

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2017.05.013

低影响开发中利于蚊虫防制的 湿地规划设计方法^①

赵红红¹, 吕 慧^{1,2}

1. 华南理工大学 建筑学院, 广州 510640; 2. 佛山科学技术学院 园林系, 广东 佛山 528000

摘要:基于现有低影响开发的概念和建设技术指南等,对其中可能会引起蚊虫孳生的内容进行探讨,并对国外现有利于蚊虫防制的低影响开发规划设计方法的研究成果进行综述,最终提出一系列利于蚊虫防制的规划设计方法,具体包括湿地选址、水体深度、湿地单元组合模式、水位升降操控、植物种类选择及布局模式、潜流湿地结构设计等内容,以期对我国的海绵城市规划设计和建设提供一定参考。

关键词:低影响开发;蚊虫防制;规划设计;文献综述;归纳分析

中图分类号: TU986

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2017)05-0083-07

传统城市中大量硬化地表阻断了自然界水循环的流通,雨水无法下渗,全部依赖有限的人工排水系统来进行疏导。这种建设模式导致了地下水位降低、城市排水系统负担重、大量的雨水资源未得到有效利用等问题^[1]。为此欧美和日本等城市化水平较高的发达国家提出低影响开发(low impact development, LID)、雨水利用和管理、水敏性城市设计等城市规划设计理念^[2]。我国也对该领域有初步研究,如透水性铺装设计、人工湿地的规划和绿色屋顶等^[3-6],但不够系统全面。2014 年习近平总书记提出“海绵城市”理念,正式开启了我国全面开展海绵城市研究与建设的帷幕。2014 年 11 月,住房和城乡建设部发布《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》(本文简称《指南》),对推动海绵城市建设起到重要指导作用。

根据《指南》,海绵城市建设内容包括自然湿地和水系、雨水花园、植草沟、下凹型绿地、湿塘、雨水蓄留湿地、地下雨水罐、绿色屋顶和透气性铺装等^[7],其中很多内容都会以积滞水体或(和)茂密植被的湿地形态存在,而这二者为病媒生物——蚊虫提供了理想孳生环境。因此在 LID 建设过程中,特别是在蚊媒疾病高发地(如广东就是伊蚊媒疾病登革热的高发地),蚊虫防制将是一个难以避开的问题。

根据 LID 建设经验,海绵城市理念对于修复水循环、雨水资源化、地表污水低成本净化、减少排水负担和洪涝灾害有重要作用^[1],因此不可能因为蚊虫问题而因噎废食。但如果能通过更合理的规划设计方法,在满足湿地各种功能的前提下减少蚊虫孳生,实现蚊虫生态防制,将对提升海绵城市的卫生防疫功能,捍卫居民健康有重要意义。本文将采用文献综述法和归纳分析法探讨利于蚊虫防制的湿地规划设计方法,以期对我国的海绵城市建设提供一定的参考和借鉴。

1 蚊虫的习性 & 危害

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

① 收稿日期: 2016-01-22

作者简介: 赵红红(1952-),男,湖北大悟人,教授,博士生导师,主要从事利于蚊虫防制的城市景观规划设计方法研究。

371 种或亚种,常见的有伊蚊(*Aedes*)、库蚊(*Culex*)和按蚊(*Anopheles*)3类^[8]。蚊虫通常偏好隐蔽、阴暗和通风不良且空气湿度高的环境,属于完全变态的昆虫,生活史分为卵、幼虫(孑孓)、蛹及成虫4个阶段,其中前3个阶段必须在水中完成,成年蚊也需要选择水体或较为潮湿的场所产卵,蚊虫生活史的各个阶段均与水息息相关。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,因为只有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。在温度适宜时多数蚊卵产后7~10 d内就可以孵化,伊蚊属蚊卵可以在不利条件下一直处于休眠状态,直到随后的雨季才孵化^[9]。

有医学意义的蚊媒主要集中在3个属,即按蚊属、库蚊属和伊蚊属。蚊虫叮咬不仅造成不舒适感,而且会传播多种严重疾病。据有关统计,全球有一半以上的人生活在蚊媒疾病的威胁中,如按蚊传播的疟疾在90多个国家流行,每年因疟疾死亡的有150万~270万人;由伊蚊传播的登革热在100多个国家流行,每年患病数在1 000万~2 500万人之间,约有25 000人死亡;由按蚊和库蚊传播的淋巴丝虫病在83个国家流行,每年有11亿人口受威胁^[10]。2014年登革热在中国广东珠三角地区呈现爆发态势,仅广州市感染者就达3万人,严重威胁城市居民健康。大量化学药剂的使用并没有消灭城市蚊虫,反而带来蚊虫的抗药性和严重的环境污染问题,蚊虫的生态治理迫在眉睫。

2 可能会引起蚊虫孳生的 LID 建设内容

在 LID 建设内容中自然湿地、蓄水池、湿塘多以地表水和茂密植物形态存在,这些最易孳生蚊虫。植草沟、下凹型绿地、雨水花园和雨水湿地主要负责短期蓄水、过滤和渗透,依据雨量的多少,它们以地表水形态存在的时间可长可短,等雨水全部渗入地下后会成为植被茂密的潮湿地带。根据现有的海绵城市建设技术指南,其渗透标准一般为72 h完全渗透^[2]。时有时无的地表水不利于鱼类等捕食者生存,却不妨碍蚊虫孳生。在温度适宜的季节蚊卵7~10 d即可由卵孵化成蚊,而且有些蚊虫(如登革热传媒白纹伊蚊)有较强的抗旱能力,实验数据显示即使在40%RH极端干燥的条件下,伊蚊卵也要在干燥处理35 d后才完全不能孵化^[11]。因此在我国江南和华南雨水充沛的季节,这些以雨水暂存和渗透为主的 LID 建设内容也可能孳生大量蚊虫。

3 利于蚊虫防制的湿地规划设计方法研究综述

美国、澳大利亚和日本等率先开展 LID 建设的国家曾对各类湿地中的蚊虫孳生情况和利于蚊虫防制的湿地设计方法展开了广泛而深入的研究,如 TENNESSEN K 提出应当在开始规划设计湿地时就考虑蚊虫防制的问题,通过合理设计方法,使湿地变得不利于蚊虫孳生^[12]; RUSSELL R 和 WALTON W 提出湿地蚊虫防制不应完全依赖化学和生物制剂,湿地的规划设计方法同样会影响蚊虫的孳生^[13-14]; YADAV P 等人通过实验表明规划设计阶段的防蚊设计可以显著减少蚊虫数量^[15]。这些研究成果对我国的海绵城市建设有重要的借鉴意义。

3.1 湿地类型对蚊虫孳生的影响

不同类型湿地蚊虫孳生的严重程度不一样,静水塘最易孳生蚊虫。YADAV P 等人在美国俄亥俄州设计了几种不同的水体类型:一种是按照防蚊设计精心设计的表流湿地、一种是静水塘、一种是雨水蓄留湿地。结果显示表流湿地的蚊虫最少,静水池塘中最多,其密度是雨水湿地的1.5倍,是表流湿地的10倍左右^[15]。KNIGHT R 等人研究表明静止不动并有大量植物的湿地会孳生大量蚊虫^[16]。

流水湿地根据水流方式分为潜流湿地和表流湿地^[17]。表流湿地景观效果好,但由于长期有地表水存在较易孳生蚊虫,但如果经过精心防蚊设计可以减少蚊虫孳生。

雨水蓄留湿地属于临时性表流湿地。YADAV P, GINGRICH J 和 REESE E 等人研究表明这种湿地虽然比静水池塘中的蚊幼密度低,但也有较高蚊密度^[15,18-19]。这是由于它会断续地提供一些利于蚊虫孳生的

小而浅的池塘, 而且其中的水体总是短期存在^[20], 不利于捕食者生存, 而蚊虫则能在短时间内大量繁殖, 所以在雨水充沛的季节也容易孳生大量蚊虫。

潜流湿地最不易孳生蚊虫, 这是由于水体在基质表层以下持续流动, 没有地表水。海绵城市中的“渗”的内容, 如北方干旱地区或南方少雨季节的植草沟、雨水花园会以垂直潜流湿地形式存在。但雨量较大时它们可能会变为利于蚊虫孳生的雨水蓄留湿地^[21]。因此在设计潜流湿地时需要有足够的基质孔隙度和厚度来保证雨季不会出现长时间地表水而导致蚊虫孳生。

3.2 大面积表流湿地的选址

RUSSELL R 提出大面积表流湿地选址应远离人口集中地(如居民区), 并在人口集中地的下风向。因为蚊虫是靠气味追寻目标的, 如果湿地与居民区离得比较远或位于居民区的下风向, 则吸引蚊虫的气味会大大减弱^[13]。刘起勇等人基于标记—释放—重捕技术对中华按蚊飞行距离进行初步研究, 荧光标记释放后中华按蚊的重捕获率较低, 最远飞行距离为 400 m, 大多数在 100 m 范围内捕到^[22]。BRYAN Joan 研究表明如果不考虑风的因素, 虽然少量蚊虫一生中最高飞行距离可达 5 000~6 000 m(如致倦库蚊), 甚至 10 000 m(如刺扰伊蚊), 但绝大多数蚊虫(90%以上)一生活活动范围都在 1 000 m 以内, 而这 90%中的大多数又在 100 m 以内^[23]。因此大面积湿地选址最好离开人口集中地 1 000 m 的距离以上, 并且布置在下风向。

3.3 湿地的植被种植设计对蚊虫数量的影响

3.3.1 水生植物种类的选择

不同水生植物对蚊虫影响大小不同。有些植物的茎秆较稠密, 有些植物易有枯死茎叶积累, 这些都会妨碍鱼类进入植物丛内部捕食蚊幼。还有些植物的形态易在雨季形成小型积水也会孳生蚊虫, 如凤梨科植物的叶腋处的凹槽, 猪笼草的“笼”^[24]。WALTON W 等人发现香蒲(*Typha*)丛覆盖水面的比例能显著影响蚊虫数量, 而水葱(*Scirpus*)则不会^[25]。COLLINS J 等人对不同水生植物的蚊虫孳生指数进行了研究和排序(表 1)^[26]。

表 1 不同蚊虫孳生指数的水生植物分类

蚊虫孳生指数≤9, 这类植物一般不会孳生大量蚊虫, 建议在湿地中应用	10≤蚊虫孳生指数≤13, 这类植物需要控制其数量来减少蚊虫孳生, 建议在湿地中适量应用	蚊虫孳生指数≥14, 这类植物非常容易孳生蚊虫, 不建议在湿地中应用
泽泻 <i>Alisma</i> ; 尖叶莎草 <i>Cyperus aristatus</i> ; 丁香蓼 <i>Ludwigia</i> spp.; 水稻 <i>Oryza sativa</i> ; 宽叶车前草 <i>Plantago major</i> ; 宽叶慈姑 <i>Sagittaria latifolia</i> ; 剑叶慈姑 <i>Sagittaria longiloba</i> ; 蒙特登慈姑 <i>Sagittaria montevidensis</i> ; 浮萍 <i>Lemna gibba</i> ; 微小青萍 <i>Lemna minima</i> ; 皱边眼子菜 <i>Potamogeton crispus</i> ; 变叶眼子菜 <i>Potamogeton diversifolius</i> ; 紫萍 <i>Spirodela polyhyiza</i> ; 舌形无根浮萍 <i>Wolffiella lingulata</i> ; 牛毛毡 <i>Eleocharis acicularis</i> ; 伊乐藻 <i>Elodea Canadensis</i> ; 水韭 <i>Isoetes howellii</i> ; 新西兰草 <i>Lilaepsis occidentalis</i>	螺旋川蔓藻 <i>Ruppia spiralis</i> ; 丝叶狸藻 <i>Utricularia gibba</i> ; 普通狸藻 <i>Utricularia vulgaris</i> ; 纤细茨藻 <i>Najas flexilis</i> ; 草茨藻 <i>Najas graminea</i> ; 水蕴草 <i>Elodea ensa</i> ; 长梗水马齿 <i>Callitriche longipedunculata</i> ; 黄睡莲 <i>Nuphar polysepalum</i> ; 沼生荻 <i>Zizania aquatic</i> ; 细叶满江红 <i>Azolla filiculoides</i> ; 假马齿苋 <i>Bacopa nobisiana</i> ; 莼菜 <i>Brasenia schreberi</i> ; 荆三棱 <i>Scirpus olneyi</i> ; 藕三棱 <i>Sparganium eurycarpum</i> ; 美洲蔺草 <i>Scirpus americanus</i> ; 春蓼 <i>Polygonum hydropiperoides</i> ; 宾夕法尼亚蓼 <i>Polygonum pennsylvanicum</i> ; 点斑蓼 <i>Polygonum punctatum</i> ; 棒头草 <i>Polypogon elongatus</i> ; 沼生委陵菜 <i>Potentilla palustris</i> ; 欧洲蕨 <i>Pteridium aquilinum</i> ; 大叶慈姑 <i>Sagittaria latifolia</i> ; 千屈菜 <i>Lythrum californicum</i> ; 蓉草 <i>Leersia oryzoides</i> ; 油草 <i>Leptochloa fascicularis</i> ; 细穗甜茅 <i>Glyceria leptostachya</i> ; 尖叶灯芯草 <i>Juncus acutus</i> ; 灯心草 <i>Juncus effusus</i> ; 异型莎草 <i>Cyperus difformis</i> ; 油莎草 <i>Cyperus esculentus</i> ; 尼日尔莎草 <i>Cyperus niger</i> ; 发草 <i>Deschampsia danthonides</i> ; 皇冠草 <i>Echinodorus berteroi</i> ; 沼生牛毛毡 <i>Eleocharis palustris</i> ; 海绵基苔草 <i>Carex stipata</i>	灰株苔草 <i>Carex rostrate</i> ; 卷耳木贼 <i>Equisetum arvense</i> ; 大花鳞瓣花 <i>Frankenia grandifolia</i> ; 水龙 <i>Jussiaea repens</i> ; 草芦 <i>Phalaris arundinacea</i> ; 芦苇 <i>Phragmites communis</i> ; 两栖蓼 <i>Polygonum amphibium</i> ; 锐蔺草 <i>Scirpus acutus</i> ; 加州水葱 <i>Scirpus californicus</i> ; 狭叶香蒲 <i>Typha angustifolia</i> ; 粗枝香蒲 <i>Typha glauca</i> ; 宽叶香蒲 <i>Typha latifolia</i> ; 凤眼莲 <i>Eichhornia crassipes</i> ; 漂浮雷公根 <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> ; 伞形绣球 <i>Hydrocotyle umbellate</i> ; 西洋菜 <i>Nasturtium officinale</i> ; 水浮莲 <i>Pistia stratiotes</i> ; 小水毛茛 <i>Ranunculus aquatilis</i> ; 松叶毛茛 <i>Ranunculus flammula</i> ; 金鱼藻 <i>Ceratophyllum demersum</i> ; 聚藻 <i>Myriophyllum spicatum</i>

3.3.2 湿地水生植物布局模式

KNIGHT R, WALTON W, DALE P 和 CULLER L 等人认为运用多种类低密度的植物种植模式可以

减少湿地蚊虫密度^[16,27-29]；MITSCH W 等人发现多种植物混合配置的人工湿地中蚊密度显著高于单一品种植物生长的湿地^[30]；THULLEN J 等人认为多种植物混合种植的湿地水中的捕食者多所以蚊幼少^[31]；YADAV P 在美国俄亥俄州曾设计 40 块分别种植混合水生植物和单一品种的水生植物 1 m² 大小的小地块。由三棱草(*Sparganium eurycarpum*)、灯芯草(*Juncus effuses*)和水葱(*Schoenoplectus tabernaemontani*)组成的混合水生植物群落比单一品种香蒲水生植物丛更易孳生蚊虫。漂浮植物丛中孳生的蚊虫数量比固定的茂密挺水植物植物丛少^[15]。

较窄的植被带围合开敞深水域的设计模式不利于蚊虫孳生。RUSSELL R 和 THULLEN J 等人发现湿地中茂密的边缘植被，特别是有些枯死的植被残存的边缘植被能产生大量蚊幼，因为这些地方水流稳定，而且阻挡了鱼等蚊类天敌游过来捕食蚊幼的路径，故而利于蚊虫孳生，因此控制茂密植被带的宽度利于蚊虫防控^[13,31]；WALTON W 和 WORKMAN P 发现相对于均匀布满植被的实验块状湿地，由较窄的植被带围合开敞深水域的湿地孳生的蚊虫数量更少^[27]；THULLEN J 等人提出开放的水域与多层较窄的植被穿插的设计方法可以实现湿地的净化水体和蚊虫防制的双重目的^[31]。至于紧密植被带的宽度，COLLINS J 等人建议应控制在 1 m 左右，但没有具体实验数据支撑^[26]；而 WALTON W 等人则对两种不同宽度植被带(20 m 和 3 m)对蚊虫数量的影响进行了研究，发现后者的蚊虫孳生数量明显少于前者，并进一步提出紧密种植带的宽度越窄越好，最好在 3 m 以下，最高也不宜大于 10 m^[25]。

水生植物的定期修剪、收割和清理也是减少蚊虫孳生的一种方法。SANFORD M 等人的研究表明，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(*Cynodondactylon*)和芦苇(*Phragmites australis*)^[32]；RUSSELL R 认为在植被茂密的湿地，如果能定期收割植物，并清理垃圾，保证水的流动和鱼类等动物的活动路径，可以减少蚊虫孳生^[13]。因此在规划设计湿地时应考虑水生植物修剪收割器械的进出通道。

3.4 湿地的水体设计参数对蚊虫数量的影响

水体的深浅可以影响蚊虫孳生。BATZER D 等人的研究表明，深度小于 30 cm 的水体易孳生蚊虫，而深度在 60 cm 以上的水体利于蚊虫天敌存活可减少蚊虫数量^[33]。

水体流动与否可以影响蚊虫孳生。MOGI M 等人在一块实验湿地中设计有缓慢循环的水流，大约每 4 d 完成一次全部换水，同时在这个湿地中设计有几块较深的开阔水域，保证捕食者的繁衍生息和越冬。结果显示实验湿地的蚊虫数量显著低于静水池塘，并提出在湿地中可应用“生物友好型”水泵保持水体流动，鱼类等可以安全穿过这种水泵^[34]。

水位的定期涨落或排干有利于蚊虫防制。MITSCH W 提出定期涨落水位(建议 5~8 cm)或排干湿地对按蚊(*Anopheles*)和库蚊(*Culex*)非常不利，因为升高水位可以把藏匿在植被丛内的蚊幼冲出来被捕食者吃掉，而定期排干则会使多数幼虫搁浅窒息。因此设计湿地时要考虑利于建成后的水位操控^[35]。MOGI M 进一步提出湿地可以设计成多个相邻相通的单元，定期把水从其中一些单元导入另一些单元即可实现所有湿地单元的周期性水位升降或排干。而时间间隔则需根据要防制的蚊虫种类、植被类型和季节降雨量等综合考虑^[34]。

DALE P, THULLEN J, SARNECKIS K, ALFONZO D, YEE D 和 MOSER J 等人的研究表明水体溶解氧含量与蚊密度呈负相关^[28, 31, 36-39]，这是因为蚊幼是浮在水体表面靠呼吸生存，所以水体内的溶解氧不会影响它们，却会影响水体内部蚊类天敌的生存，所以水体中的溶解氧越少蚊虫孳生越多。

3.5 利于化学防控的湿地设计要点

虽然生态防制蚊虫的方法值得提倡，但在蚊媒疾病高发的地区或季节，仍然需要化学药品、生物制剂等多种灭蚊措施相结合。如美国马里兰州农业部 2011 年制定的湿地管理规范规定，采样点蚊幼阳性率超过 25%，且阳性取样的平均蚊幼数量超过 5 条，或者采样点蚊幼阳性率超过 50%，要采用化学灭蚊。但不合理的湿地设计可能会导致药物无法到达蚊虫孳生地(如很宽或很高大茂密的植物丛内部)。KNIGHT R 等

人提出湿地的设计应方便化学喷药的实施和试剂有效到达蚊虫孳生地, 这需要在设计湿地时注意几点: 每个独立的湿地单元都要有一条至少 4 m 宽的可以通车的路堤到达, 以利于近距离喷药和收割清理部分植物使药剂到达植物丛内部; 植物丛的设计要能使喷药用的船深入植物丛内; 要保证整个湿地范围内没有电线架设, 以免妨碍空中喷药作业; 设计往水中投放化学试剂专用管道和闸门, 这样可以使药液迅速遍布整个水体^[16].

4 小结与展望

- 1) 在大型表流湿地选址时应根据当地主要蚊媒种类的飞行距离, 离居民区 1 km 以上, 并且在城市中位于居民区的下风向;
 - 2) 湿地植物配置的种类可以重点选择表 1 中蚊虫孳生指数 ≤ 9 的植物种类, 并适量应用蚊虫孳生指数在 10~13 之间的植物种类, 尽量不用蚊虫孳生指数在 14 以上的植物种类;
 - 3) 较小的湿地单元内尽可能采用单一或较少种类的植物, 避免采用多种植物混合搭配;
 - 4) 潜流湿地要保证足够的表层基质孔隙度和厚度, 避免形成易孳生蚊虫的临时性表流湿地, 具体数据可以根据当地降雨量设计, 最好能保证降雨在 24 h 内完全下渗;
 - 5) 表流湿地宜设计多层较窄的密植水生植物带与开敞的深水域相间的布局形式, 可适当配置漂浮植物, 保证捕食者的生存和捕食, 减少蚊虫孳生. 其水深宜在 60 cm 以上, 而每层植被带的宽度最好在 3 m 以下, 最宽也不宜超过 10 m;
 - 6) 在条件许可的情况下, 水体宜保持慢速持续流动, 可设置“生物友好型”水泵;
 - 7) 表流湿地定期升降水位可以减少蚊虫孳生. 可以将湿地设计为多个单元相邻并存的形式, 让水体在不同单元间流转, 这样可以方便地实现各单元不定期水位升降或定期排干;
 - 8) 湿地设计要考虑利于必要时的化学灭蚊. 每个独立的湿地区域都要有一条至少 4 m 宽的可以通车的路堤到达, 以利于近距离喷药和收割清理部分植物使药剂到达植物丛内部; 植物丛的设计要能使喷药用的船深入植物丛内; 要保证整个湿地范围内没有电线架设, 以免妨碍空中喷药作业; 设计往水中投放化学试剂专用管道和闸门, 这样可以使药液迅速遍布整个水体.
- LID 设计理念对缓解我国城市面临严峻生态危机具有重要意义. 蚊虫可以影响城市居民舒适度, 甚至引发蚊媒疾病的大面积爆发. 因此蚊虫防制是推行海绵城市建设必须面对的一个问题. 现有的防制蚊虫的设计策略多为国外学者的研究成果, 国内现有相关研究成果很少, 这些成果是否适用于我国的海绵城市建设还有待于进一步实践检验. 通过合理的设计方法实现蚊虫的生态防制是一项具有重要意义、涉及多领域的复杂课题, 因此还需要进一步的跨学科多专业的研究.

参考文献:

[1] 何常清. 基于低影响开发的雨洪管理模式思考 [J]. 江苏城市规划, 2014(8): 42—43, 48.

[2] 伍业钢. 海绵城市设计: 理念、技术、案例 [M]. 南京: 江苏凤凰科学技术出版社, 2015: 35—39.

[3] 陈晓东. 人工湿地在沈阳市农村生活污水处理中的适用性分析 [J]. 环境保护与循环经济, 2011(11): 43—45.

[4] 张庆辉, 赵捷, 朱晋, 等. 中国城市湿地公园研究现状 [J]. 湿地科学, 2013, 11(1): 129—135

[5] 李玉凤, 刘红玉. 湿地分类和湿地景观分类研究进展 [J]. 湿地科学, 2014, 12(1): 102—108.

[6] 周晶, 章锦河, 陈静, 等. 中国湿地自然保护区、湿地公园和国际重要湿地的空间结构分析 [J]. 湿地科学, 2014, 12(5): 597—605.

[7] 中华人民共和国住建部. 海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行) [Z/OL]. (2014—11—03) [20115—12—06]. http://www.mohurd.gov.cn/zcfg/jsbwj_0/jsbwjcsjs/201411/W020141102041225.pdf.

[8] 陆宝麟. 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, 1984: 15—25.

[9] 汪秀芳, 薛淋淋. 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.

- [10] 蚊虫防制(一)——蚊虫的危害与形态分类 [J]. 中华卫生杀虫药械, 2006, 12(4): 289—293.
- [11] 陈小杰. 不同湿度条件对不同胚胎发育期的白纹伊蚊卵孵化率的影响 [J]. 韶关师专学报, 1986, 4: 172—183.
- [12] TENNESSEN K. Production and Suppression of Mosquitoes in Constructed Wetlands [M]. Michigan, USA: Lewis Publishers (CRC Press), 1993: 591—601.
- [13] RUSSELL R. Constructed Wetlands and Mosquitoes: Health Hazards and Management Options—An Australian Perspective [J]. Ecological Engineering, 1999, 12(98): 107—124.
- [14] WALTON W. Design and Management of Free Water Surface Constructed Wetlands to Minimize Mosquito Production [J]. Wetlands Ecology Manage, 2012(20): 173—195.
- [15] YADAV P, FOSTER W, MITSCH W, et al. Factors Affecting Mosquito Populations in Created Wetlands in Urban Landscapes [J]. Urban Ecosystem, 2012(15): 499—511.
- [16] KNIGHT R, WALTON W, O'MEARA G, et al. Strategies for Effective Mosquito Control in Constructed Treatment Wetlands [J]. Ecological Engineering, 2003(21): 211—232.
- [17] 张 姝, 尚佰晓, 周 莹. 莲花湖人工湿地对污水的净化效果研究 [J]. 中国给水排水, 2011, 27(9): 25—28.
- [18] GINGRICH J, ANDERSON R, WILLIAMS G, et al. Storm Water Ponds, Constructed Wetlands, and Other Best Management Practices as Potential Breeding Sites for West Nile Virus Vectors in Delaware During 2004 [J]. Journal of American Mosquito Control Association, 2006, 22(2): 282—291.
- [19] REESE E, BATZER D. Do Invertebrate Communities in Floodplains Change Predictably Along a River's Length? [J]. Freshwater Biology, 2007(52): 226—239.
- [20] 李朱婧, 周建华, 葛煜喆. 雨水花园在步行街的选址与空间形态研究 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2015, 40(5): 164—170.
- [21] 刘家琳, 张建林. 雨水径流控制的景观设计途径及在公园绿地中的应用分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2015, 37(11): 183—189.
- [22] 刘起勇, 刘小波, 周广超, 等. 基于标记—释放—重捕技术的中华按蚊飞行距离初步研究 [J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2011, 22(3): 201—204.
- [23] BRYAN J. Anopheles Annulipes Walker (Diptera: Culicidae) at Griffith, New South Wales. 3. Dispersal of Two Sibling Species [J]. Australian Journal of Entomological Society, 1991(30): 119—121.
- [24] FRANK J, CURTIS G. Bionomics of the Bromeliad-Inhabiting Mosquito Wyeomyia Vanduzeei and its Nursery Plant Tillandsia Utriculata [J]. The Florida Entomologist, 1981, 64(4): 491—506.
- [25] WALTON W, POPKO D, van DAM A, 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.
- [26] COLLINS J, RECH V. Guidelines for the Ecological Control of Mosquitoes in Non-Tidal Wetlands of the San Francisco Bay Area. Calif [Z]. Mosquito Vector Control Association, 1989.
- [27] WALTON W, WORKMAN P. Effect of Marsh Design on the Abundance of Mosquitos in Experimental Constructed Wetlands in Southern California. Journal of the American Mosquito Control Association, 1998, 14(1): 95—107.
- [28] DALE P, GREENWAY M, Chapman H, et al. Constructed Wetlands for Sewage Effluent Treatment and Mosquito Larvae At Two Sites in Subtropical Australia [J]. Journal of the American Mosquito Control Association, 2007, 23(2): 109—116.
- [29] CULLER L, LAMP W. Selective Predation by Larval Agabus (Coleoptera: Dytiscidae) on Mosquitoes: Support for Conservation-Based Mosquito Suppression in Constructed Wetlands [J]. Freshwater Biology, 2009, 54(9): 2003—2014.
- [30] MITSCH W. Wetland Creation, Restoration, and Conservation: A Wetland Invitation at the Olentangy River Wetland Research Park [J]. Ecological Engineering, 2005(24): 243—251.
- [31] THULLEN J, SARTORIS J, WALTON W. Effects of Vegetation Management in Constructed Wetland Treatment Cells on Water Quality and Mosquito Production [J]. Ecological Engineering, 2002(18): 441—457.
- [32] SANFORD M, KEIPER J. The Impact of Wetland Vegetation Drying Time on Abundance of Mosquitoes and Other in Vertebrates [J]. Journal of the American Mosquito Control Association, 2003, 19(4): 361—366.

- [33] BATZER D, RESH V. Wetland Management Strategies That Enhance Waterfowl Habitats Can Also Control Mosquitoes [J]. Journal of the American Mosquito Control Association, 1992(8): 117—125.
- [34] MOGI M. Insects and Other Invertebrate Predators [J]. Journal of the American Mosquito Control Association, 2007 (23): 93—109.
- [35] MITSCH W. Wetlands[M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1993: 69—76.
- [36] SARNECKIS K. Mosquitoes in Constructed Wetlands [M]. South Australia, Adelaide: Environment Protection Authority, 2002: 15.
- [37] ALFONZO D, GRILLET M, LIRIA J, et al. Ecological Characterization of the Aquatic Habitats of Mosquitoes (Diptera: Culicidae) in Enzootic Foci of Venezuelan Equine Encephalitis Virus in Western Venezuela [J]. Journal of Medical Entomology, 2005, 42(3): 278—284.
- [38] YEE D, JULIANO S. Abundance Matters: A Field Experiment Testing the More Individuals Hypothesis for Richness-Productivity Relationships [J]. Oecologia, 2007, 153(1): 153—162.
- [39] MOSER J, GONZALEZ J, EDITH N, et al. Larval Seasonality of Themosquito Anopheles Aquasalis (Diptera: Culicidae) and Other Insects Associated to Its Habitat in Sucre, Venezuela [J]. Revista de biologia tropical, 2010, 58(2): 19—26.

On Wetland Planning and Design for Conduction of Mosquito-Control in Low Impact Development

ZHAO Hong-hong¹, LV Hui^{1,2}

1. College of Architecture, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. Department of Landscape Design of Foshan University, Foshan Guangdong 528000, China

Abstract: Based on existing concept and construction technology guide of low impact development(LID), contents that may cause mosquito breeding have been discussed, existing foreign research results on mosquito control LID planning and design method reviewed, and finally a series of planning and design methods which were conducive to mosquito control have been put forward, mainly including surface flow wetland site selection, depth of water, wetland unit combination mode, the rise and fall of water level, plant species selection and layout pattern, structure design of subsurface flow wetland, in order to provide certain reference Sponge City construction in our country.

Key words: low impact development(LID); mosquito control; planning and design; literature review; inductive analysis

责任编辑 潘春燕