低剂量的氟啶虫胺腈对大豆蚜生长发育和繁殖的影响

王艳祥[1,2]， 尚素琴[1*]， 杨明生[2]

（1. 甘肃农业大学植物保护学院，甘肃农作物病虫害生物防治工程实验室，兰州 730070；
2. 周口师范学院，周口 466000）

摘要 大豆 *Glycine max*（L.）Merr. 种植对我国粮食和经济安全具有重要意义，其中大豆蚜 *Aphis glycines* 是影响其产量和品质的重要因素之一。为明确低剂量氟啶虫胺腈对大豆蚜生物学特性的影响，采用叶片浸渍法测定了氟啶虫胺腈对大豆蚜的 LC_{50}，并研究了氟啶虫胺腈两组低剂量：0.34 mg/L（2% LC_{50}）和 3.44 mg/L（20% LC_{50}）对大豆蚜 F_0 代、F_1 代生长发育和繁殖的影响。结果表明：与对照相比，大豆蚜经氟啶虫胺腈两组低剂量处理后，F_0 代成蚜的寿命和单头产蚜量均分别显著下降 4.2、6.6 d 和 8.9、14.9 头（$P<0.05$），而 F_1 代在 0.34 mg/L 剂量组处理下成蚜的寿命和单头产蚜量差异均不显著（$P>0.05$），3.44 mg/L 剂量组均显著下降 4.6 d 和 12.4 头（$P<0.05$）；F_1 代若蚜期的生长发育与对照相比无显著差异（$P>0.05$）。其种群净生殖率（R_0）、内禀增长率（r_m）、平均世代周期（T）和周限增长率（λ）均降低，种群加倍时间（DT）延长。表明两组低剂量的氟啶虫胺腈处理抑制了 F_0 代和 F_1 代大豆蚜种群的寿命、繁殖力及种群的增殖，具有明显的低剂量效应，且随着剂量的增加其抑制作用更为明显，即存在剂量效应。

关键词 氟啶虫胺腈； 低剂量； 大豆蚜； 生长发育； 繁殖

中图分类号： S 433.3 **文献标识码：** A **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2025024

Effects of low doses of sulfoxaflor on the growth, development and reproduction of *Aphis glycines*

WANG Yanxiang[1,2]， SHANG Suqin[1*]， YANG Mingsheng[2]

（1. *Biocontrol Engineering Laboratory of Crop Diseases and Insect Pests of Gansu Province, College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Lanzhou* 730070, *China*; 2. *Zhoukou Normal University, Zhouko* 466000, *China*）

Abstract Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] plays a vital role in China's food and economic security, and the soybean aphid (*Aphis glycines*) is one of the major pests affecting its yield and quality. To clarify the effect of low doses of sulfoxaflor on the biological characteristics of *A. glycines*, the LC_{50} of sulfoxaflor was determined using the leaf-dipping method. Two sublethal concentrations: 0.34 mg/L (2% LC_{50}) and 3.44 mg/L (20% LC_{50}) were then used to examine their effects on the growth, development and reproduction of *A. glycines* in the F_0 and F_1 generations. The results showed that compared with the control, the adult longevity and fecundity of F_0 aphids were significantly decreased by 4.2 and 6.6 days, and 8.9 and 14.9 nymphs, respectively ($P<0.05$). In the F_1 generation, no significant differences were observed in longevity or fecundity under the 0.34 mg/L treatment ($P>0.05$), whereas both parameters decreased significantly by 4.6 d and 12.4 nymphs at 3.44 mg/L ($P<0.05$). The developmental duration of F_1 nymphs showed no significant difference from the control ($P>0.05$). The population parameters, including net reproductive rate (R_0), intrinsic rate of increase (r_m), mean generation time (T) and finite rate of increase (λ), were all decreased, while the population doubling time (DT) was extended. These results indicate that low doses of sulfoxaflor (0.34 mg/L and 3.44 mg/L) suppress the longevity, fecundity and population growth of *A. glycines* in both F_0 and F_1 generations. Moreover, the inhibitory effects

收稿日期： 2025-01-13 **修订日期：** 2025-01-22
基金项目： 甘肃农业大学学科建设农业昆虫与害虫防治重点团队项目(2023-XKJS-02)
* 通信作者 E-mail:shangsq@gsau.edu.cn

intensified with increasing concentration, revealing a clear dose-dependent relationship.

Key words sulfoxaflor; low-dose; *Aphis glycines*; growth and development; reproduction

大豆 *Glycine max* (L.) Merr. 不仅是我国重要的粮食作物,也是十分重要的油料作物,其种植对我国粮食和经济安全具有重要意义[1]。大豆蚜 *Aphis glycines* 是大豆田间的重要害虫之一,严重影响了大豆的产量和品质。该害虫隶属于半翅目 Hemiptera 蚜科 Aphididae,是典型的 R 类害虫[2]。主要集中在大豆植株顶部及嫩芽、嫩茎等幼嫩部分,以口针刺吸植株汁液,导致叶片皱缩、根系发育不良、节间缩短、结荚数减少等,造成大豆品质和产量下降[3-5],在大豆蚜暴发期,若不及时防治,会导致大豆减产 50%以上[6]。此外,大豆蚜在刺吸为害的同时传播病毒,如:烟草环斑病毒[7]、马铃薯 Y 病毒[8]和大豆花叶病毒[9]等,导致各种植物病毒病害的发生,其分泌的"蜜露"导致煤污病的发生,从而造成更大的危害。

目前,大豆生产中对大豆蚜的防治仍然以化学药剂为主[3,10]。随着化学农药的长期施用,势必会导致大豆蚜抗药性提高[11-14],因此合理选择杀虫剂有助于减缓大豆蚜抗药性的产生。氟啶虫胺腈(sulfoxaflor)是砜亚胺类杀虫剂,具有高效、广谱、安全、快速、残效期长等特点,通过作用于乙酰胆碱受体发挥杀虫作用,作用方式为触杀和胃毒,同时具有内吸传导和渗透作用[15],对大豆、棉花、芦笋及其他作物上的蚜虫具有良好的防治效果[16]。研究表明,氟啶虫胺腈在大豆蚜的防治中取得了良好的防治效果,且与新烟碱类及其他新型杀虫剂无交互抗性[15,17]。

化学药剂在田间会因土壤微生物和环境条件等因素而降解,导致其毒力降低,降低到一定剂量时不会立即引起害虫死亡但能对当代及下一代害虫生长发育及繁殖产生不同程度的影响[18]。不同杀虫剂对害虫的低剂量效应可能不同,主要分两方面,一方面会抑制害虫种群的生长发育及寿命,另一方面则会刺激害虫种群的生长发育造成害虫种群的增殖,导致害虫的再猖獗[19-25]。

因此,明确杀虫剂的低剂量效应在对农药的选择和管理以及害虫的防控中有指导意义。本研究选用氟啶虫胺腈对大豆蚜进行室内毒力测定,并采用两组低剂量研究其对大豆蚜当代(F_0)种群及子一代(F_1)种群生长发育及繁殖力的影响,为氟啶虫胺腈在田间的精准施药、延长其使用寿命,并对大豆蚜的有效防控提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

供试植物:供试大豆品种为'周豆 12 号',由周口师范学院生命科学与农学学院提供。选取籽粒饱满、表皮光滑的种子,种植于上口直径为 10.5 cm、下口直径为 7 cm、高为 7.5 cm 的花盆中,每盆种 10 粒,喷少量的清水,置于温室内。一部分用于大豆蚜的繁殖,另一部分待大豆真叶长出,收集真叶用于毒力测定。

供试虫源:大豆蚜由周口师范学院生命科学与农学学院提供,2020 年采集于黑龙江省黑河市大豆作物上,在实验室内用大豆常年饲养,饲养期间不接触任何药剂。饲养条件为温度(25±1)℃,相对湿度(70±5)%,光周期 L//D=16 h//8 h。

供试药剂及仪器:98%氟啶虫胺腈原药,由广东翁江化学试剂有限公司提供;RGX-600F 人工气候培养箱,上海力辰邦西仪器科技有限公司;AR224CN 电子天平,奥豪斯仪器(上海)有限公司。

1.2　试验方法

1.2.1　氟啶虫胺腈对大豆蚜的室内毒力测定

采用叶片浸渍法[26]对大豆蚜进行室内毒力测定。首先将氟啶虫胺腈原药溶解在丙酮中制备为母液,在预备试验的基础上,将氟啶虫胺腈母液按照等比稀释的方法用含有 0.1% Triton X-100 的蒸馏水溶液分别稀释成 4、8、16、32、64 mg/L 5 个不同浓度梯度的药液备用,并以 0.1% Triton X-100 的蒸馏水溶液作为空白对照,每个处理浓度设置 3 次重复。供试虫体选取生理状态一致的无翅成蚜,选取生长状态新鲜一致且未接触任何药剂的大豆叶片,将大豆叶片浸入不同浓度的药剂溶液中,轻微晃动 15 s 后取出,在温室内自然晾干,每片大豆叶片上接入 30 头成蚜,然后放入 90 mm 的一次性培养皿中,培养皿中放入湿润滤纸来保持叶片的湿度,在培养皿上方扎 10～20 个小孔,并使用封口膜将培养皿外侧密封。将处理过后的试虫放置于温度(25±1)℃,相对湿度(70±5)%,光周期 L//D=16 h//8 h 的人工气候培养箱中。48 h 后在显微镜下观察记录大豆蚜

的死亡情况，用毛笔轻触蚜体，足不动者视为死亡。

1.2.2 两组低剂量氟啶虫胺腈对大豆蚜 F_0 代的影响

根据室内毒力测定所得出的 LC_{50}，设置两个低剂量组（2% LC_{50} 和 20% LC_{50}），并采用此剂量的氟啶虫胺腈分别处理浸渍叶片，以含有 0.1% Triton X-100 的蒸馏水溶液处理作为空白对照。处理方法同 1.2.1。取同一批刚进入成虫期的大豆蚜作为 F_0 代试虫，分别接入浸渍处理的大豆叶片上，48 h 后将存活的大豆蚜挑入含有湿润滤纸的一次性培养皿中，培养皿内放入生长状态一致且未接触药剂的新鲜大豆叶片，进行单头单皿饲养（直径 9 cm），每组处理 30 头成蚜，然后置于人工光照培养箱内饲养（饲养条件同 1.2.1），每隔 24 h 在显微镜下观察记录大豆蚜的存活情况及其产蚜量，每次观察及时将新生若蚜剔除，每隔 2 d 更换一批生长状态一致的新鲜大豆叶片，直至所有供试成蚜死亡。

1.2.3 两组低剂量氟啶虫胺腈对大豆蚜 F_1 代的影响

将 1.2.2 每个处理浓度下 F_0 代所产的同一批新生若蚜作为 F_1 代，将其转移到含有湿润滤纸的一次性培养皿中，培养皿内放入新鲜且未接触药剂的大豆叶片，每个培养皿内（直径9 cm）接入 1 头新生若蚜，每组处理 30 头新生若蚜，然后置于人工光照培养箱内饲养（饲养条件同 1.2.1），每隔 24 h 在显微镜下观察记录若蚜的生长发育情况，及时剔除若蚜的蜕皮以确定若蚜的龄期及其发育历期，待若蚜发育至成蚜期时观察记录产蚜量及其存活情况。每隔 2 d 更换一批新鲜大豆叶片，直至所有供试成蚜死亡。

1.3 数据分析

采用 Excel 和 POLO-Plus 11.0 软件计算得出大豆蚜毒力回归方程、半致死浓度 LC_{50} 及 95% 置信区间，并根据 LC_{50} 计算两个低剂量组。采用 SPSS 27.0 计算分析两组低剂量处理下的 F_0 代和 F_1 代成蚜寿命、单雌产蚜量和 F_1 代若蚜发育历期及各生命表参数并进行单因素方差分析，应用 Duncan's 新复极差法进行差异显著性检验。生命表参数各计算公式如下：逐日存活率＝每日存活虫数/总虫数×100%；净生殖率 $R_0=\sum l_x m_x$；平均世代周期 $T=\sum(xl_xm_x)/R_0$；内禀增长率 $r_m=(\ln R_0)/T$；周限增长率 $\lambda=e^{r_m}$；种群加倍时间 $DT=(\ln 2)/r_m$。式中 x 为时间间隔（d），l_x 表示个体在 x 期间的存活率，m_x 表示个体在 x 期间的平均单雌产蚜量（头）。

2 结果与分析

2.1 氟啶虫胺腈对大豆蚜的室内毒力

叶片浸渍法处理大豆蚜 48 h 后氟啶虫胺腈对大豆蚜的 LC_{50} 为 17.20 mg/L（表 1）。根据 LC_{50} 设置两个低剂量组 0.34 mg/L（2% LC_{50}）和 3.44 mg/L（20% LC_{50}）进行后续试验。

表 1 氟啶虫胺腈对大豆蚜的室内毒力

Table 1 Toxicity of sulfoxaflor to *Aphis glycines* under laboratory condition

斜率±SE Slope±SE	卡方值 χ^2	自由度 df	LC_{50}（95%CL）/（mg/L）
4.07±0.75	3.990 9	3	17.20（11.03～26.83）

2.2 低剂量氟啶虫胺腈对大豆蚜 F_0 代成蚜寿命及繁殖的影响

两组低剂量氟啶虫胺腈处理大豆蚜后其 F_0 代成蚜寿命及繁殖的变化情况见表 2。0.34 mg/L 和 3.44 mg/L 氟啶虫胺腈处理后大豆蚜 F_0 代成蚜的平均寿命分别为 9.2 d 和 6.8 d，与对照组（13.4 d）相比，成蚜寿命显著缩短了 4.2 d 和 6.6 d（$P<0.05$）。F_0 代成蚜的平均单雌产蚜量分别为 20.4 头和 14.4 头，与对照组（29.3 头）相比，其平均单雌产蚜量显著下降了 30.38% 和 50.85%（$P<0.05$）。

表 2 两组低剂量氟啶虫胺腈对大豆蚜 F_0 代寿命及繁殖的影响[1)]

Table 2 Effects of two low doses of sulfoxaflor on the longevity and fecundity of *Aphis glycines* in F_0 generation

药剂浓度/（mg/L） Agent concentration	成蚜寿命/d Longevity of adult aphids	单雌产蚜量/头 Fecundity per female aphid
对照 CK	（13.4±0.6）a	（29.3±1.4）a
0.34	（9.2±0.5）b	（20.4±1.6）b
3.44	（6.8±0.5）c	（14.4±1.6）c

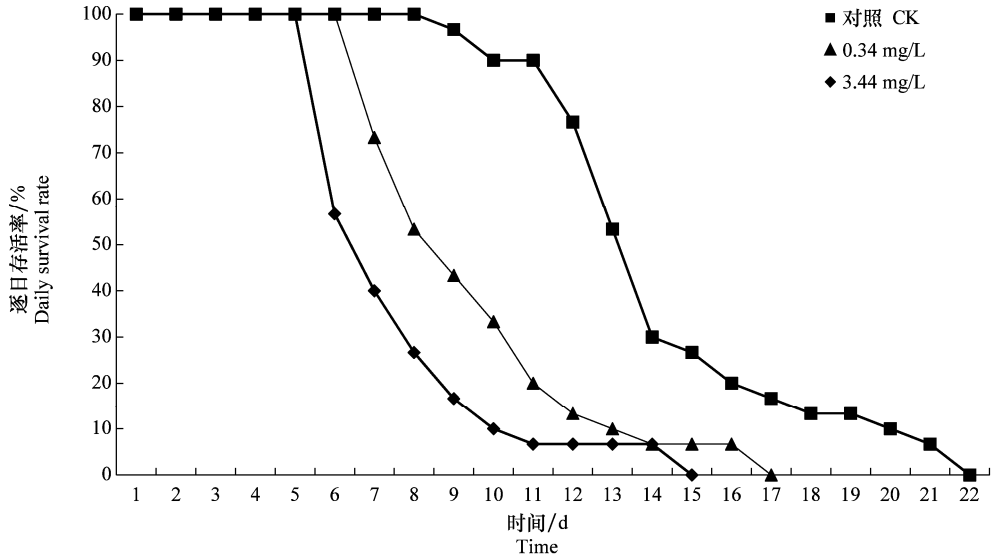
1）表中数值均为平均值±标准误。同列数值后的不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验差异显著（$P<0.05$）。下同。Date in the table are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant differences（$P<0.05$）according to Duncan's new multiple range test. The same applies below.

如图 1 所示，经两种低剂量组氟啶虫胺腈处理后，F_0 代成蚜的逐日存活率与对照相比在第 0～5 天无差异，随后 3 个处理组相继在第 6～8 天呈现下降趋势，与两个低剂量组相比，对照组的下降趋势较

为平缓。0.34 mg/L 和 3.44 mg/L 处理后 F_0 代种群寿命分别为 17 d 和 15 d,均短于对照组的 22 d,且随着剂量的增加其种群寿命随之缩短。大豆蚜的寿命和单雌产蚜量随着亚致死浓度的增加而显著下降,说明两组低剂量氟啶虫胺腈均对大豆蚜 F_0 代成蚜的寿命和单雌产蚜量产生抑制作用,且随着剂量的递增抑制作用越明显。

2.3　低剂量氟啶虫胺腈对大豆蚜 F_1 代若蚜生长发育的影响

两组低剂量氟啶虫胺腈处理对 F_1 代 1 龄和 4 龄若蚜的发育历期无显著影响。2 龄若蚜历期与对照比无显著差异,但 0.34 mg/L 处理后的发育历期相比 3.44 mg/L 处理显著延长了 29.41%($P<0.05$)。与对照相比,氟啶虫胺腈 3.44 mg/L 处理后 3 龄若蚜的发育历期显著延长了 20%($P<0.05$)。两种浓度处理后若蚜期的发育历期与对照相比虽有延长但均无显著差异($P>0.05$)(表 3)。由图 2 可知,氟啶虫胺 0.34 mg/L 和 3.44 mg/L 处理后,F_1 代大豆蚜的逐日存活率在第 0～9 天无差异,随后 3 个处理组相继在第 10 天和第 11 天呈现下降趋势。0.34 mg/L 和 3.44 mg/L 处理后种群的寿命分别为 31 d 和 30 d,均短于对照组的32 d,且随着剂量的增加其种群寿命随之缩短。以上结果表明,氟啶虫胺腈 0.34 mg/L 和 3.44 mg/L 对大豆蚜若蚜期的生长发育均无显著影响,但对成蚜的发育阶段有一定的影响。



0.34 mg/L和3.44 mg/L分别为氟啶虫胺腈对大豆蚜LC_{50}的2%和20%。下同。
The concentrations 0.34 mg/L and 3.44 mg/L were 2% LC_{50} and 20% LC_{50} of sulfoxaflor against *A. glycines*. The same applies below.

图 1　低剂量氟啶虫胺腈对 F_0 代成蚜逐日存活率的影响

Fig. 1　Effect of low doses of sulfoxaflor on the daily survival rate of adult *Aphis glycines* in F_0 generation

表 3　低剂量氟啶虫胺腈对大豆蚜 F_1 代若蚜生长发育的影响

Table 3　Effects of low doses of sulfoxaflor on the growth and development of *Aphis glycines* nymphs in F_1 generation

药剂浓度/(mg/L) Agent concentration	各龄若蚜发育历期/d Developmental duration of each nymphs instar				若蚜期/d Total nymphal period
	1 龄 1st instar	2 龄 2nd instar	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar	
对照　CK	(1.5±0.1)a	(1.4±0.1)ab	(1.2±0.1)b	(1.4±0.1)a	(5.5±0.1)a
0.34	(1.6±0.1)a	(1.7±0.1)a	(1.1±0.1)b	(1.4±0.1)a	(5.9±0.1)a
3.44	(1.6±0.1)a	(1.2±0.1)b	(1.5±0.1)a	(1.2±0.1)a	(5.5±0.1)a

2.4　低剂量氟啶虫胺腈对大豆蚜 F_1 代成蚜寿命及繁殖的影响

两组低剂量氟啶虫胺腈处理大豆蚜后其 F_1 代成蚜寿命及繁殖的变化情况见表 4。F_1 代成蚜的平均寿命分别为 12.6 d 和 9.3 d,与对照组(13.9 d)相比,成蚜寿命缩短了 1.3 d 和 4.6 d;F_1 代成蚜的平均单雌产蚜量分别为 24.8 头和 16.4 头,与对照组(28.8 头)相比,其平均单雌产蚜量下降了 13.89%

和 43.06%。其中 0.34 mg/L 处理组与对照组相比差异均不显著($P>0.05$),3.44 mg/L 处理组与对照组相比差异显著($P<0.05$)。以上结果表明,两组低剂量氟啶虫胺腈可以抑制 F_1 代成蚜的平均寿命及其平均单雌产蚜量,并随着剂量的增加差异越显著。在氟啶虫胺腈 0.34 mg/L 和 3.44 mg/L 浓度处理后的第 5~10 天,F_1 代成蚜对照组的繁殖力曲线均高于两组低剂量浓度且对照组和 0.34 mg/L 处理的平均单雌产蚜量均在第 9 天达到高峰,分别为 4.1、3.9 头;3.44 mg/L 处理组在第 16 天达到高峰,为 2.67 头(图 3)。

表 4 低剂量氟啶虫胺腈对大豆蚜 F_1 代成蚜寿命及繁殖的影响

Table 4 Effects of low doses of sulfoxaflor on the longevity and fecundity of adult *Aphis glycines* in F_1 generation

药剂浓度/(mg/L) Agent concentration	成蚜寿命/d Longevity of adult aphids	单雌产蚜量/头 Fecundity per female aphid
对照 CK	(13.9±1.4)a	(28.8±3.9)a
0.34	(12.6±1.3)ab	(24.8±3.4)ab
3.44	(9.3±1.3)b	(16.4±3.2)b

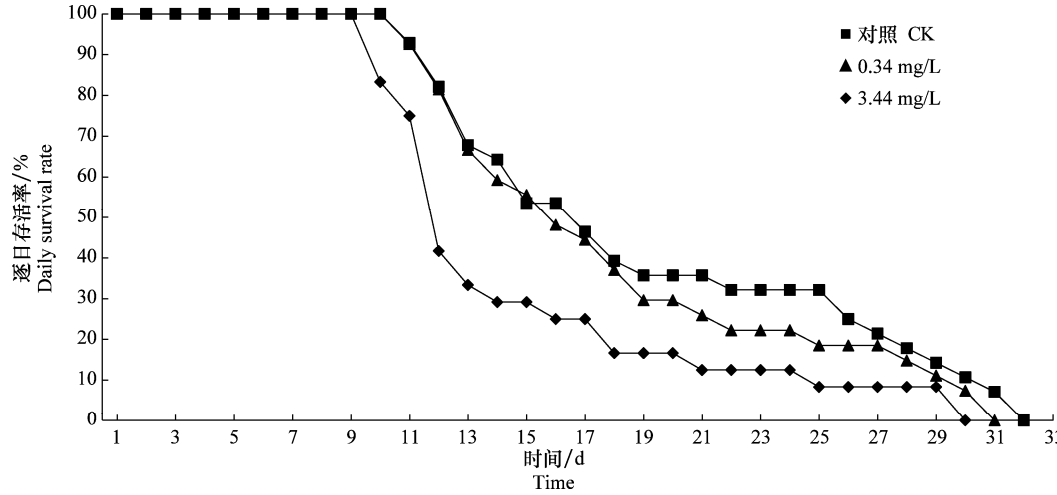


图 2 低剂量氟啶虫胺腈对 F_1 代成蚜逐日存活率的影响

Fig. 2 Effects of low doses of sulfoxaflor on the daily survival rate of adult *Aphis glycines* in F_1 generation

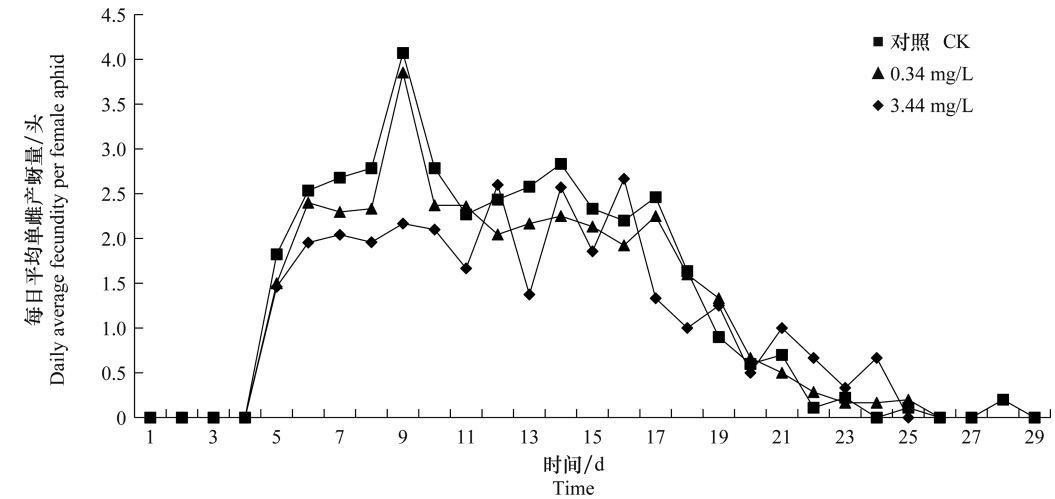


图 3 低剂量氟啶虫胺腈对大豆蚜 F_1 代成蚜繁殖力的影响

Fig. 3 Effects of low doses sulfoxaflor treatments on the fecundity of adult *Aphis glycines* in F_1 generation

2.5 低剂量氟啶虫胺腈对 F_1 代大豆蚜生命表参数的影响

两组低剂量浓度处理后,大豆蚜的平均世代周期、内禀增长率以及周限增长率均呈现下降趋势,且都随着剂量的增加而逐渐降低。其中,对照、0.34 mg/L 和 3.44 mg/L 处理的周限增长率分别为 1.38%、1.34%和 1.33%,均大于 1,表明随着时间的推移,各处理种群后代的数量有增长的趋势。

0.34 mg/L 和 3.44 mg/L 处理后的种群加倍时间均有所延长,与对照(2.18 d)相比,分别延长了 7.8%和 10%。净生殖率分别比对照(29.55%)下降了 12.49%和 41.76%。3.44 mg/L 处理下的净生殖率与对照相比显著降低($P<0.05$),其他参数均无显著差异($P>0.05$)。综上所述,通过氟啶虫胺腈两种浓度处理后,对大豆蚜 F_1 代种群的发展有一定的抑制作用。

表 5　低剂量氟啶虫胺腈对 F_1 代大豆蚜生命表参数的影响

Table 5　Effects of low doses of sulfoxaflor on the life table parameters of *Aphis glycines* in the F_1 generation

药剂浓度/(mg/L) Agent concentration	净生殖率(R_0)/% Net reproductive rate	平均世代周期(T)/d Mean generation time	内禀增长率(r_m)/% Intrinsic rate of increase	周限增长率(λ)/% Finite rate of increase	种群加倍时间(DT)/d Population doubling time
对照 CK	(29.55±0.950)a	(10.63±0.306)a	(0.32±0.014)a	(1.38±0.016)a	(2.18±0.267)a
0.34	(25.86±0.802)ab	(10.58±0.262)a	(0.29±0.014)a	(1.34±0.017)a	(2.35±0.321)a
3.44	(17.21±0.240)b	(9.86±0.404)a	(0.28±0.011)a	(1.33±0.013)a	(2.40±0.392)a

3　结论与讨论

化学防治仍是当前田间害虫治理的重要手段之一,由于杀虫剂的持效性和害虫个体特性以及受田间自然环境的影响,害虫接触到杀虫剂后往往存在低剂量效应。因此,合理选择杀虫剂以及确定施用浓度至关重要[27-28]。研究表明,氟啶虫胺腈亚致死浓度能显著降低 F_0 代和 F_1 代棉蚜 *Aphis gossypii* 和棉长管蚜 *Acyrthosiphon gossypii* 的寿命和平均产蚜量,并随着浓度的增加其寿命相应缩短,产蚜量相应降低[29];吡虫啉亚致死剂量处理豆蚜成蚜显著缩短了 F_0 代成蚜寿命,降低了 F_0 代豆蚜成蚜的繁殖力,并伴随浓度的增大而影响显著[30]。本试验中,氟啶虫胺腈同样表现出降低 F_0 和 F_1 成蚜的平均寿命和平均单雌产蚜量的作用。王伟等[31]发现,氟啶虫胺腈 LC_{10} 和 LC_{30} 浓度处理棉蚜成蚜后,F_0 代和 F_1 代成蚜的平均寿命和平均单雌产蚜量均高于对照组,对棉蚜种群表现出明显的刺激种群增殖的亚致死效应以及跨代效应。张余杰[32]发现,害虫对药剂的敏感性会因农药剂型、浓度以及昆虫种类而不同。本试验各处理组对若蚜的生长发育和存活率均没有显著影响,但对成蚜阶段存活率存在一定影响,王泽华等[33]采用氟啶虫胺腈处理桃蚜 *Myzus persicae* 后,也有类似发现。邴玉成[25]用 22%氟啶虫胺腈悬浮剂 LC_{20} 和 LC_{50} 浓度处理大豆蚜成蚜后,其 F_0 和 F_1 代寿命和产蚜量都随着浓度的增加而显著降低;其生命表参数表现为内禀增长率、净生殖率和周限增长率呈下降趋势,平均世代周期呈上升趋势。本试验测定了氟啶虫胺腈低剂量下对大豆蚜生物学特性的影响,结果显示:平均世代周期呈下降趋势。研究表明,农药剂型、剂量不同以及种群个体间的差异均可导致害虫种群之间差异[33-34]。因此,在应用中要结合实际情况正确选择不同的农药剂型以及精准把控农药的施用剂量,以降低环境污染的同时避免药害的产生。

种群生命表可以清楚地反映该种群在某一时刻出生和死亡的关系。常芸[35]采用联苯肼酯和乙唑螨腈亚致死浓度处理二斑叶螨 *Tetranychus urticae*,其 F_1 代的净生殖率、内禀增长率、平均世代周期和周限增长率均呈下降趋势,种群加倍时间有所延长,这与本试验结果相似。惠婧婧等[36]用吡虫啉亚致死浓度处理豌豆蚜 *Acyrthosiphon pisum*,以及魏引弟等[37]采用低剂量氟啶虫胺腈处理棉蚜和棉长管蚜,两者的生命表种群参数均呈现 F_1 代净生殖率、内禀增长率和周限增长率降低,平均世代周期和种群加倍时间增长;本试验采用氟啶虫胺腈 2% LC_{50}(0.34 mg/L)和 20% LC_{50}(3.44 mg/L)剂量处理后平均世代周期呈现下降趋势,表明该处理下大豆蚜成蚜寿命缩短。王泽华等[33]采用氟啶虫胺腈处理桃蚜后,其种群的内禀增长率和周限增长率呈现上升趋势,而种群加倍时间呈现下降趋势,与本试验结果不一致。Li 等[38]的研究表明,亚致死效应受多种因素的影响,不同物种和不同药剂浓度以及昆虫自身的生殖生理状况等多方面均会引起不同亚致死效应,同时温度对杀虫剂的影响也至关重要[39-40]。

杀虫剂施于田间后,在环境中的毒力会逐渐递减到低剂量浓度,最终导致昆虫生态行为上的变化,包括生殖力和发育历期的改变、产生抗药性等,即低剂量效应。因此,了解药剂的低剂量效应

是评价其药效和评估农药风险管理的关键[41]。事实上，低剂量效应在田间害虫治理中普遍存在，当害虫接触到的药剂剂量不足以致其死亡时便会产生低剂量效应，使害虫的行为、生长发育、生殖以及生理活动发生改变[42]，进而引起害虫种群的变化，以适应药剂低剂量的胁迫。本研究中，氟啶虫胺腈 2% LC_{50} 和 20% LC_{50} 剂量抑制了大豆蚜种群的发展，为了避免大豆蚜对氟啶虫胺腈产生抗药性，建议生产中运用化学农药防治大豆蚜时轮换用药，避免重复单一药剂，从而降低其产生抗药性的风险。

本次仅研究了氟啶虫胺腈 2% LC_{50} 和 20% LC_{50} 对大豆蚜生物学特性的影响，下一步将研究其对大豆蚜生理生化及分子机理方面的影响，从而为大豆生产中大豆蚜的绿色防控及氟啶虫胺腈的科学合理利用提供更充分的科学依据。

参考文献

[1] 薛丽华，国庆. 大豆蚜虫防治技术[J]. 农业知识，2021(11)：19－20.

[2] 李慧，刘小侠，智海剑，等. 大豆蚜虫龄鉴别特征[J]. 昆虫学报，2018，61(7)：877－884.

[3] 刘兴龙，李新民，刘春来，等. 大豆蚜研究进展[J]. 中国农学通报，2009，25(14)：224－228.

[4] 王素云，暴祥致，孙雅杰，等. 大豆蚜虫对大豆生长和产量影响的试验[J]. 大豆科学，1996，15(3)：243－247.

[5] 薛丽华，国庆. 大豆蚜虫防治技术[J]. 农业知识，2021(11)：19－20.

[6] 王志华. 2004 年大豆蚜虫大发生原因分析及防治建议[J]. 大豆通报，2005(2)：9.

[7] CLARK A J，PERRY K L. Transmissibillty of field isolates of soybean viruses by *Aphis glycines* [J]. Plant Disease，2002，86(11)：1219－1222.

[8] DAVIS J A，RADCLIFFE E B，RAGSDALE D W. Soybean aphid，*Aphis glycines* Matsumura，a new vector of potato virus Y in potato [J]. American Journal of Potato Research，2005，82(3)：197－201.

[9] 王大刚，李凯，智海剑. 大豆抗大豆花叶病毒病基因研究进展[J]. 中国农业科学，2018，51(16)：3040－3059.

[10] 魏然，陈祥金，李阳，等. 黑龙江省近年常见大豆虫害防治方法研究进展[J]. 大豆科技，2023(3)：36－42.

[11] 侯中一，赵奎军，刘健. 大豆蚜对溴氰菊酯和氯氰菊酯的敏感度研究[J]. 大豆通报，2007(3)：32－33.

[12] 杨帅. 大豆蚜对吡虫啉的抗性监测及抗性机理研究[D]. 哈尔滨：东北农业大学，2012.

[13] 王芊，严善春，徐伟钧，等. 黑龙江省大豆蚜抗药性研究[J]. 中国农学通报，2012，28(24)：218－221.

[14] HANSON A A，MENGER-ANDERSON J，SILVERSTEIN C，et al. Evidence for soybean aphid (Hemiptera：Aphididae) resistance to pyrethroid insecticides in the upper midwestern United States [J]. Journal of Economic Entomology，2017，110(5)：2235－2246.

[15] 于福强，黄耀师，苏州，等. 新颖杀虫剂氟啶虫胺腈[J]. 农药，2013，52(10)：753－755.

[16] 李新新，陈秀，黄兰淇，等. 氟啶虫胺腈对芦笋蚜虫的防治效果和作物安全性评价[J]. 世界农药，2024，46(9)：42－46.

[17] 叶萱. 新颖杀虫剂 sulfoxaflor 的生物特性[J]. 世界农药，2011，33(4)：19－24.

[18] 张莉娅，阮长春，侯志广，等. 亚致死浓度氟啶虫胺腈对桃蚜体内能量物质的影响[J]. 农药，2021，60(1)：28－31.

[19] 石海春，冀钦陇，马建雄，等. 呋虫胺亚致死剂量长期暴露对麦长管蚜生长发育的影响[J]. 昆虫学报，2023，66(5)：685－693.

[20] 李飞，何树林，周操，等. 基于年龄-龄期两性生命表分析阿维菌素对松褐天牛肿腿蜂的亚致死效应[J]. 昆虫学报，2024，67(9)：1221－1228.

[21] 李亚迎，刘明秀，宋雪纯，等. 四氯虫酰胺亚致死胁迫对胡瓜新小绥螨捕食效能的影响[J]. 应用昆虫学报，2024，61(3)：625－633.

[22] 郭文丽，杨慧，段慢慢，等. 唑虫酰胺对甜菜夜蛾亚致死效应及解毒酶活性的影响[J]. 植物保护，2024，50(4)：168－175.

[23] 刘宴弟，孙丽娜，张怀江，等. 氯虫苯甲酰胺对桃小食心虫生长发育的亚致死效应[J]. 植物保护，2021，47(5)：158－163.

[24] 李叶，宋维虎，李鸿雁，等. 两种药剂亚致死浓度对麦长管蚜实验种群参数的影响[J]. 植物保护，2021，47(2)：122－127.

[25] 邴玉成. 氟啶虫胺腈对大豆蚜的亚致死效应及田间防效研究[D]. 哈尔滨：东北农业大学，2020.

[26] CHEN Xuewei，MA Kangsheng，LI Fen，et al. Sublethal and transgenerational effects of sulfoxaflor on the biological traits of the cotton aphid，*Aphis gossypii* Glover (Hemiptera：Aphididae) [J]. Ecotoxicology，2016，25(10)：1841－1848.

[27] TRAN A K，ALVES T M，KOCH R L. Potential for sulfoxaflor to improve conservation biological control of *Aphis glycines* (Hemiptera：Aphididae) in soybean [J]. Journal of Economic Entomology，2016，109(5)：2105－2114.

[28] 郭雯. 大豆主要害虫的生物学特性与综合防治技术研究[J]. 棉花科学，2024，46(4)：17－19.

[29] 李志雄，魏引弟，苏悦，等. 3 种杀虫剂亚致死剂量对棉蚜和棉长管蚜生长与繁殖的影响[J]. 新疆农业科学，2021，58(10)：1851－1859.

[30] 刘昌燕，万正煌，焦春海，等. 吡虫啉亚致死剂量对豆蚜生长发育和种群参数的影响[J]. 湖北农业科学，2018，57(23)：89－91.

(下转 232 页)

参考文献

[1] 李杨瑞. 现代甘蔗学[M]. 北京：中国农业出版社，2010.

[2] 潘雪红，黄诚华. 甘蔗螟虫发生与绿色防控[M]. 北京：中国农业出版社，2022.

[3] 黄诚华，商显坤，魏吉利，等. 广西主要蔗区螟虫种类调查与分析[J]. 植物保护，2021，47(4)：186－190.

[4] 潘雪红，魏吉利，商显坤，等. 广西蔗区甘蔗黄螟发生动态及影响因子初析[J]. 中国植保导刊，2022，42(10)：47－51.

[5] 李旭林. 武宣蔗区第一代甘蔗螟虫防控难点及应对措施[J]. 广西植保，2020，33(3)：37－39.

[6] 刘志诚. 甘蔗病虫害及其防治[M]. 北京：农业出版社. 1983：5－7.

[7] 黄盈. 利用红蚂蚁(*Tetramorium guineense* Fabricius)防治蔗螟的初步研究[J]. 昆虫知识，1963(1)：14－16.

[8] 潘雪红，黄诚华，商显坤，等. 广西蔗区蠼螋发生情况调查初报[J]. 中国植保导刊，2015，35(12)：35－37.

[9] PATIL A S，MAGAR S B，SHINDE V D，et al. Feeding potential of predatory spiders on sugarcane pests [J]. Australian Society of Sugar Cane Technologists，2001(2)：408－409.

[10] MORRIS R F，MILLER C A. The development of life table for the spruce budworm [J]. Canadian Journal of Zoology，1954，32(4)：283－301.

[11] 庞雄飞. 害虫种群数量控制和防治害虫效果的评价问题[J]. 广东农业科学，1979(4)：36－40.

[12] 庞雄飞. 种群数量控制指数及其应用[J]. 植物保护学报，1990，17(1)：11－16.

[13] 庞雄飞，侯任环，梁广文，等. 稻纵卷叶螟防治策略的探讨(一)——稻纵卷叶螟生命表及其主要死亡因子分析[J]. 华南农业大学学报，1981，2(4)：71－84.

[14] 庞雄飞，梁广文，曾玲. 昆虫天敌作用的评价[J]. 生态学报，1984，4(1)：46－56.

[15] 何余容，吕利华，庞雄飞. 小菜蛾自然种群连续世代生命表的组建与分析[J]. 华南农业大学学报，2000，21(1)：34－37.

[16] 吕利华，何余容，庞雄飞. 四种十字花科蔬菜上小菜蛾自然种群连续世代生命表[J]. 生态学报，2003，23(12)：2624－2630.

[17] 徐世才，周茂林，贾培军，等. 沙芥田菜蛾自然种群生命表的研究[J]. 安徽农业科学，2006，34(17)：4340－4341.

[18] 周忠实，陈泽鹏，邓海宾，等. 烟草和香芋上斜纹夜蛾的自然种群生命表[J]. 生态学报，2007，27(4)：1515－1523.

[19] 陈艳，赵景玮. 美洲斑潜蝇自然种群生命表的研究[J]. 植物保护，2006，32(1)：93－95.

[20] 潘雪红，魏吉利，商显坤，等. 甘蔗黄螟幼虫龄数的划分及其发育历期观察[J]. 环境昆虫学报，2024，47(2)：651－657.

[21] 庞雄飞，梁广文. 害虫种群系统的控制[M]. 广州：广东科技出版社，1995.

[22] 潘雪红，黄诚华，商显坤，等. 桂中、桂南蔗区甘蔗条螟卵寄生蜂调查[J]. 南方农业学报，2012，43(6)：784－787.

[23] 潘雪红，黄诚华，魏吉利，等. 广西蔗区甘蔗螟虫卵寄生蜂的种类和分布调查[J]. 南方农业学报，2015，46(9)：1619－1623.

[24] 王贵儒，刘志诚，王志勇，等. 甘蔗田赤眼蜂优势种及引进赤眼蜂种的田间释放研究[J]. 昆虫天敌，1985，7(1)：13－17.

[25] 郭良珍，冯荣杨，梁恩义，等. 螟黄赤眼蜂对甘蔗螟虫的控制效果[J]. 西南大学学报(自然科学版)，2001，23(5)：398－400.

[26] 蒲哲龙，邓德蔼，刘志诚，等. 甘蔗螟虫卵赤眼蜂繁殖利用的研究[J]. 昆虫学报，1956，6(1)：1－36.

[27] 潘雪红，黄诚华，魏吉利，等. 卵寄生蜂对甘蔗螟虫寄生情况的初步调查[J]. 中国糖料，2015，37(6)：53－55.

[28] 谭柳苏，陆温，郑霞林. 甘蔗螟虫生物防治研究进展(一)[J]. 广西植保，2022，35(1)：22－26.

(责任编辑：杨明丽)

(上接 226 页)

[31] 王伟，黄秋实，袁海滨，等. 亚致死浓度氟啶虫胺腈对棉蚜生物学特性及生长发育基因的影响[J]. 植物保护学报，2023，50(3)：812－822.

[32] 张余杰. 小贯小绿叶蝉对噻虫嗪抗性机制研究[D]. 贵阳：贵州大学，2019.

[33] 王泽华，范佳敏，陈金翠，等. 氟啶虫胺腈亚致死浓度对桃蚜生长和繁殖的影响[J]. 中国农业科学，2017，50(3)：496－503.

[34] 李国龙. 不同药剂处理对灰飞虱的亚致死效应[D]. 银川：宁夏大学，2023.

[35] 常芸. 二斑叶螨对亚致死浓度联苯肼酯和乙唑螨腈的响应及代谢的初步研究[D]. 兰州：甘肃农业大学，2020.

[36] 惠婧婧，刘长仲，孟银凤，等. 吡虫啉对豌豆蚜的亚致死效应[J]. 植物保护，2009，35(5)：86－88.

[37] 魏引弟，梁虎军，张笑丽，等. 氟啶虫胺腈对棉蚜和棉长管蚜的亚致死效应比较[J]. 江苏农业科学，2023，51(13)：127－132.

[38] LI Xiuxia，YIN Fang，CAO Haiqun. Sublethal effects of short-term and long-term exposure to triflumezopyrim on the small brown planthopper *Laodelphax striatellus* (Hemiptera：Delphacidae) [J]. Journal of Asia-Pacific Entomology，2021，24(1)：91－95.

[39] 韩英. 不同温度下烯啶虫胺对两种棉花蚜虫的亚致死效应研究[D]. 阿拉尔：塔里木大学，2023.

[40] 孙小玲. 温度对两种色型豌豆蚜连续世代生物学特性及体内物质的影响[D]. 兰州：甘肃农业大学，2016.

[41] LIESS M，FOIT K，BECKER A，et al. Culmination of low-dose pesticide effects [J]. Environmental Science & Technology，2013，47(15)：8862－8868.

[42] 全林发，张怀江，孙丽娜，等. 杀虫剂对害虫的亚致死效应研究进展[J]. 农学学报，2016，6(5)：33－38.

(责任编辑：杨明丽)