

汪秀芳, 薛淋淋, 叶碎高, 李振基. 驱蚊、灭蚊植物资源及其应用前景分析[J]. 生态科学, 2013, 32(3): 391-399.

WANG Xiu-fang, XUE Lin-lin, YE Sui-gao, LI Zhen-ji. Resources and application prospects of mosquito repellent and mosquitocidal plants[J]. *Ecological Science*, 2013, 32(3): 391-399.

驱蚊、灭蚊植物资源及其应用前景分析

汪秀芳^{1,2*}, 薛淋淋³, 叶碎高¹, 李振基³

1. 浙江省水利河口研究院, 杭州 310020

2. 中国科学院武汉植物园水生植物与流域生态重点实验室, 武汉 430074

3. 厦门大学生命科学学院, 厦门 361005

【摘要】蚊虫吸食人血、传播疾病, 严重危害人类健康。长期以来, 化学合成杀虫剂由于驱灭蚊虫的效果好、持续时间长, 一直占据主要地位, 但长期使用化学合成杀虫剂, 不仅可使蚊虫产生抗药性, 而且还会造成环境污染, 因此环境友好型的蚊虫防治手段日益受到人们的关注。该论文基于蚊虫与水、植物等环境因素关系的分析, 阐述了植物在防治蚊虫方面的潜力; 概括了我国的驱蚊、灭蚊植物资源及开发利用现状; 探讨了驱蚊、灭蚊植物在防治蚊虫产品开发、生态保健型园林绿地和健康湿地系统建设等方面应用情况并展望了驱蚊、灭蚊植物资源开发利用的广阔前景, 以期蚊虫的生态防治提供新思路。

关键词: 蚊虫; 植物源杀虫剂; 绿地; 水体植物修复

Doi: 10.3969/j.issn.1008-8873.2013.03.022 中图分类号: Q948.8; X52 文献标识码: A 文章编号: 1008-8873(2013)03-391-09

Resources and application prospects of mosquito repellent and mosquitocidal plants

WANG Xiu-fang^{1,2*}, XUE Lin-lin³, YE Sui-gao¹, LI Zhen-ji³

1. Zhejiang Institute of Hydraulics and Estuary, Hangzhou 310020, China

2. Key Laboratory of Aquatic Botany and Watershed Ecology, Wuhan Botanical Garden, the Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China

3. College of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China

Abstract: Mosquitoes are seriously harmful to human health for transmitting some mortal diseases. Among all methods of mosquito control, synthetical insecticides are the most popular for their effective and durable effects. But there is high resistance of mosquito to insecticides and heavy environmental pollution as a result of long-term use of synthetical insecticides. Thus, eco-friendly prevention measures are taken into the agenda. Based on the relationship between mosquito and the environment, such as water and plant, this paper discussed the potential of controlling mosquito by plants, and summarized the resource of mosquito-repellent and mosquitocidal plants in China. We emphasized the wide application prospect of mosquito-repellent and mosquitocidal plants in mosquito control products, and in modern protective greenlands and healthy wetland ecosystems, which provided a new idea for ecological management of mosquito.

Key word: mosquito; botanical insecticide; greenland; phytoremediation of water

收稿日期: 2012-10-14 收稿, 2013-01-20 接受

作者简介: 汪秀芳 (1980—), 女, 博士研究生. 主要从事湿地生态学与水环境方向研究.

*通讯作者: 汪秀芳, E-mail: wxfhongan@126.com.

蚊虫是人们生活中重要的卫生害虫,其叮咬给人们的生活造成了严重的干扰,更严重的是蚊虫是多种疾病,包括疟疾、登革热、丝虫病和乙型脑炎的传播媒介,这些疾病具有较高的致死率^[1,2]。因此,蚊虫防治的研究是人类长期以来从未停止过的课题。在化学合成杀虫剂出现以前,人类就发现一些植物对蚊虫具有驱避、杀灭的作用,并在农业生产、生活中加以利用。20世纪随着滴滴涕(DDT)、有机磷、氨基甲酸酯等一系列化学合成杀虫剂的相继问世和应用,传统的植物方法很快被这些更高效而便捷的驱灭药剂所取代。但是化学合成杀虫剂的大量使用,造成了蚊虫的抗药性及严重的环境污染问题,因此植物防治这一环境友好型的防治手段又重新受到人们的重视^[3]。

近年来,关于植物对蚊虫的驱避和毒杀作用的研究比较活跃,但主要集中于一些公认的驱蚊、灭蚊植物,对它们的提取液或精油的驱避效果研究和活性成分分析^[4]。我国植物种类繁多,驱蚊、灭蚊植物资源丰富,植物源驱蚊、灭蚊产品开发材料丰富,而园林绿化和水体植物修复中都大量使用到植物材料,这些地方又正是蚊虫比较猖獗的地方,如将驱蚊、灭蚊植物配置其中加以应用,可将植物绿化、美化、净化和防治蚊虫的功能结合起来,成为一种生态保健型园林新理念和水体植物修复技术的一项创新和发展。因此就蚊虫与环境的关系,驱蚊、灭蚊植物的研究现状及应用前景作一综述。

1 蚊虫与环境(Mosquito and environment)

蚊虫属双翅目(Diptera)蚊科(Culicidae),分布广,种类繁多,迄今我国已知蚊虫达18个属48个亚属371种或亚种,常见的有伊蚊(*Aedes*)、库蚊(*Culex*)和按蚊(*Anopheles*)三类。蚊虫通常偏好隐蔽、阴暗和通风不良且空气湿度高的环境。但不同种类蚊虫对光照的响应有所不同,伊蚊不论白天黑夜都刺吸人血,而按蚊一般在夜里叮咬吸血,高峰期通常在黎明前的一个小时^[5]。蚊虫最适宜30℃左右的温度,秋季气温降到10℃以下时,就会停止繁殖。蚊虫属于完全变态的昆虫,生活史分为卵、幼虫(孑孓)、蛹及成虫4个时期,其幼虫生活于水中,主要靠取食水中的有机物即植物碎屑为生,成蚊也主要吸食植物汁液(只有雌蚊在繁殖期间才吸食人和动物的血液),因此水和植物是影响蚊虫最重要的环境因素。

1.1 蚊虫与水的关系

蚊虫生活史的各个阶段均与水息息相关,卵、幼虫和蛹的发育必须在水中完成,成蚊也需要选择水体或较为潮湿的场所产卵。雌蚊根据产卵和孵化习性可大致分为两类,一类将卵产在潮湿的基质中,一直处于休眠状态,直到随后的雨季才孵化,包括伊蚊亚属(*Aedes*)、黄蚊亚属(*Ochlerotatus*)和鳞蚊亚属(*Psorophora*)等伊蚊属种类。它们主要在白天和黄昏时出来觅食,是重要的传病媒介,在农业退水和湿地边缘很常见,成蚊不能越冬,但卵在土壤或容器中可以越冬,这一类称作季节性洪水型蚊虫(floodwater-ephemeral water habitat mosquitoes)。另一类在水表面产单颗(按蚊)或成块的卵(库蚊),这类卵不需要其他条件刺激,产后几天内就可以孵化^[6],称为永久-半永久水生型蚊虫(permanent-semipermanent aquatic habitat mosquitoes)。

水体的大小和形状、隐蔽或暴露、流水或静水、盐水或淡水以及水质等因素,均会影响雌蚊对产卵场所的选择。孙传红等^[7]对污水、雨水、自来水中蚊幼孳生情况的研究,发现污水中孳生的多为淡色库蚊(*C. pipiens pallens*),雨水中多为白纹伊蚊(*A. albopictus*),自来水中孳生淡色库蚊(*C. pipiens pallens*)多于白纹伊蚊(*A. albopictus*)。Munga等^[8]报道农田水、森林水、湿地水以及雨水等不同水体类型显著影响冈比亚按蚊(*A. gambiae*)对产卵场所的选择,且在实验室和自然条件下,森林水和湿地水中蚊卵的死亡率均显著高于农田水。埃及伊蚊(*A. aegypti*)在污水和泻湖水中的产卵数显著大于蒸馏水中的产卵数^[9]。水体中化合物、植物、动物、微生物等指标也都可能影响蚊虫的产卵和生长。Navarro等^[9]的研究指出泻湖水和污水对埃及伊蚊(*A. aegypti*)产卵引诱活性较强的主要原因是水中含有大量细菌,经四环素杀菌处理后,它们与蒸馏水的差异不再显著。森林水和湿地水中蚊虫产卵较少可能与森林水中含有树叶等有关,因为树叶分解后产生的酚类及木质素类物质对幼蚊有毒^[10,11]。邓天福^[12]认为池塘水对淡色库蚊(*C. pipiens pallens*)和白纹伊蚊(*A. albopictus*)产卵的引诱效果与其中含有较多蚊幼喜食的营养物质有关。

当水体中含有同种蚊卵或蚊幼时,雌蚊会减少产卵,以避免水中蚊幼密度过大,加剧食物竞争,影响幼虫的正常生长发育^[13]。通常在小而浅的水体中蚊幼存活率高,因为这些水体营养丰富,溶解氧含量低,食物来源充足,且捕食者少^[14],而开阔的水域氧气

充足, 有利于捕食者的生存, 孑孓的数目相对就少。水体的持续流动能够降低蚊幼的数量, 尤其在湍流地区, 可以冲走繁殖场所, 对幼虫存活极其不利。降雨对蚊虫孳生的影响是双向的, 其形成的水流可以限制蚊虫孳生, 但产生的降水丰盈了水体, 可为蚊虫提供更多栖息地^[5]。水温能直接影响蚊卵的孵化率, 导致雌蚊对产卵场所具有选择性偏好, 平均水温23℃-33℃时, 蚊幼密度最高^[5]。在自然水域中, 蚊虫最适合的pH值范围是5.8-8.6, 按蚊的耐受范围较宽^[15]。

1.2 蚊虫与植物的关系

蚊虫主要以植物为食, 雌雄蚊虫食性不完全相同, 雄蚊主要取食植物的花蜜、果实、茎和叶的汁液, 而雌蚊除了吸食植物的汁液外, 还刺吸人和动物血液, 因为雌蚊只有在吸血后卵巢才能发育成熟, 繁育后代。植物不仅为蚊虫提供食物, 还为蚊虫提供栖息地和避难所。蚊虫喜欢植被密集的水体, 这样可以阻碍捕食者接近卵、幼虫和蛹, 使其免受天敌的捕食和干扰^[16]。另有研究发现蚊虫数目与植物种类有关^[4], 水生植物中香蒲(*Typha orientalis*)和芦苇(*Phragmites australis*)非常适宜孳生蚊虫^[17]。而Jianinno和Walton^[18]指出, 水葱属*Schoenoplectus californicus*比香蒲(*T. orientalis*)更有利于蚊虫的孳生, 黑三棱属的*Sparganium eurycarpum*、灯心草(*Juncus effusus*)和水葱(*Schoenoplectus tabernaemontani*)混合种植的湿地中蚊虫种类、数目也都比单独种植香蒲(*T. orientalis*)的湿地多^[15]。Greenway等^[19]在垫状的雀稗(*Paspalum scrobiculatum*)和香蒲(*T. orientalis*)枯死的茎秆周围发现大量蚊幼, 这是由于植被通过拦截降低水流运动, 形成停滞的水体, 营造了有利于蚊虫孳生的环境。一些植物腐烂后的浸渍液对雌蚊产卵也有引诱活性, 例如百慕达(*Cynodon dactylon*)和芦苇(*P. australis*)^[20]。一些种类的蚊幼甚至居住在凤梨科植物和猪笼草(*Nepenthes mirabilis*)等植物的积水中^[21]。

蚊虫还与一些植物存在着互利共生的关系。在北极等地区蚊虫起着不可忽略的传粉作用, 可以替玉凤花(*Habenaria obtusara*)和舌唇兰(*Platanthera obtusata*)等兰科植物传递花粉^[22]。生活在北美东岸的紫瓶子草(*Sarracenia purpurea*)内部的孑孓能帮助紫瓶子草分解捕获的昆虫, 为其制造所需的氮等养分^[23], 并以分解后的剩余废物维生。

由于蚊虫与水 and 植物的密切关系, 蚊虫是公园绿地和湿地生态系统的自然组成部分。蚊虫不仅自身通过叮咬和传染疾病直接危害人类健康, 蚊虫的繁盛也吸引了大量食蚊的其它动物各种鸟类, 这些动物也可能传染一些疾病^[24]。因此在公园绿地和湿地等公共场所, 蚊虫的防治也是管理的一项重要内容。这些场所人流量大, 活动频繁, 不宜大量使用合成杀虫剂, 可以尝试以驱蚊、灭蚊植物来进行蚊虫的防治^[25]。

2 驱蚊、灭蚊植物资源 (Resource of mosquito-repellent and mosquitocidal plants)

我国地域辽阔, 植物种类繁多, 驱蚊、灭蚊植物资源丰富。据1991年统计, 已研究过具有驱蚊、灭蚊活性的植物有394种^[26], 加上近年的资料, 总数应在500种以上^[4], 其中最常见的是除虫菊(*Pyrethrum cinerariifolium*)、艾蒿(*A. argyi*)、大蒜(*Allium sativum*)、胡椒(*Piper nigrum*)、樟(*Cinnamomum camphora*)、印楝(*Azadiracta indica*)、鱼藤(*Derris trifoliata*)、烟草(*Nicotiana tabacum*)、心叶荆芥(*Nepeta fordii*)、桉(*Eucalyptus robusta*)、薄荷(*Mentha haplocalyx*)、香柏(*Thuja occidentalis*)、薰衣草(*Lavandula angustifolia*)、橄榄(*Canarium album*)、柠檬桉(*Eucalyptus citriodora*)、柠檬(*Citrus limon*)、茴香(*Foeniculum vulgare*)、野菊(*Dendranthema indicum*)等植物^[27-29], 集中在菊科、楝科和唇形科等科的植物中。

菊科是驱蚊、灭蚊植物中研究最早也是最多的一科, 自20世纪60年代以来, 除虫菊中提取的除虫菊素就倍受关注。当前除虫菊主要用于加工成室内杀灭蚊虫制剂除虫菊酯, 微量的除虫菊酯就能起到明显的效果, 而其他菊科植物, 如茵陈蒿(*Artemisia capilaris*)、泽兰(*Eupatorium japonicum*)、万寿菊(*Tagetes erecta*)和鳢肠(*Eclipta prostrata*)等, 对蚊虫也有很强的驱灭效果^[30-32]。银灰菊(*Santolina chamaecyparissus*)在原产地国家民间也得到广泛的应用^[33]。另有研究显示光照对菊科植物的毒杀效果有强烈影响, 光照条件下万寿菊(*T. erecta*)和鳢肠(*E. prostrata*)对蚊幼的毒杀活性提高几倍、几十倍甚至上百倍^[30,32]。

楝科植物也是研究和应用较早的驱蚊、灭蚊植物, 包括印楝(*A. indica*)、苦楝(*Melia azedarach*)、川楝(*Melia toosendan*)等。印楝(*A. indica*)的主要活性成分为印楝素, 能干扰蚊幼和蛹的正常生长发育, 使幼

虫不能化蛹, 蛹不能羽化为成虫, 还可导致成虫绝育^[34]。苦楝(*M. azedarach*)种子提取物可以阻止成年斯氏按蚊(*A. stephensi*)产卵^[35], 并能损伤幼虫中肠上皮细胞^[36]。楝科植物活性物质作用机理多样, 是最有前途的杀蚊幼植物之一。

唇形科植物以富含芳香油而著称, 其中有多种芳香油成分可用于驱蚊。云南迷迭香(*Rosmarinus officinalis*)的挥发性成分具有明显驱蚊活性^[37]。小冠薰(*Moschosman polystachyum*)叶的粗提取物也具有驱蚊效果, 且有效保护时间大于5 h^[38]。荆芥(*Nepeta cataria*)精油中具刺激性薄荷香味的荆芥内酯是高效驱蚊剂^[39]。上世纪70年代从唇形科植物精油中提取的萜烯类成分, 如 α -蒎烯、 β -蒎烯、 γ -蒎烯等均对蚊虫具有较强的驱避活性^[40]。

除以上3科植物外, 柏科、木兰科、樟科、芸香科、伞形花科、姜科、桃金娘科、龙脑香科和禾本科等很多种类植物也具有驱蚊、灭蚊活性, 有些已经应用到人们生产生活中^[41,42]。

3 驱蚊、灭蚊植物在生产生活中的应用 (Application of mosquito-repellent and mosquitocidal plants in life and production)

3.1 驱蚊、灭蚊植物的传统应用

世界各地传统驱蚊、灭蚊植物的应用由来已久。据记载我国早在公元前就有夏季晚上燃烧艾蒿(*A. argyi*)熏杀蚊虫的经验; 11世纪也有使用浮萍(*Lemna minor*)、麻叶、荆叶和艾叶熏蚊的记载; 四川民间经常用桉树(*E. robusta*)叶汁涂抹在皮肤上来防止蚊虫叮咬^[3]。在南非的uMkhanyakude地区, 驱蚊、灭蚊植物主要是漆树科和楝科植物, 最具代表性的有芒果(*Mangifera indica*)、伯尔硬胡桃(*Sclerocarya birrea*)和苦楝(*M. azedarach*)、纳塔尔桃花心木(*Trichilia emetica*)^[43]。最常见的利用植物驱蚊、灭蚊方法是直接燃烧新鲜植物, 叶片是最常用的植物器官^[44]。在肯尼亚西部的Rusinga岛和Rambira地区, 可以通过直接燃烧来驱蚊的植物有灰罗勒(*Ocimum americanum*)、马缨丹(*Lantana camara*)、罗勒(*O. basilicum*), 而山香(*Hyptis suaveolens*)、印加孔雀草(*Tagetes minuta*)、印楝(*A. indica*)则是把整株植物或枝条放置室内靠自然挥发物来达到驱蚊的目的^[45]。在埃塞俄比亚, 人们将印楝(*A. indica*)种在房屋附近, 或制成液体喷洒用以驱蚊^[46]。

3.2 驱蚊、灭蚊植物在防治蚊虫药剂开发中的应用

在化学合成农药问世以前, 不少农药是从植物中提取出来的, 其中有些植物源的生物活性物质已开发成商品用杀虫剂, 如硫酸烟碱等。1939年Paul Muller首次发现滴滴涕, 从此化学合成农药纷纷替代了植物性农药而雄居市场, 使得植物性农药的研究一度陷入低谷。但有机合成杀虫剂在使用过程中产生的“三R”问题, 即残留(Residue)、抗性(Resistance)及害虫再猖獗(Resurgence)引起了人们对其高度的重视和重新评价, 化学合成农药受到了严重挑战。在人类越来越关注环境质量和健康的今天, 使用环境友好型产品的愿望越来越迫切, 人们重新将眼光投向了天然植物源杀虫剂。

驱蚊、灭蚊植物的活性成分一般都是植物的次生代谢物, 这些物质是植物自身防御与昆虫适应演变协同进化的结果, 其在农作物病虫害防治中具有对环境友好、毒性较低、不易产生抗药性、不会发生农药富集等优点。这些次生代谢物质主要集中在萜类和生物碱这两大类化合物中, 此外还有糖苷、具有光活性的噻吩、香茅醇、香茅醛、芳樟醇、丁香酚以及1,8-桉叶素等物质^[47,48]。穗花牡荆(*Vitex agnus castus*)驱避蚊虫的有效成分主要为挥发性 β -丁香烯(叶38.8%; 枝31.8%)、香桉烯(叶9.8%; 枝5.1%), β -金合欢烯(叶5.7%; 枝5.5%)^[49]。蛇足石杉(*Huperzia serrata*)中的生物碱、三萜类和黄酮类等成分^[50]、羊蹄躅(*Rhododendron molle*)中的闹羊花素-III^[51]、桃金娘科柠檬桉(*Eucalyptus citriodora*)叶中提取的para-Menthane-3, 8-diol(PMD)等对成蚊或其幼虫具有较好的毒杀或驱避效果^[52]。一般情况下驱蚊、灭蚊植物的粗提物对蚊虫的防治效果要比纯品高, 且使用成本相对较低, 易于加工操作^[53], 因此可将驱蚊、灭蚊植物的粗提物直接作为杀蚊剂, 或者与化学杀蚊剂复配使用, 减少化学杀蚊剂的用量, 在高效杀蚊的同时大大提高了对环境的安全性。

开发植物源驱蚊、灭蚊产品, 既可以将植物中天然活性物质直接用于蚊虫控制, 也可以对植物中发现的结构新颖的灭蚊、驱蚊先导化合物进行结构优化, 开发出具有全新结构和作用机理的新型驱蚊、灭蚊产品。目前国际上杀虫剂的三大支柱中就有两支是从天然植物杀虫活性物质中找到先导化合物, 并以此为模板化学合成的, 如拟除虫菊酯是以菊科植物的除虫菊素为模板合成的, 氨基甲酸酯类杀虫剂是以豆科植物的毒扁豆碱为模板合成的^[54, 55]。野薄荷(*Mentha*

hoptocalyx)茎叶中分离出的d-8-乙酰氧基别二氢葛缕酮经过化学结构修饰,也成为了商品化的高效驱蚊剂^[56]。这些植物中天然活性模型为人类抵御蚊虫提供了众多的启示及源源不断的分子库。

3.3 驱蚊、灭蚊植物在庭院园林绿化中的应用

不少植物活体在生长状态下能释放出对蚊虫具有明显驱避作用的挥发性物质,如灰罗勒(*O. americanum*)、马缨丹(*L. camara*)及过江藤属的*Lippia uckambensis*在活体状态下即可显著地减少冈比亚按蚊(*A. gambiae*)对人的叮咬,驱避率分别为40%、32%和33%^[45]。金枝千头柏(*Platycladus orientalis*)、花叶薄荷(*Mantha rotundifolia*)、紫苏(*Perilla frutescens*)、花叶美人蕉(*Canna glauca*)、金线石菖蒲(*Acorus gramineus*)等园林植物活体状态下也具有明显的驱蚊效果^[57]。

在进行城市建设规划中,如能将具有驱蚊活性的植物合理配置于绿化植物群落中,不仅能摆脱纯欣赏、休憩等传统单一的模式,还可以实现绿化景观与环境功能的相结合。侧柏(*Platycladus macrophyllus*)、孔雀草(*Tagetes patula*)、薄荷(*Mentha arvensis*)、驱蚊香草(*Pelargonium citrosum*)、番茄(*Lycopersicon esculentum*)5种园林植物均具有较好的驱蚊效果,且分布区域广,适应能力强,可在园林绿化中广泛应用^[24]。常春藤(*Hedera helix*)、曼陀罗(*Datura metal*)、鸢尾(*Iris chinensis*)、玉簪(*Hosta p lantaginea*)、万年青(*Rohdea Japonica*)等园林植物也具有驱蚊活性^[58]。雪松(*Cedrus deodara*)植株观赏特性好、防护作用强、经济价值高且有深厚的文化底蕴,加之其提取物对蚊虫具有毒杀作用^[59],在园林绿化中也具有极高的应用价值。

一些驱蚊、灭蚊植物还具有芳香性和杀菌等保健功能,如万寿菊(*Tagetes erecta*)等能吸收大气中的氟化物;意大利松(*Pinus pinea*),释放出的臭氧有抑制结核杆菌的作用;薄荷(*Mentha haplocalyx*)和薰衣草(*Lavandula angustifolia*)香气中的特殊成分能刺激人的呼吸中枢,促进人体吸收氧气,呼出二氧化碳,使大脑供血充足,从而能长时间保持旺盛的精力;蓝桉(*Eucalyptus citriodora*)释放的1,8-桉叶醇香气会促进大脑血液流动,使大脑皮层活力增加^[60]。活体植物驱蚊是一种绿色环保的安全驱蚊方法,开发植物资源防控有害生物是人类实现可持续发展的有效通道。驱蚊、灭蚊植物应用于园

林绿化,是一种集绿化、美化、净化、驱蚊为一体的新型保健型园林新理念,有广阔的研究应用推广价值。

3.4 驱蚊、灭蚊植物在水体修复中的应用

水体植物修复处理技术具有成本低、不易产生二次污染、景观生态兼容性好等诸多优点,被认为是最有前途的水体修复技术。我国在“七五”期间分别在北京昌平、深圳白泥坑、天津等地建成不同处理规模的自由表面流人工湿地处理工程,在改善水质方面已取得了一定的成效^[61]。尽管投资费用和运行成本较低,自由表面流人工湿地却一直得不到广泛应用,因为在水体植物修复体系中,密集生长的植物为蚊虫提供了食物和栖息地,导致蚊虫成灾,严重影响了当地居民的生活。近年来全国各地很多城市河道利用浮床进行植物修复,同样经常遇到此类问题(汪秀芳,未发表资料)。居民用尽各种驱蚊、灭蚊的方法,效果都不佳,以致抵触植物修复技术,甚至直接损毁水体植物修复设施,植物修复工作的进一步推广应用受到了严重的限制,因此蚊虫防治是水体生态修复工程中应当努力攻克的重要难题。

目前,湿地管理者一般采取劝阻或限制公众进入湿地、使用杀虫剂、控制流速、设置深水区、引入蚊幼捕食者或改变湿地类型等方法对湿地蚊虫进行防治^[5]。但大量使用杀虫剂会污染环境;水深过大也会影响植物生长,影响植物修复环境的效果;放养食蚊鱼等鱼类吞食蚊卵,虽可达到抑制蚊虫的效果^[62],但鱼类种群数量较难控制,因此还需进一步探索适用于湿地环境蚊虫防治的有效方法。

不同功能型的植物搭配种植是解决水体植物修复中蚊虫防治问题的一种新方案。将具有驱蚊活性的植物配置于水体修复的植物群落中,合理组合净化水质能力强的植物类型与有效防治蚊虫的植物类型,在净化水质的同时可以起到抑制蚊虫的效果^[63]。水体生态修复工程中应用较普遍的美人蕉(*Canna indica*)对TN、TP等污染物指标均有良好的去除效果^[64],其提取液对斯氏按蚊(*A. stephensi*)和致倦库蚊(*C. pipiens quinquefasciatus*)也有显著驱灭效果^[65]。水生植物释放的萜类化合物、类固醇等化感物质,不仅具有抑制藻类生长繁殖的净水功能,也是驱蚊、灭蚊植物的活性成分,如民间很早就用来驱蚊的艾蒿和菖蒲也能有效抑制藻类繁殖^[66, 67]。此外,水芹、姜、薄荷、鳢肠、水蓼等常应用于水体修复的湿生植物都具

有驱蚊活性^[32, 68, 69]。

驱蚊、灭蚊植物不仅可以通过在生长过程中释放挥发性物质和根系分泌物防治蚊虫,其收割产生的大量生物量和枯死后的残体水解释放的物质也对蚊虫的防治有良好的效果。在水中腐烂的桉木叶对埃及伊蚊(*A. aegypti*)幼虫有毒杀作用,尤以腐败10个月以上的叶毒性最强^[10]。薄荷干枝叶的粗提液对淡色库蚊(*C. pipiens pallens*)也具有有良好的驱避效果^[70]。

驱蚊、灭蚊植物应用于水体植物修复,不仅可以解决植物生长过程中蚊虫孳生的问题,植物生长结束后,收割的生物量可以用于驱蚊、灭蚊产品的生产,不仅可以运用于蚊虫防治,而且可以防止水生植物残体在水中腐烂带来的二次污染,因此将驱蚊、灭蚊植物应用于水体植物修复有着迫切的现实需求和广泛的应用前景。

4 结论与展望 (Conclusions and outlook)

目前虽然发现了驱蚊、灭蚊植物种类多达500余种^[26],但仅局限于少数传统的科属,其中具有高效驱蚊、灭蚊活性的实用种类不多。据统计,我国约有高等植物30 000多种,其中有毒植物约10 000多种,这些有毒植物大多具有杀虫生物活性^[57],为驱蚊、灭蚊植物的筛选提供了丰富的种源,今后可扩大驱蚊、灭蚊植物筛选的范围,如芳香植物集中的芸香科、伞形科等。另外高灵敏度的生物活性检测方法的缺乏制约了高效活性植物筛选的效率,因此建立分子水平的高灵敏度的生物活性测定方法,减少漏筛现象,对发现具有高效驱灭活性的植物种类具有至关重要的意义。

驱蚊、灭蚊植物运用到园林绿化特别是人居环境中,使景观建设从以往的美观大方逐步走向生态保健,将景观功能、环境功能和驱蚊功能相结合,全方位促进居民身心健康和城市生态系统的可持续发展。此外还可以将驱蚊、灭蚊植物配置于水体修复的植物群落中,充分发挥植物吸收营养、净化水质和驱蚊的功能,实现水环境治理与蚊虫防治的一体化,有利于植物修复技术的推广应用。但迫于驱蚊、灭蚊植物种类和效果研究的不足,驱蚊植物在园林绿地和湿地系统中应用,还需要植物学、化学、生态学和环境学等多学科协作更深入研究,同时也离不开强有力的政策支持,以促进驱蚊、灭蚊植物的推广应用。

参考文献 (References)

- [1] 陆宝麟. 1997. 中国动物志·昆虫纲·第八卷·双翅目·蚊科上卷[M]. 北京: 科学出版社. 1-884.
- [2] Taubes G. A mosquito bites back[J]. *New York Times Magazine*, 1997, 24: 40-46.
- [3] 万发令, 苏群, 陈金珠, 姜志宽, 王宗德. 蚊虫驱避剂的研究进展[J]. *中华卫生杀虫药械*, 2007, 13(4): 298-301.
- [4] 彭映辉, 陈飞飞, 张云, 曾冬琴, 钟海雁. 植物对吸血蚊虫的驱避毒杀作用研究现状及展望[J]. *中南林业科技大学学报*, 2007, 27(6): 187-192.
- [5] Fritsch M S. Health issues related to drainage water management[A]. In: Madramootoo C A, Johnston W R, Willardson L S. Management of agricultural drainage water quality[C]. Rome: International Commission on irrigation and Drainage Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1997. 63-76.
- [6] Megonigal J P. 2009. Current practices in wetland management for mosquito control[M]. Columbus: Society of Wetland Scientists. 3-11.
- [7] 孙传红, 王怀位, 刘仑华, 史保全, 魏庆宽. 不同高度、不同容器水质中蚊幼虫滋生情况观察[J]. *中国媒介生物学及控制杂志*, 2002, 13(5): 357, 364.
- [8] Munga S, Minakawa N, Zhou G, Barrack O J, Githeko A K, Yan G. Oviposition site preference and egg hatchability of *Anopheles gambiae*: effects of land cover types[J]. *Journal of Medical Entomology*, 2005, 42(6): 993-997.
- [9] Navarro D M A F, de Oliveira P E S, Potting R P J, Brito A C, Fital S J F, Sant'Ana A E G. The potential attractant or repellent effects of different water types on oviposition in *Aedes aegypti* L. (Dipt., Culicidae)[J]. *Journal of Applied Entomology*, 2003, 127(1): 46-50.
- [10] Rey D, Pautou M P, Meyran J C. Histopathological effects of tannic acid on the midgut epithelium of some aquatic Diptera larvae[J]. *Journal of Invertebrate Pathology*, 1999, 73(2): 173-181.
- [11] David J P, Rey D, Meyran J C, Marigo G. Involvement of ligninlike compounds in toxicity of dietary alder leaf litter against mosquito larvae[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2001, 27(1): 161-173.
- [12] 邓天福. 淡色库蚊与白纹伊蚊产卵引诱物研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- [13] Reiskind M H, Wilson M L. *Culex restuans* (Diptera:

- Culicidae) oviposition behavior determined by larval habitat quality and quantity in Southeastern Michigan[J]. *Journal of Medical Entomology*, 2004, 41(2):179-186.
- [14] Tennesen K J. 1993. Production and suppression of mosquitoes in constructed wetlands. In: Moshiri G A (Ed). *Constructed wetlands for water quality improvement*[M]. Michigan: Lewis Publishers (CRC Press). 591-601.
- [15] Yadav P. Factors affecting mosquito populations in created wetlands[D]. Columbus: The Ohio State University, 2009.
- [16] 孙卿, 李乃丹, 张庆费, 夏樯, 郑思俊. 蚊虫的生态治理研究进展[J]. *山西师范大学学报(自然科学版)*, 2008, 22(1): 96-98.
- [17] Greenway M. Suitability of macrophytes for nutrient removal from surface flow constructed wetlands receiving secondary treated effluent in Queensland, Australia[J]. *Water Science and Technology*, 2003, 48(2), 121-128.
- [18] Jiannino J A, Walton W E. Evaluation of vegetation management strategies for controlling mosquitoes in a southern California constructed wetland[J]. *Journal of American Mosquito Control Association*, 2004, 20 (1), 15-25.
- [19] Greenway M, Dale P, Chapman H. An assessment of mosquito breeding and control in 4 surface flow wetlands in tropical-subtropical Australia[J]. *Water Science and Technology*, 2003, 48(5), 249-256.
- [20] Sanford M R, Keiper J B, Walton W E. The impact of wetland vegetation drying time on abundance of mosquitoes and other invertebrates[J]. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 2003, 19(4): 361-366.
- [21] Frank J H, Curtis G A. Bionomics of the bromeliad-inhabiting mosquito *Wyeomyia vanduzeei* and its nursery plant *Tillandsia utriculata*[J]. *The Florida Entomologist*, 1981, 64(4): 491-506.
- [22] Kevan P G, Tikhmenev E A, Usui M. Insects and plants in the pollination ecology of the boreal zone[J]. *Ecological Research*, 1993, 8, 247-267.
- [23] Janet F. A world without mosquitoes[J]. *Nature*, 2010, 466: 432-434.
- [24] Dale P E R, Knight J M. Wetlands and mosquitoes: a review[J]. *Wetlands Ecology and Manage*, 2008, 16(4): 255-276.
- [25] 林琳. 孔雀草等五种园林植物对蚊的驱避影响及挥发物的成分鉴定[D]. 四川: 四川农业大学, 2008.
- [26] Sukumar K, Perich M J, Boobar L R. Botanical derivatives in mosquito control: a review[J]. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 1991, 7(2): 210 -237.
- [27] Dua V K, Gupta N C, Pandey A C, Sharma V P. Repellency of *Lantana camara* (Verbenaceae) flowers against *Aedes* mosquitoes[J]. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 1996, 12(3): 406-408.
- [28] Barnard D R, Xue R D. Laboratory evaluation of mosquito repellents against *Aedes albopictus*, *Culex nigripalpus*, and *Ochierotatus triseriatus* (Diptera: Culicidae)[J]. *Journal of Medical Entomology*, 2004, 41(4): 726-730.
- [29] Jang Y S, Baek B R, Yang Y C, Kim M K, Lee H S. Larvicidal activity of leguminous seeds and grains against *Aedes aegypti* and *Culex pipiens pallens*[J]. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 2002, 18(3): 210-213.
- [30] 乐海洋, 赵喜欢. 万寿菊提取物对白纹伊蚊幼虫的光活化活性及有效成分研究[J]. *华南农业大学学报*, 1998, 19(2): 8-12.
- [31] 黄钢, 潘文亮, 高占林. 河北省杀(抑)虫植物对淡色库蚊幼虫的毒效作用初步研究[J]. *中华卫生杀虫药械*, 2000, 11(1): 27-29.
- [32] 张天柱, 曾勇, 李辉, 陈国杰, 苏俊森, 翁群芳. 14种菊科植物提取物对松材线虫和淡色库蚊的光活化毒杀作用[J]. *西北植物学报*, 2010, 30(4): 821-826.
- [33] 刘禹卿. 银灰菊精油周年变化及灭蚊驱蚊效果研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2008: 2-3.
- [34] 郝蕙玲, 孙锦程. 印楝素对淡色库蚊的生物活性研究[J]. *中华卫生杀虫药械*, 2008, 14(1): 24-26.
- [35] Sengottayan S N, Savitha G, George D K, Narmadha A, Suganya L, Chung P G. Efficacy of *Melia azedarach* L. extract on the malarial vector *Anopheles stephensi* Liston (Diptera: Culicidae)[J]. *Bioresource Technology*, 2006, 97(11): 1316-1323.
- [36] Al-Mehmadi R M, Al-Khalaf A A. Larvicidal and histological effects of *Melia azedarach* extract on *Culex quinquefasciatus* Say larvae (Diptera: Culicidae)[J]. *Journal of King Saud University (Science)*, 2010, 22(2): 77-85.
- [37] 李黎, 范泉水, 邱薇, 张富强, 冯子良, 王杰, 余静, 刘祥义. 迷迭香植物精油对白纹伊蚊的驱避作用及其化学成分分析[J]. *昆虫知识*, 2010, 47(3): 533-537.

- [38] Rajkumar S, Jebanesan A. Repellency of volatile oils from *Moschosma polystachyum* and *Solanum xanthocarpum* against filarial vect or *Culex quinquefasciatus* say[J]. *Tropical Biomedicine*, 2005, 22(2): 139-142.
- [39] 杨频, 马雅军, 杜昱光, 廉振民. 植物源生物活性物质对蚊虫的防制[J]. 中国人兽共患病杂志, 2004, 20(1): 66-67.
- [40] Davis E E. Insect repellents: concepts of their mode of action relative to potential sensory mechanisms in mosquitoes (Diptera: Culicidae)[J]. *Medical Entomology*, 1985, 22(3): 237-243.
- [41] Traboulsi A F, Taoubi K, El-Haj S, Bessiere J M, Rammal S. Insecticidal properties of essential plant oils against the mosquito *Culex pipiens molestus* (Diptera: Culicidae)[J]. *Pest Management Science*, 2002, 58(5): 491-495.
- [42] Tripathi A K, Prajapati V, Ahmad A, Aggarwal K K, Khanuja S P. Piperitenone oxide as toxic, repellent, and reproduction retardant toward malarial vector *Anopheles stephensi*[J]. *Journal of Medical Entomology*, 2004, 41(4): 691-698.
- [43] Mavundza E J, Maharaj R, Finnie J F, Kabera G, Staden J V. An ethnobotanical survey of mosquito repellent plants in uMkhanyakude district, KwaZulu-Natal province, South Africa[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2011, 137(3): 1516-1520.
- [44] Karunamoorthi K, Husen E. Knowledge and self-reported practice of the local inhabitants on traditional insect repellent plants in Western Hararghe zone, Ethiopia[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2012, 141(1): 212-219.
- [45] Seyoum A, Kabiru E W, Lwande W, Killeen G F, Hassanali A, Knols B G J. Repellency of live potted plants against *Anopheles gambiae* from human baits in semi-field experimental huts[J]. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 2002, 67(2): 191-195.
- [46] Karunamoorthi K, Ilango K, Endale A. Ethnobotanical survey of knowledge and usage custom of traditional insect/mosquito repellent plants among the Ethiopian Oromo ethnic group[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2009, 125(2): 224-229.
- [47] 张国洲, 吴恭谦. 植物性杀虫剂研究进展[J]. 安徽农业大学学报, 2002, 29(1): 25-28.
- [48] 贝纳新, 高萍, 石承民, 田秀玲, 金亮. 植物源杀虫剂研究进展[J]. 沈阳农业大学学报, 2002, 3(4): 309-314.
- [49] Mehlhorn H, Schmahl G, Schmidt J. Extract of the seeds of the plant *Vitex agnus castus* proven to be highly efficacious as a repellent against ticks, fleas, mosquitoes and biting flies[J]. *Parasitology Research*, 2005, 95(5): 363-365.
- [50] 王学贵, 吴翰翔, 沈丽淘, 田永青, 徐汉虹. 42种植物甲醇提取物对白纹伊蚊的杀虫活性[J]. 华南农业大学学报, 2010, 31(3): 40-42.
- [51] 程东美, 胡美英, 张志祥, 徐伟松, 周利娟. 闹羊花素-III对几种害虫的生物活性研究[J]. 华南农业大学学报, 2001, 22(4): 33-35.
- [52] Carroll S P, Loye J. PMD, a registered botanical mosquito repellent with deet-like efficacy[J]. *Journal of American Mosquito Control Association*, 2006, 22(3): 507-514.
- [53] 王小艺. 中国植物源杀虫剂的研究与应用[J]. 世界农业, 2000, 2: 30-32.
- [54] Frances S P. Effectiveness of deet and permethrin, alone, and in a soap formulation as skin and clothing protection against mosquitoes in Australia[J]. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 1987, 4(3): 648-650.
- [55] 郝乃斌, 戈巧英. 中国植物源杀虫剂的研制与应用[J]. 植物学通报, 1999, 16(5): 495-503.
- [56] 丁德生, 孙汉董. 野薄荷精油中驱避有效成分的结构鉴定[J]. 植物学报, 1983, 25(1): 62-65.
- [57] 祝遵凌, 王飒. 南京城市绿地彩叶地被植物种类及园林应用[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 31(10): 111-115.
- [58] 平新亮, 李保同, 曾鑫年, 熊忠华, 李晓花. 56种植物甲醇提取物对白纹伊蚊的生物活性[J]. 江西农业大学学报, 2007, 29(1): 30-33.
- [59] 扶巧梅, 彭映辉, 熊国红, 陈飞飞, 秦巧慧, 申鸽, 曾冬琴, 张云, 陈倩静. 2种松科植物精油对蚊虫的毒杀作用[J]. 中南林业科技大学学报, 2010, 30(9): 145-147, 156.
- [60] 陈欢, 章家恩. 植物精气研究进展[J]. 生态科学, 2007, 26(3): 281-287.
- [61] 白晓慧, 王宝贞, 余敏, 聂梅生. 人工湿地污水处理技术及其发展应用[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 1999, 32(6): 88-92.
- [62] 黄亚, 傅以钢, 赵建夫. 富营养化水体水生植物修复机理的研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(1): 379-383.
- [63] Robert L K, William E W, George F O, William K R, Roland W. Strategies for effective mosquito control in constructed treatment wetlands[J]. *Ecological Engineering*, 2003, 21(4-5): 211-232.

- [64] 张亚娟, 王军霞, 刘存政, 李洪波, 吴亦红, 王亚斌. 美人蕉浮床对富营养化水体氮、磷去除效果的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(10): 6053-6054.
- [65] Chinnaperumal K, Abdul A R, Asokan B, Asokan B, Gandhi E, Abdul A Z, Thirunavukkarasu S. Larvicidal and repellent activity of medicinal plant extracts from Eastern Ghats of South India against malaria and filariasis vectors[J]. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2011, 4(9): 698-705.
- [66] 徐芙清, 何伟, 郑星, 张维昊, 蔡伟伟, 唐倩. 野艾蒿及其有机提取物对铜绿微囊藻生长的抑制作用[J]. 生态学报, 2010, 30(3): 745-750.
- [67] 丁惠君, 张维昊, 王超, 黄振, 匡劼, 宋立荣. 菖蒲对几种常见藻类的化感作用研究[J]. 环境科学与技术, 2007, 30(6): 20-22.
- [68] 董桂蕃. 我国植物驱蚊药的研究[J]. 卫生杀虫药械, 1995, 1(1): 13-16.
- [69] Someshwar S, Goutam C. Mosquito larvicidal activity of some common spices and vegetable waste on *Culex quinquefasciatus* and *Anopheles stephensi*[J]. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 2011, 4(4): 288-293.
- [70] 王争艳, 莫建初, 侯建军, 程梦林, 邓天福. 5种植物粗提液对淡色库蚊的驱避效果[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2007, 18(1): 24-25.

(上接第390页)

- [13] 樊登星, 余新晓, 岳永杰. 北京是森林碳储量及其动态变化[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(增刊 2): 117-120.
- [14] 张茂震, 王广兴. 浙江省森林生物量动态[J]. 生态学报, 2008, 28(11): 5665-5674.
- [15] 程堂仁, 马钦彦, 冯仲科. 甘肃小陇山森林生物量研究[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(1): 31-36.
- [16] 方精云, 刘国华, 朱彪. 北京东灵山三种温带森林生态系统的碳循环[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2006, 36(6): 533-543.
- [17] 罗云建, 张小全, 王效科. 华北落叶松人工林生物量及其分配模式[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(1): 13-18.
- [18] 贺红早, 黄丽华, 段旭. 贵阳二环林带主要树种生物量研究[J]. 贵州科学, 2007, 25(3): 33-39.
- [19] 狄文斌, 郑小贤. 东北过伐椴树生长过程与生长模型的研究[J]. 江西林业科技, 2006, 1: 3-9.
- [20] 王光华, 刘琪璟, 刘文慧. 北京主要森林类型碳储量[J]. 北京林业大学学报, 2011, 33(增刊 1): 84-89.
- [21] 张小全, 朱建华, 侯振宏. 主要发达国家林业有关碳源汇及其计量方法与参数[J]. 2009, 22(2): 285-293.