



LC₂₀ 呋虫胺长期暴露对麦长管蚜 生长发育的影响

石海春¹, 冀钦陇¹, 马建雄¹, 梁玉婷¹, 李广阔⁴, 张海英^{2,3,*}, 刘永刚^{1,2,*}

(1. 甘肃农业大学植物保护学院, 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院植物保护研究所, 兰州 730070;

3. 农业农村部天水作物有害生物科学观测实验站, 甘谷 741299; 4. 新疆农业科学院植物保护研究所, 乌鲁木齐 830091)

摘要:【目的】研究亚致死浓度(LC₂₀)呋虫胺长期暴露对麦长管蚜 *Sitobion avenae* 生长发育的影响, 为科学利用呋虫胺防治麦长管蚜及延缓对其抗性发展和延长药剂使用寿命提供理论依据。【方法】采用带虫浸叶法测定呋虫胺对麦长管蚜 3 龄若蚜的 LC₂₀, 并利用 LC₂₀ 浓度呋虫胺对麦长管蚜进行 15 代长期暴露; 采用试管幼苗饲养, 测定麦长管蚜对呋虫胺的抗性倍数, 记录连续 2 代麦长管蚜的发育历期、繁殖和存活率, 并测定 F₀ 代成蚜体长、体宽和体重; 运用特定种群生命表及 DPS 软件分析各世代低抗品系与敏感品系之间体长、体宽、体重、存活率、成蚜寿命和产蚜量的差异。【结果】利用 LC₂₀ 浓度呋虫胺长期处理麦长管蚜 15 代后, 其对呋虫胺达到低水平抗性(6.54 倍); 与敏感品系比较, F₀ 代低抗品系 2, 3 和 4 龄若蚜发育历期显著延长, 成蚜体长、体宽和体重显著增加, 但每成蚜产蚜量、成蚜寿命都显著减少或缩短, 其子代(F₁ 代)成蚜存活率和每成蚜产蚜量明显降低, 成蚜寿命也显著缩短, 2 龄若蚜历期及若蚜历期显著缩短; 种群生命表参数中 F₀ 及 F₁ 代净增殖率(R₀)、内禀增长率(R_m)和周限增长率(λ)显著降低, 而种群加倍时间(DT)及 F₁ 代平均世代历期(T)显著延长。【结论】LC₂₀ 浓度呋虫胺长期暴露能增加麦长管蚜的抗药性, 刺激 F₀ 代成蚜个体体型变大, 同时对 F₀ 及 F₁ 代麦长管蚜的寿命及繁殖均具有一定的抑制作用。

关键词: 麦长管蚜; 呋虫胺; 亚致死效应; 生长发育

中图分类号: Q965.9 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2023)05-0685-09

Effects of chronic exposure to LC₂₀ of dinotefuran on the growth and development of *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae)

SHI Hai-Chun¹, JI Qin-Long¹, MA Jian-Xiong¹, LIANG Yu-Ting¹, LI Guang-Kuo⁴, ZHANG Hai-Ying^{2,3,*}, LIU Yong-Gang^{1,2,*} (1. College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Institute of Plant Protection, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China; 3. Scientific Observing and Experimental Station of Crop Pest in Taishui, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Gangu 741299, China; 4. Institute of Plant Protection, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

Abstract: 【Aim】The effects of chronic exposure to the sublethal concentration (LC₂₀) of dinotefuran on the growth and development of *Sitobion avenae* were studied in order to provide a theoretical basis for the scientific use of dinotefuran to control *S. avenae* and delaying the development of the resistance to the pesticide and extending the useful life of pesticide. 【Methods】The LC₂₀ of dinotefuran to the 3rd instar

基金项目: 甘肃省农业科学院科研条件建设及成果转化项目(2021GAAS21, 2017GAAS24); 农业部西北荒漠绿洲作物有害生物综合治理重点实验室开放基金(KFJJ202106); 公益性(农业)科研专项(201503125-06)

作者简介: 石海春, 男, 1996 年 10 月, 甘肃肃夏人, 硕士研究生, 研究方向为农药学, E-mail: 473817035@qq.com

* 通讯作者 Corresponding authors, E-mail: liuyg@gsagr.ac.cn; haiwazhang@gsagr.ac.cn

收稿日期 Received: 2022-11-08; 接受日期 Accepted: 2023-01-03

nymphs of *S. avenae* was determined by using the leaf-dip method and used for chronic exposure on *S. avenae* for 15 generations. The resistance ratio of *S. avenae* to dinotefuran was determined, the developmental duration, reproduction and survival rates of *S. avenae* of two successive generations which were raised with wheat seedlings in test tube were recorded, and the body length, body width and body weight of adults of F_0 generation were measured. The differences in the body length, body width, body weight, survival rate, adult longevity and number of offspring produced between lowly resistant strain of various generations and the susceptible strain were analyzed by population specific life table and DPS software. 【Results】 After chronic exposure to LC_{20} of dinotefuran for 15 generations, the resistance of *S. avenae* reached low level (6.54-fold). The developmental duration of the 2nd, 3rd and 4th instar nymph of F_0 generation of the lowly resistant strain was significantly longer than that of the susceptible strain, and the body length, body width and body weight of F_0 generation of adults of the lowly resistant strain were significantly increased, but the number of offspring produced per adult and adult longevity of F_0 generation of the lowly resistant strain were significantly reduced or shortened as compared to those of the susceptible strain. The adult survival rate, number of offspring produced per adult and adult longevity of F_1 generation of the lowly resistant strain were significantly reduced, the 2nd instar nymphal duration and nymphal duration of F_1 generation of the lowly resistant strain were significantly shortened as compared to those of the susceptible strain. The net reproductive rate (R_0), intrinsic rate of increase (R_m) and finite rate of increase (λ) of F_0 and F_1 generations of the lowly resistant strain were significantly lower than those of the susceptible strain, while the population doubling time (DT) of F_0 and F_1 generations and the mean generation time (T) of F_1 generation of the lowly resistant strain were significantly prolonged as compared to those of the susceptible strain. 【Conclusion】 Chronic exposure to LC_{20} of dinotefuran results in the increase in the resistance of *S. avenae* to dinotefuran and individual size of adults of F_0 generation, while inhibits the longevity and fecundity of F_0 and F_1 generations of *S. avenae*.

Key words: *Sitobion avenae*; dinotefuran; sublethal effects; growth and development

麦长管蚜 *Sitobion avenae* 属半翅目 (Hemiptera) 蚜科 (Aphididae), 是危害中国小麦的重要害虫之一 (周海波等, 2014), 也是中国北方麦区蚜虫的优势种群, 不仅会吸食叶片和穗汁, 使叶片发黄, 小麦籽粒不饱满, 甚至还传播病毒病, 使小麦产量和品质严重受损 (王美芳等, 2006; 胡想顺等, 2022)。目前, 除使用抗虫品种外, 化学防治仍然是最重要措施之一 (谢佳燕等, 2021)。

呋虫胺 (dinotefuran) 属于第 3 代新烟碱类杀虫剂, 该药剂不同于传统烟碱类农药, 它具有胃毒和触杀作用, 在内吸性、持效性、速效性及杀虫谱方面均优于其他药剂, 即使该药剂在很低的剂量下, 也能表现出较高的杀虫活性 (刘子琪等, 2021)。

然而, 药剂在田间施用过程中, 大部分药剂可以直接杀死靶标生物, 但仍有一部分会慢慢递减为亚致死剂量 (Boina *et al.*, 2009; Rix *et al.*, 2016), 引起一些亚致死效应, 如害虫的生物学特性、取食行为 (Haynes, 1988; Koo *et al.*, 2015)、繁殖能力发生改变 (Ayyanath *et al.*, 2013) 和抗药性的增加等

(McLuckie *et al.*, 2020)。研究表明, 亚致死剂量可抑制害虫亲代的繁殖力和存活率, 但对子代的影响不是很大 (Boina *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2018), 也有一些研究发现, 亚致死剂量也会对其后代产生一定影响 (李定银等, 2021)。总之, 亚致死效应对昆虫生物学特性的影响不是恒定的, 也可能由于某些药剂种类、浓度、作用靶标及时间的不同而表现出一定的差异, 即对昆虫有抑制作用, 也包括一定的刺激作用 (全林发等, 2016)。目前关于呋虫胺亚致死剂量的相关研究主要集中于短期暴露对不同昆虫的生长发育 (刘燕承, 2016; Deng *et al.*, 2019; 时路亭, 2021)、解毒酶活性及基因表达 (毛敏, 2018) 等方面的影响, 为了更好地评估亚致死浓度呋虫胺对麦长管蚜种群产生的后续风险, 本研究使用亚致死浓度 (LC_{20}) 呋虫胺对麦长管蚜进行多代长期暴露, 研究其对麦长管蚜不同世代各虫态生长发育、繁殖及存活的影响, 旨在为科学利用呋虫胺防治麦长管蚜及延缓其抗性发展和延长药剂使用寿命提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试虫源:敏感品系:2019 年从甘肃省农业科学院兰州试验基地无农药喷施田块(36.10°N, 103.69°E)采集获得,置于人工气候箱[温度:夜晚(18±1)℃,白天(20±1)℃;相对湿度:75%;光周期:16L:8D]中饲养,在不接触任何农药的情况下连续饲养至今作为供试材料。

低抗品系:挑取敏感品系无翅成蚜接于新鲜麦苗上,待产下若蚜后,弃成蚜留若蚜并饲养至 3 龄若蚜期(此为第 1 代),然后使用亚致死浓度 LC₂₀(0.0467 mg/mL)呋虫胺通过浸叶法进行处理,之后放入人工气候箱[温度:夜晚(18±1)℃,白天(20±1)℃;相对湿度:75%;光周期:16L:8D]继续饲养,待成蚜后,按照以上试验过程重复进行,每 3 代做一次抗性倍数测定,饲养 15 代后作为供试材料。

1.1.2 供试寄主:陇春 30 号,由甘肃省农业科学院小麦所选育,使用育苗盘(长×宽×高=32 cm×25.5 cm×6.7 cm)培养在人工气候箱(条件同 1.1.1 节)中。

1.1.3 供试药剂和仪器:98% 呋虫胺原药由河北威远生物化工有限公司生产;电子分析天平(0.001 g, JJ523BC)由常熟市双杰测试仪器厂生产;体式显微镜(C-DS)由尼康仪器上海有限公司生产;Industrial Digital Camera(FMA050)由宁波 AMZ 仪器有限公司生产;移液枪(SVA-100)由四川省成都市温江区 ISmart 仪器贸易有限公司生产;人工气候箱(SPX-4001C)由上海博讯实业有限公司医疗设备厂生产。

1.2 生物活性测定

根据国家农业标准 NY/T1154.6-2006 进行毒力测定,方法略有改进。将 98% 呋虫胺原药 5 g 用 100 mL 的丙酮溶解得到呋虫胺母液,然后用 0.1% 吐温-80 溶液将母液依次稀释为 5 个浓度梯度(0.04, 0.06, 0.08, 0.10 和 0.12 mg/mL)。取健康并带有麦长管蚜的小麦幼苗,弃掉其上成蚜及杂质,保留大小一致的 3 龄若蚜,将带虫叶片浸于不同浓度梯度的呋虫胺药液中 15 s,取出后迅速用滤纸吸掉虫体及叶片上多余药液,然后置于小烧杯中进行水培生长,每个浓度 3 次重复,每次 40 头,以含有 0.1% 吐温-80 的水溶液作空白对照,放入人工气候箱(条件同 1.1.1 节),24 h 后统计死亡率,对照组死亡率大于 10% 视为无效,并计算 LC₁₀, LC₂₀, LC₃₀ 和 LC₅₀ 值及其置信限。

1.3 暴露品系抗药性倍数测定

利用 1.2 节生物活性测定方法,在预试验的基础上,将呋虫胺浓度梯度设定为 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 和 0.12 mg/mL 用于敏感品系毒力测定;浓度梯度为 0.40, 0.45, 0.50, 0.55 和 0.60 mg/mL 用于低抗品系毒力测定。

抗性倍数(resistance ratio, RR) = 低抗品系 LC₅₀/敏感品系 LC₅₀。

参考黄彦娜的抗性倍数划分标准(黄彦娜, 2018):敏感:RR≤3;敏感性下降:3<RR≤5;低水平抗性:5<RR≤10;中等水平抗性:10<RR≤40;高水平抗性:40<RR≤160;极高水平抗性:RR>160。

1.4 亚致死浓度呋虫胺长期暴露对麦长管蚜成蚜体长、体宽和体重影响的测定

挑取经 15 代暴露的品系 F₀ 代无翅成蚜,装入离心管中,每管装 100 头蚜虫进行体重称量,3 次重复;另挑取相关成蚜 20 头,3 次重复,使用数码照相机进行拍摄,并通过 ToupView 软件进行体长和体宽的测量,均以敏感品系作对照。

1.5 亚致死浓度呋虫胺长期暴露对麦长管蚜生长发育影响的测定

从育苗盘选取一株带根且长势健康的小麦苗,用湿脱脂棉包裹根部装入试管中,并用小毛笔轻轻接入经 15 代暴露的品系 4 龄若蚜,于人工气候箱(条件同 1.1.1 节)内单头单株饲养,至若蚜变成成蚜后,再挑取首次所产若蚜进行单头单株饲养(此代记为 F₀),每日定时记录若蚜存活、蜕皮及死亡状态,至若蚜变成成蚜后,每天继续记录 F₀ 代成蚜死亡状态、日产蚜量和寿命,至成蚜死亡,以敏感品系作为对照,每个品系 5 次重复,每次 12 个试管。将 F₀ 代成蚜首次所产若蚜进行单头单株饲养,此代记为 F₁,并按照相同的方法进行观察和记录。

1.6 数据分析

采用 DPS9.01, ToupView 和 Excel 2010 软件进行数据分析和毒力回归方程的计算。采用单因素方差分析法(one-way ANOVA, Duncan 氏检验)进行低抗和敏感品系体长、体宽、体重、存活率、寿命、产蚜量和种群生命表参数的多重比较。生命表参数根据公式计算:净增殖率(R_0) = $\sum l_x m_x$;平均世代历期 $T = \sum x l_x m_x$;内禀增长率 $r_m = (\ln R_0)/T$;周限增长率 $\lambda = \exp(r_m)$;种群加倍时间 $DT = \ln(2)/r_m$ 。其中 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

2.1 生物测定结果

2.1.1 呋虫胺对麦长管蚜的毒力:根据生物测定方

法,明确了呋虫胺对麦长管蚜的毒力水平(表1)。结果表明,呋虫胺对麦长管蚜3龄若蚜的致死中浓度(LC₅₀)为0.0847 mg/mL, LC₃₀为0.0585 mg/mL, LC₂₀为0.0467 mg/mL, LC₁₀为0.0342 mg/mL,选择亚致死浓度 LC₂₀作为麦长管蚜长期暴露的浓度。

表1 呋虫胺对麦长管蚜3龄若蚜的毒力
Table 1 Toxicity of dinotefuran to the 3rd instar nymph of Sitobion avena

毒力回归方程 Toxicity regression equation	相关系数 R ² Correlation coefficient	卡方值 χ ²	LC ₅₀ (mg/mL) (95% CL)	LC ₃₀ (mg/mL) (95% CL)	LC ₂₀ (mg/mL) (95% CL)	LC ₁₀ (mg/mL) (95% CL)
Y = 3.2604X + 8.4963	0.9865	0.7742	0.0847 (0.0729 – 0.104)	0.0585 (0.0450 – 0.0682)	0.0467 (0.0314 – 0.0565)	0.0342 (0.0187 – 0.0446)

CL: 置信区间 Confidence interval; LC: 致死浓度 Lethal concentration. 表2同。The same for Table 2.

2.1.2 LC₂₀浓度呋虫胺长期暴露后麦长管蚜的抗性倍数:由表2可知,LC₂₀浓度呋虫胺对麦长管蚜经15代长期暴露对低抗品系的LC₅₀达到0.4951 mg/mL, 95%置信区间为0.4654 ~ 0.5267; 对敏感

品系的LC₅₀为0.0757 mg/mL, 95%置信区间为0.0671 ~ 0.0856, 低抗品系抗性倍数为6.54, 属于低水平抗性。

表2 LC₂₀浓度呋虫胺长期暴露后麦长管蚜的抗性倍数
Table 2 Resistance ratio of Sitobion avena after chronic exposure to LC₂₀ of dinotefuran

品系 Strain	毒力回归方程 Toxicity regression equation	相关系数 R ² Correlation coefficient	LC ₅₀ (mg/mL) (95% CL)	抗性倍数 Resistance ratio
敏感 Susceptible	Y = 4.0247X + 9.5120	0.9776	0.0757 (0.0671 – 0.0856)	1.00
低抗 Lowly resistant	Y = 7.7479X + 7.3656	0.9865	0.4951 (0.4654 – 0.5267)	6.54

抗性倍数 (Resistance ratio) = 低抗品系 LC₅₀ (LC₅₀ of the lowly resistant strain) / 敏感品系 LC₅₀ (LC₅₀ of the susceptible strain). 长期暴露 Chronic exposure: 通过浸叶法暴露15代 Exposure for 15 generations by leaf-dip method. 下表同。The same for the following tables.

2.2 LC₂₀浓度呋虫胺长期暴露对麦长管蚜F₀代成蚜体长、体宽和体重的影响

与敏感品系比, LC₂₀浓度呋虫胺15代长期暴露能显著增加低抗品系麦长管蚜成蚜体长和体宽, 对体重表现出显著刺激作用(P < 0.05) (表3)。方

差分析表明, 低抗品系虫体成蚜体重(0.45 mg/头)显著大于(P < 0.05)敏感品系的(0.29 mg/头), 是敏感品系的1.3倍; 低抗品系成蚜体长(2.20 mm)和体宽(1.93 mm)分别是敏感品系成蚜体长(0.99 mm)和体宽(0.84 mm)的2.23和2.29倍。

表3 LC₂₀浓度呋虫胺长期暴露后麦长管蚜F₀代成蚜的体长、体宽和体重
Table 3 Body length, body width and body weight of adults of F₀ generation of Sitobion avenae after chronic exposure to LC₂₀ of dinotefuran

品系 Strains	体长 (mm) Body length	体宽 (mm) Body width	体重 (mg/头) Body weight (mg/ind.)
敏感 Susceptible	0.99 ± 0.05 b	0.84 ± 0.01 b	0.29 ± 0.10 b
低抗 Lowly resistant	2.20 ± 0.03 a	1.93 ± 0.02 a	0.45 ± 0.11 a

表中数据为平均值 ± 标准误; 同列数据后不同小写字母分别表示经t检验在0.05水平差异显著。表4~6同。Data in the table are mean ± SE. Different lowercase letters following the data in the same column indicate significant difference at 0.05 level by t-test. The same for Tables 4–6.

2.3 LC₂₀浓度呋虫胺长期暴露对麦长管蚜生长发育的影响

2.3.1 LC₂₀浓度呋虫胺长期暴露对麦长管蚜F₀和F₁代若蚜历期的影响: LC₂₀浓度呋虫胺15代长期暴

露对F₀和F₁代若蚜发育历期具有显著影响(表4)。F₀代低抗品系2, 3和4龄若虫历期及若虫历期较敏感品系的显著延长(P < 0.05), 分别是敏感品系的1.78, 1.85, 1.29和1.48倍, 但F₀代低抗

表 4 LC₂₀ 浓度呋虫胺长期暴露对麦长管蚜 F₀ 和 F₁ 代若蚜历期的影响
Table 4 Effects of chronic exposure to LC₂₀ of dinotefuran on the nymphal duration of F₀ and F₁ generations of *Sitobion avenae*

世代 Generations	品系 Strains	1 龄若蚜历期	2 龄若蚜历期	3 龄若蚜历期	4 龄若蚜历期	若蚜历期
		1st instar nymphal	2nd instar nymphal	3rd instar nymphal	4th instar nymphal	Nymphal
		duration (d)	duration (d)	duration (d)	duration (d)	duration (d)
F ₀	敏感 Susceptible	1.81 ± 0.09 a	1.60 ± 0.07 b	1.60 ± 0.06 b	2.05 ± 0.04 b	7.06 ± 0.04 b
	低抗 Lowly resistant	2.01 ± 0.12 a	2.84 ± 0.10 a	2.95 ± 0.07 a	2.63 ± 0.05 a	10.45 ± 0.08a
F ₁	敏感 Susceptible	2.25 ± 0.11 a	2.68 ± 0.11 a	2.00 ± 0.30 a	1.77 ± 0.07 a	9.04 ± 0.181 a
	低抗 Lowly resistant	2.50 ± 0.18 a	1.53 ± 0.17 b	1.72 ± 0.12 a	1.77 ± 0.11 a	7.54 ± 0.04 b

品系 1 龄若蚜历期与敏感品系的不存在显著差异 ($P>0.05$)。F₁ 代低抗品系 2 龄若蚜历期(1.53 d)和若蚜历期(7.54 d)与敏感品系的(分别为 2.68 和 9.04 d)相比显著缩短($P<0.05$),而 1, 3 和 4 龄若蚜历期与敏感品系间差异不显著($P>0.05$)。

2.3.2 LC₂₀ 浓度呋虫胺长期暴露对麦长管蚜成蚜存活率的影响:LC₂₀ 浓度呋虫胺 15 代长期暴露后,麦长管蚜 F₀ 与 F₁ 代成蚜存活率都随日龄的增长呈下降趋势(图 1)。低抗品系 F₀ 代成蚜存活率从 9

日龄开始至 23 日龄都低于敏感品系的,于 11 日龄开始出现个体死亡,比敏感品系延迟 2 d,存活率为 96.3%,23 日龄以后成蚜存活率较稳定发展但高于敏感品系,存活时间长于敏感品系 4 d;低抗品系 F₁ 代成蚜存活率于 9 日龄开始低于敏感品系的,并开始出现个体死亡,其死亡时间比敏感品系提前 2 d,此时存活率为 96.4%,至 32 日龄后,两品系成蚜存活率趋于一致。

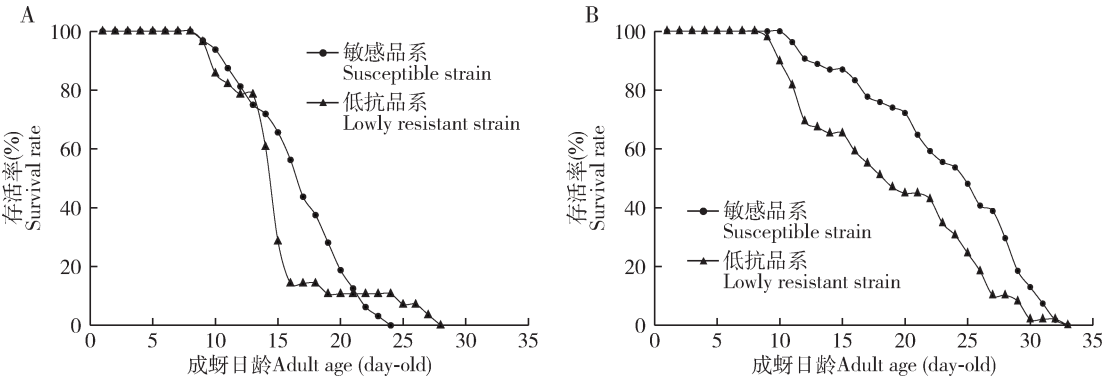


图 1 LC₂₀ 浓度呋虫胺长期暴露后 F₀ (A) 和 F₁ (B) 代麦长管蚜成蚜存活率
Fig. 1 Adult survival rates of F₀ (A) and F₁ (B) generations of *Sitobion avenae* after chronic exposure to LC₂₀ of dinotefuran

长期暴露为通过浸叶法暴露 15 代。Chronic exposure was the exposure for 15 generations by leaf-dip method. 下图同。The same for the following figures.

2.3.3 LC₂₀ 浓度呋虫胺长期暴露对麦长管蚜成蚜日产蚜量的影响:LC₂₀ 浓度呋虫胺 15 代长期暴露后,麦长管蚜低抗品系 F₀ 及 F₁ 代每成蚜平均日产蚜量节律与敏感品系均表现出随时间延长先上升后降低的趋势。低抗品系产蚜时间 F₀ 代较敏感品系有所延长,但产蚜量 F₀ 及 F₁ 代成蚜整体上均低于敏感品系(图 2)。

2.3.4 LC₂₀ 浓度呋虫胺长期暴露对麦长管蚜成蚜寿命、产蚜量和发育历期的影响:结果表明(表 5),麦长管蚜低抗品系长期暴露于 LC₂₀ 浓度呋虫胺 15 代后,其 F₀ 和 F₁ 代平均成蚜寿命较敏感品系分别

显著缩短 1.50 和 2.23 d($P<0.05$),其 F₀ 和 F₁ 代平均每成蚜产蚜量较敏感品系分别显著降低 9.62 和 8.61 头($P<0.05$),其发育历期较敏感品系未有显著差异($P>0.05$)。

2.3.5 LC₂₀ 浓度呋虫胺长期暴露对麦长管蚜成蚜生命表参数的影响:LC₂₀ 浓度呋虫胺 15 代长期暴露对麦长管蚜生命表参数的影响见表 6。LC₂₀ 浓度呋虫胺 15 代长期暴露后,低抗品系净增殖率(R_0)、平均世代历期(T)、内禀增长力(R_m)、周限增长率(λ)和种群加倍时间(DT)较敏感品系均有显著变化($P<0.05$)。其中低抗品系 F₀ 代较敏感品系平均世

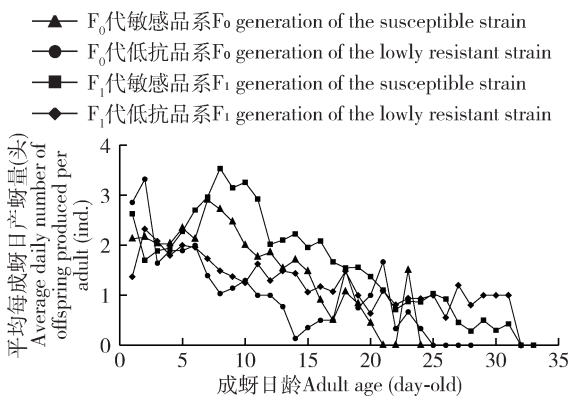


图2 LC₂₀浓度呋虫胺长期暴露后 F₀ 和 F₁ 代表长管蚜平均每成蚜日产蚜量

Fig. 2 Average daily numbers of offspring produced per adult of F₀ and F₁ generations of *Sitobion avenae* after chronic exposure to LC₂₀ of dinotefuran

代历期(T)略有缩短,但差异不显著($P > 0.05$),净增殖率(R_0)、内禀增长率(R_m)和周限增长率(λ)较敏感品系分别显著减少 9.31%, 0.01% 和 0.02% ($P < 0.05$),种群加倍时间(DT)较敏感品显著延长 0.3 d($P < 0.05$);低抗品系 F₁ 代净增殖率(R_0)、内禀增长率(R_m)和周限增长率(λ)较敏感品系分别显著减少 8.01%, 0.05% 和 0.07% ($P < 0.05$),平均世代历期(T)和种群加倍时间(DT)较敏感品系分别显著延长 3.71 和 1.06 d($P < 0.05$)。

3 讨论

昆虫抗药性是指昆虫具有耐受杀死大部分正常种群个体药量的能力,并在其种群中发展起来的现象(孙瑞红等, 2022),也是昆虫在一定剂量的农药

表5 LC₂₀浓度呋虫胺长期暴露后 F₀ 和 F₁ 代表长管蚜成蚜寿命、每成蚜产蚜量和发育历期

Table 5 Adult longevity, numbers of offspring produced per adult and developmental duration of F₀ and F₁ generations of *Sitobion avenae* after chronic exposure to LC₂₀ of dinotefuran

世代 Generations	品系 Strains	平均成蚜寿命(d) Mean adult longevity	平均每成蚜产蚜量(头) Mean number of offspring produced per adult (ind.)	平均发育历期(d) Mean developmental duration
F ₀	敏感 Susceptible	16.78 ± 0.04 a	31.65 ± 1.49 a	25.82 ± 0.04 a
	低抗 Lowly resistant	15.29 ± 0.43 b	22.03 ± 0.10 b	25.73 ± 0.43 a
F ₁	敏感 Susceptible	20.41 ± 0.38 a	35.30 ± 0.06 a	27.47 ± 0.38 a
	低抗 Lowly resistant	18.18 ± 0.58 b	26.69 ± 0.03 b	28.63 ± 0.58 a

表6 LC₂₀浓度呋虫胺长期暴露后 F₀ 和 F₁ 代表长管蚜生命表参数

Table 6 Life table parameters of F₀ and F₁ generations of *Sitobion avenae* after chronic exposure to LC₂₀ of dinotefuran

世代 Generations	品系 Strains	净增殖率 Net reproductive rate R_0	平均世代历期(d) Mean generation time T	内禀增长率 Intrinsic rate of increase R_m	周限增长率 Finite rate of increase λ	种群加倍时间(d) Population doubling time DT
F ₀	敏感 Susceptible	30.84 ± 1.53 a	16.77 ± 0.20 a	0.20 ± 0.00 a	1.23 ± 0.00 a	3.40 ± 0.04 b
	低抗 Lowly resistant	21.53 ± 0.11 b	16.40 ± 0.36 a	0.19 ± 0.00 b	1.21 ± 0.00 b	3.70 ± 0.08 a
F ₁	敏感 Susceptible	34.09 ± 0.14 a	16.75 ± 0.20 b	0.21 ± 0.00 a	1.24 ± 0.00 a	3.29 ± 0.04 b
	低抗 Lowly resistant	26.08 ± 0.12 b	20.46 ± 0.45 a	0.16 ± 0.00 b	1.17 ± 0.00 b	4.35 ± 0.10 a

胁迫下为适应不利生存条件,而不断进化发展起来的一种耐药能力。许多研究表明,一些害虫在经过亚致死剂量杀虫剂处理后,它的耐药能力会继续得到发展和积累,比如繁殖速率快、发生世代多的蚜类、蚜虫和小菜蛾 *Plutella xylostella* 等(王小艺, 2004)。本研究也发现利用 LC₂₀ 浓度呋虫胺对麦长管蚜经 15 代长期暴露后,麦长管蚜的抗性增加,达到低水平抗性(6.54 倍)(表 2),这与李定银(2021)

和侯文杰(2012)研究的关于西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 对乙基多杀菌素的抗性与使用药剂的时间成正相关的报道基本一致,说明药剂对害虫产生的亚致死效应在其抗性发展中起了一定的作用(Ali et al., 2017)。

个体大小是生物体最基本和最重要的表型之一,通常由亲本遗传信息决定,但在表达过程中也受环境因素,包括生物和非生物因素的影响(雷洪,

2019)。非生物因素对昆虫个体大小的影响主要来自温度(陈科伟等, 2005)、光照(张田元, 2015)等条件,而农药胁迫引起昆虫个体大小变化的报道较少。余慧灵等(2015)研究了甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 幼虫在取食溴氰虫酰胺亚致死剂量的叶片 48 h 后,体重显著降低,认为可能是溴氰虫酰胺影响了甜菜夜蛾的摄食,使幼虫营养不良(杨洪等, 2012),而本研究发现,长期使用 LC₂₀ 浓度呋虫胺可显著刺激麦长管蚜 F₀ 代成蚜虫体变大和体重增加(表 3),Kobiela 和 Snell-Rood(2020)的研究也有类似结果,他们发现用含吡虫啉亚致死剂量的三叶草饲养蝴蝶,个别成年帝王蝶 *Danaus plexippus* 个体变大,究其原因认为这种现象可能是由于低剂量毒素引起的潜在应激反应(Calabrese and Baldwin, 2002)。本研究认为,麦长管蚜成蚜体型变大,可能与抗药性增加有关,因为昆虫体型大,其抗逆能力增强(黄韵珊等, 2017),但不排除低剂量毒素产生的应激反应,具体机制尚不明确,还有待做进一步关于蚜虫个体表型变化与耐药性相关的代谢、转录和基因等方面的研究。

农药亚致死效应的重要表现还包括农药对害虫生长发育和繁殖的影响。亚致死浓度杀虫剂会对害虫的发育时间、寿命、繁殖力产生不同的影响(李志雄等, 2020)。本研究发现,麦长管蚜长期暴露于 LC₂₀ 浓度呋虫胺后, F₀ 代和 F₁ 代成蚜的寿命(表 5)、存活率(图 1)和产蚜量(表 5; 图 2)都较敏感品系显著缩短或明显降低,且 F₀ 代若蚜历期显著延长(表 4),这与段辛乐等(2015)等研究关于亚致死剂量毒死蜱和异丙威处理禾谷缢管蚜后成蚜寿命、产蚜量下降及 F₁ 代(为本试验 F₀ 代)若蚜历期显著延长的结果相一致,也与孔利利等(2019)研究亚致死剂量啉虫脒对豌豆蚜的结果相似,表明害虫可以降低种群适合度增强其对杀虫剂的抗性(王争艳等, 2021),但本研究也发现麦长管蚜 F₁ 代若蚜历期较敏感品系的显著缩短(表 4),表现出适合度优势(吴青君等, 2000; Mansoor *et al.*, 2013),这可能与种群抗性的发展有关,因为抗性代价小的抗性基因更容易进化(Davies *et al.*, 1996)。

生命表是研究和评价环境因子对昆虫种群变化的有效方法(刘中芳等, 2016)。亚致死效应不仅影响昆虫的生长、发育、生存和繁殖,还通过生命表参数的不同值反映其种群数量的变化(Cao *et al.*, 2019; Hunn *et al.*, 2019)。本研究测得麦长管蚜种群 F₀ 和 F₁ 代成蚜生命表参数中的净增殖率 R₀、内

禀增长率 R_m 和周限增长率 λ 均显著降低,而种群加倍时间 DT 显著延长(表 6),这与刘中芳等(2016)用吡虫啉亚致死剂量处理日本通草蛉后抑制了种群的增长和杨洪等(2012)用氯虫苯甲酰胺亚致死剂量处理白背飞虱后对 F₁ 代具有胁迫效应等结果相类似,说明农药亚致死剂量对昆虫种群增长具有一定的抑制作用,但谢佳燕等(2021)研究表明不同亚致死浓度吡虫啉对麦二叉蚜 2 个子代种群的生命表参数无显著影响,与李定银(2021)等研究乙基多杀菌素对西花蓟马种群的净增殖率和内禀增长率等种群参数没有明显影响的结果一致。不同研究人员研究结果不同,可能与农药的种类、用量、暴露时间、繁衍世代数、昆虫的种类、抗药性发展的速度及昆虫饲养的环境条件等因素密切相关。

综上所述,亚致死效应是一个被多种因素长期影响的复杂过程(刘丰静等, 2019)。因此在研究麦长管蚜亚致死效应时,除考虑抗药性水平、处理浓度及胁迫时间外,还应综合考虑各种因素,如药剂的种类、害虫所处的环境条件等。目前我们对呋虫胺引起麦长管蚜的亚致死效应仅局限于室内的初步研究,而对于田间条件下产生的亚致死效应还有待做进一步的评估,同时造成杀虫剂对害虫亚致死效应的内在机制还不明确,因此,还需进一步开展亚致死浓度呋虫胺对田间麦长管蚜种群动态、生态群落方面的系统研究及更深层次探讨呋虫胺亚致死效应的酶动力学及分子生物学机制的研究,以便更好地为科学利用呋虫胺防治麦长管蚜及延长药剂使用寿命提供理论依据。

参考文献 (References)

Ali E, Liao X, Yang P, Mao KK, Zhang XL, Shakeel M, Salim AMA, Wan H, Li JH, 2017. Sublethal effects of buprofezin on development and reproduction in the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae). *Sci. Rep.*, 7(1): 16913.

Ayyanath MM, Cutler GC, Scott-Dupree CD, Sibley PK, 2013. Transgenerational shifts in reproduction hormesis in green peach aphid exposed to low concentrations of imidacloprid. *PLoS ONE*, 8(9): e74532.

Boina DR, Onagbola EO, Salyani M, Stelinski LL, 2009. Antifeedant and sublethal effects of imidacloprid on Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*. *Pest Manag. Sci.*, 65(8): 870–877.

Calabrese EJ, Baldwin LA, 2002. Defining hormesis. *Hum. Exp. Toxicol.*, 21(2): 91–97.

Cao Y, Yang H, Li J, Wang C, Li C, Gao YL, 2019. Sublethal effects of imidacloprid on the population development of western flower thrips

- Frankliniella occidentalis (Thysanoptera: Thripidae). *Insects*, 10 (1): 3.
- Chen KW, He YR, Lü YQ, Lü X, Huang SS, 2005. Effect of temperature on the population parameters of *Trichogrammatoidea bactrae* Nagaraja. *Acta Ecol. Sin.*, 25(1): 73–77. [陈科伟, 何余容, 吕燕青, 吕欣, 黄寿山, 2005. 温度对卷蛾分索赤眼蜂种群参数的影响. *生态学报*, 25(1): 73–77]
- Davies AG, Game AY, Chen Z, Williams TJ, Goodall S, Yen JL, McKenzie JA, Batterham P, 1996. Scalloped wings is the *Lucilia cuprina* Notch homologue and a candidate for the modifier of fitness and asymmetry of diazinon resistance. *Genetics*, 143(3): 1321–1337.
- Deng DH, Duan WB, Wang H, Zhang K, Guo JL, Yuan LL, Wang LK, Wu SY, 2019. Assessment of the effects of lethal and sublethal exposure to dinotefuran on the wheat aphid *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus). *Ecotoxicology*, 28(7): 825–833.
- Duan XL, Qiao XF, Chen MH, 2015. Effects of sub-lethal concentrations of chlorpyrifos and isoprocarb on experimental population of *Rhopalosiphum padi*. *Chin. J. Ecol-Agric.*, 23(3): 329–336. [段辛乐, 乔宪凤, 陈茂华, 2015. 亚致死浓度毒死蜱和异丙威对禾谷缢管蚜试验种群的影响. *中国生态农业学报*, 23(3): 329–336]
- Haynes KF, 1988. Sublethal effects of neurotoxic insecticides on insect behavior. *Annu. Rev. Entomol.*, 33: 149–168.
- Hou WJ, 2012. Resistance Mechanisms of Western Flower Thrips (*Frankliniella occidentalis*) to Spinosad. MSc Thesis, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing. [侯文杰, 2012. 西花蓟马对多杀菌素抗性机理的研究. 北京: 中国农业科学院硕士学位论文]
- Hu XS, Li JW, Peng JF, Zhao HY, Liu TX, 2022. Grain aphid *Sitobion miscanthi*: Damage on wheat yield components and its ecological control. *Chin. Agric. Sci. Bull.*, 38(12): 110–118. [胡想顺, 李靖文, 彭静凤, 赵惠燕, 刘同先, 2022. 麦长管蚜对小麦产量成分的影响与生态防控. *中国农学通报*, 38(12): 110–118]
- Huang YN, 2018. Insecticide Resistance Monitoring and Symbionts Detection in *Rhopalosiphum padi* Field Populations from Guanzhong Area of Shaanxi Province. MSc Thesis, Northwest A&F University, Yangling. [黄彦娜, 2018. 陕西关中地区禾谷缢管蚜抗药性监测及共生菌检测. 杨凌: 西北农林科技大学硕士学位论文]
- Huang YS, Zhang JY, Jiang MX, 2017. Effects of body size on the population biology of insects. *Acta Ecol. Sin.*, 37(7): 2158–2168. [黄韵珊, 张静宇, 蒋明星, 2017. 昆虫个体大小对其种群生物学的影响. *生态学报*, 37(7): 2158–2168]
- Hunn JG, MacAulay SJ, Matthaedi CD, 2019. Food shortage amplifies negative sublethal impacts of low-level exposure to the neonicotinoid insecticide imidacloprid on stream mayfly nymphs. *Water*, 11(10): 2142.
- Kobiela ME, Snell-Rood EC, 2020. Genetic variation influences tolerance to a neonicotinoid insecticide in 3 butterfly species. *Environ. Toxicol. Chem.*, 39(11): 2228–2236.
- Kong LL, Cui CL, Zhang TW, Peng Y, Wei XJ, Feng HP, Zhang JW, 2019. Effects of sublethal doses of acetamiprid on growth and reproduction of *Acyrtosiphon pisum*. *China Plant Prot.*, 39(4): 66–69. [孔利利, 崔春利, 张廷伟, 彭怡, 魏雪娟, 冯和鹏, 张举文, 2019. 啉虫脒亚致死剂量对豌豆蚜生长发育和繁殖的影响. *中国植保导刊*, 39(4): 66–69]
- Koo HN, Lee SW, Yun SH, Kim HK, Kim GH, 2015. Feeding response of the cotton aphid, *Aphis gossypii*, to sublethal rates of flonicamid and imidacloprid. *Entomol. Exp. Appl.*, 154(2): 110–119.
- Lei Q, 2019. Inheritability of Body Size and It's Effects on Parasitization Ability of *Trichogramma*. MSc Thesis, Nanjing Agricultural University, Nanjing. [雷淇, 2019. 个体大小的可遗传性及对赤眼蜂寄生能力的影响. 南京: 南京农业大学硕士学位论文]
- Li DY, Zhi JR, Zhang T, Yue WB, 2021. Effects of multigenerational spinetoram stress on the detoxification enzyme activities, development and reproduction of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera:Thripidae). *Acta Entomol. Sin.*, 64(10): 1176–1186. [李定银, 邹军锐, 张涛, 岳文波, 2021. 乙基多杀菌素多代胁迫对西花蓟马解毒酶活性、发育和繁殖的影响. *昆虫学报*, 64(10): 1176–1186]
- Li WQ, Lu ZB, Li LL, Yu Y, Dong S, Men XY, Ye BH, 2018. Sublethal effects of imidacloprid on the performance of the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi*. *PLoS ONE*, 13(9): e0204097.
- Li ZX, Wei YD, Cao W, Ma X, Ma ZH, Su Y, Han X, Yao YS, 2020. Effects of matrine and veratrine sublethal doses on growth, development and reproduction of cotton aphids. *Agrochemicals*, 59(12): 880–884. [李志雄, 魏引弟, 曹巍, 马雪, 麻正辉, 苏悦, 韩旭, 姚永生, 2020. 苦参碱和藜芦碱亚致死剂量对棉花蚜虫生长发育及繁殖的影响. *农药*, 59(12): 880–884]
- Liu FJ, Li LD, Li HL, Zeng MS, Wu GY, 2019. Effect of sublethal dose bifenthrin on growth and reproduction of *Ectopis obliqua* progeny. *Acta Tea Sin.*, 60(3): 114–118. [刘丰静, 李良德, 李慧玲, 曾明森, 吴光远, 2019. 亚致死剂量联苯菊酯对茶尺蠖子代生长发育的影响. *茶叶学报*, 60(3): 114–118]
- Liu YC, 2016. Insecticide Resistance and Studies on Sublethal Effects of Dinotefuran on *Rhopalosiphum padi*. MSc Thesis, Sichuan Agricultural University, Ya'an. [刘燕承, 2016. 禾谷缢管蚜抗药性及呋虫胺对其亚致死效应研究. 雅安: 四川农业大学硕士学位论文]
- Liu ZF, Feng YT, Gao Y, Guo XJ, Zhang PJ, Fan RJ, 2016. Effects of sublethal dose of imidacloprid on life table of experimental populations of lacewing *Chrysoperla nipponensis* (Okamoto) (Neuroptera:Chrysopidae). *J. Plant Prot.*, 43(6): 1014–1019. [刘中芳, 封云涛, 高越, 郭晓君, 张鹏九, 范仁俊, 2016. 吡虫啉亚致死剂量对日本通草蛉实验种群生命表的影响. *植物保护学报*, 43(6): 1014–1019]
- Liu ZQ, Hu X, Li L, Zhu F, Yuan LF, Li W, Cheng YP, Chen ZL, 2021. Research progress on the enantioselectivity of a neonicotinoid pesticide dinotefuran. *China Environ. Sci.*, 41(10): 4811–4819. [刘子琪, 呼啸, 李莉, 朱峰, 袁龙飞, 李薇, 程有普, 陈增龙, 2021. 新烟碱类农药呋虫胺对映体选择性研究进展. *中国环境科学*, 41(10): 4811–4819]

Mansoor MM, Abbas N, Ali Shad S, Pathan AK, Razaq M, 2013. Increased fitness and realized heritability in emamectin benzoate-resistant *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Ecotoxicology*, 22(8): 1232–1240.

Mao M, 2018. The Cloning of the Related Genes in the Synthesis and Decomposition of the Juvenile Hormone and the Effects of Furfylamine on Its Related Genes of the White-backed Planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth). MSc Thesis, Sichuan Agricultural University, Ya'an. [毛敏, 2018. 白背飞虱保幼激素合成和分解相关基因的克隆及呋虫胺对其相关基因的影响. 雅安: 四川农业大学硕士学位论文]

McLuckie C, Moltschaniewskij N, Gaston T, Dunstan RH, Crompton M, Butcherine P, Benkendorff K, Taylor MD, 2020. Lethal and sublethal effects of environmentally relevant levels of imidacloprid pesticide to Eastern School Prawn, *Metapenaeus macleayi*. *Sci. Total Environ.*, 742: 140449.

Quan LF, Zhang HJ, Sun LN, Li YY, Yan WT, Yue Q, Qiu GS, 2016. Research advances in sublethal effect of pesticide. *J. Agric.*, 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. 农学报, 6(5): 33–38]

Rix RR, Ayyanath MM, Christopher Cutler G, 2016. Sublethal concentrations of imidacloprid increase reproduction, alter expression of detoxification genes, and prime *Myzus persicae* for subsequent stress. *J. Pest Sci.*, 89(2): 581–589.

Shi LT, 2021. Toxicity and Sublethal Effects of Neonicotinic Insecticides on *Riptortus pedestris*. MSc Thesis, Hebei University, Baoding. [时路亭, 2021. 新烟碱类杀虫剂对点蜂缘蝽的室内毒力及亚致死效应. 保定: 河北大学硕士学位论文]

Sun RH, Jiang LL, Wu HB, Gong QT, Yang MX, Zhang YJ, 2020. The development of chemical control and resistance of green peach aphid in China. *Agrochemicals*, 59(1): 1–5. [孙瑞红, 姜莉莉, 武海斌, 宫庆涛, 杨铭鑫, 张永军, 2020. 中国桃蚜防治药剂及抗性发展. 农药, 59(1): 1–5]

Wang MF, Yuan GH, Chen JL, Lei ZS, Wu ZQ, 2006. Study on the occurrence and damage characteristics of wheat aphid and the identification of wheat aphid resistance. *J. Henan Agric. Sci.*, 35(7): 58–60. [王美芳, 原国辉, 陈巨莲, 雷振生, 吴政卿, 2006. 麦蚜发生危害特点及小麦抗蚜性鉴定的研究. 河南农业科学, 35(7): 58–60]

Wang XY, 2004. Sublethal effects of insecticides on insects. *World Pestic.*, 26(3): 24–27. [王小艺, 2004. 杀虫剂对昆虫的亚致死效应. 世界农药, 26(3): 24–27]

Wang ZY, Wang WF, Miao SY, Lu YJ, 2021. Progress in research on the relative fitness of insecticide-resistant insects. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 58(3): 487–496. [王争艳, 王文芳, 苗世远, 鲁玉杰, 2021. 抗性昆虫相对适合度的研究进展. 应用昆虫学报, 58(3): 487–496]

Wu QJ, Zhang WJ, Zhang YJ, Xu BY, Zhu GR, 2000. Biotic fitness of abamectin susceptible and resistant strains of *Plutella xylostella* L. *Chin. J. Pestic. Sci.*, 2(1): 36–40. [吴青君, 张文吉, 张友军, 徐宝云, 朱国仁, 2000. 敏感和抗阿维菌素小菜蛾的生物适合度. 农药学报, 2(1): 36–40]

Xie JY, Shen ZL, Geng JY, 2021. Tolerance to imidacloprid and esterase activity of *Sitobion avenae* (Fabricius) sampled from different regions in China. *J. Wuhan Polytech. Univ.*, 40(5): 9–13. [谢佳燕, 沈卓玲, 耿佳瑶, 2021. 不同地区麦长管蚜种群对吡虫啉的耐受性及其酯酶活性的研究. 武汉轻工大学学报, 40(5): 9–13]

Xie JY, Wu C, Lin J, Li R, 2021. Effects of sublethal concentrations of imidacloprid on the transgenerational life table characteristics of *Schizaphis graminum* (Rondani). *J. South Agric.*, 52(9): 2375–2381. [谢佳燕, 吴聪, 林佳, 李睿, 2021. 亚致死浓度吡虫啉对麦二叉蚜多个世代生命表的影响. 南方农业学报, 52(9): 2375–2381]

Yang H, Wang Z, Jin DC, 2012. Sublethal effects of chlorantraniliprole on the experimental populations of the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae). *Acta Entomol. Sin.*, 55(10): 1161–1167. [杨洪, 王召, 金道超, 2012. 氯虫苯甲酰胺对白背飞虱实验种群的亚致死效应. 昆虫学报, 55(10): 1161–1167]

Yu HL, Xiang X, Yuan GX, Chen YQ, Wang XG, 2015. Effects of sublethal doses of cyantraniliprole on the growth and development and the activities of detoxifying enzymes in *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomol. Sin.*, 58(6): 634–641. [余慧灵, 向兴, 袁贵鑫, 陈羿渠, 王学贵, 2015. 溴氰虫酰胺亚致死剂量对甜菜夜蛾生长发育及体内解毒酶活性的影响. 昆虫学报, 58(6): 634–641]

Zhang TY, 2014. The Inhibition of Light on the Pine Wood Nematode Populations and the Light-sensitive Genetic Preliminary Research. MSc Thesis, Zhejiang A&F University, Hangzhou. [张田园, 2014. 光照对松材线虫的种群抑制作用及光敏感基因初探. 杭州: 浙江农林大学硕士学位论文]

Zhou HB, Cheng DF, Chen JL, 2014. Techniques for field survey and monitoring of wheat aphids in China. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 51(3): 853–858. [周海波, 程登发, 陈巨莲, 2014. 小麦蚜虫田间调查及监测技术. 应用昆虫学报, 51(3): 853–858]

(责任编辑: 赵利辉)