid [J]. *J Econ Entomol*, 2002, 95(4): 729–732.
- [18] CUTLER G C, RAMANAIDU K, ASTATKIEC T, *et al.* Green peach aphid, *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae), reproduction during exposure to sublethal concentrations of imidacloprid and azadirachtin [J]. *Pest Manag Sci*, 2009, 65(2): 205–209.
- [19] 高君晓, 梁沛, 宋敦伦, 等. 高效氯氰菊酯亚致死剂量对大豆蚜实验种群的影响 [J]. 植物保护学报, 2008, 35(4): 379–380.
GAO Junxiao, LIANG Pei, SONG Dunlun, *et al.* Effects of sublethal concentration of beta-cypermethrin on laboratory population of soybean aphid *Aphis glycines* Matsumura [J]. *Acta Phytophy Sinica*, 2008, 35(4): 379–380. (in Chinese)
- [20] FUJIWARA Y, TAKAHASHI T, YOSHIOKA T, *et al.* Changes in egg size of the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) treated with fenvalerate at sublethal doses and viability of the eggs [J]. *Appl Entomol Zool*, 2002, 37(1): 103–109.
- [21] NANDIHALLI B S, PATIL B V, HUGAR P. Influence of synthetic pyrethroid usage on aphid resurgence in cotton [J]. *Karnataka J Agric Sci*, 1992, 5(3): 234–237.
- [22] YIN X H, WU Q J, LI X F, *et al.* Demographic changes in multigeneration *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) after exposure to sublethal concentrations of spinosad [J]. *J Econ Entomol*, 2009, 102(1): 357–365.
- [23] HE Y X, ZHAO J W, ZHENG Y, *et al.* Assessment of potential sublethal effects of various insecticides on key biological traits of the tobacco whitefly, *Bemisia tabaci* [J]. *Int J Biol Sci*, 2013, 9(3): 246–255.
- [24] GERAMI S, JAHROMI K T, ASHOURI A, *et al.* Sublethal effects of imidacloprid and pymetrozine on the life table parameters of *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) [J]. *Comm Appl Biol Sci*, 2005, 70(4): 779–785.
- [25] BOINA D R, ONAGBOLA E O, SALYANI M, *et al.* Antifeedant and sublethal effects of imidacloprid on Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* [J]. *Pest Manag Sci*, 2009, 65(8): 870–877.
- [26] HAN W S, ZHANG S F, SHEN F Y, *et al.* Residual toxicity and sublethal effects of chlorantraniliprole on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) [J]. *Pest Manag Sci*, 2012, 68(8): 1184–1190.
- [27] LEE C Y. Sublethal effects of insecticides on longevity, fecundity and behaviour of insect pests; a review [J]. *J Bioscience*, 2000, 11: 107–112.

(责任编辑: 曲来娥)