

1993年美国密尔沃基市隐孢子虫水污染事件探究

费宇航, 韩家炳

安徽师范大学历史学院, 安徽 芜湖

收稿日期: 2024年2月8日; 录用日期: 2024年3月2日; 发布日期: 2024年3月8日

摘要

1993年春美国威斯康星州密尔沃基市暴发的隐孢子虫水污染事件, 是美国历史上影响范围最广、危害最严重的一次水传染病事件。涉及人口达160万, 其中40.3万人受到不同程度的感染, 4400人住院治疗, 共造成103人死亡, 患者的免疫系统受到极大损伤。该事件迫使密尔沃基市公共卫生部门改进了原有的水过滤系统, 政府部门对饮用水处理厂进行大规模的改造并通过了新的法律法规, 力求缓和人与水之间的矛盾, 以此保证居民的饮用水安全。此外, 该事件迫使密尔沃基市政府对饮用水处理厂进行大规模改造, 令密尔沃基市及美国其他地区开始通过全流域治理保护水源地, 直接推动了美国环保局出台了新的隐孢子虫检测方法, 并在《地表水处理条例》的基础上新制定了《加强地表水处理条例》, 将隐孢子虫列为优先监控对象, 加强监测力度, 改善旧有监管体系, 扩大对民众自我安全保护意识的宣传, 对全美与水相关的法案产生了重要影响。

关键词

水, 隐孢子虫, 防控

Investigation of Cryptosporidium Water Pollution Incident in Milwaukee, USA in 1993

Yuhang Fei, Jiabing Han

School of History, Anhui Normal University, Wuhu Anhui

Received: Feb. 8th, 2024; accepted: Mar. 2nd, 2024; published: Mar. 8th, 2024

Abstract

The outbreak of cryptosporidium water pollution in Milwaukee, Wisconsin in the spring of 1993

was the most widespread and harmful waterborne infectious disease event in the history of the United States. Of the 1.6 million people involved, 403,000 were infected to varying degrees, and 4400 were hospitalized, resulting in 103 deaths and severe damage to the immune system. The incident forced the Milwaukee Public Health Department to improve its water filtration system, undertake extensive renovations to drinking water treatment plants, and pass new laws and regulations aimed at easing the conflict between people and water in order to ensure the safety of drinking water for residents. In addition, the incident forced the city of Milwaukee to undertake a major renovation of its drinking water treatment plant, led Milwaukee and the rest of the United States to begin protecting water sources through basin-wide treatment, directly prompted the US Environmental Protection Agency to introduce cryptosporidium testing methods, and the new Enhanced Surface Water Treatment Act, based on the Surface Water Treatment Act. Prioritizing cryptosporidium, strengthening surveillance efforts, improving the old regulatory system, and expanding public awareness of self-protection have had an important impact on water-related legislation across the United States.

Keywords

Water, Cryptosporidium, Prevention and Control

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

隐孢子虫(Cryptosporidium)是水源性传染病的主要病原体,其成虫与虫卵进入人体后可引发呕吐、腹泻、发烧、营养不良等众多并发症,甚至可致人死亡。这种寄生虫受到外壳的保护,能够长期存活,并且对氯消毒具有很强的耐受性,普通的水过滤系统难以根除虫卵,繁殖速度快,存活时间长,广泛分布于美国北部与东部各州。

隐孢子虫病(Cryptosporidiosis)是由隐孢子虫属原生生物感染引起的人畜共患寄生虫病。虽然隐孢子虫病可以通过几种不同的方式传播,但“水”是其最重要的传播媒介。隐孢子虫卵囊进入宿主体内后,通常寄生于人或动物的消化道上皮细胞,被公认为是引发腹泻最主要的六种病原体之一[1]。1976年,美国报道了第一例由隐孢子虫感染导致的人类自限性肠炎,但由于当时人们对隐孢子虫病带来的危害认识不够,因而政府及民间有关虫病的宣传较少[2]。随后,在欧洲和北美由隐孢子虫寄生人体导致的感染病例逐渐增多,如果个体的免疫功能较弱,除肠道感染外,隐孢子虫及虫卵还可以进入病人的肝、肺、胰和胆囊等器官,引发更为严重的病理反应[3]。

在美国北部地区,隐孢子虫病在温暖潮湿季节发病率高,农村病例比城市多,沿海港口比内地多,畜牧地区比非畜牧区易发。感染隐孢子虫病的动物和人粪便中会藏有部分隐孢子虫卵囊,虫卵囊体积小,对人的感染剂量低,且能抵抗饮用水常用消毒剂,在水和土壤中可存活数月。因此,如果水源附近或水源上游地表中存在高浓度的卵囊,而水厂处理工艺不良或处理失误时,就极易发生隐孢子虫介水性流行病[4]。由于儿童肠道发育不成熟且缺乏黏膜保护,大多数隐孢子病患者为五岁以下的儿童,隐孢子虫病可引发婴幼儿营养不良和发育迟缓的状况,且能够反复感染并引发多种肠胃疾病[5]。对于免疫功能正常的个体,隐孢子虫病被认为是自限性且可预防的,但如果感染者免疫系统功能较低或存在缺陷,这种感染将是致命且难以恢复的[6]。

美国在冷战结束后成为全球唯一的超级大国, 各州工业持续发展, 新兴产业如雨后春笋般涌现, 大量化学品及微生物随工厂排污流入河流, 由此带来了许多新的环境问题, 在美国的各类水安全事件中, 以寄生虫水污染问题最为突出, 寄生虫对各地居民的生命健康产生了严重威胁[7]。事实上, 从水源地取水到饮用水进入居民口中, 经历处理、监测、运输等多个环节, 任何一个环节存在漏洞都可能造成水污染事件的发生[1]。

1993年春美国威斯康星州密尔沃基市暴发的大规模隐孢子虫水污染事件, 因市区自来水管厂的过滤系统失效, 河流中的隐孢子虫卵经管道流入当地居民饮用水中, 导致大量居民生病或住院, 工农业生产趋于停滞, 民众陷入极度恐慌, 密尔沃基市的公共卫生系统近乎崩溃, 对该城当年经济造成了严重损失[8]。关于密尔沃基市隐孢子虫水污染事件, 国内外学界已经有了一定研究, 主要体现在生物学者对隐孢子虫生活习性的研究与联邦政府对隐孢子虫病的防治措施等方面。但并没有从法学和环境治理的角度对该水污染事件进行深层次探讨, 已有文献缺乏对隐孢子虫水污染事件前后联邦政府关于隐孢子虫病管理政策的比较, 也没有从密尔沃基公共卫生实验室及当地居民对水污染事件的应对等方向对该事件的整体进程作出更详细、更全面地阐释。本文将试图从环境史的角度对密尔沃基隐孢子虫水污染事件进行整体解析, 探究联邦政府寄生虫防治措施的变化及对美国社会不同群体的影响, 进而考察该事件对美国公共卫生系统有关隐孢子虫水污染治理的启示与现实意义。

2. 密尔沃基市隐孢子虫水污染事件的起因

密尔沃基市自来水厂的水异常状况自1993年3月23日起一直持续到4月8日, 自来水厂于4月初被政府封闭清理, 不再为城市居民供水。在大约两周的时间内, 密尔沃基地区的161万居民中有40.3万人因胃痉挛、发烧和腹泻而生病, 4400多人入院治疗, 超过100人因病情过重而不治身亡。尽管美国官方从未正式确定密尔沃基隐孢子虫水污染事件的根本原因, 但根据当地公共卫生实验室的长期调查, 此次疫情短时间内大规模扩散的起因源自密尔沃基自来水厂的人为失误。实际上, 密尔沃基市隐孢子虫病的传播是在外多种因素共同作用下于短时间内集中暴发的严重寄生虫水污染事件[3]。

(一) 上游水源地遭隐孢子虫污染

在1993年之前, 密尔沃基郊区的河流上游水源取水环节一直存在被隐孢子虫污染的隐患。密尔沃基市自来水的水源是密歇根湖, 该湖上游的两条河流汇水区域内都有牧场与农场, 并有大量农牧民长期居住于此, 畜牧业、农业生产和居民生活污水直接排入河流, 加之流域上游春季发生化雪和径流降水, 从而将大量寄生在动物体内的隐孢子虫卵囊带入河流与湖泊中, 造成上游水源地被隐孢子虫等各类寄生虫污染, 水质较差[9]。隐孢子虫繁殖速度快, 为疾病的传播提供了温床。20世纪90年代美国城市化进程加快, 城市郊区迅速蔓延, 但水源地临近地区的基础设施建设却严重滞后, 排污管道数量较少, 无法及时进行排污和过滤[10]。水源地周边的取水机构缺乏包括排水、供水管道以及污水处理厂等诸多必要的基础设施, 地方政府对上游水源地取水环节重视程度不够且水治理拨款有限, 而部分河流、湖泊距离化工厂等工业设施较近, 受到工业污染的风险较大, 过滤的饮用水无法保证质量。此外, 由于城区覆盖面积不断扩大, 城市附近的取水池塘和湖泊营养物质过多, 水藻数量急剧增加, 水中氧气含量降低, 水体富营养化, 水域中的鱼类、两栖动物和爬行动物因缺氧而大量死亡, 隐孢子虫便寄生于腐尸中, 加剧了上游水源地安全取水隐患, 对城市供水构成了潜在威胁[11]。

(二) 自来水厂取水措施滞后

密尔沃基自来水厂的水处理方法未能及时更新, 部分过滤设备老化。隐孢子虫主要隐藏在胞壳内, 抗氯性极强, 传统消毒方法不能有效消灭活隐孢子虫及虫卵。且隐孢子虫对臭氧和加氯消毒具有很强的抵抗力, 普通自来水厂的加氯消毒机器基本对其无效, 因而隐孢子虫比其他寄生虫更易突破供水系统的

过滤和消毒环节而造成隐孢子虫病的集中暴发[12]。密尔沃基自来水管的滤水设施使用时间已超过二十年,水管等取水、过滤设备多处破裂、生锈,甚至因使用时间过久而无法正常取水,但水厂官员对此却视而不见。自来水管的部分工作人员经验不足,设备取水时松散懈怠,甚至玩忽职守,对隐孢子虫等寄生虫的严重危害及新型水处理方式缺乏认知,致使虫卵进入城市居民饮用水中[13]。此外,自来水管的老式水过滤设施的过滤网密度较小,沉淀度不够,很难将个体非常微小的隐孢子虫与虫卵完全过滤掉[14]。事实上,只有经过多次混凝、沉淀使自来水达到一定的纯度,才能彻底杀死虫卵。20世纪90年代初,密尔沃基自来水管仍使用常规的含氯消毒剂进行消毒,无法有效去除隐孢子虫,加之取水系统和过滤设备滞后于时代发展,设备老化严重却无法得到及时更换,即使经过处理后提供给居民的饮用水中依然存在隐孢子虫及虫卵,居民饮用后便患上隐孢子虫病及诸多并发症[5]。

(三) 政府与公众缺乏隐孢子虫病防治意识

最后,美国政府和公众对隐孢子虫病的认识不充分、不全面。至20世纪末,美国政府和公众对隐孢子虫病的危害和介水传播的危害性认识依然不够,大部分人认为隐孢子虫病只是轻微的肠胃炎,服用消炎药并休息几日便可痊愈。虽然当时在美国已有隐孢子虫病传播的先例,如1987年佐治亚州卡罗尔县就曾发生过居民大规模感染隐孢子虫病的事件,但由于此次事件持续时间较短,传播范围仅限于一县,因而并没有引起政府的高度重视[15]。自来水管行业仍以大肠杆菌数量等旧有指标作为水源是否被污染的判断标准,这些指标无法真实反映隐孢子虫等寄生虫对水资源的污染情况。事件发生前,联邦政府颁布的相关法律条文缺乏对饮用水中隐孢子虫指标数量标准、监测能力和处理过程的详细规范,条文内容对寄生虫导致的水污染危害界定较为模糊。地方政府、企业和民众对流域内隐孢子虫卵囊的来源、数量以及虫病的传染方式一无所知[16]。为保证生产与自身经济效益,部分企业甚至对水安全做出了错误的宣传,使民众普遍相信隐孢子虫的对人体几乎没有危害,同时自来水管等取水机构也缺少相应的水安全宣传措施。疫情暴发后,因整个社会缺乏足够的医疗卫生知识和应对经验,民众之中产生普遍的恐慌情绪,社会秩序陷入混乱,工业生产一度停滞。当地官员反应迟缓且应对不力,甚至企图掩盖水污染事件的真相,错过了遏制疾病传播的最佳时机,给后续调查带来了一定困难[17]。

在疫情结束一周年之际,密尔沃基市政府工作人员提供的最新信息进一步佐证了隐孢子虫的来源。密尔沃基卫生实验室新的研究证明隐孢子虫污染与人类活动有着紧密的联系。威斯康星州西部的三条河流流经密尔沃基城区,最终流入密歇根湖边缘的一个小凹坑形成的湖湾。该地区共有3个断水口保护湖湾,从而引导水流出湖湾。密歇根湖的水流流向是逆时针的,河口处坐落着密尔沃基城市污水处理厂[18]。3月上旬突发的大雨导致污水溢出,并污染了河流和海湾,海湾中的水被逆时针方向的水流推向位于密歇根湖一英里外的城南自来水管的取水管道,隐藏在水道和污水处理厂的隐孢子虫及虫卵进入供水系统,使污染物流回下水道。下水道过滤系统无法彻底去除隐孢子虫。隐孢子虫进入供水系统使人们腹泻,部分虫卵回到下水道,进入源水,最后再次进入饮用水,形成一个循环,最终造成隐孢子虫病在密尔沃基地区短时间内大范围传播的失控局势[15]。

3. 密尔沃基市隐孢子虫水污染事件的应对

1993年4月5日,密尔沃基市公共卫生部(Milwaukee Department of Public Health)向威斯康星州公共卫生总部(Wisconsin Department of Public Health)报告,市内自3月下旬开始出现大量肠胃病病例,医院员工、学生和教师集体缺勤,杂货店和药店的止泻药售罄,市民中出现大规模恐慌情绪,社会秩序陷入混乱之中[19]。而关于疾病的性质和起因,当地卫生部门在疫情暴发时却知之甚少,部分医护人员认为是霍乱流行导致的腹泻[20]。密尔沃基的城市供水主要来自于当地的自来水管,即密尔沃基自来水管(Milwaukee Waterworks)。该水厂分为南厂和北厂,从密歇根湖取水,为密尔沃基市和密尔沃基县等九个

周边城市的住宅和企业供应饮用水。在本轮抗击疫情的过程中,密尔沃基疫情调查组、公共卫生实验室、市政府与民众均参与其中,并采取了不同的措施防止疫情的传播,对事件的进程各自起到了不同的作用。

(一) 调查组介入疫情

根据密尔沃基市卫生部门4月初接到的电话报告,当地医疗人员判断疫情主要集中在该市的一个区,且有不断扩散的趋势[21]。由于居民自身仅出现呕吐、腹泻等轻度病状时,通常选择在家中治疗,患者很少到医院就医,因此医院收到的居民感染报告信息仅代表真实感染人数的一小部分。为深入调查疫情,城市公共卫生专业人员在密尔沃基及周边市县抽调精干人员成立疫情调查组,总部就设在密尔沃基卫生实验室,调查组成立后会见了当时的密尔沃基市长约翰·诺奎斯特(John Norquist),以确定迅速启动调查该疾病的计划,力求将损失降到最低[22]。

4月5日,医学博士麦克·肯尼兹(Mac Kenzie)作为疫情调查组组长与其他组员一起会见了密尔沃基自来水厂的官员,向他们询问有关疫情前后的水质变化情况。因密尔沃基市的水文较为复杂且调查人员缺乏水处理方面的经验,调查组不得不花费数日的对密尔沃基的整个供水系统展开实地调查,工作人员在调查中做了大量的记录,内容包括密尔沃基自来水厂如何通过絮凝、沉淀、过滤,用氯消毒来处理水,以及如何测试水的浊度[23]。调查组在调查中发现密尔沃基的公共取水从两条独立管道分别进入该市北部和南部的水处理厂,取水口位于距密歇根湖一英里的一处月牙形湖湾,经过水厂过滤和消毒后,来自两个处理厂的水被输送到一个相互连接的水管系统中,因而两个处理厂都可以供应整座城市,因此也可能都被隐孢子虫污染,调查人员随即对处理厂的取水、滤水设备作了详细检查,并向市政府提供了一份完整的调查报告[14]。

在与自来水厂官员初次会面并实地考察后,疫情调查组与公共卫生部的政府官员在城市新闻发布会上交流了各自对疫情的看法,威斯康星州卫生部流行病学家吉姆·卡兹米尔扎克(Jim Kazmierczak)和肯尼兹着重商讨了如何在疫情扩散的严峻形势下有效应对疾病传播,并提出了发布“开水令”(Boiling water order)的建议。密尔沃基市卫生实验室主任史蒂夫·格拉杜斯(Steve Gradus)在会议期间打电话给肯尼兹,报告说他在检查患者的粪便样本时在显微镜下发现了一些微生物,即隐孢子虫[24]。格拉杜斯透露,在过去的几个小时里,他收到了有关密尔沃基医生送往实验室的数例患有隐孢子虫病的患者粪便样本报告,因此他推断本轮疫情的缘起与隐孢子虫病有着极大的关联[22]。

肯尼兹作为医生曾医治过患有隐孢子虫病的艾滋病患者,并且知道患者会出现发烧与腹泻等症状。据学校和医院广泛缺勤的报告,肯尼兹推断此次疫情很可能是隐孢子虫病的一次大规模暴发[21]。同时,他认为标准水质测试无法有效检测隐孢子虫,也无法用常规水处理中使用的浓度的氯将其彻底杀死。隐孢子虫的孵化期较长,从一天到两周不等,而患者一般7天左右才出现症状。他建议向密尔沃基地区的所有居民发出公告,把水烧开后再饮用。但当地官员却认为这个建议执行起来有难度,因为全市民众集体烧开水不仅有风险,而且可能导致居民意外烫伤[25]。调查伊始,调查组尚未考虑到所有可能的疫情暴发源,实验室收集到的信息也十分有限,尚无法做出准确的判断。政府官员对发布“开水令”的建议同样犹豫不决,他们担心过激的措施会加大民众的恐慌情绪,应采用一种较为温和的方式逐步化解疫情,该建议便就此搁置[26]。

(二) 卫生实验室(Health Department Laboratory)与市政府的努力

威斯康星州的密尔沃基卫生局下辖的公共卫生实验室是密尔沃基市的重要公共卫生机构。1993年4月7日,实验室向市政府报告,他们在当地7名成年居民的粪便样本中发现了隐孢子虫卵囊,这些居民的日排泄次数均超过了十次。同时,实验室工作人员未发现任何其他肠道病原体,因而他们初步判定隐孢子虫就是引发此次大规模传染病的源头,且疫情与密尔沃基市的供水系统有着紧密的关联[27]。在应对疫情的关键节点,为了广大居民的生命安全,密尔沃基市政府改变了之前的决定并立即向全市居民

发出“开水令”。7日晚,市长出现在城市新闻中,他要求密尔沃基居民立刻烧开饮用水并扔掉冰块和冰盘。由于医院病例不断增多,自来水厂各级官员的压力很大,上级要求尽快完成调查,并以高度的科学严谨性完成取证,减小疫情带来的损失。“开水令”不仅影响了广大居民,还影响了众多城市企业,包括美国米勒酿酒公司(Miller Brewing Company)、密尔沃基的罐头公司、牙科医院和街边的小餐馆等都不得不对水重新进行加工。在这些企业中,米勒酿酒公司首先对产品进行了冷过滤,同时加强了食品安全检查的力度,可以有效去除隐孢子虫及虫卵,并随时向密尔沃基卫生实验室报告,以保证公司在疫情扩散后仍能维持基本运转[28]。

事实上,密尔沃基自来水厂官员的应对不力延缓了调查速度。因害怕承担相关责任及传染病导致的不良恶果,水厂官员起初并不愿意配合调查,他们试图自己解决所遇到的问题,拒绝实验室深入调查疫情暴发的源头。虽然南部工厂水的浑浊度之高前所未有,但水厂官员并没有直接与团队分享这些信息,且并没有对水厂的老化部件进行维修。自来水厂官员将浑浊度视为一种美学衡量标准,并否认浑浊度是与微生物污染有关的衡量标准,也否认水是疫情爆发的源头。当水厂提供水处理数据时,调查人员注意到,从3月23日至4月6日,南部工厂处理后的水浊度出现峰值,前后共持续了两周[29]。从历史上看,这两个城市工厂的水偶尔会出现高浊度状况,但工厂供应的处理水却并不符合国家处理标准,调查组为此进行了规格更高的浊度测量。因4月初感染人数骤增,水厂工作人员也不得不配合工作人员的调查行动[19]。

为配合实验室与调查组彻查病因,密尔沃基市政府工作人员紧急建立起一座应对疫情的“作战室”(Operations Room),该机构配备了电话、打印机、传真机和电脑。机构人员创建了一份调查问卷,供电话调查员使用。最初的调查是由当地医院的护士们进行的,他们擅长与居民进行访谈[30]。访谈内容包括腹泻频率和大小便失禁等健康问题,并安抚鼓励民众,缓解人们的恐慌情绪。据统计,4月9日,10日和12日访谈机构共计采访了482名密尔沃基市居民,其中235患有水样腹泻。从4月17日到6月2日,来自密尔沃基和周边四个县的1662名家庭成员的612户家庭与访谈人员进行了线上交流,其中436户在疫情暴发期间出现发烧与腹泻的症状,访谈使调查组获得了更多有关疫情的一手资料[29]。密尔沃基市政府同时也颁布了新的水处理设施标准,水处理设施的官员密切关注有关疫情的新闻,各大城市都在尽力降低水的浊度和改善水质,避免疫情再次集中暴发。许多水处理专家致力于常规水处理工艺的改进和新技术的应用来提高隐孢子虫的去除率,提出了许多新的隐孢子虫杀灭方法,如UV氧化法、臭氧氧化法、二氧化氯消毒法等,均取得了良好的效果,有效减少了居民的疾病感染率[28]。

(三) 密尔沃基民众的自我防护措施

1993年的水污染事件中,受害最深、受影响最大的当属密尔沃基市的普通民众,突如其来的疫情使学校停课、工业停产,有的人甚至因此而失去工作[31]。疫情开始后,许多民众自发组织起来抵制疫情的飞速传播,封闭或者封存被传染病病原体污染的公共饮用水源、食品以及相关物品,停止捕杀染疫野生动物。居民自行准备净水材料,即沉淀用的明矾、消毒用的二氧化氯和次氯酸钠,净水片等,以备疫情扩散时可以自行过滤水[32]。在疫情后期,密尔沃基部分恢复上课的学校要求学生每天早晨要主动自测体温,宿舍长做好学生晨检的督促检查工作,每日填写体温监测登记表,班委汇总班级全体学生的登记表后交给辅导员,由辅导员将登记表交至医务室汇总。晨检中一旦发现有发热症状的学生立即告知辅导员,并让该生去医务室进一步诊查。教职工每天入校前要自测体温,如出现发热症状要立即向学校请假并告知医务室,自行居家隔离并就近到设有发热门诊的医院诊断治疗、坚持因病缺课登记追踪制度,安排专人询问学生病情,做好学生因病缺课详细记录并追踪学生病情体温等实时变化,发现可疑病例及时报告[33]。

尽管大多数居民度过了疫情高峰期,但仍有部分免疫力低下的群体处于危险之中,死亡病例仍不断

涌现。民众对于疫情带来的危害甚至到了谈虎色变的程度, 更有甚者将其视为 20 世纪的“天花”, 民众中的恐慌情绪持续蔓延[34]。此外, 研究人员发现 7 月初密尔沃基市的艾滋病毒感染者的死亡人数在达到峰值后开始下降, 报告的感染病例有所减少。此外, 密尔沃基实验室在疫情高峰期结束后曾对各地居民的住所进行了大量实地调查, 结果显示全国各地的公共水池最有可能成为除水厂之外的另一暴发源, 发生这种情况是因为来自密尔沃基的学生和其他报告有症状的人前往其他州时在当地卫生条件较差的游泳池中游泳, 加速了隐孢子虫在人体中的传播速度, 最终致人死亡[35]。

4 月中旬, 密尔沃基市的一位制冰商给疫情“作战室”打电话说自己为了制作冰雕, 曾在两个不同的日期里利用密尔沃基城南自来水厂的水冷冻了两个大冰块, 并决定把冰块捐给实验室公用。实验室成员将冰融化后进行生物测试, 并与密尔沃基其他地区的水源对比, 终于确定隐孢子虫就藏匿于水中, 而疫情的源头正是城南的自来水厂。政府官员得到消息后, 立刻将密尔沃基自来水厂的南厂关闭, 冲洗城市供水管道, 对破碎、生锈的管道部分进行维修, 将原来的取水系统修复、升级, 居民区用水则由北部自来水厂供水。直到 6 月南部工厂的滤水器更换和翻新工作全部完成, 南厂才得以重新启用[36]。

4. 密尔沃基市隐孢子虫水污染事件的影响

密尔沃基的疫情在进入当年夏天后开始逐渐好转, 市内儿童的隐孢子虫病抗体率一度达到 80%, 死亡病例主要来自老年人和免疫力低下的弱势群体, 例如艾滋病或肺结核患者[18]。在水污染事件发生的第二年, 公共卫生实验室对在疫情暴发期间接受铅暴露检测的密尔沃基儿童的血清样本进行了隐孢子虫病抗体检测。研究人员发现在疫情开始前, 只有 10% 的密尔沃基儿童有隐孢子虫抗体, 而在疫情暴发后不久, 隐孢子虫抗体率超过了 70%, 且居住在密尔沃基南部的儿童抗体水平明显更高, 这更加证实了调查人员对饮用南部工厂水居民感染风险增加的推断, 并表明疫情期间存在相当数量的无症状感染者[37]。新的研究证实美国北部的几乎所有沿湖城市都存在介水传播的隐孢子虫病的流行风险, 居民饮用水是隐孢子虫重要传播途径, 人群普遍易感染, 其中对儿童和免疫力低下的患者影响最大, 危害最深, 因而需要公共卫生部门对该类人群的特别关注与保护[38]。

1993 年 12 月, 美国环保局(US Environmental Protection Agency)、美国自来水厂协会(American Water Works Association)等有关机构组织各领域的专家在之前调查的基础上进行了一次更加广泛而深入的调查与研究, 并在此基础上修改和强化水质管理标准, 努力提升水质, 健全与水相关的法令, 力求从制度上保障饮用水不再受到寄生虫的污染, 为居民提供更加洁净的饮用水。密尔沃基及其他州市则进一步升级水处理系统, 加强流域生态治理, 并提高水安全宣传力度, 以保证居民饮用水安全[39]。

首先, 完善与水安全相关的法律法规。为保证自来水能安全饮用, 美国环保局修改了 1989 年颁布的《地表水处理条例》(*Surface Water Treatment Rule*)并重新制定了《加强地表水处理条例》(*Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule*), 把隐孢子虫等各类寄生虫明确列入优先监控清单, 按照浑浊度评估出厂水中含卵囊量。同时, 美国环保局于 1999 年 1 月修正并通过测定隐孢子虫的新法案, 成为水行业的标准[40]。此外, 美国政府对《安全饮用水法》(*Safe Drinking Water Act*)、《清洁水法》(*Clean Water Act*)、《农业法》(*Agricultural Law*)都作了不同程度地修改与完善, 弥补了水环境治理中的缺陷和不足, 提高了居民饮用水的质量[41]。卫生部门要求各地政府须根据各自区域不同实际情况, 加强环境监管力度, 严格按照规范条例进行水质检测和监督检查, 从源头上遏制水污染, 保障水安全及公众生命健康。1999 年, 美国政府启动了一系列国家级水采样和分析计划, 派出医护人员实地勘察, 旨在降低公共供水受到隐孢子虫污染的风险, 自此水质标准的制定和对腹泻患者开展隐孢子虫检测开始备受人们的关注。除此之外, 隐孢子虫病的临床问题促使世界卫生组织(World Health Organization)于 2004 年将该病纳入被忽视疾病倡议, 并被世卫组织列为六大腹泻病之一[42]。

其次, 加大科技投入, 升级水处理系统, 实施新的水循环及水资源保护措施。密尔沃基隐孢子虫水污染事件直接推动了水处理反渗透膜处理技术工艺的诞生, 政府给予部分拨款以保证实验室足够的研究资金, 优厚的待遇吸引了大量青年医学者, 使密尔沃基聚集了众多水处理研究机构和大量水处理技术人才[34]。经过数年的研究, 密尔沃基卫生实验室的研究成果惠及全美, 后被称为世界水处理的“硅谷”, 其研究人员提出了切实可行的防治措施, 如臭氧氧化、二氧化氯消毒、UV 氧化等新的消毒方法。大大降低了普通民众的个体感染率, 令美国感染隐孢子虫病的人数显著下降, 饮用水安全指数稳步提升, 缓解了人水矛盾[17]。在防控方面, 疫情后各州依然缺乏标准化的预防方案以及大规模迅捷有效的治疗措施, 药品储备量不足, 乡村等偏远地区的医疗卫生设施较为落后, 一旦再次面临寄生虫病的大面积传播, 疫情仍可能呈现失控的趋势。因而在这一领域内的疫苗研发需要实验室付出更多的努力, 在卫生资源有限的时代, 公共卫生的决策者必须选择如何分配资源以改善公众健康及突发的疫情[43]。

再次, 加强流域管理, 防止水源地污染。隐孢子虫事件虽在当时造成了严重后果, 但也正是此次事件在客观上促使美国各州市对此类事件的高度关注和反省, 改变了过去对水安全轻视的态度, 各级政府及宣传机构着力提高公众对水环境问题的认识以及对保护水资源的监管和管理政策的期望。为确保水源地的供水安全, 纽约市政府在对卡茨基尔河与特拉华河上游地区进行管理时, 通过向上游农民支付资金补贴, 鼓励他们参与“全农场计划”(Whole Farm Plan), 按照项目规定的最佳管理方法栽种果树、饲养奶牛, 减少对水质的影响, 成功保护了上游生态系统, 提高了全流域水质净化、水源涵养等优质生态产品供给能力, 成为跨流域生态补偿推动流域治理的典范[44]。其他各市也推出了不同的环保举措, 因地制宜加大科技投入采用生态处理技术, 同时建立城郊及农村黑臭水体治理台账并开展治理试点, 采用多种手段加强对水资源的保护, 形成一批可复制可推广的治理模式。推动环保举措持续发展, 改善水环境, 在更大范围内为群众提供优质清洁水, 减少隐孢子虫病可能传播的途径, 从源头上遏制寄生虫病的感染与扩散[45]。

最后, 加强宣传, 增强公民自我防护意识。对于隐孢子虫病的防控, 阻断传播的最佳应对方法便是保持良好的个人卫生习惯, 改变直接饮用自来水的习惯, 多饮用白开水。政府应对肉类生产与销售严格把关, 减少、控制或消除其他动物的寄生虫致病风险因素, 使之与水安全宣传联系在一起[46]。随着“全健康”(One Health)理念的逐步推广, 可探索建立覆盖公共水环境的全方位、立体化的防控模式及宣传体系, 逐步建立完善监测体系, 通过跨部门合作, 提升防控水平, 让环境保护真正融入到普通人的生活中[47]。同时积极开展跨学科合作, 提高评估隐孢子虫病的暴发风险和公共卫生安全隐患效率, 全力推进隐孢子虫病的预防控制工作, 加大宣传力度, 如报纸、电视、网络等, 鼓励民众对水机构进行监督, 加强双方交流。通过不同方式的宣传增强广大居民的水安全意识, 引导人们认识水源污染对人体健康和生态平衡产生的威胁, 从长远出发保护水资源[1]。

5. 结语

1993 年美国威斯康星州密尔沃基市隐孢子虫事件是发生于 20 世纪末的一次重大寄生虫水污染事件, 美国环保局和密尔沃基市政府通过有效治理, 使水质得到显著提升, 美国民众的水安全意识有所提高, 并促进了各州供水系统的改善, 密尔沃基自来水管道的焕然一新, 水厂员工得到政府的系统培训, 公共卫生实验室提出了大量有益的防治寄生虫病的建议, 基本消除了隐孢子虫病对饮用水安全的威胁, 给全美的水安全治理提供了宝贵的经验。在当前世界环境污染日益严重, 公共卫生安全遭受威胁的大环境下, 政府应不断创新生态环境治理体系和治理能力, 继续加大并推动建立水质和水量并重的基于生态产品价值核算的跨流域生态补偿方式。实现水生态产品价值, 形成使用者付费、保护者受益的新格局, 实现区域发展过程共赢和发展成果共享。保持水资源政策一致性的核心是要避免相互矛盾、相互抵触政

策的出现。在美国, 联邦和州水政策相关的机构和委员会共约五千个, 水资源管理职责分散在农业、工业、服务业、财政、健康、交通等诸多部门, 这些多元行动者都存在狭隘的部门视角, 行动倾向于分散化。此外, 水政策的连贯性高度依赖于联邦政府和次一级政府协调制度的建立, 因此, 清晰界定各部门职责的综合制度框架对于协调行动尤为重要。

水资源的保护和服务供给, 不同于健康、教育等公共政策领域不受自然条件束缚, 水文边界与国家行政组织边界的不对应往往导致水政策的片面性, 也使得地方权威机构、水资源主管机构、水资源管理者和终端使用者之间的关系变得复杂。管理上的失败, 尤其在应对上下游的关系中, 涉及利益相关行动者众多, 政策突破较难, 协调难度较大, 合作较难形成, 都由这种不匹配的机制所导致。解决水安全问题, 并不意味着人类的社会组织结构必须做出与流域规模相适应的调整, 政治管辖主权的施行实际上很难与环境安全问题的处理做到完全吻合。美国政府应对环境问题中行政鸿沟的主要做法是建立以流域为单位的的水资源综合管理体制, 统一管理、依法管理、科学管理是其水污染治理的核心要义。在加大力度对污染水体进行综合治理的同时, 还要积极主动地采取各种措施保护水源地的水质质量, 减少工农业生产对水源的污染, 有效提高供水水质, 从而满足人们对安全用水的需要。广大民众也应提高自身水环保与寄生虫病防治观念, 减少对水资源的浪费, 保护水源地, 维护水安全, 共同打造人水和谐共生的美好水环境。

参考文献

- [1] 王旭, 沈玉娟, 曹建平. 我国隐孢子虫病流行现状与防控进展[J]. 热带病与寄生虫学, 2022, 20(3): 136-148.
- [2] Nime, F.A., Burek, J.D., et al. (1976) Acute Enterocolitis in a Human Being Infected with the Protozoan *Cryptosporidium*. *Gastroenterology*, **70**, 592-593. [https://doi.org/10.1016/S0016-5085\(76\)80503-3](https://doi.org/10.1016/S0016-5085(76)80503-3)
- [3] Hunter, P., Hughes, S., Woodhouse, S., et al. (2004) Health Sequelae of Human Cryptosporidiosis in Immunocompetent Patients. *Clinical Infectious*, **39**, 504-510. <https://doi.org/10.1086/422649>
- [4] Pane, S. and Putignani, L. (2022) *Cryptosporidium*: Still Open Scenarios. *Pathogens*, **11**, 515. <https://doi.org/10.3390/pathogens11050515>
- [5] Guérin, A. and Striepen, B. (2020) The Biology of the Intestinal Intracellular Parasite *Cryptosporidium*. *Cell Host and Microbe*, **28**, 509-510. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2020.09.007>
- [6] 何永频. 隐孢子虫的病原、表现、诊断与医疗[J]. 国外医学卫生学分册, 2001(4): 245-246.
- [7] Leavitt, J.P. (2013) *The Healthiest City: Milwaukee and the Politics of Health Reform*. University of Wisconsin Press, Madison, 25-28.
- [8] [美]肯尼斯·基普尔(主编). 剑桥世界人类疾病史[M]. 张大庆, 主译. 上海: 上海科技教育出版社, 2007: 855.
- [9] Karanis, P., Kourenti, C. and Smith, H. (2022) Waterborne Transmission of Protozoan Parasites: A Worldwide Review of Outbreaks and Lessons Learnt. *Journal of Water and Health*, **5**, 2-3. <https://doi.org/10.2166/wh.2006.002>
- [10] Tyzzer, E.E. (1907) A Sporozoan Found in the Peptic Glands of the Common Mouse. *Proceedings of the Society for Experimental*, **5**, 1-3. <https://doi.org/10.3181/00379727-5-5>
- [11] [美]亚当·罗姆. 乡村里的推土机——郊区蔓延与美国环境保护主义的兴起[M]. 高国荣, 孙群郎, 耿晓明, 译. 北京: 中国环境科学出版社, 2011: 163-164.
- [12] 孙群郎. 当代美国郊区的蔓延对生态环境的危害[J]. 世界历史, 2006(5): 18-19.
- [13] 滕海键. 1972年联邦水污染控制立法焦点及历史地位评析[J]. 郑州大学学报, 2016(5): 122.
- [14] Rose, J.B., Landeen, L.K., Riley, K.R. and Gerba, C.P. (1989) Evaluation of Immunofluorescence Techniques for Detection of *Cryptosporidium* Oocysts and *Giardia* Cysts from Environmental Samples. *Applied and Environmental Microbiology*, **55**, 3189-3190. <https://doi.org/10.1128/aem.55.12.3189-3196.1989>
- [15] Hayes, E.B., Matte, T.D., et al. (1989) Large Community Outbreak of Cryptosporidiosis Due to Contamination of a Filtered Public Water Supply. *The New England Journal of Medicine*, **320**, 1372-1376. <https://doi.org/10.1056/NEJM198905253202103>
- [16] Cruse, J.M. (1999) History of Medicine: The Metamorphosis of Scientific Medicine in the Ever-Present Past. *The American Journal of the Medical Sciences*, **318**, 171-172. <https://doi.org/10.1097/00000441-199909000-00012>

- [17] Morris, B. and Whitehead, J. (2007) Review of the Impact of the 1999 Water Regulation in Reducing Cryptosporidium Contamination Risk in Groundwater Public Supplies. *Water and Environmental Journal*, **21**, 74-81. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2006.00049.x>
- [18] Corso, P.S., Kramer, M.H., *et al.* (2003) Costs of Illness in the 1993 Waterborne Cryptosporidium Outbreak, Milwaukee, Wisconsin. *Emerging Infection Diseases*, **9**, 426-431. <https://doi.org/10.3201/eid0904.020417>
- [19] Mac Kenzie, W.R., Hoxie, N.J., *et al.* (1994) A Massive Outbreak in Milwaukee of Cryptosporidium Infection Transmitted through the Public Water Supply. *New England Journal*, **331**, 161-164. <https://doi.org/10.1056/NEJM199407213310304>
- [20] MacKenzie, W.R., Hoxie, N.J., *et al.* (1995) Massive Outbreak of Waterborne Cryptosporidium Infection in Milwaukee, Wisconsin: Recurrence of Illness and Risk of Secondary Transmission. *Clinical Infectious Diseases*, **21**, 58-59. <https://doi.org/10.1093/clinids/21.1.57>
- [21] Koch, K.L. (1985) Cryptosporidiosis in Hospital Personnel: Evidence for Person-to-Person Transmission. *Annals of Internal Medicine*, **102**, 593-596. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-102-5-593>
- [22] Jiang, X., Wang, M., Graham, D.Y. and Estes, M.K. (1992) Expression, Self-Assembly, and Antigenicity of the Norwalk Virus Capsid Protein. *Journal of Virology*, **66**, 6527-6528. <https://doi.org/10.1128/jvi.66.11.6527-6532.1992>
- [23] Mc Crane (1991) What Your Colleagues Are Chargin. *Medical Economics*, **69**, 191-193.
- [24] 石凯, 邓俊良, 陈兆国, 等. 犬隐孢子虫病研究进展[J]. 动物医学进展, 2013(8): 97-101.
- [25] Addiss, D.G., *et al.* (1996) Cryptosporidiosis in Wisconsin: A Case Control Study of Post-Outbreak Transmission. *Epidemiology and Infection*, **117**, 297-298. <https://doi.org/10.1017/S0950268800001473>
- [26] Public Health Laboratory Service Study Group (1990) Cryptosporidiosis in England and Wales: Prevalence and Clinical Epidemiological Features. *British Medical Journal*, **300**, 774. <https://doi.org/10.1136/bmj.300.6727.774>
- [27] Navin, T.R. and Juranek, D.D. (1984) Cryptosporidiosis: Clinical, Epidemiologic, and Parasitologic Review. *Reviews of Infectious Diseases*, **6**, 313-327. <https://doi.org/10.1093/clinids/6.3.313>
- [28] 吴明松, 高云霞, 李绍峰, 黄君礼. 饮用水中隐孢子虫卵囊的杀灭技术[J]. 世界科技研究与发展, 2008(4): 426-428.
- [29] Palit, C. and Sharp, H. (1983) Microcomputer-Assisted Telephone Interviewing. *Sociological Methods & Research*, **12**, 169-172. <https://doi.org/10.1177/0049124183012002005>
- [30] Haddix, A.C., Teutsch, S.M., Shaffer, P.A. and Dunet, D.O. (1996) Prevention Effectiveness: A Guide to Decision Analysis and Economic Evaluation. Oxford University Press, New York, 100-101. <https://doi.org/10.2105/AJPH.87.12.2032>
- [31] Hoxie, N.J., Davis, J.P. and Vergeront, J.M. (1997) Cryptosporidiosis-Associated Mortality Following a Massive Waterborne Outbreak in Milwaukee, Wisconsin. *American Journal of Public Health*, **87**, 2032-2033.
- [32] Meinhardt, P.L., Casemore, D.P. and Miller, K.B. (1996) Epidemiologic Aspects of Human Cryptosporidiosis and the Role of Waterborne Transmission. *Epidemiologic Reviews*, **18**, 118-120. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.epirev.a017920>
- [33] Kramer, M.H. and Herwaldt, B.L. (1996) Surveillance for Waterborne-Disease Outbreaks—United States, 1993-1994. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, **45**, 1-3.
- [34] Levin, R. and Kleiman, M. (2003) Drinking Water Disinfection in the United States: Balancing Infectious Disease, Cancer and Costs, Market and Nonmarket Failures. *Managing Water Urban Supply*, **46**, 167-175. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0237-9_11
- [35] Lechevallier, M.W., Norton, W.D. and Lee, R.G. (1991) Cryptosporidium in Filtered Drinking Water Supplies. *Applied and Environmental*, **57**, 2617-2621. <https://doi.org/10.1128/aem.57.9.2617-2621.1991>
- [36] Leland, D., McNulty, J., Keene, W. and Stevens, G. (1993) A Cryptosporidiosis Outbreak in a Filtered-Water Supply. *American Water Works Association*, **85**, 34-35. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1993.tb06005.x>
- [37] Frisby, H.R., *et al.* (1997) Clinical and Epidemiologic Features of a Massive Waterborne Outbreak of Cryptosporidiosis in Persons with HIV Infection. *Epidemiology*, **16**, 367-370. <https://doi.org/10.1097/00042560-199712150-00010>
- [38] 许颖. 美国与墨西哥交界城市缺乏适宜排污设施和饮用水家庭的隐孢子虫和贾第鞭毛虫感染[J]. 国外医学(寄生虫病分册), 2004(3): 142.
- [39] Morris, S.R. and Levin, R. (2000) Estimating the Incidence of Waterborne Infectious Disease Related to Drinking Water in the United States. *Medicine*, **4**, 1-2.
- [40] 徐祥民, 于铭. 美国水污染控制法的调控机制[J]. 环境保护, 2005(12): 71-72.
- [41] 于铭. 美国联邦水污染控制法研究[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2009: 35-36.

-
- [42] Savioli, L., Thompson, A., *et al.* (2006) Giardia and Cryptosporidium Join the Neglected Diseases Initiative. *Trends in Parasitology*, **22**, 203-205. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2006.02.015>
- [43] Kaid, B.F., *et al.* (1999) Once There Were Greenfields: How Urban Sprawl Is Undermining America's Environment, Economy and Social Fabric. *Forum for Applied Research and Public Policy*, **14**, 80-81.
- [44] Hughes, J.M. (1998) Addressing Emerging Infectious Disease Threats—Accomplishments and Future Plans. *Emerging Infectious Diseases*, **4**, 360-361. <https://doi.org/10.3201/eid0403.980304>
- [45] Juranek, D.D. (1995) Cryptosporidiosis: Sources of Infection and Guidelines for Prevention. *Clinical Infectious Diseases*, **21**, 60-61. https://doi.org/10.1093/clinids/21.Supplement_1.S57
- [46] Harrington, W. and Krupnick, A.J. (1991) Economics and Episodic Disease. Routledge, London, 66-67. <https://doi.org/10.56021/9780915707591>
- [47] 黄德春, 陈思萌, 张昊驰. 国外跨界水污染治理的经验与启示[J]. 水资源保护, 2009(4): 80.