·综　述·

昆虫化学生态学在卫生害虫防治中的应用

郝蕙玲

海军军医大学海军医学研究所，上海 200433

摘要：昆虫化学生态是化学生态学的重要组成部分，不仅在理论研究上意义重大，而且已广泛应用于农林虫害防治实践，并发挥重要作用。与人类健康密切相关的卫生害虫在长期进化过程中选择了有别于植食性害虫的化学生态模式，在形态、行为及代谢、生殖等方面与外界环境产生了良好的适应性。其中，昆虫信息素、植物源功能性化合物，以及基于产卵场所需求、食物能量需求等多种环境信号因子，在其生命活动中发挥重要信号引导作用。该文就化学生态学在蚊、蝇、蜚蠊等重要卫生害虫防治中的应用进展进行综述，同时对其发展趋势提出一些观点与对策。

关键词：昆虫化学生态学；卫生害虫

中图分类号：S186　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1003-8280（2018）03-0313-04

DOI：10.11853/j.issn.1003.8280.2018.03.026

Application of insect chemical ecology on the prevention and control of public health pests

HAO Hui-ling

Naval Medical Research Institute of Naval Military Medical University, Shanghai 200433, China

Supported by the Key Programs of Military Medicine（No. AWS15J006）

Abstract: Insect chemical ecology is an important part of chemical ecology, it is not only significant in terms of theoretical research, but also play an important role in agricultural and forestry pest management. Public health pests, which closely related to human health have developed some special chemical ecological patterns that is different from phytophagous insects, they are adaptive to the complex environment in some ways such as morphology, behavior, metabolism, and reproduction. Pheromone, functional botanical compounds, and some environmental factors as signals are indispensable for the oviposition or feeding of insects. This paper presents a review about the application of insect chemical ecology on the prevention and control of mosquitoes, flies, and cockroaches. Some viewpoints and countermeasures are put forwarded too.

Key words: Insect chemical ecology; Public health pests

化学生态学（chemical ecology）是研究生物间化学联系及其机制的学科，是生态学领域最为活跃的分支学科之一[1]，化学生态学的理论基础是生物进化论及生态学，研究范围包括植物、动物、微生物和人[2]。虽然化学生态研究范围很广，但近年来研究最活跃的内容集中在昆虫化学生态学（insect chemical ecology）[3]，以昆虫为研究对象，研究昆虫与昆虫、昆虫与植物、昆虫与其他生物及昆虫与环境之间化学联系规律的科学。研究内容主要有昆虫信息素、信息物质的来源和功能、昆虫与植物的相互关系，化学感受机制、植物诱导的抗性机制、植物化感作用及植物-害虫-天敌三级营养关系等，同时还包括化学生态学的研究方法和技术，而与人类健康密切相关的卫生害虫，在长期进化过程中选择了有别于植食性害虫的化学生态模式，在形态、行为及代谢、生殖等方面与外界环境产生了良好的适应性。其中，昆虫信息素、植物源功能性化合物和其他基于产卵场所需求、食物能量需求等众多的环境信号因子，在其生命活动中发挥重要信号引导作用。该文通过化学生态在卫生害虫防治中的应用进行综述，并对其未来发展趋势提出一些观点，供同行参考。

1　昆虫信息素

昆虫信息素（pheromones）指同种昆虫个体间在产卵、求偶、栖息、觅食、自卫等过程中用于传达信息的一类化学物质的总称，包括性信息素、聚集信息素、产卵信息素、报警信息素和示踪信息素等。首次被分离鉴定出的昆虫信息素是家蚕性信息素——蚕蛾醇，其概念也由此产生，昆虫化学生态研究进入一个新的发展阶段，成为化学生态学研究领域的重要组成部分。昆虫信息素不仅在化学结构上差异较大，其作用与功能也不尽相同。据统计，目前已分离提纯并完成结构鉴定的信息素及类似物达2 000多种，其中已合成1 000多种，但商品化应用的仅400多种[4]。

1.1　*性信息素*　性信息素是昆虫信息素研究中最为活跃也是最重要的部分，其理论基础和技术方法也极大地推动了整

基金项目：军事医学重点项目（AWS15J006）

作者简介：郝蕙玲，女，研究员，主要从事媒介生物防制工作，Email：haohuiling@hotmail.com

网络出版时间：2018-04-11　14：12　　**网络出版地址**：http://epub.cnki.net/kns/oldnavi/n_CNKIPub.aspx?naviid=59&BaseID=ZMSK&NaviLink=

个化学生态学学科的发展与进步。目前,我国人工合成的昆虫性信息素＞50种,特别是性诱剂已广泛应用于虫情监测、害虫诱捕、交配干扰、害虫检疫和分类鉴定等多个方面,其中性引诱剂技术在较多重要害虫的防治中已常规化应用[5]。

性信息素在卫生害虫领域应用较少,目前开发较成功的有诱虫烯(muscalure),化学名称为顺-9-二十三碳烯,由美国Carlson等[6]从雌性家蝇(*Musca domestica*)的表皮和粪便等类脂物中分离、鉴定的引诱活性成分,瑞士山道士公司(Sandoz AG)生产。理论上诱虫烯仅对雄蝇具有引诱性,但现场试验显示其对雌、雄两性均有引诱作用,可能因雄性在触及诱虫烯时释放的交配性信息素引诱附近未交配的雌蝇聚集。诱虫烯与杀虫剂混配的灭蝇毒饵,经实验室、模拟现场和现场灭蝇证明对家蝇具有很好的诱杀作用[7],但该种引诱性仅对性成熟期的家蝇有作用,对性未成熟或已过交配期的家蝇则有一定的驱避作用[8],但家蝇信息素单独存在时则无直接引诱作用,需与白糖复配才具明显的引诱性[7]。目前,诱虫烯已广泛用于粘蝇纸、粘蝇带和灭蝇毒饵中。

在蜚蠊信息素研究方面,发现美洲大蠊(*Periplaneta americana*)雌虫至少含有2种性信息素,即蜚蠊酮-A和蜚蠊酮-B,提出蜚蠊酮-B的结构,并证实其对美洲大蠊雄虫的活性最高,在10^{-16} g用量下,雄虫可产生反应;同时该物质对德国小蠊(*Blattella germanica*)也有一定的活性,对日本大蠊(*P. japonica*)和东方蜚蠊(*Blatta orientalis*)活性较低;但对澳洲大蠊(*P. australasiae*)和黑胸大蠊(*P. fuliginosa*)则无活性[9]。上海复江生物技术有限公司合成的AB型蜚蠊引诱剂,对美洲大蠊和德国小蠊具有良好的引诱效果,对美洲大蠊及德国小蠊的诱食量平均高于对照组的113.15%和80.71%[10]。

在蚊虫信息素研究方面,部分雄蚊对宿主气味也会产生行为反应,并在宿主附近与雌蚊交配,但宿主周围往往有其他种类雌蚊,为识别同种,蚊虫会依靠被称为种间信息素的信息物质进行精确识别同种,种间信息素在白纹伊蚊(*Aedes albopictus*)、埃及伊蚊(*Ae. aegypti*)和脉毛蚊(*Culiseta inornata*)的相关研究中已有报道[11-12],但还未在实践中应用。

1.2 *产卵信息素* 研究发现,大多数昆虫有聚集产卵的习性,引导该习性的是一些特殊的化学物质或昆虫自身所产生的信息素。如蚊虫可产生一种信息物质诱导其他雌蚊聚集产卵,按照其作用方式和作用结果,可分为诱卵信息素(oviposition attractant pheromone)和产卵刺激素(oviposition stimulant),前者可引导雌蚊在适宜的产卵场所,主要为赤式6-乙酰氧基-5-十六碳的内酯;后者主要作用是刺激雌蚊产卵。关于蚊虫产卵信息素研究张金桐等[13]进行过综述。

1.3 *聚集信息素* 在20世纪60年代Ishii和Kuwahara[14]发现德国小蠊若虫的聚集依赖于其体表和粪便中含有的化学物质,该化学成分使不同龄期德国小蠊产生聚集现象。依据该生物习性,将聚集信息物质用于诱杀剂的开发研究,在很长时间内得到重视。但目前德国小蠊聚集信息素的实验研究与现场应用还有一定差距,主要因聚集信息素组分尚未完全解码。一方面,德国小蠊聚集信息素成分复杂,目前所提取的几种组分生物活性均明显低于混合物,说明不同组分间可能存在协调作用,且不同提取方法得到的组分不同,其生物活性也相差甚远。另一方面,有研究表明聚集信息素组分中存在一些易挥发的小分子物质如羧酸类、活性胺等,而目前的收集方法难以捕捉和保存这些物质。目前,已鉴定并证实具有活性的物质大多还未人工合成,高效的人工合成物较少。有关德国小蠊聚集信息素的研究进展已有韩秀华等[15]和邱文毅等[16]作过较为全面的综述。

2 种间信息化学物质(种间素)

昆虫除同种个体间通过信息物质传递信号外,在不同种昆虫间和昆虫与其他生物之间也存在传递信息的化学媒介,即种间信息化学物质(种间素),主要有利己素、利他素和协同素等。目前研究最多的是植物源功能性物质的开发利用,而对于吸血性昆虫则集中在宿主气味性物质的研究与模拟。

2.1 *植物源功能性化合物* 植物源功能性化合物是植物释放的挥发性次生代谢产物,分子质量一般在100～200之间,包括烃、醇、醛、酮、酯和有机酸等。每种植物挥发的次生代谢产物会以一定比例形成该物种所特有的化学指纹图谱。在长期协同进化过程中,植物通过次生代谢途径产生的这类物质可以抵御病虫侵害,也可抑制周围其他物种的生长,从而使自身在竞争过程中处于有利生态地位[17]。

2.1.1 引诱剂 植物的汁液、花蜜是雄蚊的主要能量来源,而雌蚊在取食血液前需摄取糖分才能满足飞行、交配、搜寻宿主等生命活动的能量需求。蚊虫所摄取的糖分主要来源于植物的花、茎或叶,或同翅目昆虫分泌的蜜露,但优先选择花卉中的糖分,蚊虫只有花期植物少或植物未开花,糖资源缺乏时摄食茎或叶中的糖分[18-22]。蚊虫对糖分的获取有赖于开花植物释放的挥发性物质的吸引,现有研究表明,能吸引蚊虫的香气物质主要是单萜和二萜类化合物[23],一些倍半萜、多萜类、绿叶挥发物均对尖音库蚊(*Culex pipiens pipiens*)有引诱作用[24]。蚊虫对该类化学信号因子的依赖是在长期进化过程中对外界环境作出的行为适应。

对蚊虫具引诱性的植物有滇刺枣(*Ziziphus mauritiana*)、金合欢(*Acacia saligna*)、微白金合欢(*A. albida*)、阿拉伯金合欢(*A. nilotica*)、拉登金合欢(*A. raddiana*)、银胶菊(*Parthenium hysterophorus*)、尼罗河柽柳(*Tamarix nilotica*)、黄钟花(*Tecoma stans*)、番泻叶(*Senna didymobotrya*)、长尾草(*Ochradenus baccatus*)、蓖麻(*Ricinus communis*)、柽柳属(*Tamarix*)植物、蓼属(*Polygonum*)植物、阿拉伯刺槐(*Cacia acrostachya*)、阿拉伯胶树(*Acacia senegal*)、夹竹桃(*Leptadenia pyrotechnica*)、沙枣(*Elaeagnus angustifolia*)、非洲楝(*Guiera senegalensis*)、长角豆(*Ceratonia siliqua*)和猪屎豆属(*Crotalaria*)植物、穗花牧荆(*Vitex agnuscastus*)、牡豆(*Prosopis farcta*)、金露花(*Duranta erecta*)、长穗木(*Stachytarpheta urticifolia*)和铁刀木(*Senna siamea*)等20多种[25]。通过电生理活性和行为反应研究,已鉴定出具引诱性功能的化合物有苯乙酮、芳樟醇氧化物、苯乙醛、苯乙醇、(Z)-乙酸-3-己烯酯、苯甲醛、(E)-2-壬烯醛、己醛、β-蒎烯、柠檬烯和β-罗勒烯等[26-27]。关于植物挥发性物质防治蚊虫的研究虽然少见,特别是目前尚无实际应用先例,但Nyasembe和Torto[28]2014年野外试验发现,将蒎烯、罗勒烯等制成气味引诱剂在野外条件下使用,发现其对冈比亚按蚊(*Anopheles gambaie*)的引诱效果与动物源气味引诱

剂相当。

2.1.2　驱避剂　昆虫驱避剂的使用历史悠久，最早可追溯到中国古代端午节，门上悬挂多种草药以达到驱除害虫的目的，现代驱避剂的发展是从植物性制剂开始，1897年开始用香茅油涂抹在头发上防虱子，20世纪30年代初合成驱避剂逐渐得到发展，特别是广谱驱避剂DEET得到普遍应用，但随着其在毒理学方面陆续发现一些问题，如长期或大量使用会出现神经系统症状、皮肤损害、儿童过敏等，国内寻求新的化合物，特别是植物源驱避剂的开发研究已蓬勃发展。20世纪60年代我国科学工作者深入调查研究，收集民间驱蚊植物3 300余种，对提取物进行驱蚊试验后，选出100余种有驱蚊作用的植物，主要集中在唇形花科、芳香科、木兰科、菊科、樟科、天南星科、北五味子科、蝶形花科、浮萍科、香梅科、马鞭草科、粟兰科、楝科和柏科等，对驱避剂的发展贡献巨大。有关植物源驱避剂在蚊虫防治中的应用见2008年郝蕙玲[29]报道。

相对于蚊虫，蜚蠊驱避剂相关研究相对较少，但已发现多种植物对蜚蠊具有驱避活性，而近年来对提取纯化单体化合物的研究也有报道，如2002年Peterson等[30]对荆芥内酯在德国小蠊的驱避活性进行了研究，在80 μg/cm^{2}的剂量浓度下，E,Z-荆芥内酯驱避率可达79.40%。林永丽等[31]研究香叶醇、芳樟醇、柠檬醛和茴香醛对德国小蠊成虫的驱避性，并与常用驱避剂DEET进行比较显示，所有参试化合物的驱避活性均优于DEET。驱避剂在蜚蠊防治中的研究已有较为全面的综述[32]。

2.2　*宿主气味性化合物*　人体及其他动物宿主通过呼吸和皮肤代谢不断向周围环境释放化学物质，为吸血性昆虫定位宿主和完成吸血提供了重要信号。近年来，医学昆虫特别是蚊虫控制工作者广泛关注代谢物对昆虫的引诱机制。目前研究较多的主要为二氧化碳、乳酸、氨、1辛烯-3-醇等化合物，有关宿主气味性物质对蚊虫的引诱效果研究已有较为全面的综述[33-34]。

3　环境信号因子

环境信号因子与昆虫行为间的关系是重要的科研领域，特别是基于产卵场所需求、食物能量需求的引诱性化学物质研究方兴未艾，开发的诱食毒饵、诱卵器等得到广泛应用。

在自然环境中，影响蚊虫聚集产卵习性因素有颜色、照度、水质、特殊化学气味等，通常水中无机物的影响较微弱或不确定。有研究发现，水体中的细菌特别是假单胞菌科(Pseudomonadaceae)的代谢产物，如苯酚、3-甲基吲哚(粪臭素)、吲哚和4-乙基苯酚4-甲酚对蚊虫具有较强的引诱产卵作用，蚊虫产卵引诱因子研究已有较为全面的综述[33]。

气味物质同样是蝇类寻找配偶、食物和产卵场所时重要的环境信息物质，根据蝇类杂食性、腐蚀性特点研究麦芽浸膏、糖醋、腐鱼肚肠等物质对蝇类的引诱性，霍伟等[35]2014年已对该内容进行综述。但迄今为止尚未明确对蝇类具有引诱性的化合物单体或组合物，且不同引诱物所诱捕的蝇种单一，如糖醋液引诱的蝇类主要是家蝇和绿蝇(*Lucilia*)，两者分别占所诱蝇类总数的22.90%和57.10%，金蝇(*Chrysomya*)仅占1.40%；腐鱼主要引诱绿蝇和金蝇，两者分别为70.90%和21.40%，家蝇仅占1.20%[36]。对广谱、高效且可控性好的蝇类引诱剂进行研究仍任重道远。

迄今为止，在蜚蠊防治实践中，基于糖类与食物引诱剂的毒杀技术仍是最为重要和有效的防治措施。刘泉等[37]报道，德国小蠊取食糖类的频率依次为麦芽糖＞葡萄糖＞乳糖＞蔗糖＞红糖，而取食停留时间依次为葡萄糖＞麦芽糖＞乳糖＞蔗糖＞红糖，葡萄糖和麦芽糖对其引诱力明显高于其他糖类，麦芽糖的引诱效果也明显优于蜚蠊酮-B；另研究发现，炒豆粉、鼠饲料和炒玉米粉对德国小蠊均有较好的引诱效果。王晓燕等[38]报道炒大豆粉对德国小蠊具有极好的引诱效果，水果类以香蕉对德国小蠊的引诱效果最好，蔬菜类以小白菜汁效果最好。但随着该类基于糖类诱食毒饵的长期应用，蜚蠊已对果糖、葡萄糖、麦芽糖、蔗糖等糖类食物产生显著驱避性行为抗性，且该行为可遗传。糖类诱食剂的应用及新型诱食剂的开发利用应予以足够关注[39]。

4　展　望

昆虫化学生态学已由昆虫与环境的关系描述向多学科渗透发展。特别是昆虫生理学、昆虫行为学以及现代生物技术手段与昆虫化学生态学相结合，研究范围向微观和宏观展开。一方面，昆虫化学生态学将通过分子水平研究，探讨昆虫行为机制及进化过程，如化学感受机制研究，不仅可以阐明昆虫产卵、求偶、取食、忌避的生化和分子机制，还可用于解释昆虫行为模式、生殖隔离现象等复杂的生态机制。依据昆虫化学感受蛋白家族中不同成员的生理功能及其结构，有可能开发出以该家族成员为靶标的昆虫行为干扰因子，通过调控其行为从而干扰其正常生理活动，最终达到防治害虫目的；而根据化学感受机制研究所揭示的规律，还可设计相应基因靶标的干扰因子进行害虫防治。另一方面，通过“3S”技术，在综合分析地理、气象和害虫种群动态信息的基础上，分析研究地理分布特征、确定时空分布模式的影响因素，通过研究昆虫种群数量的时空动态，探讨种群调节机制和种群生态遗传及进行时空动态监测与危害评估等均将是研究热点。

传统化学生态学及其成果应用依然有很大潜力。昆虫信息素的应用和功能性植物次生代谢物质的研究仍是重点研究方向，如信息素生态与生物学研究(包括信息素的生态学功能与机制、信息素释放机制与合成等)、昆虫生殖生态学研究、昆虫对化学指纹图谱的识别机制、植物源引诱剂与驱避剂的研究等。此外，还需加强信息素与微生物制剂、昆虫不育剂的配合使用研究，从而进一步扩大其应用范围和防虫效果。

参考文献

[1] Vet LEM. From chemical to population ecology: infochemical use in an evolutionary context[J]. J Chem Ecol, 1999, 25(1): 31-49.

[2] 闫凤鸣. 化学生态学[M]. 2版. 北京：科学出版社，2011：438.

[3] 闫凤鸣，陈巨莲，汤清波. 昆虫化学生态学研究进展及未来展望[J]. 植物保护，2013，39(5)：9-15.

[4] 刘翠微. 昆虫信息素的发展现状与前景[J]. 农业技术与装备，2011(2)：25-26，28.

[5] 陈学新. 21世纪我国害虫生物防治研究的进展、问题与展

望[J]. 昆虫知识,2010,47(4):615-625.

[6] Carlson DA, Mayer MS, Silhacek DL, et al. Sex attractant pheromone of the house fly: isolation identification, and synthesis[J]. Science,1971,174(4004):76-78.

[7] 姜志宽,邵则信. 家蝇引诱剂及毒饵的研究进展[J]. 医学动物防制,2000,16(9):498-502.

[8] 顾健,孙汝,金峰,等. 家蝇信息素对家蝇引诱力的实验研究[J]. 中华卫生杀虫药械,2003,9(2):24-26.

[9] 黄远达. 合成蜚蠊酮-B对蜚蠊引诱活性的研究[J]. 武汉粮食工业学院学报,1990(4):28-34.

[10] 姜志宽,陈超,韩招久,等. 蟑螂引诱剂对美洲大蠊和德国小蠊引诱效果的初探[J]. 中华卫生杀虫药械,2008,14(5):339-340.

[11] Nijhout HF, Craig GBJ. Reproductive isolation in *Stegomyia* mosquitoes. Ⅲ evidence for a sexual pheromone[J]. Entomol Exp Appl,1971,14(4):399-412.

[12] Kliewer JW, Miura T, Husbands RC, et al. Sex pheromones and mating behavior of *Culiseta inornata* (Diptera: Culicidae) [J]. Ann Entomol Soc Am,1966,59(3):530-533.

[13] 张金桐,刘殉,孔杰,等. 致倦库蚊(*Culex pipiens quinquefasciatus*)引诱产卵信息素的合成及其生物活性[J]. 寄生虫与医学昆虫学报,1994,1(1):45-50.

[14] Ishii S, Kuwahara Y. An aggregation pheromone of the German cockroach, *Blattella germanica* L. (Orthoptera: Blattellidae): Ⅰ. Site of the pheromone production [J]. Appl Ent Zool,1967,2(4):203-217.

[15] 韩秀华,农向群,张泽华. 德国小蠊聚集信息素的研究进展[J]. 中国媒介生物学及控制杂志,2009,20(4):379-381.

[16] 邱文毅,钱进,何德雨,等. 德国小蠊生物诱集研究进展[J]. 旅行医学科学,2011,17(3):25-28.

[17] 孔垂华. 21世纪植物化学生态学前沿领域[J]. 应用生态学报,2002,13(3):349-353.

[18] Müller GC, Xue RD, Schlein Y. Differential attraction of *Aedes albopictus* in the field to flowers, fruits and honeydew[J]. Acta Trop,2011,118(1):45-49.

[19] Andersson IH, Jaenson TGT. Nectar feeding by mosquitoes in Sweden, with special reference to *Culex pipiens* and *Cx. torrentium* [J]. Med Vet Entomol,1987,1(1):59-64.

[20] Nasci RS, Edman JD. *Culiseta melanura* (Diptera: Culicidae): population structure and nectar feeding in a freshwater swamp and surrounding areas in southeastern Massachusetts, USA[J]. J Med Entomol,1984,21(5):567-572.

[21] Holliday-Hanson ML, Yuval B, Washino RK. Energetics and sugar-feeding of field-collected anopheline females[J]. J Vector Ecol,1997,22(1):83-89.

[22] Takken W, Klowden MJ, Chambers GM. Effect of body size on host seeking and blood meal utilization in *Anopheles gambiae* sensu stricto (Diptera: Culicidae): the disadvantage of being small[J]. J Med Entomol,1998,35(5):639-645.

[23] Healy TP, Jepson PC. The location of floral nectar sources by mosquitoes: the long-range responses of *Anopheles arabiensis* Patton (Diptera: Culicidae) to *Achillea millefolium* flowers and isolated floral odour [J]. Bull Entomol Res, 1988, 78 (4): 651-657.

[24] Bowen MF. Terpene-sensitive receptors in female *Culex pipiens* mosquitoes: electrophysiology and behaviour[J]. J Insect Physiol,1992,38(10):759-764.

[25] 姜进勇,马雅军,周红宁,等. 蚊虫的摄糖习性及其在蚊虫控制中应用的研究进展[J]. 中国寄生虫学与寄生虫病杂志,2012,30(1):17-19.

[26] Jhumur US, Dötterl S, Jürgens A. Electrophysiological and behavioural responses of mosquitoes to volatiles of *Silene otites* (Caryophyllaceae)[J]. Arthropod-Plant Interactions, 2007, 1(4):245-254.

[27] Jhumur US, Dötterl S, Jürgens A. Floral odors of *Silene otites*: their variability and attractiveness to mosquitoes[J]. J Chem Ecol,2008,34(1):14-25.

[28] Nyasembe VO, Torto B. Volatile phytochemicals as mosquito semiochemicals[J]. Phytochem Lett,2014,8:196-201.

[29] 郝蕙玲. 空间驱避剂对白纹伊蚊*Aedes albopictus* Skuse吸血行为的影响研究[D]. 上海:中国科学院上海生命科学研究院植物生理生态研究所,2008.

[30] Peterson CJ, Nemetz LM, Jones LM, et al. Behavioral activity of catnip (Lamiaceae) essential oil components to the German cockroach (Blattodea: Blattellidae)[J]. J Econ Entomol, 2002, 95(2):377-380.

[31] 林永丽,郝蕙玲,孙锦程. 四种植物精油对德国小蠊的驱避效果[J]. 昆虫知识,2008,45(3):477-479.

[32] 郝蕙玲. 驱避剂在蟑螂防治中的研究进展[J]. 中华卫生杀虫药械,2007,13(6):393-395.

[33] 郝蕙玲,杜家纬. 气味调控的蚊虫行为学研究[J]. 中国媒介生物学及控制杂志,2006,17(6):526-528.

[34] 张时妙,莫建初,杨天赐,等. 蚊虫宿主引诱物研究进展[J]. 中国媒介生物学及控制杂志,2006,17(1):69-71.

[35] 霍伟,翟壹彪,刘晓鹏,等. 蝇类引诱因子的国内研究进展[J]. 医学动物防制,2014,30(5):510-512.

[36] 周明浩,张爱军,杨维芳,等. 不同诱饵对诱蝇笼现场诱蝇效果的比较研究[J]. 医学动物防制,2006,22(2):86-88.

[37] 刘泉,陈建新,李蓓思,等. 不同类别物质对德国小蠊引诱作用的观察[J]. 寄生虫与医学昆虫学报,1995,2(3):161-166.

[38] 王晓燕,竹傲,游红,等. 不同食物对德国小蠊的引诱作用[J]. 中国媒介生物学及控制杂志,2010,21(2):112-114.

[39] Wang CL, Scharf ME, Bennett GW. Behavioral and physiological resistance of the German cockroach to gel baits (Blattodea: Blattellidae)[J]. J Econ Entomol,2004,97(6):2067-2072.

收稿日期:2018-02-27