

噻虫嗪种衣剂对草地贪夜蛾生命参数的影响

巴吐西^{1,2} 张智³ 寇爽⁴ 李祥瑞² 张爱环^{1*} 张云慧^{2*}

(1. 北京农学院生物与资源环境学院, 农业农村部华北都市农业重点实验室, 北京 102206; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193; 3. 北京市植物保护站, 北京 100029; 4. 北京市通州区植物保护站, 北京 101100)

摘要:为明确噻虫嗪种衣剂对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 生长发育和繁殖能力的影响, 通过室内种群生命表方法分析不同浓度 0.5、1、2、4 mL/kg 噻虫嗪处理下草地贪夜蛾种群的生命参数。结果表明: 草地贪夜蛾幼虫历期和世代周期随着噻虫嗪浓度的增加而延长, 1 mL/kg 浓度处理下雄成虫寿命为 15.40 d, 平均单雌产卵量为 888.04 粒, 均显著高于对照和其它浓度处理, 而雌成虫产卵前期为 3.88 d, 显著短于对照和其它浓度处理。噻虫嗪浓度对草地贪夜蛾蛹期和雌成虫寿命无显著影响, 但对蛹重有一定影响, 0.5、1 mL/kg 浓度处理的蛹重与对照无显著差异, 2、4 mL/kg 浓度处理的蛹重随浓度增加而显著降低; 幼虫存活率、化蛹率和羽化率随着噻虫嗪浓度的增加而降低。0.5、1 mL/kg 浓度处理后雌成虫繁殖力和最高繁殖值较对照偏高, 2、4 mL/kg 浓度处理则相反。0.5、1 mL/kg 浓度处理的草地贪夜蛾平均世代周期、净增殖率、内禀增长率、周限增长率均与对照无显著差异; 2、4 mL/kg 浓度处理的平均世代周期随着噻虫嗪浓度的增加而显著增加, 净增殖率、内禀增长率、周限增长率则随着浓度的增加而显著下降。表明噻虫嗪种衣剂处理在较高浓度时对当代草地贪夜蛾种群有一定的抑制作用, 随着药剂在植株体内的降解, 这种抑制作用逐渐降低, 低浓度处理对成虫生殖能力具有一定的促进作用。

关键词: 草地贪夜蛾; 噻虫嗪; 种衣剂; 抗药性

Impacts of seed coating of thiamethoxam on life parameters of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)

Batuxi^{1,2} ZHANG Zhi³ KOU Shuang⁴ LI Xiangrui² ZHANG Aihuan^{1*} ZHANG Yunhui^{2*}

(1. Key Laboratory of Urban Agriculture (North China), Ministry of Agriculture and Rural Affairs; College of Bioscience, Resources and Environment, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China; 2. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 3. Beijing Plant Protection Station, Beijing 100029, China; 4. Tongzhou District Plant Protection Station of Beijing, Beijing 101100, China)

Abstract: In order to clarify the effect of thiamethoxam on the growth, development and reproduction ability of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, the indoor population life table method was used to analyze the life parameters of *S. frugiperda* under different concentrations (0.5, 1, 2 and 4 mL/kg) of thiamethoxam. The results showed that the life span of male (15.40 d) and the average number of single female eggs (888.04) in 1 mL/kg treatment were significantly higher than those in the control and other treatments, and the number of days before spawning (3.88 d) was significantly lower than those in the

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFD0300102), 国家现代农业(小麦)产业技术体系(CARS-03), 中国农业科学院重大任务联合攻关(CAAS-ZDRW202007)

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: zhangaihuan@126.com, yhzhang@ippcaas.cn

收稿日期: 2020-04-06

control and other treatments. Thiamethoxam concentration had no significant effects on the pupal stage and female lifespan of *S. frugiperda*, but imposed a certain effect on the pupal weight. There was no significant difference between the pupal weights under 0.5 mL/kg and 1 mL/kg treatments and the control, but the pupal weights under 2 mL/kg and 4 mL/kg treatments decreased significantly as the concentration increased. The survival rate, pupation rate and emergence rate of larvae decreased with increasing concentration of thiamethoxam. The fecundity and maximum reproduction value of females after 0.5 mL/kg and 1 mL/kg treatments were higher than those of the control, while the 2 mL/kg and 4 mL/kg treatments were the opposite. The average generation periods under 2 mL/kg and 4 mL/kg concentration treatments increased significantly with increasing concentration of thiamethoxam, and the net reproduction rate, intrinsic growth rate, and weekly growth rate decreased significantly with the increase of concentration. The results indicated that the seed coating agent thiamethoxam had a certain inhibitory effect on the F_0 generation of *S. frugiperda* population. With the degradation of the agent in the plant, the inhibitory effect gradually decreased. The 0.5 mL/kg and 1 mL/kg treatments had an effect on adult reproduction.

Key words: *Spodoptera frugiperda*; thiamethoxam; seed coating agent; pesticide resistance

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 原产于美洲热带和亚热带地区, 由于具有较强的适生性、迁飞性、多食性和易产生抗药性等特点, 目前已成为跨国界、跨洲际的重大农业害虫 (Sparks, 1979; Goergen et al., 2016; 巴吐西等, 2019)。该虫自 2019 年 1 月入侵我国以来, 截至到 2019 年 10 月已扩散至 26 个省 (自治区、直辖市), 玉米上发生面积达 106.5 万 hm^2 (姜玉英等, 2019)。鉴于化学农药具有高效、速效、经济方便、不受地域季节影响的特点, 化学防治成为了当前国内应急防控草地贪夜蛾的主要手段 (赵胜园等, 2019)。但随着化学药剂的大量使用, 草地贪夜蛾的抗药性问题也日益凸显。目前, 对草地贪夜蛾的抗药性监测结果表明, 该虫已对 41 种杀虫剂有效成分产生了不同程度的抗性 (Pitre, 1986; IRAC, 2018; APRD, 2019), 既包括有机磷、拟除虫菊酯等传统杀虫剂, 也包括双酰胺、多杀菌素等新型杀虫剂 (李永平等, 2019)。因此, 如果不注意药剂的科学、合理使用, 草地贪夜蛾抗药性的暴发将不可避免 (吴益东等, 2019)。

玉米属高秆作物, 在生产中通过人工喷雾方式防治虫害费时费力, 实施较为困难, 种子包衣技术用药量小、持效期长、靶标性强, 已成为农业生产上防治病虫害的重要手段。在我国玉米主产区主要用噻虫嗪、吡虫啉等新烟碱类农药进行种子包衣处理, 用于防治蚜虫、飞虱、叶蝉、粉虱等刺吸式害虫 (田体伟等, 2015; 纪祥龙等, 2017; 李福军, 2018)。2019 年草地贪夜蛾在我国的发生为害规律显示其成虫产卵期与玉米苗期高度吻合, 各地首见幼虫为害时, 玉米多为苗期至喇叭口期 (姜玉英等, 2019), 因此, 在我

国玉米主产区, 草地贪夜蛾幼虫基本是取食新烟碱类种衣剂处理的玉米苗, 但目前对于其在新烟碱类种衣剂处理玉米田的存活率及新烟碱类种衣剂处理对其生长发育和繁殖能力的影响尚缺少相应的研究报告。由于新烟碱类杀虫剂靶标害虫主要是半翅目害虫如蚜虫、粉虱以及鞘翅目的甲虫类, 对鳞翅目昆虫的防治效果较低 (吴凌云等, 2009)。田体伟等 (2015) 研究发现新烟碱类农药用于种子包衣处理会加重玉米后期非靶标害虫螟虫为害, 因此, 必须加强新烟碱类农药对非靶标害虫影响的监测。

噻虫嗪为第 2 代新烟碱类杀虫剂, 杀虫谱广、对作物安全, 既可用于茎叶处理、种子处理, 也可用于土壤处理 (Karmakar & Kulshrestha, 2009), 在我国小麦和玉米生产中被作为种衣剂进行大面积的推广应用。随着噻虫嗪种衣剂在小麦和玉米上的广泛使用, 这些低剂量的药剂是否会对草地贪夜蛾形成亚致死效应, 是否会使其种群抗药性增强及与其它药剂产生交互抗性尚不清楚。因此, 本研究以噻虫嗪种衣剂处理玉米苗来饲喂草地贪夜蛾幼虫, 通过两性生命表方法研究噻虫嗪种衣剂处理对其生长发育和繁殖能力的影响, 以期为我国草地贪夜蛾的抗性监测和有效防控提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

供试玉米及种衣剂: 玉米品种为京科 968, 由北京市农林科学院玉米研究中心选育, 购自当地市场; 35% 噻虫嗪 (thiamethoxam) 悬浮种衣剂, 由瑞士先正达作物保护有限公司提供。

供试昆虫:从云南省普洱市江城县冬玉米田中采集草地贪夜蛾高龄幼虫,在室内用新鲜玉米叶继代饲养,成虫用5%蜂蜜水饲喂,收集所产卵块备用。

试剂及仪器:所用试剂均为国产分析纯或色谱纯。TSQ QUANTUM ULTRA液相色谱串联质谱仪和BEH C18色谱柱,美国Thermo公司。

1.2 方法

1.2.1 噻虫嗪在玉米植株内的残留分析

将噻虫嗪种衣剂按照不同浓度0.5、1、2、4 mL/kg与京科968玉米种子进行拌种处理,以不拌药种子作为空白对照。将不同浓度种衣剂处理的玉米种子播种在长40 cm×宽60 cm×高30 cm的塑料盒内,每个浓度处理6次重复,1盒为1个重复,每盒播种约100粒,种子间间隔约5 cm,播种后不间苗,播种日期为6月30日,塑料盒放置在室外,除定期浇水外,让其自然生长。

取出苗9 d的玉米植株茎基部及以上部分,用粉碎机打碎,混匀。准确称取10.0 g于50 mL具塞离心管中,每处理重复3次,加5 mL超纯水和20 mL乙腈,振荡提取30 min,加入氯化钠5 g、无水硫酸镁2 g,高速涡旋1 min,以3 800 r/min离心5 min,取1 mL上清液置于含50 mg N-丙基乙二胺的2 mL离心管中,涡旋1 min,以10 000 r/min离心3 min,取上清液过0.22 μm有机系滤膜装入自动进样瓶中,采用液相色谱串联质谱仪测定玉米植株中噻虫嗪的含量。

液相色谱条件:BEH C18色谱柱(粒径3.5 μm,长100 mm×直径2.1 mm);柱温45℃;流动相A为乙腈,流动相B为0.2%甲酸水溶液,采用梯度洗脱程序:0~0.5 min, 10% A; 0.5~1.5 min, 10%~90% A; 1.5~3.0 min, 90% A; 3.0~3.1 min, 90%~10% A; 3.1~5.1 min, 10% A。流速为0.3 mL/min;进样量为10 μL。

质谱条件:电喷雾离子源,正离子电离(ESI+);毛细管电压为3.0 kV;离子源温度为120℃;碰撞能量为10 V;去溶剂温度为350℃;去溶剂气流量为氮气,流速为10.0 mL/min;锥孔电压为15 V;碰撞气为氮气。定性离子对质核比为241/117、定量离子对质核比为241/193。以质谱多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM)定量离子的色谱峰面积 y 为纵轴、以分析物的质量浓度 x 为横轴建立标准曲线,并通过标准曲线计算玉米样品中噻虫嗪的残留量。

1.2.2 噻虫嗪对草地贪夜蛾生长和繁殖的影响测定

将收集的卵块放入充有空气的保鲜袋内,放置在养虫室,卵孵化后,将初孵幼虫接入直径9 cm培养皿内单头饲养,以1.2.1中出苗9 d后的噻虫嗪不

同浓度处理玉米苗进行单头饲养,每天定时用无菌剪刀从茎基部剪取玉米植株,再将整株剪成1~2 cm,放入培养皿进行幼虫饲养,每天定时更换新鲜玉米苗。养虫室温度为(25±1)℃、光照周期为14 L:10 D、相对湿度为(70±5)%、光照强度为18 000 lx。每个浓度处理50头幼虫,重复6次,4 mL/kg浓度处理重复8次。每24 h调查1次,记录噻虫嗪不同浓度处理玉米苗饲喂的幼虫龄期及死亡个体。幼虫化蛹后转入直径6 cm、高10 cm的玻璃养虫管,用棉塞封口,上面覆盖潮湿纱布保湿、避光,化蛹第2天称量蛹重,记录羽化时间。成虫羽化后第1天,同一处理的雌雄成虫配对放入上口直径12 cm,高7 cm,底部直径8 cm的1次性环保圆形餐盒内,上面覆盖纱布,每日饲喂5%蜂蜜水,成虫开始产卵后,每日更换纱布,记录每日单雌产卵量,直到雌、雄成虫全部死亡。

1.2.3 噻虫嗪处理下草地贪夜蛾生命表参数的计算

利用1.2.2中每日记录的不同噻虫嗪浓度处理下草地贪夜蛾各龄期幼虫的发育历期、死亡个体数及成虫的每日产卵量、死亡时间等数据,根据年龄-阶段两性生命表理论(Chi, 2016),基于原始数据利用软件TWOSEX-MSChart(Chi & Su, 2006)计算并分析草地贪夜蛾的年龄-阶段特征存活率 s_{xy} ,即个体由卵发育到年龄 x 及龄期 j 的概率;种群年龄-阶段特征存活率 l_x ,即从卵发育到年龄 x 的存活率;雌虫年龄-阶段特征繁殖力 f_x ,即个体在年龄 x 时的繁殖力;种群年龄-阶段特征繁殖力 m_x ,即种群在年龄 x 时的平均产卵量;种群年龄-阶段特征繁殖值 $l_x m_x$,即种群在年龄 x 时的净繁殖力;特定年龄-阶段寿命期望 e_{xy} ,表示年龄 x 阶段 j 的个体预期存活的总时间。

草地贪夜蛾种群生命参数净增殖率 R_0 、内禀增长率 r_m 、周限增长率 λ 和平均世代周 T 分别按照下面公式计算,其中内禀增长率用迭代二分法和Euler-Lotka方程计算。其中, $R_0 = \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x$, $\sum_{x=0}^{\infty} e^{-r_m(x+1)} l_x m_x = 1$,

$$\lambda = e^{r_m}, T = \ln R_0 / r_m。$$

$\lambda = e^{r_m}, T = \ln R_0 / r_m。$

1.3 数据分析

利用SPSS 19.0软件对草地贪夜蛾发育历期、蛹重、产卵前期、单雌产卵量、成虫寿命进行单因素方差分析,应用Tukey's HSD法进行差异显著性检验;生命表参数用 t 测验法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 噻虫嗪在玉米植株内的残留分析

噻虫嗪在出苗9 d的玉米植株内的残留量随着

其拌种浓度的增加而增加,4 mL/kg 浓度处理的残留量最高,为 62.8 mg/kg,显著高于其它浓度处理,0.5 mL/kg 浓度处理的残留量最低,为 6.1 mg/kg,与 1 mL/kg 处理(10.2 mg/kg)差异不显著(图 1)。同时,在对照中也能检测到噻虫嗪,残留量为 0.017 mL/kg,表明以噻虫嗪种衣剂处理玉米收获的籽粒作为种子,后期的玉米植株仍可检测到噻虫嗪残留。

2.2 噻虫嗪对草地贪夜蛾生长发育和繁殖的影响

草地贪夜蛾 1~4 龄幼虫发育历期均随着噻虫嗪浓度的增加而延长,0.5、1、2 mL/kg 浓度处理的幼虫发育历期和对照无显著差异,4 mL/kg 浓度处理下 1 龄和 4 龄幼虫发育历期显著长于对照;5 龄幼虫发育历期在 0.5 mL/kg 和 1 mL/kg 浓度处理下较对照缩短,在 2 mL/kg 和 4 mL/kg 浓度处理下较对照延长,但各浓度处理与对照均无显著差异;6 龄幼虫发育历期在 0.5、1、2 mL/kg 处理下较对照缩短,在 4 mL/kg 处

理下较对照延长,但差异均未达显著水平(表 1)。

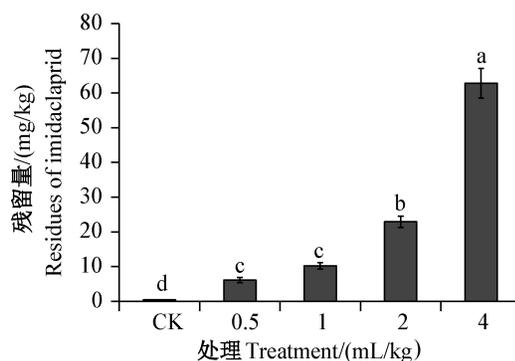


图 1 不同浓度噻虫嗪拌种处理后在玉米植株内的残留量

Fig. 1 Thiamethoxam residues in plant tissues from maize treated with different dosages of thiamethoxam

图中数据为平均数±标准误。不同字母表示经 Tukey's HSD 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters indicate significant difference at $P<0.05$ level by Tukey's HSD test.

表 1 噻虫嗪不同浓度拌种处理对草地贪夜蛾生长发育和繁殖的影响

Table 1 Influences of different concentration of thiamethoxam seed coating on the development and fecundity of *Spodoptera frugiperda*

发育阶段 Stage	处理 Treatment/(mL/kg)				
	CK	0.5	1.0	2.0	4.0
1 龄 1st-instar/d	2.98±0.01 b	3.16±0.05 b	3.18±0.04 b	3.15±0.05 b	3.74±0.06 a
2 龄 2nd-instar/d	1.88±0.03 ab	2.29±0.05 ab	2.03±0.04 ab	2.04±0.06 ab	2.38±0.06 a
3 龄 3rd-instar/d	1.70±0.03 ab	1.82±0.04 ab	1.91±0.04 ab	2.24±0.06 a	2.27±0.06 a
4 龄 4th-instar/d	1.85±0.04 b	1.90±0.05 b	1.98±0.05 b	2.12±0.05 ab	2.34±0.06 a
5 龄 5th-instar/d	2.31±0.05 a	2.02±0.04 a	2.22±0.05 a	2.46±0.06 a	2.77±0.07 a
6 龄 6th-instar/d	4.26±0.06 a	3.32±0.06 ab	3.60±0.07 ab	4.02±0.08 a	4.78±0.12 a
预蛹期 Prepupa/d	1.33±0.04 a	1.32±0.04 a	1.31±0.04 a	1.42±0.04 a	1.67±0.04 a
幼虫期 Larval stage/d	16.42±0.15 b	16.48±0.13 b	16.57±0.12 b	17.45±0.14 ab	19.60±0.16 a
蛹期 Pupae stage/d	10.92±0.52 a	11.13±0.11 a	11.59±0.11 a	11.68±0.09 a	11.71±0.09 a
雌成虫寿命/d Female adult longevity	14.96±0.28 a	14.89±0.43 a	14.28±0.34 a	14.05±0.35 a	14.87±0.48 a
雄成虫寿命/d Male adult longevity	12.24±0.25 b	12.55±0.43 b	15.40±0.55 a	12.84±0.40 b	13.15±0.47 b
蛹重 Pupal weight/g	176.18±1.61 a	176.91±1.54 a	184.36±1.57 a	170.51±1.55 b	155.12±1.56 c
产卵前期/d Preoviposition stage	4.37±0.20 a	4.28±0.21 a	3.88±0.23 b	4.21±0.24 a	4.98±0.38 a
单雌产卵量/粒 Eggs laid per female	816.23±23.95 b	842.75±33.18 ab	888.04±40.58 a	642.39±31.04 c	600.14±34.09 c
世代发育历期/d Generation time	40.89±0.54 c	40.84±0.31 c	42.36±0.35 b	42.73±0.34 b	45.11±0.38 a

表中数据为平均数±标准误。同行不同字母表示经 Tukey's HSD 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data in the table are mean±SE. Different letters in the same row indicate significant difference at $P<0.05$ level by Tukey's HSD test.

草地贪夜蛾的预蛹期、蛹期和雌成虫寿命在噻虫嗪不同浓度处理间均无显著差异;雄成虫寿命在 1 mL/kg 浓度处理下最长,为 15.40 d,显著长于对照

和其它浓度处理。4 mL/kg 浓度处理下幼虫期最长,为 19.60 d,显著长于对照和 0.5、1 mL/kg 浓度处理。蛹重在 0.5 mL/kg 和 1 mL/kg 浓度处理下与对照无显

著差异,在2 mL/kg和4 mL/kg浓度处理下显著低于对照和其它浓度处理,分别为170.51 g和155.12 g。成虫产卵前期在1 mL/kg浓度处理下最短,为3.88 d,显著短于其它处理,此浓度处理下单雌产卵量最高,达到888.04粒,与0.5 mL/kg浓度处理无显著差异,但显著高于对照、2 mL/kg和4 mL/kg浓度处理,而2 mL/kg和4 mL/kg浓度处理的单雌产卵量分别为642.39粒和600.14粒,显著低于对照的816.23粒。0.5 mL/kg浓度处理下的世代发育历期与对照差异不显著,其它浓度处理下的世代发育历期较对照显著延长,其中4 mL/kg浓度处理下的世代发育历期最长,为45.11 d(表1)。

2.3 噻虫嗪对草地贪夜蛾生命表参数的影响

2.3.1 对草地贪夜蛾不同发育阶段存活率的影响

草地贪夜蛾取食不同浓度噻虫嗪处理玉米苗的

年龄-阶段特征存活率 s_{ij} 曲线显示,该虫幼虫期存活率随着噻虫嗪浓度的增加而减小,对照和0.5、1、2、4 mL/kg浓度处理下依次为95.39%、95.10%、88.54%、82.58%和64.83%,尤其是1龄和2龄幼虫的存活率随噻虫嗪浓度增高而下降明显,对照和0.5、1、2、4 mL/kg浓度处理下1龄幼虫存活率依次为98.32%、97.55%、93.89%、87.50%和73.23%,2龄幼虫存活率依次为97.90%、97.14%、93.51%、87.12%和72.17%,3~6龄幼虫存活率下降幅度相似,均较小。不同浓度噻虫嗪处理下草地贪夜蛾预蛹到蛹期的成活率差异不大,最低为97.85%,4 mL/kg浓度处理下蛹的羽化率最低,为87.93%。对照和0.5、1、2、4 mL/kg浓度处理下的世代存活率分别为90.20%、86.61%、85.60%、77.86%、58.0%,即随着噻虫嗪种衣剂浓度的增加,世代存活率逐渐下降(图2)。

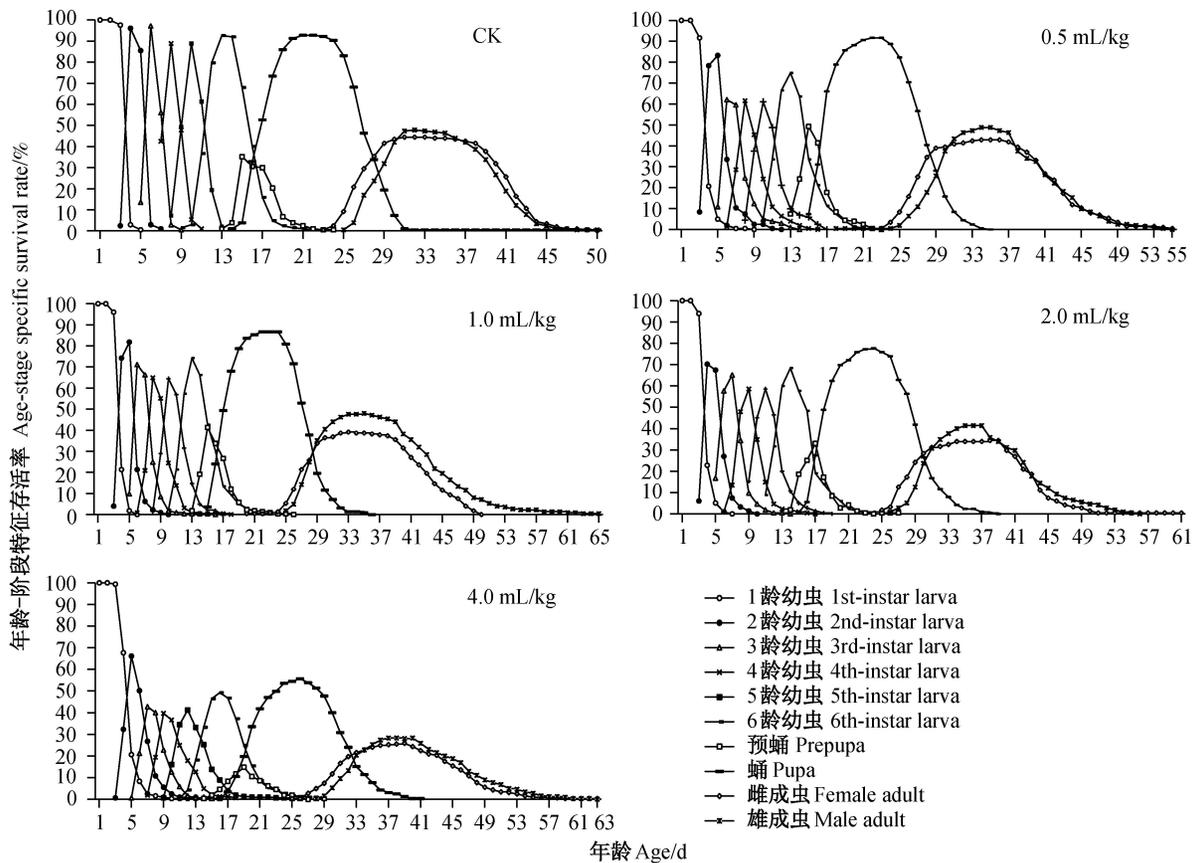


图2 噻虫嗪不同浓度拌种处理下草地贪夜蛾的年龄-阶段特征存活率(s_{ij})

Fig. 2 Age-stage-specific survival rates (s_{ij}) of *Spodoptera frugiperda* under different seed coating treatments with thiamethoxam

2.3.2 对草地贪夜蛾种群存活率和繁殖力的影响

不同浓度噻虫嗪处理下,草地贪夜蛾种群年龄-阶段特征存活率 l_x 随着浓度的增高在初孵幼虫生长3~10 d时下降幅度逐渐变大,对照初孵幼虫在生长15~20 d进入高龄期后存活率有所下降,即草地贪夜

蛾幼虫期存活率随着噻虫嗪浓度的增加而降低。20 d后即化蛹至成虫期,对照和不同处理的 l_x 曲线变化趋势基本一致(图3),即噻虫嗪种衣剂对蛹期至成虫期成活率的影响较小,但能增加草地贪夜蛾雄成虫的存活时间,对照在48 d左右雌、雄成虫全部

死亡,而噻虫嗪不同浓度处理下雄成虫的存活时间较对照明显延长,其中1 mL/kg噻虫嗪种衣剂处理下雄成虫在第65天全部死亡(图2)。

不同浓度噻虫嗪处理下草地贪夜蛾的雌成虫年龄-阶段特征繁殖力 f_x 、种群年龄-阶段特征繁殖力 m_x 和种群年龄-阶段特征繁殖值 $l_x m_x$ 的变化趋势类似,均随着浓度的增加,繁殖日期较对照逐渐延后,对照初孵幼虫生长25 d进入繁殖期,峰值日期为30~33 d(图3)。0.5 mL/kg和1 mL/kg浓度处理下草地贪

夜蛾的 f_x 、 m_x 和 $l_x m_x$ 最高值比对照偏高,分别为145.82、65.50、60.33和112.28、47.79、43.41,而2 mL/kg和4 mL/kg浓度处理下的 f_x 、 m_x 和 $l_x m_x$ 最高值比对照偏低,分别为81.56、38.60、21.97和80.42、37.98、29.63,对照的 f_x 、 m_x 、 $l_x m_x$ 分别为98.74、47.23、41.56。表明0.5 mL/kg和1 mL/kg浓度噻虫嗪处理后雌成虫产卵比对照更集中,单日产卵量增加,对雌成虫产卵有一定促进作用,2 mL/kg和4 mL/kg浓度噻虫嗪处理则对雌成虫产卵有一定抑制作用。

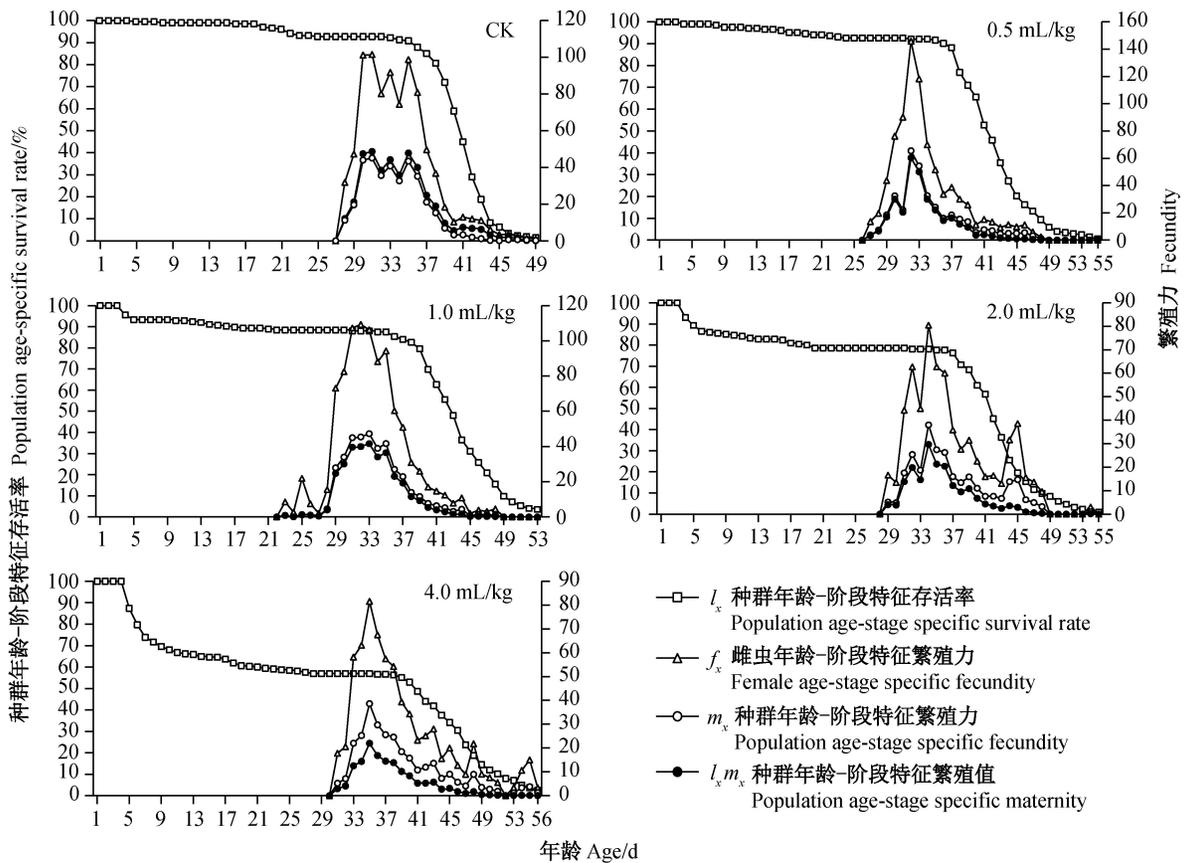


图3 噻虫嗪不同浓度拌种处理下草地贪夜蛾种群的年龄-阶段特征存活率和繁殖力

Fig. 3 Population age-specific survival rates and fecundities of *Spodoptera frugiperda* under different seed coating treatments with thiamethoxam

2.3.3 对草地贪夜蛾期望寿命的影响

不同浓度噻虫嗪处理下草地贪夜蛾的特定年龄-阶段寿命期望 e_{vj} 曲线显示,随着年龄增长,寿命期望值减少。0.5、1 mL/kg浓度噻虫嗪处理与对照的最高寿命期望值差别不大,分别为39.71、39.30、39.15 d,2 mL/kg和4 mL/kg浓度噻虫嗪处理下的最高寿命期望值随浓度的增加逐渐减小,最高值分别出现在2龄和3龄幼虫期,分别为35.09 d和29.83 d(图4)。

2.4 噻虫嗪处理对草地贪夜蛾生命表参数的影响

0.5 mL/kg和1 mL/kg浓度噻虫嗪处理,草地贪

夜蛾的平均世代周期、净增殖率、内禀增长率、周限增长率与对照均无显著差异。2 mL/kg和4 mL/kg浓度噻虫嗪处理下草地贪夜蛾的平均世代周期随着浓度增加而显著延长,分别为34.58 d和36.50 d,且两者较对照和其它浓度处理均显著延长;而净增殖率、内禀增长率、周限增长率则随着噻虫嗪浓度的增加而显著下降,净增殖率分别为185.13和147.30,内禀增长率分别为0.151和0.137,周限增长率分别为1.163和1.147,且两者均显著低于对照及其它浓度处理(表2)。

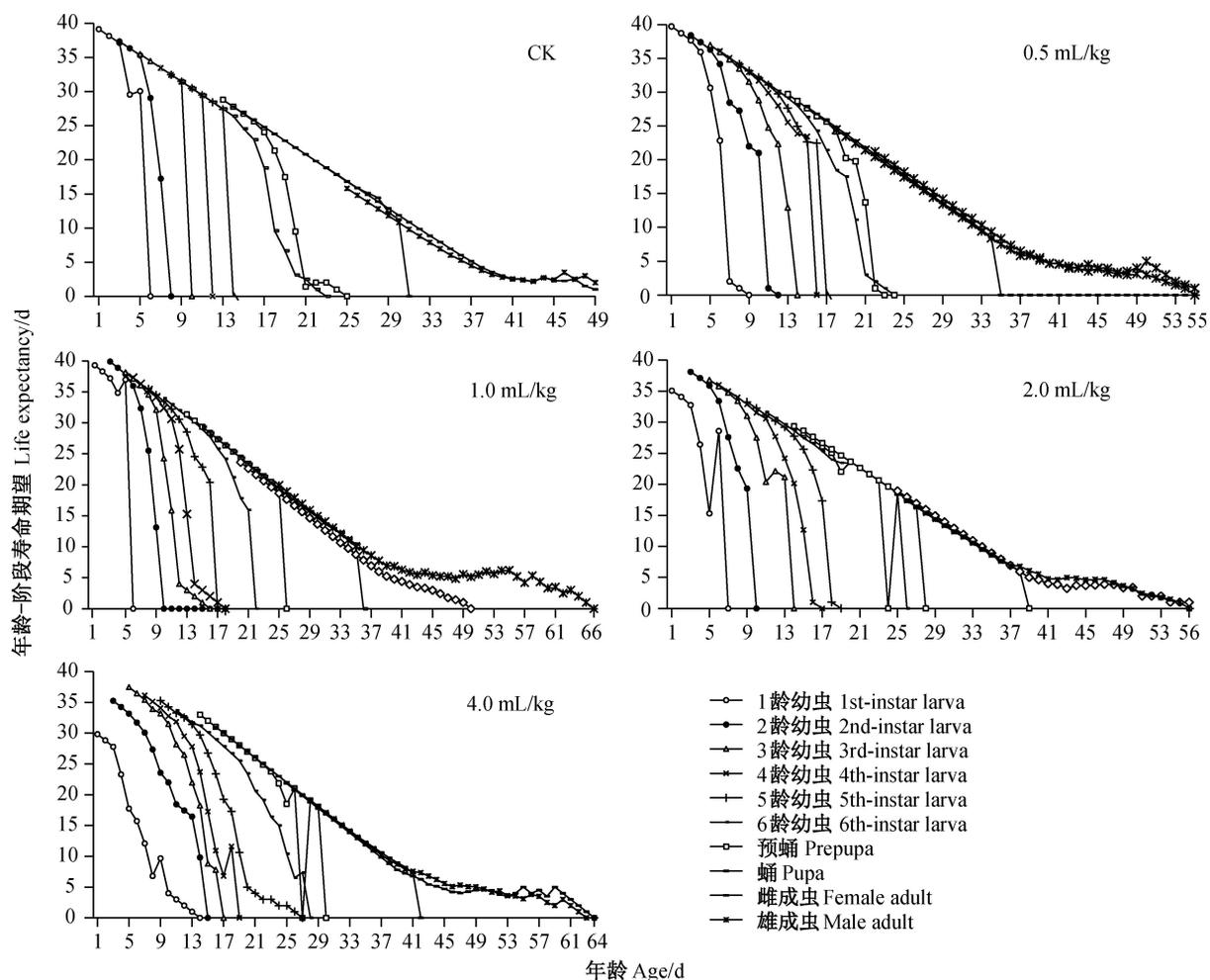


图4 噻虫嗪不同浓度拌种处理下草地贪夜蛾种群的特定年龄-阶段寿命期望值(e_{xj})

Fig. 4 Age-stage-specific life expectancy (e_{xj}) of *Spodoptera frugiperda* under different seed coating treatments with thiamethoxam

表2 噻虫嗪不同浓度拌种处理下草地贪夜蛾的生命表参数

Table 2 Population parameters of *Spodoptera frugiperda* under different seed coating treatments with thiamethoxam

浓度 Concentration/(mL/kg)	平均世代周期 T/d Mean generation time	净增殖率 R_0 Net reproductive rate	内禀增长率 r_m/d^{-1} Intrinsic rate of increase	周限增长率 λ/d^{-1} Finite rate of increase
0.0(CK)	32.57±0.26 c	363.28±5.16 a	0.181±0.002 a	1.198±0.037 a
0.5	32.59±0.23 c	328.38±5.67 a	0.176±0.003 a	1.192±0.011 a
1.0	32.56±0.24 c	332.89±6.13 a	0.178±0.003 a	1.195±0.010 a
2.0	34.58±0.29 b	185.13±4.72 b	0.151±0.003 b	1.163±0.009 b
4.0	36.50±0.31 a	147.30±4.16 c	0.137±0.003 c	1.147±0.012 c

表中数据为平均数±标准误。同列不同字母表示经独立样本 t 测验法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Data in the table are mean±SE. Different letters in the same column indicated significant difference at $P < 0.05$ level by Student's t test.

3 讨论

噻虫嗪玉米种衣剂的田间指导用药为 100 kg 种子用 300~500 mL 的 40% 噻虫嗪悬浮种衣剂, 此推荐剂量下防治玉米蚜虫的效果最佳(李福军, 2018)。本研究使用 35% 的噻虫嗪悬浮种衣剂, 设置了 0.5、1.2、4 mL/kg 共 4 个浓度, 覆盖了其田间推荐使用范

围, 玉米植株中的残留量测定结果也显示, 随着拌种剂浓度的增高植株内的噻虫嗪含量也相应增高。栗增然等(2017)通过多次取样测定了玉米种子中的噻虫嗪含量随着玉米的生长而不断降低, 而玉米根和苗中的噻虫嗪含量却呈现出略增长的态势, 即随着玉米的生长, 种子或土壤中存留的噻虫嗪会向根或茎叶中迁移。李福军(2018)开展的田间药效试验也

表明,噻虫嗪种衣剂处理具有较长的持效期,在玉米抽雄前对玉米蚜虫的防效最高,平均达到94.77%。本研究所用玉米苗为室外自然状态下生长的玉米苗,其植株内药剂消减状态应该与田间自然状态一致,具有较强的持效期。玉米从出苗第9天到草地贪夜蛾幼虫期取食结束时,玉米生育期均处于大喇叭口期,与草地贪夜蛾在玉米田的发生为害状态一致,即都是取食不断生长的玉米苗,因此本试验能够反应草地贪夜蛾在田间自然状态下取食噻虫嗪种衣剂处理玉米苗后对其生命参数的影响。

草地贪夜蛾自入侵我国以来,国内很多研究者对不同作用机理的杀虫剂进行了室内毒理测定和田间防控效果评价,筛选出一批用于防治其卵和幼虫的推荐药剂和使用方法,为草地贪夜蛾的应急防控提供了技术支持(李永平等,2019;王芹芹等,2019;赵胜园等,2019)。室内和田间药剂筛选结果显示噻虫嗪的杀卵活性相对较高,10 mg/mL浓度噻虫嗪的杀卵活性为41.21%,100 mg/mL浓度噻虫嗪的杀卵活性为78.26%,低于噻虫胺和噻虫啉等其它新烟碱类农药,但其杀虫活性相对较低,仅为8.75%(王芹芹等,2019;赵胜园等,2019)。本研究结果显示,用噻虫嗪种衣剂处理的玉米苗饲喂草地贪夜蛾,低浓度噻虫嗪种衣剂处理对草地贪夜蛾的生长发育影响不大,随着浓度的增高对草地贪夜蛾的生长发育和存活率有一定程度的影响。推测在玉米生产中,通过噻虫嗪对玉米进行种子包衣处理,在玉米苗期对草地贪夜蛾的生长发育有一定的抑制作用,随着噻虫嗪在玉米体内的降解,对草地贪夜蛾生长发育的影响逐渐减小。尽管噻虫嗪种衣剂有一定的杀卵活性,由于种子包衣后噻虫嗪主要留在植株体内,对草地贪夜蛾卵没有触杀作用,因此起不到杀卵的效果。

研究表明,草地贪夜蛾不论在田间用药选择压力下,还是在室内人工筛选压力下均表现出极强的抗性进化能力(Yu, 1992;吴益东等,2019),作为一种迁飞性很强的害虫,草地贪夜蛾会将抗性基因在较大区域进行扩散,从而可能产生区域性抗药性问题(吴超等,2019;吴孔明,2020),因此草地贪夜蛾的抗药性更值得关注。本研究结果显示,噻虫嗪种衣剂不同浓度处理对草地贪夜蛾幼虫期的存活率和发育历期影响较大,对蛹期至成虫期的成活率影响较小;0.5、1 mL/kg浓度处理下草地贪夜蛾的蛹期、蛹重、雌成虫寿命、平均世代周期、净增殖率、内禀增长率、周限增长率等生命参数与对照均无显著差异;1 mL/kg浓度处理下雄成虫寿命、单雌产卵量、雌成

虫繁殖力和最高繁殖值较对照偏高,表明低浓度处理对雌成虫产卵有一定的促进作用,这与田体伟等(2015)研究发现新烟碱类种衣剂处理会加重玉米抽雄期、吐丝期和收获期玉米螟的发生为害的结论相似。尽管随着噻虫嗪处理浓度的增加,如2、4 mL/kg浓度处理对草地贪夜蛾各项生命参数均有明显的抑制作用,但4 mL/kg浓度处理的世代存活率也达到58.0%,并且随着浓度的升高单雌产卵量未见显著变化。本研究仅分析了噻虫嗪种衣剂处理对草地贪夜蛾当代种群生命参数的影响,对于后代是否有累计效应以及是否会使个别种群产生亚致死效应还需进一步研究。前期研究已经表明小麦、玉米均为草地贪夜蛾的喜食寄主(巴吐西等,2019)。噻虫嗪种衣剂作为一项成熟的技术已经在小麦、玉米生产上得到大面积的推广和应用,因此,对非靶标害虫尤其是草地贪夜蛾的抗性监测和防控以及噻虫嗪与其它药剂的交互抗性研究应引起足够的重视。

参 考 文 献 (References)

- APRD. 2019. Arthropod pesticide resistance database. <http://www.pesticide-resistance.org/>. 2019-07-01/2020-03-20
- BATUXI, ZHANG YH, ZHANG Z, GUANG DD, LI CC, JI ZY, YIN XT, ZHANG AH, TANG QB, LIU YH, et al. 2020. The host preference and population life tables of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed on maize and wheat. *Plant Protection*, 46(1): 17-23 (in Chinese) [巴吐西, 张云慧, 张智, 关豆豆, 李翠翠, 季昭云, 殷新田, 张爱环, 汤清波, 刘延辉, 等. 2020. 草地贪夜蛾对小麦和玉米的产卵选择性及种群生命表. *植物保护*, 46(1): 17-23]
- CHI H. 2016. TWSEX-MSChart: a computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. Hsinchu: Taiwan Chung Hsing University
- CHI H, SU HY. 2006. Age-stage, two-sex life tables of *Aphidius gifuensis* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) and its host *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) with mathematical proof of the relationship between female fecundity and the net reproductive rate. *Environmental Entomology*, 35(1): 10-21
- GOERGEN G, KUMAR PL, SANKUNG SB, TOGOLA A, TAMÒ M. 2016. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central Africa. *PLoS ONE*, 11(10): e0165632
- IRAC (Insecticide Resistance Action Committee). 2019. Integrated pest management (IPM) & insect resistance management (IRM) for fall armyworm in South African maize. <http://www.irc-online.org>. 2020-02-06
- JI XL, WEI LL, GUO PJ, GAO JP, FENG SY. 2017. Control efficacy of thiamethoxam suspension seed coating agent against *Laodel-*

- phax striatellus* and maize rough dwarf disease in corn fields. *Biological Disaster Science*, 40(1): 19–22 (in Chinese) [纪祥龙, 韦岚岚, 郭排军, 高俊平, 冯世勇. 2017. 噻虫嗪悬浮种衣剂对玉米田灰飞虱及玉米粗缩病的防治研究. *生物灾害科学*, 40(1): 19–22]
- JIANG YY, LIU J, XIE MC, LI YH, YANG JJ, ZHANG ML, QIU K. 2019. Observation on law of diffusion damage of *Spodoptera frugiperda* in China in 2019. *Plant Protection*, 45(6): 10–19 (in Chinese) [姜玉英, 刘杰, 谢茂昌, 李亚红, 杨俊杰, 张曼丽, 邱坤. 2019. 2019年我国草地贪夜蛾扩散为害规律观测. *植物保护*, 45(6): 10–19]
- KARMAKAR R, KULSHRESTHA G. 2009. Persistence, metabolism and safety evaluation of thiamethoxam in tomato crop. *Pest Management Science*, 65(8): 931–937
- LI FJ. 2018. Efficacy of seed dressing with 40% thiamethoxam suspension seed coating to control corn aphid. *Seed World*, (6): 32–33 (in Chinese) [李福军. 2018. 40% 噻虫嗪悬浮种衣剂拌种防治玉米蚜虫药效试验. *种子世界*, (6): 32–33]
- LI YP, ZHANG S, WANG XJ, XIE XP, LIANG P, ZHANG L, GU SH, GAO XW. 2019. Current status of insecticide resistance in *Spodoptera frugiperda* and strategies for its chemical control. *Plant Protection*, 45(4): 14–19 (in Chinese) [李永平, 张帅, 王晓军, 解晓平, 梁沛, 张雷, 谷少华, 高希武. 2019. 草地贪夜蛾抗药性现状及化学防治策略. *植物保护*, 45(4): 14–19]
- LI ZR, YUAN HZ, YANG DB. 2017. Study on the absorption of thiamethoxam and thiamethoxam seed coating by corn seeds.// CHEN WQ. Sustainable development of ecology and plant protection. Beijing: China Society of Plant Protection, pp. 341 (in Chinese) [栗增然, 袁会珠, 杨代斌. 2017. 玉米种子对噻虫胺和噻虫嗪种衣剂吸收的研究.//陈万权. 绿色生态可持续发展与植物保护. 北京: 中国植物保护学会, pp. 341]
- PITRE HN. 1986. Chemical control of the fall armyworm (Lepidoptera; Noctuidae): an update. *Florida Entomologist*, 69(3): 570–578
- SPARKS AN. 1979. Fall armyworm symposium: a review of the biology of the fall armyworm. *Florida Entomologist*, 62(2): 82–87
- TIAN TW, WANG LS, WANG Y, GUO XR, YAN FM, LI HL. 2015. Effects of seed coating with imidacloprid and thiamethoxam on maize and main pests. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 44 (11): 73–78 (in Chinese) [田体伟, 王丽莎, 王燕, 郭线茹, 闫凤鸣, 李洪连. 2015. 3种新烟碱类种子处理剂对玉米及其主要害虫的影响. *河南农业科学*, 44(11): 73–78]
- WANG QQ, CUI L, WANG L, HUANG WL, DAI LM, YUAN HZ, RUI CH. 2019. Ovicidal activity of twenty insecticides against the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Plant Protection*, 45 (6): 80–83 (in Chinese) [王芹芹, 崔丽, 王立, 黄伟玲, 代黎明, 袁会珠, 芮昌辉. 2019. 20种杀虫剂对草地贪夜蛾的杀卵活性. *植物保护*, 45(6): 80–83]
- WU C, ZHANG L, LIAO C, WU KM, XIAO YT. 2019. Research progress of resistance mechanism and management techniques of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* to insecticides and Bt crops. *Journal of Plant Protection*, 46(3): 503–513 (in Chinese) [吴超, 张磊, 廖重宇, 吴孔明, 萧玉涛. 2019. 草地贪夜蛾对化学农药和Bt作物的抗性机制及其治理技术研究进展. *植物保护学报*, 46(3): 503–513]
- WU KM. 2020. Management strategies of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China. *Plant Protection*, 46(2): 1–5 (in Chinese) [吴孔明. 2020. 中国草地贪夜蛾的防控策略. *植物保护*, 46(2): 1–5]
- WU LY, LI M, YAO DW. 2009. Neonicotinoid insecticides and seed treatment. *Agrochemicals*, 48(12): 868–871 (in Chinese) [吴凌云, 李明, 姚东伟. 2009. 新烟碱类杀虫剂与种子处理. *农药*, 48 (12): 868–871]
- WU YD, SHEN HW, ZHANG Z, WANG XL, SHI Y, WU SW, YANG YH. 2019. Current status of insecticide resistance in *Spodoptera frugiperda* and counter measures to prevent its development. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(4): 599–604 (in Chinese) [吴益东, 沈慧雯, 张正, 王兴亮, 施雨, 武淑文, 杨亦桦. 2019. 草地贪夜蛾抗药性概况及其治理对策. *应用昆虫学报*, 56(4): 599–604]
- YU SJ. 1992. Detection and biochemical characterization of insecticide resistance in fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*, 85(3): 675–682
- ZHAO SY, SUN XX, ZHANG HW, YANG XM, WU KM. 2019. Laboratory test on the control efficacy of common chemical insecticides against *Spodoptera frugiperda*. *Plant Protection*, 45(3): 10–14, 20 (in Chinese) [赵胜园, 孙小旭, 张浩文, 杨现明, 吴孔明. 2019. 常用化学杀虫剂对草地贪夜蛾防效的室内测定. *植物保护*, 45(3): 10–14, 20]

(责任编辑:李美娟)