

DOI: 10.13671/j.hjkxxb.2014.0973

姚思睿,魏然,倪进治,等.2015.福州内河沉积物中三氯生和甲基三氯生的含量、来源及其生态风险[J].环境科学学报,35(8):2519-2525

Yao S R, Wei R, Ni J Z, et al. 2015. Concentrations, Sources and ecological risks of triclosan and methyl-triclosan in inland river sediments of Fuzhou City [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 35(8): 2519-2525

福州内河沉积物中三氯生和甲基三氯生的含量、来源及其生态风险

姚思睿^{1,2}, 魏然^{1,2,*}, 倪进治^{1,3}, 杨柳明^{1,2}, 陈龙杰¹, 孙姗姗^{1,2}, 李洋^{1,2}

1. 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007

2. 湿润亚热带生态地理过程教育部重点实验室, 福州 350007

3. 福建师范大学地理研究所, 福州 350007

收稿日期: 2014-09-14

修回日期: 2014-10-19

录用日期: 2014-10-19

摘要:对福州市 20 个内河表层沉积物样品中的三氯生 (TCS) 和甲基三氯生 (MTCS) 的含量进行了测定, 并对其生态风险进行了评估. 研究结果表明, 沉积物中 TCS 和 MTCS 的含量范围分别为 11.8 ~ 120.4 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和未检出 (n.d.) ~ 41.7 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均含量分别为 50.1 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 7.8 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. 沉积物中 TCS 总量和总有机碳 (TOC) 含量呈显著正相关关系 ($r=0.590, p<0.05$), 而 MTCS 和 TOC 之间无相关关系. 用风险熵 (RQ) 对 TCS 和 MTCS 的生态风险进行了评估, 发现有 14 个沉积物样品中 TCS 的 RQ 值和 11 个沉积物样品中 MTCS 的 RQ 值大于 1, 呈高风险; 其他样品中 TCS 和 MTCS (3 个未检出样品除外) 的 RQ 值介于 0.1~1 之间, 均呈中等风险.

关键词:福州市; 内河; 沉积物; 三氯生; 甲基三氯生; 风险评估

文章编号: 0253-2468(2015)08-2519-07

中图分类号: X522

文献标识码: A

Concentrations, sources and ecological risks of triclosan and methyl-triclosan in inland river sediments of Fuzhou City

YAO Sirui^{1,2}, WEI Ran^{1,2,*}, NI Jinzhi^{1,3}, YANG Liuming^{1,2}, CHEN Longjie¹, SUN Shanshan^{1,2}, LI Yang^{1,2}

1. School of Geographical Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007

2. Key Laboratory of Humid Subtropical Eco-geographical Process of the Ministry of Education, Fuzhou 350007

3. Institute of Geography, Fujian Normal University, Fuzhou 350007

Received 14 September 2014;

received in revised form 19 October 2014;

accepted 19 October 2014

Abstract: The concentrations of triclosan (TCS) and methyl-triclosan (MTCS) were analyzed in 20 surface sediment samples collected from inland rivers in Fuzhou city. The observed concentrations of TCS and MTCS were in the ranges of 11.8 to 120.4 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, undetectable (n.d.) to 41.7 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively; and the average concentrations were 50.1 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ and 7.8 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively. The concentration of TCS was positively correlated with the total organic carbon (TOC) of the sediments ($r=0.590, p<0.05$), whereas the concentration of MTCS was not the case. Risk assessment results using the risk quotient (RQ) method showed that TCS in 14 samples and MTCS in 11 samples posed high risks ($RQ>1$). TCS and MTCS in all other samples posed medium risk ($0.1\leq RQ<1$), except for MTCS in the three samples with undetectable MTCS.

Keywords: Fuzhou City; Inland river; sediment; triclosan; methyl-triclosan; risk assessment

1 引言 (Introduction)

三氯生 (Triclosan, TCS, 分子式如图 1a 所示) 是

一种常用的广谱抗菌剂, 广泛应用于牙膏、漱口水等日化用品中, 也常用于手术器械等医疗用品和纺织品、皮革等的消毒. 近年来的研究发现, 三氯生具

基金项目: 国家自然科学基金 (No.40971265); 福建省自然科学基金 (No.2014J01153); 福建师范大学校创新团队项目 (No.IRTL1205); 福建师范大学地理科学学院研究生科研创新基金

Supported by the National Natural Science Foundation of China (No.40971265), the Natural Science Foundation of Fujian Province (No.2014J01153), the Program of the Innovation Teams of Fujian Normal University (No.IRTL1205) and the Scientific Research Innovation Fund for the Graduate of College of Geographical Sciences in Fujian Normal University

作者简介: 姚思睿 (1990—), 女, E-mail: threeyao3@163.com; * 通讯作者 (责任作者), E-mail: rwei@fjnu.edu.cn

Biography: YAO Sirui (1990—), female, E-mail: threeyao3@163.com; * **Corresponding author**, E-mail: rwei@fjnu.edu.cn

有疏水性,易在沉积物中积累,对藻类等水生生物有一定的毒害作用(Reiss *et al.*, 2009; Ciniglia *et al.*, 2005),并且三氯生的分解会产生二噁英、氯仿等毒性较大的有害物质(Lozano *et al.*, 2013; Dann *et al.*, 2011; Fiss *et al.*, 2007).在人类活动集中的地区,三氯生的检出频率和检出量越来越高.随着城市规模不断扩大、人口迅速增长,居民生活、医疗机构、纺织业等排放的大量污水将三氯生带入环境中并在沉积物中逐渐积累,从而造成潜在的生态风险.因此,研究福州市内河沉积物中三氯生的含量和来源,并对其生态风险进行评估,对福州市内河的治理和水资源的可持续利用具有重要的现实意义.甲基三氯生(Methyl-triclosan, MTCS, 分子式如图 1b 所示)是三氯生酚羟基上的氢原子被甲基取代的产物,疏水性和稳定性比三氯生更强(Lozano *et al.*, 2012),更易于在环境中生物体内积累(Gonzalo-Lumbreras *et al.*, 2014).由于 MTCS 是 TCS 在环境中微生物作用下产生的甲基化产物,因此,同时检测这两种物质可以更全面地反应 TCS 的污染状况.基于此,本文通过对福州市 20 个内河表层沉积物样品中的三氯生(TCS)和甲基三氯生(MTCS)的含量进行测定,并对其生态风险进行评估,以期为福州市内河的治理和水资源的可持续利用提供参考.

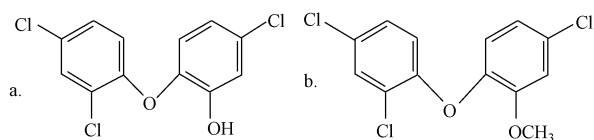


图 1 TCS (a) 和 MTCS (b) 分子的结构式

Fig.1 Structures of TCS (a) and MTCS (b)

2 材料与方法(Materials and methods)

2.1 样品采集

福州市位于福建省东部,闽江下游,地理位置为 $25^{\circ}15' \sim 26^{\circ}39' \text{N}$, $118^{\circ}08' \sim 120^{\circ}31' \text{E}$,海拔在 $600 \sim 1000 \text{ km}$ 之间,全市总面积约 1.2 万 km^2 ,其中,市区总面积 0.1 万 km^2 (陈卫锋等, 2010).本研究综合考虑了福州市内河、居民区和工业区分布的特点,以及河道的治理情况(有些经过治理的内河河段无法采集到底泥),于 2013 年 7—8 月利用底泥采样器在福州市区共采集了 20 个内河底泥样品,范围覆盖全市各区,采样位点分布如图 2 所示.采集的样品装在车载冰箱中运回实验室,置于 -20°C 冰箱冷冻保存.使用时用冷冻干燥机冻干,研磨后过 60 目

筛,除去石子和植物碎屑等杂质.

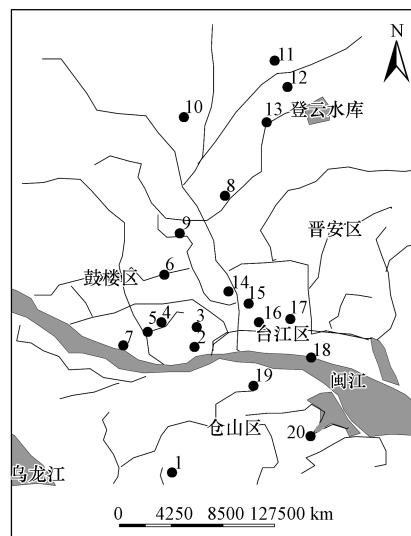


图 2 采样点分布示意(1. 洋洽河, 2. 白马河, 3. 大庆河, 4. 新西河, 5. 陆庄河, 6. 文藻河, 7. 大庆. 新西汇流, 8. 龙峰河, 9. 琴亭河, 10. 屏西河, 11. 晋安河, 12. 茶园河, 13. 登云溪, 14. 洋下河, 15. 东郊河, 16. 竹屿河, 17. 化工河, 18. 凤坂河, 19. 连江河, 20. 光明港)

Fig.2 The schematic map of sampling sites

2.2 总有机碳的测定

沉积物样品中总有机碳采用元素分析仪 (Elementar Vario Max CN Germany) 测定.

2.3 TCS 和 MTCS 的提取及纯化

称取 0.5 g 沉积物样品(每个样品做 3 个平行)于带聚四氟衬盖的玻璃离心管,加入 5 mL 丙酮,振荡混匀. 30°C 、 40 kHz 下超声 30 min 后,在 4°C 、 $3000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 下离心 30 min ,将上清转移至另一玻璃离心管.再加入 5 mL 丙酮,重复超声和离心,合并两次上清液,用 N_2 吹至 0.5 mL 左右,加入 4.5 mL 去离子水,制成水样样品,以备固相萃取使用.

用少量石英棉塞住玻璃滴管底部,向滴管中加入 0.1 g LC-C18 填料,制成固相萃取小柱.用 1 mL 甲醇对其进行活化,并用 1 mL 去离子水淋洗.将离心管中的样品转移至萃取小柱中,用真空泵抽干.用 0.5 mL 丙酮和 4.5 mL 去离子水洗涤离心管管壁,洗涤液再次转移至萃取小柱中,抽干.最后用 0.5 mL 乙酸乙酯洗脱萃取小柱,洗脱液收集于棕色色谱瓶中.

2.4 TCS 和 MTCS 的测定

TCS 沸点较高,挥发性较差,不适合直接用气相色谱进行检测,因此,要对其进行衍生化,以提高其分析的灵敏度(周雪飞等, 2011).本实验采用的衍生

化试剂为 N-甲基-N(三甲基硅)-三氟乙酰胺 (MSTFA)。固相萃取的洗脱液用氮吹仪吹干,加入 50 μL MSTFA, 70 $^{\circ}\text{C}$ 下反应 30 min。反应完毕后用乙酸乙酯定容至 0.5 mL, 用 GC-MS (5975C/7890A, Agilent) 进行检测。

GC-MS 条件: 采用 DB-5MS (30 m \times 250 μm \times 0.25 μm) 毛细管柱, 进样口温度 260 $^{\circ}\text{C}$, 离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$, 能量为 70 eV。载气为 He, 流速 1 mL \cdot min $^{-1}$, 无分流进样, 进样量 1 μL 。升温程序: 初始温度 80 $^{\circ}\text{C}$, 保持 1 min; 以 10 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升温至 180 $^{\circ}\text{C}$, 保持 1 min; 以 4 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升温至 220 $^{\circ}\text{C}$, 保持 1 min; 以 20 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升温至 280 $^{\circ}\text{C}$, 保持 1 min。定量离子: TCS 的定量离子为 345、347、360、362, MTCS 的定量离子为 252、254、302、304。

2.5 质量控制与保证

称取 0.5 g 沉积物样品, 添加 TCS 和 MTCS 的混标, 使沉积物样品中 TCS 和 MTCS 的含量都分别为 5、100 和 2000 $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 同时做不加标的空白对照, 用上述方法进行提取和测定。TCS 和 MTCS 的回收率范围分别为 85.6% ~ 95.7% 和 84.4% ~ 106.7%。实验所测定的沉积物中 TCS 和 MTCS 的含量未经回收率校正。

3 结果与讨论 (Results and discussion)

3.1 沉积物中 TCS 和 MTCS 的含量

福州市区 20 条内河沉积物中的 TCS 和 MTCS 含量如表 1 所示。从表 1 中可以看出, 20 条内河沉积物中均检测到了 TCS, 其中, 1、2、3、5、6、11、17 和 19 号这 8 个位点的沉积物中 TCS 含量都在 60 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上, 明显高于其他 12 个位点。可能的原因是这 8 个位点都位于市区繁华地段或轻工业集中地带, 居民区、医院或纺织、皮革等加工厂较多, 生活污水和工业废水的排放将大量 TCS 带入内河, 并在沉积物中逐渐积累。MTCS 在除 9、16 和 18 号之外的 17 个内河沉积物中都有检出, 其中, 1 和 12 号点位的含量相对较高, 其他 15 个沉积物样品中的含量都很低。有研究表明, 进入污水处理厂的污水, 在细菌的甲基化作用下 TCS 含量会减少, 而在出水口处甲基化产物 MTCS 含量会增加 (Erickson, 2012)。1 和 12 号两个采样点都是排污口的所在地, 这可能是其 MTCS 含量较高的原因。

由表 1 还可以看出, TOC 含量较高的样品, TCS 含量普遍较高, 如 1、2、5、6 和 17 号样品等; 而 TOC

含量低的样品, TCS 含量也普遍较低。相关分析结果表明, TCS 与 TOC 含量之间存在显著正相关关系 ($r=0.590, p<0.05$) (图 3)。可能的原因是沉积物中有机质含量较高, 对 TCS 的吸附容量也较高, 而吸附态的 TCS 生物有效性相对较低, 使其易在沉积物中逐渐积累。沉积物样品中 MTCS 的含量普遍较低, 与 TOC、TCS 含量之间均没有显著的相关性 ($p>0.05$)。

表 1 福州市区内河沉积物中 TCS、MTCS 和 TOC 的含量

Table 1 The concentrations of TCS, MTCS and TOC in inland river sediments of Fuzhou city

样品编号	TOC/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	TCS/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	MTCS/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
1	50.99	111.51 \pm 0.19	41.74 \pm 0.21
2	48.28	90.72 \pm 0.43	5.85 \pm 0.03
3	39.86	70.53 \pm 0.22	5.02 \pm 0.01
4	13.30	32.85 \pm 0.22	6.44 \pm 0.02
5	54.41	71.74 \pm 0.10	6.16 \pm 0.02
6	57.73	93.39 \pm 0.84	5.02 \pm 0.01
7	40.53	31.52 \pm 0.22	6.22 \pm 0.02
8	8.01	18.89 \pm 0.31	5.06 \pm 0.01
9	5.56	12.03 \pm 0.08	n.d.
10	8.97	12.34 \pm 0.04	4.94 \pm 0.01
11	16.39	120.41 \pm 0.25	4.70 \pm 0.02
12	24.88	15.09 \pm 0.18	19.27 \pm 0.18
13	17.41	11.77 \pm 0.08	5.01 \pm 0.03
14	29.02	34.94 \pm 0.12	5.61 \pm 0.06
15	24.83	38.10 \pm 0.17	6.01 \pm 0.01
16	41.39	25.38 \pm 0.12	n.d.
17	44.85	119.54 \pm 0.31	5.45 \pm 0.04
18	18.41	17.96 \pm 0.18	n.d.
19	35.46	61.66 \pm 0.55	9.30 \pm 0.10
20	37.49	11.91 \pm 0.08	9.37 \pm 0.13

注: n. d. 表示未检出, “ \pm ”后的数字为标准偏差 ($n=3$)。

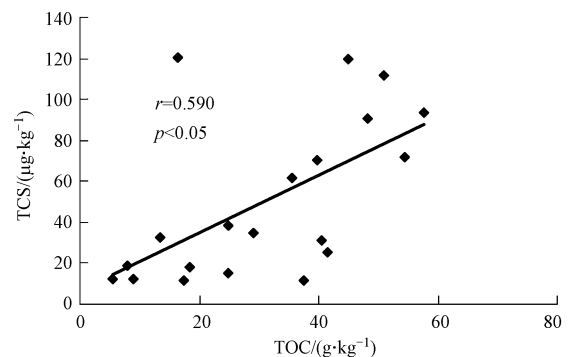


图 3 沉积物样品中 TCS 含量和 TOC 含量的相关性

Fig. 3 Correlation between the concentrations of TCS and TOC in sediment samples

表 2 列出了国内外文献中报道的一些河流、湖泊沉积物中的 TCS 和 MTCS 含量.福州内河 TCS 含量范围为 11.8~120.4 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,平均含量为 50.1 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,低于珠江三角洲和美国牙买加湾,略低于西班牙地中海沿岸和中国长江水系,高于中国辽河、海河、黄河、美国罗德岛州和 Pecan 溪、西班牙 Guadalete 河、日本多摩川及印度 Kaveri 河,在国内外文献报道的含量中处于中等水平.福州内河 MTCS 含量分布范围为 n.d.~41.7 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,平均含量为 7.8

$\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,低于德国莱茵河,高于西班牙 Guadalete 河,国内目前暂无相关数据.影响沉积物中 TCS 和 MTCS 含量的因素很多,其中,最重要的原因是人类活动的剧烈程度,除此之外,水文条件和地质条件也会造成一定的影响(Zhao *et al.*, 2010).因此,人类活动集中的地区及重要的污水排放地(珠江三角洲、牙买加湾、地中海沿岸、莱茵河沿岸等地) TCS 和 MTCS 的检出量高于其他地区.

表 2 TCS 和 MTCS 在国内外不同地区沉积物中的含量

Table 2 Concentrations of TCS and MTCS in sediments from different areas at home and abroad				
国家	采样区域	TCS/($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	MTCS/($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	文献来源
中国	珠江	12.2~1329		Zhao <i>et al.</i> , 2013
	东江	n.d.~656		Zhao <i>et al.</i> , 2013
	石井河	345~1329		Zhao <i>et al.</i> , 2010
	辽河辽宁段	n.d.~40.0		Zhao <i>et al.</i> , 2013
	海河天津段	n.d.~13.8		Zhao <i>et al.</i> , 2013
	长江湖北段	67.7(平均)		Zhao <i>et al.</i> , 2013
	黄河甘肃段	n.d.~14.0		Wang <i>et al.</i> , 2012
	福州内河	11.8~120.4(平均 50.1)	n.d.~41.7(平均 7.8)	本研究
美国	牙买加湾	310~800		Miller <i>et al.</i> , 2008
	罗德岛州	1~32		Katz <i>et al.</i> , 2013
	Pecan 溪	6~50		Zarate <i>et al.</i> , 2012
西班牙	地中海沿岸	0.27~130.7		Agüera <i>et al.</i> , 2003
	Guadalete 河	0.3~9.6	0.4~1.8	Pintado-Herrera <i>et al.</i> , 2014
德国	莱茵河		33(平均)	Boehmer <i>et al.</i> , 2004
澳大利亚	Barker 湾	4.7~27	2.0~11.4	Fernandes <i>et al.</i> , 2011
日本	多摩川	1.7~4.6		Furuichi <i>et al.</i> , 2004
印度	Kaveri 河	22.5(平均)		Ramaswamy <i>et al.</i> , 2011

注:n.d.表示未检出.

3.2 沉积物中 TCS 和 MTCS 的来源

TCS 作为一种广谱、高效的抗菌剂,主要应用于以下几方面:牙膏、漱口水、洗手液等日化用品;医院中手术器械等医疗用品的消毒;纺织品、皮革制品等的消毒.因此,居民生活区、医疗机构、纺织品或皮革制品的加工厂等场所排放的废水成为环境中 TCS 的主要来源.2、3 和 6 号采样点位于福州市老城区鼓楼区,居民区和医院较多,且年代较久,因此,生活污水和医疗污水排放较多,导致这几个采样点的沉积物中 TCS 含量较高.11、17 和 19 号采样点位于新发展的晋安区,最近几年居民活动急剧增加,加之附近有针织手套厂等纺织品加工厂,生活污水及含有杀菌剂的工业废水的大量排放,使这几个采样点的沉积物中 TCS 含量也较高.1 号采样点位于新开发的仓山区,附近有大量居民区和多所高校.仓

山区过去是县城,居民活动时间较长,且近几年居民数量和工业生产急剧增加,生活污水和工业污水的排放也是这一区域 TCS 含量偏高的重要原因.同时,沉积物中 TCS 含量较高的采样点多位于河道下游,水动力较弱、堆积效应较强,易使污染物在此处形成一定积累(Yao *et al.*, 2005),这可能也是上述 7 个位点沉积物中 TCS 含量相对较高的原因.其他 13 个采样点或为郊区,或为主干河流的分支或河道上游,极少有工业和生活污水直接排入其中,因此,沉积物中 TCS 含量相对较低.其中,12、18 和 20 号采样点位置河面较宽,河水流动性较强,沉积物更新较快,导致沉积物中 TCS 含量较低;而 13 号采样点由于处在登云水库的下游,无污染的上游水的冲刷也使得此处沉积物中 TCS 含量极低.

MTCS 是 TCS 在环境中微生物甲基化作用下的

产物,易在营养丰富、溶氧量高的污水处理厂的废水中产生,并通过排污口排出 (Coogan *et al.*, 2007). 在所有样点中 1 和 12 号都是排污口所在地,因此,这两个采样点沉积物中 MTCS 的含量最高,而这可能也是 12 号样品中 TCS 含量较低但 MTCS 含量相对较高的原因.

3.3 沉积物中 TCS 和 MTCS 的生态风险

根据欧盟委员会 (European Commission) 制定的《Technical Guidance Document on Risk Assessment》,对福州内河沉积物中 TCS 和 MTCS 的生态风险进行了评估 (European Commission, 2003). 采用风险熵 RQ (Risk Quotient) 来评估 TCS 和 MTCS 的风险程度, RQ 等于目标化合物的检测环境浓度 (MEC) 与预测无效应浓度 (PNEC) 的比值. 具体分类为: $RQ < 0.01$, 无风险; $0.01 \leq RQ < 0.1$, 低风险; $0.1 \leq RQ < 1$, 中等风险; $RQ \geq 1$, 高风险 (温智皓等, 2013). 虽然目前缺少 TCS 和 MTCS 在陆生生物中的相关毒性数据,但可以将沉积物中两种物质的浓度换算成孔隙水中的相应浓度,而对孔隙水中两种物质的生态风险进行评估时可采用与表层水相同的方法 (Viganò *et al.*, 2008), 因此,可以利用公式 (1) 和 (2) 将水体中的 $PNEC_{water}$ 换算成沉积物中的 $PNEC_{solid}$ (Van Vlaardingen *et al.*, 2003).

$$PNEC_{solid} = PNEC_{water} \times K_d \quad (1)$$

$$K_d = K_{oc} \times f_{oc} \quad (2)$$

式中, K_d 为固体-水分配系数, K_{oc} 为有机碳分配系数, f_{oc} 为底泥样品中总有机碳含量. 由于缺少 MTCS 的毒性数据, 因此, 采用 QSAR (Quantitative Structure-Activity Relationship, 定量构效关系) 模型估算 MTCS 的 $PNEC_{water}$ 值, 以此对 MTCS 的生态风险进行评价 (Rüdel *et al.*, 2013). TCS 和 MTCS 的 K_{oc} 和 $PNEC_{water}$ 值见表 3.

表 3 TCS 和 MTCS 的 K_{oc} 值和 $PNEC_{water}$

Table 3 K_{oc} and $PNEC_{water}$ of TCS and MTCS

化合物	$\log K_{oc}$	参考文献	$PNEC_{water}/$ ($ng \cdot L^{-1}$)	参考文献
TCS	4.3	Zhao <i>et al.</i> , 2010	50	Raut <i>et al.</i> , 2010
MTCS	4.1	Chen <i>et al.</i> , 2011	15	Rüdel <i>et al.</i> , 2013

根据计算结果 (表 4), 7、12、13、16、18 和 20 号 6 个沉积物样品中 TCS 的 RQ 值在 0.1~1 之间, 表现为中等风险, 在另外 14 个样品中 TCS 的 RQ 值都大于 1, 表现为高风险; 2、3、5、6、7 和 17 号 6 个沉积物样品中 MTCS 的 RQ 值在 0.1~1 之间, 表现为

中等风险, 在另外 11 个样品中 MTCS 的 RQ 值大于 1, 表现为高风险. 其中, 1、4、8、10、11、14、15 和 19 号 8 个沉积物样品中 TCS 和 MTCS 都呈高风险. 这表明福州地区 TCS 和 MTCS 污染情况较严重, 应当引起重视. 鉴于 TCS 具有高效低毒的优点, 短时间内很难大量减少用量甚至完全停止使用. 因此, 必须改进城市污水处理工艺来降低 TCS 的残留, 并通过寻找合适的替代品来减少 TCS 的使用.

表 4 沉积物中 TCS 和 MTCS 的 RQ 值

Table 4 RQs of TCS and MTCS in sediment samples

样品编号	RQ _{TCS}	RQ _{MTCS}
1	2.192	4.335
2	1.884	0.642
3	1.774	0.667
4	2.476	2.564
5	1.322	0.600
6	1.622	0.461
7	0.780	0.813
8	2.364	3.345
9	2.169	—
10	1.379	2.916
11	7.364	1.519
12	0.608	4.102
13	0.678	1.524
14	1.207	1.024
15	1.538	1.282
16	0.615	—
17	2.672	0.644
18	0.978	—
19	1.743	1.389
20	0.320	1.324

4 结论 (Conclusions)

1) 福州市区内河表层沉积物中 TCS 含量在国内外不同地区沉积物的含量中处于中上水平, 影响 TCS 含量的主要原因是居民活动和医疗机构的分布, 大致呈现出居民生活区越集中、TCS 检出量越高的趋势; TCS 检出量与总有机碳含量之间呈显著正相关关系.

2) 福州市区内河表层沉积物中 MTCS 含量在国内外不同地区沉积物的含量中处于较低水平, 在排污口处 MTCS 检出量较高, 表明污水处理可能对 MTCS 的含量有一定的影响.

3) 20 个沉积物样品中, 有 14 个样品的 TCS 呈高风险, 11 个样品的 MTCS 呈高风险, 其中有 8 个

样品的两种物质都呈高风险,其他样品均表现为中等风险.

责任作者简介:魏然(1974—),女,硕士,讲师,主要研究方向为土壤污染修复.

参考文献(References):

- Agüera A, Fernández-Alba A R, Piedra L, *et al.* 2003. Evaluation of triclosan and biphenylol in marine sediments and urban wastewaters by pressurized liquid extraction and solid phase extraction followed by gas chromatography mass spectrometry and liquid chromatography mass spectrometry [J]. *Analytica Chimica Acta*, 480(2): 193-205
- Boehmer W, Rudel H, Wenzel A, *et al.* 2004. Retrospective monitoring of triclosan and methyl-triclosan in fish; results from the German Environmental Specimen Bank [J]. *Organohalogen Compounds*, 66: 1516-1521
- 陈卫锋,倪进治,杨红玉,等.2010.福州内河沉积物中多环芳烃的分布、来源及其风险评[J].*中国环境科学*, 30(12): 1670-1677
- Chen X J, Nielsen J L, Furgal K, *et al.* 2011. Biodegradation of triclosan and formation of methyl-triclosan in activated sludge under aerobic conditions [J]. *Chemosphere*, 84(4): 452-456
- Ciniglia C, Cascone C, Giudice R L, *et al.* 2005. Application of methods for assessing the geno- and cytotoxicity of triclosan to *C. ehrenbergii* [J]. *Hazard Journal of Hazardous Materials*, 122(3): 227-232
- Coogan M A, Edziyie R E, La Point T W, *et al.* 2007. Algal bioaccumulation of triclocarban, triclosan, and methyl-triclosan in a North Texas wastewater treatment plant receiving stream [J]. *Chemosphere*, 67(10): 1911-1918
- Dann A B, Hontela A. 2011. Triclosan: Environmental exposure, toxicity and mechanisms of action [J]. *Journal of Applied Toxicology*, 31(4): 285-311
- Erickson B E. 2002. Methyl triclosan found in Swiss lakes [J]. *Environmental Science & Technology*, 36(11): 228A-230A
- European Commission. 2003. Technical guidance document on risk assessment in support of Commission Directive 93/67 on risk assessment for new notified substances, Commission Regulation (EC) No.1488/94 on risk assessment for existing substances and Directive 98/8/EC of the European Parliament and of the council concerning the placing of biocidal products on the market [Z]. Part I, II and III. EUR 20418 EN/1, 2 and 3. Ispra, Italy: Joint Research Centre
- Fernandes M, Shareef A, Kookana R, *et al.* 2011. The distribution of triclosan and methyl-triclosan in marine sediments of Barker Inlet, South Australia [J]. *Journal of Environmental Monitoring*, 13(4): 801-806
- Fiss E M, Rule K L, Vikesland P J. 2007. Formation of chloroform and other chlorinated byproducts by chlorination of triclosan-containing antibacterial products [J]. *Environmental Science & Technology*, 41(7): 2387-2394
- Furuichi T, Kannan K, Giesy J P, *et al.* 2004. Contribution of known endocrine disrupting substances to the estrogenic activity in Tama River water samples from Japan using instrumental analysis and in vitro reporter gene assay [J]. *Water Research*, 38(20): 4491-4501
- Gonzalo-Lumbreras R, Sanz-Landaluze J, Cámara C. 2014. Analytical performance of two miniaturised extraction methods for triclosan and methyltriclosan, in fish roe and surimi samples [J]. *Food Chemistry*, 146: 141-148
- Katz D R, Cantwell M G, Sullivan J C, *et al.* 2013. Factors regulating the accumulation and spatial distribution of the emerging contaminant triclosan in the sediments of an urbanized estuary: Greenwich Bay, Rhode Island, USA [J]. *Science of the Total Environment*, 443: 123-133
- Lozano N, Rice C P, Ramirez M, *et al.* 2012. Fate of triclosan and methyltriclosan in soil from biosolids application [J]. *Environmental Pollution*, 160: 103-108
- Lozano N, Rice C P, Ramirez M, *et al.* 2013. Fate of Triclocarban, Triclosan and Methyltriclosan during wastewater and biosolids treatment processes [J]. *Water Research*, 47(13): 4519-4527
- Miller T R, Heidler J, Chillrud S N, *et al.* 2008. Fate of triclosan and evidence for reductive dechlorination of triclocarban in estuarine sediments [J]. *Environmental Science & Technology*, 42(12): 4570-4576
- Pintado-Herrera M G, González-Mazo E, Lara-Martín P A. 2014. Determining the distribution of triclosan and methyl triclosan in estuarine settings [J]. *Chemosphere*, 95: 478-485
- Ramaswamy B R, Shanmugam G, Velu G, *et al.* 2011. GC-MS analysis and ecotoxicological risk assessment of triclosan, carbamazepine and parabens in Indian rivers [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 186(2/3): 1586-1593
- Raut S A, Angus R A. 2010. Triclosan has endocrine-disrupting effects in male western mosquitofish, *Gambusia affinis* [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 29(6): 1287-1291
- Reiss R, Lewis G, Griffin J. 2009. An ecological risk assessment for triclosan in the terrestrial environment [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 28(7): 1546-1556
- Rüdel H, Böhmer W, Müller M, *et al.* 2013. Retrospective study of triclosan and methyl-triclosan residues in fish and suspended particulate matter: Results from the German Environmental Specimen Bank [J]. *Chemosphere*, 91(11): 1517-1524
- Van Vlaardingen P L A, Posthumus R, Traas T P. 2003. Environmental risk limits for alkylphenols and alkylphenol ethoxylates [R]. Report 601501019. Bilthoven, the Netherlands: National Institute of Public Health and the Environment
- Viganò L, Benfenati E, Van Cauwenberge A, *et al.* 2008. Estrogenicity profile and estrogenic compounds determined in river sediments by chemical analysis, ELISA and yeast assays [J]. *Chemosphere*, 73(7): 1078-1089
- Wang L, Ying G G, Chen F, *et al.* 2012. Monitoring of selected estrogenic compounds and estrogenic activity in surface water and sediment of the Yellow River in China using combined chemical and biological tools [J]. *Environmental Pollution*, 165: 241-249
- 温智皓,段艳平,孟祥周,等.2013.城市污水处理厂及其受纳水体中5种典型PPCPs的赋存特征和生态风险[J].*环境科学*, 34(3):

- 927-932
- Yao C X, Chen Z L, Xu S Y, *et al.* 2005. Pollution characteristics of the rivers in suburban Shanghai [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 15(1):29-36
- Zarate F M Jr, Schulwitz S E, Stevens K J, *et al.* 2012. Bioconcentration of triclosan, methyl-triclosan, and triclocarban in the plants and sediments of a constructed wetland [J]. *Chemosphere*, 88(3):323-329
- Zhao J L, Ying G G, Liu Y S, *et al.* 2010. Occurrence and risks of triclosan and triclocarban in the Pearl River system, South China: From source to the receiving environment [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 179(1/3):215-222
- Zhao J L, Zhang Q Q, Chen F, *et al.* 2013. Evaluation of triclosan and triclocarban at river basin scale using monitoring and modeling tools: implications for controlling of urban domestic sewage discharge [J]. *Water Research*, 47(1):395-405
- 周雪飞, 陈家斌, 周世兵, 等. 2011. 污水处理系统中三氯生固相萃取(SPE)-气相色谱(GC)-电子俘获检测器(ECD)测定方法的建立和优化[J]. *环境化学*, 30(2):506-510