

防治金银花尺蠖幼虫高效药剂的筛选及应用评价

祝国栋 孙莹 赵海朋 刘艳艳 孙夏 薛明*

(山东农业大学植物保护学院, 山东省蔬菜病虫害生物学重点实验室, 泰安 271018)

摘要: 为筛选防治金银花尺蠖 *Heterolochoa jinyinhuaphaga* Chu 幼虫的高效、低残留杀虫剂, 采用浸虫法和浸叶法分别测定了13种杀虫剂对金银花尺蠖幼虫的触杀毒力和胃毒毒力, 筛选出高活性药剂, 并对筛选的药剂进行田间防效试验及检测其在金银花中的农药残留量。毒力测定结果表明, 甲维盐对金银花尺蠖2龄和4龄幼虫的毒力最高, 触杀毒力 LC_{ct50} 分别为0.291、0.391 mg/L, 胃毒毒力 LC_{st50} 分别为0.081、0.275 mg/L; 多杀菌素、氟铃脲、氯虫苯甲酰胺药剂对金银花尺蠖幼虫也表现出较高的致毒作用。田间药效试验表明, 有效成分用量2.25 g (a.i.)/ hm^2 的甲维盐、有效成分用量11.25 g (a.i.)/ hm^2 的多杀菌素对金银花尺蠖幼虫均有极好的防治效果, 药后7 d防治效果分别为96.39%和93.13%, 表明甲维盐和多杀菌素是防治金银花尺蠖幼虫的特效药剂。残留检测分析结果表明, 有效成分用量6、12 g (a.i.)/ hm^2 的甲维盐喷雾处理3 d后, 金银花中农药残留量分别为0.0219、0.0725 mg/kg, 7 d后分别为0.0070、0.0168 mg/kg。

关键词: 金银花尺蠖; 毒力; 药效; 残留; 甲维盐

Screening efficient insecticides and evaluating their applications for controlling geometrid *Heterolochoa jinyinhuaphaga* larvae

Zhu Guodong Sun Ying Zhao Haipeng Liu Yanyan Sun Xia Xue Ming*

(Shandong Key Laboratory for Biology of Vegetable Pests and Diseases, College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong Province, China)

Abstract: To screen pesticides efficient and secure for controlling *Heterolochoa jinyinhuaphaga* Chu, the contact and stomach toxicity of 13 pesticides was tested against *H. jinyinhuaphaga* larvae by using the methods of leaf-dipping and body-dipping, respectively. The control efficacy of insecticides in the field and the residue dynamics of emamectin benzoate in honeysuckle were detected. The toxicity tests demonstrated that emamectin benzoate had the highest toxicity against *H. jinyinhuaphaga* larvae, and the values of contact toxicity LC_{ct50} against 2nd and 4th instars were 0.291 and 0.391 mg/L, respectively, while the values of stomach toxicity LC_{st50} against 2nd and 4th instars were 0.081 and 0.275 mg/L, respectively. In addition, spinosad, hexaflumuron and chlorantraniliprole also exhibited strong insecticidal activity. Field experiments indicated that emamectin benzoate and spinosad had the best control efficacy against *H. jinyinhuaphaga* among the five insecticides, and the control efficiencies of 2.25 g (a.i.)/ hm^2 emamectin benzoate and 11.25 g (a.i.)/ hm^2 spinosad after seven days were 96.39% and 93.13%, respectively, which showed that emamectin benzoate and spinosad were the specific insecticides for controlling *H. jinyinhuaphaga*. The residues of emamectin benzoate at the dosage of 6 g (a.i.)/ hm^2 were 0.0219 and 0.0070 mg/kg at the 3rd and 7th day after spraying, respectively, and 0.0725 and 0.0168 mg/kg at the dosage of 12 g (a.i.)/ hm^2 .

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划(2011BAI06B01)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: xueming@sdau.edu.cn

收稿日期: 2017-08-14

Key words: *Heterolocha jinyinhuaphaga* Chu; toxicity; control efficiency; pesticide residue; emamectin benzoate

金银花为忍冬科忍冬属的一种干燥花蕾或初开的花,是一种重要的中药材,中药方剂中约1/3会用到金银花,其在各种保健品及各类饮品中也有广泛的应用(倪云霞等,2006a; Shang et al., 2011; 梁继华等, 2015)。在金银花生产过程中,病虫害较严重。近年来,随金银花产业的发展,种植面积不断扩大,病虫害发生也日趋严重。目前针对金银花病虫害科学防治的研究较少,导致防治过程中化学药剂滥用,不仅难以有效控制虫害,且极易使产品中农药残留超标(Zuin & Vilegas, 2000; 荣伟广等, 2006; 刘孝勇和赵丽敏, 2011),制约中草药发展(Liu et al., 2012; 苗青等, 2012)。因此,开展中药材病虫害科学防治的研究对于推动中药材种植产业的发展至关重要。

金银花尺蠖 *Heterolocha jinyinhuaphaga* Chu 属鳞翅目尺蛾科昆虫,是近年来为害金银花的重要食叶害虫,也是山东省金银花害虫的优势种,该害虫在河南和安徽等省也为害较严重(姜敏等, 2005)。该虫属于寡食性昆虫,仅取食忍冬科植物,以幼虫咬食叶片为主,为害严重时造成金银花的产量锐减甚至大片植株死亡。该虫在山东省平邑县1年发生3代,每年5月中旬—6月下旬、7月中旬—8月下旬及9月上旬—10月中旬是其幼虫发生为害的高峰期。目前关于金银花尺蠖的研究主要集中于生态学和生物学方面(张文冉等, 2007),如环境温度条件(向玉勇等, 2011)、金银花品种(向玉勇等, 2016)对金银花尺蠖发育及繁殖的影响。目前,化学药剂依然是防治金银花尺蠖的主要手段,如向玉勇和陈红兵(2013)和倪云霞等(2006b)进行了高效氯氟菊酯和毒死蜱等有机磷类药剂对金银花尺蠖幼虫的毒力及田间防治效果的研究。有机磷类药剂和拟除虫菊酯类药剂在害虫防治过程中历史较长,长期的不合理使用导致害虫抗药性不断积累,药剂防治效果逐年下降。已有研究报道指出多种鳞翅目幼虫对菊酯类和有机磷类药剂表现出较强的抗性,如甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 和小菜蛾 *Plutella xylostella* 对氯氟菊酯、高效氯氟菊酯和毒死蜱均表现出较强的抗性(兰亦全和赵士熙, 2004; 吕铭潇和张骞, 2016)。孙莹等(2013)研究发现,在金银花害虫防治过程中,有机磷类药剂和拟除虫菊酯类药剂是施用最多的药剂,并且用药单一、用药量超标的问题极为普遍。此外,该

类药剂长期施用对环境污染严重,杀伤天敌和有益生物,污染水源,目前该类药剂被限制使用。不合理的施药技术造成金银花中农药残留严重,药材品质降低,影响人身体健康。《中药材生产质量管理规范》规定在药材生产过程中使用最小有效剂量并选用高效、低毒、低残留农药,以保证中药材质量。《食品安全国家标准》规定了包含金银花在内的20余种中药材农药残留检测方法,但没有给出明确的残留限量标准,缺乏与国际接轨的质量标准。考虑到金银花中农药残留限定标准尚不完善,加快筛选并研制高效、安全的新型金银花尺蠖杀虫剂,对于完善金银花害虫的科学防治意义重大。

本试验以13种不同类型的杀虫剂作为供试药剂,研究了其对金银花尺蠖2龄和4龄幼虫的触杀毒力和胃毒毒力,筛选出对金银花尺蠖幼虫具有较高致毒作用的杀虫剂;将室内筛选出的杀虫剂进行田间药效试验,综合评价其防治效果,并测定其在金银花中的残留量,明确其用于防治金银花尺蠖幼虫的施用安全间隔期,以期完善金银花尺蠖的化学防治技术提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源及植物:于2015年5—8月自山东省平邑县流峪镇金银花种植基地采集金银花尺蠖,在光周期为12 L:12 D、温度为25℃、相对湿度(70±5)%的室内光照培养箱中以新鲜金银木 *Lonicera maackii* (Rupr.) Maxim. 叶片饲养。金银木品种为长绿期金银木,种植于山东农业大学校园内,树龄15~20年。金银花 *Lonicera japonica* Thunb. 品种为大毛金银花,树龄4~5年,种植于山东省平邑县流峪镇金银花种植区内。

药剂及试剂:95%噻虫胺(clothianidin)原药,山东京蓬生物药业股份有限公司;97%虫螨腈(chlorfenapyr)原药、95%阿维菌素(abamectin)原药、80%茚虫威(indoxacarb)原药,山东潍坊润丰化工股份有限公司;90%氯氟菊酯(cypermethrin)原药、95%甲维盐(emamectin benzoate)原药、95%高效氯氟菊酯(cyhalothrin)原药,山东中农联合生物科技有限公司;95.3%氯虫苯甲酰胺(chlorantraniliprole)原药,上海杜邦农化有限公司;70%除虫菊素(pyre-

thrins)原药,云南南宝生物科技有限责任公司;95%氟铃脲(spinosad)原药,河北威远生物化工有限公司;5%苦参碱(matrine)原药,内蒙古清源保生物科技有限责任公司;98%吡虫啉(imidacloprid)原药、5%阿维菌素(abamectin)乳油,山东海利尔化工有限公司;91%多杀菌素(spinosad)原药、2.5%多杀菌素(spinosad)悬浮剂,陶氏益农(中国)有限公司;1%甲维盐(emamectin benzoate)乳油、2.5%高效氯氟氰菊酯(cyhalothrin)乳油,山东绿霸化工股份有限公司;25%噻虫胺(clothianidin)水分散粒剂,山东农业大学农药毒理与应用技术省级重点实验室自制;其它试剂均为国产分析纯。

仪器:LRH-250G型培养箱,宁波江南仪器厂;

Agilent1200SL-G6410A型液质联用色谱仪、Agilent ZORBAXSB-C18型色谱柱(2.1 mm×150 mm),美国Agilent公司;GL-88B型旋涡混合器,海门市其林贝尔仪器制造有限公司;16 L手动气压背负式农药喷雾器,山东省淄博华岳环保设备有限公司。

1.2 方法

1.2.1 药剂配制

选用丙酮将甲维盐、多杀菌素、氟铃脲、氯虫苯甲酰胺、噻虫胺、虫螨腈、阿维菌素、茚虫威、氯氟菊酯、高效氯氟氰菊酯、除虫菊素、苦参碱、吡虫啉13种供试药剂原药分别稀释为10 000 mg/L母液,随后采用0.1%吐温水将每种供试药剂分别配制成5个系列浓度(表1)。

表1 13种杀虫剂触杀毒力试验和胃毒毒力试验的药剂浓度设计

Table1 Concentrations of 13 insecticides for contact toxicity test and stomach toxicity test

mg/L

药剂 Insecticide	触杀毒力试验 Contact toxicity test		胃毒毒力试验 Stomach toxicity test	
	2龄幼虫 2nd instar larva	4龄幼虫 4th instar larva	2龄幼虫 2nd instar larva	4龄幼虫 4th instar larva
	甲维盐 Emamectin benzoate	0.125,0.25,0.5,1,2	0.125,0.25,0.5,1,2	0.025,0.05,0.1,0.2,0.4
多杀菌素 Spinosad	0.125,0.25,0.5,1,2	0.25,0.5,1,2,4	0.125,0.25,0.5,1,2	0.625,1.25,2.5,5,10
氟铃脲 Hexaflumuron	0.25,0.5,1,2,4	2.5,5,10,20,40	0.25,0.5,1,2,4	1.25,2.5,5,10,20
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	0.625,1.25,2.5,5,10	1.25,2.5,5,10,20	0.625,1.25,2.5,5,10	0.625,1.25,2.5,5,10
氯氟菊酯 Cypermethrin	0.625,1.25,2.5,5,10	2.5,5,10,20,40	0.625,1.25,2.5,5,10	1.25,2.5,5,10,20
阿维菌素 Abamectin	1.25,2.5,5,10,20	1.25,2.5,5,10,20	1.25,2.5,5,10,20	5,10,20,40,80
茚虫威 Indoxacarb	2.5,5,10,20,40	5,10,20,40,80	2.5,5,10,20,40	5,10,20,40,80
虫螨腈 Chlorfenapyr	2.5,5,10,20,40	5,10,20,40,80	2.5,5,10,20,40	5,10,20,40,80
高效氯氟氰菊酯 Cyhalothrin	2.5,5,10,20,40	5,10,20,40,80	5,10,20,40,80	5,10,20,40,80
除虫菊素 Pyrethrins	12.5,25,50,100,200	12.5,25,50,100,200	12.5,25,50,100,200	12.5,25,50,100,200
噻虫胺 Clothianidin	25,50,100,200,400	25,50,100,200,400	25,50,100,200,400	25,50,100,200,400
苦参碱 Matrine	25,50,100,200,400	25,50,100,200,400	25,50,100,200,400	25,50,100,200,400
吡虫啉 Imidacloprid	25,50,100,200,400	25,50,100,200,400	25,50,100,200,400	50,100,200,400,800

1.2.2 药剂对金银花尺蠖幼虫的室内毒力测定

室内触杀毒力的测定:采用虫体浸渍法(宋增明等,2007)。选取大小、生命活性一致的金银花尺蠖2龄幼虫,每20头放入1个浸虫器中,立刻将其转移至13种药剂不同浓度的药液中浸渍3 s后取出,于吸水纸上晾干虫体,将试虫转移至铺有滤纸、直径为9.0 cm的玻璃培养皿中,每皿放2片新鲜的金银木

叶片继续饲养。每24 h检查活虫数,以毛笔轻触虫体无反应视为死亡,计算各药剂的致死中浓度 LC_{50} 。每种药剂的毒力试验包括6个处理:5个系列浓度和1个吐温水对照处理,每个处理20头试虫,重复4次。13种药剂对金银花尺蠖4龄幼虫的触杀毒力测定方法同2龄幼虫。采用Probit回归模型分别计算13种药剂对金银花尺蠖2龄和4龄幼虫的毒

力,毒力回归方程为 $y=ax+b$,其中 x 为药剂浓度, y 为相应浓度下的存活率。选择毒力比值作为金银花尺蠖2龄和4龄幼虫之间毒力差异的评价标准,毒力比值=金银花尺蠖4龄幼虫的 LC_{ct50} /金银花尺蠖2龄幼虫的 LC_{ct50} ;选择毒力倍数作为不同药剂之间毒力差异的评价标准,毒力倍数=吡虫啉的 LC_{ct50} /目标药剂的 LC_{ct50} 。

室内胃毒毒力的测定:采用浸叶法测定。选取新鲜、大小一致的金银木叶片,在13种药剂不同浓度的药液中浸渍3s后立刻取出,放到吸水纸上晾干,移至铺有滤纸、直径为9.0 cm的玻璃培养皿中,每皿放置2片叶片。选取大小、生命活性一致的金银花尺蠖2龄幼虫,每20头放入1个培养皿中,继续饲养。每24 h检查活虫数,以毛笔轻触虫体无反应视为死亡,计算13种药剂的致死中浓度 LC_{st50} 。每种药剂的胃毒毒力试验包括6个处理:5个系列浓度和1个吐温水对照处理,每个处理20头试虫,重复4次。13种药剂对金银花尺蠖4龄幼虫的胃毒毒力测定方法同2龄幼虫。胃毒毒力、毒力比值、毒力倍数计算方法同触杀毒力。

1.2.3 5种筛选杀虫剂的田间药效试验

根据室内毒力试验结果,选择室内对金银花尺蠖有较好致毒作用的药剂及目前金银花生产上最常用的药剂进行田间药效试验,经确定分别为甲维盐、多杀菌素、噻虫胺、阿维菌素和高效氯氟氰菊酯。于2015年8月(金银花尺蠖幼虫为害高峰期)在山东省平邑县流峪镇金银花种植区进行田间药效试验。根据这5种药剂在害虫防治过程中已登记的田间推荐剂量共设11个处理:有效成分用量为2.25、1.125 g (a.i.)/ hm^2 的1%甲维盐乳油,有效成分用量为11.25、5.625 g (a.i.)/ hm^2 的2.5%多杀菌素悬浮剂,有效成分用量为112.5、56.25 g (a.i.)/ hm^2 的25%噻虫胺水分散粒剂,有效成分用量为22.50、11.25 g (a.i.)/ hm^2 的5%阿维菌素乳油,有效成分用量为11.25、5.625 g (a.i.)/ hm^2 的2.5%高效氯氟氰菊酯乳油,以及清水对照处理,药液量为675 kg/ hm^2 。每个处理3次重复,小区面积为15 m^2 ,长7.5 m,宽2 m,每小区种植5株金银花,不同处理之间设2行保护行以防止相互干扰。分别于施药前调查虫口基数,施药后3、7 d调查每株金银花上金银花尺蠖幼虫的存活数量,计算药后3、7 d的防治效果。虫口减退率=(虫口基数-试验后活虫数)/虫口基数 $\times 100\%$;防治效果=(处理组虫口减退率-对照组虫口减退率)/(100-对照组虫口减退率) $\times 100\%$ 。

1.2.4 甲维盐在金银花中残留量的检验

于2016年5月上旬(金银花开花前期)在山东省平邑县流峪镇金银花种植区进行试验。试验共设3个处理:有效成分用量分别为6、12 g (a.i.)/ hm^2 的1%甲维盐乳油及清水对照,每个处理重复3次。每个处理包括3个试验小区,试验小区面积为150 m^2 ,小区长50 m,宽3 m,每小区种植约60株金银花,不同处理之间设2行保护行以防止药剂漂移影响。金银花开花前5~10 d进行喷雾施药,药液量为675 kg/ hm^2 。分别于施药后3、7 d采样,每个试验小区随机取200~300 g鲜花。将鲜花于50~60℃环境下鼓风机干燥至恒重,密封储存于-20℃冰箱中备用。

参照国家标准GB 2763—2014对金银花中农药残留量进行测定。将金银花样品研磨粉碎,准确称取样品5 g置于50 mL离心管内,加入10 mL水和20 mL乙腈,振荡提取1 h;加入3 g氯化钠,剧烈摇晃1 min,于4 000 r/min下离心5 min。取上清液1 mL,转移至装有50 mg *N*-丙基乙二胺和100 mg无水硫酸镁的2 mL离心管内,摇晃1 min,静置后取上清液过0.2 μm 滤膜至自动进样瓶中。样品室温度15℃,进样体积10 μL ,0.1%甲酸水溶液+乙腈流动相,0.3 mL/min流速,最低检出量 1.1×10^{-4} ng。测样前,检测并绘制甲维盐标准溶液与检测出峰面积的标准曲线,其中峰面积 S 与进样量 n 在标准溶液系列浓度0.002~0.2 mg/L范围内呈线性关系,回归方程为 $S=1247605.9n+2410.7$,相关系数 $R=0.9999$ 。

1.3 数据分析

应用SPSS 19.0软件进行数据统计分析,分别采用Duncan氏新复极方差法和 t 检验法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 13种药剂对金银花尺蠖幼虫的室内毒力

2.1.1 对金银花尺蠖幼虫的室内触杀毒力

13种杀虫剂中,甲维盐对金银花尺蠖2龄和4龄幼虫的触杀毒力最高, LC_{ct50} 分别为0.291、0.391 mg/L。多杀菌素次之,对2龄和4龄幼虫的 LC_{ct50} 分别为0.478、1.243 mg/L。氟铃脲、氯虫苯甲酰胺、氯氟菊酯和阿维菌素对2龄幼虫也有较高的触杀毒力, LC_{ct50} 介于1.008~3.580 mg/L之间;氯虫苯甲酰胺、阿维菌素对4龄幼虫的触杀毒力也较高, LC_{ct50} 分别为3.614、5.073 mg/L。噻虫胺、苦参碱、吡虫啉对2龄和4龄幼虫毒力较低,其中吡虫啉最低,对2龄和4龄幼虫的 LC_{ct50} 分别为102.646、144.389 mg/L(表2)。

13种药剂对金银花尺蠖2龄幼虫的触杀毒力均要高于对4龄幼虫的触杀毒力,其中氟铃脲触杀毒力差异最大,毒力比值为12.46,多杀菌素、氯氰菊酯、茚虫威、虫螨腈和高效氯氟氰菊酯药剂触杀毒力

差异较大,毒力比值介于2.60~4.91之间;其它药剂触杀毒力差异相对较小,毒力比值低于1.62。甲维盐毒力倍数最大,对2龄和4龄幼虫的分别为352.74倍和369.28倍(表2)。

表2 13种杀虫剂对金银花尺蠖2龄和4龄幼虫的触杀毒力

Table 2 Contact toxicities of 13 insecticides to 2nd and 4th instar larvae of *Heterolocha jinyinhuphaga*

药剂 Insecticide	2龄幼虫 2nd instar larva			4龄幼虫 4th instar larva			毒力比值 Toxicity ratio
	回归方程 Regression equation	LC _{ct50} (mg/L) (95% CL)	毒力倍数 Toxicity multiple	回归方程 Regression equation	LC _{ct50} (mg/L) (95% CL)	毒力倍数 Toxicity multiple	
甲维盐 Emamectin benzoate	y=2.077x +6.114	0.291 (0.132-0.305)	352.74	y=2.915x +6.189	0.391 (0.314-0.486)	369.28	1.34
多杀菌素 Spinosad	y=3.394x +6.088	0.478 (0.317-0.763)	214.74	y=4.158x +4.607	1.243 (1.045-1.481)	116.16	2.60
氟铃脲 Hexaflumuron	y=1.158x +4.996	1.008 (0.945-1.487)	101.83	y=1.595x +3.247	12.562 (8.899-20.569)	11.49	12.46
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	y=2.126x +4.231	2.230 (1.471-3.054)	46.03	y=1.988x +3.891	3.614 (2.569-4.814)	39.95	1.62
氯氰菊酯 Cypermethrin	y=2.267x +3.837	3.258 (1.912-4.383)	31.51	y=2.720x +1.726	15.984 (12.681-20.106)	9.03	4.91
阿维菌素 Abamectin	y=1.681x +4.069	3.580 (2.566-5.446)	28.67	y=2.262x +3.405	5.073 (3.828-6.589)	28.46	1.42
茚虫威 Indoxacarb	y=1.576x +3.542	8.416 (4.815-11.952)	12.20	y=2.053x +1.815	35.595 (26.961-50.213)	4.06	4.23
虫螨腈 Chlorfenapyr	y=2.026x +2.880	11.127 (8.399-15.614)	9.22	y=1.797x +2.019	45.591 (33.336-67.579)	3.17	4.10
高效氯氟氰菊酯 Cyhalothrin	y=2.193x +2.634	11.992 (9.221-16.605)	8.56	y=2.421x +1.310	33.432 (25.902-48.571)	4.32	2.79
除虫菊素 Pyrethrins	y=2.158x +1.650	35.675 (22.702-47.339)	2.88	y=1.626x +2.317	44.675 (26.344-62.719)	3.23	1.25
噻虫胺 Clothianidin	y=1.901x +1.554	64.973 (44.326-87.337)	1.58	y=2.134x +0.934	80.416 (60.046-106.244)	1.80	1.24
苦参碱 Matrine	y=1.212x +2.583	98.679 (58.724-134.710)	1.04	y=2.581x -0.565	143.241 (113.002-172.897)	1.01	1.45
吡虫啉 Imidacloprid	y=1.499x +1.985	102.646 (89.932-141.540)	1.00	y=1.636x +1.467	144.389 (114.293-163.523)	1.00	1.41

2.1.2 对金银花尺蠖幼虫的室内胃毒毒力

13种杀虫剂中,甲维盐对金银花尺蠖2龄和4龄幼虫的胃毒毒力最高,LC_{st50}分别为0.081、0.275 mg/L;多杀菌素、氟铃脲的胃毒毒力也较高,对2龄幼虫的LC_{st50}分别为0.541、0.934 mg/L,对4龄幼虫的LC_{st50}分别为2.470、2.580 mg/L;阿维菌素、茚虫威、虫螨腈、高效氯氟氰菊酯、除虫菊素、噻虫胺和苦参碱胃毒毒力相对较弱,对2龄幼虫的LC_{st50}介于9.032~66.315 mg/L之间,对4龄幼虫的LC_{st50}介于33.307~132.490 mg/L之间;吡虫啉的胃毒毒力最弱,对金银花尺蠖2龄和4龄幼虫的LC_{st50}分别为122.595、211.387 mg/L(表3)。

13种药剂对金银花尺蠖2龄幼虫的胃毒毒力高于对4龄幼虫的胃毒毒力,其中多杀菌素的胃毒毒

力差异最大,毒力比值为4.57;甲维盐、氟铃脲、阿维菌素、噻虫胺、氯虫苯甲酰胺的胃毒毒力差异次之,毒力比值介于2.76~3.69之间;虫螨腈、高效氯氟氰菊酯、除虫菊素的胃毒毒力差异较小,毒力比值分别为1.42、1.41和1.39。甲维盐毒力倍数最大,对金银花尺蠖2龄和4龄幼虫的分别为1513.52和768.68(表3)。

2.1.3 13种药剂的触杀毒力和胃毒毒力的比较

不同药剂对金银花尺蠖幼虫的触杀毒力和胃毒毒力存在明显差异。13种药剂中,甲维盐、氟铃脲、氯氰菊酯、茚虫威、虫螨腈和高效氯氟氰菊酯对同一龄期金银花尺蠖幼虫的触杀毒力大于胃毒毒力,即对幼虫的胃毒活性高于触杀活性;多杀菌素、氯虫苯甲酰胺、阿维菌素、吡虫啉和除虫菊素对同一龄期金

银花尺蠖幼虫的触杀毒力小于胃毒毒力,即对幼虫 的触杀活性高于胃毒活性。

表3 13种杀虫剂对金银花尺蠖2龄和4龄幼虫的胃毒毒力

Table 3 Stomach toxicities of 13 insecticides to 2nd and 4th instar larvae of *Heterolocha jinyinhua*

药剂 Insecticide	2龄幼虫 2nd instar larva			4龄幼虫 4th instar larva			毒力比值 Toxicity ratio
	回归方程 Regression equation	LC _{st50} (mg/L) (95% CL)	毒力倍数 Toxicity multiple	回归方程 Regression equation	LC _{st50} (mg/L) (95% CL)	毒力倍数 Toxicity multiple	
甲维盐 Emamectin benzoate	y=1.604x +6.750	0.081 (0.050-0.115)	1 513.52	y=2.494x +6.398	0.275 (0.200-0.350)	768.68	3.40
多杀菌素 Spinosad	y=1.987x +5.530	0.541 (0.40-0.701)	226.61	y=2.522x +4.010	2.470 (1.942-3.177)	85.58	4.57
氟铃脲 Hexaflumuron	y=1.666x +5.049	0.934 (0.624-1.314)	131.26	y=2.367x +4.026	2.580 (2.011-3.403)	81.93	2.76
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	y=0.979x +4.772	1.432 (0.985-2.063)	85.61	y=0.592x +4.586	5.001 (2.262-8.736)	42.27	3.49
氯氟菊酯 Cypermethrin	y=1.319x +5.574	2.726 (1.987-3.986)	44.97	y=1.559x +3.628	7.580 (5.147-13.942)	27.89	2.78
阿维菌素 Abamectin	y=2.029x +3.061	9.032 (6.195-17.950)	13.57	y=2.926x +0.942	33.307 (26.783-40.911)	6.35	3.69
茚虫威 Indoxacarb	y=3.575x +0.992	13.222 (9.602-16.252)	9.27	y=2.350x +1.642	29.410 (23.497-36.282)	7.19	2.22
虫螨腈 Chlorfenapyr	y=1.414x +3.256	17.136 (11.258-27.274)	7.15	y=2.824x +0.853	24.371 (19.339-30.157)	8.67	1.42
高效氯氟氰菊酯 Cyhalothrin	y=1.998x +2.442	19.058 (14.351-27.284)	6.43	y=2.894x +0.594	26.861 (20.592-34.706)	7.87	1.41
除虫菊素 Pyrethrins	y=2.498x +0.995	40.103 (28.632-51.241)	3.06	y=2.367x +0.868	55.692 (41.711-71.265)	3.80	1.39
噻虫胺 Clothianidin	y=2.070x +1.628	42.550 (31.724-56.974)	2.88	y=1.807x +1.580	78.075 (58.634-108.457)	2.71	1.83
苦参碱 Matrine	y=4.602x -3.383	66.315 (51.190-83.464)	1.85	y=2.243x +0.240	132.490 (97.237-171.597)	1.60	2.00
吡虫啉 Imidacloprid	y=2.139x +0.533	122.595 (90.664-161.04)	1.00	y=1.501x +1.510	211.387 (146.856-278.388)	1.00	1.72

2.2 5种药剂对金银花尺蠖幼虫的田间药效

在甲维盐、多杀菌素、噻虫胺、阿维菌素和高效氯氟氰菊酯5种药剂中,甲维盐对金银花尺蠖的防治效果最好,有效成分用量为2.25 g (a.i.)/hm²的1%甲维盐乳油施用3、7 d后,对金银花尺蠖的防治效果分别达94.90%和96.39%;有效成分用量为11.25 g (a.i.)/hm²的2.5%多杀菌素悬浮剂次之,防治效果分别为88.47%和93.13%,甲维盐和多杀菌素是防治金银花尺蠖的特效药,其防治效果显著高于其它药剂($P<0.05$)。有效成分用量为1.125 g (a.i.)/hm²的1%甲维盐乳油、有效成分用量为5.625 g (a.i.)/hm²的2.5%多杀菌素悬浮剂、有效成分用量为11.25 g (a.i.)/hm²的25%噻虫胺水分散粒剂、有效成分用量为11.25 g (a.i.)/hm²的5%阿维菌素乳油和有效成分用量为22.50 g (a.i.)/hm²的2.5%高效氯氟氰

菊酯乳油施用7 d后,对金银花尺蠖幼虫也表现出较好的控制作用,防治效果分别为85.74%、82.69%、86.48%、85.45%和85.35%;而有效成分用量为56.25 g (a.i.)/hm²的25%噻虫胺水分散粒剂和有效成分用量为5.625 g (a.i.)/hm²的5%阿维菌素乳油施用7 d后,对金银花尺蠖的防治效果一般,分别为73.42%和75.74%,而有效成分用量为11.25 g (a.i.)/hm²的2.5%高效氯氟氰菊酯乳油对金银花尺蠖幼虫防治效果最差,仅为59.25%(表4)。

2.3 甲维盐在金银花中残留量的检验结果

随甲维盐施药时间的延长,其在金银花中残留量逐渐降低。有效成分用量为6、12 g (a.i.)/hm²的1%甲维盐喷雾处理3 d后,其在金银花中残留量分别为0.0219、0.0725 mg/kg,前者显著低于后者($P<0.05$);喷雾处理后7 d,其在金银花中残留量分别为

0.0070、0.0168 mg/kg,前者显著低于后者($P<0.05$, 表5)。

表4 5种药剂对金银花尺蠖幼虫的田间防治效果

Table 4 Control efficacies of five insecticides against *Heterolochoa jinyinhuaphaga* larvae in the field

药剂 Insecticide	有效成分用量 (g (a.i.)/hm ²) Effective content	稀释倍数 Dilution ratio	虫口基数 Population base	药后3 d 3 d after treatment		药后7 d 7 d after treatment	
				活虫数 Number survived	防治效果 (%) Control effect	活虫数 Number survived	防治效果 (%) Control effect
1% 甲维盐乳油 1% emamectin benzoate EC	2.250	3 000	146	7	94.90±1.78 a	5	96.39±1.10 a
2.5% 多杀菌素悬浮剂 2.5% spinosad SC	11.250	6 000	121	19	83.10±1.70 bc	16	85.74±0.69 bc
2.5% 多杀菌素悬浮剂 2.5% spinosad SC	5.625	1 500	139	15	88.47±1.26 ab	8	93.13±1.39 ab
2.5% 多杀菌素悬浮剂 2.5% spinosad SC	5.625	3 000	143	29	77.85±2.01 cd	26	82.69±2.02 bc
25% 噻虫胺水分散粒剂 25% clothianidin WG	112.500	1 500	142	21	83.78±2.61 bc	17	86.48±2.41 bc
25% 噻虫胺水分散粒剂 25% clothianidin WG	56.250	3 000	139	43	66.11±3.24 de	33	73.42±4.80 c
5% 阿维菌素乳油 5% abamectin EC	11.250	3 000	142	21	83.78±1.51 bc	18	85.45±0.70 bc
5% 阿维菌素乳油 5% abamectin EC	5.625	6 000	138	32	75.02±3.24 cd	29	75.74±1.90 c
2.5% 高效氯氟氰菊酯乳油 2.5% cyhalothrin EC	22.500	1 500	149	21	83.36±2.30 bc	19	85.35±2.11 bc
2.5% 高效氯氟氰菊酯乳油 2.5% cyhalothrin EC	11.250	3 000	150	58	57.56±1.68 e	54	59.25±3.41 d
对照 CK	-	-	147	135	-	130	-

表中数据为平均数±标准误。同列数据后不同字母表示经Duncan氏新复极方差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

表5 甲维盐杀虫剂在金银花中残留检测结果

Table 5 Residue detection results of emamectin benzoate insecticide in honeysuckle

处理 Treatment	有效成分用量 Effective content (g (a.i.)/hm ²)	甲维盐残留量 (mg/kg) Residue of emamectin benzoate	
		药后3 d 3 d after treatment	药后7 d 7 d after treatment
		1% 甲维盐乳油 1% emamectin benzoate EC	12
1% 甲维盐乳油 1% emamectin benzoate EC	6	0.0219±0.0005 b	0.0070±0.0019 b
对照 CK	0	-	-

-: 未检出。表中数据为平均数±标准误。同列数据后不同字母表示经 t 检验法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。 -: Non-detected. Data are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by t test.

3 讨论

化学药剂依然是目前中草药病虫害防治的主要手段。本研究比较了13种杀虫剂对金银花尺蠖幼虫的毒力差异,筛选出甲维盐和多杀菌素为防治金银花尺蠖幼虫的特效药剂。甲维盐和多杀菌素分别属于新型大环内酯类化合物和微生物代谢产物,均属于低毒、高效、广谱的杀虫剂,对环境安全,风险低,对小菜蛾(Zhao et al., 2006)、甜菜夜蛾(张友军等, 2003)和棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (董利霞等, 2011)等多种鳞翅目害虫具有快速的触杀和胃毒作用。并且这2种药剂均对叶片有较强的渗透作用,可杀死表皮下的害虫,残效期较长(Eckel et al., 1996)。本研究的13种供试药剂中,氟铃脲、氯虫苯甲酰胺、氯氟菊酯和阿维菌素等药剂对金银花尺蠖

幼虫也有较好的致毒作用,高明等(2011)和卢兆成等(2012)研究结果也表明氯虫苯甲酰胺和阿维菌素对棉铃虫幼虫和茶尺蠖 *Ectropis oblique hypulina* Wehrli 幼虫有较好的致毒作用,因此这4种药剂也可作为金银花尺蠖幼虫的防治药剂,与甲维盐、多杀菌素轮换使用,以减缓害虫抗药性的积累。本研究结果表明,13种供试杀虫剂对金银花尺蠖2龄幼虫的致毒作用明显高于4龄幼虫,说明杀虫剂对低龄幼虫的毒性更高,此现象在棉铃虫(Khan & Hamed, 2005)和韭菜迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga* (李贤贤等, 2014)等多数昆虫中较普遍。因此,金银花尺蠖幼虫发生初期(低龄幼虫期)是药剂防治的关键时期。

田间药效试验结果表明,甲维盐和多杀菌素对金银花尺蠖幼虫的田间防治效果较突出。倪云霞等(2006b)同样证实多杀菌素对金银花尺蠖幼虫有很

好的防治效果,其防虫速效性优于高效氯氟氰菊酯。卢兆成等(2012)研究结果也表明,甲维盐和多杀菌素对茶尺蠖的控制效果优于氯虫苯甲酰胺和联苯菊酯。于宏坤等(2006)和董利霞等(2011)研究结果表明,甲维盐、多杀菌素和阿维菌素对棉铃虫和忍冬细蛾以及朱砂叶螨有较好的防治效果;而孙莹等(2013)和刘亚南等(2015)研究结果表明,噻虫胺和高效氯氟氰菊酯对蚜虫具有较好的防治效果。在金银花种植过程中除了受金银花尺蠖的为害,还受胡萝卜微管蚜 *Semiaphis heraclei*、棉铃虫、忍冬细蛾 *Phyllonorycter loniceræ*、朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* (孙莹等, 2014) 等其它多种害虫的为害, 尽管本研究中的噻虫胺、阿维菌素和高效氯氟氰菊酯对金银花尺蠖幼虫的田间防治效果中等, 但这 3 种药剂的杀虫谱广, 在防治金银花尺蠖的同时还能够对其它害虫进行防控。

农药残留超标问题是影响中药材质量安全和人身体健康的重要因素, 严重制约了中草药产业的发展。在筛选中草药病虫害的防治药剂时, 分析中药材中的农药残留对于药剂筛选和施药技术的完善意义重大 (Cengiz et al., 2007)。目前尚无金银花中农药残留的限定标准, 本研究参照国家标准 GB2763—2014 中其它食品及茶叶中甲维盐最大残留限度的标准——0.02 mg/kg, 施用有效成分用量为 6、12 g (a.i.)/hm² 的甲维盐 7 d 后, 其在金银花中农药残留量均小于 0.02 mg/kg, 不超标。根据田间防效试验结果并结合甲维盐在其它害虫防治过程中的田间推荐剂量, 当金银花尺蠖幼虫发生为害严重时, 甲维盐田间推荐使用量为 2~3 g (a.i.)/hm², 安全间隔期至少为 7 d。

虽然本研究发现阿维菌素和噻虫胺对金银花尺蠖幼虫也有较高的毒力和较好的田间防效, 但因其其在植物中残留量无参考依据, 尚需取得残留检测分析结果后再提出推荐意见, 13 种供试药剂对金银花作物生长的安全性评价以及对环境中有益生物的风险性评估尚需进一步深入研究。

参 考 文 献 (References)

- Cengiz MF, Certel M, Karakaş B, Göçmen H. 2007. Residue contents of captan and procymidone applied on tomatoes grown in greenhouses and their reduction by duration of a pre-harvest interval and post-harvest culinary applications. *Food Chemistry*, 100(4): 1611–1619
- Dong LX, Rui CH, Ren L, Tan XW. 2011. Effect of sublethal dose of emamectin benzoate on growth and development of *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Journal of Plant Protection*, 38(6): 539–544 (in Chinese) [董利霞, 芮昌辉, 任龙, 谭晓伟. 2011. 亚致死剂量甲氨基阿维菌素苯甲酸酯对棉铃虫生长发育的影响. *植物保护学报*, 38(6): 539–544]
- Eckel CS, Dunbar DM, White SM, Norton JA. 1996. Experience with emamectin benzoate for control of Lepidoptera pest species in Florida vegetable production. *Proceedings of Florida State Horticultural Society*, 109: 205–207
- Gao M, Deng ZR, Meng QW, Mu W. 2011. Toxicities of 11 insecticides to *Helicoverpa armigera* (Hübner) in laboratory. *Agrochemicals Research & Application*, 15(3): 17–20 (in Chinese) [高明, 邓兆荣, 孟庆伟, 慕卫. 2011. 11 种杀虫剂对棉铃虫室内毒力测定. *农药研究与应用*, 15(3): 17–20]
- Jiang M, Shao MG, Zhao BL. 2005. Biology characteristic of *Heterolocha jinyinhuaphaga* Chu and the control methods. *Shandong Forestry Science and Technology*, (1): 62–63 (in Chinese) [姜敏, 邵明果, 赵伯林. 2005. 金银花尺蠖的生物学特性及防治技术. *山东林业科技*, (1): 62–63]
- Khan RA, Hamed M. 2005. Toxicity of different groups of insecticides against first, second and third instar larvae of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hub.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Pakistan Journal of Zoology*, 37(1): 13–15
- Lan YQ, Zhao SX. 2004. The stability of resistance to three pyrethroids in *Spodoptera exigua* Hübner. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 6(1): 77–80 (in Chinese) [兰亦全, 赵士熙. 2004. 甜菜夜蛾对三种拟除虫菊酯杀虫剂的抗性稳定性研究. *农药学报*, 6(1): 77–80]
- Li XX, Ma XD, Xue M, Zhao HP, Li ZX. 2014. Toxic effects of clothianidin and other five kinds of insecticides to *Bradysia odoriphaga*. *Journal of Plant Protection*, 41(2): 225–229 (in Chinese) [李贤贤, 马晓丹, 薛明, 赵海鹏, 李朝霞. 2014. 噻虫胺等药剂对韭菜迟眼蕈蚊的致毒效应. *植物保护学报*, 41(2): 225–229]
- Liang JH, Wu CG, Yu QM. 2015. Investigation on pesticide residues of the four seasons and tree type honey-suckle in Changde City. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 43(6): 116–117 (in Chinese) [梁继华, 吴超广, 喻全明. 2015. 常德市四季树型金银花农药残留调查. *安徽农业科学*, 43(6): 116–117]
- Liu QZ, Kong WJ, Qiu F, Wei JH, Yang SH, Zheng YG, Yang MH. 2012. One-step extraction for gas chromatography with flame photometric detection of 18 organophosphorus pesticides in Chinese medicine health wines. *Journal of Chromatography B*, 885/886: 90–96
- Liu XY, Zhao LM. 2011. Analysis on the situation and countermeasures of honeysuckle industry in Pingyi County. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, (7): 143–145 (in Chinese) [刘孝勇, 赵丽敏. 2011. 平邑县金银花产业发展现状及对策分析. *黑龙江农业科学*, (7): 143–145]
- Liu YN, Dong J, Li Y, Zhang JL, Wang PS, Ding WL. 2015. Evaluation of field control efficiency of 25% thiamethoxam WG on honeysuckle aphid. *Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica-World Science and Technology*, 17(1):

- 249–253 (in Chinese) [刘亚南, 董杰, 李勇, 张金良, 王品舒, 丁万隆. 2015. 25% 噻虫嗪水分散粒剂对金银花蚜虫的田间防治评价. 世界科学技术——中医药现代化, 17(1): 249–253]
- Lu ZC, Zhao HY, Qiao L. 2012. The laboratory test of thirteen insecticides against *Ectropis oblique hypulina* Wehrli. Pesticide Science and Administration, 33(6): 46–50 (in Chinese) [卢兆成, 赵海英, 乔利. 2012. 13种杀虫剂防治茶尺蠖室内药效试验. 农药科学与管理, 33(6): 46–50]
- Lü MX, Zhang Q. 2016. Toxicity analysis of resistance to *Plutella xylostella* L. of 7 pesticides. Biological Disaster Science, 39(4): 246–249 (in Chinese) [吕铭潇, 张骞. 2016. 7种药剂对抗性小菜蛾的毒力分析. 生物灾害科学, 39(4): 246–249]
- Miao Q, Kong WJ, Wei JH, Yang SH, Yang MH. 2012. Analysis and effective control of pesticides residues in traditional Chinese medicine. Chinese Journal of Pesticide Science, 14(4): 363–370 (in Chinese) [苗青, 孔维军, 魏建和, 杨世海, 杨美华. 2012. 中药材中农药残留现状及控制措施评析. 农药学报, 14(4): 363–370]
- Ni YX, Chen ML, Liu HY, Wang M, Huang LQ. 2006a. Effects of four fungicides on controlling the powdery mildew and their impact on quality of flos lonicerae, *Lonicera japonica* Thunb. Journal of Plant Protection, 33(3): 319–322 (in Chinese) [倪云霞, 陈美兰, 刘红彦, 王敏, 黄璐琦. 2006a. 四种杀菌剂对金银花白粉病的防治效果及对金银花品质的影响. 植物保护学报, 33(3): 319–322]
- Ni YX, Liu XT, Liu YX, Liu HY. 2006b. Pesticide control to *Heterolocha jinyinhuaphaga* Chu. Journal of Henan Agricultural Sciences, (12): 78–79 (in Chinese) [倪云霞, 刘新涛, 刘玉霞, 刘红彦. 2006b. 金银花尺蠖的药剂防治. 河南农业科学, (12): 78–79]
- Rong WG, Guo H, Yang H. 2006. Current research status in China on pesticide contamination of plant material used in making Chinese herbal medicines. Agrochemicals, 45(5): 302–305 (in Chinese) [荣伟广, 郭华, 杨红. 2006. 我国中药材农药残留污染研究现状. 农药, 45(5): 302–305]
- Shang XF, Pan H, Li MX, Miao XL, Ding H. 2011. *Lonicera japonica* Thunb.: ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of an important traditional Chinese medicine. Journal of Ethnopharmacology, 138(1): 1–21
- Song ZM, Xue M, Wang HT. 2007. Effects of six insect growth regulators on the growth, development and reproduction of *Delia antiqua* (Meigen) (Diptera: Anthomyiidae). Acta Entomologica Sinica, 50(8): 775–781 (in Chinese) [宋增明, 薛明, 王洪涛. 2007. 六种昆虫生长调节剂对葱蝇生长发育和繁殖力的影响. 昆虫学报, 50(8): 775–781]
- Sun Y, Liu L, Li ZX, Zhang X, Zhao HP, Xue M. 2014. Honeysuckle in Shandong Province is mainly the occurrence of pest and comprehensive prevention and control technology.//Chen WQ. Academic Annual Conference of Botanical China Society of Plant Protection in 2014. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, pp. 283–288 (in Chinese) [孙莹, 刘磊, 李朝霞, 张晓, 赵海朋, 薛明. 2014. 山东省金银花主要害虫的发生和综合防治技术.//陈万权. 中国植物保护学会2014年学术年会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, pp. 283–288]
- Sun Y, Xue M, Zhang X, Zhao HP, Li ZX. 2013. Population dynamics and control techniques of aphids on honeysuckle. China Journal of Chinese Materia Medica, 38(21): 185–187 (in Chinese) [孙莹, 薛明, 张晓, 赵海朋, 李朝霞. 2013. 金银花蚜虫的发生与防治技术研究. 中国中药杂志, 38(21): 185–187]
- Xiang YY, Chen HB. 2013. Toxicity test in laboratory and control efficiency in field trials of five insecticides to *Heterolocha jinyinhuaphaga* Chu. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 41(1): 123–124, 140 (in Chinese) [向玉勇, 陈红兵. 2013. 5种药剂对金银花尺蠖室内毒力及田间药效研究. 安徽农业科学, 41(1): 123–124, 140]
- Xiang YY, Chen Y, Yin PF. 2016. Feeding preference of honeysuckle geometrid *Heterolocha jinyinhuaphaga* Chu to different varieties of honeysuckle. Journal of Plant Protection, 43(5): 745–751 (in Chinese) [向玉勇, 陈洋, 殷培峰. 2016. 金银花尺蠖对金银花不同品种的取食选择. 植物保护学报, 43(5): 745–751]
- Xiang YY, Wang MY, Zhang YC, Liu KZ, Yin PF. 2011. Effect of temperatures on survival and fecundity of *Heterolocha jinyinhuaphaga*. Chinese Journal of Applied Entomology, 48(2): 364–369 (in Chinese) [向玉勇, 汪美英, 张元昶, 刘克忠, 殷培峰. 2011. 温度对金银花尺蠖存活和繁殖的影响. 应用昆虫学报, 48(2): 364–369]
- Yu HK, Liang GM, Ren MY, Zhang YJ, Chang HL, Wu KM, Guo YY. 2006. Study on substitutional insecticides to replace hypertoxic insecticides against cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*. Chinese Journal of Pesticide Science, 8(4): 327–334 (in Chinese) [于宏坤, 梁革梅, 任明勇, 张永军, 常洪雷, 吴孔明, 郭予元. 2006. 防治棉铃虫的高毒农药替代品种研究. 农药学报, 8(4): 327–334]
- Zhang WR, Gao DH, Liu AH. 2007. Relationships between honeysuckle geometrid occurrence and meteorological condition. Meteorological and Environmental Sciences, 30(4): 60–62 (in Chinese) [张文冉, 高殿滑, 刘爱华. 2007. 金银花尺蠖的发生与气象条件的关系. 气象与环境科学, 30(4): 60–62]
- Zhang YJ, Wang GF, Wu QJ, Xu BY, Bai LY, Zhu GR, Zhang WJ. 2003. The toxicity of spinosad to beet armyworm and its effect on endogenous enzymes of protective system. Chinese Journal of Pesticide Science, 5(3): 31–38. (in Chinese) [张友军, 王光锋, 吴青君, 徐宝云, 柏连阳, 朱国仁, 张文吉. 2003. 多杀菌素对不同发育阶段甜菜夜蛾的毒力及其体内超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和过氧化物酶的影响. 农药学报, 5(3): 31–38]
- Zhao JZ, Collins HL, Li YX, Mau RFL, Thompson GD, Hertlein M, Andaloro JT, Boykin R, Shelton AM. 2006. Monitoring of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) resistance to spinosad, indoxacarb, and emamectin benzoate. Journal of Economic Entomology, 99(1): 176–181
- Zuin VG, Vilegas JH. 2000. Pesticide residues in medicinal plants and phytomedicines. Phytotherapy Research, 14(2): 73–88

(责任编辑:张俊芳)