

杀蟑胶饵室内药效及德国小蠊对 氟虫腈抗药性研究*

王国红^{1, 2**} 张碧尧¹ 王常禄^{2***} 王德森³

(1. 福建师范大学生命科学学院, 福州 350108; 2. Department of Entomology, Rutgers University, New Brunswick, NJ 08901; 3. 华南农业大学农学院昆虫学系, 广州 510642)

摘要 【目的】 本文通过测定杀蟑胶饵对德国小蠊 *Blattella germanica* (L.)和美洲大蠊 *Periplaneta americana* (L.)的致死效果,以及德国小蠊对杀虫剂氟虫腈的抗性,从而为胶饵选择和蟑螂的化学防治提供参考。【方法】 用饲喂法在实验室测定了7种国产杀蟑胶饵及5种美国产杀蟑胶饵或毒饵站对德国小蠊的致死效果,5种国产蟑螂胶饵对美洲大蠊的致死效果,以及对5种国产蟑螂胶饵陈化1个月对德国小蠊的致死效果。并采用点滴法测定了两个德国小蠊野外品系对氟虫腈的抗性。【结果】 7种中国产胶饵中,5种对德国小蠊抗性和非抗性品系在第7天的校正死亡率高于91%。其中韩世和克贝特对德国小蠊的药效显著慢于绿叶、宏宇洁和优士。绿叶、宏宇洁和优士对美洲大蠊在第7天的校正死亡率均高于89%。陈化1个月后的胶饵只有克贝特对蟑螂的致死率有较大降低。美国产胶饵或毒饵站对德国小蠊的致死率均大于82%。点滴法抗性测定结果显示德国小蠊的两个野外品系(Cincy, Irvington)对氟虫腈生理抗性指数分别是4.3和115.1。【结论】 不同胶饵对德国小蠊和美洲大蠊的致死效果有明显差异。尽管德国小蠊 Irvington品系对氟虫腈表现为高抗性,含0.05%氟虫腈的胶饵仍然对它有效。

关键词 抗药性, 胶饵, 杀虫剂

Efficacy of different cockroach baits against the German and American cockroach, and resistance of the German cockroach to fipronil

WANG Guo-Hong^{1, 2**} ZHANG Bi-Yao¹ WANG Chang-Lu^{2***} WANG De-Sen³

(1. Fujian Normal University, Fuzhou 350108, China; 2. Rutgers University, New Brunswick, NJ 08901, USA;
3. South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract 【Objectives】 To compare the efficacy of commonly used cockroach bait products in the U.S. and China and thereby help consumers and pest management professionals select the most effective baits for cockroach management. 【Methods】 We evaluated the efficacy of 7 common cockroach gel baits from China, and 5 cockroach gel baits, or bait stations, from the U.S., against the German cockroach (*Blattella germanica* (L.)) and the American cockroach (*Periplaneta americana* (L.)), under laboratory conditions. In addition, we conducted topical assays to evaluate the level of resistance of two field strains of the German cockroach to fipronil. 【Results】 Five of the 7 Chinese gel baits achieved $\geq 91\%$ corrected mortality of German cockroaches (both resistant and non-resistant strains) after 7 d. Hanshi and Kebeite gel baits acted much slower than Green Leaf, Hongyujie, and Youshi. The latter three products achieved $\geq 89\%$ mortality of American cockroaches after 7 d. One month old Kebeite baits produced lower mortality than fresh baits among German cockroaches. All five baits from the U.S.

*资助项目 Supported projects: 福建省科技厅引导性项目 (2015N0027); 福建师范大学教师留学回国科研启动基金 z0210553; 福建师范大学生科院项目资助 (FZSKG2018020)

**第一作者 First author, E-mail: guohongw@fjnu.edu.cn

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: changluw@rutgers.edu

收稿日期 Received: 2018-01-05, 接受日期 Accepted: 2018-09-10

caused $\geq 82\%$ mortality in German cockroaches after 7 d. The resistance ratio of the two field strains of German cockroaches to fipronil were 4.3 and 115.1, respectively. **[Conclusion]** There are significant differences in the efficacy of different baits against the German cockroach and the American cockroach. Although one strain of German cockroach showed high resistance to fipronil, two gel baits containing 0.05% fipronil still achieved 100% mortality in this strain in the laboratory.

Key words insecticide resistance, gel bait, insecticide

蟑螂(又称蜚蠊)是一类威胁人类健康的重要城市害虫,它所携带的多种细菌、病毒、霉菌及寄生虫(Rosenstreich *et al.*, 1997; Arruda *et al.*, 2001)是能够引发人产生哮喘的过敏原(Zurek and Schal, 2004; Ahmad *et al.*, 2011; Jalil *et al.*, 2012)。目前国内两种常见且危害较为严重的蟑螂是德国小蠊 *Blattella germanica* (L.)和美洲大蠊 *Periplaneta americana* (L.)。蟑螂因其适应性强、繁殖快、传播快、分布广泛、栖息地隐蔽等特点,一直是难以防治的城市害虫。

美国自 20 世纪 90 年代开始,施用杀蟑胶饵已成为防治蟑螂的主要手段,杀蟑胶饵具有安全环保、使用方便、针对性强等特点。常用胶饵有效成分有氟虫腈(Fipronil)、茚虫威(Indoxacarb)、吡虫啉(Imidacloprid)和氟蚁腓(Hydramethylnon)、呋虫胺(Dinotefuran)等。成分为吡虫啉和氟虫腈的杀蟑胶饵通过破坏害虫神经信号的传递,从而达到杀虫的目的(周明浩, 2015)。茚虫威的作用机制是阻断昆虫神经细胞内的钠离子通道,使神经细胞失去功能;氟蚁腓的杀虫机制为抑制昆虫的能量代谢,阻止能量转化,最终使蟑螂瘫痪麻痹而死亡。然而,杀蟑胶饵的长期使用,逐渐导致了蟑螂抗药性的产生。例如,蟑螂对吡虫啉、氟虫腈、阿维菌素等多种杀虫剂均已产生了不同程度的抗性(Wang *et al.*, 2004, 2006; Ko *et al.*, 2016)。

随着人们环境保护及健康意识的提高,在美国有机磷和氨基酸甲酸酯类杀虫剂已不再允许室内使用,而我国这类杀虫剂仍被允许在室内使用。本文通过测定近几年国内外常用杀蟑毒饵,特别是环保型毒饵对德国小蠊及美洲大蠊的防治效果,以及不同品系德国小蠊对氟虫腈的抗性水平,从而为杀蟑胶饵的筛选及蟑螂的化学防治

提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 试虫 本研究选用了 4 个品系的德国小蠊,分别是:Cincy(高行为抗性品系)-2003 年采于美国俄亥俄州辛辛那提(Cincinnati, Ohio, USA),已知其对部分蟑螂胶饵有高度的行为抗性(Wang *et al.*, 2004);Irvington(野外非抗性品系)-2011 年采于美国新泽西州 Irvington(Irvington, New Jersey, USA)市;Plainfield(野外非抗性品系)-2009 年采于美国新泽西州 Plainfield(Plainfield, New Jersey, USA)市;Jwax(实验室敏感品系)-室内饲养 45 年以上。美洲大蠊为实验室饲养 20 年以上的种群。所有品系均饲养在美国新泽西州立大学(罗格斯大学, Rutgers, Univ.)城市昆虫学实验室内。Cincy 品系的饲养盒内试验前每几个月不定期放入蟑螂胶饵:Maxforce(2.15% 氟蚁腓),Maxforce FC Select(0.01% 氟虫腈),Avert(0.05% 阿维菌素)胶饵以保持其已有的抗性,并增加了 Advance(0.5% 茚虫威)胶饵。各个品系饲养在 40.5 cm×28.0 cm×14.5 cm 塑料盒内,饲养盒内壁涂抹一薄层凡士林和矿物油(1:2)混合物防止蟑螂逃跑。盒中放置鼠粮(Harlan Teklad #8604, Harlan Laboratories Inc Madison, WI, USA)、花生酱、葡萄果酱(J.M Smucker CO., Orrville, OH, USA)和水作为蟑螂的食物。饲养温度为 24-26℃,相对湿度(RH)40%-50%,光照周期(L:D)12:12。

1.1.2 药剂 氟虫腈纯品(96.8%)由 Bayer Environmental Science 生产。试验的杀蟑胶饵产品有 7 种来自中国,5 种为美国市场上常见胶饵或毒饵站。见表 1。

表 1 实验用蟑螂胶饵
Table 1 Cockroach baits used in the experiments

产品 Products name	有效成分 Active ingredients	生产商 Manufacturer
拜灭士杀蟑胶饵 Premise killing cockroach bait	2.15%吡虫啉 2.15% Imidacloprid	拜耳有限责任公司 Bayer Co., Ltd.
老管家杀蟑胶饵 Laoguanjia killing cockroach bait	2.1%吡虫啉 2.1% Imidacloprid	浙江迪乐化学有限公司 Zhejiang Dile Chemical Co., Ltd.
绿叶杀蟑胶饵 Green leaf cockroach killing cockroach bait	0.05%氟虫腈 0.05% Fipronil	北京绿叶世纪日化有限公司 Beijing Green Leaf Century Chemical Co., Ltd.
韩世杀蟑胶饵 Hanshi cockroach killing cockroach bait	2% 氟蚁脍 2% Hydramethylnon	韩国韩世药品公司 Korea Hanshi Pharmaceutical Company
宏宇洁杀蟑胶饵 Hongyujie killing cockroach bait	2.1% 吡虫啉 2.1% Imidacloprid	北京宏宇广清生物有限公司 Beijing Hongyu Guangqing Biological Co., Ltd.
优士杀蟑胶饵 Youshi killing cockroach bait	0.05% 氟虫腈 0.05% Fipronil	江苏扬农化工股份有限公司 Jiangsu Yangnong Chemical Co., Ltd.
克贝特杀蟑胶饵 Kebeite killing cockroach bait	2% 氟蚁脍 2% Hydramethylnon	韩国国宝药业有限公司 Korea Guobao Pharmaceutical Co., Ltd.
Hot shot maxattrax roach bait	0.5% 毒死蜱 0.5% Chlorpyrifos	Spectrum Group, St. Louis, MO., USA
Hot shot ultra clear roach ant gel	0.05% 呋虫胺 0.05% Dinotefuran	Spectrum Group, St. Louis, MO., USA
Combat source kill max roach	0.01% 氟虫腈 0.01% Fipronil	Combat Insect Control Systems, Scottsdale, AZ., USA
Advion cockroach gel	0.6% 茚虫威 0.6% Indoxacarb	Syngenta Crop Protection, Greensboro, NC., USA
Combat roach killing bait strips	0.01% 氟虫腈 0.01% Fipronil	Combat Insect Control Systems, Scottsdale, AZ., USA

1.2 方法

1.2.1 7 种中国杀蟑胶饵和 5 种美国杀蟑胶饵或毒饵站对德国小蠊非抗性品系的致死效果 试验前一天在每一个塑料盒 (18.7 cm×13.3 cm×9.5 cm) 内放入 10 只 Plainfield 品系德国小蠊 3-5 龄期若虫和 10 只雄成虫。盒子内壁上半部涂抹一层凡士林和矿物油 (1:2) 混合物防止蟑螂逃跑。每个盒子内有一硬质板折叠成帐篷状供蟑螂隐藏, 并提供鼠粮和水。1 d 后, 将约 0.5 g 胶饵放在一直径 2.5 cm 塑料盖上并置于各个蟑螂饲养盒中, 对照组只提供鼠粮和水, 每个处理重复 3 次。每天定时记录蟑螂死亡数至 14 d。试验在 24-26 ℃, 光照周期 (L:D) 12:12 h 下进行。

1.2.2 5 种中国杀蟑胶饵陈化 1 个月对德国小蠊非抗性品系的致死效果 本试验采用了前一试验中对德国小蠊效果最好的 5 种胶饵 (克贝

特、韩世、宏宇洁、优士和绿叶), 进一步测试陈化后对其杀虫效果的影响。先将 5 种中国胶饵陈化, 方法是将约 0.5 g 胶饵放在一塑料盖上, 然后在实验室内 (温度 24-26 ℃, 相对湿度 40-50%, 光照周期 (L:D=12:12)) 放置在蟑螂饲养盒中, 陈化一个月后, 用与 1.2.1 一致的方法测试对德国小蠊的致死效果。

1.2.3 5 种中国杀蟑胶饵对德国小蠊抗性品系的致死效果 本试验采用了前一试验中 (1.2.1) 对德国小蠊效果最好的 5 种胶饵 (克贝特、韩世、宏宇洁、优士和绿叶), 进一步测试它们对抗性品系 (Cincy) 的致死效果。试验前一天在每一个塑料盒 (18.7 cm×13.3 cm×9.5 cm) 内放入 10 只 Cincy 品系德国小蠊 3-5 龄期若虫和 10 只雄成虫。其余与方法 1.2.1 一致。

1.2.4 5 种中国杀蟑胶饵对美洲大蠊致死效果 本试验采用了 1.2.1 试验中对德国小蠊效果最好

的 5 种胶饵(克贝特、韩世、宏宇洁、优士和绿叶),试验前 1 d 在每一个塑料盒(18.7 cm×13.3 cm×9.5 cm)内放入 10 只美洲大蠊 3-5 龄若虫和 5 只雄成虫。其余与方法 1.2.1 一致。

1.2.5 德国小蠊对氟虫腈杀虫剂抗性测定 试验前 1 d 将 Irvington 和 Cincy 品系德国小蠊雄成虫从饲养盒中挑出,放置于塑料盒(18.7 cm×13.3 cm×9.5 cm)内,提供鼠粮和水。用丙酮将氟虫腈稀释为不同梯度浓度,应用于 Irvington 品系测定的氟虫腈浓度为 100, 150, 225, 337, 506 mg·kg⁻¹; Cincy 品系测定用的氟虫腈浓度为 1.24, 3.72, 11.11, 33.33, 100 mg·kg⁻¹。Jwax 品系测定用的氟虫腈浓度为 1, 1.5, 2, 2.5, 4 mg·kg⁻¹。点滴前用二氧化碳将德国小蠊短暂熏倒,用手动微量注射器(Burkard Manufacturing Co. Ltd., Rickmansworth, Hertfordshire, United Kingdom)将 1 μL 药剂滴于德国小蠊第 1-2 腹节腹面,每个品系所选药剂稀释成 5 个浓度,每个浓度 3 次重复,每个重复 10 只德国小蠊,对照组德国小蠊用丙酮处理。处理后的德国小蠊置于培养皿(直径为 9 cm,高 2.5 cm)中,供给鼠粮及水,在处理 24, 48, 72 h 分别记录蟑螂死亡率。

1.2.6 数据分析 死亡率均采用校正死亡率,公式为如下所示校正死亡率(%)=[(处理组死

亡率-对照组死亡率)/(1-对照组死亡率)]×100。采用 SPSS22.0 进行单因素方差(ANOVA)分析来比较不同处理间的差异显著性,并用 Duncan's 进行多重比较, $P < 0.05$ 表示差异显著。半致死浓度 LC₅₀ 及其 95%置信区间采用寇氏法测定(Hamilton *et al.*, 1977)。并采用线性回归分析药剂浓度和毒性效应的关系,用相关系数 R^2 来表示相关程度,抗药性比(RR):野外品系半数致死剂量(LC₅₀)/敏感品系半数致死剂量(LC₅₀),抗药性比分级程度(Kim *et al.*, 1999):低抗药性为抗药性比 2-10 倍;中抗药性为抗药性比 10-40 倍;高抗性为抗药性比 40-160 倍;严重抗性为抗药性比超过 160 倍以上。

2 结果与分析

2.1 不同胶饵对德国小蠊和美洲大蠊致死效果

2.1.1 7 种中国杀蟑胶饵和 5 种美国杀蟑胶饵或毒饵站对德国小蠊非抗性品系的致死效果 7 种中国产胶饵对德国小蠊的致死效果有明显差异($F = 77.9$; $df = 6, 21$; $P < 0.001$),所有胶饵的致死率在 7 d 后稳定。其中 5 种对德国小蠊的致死率 > 91%。老管家胶饵是对德国小蠊致死率最低的产品,14 d 后致死率为 26%,显著低于其余 6 种胶饵(图 1)。拜灭士在 14 d 的致死率为 78%,

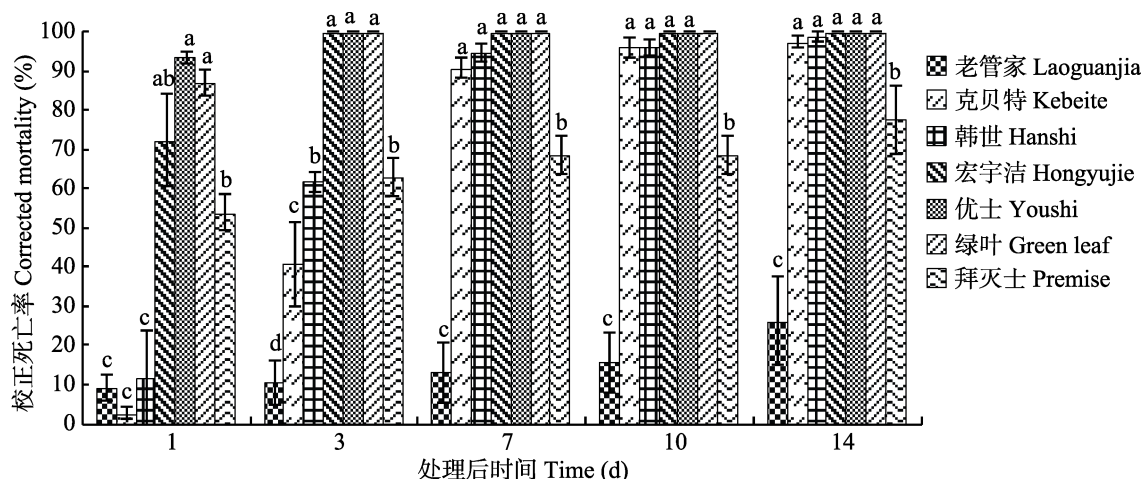


图 1 7 种中国杀蟑胶饵对非抗性(Plainfield)品系德国小蠊致死率

Fig. 1 Efficacy of seven Chinese cockroach gel bait products against a non-resistant (Plainfield) strain of *Blattella germanica*

柱上标有不同小写字母表示同一时间不同胶饵之间存在显著差异($P < 0.05$)。下图同。

Histograms with different letters at each observation period indicate significant difference among gel baits ($P < 0.05$). The same below.

显著高于老管家,但低于其它 5 种胶饵。在 5 种最有效的胶饵中,14 d 的校正死亡率>95%。克贝特和韩世的致死速度显著低于宏宇洁、优士、和绿叶 ($F=25.8$; $df=6, 21$; $P<0.001$)。

用 5 种美国杀蟑毒饵处理 3 d 后德国小蠊的死亡率均为 75%以上。处理 7 d 后,所有胶饵对德国小蠊的致死率逐渐趋于稳定,而 Ultra Clear Roach Ant Gel 对德国小蠊的杀灭效果明显低于

其它产品 ($F=11.2$; $df=4, 15$; $P<0.001$) (图 2)。

2.1.2 5 种中国杀蟑胶饵陈化 1 个月后对德国小蠊非抗性品系的致死效果 处理 7 d 后所有胶饵致死率稳定,克贝特所造成的蟑螂死亡率为 $73\% \pm 7\%$,显著低于宏宇洁、优士、绿叶和韩世 ($F=8.5$; $df=4, 13$; $P=0.001$) (图 3)。与新鲜胶饵相比 (图 1),只有克贝特对蟑螂的致死率有较大降低。

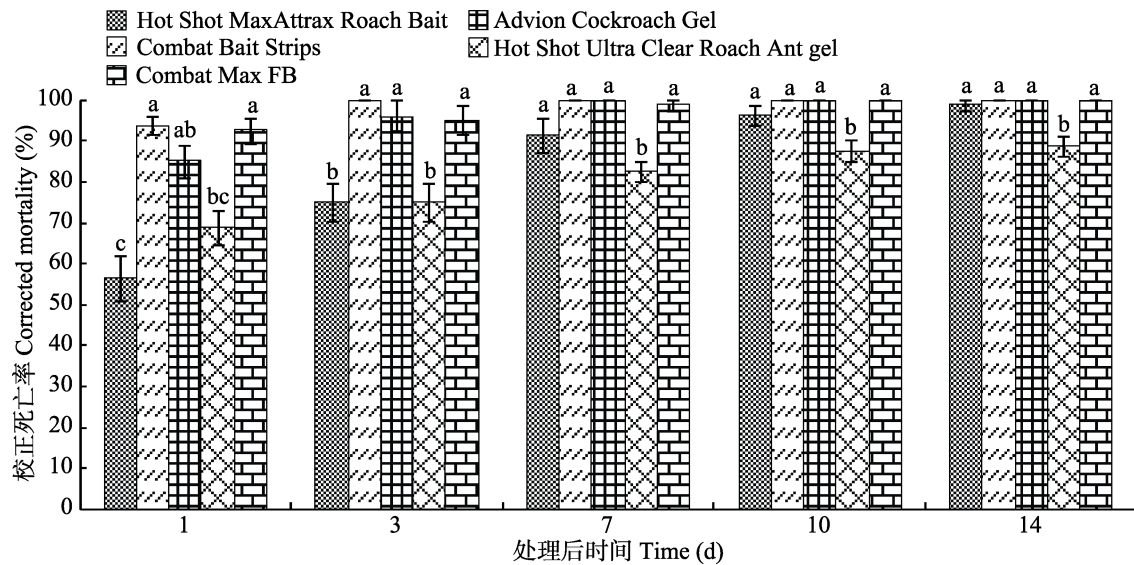


图 2 5 种美国市场毒饵对德国小蠊非抗性品系 (Plainfield) 的致死率

Fig. 2 Efficacy of five cockroach baits in the U.S. market against a non-resistant (Plainfield) strain of *Blattella germanica*

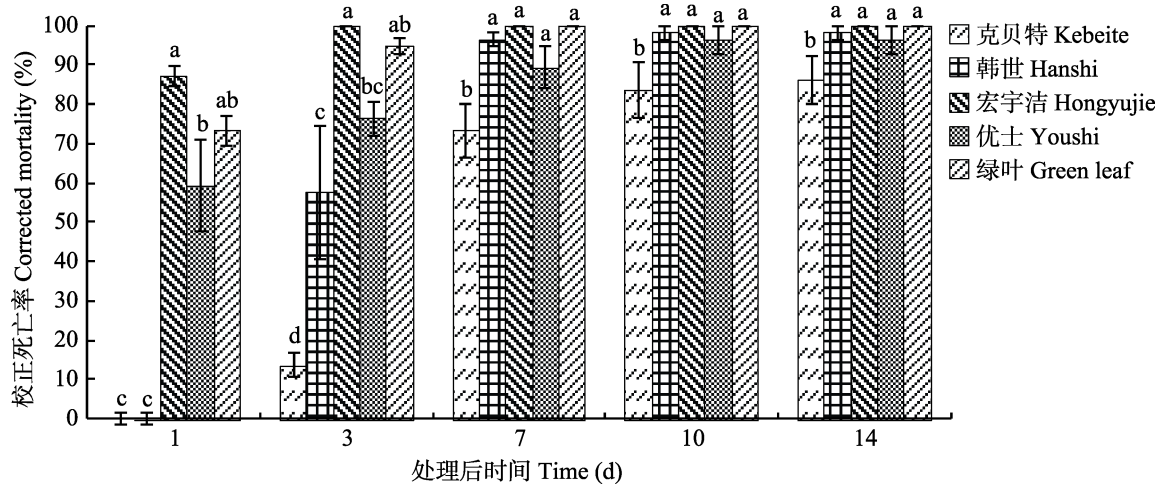


图 3 5 种中国杀蟑胶饵陈化 1 个月后对德国小蠊非抗性品系的致死率

Fig. 3 Efficacy of five 1-month-aged age gel baits against a non-resistant (Plainfield) strain of *Blattella germanica*

2.1.3 5 种中国杀蟑胶饵对德国小蠊抗性品系的致死效果 克贝特对德国小蠊作用速度较慢,3 d 后致死率为 44%,显著低于其余 4 种胶饵 ($F=$

29.8 ; $df=4, 15$; $P<0.001$)。7 d 后所有胶饵致死率稳定,所有胶饵对德国小蠊的致死率均达到 90%以上 (图 4),但克贝特致死率仍显著低于除

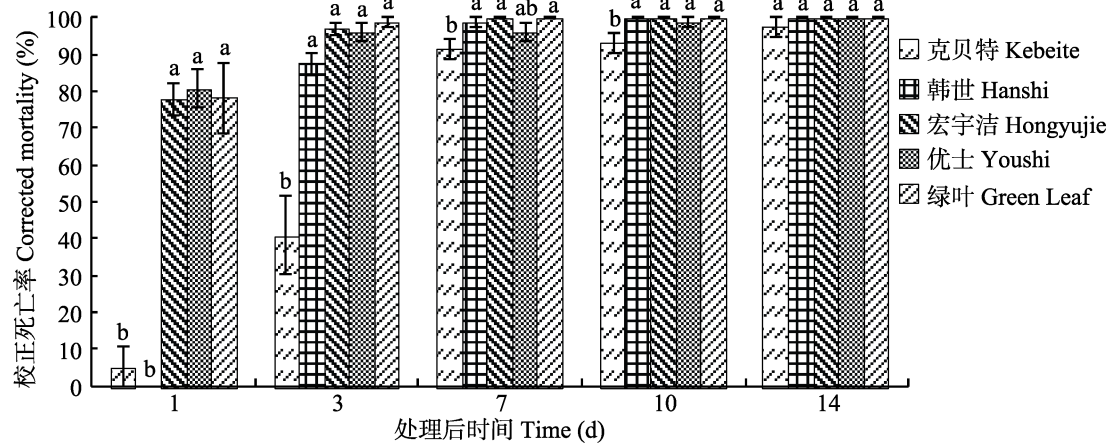


图 4 5 种中国杀蟑胶饵对德国小蠊抗性品系的致死率

Fig. 4 Efficacy of five Chinese cockroach gel bait products against a resistant (Cincy) strain of *Blattella germanica*

优士外其余 3 种胶饵 ($F=3.8$; $df=4, 15$; $P=0.026$)。14 d 后 5 种处理间无显著差异 ($F=1$; $df=4, 15$; $P=0.438$)。

2.1.4 5 种中国杀蟑胶饵对美洲大蠊致死效果
施药第 1 天, 5 种胶饵对美洲大蠊的致死率 < 30%。韩世和克贝特是对美洲大蠊致死率最低的胶饵, 14 d 后致死率分别为 $39\% \pm 7\%$ 和 $51\% \pm 3\%$, 显著低于其余 3 种胶饵 ($F=53.9$; $df=4, 15$; $P<0.001$) (图 5)。

2.2 德国小蠊对氟虫腈杀虫剂抗性测定

用点滴法测定德国小蠊对氟虫腈的抗药性, 第 3 天死亡率稳定, 因此采用第 3 天数据计算抗性比。结果表明, Cincy 品系对氟虫腈的抗性指

数达到 4.3, 属于低水平抗性; Irvington 品系对氟虫腈的抗性指数为 115.1, 达到高等水平抗性 (表 2)。

3 讨论

本实验测定了杀蟑胶饵或毒饵站对蟑螂致死率和生理抗性, 结果表明, 1) 同样成分 (2.1%-2.15% 吡虫啉), 但不同配方的杀蟑胶饵对德国小蠊的毒杀效果会有明显差异。2) 毒饵对生理抗性高的德国小蠊仍然有效, 表明高的生理抗药性并不一定会导致产品失效。3) 陈化 1 个月的中国胶饵除克贝特外对德国小蠊的致死效果没有明显下降。表明这些胶饵对蟑螂有较长

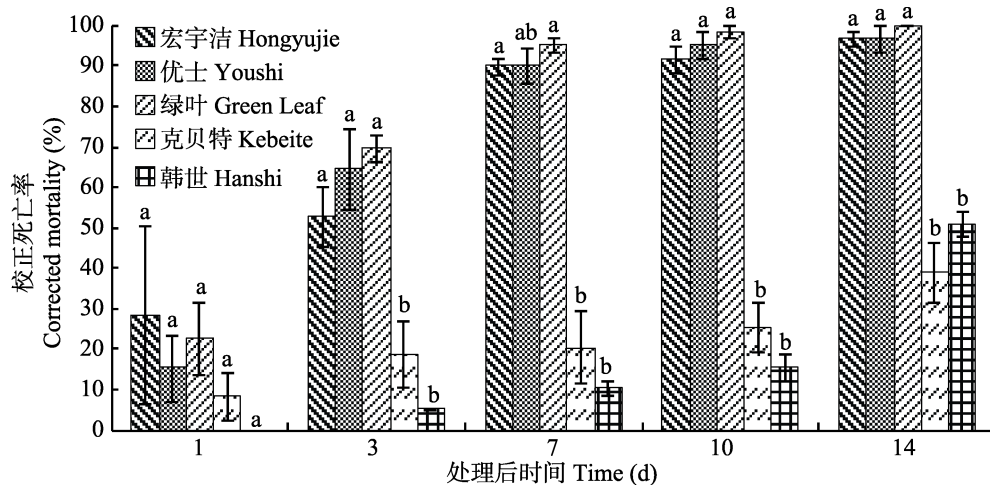


图 5 5 种中国杀蟑胶饵对美洲大蠊的致死率

Fig. 5 Efficacy of five cockroach gel bait products against *Periplaneta americana*

表 2 3 种德国小蠊品系对氟虫腈的抗性检测
Table 2 Susceptibility of three strains of *Blattella germanica* to topically applied fipronil

品系 Strain	时间 Time (d)	LC ₅₀ (mg·kg ⁻¹) 95% CL	毒力回归式 Toxicity regression equation	相关系数 (R ²) Correlation coefficient	抗药性比 (RR) Resistance ratio
Jwax	1	1.9 (1.64-2.21)	y=19.19x+2.41	0.89	
	2	1.13 (0.99-1.30)	y=13.52x+42.03	0.75	
	3	0.98 (0.86-1.11)	y=18.60x+42.70	0.87	
Irvington	1	330.56 (278.80-391.93)	y=0.13x-5.01	0.99	173.8
	2	183.62 (151.62-222.36)	y=0.44x+21.93	0.99	161.3
	3	112.87 (98.80-131.62)	y=0.11x+54.99	0.60	115.1
Cincy	1	25.03 (18.97-33.03)	y=0.87x+9.13	0.79	13.2
	2	15.59 (12.02-20.21)	y=0.90x+16.93	0.68	13.7
	3	4.20 (2.96-5.93)	y=0.53x+52.02	0.57	4.3

致死效应。4) 中国产的杀蟑胶饵中, 宏宇洁、优士和绿叶对德国小蠊和美洲大蠊均有很好的杀灭效果。5) 有效成分为氟蚁腈的毒饵对德国小蠊有效果, 但明显慢于其他毒饵, 而对美洲大蠊防治效果较低。

胶饵或毒饵站致死作用和有效成分及饵料配方有关。美国产 5 种胶饵或毒饵站对 Plainfield 品系的德国小蠊均达高水平致死率, 其中, 含 0.01 % 氟虫腈的 Combat Source Kill Max Roach 和 Combat Killing Roach Bait Strips 毒饵站对 Plainfield 品系的德国小蠊作用速度较快。含 2.1% 吡虫啉的拜灭士和老管家对 Plainfield 品系德国小蠊致死率低; 然而, 同样含有 2.1% 吡虫啉的宏宇洁却对 Plainfield 品系德国小蠊致死率较高。我们推测这种现象可能是由于 Plainfield 品系德国小蠊对拜灭士和老管家胶饵产生了行为抗性, 或德国小蠊不喜欢它们的食料。Silverman 和 Bieman (1993) 最早报道了蟑螂的厌食行为。Wang 等 (2004) 报道, Cincy 品系的德国小蠊对麦芽糖、葡萄糖、果糖及蔗糖有明显的拒食反应, 对于已产生行为抗性的德国小蠊, 改变杀蟑胶饵的配方能够极大提高胶饵对德国小蠊的致死效果 (Wang *et al.*, 2004)。长期使用单一成分的毒饵容易产生高的抗性。有关蟑螂对毒饵抗性机理, 以及生理和行为抗性的潜在互作关系需要进一步研究。

在 5 种中国产的杀蟑胶饵中, 宏宇洁、优士和绿叶对德国小蠊和美洲大蠊均有很好的杀灭效果; 而克贝特和韩世对德国小蠊的杀灭效果显著高于美洲大蠊, 这可能与杀蟑胶饵所含的药剂有效成分有关。克贝特和韩世对美洲大蠊较低的防治效果, 可能是因为有效成分氟蚁腈对美洲大蠊不如像对德国大蠊那样有效, 另外, 可能和美洲大蠊的食性有关。蟑螂对饵料的取食是复杂的, 不同的蟑螂具有不同的营养需求 (Bell, 2007; 李兴文等, 2013)。在本研究中, 蟑螂对毒饵的取食量未曾测定, 因此, 克贝特和韩世对美洲大蠊较低的毒杀效果, 是否也与美洲大蠊对这两种胶饵厌食有关, 需要进一步证实。对营养需求的不同会直接影响蟑螂的取食量 (Koehler and Patterson, 1991; Jones and Raubenheimer, 2001; Liang *et al.*, 2005; Raubenheimer and Jones, 2006; Wada-Katsumata *et al.*, 2013; Shik *et al.*, 2014; Jensen *et al.*, 2015), 因此, 针对不同种类的蟑螂应选用不同类型的毒饵进行防治。

抗药性的产生是化学防治蟑螂中不可避免的问题, 延缓抗药性的产生是蟑螂综合治理的重要方面。使用几种不同有效成分、不同剂型的杀虫剂轮换施药、采用非化学的方法可以减缓抗药性的发展。尽管市场上有许多高效低毒的药剂可供选择, 但是现有的胶饵毒饵站只适用于习性相似的蟑螂种类。我们的研究结果也证实了对德国

小蠊有效的胶饵对美洲大蠊致死效果较差。因此,研究能同时作用于多种蟑螂的毒饵将成为未来杀蟑胶饵发展的方向。此外,对蟑螂的治理仍将朝着低用量,目标施药及区域综合治理的方向发展。

参考文献 (References)

- Ahmad A, Ghosh A, Schal C, Zurek L, 2011. Insects in confined swine operations carry a large antibiotic resistant and potentially virulent enterococcal community. *BMC Microbiology*, 11(23): 1471–2180.
- Arruda LK, Vailes LD, Feriani VPL, Santos ABR, Pomes A, Chapman MD, 2001. Cockroach allergens and asthma. *Journal of Allergy & Clinical Immunology*, 107(3): 419–428.
- Bell WJ, Roth LM, Nalepa CA, 2007. Cockroaches: Ecology, Behavior, and Natural History. Baltimore: Johns Hopkins. 230.
- Hamilton MA, Russo RC, Thurston RV, 1977. Trimmed Spearman-Kärber method for estimating median lethal concentrations in toxicity bioassays. *Environmental Science & Technology*, 12(4): 714–719.
- Jalil N, Amir K, Hasan MKS, Mahdi M, Monireh M, Atefeh B, 2012. Cockroaches' bacterial infections in wards of hospitals, Hamedan city, west of Iran. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 2(5): 381–384.
- Jensen K, Schal C, Silverman J, 2015. Adaptive contraction of diet breadth affects sexual maturation and specific nutrient consumption in an extreme generalist omnivore. *Journal of Evolutionary Biology*, 28(4): 906–916.
- Jones SA, Raubenheimer D, 2001. Nutritional regulation in nymphs of the German cockroach, *Blattella germanica*. *Journal of Insect Physiology*, 47(10): 1169–1180.
- Kim YJ, Lee HS, Lee SW, Kim GH, Ahn YJ, 1999. Toxicity of tebufenpyrad to *Tetranychus urticae* (acari: tetranychidae) and *Amblyseius womersleyi* (acari: phytoseiidae) under laboratory and field conditions. *Journal of Economic Entomology*, 92(1): 187–192.
- Ko AE, Bieman DN, Schal C, Silverman J, 2016. Insecticide resistance and diminished secondary kill performance of bait formulations against German cockroaches (Dictyoptera: Blattellidae). *Pest Management Science*, 72(9): 1778–1784.
- Koehler PG, Patterson RS, 1991. Toxicity of hydramethylnon to laboratory and field strains of German cockroach (Orthoptera: Blattellidae). *Florida Entomologist*, 74(2): 345–349.
- LI XW, Ma T, Wang P, Wen XJ, Wang CL, 2013. Laboratory observation on feeding preferences of *Blattella germanica* and *Periplaneta americana*. *Journal of Medical Pest Control*, 29(4): 400–404. [李兴文, 马涛, 王蓬, 温秀军, 王常禄, 德国小蠊和美洲大蠊取食喜好性的实验室观察. 医学动物防制, 29(4): 400–404.]
- Liang DS, Lee CY, Robinson WH, 2005. Performance of cockroach gel baits against susceptible and bait averse strains of German cockroach, *Blattella germanica* (Dictyoptera: Blattellidae) - role of bait base and active ingredient// Fifth International Conference on Urban Pests. Singapore, 11–13 July 2005. 107–114.
- Raubenheimer D, Jones SA, 2006. Nutritional imbalance in an extreme generalist omnivore: tolerance and recovery through complementary food selection. *Animal Behaviour*, 71(6): 1253–1262.
- Rosenstreich DL, Eggleston P, Kattan M, Baker D, Slavin RG, Gergen P, Mitchell H, McNiff-Mortimer K, Lynn H, Ownby D, Malveaux F, 1997. The role of cockroach allergy and exposure to cockroach allergen in causing morbidity among inner-city children with asthma. *The New England Journal of Medicine*, 336(19): 1356–1363.
- Shik JZ, Schal C, Silverman J, 2014. Diet specialization in an extreme omnivore: nutritional regulation in glucose-averse German cockroaches. *Journal of Economic Entomology*, 50(27): 2096–2105.
- Silverman J, Bieman DN, 1993. Glucose aversion in the German cockroach, *Blattella germanica*. *Journal of Insect Physiology*, 39(11): 925–933.
- Silverman J, Ross MH, 1994. Behavioral resistance of field-collected German cockroaches (Blattodea: Blattellidae) to baits containing glucose. *Environmental Entomology*, 23(2): 425–430.
- Wada-Katsumata A, Silverman J, Schal C, 2013. Changes in taste neurons support the emergence of an adaptive behavior in cockroaches. *Science*, 340(6135): 972–975.
- Wang C, Michael E, Scharf, Gary W, 2004. Behavioral and physiological resistance of the German cockroach to gel baits (Blattodea: Blattellidae). *Journal of Economic Entomology*, 97(6): 2067–2072.
- Wang C, Scharf ME, Bennett GW, 2006. Genetic basis for resistance to gel baits, fipronil, and sugar-based attractants in German cockroaches (Dictyoptera: Blattellidae). *Journal of Economic Entomology*, 99(5): 1761–1767.
- Zhou MH, 2015. Chemical control of cockroaches and case studies on their efficacy. *Chinese Journal of Hygienic Insecticides & Equipments*, 21(3): 217–222. [周明浩, 2015. 蟑螂的化学防治和效果评估实例. 中华卫生杀虫药械, 21(3): 217–222.]
- Zurek L, Schal C, 2004. Evaluation of the German cockroach (*Blattella germanica*) as a vector for verotoxigenic *Escherichia coli* F18 in confined swine production. *Veterinary Microbiology*, 101(4): 263–267.