

氨与避蚊胺缔合对白纹伊蚊行为影响的研究

忻伟隆¹, 廖圣良¹, 姜志宽², 范国荣¹, 宋杰³, 陈尚钊¹, 陈金珠¹, 王宗德¹

1 江西农业大学林学院, 江西 南昌 330045; 2 南京军区疾病预防控制中心;

3 Department of Chemistry and Biochemistry, University of Michigan-Flint

摘要: **目的** 探讨人体引诱物氨与驱避剂避蚊胺(DEET)之间存在的缔合作用, 并研究该缔合作用对蚊虫驱避活性的影响。**方法** 用Y型嗅觉仪分别测定氨、DEET、氨与DEET缔合物对白纹伊蚊的行为反应。**结果** 氨的浓度为10 mg/L时, 对白纹伊蚊有明显的引诱作用, 1000和100 mg/L时有微弱引诱作用; DEET的浓度为1000和0.1 mg/L时, 对白纹伊蚊有微弱驱避作用, 其他浓度作用不明显; 浓度为1 mg/L的氨与浓度为1 mg/L的DEET等比例混合物, 对白纹伊蚊具有明显的驱避作用; 浓度为1000和0.1 mg/L的DEET与同等浓度的氨等比例缔合后, 既无驱避效果, 也无引诱效果。**结论** 氨与DEET存在缔合作用, 且该缔合作用能增强白纹伊蚊的驱避行为反应。通过研究人体引诱物与驱避剂的缔合作用为驱避机制研究提供新的思路。

关键词: 避蚊胺; 氨; 缔合作用; 行为反应

中图分类号: R384.1; S481*.9 文献标志码: A 文章编号: 1003-4692(2014)02-0109-04

DOI: 10.11853/j.issn.1003.4692.2014.02.005

Effect of combination of ammonia and DEET on behavior of *Aedes albopictus*

XIN Wei-long¹, LIAO Sheng-liang¹, JIANG Zhi-kuan², FAN Guo-rong¹, SONG Jie³,

CHEN Shang-xing¹, CHEN Jin-zhu¹, WANG Zong-de¹

1 College of Forestry, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, Jiangxi Province, China; 2 Center for Disease Control and Prevention of Nanjing Command; 3 Department of Chemistry and Biochemistry, University of Michigan-Flint

Corresponding author: WANG Zong-de, Email: zongdewang@163.com

Supported by the Special Fund of National Forestry Public Welfare Scientific Research Project of China (No. 201304602), Major Disciplines Academic and Technical Leader Training Program of Jiangxi Province (No. 20133BCB22004), National Natural Science Foundation of China (No. 31060101) and Science and Technology Support Program of Jiangxi Province (No. 20132BBF60057)

Abstract: **Objective** To evaluate the interaction between attractant ammonia and repellent N,N-diethyl-3-methyl benzoyl amide (DEET) used on human body and to study its influence on their repellency to mosquitoes. **Methods** Y-tube olfactometer was adopted to test the influence of ammonia, DEET, and association compound of ammonia and DEET on the behavior of *Aedes albopictus*. **Results** The attractant ammonia showed significant attraction for *Ae. albopictus* at 10 mg/L, but it had weak attraction at 1000 mg/L and 100 mg/L. The repellent DEET showed weak repellency to *Ae. albopictus* at 1000 mg/L and 0.1 mg/L, but had little repellency at other concentrations. The combination of ammonia (1 mg/L) and DEET (1 mg/L) at a ratio of 1 : 1 showed significant repellency to *Ae. albopictus*, while the combination of DEET (1000 or 0.1 mg/L) and ammonia (with the same concentration as DEET) at a ratio of 1 : 1 showed neither attraction nor repellency. **Conclusion** There is association between ammonia and DEET, which can increase the repellency to *Ae. albopictus*. The study on association between human attractant and repellent provides a new idea for the understanding of repellent mechanism.

Key words: DEET; Ammonia; Association; Behavioral response

驱避剂能有效地防止蚊虫叮咬,但其作用机制仍不清晰^[1]。目前对机制的解释主要有两种观点^[2]:①通过干扰蚊虫的嗅觉系统以阻断蚊虫对宿主气味识别^[3-5];

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201304602); 江西省主要学科学术和技术带头人培养计划(20133BCB22004); 国家自然科学基金(31060101); 江西省科技支撑计划项目(20132BBF60057)

作者简介: 忻伟隆,男,在读硕士,主要从事植物源卫生杀虫化学用品研究。Email: 578024811@qq.com

通讯作者: 王宗德, Email: zongdewang@163.com

②通过激活嗅觉神经元引起蚊虫的躲避行为^[6-8]。除这两种解释,发现涂抹到皮肤上的驱避剂有可能与人体引诱物发生缔合,进而影响驱避活性,就此开展了计算化学和定量构效关系研究,研究结果初步证实这一推测^[9-11]。因此,非常有必要利用多种手段,从多个学科进行深入研究。本研究从驱避剂和引诱物发生缔合作用的角度入手,开展行为学研究,并分析缔合作用对驱避活性的影响及其规律,这对于驱避机制研究和驱避蚊化合物的研发都具有积极意义。

1 材料与方法

1.1 供试蚊虫 白纹伊蚊(*Aedes albopictus*), 江西省竹子种质资源与利用重点实验室昆虫饲养室饲养。饲养条件: 温度(26 ± 1) $^{\circ}\text{C}$, 相对湿度(70 ± 5)%, 光照14 h/d。饲养水源为放置 >24 h的脱氯水。

成虫饲养在长400 mm、宽300 mm、高300 mm的蚊笼内, 羽化后供以10%蔗糖水。试虫为羽化后4~7 d未吸血的雌性成虫, 测试前停止供应糖餐24 h。

1.2 供试化合物及溶剂 无水乙醇, 含量 $>99.7\%$, 分析纯, 天津市大茂化学试剂厂; 避蚊胺(DEET), 含量 $>93.4\%$, 上海高联化工原料有限公司; 氨水, 含量25%~28%, 分析纯, 天津市大茂化学试剂厂。

1.3 供试化合物的处理 DEET用无水乙醇稀释, 氨水用蒸馏水稀释, DEET和氨水的缔合物用无水乙醇稀释, 稀释浓度为1000、100、10、1和0.1 mg/L。

1.4 试验仪器及生物测定条件 以Y型嗅觉仪(参照Geier and Boeckh, 1999年的设计)测定白纹伊蚊对化合物的行为反应。Y型嗅觉仪基臂长20 cm, 末端接蚊虫释放管, 2条Y臂长30 cm, 末端接2个样品室。气流由样品室流向蚊虫释放管一端, 蚊虫由飞行通道逆风飞入样品室。在气流进入样品室之前, 由空气泵推动空气先经过活性炭过滤和蒸馏水加湿, 空气泵流速为150 ml/min, 测试室内温度(27 ± 1) $^{\circ}\text{C}$, 相对湿度(70 ± 5)%。

1.5 供试化合物对成蚊行为的影响 实验前将待测蚊虫搬入测试室适应环境1 h左右。实验采用自然光照, 于14:00开始, 18:00结束。测定时每处理分3组, 每组10个重复。测定过程中, 先将加有10 μl 供试化合物溶液的滤纸(2.5 cm \times 5 cm)和加有等量溶剂的相同滤纸分别放入左、右样品室, 紧接着将1只试虫放入Y型直管口, 观察其5 min内的第一选择, 5 min之内不选择就记为不反应。每进行一次实验即更换一次滤纸, 测定5只后, 调换Y型管两臂的方向, 以消除几何位置对试虫趋向行为的影响。测试完一组(10只)后用蒸馏水清洗Y型管, 再用乙醇擦拭, 待晾干后进行下一组实验。

1.6 数据分析 实验数据用ANOVA分析, 对差异有统计学意义的数据用LSD进行多重比较。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 无水乙醇对白纹伊蚊行为的影响 从表1可以看出, 实验所选溶剂无水乙醇对白纹伊蚊行为的影响无统计学意义, 故无水乙醇可以作为DEET、DEET与氨的缔合物溶剂使用。

表1 白纹伊蚊对无水乙醇的行为反应结果

Table 1 Behavioral response of *Ae. albopictus* to absolute ethyl alcohol

药剂名称	虫数(只)		
	处理组	对照组	不反应组
无水乙醇	1	3	6
	1	1	8
	0	3	7

2.2 氨对白纹伊蚊行为的影响 从表2可以看出, 氨在浓度为1000和100 mg/L时有微弱引诱作用。在浓度为10 mg/L时, 处理组蚊虫的数量达到最大值, 引诱效果最好, 而在其他4个浓度中, 氨对白纹伊蚊的引诱效果随着浓度的增大而增大, 蚊虫不反应组的数量随浓度的增大而减少。在0.1 mg/L浓度时, 对照组和不反应组蚊虫数量皆为最大值, 处理组蚊虫数量为最小值。氨在浓度为1和0.1 mg/L时引诱作用与对照组之间差异无统计学意义。

表2 白纹伊蚊对氨的行为反应结果

Table 2 Behavioral response of *Ae. albopictus* to ammonia

试虫(只)	重复数(次)	浓度(mg/L)	虫数(只, $\bar{x} \pm s$)			F值
			处理组	对照组	不反应组	
10	3	1000	5.67 \pm 0.58 ^A	2.67 \pm 1.15 ^B	1.67 \pm 0.58 ^B	19.500
10	3	100	4.67 \pm 1.15 ^a	2.33 \pm 1.15 ^b	3.00 \pm 0.00 ^{ab}	4.875
10	3	10	6.33 \pm 0.58 ^A	2.33 \pm 1.15 ^B	1.33 \pm 0.58 ^B	31.500
10	3	1	4.00 \pm 1.00 ^a	2.33 \pm 1.15 ^b	3.67 \pm 1.53 ^a	1.909
10	3	0.1	2.67 \pm 0.58 ^a	3.33 \pm 0.58 ^a	4.00 \pm 1.00 ^a	2.400

注: A. 与对照组10和1000 mg/L浓度组比较, $P < 0.01$; B. 与不反应组10和1000 mg/L浓度组比较, $P > 0.05$; a. 与对照组及不反应组100 mg/L浓度组比较, $P < 0.05$; b. 与不反应组100 mg/L浓度组比较, $P > 0.05$ 。

2.3 DEET对白纹伊蚊行为的影响 从表3可以看出, DEET在1000和0.1 mg/L浓度中有一定的驱避效果, 浓度为1000 mg/L时处理组蚊虫数量达到最小值, 驱避效果最好。在浓度为0.1 mg/L时, 对照组蚊虫的数量为最大值, 不反应组数量则为最小值。在1000 mg/L到1 mg/L的4个浓度中, DEET处理组的蚊虫数量随着DEET的浓度下降而增加, 相应对照组的蚊虫数量随着DEET的浓度下降而减少, 不反应组蚊虫数量受浓度的变化影响不大, 几乎持平。DEET在100、10和1 mg/L 3个浓度中驱避作用与对照组之间差异无统计学意义。

2.4 氨与DEET缔合对白纹伊蚊行为的影响 从表4可以看出, 在实验处理的5个浓度中, 不反应组蚊虫数量随浓度的升高而减少, 浓度为1000 mg/L时不反应组的数量为最小值。浓度为1000 mg/L时对照组和处理组蚊虫数量皆为最大值。在1 mg/L的浓度时, DEET单独作用处理组与对照组差异无统计学意义, 而氨和DEET缔合后, 却表现出明显的驱避效果。DEET在1000和0.1 mg/L的浓度中有一定的驱避效果, 而氨和

DEET 缔合后,这 2 个浓度的处理组与对照组差异无统计学意义。在除 1 mg/L 外的 4 个浓度,处理组与对照组之间差异无统计学意义。

表 3 DEET 对白纹伊蚊的行为反应结果

Table 3 Behavioral response of *Ae. albopictus* to DEET

试虫 (只)	重复数 (次)	浓度 (mg/L)	虫数(只, $\bar{x} \pm s$)			F 值
			处理组	对照组	不反应组	
10	3	1000	2.67 ± 0.58 ^b	4.67 ± 1.15 ^a	2.67 ± 0.58 ^b	6.000
10	3	100	3.33 ± 1.15 ^a	4.33 ± 1.53 ^a	2.33 ± 0.58 ^a	2.250
10	3	10	4.00 ± 1.00 ^a	4.00 ± 1.00 ^a	2.00 ± 0.00 ^b	6.000
10	3	1	4.33 ± 1.15 ^a	3.33 ± 1.53 ^a	2.33 ± 0.58 ^a	2.250
10	3	0.1	3.33 ± 0.58 ^b	5.00 ± 0.00 ^a	1.67 ± 0.58 ^c	37.500

注: A. 与处理组及不反应组 0.1 mg/L 浓度组比较, $P < 0.01$; B. 与不反应组 0.1 mg/L 浓度组比较, $P < 0.01$; a. 与不反应组 10 和 1000 mg/L 浓度组比较, $P < 0.05$; b. 处理组 1000 mg/L 浓度组与不反应组 1000 mg/L 浓度组比较, $P > 0.05$ 。

表 4 氨和 DEET 缔合对白纹伊蚊的行为反应结果

Table 4 Behavioral response of *Ae. albopictus* to association compound of ammonia and DEET

试虫 (只)	重复数 (次)	浓度 (mg/L)	虫数(只, $\bar{x} \pm s$)			F 值
			处理组	对照组	不反应组	
10	3	1000	3.67 ± 1.53 ^a	5.00 ± 1.00 ^a	1.33 ± 0.58 ^b	8.455
10	3	100	3.33 ± 1.53 ^a	4.67 ± 2.08 ^a	2.00 ± 1.00 ^a	2.087
10	3	10	3.67 ± 2.31 ^a	3.67 ± 0.58 ^a	2.67 ± 2.08 ^a	0.300
10	3	1	2.00 ± 1.00 ^b	4.67 ± 1.53 ^a	3.33 ± 1.15 ^{ab}	3.429
10	3	0.1	2.00 ± 1.00 ^b	4.00 ± 1.73 ^a	4.00 ± 1.00 ^a	2.400

注: A. 与处理组 1 mg/L 浓度组、不反应组 1000 mg/L 浓度组比较, $P < 0.01$; B. 处理组 1 mg/L 浓度组与不反应组 1 mg/L 浓度组比较, $P > 0.05$; a. 处理组 0.1、10、100 mg/L 浓度组与对照组 0.1、10、100 mg/L 浓度组及不反应组 0.1、10、100 mg/L 浓度组比较, $P > 0.05$ 。

3 讨论

我们前期利用化学计算和定量构效关系手段初步证实了引诱物氨与 DEET 及萜类驱避化合物之间存在缔合作用,该作用主要是通过类似氢键的方式进行缔合^[9-11],还需要利用行为学和触角电生理等多方面的手段做进一步验证和研究。本研究利用 Y 型嗅觉仪测试了白纹伊蚊对氨、DEET 及 DEET+氨的行为反应。在 10 mg/L 的浓度时,氨对白纹伊蚊有着明显的引诱效果,在 1000 和 100 mg/L 的浓度有着微弱的引诱作用。有研究表明氨是人体汗液中冈比亚按蚊 (*Anopheles gambiae*) 用于宿主寻找的种间激素,氨对该蚊最适引诱浓度为 227.8~1700 mg/L,而在 1 和 10 mg/L 时对淡色库蚊 (*Culex pipiens pallens*) 有显著的引诱作用^[12-13]。氨与其他引诱物一起出现时也能表现出一定的引诱作用,10 mg/L 氨水+10 mg/L 丙酮对淡色库蚊有明显的引诱作用^[14],氨在浓度为 0.017~17 mg/L 和 3 $\mu\text{g}/\text{min}$ 的乳酸气流同时出现时对埃及伊蚊 (*Ae. aegypti*) 有着一定的引诱作用^[15]。结合国内外学者就氨对蚊虫引诱作用的不同实验结果,可以看出相同物质对不同蚊种

的引诱效果不同。

同一物质在不同浓度下对蚊虫的作用效果也有差异。本行为实验得到了 DEET 单独作用在 1000 和 0.1 mg/L 的浓度时对白纹伊蚊有着微弱的驱避效果的结论。有类似研究表明 DEET 在 $7.6 \times 10^{-9} \sim 1.2 \times 10^{-4} \text{ mg}/\text{cm}^2$ 对埃及伊蚊有着显著的引诱作用^[16]。可以看出 DEET 在高浓度时有着驱避效果,而低浓度时却表现出引诱效果。另外在没有活的宿主存在时,DEET 是一种引诱剂,在有活宿主存在时,它却是一种引诱抑制剂^[17]。而浓度相差 10 000 倍的 DEET 均表现出一定驱避性,且当浓度为 0.1 mg/L 时,处理组蚊虫数量与对照组差异有统计学意义,这一结果说明在本研究所选取的浓度梯度中,DEET 在 0.1 mg/L 浓度时的驱避效果最好。在后续实验中,我们将会增加浓度梯度,进行更深入全面的研究。

驱避化合物单独作用时,对蚊虫有微弱的引诱效果,但在与人体气味、L-乳酸、丙酮、二氧化碳等同时存在时,可显著抑制或提高这些引诱物对蚊虫的引诱效果^[18-20]。本实验也得到类似的结论,DEET 在 1 mg/L 的浓度时,没有表现出驱避效果,而 DEET 与氨缔合后在 1 mg/L 的浓度,却表现出显著的驱避效果,可以说明驱避物和引诱物缔合后对驱避活性有着显著的影响。DEET 与氨缔合作用时在 1000 mg/L 浓度下,对照组蚊虫数量与不反应组的蚊虫数量有明显差异,DEET 单独作用在 1000、10 和 0.1 mg/L 浓度时也有类似结果。而氨单独作用时却无以上结果,导致这一结果产生的原因可能是 DEET、DEET 与氨缔合物所表现驱避特性较相同浓度梯度氨的引诱特性要强,对蚊虫影响更大,导致对照组蚊虫数量与不反应组蚊虫数量有明显差异。

氨和 DEET 缔合的研究结果与前期计算化学及构效关系研究结果相互印证^[9-11],进一步说明在一定浓度范围,驱避物 DEET 和引诱物氨存在缔合作用,且两者缔合后对驱避活性有显著影响。在以后的研究中,结合化学计算、行为学、触角电生理学等多种手段,可以更加深入地研究驱避剂与引诱化合物的缔合作用,为驱避机制研究和驱诱蚊化合物的研发提供依据。

参考文献

- [1] 廖圣良,姜志宽,宋杰,等. 蚊虫驱避剂的驱避机制研究[J]. 中华卫生杀虫药械, 2012, 18(4): 280-283.
- [2] Pellegrino M, Steinbach N, Stensmyr MC, et al. A natural polymorphism alters odour and DEET sensitivity in an insect odorant receptor[J]. Nature, 2011, 478(7370): 511-514.
- [3] Davis EE, Sokolove PG. Lactic acid-sensitive receptors on the antennae of the mosquito, *Aedes aegypti* [J]. J Comp Physiol A, 1976, 105(1): 43-54.
- [4] Dline DL, Bernier UR, Posey KH, et al. Olfactometric evaluation of spatial repellents for *Aedes aegypti* [J]. J Med Entomol, 2003, 40(4): 463-467.

- [5] Turner SL, Li N, Guda T, et al. Ultra-prolonged activation of CO₂-sensing neurons disorients mosquitoes [J]. Nature, 2011, 474 (7349):87-91.
- [6] Syed Z, Leal WS. Mosquitoes smell and avoid the insect repellent DEET [J]. PNAS, 2008, 105(36):13598-13603.
- [7] Xia Y, Wang G, Buscariollo D, et al. The molecular and cellular basis of olfactory-driven behavior in *Anopheles gambiae* larvae [J]. PNAS, 2008, 105(17):6433-6438.
- [8] Stanczyk NM, Brookfield JFY, Ignell R, et al. Behavioral insensitivity to DEET in *Aedes aegypti* is a genetically determined trait residing in changes in sensillum function [J]. PNAS, 2010, 107 (19) : 8575-8580.
- [9] Song J, Wang ZD, Findlater A, et al. Terpenoid mosquito repellents: a combined DFT and QSAR study [J]. Bioorg Med Chem Lett, 2013, 23(5):1245-1248.
- [10] 廖圣良, 姜志宽, 宋杰, 等. 氨分子与驱避剂缔合对驱避活性影响的定量计算 [J]. 中华卫生杀虫药械, 2012, 18(2):106-110.
- [11] 廖圣良, 宋杰, 王宗德, 等. 定量计算萜类驱避化合物与二氧化碳缔合对其蚊虫驱避活性的影响 [J]. 昆虫学报, 2012, 55(9):1054-1061.
- [12] Braks M, Meijerink J, Takken W. The response of the malaria mosquito, *Anopheles gambiae*, to two components of human sweat, ammonia and L-lactic acid, in an olfactometer [J]. Physiol Entomol, 2001, 26(2):142-148.
- [13] 丁思悦, 黄求应, 雷朝亮. 淡色库蚊对4种化学物质的嗅觉反应 [J]. 昆虫知识, 2007, 44(3):389-392.
- [14] 张时秒, 莫建初, 潘程远, 等. 几种人体物质对淡色库蚊雌成虫引诱和驱避作用 [J]. 昆虫知识, 2004, 41(6):545-547.
- [15] Geier M, Bosch OJ, Boeckh J. Ammonia as an attractive component of host odour for the yellow fever mosquito, *Aedes aegypti* [J]. Chemical Senses, 1999, 24(6):647-653.
- [16] Mehr ZA, Rutledge LC, Buescher MD, et al. Attraction of mosquitoes to diethyl methylbenzamide and ethyl hexanediol [J]. J Am Mosq Control Assoc, 1990, 6(3):469-476.
- [17] Dogan EB, Ayres JW, Rossignol PA. Behavioural mode of action of DEET: inhibition of lactic acid attraction [J]. Med Vet Entomol, 1999, 13(1):97-100.
- [18] Bernier UR, Furman KD, Kline DL, et al. Comparison of contact and spatial repellency of catnip oil and N, N-diethyl-3-methylbenzamide (DEET) against mosquitoes [J]. J Med Entomol, 2005, 42(3):306-311.
- [19] 郝蕙玲, 杜家伟. 几种驱避化合物对白纹伊蚊寄主搜寻能力的影响 [J]. 昆虫学报, 2008, 51(11):1220-1224.
- [20] 余静, 王杰, 张富强, 等. 驱避-引诱联合使用对蚊虫控制效果的现场测试 [J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2013, 24(3):193-195.

收稿日期:2013-11-12

(上接第108页)

惊奇的是,在生活污水和小型净水中施用 Natular G30 之后,第1天蛹的数量增加,可能是接触多杀菌素对幼虫有促进化蛹的作用。

相对于化学杀虫剂(如有机磷类和拟除虫菊酯类杀虫剂),多杀菌素的起效较慢。在本研究中,除小型净水的最低浓度外,所有处理组的减退率在第3天时接近100%。一些研究表明^[10-12],在相近的处理浓度下,对于所有龄期的蚊蚋,其累计死亡率在第72h出现峰值,与本研究结果一致。

多杀菌素对水生生物安全。试验过程中,可观察到一直有蝌蚪、鱼、虾、螺、摇蚊幼虫等存活,对所有的测定浓度,都没有看到明显的中毒症状。Duchet等^[13]的研究指出0.008、0.017、0.033 mg/L的多杀菌素在现场试验中对蚤状溞(*Daphnia pulex*)产生了一定的不良影响,但迄今为止,在适当的施用浓度下,多杀菌素对非靶标生物的破坏呈最低限度^[10]。

参考文献

- [1] 刘慧, 孟凤霞, 鲁玉杰. 蚊虫对拟除虫菊酯的抗性检测技术研究进展 [J]. 寄生虫与医学昆虫学报, 2010, 17(1):55-60.
- [2] 吴志凤, 王以燕, 顾宝根. 我国卫生杀虫剂的现状与发展前景 [J]. 农药科学与管理, 2011, 32(5):16-19.
- [3] 孟凤霞, 靳建超, 陈云, 等. 我国淡色库蚊/致倦库蚊对常用化学杀虫剂的抗性 [J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2011, 22(6):517-520, 528.

- [4] Vincent L, Salgado, Joel J, et al. Studies on the mode of action of spinosad: the internal effective concentration and the concentration dependence of neural excitation [J]. Pesticide Biochemistry Physiol, 1998, 60(2):103-110.
- [5] 吴霞. 多杀菌素:以天然产物开发新农药的范例 [J]. 世界农药, 2001, 23(1):24-28.
- [6] 王彦华, 王鸣华. 多杀菌素的作用机理及其抗药性的研究进展 [J]. 农药科学与管理, 2006, 27(11):12-15.
- [7] Gary DT, Robert D, Thomas CS. Spinosad—a case study: an example from a natural products discovery programme [J]. Pest Management Sci, 2000, 56(8):696-702.
- [8] Saunders DG, Bret BL. Fate of spinosad in the environment [J]. Down Earth, 1997, 52(1):14-20.
- [9] Bahgat IM, El Kady GA, Temerak SA, et al. The natural bio-insecticide spinosad and its toxicity to combat some mosquito species in Ismailia Governorate [J]. Egypt World J Agric Sci, 2007, 3(4):396-400.
- [10] Hertlein MB, Mavrotas C, Jousseau C, et al. A review of spinosad as a natural product for larval mosquito control [J]. J Am Mosq Control Assoc, 2010, 26(1):67-87.
- [11] Cisneros J, Goulson D, Derwent LC, et al. Toxic effects of spinosad on predatory insects [J]. Biol Control, 2002, 23(2):156-163.
- [12] Vinuela E, Medina MP, Schneider M, et al. Comparison of side-effects of spinosad, tebufenozide and azadirachtin on the predators *Chrysoperla carnea* and *Podisus maculiventris* and the parasitoids *Opius concolor* and *Hyposoter didymator* under laboratory conditions [J]. Bull Iobciwprs, 2001, 24(4):25-34.
- [13] Duchet C, Larroque M, Caquet T, et al. Effects of spinosad and *Bacillus thuringiensis israelensis* on a natural population of *Daphnia pulex* in field microcosms [J]. Chemosphere, 2008, 74(1):70-77.

收稿日期:2014-01-11