

## 贾第鞭毛虫病及其水媒传播控制

李青松<sup>1</sup>, 高乃云<sup>1</sup>, 陈国光<sup>2</sup>, 蒋增辉<sup>2</sup>, 乐林生<sup>3</sup>, 吴今明<sup>4</sup>

(1 同济大学 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092 2 上海市供水调度监测中心, 上海 200002 3 上海市自来水市北有限公司, 上海 200086 4 上海市水务局, 上海 200003)

**摘要:** 介绍了水中贾第鞭毛虫的检测方法和相应的水质指标。概述了各种消毒剂对贾第鞭毛虫的灭活效果及国外去除水中贾第鞭毛虫的方法, 并提出了预测、减少和控制贾第鞭毛虫病暴发的基本对策。

**关键词:** 贾第鞭毛虫; 水媒疾病; 检测方法; 水质指标

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2007)02-0005-04

## Giardiasis and Its Water-borne Transmission Control

LI Qing-song<sup>1</sup>, GAO Na-ryun<sup>1</sup>, CHEN Guo-guang<sup>2</sup>, JIANG Zeng-hui<sup>2</sup>,  
LE Lin-sheng<sup>3</sup>, WU Jin-ming<sup>4</sup>

(1 State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092 China; 2 Shanghai Municipal Water Supply Dispatching and Monitoring Center, Shanghai 200002 China; 3 Shanghai Waterworks Shibe Co. Ltd., Shanghai 200086 China; 4 Shanghai Water Authority, Shanghai 200003 China)

**Abstract** The *Giardia Lamblia* determination method in water and related water quality indexes were introduced. The inactivation effect of *Giardia Lamblia* by different disinfectants and its removal technologies from water at abroad were described, and the primary countermeasures to forecast, reduce and prevent the occurrence of *Giardia Lamblia* were proposed.

**Key words** *Giardia Lamblia*; water-borne disease; determination method; water quality indexes

贾第虫病是一种由贾第鞭毛虫 (*Giardia Lamblia*) 引起的水媒传播疾病, 国外对其发生、症状、影响以及贾第鞭毛虫的采集、检测、去除工艺已进行了深入研究, 而国内对饮用水中贾第鞭毛虫的相关研究较少。

### 1 检测方法

1984 年美国给水行业最先开始检测贾第鞭毛虫和隐孢子虫, 采用了硫酸锌—罗果氏碘法<sup>[1]</sup>。目

前比较先进的分析检测手段包括 ICR 方法 (Information Collection Rule)、EPA 1623 方法<sup>[2]</sup>、聚合酶链反应 (Polymerase Chain Reaction, PCR)、反转录 PCR (RT-PCR)、嵌套 PCR (nested PCR)、荧光杂交 (Fluorescent in situ Hybridisation, FISH)、流式细胞技术等, 还有不少研究中用沙鼠进行动物感染性试验来检测贾第鞭毛虫孢囊, 此法能较好地反映水中贾第鞭毛虫孢囊的感染性。

美国 2001 年公布了 EPA 1623 方法作为测定贾第鞭毛虫孢囊的标准方法。EPA 1623 法主要包括 3 个步骤:

① 抽滤。用 Pall Gelman 滤囊对一定体积的水样进行过滤后,在摇臂振荡器上用配制的淘洗液对滤囊进行淘洗,并对淘洗后的液体进行离心浓缩。

② 免疫磁分离。将水样离心浓缩后的液体再悬浮后转移到加有 SL- 缓冲液的侧平试管,加 100  $\mu\text{L}$  再悬浮后的 Dynabeads Giardia-Combo 试剂至同一侧平试管中涡旋混合 1 h 后进行磁粒浓缩捕获孢囊,然后使孢囊与磁粒解离,并将解离后的样品转移到装有 NaOH 溶液的井形玻片中(标准方法中同时加入 Dynabeads Crypto-Combo 试剂)。

③ 免疫荧光检验。在井形玻片内加入染色液和固定介质后盖上盖玻片进行镜检。用波长为 450 ~ 480 nm 及 330 ~ 385 nm 的荧光显微镜观察。贾第鞭毛虫孢囊呈椭圆形, (8 ~ 12)  $\mu\text{m} \times$  (7 ~ 10)  $\mu\text{m}$ , 孢囊壁会发出苹果绿的荧光,囊壁清晰。

参照美国的 EPA 1623 方法,我国正在制定中的《饮用水中肠贾第鞭毛虫和隐孢子虫卫生标准》也采用了磁分离荧光抗体检测法作为贾第鞭毛虫的标准检测方法。

目前检测贾第鞭毛虫孢囊的方法均为半定量的方法,都有一定的缺陷。如 EPA 1623 法难以反映被检测孢囊的活性与感染性。EPA 1623 法和动物感染性试验都需要有经验的分析人员,分析时间较长、方法成本昂贵、试验条件要求比较高,并且缺乏针对性,精度不高。

## 2 贾第鞭毛虫的去除与灭活方法

自从发现贾第虫病以来,许多水处理专家都致力于通过改进常规水处理工艺和应用新技术来提高对贾第鞭毛虫的去除率。常规的水处理工艺及氯消毒方法能够去除大量的无机物、有机物和微生物,但通常无法影响孢囊的活性;由于其体型较小,常规的混凝沉淀和滤池过滤无法对其进行有效去除。宗祖胜等<sup>[3]</sup>利用免疫荧光分析技术对南方某市饮用水源水、自来水厂出水及污水处理厂进、出水中贾第鞭毛虫和隐孢子虫(两虫)的污染状况进行了调查,并就自来水厂常规处理工艺对两虫的去除特性进行了研究。结果显示:该市饮用水源水中的两虫密度分别为 2 ~ 120 个/100 L 和 0 ~ 24 个/100 L,自来水厂出水中两虫密度分别为 0 ~ 12 个/1 000 L 和 0 ~ 8

个/1 000 L,在运行状态良好的情况下,混凝沉淀对两虫的去除率分别为 86% 和 90%,过滤对其去除率分别高达 97% 和 91%,但这依然达不到美国所要求的贾第鞭毛虫去除率 > 99.9% 的标准。经调查上海市区主要自来水源水中贾第鞭毛虫的密度为 0 ~ 24 个/10 L,在出厂水中均未检出<sup>[4]</sup>,表明现有的传统工艺对贾第鞭毛虫的去除还是比较有效的。

研究表明臭氧、二氧化氯、紫外线(UV)和过滤等对贾第鞭毛虫有较好的灭活和去除效果。

### 2.1 氯消毒

贾第鞭毛虫对氯消毒具有较强的抵抗性,传统的氯化消毒对贾第鞭毛虫的灭活效果不佳。在余氯浓度较高(2 ~ 3 mg/L)时需要较长的接触时间才能达到 3- $\lg$  的灭活率。

根据动物感染性试验,Clark 等<sup>[5]</sup>基于一级反应动力学提出了贾第鞭毛虫灭活中描述 CT 值与浓度、pH、温度之间关系的数学模型:

$$CT = 0.9847 C^{0.1758} \text{pH}^{2.7519} T^{-0.1467} \quad (1)$$

式中 C——消毒剂残余浓度

T——反应温度,℃

### 2.2 臭氧消毒

臭氧是有效的饮用水消毒剂。当 CT 值很小时,臭氧对贾第鞭毛虫基本上没有灭活效果,而当 CT 值达到一定值时,贾第鞭毛虫的存活率随 CT 值的增加而直线下降。Bing-Mu Hsu 等<sup>[6]</sup>的中试研究表明,预臭氧氧化可以有效破坏卵囊的结构,改变贾第鞭毛虫卵囊的表面性质,使其易于被混凝中形成的絮体包裹而得以去除。当贾第鞭毛虫孢囊浓度为 (114 ± 40) 个/ $\text{m}^3$  时,经 0.3 ~ 3.5 mg/L 的臭氧处理后出水中未检出贾第鞭毛虫孢囊。

### 2.3 紫外线消毒

紫外线也能有效灭活贾第鞭毛虫。Andrew 等<sup>[7]</sup>研究了紫外线对贾第鞭毛虫孢囊的灭活效果。结果表明:紫外线在 254 nm 时对贾第鞭毛虫孢囊有明显的灭活效果,照射剂量为 10  $\text{mJ}/\text{cm}^2$  (9.3 ~ 11.7  $\text{mJ}/\text{cm}^2$ ) 左右时灭活率达到 2- $\lg$  照射剂量在 20 ~ 40  $\text{mJ}/\text{cm}^2$  时灭活率可达 3- $\lg$  此外,还可用  $\text{TiO}_2$  来增强紫外线的灭活效果,Jong Ho Lee 等<sup>[8]</sup>将粒径为 20 ~ 30 nm 的  $\text{TiO}_2$  胶质溶液涂在紫外灯外部(厚度为 200 nm)做成 UV/ $\text{TiO}_2$  光反应器,研究表明:与未加  $\text{TiO}_2$  相比,UV/ $\text{TiO}_2$  光反应器增加了对贾第鞭毛虫的灭活速率;对 pH 值较低的溶液

反应初期有较高的灭活速率,对 pH 值较高的溶液反应后期有较高的灭活速率;反应时通入  $O_2$  可以提高对贾第鞭毛虫的灭活速率。

由于使用 UV 灭活贾第鞭毛虫时不会产生副作用,因而 UV 是颇具前途的灭活贾第鞭毛虫的方法。

#### 2.4 二氧化氯消毒

二氧化氯是一种控制贾第鞭毛虫孢囊的有效消毒剂。当 pH 值为 6~9 时,欲达到 1- $lg$  的灭活率,CT 值需达 5 (mg·m in)/L (20℃)~21 (mg·m in)/L (0.5℃);欲达到 3- $lg$  的灭活率,CT 值需达 19 (mg·m in)/L (15℃)~63 (mg·m in)/L (0.5℃)<sup>[9]</sup>。Jadwiga 等<sup>[10]</sup>的研究发现用浓度为 1 mg/L 的二氧化氯接触 1 min 后对贾第鞭毛虫孢囊的灭活率为 60%,增加接触时间、提高二氧化氯的浓度有助于提高对贾第鞭毛虫孢囊的灭活率。

#### 2.5 过滤

过滤是去除贾第鞭毛虫孢囊的最有效方法。微滤与纳滤膜的孔径比贾第鞭毛虫小一个数量级,因而可以有效地拦截贾第鞭毛虫孢囊。一般认为,只要微滤和超滤系统完好无损且操作正确,则它们能完全去除贾第鞭毛虫孢囊。近来的研究表明,微滤和超滤对贾第鞭毛虫孢囊的去除率可达 (4~6)- $lg$ <sup>[11]</sup>。

粒状活性炭过滤对贾第鞭毛虫孢囊的去除效果较好,Karanis 等<sup>[12]</sup>的研究表明,在粒状活性炭滤池出水中贾第鞭毛虫孢囊的检出次数和数量均比隐孢子虫卵囊少,后者比前者更易于穿透活性炭滤池。States 等<sup>[13]</sup>的研究结果表明,膜过滤出水水质可达到或优于美国目前的法规要求。在正常运行时,膜过滤对贾第鞭毛虫孢囊的去除率 > 6- $lg$  即使进水水质发生变化,出水中致病原生动物的数量也都在检出限以下。

#### 3 水质标准中的贾第鞭毛虫指标

水质标准中的贾第鞭毛虫 (*Giardia Lamblia*) 孢囊指标是衡量水质是否安全的一个重要指标。WHO 认为控制微生物污染是极其重要的,因为致病微生物危害极大,它能够在同一时间使大量的饮用者染病。与化学污染不同,致病微生物造成的发病频率与其感染能力、毒性和人的个体免疫力密切相关;感染一旦发生,致病微生物就可以借助宿主迅速繁殖,因此对于致病微生物不存在“容忍下限”(tolerable lower limit),也就是说饮用水中不允许有任何

致病微生物存在。

在贾第鞭毛虫等微生物指标项目和指标值方面,我国的水质标准与国际三大水质标准相比有较大的差距。在《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)中才对贾第鞭毛虫、隐孢子虫规定了推荐性指标。

蒋增辉等<sup>[4]</sup>对上海市区主要水厂出水水质的调查表明,出厂水浊度普遍小于 0.20 NTU,且未检测出一例贾第鞭毛虫孢囊或隐孢子虫卵囊,虽然此结果与原水中孢囊和卵囊数量较低有直接关系,但也说明控制浊度是减少或消除两虫的有力手段。

为了把主要微生物的风险降到每年万分之一,美国《加强地表水处理规则》(ESWTR)及《加强地表水处理规则暂行条例》(IESWTR)规定水中贾第鞭毛虫 < 0.000 9 个/100 L,同时要求出厂水浊度 < 0.3 NTU 的几率 ≥ 95%<sup>[14]</sup>。美国地表水处理规则 (2002-01-01 实施)要求采用地表水或受地表水直接影响的地下水的给水系统对隐孢子虫、贾第鞭毛虫必须有 99% 以上的去除率或灭活率。1988 年英国公布要求饮用水中贾第鞭毛虫及隐孢子虫 < 1 个/10 L。目前这两项指标已被列入《上海自来水 2010 年水质目标》和 2005 年 6 月颁布的《城市供水水质标准》中。

#### 4 建议与探讨

##### 4.1 检测方法

目前国内仅澳门自来水公司、中山医科大学、深圳自来水公司、上海供水调度监测中心等单位掌握了 EPA 1623 标准检测方法。因此,应加强对检测方法的研究与改进,减少试验过程中孢囊的丢失,提高回收率,减少试验时间,提高效率,遇到紧急事故时应在几分钟或几小时内完成检测。检测结果应能反映出贾第鞭毛虫卵囊的感染性与活性。为了防止贾第虫病的暴发,应建立完善、可靠的监控体系。

##### 4.2 饮水安全

目前国内尚未开展大规模的贾第鞭毛虫等致病原生动物的调查,因此对饮用水中的贾第鞭毛虫的安全性还很难进行客观评价。应尽快完善贾第鞭毛虫的分析检测手段并尽早开展源水和出厂水中的分布调查。

控制贾第鞭毛虫首先要保证出厂水达标。此外还要采取措施切实保护好水源水。

以臭氧化 + 生物活性炭技术为主导的城市水厂

深度净化工艺是去除病原微生物的有效途径, 由于投资大、技术难度高, 现有水厂的深度净化工艺改造只能逐步推进。为此在加快臭氧化生物活性炭技术改造的同时, 还要充分挖掘现有设备和构筑物的潜力, 采取有效的技术措施强化常规净化工艺。

#### 4.3 供水中贾第鞭毛虫风险的间接判断

建议定期(每月或每季度)检测原水和出厂水中贾第鞭毛虫孢囊的含量并对饮用水进行风险评估。美国、英国、日本等国已对风险评估作了较多研究并制订了相应标准。由于贾第鞭毛虫的测定较困难, 因此应研究替代性指标, 经模型试验及生产验证, 相对较好的替代性指标为: 滤后水浊度  $< 0.1$  NTU 的几率  $\geq 95\%$ ; 粒径  $> 2 \mu\text{m}$  的颗粒数  $< 50$  个 /  $\text{mL}$ ; 厌氧菌孢子  $< 2$  个 /  $100 \text{ L}$ 。

新的《城市供水水质标准》已于 2005 年 6 月 1 日实施, 目前我国大多数自来水厂还不能实施采用美国的贾第鞭毛虫检测方法, 因此研究浊度、颗粒物等指标与贾第鞭毛虫的相互关系, 以找出替代性指标与指示生物正成为水处理领域的一个研究方向。

#### 参考文献:

- [1] Mark W L, William D N. *Giardia* and *cryptosporidium* in raw and finished water[J]. JAWWA, 1995, 87(9): 54-61.
- [2] EPA-821-R-01-025, Method 1623 *Cryptosporidium* and *Giardia* in Water by Filtration/MS/FA[S].
- [3] 宗祖胜, 胡洪营, 卢益新, 等. 某市贾第鞭毛虫和隐孢子虫污染现状[J]. 中国给水排水, 2005, 21(5): 44-46.
- [4] 蒋增辉, 洪华成, 孟明群, 等. 水中肠贾第氏鞭毛虫孢囊和隐孢子虫卵囊的检测[J]. 净水技术, 2004, 23(5): 37-41.

- [5] Clark R M, Read E J H off J C. Analysis of inactivation of *Giardia Lamblia* by chlorine[J]. J Environ Eng 1989 115(1): 80-90.
- [6] Hsu B M, Yeh H H. Remove of *Giardia* and *Cryptosporidium* in drinking water treatment a pilot scale study[J]. Water Res 2003, 37(5): 1111-1117.
- [7] Andrew T C, Peter W. The effect of UV irradiation on human driven *Giardia lamblia* cysts[J]. Water Res 2002 36(4): 963-969.
- [8] Lee JH, Kang M, Choung S J *et al*. The preparation of  $\text{TiO}_2$  nanometer photocatalyst film by a hydrothermal method and its sterilization performance for *Giardia lamblia*[J]. Water Res 2004 38(3): 713-719.
- [9] White G C. Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants[M]. USA: John Wiley Sons Inc, 1999.
- [10] Jadwiga W K, Linder E. Cysticidal effect of chlorine dioxide on *Giardia intestinalis* cysts[J]. Acta Tropica 1998, 70 369-372.
- [11] Jacangeb J G, Rhodes T R, Watson M. Role of membrane technology in drinking water treatment in the United States[J]. Desalination 1997 113 119-127.
- [12] Karanis P, Schoenen D, Seitz H M. Distribution and removal of *Giardia* and *Cryptosporidium* in water supplies in Germany[J]. Water Sci Technol 1998, 37(2): 9-18.
- [13] Stanley S, Scheuring M, Evans R, *et al*. Membrane filtration as posttreatment[J]. JAWWA, 2000, 92(8): 59-68.
- [14] Pontius F W. Complying with future water regulations[J]. JAWWA, 1999 91(5): 48-58.

电话: (021) 65987446

E-mail: leetingsong@sina.com

收稿日期: 2006-05-05

#### • 工程信息 •

### 长春市南部污水处理厂工程

工程处理规模: 污水  $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  采用 A/A/O 处理工艺; 回用水  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  采用混凝/沉淀/过滤处理工艺。该工程为亚行贷款项目, 总投资约 4 亿元, 目前处于施工图设计阶段。业主单位: 长春市水务集团城市排水有限公司。设计单位: 中国市政工程华北设计研究院。

(本刊编辑部)