

污水再生工艺去除病原体效果的评价

仇付国¹, 王晓昌²

(1. 北京建筑工程学院 城市建设系, 北京 100044; 2. 西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 为考察常用城市污水再生回用工艺去除病毒的效果, 采用柯萨奇 B3 型病毒(Cox B3)作为肠道病毒示踪剂进行试验。首先向污水厂二级处理出水中人工投加已知浓度的病毒, 然后分别采用混凝/沉淀/过滤、超滤、氯消毒和臭氧消毒对其进行处理, 并分析处理前后病毒的组织培养半数感染剂量(TCID₅₀)。结果表明, 混凝/沉淀/过滤对大肠菌的去除率为 2 - lg ~ 3 - lg, 对柯萨奇病毒的去除率约为 1.83 - lg; 氯消毒和臭氧消毒可以有效杀灭大肠菌, 在消毒剂浓度为 1 ~ 10 mg/L、余氯浓度为 1 ~ 6 mg/L、pH 为 6 ~ 7 的条件下, 氯消毒对柯萨奇病毒的去除效果不佳, 臭氧消毒对柯萨奇病毒的去除率则随臭氧浓度的不同而在 1.33 - lg ~ 3.83 - lg 变化; 超滤可有效去除大肠菌, 对柯萨奇病毒的去除率为 2.33 - lg。

关键词: 再生回用; 病毒示踪剂; 柯萨奇病毒; 病原体

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000 - 4602(2005)07 - 0052 - 03

Assessment on Wastewater Reclamation and Reuse Process for Pathogen Removal

QIU Fu-guo¹, WANG Xiao-chang²

(1. Dept. of Urban Construction, Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 2. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: Coxsackie B3 (CoxB3) was used as enteric virus tracer to assess the effect of urban wastewater reclamation and reuse technology on virus removal. Firstly, the virus with known concentration was added to the secondary effluent from wastewater treatment plant, and then coagulation/sedimentation/filtration, ultrafiltration, chlorine disinfection, and ozone disinfection were used to treat the effluent. Virus assay was carried out by the Tissue Culture Infectious Dose (TCID₅₀) technology before and after the treatment. The result shows that the removal rate of coagulation/sedimentation/filtration for coliform bacteria is 2-lg - 3-lg and for CoxB3 is 1.83-lg; both chlorine and ozone disinfection can effectively kill the coliform bacteria. Under the conditions of chlorine dosage 1 - 10 mg/L, residual chlorine 1 - 6 mg/L, and pH 6 - 7, the chlorine disinfection has little removal effect for CoxB3, and ozone disinfection has removal rate for CoxB3 varying from 1.33-lg to 3.83-lg dependent on the ozone concentration. Ultrafiltration can remove effectively the coliform bacteria and the removal rate for CoxB3 is 2.33-lg.

Key words: reclamation and reuse; virological tracer; Coxsackie B3; pathogen

城市污水中含有大量的病原微生物,首要的传染性微生物大体分为三类:细菌、寄生虫和病毒,其中病毒主要是肠病毒(如脊髓灰质炎病毒、柯萨奇病毒)和轮状病毒及肝炎病毒等。目前,回用水标准还不是很完善,世界各国根据不同回用用途所制定的微生物指标也不尽相同,并且大多只对总大肠菌和粪大肠菌做了规定,对于病毒和寄生虫(隐孢子虫、贾第虫)则规定较少。由于病毒和大肠菌对不同处理工艺和化学消毒的耐受性不同,所以再生水大肠菌指标符合标准尚不能作为再生水水质安全达标的依据。

污水中病毒的检验需要特殊的材料、设备和技术,只有在十分需要的情况(如城市污水再生回用作城市给水)才把病毒作为常规检验指标,但对每一种病毒都进行检测是很困难的也是不现实的,不过可以用其中的一种或几种作为病毒示踪剂,对处理工艺的去除效果进行评价。由于病毒颗粒微小(直径约 20 ~ 100 nm),污水中各种溶解的和悬浮的杂质会干扰病毒的浓聚和分析,因此研究从污水中浓聚病毒的方法也是十分必要的。

常用的污水再生回用工艺有混凝/沉淀/过滤、消毒(氯消毒、臭氧消毒等)、膜处理等,为考察这几种工艺对污水中致病微生物的去除效果,采用柯萨奇 B3 型病毒(CoxB3)作为病毒示踪剂进行试验。

1 材料与方 法

1.1 材料和设备

柯萨奇 B3 病毒从中国疾病预防控制中心购得,Hep-2 细胞由中国人民解放军第四军医大学病毒室提供。病毒吸附滤膜为醋酸硝酸纤维混合膜,孔径为 0.22 μm 和 0.45 μm。抽滤装置一套,滤膜支撑器直径为 Ø47 mm,真空泵抽吸压力为 0.6 MPa。

1.2 水样

水样为西安市北石桥污水净化中心未经消毒处理的二级出水:pH 为 7.5 ~ 7.8,浊度为 4 ~ 20 NTU, COD 为 10 ~ 40 mg/L, BOD₅ 为 6.0 ~ 12.0 mg/L,总大肠菌为 (0.18 ~ 9.6) × 10⁷ 个/L,粪大肠菌为 (0.23 ~ 9.6) × 10⁶ 个/L。

1.3 试剂

1 mol/L 的 HCl 和 NaOH 溶液;1 mol/L 的 MgCl₂ 溶液;病毒洗脱液(3%):溶解 60 g 牛肉萃粉

和 7.5 g 甘氨酸于 2 L 蒸馏水中,用 1 mol/L 的 NaOH 调节 pH 至 9.0,然后以蒸气高压灭菌。

1.4 病毒浓聚提取和分析程序

将柯萨奇 B3 病毒培养液加入到经高温灭菌的二级处理出水中,采用不同方法处理后测定处理前后的组织培养半数感染剂量(TCID₅₀)值。病毒的浓缩提取采用微孔滤膜吸附洗脱法,病毒的吸附洗脱提取过程如图 1 所示。

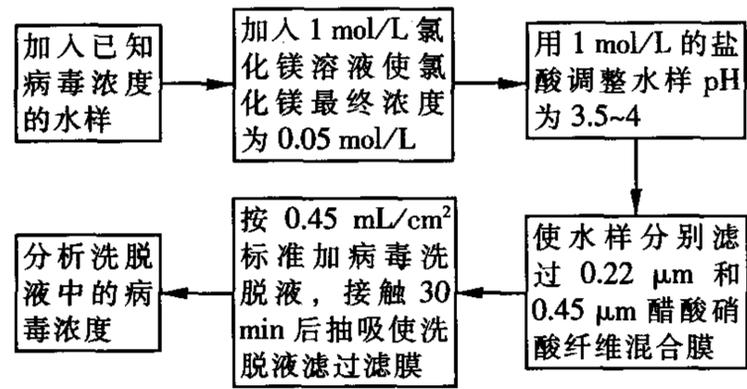


图 1 病毒的吸附洗脱提取流程

Fig. 1 The recovery processes of Coxsackie B3 virus from wastewater

TCID₅₀测定所用细胞为 Hep-2 细胞,其值采用 Reed - Muench 法计算。对加入到水样中的柯萨奇病毒培养液进行 TCID₅₀ 试验,得 TCID₅₀ 为 -5.33,即病毒作 10^{-5.33} 稀释后每 0.1 mL 含 1 个 TCID₅₀,亦即该病毒之效价为 10^{-5.33}/0.1 mL 或 CoxB3 病毒的浓度为 10^{5.33} TCID₅₀/0.1 mL。

2 结果与讨论

2.1 病毒回收率试验

为考察病毒回收方法的可行性,首先进行了病毒回收率试验,结果(见表 1)显示采用前文所述方法提取回收柯萨奇病毒是可行的。

表 1 病毒回收试验结果

Tab. 1 The recovery results of Coxsackie B3 virus from wastewater

项目	病毒培养液浓度/(10TCID ₅₀ · mL ⁻¹)	水样体积/mL	加入病毒培养液体积/mL	水样中病毒浓度/(TCID ₅₀ · L ⁻¹)	提取后洗脱液体积/mL	提取液浓度/(10TCID ₅₀ · mL ⁻¹)	回收率/%
数值	10 ^{5.33}	500	3	1.28 × 10 ⁷	6	0.5 × 10 ^{5.33}	100
		300	3	2.14 × 10 ⁷	6		100
		200	3	3.21 × 10 ⁷	6		100

2.2 大肠菌试验

混凝/沉淀/过滤处理采用杯罐试验:向水样中投加 PAC 50 mg/L,搅拌、沉淀后用定性滤纸过滤(原水浊度从 6.3 NTU 降为 0.5 NTU)。氯消毒采

用次氯酸钠,投加量分别为 3、4.5、6 mg/L(按 Cl_2 计),在 $\text{pH} = 7.5$ 条件下接触 20 min 后测得水样中余氯量分别为 0.5、1.8、3.0 mg/L。臭氧消毒:将高压放电产生的臭氧直接通入水样中,控制进气量使水样中的臭氧浓度分别为 0.82 mg/L 和 1.0 mg/L,于 pH 为 7.5 下接触反应 15 min。试验结果如表 2、3 所示,可见臭氧消毒和氯消毒都能很好地杀灭病原菌。

表 2 常规处理、超滤和臭氧消毒的灭菌效果

Tab.2 The coliform removal efficiency by coagulation-filtration, ultrafiltration and ozonation $\text{CFU} \cdot \text{L}^{-1}$

项 目		总大肠菌	粪大肠菌
水样		1.7×10^7	1.6×10^6
混凝/沉淀/过滤出水		1.1×10^4	6×10^3
超滤出水		<3	<3
臭氧消毒	O_3 浓度:0.82 mg/L	95	0
	O_3 浓度:1.0 mg/L	11	0

表 3 氯消毒效果

Tab.3 The coliform removal efficiency by chlorination

项目	投量/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	余氯/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	总大肠菌/ ($\text{个} \cdot \text{L}^{-1}$)	粪大肠菌/ ($\text{个} \cdot \text{L}^{-1}$)
数值	0	0	7.9×10^6	1.3×10^6
	3	0.5	2.2×10^3	540
	4.5	1.8	0	0
	6	3.0	0	0

2.3 去除病毒的效果比较

2.3.1 常规工艺

向 500 mL 经高压蒸气灭菌的二级处理出水中加入 CoxB3 病毒培养液 10 mL,加聚合氯化铝(PAC)50 mg/L 后于 $\text{pH} = 7.5$ 、 $T = 20^\circ\text{C}$ 下进行杯罐试验,然后用定性滤纸过滤(原水浊度从 6.3 NTU 降为 0.61 NTU)。结果表明,处理前水样中的病毒浓度为 4.28×10^7 $\text{TCID}_{50}/\text{L}$,处理后为 6.32×10^5 $\text{TCID}_{50}/\text{L}$,去除率为 $1.83 - \lg$ 。

2.3.2 氯消毒

氯消毒是目前常用的消毒方法,可以有效杀灭大肠菌和致病菌,但对病毒的去除效果却报道不一,Sobsey 等的研究表明,在余氯为 0.5 mg/L、接触时间为 6.5 min 的条件下可以杀灭 99.99% 的甲肝病毒;Bechac 等报道,在余氯为 6.6 mg/L、接触时间为

15 min 时只有 50% 的脊髓灰质炎病毒被灭活。在 200 mL 水样中加入病毒培养液 6 mL,对柯萨奇病毒进行了两次氯消毒试验(接触时间 = 20 min, $T = 20^\circ\text{C}$)。由于第一次消毒效果不好,所以第二次调低了 pH 值并加大了次氯酸钠投加量,但效果仍不明显。

2.3.3 臭氧消毒

向 300 mL 水样中加入病毒培养液 3 mL,然后直接通入高压放电产生的臭氧,反应条件:接触时间为 15 min, $\text{pH} = 7.5$, $T = 20^\circ\text{C}$,控制臭氧流量使水中残余臭氧浓度分别为 0.11、0.52、1.05、2.10 mg/L。结果表明,对柯萨奇病毒的灭活率为 $1.33 - \lg \sim 3.83 - \lg$,效果较好。

2.3.4 超滤

向 100 mL 水样中加入 4 mL 病毒培养液,用截留分子质量为 30 ku 的聚醚砜平板超滤膜过滤水样,提取过滤后水样中的病毒,检测结果显示:处理前水样中病毒浓度为 8.5×10^7 $\text{TCID}_{50}/\text{L}$,处理后为 4×10^5 $\text{TCID}_{50}/\text{L}$,去除率为 $2.33 - \lg$ 。

3 结论

① 回用水中大肠菌符合标准,但不能作为病毒、寄生虫已经去除的依据。

② 氯消毒和臭氧消毒均可以有效杀灭病原菌,但氯消毒对柯萨奇病毒的去除效果不佳,臭氧消毒对柯萨奇病毒的去除率则随臭氧浓度的不同而变化。

③ 常规工艺对柯萨奇病毒的去除率约为 $1.83 - \lg$,超滤对柯萨奇病毒的去除率约为 $2.33 - \lg$ 。利用加入病毒示踪剂的方法可以有效评价各种处理工艺对病原体的去除效果。

参考文献:

- [1] David W York, Lauren Walker-Coleman. Pathogen standards for reclaimed water [J]. Water Environment and Technology, 2000, 12(1): 58 - 61.

电话:(010)68325839

E-mail: qiu fg@eyou.com qiu - fg@163.com

收稿日期:2005 - 02 - 03

实施科技节水是深化城市节水的重要途径