

再生水中病原指示微生物的浓度水平研究

张 薛, 胡洪营, 李 梅

(清华大学 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084)

摘 要: 选取 5 个采用不同处理工艺的小区生活污水再生处理系统, 检测了各小区生活污水和再生水中粪大肠菌、SC 噬菌体及 F - 噬菌体的浓度水平。研究表明, 各小区生活污水中病原指示微生物的浓度有较大差异, 粪大肠菌、SC 噬菌体和 F - 噬菌体的浓度范围分别为 $(0.01 \sim 4) \times 10^5$ CFU/100 mL、67 ~ 4 333 PFU/100 mL 和 33 ~ 67 000 PFU/100 mL。污水经过不同工艺处理后, 所得再生水仍有大部分不能满足我国的再生水水质要求。在所研究的小区中, 有 1/2 小区的再生水达不到我国再生水城市杂用水水质中规定的粪大肠菌浓度要求; 有 2/3 小区的再生水达不到美国 EPA 关于再生水处理设备对指示噬菌体的去除率要求。

关键词: 污水再生回用; 病原微生物; SC 噬菌体; F - 噬菌体; 粪大肠菌

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 4602(2006)09 - 0026 - 04

Research on Concentration Levels of Pathogenic Microorganism Indicators in Different Domestic Sewage and Reclaimed Water

ZHANG Xue, HU Hong-ying, LI Mei

(State Key Joint Lab of Environmental Simulation and Pollution Control, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The concentrations of microorganism indicators (faecal coliforms, somatic coliphages and F-specific bacteriophages) in five wastewater reclamation systems with different treatment processes were studied. The primary results show that there are many differences in the concentrations of microorganism indicators in the sewages from different residential areas. The concentration ranges of faecal coliforms, somatic coliphages and F-specific bacteriophages are $(0.01 - 4) \times 10^5$ CFU/100 mL, 67 - 4 333 PFU/100 mL, and 33 - 67 000 PFU/100 mL, respectively. The reclaimed water for half of the residential areas studied does not meet the faecal coliforms standards required in China; and the reclaimed water for two thirds of the residential areas studied does not meet the phage indicator removal rates standard according to the USEPA Guide Standard for Microbiological Water Purifiers.

Key words: wastewater reclamation and reuse; pathogenic microorganism; somatic coliphages; F-specific bacteriophages; faecal coliforms

生活污水是一类重要的非传统水源, 目前已有许多小区建立了污水再生处理系统, 今后小区生活污水再生利用将会有更强的发展势头。再生水可用

于小区绿化、冲厕、洗车等, 起到了缓解水资源短缺压力的重要作用。但污水中存在着肠道病毒等病原微生物, 如去除不充分, 将会对人们的身体健康产生

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (20477021); NFSC - JST 重大国际合作项目 (20510076)

直接危害。目前,我国主要以指示细菌作为水质监测指标,例如粪大肠菌能较好地反映水受到粪便污染的状况。但污水中还存在大量人类肠道病毒,并且某些病毒对环境和消毒剂等的耐受性强于传统的指示细菌,因此不仅要关注再生水中的病原细菌,更要关注其中的病毒^[1]。病毒的直接检测存在操作复杂、安全性差、检测时间长、需要专门的技术和设备、难以实现常规检测等不足,因此国际上通常通过检测指示噬菌体来间接地检测病毒^[2]。研究选取粪大肠菌和 SC 噬菌体、F - 噬菌体作为指示微生物,考察了不同小区生活污水及再生水中 3 种指示微生物的浓度水平。

1 材料和方法

1.1 培养基和试剂

MSB 培养基:胰蛋白胨 (10 g),酵母提取物 (3 g),牛肉膏 (12 g),NaCl (3 g),Na₂CO₃ (750 mg),MgCl₂ (0.6 g),CaCl₂ (876 mg),蒸馏水 (1 000 mL),pH 值为 7.2。

MSA 培养基:向 MSB 培养基中加入 18 g 琼脂粉。

sMSA 培养基:向 MSB 培养基中加入 9 g 琼脂粉。

TYGB 培养基:胰蛋白胨 (10 g),酵母提取物 (1 g),NaCl (8 g),CaCl₂ (300 mg),葡萄糖 (1 g),蒸馏水 (1 000 mL),pH 值为 7.2。

TYGA 培养基:向 TYGB 培养基中加入 18 g 琼脂粉。

ssTYGA 培养基:向 TYGA 培养基中加入 9 g 琼脂粉。

M - TEC 培养基:示蛋白胨 (5 g),酵母膏 (3 g),乳糖 (10 g),K₂HPO₄ (3.3 g),KH₂PO₄ (1 g),NaCl (7.5 g),十二烷基磺酸钠 (0.2 g),脱氧胆酸钠 (0.1 g),溴甲酚紫 (80 mg),溴酚红 (80 mg),琼脂粉 (15 g),H₂O (1 000 mL),pH 值为 7.3。

蛋白胨 - 盐溶液:蛋白胨 (1 g),NaCl (8.5 g),蒸馏水 (1 000 mL)。

1.2 噬菌体的检测

SC 噬菌体和 F - 噬菌体的检测参照国际标准方法^[3,4]。以 *E. coli* CN 作为 SC 噬菌体的宿主菌,用 MSA 铺下层平板,上层采用 sMSA。以 *Salmonella typhimurium* WG49 作为 F - 噬菌体的宿主菌, TYGA 铺下层平板,上层采用 ssTYGA。水样用蛋白

胨 - 盐做梯度稀释或不稀释。接种后的平板在 (36 ± 2) °C 下培养,4 ~ 12 h 后计每板上的噬菌斑数。噬菌体浓度用单位体积水样的噬菌斑形成单位 (PFU) 表示。每个水样设 3 个平行样。

1.3 粪大肠菌的检测

采用 M - TEC 培养基以平板法测定:在平板中加入 1 mL 梯度稀释水样,加入 10 mL 左右的培养基,45 °C 下培养 24 h 后计黄色菌落数,用单位体积水样的菌落形成单位 (CFU) 表示^[5]。每个水样设 3 个平行样。

1.4 水样来源

从北京市的 5 个小区生活污水再生处理中心取样,这 5 个小区的主体处理工艺各不相同,分别为氧化沟、一级接触氧化、曝气生物滤池、膜生物反应器 (MBR) 和混凝 / 沉淀 / 过滤工艺。除氧化沟工艺外,其余 4 种工艺均有次氯酸钠片剂消毒单元。对于每种工艺分别取进水、生物处理工艺出水 (即消毒前出水) 和消毒工艺出水 3 种水样。各小区污水再生处理工艺的具体情况如表 1 所示。

表 1 小区污水再生处理工艺情况

Tab 1 Process of wastewater reclamation system in different residential areas

小区	工艺流程	污水来源	回用途径
A	进水 → 初级处理 → 氧化沟 → 气浮池 → 出水	生活污水	绿化、景观补水
B	进水 → 初级处理 → 一体式生化池 (接触氧化 + 生物活性炭) → 砂滤 → 消毒 → 清水池	淋浴、盥洗污水	冲厕、绿化
C	优质杂排水 → 调节池 → 毛发过滤器 → 曝气生物滤池 → 消毒 → 清水池	淋浴、盥洗污水	冲厕、绿化
D	生活污水 → 筛网 → 调节池 → 提升泵 → 毛发聚集器 → 膜生物反应器 → 消毒 → 清水池	生活污水	冲厕
E	集水池 → 一体化水处理设备 (混凝 / 沉淀 / 过滤) → 消毒 → 清水池	淋浴污水	绿化

2 结果与讨论

2.1 粪大肠菌

对取自 A、C、D、E 小区污水再生处理系统 (简称 A、C、D、E 系统) 水样的粪大肠菌浓度进行检测,结果如图 1 所示。

由于各小区再生处理中心所收集污水的来源不同,其进水中的粪大肠菌浓度有较大差异,A、C、D、E 等 4 个系统进水的粪大肠菌浓度分别为 1.4 ×

10^5 、 $4\ 967.4 \times 10^5$ 和 $1\ 067$ CFU/100 mL,其中 A、D 两系统进水中的粪大肠菌浓度远远高于其余两系统的。经各工艺处理后,污水中粪大肠菌的浓度有大幅度的下降,其中 A 系统的二沉池出水、D 系统的消毒出水的粪大肠菌浓度分别为 $13\ 300$ 和 333 CFU/100 mL,而 C、E 系统的消毒出水中未检出粪大肠菌。

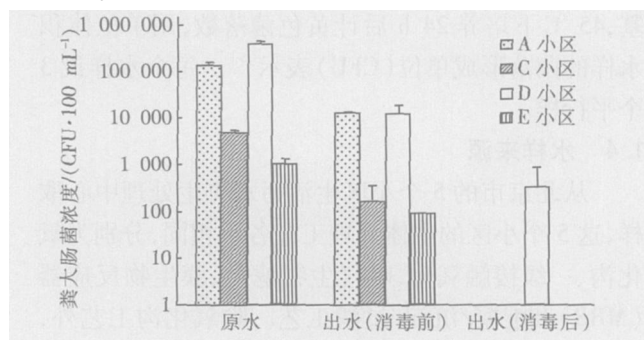


图 1 污水及再生水的粪大肠菌浓度水平

Fig 1 Faecal coliforms concentration levels in wastewater and reclaimed water

我国《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB/T 18921—2002)规定^[6],排入观赏性景观河道的再生水的粪大肠菌群 $\leq 1\ 000$ CFU/100 mL,依据该标准只有 A 系统的处理出水没有达标。但我国的《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002)规定^[7],用于冲刷、道路清扫、消防、城市绿化、车辆冲洗、建筑施工的杂用水,其总大肠菌不应超过 3 CFU/L,而同一水样中的粪大肠菌浓度应低于总大肠菌浓度,所以杂用水中的粪大肠菌应低于 0.3 CFU/100 mL,依据此标准,只有 C、E 两系统的出水粪大肠菌浓度达标。D 系统 MBR 出水的粪大肠菌浓度为 $13\ 333$ CFU/100 mL,经消毒后其浓度降为 333 CFU/100 mL;而 A 系统的氧化沟后没有消毒单元,故其二沉池出水的粪大肠菌浓度远远超出标准要求。可见次氯酸钠片剂消毒单元对粪大肠菌的去除效果较为明显。由上面的检测结果也可看出,即使经过消毒处理,也不能保证出水粪大肠菌浓度达到杂用水水质要求。为保证再生水的水质安全,必须定期检测各处理单元的运行状况,同时要选水质较好的再生水水源。

2.2 SC 噬菌体

分别取 A、B、C 三系统的进水、消毒前出水和消毒后出水水样,检测其中的 SC 噬菌体浓度,结果如图 2 所示。

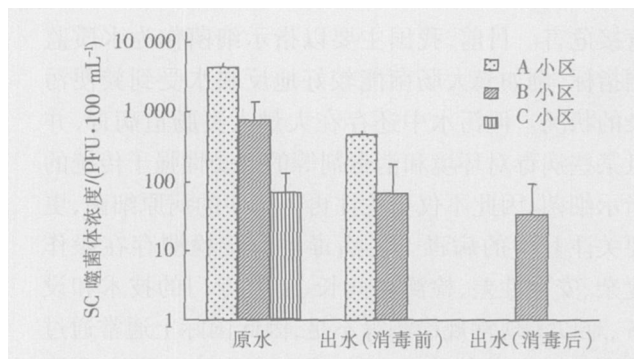


图 2 SC 噬菌体浓度的变化

Fig 2 Variation of somatic coliphages concentration levels

A、B、C 三系统进水的 SC 噬菌体浓度有较大的差异,其浓度分别为 $4\ 333$ 、 750 和 67 PFU/100 mL。经处理后,A 系统的二沉池出水、B 系统出水的 SC 噬菌体浓度分别为 467 和 33 PFU/100 mL,C 系统的出水中未检测出 SC 噬菌体。美国 EPA 规定,污水再生处理设备对噬菌体的去除率要达到 4-lg 即 99.99%,而 A、B、C 三系统对 SC 噬菌体的去除率分别为 89%、91%和 100%,只有 C 系统的去除率达标。

2.3 F - 噬菌体

分别取 B、D、E 三系统的进水、消毒前出水和消毒后出水水样,检测其中的 F - 噬菌体浓度,结果如图 3 所示。

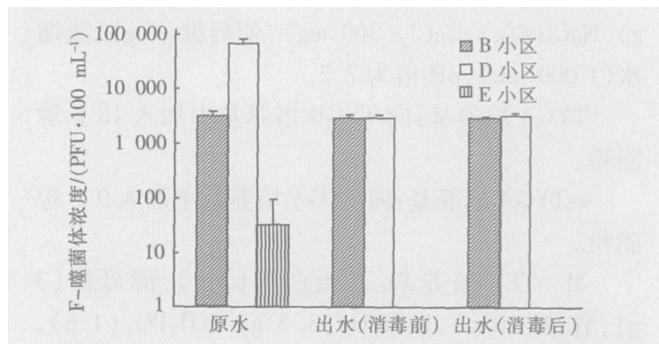


图 3 不同工艺对 F - 噬菌体的去除效果

Fig 3 Removal of F-specific bacteriophages in different processes

B、D、E 三系统进水的 F - 噬菌体浓度分别为 $3\ 167$ 、 6.7×10^4 和 33 PFU/100 mL。经处理后,B、D 两系统出水的 F - 噬菌体浓度分别为 $2\ 867$ 、 $3\ 133$ PFU/100 mL,E 系统出水中未检测出 F - 噬菌体。美国 EPA 规定,污水再生处理设备对噬菌体的去除率要达到 99.99%,故只有 E 系统达标。

3 结论

各小区生活污水中的病原指示微生物浓度

存在一定差异,粪大肠菌浓度为 $(0.1 \sim 40) \times 10^4$ CFU/100 mL, SC 噬菌体浓度为 $67 \sim 4\,333$ PFU/100 mL, F - 噬菌体浓度为 $33 \sim 67\,000$ PFU/100 mL。在同一水样中,粪大肠菌的浓度一般高于指示噬菌体的浓度, F - 噬菌体浓度波动范围在 3 种微生物中相对较大。

不同工艺对污水中病原微生物的去除效果不同,各小区的再生水中仍含有不同浓度的各类指示微生物。在所检测的 4 个小区中,再生水水质不满足粪大肠菌浓度要求的有 2 个;在所检测的 3 个小区中,再生水水质不满足 SC 噬菌体和 F - 噬菌体去除率要求的均为 2 个。

在小区污水的再生处理中,应加强对消毒单元的运行管理,以保证再生水水质的微生物学安全性。

参考文献:

- [1] 佟巍,林逢凯,郑兴灿. 制定《再生水景观灌溉水质标准》需考虑的主要问题[J]. 给水排水, 2003, 29(9):

53 - 55.

- [2] 李梅,胡洪营. 噬菌体作为水中病毒指示物的研究进展[J]. 中国给水排水, 2005, 21(2): 23 - 26
- [3] ISO 10705 - 1, Detection and enumeration of bacteriophages part 1: Enumeration of F-specific RNA bacteriophages [S].
- [4] ISO 10705 - 2, Detection and enumeration of bacteriophages part 2: Enumeration of somatic coliphages [S].
- [5] 王家玲. 环境微生物学实验 [M]. 北京:高等教育出版社, 1988
- [6] GB/T 18921—2002, 城市污水再生利用 景观环境用水水质 [S].
- [7] GB/T 18920—2002, 城市污水再生利用 城市杂用水水质 [S].

作者简介:张薛(1983 -), 女, 江苏徐州人, 博士研究生, 研究方向为污水再生利用。

电话:(010) 51533590

E-mail: zhangxue01@tsinghua.org.cn

收稿日期: 2005 - 12 - 14

(上接第 25 页)

剧增加,导致离子隔膜被击穿。此外如电场强度过大,不仅会使水分子之间的氢键断开,导致水分子团变小,极性趋向一致,而且水分子间的化合键也会发生断裂,在负极有氢气逸出,在正极有氧气逸出。

UV₂₅₄ 可以作为水中苯的衍生物和三卤甲烷前驱物含量的替代参数。从表 4 可见,系统对 UV₂₅₄ 的去除效果随流量的减小而明显提高,这反映出水中有机物的芳香构造化程度和三卤甲烷浓度在逐渐降低,且出水流量与 UV₂₅₄ 含量之间存在着较为明显的线性关系 ($R^2 = 0.952$),这说明在电解过程中虽然不能将有机物完全无机化,但可对水中复杂的大分子物质进行一定程度的降解,使毒性物质得到一定程度的去除,从而增加了饮用水的水质安全性。

3 结论

无需添加任何化学药剂,经电解后产生的酸性电位水用于饮水消毒时具有高效、快速的杀菌效果,经相关部门检验,该酸性水对皮肤的刺激强度为无刺激性级。用于表面消毒试验时,其效果优于同浓度的 CD₂ 消毒剂。

经电解产生的碱性电位水,其 pH 值和还原电位均随出水流量的减小而逐渐升高。碱性出水

虽然对以 COD_{Mn} 为代表的有机物的去除效果不甚明显,但对以 UV₂₅₄ 为代表的有害物质却有不同程度的去除,使水质得到了进一步净化,使之成为健康、安全的饮用水。今后还可在生物学、生理学领域进行更为深入的研究。

参考文献:

- [1] 龚泰石,张伟,王贺新,等. 多功能电解水发生器 [P]. 中国专利: 99200540. x, 1999 - 02 - 10
- [2] 龚泰石,王贺新,张斌,等. 电位水制备装置及电位水制备方法 [P]. 中国专利: 10072378. 9, 2004 - 10 - 22
- [3] 刁蕙芳,白玮,李晓岩,等. 电化学消毒中羟基自由基的测定 [J]. 给水排水, 2004, 30(9): 59 - 62
- [4] 王薇. 功能水欲走正轨行业标准须先行 [N]. 中国食品报, 2004 - 12 - 12 (第 3 版).

作者简介:张斌(1980 -), 男, 天津人, 学士、助理实验师, 主要从事饮用水处理与消毒的研究。

电话:(022) 84655498

E-mail: tjzhh@sina.com.cn

收稿日期: 2005 - 12 - 18