

菊酯类药剂对草地贪夜蛾的毒力及对钠离子通道的诱导特性

李 芬¹ 王力奎¹ 彭正强² MALHAT Farag³ 吕宝乾^{2*} 吴少英^{1*}

(1. 海南大学植物保护学院, 海口 570228; 2. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海口 570228;

3. 埃及农业研究中心中央农业农药实验室农药残留与环境污染部, 开罗 12618)

摘要: 为明确菊酯类药剂对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 的防治效果, 采用点滴法在室内测定高效氯氟氰菊酯、高效氯氰菊酯、联苯菊酯、溴氰菊酯和茚虫威原药对草地贪夜蛾3龄幼虫的毒力, 利用实时荧光定量PCR技术测定3龄幼虫在这5种药剂诱导不同时间下其体内钠离子通道基因片段的表达量变化。结果显示, 高效氯氟氰菊酯、溴氰菊酯、联苯菊酯、茚虫威和高效氯氰菊酯这5种药剂处理草地贪夜蛾3龄幼虫24 h后的LD₅₀值分别为74.911、83.280、152.662、179.372、567.250 mg/L; 处理48 h后的LD₅₀值分别为18.946、67.874、120.888、132.790、461.635 mg/L; 同时发现草地贪夜蛾3龄幼虫钠离子通道基因的表达均呈现不被诱导或诱导下调现象, 表明草地贪夜蛾幼虫可通过降低靶标基因的表达量进而减少药剂对其的毒性。表明供试4种拟除虫菊酯类药剂和1种氯虫苯甲酰胺类药剂可作为草地贪夜蛾田间应急防控药剂施用。

关键词: 海南省; 草地贪夜蛾; 杀虫剂; 拟除虫菊酯; 茚虫威

Toxicity of pyrethroid pesticides to fall armyworm *Spodoptera frugiperda* and its inducing properties of sodium ion channels

LI Fen¹ WANG Likui¹ PENG Zhengqiang² MALHAT Farag³ LÜ Baoqian^{2*} WU Shaoying^{1*}

(1. College of Plant Protection, Hainan University, Haikou 570228, Hainan Province, China; 2. Environment and Plant

Protection Institute, China Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 570228, Hainan Province, China;

3. Central Agricultural Pesticide Laboratory, Pesticide Residues and Environmental Pollution Department,

Agricultural Research Center, Giza 12618, Dokki, Egypt)

Abstract: In order to clear the control effect of pyrethroid pesticides to fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, the toxicity of lambda-cyhalothrin, beta cypermethrin, bifenthrin, deltamethrin and indoxacarb against the third instar larvae of *S. frugiperda* by drop method and the expression level of sodium channel gene in the third instar larvae under the induction of these five insecticides was detected by quantitative real-time PCR. The results showed that the LD₅₀ values of lambda-cyhalothrin, deltamethrin, bifenthrin, indoxacarb and beta cypermethrin after 24 h treatment of the third instar larvae of *S. frugiperda* were 74.911, 83.280, 152.662, 179.372 and 567.250 mg/L, respectively. After 48 h of treatment, the LD₅₀ values were in the order of 18.946, 67.874, 120.888, 132.790 and 461.635 mg/L, respectively. Meanwhile, the expression level of sodium channel gene was showed no change or down-regulated. It indicated that the fall armyworm larvae could reduce the toxicity of the insecticides by reducing the expression of the target gene. This study was preliminary cleared that the indoor insecticidal activity of

基金项目: 海南大学基金(KYQD(ZR)1963), 海南大学科研启动基金(KYQD(ZR)1951), 农业农村部海南省入侵生物监测项目(1630042020020)

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: lvbaoqian@hotmail.com, wsywsy6000@hainanu.edu.cn

收稿日期: 2020-07-24

four pyrethroid insecticides and one chlorobiobenzoamide insecticides and revealed these insecticides can be used as field emergency prevention and control of *S. frugiperda* at present.

Key words: Hainan Province; *Spodoptera frugiperda*; insecticide; pyrethroid; indoxacarb

2019年1月,我国云南省普洱市首次在受害玉米田间发现并鉴定到草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 幼虫(姜玉英等,2019),该虫属鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae,原产于美洲的热带和亚热带地区(Murúa et al.,2009)。我国农业农村部已经确认该虫于2019年1月由东南亚侵入我国云南、广西等省区(http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZY-GLS/201906/t20190605_6316201.htm)。草地贪夜蛾是一种杂食性害虫,能取食玉米、水稻、高粱、谷子、甘蔗、棉花和多种蔬菜等6科353种植物(Montezano et al.,2018)。草地贪夜蛾在条件适宜的地区会暴发成灾,该虫具有很高的繁殖力,在田间发生时世代重叠严重,根据其强大的适应性和迁徙能力判断,预测未来该虫将入侵我国黄淮海夏玉米区和东北春玉米区(刘好玲等,2019),将会对我国粮食安全产生重大威胁。

目前,防控草地贪夜蛾的方法主要包括化学防治、农业防治和生物防治等。20世纪90年代以前,美洲国家防治草地贪夜蛾以氨基甲酸酯类和拟除虫菊酯类等杀虫剂为主(Carvalho et al.,2013)。但长期的药剂选择压力使草地贪夜蛾田间种群对多种药剂进化出不同程度的抗性(王芹芹等,2019)。目前,美洲地区的草地贪夜蛾已对41种杀虫剂有效成分产生了不同程度的抗性(崔丽等,2019;李永平等,2019;吴超等,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(吴益东等,2019)。该虫入侵我国后迅速扩散,由于入侵各地的时间较短,国内既无防治该害虫的登记药剂品种可用,也无相关的化学防治经验可借鉴,目前全国各发生地最普遍的防治手段是应急性化学防治(刘好玲等,2019)。国内对不同药剂的室内杀虫活性及田间防效测定结果表明,苯甲酰胺类昆虫生长调节剂虱螨脲(程东美等,2019)、甲维盐类甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(全国龙,2019)、新型芳基吡咯类杀虫杀螨剂虫螨腈(闫文娟等,2019)、生物源杀虫剂乙基多杀菌素(郑群等,2019)和双酰胺类杀虫剂氯虫苯甲酰胺(王勇庆等,2019)对草地贪夜蛾幼虫的毒杀效果较好;乙基多杀菌素、甲维盐、氯虫苯甲酰胺、乙酰甲胺磷及多杀菌素是草地贪夜蛾应急防控的首选药剂,而苏云金芽胞杆菌 *Bacillus thuringien-*

sis 及球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 对该虫控制效果相对较差,适用于低密度种群下的预防性控制(赵胜园等,2019a,b,c)。

我国农业农村部印发了《全国草地贪夜蛾防控方案》,提出多种应急用药措施,推荐了17种应急防治单剂,以解决生产上的用药问题(http://www.zzys.moa.gov.cn/tzgg/201907/t20190731_6321853.htm)。推荐药剂中的拟除虫菊酯类杀虫剂和氨基甲酸酯类杀虫剂茚虫威对各类昆虫均具有强烈的触杀、胃毒作用,同时都具有高效、速效、低毒等特性,作用机理都是扰乱昆虫神经的正常生理,使之由兴奋、痉挛到麻痹而死亡(Wu et al.,2017)。拟除虫菊酯类杀虫剂能使昆虫钠离子通道延迟关闭,负后电位延长并加强,导致产生重复后放,神经毒素进而破坏、阻断神经系统;茚虫威通过阻断昆虫神经细胞内的钠离子通道,使神经细胞丧失功能(Wu et al.,2017)。本研究选取4种拟除虫菊酯类药剂高效氯氟氰菊酯、高效氯氰菊酯、溴氰菊酯、联苯菊酯和1种氨基甲酸酯类药剂茚虫威于室内开展对草地贪夜蛾的毒力测定,并通过实时荧光定量PCR技术测定草地贪夜蛾钠离子通道基因片段经过药剂筛选后的功能表达,明确这几类药剂对海南省草地贪夜蛾的毒力水平并验证钠离子通道是否为其靶标受体,以期对草地贪夜蛾的防控和抗药性治理工作提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源及饲料:草地贪夜蛾各龄期幼虫于2019年5月8日采自海南省琼中黎族苗族自治县乌那路1号玉米地,带回实验室在一次性塑料小盒中采用无农药的新鲜玉米叶片单独饲养至化蛹,饲养条件为温度(25±1)℃、相对湿度(55±5)%、光周期16 L:8 D。羽化成虫供给10%蜂蜜水,放入白纱布供其产卵,孵化出的幼虫选取第2代3龄幼虫供试。人工饲料自制,专利号为201911218280.2。

供试药剂:95.0%茚虫威粉剂(indoxacarb),北京颖泰嘉和生物科技股份有限公司;97%高效氯氟氰菊酯粉剂(lambda-cyhalothrin)、96%高效氯氰菊酯粉剂(beta cypermethrin)、98%溴氰菊酯粉剂(deltamethrin)和98%联苯菊酯粉剂(bifenthrin),江苏扬

农化工股份有限公司。

试剂和仪器:DNA聚合酶Phanta Max Super-Fidelity DNA Polymerase,美国Omega公司;Trizol试剂,美国Ambion公司;cDNA合成试剂盒Prime Script™ 1st Strand cDNA Synthesis Kit,日本TaRaKa公司;实时荧光定量PCR试剂盒ChamQ Universal SYBR qPCR Master Mix,南京诺唯赞生物科技有限公司;其它试剂均为国产分析纯。12孔培养板,海门市盛邦实验器材有限公司;ABI 7500型实时荧光定量PCR仪,北京世纪科信科学仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 供试药剂的室内毒力测定

室内试验时间为2019年8月23日,采用点滴法测定5种药剂对草地贪夜蛾3龄幼虫的毒力。将各药剂用丙酮配置成10 000 mg/L的母液,再按等比或等差稀释成6~7个所需浓度,即高效氯氟氰菊酯的浓度分别为25、50、100、200、400、800、1 600 mg/L,高效氯氰菊酯、联苯菊酯和溴氰菊酯的浓度分别为50、100、200、400、800、1 600 mg/L,茚虫威的浓度分别为25、50、100、200、400、800 mg/L,以丙酮处理为对照。使用2.5 μL移液枪分别在草地贪夜蛾3龄幼虫背部迅速点滴1 μL不同浓度的药剂,之后单头置于加入约1.5 g人工饲料的12孔培养板中,在1.1所述环境条件下进行饲养。每个处理放置12头幼虫,平行处理3组,共36头,分别于24、48 h后统计各组幼虫的死亡情况,计算死亡率和校正死亡率。以用毛刷触碰虫体后无反应或幼虫表现出严重的中毒症状,如行动迟缓、抽搐、进食中断、蜕皮停止和生长严重抑制等则被视为死亡(Gutiérrez-Moreno et al., 2019)。

死亡率=死亡虫数/处理总虫数×100%;校正死亡率=(处理死亡率-对照死亡率)/(1-对照死亡率)×100%。采用Polo软件进行毒力回归分析,计算供试5种药剂处理草地贪夜蛾3龄幼虫24 h后的LD₂₅、LD₅₀、LD₇₅及其95%置信限,并以高效氯氟氰菊酯处理草地贪夜蛾3龄幼虫48 h后的LD₅₀值为1.0进行相对毒力指数的计算,比较各药剂对草地贪夜蛾3龄幼虫的毒力水平。

1.2.2 药剂诱导下草地贪夜蛾钠离子通道表达量的测定

以1.2.1中获得的5种药剂的LD₂₅、LD₅₀、LD₇₅为处理浓度分别诱导草地贪夜蛾3龄幼虫,处理方法同1.2.1。分别取各药剂3种浓度下诱导24 h和48 h后仍存活的草地贪夜蛾幼虫3头,用Trizol法提取总RNA,按照Prime Script™ 1st Strand cDNA Synthesis Kit说明书反转录合成cDNA。

参考草地贪夜蛾钠离子通道cDNA序列(GenBank登录号MN966968),以草地贪夜蛾*EFL-α*基因mRNA(GenBank登录号KT218669.1)作为内参基因,利用软件Primer Premier 5.0设计特异性引物(表1),采用实时荧光定量PCR技术测定草地贪夜蛾3龄幼虫钠离子通道基因在5种药剂不同诱导时间下的表达规律,以丙酮处理的草地贪夜蛾cDNA作为空白对照。20 μL反应总体积:上下游引物各0.5 μL、cDNA模板1.0 μL、Mix 10 μL、ddH₂O补足20 μL。反应程序:95℃预变性30 s;95℃变性10 s,60℃退火30 s,40个循环。试验设3次生物学重复。采用2^{-ΔΔCT}法计算钠离子通道基因的相对表达量(Livak & Schmittgen, 2001)。

表1 本研究中所用实时荧光定量PCR扩增引物
Table 1 Information of qRT-PCR in this study

引物名称 Primer name	扩增位点 Amplification site	引物序列(5'-3') Primer sequence (5'-3')	扩增长度/bp Amplification length
qSFNav1 F	钠离子通道	AACGCTAAGCCACGAGAT	116
qSFNav1 R	Sodium channel	TGGAAGAGGCACAGGTAT	
1-α F	<i>EFL-α</i>	CGTCGCTGGTGACTCCAAGAAC	132
1-α R		AATGTGGGCTGTGTGCAATCC	

1.3 数据分析

采用Polo Plus 2.0软件进行毒力回归分析,得到毒力回归方程斜率、LD₂₅、LD₅₀、LD₇₅及其95%置信限,以LD₅₀的95%置信限是否有重叠来判断不同药剂毒力水平差异是否显著(金涛等,2019)。采用t测验法对数据进行差异显著性检验,利用Graphpad Prism 5.0软件绘制草地贪夜蛾钠离子通道基因相对

表达量图。

2 结果与分析

2.1 供试药剂对草地贪夜蛾幼虫的室内毒力

随着处理浓度的增加,5种药剂对草地贪夜蛾3龄幼虫的校正死亡率均呈上升趋势。其中,800 mg/L茚虫威处理草地贪夜蛾3龄幼虫24 h后的校正死亡

率达到80.56%,1 600 mg/L的高效氯氟氰菊酯、溴氰菊酯和联苯菊酯处理草地贪夜蛾3龄幼虫24 h后的校正死亡率也分别达到86.11%、91.67%和97.22%,表明茚虫威、高效氯氟氰菊酯、溴氰菊酯和联苯菊酯对草地贪夜蛾幼虫具有显著的致死作用,而高效氯氟氰菊酯的毒力相对较弱,在1 600 mg/L浓度处理24 h后的校正死亡率为61.11%。

高效氯氟氰菊酯对草地贪夜蛾3龄幼虫的毒力相对最高,处理48 h时LD₅₀值最低,为18.946 mg/L。处理24 h和48 h后,5种药剂对草地贪夜蛾3龄幼虫

的LD₅₀值由低到高依次为高效氯氟氰菊酯(74.911、18.946 mg/L)、溴氰菊酯(83.280、67.874 mg/L)、联苯菊酯(152.662、120.888 mg/L)、茚虫威(179.372、132.790 mg/L)、高效氯氟氰菊酯(567.250、461.635 mg/L)。其中,高效氯氟氰菊酯和溴氰菊酯的毒力水平相当,但两者均显著高于其余3种药剂的毒力;联苯菊酯和茚虫威的毒力相当。表明高效氯氟氰菊酯、溴氰菊酯、联苯菊酯和茚虫威对草地贪夜蛾的毒力较高,且高效氯氟氰菊酯也对草地贪夜蛾具有明显的毒力(表2)。

表2 不同药剂对草地贪夜蛾3龄幼虫的毒力

Table 2 The toxicity of different insecticides on the third instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

药剂名称 Insecticide	时间 Time/h	总虫数 Total no.	斜率±标准误 Slope±SE	χ^2	LD ₅₀ (95% CL)/(mg/L)	df	相对毒力指数 Relative toxicity index
茚虫威	24	252	1.689±0.220	20.835	179.372(127.170–256.022)	16	9.47
Indoxacarb	48	252	2.016±0.237	28.331	132.790(91.265–187.881)	16	7.01
高效氯氟氰菊酯	24	287	0.654±0.141	5.925	74.911(28.742–134.018)	19	3.95
Lambda-cyhalothrin	48	287	0.804±0.164	16.244	18.946(4.405–38.754)	19	1.0
高效氯氟菊酯	24	252	1.339±0.199	21.443	567.250(380.422–971.180)	16	29.94
Beta cypermethrin	48	252	1.483±0.203	24.843	461.635(311.459–742.449)	16	24.37
溴氰菊酯	24	252	1.324±0.209	13.458	83.280(47.672–120.796)	16	4.55
Deltamethrin	48	252	1.473±0.228	26.193	67.874(27.853–110.281)	16	3.58
联苯菊酯	24	250	1.942±0.239	17.754	152.662(111.550–200.533)	16	8.06
Bifenthrin	48	250	2.800±0.355	21.268	120.888(92.343–153.980)	16	6.38

2.2 钠离子通道基因在药剂诱导下的表达特性分析

5种药剂在LD₂₅、LD₅₀和LD₇₅处理浓度下分别诱导草地贪夜蛾3龄幼虫24、48 h后,其钠离子通道基因的表达均呈现不被诱导或诱导下调现象(图1)。经高效氯氟氰菊酯诱导24 h后,各浓度(7、75和800 mg/L)处理下草地贪夜蛾3龄幼虫钠离子通道基因的表达量与对照无显著差异,48 h时800 mg/L浓度诱导下钠离子通道基因的表达量显著下调($P<0.05$)。经高效氯氟菊酯诱导24 h和48 h时,180 mg/L和1 800 mg/L浓度诱导下均可使钠离子通道基因的表达量显著下调($P<0.05$),560 mg/L浓度诱导下其表达量未见显著变化。经70 mg/L联苯菊酯诱导24 h或48 h后,草地贪夜蛾3龄幼虫钠离子通道基因表达量均显著下调($P<0.05$),150 mg/L和340 mg/L浓度诱导下其表达量未见显著变化。经溴氰菊酯和茚虫威高浓度(270 mg/L和450 mg/L)和中浓度(85 mg/L和180 mg/L)诱导24 h后,均可使草地贪夜蛾3龄幼虫钠离子通道基因表达量显著下调($P<0.05$),低浓度(25 mg/L和70 mg/L)诱导后其表达量与对照无显著差异。70、180和450 mg/L浓度茚虫威诱导48 h后,均可使草地贪夜蛾3龄幼虫钠离子通道基因的

表达量显著下调($P<0.05$),但溴氰菊酯只在25 mg/L浓度下使草地贪夜蛾3龄幼虫钠离子通道基因的表达量显著下调($P<0.05$),在85 mg/L和270 mg/L浓度诱导下其表达量与对照均无显著差异。

3 讨论

当前,控制突发性害虫的主要手段仍是化学防治,因此使用化学农药快速压制草地贪夜蛾种群是控制其为害的最主要方法(赵胜园等,2019b)。由于害虫的生物学特性、杀虫剂的性能和应用技术等对农药的防治效果有较大影响,所以在农业生产中必须充分了解并综合应用这些特点,才能极大地发挥杀虫剂的优势和潜能,从而达到有效防控的目的(徐汉虹,2018)。国外使用化学农药防治草地贪夜蛾的历史比较长(李永平等,2019),当前拟除虫菊酯类杀虫剂使用较广泛,转Bt作物和一些新型杀虫剂如新型抗生素类、新型多杀菌素类、取代脲类、氨基甲酸酯类等对草地贪夜蛾也有明显的防治效果(宋洁蕾等,2019;赵胜园等,2019c)。金涛等(2019)也发现甲维盐、多杀菌素、氯虫苯甲酰胺和辛硫磷可作为当前防治入侵海南省草地贪夜蛾幼虫的主要药剂。本

研究采用4种拟除虫菊酯类和1种氨基甲酸酯类药剂原药对草地贪夜蛾3龄幼虫进行了室内毒力测定,发现5种药剂都对草地贪夜蛾有明显的杀虫活性,且高效氯氟氰菊酯、溴氰菊酯、联苯菊酯和茚虫威对草地贪夜蛾的毒力作用相对较高。在非洲地区被推荐用于防控草地贪夜蛾的药剂为氯氟氰菊酯、 α -氯氰菊酯、高效氯氟氰菊酯和茚虫威等,目前防控效果良好(杨普云和常雪艳,2019);马千里等(2020)

采用喷雾法测定了3种拟除虫菊酯类药剂对广东省广州市草地贪夜蛾的杀虫活性,发现3种药剂均具有较好的防治效果;这均与本研究结果一致。但是王芹芹等(2019)通过对田间抗性监测数据进行分析,发现草地贪夜蛾已对有机磷类、氨基甲酸酯类和拟除虫菊酯类达中至高等抗性水平。因此,我国未来使用化学农药防治草地贪夜蛾的策略还需进一步深入探讨。

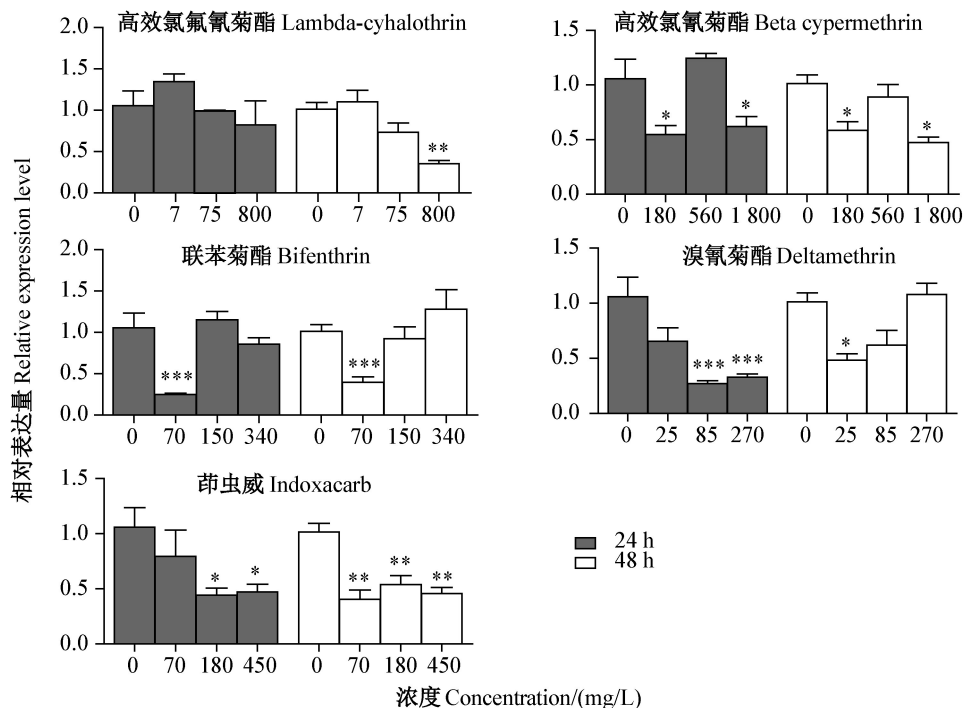


图1 不同浓度药剂诱导24 h和48 h时草地贪夜蛾3龄幼虫钠离子通道基因的相对表达量

Fig. 1 Relative expression level of sodium channel gene of the third instar larvae of *Spodoptera frugiperda* at 24 h and 48 h induced by different concentrations of five insecticides

图中数据均为平均值±标准误。*、**和***分别表示各浓度处理与对照经 t 测验法检验在 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 和 $P<0.001$ 水平差异显著。Data are mean±SE. *, ** and *** indicate significant difference between each concentration treatment and control at $P<0.05$, $P<0.01$ and $P<0.001$ level by t test, respectively.

目前,普遍认为昆虫对杀虫剂的抗性机制主要包括3个方面:表皮穿透性降低、解毒作用增强和靶标敏感性下降(Teixeira & Andalaro, 2013)。由钠通道基因突变导致靶标位点敏感性下降而产生的击倒抗性(knock-down resistance, Kdr)是昆虫对菊酯类药剂产生抗性的主要类型之一(Milani, 1954)。很多昆虫中普遍存在Kdr和super-Kdr现象,农业害虫和卫生害虫中都发现了不同靶标位点的突变,并影响昆虫与菊酯类药剂的结合。本研究结果显示,在菊酯类药剂诱导下,草地贪夜蛾3龄幼虫钠离子通道基因表达量不变或者被诱导下调,其中高效氯氟氰菊酯在诱导48 h后,其体内钠离子通道基因的表

达量随着药剂浓度的增加呈现逐渐下调趋势,其它药剂虽然没有出现这种现象,但均有使钠离子通道基因下调表达的情况,证实草地贪夜蛾钠离子通道基因表达量的降低可以有效减少其与菊酯类药剂的结合,进而减少药剂毒性。

昆虫钠离子通道不仅仅是拟除虫菊酯类药剂的靶标受体,还是如茚虫威和DDT等神经类药剂的受体。茚虫威相对于菊酯类药剂的作用机制不同,其在昆虫体内转化为N-去甲氧羰基代谢物DCJW,并作用于失活态的钠离子通道,破坏神经冲动传递,是一种钠通道阻滞杀虫剂。本研究结果也表明,在茚虫威诱导不同时间段内草地贪夜蛾3龄幼虫钠离子

通道基因的表达也呈现不变或者诱导下调的现象,推测是茚虫威处理草地贪夜蛾幼虫后,其会在虫体内迅速转化为DCJW,使钠离子通道失活,造成钠离子通道基因表达量下降。草地贪夜蛾钠离子通道基因的克隆是阐明其对拟除虫菊酯类药剂和茚虫威产生靶标抗性分子机制的关键环节,可以为草地贪夜蛾对拟除虫菊酯类药剂及茚虫威的田间抗性监测、抗性分子诊断工具设计、抗药性相关突变位点检测提供基础依据,对于草地贪夜蛾抗药性治理和田间科学用药具有重要意义,但其中涉及到的具体作用机制和相关模块功能表达还有待深入研究。

参 考 文 献 (References)

- CARVALHO RA, OMOTO C, FIELD LM, WILLIAMSON MS, BASS C. 2013. Investigating the molecular mechanisms of organophosphate and pyrethroid resistance in the *Spodoptera frugiperda*. PLoS ONE, 8(4): e62268
- CHENG DM, HUANG JH, XU HH, ZHANG ZX. 2019. Activity and field effect trials of lufenuron 50% EC against *Spodoptera frugiperda*. Journal of Environmental Entomology, 41(5): 974-978 (in Chinese) [程东美, 黄江华, 徐汉虹, 张志祥. 2019. 50 g/L 虱螨脲乳油对草地贪夜蛾的室内活性和田间药效研究. 环境昆虫学报, 41(5): 974-978]
- CUI L, RUI CH, LI YP, WANG QQ, YANG DB, YAN XJ, GUO YW, YUAN HZ. 2019. Research and application of chemical control technology against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in foreign countries. Plant Protection, 45(4): 7-13 (in Chinese) [崔丽, 芮昌辉, 李永平, 王芹芹, 杨代斌, 闫晓静, 郭永旺, 袁会珠. 2019. 国外草地贪夜蛾化学防治技术的研究与应用. 植物保护, 45(4): 7-13]
- GUTIÉRREZ-MORENO R, MOTA-SANCHEZ D, BLANCO CA, WHALON ME, TERÁN-SANTOFIMIO H, RODRIGUEZ-MACIEL JC, DIFONZO C. 2019. Field-Evolved resistance of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to synthetic insecticides in Puerto Rico and Mexico. Journal of Economic Entomology, 112(2): 792-802
- JIN T, LIN YY, MA GC, MA ZL, XIANG KP, YI KX, PENG ZQ. 2019. Toxicity of insecticides against larvae of *Spodoptera frugiperda* population, a new invasive pest. Chinese Journal of Tropical Crops, 40(8): 1571-1576 (in Chinese) [金涛, 林玉英, 马光昌, 马子龙, 向凯萍, 易克贤, 彭正强. 2019. 杀虫剂对新入侵海南草地贪夜蛾种群幼虫的毒力. 热带作物学报, 40(8): 1571-1576]
- JINAG YY, LIU J, ZHU XM. 2019. Analysis on the occurrence dynamics and future trend of the invasion of *Spodoptera frugiperda* in China. China Plant Protection, 39(2): 33-35 (in Chinese) [姜玉英, 刘杰, 朱晓明. 2019. 草地贪夜蛾侵入我国的发生动态和未来趋势分析. 中国植保导刊, 39(2): 33-35]
- 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]
- LIU YL, ZHANG YS, ZHANG S, WANG QQ, RUI CH. 2019. Control efficacy of five ultra-low volume liquid insecticides against *Spodoptera frugiperda* in corn field. Plant Protection, 45(5): 102-105 (in Chinese) [刘好玲, 张永生, 张生, 王芹芹, 芮昌辉. 2019. 5种杀虫剂超低容量液剂对玉米田草地贪夜蛾的防治效果. 植物保护, 45(5): 102-105]
- LIVAK KJ, SCHMITTGEN TD. 2001. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the $2^{-\Delta\Delta CT}$ method. Methods, 25: 402-408
- MA QL, WANG YQ, TAN YT, WANG SY, ZHENG Q, LÜ YY, XU HH, ZHANG ZX. 2020. Toxicity determination of three pyrethroid pesticides against *Spodoptera frugiperda* and evaluation of field application. Journal of Environmental Entomology, 42(2): 335-341 (in Chinese) [马千里, 王勇庆, 谭煜婷, 王世英, 郑群, 吕怡颖, 徐汉虹, 张志祥. 2020. 3种拟除虫菊酯类农药对草地贪夜蛾的毒力测定及田间应用效果评价. 环境昆虫学报, 42(2): 335-341]
- MILANI R. 1954. Comportamento mendeliano della resistenza alla azione abbattente del DDT: correlazione tra abbattimento e mortalità in *Musca domestica* L. Rivista e Parasitologia, 15: 513-542
- MONTEZANO DG, SPECHT A, SOSA-GÓMEZ DR, ROQUE-SPECHT VF, SOUSA-SILVA JC, PAULA-MORAES SV, PETERSON JA, HUNT TE. 2018. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. African Entomology, 26(2): 286-300
- MURÚA MG, MOLINA-OCHOA J, FIDALGO P. 2009. Natural distribution of parasitoids of larvae of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in Argentina. Journal of Insect Science, 9(20): 1-17
- QUAN GL. 2019. A comparative study on the effects of different pesticides on the control of *Spodoptera frugiperda*. South China Agriculture, 13(12): 49-50, 52 (in Chinese) [全国龙. 2019. 不同农药防治甜玉米草地贪夜蛾的药效对比试验. 南方农业, 13(12): 49-50, 52]
- SONG JL, LI YL, LI YH, HUANG BF, KANG YC, MA TC, ZHANG SL, GUI FR. 2019. Measurements of indoor toxic effects and virulence of different insecticides against *Spodoptera frugiperda*. Journal of Southern Agriculture, 50(7): 1489-1495 (in Chinese) [宋洁蕾, 李艳丽, 李亚红, 黄碧芬, 康云昌, 马庭鑫, 张澍雷, 桂富荣. 2019. 不同杀虫剂对草地贪夜蛾的室内毒杀效果及毒力测定. 南方农业学报, 50(7): 1489-1495]
- TEIXEIRA LA, ANDALORO JT. 2013. Diamide insecticides: global efforts to address insect resistance stewardship challenges. Pesticide Biochemistry and Physiology, 106(3): 76-78
- WANG QQ, CUI L, WANG L, LIANG P, YUAN HZ, RUI CH. 2019. Research progress on insecticides resistance in fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. Chinese Journal of Pesticide Science, 21

- (4): 401–408 (in Chinese) [王芹芹, 崔丽, 王立, 梁沛, 袁会珠, 芮昌辉. 2019. 草地贪夜蛾对杀虫剂的抗性研究进展. 农药学报, 21(4): 401–408]
- WANG YQ, MA QL, TAN YT, ZHENG Q, YAN WJ, YANG S, XU HH, ZHANG ZX. 2019. The toxicity and field efficacy of chlorantraniliprole against *Spodoptera frugiperda*. Journal of Environmental Entomology, 41(4): 782–788 (in Chinese) [王勇庆, 马千里, 谭煜婷, 郑群, 闫文娟, 杨帅, 徐汉虹, 张志祥. 2019. 氯虫苯甲酰胺对草地贪夜蛾的毒力及田间防效. 环境昆虫学报, 41(4): 782–788]
- WU C, ZHANG L, LIAO CY, 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 SY, NOMURA Y, DU YZ, ZHOROV BS, DONG K. 2017. Molecular basis of selective resistance of the bumblebee *Bombus terrestris* sodium channel to tau-fluvalinate. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 114(49): 12922–12927
- 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]
- XU HH. 2018. Phytochemical conservation. Beijing: China Agriculture Press, pp. 399–401 (in Chinese) [徐汉虹. 2018. 植物化学保护学. 北京: 中国农业出版社, pp. 399–401]
- YAN WJ, YANG S, TAN YT, WANG YQ, WANG JL, ZHENG Q, ZHANG ZX, XU HH. 2020. Toxicity and field control efficacy of chlorfenapyr on the larvae of *Spodoptera frugiperda*. Journal of Environmental Entomology, 42(3): 602–606 (in Chinese) [闫文娟, 杨帅, 谭煜婷, 王勇庆, 王佳丽, 郑群, 张志祥, 徐汉虹. 2020. 氯虫醚酯对草地贪夜蛾幼虫的室内毒力及田间防效. 环境昆虫学报, 42(3): 602–606]
- YANG PY, CHANG XY. 2019. The occurrence, influence and control strategies of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in Asia and Africa. China Plant Protection, 39(6): 88–90 (in Chinese) [杨普云, 常雪艳. 2019. 草地贪夜蛾在亚洲、非洲发生和影响及其防控策略. 中国植保导刊, 39(6): 88–90]
- ZHAO SY, SUN XX, ZHANG HW, YANG XM, WU KM. 2019b. 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. 2019b. 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]
- ZHAO SY, YANG XM, SUN XX, ZHANG HW, ZHANG S, WU KM. 2019a. Laboratory control efficacy of commonly-used bioinsecticides against *Spodoptera frugiperda*. 2019c. Plant Protection, 45(3): 21–26 (in Chinese) [赵胜园, 杨现明, 孙小旭, 张浩文, 张生, 吴孔明. 2019a. 常用生物农药对草地贪夜蛾的室内防效. 植物保护, 45(3): 21–26]
- ZHAO SY, YANG XM, YANG XL, SONG YF, WANG WH, WU KM. 2019c. Field efficacy of eight insecticides on fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. Plant Protection, 45(4): 74–78 (in Chinese) [赵胜园, 杨现明, 杨学礼, 宋翼飞, 王文辉, 吴孔明. 2019c. 8种农药对草地贪夜蛾的田间防治效果. 植物保护, 45(4): 74–78]
- ZHENG Q, WANG YQ, TAN YT, MA QL, YAN WJ, YANG S, XU HH, ZHANG ZX. 2019. Bioactivity of spinetoram and its field efficiency against *Spodoptera frugiperda*. Journal of Environmental Entomology, 41(6): 1169–1174 (in Chinese) [郑群, 王勇庆, 谭煜婷, 马千里, 闫文娟, 杨帅, 徐汉虹, 张志祥. 2019. 乙基多杀菌素悬浮剂对草地贪夜蛾的生物活性及田间防效. 环境昆虫学报, 41(6): 1169–1174]

(责任编辑:李美娟)