

贾第虫与隐孢子虫与饮用水浑浊度的关系

李青松¹, 高乃云¹, 陈国光², 蒋增辉², 乐林生³, 吴今明⁴

(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: 针对潜在的病原微生物突发性水污染事故, 为寻找病原微生物预警替代性指标, 重点探讨浑浊度、颗粒计数与原水、过滤水中贾第鞭毛虫孢囊和隐孢子虫卵囊浓度、回收率、去除的关系, 认为浑浊度与颗粒计数可以作为水厂处理效果与饮用水受两虫污染的指示指标, 并结合水厂的实际情况提出相应的控制方法和建议, 指出暴雨时应特别注意两虫的爆发。

关键词: 贾第鞭毛虫; 隐孢子虫; 浑浊度; 颗粒计数; 回收率

中图分类号: TU 993.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0367-6234(2008)06-0985-04

Relationships between *Giardia* cysts, *Cryptosporidium* oocysts and turbidity in drinking water

LI Qing-song¹, GAO Nai-yun¹, CHEN Guo-guang², JIANG Zeng-hui², LE Lin-sheng³, WU Jin-ming⁴

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

Abstract To find out the substitute parameters for pathogenic microorganism warning aiming at potential pathogenic microorganism pollution accidents happened in water environment, the relationships between turbidity, particle counts and concentration, removal, recovery rate of *Giardia* cyst and *Cryptosporidium* oocyst in raw and filtered water are presented. It is believed that turbidity and particle counts can be used as indicators of drinking water treatment plant performance and can be used to monitor water quality when the drinking water is contaminated by *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts. Some proposals on protection of source water are put forth according to the practical production. It is suggested that we should pay attention to the outbreaks of *Giardiasis* and *Cryptosporidiosis* during heavy rainfall periods.

Key words *Giardia*; *Cryptosporidium*; turbidity; particle count; recovery

贾第虫 (*Giardia Lamblia*) 与隐孢子虫 (*Cryptosporidium Parvum*) (以下简称两虫) 是地表水中普遍存在的病原微生物^[1-2], 国外有不少关于两虫引起的饮用水爆发病的报道^[3], 绝大多数地表水和处理不良的自来水都可检出卵囊和孢囊, 目前两虫已成为给水水体中最被关注的病

原体之一。给水处理中检测两虫的含量及去除率是必要的, 但两虫的检测费用高且步骤繁琐、周期长。除了浑浊度和色度等可以简单测定的指标外, 饮用水其余的指标只能数月测定一次, 这就给平时的水质管理带来了极大的不便。因此, 需要寻找一种替代性指标, 大体上能反映处理过程中两虫含量的变化情况, 而且测定迅速、经济有效。通过它的变化可以迅速掌握处理过程中的变化, 从而及时采取相应措施。

本文综述了饮用水中浑浊度与两虫的关系, 通过了解浑浊度、颗粒的传播与途径及颗粒尺寸

收稿日期: 2005-08-08

基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目 (863-2002AA601130); 国家科技攻关计划重大资助项目 (2003BA808A17)。

作者简介: 李青松 (1979-), 男, 博士研究生;

高乃云 (1950-), 女, 教授, 博士生导师。

的评估有助于对饮用水中的病原微生物两虫进行定量和定性的了解。

1 两虫含量与浑浊度的关系

饮用水的浑浊度过高不仅会导致视觉上的不愉快,还意味着生物风险。国外两虫事故爆发时均发现了浑浊度异常升高的情况,这证明了浑浊度与两虫污染具有一定的相关性。浑浊度与两虫含量的研究表明现受两虫污染的饮用水与浑浊度呈明显的关系^[14]。

Milwaukee 市^[5,6]发生大规模隐孢子虫病期间急性胃肠道疾病的增加与饮用水浑浊度的增加有明显的关系。春季暴雨引起水厂原水浑浊度异常增加,8~9 d 后成年人(儿童为 7 d)诊断为胃肠道疾病人数达到了最多^[7],由于胃肠道疾病滞后时间与典型的隐孢子虫潜伏期相符,所以,可以断定胃肠道疾病是由隐孢子虫引起的,当时没有两虫含量的监测数据,无法对水中两虫含量与浑浊度的关系进行量化分析,但这间接说明大规模的隐孢子虫爆发事故与浑浊度有密切的关系。

Miao-Ru Huang 等^[8]对台湾 27 个水源的 41 个水样进行调查,发现贾第虫孢囊、隐孢子虫卵囊浓度与浑浊度呈正相关,贾第虫孢囊浓度 Y 与水样浑浊度 X 具有下列关系: $Y = 2.761 + 0.608X$ ($n = 27, r = 0.52, p = 0.0016, R^2 = 0.33$), 隐孢子虫卵囊浓度 Y 与水样浑浊度 X 具有下列关系: $Y = 0.656 + 1.061X$ ($n = 23, r = 0.63, p = 0.0029, R^2 = 0.75$)。Huang 等^[9]对台湾大型水厂原水调查分析表明贾第虫卵囊的含量与浑浊度有显著的关系 ($n = 24, R = -0.521, P = 0.009$)。LeChevallier 等^[14]人的研究也表明隐孢子虫卵囊的含量与浑浊度有明显的关系。但 Bing-Mu Hsu 等^[9]人对台湾地区的地表水调查表明贾第虫孢囊 ($n = 11, R = -0.323, P = 0.332$) 和隐孢子虫卵囊 ($n = 12, R = -0.286, P = 0.67$) 的含量与浑浊度没有明显关系。

研究者^[10]发现降水与高浓度的贾第虫孢囊和隐孢子虫卵囊有一定关系。暴雨时降水冲刷会带来大量的沉淀物、悬浮物等,降雨后地表径流冲刷也会带来大量的悬浮物从而导致水中卵囊含量的增加^[11]。据 A theholt 等^[10]人报道隐孢子虫病主要发生在地表径流较大的时候。对法国北部以雨水补给为主的 Meuse 河的调查表明:隐孢子虫卵囊的峰值浓度与浑浊度的峰值浓度相吻合(见图 1)。对美国的 Delaware 河的调查也有同样结论。

LeChevallier 等^[11]发现浑浊度(暴雨后通常升高)是原水受隐孢子虫卵囊污染的一种指示指标,两虫含量与浑浊度呈正相关,一般一个浑浊度高峰之后有一个两虫含量的高峰,研究表明原水浑浊度可以作为一种检测贾第虫孢囊与隐孢子虫卵囊简单、快速、可行(在线)的指示指标。

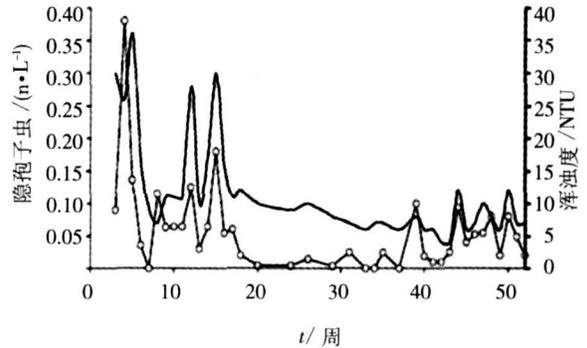


图 1 河流中隐孢子虫卵囊、浑浊度的变化

2 水中两虫含量与构成浑浊度的不同颗粒的关系

贾第虫孢囊的直径为 8~16 μm , 隐孢子虫卵囊的直径为 3~5 μm 。因此,可以在此粒径范围内进行颗粒分析对两虫进行研究,颗粒计数将比浑浊度监测更具有优势。

LeChevallier 等^[11]人对几个水厂的调查表明水中贾第虫孢囊与隐孢子虫卵囊的存在与滤后水中较高的颗粒计数有关(检测限为 5 μm)。Bing-Mu Hsu 等^[12]人进行了中试试验,研究 3 种不同大小的微粒(粒径分别为 3~5 μm , 5~8 μm 和 8~10 μm)与贾第虫孢囊和隐孢子虫卵囊浓度之间的关系,结果发现隐孢子虫卵囊与微粒粒径之间存在很好的相关性,但贾第虫孢囊与微粒粒径间未发现相关性,表明水体的浑浊度和相似粒径的微粒物存在可用于预测是否存在隐孢子虫卵囊。

由于两虫检测较困难,一些研究人员利用与两虫粒径类似的微粒替代两虫进行去除研究。

3 浑浊度对水中两虫去除的影响

形成浑浊度的微粒为两虫提供表面防护从而削弱消毒效果,悬浮固体提高了大多数微生物对消毒剂的抵抗能力。当过滤工艺去除浑浊度或颗粒效果不佳时会降低消毒过程对两虫的去除效果。

由于两虫含量与浑浊度存在一定的关系,饮用水处理中孢(卵)囊的过滤去除效果与浑浊度的降低密切相关。浑浊度较大时容易引起堵塞造成过度水头损失,进而降低过滤的效果。过滤过程

对微粒的去除效果降低将会导致孢(卵)囊泄漏到饮用水中。

LeChevallier等^[11]人对 3 个水厂的研究表明贾第虫孢囊的去除率 Y 与浑浊度的去除率 X 有以下的关系: $\lg Y = 0.892 \lg X + 0.694$ ($r = 0.780$), 隐孢子虫卵囊的去除率 Y 与浑浊度的去除率 X 有以下的关系: $\log Y = 0.886 \log X + 0.494$ ($r = 0.771$), 浑浊度每去除 1 log 贾第虫孢囊与隐孢子虫卵囊的去除可达到 0.89 log 贾第虫孢囊的去除率 Y 与大于 5 μm 的颗粒的去除率 X 有以下的关系 $\lg Y = 0.664(\lg X) + 0.717$ ($r = 0.879$), 隐孢子虫卵囊的去除率 Y 与大于 5 μm 的颗粒的去除率 X 有以下的关系: $\lg Y = 0.660 \lg X + 0.448$ ($r = 0.830$).

Falab i等^[13]人的研究也表明贾第虫孢囊与隐孢子虫卵囊的去除与浑浊度有显著的关系(贾第虫孢囊与浑浊度 $P = 0.01$; 隐孢子虫卵囊与浑浊度 $P = 0.05$), 但具体分析尚需要更多的数据。

这些研究表明浑浊度是评价两虫去除效果的一种常用指示指标。较低的浑浊度并不能确保水中不含有两虫, 但可以通过浑浊度来评估水厂工艺对两虫的去除效果, 从而保障人民的健康。

4 浑浊度对水中两虫测定结果影响

有机与无机残骸造成的浑浊度干扰贾第虫孢囊与隐孢子虫卵囊的浓缩、分离与鉴别。浑浊度增加时检测需要较少的水样, 但水样更难以进行过滤、处理、鉴别。

Donna等^[14]人的研究表明平均卵囊回收率与浑浊度或悬浮物浓度呈明显的负相关, 浑浊度大于 100 NTU 或悬浮物质量浓度大于 100 mg/L 时, 负相关尤为明显, 此时平均回收率低于 20%, 当水样浑浊度在 10~100 NTU 时, 回收率的范围较广, 为 8.6%~56%, 当浑浊度较低时(小于 10 NTU), 回收率为 17%~28%。Carol等^[15]人使用大容量滤囊过滤原水, 卵囊的回收率为 36%~73%, 孢囊的回收率为 0.5%~53%, 除了高浑浊度水样(99 NTU)的隐孢子虫卵囊的回收率为 36% 左右外, 其他水样卵囊的回收率均在 50% 以上, 水样浑浊度大于 20 NTU 时, 贾第虫孢囊的回收率急剧下降, 水样浑浊度为 99 NTU 时, 孢囊的回收率最低为 0.5%。Kuhn和 Oshin a^[16]对 19 个地表水样进行分析也得出了类似的结论, 当浑浊度大于 40 NTU 时, 回收率将降低, 但是没有发现卵囊回收率与中等浑浊度的关系。Borchardt等^[17]人研究发现当浑浊度在 1~45 NTU 时, 卵囊回收率并不随浑浊度而变化($r =$

0.2, $P = 0.52$), 100 个卵囊/L 的原水卵囊的回收率为 80%~106%。

Lechevallier等^[12]人用免疫荧光法检测两虫的研究表明浑浊度较高时贾第虫孢囊的平均回收率为 51.1% (范围为 36.7%~73.5%, $n = 5$), 隐孢子虫卵囊的平均回收率为 40.9% (范围为 34.5%~59.3%, $n = 5$), 高浑浊度水样的回收率与低浑浊度水样的回收率没有明显的差别。

孢(卵)囊在取样、离心、浓缩、镜检过程中均可能出现损失, 导致其回收率降低。水样中的残骸、其他有机物如藻类也影响孢(卵)囊的回收率。Lechevallier^[18]认为低浑浊度(< 1 NTU)水样孢(卵)囊的损失主要发生在离心分离时, 高浑浊度水样中的孢(卵)囊能附着在残骸上有助于减少离心、浓缩时孢(卵)囊的损失从而增加回收率, 但高浑浊度的水样会影响镜检。也有人认为回收率是一个与浑浊度无关的随机过程, 测定中检出变化是一个概率变化, 每个卵囊孢囊都可能被检出。但 Rose等^[2]人指出废水浑浊度较高时两虫的回收率较低, 因为在此条件下, 显微镜难以辨别。

5 结论与建议

5.1 结论

尽管水中两虫的含量与浑浊度、颗粒计数存在一定的关系, 国外也对浑浊度、颗粒分布与饮用水中两虫的关系进行了不少研究, 但迄今为止还没有发现浑浊度、颗粒分布等其他水质参数与两虫含量有统计上显著的关系。这一方面是因为现有两虫的检测方法如免疫荧光法等不是一种准确定量的测定方法, 不能进行准确的检测; 另一方面是积累的数据较少, 分析结果存在着诸多的偶然性, 因此, 研究结果有很大的差别。对于同一饮用水水源的水文条件是一定的, 可以认为在积累大量数据的情况下, 结合一些微生物指标如大肠杆菌、粪大肠杆菌、产气荚膜梭菌可以建立一个数学模型对某一水源中的两虫含量进行统计分析。

控制浑浊度对于控制饮用水中两虫有积极的意义。现有技术不能为操作者提供两虫绝对的、适时的存在及浓度情况。但浑浊度、颗粒计数对于水厂处理效果的变化是敏感的, 可以用浑浊度、颗粒计数来评估水厂的处理效果以及作为过滤工艺不正常时的指示。尽管浑浊度及颗粒计数在线分析技术不能准确检测两虫的存在, 但可以用它们来检测水厂过滤工艺中的穿透与泄漏。

5.2 建议

目前国内能够从事水中两虫检测的供水企业

极少,许多地方没有掌握此项检测技术,尚未就浑浊度、颗粒分布等与两虫的关系展开系统研究,相关问题也没有被充分发现,应加强这方面的研究。

两虫爆发往往是由于暴雨造成的浑浊度升高引起的,因此,应密切关注原水与处理水的浑浊度及颗粒的变化。国外暴发的几次大规模两虫事故一般发生在暴雨期间,因为暴雨、融雪冲刷动物排泄物和地面污水、农业污水到地表水中引起水源水质发生变化。水源水质突变期间监控过滤的浑浊度仪以及絮凝池、投药系统、滤池等设施在一段时间内不能适应水质的变化引起处理效果下降,导致出厂水的浑浊度、两虫含量骤然升高。

应加强对水厂常规处理工艺现存的薄弱环节(如混合强度不足、絮凝反应不完全、沉淀池跑矾花、滤池反冲洗不够理想等)的控制与管理。过滤过程中极小的浑浊度变化可能意味着大量的颗粒从滤料的缝隙中泄漏出来。这些颗粒可能并非都是两虫,但必须将它们除去。发达国家的浑浊度标准虽然定为 < 1 NTU,但实际上出厂水已达到了 0.1 NTU,甚至 0.05 NTU 以下。2001 年 3 月最新修订的美国国家水质标准提出,出厂水由过去的 95% 水样浑浊度 < 1 NTU 降低到浑浊度 < 0.3 NTU。相比而言,在供水水质的浑浊度方面,我们还有大量工作要做。

参考文献:

- [1] LECHEVALLIER M W, NORTON W D, LEE R G. Occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* spp in surface water supplies [J]. *Appl Environ Microbiol* 1991, 57 (9): 2610- 2616
- [2] ROSE J B, GERBA C P, JAKUBOWSKI W. Survey of potable water supplies for *Cryptosporidium* and *Giardia* [J]. *Environmental Science Technology* 1991, 25: 1393
- [3] MOORE A C, HERWALDT B L, CRAU G E, *et al* Waterborne disease in the United States 1991 and 1992 [J]. *JAWWA*, 1994, 86 87- 89
- [4] LECHEVALLIER M W, NORTON W D, LEE R G. *Giardia* and *Cryptosporidium* spp in filtered drinking water supplies [J]. *Appl Environ Microbiol* 1991, 57 (9): 2617- 2621.
- [5] MORRIS R D, NAUMOVA E N, LEV N R, *et al* Temporal variation in drinking water turbidity and diagnosed gastroenteritis in Milwaukee [J]. *Am J Public Health*, 1996, 86 237- 239.
- [6] MORRIS R D, NAUMOVA E N, GRIFFITHS J K. Did Milwaukee experience waterborne cryptosporidiosis prior to the large documented outbreak in 1993 [J]. *Epidemiology* 1998, 9 264- 270
- [7] NAUMOVA E N, EGOROV A I, MOORRIS R D, *et al* The elderly and waterborne *Cryptosporidium* infection: Gastroenteritis hospitalizations before and during the 1993 Milwaukee outbreak [J]. *Emerging Infectious Diseases* 2003, 9 (4): 418- 425.
- [8] HUANG M R, SHUIM W. Modeling the occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* spp in Taiwan drinking water supplies [J]. *Emerging Infectious Diseases* 2003, 9 (4): 55- 65.
- [9] HSU B M, HUANG C, HSU C L L. Analysis for *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts in water samples from small water systems in Taiwan [J]. *Parasitol Res* 2001, 87: 163- 168.
- [10] ATHERHOLT T B, LECHEVALLIER M W, NORTON W D, *et al* Effect of rainfall on *Giardia* and *Cryptosporidium* [J]. *JAWWA*, 1998, 90(9): 66- 80.
- [11] LECHEVALLIER M W, NORTON W D. Examining relationships between particle counts and *Giardia*, *Cryptosporidium*, and turbidity [J]. *JAWWA*, 1992, 84(12): 54- 60.
- [12] HSU B M, YEH H H. Removal of *Giardia* and *Cryptosporidium* in drinking water treatment: A pilot-scale study [J]. *Water Research*, 2003, 37: 1111.
- [13] FALABIJA, GERBA C P, KARPISCAK M M. *Giardia* and *Cryptosporidium* removal from waste-water by a duckweed (*Lemna gibba* L.) covered pond [J]. *Letters in Applied Microbiology* 2002, 34 384- 387.
- [14] FRANCY D S, SIMMONS O D, WARE M W, *et al* Effects of seeding procedures and water quality on recovery of *Cryptosporidium* oocysts from stream water by using U. S. Environmental Protection Agency Method 1623 [J]. *Appl Environ Microbiol* 2004, 70 (7): 4118- 4128
- [15] DE DRGIO C L, GONZALEZ D A, HUHT C. *Cryptosporidium* and *Giardia* recoveries in natural waters by using Environmental Protection Agency method 1623 [J]. *Appl Environ Microbiol* 2002, 68 (12): 5952- 5955.
- [16] KUHN R C, OSHMA K H. Hollow-fiber ultrafiltration of *Cryptosporidium parvum* oocysts from a wide variety of 10- L surface water samples [J]. *Can J Microbiol* 2002, 48 542- 549.
- [17] BORCHARD M A, SPENCER S K. Concentration of *Cryptosporidium*, microsporidia and other water-borne pathogens by continuous separation channel centrifugation [J]. *Journal of Applied Microbiology* 2002, 92 649- 656
- [18] LECHEVALLIER M W, NORTON W D, SIEGL J E. Evaluation of the immunofluorescence procedure for detection of *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts in water [J]. *Appl Environ Microbiol* 1996, 61 (2): 690- 697.

(编辑 刘彤)