

# 六磷胺与水解蛋白结合使用对橘小实蝇的不育效果研究

孟倩倩, 陆永跃, 郑漫筠, 曾 玲

(华南农业大学 资源环境学院, 广东 广州 510642)

**摘要:** 试验选取体积分数( $\varphi$ )分别为0.03%、0.05%、0.07%、0.09%的六磷胺水溶液饲喂橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* 雌、雄虫, 测定其使橘小实蝇不育的最佳浓度范围. 结果表明: 0.05% 六磷胺处理雄虫后与正常雌虫交配卵孵化率约为6%, 至 $\varphi$ 为0.09%时卵完全不孵化; 雌虫在 $\varphi$ 为0.07%时卵已完全不孵化. 在此基础上研究了六磷胺与50 g/L(100 mL 水里溶解5 g 水解蛋白)水解蛋白溶液混合后对橘小实蝇雌、雄虫的不育效果, 选取 $\varphi$ 分别为0.02%、0.04%、0.06%、0.08%、0.10%的六磷胺水解蛋白溶液饲喂成虫. 结果表明: 产卵量和孵化率都随着六磷胺在水解蛋白溶液中体积分数的升高而降低;  $\varphi$ 为0.08%处理雄虫后与正常雌虫交配所产卵的孵化率仅为14%, 明显低于对照的孵化率76%; 雌虫在 $\varphi$ 为0.08%时已达到完全不育.

**关键词:** 橘小实蝇; 六磷胺; 水解蛋白; 不育

中图分类号: Q968.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2012)04-0470-05

## Sterile Effects of Hexamethyl Phosphoryl Triamide Mixed with Protein Hydrolysate on *Bactrocera dorsalis*

MENG Qian-qian, LU Yong-yue, ZHENG Man-jun, ZENG Ling

(College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** The optimal sterile concentration range of HMPA (hexamethyl phosphoryl triamide) against *Bactrocera dorsalis* was tested by feeding *B. dorsalis* adult with different concentration of HMPA dissolved in honey water. When normal female mates with the male treated with 0.05% HMPA, the hatching rate of their laying eggs was about 6%. The eggs don't hatch when males were treated with the concentration of 0.09%. However, treatment of female adults with 0.07% HMPA resulted in a complete sterility. Based on the above results, the sterile effect of HMPA dissolved with 5% protein hydrolysate against *B. dorsalis* was studied by feeding *B. dorsalis* adult with concentration 0.02%, 0.04%, 0.06%, 0.08% and 0.10%. The results indicated that fecundity decreased with the concentration. The egg hatching rate was only 14% after feeding the males with 0.08% HMPA. But the egg hatching rate in the control group was up to 76%. The female adults were sterilized completely when the concentration was 0.08%.

**Key words:** *Bactrocera dorsalis*; hexamethyl phosphoryl triamide; protein hydrolysate; sterility

橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 属双翅目 Diptera 实蝇科 Tephritidae 果实蝇属, 又称东方果实蝇, 是一种重要的果蔬害虫. 该虫主要以幼虫为害,

成虫产卵于果皮之下, 卵孵化后幼虫取食果肉造成果实腐烂, 未熟先落<sup>[1]</sup>. 由于该虫寄主范围广, 繁殖力高, 适应性强, 危害性大等特点, 给防治带来很大

收稿日期: 2012-01-09

作者简介: 孟倩倩(1985—), 女, 硕士; 通信作者: 曾 玲(1954—), 女, 教授, E-mail: zengling@scau.edu.cn

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(200903047); 国家科技支撑计划(2008BADA5B01)

难度. 要从根本上防治橘小实蝇, 可以从控制它的繁殖力环节下手, 应用不育技术(SIT)<sup>[2]</sup>来抑制橘小实蝇的种群. 20世纪50年代Borkovec<sup>[3]</sup>进行了一系列的昆虫辐射不育技术的研究, 1954年应用于防治羊螺旋蝇 *Cochliomyia hominivorax* Coquerel 首次获得成功, 受到国际普遍的重视. 美国在库腊索岛等地释放射线处理过的雄旋皮蝇 *Callitroga hominivorax* Coquerel. 成虫后, 大大降低了当地的虫口密度<sup>[4-7]</sup>. 我国在橘小实蝇辐射不育方面也开展了一系列研究并取得一些成果<sup>[8-12]</sup>. 但是采用辐射不育来防治害虫不仅需要完整的技术设备, 而且还需要饲养大量的不育雄虫, 从人力物力上来看都不是最经济的防治方法. 相对而言, 化学不育比较简单便捷, 其优点在于它可以直接处理害虫、或者与诱饵混合使用来吸引害虫取食达到不育效果. 早前美国科学家发现2种化合物可致家蝇雄虫不育, 这2种化合物分别为六甲基磷酰胺(HMPA)和六甲基三聚氰酰胺(HMM), 它们都为二甲氨基衍生物, 但后者有剧毒, 这一发现促进了化学不育剂的研究工作<sup>[13]</sup>. 张宗炳等<sup>[14-15]</sup>自1962年在室内以家蝇为对象进行了一系列不育剂的筛选, 其中以烃化剂中的噻替哌 Thio-TEPA [N, N', N''-triethylene thiophosphoramidate, 即 N, N', N''三(乙亚胺基)硫化磷, 简称 TEPA] 效果最好. 之后国内科学家研究发现一些化学药剂如喜树碱、灭幼脲、棉酚等对光肩星天牛, 松毛虫, 粘虫, 棉铃虫具有不育效应<sup>[16-21]</sup>, 张全新<sup>[22]</sup>通过用六磷胺处理乏库蚊雄蚊解释了六磷胺致使乏库蚊雄蚊不育的机制. 笔者的研究表明六磷胺对橘小实蝇有不育作用<sup>[23]</sup>. 水解蛋白原料来源简单, 价格低廉, 对橘小实蝇雌、雄虫都具有引诱作用<sup>[24]</sup>, 并能与六磷胺互溶. 本文研究了六磷胺与水解蛋白混合使用对橘小实蝇雌、雄虫的不育效果, 可为田间防治橘小实蝇提供了依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

1.1.1 供试虫源 采自广东省潮州市杨桃园落果中, 室内饲养5~6代, 取羽化后5日龄内成虫供试, 饲养条件: 温度25~28℃, 相对湿度60%~70%, 光周期14h光:10h暗, 成虫人工饲料为酵母+蔗糖(质量比为1:3).

1.1.2 试验药剂 六磷胺: 即六甲基磷酰三胺, 纯度( $\varphi$ )>98.0%, 梯希爱(上海)化成工业发展有限公司生产; 水解蛋白: 广东省出入境检验检疫局提

供.

### 1.2 方法

采用饲喂法研究六磷胺对橘小实蝇不同性别的不育效果, 在产卵期通过统计雌虫产卵量和孵化率, 确定六磷胺致使橘小实蝇完全不育的最适浓度范围.

1.2.1 六磷胺蜂蜜水溶液处理不同性别试验 将六磷胺溶于 $\varphi$ 为0.5%的蜂蜜水中, 配制成 $\varphi$ 为0.03%、0.05%、0.07%、0.09%六磷胺蜂蜜水溶液供试. 用供试药液分别处理5日龄雌虫和雄虫48h, 每处理重复5次, 每重复处理20头成虫, 设置1个对照(正常 $\delta$ ×正常 $\eta$ 、只加清水).

在产卵期观察处理 $\delta$ ×正常 $\eta$ 、处理 $\eta$ ×正常 $\delta$ 及对照的产卵量和孵化率. 室温为25℃时产卵前期为9~12d, 以羽化后第12d为开始产卵始期, 第20d为产卵高峰期; 从开始产卵期到产卵高峰期隔天取卵, 共取5次.

1.2.2 六磷胺与水解蛋白水溶液混合处理不同性别试验 将六磷胺溶于50g/L水解蛋白溶液中, 配制 $\varphi$ 为0.02%、0.04%、0.06%、0.08%、0.10%的供试药液, 分别处理5日龄雌虫和雄虫24h, 每处理重复5次, 每次重复处理30头成虫, 对照同1.2.1, 对照用清水同时饲养雌虫和雄虫各30头.

采用1.2.1中同样的方法记录产卵量, 计算孵化率.

1.2.3 数据处理 采用SPSS 18.0软件处理数据.

## 2 结果与分析

### 2.1 六磷胺蜂蜜水溶液处理 $\delta$ ×正常 $\eta$ 产卵量变化

由表1可以看出, 六磷胺对橘小实蝇雄虫有一定的不育作用, 雄虫用六磷胺处理过后与雌虫交配产卵量从开始产卵期到产卵盛期基本都低于对照; 随着处理浓度的升高, 产卵量也在逐渐降低. 六磷胺体积分数为0.03%时单雌产卵量与对照间基本无明显差异; 0.05%、0.07%和0.09%处理雄虫后与之交配的雌虫单雌产卵量绝大部分明显低于对照. 产卵盛期对照单雌产卵量23.56粒, 而0.09%处理单雌最高产卵量则仅为7.63粒.

### 2.2 六磷胺蜂蜜水溶液处理 $\eta$ ×正常 $\delta$ 产卵量变化

由表2可知,  $\varphi$ 为0.03%时羽化12和14d单雌产卵量均显著低于对照, 进入产卵盛期时单雌产卵量与对照均差异不显著;  $\varphi$ 为0.05%、0.07%和0.09%时5次单雌产卵量较对照低, 0.07%处理虽在羽化12和14d有产卵, 但单雌卵量均不足1

粒,在羽化16、18和20 d均不产卵.0.09%处理雌虫均不产卵;由此可知,六磷胺对橘小实蝇雌虫具

有明显的不育效应,浓度越大,不育效果越好,甚至达到完全不育.

表1 六磷胺蜂蜜水溶液处理♂×正常♀产卵量变化<sup>1)</sup>

Tab.1 Fecundity of the normal females mating with the males fed with HMPA soluble in honey water

$t_{\text{羽化后}}/d$	不同体积分数处理单雌产卵量/粒				
	对照(清水)	0.03%	0.05%	0.07%	0.09%
12	14.11 ± 1.85a	5.70 ± 1.69b	4.10 ± 1.38bc	1.04 ± 0.28c	2.41 ± 0.56bc
14	5.70 ± 1.05a	6.97 ± 0.80a	2.78 ± 0.58b	2.31 ± 0.64b	2.60 ± 0.49b
16	23.56 ± 4.07a	6.70 ± 1.19b	6.93 ± 1.39b	9.32 ± 1.89b	3.15 ± 0.83b
18	12.01 ± 2.33a	9.16 ± 1.77ab	5.24 ± 0.29b	9.33 ± 2.68ab	6.69 ± 1.59ab
20	14.73 ± 2.70a	11.92 ± 2.33ab	7.39 ± 0.92b	10.01 ± 2.83ab	7.63 ± 1.07b

1) 同行数据后凡具有一个相同小写字母者,表示经邓肯氏新复极差多重检验在0.05水平上差异不显著.

表2 六磷胺蜂蜜水溶液处理♀×正常♂产卵量变化<sup>1)</sup>

Tab.2 Fecundity of the females fed with HMPA soluble in honey water mating with the normal males

$t_{\text{羽化后}}/d$	不同体积分数处理单雌产卵量/粒			
	对照(清水)	0.03%	0.05%	0.07%
12	4.36 ± 1.32a	0.36 ± 0.19b	0.04 ± 0.04b	0.01 ± 0.01b
14	7.56 ± 1.17a	3.92 ± 0.19b	0.54 ± 0.25c	0.02 ± 0.02c
16	8.68 ± 1.71a	6.27 ± 0.75a	1.79 ± 0.47b	0b
18	13.30 ± 2.77a	9.72 ± 0.50a	2.56 ± 0.88b	0b
20	10.48 ± 2.14b	15.29 ± 1.31a	4.14 ± 1.03c	0b

1) 0.09%处理均不产卵;同行数据后凡具有一个相同小写字母者,表示经邓肯氏新复极差多重检验在0.05水平上差异不显著.

### 2.3 六磷胺蜂蜜水溶液处理♂×正常♀、处理♀×正常♂卵孵化率的变化

由表3可知,六磷胺分别处理雌、雄虫后卵的孵化率随着六磷胺体积分数的升高而显著降低.正常雌虫与处理雄虫交配后,卵孵化率由大到小依次为对照>0.03%>0.05%>0.07%>0.09%,对照孵化率高达72.30%,0.03%处理孵化率为31.36%,明显低于对照,0.09%时孵化率仅为0.96%,且0.05%~0.09%处理孵化率较0.03%明显降低.处理雌虫时,对照孵化率高达76.36%,0.03%处理孵化率仅为24.64%,0.07%和0.09%处理已达到完全不育.

表3 六磷胺蜂蜜水溶液处理♂×正常♀、处理♀×正常♂卵孵化率的变化<sup>1)</sup>

Tab.3 Egg hatching rate after the normal adults mating with adults fed with HMPA soluble in honey water

处理性别	不同体积分数处理孵化率/%				
	0.03%	0.05%	0.07%	0.09%	对照(清水)
雄虫(♂)	31.36 ± 3.96b	6.00 ± 1.90c	2.00 ± 0.83c	0.96 ± 0.46c	72.30 ± 2.57a
雌虫(♀)	48.56 ± 4.66b	24.64 ± 4.44c	0d	0d	76.36 ± 2.50a

1) 表中同行数据后凡具有一个相同小写字母者,表示经邓肯氏新复极差多重检验在0.05水平上差异不显著.

### 2.4 六磷胺水解蛋白溶液处理♂×正常♀产卵量的变化

表4表明, $\varphi$ 为0.02%时前2次产卵量明显低于对照,但产卵盛期产卵量与对照无明显差异,单雌最高产卵量达12.15粒;0.04%时除了羽化18、20 d的单雌产卵量与对照无明显差异外,其余3次均低于对照;0.08%和0.10%体积分数处理单雌产卵量均显著低于对照,产卵初期不足1粒或基本不产卵,之后几次观察单雌最高产卵量分别为4.07和4.51粒,远低于对照的9.38粒.

### 2.5 六磷胺水解蛋白溶液处理♀×正常♂产卵量的变化

由表5可以看出,用六磷胺处理雌虫后在整个产卵过程的产卵量均低于对照组,产卵量随着体积分数变化依次为对照>0.02%>0.04%>0.06%>0.08%>0.10%; $\varphi$ 为0.06%时产卵盛期最高单雌产卵量已不足1粒,远低于对照组的最高单雌产卵量9.38粒;体积分数为0.08%~0.10%时雌虫已不产卵,即达到完全不育.

表4 六磷胺溶于水水解蛋白溶液处理♂×正常♀产卵量的变化<sup>1)</sup>

Tab.4 Fecundity of the normal female mating with male fed with HMPA soluble in protein hydrolysate

<i>t</i> <sub>羽化后</sub> /d	不同体积分数处理单雌产卵量/粒					
	对照(清水)	0.02%	0.04%	0.06%	0.08%	0.10%
12	1.75 ± 0.37a	0.40 ± 0.05b	0.05 ± 0.03b	0b	0.01 ± 0.01b	0b
14	6.07 ± 2.12a	2.21 ± 0.88b	0.87 ± 0.20b	0.69 ± 0.24b	0.05 ± 0.05b	0b
16	6.16 ± 1.47a	5.95 ± 0.76ab	3.57 ± 0.23bc	4.65 ± 0.69abc	0.95 ± 0.60d	2.57 ± 0.19cd
18	8.45 ± 1.63a	7.69 ± 0.73ab	6.69 ± 0.56ab	7.65 ± 0.85a	4.07 ± 0.80bc	3.60 ± 0.25c
20	9.38 ± 0.84ab	12.15 ± 0.79a	7.89 ± 0.91b	9.93 ± 0.57ab	3.40 ± 0.17c	4.51 ± 0.77c

1) 同行数据后凡具有一个相同小写字母者,表示经邓肯氏新复极差多重检验在0.05水平上差异不显著.

表5 六磷胺水解蛋白溶液处理♀×正常♂产卵量的变化

Tab.5 Fecundity of females fed with HMPA soluble in protein hydrolysate mating with the normal males

<i>t</i> <sub>羽化后</sub> /d	不同体积分数处理单雌产卵量/粒			
	对照(清水)	0.02%	0.04%	0.06%
12	1.75 ± 0.37a	0.17 ± 0.08b	0b	0b
14	6.07 ± 2.12a	0.94 ± 0.28b	0.08 ± 0.04b	0b
16	6.16 ± 1.47a	3.63 ± 0.73b	1.59 ± 0.24c	0.01 ± 0.01c
18	8.45 ± 1.63a	7.23 ± 0.61a	4.53 ± 0.59b	0.57 ± 0.23c
20	9.38 ± 0.84a	7.23 ± 0.76b	4.91 ± 0.99c	0.71 ± 0.33d

1) 0.08%和0.10%处理均不产卵;同行数据后凡具有一个相同小写字母者,表示经邓肯氏新复极差多重检验在0.05水平上差异不显著.

### 2.6 六磷胺水解蛋白溶液处理♂×正常♀、处理♀×正常♂卵孵化率的变化

由表6可以看出,六磷胺与水解蛋白混合后各个处理卵孵化率均明显低于对照;处理♂×正常♀和处理♀×正常♂卵孵化率都随体积分数的升高而逐渐降低.0.08%时处理♀×正常♂卵完全不孵化;0.08%和0.10%时,处理♂×正常♀的卵孵化率分别为13.60%和10.84%,均不到15%.据此可知,六磷胺水解蛋白溶液0.08%体积分数处理雌雄虫可致其基本不育,雌虫对六磷胺的敏感度要高于雄虫.

表6 六磷胺水解蛋白溶液后处理♂×正常♀、处理♀×正常♂卵孵化率的变化

Tab.6 Egg hatching rate after the normal adults mating with adults fed with HMPA soluble in protein hydrolysate

处理性别	不同体积分数处理孵化率/%					
	对照(清水)	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10%
雄虫(♂)	76.24 ± 2.16a	62.84 ± 2.47b	40.44 ± 4.62c	28.08 ± 4.28d	13.60 ± 3.32e	10.84 ± 3.42e
雌虫(♀)	72.30 ± 2.57a	59.84 ± 4.29b	24.60 ± 4.21c	22.36 ± 7.06c	0d	0d

1) 同行数据后凡具有一个相同小写字母者,表示经邓肯氏新复极差多重检验在0.05水平上差异不显著.

## 3 讨论

昆虫不育技术是一种通过辐射或者杂交等手段使害虫丧失繁育能力而自行绝育的防治害虫的方法,这一技术不仅能从根本上防治害虫,减少害虫种群数量,而且释放不育雄虫这一方法既经济又环保,且专一性强<sup>[25]</sup>.

本文应用六磷胺分别处理橘小实蝇5日龄雌、雄虫后,发现其交配能力均下降,六磷胺体积分数越大,雌虫产卵量越低,这说明六磷胺处理橘小实蝇成虫后,已引起了橘小实蝇生殖能力的下降;蜂蜜水溶液中六磷胺致雌虫和雄虫不育的体积分数在0.07%~0.09%之间,在此范围内的不育效率高且安全系数为正值.另外,无论是与蜂蜜水溶液还是与水解蛋白混合,六磷胺对橘小实蝇产生不育作用的浓度范

围基本是一致的.试验结果表明,雌虫达到完全不育所需浓度低于雄虫,说明雌虫对六磷胺更敏感.这不仅为室内饲养不育雄虫以及田间释放提供了依据,也为研制不育药剂应用于田间综合防治橘小实蝇奠定了基础.

本文仅对橘小实蝇化学不育剂开展了室内阶段性试验,虽然证明了六磷胺对橘小实蝇雌、雄虫都具有不育效果,但应用于田间防治橘小实蝇是否有效还需要进一步研究.本试验已经确定六磷胺引起橘小实蝇成虫不育的浓度范围,因此田间试验可通过释放此浓度范围的不育雄虫;或者通过田间橘小实蝇取食六磷胺与水解蛋白的混合溶液;又或者六磷胺与性引诱剂结合应用直接引诱田间橘小实蝇雄虫取食来达到防治效果.另外,本试验中选取羽化后5日龄内成虫作为供试虫源,主要是因为卵巢和精囊

此时处于发育前期,还未发育完全,选择此时处理成虫能够避免因卵巢和精囊发育完全后六磷胺处理成虫而降低效力.对于在高浓度处理后的雄虫与正常雌虫交配仍有卵孵化的情况,其原因可能有2种:第一可能是雄虫未取食供试药剂;第二可能是因为部分虫体已对六磷胺产生抗药性所致,具体原因还有待进一步研究分析.橘小实蝇属于世代重叠严重的昆虫,1年发生多代,田间橘小实蝇不像室内饲养的虫子都处于同一个虫期,如果采用不育技术防治橘小实蝇还需考虑其所处的虫期,因此,测定六磷胺对橘小实蝇整个发育历期是否也有不育效果是田间防治的关键.本试验只是对六磷胺不育效果的初步探讨,对于如何应用于田间防治,还要考虑自然环境条件、以及适用于整个种群的不同虫期等综合因素才能够实行.

六磷胺虽然毒性很低,但也有可能致使生物染色体损害,引起突变,在使用时要注意防护<sup>[22]</sup>.用六磷胺致使橘小实蝇不育要控制其浓度在安全系数范围内<sup>[26-27]</sup>才能达到不育效果,本试验中六磷胺供试浓度都在致死剂量范围内引起橘小实蝇雌、雄虫不育.至于六磷胺引起雌、雄虫不育机制还需通过精囊和卵巢解剖试验进一步进行研究探讨.

#### 参考文献:

[1] 林进添,曾玲,陆永跃,等. 桔小实蝇的生物学特性及防治研究进展[J]. 仲恺农业技术学院学报, 2004, 17(1):60-67.

[2] KNIPLING E F. Sterile-male method of population control [J]. *Journal of Science*, 1959(130):902-904.

[3] BORKOVEC A B. Control and management of insect populations by chemosterilants [J]. *Journal of Environmental Health Perspectives*, 1976(14):103-107.

[4] 赵善欢. 应用辐射不育防治害虫的新进展[J]. 核技术, 1979(1):1-14.

[5] 郭奇珍. 昆虫不育剂[J]. 生物学通报, 1963(6):19-20.

[6] LABRECQUE G C, MEIFERT D W, SMIRH C N. Mating competitiveness of chemosterilized and normal male house flies [J]. *Journal of Science*, 1962(136):388-389.

[7] LABRECQUE G C, WILSON H G. Resistance of housefiles (*Musca domestica* L.) in the United States to organophosphorus insecticides [J]. *Indian Journal of Malariology*, 1958(12):423-426.

[8] 梁广勤,梁帆,李惠河. 桔小实蝇不育处理试验研究初报[J]. 江西农业大学学报, 2003,25(6):904-905.

[9] 梁广勤,梁帆,赵菊鹏,等. 桔小实蝇不育技术及应用研究[J]. 广东农业科学, 2008,35(5):60-63.

[10] 季清娥,侯伟荣,陈家骅. 橘小实蝇遗传性别品系的建立及雄性不育技术[J]. 昆虫学报, 2007, 50(10):1002-1008.

[11] 季清娥,杜迎刚,侯伟荣,等. 橘小实蝇雄性不育技术应用过程中混入雌虫活力的研究[J]. 核农学报, 2008, 22(1):97-100.

[12] 林晓,沈鸣,季清娥. 橘小实蝇白蛹品系的建立[J]. 福建农业科技, 2007(3):47-48.

[13] 杨石先,李玉桂. 昆虫化学不育剂进展:兼论含磷乙烯亚胺化合物特性[J]. 农药, 1979,18(4):504.

[14] 张宗炳,曹泽溥,姜永嘉. 昆虫不育性药剂的研究: I: 不育性药剂的筛选[J]. 昆虫学报, 1963, 12(4):394-401.

[15] 张宗炳,姜永嘉. 昆虫不育性药剂的研究: III: Thio-TE-PA 对家蝇不育性效果的试验[J]. 昆虫学报, 1964,13(5):679-688.

[16] 唐桦,康忠,姜文胜,等. 两种不育剂对光肩星天牛不育效应的比较[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2005, 29(5):73-76.

[17] 邹寿发,章玉苹,陈明洋,等. 喜树碱对桔小实蝇成虫影响的研究[J]. 广东农业科学, 2010, 37(2):89-92.

[18] 刘润玺,吕昭芹. 棉酚不育剂防治抗性棉铃虫的研究[J]. 农药, 1999, 38(1):12-14.

[19] 周石涓,韩明德,倪乐湘,等. 性诱剂与植物不育剂:喜树碱结合应用防治松毛虫的效果初报[J]. 林业科学, 1980(3):234-235.

[20] 赵文臣,焦惠生,张淑芬. 灭幼脉一号致粘虫成虫产卵不育的研究:室内不育研究部分[J]. 华北农学报, 1986(2):111-114.

[21] 唐桦,刘益宁. 六磷胺在树干内的输导动态及其对光肩星天牛的不育效应[J]. 陕西师范大学学报, 1996, 24(2):72-76.

[22] 张全新. 六磷胺使致乏库蚊雄蚊不育机制的初步研究[J]. 广州医药, 1989(2):47-48.

[23] 孟倩倩,章珍,林玉英,等. 六甲基磷酰三胺对桔小实蝇的不育效果研究[J]. 广东农业科学, 2012,39(4):62-64.

[24] 杜迎刚,陈家骅,季清娥. 一种新型蛋白诱剂对橘小实蝇引诱作用[J]. 福建林学院学报, 2007, 27(3):259-262.

[25] 夏大荣,扬荣新. 应用昆虫不育技术防治害虫的进展及趋势[J]. 浙江农业学报, 1992,4(S1):62-64.

[26] 华英. 不育不等于不孕[J]. 福建农业, 2000(2):27.

[27] 戎昌第. 昆虫不育剂的效力和安全系数[J]. 昆虫知识, 1985(6):268.