

文章编号: 1000-5641(2018)06-0105-08

海绵城市中海绵体的蚊幼孳生现状及成因分析 ——以池州市为例

肖冰^{1,2}, 杨银川^{1,2}, 陆昕渝^{1,2}, 李欣然^{1,2}, 黄民生^{1,2}, 尹超^{1,2}, 何岩^{1,2}

(1. 华东师范大学生态与环境科学学院, 上海 200241;

2. 华东师范大学上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室, 上海 200241)

摘要: 海绵城市的建设是为了解决城市水问题, 但由于积水, 海绵体中可能伴生着蚊幼孳生的风险. 为研究海绵体中蚊幼虫孳生现状及其成因, 为其蚊害防治提供相关依据, 本研究于2017年3月至2017年11月, 对池州市典型海绵体进行积水、水质和蚊幼监测. 结果表明, 池州一中雨水湿塘1(溢流口)中水质较差(劣V类), 积水时间较长(2~3个月), 周边血源充足, 天敌缺失, 存在蚊幼孳生现象, 蚊幼虫密度在2017年6月至8月分别为1.6条/勺、2.2条/勺、1.0条/勺, 勺指数为100%、50%和20%, 存在一定蚊害风险, 需采取相关措施. 其余海绵体未发现蚊幼. 海绵体建设可能增加蚊虫孳生, 因此在海绵体的规划设计及运行维护阶段都需考虑该风险.

关键词: 海绵体; 积水; 蚊幼孳生; 水质

中图分类号: X835 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1000-5641.2018.06.013

Larvae breeding conditions of “sponge” in a sponge city and its mechanic analysis: A case study of Chizhou in Anhui Province

XIAO Bing^{1,2}, YANG Yin-chuan^{1,2}, LU Xin-yu^{1,2}, LI Xin-ran^{1,2}, HUANG Min-sheng^{1,2},
YIN Chao^{1,2}, HE Yan^{1,2}

(1. School of Ecological and Environmental Sciences, East China Normal University,
Shanghai 200241, China;

2. Shanghai Key Laboratory for Urban Ecological Processes and Eco-Restoration,
East China Normal University, Shanghai 200241, China)

Abstract: The goal of a sponge city is to solve the water problems faced by a city. However, there may exist risks of larvae breeding owing to the stagnant water in sponges. In order to study the status of larvae breeding and its factors in sponges, as a basis for mosquito prevention and control, this study monitored stagnant water, water quality,

收稿日期: 2018-06-08

基金项目: 国家自然科学基金(51278192); 上海市科技创新重大项目(16495810201); 上海市普陀区高层次人才科研创新项目(2014-A-18)

第一作者: 肖冰, 女, 硕士研究生, 研究方向为城市水环境与蚊虫孳生.

E-mail: xiaobing_19940430@163.com.

通信作者: 黄民生, 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为水环境治理与修复.

E-mail: mshuang@des.ecnu.edu.cn.

and mosquito larvae of typical sponges in Chizhou from March to August of 2017. The results showed that larvae bred in Rain Pond 1 of Chizhou No.1 Middle School because of poor water quality (below Class V), extended duration of water retention (2–3 months), adequate blood meal, and the lack of predators; however, larvae were not found in the rest of the sponges. The monthly larvae densities from June to August of 2017 were 1.6, 2.2 and 1.0 per dip, respectively, with 100%, 50%, and 20% dip index, requiring related control management. Accordingly, this risk should be considered in the planning, design, and maintenance stages of a sponge.

Keywords: sponge; stagnant water; larvae breeding; water quality

0 引言

为了解决我国城市内涝和水质污染等城市水问题,2014年10月住房和城乡建设部发布了《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》,并于2015年公布了16个试点城市名单,其中池州是海绵工程开展最早、覆盖率最大的城市之一。

与传统快排式雨水管理模式相比,海绵城市注重于雨水径流的源头调蓄和污染净化及水资源的就地利用^[1]。海绵体是海绵城市系统的基本组成,雨水花园、湿塘、下沉式绿地、植草沟和雨水井等都是典型的城市海绵体。

蚊虫的一生中有3个阶段(卵、幼、蛹)离不开水,其成虫将卵产于水面,卵在水中孵化、发育为幼和蛹,然后羽化为成虫。蚊虫完成一个生长发育周期通常需要11~18 d左右^[2]。在海绵城市系统中,众多的海绵体分布于城市地表,若其积水时间较长,则海绵体有可能成为蚊虫的孳生地,影响市民的健康乃至生命安全^[3]。

根据《池州市海绵城市规划设计导则》,适合当地低影响开发的设施主要有透水铺装、绿色屋顶、下沉式绿地、生物滞留设施、渗井、蓄水池和雨水罐等,本文选取池州市(城区)有蚊幼孳生可能性的典型海绵体为对象,研究这类海绵体中蚊幼虫的孳生现状及其成因,旨在为海绵体中蚊害的预防和控制提供相关依据,并为后续海绵体的规划设计和运行管理提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

池州位于安徽省西南部,长江中下游冲击平原与丘陵接合部位,是长江南岸重要的滨江港口城市。其地区降水的年际变化和年内分配不均匀,6—9月为汛期且多暴雨,随之产生的洪水峰高量大,加上内河源短流急,河道坡度大,老城区排水管网多为雨污合流,雨水管网排水能力不足,极易造成城市内涝^[4],且雨水径流对周围水体、水质及生态系统影响较大。同时池州多为剥蚀丘岗、平原及低洼湖盆,湖泊池塘星罗棋布,具有建设海绵城市得天独厚的条件,因此成为海绵城市首批试点之一。池州市内河湖水质较好,总体可达地表水Ⅲ类标准^[5]。根据规划,池州市海绵城市示范区年径流总量控制率定为72%,悬浮固体污染物(SS)去除率为40%,为防止城市内涝,制定了30年一遇的城市内涝防治标准和100年一遇的城市防洪标准,其对应的设计降雨量为24.2 mm/d。池州优势蚊种为传播乙脑的库蚊和传播疟疾的按蚊,池州市所在的安徽省在1998—2002年近10年乙脑发病趋势动态分析中属于高发区范围^[6],疫情较为严重,主要通过喷洒杀虫剂进行蚊害防治。

通过前期调研,本研究将采样点设于池州市天堂湖新区的池州一中学生公寓区的雨水

湿塘(见图1)和贵池区的三台山公园的客水滞留区(见图2)。两处海绵体均已建成并运行一年,较为稳定。

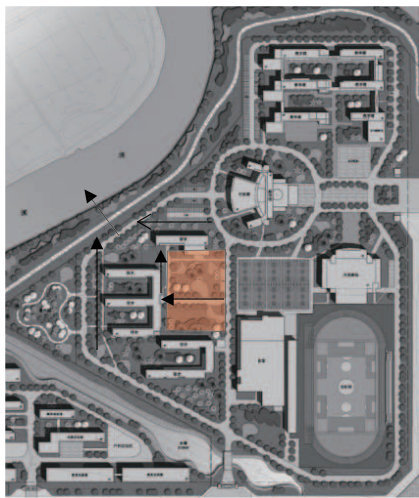


图1 池州一中采样区域

Fig.1 Sampling region at Chizhou No.1 Middle School



图2 三台山公园采样区域

Fig.2 Sampling region at Santaishan Park

池州一中的学生公寓区总汇水面积达4.1万 m^2 ,下垫面由绿地、建筑和道路组成,其中,绿地面积较大。改造前,该区域排水管网为雨污合流,井测量管径不满足流量要求。改造后,该区域综合雨量径流系数仅0.32。其海绵工程采用局部绿化下沉,并设计绿化廊道,将屋面、道路雨水和篮球场排水引入绿化带,经过绿化带内设置的旱溪砾石过滤系统汇入雨水湿塘,同时增加了DN600雨水排水管网,将溢流雨水通过管网排入清溪河。

三台山公园为山地开放公园,占地面积14.8万 m^2 ,山体覆盖率达90%,具有较好的雨水涵养本底。海绵工程建设后,三台山公园年径流控制率为83%,降雨控制深度为37.2 mm。本研究采样区域为三台山公园东北角的客水滞留区,既有硬质结构的景观水池,又有卵石铺设的旱溪,还有雨水湿塘,将周边雨水组织汇入,实现径流的调蓄和净化并补充景观水。

两个采样地分别属于校园公寓区和公共绿地,具有较大的人口密度和人流量,为蚊虫提供充足血源,且植被盖度大,海绵体多,有可能为蚊虫孳生提供良好的条件。

1.2 研究方法

采样时间为2017年3—11月(长三角地区蚊虫生长繁殖季节),采样地点为池州一中学生公寓区的6个雨水湿塘和2个雨水井,以及三台山公园1个景观水池和3个雨水湿塘(合计12个)。每月采集一次水样进行水质监测,并根据《病媒生物密度监测方法蚊虫》(GB/T 23797—2009)采用标准匀捕法采集蚊幼,现场计数,实验室培养鉴定。于2017年5月至12月每周现场记录各海绵单体的积水深度。对积水情况、水质及蚊幼虫的监测结果开展分析,探讨海绵体中蚊幼虫孳生的相关机制。

2 研究结果及讨论

2.1 海绵体积水情况及其分类

由于蚊幼需要在水中生长发育,一旦水体干涸,蚊幼就会死亡,因此积水时间是影响蚊幼生长发育以及成蚊密度的重要参数^[7]。本研究根据每周测量的海绵体积水深度(见图3和

图 4), 将上述 12 个海绵体分为长期积水(全年积水)、半长期积水(积水时间为 2~3 个月)以及短期积水(积水时间为 0~3 周) 3 种类型.

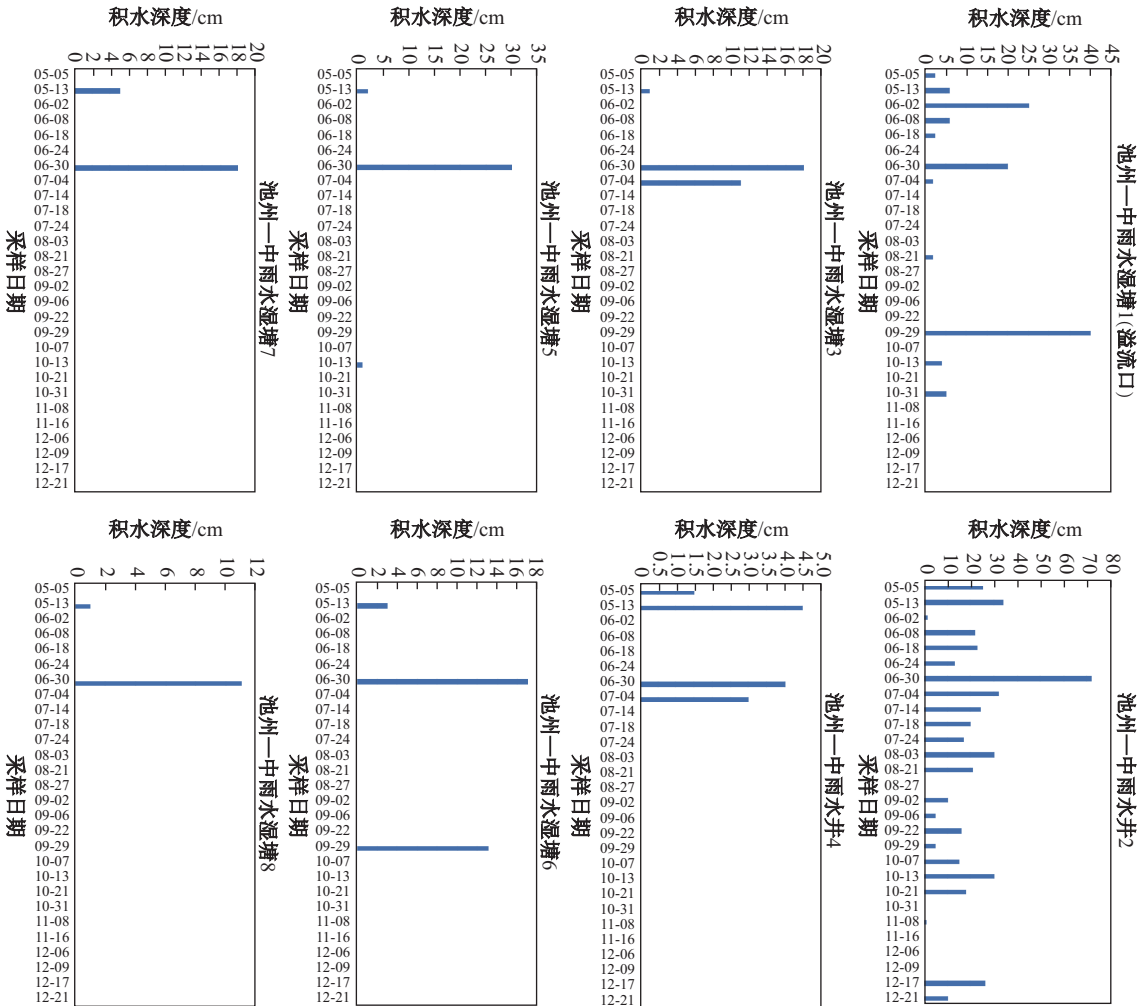


图 3 2017 年池州一中样点积水深度变化

Fig. 3 Water depth of sampling sites at Chizhou No.1 Middle School in 2017

海绵体积水情况分类结果: ① 长期积水型, 三台山公园景观水池; ② 半长期积水型, 池州一中雨水湿塘 1(溢流口)、池州一中雨水井 2、三台山公园雨水湿塘 1 和三台山公园雨水湿塘 3; ③ 短期积水型, 池州一中雨水湿塘 3—8、池州一中雨水井 4 和三台山公园雨水湿塘 2.

在短期积水的海绵体中, 池州一中雨水湿塘 3—8 和雨水井 4 仅在 3 月份和 6 月份存在积水, 其他时间均无积水, 这种情况不利于蚊幼孳生, 因此后续分析中未将这些样点考虑在内(海绵体由 12 个减少到 6 个).

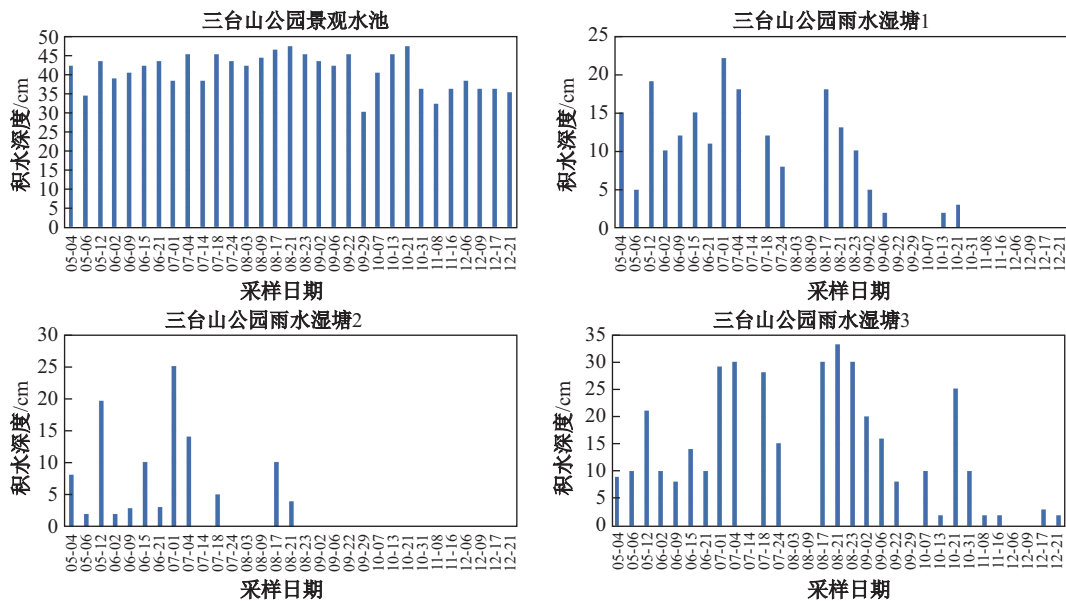


图 4 2017 年三台山公园样点积水深度变化

Fig. 4 Water depth of sampling sites at Santaishan Park in 2017

2.2 海绵体水质情况及其分析

计算 6 个海绵体 2017 年 3—11 月份水质指标: 总磷(TP)、氨氮(NH₄⁺-N)、总氮(TN)、五日生化需氧量(BOD₅)和高锰酸盐指数(COD_{Mn})的年平均值, 根据国家地表水环境质量标准(GB 3838—2002), 对各海绵体的积水水质进行模糊综合评价, 根据加权平均综合评价原则得到水质类别(见表 1)。

表 1 海绵体水质模糊综合评价

Tab. 1 Fuzzy comprehensive assessments of “sponge” water quality								
采样点	水质类别隶属度						水质等级	水质类别
	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类	劣 V 类		
池州一中雨水湿塘 1(溢流口)	0.033 8	0.195 5	0.130 0	0.217 5	0.000 0	0.423 2	4.924 8	劣 V
池州一中雨水井 2	0.241 0	0.211 6	0.327 9	0.219 5	0.000 0	0.000 0	2.564 1	III
三台山公园景观水池	0.231 8	0.165 6	0.137 0	0.309 2	0.156 4	0.000 0	3.043 9	IV
三台山公园湿塘 1	0.265 9	0.291 0	0.145 6	0.297 5	0.000 0	0.000 0	2.480 9	III
三台山公园湿塘 2	0.359 0	0.359 7	0.281 3	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.852 5	II
三台山公园湿塘 3	0.257 4	0.272 0	0.254 6	0.216 0	0.000 0	0.000 0	2.364 8	III

根据水质评价结果, 池州一中雨水湿塘 1(溢流口)的综合水质最差, 属劣 V 类, 主要污染因子是氨氮. 池州一中雨水湿塘 1(溢流口)处为半长期积水, 即降雨后雨水积滞时间为 2~3 个月, 但积水深度较浅(平均深度 9.57 cm). 采样期间观察到该海绵体中有一些食品包装袋等生活垃圾, 雨水将污染浸出流入雨水湿塘, 造成水质的恶化. 其他海绵体的水质均能达到 II—IV 类标准, 主要污染因子均为高锰酸盐指数.

池州一中雨水井 2 为半长期积水, 积水深度较大, 且井壁为硬质结构, 主要通过管道排水, 透水性差, 随着降雨量增大对污染具有一定的稀释作用, 因此水质较好, 为 III 类.

三台山公园景观水池为硬质结构, 长期持水, 池中有盆栽的睡莲等植物, 还有放养的鱼类等水生动物. 由于地处开放公园, 周围嬉戏游客较多, 容易对水池造成人为污染, 比如垃圾随意丢

弃、儿童随地大小便等,但由于水池较大,对污染具有较强的缓冲作用,同时,景观水池中的水通过泵提升至生态湿地,再经湿地流入景观水池形成水循环,对池中污染物有较好的净化作用。

三台山公园湿塘 1—3 由于接纳的主要是雨水和地表径流,且周围有绿地作为缓冲带,对地表径流具有一定的净化作用,因此水质均达到 II—III 类。

2.3 海绵体中蚊幼孳生状况及其分析

蚊虫生长于水体中,积水成为它们孳生的必要条件,同时也是制约因素^[8]。

采样期间,6 个长期和半长期积水的海绵体中,仅在池州一中雨水湿塘 1(溢流口)中采集到蚊幼(9 个月中有 3 个月发现蚊幼),根据《病媒生物密度控制水平蚊虫》(GB/T 27771—2011)的定义,计算其蚊幼勺指数、蚊幼虫密度和成蚊率(见表 2)。其蚊幼虫密度均低于 5 条/勺,但勺指数均高于 3%,未达到国家卫生城市灭蚊考核标准^[9],可认为该海绵体具有一定的蚊害风险。

表 2 蚊幼孳生状况

Tab. 2 Status of larvae breeding			
日期	勺指数/%	蚊幼虫密度(条·勺 ⁻¹)	成蚊率/(%雌:雄)
2017-06-18	100	1.6	18.75(3:0)
2017-07-14	50	2.2	36.36(3:1)
2017-08-12	20	1.0	0

现场采集的蚊幼经实验室培育后鉴种,结果均为淡色库蚊。

淡色库蚊在水中生长繁殖,污水中溶解态和颗粒态食源丰富,可为蚊卵孵化和幼虫生长发育提供营养,但污染过重的水体其表面易形成水膜,阻碍蚊幼呼吸,乃至造成死亡^[8]。

雌蚊需要吸食血液,利用血液中的蛋白质促进卵巢发育,产卵地一般选择在离血源较近的积水环境中,因此在相同的积水环境下,住宅区的蚊虫密度要高于绿地环境^[10]。

淡色库蚊幼虫生存环境的 pH 值和溶解氧(DO)浓度范围较大。蚊幼虫肠道前半部分呈碱性(pH 值在 10.5~11.5 之间),而其他大部分器官均处于中性^[11],因此在弱碱性水体中对藻类的摄食较快^[12],但在高碱性水体中难以适应生存。本研究各海绵体水体的 pH 平均值为 8.78±0.47,属于偏碱性水体,其中,池州一中雨水湿塘 1 的 pH 值最小,平均为 8.22。由于淡色库蚊的幼虫通过尾部呼吸管浮于水面,呼吸空气,因此水中的 DO 水平对蚊幼生长主要为间接影响:水中 DO 浓度高低与藻密度有关,而浮游藻可以作为蚊幼的食源,对蚊幼的生长发育有一定影响。

池州一中雨水湿塘 1(溢流口)不仅积水时间较长,污染严重,并且周边有丰富的血源、水中有充足的食源,这可能是其出现蚊幼孳生的主要原因。与之对比,其余 5 个海绵体或水质较好,或血源相对不足(如三台山公园的海绵体),或天敌(鱼、虾、蛙等)较多,造成蚊虫的产卵量少,或者,蚊幼难于生长发育以及刚刚孵化出就被天敌捕食。

池州一中雨水湿塘 1(溢流口)中 6 月份蚊幼密度大于 8 月份,可能的原因有:①气温,低温和高温都是蚊幼繁殖的限制因素^[13],淡色库蚊蚊幼最适宜生存的气温区间为 19~28 °C,6 月份气温在 19~29 °C,较适合蚊幼生长,而到了 8 月份,最高温上升至 35 °C,造成蚊虫密度下降;②降雨,长时间连续降雨及剧烈降雨均会减少蚊虫的孳生,一方面由于水面的剧烈波动会阻碍蚊虫产卵,另一方面也会对蚊幼造成机械性损伤。2017 年 6 月 13 日为雷阵雨,之后连续 5 日均为多云天气,降雨为蚊幼的孳生提供了积水,而后的多云天气又为蚊卵的孵化提供了有利条件,而 2017 年 8 月份采样前仅有两天为多云,其他均为剧烈降雨天气,容易造成蚊幼死亡;③水质,根据 2017 年 8 月份的水质数据可知,其氨氮浓度过大,达到了 9.44 mg/L,远超地表水质量标准,对蚊幼产生一定的毒害^[2]。

表 3 池州一中雨水湿塘 1 蚊幼孳生期水质状况

Tab. 3 Water conditions of Rain Pond 1 at Chizhou No.1 Middle School

during the larval breeding period						
日期	DO/(mg·L ⁻¹)	WT/°C	pH	NH ₃ -N/(mg·L ⁻¹)	TP/(mg·L ⁻¹)	水质类别
2017-06-18	5.57	25.7	8.48	0.089	0.057	III
2017-08-12	7.56	29.2	7.72	9.44	0.486	劣 V

3 结论与展望

(1) 积水时间是影响蚊虫生长发育的重要参数。长期积水型海绵体(三台山公园景观水池)中蚊虫天敌较多,对蚊幼的生存具有较大威胁,短期积水型海绵体(池州一中雨水湿塘 3—8、池州一中雨水井 4 和三台山公园雨水湿塘 2)由于积水时间过短,很快干涸,均不利于蚊幼生长。而半长期积水型海绵体(池州一中雨水湿塘 1(溢流口)、池州一中雨水井 2、三台山公园雨水湿塘 1、三台山公园雨水湿塘 3)积水时间较长,加上天敌的缺失,存在蚊幼孳生的可能性,但是否有蚊幼孳生还要考虑其水质、血源等条件。

(2) 池州一中雨水湿透 1(溢流口)中存在蚊幼孳生现象,主要因为其积水时间较长,水质污染严重(劣 V 类),成蚊血源充足,蚊幼食源充沛,且无天敌捕食。由于气温、降雨等气象条件及水质状况的影响,蚊幼密度随之改变,2017 年 6 月至 8 月蚊幼蚊幼虫密度分别为 1.6 条/勺、2.2 条/勺和 1.0 条/勺,但勺指数为 100%、50% 和 20%,存在一定的蚊害风险。而其余海绵体水质较好(II—IV 类),缺少蚊幼生长所需营养和有机物,或天敌较多,或血源相对不足,影响了蚊卵的孵化及幼虫的生长发育。

(3) 积水时间较长、水质较差、周围血源丰富且水生生物缺乏的海绵体应为蚊害防治的重点对象。为了减少蚊媒疾病传播风险,应针对这类海绵体开展控蚊灭蚊措施:蚊幼孳生的根本原因是海绵体积水,因此可通过对土壤进行翻耕^[14]或将土壤与孔隙率较大的基质混合铺设在海绵体中,增加海绵体渗透性,减少蚊幼孳生;定期清理海绵体中垃圾,营造清洁环境,避免水质受污染;海绵体中可种植具有驱蚊效果的植物^[15](如薄荷等),净化水质的同时抑制蚊虫产卵,减少诱蚊植物的种植;根据当地的条件适当投加蜻蜓幼虫等蚊幼的天敌;在蚊虫孳生高峰期,蚊幼密度过大时,可使用化学杀虫剂作为应急措施,但由于化学杀虫剂长期使用对环境和生态具有较大的危害且会使蚊虫产生抗药性,为长效灭蚊可使用生物杀虫剂(如细菌制剂);海绵体周围可放置灭蚊灯减少成蚊数量。

[参 考 文 献]

- [1] 徐宁,戴启培. 基于海绵城市的绿地建设方案设计研究——以试点海绵城市池州为例[J]. 居业, 2015, 16: 41-42.
- [2] 陈奇. 上海某组合式污水处理试验系统中蚊虫孳生规律及影响因素研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2017.
- [3] 徐承龙,姜志宽. 蚊虫防治(二)——蚊虫的生态习性与常见种类[J]. 中华卫生杀虫药械, 2006, 12(5): 403-407.
- [4] 孙斌,李艳丽. “海绵体”建设初探——以池州一中为例[C]// 中国城市规划协会, 沈阳市人民政府. 规划 60 年: 成就与挑战——2016 中国城市规划年会论文集(07 城市生态规划). 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [5] 何祥亮,许克祥. 池州市升金湖流域生态环境保护规划研究[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(12): 57-60.
- [6] 王晓军,张彦平,张荣珍,等. 中国 1998—2002 年流行性乙型脑炎流行趋势分析[J]. 中国计划免疫, 2004, 10(4): 215-217.
- [7] MERETA S T, YEWHALAW D, BOETS P, et al. Physico-chemical and biological characterization of anopheline mosquito larval habitats (Diptera: Culicidae): Implications for malaria control[J]. Parasites & Vectors, 2013(6): 320.
- [8] 徐友祥,徐仁权,王士珍. 室外环境积水引起蚊幼孳生的状况调查[J]. 上海预防医学杂志, 2004, 16(4): 153-156.
- [9] 徐承龙,姜志宽. 蚊虫防治(六)——蚊虫调查与灭校考核[J]. 中华卫生杀虫药械, 2014, 20(6): 520-523.
- [10] 高强,曹晖,张振东,等. 白纹伊蚊在上海城区地面雨水井的孳生状况分析[J]. 中华卫生杀虫药械, 2016, 22(6): 563-568.

- [11] LINSER P J, SMITH K E, SERON T J, et al. Carbonic anhydrases and anion transport in mosquito midgut pH regulation[J]. *The Journal of Experimental Biology*, 2009, 212(11): 1662-1671.
- [12] 张世萍, 杨洲, 聂刘明, 等. 影响库蚊幼虫摄食鱼腥藻的因素[J]. *水生生物学报*, 2002, 26(1): 39-41.
- [13] BECKER N. Influence of climate change on mosquito development and mosquito-borne diseases in Europe[J]. *Parasitology Research*, 2008, 103(1): 19-28.
- [14] GIANOTTI R L, BOMBLIES A, ELTAHIR E A B. Hydrologic modeling to screen potential environmental management methods for malaria vector control in Niger[J]. *Water Resources Research*, 2009, 45, W08438. DOI:10.1029/2008WR007567.
- [15] 马明海. 城市河道水环境修复对蚊虫孳生影响的模拟试验与现场实证研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2017.

(责任编辑: 林 磊)

(上接第 49 页)

- [17] 国家环境保护总局水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法 [M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [18] DIETZ M E, CLAUSEN J C. Saturation to improve pollutant retention in a rain garden [J]. *Environmental Science & Technology*, 2006, 40(4): 1335-1340.
- [19] HUNT W F, JARRETT A R, SMITH J T, et al. Evaluating bioretention hydrology and nutrient removal at three field sites in North Carolina [J]. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-ASCE*, 2006, 132(6): 600-608.
- [20] 王宝山, 黄廷林, 聂小保, 等. 不透水表面雨水径流污染物冲刷规律研究 [J]. *环境工程学报*, 2010(9): 1950-1954.
- [21] BREZONIK P L, STADELMANN T H. Analysis and predictive models of stormwater runoff volumes, loads, and pollutant concentrations from watersheds in the Twin Cities metropolitan area, Minnesota, USA [J]. *Water Research*, 2002, 36: 1743-1757.
- [22] GUPTA K, SAUL A J. Specific relationships for the first flush load in combined sewer flows [J]. *Water Research*, 1996, 30(5): 1244-1252.
- [23] GNECCO I, BERRETTA C, LANZA L G, et al. Storm water pollution in the urban environment of Genoa, Italy [J]. *Atmospheric Research*, 2005, 77(1/2/3/4): 60-73.
- [24] 任玉芬, 王效科, 欧阳志云, 等. 北京城市典型下垫面降雨径流污染初始冲刷效应分析 [J]. *环境科学*, 2013(1): 373-378.
- [25] 王巧. 含阴离子表面活性剂(SDS)低温低浊水的絮凝特性研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2008.
- [26] 赵建伟, 单保庆, 尹澄清. 城市面源污染控制工程技术的应用及进展 [J]. *中国给水排水*, 2007(12): 1-5.
- [27] 王健, 尹炜, 叶闽, 等. 植草沟技术在面源污染控制中的研究进展 [J]. *环境科学与技术*, 2011(5): 90-94.
- [28] HENDERSON C, GREENWAY M, PHILLIPS I. Removal of dissolved nitrogen, phosphorus and carbon from stormwater by biofiltration mesocosms [J]. *Water Science and Technology*, 2007, 55(4): 183-191.
- [29] ROSE C W, YU B, HOGARTH W L, et al. Sediment deposition from flow at low gradients into a buffer strip - a critical test of re-entrainment theory [J]. *Journal of Hydrology*, 2003, 280(1/2/3/4): 33-51.
- [30] HOLMBERG K. 水溶液中的表面活性剂和聚合物 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [31] 北原文雄, 早野茂夫, 原一郎. 表面活性剂 [M]. 北京: 轻工业出版社, 1988.
- [32] 梁铮丹. SMBR用于中水回用及其降解表面活性剂的特性研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2006.
- [33] 王德仁. 降低给水排水工程造价的若干途径 [J]. *中国给水排水*, 1993(3): 29-33.
- [34] 汪艳. 市政工程的全过程造价管理研究 [D]. 上海: 华东理工大学, 2014.
- [35] 上海市住房和城乡建设管理委员会. 上海地方标准《上海市海绵城市建设技术规程》征求意见稿发布(沪建标定(2016)589号) [Z]. 2017-09-20.
- [36] 重庆市城乡建设委员会, 重庆市规划局重庆市规划局. 关于发布《重庆市海绵城市规划与设计导则(试行)》的通知(渝建(2016)549号)[Z]. 2016-11-28.

(责任编辑: 李万会)