

饮用水中贾第鞭毛虫和隐孢子虫研究进展

崔福义, 左金龙, 赵志伟, 费霞丽

(哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 哈尔滨 150090 E-mail: mdjzjl@163.com)

摘 要: 近年世界各地频繁爆发的贾第鞭毛虫和隐孢子虫病已成为研究热点, 通过总结贾第鞭毛虫和隐孢子虫的危害和特点, 系统调查饮用水系统中的污染状况, 讨论贾第鞭毛虫和隐孢子虫的去除技术和参数, 提出中国现存问题及解决措施. 结果表明现阶段中国控制贾第鞭毛虫鞭毛虫和隐孢子虫污染必须将水源保护、强化常规工艺、加强水厂的运行管理结合起来.

关键词: 贾第鞭毛虫; 隐孢子虫; 去除技术; 饮用水

中图分类号: TU991.21

文献标识码: A

文章编号: 0367-6234(2006)09-1487-05

Review of Giardia and Cryptosporidium in drinking water

CUIFu-yi ZUO Jin-long ZHAO Zhi-wei FEIXia-li

(School of Municipal and Environmental Engineering Harbin Institute of Technology Harbin 150090 China
E-mail: mdjzjl@163.com)

Abstract: Research on outbreaks of Giardiasis and Cryptosporidiosis worldwide has becoming a fascinating area in recent years. The harm and characteristic of Giardia and Cryptosporidium were summarized and the pollution status in drinking water supplies was investigated systematically. And the removal technique and parameters on Giardia and Cryptosporidium were discussed. The existing problem and treatment process in China were described. then it can be concluded that water resource protecting, enhanced conventional process and strengthened operation and management of water works must be integrated to control the Giardia and Cryptosporidium pollution in China now.

Key words: Giardia, Cryptosporidium, removal technique, drinking water

近年来,在英美等国以饮用水为媒介引起的贾第鞭毛虫(Giardia)和隐孢子虫(Cryptosporidium)(以下简称两虫)疾病不断暴发流行,对饮用水安全构成了严重威胁,已经引起世界各国的关注^[1].我国目前的饮用水处理工艺及供水水质现状,存在贾第鞭毛虫和隐孢子虫病暴发流行的隐患.最新颁布的《城市供水水质标准》已将“两虫”做为控制指标,对其污染控制急需加强.

两虫是可通过饮用水传染而致病的两种水源性病原体,常规消毒剂对其消毒效果较差.受污染的饮用水系统是造成大规模的疾病暴发流行的原因.贾

第鞭毛虫以孢囊(Cyst)的形态存在于水中,大小约 8~12 μm 而隐孢子虫以卵囊(Oocyst)的形式存在于水中,大小为 4~6 μm 它们都是单细胞的寄生虫.贾第鞭毛虫致病剂量为 10~100 个活孢囊,而隐孢子虫致病剂量仅为 1~10 个活卵囊.

1 两虫的危害和致病特点

贾第鞭毛虫孢囊和隐孢子虫卵囊污染饮用水源引起疾病的普遍症状是腹泻、呕吐、腹痛、低烧等.贾第鞭毛虫每年感染人数约为 2.5 亿,隐孢子虫每年感染人数约有 2.5~5 亿,对免疫功能正常的人来说,症状一般为自限性的,几乎不导致死亡.但对于免疫功能缺陷者会危及生命,目前尚无特效治疗.可见两虫引起的疾病对人类的健康与安全危害较大.

收稿日期: 2005-06-02

基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目(2003AA601120)

作者简介: 崔福义(1958-),男,教授,博士生导师.

两虫的致病特点有: (1)两虫的个体非常微小,一般过滤方法很难将其捕获除掉; (2)两虫具有极强的抗氯性,常规氯消毒效果较差; (3)两虫病的传播剂量很小,隐孢子虫甚至一个足以致病; (4)孢囊和卵囊在水环境中存活期和潜伏期均较长,可通过污水排放等途径污染饮用水,存在水平较高,发病呈区域性。

2 两虫在饮用水系统中的存在水平

世界各地两虫在饮用水系统中的存在水平见表 1。从表 1 可以看出,欧美等国水源中两虫的检出率和含量较高,监测数据较为系统完整。从文献调研中发现,原水中两虫污染的主要原因是水源汇水区域内农牧场污水流入所致。例如 1993 年美

国密尔沃基爆发了大规模的隐孢子虫病,造成 40 万人发病。调查发现污染源是养牛牧场污水、屠宰废物中的隐孢子虫卵囊,随暴雨径流进入水源。我国至今还没有大规模爆发两虫疾病的报道,原因可能是我国的饮食习惯与国外不同,畜牧业及农牧场规模相对较小,对水源汇水区域影响较弱。我国曾进行贾第虫普查,全国性分布以农牧区最高,其中新疆牧民感染率最高^[2]。原因是牲畜活动带入贾第虫孢囊,污染涝坝水(低洼地积水)。而当地人普遍有喝生水习惯,以致感染率较高。

一些研究发现净水厂排泥水及反冲洗水中两虫的含量与原水中的含量密切相关^[3-4],与原水相比,两虫浓缩倍数可达 16~61 倍。因此水厂生产废水生物安全性备受重视。

表 1 世界各地饮用水系统中贾第鞭毛虫和隐孢子虫调查状况

地点	水源	寄生虫阳性样品数 / 总样品数 (检出率%)	贾第鞭毛虫		隐孢子虫		时间和参考文献
			阳性样品数 / 总样品数 (检出率%)	孢囊数	阳性样品数 / 总样品数 (检出率%)	孢囊数	
澳门	地表水		(0.1)	—	(1)	—	2001 范晓军 ^[5]
香港	Lan Tsuen 江	—	<10 个 /L	—	—	—	1998 Bella ^[6]
台湾	Kau-Ping 江	—	7/8 (87.5)	93—6 978	6/8 (75)	237—12 516	1999 Hsu ^[7]
	出厂水	—	(100)	12—57	(40)	35—159	
厦门	原水	—	—	3	—	1	2005 费霞丽 ^[4]
	滤池反洗水	—	—	—	—	5	
天津	引滦水源	—	—	—	—	0—60	2003 于凌琪 ^[8]
以色列	河流水	—	8/15 (53.3)	5—78	12/15 (80)	4—190	1997 Zuckerman ^[9]
	Kineret 湖	—	5/6 (83.3)	13.5—162	4/6 (66.6)	30—109	
新西兰全境内水源		—	(22.5)	375	(13)	100	1998 Inas ^[10]
法国	原水	—	—	—	—	12—270	2003 李训德 ^[11]
鲁昂	出厂水	—	—	—	—	3—6	
美国	1988—1993	—	(53.9)	—	(60.2)	—	1995 Chevalier ^[12]
	1997—1998	—	(4.62—10.43)	—	(13.6—31.25)	—	1998 Rose ^[13]
德国 6 座水厂	原水	80/105 (76.5)	67/105 (63.8)	88.2 (1314)	49/105 (46.7)	116 (1081)	1998 Karanis ^[14]
	出厂水	50/150 (33.3)	30/150 (20)	2.86 (19.2)	44/150 (29.3)	25.23 (66.6)	
	管网水	18/47 (38.3)	7/47 (14.9)	3.77 (16.8)	14/47 (29.8)	3.24 (20.8)	
日本	原水	—	3/26 (12)	0.08	9/26 (35)	1.2	2002 Hashimoto ^[15]
	滤后水	—	12/13 (92)	17	13/13 (100)	40	

注:—表示两虫未检出或无检测数据;孢囊数为 100 L 水样中最大值。

长期以来地下水被认为是较为清洁的饮用水源,但研究发现两虫在一些地下水存在水平较高,且污染与牲畜经常活动处的地面水径流有关。英国调查发现地下水两虫污染机率达 27%,水质

安全性无法保证,致病比例较高。美国对地下水中两虫的存在水平如表 2 所示,地下水也存在较高的两虫污染水平。

表 2 美国地下水源中贾第鞭毛虫和隐孢子虫的存在水平^[16]

项 目	病原虫存在阳性比例 /%					100 L 水样中 /个	
	深井	泉眼	渗渠	辐射井	平均	范 围	均 值
贾第鞭毛虫	1	14	25	36	6	0.1~120	8
隐孢子虫	5	20	50	45	11	0.2~525	19
贾第鞭毛虫和隐孢子虫	5	26	50	45	12	—	—

3 两虫的去除技术及参数

由于隐孢子虫比贾第鞭毛虫更微小、对消毒剂抵抗力更强、致病剂量更低,在相同条件下,如果隐孢子虫被去除,同时贾第鞭毛虫也会被完全去除.因此,许多研究都将隐孢子虫作为两虫的控制目标.通常两虫的去除率以对数形式来表示,即去除率为 90%,相应其对数去除率为 1.

3.1 加热温度

64.2℃以上处理 2 min,72.4℃以上处理 1 min可使隐孢子虫卵囊完全失活.因此饮用煮沸的开水是简单易行的预防感染措施.

3.2 水库预处理

意大利都灵将水引入水库进行预沉淀,每 100 L 进水贾第鞭毛虫胞囊和隐孢子虫卵囊含量的平均值分别为 137 个和 70 个,出水分别为 46 个和 7 个,对数去除率分别为 0.4 和 0.7.

3.3 澄清常规处理工艺

1) 混凝沉淀 选择合适的絮凝剂和最佳的絮凝条件很关键,通常沉淀对隐孢子虫卵囊对数去除率为 0.5~0.8. Dolejs 等^[17]认为寻找“最佳混凝剂量”和“最佳搅拌强度”有利于隐孢子虫的去除,可通过调节常规水处理的混凝条件来提高对数去除率.试验中还发现预臭氧化对隐孢子虫的去除有明显效果,尽管用于预臭氧化的臭氧剂量不足以杀死隐孢子虫,但臭氧能改变隐孢子虫卵囊的表面性质,使其易于被混凝中形成的絮体包裹而得以去除.因此设计和运行良好的混凝沉淀工艺,对数去除率可达到 1.5.

2) 气浮 French 认为^[18]气浮相对于沉淀去除隐孢子虫更为有效,在同样条件下,气浮对隐孢子虫的去除率比沉淀多一个数量级.在各种条件下气浮对数去除率>2 并且混凝剂的种类和投加量影响很大.投加 5 mg/L FeCl₃ 对数去除率为 3.7;投加 3 mg/L 时,对数去除率为 2.可见为获得较高的隐孢子虫对数去除率,需投加较大剂量混凝剂.

3) 过滤 工况良好的滤池是一个有效的屏障. Hashimoto 等^[19]指出日本水厂快滤池,两虫的对数去除率分别为 2.53 和 2.47. Nieminski^[19]发

现,如果处于最佳运行条件(滤后水浊度为 0.1~0.2 NTU 时),贾第鞭毛虫和隐孢子虫的对数去除率可达 3.3 和 2.9.直接过滤、GAC 过滤、砂滤、双层滤料过滤的效果大致相同.慢滤池对隐孢子虫的对数去除率可达 4.同时研究认为浊度与隐孢子虫的去除率具有较好的相关性,若滤后水浊度去除率增加 1,则隐孢子虫和贾第鞭毛虫对数去除率分别提高 0.89 和 0.66.控制滤后水浊度在 0.3 NTU 以下时,隐孢子虫对数去除率可以达到 3~4.

Logan 认为^[20],隐孢子虫在过滤过程中的去除机理不是筛滤作用,而是多种物化作用的综合.隐孢子虫卵囊表面带负电荷,将滤料挂上一层金属氧化物膜,使滤料 ξ 电位升高为正值,增强卵囊与滤料表面的静电作用,可提高对两虫的对数去除率.通过给渥太华砂 (pH=5~8 $\xi=-35\sim-55$ mV) 挂上一层水合氧化铝铁膜,砂表面电位由 -40 mV 升高到 45 mV.此时卵囊表面电位为 -25 mV,隐孢子虫卵囊对数去除率由 0.6 升高为 1.3.滤池可靠度也大为增加,即使在水质突然变化时,隐孢子虫也不能穿透滤层.

3.4 消毒剂

1) 消毒灭活 在饮用水消毒过程中,对微生物的灭活率取决于 CT,即消毒剂浓度与水和消毒剂接触时间的乘积.臭氧是目前唯一能够在正常剂量下有效灭活隐孢子虫的消毒剂.当臭氧 CT 为 5~10 mg $\cdot$ min/L 时,即投加量为 1 mg/L 接触 5~10 min 时,对卵囊的对数灭活率为 1. Facile 等^[21]认为低 pH 可导致更低的 CT, pH 在 6.3 时对数灭活率>2 效果优于 pH 在 8.2 时.但臭氧消毒要在较低 TOC 浓度下才能获得较好的灭活效果.

O₃ 和 CD₂ 灭活隐孢子虫有相似特点,当 CT 很小时,基本上没有灭活效果,而当 CT 达到一定值时,灭活率提高很快.当 O₃ 和 CD₂ 的 CT 分别达到 5 mg $\cdot$ min/L 和 100 mg $\cdot$ min/L 时,对数灭活率均可达到 1^[22].紫外线 (UV) 消毒无需向水中投加任何化学药剂,不产生消毒副产物,对于分散的小系统或二次消毒系统,具有经济、方便、安全等特点. Mofidi 等^[23]控制 UV 剂量为 7.5 mJ/cm² 和 11 mJ/cm² 时,隐孢子虫对数灭活率分别达

到 1 和 2 并且建立了剂量——反应关系.采用低压紫外灯小试对贾第鞭毛虫灭活,紫外线剂量为 $3\text{ mJ}/\text{cm}^2$ 时对数灭活率 > 2 . 试验表明贾第鞭毛虫对低压紫外灯敏感. Craik 等^[24]采用中压紫外灯处理加拿大的 Grand 河水,紫外线剂量为 $5\text{—}83\text{ mJ}/\text{cm}^2$ 时,贾第鞭毛虫对数灭活率为 $2\sim 3$

2) 联用消毒 消毒剂联用会出现协同效应,即将两种化学药剂依次应用比单一应用会达到更高去除率,如余氯 2.0 mg/L 接触 240 min 对数灭活率为 0.4 O_3 0.75 mg/L 接触 3.7 min 对数灭活率为 1.6 而联用后对数灭活率可提高为:臭氧/一氯胺 (1.8),二氧化氯/游离氯 (2.9),游离氯/氯胺 (0.6).可见联用消毒更有效.

3.5 膜法

超滤和微滤已证明对隐孢子卵囊有较高的对数去除率 (> 6),其去除的机理是卵囊被膜截留.采用膜过滤技术是去除两虫的有效方法.只要膜设备运行正常,即使进水水质发生变化,一般出水中致病原生动物的数量也都在检出限以下.微滤(孔径为 $0.25\text{ }\mu\text{m}$)和超滤(截留分子量为 $13\text{ }000$)能完全去除水中的隐孢子虫卵囊^[25].

3.6 工艺组合

Hsu 等^[26]在台湾南部进行中试试验,采用 3 种工艺考察对贾第鞭毛虫和隐孢子虫去除效率: (1)无预氧化的常规工艺 + GAC 滤池 (2)预 O_3 + 常规工艺 + O_3 - GAC (3)常规工艺 + 膜.每 100 L 进水中,贾第鞭毛虫和隐孢子虫密度分别为 11.4 ± 4.0 个和 56.1 ± 30.1 个,工艺 (1) (2)出水贾第鞭毛虫全部去除,隐孢子虫密度为每 100 L 含有 4.7 个,试验中发现预臭氧不能杀死隐孢子虫,但可有效破坏隐孢子虫和贾第鞭毛虫胞囊结构,使其易于被后续工艺去除.而后臭氧几乎没有作用.流程 (3)出水贾第鞭毛虫和隐孢子虫全部去除. Hsu 认为预臭氧和膜处理工艺去除两虫效果较好.

4 我国现存问题和解决措施

4.1 现存问题

1)在我国某些地区水中存在两虫,但至今尚未暴发大规模的两虫病.其中一个原因是我国居民有喝开水习惯,将水煮沸 1 min 即可灭活水中全部两虫,另一个原因是患者不知已患病,误以为是一般腹泻,尚未引起供水部门足够重视.还有可能是我国的畜牧业规模相对较小,对水源汇水区域影响较弱.

2)现在检测方法多采用 USEPA 1623 水中的两虫浓度比较低,必须进行复杂的浓缩、富集、

分离、鉴别过程.存在操作复杂、检测周期长、回收率低、不够敏感等问题.

3)我国目前没有建立对隐孢子虫病疫情检测和监控系统.因此,对饮用水系统中疫情预警和事件后的调研十分不利,甚至根本无法查清发病原因.

4)美国给水工程协会 (AWWA) 对其两家会员单位进行了水厂回用水中微生物浓缩问题的评估结果发现,废水回用导致水厂进水中原生动物含量大大增加,对出水水质构成了威胁.而我国许多水厂未对回用水安全性进行评估,存在隐患.

4.2 解决措施

1)结合我国的实际情况,建立全国水质监控系统,重点监控水源汇水区域内农牧场排放的污水,保护水源,对饮用水系统中两虫存在水平、疫情进行较为全面的研究和控制.

2)重视回用水的安全性.费霞丽^[4]等通过生产试验发现,回用一定含固率的滤池反洗水,对回用水进行混凝沉淀预处理,回用比例控制在 10% 以下,可大大降低回用水生物风险.美国要求生产废水在回用前必须进行处理,两虫对数去除率必须达到 $2(99\%)$ ^[27].这些措施均可确保回用水安全性.

3)现有常规工艺实用的控制办法是控制好出水浊度.日本厚生省要求滤后水小于 1 NTU 此时即使原水和回用水中含有两虫,其含量也较低.但滤池反冲洗结束后的过滤初始阶段,两虫去除率较低.排放初滤水,是降低两虫风险的关键工序.

5 结 论

1)两虫在饮用水中存在的根本原因是水源受到污染,特别是受到水源汇水区域内农牧场和屠宰场或养殖厂等排放污水污染.因此,必须通过法规加强水源的保护,根除污染源.

2)净水工艺的缺陷或运行管理不当,是两虫造成饮水者感染发病的直接原因.有的水处理工艺大多数处理情况良好,但在暴雨或降雨径流期出现高浊度,处理后浊度上升,卵囊泄漏.沉淀排水和滤池反冲洗水回用都存在两虫隐患.因此,应加强水厂的运行管理,保证滤后水浊度 $< 1\text{ NTU}$ 可降低风险.

3)常规水处理技术去除两虫效率不高,膜法对数去除率达 6 以上. O_3 与 CD_2 联用、紫外线辐射能有效灭活且对数去除率达 4 但膜技术和臭氧活性炭工艺,投资大、技术难度高,现有水厂改造只能逐步推进.因此常规净水工艺在较长一段时间内仍

将是水厂主导工艺, 强化常规工艺, 重点是强化混凝和过滤, 可避免管理上的疏漏。采取的措施有预臭氧化、寻找“最佳混凝剂量”和“最佳搅拌强度”、提高气浮工艺效率、改性滤料等。

4 加强宣传, 提倡居民保持喝开水的传统, 将水煮沸 1~3 min 后再饮用是简单有效的预防措施。

参考文献:

- [1] CRAUN G F, HUBBS S A, FROST F, et al. Waterborne outbreaks of Cryptosporidiosis [J]. JAWWA 1998 90(9): 81—91.
- [2] 则孝, 许隆祺, 余森海, 等. 中国贾第虫感染流行病学现状 [J]. 中国公共卫生, 1997 13(7): 407—408
- [3] AWWA. Background papers on potential recycle streams in drinking water treatment plant [M]. Washington: American Water Works Association, 1999.
- [4] 霞丽, 净水厂回用水优化回用的试验研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2005.
- [5] 范晓军, 陈佩堂, 陈成章. 澳门地区原水及海水中的病原虫调查 [J]. 中国给水排水, 2001, 17(11): 32—34.
- [6] BELLA S W, TAM T Y. Giardia and Cryptosporidium in sewage-contaminated river waters [J]. Wat Res 1998 32(9): 2860—2864.
- [7] HSU B M, HUANG C H, HSU L, et al. Occurrence of Giardia and Cryptosporidium in the Kau-Ping river and its watershed in southern Taiwan [J]. Wat Res 1999 33(11): 2701—2707.
- [8] 于凌琪, 刘洪亮, 冯利红, 等. 天津市引滦河水中隐孢子虫污染情况的调查 [J]. 中国卫生检验杂志, 2003 13(2): 211.
- [9] ZUCKERMAN U, GOLD S, HELEF G, et al. The presence of Giardia and Cryptosporidium in surface waters and effluents in Israel [J]. Wat Sci Tech 1997 35(12): 381—384.
- [10] DONAS G, LEARMONTH J J, KEYSE A, et al. Distribution of Giardia and Cryptosporidium in natural water systems in New Zealand—a nationwide survey [J]. Wat Res Tech 1998 38(12): 57—60.
- [11] 李训德. Brasseur 水体中隐孢子虫卵囊的检出及其活力分析 [J]. 应用与环境生物学报, 2003 9(1): 32—35.
- [12] CHEVALLIER L, MARK W, NORTON W D. Giardia and Cryptosporidium in raw and finished water [J]. JAWWA 1995 87(9): 54—68.
- [13] ROSE J B, ANDREW J. Occurrence and significance of Cryptosporidium in water [J]. JAWWA 1998 80(2): 53—58.
- [14] KARANIS R, SCHOENEN D, SEITZ H M. Distribution and removal of Giardia and Cryptosporidium in water supplies in Germany [J]. Wat Sci Tech 1998 37(2): 9—18.
- [15] Hashimoto Atsushi, Kunikane Shoichi, Hirata Tsuyoshi. Prevalence of Cryptosporidium oocysts and Giardia cysts in the drinking water supply in Japan [J]. Wat Res 2002 36(3): 519—526.
- [16] HANCOCK C M, ROSE J B, CALLAHAN M. Cryptosporidium and Giardia in US groundwater [J]. JAWWA 1998 90(3): 58—61.
- [17] DOLEJS R, DITRICH O, MACHULA T, et al. Occurrence and separation of Cryptosporidium oocyst in drinking water treatment [J]. Wat Sci Tech 2000 41(7): 159—163.
- [18] FRENCH K, GUEST R K, FINCH G R, et al. Correlating Cryptosporidium removal using dissolved air flotation in water treatment [J]. Wat Res 2000 34(16): 4116—4119.
- [19] NIEMINSKI E C, CALLAHAN M. Removing Giardia and Cryptosporidium by conventional treatment and direct filtration [J]. JAWWA 1995 87(9): 96—106.
- [20] LOGAN G, ANDREW J. Transport and fate of Cryptosporidium Parvum oocysts in emitters and filters [J]. Wat Res 2001 35(18): 4359—4369.
- [21] FACILE N, BARBEAU B, PREVOST M, et al. Evaluating bacterial aerobic spores as a surrogate for Giardia and Cryptosporidium inactivation by ozone [J]. Wat Res 2000 34(12): 3238—3246.
- [22] RENNECKER J L, CORONA V, VASQUEZ B, DRIEDGER A M, et al. Synergism in sequential disinfection of Cryptosporidium Parvum [J]. Wat Sci Tech 2000 41(7): 47—52.
- [23] MOFIDIA A, ROCHELLE P A, LEON R D, et al. Disinfection of Cryptosporidium Parvum with polychromatic UV light [J]. JAWWA 2001 93(6): 95—109.
- [24] CRAIK S A, FINCH G R, BOTTON J R, et al. Inactivation of Giardia muris cysts using medium-pressure ultraviolet radiation in filtered drinking water [J]. Wat Res 2000 34(18): 4325—4332.
- [25] HIRATA T, HASHIMOTO A. Experimental assessment of the efficiency of microfiltration and ultrafiltration for Cryptosporidium removal [J]. Wat Sci Tech 1998 38(12): 103—107.
- [26] HSU B M, YEH H H. Removal of Giardia and Cryptosporidium in drinking water treatment: a pilot-scale study [J]. Wat Res 2003 37(5): 1111—1117.
- [27] SERGIO Cocchia, KENNETH H C, FRED M. Use of total suspended solids in characterizing the impact of spent filter backwash recycling [J]. Environ Eng 2002 3: 220—227.

(编辑 姚向红)