· 研究论文 ·

氯化苦对环境生物的急性毒性与风险评价

吴声敢, 吴长兴, 陈丽萍, 苍涛, 俞瑞鲜, 王彦华, 赵学平*

(浙江省植物有害生物防控重点实验室——省部共建国家重点实验室培育基地,
浙江省农业科学院农产品质量标准研究所 杭州 310021)

摘要: 为了明确土壤熏蒸剂氯化苦对环境生物的影响, 按照国家环境保护局制订的“化学农药环境安全评价试验准则”研究了氯化苦对 5 种环境生物的急性毒性, 并参照欧盟指令 91/414/EEC 标准评价了其环境风险。急性毒性试验结果表明: 氯化苦对斜生栅列藻 *Scenedesmus obliquus* 的毒性为中毒(0.497 mg/L, 96 h-EC₅₀) , 对泽蛙 *Rana limnocharis* 亦为中毒(2.18 mg/L, 48 h-LC₅₀) , 对斑马鱼 *Brachydanio rerio* 为高毒(0.222 mg/L, 96 h-LC₅₀) , 对蜜蜂 *Apis mellifera* L. (>65.7 μg/蜂, 48 h-LD₅₀) 和蚯蚓 *Eisenia foetida*(76.1 mg/kg, 14 d-LC₅₀) 为低毒。环境风险评价结果表明, 氯化苦注射使用后对蜜蜂的急性风险为可接受水平, 而根据氯化苦在水和土壤中的环境预测浓度(PEC)值, 其对斜生栅列藻、泽蛙、斑马鱼及蚯蚓存在急性毒性风险。因此, 在田间使用氯化苦时, 应采取降低其对斜生栅列藻、泽蛙、斑马鱼和蚯蚓的急性毒性风险, 以免造成危害。

关键词: 氯化苦; 环境生物; 急性毒性; 风险评价

DOI: 10.3969/j.issn.1008-7303.2011.01.08

中图分类号: S482.6; R994.6; X820.4 文献标志码: A 文章编号: 1008-7303(2011)01-0047-06

Acute toxicity and risk assessment of chloropicrin to environmental organism

WU Sheng-gan, WU Chang-xing, CHEN Li-ping, CANG Tao,
YU Rui-xian, WANG Yan-hua, ZHAO Xue-ping*

(State Key Laboratory Breeding Base for Zhejiang Sustainable and Disease Control Institute of Quality and Standard for Agro-products Zhejiang Academy of Agricultural Sciences Hangzhou 310021, China)

Abstract: In order to understand the effect of soil fumigant chloropicrin (CP) on environmental organism, the acute toxicity of CP was determined using 5 species of environmental organism according to ‘the examinational rule of security evaluation of chemical pesticide’ made by National Environmental Protection Agency of the People’s Republic of China. And its environmental risk has also been assessed by Directive 91/414/EEC. The results showed that CP was middle toxicity to *Scenedesmus obliquus* (0.497 mg/L, 96 h-EC₅₀) and *Rana limnocharis* (2.18 mg/L, 48 h-LC₅₀), high toxicity to *Brachydanio rerio* (0.222 mg/L, 96 h-LC₅₀), low toxicity to *Apis mellifera* L.

收稿日期: 2010-06-26; 修回日期: 2010-11-17.

作者简介: 吴声敢(1977-), 男, 浙江文成人, 硕士, 助理研究员, 主要从事农药与农业环境研究, E-mail: wushenggan@163.com; * 通讯作者 (Author for correspondence): 赵学平(1969-), 男, 浙江诸暨人, 副研究员, 主要从事农药与农业环境研究, 电话: 0571-86404229, E-mail: zhaoxueping@tom.com

基金项目: 科技部对欧盟科技合作专项经费(0904号); 浙江省重大科技专项(2006C12023); 浙江省科技计划面上项目(2008C22085); 杭州市科技攻关计划(20052112A08)

(>65.7 $\mu\text{g}/\text{honeybee}$, 48 h-LD₅₀), and *Eisenia foetida* (76.1 mg/kg, 14 d-LC₅₀). The data of environmental risk assessment showed the acute risk of CP to *Apis mellifera* L. by injection method with polyethylene film was acceptable. But based on the predicted environmental concentration (PEC) in water and in soil, the potential acute risk of CP to *Scenedesmus obliquus*, *Rana limnocharis*, *Brachydanio rerio* and *Eisenia foetida* was high. The results indicated that when CP was applied in fields, it should be taken measures to reduce the acute risk and avoid to endanger to *Scenedesmus obliquus*, *Rana limnocharis*, *Brachydanio rerio* and *Eisenia foetida* by CP.

Key words: chloropicrin; environmental organism; acute toxicity; risk assessment

植物土传病害是危害植物生长,造成农业经济损失的重要原因之一,目前最有效的防治方法是采用熏蒸剂进行土壤熏蒸消毒^[1]。溴甲烷是目前世界上应用最普遍的一种高效、广谱的土壤熏蒸剂,能有效杀灭土壤中的真菌、细菌、病毒、线虫、啮齿动物和杂草。但由于溴甲烷是一种显著消耗臭氧层的物质,根据《蒙特利尔议定书哥本哈根修正案》,发达国家于2005年、发展中国家将于2015年全面淘汰溴甲烷(必要用途豁免除外)^[2]。因此,研究和寻找溴甲烷土壤熏蒸消毒替代品和替代技术已成为全球关注的一个热点问题。

氯化苦作为土壤熏蒸剂,对大多数土传病虫害具有很好的防治效果,是溴甲烷替代技术选择委员会推荐的替代药剂之一^[2]。近年来,氯化苦在美国、日本、英国、比利时、希腊、西班牙、意大利等国家已有较大面积的应用,在我国山东、辽宁、河北等地也有广泛应用^[3-4]。但由于其蒸气压大,土壤吸附能力较弱,在施药过程中容易导致人类和环境生物因吸入大量药剂而受到伤害,且氯化苦在土壤中容易渗透并污染地下水,因此其对环境的负面影响不容忽视^[3]。美国于2010年到2011年间对氯化苦等4种土壤熏蒸剂进行了限制使用管理,并将于2013年对土壤熏蒸剂的使用风险进行重新评估^[5-6]。

目前,有关氯化苦的研究主要集中在药效、残留和环境行为方面^[1,7-11],在毒性及风险评价方面仅见国外有关其对羊角月牙藻 *Selenastrum capricornutum*、虹鳉鱼 *Oncorhynchus mykiss*、蓝鳃太阳鱼 *Lepomis macrochirus*、蚤状溞 *Daphnia pulex* 及大型溞 *Daphnia magan* 等5种环境生物的毒性及风险评价的研究报道^[4,12-13],在我国则尚未见报道。基于此,笔者按照国家环境保护局“化学农药环境安全评价试验准则”^[14]和经济合作与发展组织(OECD)^[15-18]的要求,测定了氯化苦对我国化学农药环境安全评价试验准则中推荐的5种供试生

物——斜生栅列藻、泽蛙、斑马鱼、蜜蜂及赤子爱胜蚯蚓的急性毒性,并根据欧盟指令91/414/EEC标准对其环境风险进行了评价,以期为进一步正确评价氯化苦对环境生物的影响及其合理使用提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 供试农药及生物

99.5%的氯化苦(chloropicrin)原药,大连绿峰化学股份有限公司生产。

斜生栅列藻 *Scenedesmus obliquus*,藻种编号为FACHB276,购自中国科学院水生生物研究所淡水藻种库。于无菌条件下将其转移至“水生4号培养基”^[19]中,培养至对数生长期再进一步扩大培养。培养温度为25.0~27.0℃,光/暗比为16h:8h,光强为4000 lx。

泽蛙 *Rana limnocharis*,取自浙江省农业科学院农场水田,平均体长(连尾)约1.6 cm,正式试验前在水温为20.0~25.0℃、光/暗比为14h:10h、连续曝气的环境条件下预养3 d以上。预养时每2天喂食1次,饲料为斜生栅列藻,饲料加量水平为保持水体淡绿色。于正式试验前24 h停止喂食。

斑马鱼 *Brachydanio rerio*,购自杭州市牛儿水族馆,体长2.5~3.5 cm,体重0.2~0.4 g,健康无病。正式试验用鱼在水温为20.0~25.0℃、光照12~16 h环境条件下预养7 d以上。预养时每天喂食1次,正式试验前24 h停止喂食。

意大利蜜蜂 *Apis mellifera* L.,由杭州市笕桥镇蜜蜂养殖户提供,选用健康、蜂龄一致的成年工蜂供试。

赤子爱胜蚯蚓 *Eisenia foetida*,由杭州市笕桥镇蚯蚓养殖户提供,选用体重为300~600 mg、健康的蚯蚓进行试验。

1.2 实验方法

1.2.1 对斜生栅列藻的急性毒性试验 共设5.00、2.50、1.25、0.625、0.313和0.156 mg/L 6个

试验质量浓度,同时设不加药处理为对照。在无菌条件下于250 mL三角瓶中分别加入10倍浓度的“水生4号培养基”10 mL,无菌水70 mL,浓度为 10^6 个/mL的斜生栅列藻悬浮液10 mL,10倍浓度的供试药液10 mL。摇匀后放入人工气候箱(温度:25.0~27.0℃,光强:4000 lx,连续光照)中静止培养,每天定时人工摇动3次。对照组和处理组均设3个重复,每瓶为一重复。定期观察对照组和处理组藻类的异常现象,并在显微镜下用血球计数板统计藻类细胞数。数据采用生物量比较法进行分析和计算。

生物量的比较:处理组藻类生物量抑制率(B)按式(1)计算:

$$B/\% = \frac{N_{\text{空白}} - N_{\text{处理}}}{N_{\text{空白}}} \times 100 \quad (1)$$

式(1)中, $N_{\text{空白}}$ 和 $N_{\text{处理}}$ 分别为空白对照组和处理组藻类细胞数,个/mL。

根据试验药液浓度和各组斜生栅列藻的受抑制情况,应用DPS统计分析软件将药剂浓度对数与对应抑制率(B)的几率值作直线回归分析,求出其 EC_{50} 值和95%置信区间^[20]。

1.2.2 对泽蛙的急性毒性试验 共设10.0、7.14、5.10、3.64、2.60、1.86和1.33 mg/L 7个试验质量浓度,同时设不加药处理为对照。采用“半静态法”^[14],每24 h更换1次药液。将预养后的泽蛙蝌蚪放入试验鱼缸和对照鱼缸内(试验用水或药液量均为5.00 L/缸),每缸20尾。对照组和处理组均设3个重复,每缸为一重复。处理后定期观察并记录泽蛙蝌蚪的中毒症状和死亡情况。试验中及时清除死亡蝌蚪,死亡标准为以玻棒轻触蝌蚪无反应。根据试验药液浓度和各组泽蛙蝌蚪的死亡数,应用寇氏法^[21]求出其 LC_{50} 值和95%置信区间。

1.2.3 对斑马鱼的急性毒性试验 共设1.20、0.800、0.533、0.356、0.237、0.158和0.105 mg/L 7个试验质量浓度,同时设不加药处理为对照。采用“半静态法”^[14],每24 h更换1次药液。将预养后的斑马鱼分别放入试验鱼缸和对照鱼缸内(试验用水或药液量均为6.00 L/缸),每缸10条鱼。对照组和处理组均设3个重复,每缸为一重复。处理后定期观察并记录斑马鱼的中毒症状和死亡情况。试验中及时清除死鱼,死亡标准为用玻棒轻触鱼尾部无可见运动。根据试验药液浓度和各组斑马鱼的死亡数,应用寇氏法求出其 LC_{50} 值和95%置信区间。

1.2.4 对蜜蜂的急性毒性试验 共设32.8和16.4 g/L 2个试验质量浓度,同时设丙酮对照和空白对照组。采用“点滴法”^[14],将蜜蜂轻轻固定,用手动微量点滴仪对准其前胸背板处点滴2.0 μ L药液,待丙酮挥发后将蜜蜂移入蜂笼中,用脱脂棉浸泡适量质量分数为50%的蔗糖水,通过网眼供蜜蜂摄食。对照组和处理组均设3个重复,每个重复20只蜜蜂。试验在25.0~27.0℃、相对湿度70%~80%、微光条件下进行。处理后定期观察并记录蜜蜂的中毒症状和死亡情况。根据试验药液浓度和各组蜜蜂的死亡数,求出其 LD_{50} 值和95%置信区间。

1.2.5 对蚯蚓的急性毒性试验 共设524、374、267、191和136 mg/L 5个试验质量浓度,同时设不加药处理为对照。采用“土壤法”^[14]进行处理。试验土壤采自浙江省衢州市,经风干磨细后过20目筛(孔径0.850 mm),去除大颗粒后备用。土壤质地为轻粘土,pH 5.18,有机质质量分数为1.60%。取上述各浓度药液120 mL,分别加入到0.5 kg土壤中,充分拌匀后加适量蒸馏水,调节土壤水分至刚好不结块为宜。将处理后土壤转入标本瓶中,每瓶分别加入10条蚯蚓,用纱布扎好瓶口,于人工气候箱(温度19.0~21.0℃,相对湿度80%~85%,连续光照)中进行培养。对照和处理组均设3个重复,每瓶为一重复。处理后定期观察并记录蚯蚓的中毒症状和死亡情况。根据试验药液浓度和各组蚯蚓的死亡数,应用寇氏法求出其 LC_{50} 值和95%置信区间。

1.3 风险评价

根据欧盟指令91/414/EEC中的要求^[22],水生生物和蚯蚓的风险评价按式(2)计算,蜜蜂的风险评价按式(3)计算:

$$TER = \frac{LC_{50} \text{ 或 } EC_{50} (\text{mg/L 或 mg/kg})}{PEC (\text{mg/L 或 mg/kg})} \quad (2)$$

$$HQ = \frac{\text{田间推荐最高剂量} (\text{g/hm}^2)}{LD_{50} (\mu\text{g/honeybee})} \quad (3)$$

其中 TER 为暴露比(toxicity/exposure ratio), PEC 为环境预测浓度(predicted environmental concentration), HQ 为危害商(hazard quotient)。根据欧盟关于氯化苦的评价报告草案^[4]和美国关于氯化苦的登记资料^[12]中的数据,其在水中的 PEC 值分别为0.011 52 μ g/L^[4]和78.73 μ g/L^[12],在土壤中的 PEC 值为149.33 mg/kg^[4]。氯化苦在我国的田间推荐最高使用剂量为 1.24×10^6 g/hm²^[23]。风险评价中斜生栅列藻和赤子爱胜蚯蚓的 TER

临界值为 10, 斑马鱼的 TER 临界值为 100^[22]。由于欧盟指令 91/414/EEC 中尚无泽蛙蝌蚪的 TER 临界值, 故本研究中参照斑马鱼和大型蚤的临界值暂设其为 100。当 TER 小于临界值时, 表示存在不可接受的较大风险, 数值越小, 风险越大; 当 TER 大于临界值时, 表示风险是可以接受的, 数值越大, 风险越小。当 $HQ > 50$ 时, 表示存在不可接受的较大风险, 数值越大, 风险越大; 当 $HQ < 50$ 时, 表示风险是可以接受的, 数值越小, 风险越小^[22]。

2 结果与分析

2.1 氯化苦对斜生栅列藻的急性毒性与风险评价

用氯化苦处理斜生栅列藻后 96 h 内未见异常现象。从表 1 中结果可以看出, 氯化苦对斜生栅列藻的 EC_{50} 值(96 h) 为 0.497 mg/L, 远高于欧盟评价报告草案中氯化苦对羊角月牙藻的 EC_{50} 值(72 h, 0.11 $\mu\text{g/L}$)^[4], 这可能与藻类对其的敏感性不同有

表 1 氯化苦对 5 种环境生物的急性毒性测定结果

Table 1 The acute toxicity of chloropicrin to 5 species of environmental organism

环境生物 Environmental organism	暴露时间 Time of exposure	$EC_{50}/LC_{50}/LD_{50}$	95% 置信区间 95% C. L.	毒性级别 Toxicity category
斜生栅列藻 <i>Scenedesmus obliquus</i>	96 h	0.497 mg/L	0.342 ~ 0.722 mg/L	中毒 Middle
泽蛙 <i>Rana limnocharis</i>	48 h	2.18 mg/L	2.06 ~ 2.29 mg/L	中毒 Middle
斑马鱼 <i>Brachydanio rerio</i>	96 h	0.222 mg/L	0.203 ~ 0.242 mg/L	高毒 High
蜜蜂 <i>Apis mellifera</i> L.	48 h	>65.7 $\mu\text{g}/\text{honeybee}$	-	低毒 Low
蚯蚓 <i>Eisenia foetida</i>	14 d	76.1 mg/kg	69.7 ~ 83.1 mg/kg	低毒 Low

2.2 氯化苦对泽蛙的急性毒性与风险评价

经氯化苦药液处理后, 受试泽蛙蝌蚪表现出浮于水面或沉底、游动迟缓、时有窜动、体瘦呈三角形等中毒症状。应用寇氏法计算出的 99.5% 氯化苦原药对泽蛙的 LC_{50} 值见表 1。根据农药对蛙类的毒性分级标准^[14] (高毒: < 1.0 mg/L; 中毒: 1.0 ~ 10 mg/L; 低毒: > 10 mg/L), 99.5% 氯化苦原药在本试验条件下对泽蛙 48 h 的急性毒性等级为中毒。泽蛙作为两栖动物, 其早期阶段是以蝌蚪形式生活于水中, 故按水生生物进行风险评价。根据欧盟评价报告草案和美国登记资料中的 PEC 值, 氯化苦对泽蛙蝌蚪的暴露比分别为 189.236 和 27.7, 后者表明其对泽蛙蝌蚪具有急性毒性风险。

2.3 氯化苦对斑马鱼的急性毒性与风险评价

经氯化苦处理 2 h 后, 高浓度组的斑马鱼即已出现异常反应, 表现出侧翻、沉底、有时窜动等中毒症状; 随着时间的延长, 部分中毒斑马鱼游动减少,

由于目前国内尚未正式颁布农药对藻类的毒性等级划分标准, 根据蔡道基^[24] 建议的农药对藻类的毒性等级划分标准(高毒: $EC_{50} \leq 0.3$ mg/L; 中毒: $0.3 < EC_{50} \leq 3.0$ mg/L; 低毒: $EC_{50} > 3.0$ mg/L), 氯化苦对斜生栅列藻的急性毒性等级应为中毒。由于目前尚无氯化苦在水中的 PEC 值, 欧盟评价报告草案中通过假设氯化苦使用 4 d 后, 揭膜时土壤中所有氯化苦都被雨水冲刷到水中, 估算得其 PEC 值为 0.011 52 $\mu\text{g/L}$, 从而可得氯化苦对斜生栅列藻的暴露比为 43.217, 远高于 10。而美国的农药登记资料显示, 利用 PRZM (Pesticide Root Zone Model) / EXAMS (Exposure Analysis Modeling System) 模型模拟可得地表水中氯化苦的 PEC 值最高为 78.73 $\mu\text{g/L}$ ^[12], 从而可得氯化苦对斜生栅列藻的暴露比为 6.3, 略低于 10。因此, 氯化苦在田间施用后对斜生栅列藻具有急性毒性风险。

反应迟钝, 并逐渐丧失运动能力, 最后死亡。低浓度组斑马鱼出现中毒症状的时间较迟且症状不明显。急性毒性试验结果见表 1。根据农药对鱼类的毒性分级标准^[14] (高毒: < 1.0 mg/L; 中毒: 1.0 ~ 10 mg/L; 低毒: > 10 mg/L), 99.5% 氯化苦原药在本试验条件下对斑马鱼的 96 h 急性毒性等级为高毒, 这与欧盟评价报告草案和美国登记资料中氯化苦对虹鳉鱼 *Oncorhynchus mykiss* 和蓝鳃太阳鱼 *Lepomis macrochirus* 的毒性级别一致^[4, 6, 12-13]。根据欧盟评价报告草案和美国登记资料中的 PEC 值, 氯化苦对斑马鱼的暴露比分别为 19.271 和 2.8, 后者表明其对斑马鱼存在急性毒性风险。

2.4 氯化苦对蜜蜂的急性毒性与风险评价

处理后不同时间观察发现, 对照和处理组中存活蜜蜂表现均较正常。由于试验质量浓度 32.8 g/L 是 99.5% 氯化苦原药所能配制的最高质量浓度, 且该质量浓度处理后只有 3 只蜜蜂死亡, 故 99.5% 氯

化苦原药对蜜蜂的 LD_{50} 值 (48 h) 为 $>65.7 \mu\text{g}/\text{蜂}$ (表 1)。根据农药对蜜蜂的毒性分级标准^[14] (高毒: $0.001 \sim 1.99 \mu\text{g}/\text{蜂}$; 中毒: $2.0 \sim 10.99 \mu\text{g}/\text{蜂}$; 低毒: $>11.0 \mu\text{g}/\text{蜂}$) 99.5% 氯化苦原药在本试验条件下对蜜蜂的 48 h 急性毒性等级为低毒。氯化苦对蜜蜂的 $HQ < 18.874$, 其风险水平无法评价。氯化苦在土壤熏蒸和消毒过程中通常以注射法使用并填土覆膜^[23], 故蜜蜂直接接触氯化苦的可能性很小。且通过 ISCST3 (Industrial Source Complex-Short Term) 空气扩散模式可估算得氯化苦在空气中的最高质量浓度为 $0.019 \text{ mg}/\text{L}$ ^[12], 远低于试验设计浓度。再加上氯化苦光解速度快, 在植株上累积的可能性小^[4, 12]。因此, 氯化苦对蜜蜂的急性毒性风险水平是可接受的。

2.5 氯化苦对蚯蚓的急性毒性与风险评价

处理 7、14 d 后观察发现, 中毒蚯蚓表现出身体细小、活动少、爬行困难等症状, 其急性毒性测定结果见表 1。根据农药对蚯蚓的毒性分级标准^[14] (高毒: $< 1.0 \text{ mg}/\text{kg}$; 中毒: $1.0 \sim 10 \text{ mg}/\text{kg}$; 低毒: $> 10 \text{ mg}/\text{kg}$) 99.5% 的氯化苦原药在本试验条件下对蚯蚓的 14 d 急性毒性等级为低毒。参照欧盟评价报告草案^[4] 中氯化苦在土壤中的 PEC 值 ($149.33 \text{ mg}/\text{kg}$), 氯化苦对蚯蚓的 TER 值为 0.51, 低于临界值 10。而据王玉涛等^[25] 报道, 用手动土壤注射器注射 99.5% 氯化苦液剂 6 mL 于土壤中 2 h 后采样测得土壤中氯化苦的质量分数为 $277.1 \text{ mg}/\text{kg}$ 。以 $277.1 \text{ mg}/\text{kg}$ 为 PEC 值, 则其对蚯蚓的 TER 值为 0.27 亦低于临界值 10。因此, 氯化苦对蚯蚓存在急性毒性风险。

3 结论与讨论

对 3 种水生生物的急性毒性测定结果表明, 99.5% 的氯化苦原药对斜生栅列藻和泽蛙蝌蚪的急性毒性为中毒, 对斑马鱼的急性毒性为高毒。根据欧盟评价报告草案中的 PEC 值, 氯化苦对这 3 种水生生物的风险水平均很低, 其暴露比均远高于 100。而参照美国农药登记资料中的数据, 则氯化苦对这 3 种水生生物均具有急性毒性风险。因此, 应注意避免在水体附近使用氯化苦, 以免药液通过灌溉渗入地下水或随雨水冲刷进入水体, 对水生生态系统造成破坏。由于欧盟评价报告草案和美国登记资料中的 PEC 值均为估计值, 两者相差很大, 故建议开展氯化苦田间模拟试验, 以获得其在水体中的 PEC 值, 为氯化苦对水生生物的风险评价提供科学依据。

以意大利蜜蜂为供试生物, 测得 99.5% 氯化苦原药对蜜蜂的急性接触毒性为低毒 (48 h- $LD_{50} > 65.7 \mu\text{g}/\text{蜂}$), 其风险水平是可接受的。此结果是于室内将氯化苦药液点滴在蜜蜂前胸背板处所得。由于氯化苦蒸气压大, 易挥发, 在使用过程中经飘移或大气循环、降雨可沉降到附近的植株和水体中, 从而使蜜蜂通过接触并摄取受污染的植株 (花粉) 和水分, 呼吸受污染的空气, 以及通过表皮吸附空气中的氯化苦而受影响。因此建议开展氯化苦半田间和田间风险研究, 以获得其在附近植株和水体中分布情况的基础数据, 为氯化苦对蜜蜂的风险评价提供支持。

研究表明 99.5% 的氯化苦原药对蚯蚓的急性毒性为低毒 (14 d-LC_{50} 为 $76.1 \text{ mg}/\text{kg}$), 并存在急性毒性风险。结合氯化苦的使用方法, 其注入孔附近的用量应远高于 PEC 值。因此, 建议有关管理部门在氯化苦登记时应在保证防效的同时尽量降低其使用剂量, 以降低其对蚯蚓的危害。

土壤熏蒸剂是在农作物种植前通过土壤熏蒸方式防治土传病害、地下害虫、线虫及杂草等有害生物的一类农药, 其使用技术要求高, 若操作不当可造成较大的风险^[26]。美国国家环境保护局 (USEPA) 根据对土壤熏蒸剂重新登记评价的情况, 发布了氯化苦再登记合格决定 (REDS), 并提出了一系列有关其使用的风险管理措施^[6, 13]。目前, 土壤熏蒸剂在我国的应用范围正逐步扩大, 建议相关部门尽快组织开展氯化苦等土壤熏蒸剂的环境风险评价, 并结合实际使用情况, 积极开展技术培训和指导, 提高农民的使用技术和风险防范意识, 以便进一步规范土壤熏蒸剂的使用和风险管理^[26]。

参考文献:

- [1] TANG Jue-ting (汤珏婷), WANG Qiu-xia (王秋霞), WANG Fang-yan (王方艳) et al. 顶空气相色谱法测定土壤中氯化苦残留[J]. *Chin J Pestic Sci* (农药学报) 2009, 11(4): 511 - 514.
- [2] CAO Ao-cheng (曹焯程), ZHANG Wen-ji (张文吉), LIU Jian-hua (刘建华). 溴甲烷土壤消毒替代技术研究进展[J]. *Plant Prot* (植物保护) 2007, 33(1): 15 - 20.
- [3] FU Sheng-hui (付生辉). 土壤熏蒸剂——氯化苦的应用现状[J]. *Modern Agric Sci* (现代农业科学) 2009, 16(8): 23 - 25.
- [4] European Food Safety Authority (EFSA). Draft assessment report-public version-initial risk assessment provided by the rapporteur member state Italy for the existing active substance chloropicrin [EB/OL]. [2006 - 05]. <http://dar.efsa.europa.eu/dar-web/provision>

- [5] USEPA. Chloropicrin ,dazomet ,metam-sodium/potassium , and methyl bromide; amendments to reregistration eligibility decisions [EB/OL]. [2009-06-03]. <http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-PEST/2009/June/Day-03/p12559.htm>
- [6] USEPA. Amended reregistration eligibility decision (RED) for chloropicrin [EB/OL]. [2009-05]. <http://www.epa.gov/oppsrd1/REDs/chloropicrin-red-amended.pdf> (html)
- [7] ZHANG Xue-song (张雪松), ZHANG Guo-zhen (张国珍), ZHANG Hai-wang (张海旺) *et al.* 土壤处理对西洋参根际线虫数量动态的影响及对防治茎线虫根腐病的效果[J]. *Acta Phytopathologica Sinica* (植物病理学报) 2009, 39(5): 555 - 560.
- [8] SOUTH D B. Chloropicrin as a soil fumigation treatment in Southern Pine Nurseries [J]. *South J Appl For* 2007, 31: 1, 47 - 51.
- [9] THOMAS J E, OU L T, ALLEN L H *et al.* Nematode fungi and weed control using Telone C35 and colored plastic mulches [J]. *Crop Prot* 2009 28(4): 338 - 342.
- [10] WANG Q X, WANG D, TANG J T *et al.* Gas-phase distribution and emission of chloropicrin applied in gelatin capsules to soil columns [J]. *J Environ Qual* 2010, 39: 917 - 922.
- [11] ZHANG Y, WANG D. Emission, distribution and leaching of methyl isothiocyanate and chloropicrin under different surface containments [J]. *Chemosphere* 2007, 68: 445 - 454.
- [12] USEPA. Revised screening ecological risk assessment for the reregistration of chloropicrin. DP barcode 348669 [EB/OL]. [2008-04-16]. <http://www.regulations.gov/search/Regs/home.html#documentDetail?R=090000648064bd93>
- [13] USEPA. Reregistration eligibility decision (RED) for chloropicrin [EB/OL]. [2008-07-09]. <http://www.epa.gov/oppsrd1/REDs/chloropicrin-red.pdf> (html)
- [14] National Environmental Protection Agency (国家环境保护局). The examinational rule of security evaluation of chemical pesticide(化学农药环境安全评价试验准则) [S]. Beijing(北京): China Environmental Science Press(中国环境科学出版社) 1989: 1 - 25.
- [15] OECD. OECD guidelines for the testing of chemicals test No. 201: alga , growth inhibition test [EB/OL]. [2006-03-23]. <http://titania.sourceoecd.org/v1=31322427/cl=19/nw=1/rpsv/ij/oecdjournals/1607310x/v1n2/s2/p1>
- [16] OECD. OECD guidelines for the testing of chemicals test No. 203: fish ,acute toxicity test [EB/OL]. [1992-07-17]. <http://titania.sourceoecd.org/v1=31322427/cl=19/nw=1/rpsv/ij/oecdjournals/1607310x/v1n2/s4/p1>
- [17] OECD. OECD guidelines for the testing of chemicals test No. 214: honeybees ,acute contact toxicity test [EB/OL]. [1998-09-21]. <http://titania.sourceoecd.org/v1=31322427/cl=19/nw=1/rpsv/ij/oecdjournals/1607310x/v1n2/s15/p1>
- [18] OECD. OECD guidelines for the testing of chemicals test No. 207: earthworm , acute toxicity tests [EB/OL]. [1984-04-04]. <http://titania.sourceoecd.org/v1=31322427/cl=19/nw=1/rpsv/ij/oecdjournals/1607310x/v1n2/s8/p1>
- [19] YU Cai-hong (于彩虹), LI Hao (李浩), ZHANG Xian-tao (张显涛) *et al.* 乙酰甲胺磷对斜生栅藻的毒性及细菌降解研究 [J]. *Chin J Envir Eng* (环境工程学报) 2010, 10(4): 2397 - 2400.
- [20] TANG Qi-yi (唐启义), FENG Ming-guang (冯明光). DPS Data Processing System: Experimental Design, Statistical Analysis and Data Mining(实用统计分析及其DPS数据处理系统) [M]. Beijing(北京): Science Press(科学出版社) 2002.
- [21] CHEN Rui(陈锐). Karber's Method(寇氏法) [M]//Chinese Agricultural Cyclopaedia: Volume of Pesticide(中国农业百科全书: 农药卷). Beijing(北京): Agriculture Press(农业出版社), 1993: 163.
- [22] Council Directive. Concerning the placing of plant protection products on the market (91/414/EEC) [EB/OL]. [1991-07-15]. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1991L0414:20100901:EN:PDF> (html)
- [23] Institute for the Control of Agrochemicals, Ministry of Agriculture(ICAMA) (中华人民共和国农业部农药检定所). Pesticide manual. Electric edition for enterprises(企业版农药电子手册), V3. 1. 21 [EB/OL]. [2010-03-15]. <http://www.ny100.cn>
- [24] CAI Dao-ji (蔡道基). Environmental Toxicology of Pesticides (农药环境毒理学研究) [M]. Beijing (北京): China Environmental Science Press (中国环境科学出版社) 1999.
- [25] WANG Yu-tao (王玉涛), WANG Wen-bo (王文博), GUO Dong-liang(郭栋梁) *et al.* 氯化苦在土壤中的消解动态和残留量检测研究[J]. *J Anhui Agric Sci* (安徽农业科学) 2009 37(18): 8651 - 8652, 8655.
- [26] LI Fu-gen(李富根), SONG Jun-hua(宋俊华), WANG Yi-yan(王以燕). 美国土壤熏蒸剂使用风险管理措施[J]. *Plant Prot* (植物保护) 2008 34(6): 128 - 130.

(责任编辑: 唐 静)