

城市污水再生利用中病原菌指示微生物及其限值研究

官飞蓬 张静慧 李魁晓 周 军 甘一萍

(北京城市排水集团有限责任公司, 北京 100124)

摘要 在对目前国内外再生水中病原菌指示微生物进行调研的基础上, 结合再生水厂运行数据对再生水中病原菌指示微生物及其限值进行了探讨。研究表明, 以粪大肠菌群作为再生水病原菌指示微生物更能够反映出水体中病原菌的存在状况, 目前的再生水处理和消毒技术要达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002) 对总大肠菌群 ≤ 3 个/L 的要求需要投加大量的消毒剂, 增加了再生水的处理成本以及再生水中的消毒副产物。

关键词 再生水 卫生学指标 总大肠菌群 粪大肠菌群

Study on pathogenic bacteria microbiological indicators and their limitations for municipal wastewater reusing

Gong Feipeng, Zhang Jinghui, Li Kuixiao, Zhou Jun, Gan Yiping

(Beijing Drainage Group Co., Ltd., Beijing 100124, China)

Abstract: Based on the current home and abroad study of pathogenic bacteria microbiological indicators for reclaimed water, this paper discussed the pathogenic bacteria microbiological indicators in reclaimed water and their limitations according to the operation data from reclaimed water plant. The results showed: as a pathogenic bacteria microbiological indicator, fecal coliform could reflect the pathogenic bacteria existing situation in reclaimed water better; using current reclaimed water treatment and disinfection technologies, huge disinfection dosage was needed to satisfy the requirement of less than 3 unit/L total coliforms from “The reuse of urban recycling water—Water quality standard for urban miscellaneous water consumption (GB/T 18920—2002)”, which would increase the cost of reclaimed water treatment and the amount of disinfection by-products.

Keywords: Reclaimed water; Hygiene index; Total coliform; Fecal coliform

消毒过程是再生水生产中的重要环节, 如果消毒不充分, 水中残余的病原菌会对人体健康产生威胁^[1, 2]。消毒剂的用量过大则会导致处理成本增加, 同时产生的消毒副产物也会随之增加, 并且过量的余氯也会影响再生水在景观、绿化方面的使用。因此, 再生水消毒过程消毒剂投加量的控制是十分重要的, 而检验消毒效果的再生水卫生学指标及其限值的合理选取也将直接影响消毒剂投加剂量。我国城市污水再生利用事业还刚刚起步, 虽然

针对不同的再生水回用目标政府制定了相应的水质标准, 但目前再生水厂不同用途的出水均执行《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002) 总大肠菌群 ≤ 3 个/L 的标准。因此有必要开展调查研究, 以确认合适的微生物指标及限值。

1 城市污水再生利用中的病原菌指标

城市污水再生利用中的卫生学指标是总大肠菌群和粪大肠菌群。大肠杆菌属于卫生学意义的总大肠菌群和粪大肠菌群的范畴, 其监测值一般应小于

“十一五”国家科技支撑计划(2006BAB17B05 04)。

总大肠菌群数和粪大肠菌群数^[2]。肠道致病菌在水体中的存活时间和对氯的抵抗力与大肠菌群相似,总大肠杆菌尤其是粪大肠杆菌在环境中的出现意味着水体受到了动物和人类粪便的污染,也意味着许多相关病原微生物的存在,总大肠菌群数和粪大肠菌群数的降低程度可间接反映致病菌相应数量级的减少^[3],因此,通常把它们作为指示粪便污染并且反映污水处理和消毒效果的指示微生物。

2 国内外再生水水质标准中的病原菌指标限值

关于病原细菌在标准中的限值是通过以下四个步骤得来的:①制定限值的依据,目前一般采用在美国国家环保局(USEPA)推荐的健康危险度评价方法的基础上发展起来的定量微生物风险评价方法,选择年感染概率 10^{-4} 作为制定浓度限值的依据。②病原微生物一次感染概率的评价模型采用世界卫生组织出版的《水质指南、标准和健康:水相关传染疾病风险评价与风险管理》中提供的模型。③根据不同污水再生利用途径职业人群和非职业人群的暴露评价结果,推算浓度限值。④根据最敏感原则,选择其中最严格的浓度限值作为指标建议值。

在《城市污水再生利用 分类》(GB/T 18919—2002)中,按照用途再生水被分为农林牧渔业用水、城市杂用水、工业用水、环境用水、补充水源水等,国内相关再生水水质标准中卫生学指标限值见表1。

表1 我国再生水水质标准中卫生学指标限值

相关标准		总大肠 菌群/个/L	粪大肠 菌群/个/L
《城市污水再生利用 城市杂用水水质》 (GB/T 18920—2002)		≤3	
《城市污水再生利用 景观环境用水水质》 (GB/T 18921—2002)	观赏性景观河道类、 湖泊类		≤10 000
	观赏性景观水景类		≤2 000
	娱乐性景观河道类、 湖泊类		≤500
	娱乐性景观水景类		不得检出
《城市污水再生利用 地下水回灌水质》 (GB/T 19772—2005)	地表回灌		≤1 000
	井灌		≤3
《城市污水再生利用 农田灌溉用水水质》 (GB 20922—2007)	纤维作物、旱地谷物、 油料作物、水田谷物		≤40 000
	露地蔬菜		≤20 000
《城市污水再生利用 工业用水水质》 (GB/T 19923—2005)			≤2 000

由表1可见,在我国2002年以后颁布的相关城市污水再生利用中,除《城市污水再生利用 城市杂用水水质》以总大肠菌群作为卫生学指标外,其他标准均以粪大肠菌群作为卫生学指标。

GB/T 18920—2002中总大肠菌群的限值是参照了《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—89)规定。然而在风险评价过程中两者的暴露途径、暴露量完全不同。对于饮用水的暴露量来说,北京居民冬季和夏季的日均饮水量分别为1.7 L/d和2.2 L/d^[4]。再生水回用过程的暴露量与回用途径密切相关,例如职业人员在绿化过程的暴露量为0.017 L/d,道路冲洗为0.025 L/d。再生水的暴露量远远低于饮用水(约1/100),因此当病原微生物的暴露剂量较低时,其剂量反应关系一般符合Beta-Poisson模型:

$$P_i = 1 - [1 + d/N_{50}(21/\alpha - 1)]^{-\alpha}$$

式中 P_i ——感染某种病原微生物概率;

N_{50} ——暴露人群中50%被感染时摄入病原微生物的个数,其值越小表明感染性越强;

α ——斜率系数;

d ——摄入病原微生物的个数,个。

目前,北京市再生水的卫生学指标执行的是GB/T 18920—2002总大肠菌群≤3个/L的要求。大肠菌群的检验比较简单,但由于在某些水质条件下,总大肠菌群中的一些细菌能够在水中自行繁殖^[5],其和粪便污染的相关性受到了质疑,因此,笔者认为粪大肠菌群对粪便污染的指示作用更直接贴切。

3 再生水生产中的卫生学指标控制

消毒作为再生水处理工艺的最后环节,对保障再生水的水质安全具有至关重要的作用。目前采用的消毒技术主要有:液氯、臭氧、二氧化氯、次氯酸钠、紫外线。其中,臭氧、次氯酸钠、紫外线和二氧化氯是应用较广的消毒方法。然而对于再生水而言,为防止微生物的再次繁殖,避免对后续输配和储存系统造成二次污染而需保持一定的余氯量,则最好选用氯或二氧化氯消毒,但必须控制再生水利用现场的余氯量≤1 mg/L。

由图1可见,某再生水厂第8~21月的出水余氯值在1 mg/L左右波动,但出水总大肠菌群数依然不稳定,在第11个月时,出水余氯均值为2.96 mg/L,

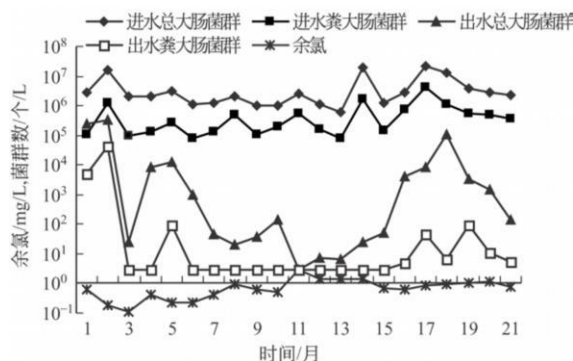


图1 某再生水厂进出水总大肠、粪大肠菌群数及出水余氯值

出水总大肠菌群数月均值 ≤ 3 个/L, 第 12~14 月中, 出水余氯月均值为 1.4 mg/L 时, 出水总大肠菌群数约 10 个/L, 说明消毒药剂的投加在达到一定浓度时, 对总大肠菌群的去除影响是显著的, 但有研究表明, 如果使用的再生水余氯值超过 1 mg/L, 就会对环境产生较大的负面影响^[6~8]。

城市绿地灌溉是再生水回用的主要途径之一, 再生水中过多的余氯对所灌溉的草坪草生长将产生伤害, 甚至致其死亡。作为景观用水, 如果再生水中余氯值超过 0.4 mg/L, 水中的鱼类就会出现生存危险, 余氯上限的要求在现行的回用水标准中并没有体现。张楠等^[9]通过含余氯 0~2.5 mg/L 的再生水灌溉苗期高羊茅与早熟禾的盆栽试验, 得出用再生水灌溉这两种常用草坪草的余氯上限值应为: 高羊茅余氯不超过 1 mg/L, 早熟禾余氯不超过 0.8 mg/L。由于在管网中消耗的余氯量 ≤ 0.2 mg/L, 因此, 如果执行总大肠菌群数月均值 ≤ 3 个/L 的标准, 必然会使得再生水中的余氯值过高, 也会增加药剂成本, 过分降低总大肠菌群数在实际再生水厂运行中是不可取的。何星海等^[10]把埃希氏大肠杆菌作为粪便污染的指示菌, 并根据定量健康风险评估结果提出其限值应 < 70 个/L, 同样认为我国现行再生水回用标准《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002) 中规定的卫生学指标总大肠菌群数 ≤ 3 个/L 远低于研究中提出的总大肠菌群数 < 70 个/L 的限值, 从另一方面说明了我国现行再生水利用城市杂用水水质标准要求总大肠菌群数 ≤ 3 个/L 过于严格。

4 结论与建议

目前, 我国主要应用总大肠菌群数和粪大肠

菌群数作为再生水水质安全指标, 再生水厂执行的是《城市污水再生利用 城市杂用水水质》中总大肠菌群数 ≤ 3 个/L 的标准, 从理论评价结论到实际运行结果都说明该指标对总大肠菌群数的要求过于严格, 实际应用意义不大。除 GB/T 18920—2002 外的其他相关标准中都采用粪大肠菌群数作为再生水水质安全指标, 在实际生产中指导意义更强, 建议以粪大肠菌群数作为再生水卫生学指标, 根据目前再生水回用过程水质要求较高的标准《城市污水再生利用 地下水回灌水质》(GB/T 19772—2005) 建议将粪大肠菌群数限值定为 ≤ 3 个/L。

参考文献

- 1 魏东斌, 胡洪营. 污水再生回用的水质安全指标体系. 中国给水排水, 2004, 20(1): 36~39
- 2 Scott T M, McLaughlin M R. Reduction of pathogens, indicator bacteria, and alternative indicators by wastewater treatment and reclamation processes. Water Science and Technology: Water Supply, 2003, 3(4): 247~252
- 3 Rose J, Dickson L, Farrah S, et al. Removal of pathogenic and indicator microorganisms by a full-scale water reclamation facility. Water Research, 1996, 30(11): 2785~2797
- 4 徐鹏, 黄圣彪, 王子健, 等. 北京和上海市居民冬夏两季饮用水消费习惯. 生态毒理学报, 2008, 3(3): 224~227
- 5 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法. 第4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002
- 6 师荣光, 王德荣, 赵玉杰, 等. 城市再生水用于农田灌溉的水质控制指标. 中国给水排水, 2006, 22(18): 100~103
- 7 张克强, 张洪生, 霍贞, 等. 都市再生水灌溉绿地水质控制标准的制定研究. 北京林业大学学报, 2006, 28(S1): 100~106
- 8 周律, 邢丽贞, 段艳薄, 等. 再生水回用于景观水体的水质要求探讨. 给水排水, 2007, 33(4): 38~42
- 9 张楠, 季民, 张志强, 等. 灌溉绿地再生水余氯上限的研究. 中国草地学报, 2006, 28(1): 75~77
- 10 何星海, 马世豪. 再生水利用的病原微生物浓度限值探讨. 环境科学, 2006, 27(7): 1402~1405

& 通讯处: 100124 北京市朝阳区高碑店村甲1号 张静慧

电话: (010) 51352874

E-mail: jhzhang106@sohu.com

收稿日期: 2010-09-06

修回日期: 2010-12-03