

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2021.04.017

有机磷灭蚊剂投放浓度和时间对水体总磷的影响

赵 诣

(上海市浦东新区水文水资源管理署,上海 200129)

摘要:为分析新型低毒有机磷杀虫剂“1%双硫磷颗粒”投放对河道水质的影响,设置不同药剂投放浓度和不同反应时间的室内试验,以TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 及 S^{2-} 为目标因子,分析该药剂投放后水体污染物浓度。结果表明:不同试验组水样中 S^{2-} 质量浓度均小于0.02 mg/L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度处于0.029~0.036 mg/L之间,均达到地表水Ⅰ类标准;不同浓度药剂投放1 h后,水体TP质量浓度已达到稳定状态,且在60 h内均保持稳定,药剂投加量与水体TP质量浓度呈显著正相关($R^2=0.85$);不同处理组的药剂在水体中的TP释放量无明显差异,均在1.06~1.30 mg/g之间。“1%双硫磷颗粒”推荐适宜投放量不会使河道水质恶化到劣Ⅴ类,但增加药剂投放量会增加水体TP污染及富营养化风险。

关键词:有机磷杀虫剂;1%双硫磷颗粒;雨水井;投放浓度;总磷;河道水质

中图分类号:X522 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2021)04-0117-04

Effect on adding concentration and time of organophosphorus insecticide on TP in water//ZHAO Yi (*Hydrology and Water Resources Administration of Pudong New Area of Shanghai, Shanghai 200129, China*)

Abstract: In order to analyze the impact of new low toxic organophosphorus insecticide “1% Abate Granules” on river water quality, indoor experiments with different adding concentrations and reaction time were set up. TP, $\text{NH}_3\text{-N}$ and S^{2-} were taken as target factors to analyze the concentration of water pollutants after the application of the insecticide. The results showed that in the water samples of different test groups the mass concentration of S^{2-} was lower than 0.02 mg/L, the mass concentration of $\text{NH}_3\text{-N}$ was between 0.029 mg/L and 0.036 mg/L, which reached the class I standard of surface water. After 1 h of adding different concentrations of insecticide, $\rho(\text{TP})$ of water has reached a stable state and remained stable within 60 hours. Insecticide dosage and $\rho(\text{TP})$ of water was significantly positive correlation ($R^2=0.85$). There was no significant difference in TP release between different treatment groups, which ranged from 1.06 mg/g to 1.30 mg/g. The recommended appropriate dosage of “1% Abate Granules” will not worsen the river water quality to inferior class V, but increasing the dosage will increase the risk of TP pollution and eutrophication.

Key words: organophosphorus insecticide; 1% Abate Granules; rainwater wells; adding concentration; TP; river water quality

作为传统四害,蚊子能广泛传播登革热(*Dengue virus*)病毒、寨卡黄热病毒(*Flavi virus*)、阿尔法病毒(*Alpha virus*)、寨卡病毒(*Zika virus*)等至少26种病毒,是目前国内大部分地区登革热的最主要传播媒介^[1-2]。研究表明,上海城区地面雨水井和下水道中积水明显,是嗜吸人血的蚊虫主要孳生地,为蚊虫防控重点地区^[3]。为应对因蚊虫引起的公共卫生事件,已有研究在人口相对密集区域的雨水井和下水道中投放甲基嘧啶磷、毒死蜱等有机磷杀虫剂^[4]。传统有机磷杀虫剂多为高度或中度有毒

物,对人和动物产生神经毒性^[5]。“1%双硫磷颗粒”对鱼类及人畜的毒性均很低,被世界卫生组织推荐为可直接在饮用水中使用的杀蚊剂^[6-7]。由于其选择性强、浓度低,在防治蚊虫试验中获得优于其他有机磷药剂的效果^[8]。作为新型低毒有机磷杀虫剂,“1%双硫磷颗粒”已被广泛应用于上海城镇河道和雨水井中。2018年,莫旦红等^[9]在上海宝山区1200个雨水井内投放了“1%的双硫磷颗粒”,发现该药剂可有效降低嗜血幼蚊及成蚊的密度。

基金项目:国家自然科学基金(51679141)

作者简介:赵诣(1984—),女,工程师,硕士,主要从事水体污染防治与 water 环境监测工作。E-mail: 458711765@qq.com

有机磷杀虫剂与水具有相似极性,在水体中的溶解度高于有机氯药剂,其在水体中的广泛应用易导致药剂残留,从而产生地下水与地表水污染^[10-11]。“1%双硫磷颗粒”投放到雨水井后,会随雨水井汇集于雨水泵站,进而排入河道。上海城区中雨水井众多,大量“1%双硫磷颗粒”投放可能增加河道水体的污染风险。1978年至21世纪初,上海河道整治主要围绕消除黑臭水体, $\text{NH}_3\text{-N}$ 是制约上海河道水质类别的主要因子^[12-13]。进入“十四五规划”后,上海河道治理目标变为在基本消除黑臭水体的基础上消除劣V类水体。监测数据显示,截至2019年,上海已完成1万余条段劣V类河道整治,劣V类水体占比已降至7.8%,但许多区段水体中的TP质量浓度依然徘徊在GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中的V类上限值(0.4 mg/L)附近,TP是影响水质类别的主要指标之一。目前,上海河道TP污染主要来自上游来水、直接排水、面源污染以及雨水泵站放江^[14]。有机磷杀虫剂对于地表水污染的研究主要集中在经面源污染、地表径流后对水体的污染等^[15-19],而关于雨水井投放有机磷杀虫剂的废水伴随泵站放江对于河道水质的影响研究鲜见报道。本文研究“1%双硫磷颗粒”的投加量、投放后反应时间对水体中TP、 S^{2-} 及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度的影响,并探讨该药剂的安全投放量及安全投放面积,以期上海城区雨水井中“1%双硫磷颗粒”杀虫剂的安全投放提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试用水采用去离子水;供试药剂——“1%双硫磷颗粒”,由巴斯夫(中国)有限公司提供,其有效成分为硫代磷酸酯,淡黄色,颗粒状,有刺激性气味。

1.2 试验设计

a. 试验装置。自行设计制作试验装置(图1),主反应容器由玻璃钢制成,有效容积为10 L;反应装置上部设置去离子水和药剂注入口,装置右下侧设置出水龙头;整个装置下部置于震荡平台,用于药剂注入后进行震荡反应。

b. 药剂投加量及反应时间。按照所选“1%双硫磷颗粒”药剂推荐适宜投加量,试验共设置5个药剂投加量:0.05 g/L、0.10 g/L、0.20 g/L、0.50 g/L和1.00 g/L;设置3个反应时间:1 h、48 h和60 h;共15个处理组,每组重复3次。

c. 试验方法。先将10 L去离子水分别注入试验装置主反应容器中,然后根据设计投加量将药剂

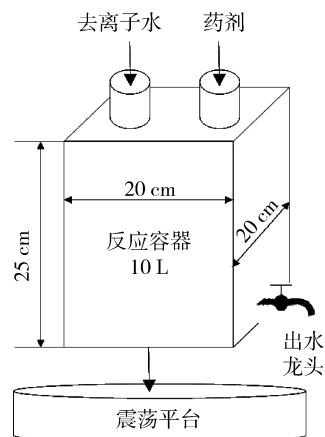


图1 试验装置

Fig.1 Experimental device

投入各处理组反应容器,分别按照药剂建议使用时间震荡反应1 h、48 h和60 h,然后从出水龙头取水测定TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 及 S^{2-} 的质量浓度。

1.3 检测指标与方法

检测指标与方法参照《水和废水监测分析方法》^[19]。TP:先采用硫酸钾分解样品,再用钼锑抗分光光度法测定,水样在120℃、30 min加热分解; $\text{NH}_3\text{-N}$:采用纳氏试剂分光光度法; S^{2-} :先采用玻璃纤维滤膜过滤,再采用对氨基二甲基苯胺光度法(亚甲蓝法)测定。

1.4 数据分析

采用SPSS 22.0对试验数据进行分析,采用单因素方差分析(ANOVA)比较各处理组数据的差异性,采用LSD(least significance difference)多重比较方法比较两组之间的差异性,采用Excel 2019制图。

2 结果与分析

2.1 污染物释放量

分别将0.05 g/L、0.10 g/L、0.20 g/L、0.50 g/L和1.00 g/L的“1%双硫磷颗粒”投入水体,发现在反应1 h、48 h及60 h后仅有少量溶解;在60 h后,投加量为0.05 g/L样品的容器底部仍有颗粒物残留,而投加量为0.50 g/L和1.00 g/L的水溶液呈现浑浊状态。污染物检测结果表明,在本试验所有样本中,水体中 S^{2-} 质量浓度均小于检出限(0.02 mg/L)。此外各组水样中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度处于0.029~0.036 mg/L之间,均低于GB 3838—2002《地表水环境质量标准》I类标准,组间无明显差异。上述结果表明投放“1%双硫磷颗粒”对水体中 S^{2-} 及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的质量浓度影响较小,且增加药剂的投加量及反应时间对水体 S^{2-} 及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的质量浓度影响均较小。

不同投加量及不同反应时间下的样本中TP的

质量浓度见表 1。由表 1 可见,同种药剂投放量下反应 1 h、48 h 和 60 h 的样本中 TP 质量浓度无明显差异($P>0.05$);药剂投放量为 0.05 g/L、0.10 g/L、0.20 g/L、0.50 g/L 和 1.00 g/L 时,样本中 TP 质量浓度分别为 0.04 ~ 0.08 mg/L、0.09 ~ 0.14 mg/L、0.23 ~ 0.29 mg/L、0.52 ~ 0.64 mg/L 和 1.10 ~ 1.35 mg/L。可见,不同量药剂在投放 1 h 后,水体中 TP 质量浓度已达到稳定,且在 60 h 内质量浓度基本保持不变。另外,药剂投放后不同反应时间后样本水体中 TP 质量浓度均随药剂投放量的增加呈上升趋势,TP 质量浓度最低的均为投放量为 0.05 g/L 的样本,TP 质量浓度高的均为投放量为 1.00 g/L 的样本。分析表明,药剂投放量为 0.05 g/L 和 0.10 g/L 的样本中 TP 质量浓度无明显差异($P>0.05$);药剂投放量为 0.20 g/L 的样本中 TP 质量浓度显著高于投放量为 0.05 g/L 和 0.10 g/L 的样本($P<0.05$);而药剂投放量为 0.50 g/L 的样本中 TP 质量浓度显著高于投放量为 0.05 g/L、0.10 g/L 和 0.20 g/L 的样本($P<0.05$);而药剂投放量为 1.00 g/L 的样本中 TP 质量浓度显著高于投放量为 0.50 g/L、0.20 g/L、0.10 g/L 和 0.05 g/L 的样本($P<0.05$),分别高出 1.25 倍、3.81 倍、7.95 倍和 19.72 倍。

表 1 不同投加量和不同反应时间下样本中 TP 的质量浓度
Table 1 Mass concentration of TP in samples under different dosage and reaction time

投加量/ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	不同反应时间下样本中 TP 质量浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)		
	1 h	48 h	60 h
0.05	0.06 ± 0.01	0.06 ± 0.01	0.06 ± 0.00
0.10	0.13 ± 0.03	0.14 ± 0.02	0.12 ± 0.02
0.20	0.25 ± 0.04	0.26 ± 0.04	0.25 ± 0.03
0.50	0.62 ± 0.03	0.53 ± 0.04	0.59 ± 0.07
1.00	1.28 ± 0.05	1.24 ± 0.09	1.21 ± 0.06
均值	0.468	0.446	0.446

总体而言,药剂投放后,样本中 TP 质量浓度随药剂投放量的增加而增加,药剂投放量分别为 0.05 g/L、0.10 g/L 和 0.20 g/L 的样本中 TP 质量浓度分别为 0.06 mg/L、0.13 mg/L 和 0.25 mg/L,均低于 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中Ⅳ类水的标准限值(0.30 mg/L)。而药剂投放量为 0.50 g/L 和 1.00 g/L 的样本中 TP 质量浓度分别为 0.58 mg/L 和 1.24 mg/L,均超过 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中Ⅴ类水的标准限值(0.40 mg/L),分别高出 45% 和 210%。

2.2 药剂投加量及反应时间对 TP 释放量的影响

采用一元回归分析将药剂投加后的水体中 TP 质量浓度、药剂投加量和反应时间进行拟合,结果见图 2。结果表明,反应时间与 TP 质量浓度无明显相

关关系;而药剂投加量与 TP 质量浓度呈显著正相关关系($R^2=0.8464$),水体中 TP 质量浓度随药剂投加量呈指数上升,可见增加药剂的投加量会导致水体中 TP 的污染风险大幅度提升。

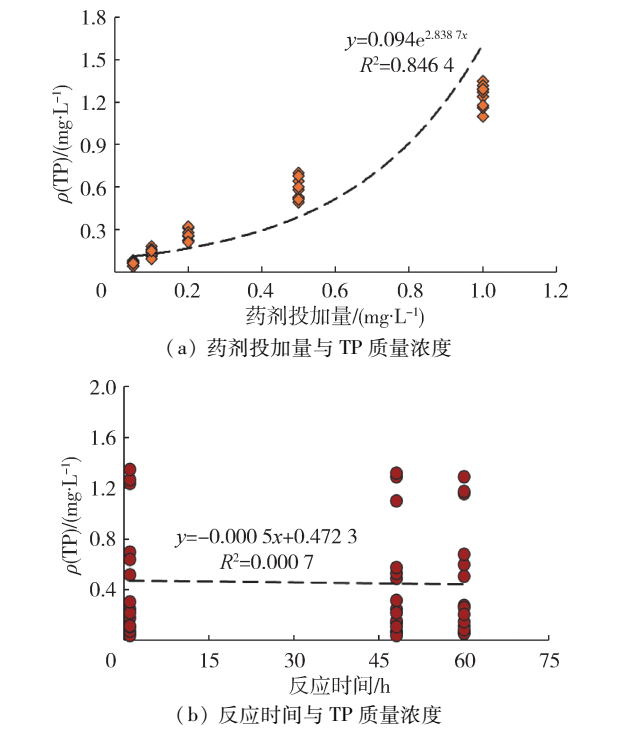


图 2 一元回归分析结果

Fig. 2 Results of univariate regression analysis

2.3 安全性分析

“1% 双硫磷颗粒”投放以水体面积计算投加量,其推荐适宜投加量为 0.05 ~ 1.00 g/m²。将试验数据折算成“1% 双硫磷颗粒”不同投加量投入水后的 TP 释放量(表 2),以便后续分析雨水井面积及深度对 TP 释放量的影响。由表 2 可见,不同投加量及不同反应时间下,TP 释放量无明显差异,在 1.06 ~ 1.30 mg/g 之间,可见药剂投加量及反应时间对 TP 释放量无明显影响。

表 2 不同投加量和不同反应时间下单位面积质量药剂的 TP 释放量

Table 2 TP release of unit mass insecticide under different dosage and reaction time

投加量/ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	不同反应时间样本中 TP 释放量/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)		
	1 h	48 h	60 h
0.05	1.26 ± 0.33	1.24 ± 0.29	1.21 ± 0.09
0.10	1.25 ± 0.31	1.27 ± 0.21	1.19 ± 0.24
0.20	1.24 ± 0.19	1.30 ± 0.21	1.23 ± 0.15
0.50	1.23 ± 0.15	1.06 ± 0.07	1.22 ± 0.14
1.00	1.28 ± 0.05	1.24 ± 0.10	1.19 ± 0.05

选择常见的泵站集水井,规格为长方体(40 m × 40 m × 12 m)、长方体(30 m × 30 m × 12 m)、圆柱体($r=12\text{ m}, h=12\text{ m}$),分析 3 种集水井所连接雨水

井的“1% 双硫磷颗粒”安全投放量和安全投放面积。取单位质量药剂的最大 TP 释放量 1.30 mg/g 为标准,设定集水井中 TP 质量浓度小于 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中 V 类水的标准限值(0.40 mg/L)时,该泵站所排放废水不会使河道水质恶化到劣 V 类,处于相对安全级别。计算所得 3 种规格集水井所连接的雨水井中“1% 双硫磷颗粒”安全投放总量分别为 5.91 t、3.32 t 和 1.67 t,安全投放总面积分别是 1.82 km²、0.66 km² 和 0.33 km²。

以上海市浦东新区泾西雨水泵站为例,计算投加“1% 双硫磷颗粒”药剂后,泵站水体中 TP 质量浓度为雨水井面积总和、药剂最大投放量、药剂最大 TP 释放量三者之积除以集水井总体积。经统计,与该雨水泵站相连的雨水井数量为 2 300 个,雨水井面积总和为 1 135 m²;药剂最大投加量按药剂说明书选取 5 g/m²;药剂最大 TP 释放量取 1.30 mg/g;废水井选取体积最小集水井,半径为 12 m 的圆形集水井,体积约为 5.42 × 10⁶ L。计算结果表明,药剂投加后,浦东新区泾西雨水泵站 TP 质量浓度值仅约为 0.001 mg/L,远低于 V 类水的标准限值。据此,实际运行工况中,与一个雨水泵站和集水井相连的下水道及雨水井中投放的“1% 双硫磷颗粒”总量及投放总面积均远小于计算安全水平。

3 结 论

a. “1% 双硫磷颗粒”投放对水体 S²⁻ 及 NH₃-N 的质量浓度无明显影响,各试验组水体中 S²⁻ 质量浓度均小于检出限(0.02 mg/L),NH₃-N 质量浓度处于 0.029 ~ 0.036 mg/L 之间,均低于 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》I 类水标准。

b. “1% 双硫磷颗粒”投放后水体 TP 质量浓度随投放量增加而提高,两者呈显著正相关关系(R² = 0.85),增加药剂的投加量会导致水体中 TP 的污染风险大幅度提升。

c. “1% 双硫磷颗粒”不同投加量及不同反应时间下的 TP 释放量在 1.06 ~ 1.30 mg/g 之间,组间无明显差异。

参考文献:

[1] 高强,熊成龙,周毅彬,等. 上海中心城区白纹伊蚊侵害状况及蚊媒传染病危险性分析[J]. 中国流行病学杂志, 2016, 37 (5): 600-605. (GAO Qiang, XIONG Chenglong, ZHOU Yibin, et al. Infestation status *Aedes albopictus* and related mosquito-borne infectious disease risk in central urban area in Shanghai[J]. Chinese Journal

of Epidemiology, 2016, 37(5): 600-605. (in Chinese))

[2] PAUPY C, DELATTE H, BAGNY L, et al. *Aedes albopictus*, an arbovirus vector: from the darkness to the light [J]. Microbes and Infection, 2009, 11(14/15): 1177-1185.

[3] 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. (GAO Qiang, CAO Hui, ZHANG Zhendong, et al. Bleeding status of *Aedes albopictus* in rain-water catch basins in downtown of Shanghai [J]. Chinese Journal of Hygienic Insecticides and Equipments, 2016, 22(6): 563-568. (in Chinese))

[4] 高原,孙晨熹,李万龙,等. 2 种有机磷类杀蚊幼剂现场灭蚊蚋实验研究[J]. 中华卫生杀虫药械, 2010, 16 (4): 269-271. (GAO Yuan, SUN Chenxi, LI Wanlong, et al. Efficacy of two kinds of organophosphorus insecticide against mosquito larvae in field [J]. Chinese Journal Insecticides of Hygienic and Equipments, 2010, 16 (4): 269-271. (in Chinese))

[5] 何飞,王晓静,王军. 急性有机磷酯类毒物中毒致肺损伤机制研究进展[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2018, 36(5): 395-397. (HE Fei, WANG Xiaojing, WANG Jun. Study of acute organophosphate pesticides poisoning in the management of lung injury [J]. Chinese Journal of Industrial Hygiene and Occupational Diseases, 2018, 36 (5): 395-397. (in Chinese))

[6] 冯向阳,方宁烨,熊绮梦,等. 1% 安备双硫磷颗粒剂控制城市内河蚊幼效果研究[J]. 中华卫生杀虫药械, 2011, 17(5): 354-355. (FEN Xiangyang, FANG Ningye, XIONG Qimeng, et al. Effect of 1% abate granules to control city inland river mosquito larvae [J]. Chinese Journal Insecticides of Hygienic and Equipments, 2011, 17 (5): 354-355. (in Chinese))

[7] FLOORE T, PETERSEN J, SHAFFER K R. Evaluation of temephos formulations against *Aedes taeniorhynchus* larvae [J]. Journal of the American Mosquito Control Association, 2009, 25(2): 215-217.

[8] 蒋国民. 卫生杀虫药剂、器械及应用手册[M]. 上海: 上海百家出版社, 1997.

[9] 莫旦红,朱敏慧,刘丽军,等. 1% 双硫磷颗粒剂对上海市居民区雨水井内蚊虫控制效果研究[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2018(4): 391-393. (MO Danhong, ZHU Minhui, LIU Lijun, et al. Study on the control effect of 1% temephos granules on the mosquitoes in the rainwater wells in residential areas of Shanghai [J]. Chinese Journal of Vector Biology and Control, 2018(4): 391-393. (in Chinese))

[10] 田澍,顾学芳,石健. 地表水中有机磷农药高效液相色谱法测定[J]. 中国公共卫生, 2010, 26(5): 548. (TIAN Shu, GU Xuefang, SHI Jian. Determination of organophosphorus pesticide in surface water by HPLC [J]. Chinese Journal of Public Health, 2010, 26(5): 548. (in Chinese))

(下转第 126 页)

- of groundwater recharge source in Guannan, Northern Jiangsu Province[J]. Water Resources Protection, 2018, 34(1):24-30. (in Chinese))
- [9] 韩龙喜,李伟. 多污染源随机排污的水质影响分析方法及其应用[J]. 水利学报, 2007, 38(8):986-990. (HAN Longxi, LI Wei. Method for assessing the impact of multiple randomly discharging pollutant sources on river water quality[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(8):986-990. (in Chinese))
- [10] 钱小娟. 长江下游南水北调东线源头区排污与长久水安全研究[D]. 南京:河海大学, 2006.
- [11] 吴小伟,刘平,王永东. 南水北调东线工程江都段水环境现状及纳污削减方案探讨[J]. 治淮, 2016(12):87-89. (WU Xiaowei, LIU Ping, WANG Yongdong. Discussion on water environment status and pollution reduction scheme of Jiangdu section of the Eastern route of South-to-North Water Diversion Project[J]. Harnessing the Huaihe River, 2016(12):87-89. (in Chinese))
- [12] 蔡艳荣,丛俏,曲蛟. 环境影响评价[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2004.
- [13] 陈朝东. 水环境监测技术问答[M]. 北京:化学工业出版社, 2006.
- [14] 徐春英,李玉中,郝卫平,等. 反硝化细菌法结合痕量气体分析仪/同位素比质谱仪分析水体硝酸盐氮同位素组成[J]. 分析化学, 2012, 40(9):1360-1365. (XU Chunying, LI Yuzhong, HAO Weiping, et al. Analysis of nitrogen isotopic composition of nitrate in water by denitrifier method and trace-gas/isotope ratio mass spectrometry[J]. Analytical Chemistry, 2012, 40(9):1360-1365. (in Chinese))
- [15] 毛绪美,罗泽娇,刘存富,等. 细菌反硝化法同时分析天然水中硝酸盐氮、氧同位素组成研究[J]. 地质科技情报, 2006, 25(5):97-100. (MAO Xumei, LUO Zejiao, LIU Cunfu, et al. Method of nitrogen and oxygen isotopic analysis of nitrate in water with bacterial denitrification at one time[J]. Geological Science and Technology Information, 2006, 25(5):97-100. (in Chinese))
- [16] 钱会,马致远. 水文地球化学[M]. 北京:地质出版社, 2005.
- [17] 王静,郭熙盛,王青霄,等. 稳定氮同位素示踪技术在农业面源污染研究中的应用[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(4):2213-2215. (WANG Jing, GUO Xisheng, WANG Yunqing, et al. Application of stable nitrogen isotope trace technique in agriculture non-point source pollution[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2012, 40(4):2213-2215. (in Chinese))
- [18] 李慧. 粉煤灰介质渗滤系统对城市非点源污染物的处理效果与机理研究[D]. 合肥:安徽理工大学, 2016. (收稿日期:2019-09-04 编辑:王 芳)

(上接第 120 页)

- [11] 李晓洁,饶竹,高冉,等. 丙酮对地下水中极性有机磷农药测定方法有效性的改进[J]. 水资源保护, 2015, 31(4):98-102. (LI Xiaojie, RAO Zhu, GAO Ran, et al. Improvement of method validity using acetone for determination of polar organophosphorus pesticides in groundwater[J]. Water Resources Protection, 2015, 31(4):98-102. (in Chinese))
- [12] 张列宇,饶本强,熊瑛,等. 人工湿地黑臭水体处理系统微生物脱氮机理研究[J]. 水生生物学报, 2010, 34(2):256-261. (ZHANG Lieyu, RAO Benqiang, XIONG Ying, et al. The microbial mechanism of horizontal constructed wetland used to treated black-odor river[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2010, 34(2):256-261. (in Chinese))
- [13] 刘水芹,田华,胡岚. 太浦河调水对黄浦江上游水源地水质影响的试验[J]. 水资源保护, 2009, 25(4):40-43. (LIU Shuiqin, TIAN Hua, HU Lan. Experimental study on water diversion from Taipu River and its effect on water quality of drinking water sources of the Huangpu River upstream reach[J]. Water Resources Protection, 2009, 25(4):40-43. (in Chinese))
- [14] 薛艺涵. 上海市水环境污染源调查及防治措施[J]. 山东工业技术, 2016(14):282. (XUE Yihan. Pollution source investigation and prevention measures of water environment in Shanghai[J]. Shandong Industrial Technology, 2016(14):282. (in Chinese))
- [15] 李大鸣,栗琪程,卜世龙,等. 洋河水库流域非点源污染迁移特性及流域数学模型的构建[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2019, 47(11):143-154. (LI Daming, SU Qicheng, BU Shilong, et al. Migration characteristics of non-point source pollution and construction of watershed mathematical model in the Yanghe Reservoir Basin[J]. Journal of Northwest A & F University(Natural Science Edition), 2019, 47(11):143-154. (in Chinese))
- [16] 李泽岩,黄福杨,刘丹丹,等. 海河流域滹沱河冲洪积扇地下水中农药污染及分布特征[J]. 岩矿测试, 2019, 38(2):186-194. (LI Zeyan, HUANG Fuyang, LIU Dandan, et al. Pollution and distribution characteristics of pesticides in groundwater in the alluvial-pluvial fan of the Hutuo river, Haihe River Basin[J]. Rock and Mineral Analysis, 2019, 38(2):186-194. (in Chinese))
- [17] 宋宁慧,卜元卿,单正军. 农药对地表水污染状况研究概述[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(增刊1):49-57. (SONG Ninghui, BU Yuanqing, SHAN Zhengjun. A review of studies on pesticide pollution in surface water[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2010, 26(Sup1):49-57. (in Chinese))
- [18] 国家环境保护总局. 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.
- [19] 庾从蓉,段佩怡. 植被过滤带的污染物去除效率研究进展[J]. 水资源保护, 2018, 34(2):68-74. (YU Congrong, DUAN Peiyi. Quantitative research advance on vegetative filter strips for non-point source pollution control[J]. Water Resources Protection, 2018, 34(2):68-74. (in Chinese)) (收稿日期:2020-04-26 编辑:王 芳)