

◆ 残留与环境 ◆

植物免疫诱导剂酰氨基寡糖素对环境非靶标生物的毒性研究

周欣欣¹, 吴声敢², 王 倬³, 焦思明³, 蓝 帅¹, 袁善奎^{1*}

(1. 农业农村部农药检定所, 北京 100125; 2. 浙江省农业科学院农产品质量安全与营养研究所, 杭州 310021; 3. 中国科学院过程工程研究所生化工程国家重点实验室, 北京 100190)

摘要:为明确植物免疫诱导剂酰氨基寡糖素对4种环境非靶标生物的毒性风险, 本文参照GB/T 31270—2014《化学农药环境安全评价试验准则》中的3种方法, 即饲喂法(鸟类、蜜蜂经口)、半静态法(鱼类)和静态法(溞类), 分别评估了95%酰氨基寡糖素醋酸盐原药(TC)和7.5%酰氨基寡糖素醋酸盐可溶液剂(SL)对4种环境非靶标生物的急性毒性。结果表明, 在限度试验下, 供试物对非靶标生物均表现为低毒, 且非靶标生物均未出现死亡。其中, 95%酰氨基寡糖素醋酸盐TC和7.5%酰氨基寡糖素醋酸盐SL对日本鹌鹑的7 d半致死剂量(7 d-LD₅₀)分别为 $>2.24 \times 10^3$ mg a.i./kg和 >762.6 mg a.i./kg; 对意大利蜜蜂的48 h-LD₅₀值分别为 >130 μg a.i./蜂和 >118 μg a.i./蜂; 对斑马鱼的96 h半致死浓度(96 h-LC₅₀)分别为 >168 mg a.i./L和 >150 mg a.i./L; 对大型溞的48 h半数有效浓度(48 h-EC₅₀)分别为 >224 mg a.i./L和 >152 mg a.i./L。以上结果说明, 95%酰氨基寡糖素醋酸盐TC和7.5%酰氨基寡糖素醋酸盐SL对上述4种非靶标生物安全。本研究结果可为合理应用酰氨基寡糖素提供参考。

关键词:酰氨基寡糖素; 生物农药; 生态毒性; 非靶标生物

中图分类号: TQ 450.2+6 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1671-5284.2022.03.011

Study on Toxicity of Plant Immune Inducer Hetero-chitooligosaccharide to Environmental Non-target Organisms

ZHOU Xinxin¹, WU Shenggan², WANG Zhuo³, JIAO Siming³, LAN Shuai¹, YUAN Shankui^{1*}

(1. Institute for the Control of Agrochemicals, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125, China; 2. Institute of Agro-product Safety and Nutrition, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China; 3. State Key Laboratory of Biochemical Engineering, Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: To identify toxic risks of plant immune inducers hetero-chitooligosaccharide to four environmental non-target organisms, we evaluated the acute toxicity effects of 95% hetero-chitooligosaccharide acetate TC and 7.5% hetero-chitooligosaccharide acetate SL on *Coturnix japonica*, *Apis mellifera*, *Brachydanio rerio* and *Daphnia magna* by oral-feeding methods (avian and honeybee), semi-static method (fish) and static method (*Daphnia* sp.) based on GB/T 31270-2014 'test guidelines on environmental safety assessment for chemical pesticides'. The results showed that test substances were all low toxicity to the non-target organisms without leading to death under limit test. In detail, 7 d median lethal dose (7 d-LD₅₀) of 95% hetero-chitooligosaccharide acetate TC and 7.5% hetero-chitooligosaccharide acetate SL to *Coturnix japonica* were $>2.24 \times 10^3$ mg a.i./kg and >762.6 mg a.i./kg, respectively. 48 h-LD₅₀ of test substances to *Apis mellifera*

收稿日期: 2021-12-06

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC0311300)

作者简介: 周欣欣(1983—), 女, 黑龙江七台河人, 硕士, 主要从事农药登记生态毒理学研究与评价工作。E-mail: zhouxinxin@agri.gov.cn

通信作者: 袁善奎(1976—), 男, 湖北利川人, 博士, 研究员, 主要从事农药环境风险评估与管理。E-mail: skyuan76@sina.com

were >130 $\mu\text{g a.i./bee}$ and >118 $\mu\text{g a.i./bee}$, respectively. 96 h median lethal concentration (96 h-LC₅₀) of test substances to *Brachydanio rerio* were >168 mg a.i./L and >150 mg a.i./L, respectively. 48 h median effective concentration (48 h-EC₅₀) of test substances to *Daphnia magna* were >224 mg a.i./L and >152 mg a.i./L, respectively. In conclusion, 95% hetero-chitooligosaccharide acetate TC and 7.5% hetero-chitooligosaccharide acetate SL were safe for four non-target organisms. This study provided reference for rational application of hetero-chitooligosaccharide.

Key words: hetero-chitooligosaccharide; biological pesticide; ecotoxicology; non-target organisms

绿色农业是现代农业发展的主要方向,这对解决粮食和食品安全问题具有重要的战略意义。通过激活植物或动物的免疫系统来实现病虫害的免疫防控,可以降低化学农药的使用,建立起以环境友好、食品安全为导向的现代绿色农业生产体系。海洋是一个巨大的生物资源宝库,开展海洋生物资源的高值化利用已成为各国发展海洋经济的重大举措。海洋生物普遍具有高蛋白、高碳水化合物和低脂的特点,是多糖、多肽的丰富来源^[1]。海洋生物多糖是海藻多糖、海洋动物多糖和海洋微生物多糖的总称。此类物质均含有多聚糖及酸性黏多糖,因其具有多种药用功能,已成为当前的研究热点^[2]。其中,酰氨基寡糖素(Hetero-chitooligosaccharide)是利用序列精控的生物酶解技术从海洋生物甲壳类原料中降解得到的特定结构几丁类寡糖,脱乙酰度在50%~70%,具有更优的生物活性及物理化学性质,属于一种新型免疫诱导剂。植物表面受体与其乙酰基团结合可以有效激活植物免疫系统^[6-7]。例如,有研究发现^[5-6],该类诱导剂可通过诱导植物与抗虫相关的基因(如几丁质酶基因、蛋白酶抑制剂基因等)表达来提高植物的抗虫能力,代谢产物中与抗虫相关的物质(如单宁、总酚、糖类等)含量均有所增加,以及与抗性相关的酶活力升高等。同时,其对成虫具有产卵驱避作用,可降低害虫对作物的为害。

生物农药多为低毒、微毒,对天敌安全,不伤害

蜜蜂、鸟、鱼等环境有益生物,且对环境污染较小。然而,生物农药的种类繁杂,如S-烯虫酯为一种昆虫调节剂,属于生物农药,但对鱼类、溞类等水生生物的毒性较高,具有致死效应^[8]。酰氨基寡糖素同为生物农药,其市场应用价值巨大,为探索其对重要水生和陆生环境非靶标生物的毒性效应和安全风险,本研究选取了4种典型的环境非靶标生物(日本鹌鹑、意大利蜜蜂、斑马鱼和大型溞)为试验对象,参照GB/T 31270—2014《化学农药环境安全评价试验准则》^[9-12]评估酰氨基寡糖素对上述非靶标生物的环境毒性,旨在为该类产品的安全应用提供数据支持。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试生物。日本鹌鹑(*Coturnix japonica*),山东省日照市东港区老孟孵化场;意大利蜜蜂(*Apis mellifera* L.),浙江省义乌市佛堂镇王焕兴蜂厂;斑马鱼(*Brachydanio rerio*),AB型品系,中科院水生生物研究所;大型溞(*Daphnia magna*),沈阳化工研究院有限公司安全评价中心。

供试样品。95%酰氨基寡糖素醋酸盐TC、7.5%酰氨基寡糖素醋酸盐SL,中科荣信(苏州)生物科技有限公司。

1.2 试验条件

各环境非靶标生物毒性试验条件如表1所示。

表1 不同非靶标生物的试验条件

试验对象	温度/℃	相对湿度/%	光照/黑暗/h	pH值	水硬度/(mg·L ⁻¹)	溶解氧
鸟类	25.0~28.0	63.0~70.0	14/10			
蜜蜂	23.9~25.8	50.4~66.7	0/24			
鱼类	22.3~23.1		14/10	7.14~7.24	69~71	61.7%~96.8%*
溞类	20.1~20.3		16/8	7.55~7.89	140	8.10~8.56 mg/L

注:*表示空气饱和度;空白处表示试验指标不适用于该试验对象(下同)。

1.3 试验方法

1.3.1 鸟类毒性试验

根据GB/T 31270.9—2014《化学农药环境安全评价试验准则 第9部分:鸟类急性毒性试验》^[9]的要求,采用饲喂法开展限度试验(或供试物所能配制

的最大剂量),同时设置空胶囊对照组(原药试验)和空白对照组,各处理组均设1个重复,每组用10只日本鹌鹑(雌雄各5只)。在进行95%酰氨基寡糖素醋酸盐TC试验时,根据每只日本鹌鹑的体重称量供试物,并装入胶囊后进行灌喂;在进行7.5%酰氨基寡糖

素醋酸盐SL试验时, 将供试物按照1.0 mL/100 g体重, 用移液枪经口给药, 经口灌喂后合并饲养。2 h后, 调查中毒症状并按常规方法喂食。试验期间, 空

白对照组的日本鹌鹑不进行任何处理。试验设计见表2。试验开始后, 连续观察并记录日本鹌鹑在7 d内的中毒症状与死亡数。

表 2 鸟类急性毒性试验设计

供试物	样品量/g	定容体积/mL	试验剂量/(mg a.i.·kg ⁻¹)	经口方式	对照组	供试量/只
95% 酰氨寡糖素醋酸盐TC	0.264~0.319		2.24 × 10 ³	胶囊灌喂	空胶囊对照 空白对照	10
7.5% 酰氨寡糖素醋酸盐SL	25.398*	25	762.6	移液枪灌喂	空白对照	10

注: *表示将供试物直接定容至25 mL时的样品量。

1.3.2 蜜蜂毒性试验

根据GB/T 31270.10—2014《化学农药环境安全评价试验准则 第10部分: 蜜蜂急性毒性试验》^[10]的要求, 采用饲喂法开展经口限度试验, 同时设置50%蔗糖水(W/W) 对照组。各处理组和对照组均设3个重复, 每个重复10只蜜蜂。在饲喂器(一次性塑料滴

管) 中加入200 μL试验溶液, 对10只蜜蜂(1个重复) 进行饲喂。暴露结束后, 将饲喂器取出, 并测定每个蜂笼中试验溶液的消耗量, 然后换用不含供试物的蔗糖水进行饲喂。试验设计, 见表3。给药暴露处理后, 观察并记录意大利蜜蜂在48 h内的中毒症状与死亡数。

表 3 蜜蜂急性毒性试验设计

供试物	样品量/g	定容体积/mL	试验剂量/(g a.i.·L ⁻¹)	实际取食质量/g	暴露量/(μg a.i.·蜂 ⁻¹)	暴露时间/min
95% 酰氨寡糖素醋酸盐TC	0.565	10	6.71 [#]	0.237 [*]	130	237
7.5% 酰氨寡糖素醋酸盐SL	0.800	10	6	0.241 [*]	118	117

注: 暴露量=药液浓度 × [实际取食质量 × 10³/(药液密度 × 10只蜜蜂)]; *表示密度以1.224 g/mL计; #表示为定容后将溶液稀释8倍所得。

1.3.3 鱼类毒性试验

根据GB/T 31270.12—2014《化学农药环境安全评价试验准则 第12部分: 鱼类急性毒性试验》^[11]的要求, 采用半静态法开展限度试验。48 h后更换试验溶液, 同时设置空白对照处理, 各处理组均设1个重复, 每个重复为10尾斑马鱼。将供试物用曝气自来水经超声助溶30 min后定容, 获得试验溶液(表4)。将配置的试验溶液过0.45 μm滤膜后, 取1.500 kg(约1.50 L, 以水密度1.00 g/mL折算) 倒入烧杯, 用于试验处理。试验组和对照组同时进行, 试验期间停止喂食。

表 4 鱼类急性毒性试验溶液配制表

供试物	样品量/g	定容体积/mL	试验浓度/(mg a.i.·L ⁻¹)
95% 酰氨寡糖素醋酸盐TC	0.353	2 000	168
7.5% 酰氨寡糖素醋酸盐SL	4.005	2 000	150

1.3.4 溞类急性活动抑制试验

根据GB/T 31270.13—2014《化学农药环境安全评价试验准则 第13部分: 溞类急性活动抑制试验》^[12]的要求, 采用静态法开展限度试验, 同时设置空白对照组, 各处理组均设4个重复, 并同时进行试验。将供试物用适量试验用水经超声助溶30 min后定

容, 获得试验溶液(表5)。将配置的试验溶液经0.45 μm滤膜过滤后, 取50.0 mL加入到60 mm × 3.8 mm(直径 × 高) 的结晶皿中, 然后用滴管加入大型溞, 每皿5只, 盖上皿盖后, 放入光照培养箱中进行培养。试验开始后, 定时观察并记录大型溞48 h内的受抑制数和中毒症状。试验期间, 对试验体系不进行喂食。

表 5 溞类急性活动抑制试验溶液配制表

供试物	样品量/g	定容体积/mL	试验浓度/(mg a.i.·L ⁻¹)
95% 酰氨寡糖素醋酸盐TC	0.236	1 000	224
7.5% 酰氨寡糖素醋酸盐SL	0.505	250	152

1.4 数据处理

本试验均为限度试验。在进行数据处理时, 根据试验设置剂量(浓度) 及其对应的非靶标生物死亡数来估算LD₅₀、LC₅₀和EC₅₀值, 并以此评估酰氨寡糖素对不同生物的急性毒性效应。

2 结果与分析

2.1 鸟类毒性试验结果

试验期间, 95% 酰氨寡糖素醋酸盐TC和7.5% 酰氨寡糖素醋酸盐SL处理组、对照组的日本鹌鹑均未

出现死亡,死亡率为0,且各处理组的日本鹌鹑均表现正常,表明在最大限度剂量下,其对日本鹌鹑无致死毒性。95%酰氨基寡糖素醋酸盐TC和7.5%酰氨基寡糖素醋酸盐SL对日本鹌鹑的7 d-LD₅₀值分别为 $> 2.24 \times 10^3$ mg a.i./kg和 > 762.6 mg a.i./kg。参考GB/T 31270—2014《化学农药环境安全评价试验准则》中毒性等级划分标准,95%酰氨基寡糖素醋酸盐TC和7.5%酰氨基寡糖素醋酸盐SL对日本鹌鹑低毒。

2.2 蜜蜂毒性试验结果

试验期间,95%酰氨基寡糖素醋酸盐TC和7.5%酰氨基寡糖素醋酸盐SL处理组、对照组的蜜蜂均未出现死亡,死亡率为0,且各处理组的蜜蜂均表现正常,表明在最大限度剂量下,其对意大利蜜蜂无致死毒性。95%酰氨基寡糖素醋酸盐TC和7.5%酰氨基寡糖素醋酸盐SL对意大利蜜蜂的48 h-LD₅₀值分别为 > 130 μg a.i./蜂和 > 118 μg a.i./蜂。参考GB/T 31270—2014《化学农药环境安全评价试验准则》中毒性等级划分标准,95%酰氨基寡糖素醋酸盐TC和7.5%酰氨基寡糖素醋酸盐SL对蜜蜂低毒。

2.3 鱼类毒性试验结果

试验期间,95%酰氨基寡糖素醋酸盐TC和7.5%酰氨基寡糖素醋酸盐SL处理组、对照组的斑马鱼均未出现中毒症状,死亡率为0,表明在最大限度浓度下,其对斑马鱼无致死毒性。95%酰氨基寡糖素醋酸盐TC和7.5%酰氨基寡糖素醋酸盐SL对斑马鱼的96 h-LC₅₀值分别为 > 168 mg a.i./L和 > 150 mg a.i./L。参考GB/T 31270—2014《化学农药环境安全评价试验准则》中毒性等级划分标准,95%酰氨基寡糖素醋酸盐TC和7.5%酰氨基寡糖素醋酸盐SL对斑马鱼低毒。

2.4 溞类活动抑制试验结果

试验期间,95%酰氨基寡糖素醋酸盐TC和7.5%酰氨基寡糖素醋酸盐SL处理组、对照组的大型溞均未出现中毒症状,活动抑制率为0,表明在最大限度浓度下,其对大型溞无致死毒性。95%酰氨基寡糖素醋酸盐TC和7.5%酰氨基寡糖素醋酸盐SL对大型溞的48 h-EC₅₀值分别为 > 224 mg a.i./L和 > 152 mg a.i./L。参考GB/T 31270—2014《化学农药环境安全评价试验准则》中毒性等级划分标准,95%酰氨基寡糖素醋酸盐TC和7.5%酰氨基寡糖素醋酸盐SL对大型溞低毒。

3 结论与讨论

本研究选取了4种典型的环境非靶标生物,评估了95%酰氨基寡糖素醋酸盐TC和7.5%酰氨基寡糖素

醋酸盐SL对环境非靶标生物的急性毒性。研究发现,上述供试物在限度试验条件下对日本鹌鹑、意大利蜜蜂、斑马鱼、大型溞均无致死毒性,表明此类产品对环境有益生物安全。

近年来,我国植物免疫诱导剂已有较大发展,蛋白激发子、寡糖、脱落酸、枯草杆菌及木霉作为一种新型的多功能生物农药产品,在我国已经得到了广泛应用。与传统农药不同,这些植物免疫诱导剂的共同特点是能诱导植物产生广谱抗病虫性,且不直接杀死病原菌^[1]。研究表明,低脱乙酰度的几丁类寡糖对植物的诱导活性比传统壳寡糖产品更强,因此已成为最新的研究方向。根据中国农药信息网数据汇总,已有106个氨基寡糖素(脱乙酰度 $> 70\%$)农药产品取得正式登记并用于农业生产。然而,脱乙酰度在50%~70%的酰氨基寡糖素中仅有7.5%酰氨基寡糖素醋酸盐SL于2021年在甘蓝小菜蛾上获得登记。该产品对防治对象没有直接毒性,通过诱导植物对有害生物的侵染产生防卫反应,以此提高植物的抗性。目前,国内外尚未建立该类生物农药的环境安全性试验准则,本研究仅参照化学农药环境安全评价试验方法开展了酰氨基寡糖素醋酸盐对4种典型环境生物的急性毒性试验。此外,围绕该类生物农药的环境生物安全评价研究较少。根据《农药登记环境风险评估指南》^[14]程序,在初级风险评估较低(急性毒性试验无危害)的情况下,不要求进行高级阶段试验(慢性毒性试验)。本研究中,由于95%氨基寡糖素醋酸盐TC和7.5%酰氨基寡糖素醋酸盐SL对4种典型非靶标生物日本鹌鹑、意大利蜜蜂、斑马鱼及大型溞均为低毒,故未开展慢性试验。今后,我们还应结合该类化合物的特性,优化试验方法,关注更多种类的非靶标生物并评估其慢性毒性,进一步研究和监测其对生态环境的影响。

参考文献

- [1] 杨大俏,王锦旭,张龙,等.海洋生物多糖多肽联产制备技术的研究现状[J].中国渔业质量与标准,2019,9(2):1-8.
- [2] SHANG Q S, JIANG H, CAI C, et al. Gut microbiota fermentation of marine polysaccharides and its effects on intestinal ecology: an overview[J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 179: 173-185.
- [3] 李雨新,李尚勇,陈雪红.壳寡糖的分析方法及其在种植业领域的应用[J].农村经济与科技,2020,31(8):78-80.
- [4] 赵小明.壳寡糖诱导植物抗病性及其诱导机理的初步研究[D].大

(下转第63页)

用[J]. 天津化工, 2020, 34(3): 44-47.

- [18] 何永梅, 吴琴. 百合根腐病的发生原因与综合防治[J]. 乡村科技, 2015(3): 26.
- [19] 梁巧兰, 魏列新, 徐秉良, 等. 蝇蛆甲壳素对深绿木霉T2产生几丁质酶的诱导作用[J]. 植物保护学报, 2011, 38(2): 166-172.
- [20] 李丹. 50%氯溴异氰尿酸防治番茄茎基腐病、根腐病、枯萎病的效果研究[J]. 江西农业, 2019(22): 35.
- [21] 赵志, 唐叶松, 张凯. 几种药剂防治水稻细菌性条斑病药效试

验[J]. 农业灾害研究, 2020, 10(6): 3-4; 6.

- [22] 罗兵, 孙海燕, 徐朗莱. 新型植物生长调节剂——甲壳素及其衍生物[J]. 常熟高专学报, 2004, 18(2): 43-46.
- [23] 盛家荣, 覃志英, 许东颖. 甲壳素及其衍生物在农业上的应用研究进展[J]. 广西师范学院学报, 2002, 19(4): 15-17.
- [24] 芮法富, 孙明伟, 李将, 等. 甲壳素对大棚连作黄瓜品质和产量的影响[J]. 中国果菜, 2018, 38(10): 29-32.

(责任编辑:徐娟)

(上接第53页)

连: 中国科学院大连化学物理研究所, 2006.

- [5] 王倬, 曾粮斌, 袁善奎, 等. 几丁类寡糖构效关系及植物免疫诱导活性研究进展[J]. 农药科学与管理, 2018, 39(4): 46-50.
- [6] LIAQAT F, ELTEM R. Chitooligosaccharides and their biological activities: a comprehensive review[J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 184: 243-259.
- [7] II'INA A S, VARLAMOV V. *In vitro* antitumor activity of heterochitooligosaccharides (a review)[J]. Prikladnaia Biokhimiia Mikrobiologiya, 2015, 51(1): 5-14.
- [8] 佚名. S-烯虫酯[J]. 农药科学与管理, 2019, 40(3): 58-59.
- [9] 农业部农药检定所, 环境保护部南京环境科学研究所. GB/T 31270.9—2014 化学农药环境安全评价试验准则 第9部分: 鸟类急性毒性试验[S]. 北京: 中国农业出版社, 2014.

- [10] 农业部农药检定所, 环境保护部南京环境科学研究所. GB/T 31270.10—2014 化学农药环境安全评价试验准则 第10部分: 蜜蜂急性毒性试验[S]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- [11] 农业部农药检定所, 环境保护部南京环境科学研究所. GB/T 31270.12—2014 化学农药环境安全评价试验准则 第12部分: 鱼类急性毒性试验[S]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- [12] 农业部农药检定所, 环境保护部南京环境科学研究所. GB/T 31270.13—2014 化学农药环境安全评价试验准则 第13部分: 溞类急性活动抑制试验[S]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- [13] 邱德文. 植物免疫诱抗剂的研究进展与应用前景[J]. 中国农业科技导报, 2014, 16(1): 39-45.
- [14] 农业农村部农药检定所. 农药登记环境风险评估指南[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.

(责任编辑:高蕾)

氯虫苯甲酰胺、呋虫胺和高效氯氰菊酯对草地贪夜蛾发育繁殖的亚致死效应

草地贪夜蛾 (*Spodoptera frugiperda*) 是一种严重的入侵害虫, 由于其极强的迁徙性和杂食性以及适应性, 已成为一种主要的跨境和洲际农业害虫, 近年来引起了全球的关注。其2019年入侵中国云南, 迅速蔓延到多个省份, 给玉米等农作物造成了严重的经济损失。目前化学防治任然是防治草地贪夜蛾的一项可行性的措施。杀虫剂除了具有直接杀灭目标害虫的作用外, 还可对害虫的生长繁殖造成亚致死效应。因此研究常见杀虫剂对草地贪夜蛾的亚致死效应, 对其田间综合治理具有重要意义。

浙江农林大学联合杭州农业技术推广中心和浙江省农产品质量安全中心在 *Agronomy* 上在线发表了关于氯虫苯甲酰胺、呋虫胺和高效氯氰菊酯3种杀虫剂对草地贪夜蛾的发育繁殖的亚致死效应。呋虫胺是第三代新型新烟碱类杀虫剂, 主要作用于乙酰胆碱受体, 是一种神经毒剂, 与传统的同类杀虫剂相比, 具有更高的药效和更广的杀虫谱。高效氯氰菊酯是一种拟除虫菊酯类杀虫剂, 主要作用于钙通道。氯虫苯甲酰胺是新一代邻氨基苯甲酰胺类杀虫剂, 主要作用于昆虫体内的兰尼碱受体, 引起昆虫肌肉收缩障碍, 最终导致脱水和不能进食。该研究通过在3种杀虫剂的亚致死浓度 (LC_{30}) 下饲喂草地贪夜蛾, 研究对草地贪夜蛾 F_0 代和 F_1 代3龄幼虫发育时间、成活率、繁殖力等生物学特性的影响。结果表明, 处理组的化蛹率显著低于对照组, 但羽化率无显著差异。氯虫苯甲酰胺和高效氯氰菊酯显著抑制 F_0 代和 F_1 代的繁殖力, 每只雌性产卵数分别下降67.4%和43.1%, F_1 代分别下降28.0%和21.7%。氯虫苯甲酰胺和高效氯氰菊酯处理组 F_0 代的内在增长率 (rm)、净增长率 (R_0) 和周增长率 (λ) 均显著低于对照组。此外, 呋虫胺对 F_0 代和 F_1 代有一定的促进产卵作用, 可能会刺激后代种群的增长, 导致害虫再次高发。该研究结果为有效实施IPM计划在田间防治草地贪夜蛾提供了参考。

(金兰译)