城市公园蚊虫防控景观设计*

廖晨阳[1] 蒋雨濛[1] 高 庆[1] 吴 芬[1] 冯可心[2]

1 四川大学建筑与环境学院 成都 610065
2 四川省城乡建设研究院 成都 610041

摘要：城市公园是优质人居环境和生态斑块的重要组成部分，然而茂密的植被和阴湿的环境也使城市公园成为蚊虫孳生的主要场所，蚊虫滋扰已成为影响人们游憩康养舒适感的最主要因素之一，还存在潜在的传染病传播风险。文章根据蚊虫防控的相关研究和现实案例，解析城市公园蚊虫防治的基本原理和主要手段，分别从公园水生环境与陆生植物群落设计、驱虫捕虫植物、蚊虫天敌的栖息地营造、蚊虫诱捕装置以及管理维护等方面提出基于环境防治和生物防控相结合的城市公园景观设计方法和措施，为建设无蚊型城市公园、促进园林康养、创建宜居城市环境提供理论依据和实践参考。

关键词：蚊虫防控；城市公园；植物景观设计；栖息地营造；驱蚊植物
DOI：10.12169/zgcsly.2024.08.01.0001

Mosquito Control-Oriented Landscape Design for Urban Parks

Liao Chenyang[1] Jiang Yumeng[1] Gao Qing[1] Wu Fen[1] Feng Kexin[2]

(1. College of Architecture and Environment, Sichuan University, Chengdu 610065, China;
2. Sichuan Institute of Urban and Rural Construction, Chengdu 610041, China)

Abstract: Urban parks are the most essential part of the high-quality urban living environment and the ecological patches. However, due to the dense vegetation and humid environment, they are also the major breeding ground for mosquitoes. Mosquito infestations are believed as one of the most significant factors affecting tourists' comfort and health, as well as the potential risk of infectious diseases. Referring to the research on and the practical cases of mosquito control, this paper analyzes the fundamental principles and main methods of mosquito control in urban parks, and proposes the approaches and measures for urban park landscape design based on environmental and biological control, from the aspects of design of aquatic environment and terrestrial vegetation community, repellent and predator plants, habitat creations for mosquito predators, mosquito trapping devices, and the maintenance management. The study would provide theoretical and practical support for constructing the mosquito-free urban parks, promoting the health activities in parks and creating the livable urban environment.

Keywords: mosquito control; urban park; plant landscape design; habitat creation; mosquito repellent plant

随着我国城市快速发展和人居环境持续改善，公园景观质量不断提升，功能逐渐完善，但由于公园水体多、植物密度高，尤其是人工化景观对原生生态系统的破坏，使城市公园成为蚊虫的主要孳生地。蚊虫滋扰已成为城市公园中影响游憩体验质量和康养活动的重要因素之一，它们也是

收稿日期：2024-08-01
* 基金项目：四川大学研究生培养教育创新改革项目（2023HXKC012）
第一作者：廖晨阳（1982- ），男，博士，副教授，研究方向为植物景观设计与园林生态。E-mail：chenyangliao@scu.edu.cn
通信作者：冯可心（1983- ），男，硕士，高级工程师，研究方向为城乡规划与生态保护。E-mail：kexin20023075@qq.com

潜在的城市疾病传播媒介。但是城市公园作为居民日常休闲活动的重要场所，与公众健康息息相关，因此开展蚊虫防控型公园景观设计研究、解决蚊虫滋扰问题是城市公园高质量发展的必然要求。

防控蚊虫的主要方法包括化学防治、生物防治、环境防治等[1]。目前城市蚊虫防治主要采用喷洒化学合成杀虫剂（如甲基嘧啶磷和杀螟硫磷）[2]，虽然灭蚊效果较好，但也导致了环境污染和生态失衡，蚊虫的抗药性也逐渐提高[3]。因此除了倡导低毒高效杀虫剂，更需探索其他防治手段，以期达到标本兼治的防控效果。Orta-Pineda 等[4]的研究表明，蚊类数量及物种丰富度与景观人工化呈显著正相关，尤其是不科学的环境设计是加剧公园蚊虫滋扰的主要原因之一，因此，利用景观规划设计的方法进行人工干预，是消除公园蚊虫孳生源地的根本所在，也对生态环境和游人更为安全友好。本文从公园绿地景观规划与设计的角度分析蚊类防控的主要机制和有效途径，为构建无蚊型城市公园、发展园林康养提供理论依据和实践参考。

1　蚊类生活习性

蚊是双翅目（Diptera）蚊科（Culicidae）小型昆虫总称，我国常见的吸血种类有中华按蚊（*Anopheles sinensis*）、致倦库蚊（*Culex pipiens quinquefasciatus*）、埃及伊蚊（*Aedes aegypti*）等[5]。蚊的生命周期包括卵、幼虫、蛹和成虫 4 个阶段，其中前 3 个阶段均在水中完成，因此蚊虫分布受到水生环境状况的显著影响[6]。公园的滨水区域和阴湿积水处常有大量蚊虫孳生，自然式驳岸也较硬质驳岸更易隐藏蚊虫[7]。此外，在公园植被密集、湿度高的区域，尤其是荫蔽的灌丛和较深的草丛，蚊虫分布也远高于广场和运动区等硬质铺装场所[8]。一般来说，在我国北方地区，蚊虫数量通常从 5 月开始增加，至 7、8 月达到高峰；在南方地区，蚊虫数量从 4 月份开始出现，高峰期为 6 月和 9 月，直到 10 月后才开始减少，可见蚊虫活跃期与居民户外活动季大致吻合[9-10]。

2　防蚊控蚊的景观设计方法

蚊虫防控型城市公园是指几乎无蚊虫孳生或蚊虫滋扰极少的城市公园，旨在以公园水体、植物群落和防蚊设施的科学规划设计为主要手段，将环境防治与生物防治相结合，减少蚊虫滋生的环境，控制蚊虫种群数量，提高人们的游憩舒适感。本文依据蚊虫生活习性、孳生环境和生态关系，分别从水生环境和陆生植物群落设计、驱虫捕虫植物、蚊虫天敌的栖息地营造、蚊虫诱捕装置以及公园景观管理维护等方面对蚊虫防控型城市公园的景观设计营造展开探讨。

2.1　防控蚊虫孳生的公园环境设计

2.1.1　水生环境设计

公园的水域景观提供了良好的视觉体验和活动游憩场地，但水域环境也是蚊虫繁殖的主要空间，水体理化特征及生物群落直接影响成蚊的繁殖和存活。因此，在水域景观设计与营造时需采取必要的蚊虫防治策略，从根本上减少蚊虫孳生的环境条件。

1）水域规划设计。水生环境作为蚊虫幼体的栖息场所，可从水体面积、深度、水流速度和水质等方面进行设计和优化。水流速度是影响蚊虫生存的首要因素，当水体流速大于 0.3 $m \cdot s^{-1}$ 时可清除大部分幼蚊。其次，高有机物含量的污染水体更易滋生蚊虫[11]，有机污染物不仅是孑孓的食物，且高浓度时会降低水体流速更利于孑孓生存。在水体面积与深度方面，宽阔且较深的水域因其生态系统更完善，蚊虫天敌更丰富，往往更不易孳生蚊虫[12]。城市公园水域通常以平静或缓流的水体为主，在景观水体规划时，不宜采用较多的小型静水水体，可将分散的水体连通形成动态水系，有助于清除蚊虫幼体、增强水体的自净能力，只有结合水生生态系统构建方能进一步减少蚊虫孳生条件[13]。例如：成都活水公园将露天水体相互串联，保持了水体流动性（日流量可达 300 m^3），再利用水流雕塑和植物床将水质提升至近 I 类水标准，大幅降低了蚊虫孳生条件。在大型城市公园中，可通过间歇性提高水流速度清除库坝型溪流水体中的蚊虫幼体，亦可将蚊虫密度较大的水域规划为生态保育区，减少游人的可进入性，

并设置开阔植物带进行缓冲控制蚊虫迁移[14]。

2）水生植物群落设计。过密的水生植物群落会阻滞水体流动，妨碍捕食者进入，水生植物群落的科学设计可增强水体的生态性能，抑制蚊虫孳生。在水域中布置隔离宽度小于 3 m 的种植床（图 1），可以保持较高的边缘/面积比，有利于消纳污染物；种植床间的水道还可加快植物残体分解和有机质排出，适当提高种植床间距利于空气流通、降低蚊虫隐蔽性并抑制水生植物扩散[15]。美国加利福尼亚州 Hemet-San Jacinto 污水处理湿地采用这种方式，在提高废水氮处理能力的同时，开敞的水域空间也易引来更多的蚊虫天敌[16]。还有研究表明，在表流型湿地的入口处布置较窄的植物带可提高流速、增强硝化水平并减少蚊虫孳生，而流出口由于水流较快、蚊虫难以生存，可布置较宽的植物带，提高净化效率[17]。

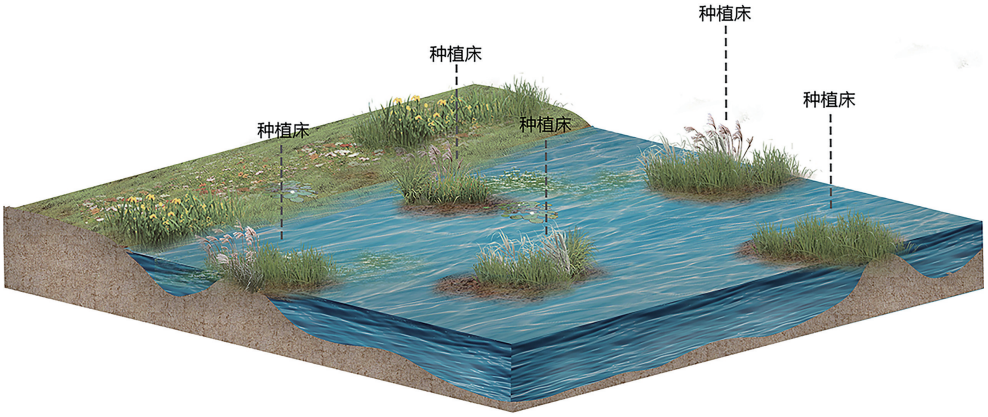


图 1 湿地种植床示意图

由于刚性挺水植物具有良好的净化能力和较低的隐蔽蚊虫作用，水生植物群落宜以这类植物为建群种，减少使用易倒伏的或漂浮植物。多种植物构成复合群落相较单建群种群落能更好地净化水体并提高栖息动物多样性，水生植物群落通常由 3～5 种植物构成，如“水竹芋（*Thalia dealbata*）+风车草（*Cyperus involucratus*）+千屈菜（*Lythrum salicaria*）”和“水竹芋+鸢尾（*Iris tectorum*）+睡莲（*Nymphaea tetragona*）”的组合[18]。为了提高植物群落通透性，还需注意控制种植密度，例如：水竹芋的适宜密度为 3～4 丛/m^2，千屈菜为 16～20 株/m^2，睡莲为 1～2 株/m^2。沉水植物群落的主要作用是稳固塘底、改善水体环境并稳定水生生态系统，种植苦草（*Vallisneria natans*）和黑藻（*Hydrilla verticillata*）等能吸引更多蚊虫天敌定居。在近岸浅水区，应逐步从小型、中型到大型沉水植物过渡，其中中小型水草布设在距水面 2～3 cm 处，大型水草种植于更深的水域，以此降低对水流的阻滞作用[19]。

2.1.2 陆生植物群落设计

陆生植物群落设计也是公园蚊虫防控的要点之一，陆生植物群落的高度和密度直接影响蚊虫种群数量[20-21]，通常蚊虫数量与植物冠层高度成负相关，而与植株密度成正相关。乔木冠层越高，林下空间越开敞明亮，故构建乔木群落时宜使用树冠层和枝下高较高、郁闭度低的树种，或用林冠盖度较低的圆锥形乔木替代伞形树冠的树种。同时，乔木之间宜保持较大间距，简化林下植物层次结构，将郁闭度控制在 0.4～0.6 或更低的范围，从而使蚊虫难以隐藏。对于灌草群落，过度追求园林植物的种类数量和三维绿量会为蚊虫提供更多食物来源和隐藏空间。在游览区、休闲区和公园步道，高度 0.2～1.8 m 是游人的主要活动空间[22]，可以降低灌木和草本植物的种植密度，修剪绿篱或灌草植物群落高度，均可提高植物群落通透性，有助于使人体释放的 CO_2 逸散，从而避免蚊虫聚集（图 2）。高度<10 cm 的小型地被植物不易藏匿蚊虫，更重要的是通过提高地被覆盖率可减少地面积水并抑制自生杂草生长[23-24]。总之，增加林下空间高度和透光率、降低灌草层密度和高度、简化植物群落层次，均有利于降低公园内的蚊虫密度。



图 2　园路两侧绿化改造示意

2.2　选用驱蚊捕蚊植物

利用植物的特殊气味或挥发性成分驱蚊已有数千年应用史。据统计，具有驱蚊、灭蚊活性的植物多达 500 余种[25-31]，表 1 列举了部分具有驱蚊、灭蚊挥发活性成分的植物和捕蚊植物。有些植物成分已被开发为驱虫药剂，例如除虫菊酯是目前应用最广泛的室内低毒杀虫剂之一。研究表明，灰罗勒（*Ocimum americanum*）、马缨丹（*Lantana camara*）和 *Lippia ukambensis* 可显著降低冈比亚按蚊（*Anopheles gambiae*）对人体的叮咬率[26]；留兰香（*Mentha spicata*）、蕺菜（*Houttuynia cordata*）和布宜诺斯艾利斯天胡荽（*Hydrocotyle bonariensis*）对淡色库蚊（*Culex pipiens pallens*）产卵有抑制作用[27]。值得注意的是，不同植物成分的驱蚊抑蚊作用一般具有差异性，例如薄荷精油对环纹按蚊（*Anopheles annularis*）的驱避性显著优于对致倦库蚊、浅色按蚊（*Anopheles subpictus*）和库态按蚊（*Anopheles culicifacies*）的效果；毛叶丁香罗勒（*Ocimum gratissimum* var. *suave*）精油对阿拉伯按蚊（*Anopheles arabiensi*）的驱避效果较好，而非洲罗勒（*Ocimum* × *africanum*）精油对致倦库蚊的驱避效果较好[27]。因此，可根据当地主要蚊虫种类和物候选择相应的驱避性植物。

大多数食虫植物亦具有一定的捕蚊能力，多为猪笼草科（Nepenthaceae）、角胡麻科（Martyniaceae）、茅膏菜科（Droseraceae）茅膏菜属（*Drosera*）与貉藻属（*Aldrovanda*）以及狸藻科（Lentibulariaceae）狸藻属（*Utricularia*）与捕虫堇属（*Pinguicula*）。它们大多适应于贫瘠的湿润环境，能够诱捕蚊类成虫，南方狸藻甚至能捕食水中幼蚊。大部分食虫植物经过长期的自然选择而具有华丽的色彩和奇特的外形，常作为观赏植物栽植于食虫植物专类园[28]，若将其配置于湿生植物群落中也能发挥一定的控蚊效果，例如北京师范大学珠海校区的湿地驳岸就应用了猪笼草（*Nepenthes mirabilis*）。

在选择驱蚊捕蚊植物时，需综合考虑植物的生命周期、生活习性与地带性等。除了乡土植物以外，应谨慎选用外来品种，例如马缨丹虽含有驱蚊成分，但在过度增殖后将会破坏原有生物群落，反而导致蚊虫增加[29]。

2.3　蚊虫天敌的栖息地营造

蚊类天敌主要包括鱼类、两栖类、昆虫类、蝙蝠类等，但由于城市化的推进和原生栖息地破坏，蚊类天敌种群和多样性大幅下降，可利用城市公园的高质量生境条件营造适合蚊虫天敌的栖息环境或提供替代条件，助其恢复种群规模。

鱼类是幼蚊的主要天敌之一，可在公园水域中设置具有深度梯度的水生环境，并配置适量的水生植物和卵石改善底栖动物多样性，强化食物链结构[32]。本土鱼类中鲤（*Cyprinus carpio*）和草鱼（*Ctenopharyngodon idella*）的蚊虫捕食效率较高，可优先使用[33]；而食蚊鱼（*Gambusia affinis*）等外来鱼类虽具有高效的捕蚊能力，但其食性广、繁殖快，也会对其他蚊虫天敌构成威胁，因此须慎用[34]。无尾目两栖动物以及蜻蜓目昆虫都是高效的蚊虫捕食者，其生命周期大部分阶段都可捕食蚊类幼虫或成虫[34]。由于它们主要栖息于水陆过渡区，坡度小于 30° 的自然生态驳岸是营造栖息地的必备条件，渐变的水深、清洁的水质和适宜的植物群落可为其提供必要的生存保障，特别

表 1 具有驱蚊灭蚊能力的植物

类型	植物名	地带性		
		热带	亚热带	温带
具有驱蚊灭蚊挥发活性成分的植物	青蒿（*Artemisia caruifolia*）	√	√	
	印楝（*Azadirachta indica*）	√		
	樟（*Camphora officinarum*）		√	
	雪松（*Cedrus deodara*）		√	√
	天竺桂（*Cinnamomum japonicum*）		√	
	柠檬草（*Cymbopogon citratus*）	√	√	
	曼陀罗（*Datura stramonium*）	√	√	√
	鳢肠（*Eclipta prostrata*）	√	√	
	柠檬桉（*Eucalyptus citriodora*）	√		
	蓝桉（*Eucalyptus globulus*）	√		
	蕺菜（*Houttuynia cordata*）	√	√	
	银灰菊（*Hyalis argentea*）		√	√
	布宜诺斯艾利斯天胡荽（*Hydrocotyle bonariensis*）			√
	鸢尾（*Iris tectorum*）			√
	马缨丹（*Lantana camara*）	√	√	
	薰衣草（*Lavandula angustifolia*）			√
	楝（*Melia azedarach*）	√	√	√
	薄荷（*Mentha canadensi*）	√	√	√
	山香（*Mesosphaerum suaveolens*）	√	√	
	九里香（*Murraya exotica*）	√	√	√
	粉绿狐尾藻（*Myriophyllum aquaticum*）	√	√	√
	心叶荆芥（*Nepeta fordii*）	√		
	罗勒（*Ocimum basilicum*）	√		
	迷迭香（*Rosmarinus officinalis*）		√	
	芸香（*Ruta graveolens*）	√	√	√
	番茄（*Solanum lycopersicum*）	√	√	
	除虫菊（*Tanacetum cinerariifolium*）		√	
	万寿菊（*Tagetes erect*）	√	√	
	玉兰（*Yulania denudata*）		√	
捕蚊植物	狸藻（*Aldrovanda vesiculosa*）	√		
	布洛风梨（*Brocchinia hechtioides*）	√		
	捕蝇草（*Dionaea muscipula*）		√	√
	锦地罗（*Drosera burmanni*）	√		
	长叶茅膏菜（*Drosera indica*）	√	√	
	茅膏菜（*Drosera peltata*）	√	√	
	圆叶茅膏菜（*Drosera rotundifolia*）		√	
	匙叶茅膏菜（*Drosera spatulata*）	√	√	
	角胡麻（*Martynia annua*）	√	√	
	猪笼草（*Nepenthes mirabilis*）	√		
	捕虫堇（*Pinguicula vulgaris*）	√	√	
	黄花狸藻（*Utricularia aurea*）	√	√	
	南方狸藻（*Utricularia australis*）	√	√	√
	挖耳草（*Utricularia bifida*）	√	√	
	禾叶挖耳草（*Utricularia graminifolia*）	√	√	√
	缠绕挖耳草（*Utricularia scandens*）	√		
	圆叶挖耳草（*Utricularia striatula*）	√		

注：1）资料来源于汪秀芳等[25]、Seyoum 等[26]、肖冰等[27]、刘东燕[28]、Casini 等[29]、Cuthbert 等[30]和林琳[31]的研究；2）表中带√表示该地带为该物种的主要分布地带，不带√表示该地带不是该物种的自然分布地带。

是要求一定面积且较稳定的水生栖息地，如蜻蜓宜生环境的水陆面积比例为 9%～12%[35]。此外，为了消除公园道路对两栖动物活动的不利影响，应设置小型涵洞和沟渠等加强其栖息地的连通性[36]。

陆生环境中食虫性蝙蝠和鸟类是蚊类成虫的主要天敌，但城市和近郊的植被碎片化和覆盖率下降，导致这些蚊虫天敌隐蔽和繁育的栖息环境锐减，尽管有的物种已在一定程度上适应了城市环境，但总体而言它们的城市种群仍然显著衰退[37]。恢复这些蚊虫天敌种群的可行方法之一就是利用城市公园的优良生态条件为它们提供适宜的栖息场所与健全的食物链。例如，增加片状的高大乔木群落，在隐蔽处安置蝙蝠箱，或对附近废弃建筑物或洞穴进行改造[38]。红尾水鸲（*Rhyacornis fuliginosus*）和家燕（*Hirundo rustica*）是城市中代表性的捕食蚊虫鸟类，前者大多在墙洞和石缝中筑巢（图 3），后者则会以人工支撑物为底座筑巢（图 4），所以可改造公园内构筑物墙面和水体驳岸形态或在建筑檐下安置人工巢杯等吸引它们筑巢[39]。



图 3　石砌墙面



图 4　人工筑巢支撑物

此外，杨国辉等[40]指出人为干扰与蜻蜓等蚊虫天敌的数量存在较高的负相关性，因此，在有条件的公园中应设置生态保育区促进蚊虫天敌的种群恢复，或适度减少蚊虫天敌栖息地的可进入性，例如在栖息地内设置高空栈道、在外围开辟缓冲带、减少环境噪声等。

2.4　蚊虫诱捕装置

蚊虫诱捕装置的成本较高，仅在有条件的城市公园中可以逐步推广，如紫外光诱蚊灯、空气捕蚊机和超声波驱蚊器等（表 2）。成都活水公园将 50 台 CO_2空气捕蚊机布置于园路两侧的草丛和灌木密集处（图 5），结果发现蚊虫密度由最初的 3.46 只/台·h 下降到 0.18 只/台·h，但这种捕蚊机的外观与周围环境并不契合。因此，可根据蚊虫诱捕装置的不同性能，通过外观设计与照明灯、景观小品或植物造景相结合，实现功能性与美观性的有机结合。如图 6 所示，将空气捕蚊机与公园照明灯具整合或采用特色涂鸦对装置外观进行美化。



图 5　活水公园空气捕蚊机

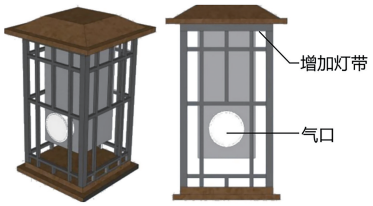


图 6　空气捕蚊机改造意向

表 2　公园环保驱蚊捕蚊装置

名称	紫外光诱蚊灯	空气捕蚊机	超声波驱蚊器
工作原理	用紫外光和蓝紫光吸引蚊虫，通过气流吸入后释放电流杀灭	释放或富集空气中的 CO_2吸引蚊虫，将其吸入过滤器风干杀灭	模仿蚊虫天敌的声音或震动频率，将蚊虫驱离
适用环境	日间光线较暗或需夜间除蚊的区域，如林间步道、水边等	气体流通不畅的区域，如灌丛、密林等	人群活动较多的区域，如广场、儿童活动区等
优点	设备体型小，易于安置，可增加 LED 灯管提供照明	捕蚊效率高，对人体安全	设备体型小，易于安置，对人体安全
局限	对人眼有一定影响，诱捕效率和特异性低	在空旷区域使用会降低工作效率	仅能驱蚊，有效范围较小且可能影响其他生物

注：资料来源于安芬菊等[41]。

2.5　管理维护

水域和植物群落的管理维护是公园景观可持续发展的重点环节。首先，要开展水质的实时检测，严控污染，掌握水生生态系统的变化和人类干扰，及时采取应对措施；其次，应及时排除在硬化地面或构筑物容器产生的临时水体或雨后积水；最后，根据蚊虫生长周期和降雨量等因素，定期调节水位冲刷水生植物丛，也可有效抑制蚊虫种群[16]。

水生植物过度生长也是孳生蚊虫的主要因素之一，高密度的水生植物不仅有利于蚊虫躲避天敌还会引起水质恶化并阻碍蚊虫天敌的活动，需要定期对水陆交界区和水面漂浮的植物进行清理[42]。美国加利福尼亚州萨克拉门托的一处人工湿地使用分区去除部分植被、河岸植被和创建深层通道等管理手段有效控制了蚊虫种群[43]。有计划地焚烧水生植被则是利用燃烧降低水体氮磷比并杀灭蚊虫成

体,这也是高性价比的管理方法之一。例如,在美国加利福尼亚州的 8 处小规模湿地(0.1 hm^2)进行的控制燃烧实验,表明焚烧后的湿地能更有效地转化含氮污染物并抑制蚊虫孳生[44]。陆生植被则需对过密的树冠层和灌草层进行修剪和清理,保持疏密有致、明亮开敞的植物空间;人工草坪或自生植物形成的荒草地更需要较高频率的修剪(生长旺盛期 1 次/周,生长缓慢期 1 次/月),并将高度控制在 6~10 cm 以下[45]。在游人活动较多的场所,应人工拔除自生杂草或使用除草剂抑制其无序生长。使用除草剂需避开出苗期和花果期,土壤中残留浓度不宜超过 310 $\mu g \cdot kg^{-1}$[46-47],尤其在更换季节性草本花卉的间歇期施用除草剂,其防除杂草效果更优[48]。

对于难以清除的临时性积水或死水,则需投放灭蚊药剂。优先选择毒性较低和持效期适中的灭蚊药剂,严控使用剂量,如低剂量(0.05~1.00 $g \cdot m^{-2}$)的 1%双硫磷颗粒剂[49],并避开游客高峰期,尽可能降低灭蚊药剂对人体健康和环境的不利影响。值得注意的是,公园的排水排污系统也是潜在的蚊虫孳生地,室外常用的直排式雨水口极易成为蚊虫繁殖场所;弯管式雨水口虽较直排式雨水口的蚊虫阳性率更低[50],但弯管处的积水也可能孳生少量蚊虫,因此需悬挂杀虫缓释剂强化防蚊效果。

3 结语

城市公园的蚊虫滋扰已成为影响人们游览感受和园林康养的主要问题之一。尽管业界已初步开展了借助景观设计手段进行防控蚊虫的理论研究和实践尝试,但仍处于起步阶段,尤其是缺乏系统性地将理论成果运用到实践中。本文梳理和分析了国内外有关蚊虫防控机制的理论研究和相关案例,分别从水生环境与陆生植物群落设计、驱虫捕虫植物、蚊虫天敌的栖息地营造、蚊虫诱捕装置以及管理维护等方面探讨了以蚊虫防控为目的的城市公园景观设计方法和措施,提出了基于环境防治和生物防控相结合的水域环境规划和陆生植被的配置与管理的基本原则和要求。但在该领域仍有诸多关键技术有待理论探讨和实践检验,例如驱避植物或捕蚊植物的配置技术,植物群落的控蚊设计与景观美学的协调方法,以及蚊患防控技术与园林康养的结合等。

参考文献

[1]王英.我国蚊媒防制策略及成就和挑战[J].中国热带医学,2019,19(9):807-811.

[2]姜志宽,曾晓芃,辛正,等.蚊虫化学防治原则与实用技术[J].中华卫生杀虫药械,2010,16(1):1-5.

[3]陆宝麟.媒介蚊虫化学防治的思考[J].中华卫生杀虫药械,2002,8(1):3-5.

[4]ORTA-PINEDA G,ABELLA-MEDRANO C A,SUZÁN G,et al. Effects of landscapeanthropization on sylvatic mosquito assemblages in a rainforest in Chiapas,Mexico[J].Acta Tropica,2021,216:105849.

[5]王涛.中国蚊和蚊媒病毒的空间分布及预测研究[D].北京:军事科学院,2022.

[6]刘群,何隆华.水域环境对蚊密度影响研究进展[J].中国媒介生物学及控制杂志,2018,29(4):413-417.

[7]CROCKER W,MAUTE K,WEBB C,et al.Mosquito assemblages associated with urban water bodies; implications for pest and public health threats[J].Landscape and Urban Planning,2017,162:115-125.

[8]HEINISCH M R S,DIAZ-QUIJANO F A,CHIARAVALLOTI-NETO F,et al. Seasonal and spatial distribution of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in a municipal urban park in São Paulo,SP,Brazil[J].Acta Tropica,2019,189:104-113.

[9]王秀云,张继涛,贺洪国,等.2018 年北京市昌平区蚊密度监测[J].中华卫生杀虫药械,2020,26(1):45-47.

[10]林敏珍,柯雪梅,郭志南,等.2011—2016 年厦门市蚊密度监测分析[J].中华卫生杀虫药械,2019,25(3):235-237.

[11]VAZQUEZ-PROKOPEC G M,VANDEN ENG J L,KELLY R,et al.The risk of West Nile Virus infection is associated with combined sewer overflow streams in urban Atlanta,Georgia,USA[J].Environmental Health Perspectives,2010,118(10):1382-1388.

[12]吕慧.公共健康导向下岭南居住区景观设计与蚊患防控关联研究[D].广州:华南理工大学,2018.

[13]ZHAO J W,TANG T,WANG XX.Effects of landscape composition on mosquito population in urban green spaces[J].Urban Forestry & Urban Greening,2020,49:126626.

[14]SEARLE K M,LUBINDA J,HAMAPUMBU H,et al.Characterizing and quantifying human movement patterns using GPS data loggers in an area approaching malaria elimination in rural southern Zambia[J].Royal Society Open Science,2017,4(5):170046.

[15]BUSNARDO M J,GERSBERG R M,LANGIS R,et al.Nitrogen and phosphorus removal by wetland mesocosms subjected to different hydroperiods[J].Ecological Engineering,1992,1(4):287-307.

[16]WALTON W E,POPKO D A,VAN DAM A R,et al.Width of planting beds for emergent vegetation influences mosquito

production from a constructed wetland in California (USA)[J]. Ecological Engineering,2012,42:150-159.

[17]THULLEN J S,SARTORIS JJ,NELSON S M.Managing vegetation in surface-flow wastewater-treatment wetlands for optimal treatment performance[J]. Ecological Engineering, 2005, 25(5):583-593.

[18]李婷,杨恒,潘远智,等.五种湿地植物组合对城市污水净化效果的模拟研究[J].黑龙江农业科学,2019(1):107-113.

[19]卢丹.不同植物类型及高度对生态湿地水流特性影响的模拟试验[J].水利技术监督,2023,31(5):210-212.

[20]JUNGLEN S,KURTH A,KUEHL H,et al.Examining landscape factors influencing relative distribution of mosquito Genera and frequency of virus infection[J].EcoHealth,2009,6(2):239-249.

[21]SCHÄFER M L,LUNDKVIST E,LANDIN J,et al.Influence of landscape structure on mosquitoes (Diptera: Culicidae) anddytiscids (Coleoptera: Dytiscidae) at five spatial scales in Swedish wetlands[J].Wetlands,2006,26(1):57-68.

[22]杨云峰,杨家琪.基于蚊患防控的亚热带地区城市公园生态整治设计[J].南京林业大学学报(自然科学版),2023,47(6):211-218.

[23]郭春喜,高宇琼,杨漪.芳花园:地被花卉在园林中的应用[J].世界林业研究,2023,36(1):154.

[24]牛铜钢.华北平原地区城市公园低矮型地被植物的应用[J].中国城市林业,2017,15(3):49-53.

[25]汪秀芳,薛淋淋,叶碎高,等.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.

[26]SEYOUM A,KABIRU E W,LWANDE W,et al.Repellency of live potted plants against *Anopheles gambiae* from human baits in semi-field experimental huts[J]. The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene,2002,67(2):191-195.

[27]肖冰,马明海,黄民生,等.河道修复中常见植物种类对淡色库蚊产卵行为的影响[J].华东师范大学学报(自然科学版),2019(6):132-139,152.

[28]刘东燕.食虫植物在园林中的应用[C]//北京市园林局.抓住2008年奥运会机遇进一步提升北京城市园林绿化水平论文集.北京:北京市植物园,2005.

[29]CASINI R, DEL LESTO I, MAGLIANO A, et al. Predation efficiency of the carnivorous aquatic plant *Utricularia australis* against Asian tiger mosquito *Aedes albopictus* larvae:implications for biological control[J].Biological Control,2023,179:105182.

[30]CUTHBERT R N,DALU T,MUTSHEKWA T,et al.Leaf inputs from invasive and nativeplants drive differential mosquito abundances[J].Science of the Total Environment,2019,689:652-654.

[31]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].雅安:四川农业大学,2008.

[32]杨云峰,熊骞,宁可明,等.长江中下游地区湿地公园鱼类栖息地营建:以芜湖市大阳埠湿地公园为例[J].园林,2023,40(2):11-18.

[33]薛金伟,姬晨,朱晓博,等.蚊虫的生物防治[J].中国热带医学,2014,14(4):490-495.

[34]DAMBACH P.The use of aquatic predators for larval control of mosquito disease vectors: opportunities and limitations[J]. Biological Control,2020,150:104357.

[35]俞陈锋,钦慧瑜,沈秋婷,等.湿地环境多样性对蜻蜓目物种多样性的影响研究[J].台州学院学报,2021,43(3):42-47.

[36]杨云峰,郝晶晶,蒋梦琪.湖泊型湿地公园中两栖类动物栖息地营建研究[J].园林,2023,40(2):4-10,68.

[37]THRELFALL C G,LAW B,BANKS P B.Sensitivity of insectivorous bats to urbanization: implications for suburban conservation planning[J].Biological Conservation,2012,146(1):41-52.

[38]江廷磊,赵华斌,何彪,等.中国蝙蝠生物学研究进展及其保护对策[J].兽类学报,2020,40(6):539-559.

[39]覃小彬,付昌健,向晨旭,等.家燕营巢特征及其对城市环境的适应性[J].生态学报,2023,43(15):6345-6353.

[40]杨国辉,徐吉山,杨盛春,等.洱海湖滨区蜻蜓物种多样性与环境影响因子关系初探[J].湖泊科学,2018,30(4):1075-1082.

[41]安芬菊,郭亮,俞国燕,等.多功能灭蚊灯的设计与制造[J].机电工程技术,2017,46(7):21-22,99.

[42]RUSSELL R C.Constructed wetlands and mosquitoes:Health hazards and management options—an Australian perspective[J]. Ecological Engineering,1999,12(1/2):107-124.

[43]KNIGHT R L,WALTON W E,O'MEARA G F,et al.Strategies for effective mosquito control in constructed treatment wetlands[J]. Ecological Engineering,2003,21(4/5):211-232.

[44]张震.园林工程养护中绿化草坪修剪管理策略的探讨[J].居舍,2024(15):143-146.

[45]THULLEN J S, SARTORIS J J, WALTON W E. Effects of vegetation management in constructed wetland treatment cells on water quality and mosquito production [J]. Ecological Engineering,2002,18(4):441-457.

[46]RENTON M,DIGGLE A,MANALIL S,et al.Does cutting herbicide rates threaten the sustainability of weed management in croppingsystems? [J].Journal of Theoretical Biology,2011,283(1):14-27.

[47]WANG H Z,REN W J,XU Y F,et al.Long-term herbicide residues affect soil multifunctionality and the soil microbial community[J].Ecotoxicology and Environmental Safety,2024,283:116783.

[48]李志胜.除草剂在园林绿化养护中的应用[J].乡村科技,2018,9(23):67,69.

[49]赵诣.有机磷灭蚊剂投放浓度和时间对水体总磷的影响[J].水资源保护,2021,37(4):117-120,126.

[50]吕慧,赵红红,黄沛森,等.弯管式雨水口在室外排水系统中的应用及防蚊效果研究[J].给水排水,2016,52(7):122-125.