

文章编号: 1000-5641(2017)06-0156-08

## 上海市河道水环境与蚊幼孳生关系分析

马明海<sup>1,2</sup>, 刘善文<sup>1</sup>, 黄民生<sup>1</sup>, 冷培恩<sup>3</sup>

(1. 华东师范大学 生态与环境科学学院, 上海 200062;

2. 黄山学院 生命与环境科学学院, 安徽 黄山 245041;

3. 上海市疾病预防控制中心 病媒生物防治科, 上海 200031)

**摘要:** 为探究影响河道蚊虫孳生的水环境因素, 2012年7月至2013年7月, 对上海市7条河道进行蚊幼采集及水质分析, 采用模糊聚类法评价河道水质, 对蚊幼密度与水质的耦联关系进行相关性分析. 结果表明, 7条河道中有3条阳性河道, 优势蚊种为淡色库蚊. 城市河道水体蚊幼孳生的季节为春末夏初, 5月蚊幼密度最大. 河道蚊幼密度与水中溶解态磷酸盐(DP)呈显著正相关关系( $p < 0.01$ ), 当河道水体中叶绿素a(Chla)浓度小于 $80 \text{ mg/m}^3$ 时, 蚊幼密度随着Chla浓度的增加而显著增加( $p < 0.05$ ). 在合适的水环境背景下, 缓流型河道可成为蚊虫潜在的孳生地.

**关键词:** 河道水环境; 聚类分析; 蚊幼; 相关性

**中图分类号:** X835 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1000-5641.2017.06.015

## Analysis on relationship between mosquito larvae breeding and river water environment in Shanghai

MA Ming-hai<sup>1</sup>, LIU Shan-wen<sup>1</sup>, HUANG Min-sheng<sup>1</sup>, LENG Pei-en<sup>2</sup>

(1. School of Ecology and Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

2. School of Life and Environmental Sciences, Huangshan University, Huangshan Anhui, 245041, China;

3. Department of vector control, Shanghai Municipal Center for Disease Control & Prevention, Shanghai, 200031, China)

**Abstract:** Monthly data on water quality and larval density were obtained from 7 rivers in Shanghai from July 2012 to July 2013, in order to determine the effects of river water environment on the distribution and abundance of immature mosquitoes. Fuzzy clustering method was used for evaluation of river water quality. Correlation analysis of larval density and water quality was implemented. Results showed that 3 rivers were considered as

收稿日期: 2016-11-17

基金项目: 国家科技重大专项(2013ZX07310001, 2014ZX07101012); 国家自然科学基金(51278192); 普陀区高层次人才科研创新项目(普人才2014-A-18)

第一作者: 马明海, 男, 博士研究生, 研究方向为河道治理与修复. E-mail: maminghai@hsu.edu.cn.

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.

positive rivers from total 7 rivers. *Culex pipiens pallens* was the predominant species in the studied regions. High incidence of larvae from urban rivers appeared in late spring-early summer and larval density reached a peak in May. Larval density was positively significant with dissolved phosphate (DP) ( $p < 0.01$ ). Moreover, larval density increased significantly with the increase of Chla concentration ( $p < 0.05$ ) when the concentration of chlorophylla (Chla) was lower than  $80 \text{ mg/m}^3$ . Slow-flowing river might be a potential habitat for some mosquito species under the appropriate conditions of water environment.

**Key words:** river water environment; cluster analysis; mosquito larvae; relationship

## 0 引言

河道是城市生态环境的重要组成部分,具有行洪排涝、运输、供水及景观等功能,随着城市化进程的加快和经济的快速发展,点源和非点源污染日益增多,导致河道水质和生态日趋恶化,严重影响城市的环境质量、生态安全及居民的生活与健康<sup>[1-4]</sup>. 生态修复技术<sup>[5-6]</sup>在净化河道水质、改善河道景观环境的同时,其潜在的风险不容忽视,蚊虫孳生就是其中之一. 蚊虫可传播登革热、疟疾和乙型脑炎等多种疾病,导致全球每年近百万人致病或死亡<sup>[7-8]</sup>. 蚊媒疾病的控制关键在于控制传播媒介,从根本上减少蚊幼的数量<sup>[9]</sup>. 有关蚊虫孳生地的报道多集中在小型积水容器、污水沟和人工湿地等<sup>[10-12]</sup>,极少关注城市河道<sup>[13]</sup>.

生态修复中使用的水生植物会减缓河道水流速度、遮挡部分阳光不致水体完全处于暴晒之下<sup>[14]</sup>,水中的有机颗粒、藻类和氮磷营养盐等物质可为蚊幼的生长发育提供必要的食源<sup>[15]</sup>,从而为蚊虫的孳生提供有利条件. 有研究指出,与蚊幼密度相关的水质参数有pH、氨氮和磷酸盐等<sup>[16-17]</sup>. Scbrandour等<sup>[18]</sup>研究发现,高水流速度(6~10 m/min)可消除水中几乎全部的蚊幼和蚊卵;Soleimani-Ahmadi等<sup>[19]</sup>亦报道称,静止的水体为蚊幼贴近水面自由呼吸提供了舒适的条件. 不同河道因污染、治理及修复在措施和力度等方面的差异性,势必对蚊虫的种群数量及时空分布造成影响,从而进一步影响河道水体及沿岸的蚊害风险水平.

本文以上海市7条不同水环境背景的城市河道为例,同步对水质及蚊幼密度进行监测分析,在此基础上,探究城市河道水环境与蚊幼孳生的关系及影响河道蚊幼孳生的主要环境因素,有助于理解蚊虫的孳生习性和传播媒介的综合防制,为实现城市污染河道治理修复与水体卫生安全的协调发展提供科学依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 采样点布设及水样采集

基于河道地理区位、周边环境、治理修复措施及水质优劣层次等方面,在上海市总共选取了7条城市河道作为研究对象,其中普陀区3条,分别为丽娃河(LW)、梦清园(MQ)和工业河(GY);宝山区2条,分别为桃浦河(TP)和长浜(CB);嘉定区和闵行区各1条,依次为淡江河(DJ)和樱桃河(YT). 自2012年7月至2013年7月,逐月对该7条河道进行水样采集(采集深度约为水面下15 cm). 采样期间避开台风、暴雨等极端天气. 7条河道共设置26个采样点,其空间分布见图1.

### 1.2 蚊幼采集及蚊种鉴定

采用500 mL标准勺捕法于2012年7月至2013年7月间(2012年12月—2013年2月除外)每月采集一次,采样点间隔约10 m. 出现蚊幼(蛹)的河道被称为阳性河道,未出现蚊幼

的河道则称为阴性河道. 记录蚊幼(蛹)数量, 并带回实验室进行培养, 待其羽化后送至上海市疾病预防控制中心, 借助立体显微镜(Motic SMZ168-TLED)进行种类鉴定. 蚊幼密度(Larval density,  $LD$ )(条/勺) $=N_l/N_p$ , 其中,  $N_l$ 为采集所得的蚊幼(蛹)总数(条),  $N_p$ 为阳性勺数(勺).

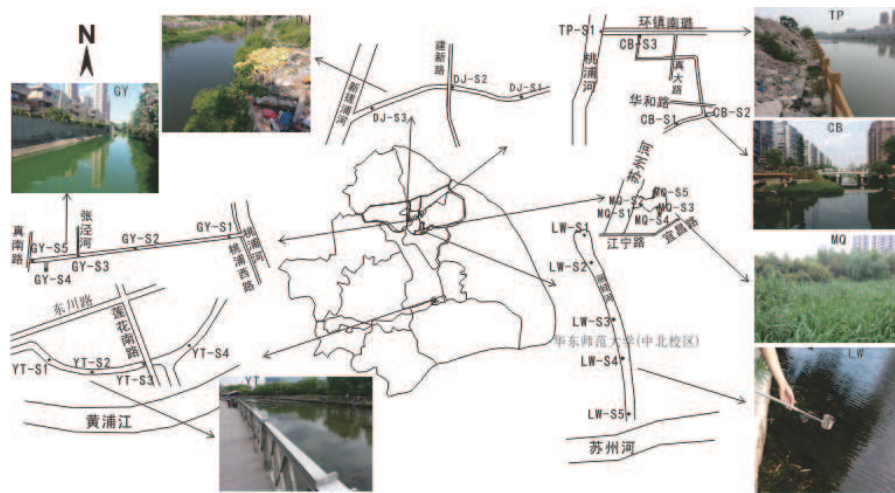


图1 河道采样点空间分布示意图

Fig.1 The diagram of spatial distribution of sampling sites in rivers

### 1.3 分析方法

使用 HI9812-5 型便携式 pH 计现场测定水样的 pH 值, 溶解氧(DO)和水温(WT)采用 HQ30d53 型便携式溶氧仪测定, 透明度(SD)则使用标准塞氏盘测定, 氨氮( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )、可溶性正磷酸盐(DP)、化学需氧量( $\text{COD}_{\text{Cr}}$ )和叶绿素 a(Chla)的测定方法参考《水和废水监测分析方法》(第四版)于 24 h 内完成实验室内测试. 无特别说明外, 所用试剂均为分析纯, 实验用水为新鲜去离子水.

在水质参数监测的基础上, 利用 SPSS19.0, 按照平方 Euclidean 距离, 使用组间联结聚类的方法, 对 7 条城市河道进行模糊聚类分析. 采用 Pearson 相关分析法分析各水质参数与蚊幼密度的关系, 显著性水平取  $\alpha = 0.05$ .

## 2 结果与分析

### 2.1 河道水质分析

2012 年 7 月至 2013 年 7 月间(冬季除外), 对 7 条河道的水质进行监测, 结果见表 1. 选取  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、DP 和  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  3 项监测指标共计 7 个城市河道样本, 对 7 条城市河道进行分类分析, 综合考虑模型的似然最大和河道实际背景, 定义聚类类别个数最少为 2, 最大为 5, 结果见图 2.

经比较, 7 条城市河道可分为四类. 第一类河道包括丽娃河和樱桃河, 其水质较清洁或污染程度较轻. 丽娃河因生态构建较丰富, 管理维护较完善<sup>[20]</sup>, 故其水质要好于樱桃河. 第二类河道包含梦清园和桃浦河, 其水质呈中度或重度污染状态. 梦清园人工湿地的进水直接取自苏州河, 通过人工湿地净化后, 其水质优于桃浦河. 第三类河道包括长浜和淡江河, 其水质呈严重污染状态, 但其污染特点却存在明显差异. 由表 1 可知, 长浜的主要污染问题在于其水体中 Chla 含量明显偏高; 而淡江河处于拆迁区, 河中垃圾肆意丢弃堆积, 有机污染较为严

重. 第四类河道即工业河, 受工业废水和生活污水的漏排甚至直排的影响, 部分河段水体已达黑臭, 污染最为严重<sup>[20]</sup>. 因此, 7 条河道的污染程度由轻到重依次为丽娃河<樱桃河<梦清园<桃浦河<长浜<淡江河<工业河.

表 1 城市河道水质参数

Tab. 1 water quality parameters of the study rivers

河道	pH	WT/°C	DO /(mg·L <sup>-1</sup> )	SD/cm	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N /(mg·L <sup>-1</sup> )	DP /(mg·L <sup>-1</sup> )	COD <sub>Cr</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )	Chla /(mg·m <sup>-3</sup> )
丽娃河	8.14±0.63	23.75±5.30	8.37±5.71	79.16±15.27	0.56±1.37	0.14±0.16	14.14±6.85	10.69±4.56
梦清园	7.60±0.46	24.22±5.20	3.85±3.50	35.33±13.64	3.82±2.17	0.38±0.20	29.17±9.75	23.07±20.37
工业河	8.25±0.52	24.37±6.77	6.52±7.02	36.43±9.66	8.31±2.66	0.71±0.21	46.47±18.45	88.93±66.25
桃浦河	7.73±0.25	25.78±5.61	2.32±2.42	33.64±5.68	6.95±1.92	0.45±0.11	29.21±6.50	30.01±21.77
长浜	8.89±0.81	24.56±6.34	13.88±6.23	25.33±11.21	4.31±2.82	0.39±0.25	37.51±8.99	111.62±71.04
江河	7.76±0.14	23.04±5.86	1.69±1.57	38.74±14.86	6.40±1.83	0.58±0.24	39.17±9.71	46.96
樱桃河	7.84±0.53	24.34±5.63	5.30±3.38	39.83±12.59	0.90±0.46	0.17±0.06	18.91±9.58	11.58±4.80

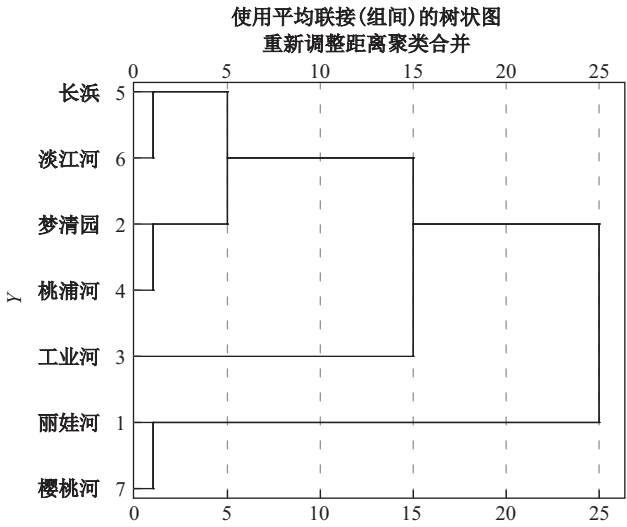


图 2 聚类分析树状图

Fig. 2 Dendrogram of cluster analysis

2.2 河道蚊幼时空分布

采样期间, 分别计数 7 条河道的蚊幼数量并计算蚊幼密度, 结果见图 3. 可以看出, 丽娃河、工业河与淡江河共 3 条河道表现为阳性, 约占 43 %; 其余 4 条河 (梦清园、桃浦河、长浜和樱桃河) 均为阴性. 不同类型的河道对蚊幼密度存在显著性影响 ( $F_{6,63} = 2.375, p = 0.039$ ), 3 条阳性河道之间的蚊幼密度不存在显著性差异 ( $p > 0.05$ ). 有研究表明, 蚊虫理想的孳生地环境为温湿度适宜、静水、遮阳、无捕食性动物及雌蚊产卵所必需的血源<sup>[21-22]</sup>等.

由聚类分析结果可知, 丽娃河和樱桃河同属污染较轻的河道, 氨氮及 COD<sub>Cr</sub> 含量均小于 1 mg/L 和 20 mg/L, 其水质接近地表 III 类水标准, 但蚊幼调查结果则完全不同. 这是因为, 丽娃河位于校园内, 人口密集, 两岸绿树成荫, 且水面风浪较小, 除汛期外均处于死水状态, 丰富的水生植物系统也为蚊虫孳生提供了有利条件; 而樱桃河作为典型的感潮河流, 受黄浦江潮汐影响<sup>[23]</sup>导致风浪较大, 岸边为亲水步道且无树木遮挡, 处于暴晒状态不适合蚊虫孳生. 梦清园水体流动性较好, 流速缓慢的芦苇种植区, 因植株密度过大而覆盖水面, 以致成蚊无法贴近水面产卵,

溢流池中存在的许多小鱼则会捕食蚊幼,从而大大降低蚊幼孳生的可能性<sup>[24]</sup>.桃浦河水面开阔,风浪较大,且常出现油污漂浮水面,从而阻碍蚊幼呼吸,不利于蚊幼孳生.长浜和淡江河同属严重污染的河道,氨氮含量均大于 4 mg/L,且 COD<sub>Cr</sub> 含量接近 40 mg/L,但蚊幼孳生调查结果显示长浜为阴性,淡江河为阳性.长浜作为附近新建小区的景观河道,维护管理频率较高,给河水造成的扰动较大,且水中存在大量鱼类,能减少蚊虫孳生;淡江河地处棚户动迁区,长期处于无人管理的状态,杂草丛生,生活垃圾随意丢弃岸边,为蚊幼栖息和生长发育提供了有利条件<sup>[15]</sup>.工业河地处工业生活混合区,除开闸放水外,其余时间水体流动性较差.岸边斜生的垂柳和夹竹桃,水体化学需氧量、氮磷等含量较高,既为成蚊产卵提供了遮阳处,又为蚊幼生长提供了丰富的食物来源.

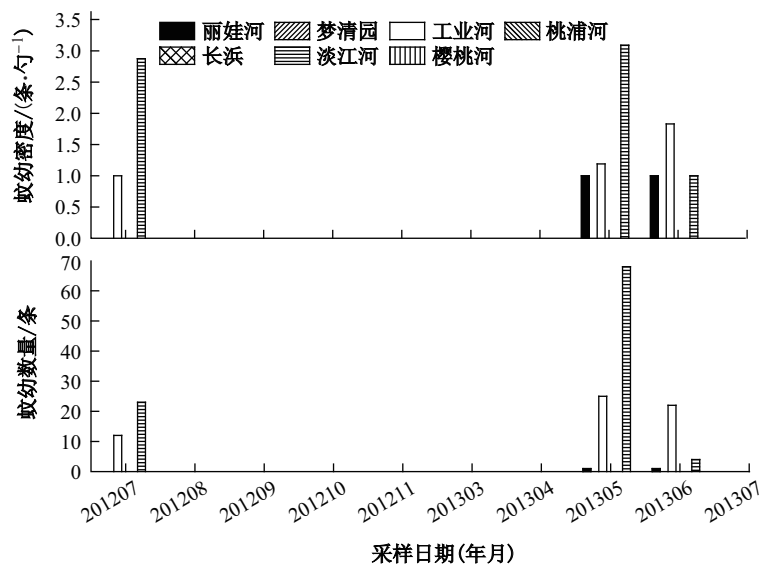


图3 河道蚊幼时空分布

Fig. 3 Special and temporal distribution of larvae in the studied rivers

采样期间,共采集到156条蚊幼(蛹),其中丽娃河2条,工业河59条,淡江河95条.大中型水体蚊幼孳生调查显示,以勺捕法计,每100勺阳性勺数不超过3勺<sup>[25]</sup>即可认为处于安全范围内.丽娃河出现蚊幼的两个半月分别采集100勺,阳性勺数均为1勺且各有1条蚊幼,因而不会对人们的健康产生很大威胁.污染严重的工业河和淡江河分别采集到59条和95条蚊幼,阳性勺数分别共计45勺和34勺,虽然样本量偏低,但作为潜在的孳生地,防治蚊虫时应当给与重污染河道一定的关注.

季节变化对蚊幼密度存在显著性影响( $F_{9,60} = 2.112, p = 0.042$ ),从图3可以看出,蚊幼密度的高峰期主要集中在2012年的7月与2013年的5月和6月,其中以2013年5月最高,这与其它孳生地的蚊虫季节消长规律较一致<sup>[26]</sup>.2013年7月的工业河平均WT较之前一年同期高出约2.2 °C,加上高浓度Chla (104.47 mg/m<sup>3</sup>)形成的水华覆盖了河面,从而抑制蚊幼孳生;同期的淡江河可能是因为大量繁殖的鱼类,使得2013年7月时河道显阴性.因此,春末夏初河道蚊虫孳生的高峰时段,应给予一定重视.

采集的156条蚊幼羽化后经上海市疾控中心病媒科鉴定,全部为淡色库蚊,这与淡色库蚊的生活习性密切相关.淡色库蚊偏好污水中孳生,特别是水质不澄清、营养较丰富的水体<sup>[27]</sup>.邓天福等<sup>[28]</sup>在淡色库蚊的产卵选择性模拟实验中,发现淡色库蚊产卵时偏重于选择高浓度营养物质水体.

2.3 河道水质与蚊幼密度的相关性

对采样期间的 7 条河道水质参数与蚊幼密度进行 Pearson 相关性分析, 结果见表 2. 可以看出, 当水中 DP 浓度小于 0.80 mg/L 时, 蚊幼密度与水中的 DP 成极显著正相关关系 ( $r = 0.416$ ,  $p = 0.000$ ); 蚊幼密度与水中 DO 的负相关关系接近显著性水平 0.05 ( $p = 0.060$ ). 这与 Vanlalruia 等人<sup>[17]</sup>的研究结果较一致, 他们发现水中库蚊幼虫孳生的数量受水温、溶解氧及磷酸盐含量影响较大. 这是由于水中的 DP 作为营养物质, 可促进藻类繁殖, 直接或间接为蚊幼提供营养或食物所致. 水中耗氧有机物含量越高, 污染越严重, 则水中 DO 含量越低, 鱼类则难以生存, 蚊幼(蛹)却因呼吸的氧气来自于大气故对此并不特别敏感, 捕食者的缺乏给予了蚊幼孳生更广阔的空间<sup>[29]</sup>.

表 2 河道水质参数与蚊幼密度的相关系数矩阵 ( $N = 70$ )

Tab. 2 Correlation matrix of larval density and water quality parameters of rivers ( $N = 70$ )									
	LD	pH	WT	DO	SD	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	DP	COD <sub>Cr</sub>	Chla
LD	1								
pH	-0.09	1							
WT	0.127	-0.184	1						
DO	-0.217	0.846**	0.016	1					
SD	0.051	-0.075	-0.116	-0.013	1				
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	0.206	-0.078	-0.022	-0.247*	-0.467**	1			
DP	0.416**	-0.069	0.124	-0.232	-0.374**	0.855**	1		
COD <sub>Cr</sub>	0.095	0.137	0.033	0.017	-0.506**	0.647**	0.556**	1	
Chla	0.119	0.539**	0.02	0.464**	-0.389**	0.281*	0.243*	0.570**	1

注: \* 表示在 0.05 水平 (双侧) 上显著相关, \*\* 表示在 0.01 水平 (双侧) 上显著相关

为进一步考察蚊幼孳生高峰期河道水质与蚊幼密度的关系, 以 2013 年 5 月的城市河道作为研究对象, 进行其水质与蚊幼密度的 Pearson 相关性分析, 结果见表 3. 可以看出蚊幼密度和 Chla 呈显著正相关 ( $r = 0.804$ ,  $p = 0.029$ ). 蚊幼孳生高峰期内丽娃河、梦清园、工业河、桃浦河、长浜、淡江河及樱桃河的 Chla 浓度分别为  $(16.71 \pm 3.98)$ 、17.17、 $(50.48 \pm 15.87)$ 、2.86、 $(40.61 \pm 4.75)$ 、 $(70.18 \pm 9.41)$  和  $(9.68 \pm 3.58)$  mg/m<sup>3</sup>, 均低于 80 mg/m<sup>3</sup>. 即水体中 Chla 含量小于 80 mg/m<sup>3</sup> 时, Chla 含量越高, 越易孳生蚊幼. 这可能是由于此时水体中营养较为丰富, 可为蚊幼提供必要的食物来源. 当 Chla 含量过高时, 一方面因为蚊幼消化道内腔只有部分为高碱度环境 ( $\text{pH} > 10.5$ ), 其余腔道仍为近中性 ( $6.5 < \text{pH} < 7.5$ )<sup>[30]</sup>, 所以在藻类大量爆发时的高碱度负荷冲击下蚊幼也难以适应生存<sup>[31]</sup>; 另一方面是因为较高藻密度时可形成明显的水华, 覆盖于河道水面妨碍蚊幼呼吸.

表 3 蚊幼孳生高峰期河道水质与蚊幼密度的相关系数矩阵 ( $N = 7$ )

Tab. 3 Correlation matrix of larval density with water quality during the mosquito breeding peak ( $N = 7$ )

	LD	pH	WT	DO	SD	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	DP	COD <sub>Cr</sub>	Chla
LD	1								
pH	-0.064	1							
WT	-0.531	0.458	1						
DO	-0.447	0.865*	0.479	1					
SD	-0.057	0.017	-0.594	0.089	1				
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	0.341	0.325	0.536	0.072	-0.808*	1			
DP	0.536	0.214	0.213	0.013	-0.712	0.909**	1		
COD <sub>Cr</sub>	0.186	0.646	0.702	0.350	-0.611	0.890**	0.683	1	
Chla	0.804*	0.361	-0.083	0.007	-0.377	0.738	0.865*	0.620	1

注: \* 表示在 0.05 水平 (双侧) 上显著相关, \*\* 表示在 0.01 水平 (双侧) 上显著相关

### 3 结 论

基于城市河道水环境修复进程中潜在的蚊虫孳生问题, 在上海市选取不同类型的 7 条河道开展研究, 对河道水环境与蚊虫孳生的关系进行了分析, 得出以下结论.

(1) 采样期间 7 条河道的污染程度由轻到重依次为丽娃河<樱桃河<梦清园<桃浦河<长浜<淡江河<工业河.

(2) 城市河道水体是蚊幼的潜在孳生地之一, 研究的 7 条河道中阳性河道占比约 43%. 河道的水体流动性、污染程度、水生植物和鱼等均可影响蚊虫的孳生.

(3) 河道水质会影响蚊虫孳生, 但不是唯一因素. 当水中 DP 浓度<0.80 mg/L、Chla 浓度小于 80 mg/m<sup>3</sup> 时, 随着水中 DP 及 Chla 含量的增加, 水体中蚊幼密度显著增加.

(4) 7 条河道水体中蚊幼孳生的高峰期为每年的 5 月至 7 月. 淡色库蚊为城市河道水体中的优势蚊种. 污染严重的河道应防控, 避免成为淡色库蚊的又一孳生地.

### [参 考 文 献]

- [1] CHANG H. Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin, South Korea [J]. Water Research, 2008, 42(13): 3285-3304.
- [2] EVERARD M, MOGGRIDGE H L. Rediscovering the value of urban rivers [J]. Urban Ecosystem, 2012, 15(2): 293-314.
- [3] SHORT A G. Governing change: Land-use change and the prevention of nonpoint source pollution in the north coastal basin of California [J]. Environmental Management, 2013, 51(1): 108-125.
- [4] WANG X, LI J Q, LI Y X, et al. Is urban development an urban river killer? A case study of Yongding Diversion Channel in Beijing, China [J]. Journal of Environmental Sciences, 2014, 26(6): 1232-1237.
- [5] HWANG S J, LEE S W, YOO B. Ecological conservation and the restoration of freshwater environments in Korea [J]. Paddy and Water Environment, 2014, 12(1): 1-5.
- [6] VYMAZAL J. Emergent plants used in free water surface constructed wetlands: A review [J]. Ecological Engineering, 2013, 61(19): 582-592.
- [7] SCHAFFNER F, MEDLOCK J M, VAN B W. Public health significance of invasive mosquitoes in Europe [J]. Clinical Microbiology Infection, 2013, 19(8): 685-692.
- [8] BECKER N, PETRIC D, ZGOMBA M, et al. Mosquitoes and Their Control [M]. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2010.
- [9] MWANGANGI J M, MBOGO C M, ORINDI B O, et al. Shifts in malaria vector species composition and transmission dynamics along the Kenyan coast over the past 20 years [J]. Malaria Journal, 2013, 12(1): 1-9.
- [10] NSA D, NANTHASANE V, RAZAK S, et al. Relationship between *Aedes aegypti* production and occurrence of *Escherichia coli* in domestic water storage containers in rural and suburban villages in Thailand and Laos [J]. Acta Tropical, 2013, 126(3): 177-185.
- [11] SAVAGE H, MILLER B. House mosquitoes of the U.S.A., *Culex pipiens* complex [J]. Wing Beats, 1995(6): 8-9.
- [12] WALTON W E, POPKO D A, DAM A R V, et al. Width of planting beds for emergent vegetation influences mosquito production from a constructed wetland in California (USA) [J]. Ecological Engineering, 2012, 42(3): 150-159.
- [13] MA M H, HUANG M S, LENG P E. Abundance and distribution of immature mosquitoes in urban rivers proximate to their larval habitats [J]. Acta Tropical, 2016, 163: 121-129.
- [14] MUTURI E J, MWANGANGI J, SHILILU J, et al. Environmental factors associated with the distribution of *Anopheles arabiensis* and *Culex quinquefasciatus* in a rice agro-ecosystem in Mwea, Kenya [J]. Journal of Vector Ecology, 2008, 33(1): 56-63.
- [15] LAGHMICH A, LADRIERE L, MALAISSE-LAGAE F, et al. Long term impacts of combined sewer overflow remediation on water quality and population dynamics of *Culex quinquefasciatus*, the main urban West Nile virus vector in Atlanta, GA [J]. Environmental Research, 2014, 129(2): 20-26.
- [16] GARDNER A M, ANDERSON T K, HAMER G L, et al. Terrestrial vegetation and aquatic chemistry influence larval mosquito abundance in catch basins, Chicago, USA [J]. Parasites & Vectors, 2013, 6(1): 1-11.
- [17] VANLALRUIA K, SENTHILKUMAR N, GURUSUBRAMANIAN G. Diversity and abundance of mosquito species in relation to their larval habitats in Mizoram, North Eastern Himalayan region [J]. Acta Tropica, 2014, 137(3): 1-18.

- [18] SCBRANDOUR J, WILLISON J, THUILLER W, et al. Environmental drivers for *Coquillettidia* mosquito habitat selection: A method to highlight key field factors [J]. *Hydrobiologia*, 2010, 652(1): 377-388.
- [19] SOLEIMANI-AHMADI M, VATANDOOST H, ZARE M. Characterization of larval habitats for anopheline mosquitoes in a malarious area under elimination program in the southeast of Iran [J]. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2014, 4(z1): S73-S80.
- [20] 马明海, 黄民生, 胡伟, 等. 上海市6条中小河道水质月动态评价及解析 [J]. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2015(2): 30-39.
- [21] BECKER N. Influence of climate change on mosquito development and mosquito-borne diseases in Europe [J]. *Parasitology Research*, 2008, 103(S1): 19-28.
- [22] KWEKA E J, ZHOU G, THOMAS M, et al. Predation efficiency of *Anopheles gambiae* larvae by aquatic predators in western Kenya highlands [J]. *Parasit Vectors*, 2011, 4(1): 1-7.
- [23] 张海春, 胡雄星, 韩中豪. 黄浦江水系水质变化及原因分析 [J]. *中国环境监测*, 2013, 29(4): 55-59.
- [24] REICHARD M, WATTERS B R, WILDEKAMP R H, et al. Potential negative impacts and low effectiveness in the use of African annual killifish in the biocontrol of aquatic mosquito larvae in temporary water bodies [J]. *Parasites & Vectors*, 2010, 3(1): 1-6.
- [25] 徐承龙, 姜志宽. 蚊虫防治(六)—蚊虫调查与灭效考核 [J]. *中华卫生杀虫药械*, 2007, 13(3): 220-223.
- [26] 高强, 周毅彬, 冷培恩, 等. 不同环境与昼夜时段成蚊密度的季节变化趋势研究 [J]. *中华卫生杀虫药械*, 2014, 20(6): 520-523.
- [27] 郝延玉, 于瑞洪. 污水沟蚊幼分布调查研究 [J]. *中华卫生杀虫药械*, 2002, 8(2): 36-37.
- [28] 邓天福, 莫建初. 糖和维生素对淡色库蚊及白纹伊蚊产卵选择的影响 [J]. *中国媒介生物学及控制杂志*, 2011, 22(2): 114-116.
- [29] 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(5): 211-232.
- [30] SMITH K E. Characterization of pH and ion regulatory proteins in larval mosquitoes [D]. Florida: The graduate school of the university of florida, 2009.
- [31] 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): 39-44.

(责任编辑: 张 晶)

(上接第155页)

- [2] 夏添. 跨区域老工业区与大都市老工业区转型路径对比——以上海杨浦老工业区和东北老工业区为例[J]. *上海经济研究*, 2015(6): 123-129.
- [3] ZHENG H W, SHEN G Q, WANG H. A review of recent studies on sustainable urban renewal[J]. *Habitat International*, 2014, 41: 272-279.
- [4] BERTRAND O, MANSUV-HUAULT L, MONTARGES-PELLETIER E, et al. Molecular evidence for recent land use change from a swampy environment to a pond (Lorraine, France)[J]. *Organic Geochemistry*, 2012, 50: 1-10.
- [5] 黄燕, 黄民生, 徐亚同, 等. 上海城市河道治理工程简介[J]. *环境工程*, 2007(2): 85-88.
- [6] 阮仁良, 黄长纓. 苏州河水质黑臭评价方法和标准的探讨[J]. *上海水务*, 2002(3): 32-36.
- [7] 瞿伟, 包卫彬. 产业结构转型为导向的我国资源型城市可持续发展模式研究——以法国洛林地区可持续发展案例为鉴[C]//中国可持续发展研究会2005年学术年会论文集(上册). 上海: 2005中国可持续发展论坛, 2005: 111-115.
- [8] 尹贻梅, 刘志高, 刘卫东, 等. 城市老工业区创意转型路径研究: 以北京石景山为例[J]. *地理与地理信息科学*, 2011(6): 55-60.
- [9] 邹丛阳, 张维佳, 李欣华, 等. 城市河道水质恢复技术及发展趋势[J]. *环境科学与技术*, 2007(8): 99-102.
- [10] 何平, 徐玉裕, 周倡艳, 等. 杭州市区主要河道水质评价及评价方法的选择[J]. *浙江大学学报(理学版)*, 2014(3): 324-330.
- [11] 汪晓燕, 钟声. 不同季节太湖流域氨氮与总氮含量变化研究[J]. *安徽农业科学*, 2014, 25: 8712-8713.
- [12] 王英才, 刘永定, 郝宗杰, 等. 上海市几条黑臭河道治理效果的比较与分析[J]. *水生生物学报*, 2009(2): 355-359.
- [13] 赵昊铭. 区域工业循环经济发展研究——以株洲清水塘工业区为例[D]. 湖南株洲: 湖南工业大学, 2012.
- [14] 黄民生, 马明海. 城市水体环境及其治理: 案例分析[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [15] 汪建华, 王文浩, 何岩, 等. 原位曝气修复黑臭河道底泥内源营养盐的示范工程效能分析[J]. *环境工程学报*, 2016(9): 5301-5307.
- [16] 蔡聪, 朱竟益, 徐玉良, 等. 基于主成分分析与模糊综合评价模型的昆山市老城区河道水质评价[J]. *水电能源科学*, 2015(11): 14-17.
- [17] 魏俊, 金敏莉, 杨瑾, 等. 杭州市市区河道水环境质量评价方法研究[J]. *环境工程*, 2015(S1): 981-984.
- [18] 王明翠, 刘雪芹, 张建辉. 湖泊富营养化评价方法及分级标准[J]. *中国环境监测*, 2002(5): 47-49.
- [19] 徐祖信. 我国河流综合水质标识指数评价方法研究[J]. *同济大学学报(自然科学版)*, 2005(4): 482-488.
- [20] 林海明. 如何用 SPSS 软件一步算出主成分得分值[J]. *统计与信息论坛*, 2007(5): 15-17.
- [21] 张小君, 徐中民, 宋晓谕, 等. 几种水环境质量评价方法在青海湖入湖河流中的应用[J]. *环境工程*, 2013(1): 117-121.

(责任编辑: 张 晶)