

两种不同剂型毒死蜱对四种环境生物的毒性评价

季 静¹, 肖 斌², 李 杨¹, 于伟丽¹, 刘 峰¹

(1.山东农业大学农药毒理与应用技术省级重点实验室, 山东 泰安 271018; 2.山东省农药检定所, 济南 250100)

摘 要:按照化学农药环境安全评价试验准则方法,测定了 40%毒死蜱乳油和 30%毒死蜱微囊悬浮剂对鱼类、鸟类、家蚕和蜜蜂 4 种环境生物的毒性。结果表明,毒死蜱乳油对斑马鱼 LC_{50} 值(96 h)为 $0.68 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,毒死蜱微囊悬浮剂的 LC_{50} 为 $47.30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$;毒死蜱乳油对鹌鹑的毒性 LD_{50} 为 $7.45 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,毒死蜱微囊悬浮剂的 LD_{50} 为 $56.97 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。食下毒叶法结果表明,毒死蜱乳油对 2~4 龄家蚕幼虫 LC_{50} 值(48 h, 25 °C)分别为 0.82 、 $1.87 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 与 $4.35 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,毒死蜱微囊悬浮剂为 2.48 、 $4.22 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 与 $8.35 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$;家蚕幼虫在药膜上爬行 1、10、30 min 与 60 min 后,毒死蜱乳油对 3 龄家蚕幼虫的 LD_{50} 值(48 h, 25 °C)分别为 3.18 、 0.68 、 $0.41 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 与 $0.38 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$,其微囊悬浮剂 LD_{50} 值分别为 6.92 、 1.58 、 $1.18 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 与 $0.48 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$;毒死蜱乳油和微囊悬浮剂对蜜蜂 48 h 的 LC_{50} 分别为 $0.53 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $2.32 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。上述结果表明,毒死蜱微囊悬浮剂对 4 种环境生物的安全性明显高于乳油。

关键词:毒死蜱;微囊悬浮剂;环境生物;毒性

中图分类号:X592 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2010)09-1681-06

Toxicity Assessment of Two Different Formulations of Chlorpyrifos to Four Environmental Organisms

Ji Jing¹, Xiao Bin², Li Yang¹, Yu Wei-li¹, Liu Feng¹

(1.Key Laboratory of Pesticide Toxicology & Application Technique, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China; 2.Institute for the Control of Agrochemicals of Shandong, Jinan 250100, China)

Abstract: The toxicities of two different formulations of chlorpyrifos, emulsifiable concentrate (EC) and capsule suspension (CS), to 4 species of environmental organisms were evaluated, according to the commendatory general method named Experimental Guideline for Environmental Safety Evaluation of Chemical Pesticide. The results indicated that LC_{50} (96 h) of chlorpyrifos EC to zebra fish (*Brachydanio rerio*) was $0.68 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and another formulation of the insecticide, chlorpyrifos CS was $47.30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively. The results also showed that the LD_{50} of chlorpyrifos EC to quail (*Coturnix japonica*) was $7.45 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, but the different formulation of chlorpyrifos CS to the same tested bird was $56.97 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Meanwhile, the toxicities of the different insecticide formulations to silkworm (*Bombyx mori* L.) were evaluated in the laboratory using the leaf dipping method. The results indicated that the LC_{50} (48 h, 25 °C) of chlorpyrifos EC to silkworm was 0.82 , $1.87 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and $4.35 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ for the second, third and fourth-instar, respectively but the LC_{50} (48 h, 25 °C) of another formulation, chlorpyrifos CS to the tested animal was 2.48 , $4.22 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and $8.35 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively. After contact of silkworm with filter paper treated by chlorpyrifos in time of 1, 10, 30 min and 60 min, the LD_{50} (48 h, 25 °C) of chlorpyrifos EC to third-instar larvae was 3.18 , 0.68 , 0.41 , $0.38 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ and the LD_{50} (48 h, 25 °C) of chlorpyrifos CS to silkworm was 6.92 , 1.58 , 1.18 , $0.48 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$, respectively. The results also indicated that the LC_{50} (48 h) to bee (*Apis mellifera* L.) of chlorpyrifos EC or chlorpyrifos CS was $0.53 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ or $2.32 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively. The results indicated that safety of chlorpyrifos CS to 4 species of environmental organisms was obviously higher than that of chlorpyrifos EC.

Keywords: chlorpyrifos; microcapsules; environmental organisms; toxicity

微囊化技术是以天然或合成的高分子材料作为壁材,将活性物质(囊心)包裹起来形成具有半透性或密封囊膜的一种技术。其优势在于形成微囊时,囊心

被包覆与外界环境隔离,在适当条件下,又能将囊心释放出来,与常规农药剂型相比,微囊制剂具有延长持效期、提高农药有效利用率、避免农药的分解流失、减轻毒性和药害、降低环境污染等特点^[1]。

毒死蜱(chlorpyrifos)是一种高效、广谱、中等毒性的有机磷类杀虫剂,被广泛应用于农业及卫生害虫防治中,但它同时也会对农田环境及其有益生物产生影响。国家环境保护总局公布了常用农药对水生生物

收稿日期:2010-04-19

基金项目:公益性行业(农业)科研专项资助(200903033)

作者简介:季 静(1987—),女,山东郓城人,硕士研究生,主要从事农药毒理学方面的研究。E-mail:jjing-870713@163.com

通讯作者:刘 峰 E-mail:liu@sdau.edu.cn

及陆生生物的毒性,其中毒死蜱对鱼类等水生生物高毒^[2],对鸟类、蜜蜂、家蚕等陆生生物易造成危害^[3]。迄今为止,很多文献对毒死蜱原药及乳油对环境生物的毒性及安全性研究进行了报道。赵华等测定了40%毒死蜱乳油对8种环境生物的毒性,结果表明,毒死蜱对蜜蜂、家蚕、鱼类、鸟类、赤眼蜂、蛙类属高毒农药,但对蚯蚓、土壤微生物安全^[4];赵学平等通过接触法和摄入法测定了几种农药原药对蜜蜂毒性与安全性,结果表明毒死蜱对蜜蜂高毒^[5];代平礼等报道了有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂通过摇尾舞影响蜜蜂进行蜜源信息交流的能力^[6];马惠等测定了27种农药对家蚕的毒性,其中毒死蜱乳油属高毒级^[7];刘伟等采用滤纸接触法和土壤培养法研究了毒死蜱原药对赤子爱胜蚓(*Eisenia foetida*)的急性毒性效应,毒死蜱对蚯蚓毒性为低毒级^[8]。另外,朱金文等就不同条件下毒死蜱乳油对家蚕的急性毒性进行了研究^[9]。微囊悬浮剂的开发近几年在国内呈上升势头,毒死蜱微囊悬浮剂已经登记用于花生蛱蛄、棉花、蔬菜斜纹夜蛾等害虫防治^[10-16]。然而,有关毒死蜱微囊悬浮剂对环境生物的毒性至今未见报道。

本文以毒死蜱乳油为对照,按照“化学农药环境安全评价试验准则^[17]”的方法,参照FAO农药登记环境试验标准,测定了毒死蜱微囊悬浮剂对生态环境中的4种非靶标生物蜜蜂、家蚕、斑马鱼、鹌鹑的毒性,旨在为今后毒死蜱等农药剂型开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试农药

30%毒死蜱微囊悬浮剂(济宁市通达化工厂),40%毒死蜱乳油(深圳诺普信农化股份有限公司)。

1.2 供试生物

斑马鱼(*Brachydanio rerio*),由泰安市水族馆提供。体长2.5~3.5 cm,体重0.2~0.4 g,健康无病。试验前在室内驯养7 d以上,自然死亡率小于5%。试验前1 d停止喂食,试验期间也不喂食。

鹌鹑(*Coturnix japonica*),由山东汶上鹌鹑养殖基地提供。选取30日龄,体重约100 g健康、活泼、雌雄各半的鹌鹑用于试验。在试验条件下驯养1周后进行试验,驯养期间死亡率为4%。

家蚕(*Bombyx mori* L.),由山东青州广通蚕业集团有限公司提供,品种为春蕾×镇珠(四眠蚕)。选用二龄起蚕为毒性试验材料,恒温养虫室中饲养,温度(26±1)℃,相对湿度80%~95%。

蜜蜂(*Apis mellifera* L.),由山东农业大学蜂产品加工厂提供,采用健康、蜂龄一致的意大利成年工蜂作为试验蜂种。

1.3 试验方法

1.3.1 斑马鱼毒性试验方法

参照国家环保总局制定的《化学农药环境安全评价试验准则》中“鱼类毒性试验”,采用半静态法进行,每隔24 h更换一次药液。正式试验前先做预试求出最高安全浓度和最低全致死浓度,正式试验在此浓度范围内按一定的比例级差设6个处理浓度和一个空白对照,每一处理设3个重复。供试水用曝气去氯后的自来水,试验时每缸放6 L试液和10条斑马鱼,缸内加充氧器充氧,试验过程中水温控制在(20±1)℃,pH值在6.7~7.0之间。于试验开始后24、48、72、96 h记录试验鱼的死亡率和中毒症状,及时清理死鱼,判断死鱼的标准是用镊子夹鱼的尾部无反应。用寇氏法计算LC₅₀值和95%置信限。

1.3.2 鹌鹑毒性试验方法

采用药液经口一次性灌注法。正式试验前先做预试确定最高安全浓度与最低全致死浓度,然后在此浓度范围内按一定的级差,设6个处理和一个空白对照。供试鹌鹑每组10只,雌雄各半,试验前24 h停止喂食,停食期间正常供水,试验时按确定的剂量,以每100 g体重鹌鹑口注毒死蜱药液1 mL处理,经口一次性给药,灌注时要捏紧鹌鹑头部,使颈部竖直,并保持注射器与颈部在一条直线上,缓缓将药剂注入,切不可使药液进入鹌鹑气管。然后按常规方法饲养,连续7 d观察记录鹌鹑的中毒症状和各剂量死亡率,用寇氏法计算一次性口注染毒的LD₅₀值和95%置信限。

1.3.3 家蚕毒性试验方法

1.3.3.1 食下毒叶法

参照国家环保总局制定的《化学农药环境安全评价试验准则》中规定使用的食下毒叶法。选不同龄期(2~4龄)家蚕进行试验,在预试明确药剂有效浓度范围的基础上,按一定的等比级差设计6个浓度,以清水处理为空白对照。从桑树上采集2、3片新鲜健康的叶片,擦干上面的尘土等杂物,将其浸于不同浓度的药液中保持10 s,取出桑叶后自然晾干,桑叶置于直径15 cm的培养皿中,移入家蚕后放入25℃恒温养虫室中,保持相对湿度75%~90%。试验期间均喂以药剂处理桑叶,每处理设3个重复,每重复20头家蚕。药剂处理后不同时间观察记录家蚕取食情况与中毒症状,用药后24、48 h观察记录家蚕死亡情况,利用统计

软件 DPS(3.01 版)对浓度对数与死亡率几率值进行线性回归,求出致死中浓度(LC_{50})与 95%置信限。

1.3.3.2 触杀法(药膜接触法)

用 3 龄家蚕幼虫进行试验。配制不同浓度的药液,将滤纸置于直径 9 cm 的培养皿中,将 2 mL 药液均匀滴加于滤纸上;待药液扩散均匀后,将家蚕移到滤纸上,让其在滤纸上分别爬行 1、10、30、60 min 后,将家蚕移入新鲜桑叶上喂养观察。其他操作同 1.3.3.1。

1.3.4 蜜蜂毒性试验方法

测定方法有摄入法和接触法两种,本试验采用摄入法。首先配制不同浓度的药液,将药液与蜂蜜以 2:1 (6 mL 药液+3 mL 蜂蜜)混匀,制成药蜜,装在 50 mL 小烧杯中,浸渍适量脱脂棉,置于小塑料盒中倒置于试验蜂笼的纱网上饲喂蜜蜂。空白对照组及处理组均设 3 个平行,每个平行 20 只蜜蜂。试验在微光下进行。试验期间环境温度(25 ± 1) $^{\circ}\text{C}$,相对湿度(70 ± 5)%。在药剂处理后第 24、48 h 分别调查蜜蜂中毒和死亡情况。利用统计软件 DPS(3.01 版)对浓度对数与死亡率几率值进行线性回归,求出致死中浓度(LC_{50})与 95%置信限。

2 结果与分析

2.1 毒死蜱对鱼类的毒性

本试验所用的斑马鱼在驯养过程中的自然死亡率为 1.0%。试验中清水对照组的死亡率为 0,符合试验要求。

2.1.1 中毒症状观察

处理后,两种剂型处理的斑马鱼表现相似的中毒症状:中毒初期,斑马鱼不再集群,剧烈游动,鳃发红,平衡能力下降。一段时间后,中毒鱼贴着缸底,游动缓慢,出现侧游和翻转,对外界刺激反应迟钝直至死亡。随着处理剂量的增加,斑马鱼出现症状的时间越早,

症状越明显。

2.1.2 毒性测定结果

两种剂型毒死蜱制剂对斑马鱼毒性试验的结果见表 1。由试验结果可以看出,到 96 h,毒死蜱乳油的 LC_{50} 为 $0.68\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 毒死蜱微囊悬浮剂的 LC_{50} 为 $47.30\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。乳油对斑马鱼的毒性是微囊悬浮剂的 69.55 倍。根据《化学农药环境安全评价试验准则》中化学农药对鱼类的急性毒性等级划分标准: $LC_{50}>10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 为低毒农药, $1.0\sim 10.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 为中等毒农药, $<1.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 为高毒农药。毒死蜱乳油对斑马鱼为高毒,而毒死蜱微囊悬浮剂对斑马鱼的毒性为低毒。

2.2 毒死蜱对鸟类的毒性

试验中乳油处理的鹌鹑在给药后迅速出现中毒症状,而毒死蜱微囊悬浮剂处理的鹌鹑经过 8 h 以后才表现中毒症状。中毒症状一致,表现为伸脖子、排便变稀、进食减少或者不进食、羽毛蓬松等症状。高剂量组中出现无法站立,倒地抽搐,双腿伸直等症状,低剂量组出现呆滞、站立不稳等症状;对照组无中毒死亡现象出现。用寇氏法算出不同剂型毒死蜱对鹌鹑毒性,结果如表 2。由试验结果可以看出,毒死蜱乳油的 LD_{50} 为 $7.45\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 毒死蜱微囊悬浮剂的 LD_{50} 为 $56.97\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。参考美国 EPA 的农药对鸟类急性毒性分级标准,即 $>2\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 体重的为实际无毒, $501\sim 2\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 体重的为低毒, $51\sim 500\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 体重的为中毒, $10\sim 50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 体重的为高毒, $<10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 体重的为剧毒,采用 5 级标准制。根据此标准,毒死蜱乳油对鹌鹑表现为剧毒,而微囊悬浮剂则表现为中毒。

2.3 毒死蜱对家蚕的毒性

2.3.1 食下毒叶法对家蚕毒性试验结果

药剂处理后不同时期观察结果表明,毒死蜱乳油处理的家蚕幼虫在药后 2 h 即出现中毒症状,而毒死蜱微囊悬浮剂处理的家蚕幼虫在药后约 5 h 后出现

表 1 两种剂型毒死蜱对斑马鱼的毒性

Table 1 Toxicity of EC and CS of chlorpyrifos to zebra fish (*Brachydanio rerio*)

剂型	药后时间/h	毒力回归方程	致死中浓度 $LC_{50}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	95%置信限/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
40%毒死蜱 EC	24	$Y=4.872\ 4+4.736\ 8X$	1.06	0.92~1.36
	48	$Y=5.172\ 5+4.412\ 9X$	0.91	0.81~1.09
	72	$Y=5.531\ 7+4.091\ 5X$	0.74	0.66~0.84
	96	$Y=5.687\ 9+4.109\ 0X$	0.68	0.60~0.76
30%毒死蜱 CS	24	$Y=-8.487\ 0+7.522\ 5X$	61.97	56.58~72.67
	48	$Y=-6.006\ 4+6.269\ 1X$	56.97	52.44~64.98
	72	$Y=-5.115\ 9+5.938\ 8X$	50.51	46.80~55.44
	96	$Y=-5.891\ 4+6.502\ 7X$	47.30	43.94~50.94

表 2 两种剂型毒死蜱对鹌鹑的毒性
Table 2 Toxicity of EC and CS of chlorpyrifos to quail(*Coturnix coturnix japonica*)

剂型	毒力回归方程	致死中量 LD ₅₀ / mg·kg ⁻¹	95%置信限/ mg·kg ⁻¹
40%毒死蜱 EC	Y=6.253 1+0.198 2X	7.45	5.88~9.06
30%毒死蜱 CS	Y=-6.406 4+6.239 1X	56.97	52.44~63.98

中毒症状。不论毒死蜱乳油或微囊悬浮剂处理,家蚕幼虫中毒症状基本相同,中毒轻者取食量逐渐降低,头部不停地左右晃动,蚕身扭曲摇摆;中毒重者静卧、倒翻扭动挣扎,口吐黄色胃液,继而逐渐昏迷,触之反应迟钝,敏感性降低。微囊悬浮剂处理的家蚕出现排便变稀,不进食或进食减少的症状。家蚕幼虫死后身体卷曲呈“S”、“C”形,颜色发黑。

随着家蚕幼虫龄期的增大,家蚕对毒死蜱的敏感性降低(表 3)。处理后 24、48 h,毒死蜱微囊悬浮剂对所试龄期的家蚕幼虫的 LC₅₀ 值均大于毒死蜱乳油所处理的家蚕的 LC₅₀ 值。从表 3 可以看出,不论对毒死蜱微囊悬浮剂还是毒死蜱乳油,2 龄与 3 龄的家蚕在 24 h 时其敏感性相近,LC₅₀ 值相差不大,但在 48 h 后毒死蜱微囊悬浮剂对 2~3 龄家蚕的 LC₅₀ 值明显大于乳油对其 LC₅₀ 值;此外还可以看出,4 龄的壮蚕对毒死蜱的敏感性明显降低。

2.3.2 触杀法对家蚕毒性试验结果

随着家蚕幼虫在滤纸药膜上爬行时间越长,不论毒死蜱微囊悬浮剂还是毒死蜱乳油,对家蚕的接触毒性 LD₅₀ 值随着爬行时间的延长而降低(表 4)。家蚕幼虫爬行 1、10、30、60 min 后移入新鲜桑叶喂养,毒死

蜱乳油处理后 48 h,对家蚕的接触毒性致死中量 LD₅₀ 值分别为 3.18、0.68、0.41、0.38 μg·cm⁻²,分别为毒死蜱微囊悬浮剂对家蚕接触 LD₅₀ 值的 0.46、0.43、0.35、0.74 倍。这可能是因为家蚕在带有毒死蜱乳油的滤纸上爬行时,身体直接接触毒死蜱以及所使用的有机溶剂,这些都对家蚕有较高的毒性;而家蚕在带有毒死蜱微囊悬浮剂的滤纸上爬行时,由于毒死蜱溶于溶剂后被囊皮包被,所使用的其他助剂对家蚕毒性很小,家蚕接触毒死蜱的几率减小。所以不论爬行时间的长短,在 24、48 h 后毒死蜱乳油对家蚕的 LD₅₀ 值都小于毒死蜱微囊悬浮剂对家蚕的 LD₅₀ 值,但是随着家蚕在带有毒死蜱微囊悬浮剂的滤纸上爬行时间的延长,家蚕会触破更多的胶囊,这样家蚕会接触更多的毒死蜱。因此,毒死蜱微囊悬浮剂对家蚕的 LD₅₀ 值逐渐降低,特别是在家蚕爬行 60 min 后,毒死蜱乳油和毒死蜱微囊悬浮剂在药后 24、48 h 的 LD₅₀ 值相差不大。

2.4 毒死蜱对蜜蜂的毒性

试验中观察到,不同剂型、不同浓度处理蜜蜂出现如下中毒症状:轻度中毒蜜蜂停止取食;严重中毒蜜蜂乱蹿,在试验蜂笼内乱飞。

试验结果见表 5。目前化学农药对蜜蜂的摄入毒性还没有一个明确的评价标准,国家环境保护总局提出新的风险性等级划分标准(剧毒:LC₅₀≤0.5 mg·L⁻¹;高毒:0.5 mg·L⁻¹<LC₅₀≤20 mg·L⁻¹;中毒:20 mg·L⁻¹<LC₅₀≤200 mg·L⁻¹;低毒:LC₅₀>200 mg·L⁻¹),按照该标准毒死蜱乳油和微囊悬浮剂对蜜蜂 48 h 的 LC₅₀ 分别为 0.53 mg·L⁻¹ 和 2.32 mg·L⁻¹,属高毒级,因此毒死蜱对蜜蜂具有较高风险。

表 3 不同龄期家蚕幼虫对毒死蜱微囊悬浮剂与毒死蜱乳油的敏感性
Table 3 Susceptibility of larva of *Bombyx mori* in 2nd~4th instar to EC and CS of chlorpyrifos

龄期	剂型	药后时间/h	毒力回归方程	致死中浓度 LC ₅₀ /mg·L ⁻¹	95%置信限/mg·L ⁻¹
2	40%毒死蜱 EC	24	Y=3.381 5+2.418 2X	4.17	3.48~6.93
		48	Y=5.225 8+2.601 8X	0.82	0.60~1.09
	30%毒死蜱 CS	24	Y=3.711 0+2.024 9X	4.33	3.12~7.07
		48	Y=4.106 5+2.259 5X	2.48	1.97~3.34
3	40%毒死蜱 EC	24	Y=4.066 9+1.422 1X	4.53	3.31~7.16
		48	Y=4.364 7+2.336 6X	1.87	1.32~3.27
	30%毒死蜱 CS	24	Y=3.315 4+2.327 8X	5.29	3.86~9.29
		48	Y=4.453 4+1.036 6X	4.22	3.53~5.14
4	40%毒死蜱 EC	24	Y=2.839 2+2.489 4X	7.38	5.59~10.58
		48	Y=4.116 4+1.384 5X	4.35	3.48~5.80
	30%毒死蜱 CS	24	Y=3.691 7+1.181 0X	12.83	10.15~15.97
		48	Y=3.814 5+1.286 2X	8.35	6.67~10.96

表 4 两种剂型毒死蜱对家蚕幼虫的爬行接触毒性

Table 4 Toxicity of EC and CS of chlorpyrifos to larva of <i>Bombyx mori</i> by crawling on the toxic filter paper in different contact time					
接触时间/min	剂型	药后时间/h	毒力回归方程	致死中量 LD ₅₀ /μg·cm ⁻²	95%置信限/μg·cm ⁻²
1	40%毒死蜱 EC	24	$Y=4.150\ 2+1.159\ 5X$	5.41	4.86~6.07
		48	$Y=4.568\ 1+0.858\ 1X$	3.18	2.95~3.46
	30%毒死蜱 CS	24	$Y=3.801\ 1+1.159\ 5X$	10.81	9.40~12.64
		48	$Y=4.109\ 9+1.059\ 7X$	6.92	5.67~8.78
10	40%毒死蜱 EC	24	$Y=4.844\ 3+1.186\ 6X$	1.35	1.13~1.65
		48	$Y=5.197\ 9+1.188\ 2X$	0.68	0.53~0.84
	30%毒死蜱 CS	24	$Y=4.591\ 2+1.022\ 6X$	2.51	2.12~3.08
		48	$Y=4.786\ 7+1.071\ 6X$	1.58	1.37~1.86
30	40%毒死蜱 EC	24	$Y=5.238\ 3+1.078\ 7X$	0.6	0.55~0.65
		48	$Y=5.238\ 1+0.747\ 4X$	0.41	0.34~0.57
	30%毒死蜱 CS	24	$Y=4.877\ 6+0.818\ 5X$	1.41	1.22~1.66
		48	$Y=4.950\ 6+0.675\ 6X$	1.18	1.00~1.41
60	40%毒死蜱 EC	24	$Y=5.379\ 3+0.845\ 6X$	0.55	0.42~0.72
		48	$Y=5.443\ 8+0.812\ 5X$	0.38	0.26~0.51
	30%毒死蜱 CS	24	$Y=5.167\ 5+0.761\ 4X$	0.6	0.51~0.69
		48	$Y=5.380\ 7+0.899\ 4X$	0.48	0.43~0.52

表 5 不同剂型毒死蜱对蜜蜂的毒性(48 h)
Table 5 Toxicity of EC and CS of chlorpyrifos to *Apis mellifera* L.(48 h)

剂型	毒力回归方程	致死中浓度 LC ₅₀ /mg·L ⁻¹	95%置信限 /mg·L ⁻¹
40%毒死蜱 EC	$Y=5.742\ 3+2.715\ 0X$	0.53	0.44~0.68
30%毒死蜱 CS	$Y=4.064\ 0+3.131\ 2X$	2.32	1.91~2.43

3 结论

试验表明,与传统的乳油剂型相比,将毒死蜱微囊化能够显著降低其对鱼、鹌鹑等高等动物的急性毒性,而对家蚕和蜜蜂尽管有所降低,但两种农药剂型的毒性差异则相对较小。由于毒死蜱的主要防治对象为有害昆虫,与鱼和鹌鹑差异大而与家蚕和蜜蜂比较接近,因此可以推断,对一些对高等环境生物高毒的农药通过制成高包封率的微囊制剂的形式以降低毒性和扩大使用范围是可行的。

参考文献:

[1] 高德霖. 微胶囊技术在农药剂型中的应用[J]. 现代化工, 2000, 20(2): 10-14.
GAO De-lin. Applications of microencapsulation technologies in pesticide formulations[J]. *Modern Chemical Industry*, 2000, 20(2): 10-14.
[2] 单正军, 陈祖义. 农药对水生生物的污染影响及污染控制技术[J]. 农药科学与管理, 2007, 28(10): 18-20.
SHAN Zheng-jun, CHEN Zu-yi. Effect of pesticide contamination to

aquatic organism and technology of pollution control[J]. *Pesticide Science and Administration*, 2007, 28(10): 18-20.
[3] 单正军, 陈祖义. 农药对陆生环境生物的污染影响及污染控制技术[J]. 农药科学与管理, 2007, 28(11): 18-26.
SHAN Zheng-jun, CHEN Zu-yi. Effect of pesticide contamination to terrestrial organism and technology of pollution control[J]. *Pesticide Science and Administration*, 2007, 28(11): 18-26.
[4] 赵 华, 李 康, 吴声敢, 等. 毒死蜱对环境生物的毒性与安全性评价[J]. 浙江农业学报, 2004, 16(5): 292-298.
ZHAO Hua, LI Kang, WU Sheng-gan, et al. Evaluation on toxicity and safety of chlorpyrifos to environmental organisms[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2004, 16(5): 292-298.
[5] 赵学平, 苍 涛, 陈 超, 等. 几种农药对蜜蜂毒性与安全性评价研究[J]. 浙江农业科学, 2008, 6: 748-750.
ZHAO Xue-ping, CANG Tao, CHEN Chao, et al. Evaluation on toxicity and safety of several pesticides to honeybee[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2008, 6: 748-750.
[6] 代平礼, 王 强, 孙继虎, 等. 农药对蜜蜂行为的影响[J]. 昆虫知识, 2009, 46(6): 856.
DAI Ping-li, WANG Qiang, SUN Ji-hu, et al. Effect of pesticide to behaviour of honeybee [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2009, 46(6): 856.
[7] 马 惠, 姜 辉, 陶传江, 等. 27 种农药对家蚕的毒性评价研究[J]. 农药学报, 2005, 7(2): 156-159.
MA Hui, JIANG Hui, TAO Chuan-jiang, et al. Toxicity evaluation of twenty-seven pesticides to *Bombyx mori*[J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2005, 7(2): 156-159.
[8] 刘 伟, 朱鲁生, 王 军, 等. 毒死蜱、马拉硫磷和氰戊菊酯对赤子爱胜蛭(*Eisenia foetida*)的急性毒性[J]. 生态毒理学报, 2009, 4(4): 597-601.

- LIU Wei, ZHU Lu-sheng, WANG Jun, et al. Acute toxicological dosages of chlorpyrifos, malathion and fenvalerate on earthworm *Eisenia foetida*[J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2009, 4(4):597-601.
- [9] 朱金文, 魏方林, 李少南, 等. 毒死蜱对家蚕的急性毒性研究[J]. 蚕业科学, 2006, 32(2):272-275.
- ZHU Jin-wen, WEI Fang-lin, LI Shao-nan, et al. Acute toxicity of chlorpyrifos to silkworm (*Bombyx mori*)[J]. *Science of Sericulture*, 2006, 32(2):272-275.
- [10] 冷 阳, 仲苏林, 吴建兰, 等. 农药微囊剂型的开发与现状[J]. 农药科学与管理, 2003, 34(3):34-37.
- LENG Yang, ZHONG Su-lin, WU Jian-lan, et al. The development situation of pesticide formulation- microencapsulation[J]. *Pesticide Science and Administration*, 2003, 34(3):34-37.
- [11] 赵 德, 刘 峰, 慕 卫, 等. 毒死蜱微囊悬浮剂的制备及微囊化条件的优化[J]. 农药学报, 2006, 8(1):77-82.
- ZHAO De, LIU Feng, MU Wei, et al. Preparation of chlorpyrifos aqueous capsule suspension and optimization of encapsulation conditions[J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2006, 8(1):77-82.
- [12] 赵 德, 韩志任, 杜有辰, 等. 毒死蜱微胶囊化及释放性能表征[J]. 中国农业科学, 2007, 40(12):2753-2758.
- ZHAO De, HAN Zhi-ren, Du You-chen, et al. Preparation of chlorpyrifos microcapsules and its controlled release characteristics[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(12):2753-2758.
- [13] 陈列忠, 陈建明, 赵 敏, 等. 毒死蜱·高效氯氰菊酯的微胶囊化及其对蛴螬的防治效果[J]. 农药学报, 2009, 11(4):487-492.
- CHEN Lie-zhong, CHEN Jian-ming, ZHAO Min, et al. Microcapsulating and control efficacy of chlorpyrifos · beta-cypermethrin on grubs (*Anomala corpulenta*)[J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2009, 11(4):487-492.
- [14] 曲明静, 赵志强, 王 磊, 等. 30%辛·毒微囊悬浮剂对花生田蛴螬的防治效果[J]. 植物保护, 2008, 34(6):148-150.
- QU Ming-jing, ZHAO Zhi-qiang, WANG Lei, et al. Control efficacy of 30% phoxim · chlorpyrifos capsule suspension on grubs (*Anomala corpulenta*)[J]. *Plant Protection*, 2008, 34(6):148-150.
- [15] 蔡国祥, 冯正娣, 蒋守清. 防治棉田斜纹夜蛾专用药剂配方筛选试验[J]. 江西农业学报, 2009, 21(2):55-57.
- CAI Guo-xiang, FENG Zheng-di, JIANG Shou-qing. Screening of some special pharmaceutical prescriptions for control of *Prodenia litura* on cotton[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2009, 21(2):55-57.
- [16] 陈 斌, 柏连阳, 周小毛, 等. 7种农药对斜纹夜蛾的毒力测定[J]. 农药科学与管理, 2008, 29(7):14-16.
- CHEN Bin, BAI Lian-yang, ZHOU Xiao-mao, et al. Toxicity determination of 7 pesticides to *prodenia litura* (*Fabricius*)[J]. *Pesticide Science and Administration*, 2008, 29(7):14-16.
- [17] 中华人民共和国农业部. 化学农药环境安全评价试验准则[M]. 2004.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Guideline for testing and environment safety assessment of chemical pesticide[M]. 2004.