

矿物油乳剂作用下橘小实蝇的产卵拒避及触角电位反应

欧阳革成¹ 杨悦屏¹ 钟桂林² 熊锦君¹ 黄明度¹ 梁广文³

(1. 广东省昆虫研究所, 广州 510260; 2. 广州市萝岗区农畜牧业综合管理中心, 广州 510530;

3. 华南农业大学昆虫生态研究室, 广州 510642)

摘要: 为了研究矿物油乳剂对害虫行为的干扰作用, 测定和比较了 4 种矿物油乳剂对橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 的产卵拒避效果及在其作用下该虫的触角电位反应 (EAG), 并测试了其中拒避效果最好的 Caltex Lovis 夏用油的不同施用方式 (浸蘸法和喷雾法) 及不同施用浓度 (150、250、350、450 倍液) 对橘小实蝇产卵拒避的影响。结果显示: 分别用 4 种矿物油乳剂 200 倍液以浸蘸法处理香蕉, 仅 Caltex Lovis 夏用油处理对橘小实蝇产卵拒避效果显著, 其平均产卵孔数仅为清水对照的 15.14%; 其他 3 种矿物油乳剂则没有明显效果。这表明矿物油乳剂对昆虫行为的干扰作用与其组成成分相关。4 种矿物油乳剂对橘小实蝇的产卵拒避效果与各矿物油乳剂的 50 倍液滴于滤纸条后 0.5 h 的雌成虫 EAG 值间无显著相关性, 但与滴于滤纸条后 3 h 滤纸条上水分已蒸发) 的 EAG 值间有显著的负相关性, 说明矿物油乳剂的挥发性组分对橘小实蝇的产卵拒避影响不大, 因此推测矿物油乳剂在植物表面形成的油膜对植物挥发性物质的封闭作用与其产卵拒避效果可能有一定的关系。浸蘸法不同浓度处理间的产卵拒避效果无显著差异, 均明显高于喷雾法处理及清水对照。在喷雾法处理中, 仅 150 倍液有显著产卵拒避效果。这说明, 矿物油乳剂需要在植物表面达到一定的沉积量, 才能对橘小实蝇有较好的产卵拒避作用。与喷雾法相比, 浸蘸法可能较利于矿物油在植物表面的沉积, 这也佐证了矿物油乳剂所形成油膜的封闭性与其产卵拒避效果有一定的关系。

关键词: 橘小实蝇; 矿物油; 产卵拒避; 触角电位

中图分类号: S481.9 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2008)04-0390-05

Oviposition repellency and EAG responses of the Oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) to mineral spray oils

OUYANG Ge-Cheng¹, YANG Yue-Ping¹, ZHONG Gui-Lin², XIONG Jin-Jun¹, HUANG Ming-Du¹, LIANG Guang-Wen³ (1. Guangdong Entomological Institute, Guangzhou 510260, China; 2. Comprehensive Management Center for Agriculture & Stockbreeding of Luogang District, Guangzhou 510530, China; 3. Laboratory of Insect Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: In order to determine the impact of mineral oils on insect behavior, oviposition behavioural responses of the Oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae) females to deposits of 0.5% (v/v) aqueous emulsions of each of the four HMOs were determined for banana fruit that were dipped in the emulsions. The oils were nC21.5 Total Citrole, nC21 Caltex Lovis, nC23 Ampol D-C-Tron NR and nC24 SK EnSpray 99. Oviposition in fruit dipped in Lovis was significantly lower (85%) than in water-dipped fruit. The other three oils had no impact on oviposition. The results suggested that the influence of mineral oils on the females could be related to the composition of oils. Electroantennogram (EAG) responses of females to volatiles emanating from pieces of filter paper onto which drops of 2% (v/v) emulsions were placed were also determined for each oil. There was no significant correlation between the oviposition repellency of the four HMOs against fruit fly and the EAG responses of female fruit flies to 0.5 hour deposits from which water in the emulsions had not evaporated. However, there was a significant negative correlation between the oviposition repellency and the EAGs responses for 3 hour deposits on filter papers from which all water had evaporated.

基金项目: 广东省科技计划项目(2005B40101010, 2007B02050002-6); 广州市科技攻关计划项目(2004Z3-E0281)

作者简介: 欧阳革成, 男, 1967年8月生, 湖南邵阳人, 硕士, 副研究员, 主要从事植物保护学研究, E-mail: ygczz@sohu.com

收稿日期: Received: 2007-06-13; 接受日期: Accepted: 2008-03-10

This suggested that oil volatiles had little effect on repelling female *B. dorsalis* fruit fly. It was hypothesised that oil deposits may block the release of plant volatiles that female *B. dorsalis* are attracted to in order to lay their eggs. Ovipositional responses to bananas sprayed or dipped with 0.0% (water), 0.22%, 0.29%, 0.4% and 0.67% (v/v) of Lovis oil were compared in a subsequent experiment. Oviposition in dipped fruit was significantly lower than in the sprayed fruit and the water controls. But there was no difference among the oil-dipped treatments, and in the sprayed treatments, only the 0.67% oil treatment was significantly different from the water sprayed control. These results indicates that for deposits to be effective they must exceed deposits equivalent to or greater than those achieved with the 0.22% dip and 0.67% spray used in the experiments. It was evident that dipping was more efficient than spraying to deposit mineral oils on plant surface, and this further proved that oil film forming on surface of fruits which blocked plant volatiles was related to oviposition repellency against the fruit fly.

Key words: *Bactrocera dorsalis*; mineral spray oils; oviposition repellency; electroantennogram (EAG)

橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 是一种危害严重且难以防治的害虫,其成虫可产卵于多种植物的果实内,孵化后的幼虫蛀食果肉,导致果实严重受损。目前对橘小实蝇的防治措施主要是果实套袋、化学防治和利用性诱剂等诱杀。果实套袋用工量大,成本较高,套袋时机掌握不准还会影响果实的风味。化学防治主要使用有机磷类和拟除虫菊酯类,这会导致害虫产生抗药性,也会污染环境。而性诱剂只能引诱到雄虫,且果农不敢单独实施诱杀,原因是会引来大批蝇群,损害更大(黄素青等,2005)。因此,寻找更加有效的方法是迫切需要的。

矿物油乳剂(mineral spray oils)具有广谱、低毒和对天敌较安全等优点,在植物病虫的综合治理中具有独特而重要的地位,是无公害生产的首选药剂之一(Rae et al., 2006)。近期研究表明,矿物油乳剂可影响害虫行为,对柑橘木虱 *Diaphorina citri*(Rae et al., 1997)、柑橘潜叶蛾 *Phyllocnistis citrella*(Liu ZM et al., 2001)、荔枝蒂蛀虫 *Conopomorpha sinensis*(杨平等,2002)、棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 和欧洲玉米螟 *Ostrinia nubilalis*(Mensah et al., 2005)等多种害虫有显著的产卵拒避作用,这意味着矿物油乳剂可更广泛而有效地应用于病虫的综合治理中。但对其作用机理和作用特性还不十分清楚(Rae et al., 2006)。

矿物油乳剂对橘小实蝇行为的影响作用,目前尚无前人报道。研究矿物油乳剂对橘小实蝇行为的影响作用,并探讨其作用特性和作用机理,最终找到一种对其有显著产卵拒避作用的矿物油乳剂及使用方法,配合其他防治措施,以显著降低橘小实蝇的危害,这对于减少或替代合成有机化学农药的应用、保护农业生态环境有重要意义。本研究选取了4种矿物油乳剂,在室内初步研究了它们对橘小实蝇的产

卵拒避作用及在其作用下该虫的触角电位(electroantennogram, EAG)反应。

1 材料与方法

1.1 材料

供试的橘小实蝇成虫为室内人工繁殖。初始成虫种群由中山大学昆虫学研究所提供,以市售香蕉置于养虫笼中供成虫产卵,然后将香蕉取出以塑料篮盛装,置于铺有5 cm厚干净沙子的托盘上,盖上纱网防止其他昆虫产卵。橘小实蝇卵在香蕉中孵化后继续在其中取食,老熟幼虫爬入下面沙子中化蛹。收集含蛹沙子以塑料盒盛装,置于养虫笼中待蛹羽化为成虫。以质量比为1:1的白糖和酵母膏混和作为补充营养。待成虫大量产卵时分笼备用,仍以白糖+酵母膏供其取食。供试矿物油乳剂分别是:“绿颖”农用喷淋油(中间当量的正烷烃碳数(n_{Cy})为 n_{C24} ,韩国SK株式会社生产,山东省招远市三联化工厂分装)、Caltex Lovis 夏用油(Miscible Summer Oil)(n_{C21} ,澳大利亚 CALTEX OIL PTY LTD. 生产)、Ampol D-C-Tron NR Spray oil(n_{C23} ,澳大利亚 AMPOL LTD. 生产)、“法夏乐”石蜡油乳剂($n_{C21.5}$,法国道达尔流体公司生产,江苏龙灯化学有限公司分装)。供试的4种矿物油乳剂均为窄馏程的园艺用矿物油。供试的香蕉果从商场购买,清水洗涤晾干后备用。

1.2 方法

1.2.1 不同矿物油乳剂对橘小实蝇的产卵拒避作用:将上述4种矿物油乳剂分别用清水稀释200倍,浓度为0.5%(v/v),搅拌均匀。清水为对照,共5个处理。取香蕉果浸入药液中,3秒后取出。待2 h

后药液晾干,每处理各挂 1 条香蕉于同一网箱内。网箱规格为 52 cm × 52 cm × 52 cm,箱内放入橘小实蝇成虫 120 头,雌雄比约为 1:1。网箱置于室内,温度保持在 25℃,相对湿度 65% ± 5%,光周期 14 L:10 D。24 h 后取出香蕉,检查果皮上的橘小实蝇产卵孔数。每个处理设 20 个重复。

1.2.2 不同矿物油乳剂作用下橘小实蝇的触角电位反应:将上述 4 种矿物油乳剂分别用清水稀释 50 倍(浓度为 2%(v/v))作试液,清水作对照,正己醇(上海化学试剂厂,分析纯)用清水稀释 50 倍(浓度为 2%(v/v))作标样。选取腹部饱满的产卵期橘小实蝇雌成虫的触角,沿基部剪下,并小心剪去触角末端,用导电胶将触角基部和端部分别与触角电位仪(荷兰 Syntech 公司 MP-15 型)中触角电位探头的参比电极和记录电极相连。将滤纸剪成 5.0 cm × 0.6 cm 的滤纸条,用作各试液的载体,置于巴斯德管内。滴一滴试液于滤纸条中央,让试液渗透滤纸条而不会有余液流出。然后将巴斯德管的细端插入气味混合管的侧孔。气味混合管正对触角,距触角 1 cm。选定触角电位仪的 Y-Ampl. 值为 0.5 mV,Time base 值为 2 s,刺激气流为 40 mL/min,连续气流为 50 mL/min,每次测定的时间间隔为 1 min。按动送气泵开关,滤纸条上的挥发性物质触角接触,刺激触角产生神经脉冲,经信号放大,由 Syntech 软件记录其触角电位(EAG)值。每处理 20 个重复,每个重复的前后用标样测试。各试液滴上滤纸条 0.5 h 时测试一次,保留到 3 h 后时(滤纸条上水分已蒸发)重测一次。实验室气温保持在 27℃。

1.2.3 不同浓度和不同施用方法的矿物油乳剂对橘小实蝇的产卵拒避作用:将 Caltex Lovis 矿物油乳剂分别用清水稀释 150、250、350、450 倍[浓度分别为 0.67%(v/v)、0.4%(v/v)、0.29%(v/v)和 0.22%(v/v)]其余处理同 1.2.1。设 4 个重复。

另取香蕉果,以手持喷雾器分别将上述药液喷在香蕉上直至滴水,晾干。其余处理同 1.2.1,设 12 个重复。

1.3 数据处理与分析

由于触角生理活性不断降低,所获得的 EAG 值会不断减小。为消除因触角逐渐失活而造成的 EAG 测定误差,将 EAG 测定值(R)与其前后 2 个标样 EAG 测定值(C1、C2)的平均值相比后获得 EAG 相对值(EAGr),即 $EAGr = (2R / (C1 + C2))$,以消除触角逐渐失活的影响,增加数据的可比性(赵新成等 2004)。

采用 Duncan 单因素方差分析法分别比较各试

验处理之间的差异,并对相关生物测定值和 EAG 值进行 Pearson 和 Spearman 相关性分析(卢纹岱,2000)。

2 结果与分析

2.1 产卵拒避作用

4 种矿物油乳剂对橘小实蝇的产卵拒避作用差异明显(表 1)。其中,Caltex Lovis 矿物油乳剂处理的香蕉中的产卵孔数与其他处理相比有显著性差异,其平均产卵孔数仅为对照的 15.14%。其他 3 种矿物油乳剂处理的香蕉上的产卵数与对照处理上的差异不大,表明这 3 种矿物油乳剂对橘小实蝇没有明显的产卵拒避作用。

表 1 4 种矿物油乳剂对橘小实蝇的产卵拒避作用

Table 1 Oviposition repellency of four mineral spray oils against <i>B. dorsalis</i>	
处理 Treatments	产卵孔数(个/果) Number of oviposition punctures per fruit
Caltex Lovis	3.40 ± 0.63 a
Ampol	15.85 ± 1.09 b
绿颖 SK EnSpray99	17.85 ± 1.28 bc
法夏乐 Citrole	20.65 ± 1.21 c
对照 CK	19.05 ± 1.16 bc

表中同列数据后具不同字母者表示差异显著($P < 0.05$,Duncan 方差分析),下同。The data in the table followed by different letters differ significantly by Duncan's test ($P < 0.405$). The same below.

2.2 电位反应

4 种矿物油乳剂作用下橘小实蝇雌成虫的触角电位反应均不明显(表 2)。以滴于试液 0.5 h 的滤纸条测试的各处理间的 EAGr1 值没有显著性差异。以滴于试液 3 h 的滤纸条测试的 EAGr2 值,则是 Caltex Lovis 的显著低于法夏乐的。相关性分析显示 4 种矿物油乳剂作用下橘小实蝇雌成虫的产卵拒避与 EAGr2 值间有显著的负相关性(表 3),且橘小实蝇雌成虫对矿物油乳剂的触角电位反应越低,矿物表 2 橘小实蝇雌成虫对 4 种矿物油乳剂的触角电位反应值

Table 2 EAG responses of *B. dorsalis* female adults to four mineral spray oils

处理 Treatments	EAGr1	EAGr2
Caltex Lovis	0.331 ± 0.0351 a	0.257 ± 0.0193 a
Ampol	0.353 ± 0.0448 a	0.280 ± 0.0266 ab
绿颖 SK EnSpray99	0.341 ± 0.0589 a	0.312 ± 0.0297 ab
法夏乐 Citrole	0.438 ± 0.0557 a	0.368 ± 0.0398 b
对照 CK	0.301 ± 0.0299 a	0.348 ± 0.0335 ab

EAGr1 和 EAGr2 分别为试液滴于滤纸条后 0.5 h 和 3 h 的相对 EAG 值;下同。EAGr1 and EAGr2 are the EAG relative values recorded 0.5 h and 3 h after the aqueous emulsions of oil were dripped on the pieces of filter paper tested, respectively. The same below.

表 3 4 种矿物油乳剂作用下橘小实蝇雌成虫的产卵孔数与触角电位反应的相关性

Table 3 Correlations between number of oviposition punctures and EAG responses of *B. dorsalis* female adults to four mineral spray oils

	Pearson 相关系数 Pearson correlation coefficient	Spearman 相关系数 Spearman correlation coefficient
EAG1	- 0.343 (<i>t</i> = 0.286)	- 0.300 (<i>t</i> = 0.312)
EAG2	- 0.843 * (<i>t</i> = 0.037)	- 1.000 * (<i>t</i> = 0.000)

* 系有显著相关性(单尾检测, *P* < 0.05) Correlation is significant at the 0.05 level (one-tailed).

油乳剂对橘小实蝇的产卵拒避作用越大。

2.3 不同浓度和施药方法产卵拒避作用的比较

不同的施药方法可导致 Caltex Lovis 矿物油乳剂对橘小实蝇的产卵拒避效果差异显著(表 4)。浸蘸法处理的香蕉的产卵孔数与对照之比与喷雾法处理的香蕉均有显著差异。在浸蘸法处理中,不同浓度的 Caltex Lovis 矿物油乳剂对橘小实蝇的产卵拒避作用与对照相比均有显著差异,不同浓度处理间的产卵拒避作用基本相当。在喷雾法处理,仅 150 倍液与对照相比有显著差异。

表 4 Caltex Lovis 矿物油乳剂不同浓度和施用方法对橘小实蝇的产卵拒避作用

Table 4 Oviposition repellency of Caltex Lovis mineral spray oils against *B. dorsalis* at different concentrations and with different oil applying methods

处理 Treatments	稀释倍数 Dilution ratio	产卵孔数(个/果) Number of oviposition punctures per fruit	产卵孔数与对照百分比的反正切值 Arctan of percentage of punctures comparing with control
浸蘸法 Dipping	150	1.00 ± 0.82 a	0.0268 ± 0.00963 a
	250	2.00 ± 1.16 a	0.0587 ± 0.0177 a
	350	2.50 ± 0.58 a	0.0714 ± 0.0315 a
	450	5.00 ± 3.83 a	0.132 ± 0.0449 a
	CK1	35.00 ± 10.55 b	0.785 ± 0.000 c
喷雾法 Spraying	150	9.92 ± 1.03 a	0.530 ± 0.0485 b
	250	12.92 ± 1.79 ab	0.626 ± 0.0706 bc
	350	15.08 ± 1.52 b	0.714 ± 0.0518 bc
	450	15.67 ± 1.48 b	0.736 ± 0.0495 c
	CK2	16.75 ± 0.95 b	0.785 ± 0.000 c

表中产卵孔数为同一施药方法内的比较,产卵孔数与对照百分比的反正切值为两种施药方法的比较。In the table, the oviposition punctures per fruit are compared within the same oil applying method, while the arctan of percentage of punctures were compared between two oil applying methods. CK1, CK2: 清水 Water.

3 讨论

试验结果表明,某些矿物油乳剂对橘小实蝇的产卵拒避作用非常显著,这显示矿物油乳剂在橘小实蝇的综合治理中具有良好的应用前景,如果与现

有的一些防治措施如引诱剂诱杀相配合,采用推-拉式防治策略,将会相得益彰(Samantha *et al.*, 2007),使防治效果更加理想。

试验显示施用供试矿物油乳剂仅浸蘸法的效果明显,喷雾法的效果则欠佳,而浸蘸法在生产上难以应用。因此有必要进一步研究、了解矿物油乳剂对害虫行为的作用机理和特点,为研发适合于生产应用的具有高度拒避害虫作用的新型矿物油乳剂及其应用技术奠定基础。

矿物油乳剂影响昆虫行为的作用机理尚不十分清楚(Rae *et al.*, 2006)。本试验中 4 种矿物油乳剂中所含的矿物油成分不尽相同,乳化效果也有一定差异。这至少表明,矿物油乳剂对昆虫行为的作用与其组成成分相关。Liu 等(2001)以 3 种矿物油测试其对柑橘潜叶蛾的产卵拒避作用,发现 *n*C25 比 *n*C17 和 *n*C22 更有效,认为其产卵拒避作用与矿物油的中间当量的正烷烃碳数 *n*C_{*y*} 相关,并随 *n*C_{*y*} 的增多而增强,但与矿物油乳剂中芳香化化合物的特殊结构、特性无关。本试验则显示 *n*C21 的 Caltex Lovis 矿物油对橘小实蝇的产卵拒避效果高于 *n*C21.5 的“法夏乐”、*n*C23 的 Ampol D-C-Tron 和 *n*C24 的“绿颖”,而且虽然 Caltex Lovis 与“法夏乐”的 *n*C_{*y*} 值差异最小,但产卵拒避效果则差异最大,这表明 *n*C_{*y*} 不是主要原因。“法夏乐”是一种石蜡油乳剂,其中的芳香化合物极少,其他 3 种矿物油的芳香化合物含量也较低。尽管如此,由于矿物油乳剂的成分非常复杂,矿物油乳剂的产卵拒避作用与其中芳香化化合物的含量、特殊结构及特性是否有关,尚需进一步试验证明。

有学者认为矿物油乳剂可能类似于非嗜食植物次生化学挥发物对昆虫行为的影响:矿物油乳剂是由多种不同化学组分构成的混和物,其中的一些化学组分可能类似于某些对害虫行为有拒避作用的非嗜食植物次生化学物质,从而导致该种昆虫选择寄主和取食产卵的行为发生了改变(Rae *et al.*, 2006)。上述结果似乎就是一个佐证:不同的矿物油乳剂对不同的害虫具有拒避作用。但岑伊静等(2005)应用四臂嗅觉仪测定了柑橘木虱对矿物油乳剂的趋性反应,结果表明矿物油乳剂对柑橘木虱成虫既无明显的驱避作用也没有吸引作用,说明其中的挥发性成分在产卵忌避作用中可能不起主要作用。本试验结果显示害虫对 4 种矿物油乳剂的触角电位反应均很低,也说明了其中的挥发性成分不是矿物油乳剂产生拒避作用的主要原因。其中 EAGr1 可能更多地

反映了挥发性组分所起的作用,由于滤纸条上较多的挥发性物质随着时间的延长而挥发失去,EAGr2则可能更多地反映了矿物油的其他作用,如封闭作用。相关性分析显示4种矿物油乳剂对橘小实蝇雌成虫的产卵拒避作用与EAGr2值间有显著的负相关性,即害虫对4种矿物油乳剂的触角电位反应越低,产卵拒避作用越高,有可能说明矿物油乳剂所形成油膜的封闭作用可能与其对橘小实蝇的产卵拒避作用有一定的关系。矿物油乳剂在寄主植物表面形成的一层油膜,可能阻隔害虫感觉器官与寄主植物直接接触,使害虫削弱或失去对寄主植物的辨认能力,从而减少其产卵和为害。Mensah等(2005)应用固相微萃取技术,发现经Caltex Canopy(R)矿物油乳剂处理的棉花植株的挥发性物质释放量比清水处理的少,认为矿物油乳剂抑制或掩饰了植株的挥发性物质。这种抑制作用可能就是油膜的封闭作用。矿物油乳剂在寄主植物表面形成油膜的特性不仅与矿物油乳剂本身的组成有关,如链状分子、环状分子等的含量,可能还与植物的表面特性有关,如气孔大小。如果植物气孔口径大于矿物油分子,则容易进入植物体内而破坏油膜的完整性。如果矿物油分子太大,所形成油膜的孔隙则可能大于植物挥发性物质的分子,起不到封闭作用。此外,矿物油乳剂的水乳液在植物表面上有一个油水分离的过程,矿物油扩展、沉积下来而水分流失。在喷雾法中,高浓度的矿物油乳剂比低浓度的产卵拒避作用好。这说明,矿物油乳剂需要在植物表面有一定的沉积量,才能对橘小实蝇产生明显的产卵拒避作用。浸蘸法比喷雾法的产卵拒避作用明显,有可能因为浸蘸法比喷雾法明显有利于矿物油乳剂在植物表面的沉积而形成封闭性较好的油膜。这也说明了矿物油乳剂所形成油膜的封闭性与其产卵拒避效果有一定的关系。但是否正确,或是否还有其他重要影响因子,需要进一步试验证明。

致谢 感谢澳大利亚悉尼大学 Andrew Beattie 教授、中山大学张润杰教授、广东省昆虫研究所李丽英研究员、华南农业大学岑伊静博士、中山大学谢琦博士对本文给予的帮助。

参 考 文 献 (References)

- Cen YJ, Pang XF, Zhang MX, Deng QS, Du YY, Wang B, 2003. Oviposition repellent of alcohol extracts of 26 non-preferable plant species against citrus leafminer. *Journal of South China Agricultural University*, 24(3): 27–29. [岑伊静, 庞雄飞, 张茂新, 邓桥胜, 杜育映, 王标, 2003. 26种非嗜食植物乙醇提取物对柑桔潜叶蛾的产卵驱避作用. 华南农业大学学报, 24(3): 27–29]
- Cen YJ, Ye JM, Xu CB, Feng AW, 2005. The taxis of *Diaphorina citri* to the volatile oils extracted from non-host plants. *Journal of South China Agricultural University*, 26(3): 41–44. [岑伊静, 叶峻铭, 徐长宝, 冯安伟, 2005. 柑橘木虱对几种非嗜食植物挥发油的趋性反应测定. 华南农业大学学报, 26(3): 41–44]
- Huang SQ, Han RC, 2005. Advance in the research on the quarantine pest *Bactrocera dorsalis*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(5): 479–484. [黄素青, 韩日畴, 2005. 桔小实蝇的研究进展. 昆虫知识, 42(5): 479–484]
- Liu ZM, Beattie GAC, Hodgkinson M, Rose HA, Jiang L, 2001. Influence of petroleum-derived spray oil aromaticity, equivalent n-paraffin carbon number and emulsifier concentration on oviposition by citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae). *Australian Journal of Entomology*, 40: 193–197.
- Lu WD, 2000. SPSS for Windows Statistics & Analysis. Publishing House of Electronics Industry, Beijing. 186–196. [卢纹岱, 2000. SPSS for Windows 统计分析. 北京: 电子工业出版社. 186–196]
- Mensah RK, Frerot B, Al Dabel F, 2005. Effects of petroleum spray oils on oviposition behavior and larval survival of *Helicoverpa armigera* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) and *Ostrinia nubilalis* Hübner (Lepidoptera: Pyralidae). *International Journal of Pest Management*, 51(2): 111–119.
- Rae DJ, Liang WG, Watson DM, Beattie GAC, Huang MD, 1997. Evaluation of petroleum spray oils for control of the Asian citrus psylla, *Diaphorina citri* (Kuwayama) (Hemiptera: Psyllidae) in China. *International of Pest Management*, 43(1): 71–75.
- Rae DJ, Beattie GAC, Huang MD, Yang YP, Ouyang GC, 2006. Mineral Oils and Their Use: Pest Sustainable Management and Green Agriculture. Guangdong Science & Technology Press, Guangzhou. 36–41. [Rae DJ, Beattie GAC, 黄明度, 杨悦屏, 欧阳革成, 2006. 矿物油乳剂及其应用——害虫持续控制与绿色农业. 广州: 广东科技出版社. 36–41]
- Samantha MC, Zeyaur RK, John AP, 2007. The use of push-pull strategies in integrated pest management. *Annual Review of Entomology*, 52: 375–400.
- Yang P, Xiong JJ, Liu DG, Huang MD, 2002. The safety of litchi and longan trees sprayed with petroleum spray oil and its control effects against *Conopomorpha sinensis* Bradley. *Natural Enemies of Insects*, 24(1): 26–31. [杨平, 熊锦君, 刘德广, 黄明度, 2002. 荔枝、龙眼园使用机油乳剂的安全性及其对荔枝蒂蛀虫的防治研究. 昆虫天敌, 24(1): 26–31]
- Zhao XC, Yang YH, Wang Ri, Wang SZ, 2004. Techniques used in insect neurobiology research: electroantennogram recording. *Entomological Knowledge*, 41(3): 270–274. [赵新成, 阎云花, 王睿, 王琛柱, 2004. 昆虫神经生物学研究技术: 触角电位图记录. 昆虫知识, 41(3): 270–274]

(责任编辑: 黄玲巧)

Cen YJ, Pang XF, Zhang MX, Deng QS, Du YY, Wang B, 2003.

Oviposition repellent of alcohol extracts of 26 non-preferable plant