

环境中的病毒污染

(美) G. 伯格 主编

科学出版社

1.6
47

环境中的病毒污染

[美] G. 伯格 主编

方肇寅 吴联熙 等 译

洪涛 校

科学出版社

1991

内 容 简 介

水是生命存在的必要前提之一，也是不可替代的资源。随着世界人口增加和工业发展，对水的需求量与日俱增，迫切要求保护洁净的水源和开发废水的循环利用，因而研究环境中的病毒污染已成为自然科学的一个最新分支。本书系统介绍了病毒随废水、污泥和气溶胶对环境污染的规律，以及从水体中检测病毒的方法，并且着重论述了从不同水体和污泥中去除病毒污染的处理过程，另外也对病毒的不同指标进行了讨论。本书的特点是综合了国外有关环境病毒学研究的大量资料和数据，并有图表和参考文献，为使用者带来很大方便。

本书对从事环境科学、卫生防疫和医学微生物学的管理、科研和教学人员具有指导或参考价值。

Gerald Berg, Ph. D., Editor

VIRAL POLLUTION OF THE ENVIRONMENT

CRC Press, Inc. 1983

环境中的病毒污染

[美] G. 伯格 主编

方肇寅 吴联熙 等译

洪涛校

责任编辑 王爱琳

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1991年3月第一版 开本:787×1092 1/16

1991年3月第一次印刷 印张:12

印数:0.001—1 500 字数:274 000

ISBN 7-03-002009-X/X·12

定价:12.60元

序

仅在几十年前，病毒还只被偶然地从流动着的污水中检查出来，所以似乎没有多少理由对水在传播病毒病的媒介作用上加以重视。当然，那种只能断断续续地从污水中检出病毒的技术不可能在河流或饮用水中经常检出病毒。于是，水源水受病毒污染的问题，似乎对于现今世界的大多数饮用给水关系不大。

但是，自从本世纪 30 年代末以来，技术得到发展，有足够的灵敏度，常能在水源水中检出病毒。尤其近年来，技术发达的国家已有越来越多的报道，从以地表水为水源很好处理过的给水中检出了病毒。污染的病毒数量足够使饮用者中至少一部分人受其感染。问题的严重程度随着检出更多病毒的技术进步而增大。这表明病毒一直是有的，只是我们检出它们的能力有变化。

今后几十年中，由于病毒检测技术继续改进，我们能够预期对这些病毒造成的水传播问题会给予更大注意。本书所有作者都在发展检测水与废水中的病毒技术和水病毒学以及水处理方面做出过重大贡献。也可以说他们是明天技术进步的先驱。

(方肇寅 译)

目 录

序..... i

绪 论

第一章 病毒随废水、污泥和气溶胶向环境排放.....	John S. Slade, Brian J. Ford (1)
I. 引言	1
II. 问题的严重性	2
III. 饮水中的病毒	3
IV. 环境中的病毒	5
V. 病毒的种类	6
VI. 环境的污染	7
VII. 摘要和结论	10

方 法 学

第二章 从水环境中检出病毒的方法.....	Charles P. Gerba (11)
I. 引言	11
II. 依病毒吸附的检测方法.....	11
III. 浓缩水中病毒的其他方法	19
IV. 摘要和结论	21

去除水和污泥中病毒的处理过程

第三章 去除废水和排水中病毒的处理过程	Charles A. Sorber (23)
I. 引言.....	23
II. 处理过程对病毒的去除.....	24
III. 摘要和结论	31
第四章 去除原水中病毒的处理过程.....	John C. Hoff, Elmer W. Akin (33)
I. 引言	33
II. 沉淀处理.....	33
III. 水软化沉淀处理	40
IV. 过滤处理	40
V. 对饮用水处理结果的解释及其有关问题.....	45
VI. 摘要和结论	47
第五章 灭活水内和废水出水中病毒的消毒处理	Gerald Berg (48)
I. 引言	48
II. 水消毒剂的化学.....	48
III. 毒性	50
IV. 水内病毒的灭活	51

V. 污水内病毒的灭活	57
VI. 摘要和结论	60
第六章 破坏污泥中病毒的处理过程	Richard L. Ward (61)
I. 引言	61
II. 病毒从污水向污泥的转移	62
III. 污泥中病毒的灭活	63
IV. 摘要和结论	71

环境中病毒的出现和存活

第七章 环境水体中的病毒	Jean-Claude Block (73)
I. 引言	73
II. 病毒在环境水体中的出现	73
III. 病毒在环境水体中的存活	78
IV. 摘要和结论	87
第八章 废水污泥中的病毒	Samuel R. Farrah, Stephen A. Schaub (88)
I. 引言	88
II. 废水污泥的产生、处理和弃置	89
III. 废水污泥中病毒的检测	90
IV. 污泥颗粒与病毒的吸附	91
V. 在污泥处理过程中污泥相随病毒的命运	93
VI. 摘要和结论	97
第九章 土壤和地下水中的病毒	James M. Vaughn, Edward F. Landry (98)
I. 引言	98
II. 污染土壤和地下水系统的各种污水弃置方法	98
III. 病毒在土壤、植物及地下水中的出现	102
IV. 控制病毒穿过土壤时吸附与移动的各种机制	107
V. 病毒在土壤中的存活	124
VI. 病毒在土壤中移动的预测	128
VII. 摘要和结论	130
第十章 检测病毒的指标	Sagar M. Goyal (132)
I. 引言	132
II. 对大肠菌群作指标的争议	133
III. 海洋环境中病毒的指标	136
IV. 可供选择的其他指标	141
V. 摘要和结论	144
参考文献	146
索引	180

绪 论

第一章 病毒随废水、污泥和气溶胶向环境排放

John S. Slade, Brian J. Ford

I. 引 言

对水和废水中病毒的研究是自然科学中一个最新分支。水中病毒的研究也是一个紧迫的课题。随着全球人口的迅速增长,这一紧迫感将不断增加。在认识到必须进行病毒调查的情况下又容易忘记这是一个新学科。20年前还没有任何资料表明伦敦的河水中有病毒^[1],而现在,按常规检查过病毒的泰晤士河流域的每一处地表水都表明含有病毒。在不到20年间,从对污染的完全无知状态转变到承认100%地受污染可能是没有先例的,因此我们面临着一系列不断增长的问题。我们领会到世界上存在着两种并行状态,除发达国家之外还有许多国家基本上仍然处于落后状态,显然病毒学工作者和负责水管理规划的人面临的国际任务是巨大的。

地表水中的病毒虽然未曾证实,但完全能预期它们的存在。例如河水有粪便污染,便意味着可能有某种肠道病原。对这一领域科学兴趣的高涨,是实验室检测病毒技术发展的反映,而不是病毒污染的突然增加。实际上揭露出来的污染明显增加是由于新技术所致,抑或是个新问题,把它们区别开是很重要的。如果我们把病毒经粪便和空气途径传播归咎为人们自己造成的社会现象,那就错了。虽然不可否认,文明改变了病毒和环境相互作用的途径,从而也改变了与人类宿主的相互作用方式,但注意到过程的演化意义,我们在许多方面就会更清楚地体会到病毒传播的基本原理。除了性接触或直接接触之类少数途径外,人们可以说病毒通常是被摄入、被注射入或被吸入的^[2]。在这种场合可能看到粪便或气溶胶等传播方式在病毒病的自然史上是多么重要。这也会启发我们关于一种病毒在传播途径中存活能力问题。毫无疑问,病毒有比人类更长的历史,可以设想它们装备得很好,足以耐受那艰巨的历程。了解了病毒对温度、pH等变化的敏感性,便能够较好地设计出解决病毒问题的手段。

天然水流中存在的大量微生物群落在很大程度上对水的卫生有好处,且有助于设想一种不需要净化废水的高技术、而是使天然的生态过程发挥最大效益的净化过程^[3]。通过这种“发展”的观点我们可以体会到:一个不发达的社会多么容易遭受病毒病的袭击,假如天然的水净化过程没有控制住这些疾病的话。

用基本的生态学原理能够详细说明病毒病的发生和控制它的危害的问题。然而我们必须避免鼓励那些总是喜欢忽视问题的人,因为有一种思潮主张:

(1) 我们在几个世纪中已精心设计了复杂的给水和回用系统,从来没有考虑过病毒,现在也没有必要考虑它。

(2) 给水中有点病毒反而有好处,因为它使获得有效水平的免疫。

(3) 短时间试验方法不大可能检出病毒。

因此我们必须问“病毒要紧吗”? 这问题对于埋头于实验室环境的微生物学工作者来说似乎是学究气和非现实的。然而当和其他学科——不论是工程、管理或远景规划的人打交道时,我们很多人都被问到这类问题^[4]。

II. 问题的严重性

在发展中国家,儿童大量死亡的主要原因是婴幼儿腹泻,据说每年死于此病的有 600 万人。现在我们知道病毒(特别是轮状病毒)是该症的主要起因。它是一个国际性问题,是诱使人忘掉“无法核实”或“不精确”概念的统计数字。新德里那次经过充分证实的病毒性肝炎地方性流行^[5]使人更精确地了解到,在一个免疫性很好的人群发生因饮水中有病毒而引起的 3 万病例,而该饮水来自一个从来没有重大事故的现代化水厂。

西方国家发生过因食用贝类而导致甲型肝炎的暴发流行。这些软体动物滤水摄食使它们富集浓缩了含病毒的物质达到大大超过该水中所发现的病毒浓度。对得克萨斯州 Galveston 湾的调查,在总共 44 份海水样品中有 26 份发现有肠道病毒,其浓度最高为 0.4/L; 而对 40 个塘捕获的牡蛎样品(每份 10—12 个牡蛎)检测结果,14 个塘是阳性结果,其病毒浓度达 224/100g。5 份结果阳性的牡蛎是自从来没有检出过病毒的水中采集到的^[6]。

确诊病人并断言他们的病毒病来自某一特定来源是不容易的。有许多儿童是轮状病毒的短期带毒者,但本身并无腹泻症状(无症状排毒者)。所以没有来自病人和传染源的样品的详细血清学分析,将不容易把个别甲型肝炎病例归咎于一个确定的贝类传染源。但现有的初步证据就足以引人关切,如果因为现有流行病学技术相当原始而忽略这种危害是不明智的。有这种类型的病毒病是最近才知道的。我们对其严重性的了解和对其作用的解释甚至更肤浅。

若是规定一个武断的标准,例如 $<1/1\ 000$ USgal (美加仑)^{*[7]},将会引起政治问题和可能的法律纠纷,有人会把这样一个限制性条款看成授权允许病毒病原进入水内。如果证明是这样,那么饮用经过检定的饮水的人发生临床肝炎,将可能是打官司的原因。从这种实用意义上说,必须规定最高标准,即在给水中不得检出任何病毒。

一个废水体系内的病毒的确是来源于生活在该集水区或循环回用水系统内的人或其他个体,爱挑剔的人可能会争辩说:“这不过是送回投入的病毒。”但这是不实际地拒绝最高净化标准。虽说排泄物是自然的,但污水不是。通过人工渠道集中和疏导污物从功能上妨碍上面已提到过的生态学净化过程。从这方面说,一个集中起来的污染源可能是有害健康的总根源。

所以,我们虽然承认病毒问题的重要程度不可能凭我们在这一领域中尚不成熟的经

* 1USgal (美加仑) = 3.78543L. ——译者

验而提出的非难来适当表达,但是没有理由自满,对一个不了解我们面临的潜在危害的非微生物学工作者来说,重要的是强调我们仍然处于无知,这可看作我们已开始建立的现实而紧迫的知识基础的反映^[4]。

III. 饮水中的病毒

人和其他动物一样,本能地喜欢饮用可能得到的最纯净的水。对于全球人口来说,只有一小部分采用了用管道供应净化过的水的办法。目前我们的饮用水是常规处理所能提供最无害而且最纯净的。它启发我们去检查在这一高度加工过的饮水里已知的病毒情况,因为这使我们看清当今全世界都在摄取病毒。这是环境被病毒污染程度的直接指标。

在对这些问题的了解中我们认为有如下三个方面:

- (1) 不发达国家水中病毒的情况。
- (2) 发达国家饮用水污染的发生率。
- (3) 正统的责任管理体制中妨碍推广新发现的限制。

A. 第三世界国家水中病毒的情况

在世界许多地区,发展中国家的基础数据仍不完全。作者们曾分头访问了亚洲远东地区、非洲和太平洋岛屿各种完全不同的机构。有可能发现,在自然生态力量起作用的地方污染的程度非常低。例如,印度大部分地区的病毒水平在旱季时低。这在很大程度上归因于缺乏污水,因为往往没有排放污水的管道,因此强烈的阳光起着干燥和紫外线灭菌的作用,而较高的环境温度可能破坏病毒。强调这一点是很重要的,即如果在这个地区安装上现代化的污水系统,这些水路中病毒污染的机率有可能会大大增加。我们再一次认识到,这样的发展必须符合当地文化和环境条件。对于习惯于几千年来获得的生活方式的人们来说,一种不慎重或错误建立起来的现代化方式将带来社会卫生标准降低的危险,而不是提高。这和一个西方国家会遇到的情况相反,在西方无疑会证明采用类似方案将能带来净化标准的明显改善。

病毒检测技术的新颖性使大多数第三世界国家无法做到。因此几乎不知道这些国家病毒污染的程度。如果我们注意到这意味着世界人口的一大部分还在摄入尚不知数量的病毒,这一被人忽视的地区的实际意义就很清楚了。

然而有证据证明,第三世界国家水中病毒水平可能极高,根据是最近发表的有关细菌污染的资料,因为我们可以有把握地推测,粪便微生物污染水平的增加相应于病毒发生率的平行改变。乌干达的资料表明,河水的粪大肠菌群计数可高达 8 000/100ml,甚至机井水的计数也达 60。冈比亚的手挖敞口井和肯尼亚的河水,毫无例外每次计数都是数千,曾发现高达 100 000/100ml。尼日利亚甚至有更高纪录,池塘内总大肠菌群数可达到 4×10^6 /100ml,而印度尼西亚雅加达市中心的运河仅粪大肠菌群数一项就高达 3 100 000/100ml。我们无法知道在多大程度上能以这些数据直接作为病毒污染的指标,因为普遍认为细菌计数和病毒水平之间没有密切而稳定的相关关系。关于病毒数量(即使已知)和病原体对人群危害或感染的关系我们还不能谈论很多,因在地方性流行的人群中病毒传

播的流行病学知识许多尚有待发掘。虽然不言而喻,开始感染必须有病原,但对每一个可能敏感的个体来说未必一有病毒就会引起疾病。这种奇妙的选择的背后,免疫学的、体质的和行为的因素是复杂的,许多方面尚有待解决。

我们希望强调,在运用这些发现时,应用上面提到的文化制约的见解来仔细考虑。似乎有一真正的危险,过早地宣布污染水平可能造成比解决它还更困难的局面。有这样一个例子^[9],引用标准致使官方关闭了一个村庄的水厂,因为发现供水中粪大肠菌群数是50/100ml,结果迫使当地居民改用灌溉渠水,而渠水的粪大肠菌群数却是10 000/100ml。我们希望劝告那些得到细菌计数的人考虑这新的数据和这一地区的社会需要与社会价值之间的关系,然后在适当的场合并以建设性和实用的方法提出这些数据。总的目的终究必须是消除取得真正进展的障碍,而不仅仅是用另一问题代替。

B. 发达国家饮用水的病毒污染

工业化国家中广泛安装了下水道,足可防止病毒散布问题的发生。加之,给水都经过典型的处理,采用一系列去除病原体的充分有效的方法,从传统的过滤到用氯、臭氧或某些其他消毒剂进行化学杀菌处理。即使在这些严格处理过的水内仍发现有一定数量的病毒。法国、以色列、意大利、罗马尼亚、美国和苏联的水样,都报告过有人肠道病毒^[10]。然而这些资料表明,病毒实验室的分布多于病毒问题本身。另外,从定性的角度说,仅限于所用方法能检出的那些病毒,这本身就是有限的。事实上,一些最重要的病毒污染(包括轮状病毒和甲型肝炎病毒)用实验室常规方法是检测不出来的。

要对任何一个工业化国家关于水受病毒污染的资料进行解释时,有个值得我们推导的对了解的重要理论限制,并对获得进一步资料有一些实际束缚。对这些因素的分析可能证明是水病毒学将来发展的重要方面。

C. 建立对散布消息的限制

正如其他许多专门知识领域一样,主要靠杂志上已发表的资料来判断新的研究工作。但不是每一份研究材料都已达到发表阶段,何况对一个新的学科不可避免地守旧性起着反对新的背离的作用。在给水领域和污染的研究方面我们有传统的责任体制,从管理角度上为了在工程人员和水检测人员之间建立有效的关系,不可避免地要派一位高年的微生物学工作者和(或)管理人员从事该工作。这意思说一个十分合格的官员将负责水质纯洁度政策的工作,而资历较浅的工作人员将被指派从事这样一些新的或实验方面的研究,例如调查由粪便来的病毒对水或环境的污染。虽说这可以“给问题带来新鲜思路”,但这也使得难于建立对新冒头的发现进行交流的渠道。在实践中已经发现,哪个部门在病毒学领域作出一些委派,那个部门就会自称处于领先地位。然而如果资历较老的官员没有很多病毒学经验,则可能限制对资历较浅的工作人员的支持,这倒不是出于审慎的策略,而是出于对更深奥或更有用学科传统态度的倾向性。在我们了解的一二例中,某些样品中发现病毒受到冷淡对待,因为好像是抹了黑,或是含蓄的批评,把它看做与机构本身的地位和名誉密切相关的考验和测验的方法。

这里我们不去假定这些强调是否有意识的偏见,但它是金字塔般责任体制不可避免的结果。进一步的控制可能来自我们知识现有水平的限制。可能发现,一个病毒高峰还

没等报告出去,时间已在取水样和出结果之间溜过去了。这里我们要有一个概念,即等候数据到手已为时太晚,已不可能采取任何可行的预防发生的措施,这样就可能在研究报告上批上“仅有学术价值”字样而打入冷宫。为此及有关理由,对我们来说重要的是今后想法给病毒学的这一分支应有的地位,以使进一步发展可能顺利些,使新的和有关发现的机会可能容易些。目前情况似乎是行政管理部门一点也不重视小的研究计划和个别发现,这二者一起可能更好反映当前状态。个人之间的讨论已暗示,英国(尚无自来水内有病毒的正式报道)已有个别几份鉴定为阳性结果的例子,例如有柯萨奇病毒B和脊髓灰质炎病毒。反对发表这些断断续续报告的借口是它们可能不典型,或它们可能是假阳性,可是只有对正在得到的结果全面检查才能最切合实际的解释发生的事。

有一篇宣传报道,由于测到微量病毒便认为人们的健康已面临非常危险的情况。这样的报告对于为评价而开始发展的专门研究以及对重新认识问题的及时调节都是不利的。这再次说明用稳妥而实际的措词来表达对这些资料的讨论是重要的。如果科研人员由于对捕捉一个全新而且不能定量的危险因素有兴趣而成为批评的牺牲品,那将是不幸的,特别是这种危险因素对于人群整体来说非常微小,而且比我们日常承认的许多危险因素的确定程度小的时候。

IV. 环境中的病毒

只要废水一直在密闭的下水道中导流,其内的病毒几乎不会引起什么问题。但一旦处于处理或弃置场所,就出现了病毒逸出的潜在危险。实际上不可能保证自来水总管道和下水道系统处处都密封得很好,因而直接的渗漏和侵入引起一些污染是可能的。例如,伦敦的污水和自来水管线的总长超过了伦敦绕过太平洋到芝加哥之间的距离。类似伦敦的情况下,交通密度和每辆卡车重量的显著增加都造成下水道的震动和应力破损。自来水干管受害少些,部分原因是它们的正压负荷有助于结构完整。但下水道的渗漏意味着过去主要局限在对下水道工人的健康危害,现在可能危及一般居民。

污水一旦被排入环境(例如从河堤排污口排放),就不再处于有关污水管理当局的控制下。在绝大部分污水处理过程中,固体和液体成分尽可能被分开,这与污水存塘或蓄水的情况不同,但这些过程在全球的应用有限。然而不论应用何种过程,都不可能无限制地保留这些产物,所以最后它们必须返回到环境中去。污水处理的程度非常不同,从完全不处理(收集来的污水排放到海洋或湖泊,这一古老而危险的办法仍然遗憾地在西方世界许多长期建立的居民点中看到)到为液体和固体再利用而设计的高度先进的循环回收系统。即使这种现代且完善的工艺正在使用而它们仍然相当少,还是可以确切地说,绝大多数污水处理厂的出水中含有相当数量的病毒。

最后,涉及到用含病毒污水灌溉和曝气处理的工艺过程将以气溶胶的形式释放病毒是不可避免的。除海岸激浪、瀑布和急流等自然作用外,污染的河水和海水易于产生气溶胶,例如在喷雾灌溉或冷却塔中。一旦呈气溶胶形态,病毒污染几乎不可能测出或控制,而释放的病毒可能扩散至更远的距离,它们往往通过呼吸道在新宿主上很好适应并定居下来。我们甚至能够推想起飞机洗手盆废水的排放是否可能导致一种病毒病从污染点传播至若干公里之外的某些敏感个体。

V. 病毒的种类

关于生活污水人们往往仅想到人类肠道病毒而忽视人以外其他生命形式的病原。有一些重要的病原必须考虑,它们涉及非常不同的种类,从噬菌体到家畜、家禽甚至某些鱼类和植物的病毒疾病。

A. 人类病毒

从实践观点看,人类的病原必须给予最优先考虑,了解在人类环境中这些病原的性质和程度将有助于减少世界范围内的发病和死亡。

1. 随粪便排泄的肠病毒 已知随粪便排出的人类肠病毒超过 100 种,其主要类型(脊髓灰质炎病毒,柯萨奇病毒,艾柯病毒,腺病毒,呼肠病毒和小脱氧核糖核酸病毒)已进行了分类学研究,并经过明确规定的标准鉴定,其中大部分已反复在体外培养。其他例如轮状病毒已从大便材料经电子显微镜鉴定,但许多其他病毒由于缺乏可靠的试验手段,故其病原作用尚不清楚。

2. 其他的病毒病原 粪便不是人类病原的唯一来源,洗手池废水可能含有皮肤病病毒,而污水样品中的血液(可能来自外伤或月经)可能有引起病毒血症的任何病原。鼻和咽喉分泌物是人类呼吸道病毒的主要来源。最近报道的生殖系统疱疹增加可能导致洗澡水污染,我们推测,可传染的自家免疫病也可能引起问题。所以我们虽然必须强调这些病毒中任何一种有关它的病原意义或流行病学意义仍未明确了解,但可清楚地证明对人类致病的任何病毒都可以在污水中发现。

B. 动物病毒

这里讨论的病毒病原可能有经济重要性(例如口蹄疫病毒)或涉及到家庭爱畜(包括狗的疾病)。近来注意力集中于猪水痘病(SVD),已知在进口猪肉制品中有,能通过污染的废弃物传播,因此作出了控制泔水喂猪的规定(剩残食物经过煮沸后喂猪)。这种病毒在一定条件下能引起人的感染,它与柯萨奇病毒 B5 类似。已知污水和污水派生的污染中有柯萨奇病毒 B5,因此有理由推断 SVD 病毒可能有类似的分布。

鱼的病毒病 近年来注意力越来越集中于传染性胰腺坏死病(IPN),它使鳟鱼场和其他鲑鱼类孵化厂饲养的鱼苗损失达 90%,一部分幸存者可能是 IPN 病毒的携带者。该病在 70 年代传进英国,大概来自西欧的污染进口品。据推测,这是由于引进完整的鳟鱼所引起。但这种饲养方式的经济利益诱使人非法地这样干。另一可能是病毒由走私的鱼苗或鱼卵带进。无论是哪种情况,病毒传播途径很可能是通过污水并进而对环境的污染。

C. 植物病毒

这方面的机制我们也知道得很少。典型的植物疾病中,线虫或蚜虫之类的传播媒介,将病毒颗粒在宿主之间传播。虽然有理由期待从废水中分离出植物病毒,但不经传播媒介似乎不会发生传播。如果带病毒的媒介本身是废水的一种成分,特别就水生线虫来说,

是有可能的,这对农业可能是问题。污水处理的最终产物的利用,无论是污泥或部分净化的水,可能起着大规模传播植物病毒的作用。

D. 细菌病毒(噬菌体)

我们知道废水中能发现许多种噬菌体,有时数量很大。但它们造成的麻烦似乎很少,因为生物技术设施受能大量杀死细菌的病毒污染问题,通过操作者对这些工厂进水的系统处理而大为降低。水中的噬菌体可能作为宿主细菌存在的标志,用这种方法噬菌体可能成为有价值的指标,作为有粪便物质存在的快速检测(6h内)的手段。

噬菌体不仅有作为发生污染的指标的潜在价值,还可以作为污染水路已被清除程度的指标。例如,已知大肠杆菌噬菌体对氯消毒的敏感性低于其宿主大肠菌群,所以存活数目较大^[11]。因此,大肠杆菌噬菌体可能对评价污水处理厂在去除人类病原体的效力上有用。

VI. 环境的污染

所有生命形态都受病毒袭击,而且某些物种对一种以上的病毒敏感。所以能够认为病毒比活着的有机体种类还多。病毒无论是在它们的宿主中或是在传播途径上,直至最后有活着的有机体来复制它们,都有支持病毒的环境。

所以单单是病毒在环境中存在,并不一定等同于污染。我们规定这个词有两个意义:①由人为的措施导致不适当的病毒浓度;②任何有经济或卫生意义的病毒在宿主周围出现。

这意味着,第一,我们必须避免会将正常存在于环境中的病毒浓缩的处理方法(以类似贻贝的过滤进食的方式,参见第II节)。下面将描述一些全然未料到的例子。第二,即使环境中某种病原体的数量在历史的或生态学的意义上不“过剩”,也必须采取方法来消除它。这样,像天花的情况一样,一种曾经流行的疾病能被从人群中根除。严格来说,“污染”这词有两种不同的用途。但是为了人道主义或经济的目的,需要控制病原,这意味着从实践观点我们必须想办法完全去除废水中所有病毒以防止通过环境渠道重新散布而使病毒再循环。于是我们只能寻求运用比正常条件下自然所发挥力量更严格的控制。这样下去,对提高全人类(和动物)社会的健康会起深刻的影响。

从当前经济和技术的限制看,必须承认我们面临着更加实际的任务是保证废弃物受到消毒而不是彻底灭菌,即使这里也有争论。“灭菌”一词有许多意思,对这一问题的任何分析都导致复杂化^[12],而“消毒”的概念,就其以人类为中心的解釋而言同样是不明确的。所以提出一种观念时我们必须兼顾客观现实,它是否耗资太大或者技术不成熟,另外也要考虑现在对废弃物和污水处理过程所依据的传统的处理习惯^[1]。

A. 污水中的病毒

人类排泄物中不仅病毒种类繁多(至今已知超过100种),而且排出的病毒数量相当大。被感染的人不管他们是否有症状每克大便中可排出100万以上有感染力的病毒颗粒^[13]。污水中的病毒浓度可高达 $10^5/L$ 有感染力的病毒颗粒,而且在适当环境条件下可

以存活数月。

影响污水中病毒浓度的有几个因素：

- (1) 人群的健康和年龄结构。
- (2) 当地病毒病原的流行病学状态和病原学状态。
- (3) 污水的物理状态(例如被不含病毒出水稀释的程度)。
- (4) 周围条件与病毒存活最佳条件之间的差距。
- (5) 昼夜和季节的温差、降雨等。

美国早期的研究^[44]报道了在密执安州 1955—1957 年污水样品中发现有肠道病毒。兰辛城东部污水样品中检出病毒的阳性率为 14%，而兰辛城的污水样品因被工业出水稀释阳性率下降一半。最高的检出率是在夏季 7—11 月份。兰辛城东部活性污泥污水处理厂的原进水阳性率为 33%，而出水的阳性率仅为 10%。

以色列海法港的类似调查表明，1972—1974 年污水样品中病毒月平均值为 6×10^3 — 4.9×10^5 /L^[45]，最高可达 1×10^6 /L。1977 年渥太华研究的污水病毒污染情况表明^[46]，79% 的污水样品含有致病的人类病毒，对 72 份分离到的病毒进行了血清学和电子显微镜检定，56 份(78%) 为呼肠病毒，其他 16 份为肠道病毒(15 份是脊髓灰质炎病毒，其中 5 份是野毒株，另一份为柯萨奇病毒)。应明确指出，正在人们对疫苗接种冷淡下来的时候，脊髓灰质炎病毒野毒株的出现是令人关切的。

印度的研究^[47]发现，每升 11 500 病毒颗粒，其中几乎 80% 是脊髓灰质炎病毒，而且约 70% 为野毒株。这再一次强调了病毒污染的公共卫生问题，并指出印度的麻痹型小儿麻痹 60% 发生在雨季。

1981 年在伦敦的系统研究，在 7 个多月中每两周采集一次样品，一个现代化的活性污泥污水处理厂其进厂原污水中病毒高达 9140/L，每份进厂水样都是阳性。处理后的出水表明病毒水平平均减少 98.8%。即使如此，仍有 80% 出水样品病毒检测阳性，其浓度达 60/L，每份含暴雨水的样品达到 120/L。虽然数据不多，但看来有理由作出某种总的描述，即所有污水都含有病毒。据我们看，人类的污水是人类致病性病毒能污染今天文明社会环境的最大来源。

B. 污泥中的病毒

病毒容易吸附在固体颗粒上，这部分地是由于它很微小，在自然界中倾向与固体物质相联结。污水中的病毒则倾向于聚集在污泥内，为此从污染源中去除固体物质将导致出水中病毒水平的降低。所以对一个水工程师来说，在污水处理时减少污水中固体也就是减少了病毒的含量，虽然在数量上找出两者之间的关系比较困难。

虽说在某种程度上这是病毒的一个有用的性质，但带来的问题是病毒与固体的联结比分散存在时存活时间更长。弃置剩余污泥可能成为污染环境的病毒的重要来源。所以用同样方法使污水沉淀来减少病毒浓度，可能给循环的以后阶段带来危害。

污泥浓缩病毒的能力暗示污水污泥(虽然不可避免地是最重要来源)不是发现病毒的唯一污泥。当饮用水水源经沉淀处理时，污泥中病毒的数量相应增加。这样说来，混凝和沉淀虽可减少产品中的病毒含量，却在副产物中产生令人讨厌的数量。不仅使病毒存活时间延长而且使病毒保持感染性。虽说为饮用而被净化的水源水总地来说已比原污水干

净了很多,但这种污泥却对环境仍然是个隐患。

1. 一级及二级污泥 除第IV节A中列举的各点之外,还有一个因素值得考虑,即处理过程中不同采样点采到的污泥中病毒的数量也有所不同。处理过的污泥虽仍有大量病毒,但总比原污泥低。

一级污泥每升中可含高达100万病毒。泰晤士水域原污泥中病毒浓度为 $6.5 \times 10^4/L$,而处理过的污泥(尤其是石灰处理,其高pH对病毒起作用)可能没有病毒,但高的可达1000/L或更高。许多研究室测过病毒存活时间,曾发现对许多型病毒包括柯萨奇病毒B5,艾柯病毒9和脊髓灰质炎病毒无例外的是12周^[19]。根据不同气候条件下的研究可以得到病毒灭活速度的某些设想^[19],结果表明丹麦冬季每月减少1lg,而美国得克萨斯州夏季每周下降2lg。

2. 污泥的最后命运 在处理周期的最后,污泥可能被扔掉或用于填埋,也可用做农业肥料或改良土壤,排泄入海,或用做工业原料或做为能源^[20]。这里有许多污染的可能性,可以证明甚至污泥焚烧时病毒颗粒也会从对流灰尘逃逸。

无疑,从世界范围来说最大的危险在于把污泥当做农肥使用。这在一个资源有限的世界上看起来像是节约,你看,这个又有价值又有丰富营养的废弃物通过农业被循环利用了,但很清楚这种应用给食用受病毒污染的农作物的人群提供了一个再感染的直接途径。

通过下列方式可能会进一步扩散:流进河流、污染附近地下水、由禽兽传播,甚至直接传染或污染农业工人和有接触土地的农村居民。

有篇综述^[21]指出,以这种方式再利用的污泥中病毒可能存活175d,与其他报道类似。有助于病毒灭活的各种因素中,有低湿度、高温,烈日辐照,以及缺乏有机物质。过高或过低的pH和通风环境同样对病毒不利。虽然这些因素已经实验证实,但其中的一些,例如低水平的有机物质,只能用于实验而不能应用于实际条件。

有个极端的例子^[22]是关系到将污水污泥注入土壤。用机械方法将一级和二级(厌氧消化过的)污泥注入地表下后6个多月中,样品的病毒检出率都是很高。这一工作及其他研究的结论都表明,污泥与土壤混合后无疑能支持病毒存活更长时间。显然,污水处理厂只有对污泥进行彻底而系统的消毒才能消除污泥造成的危害。

C. 气溶胶中的病毒

已知有许多方法,不论是人工的或自然的,能使染有病毒的液体变成气溶胶。甚至空气进入处理罐或冲洗家庭厕所的行为都产生气溶胶。病毒吸附在气泡周围的气液界面上,当气泡迸裂时病毒就溅入大气之中^[23]。这是病毒可能从液体介质中释放出来的一种重要途径,并且是以浓缩的形式释放出来。用大肠杆菌噬菌体T2和T4的实验结果表明可获得50倍浓缩。对海浪溅出水滴这一自然现象进行研究表明,浓度比实验中海水的病毒浓度高250倍,并在陆地上至少漂移30m^[24]。

通过喷灌系统释放的病毒数量可能相当高。以色列进行的一次回顾性调查^[25]表明,喷灌区人群中传染性肝炎的数量比130个对照居民区的高2—4倍。虽然按实验室诊断未能证明流感增加,但按临床诊断上述有可能暴露的人群中流感病例多两倍。结论是可能由肠道病毒引起的上呼吸道感染被误诊为流感。

最后,说家庭厕所带来污染危险有什么证据呢?在抽水马桶中接种 10^8 脊髓灰质炎病毒后放水冲洗,在座盆高度大约被溅上 3 000 个感染单位病毒^[26]。后来用大肠杆菌噬菌体 MS2 的试验表明,虽然在一个不通风的洗澡间内在头 2h 中有 94% 气溶胶化的病毒从空气中沉降出来,但很明显仍有少量病毒悬浮在空气中持续很长时间。

VII. 摘要和结论

尽管对此课题的某些广泛性综述尽力提醒人们对气溶胶污染环境的注意^[27],但在早期的考虑中这种传播途径还是常常认为“关系不大”。然而有一些特殊问题与气溶胶有关,是值得强调的。

举例来说,采取个人卫生预防污染的气溶胶是不实际的。饭前便后要洗手这些在公共卫生方面提倡的典型预防措施不能应用于我们必须呼吸的空气。将看上去干净的水用于电厂的冷却塔、当作农业用水或甚至用于公园和花坛的装饰性喷泉的人,可能无意中造成病毒向环境中散布。不能指望他们表示一点像一个处理出水的污水当局那样应有的谨慎,这可能意味着污染。

病毒一旦被释放出来,气溶胶形式的病毒团块可能穿行至相当远,并可能导致广泛传播,少数可引起暴发流行。此外,如果像上述在以色列研究^[25]那样对这一问题的流行病学分析被诊断的混乱所干扰,则要指出危险的程度或甚至辨认出一个将要发生的小流行都可能是困难或不可能的。

从世界范围看,人的排泄物显然是自然产生人类病毒的最主要来源。人类似乎本能地讨厌接触粪便,一般说来,对于一个易受侵袭的物种,这一自然特性可能减少了粪便感染的机会。

所以我们在收集、浓缩、分配和加工污水时我们是在处理一个具有潜在危害的物质,在它或它的产物与环境接触的任何一个地方,显然就有危害人群健康的可能。污染可能是直接的,例如下水管道渗漏或污染的排污口溢流;也可能是间接的,以气溶胶形式或是以为是无害的最终产物的一个成分(像灌溉或冷却用水)。

由于我们对病毒病的全貌及其冲击能力的知识的某些方面仍然相当贫乏,所以不可能对污染的危害进行定量或作出有关减少污染的建议。但是我们不希望可能有无法定量成分的产物。对此有许多理由,其中许多是政治的和法律的,许多是与“职业的自豪感”的基本概念有关,然而它们都与全人类需要一个纯净而安全的环境相连。审美的考虑也与世俗的诉讼问题、政治策略和职业状态等一起起着作用。

全世界废弃物处理业的最后每一阶段都已被证明有病毒存在,加之对病毒以多种形式引起疾病的知识的增加,对我们来说,作为一个紧迫问题研究这一领域已是当务之急,我们要努力调整和改革当今的可能有助于改善全人类的实践,使环境变得更安全、更卫生而造福子孙未来。

(方肇寅 译)

方 法 学

第二章 从水环境中检出病毒的方法

Charles P. Gerba

I. 引 言

发展能检测大容量水中病毒的方法曾是研究水病毒的重点课题。由于病毒的传染性很强,当发生水源性传播时,要充分确定这些病毒的公共卫生意义,这种研究是必要的。为了这一目的曾研究了许多方法,但是处理大容量水最有希望的是那些靠病毒吸附作用的方法。使用其他方法时,主要问题是这些方法只能用于体积有限的水或是只能用于高度处理过的、没有浊度的水。然而,这些方法中的多数适于处理体积有限而严重污染的水或经其它方法浓缩过的病毒的再次浓缩。本章的目的不是对所有已试验过的浓缩水病毒方法作彻底评论,因为这点以前^[1,2]已有人做了,并且这些方法中的大部分已不认为是实用的了。本章的目标集中于最有希望和广泛应用的方法,以及建立这些方法的基本原理。应用这些方法不是简单地就能从水中浓缩到病毒;浓缩水病毒要有个策略,必须考虑到要分离出病毒的环境的复杂性、病毒的性质以及病毒与其环境的相互作用。

在浓缩水病毒方法的发展过程中探讨了用于浓缩和提纯蛋白质的许多生物化学方法。病毒是大的蛋白质,而用于浓缩大分子蛋白质的方法如相分配、免疫化学、沉淀和吸附技术等都曾经被用来浓缩水病毒。实际上,这些方法有许多在实验室里对浓缩病毒是非常有效的,但是这些方法的使用常限于严重污染的水。

II. 依病毒吸附的检测方法

A. 病毒吸附的机制

绝大部分用于浓缩水中病毒的方法是那些依靠病毒先与表面吸附,然后再被少量洗脱剂解离的方法。在这点上,微孔滤膜吸附-洗脱技术由于有能力处理大量的水(100—1 000 USgal 的广阔范围),比其他任何一种方法都更适用。其他吸附剂如聚合电解质、粘土、金属氧化物和玻璃细珠也曾成功地得到应用(见表 2-1)。

这种方法的根据是基于对病毒与表面吸附所涉及的过程的了解。现在相信,病毒吸附到微孔滤膜表面是受静电和疏水两种相互作用的控制^[3,4]。病毒是生物胶体,因而他们依据静电现象的吸附行为可以用胶体化学概念来解释。如果表面电荷是异性的,那么静电吸引力就会使得微粒吸在基质上。如果电荷是同性的,则出现排斥作用,而吸附作用要