

蚊虫生物防治的现状与展望*

苏晓庆

(贵州医科大学 生物学教研室, 贵州 贵阳 550004)

[关键词] 蚊虫; 生物防治; 灭蚊; 细菌; 真菌; 生态学

[中图分类号] R184.31; R379; Q939.5 [文献标识码] A [文章编号] 1000-2707(2016)03-0249-05

蚊虫是全世界重要的卫生害虫之一。中国已记载的达到360多种^[1]。蚊虫可以通过吸血传播20多种疾病,是所有卫生害虫中传病种类最多的。其中疟疾和登革热排列在危害最严重的疾病之首。2010年全球报道的疟疾死亡病例为120万。登革热的危害程度在增加,传播面积在扩大。近年来,全球有40%的人口处于登革热的风险区^[2]。我国登革热病例也出现范围在扩大,病例在增加的趋势。另外,最近肆虐美洲、欧洲和非洲30多个国家的寨卡病毒也是由蚊虫传播。虽然采用多种高效低毒化学杀虫剂进行室内滞留喷洒杀灭成虫,并且广泛使用杀虫剂浸泡的蚊帐来控制蚊虫,从而在降低疟疾发病率上获得显著的成效,但是蚊虫对化学杀虫剂所产生的抗药性很大程度上抵消了前面的努力^[3]。人类与蚊虫的斗争有悠久历史,而且水平日渐增高。现行的灭蚊手段主要有生态、物理、化学和生物等几类。其中环境治理是最传统而且行之有效的办法。物理方法也能起到一定的效果,最多的是采用声、电、光手段。但化学杀虫剂还是目前的最主要的灭蚊工具,目前高效低毒的新型杀虫剂有菊酯类(如高效氯氟氰菊酯、氯菊酯、溴氰菊酯等)、有机磷类(如双硫磷、倍硫磷等)、昆虫生长激素类(如吡丙磷)和氨基甲酸酯类药物。虽然这些化学杀虫剂基本上都是低毒和高效的,但是长期大量使用,仍然可以造成危害^[4-5]。所有化学杀虫剂还会诱导害虫产生抗药性^[6-11]。蚊虫抗性的增加导致化学杀虫剂用量的增加,不但需要花更多的经费,而且对环境造成更多的污染。但是目前登革热的预防和控制完全依赖于对媒介蚊虫的有效控制,而且化学杀虫剂还是最主要的手段。这意味

着成百上千吨的化学杀虫剂将被倾洒到环境中^[2],这是很令人担忧的事情。为了保护环境,寻找减少或替代化学杀虫剂的使用的灭蚊手段成为蚊媒及蚊媒病防治人员奋斗的目标,经过国内外诸多学者的努力,发展了采用包括病毒、原虫、线虫,以及细菌和真菌控制蚊虫的生物防治方法,总结如下。

1 蚊虫生物防治

用于对蚊虫进行生物防治的方法很多。有采用天敌灭蚊的,例如在水体中养鱼,利用鱼来吃蚊幼虫。还有利用植物的提取物来驱蚊和灭蚊。我国楝科、菊科、蓼科等20多科的植物中都分布有含灭蚊驱蚊成分的成员^[12-13]。有的植物精油如桉树油已经用于驱蚊,而更多的有希望用于杀灭蚊虫的植物成分的开发研究正在进行中。另外,培养绝育或携带病原的成虫释放到野外,通过与野生蚊虫交配来压制蚊虫种群的方法也在实验当中。

在这些努力中,采用蚊虫的病原微生物来控制蚊虫是最有效和最有发展前景的蚊虫生物防治方法。可以使蚊虫致病、死亡,或者能干扰蚊虫生长发育的微生物有很多类,包括病毒、原虫、线虫,以及细菌和真菌^[2,14-15]。然而目前已经投入应用和即将投入应用的只有细菌和真菌。

1.1 灭蚊细菌

最重要的灭蚊细菌而且已经投入应用的灭蚊细菌主要有两种,即苏云金芽孢杆菌以色列变种(*Bacillus thuringiensis* var. *israelensis*, Bti),和球形芽孢杆菌(*Bacillus sphaericus*, Bs)。

* [基金项目] 国家自然科学基金资助项目(No:30760140)

网络出版时间:2016-03-17 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/52.5012.R.20160317.1011.008.html>

Bti 是以色列科学家 Margalit J. 和 Dean D. 1975 年从以色列 Negev 沙漠中小水塘的淡色库蚊尸体中分离, 经过缜密的鉴定进行定种命名。经全世界科学家的合力研究, 确定它可杀灭 72 种蚊虫 (1986 年数据), 其中包括按蚊 21 种, 伊蚊 21 种和库蚊 17 种。同时 Bti 对蚋和摇蚊等其他双翅目昆虫也有杀灭作用^[16]。它的灭蚊机理主要是由其芽孢的伴孢晶体所含前毒素引起。当易感蚊幼虫摄入 Bti 芽孢后, 伴孢的前毒素在其胃中的碱性环境中受肠液分解成毒素, 破坏蚊虫的中肠肠壁, 引起败血症, 在几分钟内就导致蚊虫死亡。由于灭蚊效率高, 对环境安全, 生产、储藏和施用都比较方便, Bti 成为生物灭蚊的主要武器应用到全世界。剂型有可湿性粉剂、颗粒剂、悬浮剂、块剂和缓释剂等, 在美国、德国、法国、印度、东南亚和非洲等地灭蚊获得了很好的效果^[16-17]。特别是美国的夏威夷州规定不能使用化学杀虫剂, 因此当地的蚊虫控制主要采用 Bti。但是 Bti 也有很多缺点。主要是它在撒入蚊虫孳生地后稳定性差, 水中的有机物及固体物质的存在大大影响了它的灭蚊作用的发挥^[16]。因此, Bti 在水中的持效期比较短, 一般在 7 ~ 10 天。也就是说, 在蚊虫季节为了保证对蚊幼虫的控制效果, 就必须至少每 10 天施用一次。

Bs 也是目前用得比较广的灭蚊细菌。高毒力菌株与 Bti 类似, 具有伴孢晶体。后者被蚊幼虫取食后, 晶体在中肠碱性环境和蛋白酶的作用下迅速溶解, 释放出毒素蛋白破坏蚊虫的肠壁, 导致蚊幼虫死亡。Bs 与 Bti 相比灭蚊谱稍窄, 灭蚊速度较慢, 但是持效期稍长。Bs 对按蚊和库蚊有很好的杀灭效果, 但是对伊蚊的效果不佳。由于我国登革热的媒介是白纹伊蚊和埃及伊蚊, 所以在对抗登革热的斗争中, Bs 不能发挥作用。Bs 的另一个缺点是易于诱导蚊虫的抗药性, 这一点影响了它的应用范围。另外, 由于 Bs 的不能发酵葡萄糖等糖类物质, 而只能利用蛋白质类的物质作为碳源和氮源, 而且需要特殊的发酵技术, 发酵和生产成本相对较高, 也影响了 B. s 制剂的生产和应用^[18]。

1.2 灭蚊真菌

在微生物中可以用发酵方式培养的主要有细菌和真菌。只要能用发酵方式培养, 就有工业化生产的基础。如前所述, 目前所能利用的灭蚊细菌只有两种, 而且都有缺陷。另一个宝库正等待着我们去开发和利用, 那就是真菌。而且从灭蚊机理来看, 真菌比细菌更适应于灭蚊。首先, 细菌必须被

蚊虫摄进消化道才能起作用, 而真菌主要是通过穿透蚊虫几丁质体壁侵入虫体通过释放毒素和寄生杀死蚊虫^[19]。因此真菌不但能够杀死具咀嚼式口器的幼虫, 也能侵犯有刺吸式口器的成虫。另外, 真菌可以通过蚊虫的尸体繁殖, 从而引起蚊虫的流行病而达到长期控制的效果。同时, 由于真菌杀蚊的机制复杂, 蚊虫不易对其产生抗药性。而且到目前为止还没有关于害虫对杀虫真菌产生抗性的报道^[19-20]。

由于蚊虫的生活环境的条件所决定, 与它有关系的真菌数量不少, 其中对蚊虫有影响和抑制作用的种类也有许多^[14, 21], 但是真正可用于控制蚊虫的真菌并不多。目前引起人们关注的主要有金龟子绿僵菌 (*Metarhizium anisopliae*)、球孢白僵菌 (*Beauveria bassiana*)、雕蚀菌属 (*Coelomomyces*)、大链壶菌 (*Lagenidium giganteum*)、贵阳腐霉 (*Pythium guiyangense*) 等。

1.2.1 控制成蚊的真菌 最近有很多文章讨论可用于成蚊控制的真菌, 主要是采用球孢白僵菌和 (或) 金龟子绿僵菌感染疟疾媒介蚊虫获得明显的效果。将饱浸孢子的布挂于室内天棚, 当吸血疟蚊在布上栖息以后受到感染, 导致真菌病。蚊虫生病后可以有三种情况降低疟疾的传播。一是病蚊胃口减退, 吸血次数下降, 减少传播机会; 二是缩短吸血蚊虫的存活期, 使疟原虫不足以在其体内发育至感染期; 三是受感染的蚊虫把真菌孢子播散到其他蚊虫栖息地, 传染更多的蚊虫。虽然实验中所观察到的蚊虫感染率仅有不高的比例, 而且该真菌病需要 4 ~ 14 天才能杀死蚊虫, 但是据估计, 由于前述各因素的共同作用, 可以较大比例地减少疟疾的传播率^[20-23]。这两种真菌开发成杀成蚊剂的成本不高, 有价格竞争优势。虽然这些真菌孢子在油剂中很稳定, 但是施放在布上后, 在 3 周内活力下降 63%, 为了保持灭蚊效力, 就必须反复施放^[19]。

1.2.2 控制幼虫的真菌 与控制成蚊比较, 控制蚊虫的水生阶段是更有效的策略^[24]。成虫可以飞行躲避杀虫剂, 因此施放大量的杀虫剂到环境中, 实际只能杀灭数量有限的蚊虫。但是生活在水中的蚊虫的幼虫和蛹不可能离开水体, 所以杀虫剂的杀灭效率就很高。水生阶段是成蚊的来源, 控制好水生阶段可以从源头上减少蚊群密度。能影响蚊幼虫的真菌比较多, 但是真正能用的不多。虽然 Tuliu Bukhan 等采用金龟子绿僵菌和球孢白僵菌灭蚊幼虫实验得到比较高的感染率, 证明这两种真

菌孢子可以高效地杀灭按蚊 *Anopheles gambiae* 和 *Anopheles stephensi* 幼虫,但是离真正实用还有距离。因为这两种的孢子是疏水的,将孢子施放在水中,它们只能不均匀地漂浮在水面,而不能很好地发挥作用^[24]。真正有实用价值的灭蚊幼虫的真菌主要有贵阳腐霉、大链壶菌和雕蚀菌属真菌。

贵阳腐霉是 1994 年在贵阳分离到的一株灭蚊真菌^[25]。它是靠无性繁殖的游动孢子感染蚊虫。双鞭毛游动孢子主动寻找蚊幼虫,附着于其体壁上,经过一系列的生物学过程在蚊虫体壁上打洞,钻入体内,迅速繁殖,从而杀死宿主,其菌丝再从宿主体内伸出体外施放更多的游动孢子,在蚊群中造成流行病。贵阳腐霉适应的温度范围在 4 ℃ 到 35 ℃ 之间,以 25 ℃ 最佳。其菌丝体能适应很宽的 pH 5 ~ 12。本菌可以在人工培养基上生长,所需的碳源和氮源很广。由于培养基原料来源丰富,可进行发酵生产,成本不高^[26]。作为生物灭蚊剂,其对环境中非靶生物的安全性是最重要的特性。经过对有代表性的 6 种植物(水稻、烤烟、黄瓜、番茄、油菜和辣椒)和 5 纲 11 种动物(家兔、大白鼠、小白鼠、豚鼠、家鸡、蝌蚪、金鱼、草鱼、家蝇、小菜蛾和摇蚊)的严格检测,初步证明了贵阳腐霉的安全性^[27-33]。最近对小球藻做的试验也证明了贵阳腐霉对绿藻类植物的安全性(待发表)。贵阳腐霉最大的优点是对抗不利环境条件的能力比较强。因此,它在环境中留存的时间比较长。室外模拟自然环境的实验中观察到,加入水中 111 天后,贵阳腐霉还具有感染和控制蚊虫的能力(待发表)。相对于 Bti 需要每 10 天重复施用一次,贵阳腐霉可以控制蚊虫达数月之久,施放一次有可能保持效果达至少一个蚊虫季节,因此可以节省大量的人力物力。基于贵阳腐霉的灭蚊应用的国家发明专利(专利号 ZL200510003027.7 和 ZL201210416722.6),珠海盈嘉行科技有限公司进行了新型生物灭蚊剂的研发。该新型生物灭蚊剂是一种复配剂型,即将见效快但持效期短的 Bti 和见效慢但持效期长的贵阳腐霉按比例混合而成。一个采用基于贵阳腐霉的生物灭蚊剂的现场试验获得控制蚊幼虫 95% 达 122 天之久(内部交流)。

雕蚀菌属由 Keilin 建立,约包含 70 种和变种,全部是蚊科和摇蚊科昆虫幼虫的严格寄生菌。有大量雕蚀菌属真菌感染和杀灭蚊幼虫的报道。它的蚊虫宿主范围据最多的报道达 60 种。它在蚊虫孳生地中的留存时间最长可达 7 年,导致的蚊虫

感染率波动幅度很大,但是较大几率在 90% 左右。有趣的是,如果被感染蚊虫活到成虫阶段,携带该真菌的雌蚊可以交配和吸血,但是不能产出正常蚊卵,相反,它产的是真菌孢子。这一特性可以将真菌进行更广的传播^[21]。因此,雕蚀菌属很适合用于控制蚊虫的水生阶段。但是它的两个致命的缺点却限制了它的快速推广。其一是它的灭蚊效果的不确定性。其二是它的生活史中需要中间宿主剑水蚤,因此无法进行工业化生产^[21]。

大链壶菌是蚊幼虫的一种兼性寄生真菌。与贵阳腐霉一样,它对蚊幼虫的感染开始于产生一种双鞭毛的游动孢子。后者可以选择性地识别和附着在蚊幼虫的体壁表皮上。进入体壁后,真菌在宿主体内繁殖,并在 24 ~ 60 小时内杀死宿主。在最佳条件下,菌丝体分化产生无性和/或有性繁殖结构,在几小时内产生游动孢子(无性阶段),从蚊尸中扩散出来感染其他蚊幼虫。或者形成卵孢子休眠几天、数月或数年(有性阶段),直到蚊虫孳生的诱导,卵孢子萌发。有很多报道,说明其施用一次后能在生境中循环,起到长期控制蚊虫的作用。影响其游动孢子产生的因素包括:极端温度(低于 16 ℃ 或高于 32 ℃)、中等度的含盐度和有机污染。这些都妨碍了将大链壶菌用于实际的蚊虫控制^[34]。现在大链壶菌已经可以进行发酵生产,但是其货架寿命比较短妨碍了它的推广应用。

2 蚊虫生物防治的实施现状和前景

虽然化学杀虫剂的危害和生物灭蚊剂的优势已逐渐为大众认知和认同,但是生物灭蚊剂的使用还是很有限。造成这样矛盾现象的原因很复杂。从表面上看,是因为一般来说化学杀虫剂比生物灭蚊剂使用方便、效率高。但是,深层的原因是观念问题。也就是说推广生物灭蚊措施要求到人们改变几十年积累的灭蚊观念。其中最重要的是两点。首先是对环境生态的重视程度。现在人们开始关注环境安全,但是还没有达到迫切要求保护环境程度,还不足以迫切到努力减少化学杀虫剂使用的程度。其次是对蚊虫控制效果的评价标准。人们习惯于化学杀虫剂撒下去后“万籁寂静”的效果,即所有益虫伴随着蚊虫完全被消灭。但是生物杀虫剂灭蚊效果缓慢,并且往往不能将蚊虫全部杀死,而只是将其控制在不引起危害的密度之下。这是符合自然规律的,但是却成为生物杀虫剂不被信

任的原因。由于不被信任,生物灭蚊剂的开发研究得不到有力的支持。不仅生物灭蚊剂研发困难,它的登记、试用和推广之路更是坎坷。由于生物农药的“叫好不叫座”,其市场很难打开,研发和生产生物农药往往“赔钱赚吆喝”,生产厂家也失去开发的动力,新的生物灭蚊剂难于诞生,后果便是可用的生物灭蚊剂很少,更减弱了生物灭蚊剂的推广。

为了减少化学杀虫剂造成的危害引起人们的警觉,上世纪 70 年代害虫综合治理(IPM)的观点受到重视并得到升华^[1,35-36]。美国著名昆虫学家 Axtell^[36](1979)对 IPM 作了深入的分析 and 介绍。他指出“IPM 是在生态学原理和综合多学科手段的基础上,建立生态系统治理方法的战略思想。它是实用的、有效的、经济的,并能保护人类的健康和环境。”IPM 正是我们目前治理蚊虫所需要采用的策略。陆宝麟^[37](1978 年)总结蚊虫综合治理的概念是:从蚊虫和环境的整体观念出发,标本兼治,而以治本为主,并根据安全、有效、经济和简便的原则,因地制宜和因时制宜地合理采用环境的、化学的、生物的、物理的以及其他手段,消灭蚊虫或把蚊虫种群控制在不足危害的水平,以达到保护人畜健康和促进生产的目的。这个观念考虑很全面,如能实施,则蚊虫控制和环境保护应该得到很好的效果。但是时隔 40 年除化学杀虫剂外,其他灭蚊手段的发展速度有限,特别是生物防治剂的研究和应用基本上没有多大发展。结果化学灭蚊还是主要的方法,环境污染和生态破坏还在继续。

现在是改变观念的时候了,包括政府和民众,需要将对环境的关心和保护付诸实践,重视生物灭蚊剂。一方面大力支持生物灭蚊剂的研发,一方面要宽容对待生物灭蚊剂,不能用化学杀虫剂的标准来要求生物灭蚊剂。

如果换一个角度来审视生物灭蚊剂,它们其实是可以承担控制蚊虫的重大责任的。例如现在遍布全国的湿地公园竟是蚊虫最好的孳生地。在这些湿地不能使用化学杀虫剂控制蚊虫,而使用 Bti 由于持效期太短,反复施用需要花费大量的人力物力也不现实。如果使用贵阳腐霉等灭蚊幼真菌就最适合不过了。只要把它们施放进湿地(可以动用无人飞机喷洒),让它们在生态系统定植,就可以长期发挥灭蚊作用。因为在和谐的生态系统中各种生物种群达到平衡。在天敌和各种因素的制约下,蚊虫的种群就会被控制在不造成危害的密度之下。

同样,在其他水体如稻田、景观池水、排水渠等都可以这样处理。如果能做到,基本上就可以长期把蚊虫控制在比较低的水平。当气温升高、积水增多,带来蚊虫大爆发时,则适当使用化学杀虫剂把虫情压下去。这样才是真正做到蚊虫的综合治理。

这里提出了一个新的亟待研究的课题,那就是蚊虫孳生地的生态学研究。必须了解各种蚊虫孳生地生态系统的构成、运转及影响因素,从而因势利导,最大限度地利用一切条件包括加入生物灭蚊剂来抑制蚊虫的种群。

3 结论

蚊虫防治是一个关系人类健康的大问题。化学的防治蚊虫带来的环境污染和诱导抗性的问题急需解决。认真推行生物防治是解决这些问题的有希望的战略措施。希望从政府到民众改变观念,以更积极的态度促进生物灭蚊的推广应用。采用基于生态学原理的综合治理策略,致力于和谐生态系统的建设有望更有效和更环保地控制蚊虫及蚊媒传染病。各种控制蚊虫的因素中,灭蚊真菌更适合用于蚊虫的生态治理。

4 参考文献

- [1] 郑智民,王明斋,郑维平,有害生物综合治理(二)一蚊虫综合治理[J]. 中华卫生杀虫药械, 2010(2):154-157.
- [2] Layta K. The Biological Control of the Malaria vector [J]. Toxin, 2012(4):748-767.
- [3] 孟凤霞,王义冠,冯磊,等. 我国登革热疫情防控与媒介伊蚊的综合治理[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2015(1):4-10.
- [4] 杜成娟. 2 例小儿灭蚊片中毒的护理体会[J]. TODAY NURSE, 2014(1):148.
- [5] 陈迪迪,张妍,施蓉,等. 室内杀虫剂暴露与儿童急性白血病发病的关系[J]. 上海交通大学学报:医学版, 2014(2):201-204.
- [6] 蔡蓉,邵宗贤,范刚,等. 淮南市不同生境白纹伊蚊对 9 种化学杀虫剂的抗药性研究[J]. 中国预防医学杂志, 2015(1):65-67.
- [7] 徐燕,刘慧,杨维芳,等. 淡色库蚊对常用杀虫剂的抗性现状及治理对策[J]. 中华卫生杀虫药械, 2010(5):344-346.
- [8] 陈志龙,陈东亚,刘慧,等. 淡色库蚊幼虫对 7 种杀虫剂的敏感性和抗性调查[J]. 中华卫生杀虫药械, 2011

- (3):209-211.
- [9] 代玉华,程鹏,刘丽娟,等. 山东部分地区中华按蚊的抗药性监测[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2014(3): 219-221.
- [10] 裴速建,张华勋,李凯杰,等. 湖北省中华按蚊对溴氰菊酯的抗药性监测[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2014(1):18-20.
- [11] 冠景轩,刘宏美,公茂庆,等. 山东省白纹伊蚊对常用化学杀虫剂的抗性调查[J]. 寄生虫病与感染性疾病, 2015(13):115-117.
- [12] 钟敏,王英. 植物防治蚊虫的应用研究进展[J]. 中华卫生杀虫药械, 2015(1):85-88.
- [13] 黎奕斌,郑宇珊,范继鸿,等. 大黄素衍生物的合成及灭蚊活性研究[J]. 中国科技论文, 2015(12):1459-1463.
- [14] Harold C. Chapman Biologica control of mosquito Bulletin[R]. California: American Mosquito Control Association, 1985.
- [15] 陈国生,鲍学纯,罗大民,等. 武昌罗索线虫防制埃及伊蚊的初步试验[J]. 华中师范大学学报:自然科学版, 1992(2):213-215.
- [16] Margalit J, Dean D. 苏云金杆菌以色列变种的概况[J]. 国外医学:寄生虫病分册, 1986(3):105-110.
- [17] 张吉斌,喻子牛. 微生物防治害虫的研究进展[J]. 中华卫生杀虫药械, 2007(6):399-403.
- [18] 熊武辉,胡晓敏,袁志明. 球形芽孢杆菌在病媒蚊虫控制中的应用[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2010(1):1-4.
- [19] 高明景,姚秀清. 昆虫病原真菌致病机制的研究进展[J]. 贵州农业科学, 2012(3):130-135.
- [20] Stefan M. Kanzok and Marcelo Jacobs-Lorena Entomopathogenic fungi as biological insecticides to control malaria[J]. TRENDS in Parasitology, 2006(2):40-51.
- [21] Ernst-Jan S, Bart GJ, Knols, et al. Entomopathogenic fungi for mosquito control: A review [J]. Journal of Insect Science, 2004(4):19.
- [22] Martin E. Mosquito-killing fungi may join the battle against malaria [J]. Science, 2005(308):1531-1533.
- [23] Matthew B, Thamas, Andrew F. Read Can fungal biopesticides control malaria [J]. NATURE REVIEW/MICROBIOLOGY, 2007(5):377-383.
- [24] Tulu B, Antholieke M, Constantianus JM, et al. Factors affecting fungus-induced larval mortality in *Anopheles gambiae* and *Anopheles stephensi* [J]. Malaria Journal, 2010(9):22.
- [25] Su XQ. A new species of *Pythium* isolated from mosquito larvae and its ITS region of rDNA [J]. Mycosystema, 2006(4):523-528.
- [26] Huang SW, Su XQ. Biological studies on *Pythium guiyangense*, a fungal pathogen of mosquito larvae [J]. Mycostema, 2007(3):380-388.
- [27] Zhang CB, Su XQ. Experimental studies on the safety of *Pythium guiyangense* X. Q. Su to six species of cultivated plants Common in Guizhou province [J]. Mycosystema, 2008(4):567-573.
- [28] 张传博,苏晓庆. rDNA ITS 区间 PCR-RFLP 方法在腐霉属 11 菌株的快速鉴别中的应用[J]. 贵阳医学院学报, 2005(6):479-482.
- [29] 张传博,苏晓庆. 一株灭蚊真菌-贵阳腐霉的田间生态安全性评价[J]. 安徽农业大学学报, 2008(3):426-429.
- [30] 刘萍,苏晓庆. 灭蚊真菌贵阳腐霉 *Pythium guiyangense* 对大鼠的长期安全性测试[J]. 菌物学报, 2007(3):440-447.
- [31] 刘萍,苏晓庆. 灭蚊真菌贵阳腐霉对几种动物的急性安全性测试[J]. 贵阳医学院学报, 2007(4):331-336.
- [32] 刘萍,周顺,先丹,等. 灭蚊真菌贵阳腐霉对小菜蛾幼虫安全性的室内检测[J]. 贵阳医学院学报, 2007(3):225-226.
- [33] 杨平,刘萍,苏晓庆,等. 新分离的灭蚊真菌 (*Pythium* sp. GY1938) 对家蝇幼虫的安全性检测[J]. 贵阳医学院学报, 2006(3):203-204.
- [34] James L. Kerwin Oomycetes: *Lagenidium giganteum* [J]. Journal of Amer Mosq Control Asso, 2007(13):50-57.
- [35] 郑智民,陈国伟,郑维平. 有害生物综合治理(一)-有害生物综合治理的概念与原则[J]. 中华卫生杀虫药械, 2010(1):64-66.
- [36] Richard C. Axtell Principles of integrated pest management (IPM) in relation of mosquito control [J]. Mosquito News, 1979(4):709-718.
- [37] 陆宝麟. 蚊虫综合治理 [J]. 昆虫学报, 1978(2):217-232.

(2015-12-08 收稿, 2016-02-22 修回)

编辑: 吴昌学