第4卷第4期 生 态 学 报 Vol.4 No.4
1984年12月 ACTA ECOLOGICA SINICA Dec., 1984

肠道病毒在水环境中的分布及其行为

张 楚 瑜

（武汉大学病毒学系）

摘 要

肠道病毒都是通过粪便排出体外的，因此它们很容易进入污水和各种天然水体中。从粪便排出的病毒有100多个型别。每克粪便中可含100多万个病毒颗粒。已经从污水、地表水、地下水和海水中检出了许多型别的肠道病毒。有些肠道病毒可在水环境中存活很长时间，已报道的病毒存活时间范围是：自来水2—168天；海水2—130天；河水2—168天；土壤25—125天；牡蛎6—90天；海水沉积物8—20天。水环境中的病毒存活受很多因素的影响，包括温度、日光、吸附作用和生物因素。在自然状态下，病毒存在有三种形式：单个病毒；病毒彼此聚集；吸附或埋入固体物中。病毒的存在形式对病毒存活有很大影响。由于人为的和自然的活动，使水环境中的病毒迁移和传播的途径较多，从而使病毒再次从自然界回到人体，保持平衡。

肠道病毒(*Enterovirus*)分类上属于小核糖核酸病毒科，包括脊髓灰质炎病毒、柯萨奇病毒、艾柯病毒，以及1969年以来分离的新肠道病毒68—71四个型。1982年，国际病毒分类委员会把甲型肝炎病毒也分类为新肠道病毒的一个新型，即72型。这些病毒都寄居在人类的消化道中，它们在临床流行病学和生态学特性以及物理和生物化学性质方面，有很多共同点。除此之外，肠道内还存在一些与人类腹泻有关的病毒，如轮状病毒、冠状病毒、嵌杯样病毒、诺沃克病毒、星状病毒等。腺病毒和呼肠孤病毒也存在于人肠道内。由于寄居肠道内的病毒能引起人的许多传染性疾病，而且广泛地存在于自然界，特别是水环境中，因此越来越为人们所注意。

对肠道病毒在水环境中的行为国外研究很多，是病毒生态学这一新兴研究方向中一个很活跃的领域。50年代中期以来，病毒学在两个方向深入发展：一是研究病毒在寄主细胞内的行为，即从分子水平上阐明病毒的结构和增殖机制，探讨病毒与细胞的相互关系，可称为分子病毒学；二是研究病毒在自然界的行为，即从群体水平上阐明病毒在自然环境中分布、存活、迁移和传播的规律，探讨病毒是怎样在自然界持续存在的，可称为病毒生态学，其中研究病毒在非生物环境中行为的分支也称为环境病毒学。这两方面的研究进展都将为最终控制病毒的危害开辟前景。在我国，环境病毒学研究刚刚开始，为了使人们注意，本文对人肠道病毒在水环境的行为作一简略介绍。

一、水环境也是病毒的贮存场所

肠道病毒不是人体的正常“病毒丛”，而是具有致病能力的外源性传染因子。病毒一旦感染寄主细胞成功，就开始繁殖，它利用寄主细胞的原料，能量和蛋白质合成场所，部分或

© 1995-2006 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

全部的酶系统，按照自己遗传信息，复制出子代病毒。换句话说，寄主细胞为病毒的复制提供了所需要的一切。病毒感染的结果常常引起寄主细胞的死亡。我们常说的病毒对寄主的致病作用，就是病毒有选择性地和不可逆地终止了细胞的DNA和RNA以及蛋白质的合成，以利于自身的增殖，从而导致寄主功能紊乱，组织器官发生病变。

自然界中的病毒感染人体时，人体的各种免疫调节机制可因病毒感染而同时发生作用，抵抗病毒的入侵和增殖或使病毒感染失败；或把病毒消灭；或将感染成功并在机体内繁殖的子代病毒排出体外。所以在多数情况下病毒不可能在感染的细胞内长期生存。为了保存自己，病毒不得不离开寄主细胞，转移到自然界中，待时机成熟再感染人体，开始下一个循环。病毒的这种生存方式，保证了它从一个寄主传给另一个寄主，使它得以持续存在。

水和土壤都是肠道病毒的天然贮存场所。这是因为，（1）100多种不同型别的人肠道病毒均从粪便排出；（2）污水和水处理只能去除部分病毒；（3）消毒方法不足以灭活所有病毒；（4）人肠道病毒在水中稳定，存活时间长。

二、水环境中病毒的分布

1. 污水

本世纪40年代，Melnick（1947）首次从污水中检出病毒以后，许多国家相继从各种污水中也检出了病毒。最近调查表明，世界各地的生活污水中均有人肠道病毒的存在。

污水中人肠道病毒的含量取决于人群的卫生水平，社会经济水平，病毒性疾病的流行和季节等因素。Fattal（1977）从以色列海法市市政污水中检出的病毒月平均浓度为6×10^3和4.9×10^5个病毒/升，最高达21×10^6个病毒/升。Rao（1978）从印度的一些未经处理的污水中检出的病毒为1.15×10^5个病毒/升。Melnick（1978）报道，美国家庭污水中人肠道病毒平均浓度是7×10^3个病毒/升。我国有些地区生活污水中病毒浓度为8×10^3个病毒/升。值得提及的是，我国城乡生活污水，特别是市政污水，有些地区未经过无害化处理就直接排放，可以估计人肠道病毒的含量是很高的。

2. 地表水

地表水中人肠道病毒主要来自人和动物的粪便以及含有病毒的污水。各国研究的结果说明，凡是承受了人的排泄物和生活污水的地表水，几乎都有人的肠道病毒存在。

地表水的病毒含量与承受的污水量和受纳水体的稀释能力有关。承受污水量越多，病毒含量越高。英国的泰晤士河和索韦河的每升水中分别含100和620个人肠道病毒（Feachem，1981）。法国的塞纳河和摩泽尔河的每升水中分别含170和280个病毒。

我国江河湖塘的病毒分布情况，至今未见报道。从我们最近对武汉东湖水中病毒检出率达100%的结果分析，我们认为我国地表水的病毒存在可能带有普遍性（张楚瑜等，1983）。

3. 地下水

地下水中人肠道病毒的存在已为许多国家研究证实。美国、印度、英国和加纳等国都从地下水或一些深井中检出了病毒。我国有些地区甲型肝炎的流行也追踪到井水的病毒污染。

地表水和污水的溢流、自然渗透都可导致地下水的病毒污染。人肠道病毒可以随水流在土壤中迁移。它们迁移的距离与土壤种类和结构、pH、病毒型别、降雨量和水的流速等因素

© 1995-2006 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

有关。Keswick（1980）报道，有人从一口 30.5 米的深井中检出了脊髓灰质炎病毒。据分析，污染源是地表污水。病毒是随污水穿过5.5米粘土层，2.5米油页岩和22.5米石灰岩，横向迁移了91.5米后进入井水的。

4．海水

现在，全世界每天都有数亿吨未经无害化处理的污水排到海里，一些含有病毒的江河水也不断地注入到海里，因此，海水中有病毒是不足为奇的。海水的稀释能力强，所以海水中病毒含量与其它水体相对来说是比较少的。但各海域也不相同，有的海域污染也很严重，如 Loh（1979）报道说，美国夏威夷火奴鲁鲁海湾中病毒浓度就高达420个病毒/升。海水中的病毒存在，不仅对海上运动有影响，而且病毒可以被富集到鱼类、贝类和甲壳动物组织内，然后通过食物链危害人体健康，成为重要的次生污染源。

三、水环境中病毒的存活

病毒没有新陈代谢能力，不能在无生命的培养基中增殖，因此水中病毒比细菌少。但是肠道病毒在水中存活的时间比无芽胞的细菌长。病毒的存活是病毒与各种环境因素相互作用的总和。换句话说，病毒的灭活是一个速率问题。病毒感染性的丧失决定于各种环境因素去除和灭活病毒的效力以及最初存在的病毒量。表 1 列举的是人肠道病毒在各种水体中存活的时间（Melnick，1980）。

表 1　人肠道病毒在各种水体中存活时间

环　境	存活时间（天）
海水或港湾水	2—130
河　水	2—>188
自来水	5—168
土　壤	25—175
海水沉积物	8—>20
牡　蛎	6—90

最近，我们在研究自来水中的病毒时，发现腺病毒和柯萨奇病毒对自来水的氯消毒耐受性很强。该自来水经过消毒、混合、絮凝、沉淀、过滤和再消毒等净水工艺处理以后，符合水质的细菌学指标，但仍有病毒存在。这说明人肠道病毒的存活时间要比目前我们所认识的可能还要长。

四、影响病毒存活的因素

病毒是整个自然生态系统中的一个组成部分，它同各种环境因素是处于统一和相互影响的状态中。病毒在细胞外会遇到各种危及其生存的外环境，如热、日光、极端的 pH、酶（包括核酸酶和蛋白酶）以及氧化剂和还原剂等。环境条件适宜时，病毒存活时间延长；若环境变化过于剧烈，则病毒被灭活。

© 1995-2006 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

1. 温度

人肠道病毒颗粒是由核酸和一个蛋白质外壳所组成。各种引起蛋白质和核酸变性的因素都影响病毒的存活，其中温度是最重要的，也是唯一研究得比较清楚的影响因素。大多数病毒不耐热，在55—60℃数分钟病毒的蛋白质就变性，病毒失去感染细胞的能力；甚至常温也可以使病毒缓慢但又是明显的灭活；病毒对低温不敏感，在低温条件下可以存活很长时间。人肠道病毒同其它病毒相比，对热是比较稳定的，例如，甲型肝炎病毒在50℃保温一小时感染性不受影响。McCaustl (1982) 将甲型肝炎患者的粪便悬液干燥后，暴露在 25℃ 和 42% 相对湿度的条件下，30天后病毒仍然有感染性。

2. 阳光

许多研究资料指出，日光杀菌作用的主要成分是紫外线，但紫外线对水的消毒只能作用于水体的表面，进入水体后大大减弱。能进入水体的主要是可见光。可见光灭活病毒的机制目前还不清楚，但有些人说是光效应作用，即病毒的核酸与某些物质相互作用后，使病毒变得对光的氧化作用敏感。他们认为，存在水中的一些染料和天然物质，如木质素、泛酸、腐植酸和维生素等都是光敏剂。这些物质吸收可见光以后，有选择性地把光能转递给水中的溶解氧，促使氧变成高度氧化状态使病毒灭活。

3. 吸附

在自然状态下，水体中病毒可能有 3 种存在形式：（1）单个病毒颗粒；（2）许多病毒聚集在一起；（3）吸附或埋入固体物中。进入水环境的游离病毒很容易以某种还不清楚的方式与悬浮物结合。试验发现病毒可以吸附到悬浮在水中的粘土（如蒙脱土、伊利石、高岭土和皂土等）、沙、细菌以及淤泥和沉积物上。病毒的吸附决定于水质条件。水的酸碱度和阳离子浓度对病毒的吸附有很大影响，如果水的 pH在8.0以下，阳离子浓度升高，尤其是双价阳离子升高时，病毒吸附率显著地增加。若水中有蛋白质物质存在时，病毒则从上述物质中游离出来。很显然病毒的吸附作用是可逆的。

吸附到悬浮物上的病毒并没有灭活，仍具有感染实验动物和寄主细胞的能力。病毒的吸附作用不仅可以延长病毒的存活时间，而且可保护病毒抵抗消毒剂氯的灭活作用。Stagg(1977)认为，这是由于(1)固体物表面充满离子云，它可阻碍次氯酸分子扩散到病毒表面；(2)粘土在病毒周围形成了一层膜，有防止消毒剂同病毒的接触作用。

4. 生物因素

水环境中的微生物群落和某些高等水生物可产生一些影响病毒存活的物质。它们灭活病毒的可能机制列于表 2 。Cliver(1972)发现，绿脓杆菌能产生一种分子量不到500的溶病毒物

表 2 水生物影响病毒存活的机制

1. 酶降解
2. 阻止病毒吸附寄主细胞或脱衣壳
3. 衣壳蛋白的降解
核酸的释放
电负性的改变
4. 敏化作用
光动力学

© 1995-2006 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

质，它有脱去病毒衣壳的作用。有些水生物的代谢产物有阻止病毒吸附或通过其它方式，如光动力学或酶的作用而使病毒灭活。不过人肠道病毒对水生物所产生的酶有较强的抵抗力。这是因为人肠道病毒不像细胞蛋白那样容易变性，它可以抗蛋白酶水解，在相同条件下杂蛋白被分解；病毒的核酸则为衣壳蛋白所包围或深深地埋在其中，而不被核酸酶所水解。

虽然受病毒感染的人以每克粪便中百万计的子代病毒排到自然界，但自然界的物理、化学和生物等因素也不断地作用于病毒，使大部分病毒灭活，作用的深度随环境和病毒的种类而异，从而使病毒在环境中的容量保持在一个相对平衡的水平上。

五、病毒的迁移和传播

病毒是分子生物，自身没有运动器官。病毒的迁移和传播完全以一种被动方式进行，主要是靠自然生态系统中能量的流动进行迁移、传播和富集的。

1．悬浮物的作用

前面提到病毒对水中悬浮物有很强的亲和性，容易与其结合。病毒的这种吸附作用也有利于病毒的迁移，它可以随水体的流动进入其它水体，或进入供水系统，或进入地下水。病毒的聚集和吸附还可以凭借重力作用沉降到水底。所以，沉积物中的病毒含量比覆盖水中的要多。这不仅对人是一个潜在危害，而且也增加了环境的污染量。沉积物中的病毒也可以因人为的活动和一些自然现象，如挖泥、划船、湍流、暴风雨和水质的变化都可使病毒重新悬浮，从而使病毒得到再次迁移或感染寄主的机会。

2．水生物

鱼、贝类、线虫和一些原生动物都有富集和运载病毒的作用。在大多数情况下，它们富集病毒是通过摄食完成的。研究得比较清楚的是贝类如贻贝、蛤和牡蛎。这些动物是滤食性的，它们摄食的方式是让水流通过介壳腔，筛出其中的悬浮物为食物。据测定，一个牡蛎一天可滤过1,500升水，滤过时病毒被诱捕到粘膜上，然后转运到消化道中。在同一个样本中，牡蛎组织中病毒浓度比水中的高25—100倍。近几年研究还发现，甲壳纲动物也有富集病毒的作用。病毒在水生物中的富集不仅对病毒的存活有利，而且也可因水生物的活动而被运载到更远的水域或因人的捕捞和食用而回到人体。

Metcalf（1978）从实验室研究证实，在水产养殖系统中，人肠道病毒通过如下的食物链：贝类→贝类粪便→沙蠕虫→鱼。他推测，生活在水生生态系和陆生生态系的分界面的食肉动物有可能将水中的病毒转回到陆生生态系。浣熊介于这两种生态系之间。人和动物的病毒已在浣熊（*Procyon lotor*）体内发现，它是以甲壳纲动物和其它水生物为食。水环境中的病毒通过食物链如鱼类、贝类和甲壳类动物传给人体是完全可能的。

3．气溶胶

空气本身缺乏维持病毒存活所必需的条件，而且日光对病毒又有很强的灭活作用，因此空气中的病毒很少。可是人为的某些活动和一些自然现象，如刮风、水流、污水处理、冲洗厕所、喷雾灌溉和划船等都可以使含有病毒的水产生飞沫小滴和滴核，分散悬浮于大气中，形成病毒性气溶胶。病毒性气溶胶可以几小时、几天甚至更长的时间随风飘浮在空中，因而空气中仍有不同种类和一定数量的病毒存在。

© 1995-2006 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

病毒性气溶胶中除病毒和水分外，还含有其它活性物质，它们有保护病毒不受干燥和紫外线的灭活作用。气溶胶中的病毒量也常比形成气溶胶的水体中的病毒高很多倍。病毒性气溶胶是人肠道病毒迁移途径之一，也可能是病毒传回到人体的途径之一。

水环境是人类赖以生存的必要条件。人类从水源所取得的水大多数不止用过一次。事实上这些水的一部分在其最后流回大海之前还将重复使用多次。因此病毒传回到人的机会是很多的。传播途径也是多方面的，增加了病毒感染的可能性。

关于人肠道病毒在各种水体中的行为，现在认识相当肤浅，很多方面还不清楚。随着进一步深入的研究，预计今后数年中，必将有新的发现。

参 考 文 献

林伟池等 1982 聚合物两相法浓缩和检测人肠道病毒的研究。中华微生物学和免疫学杂志 2(5):288—291。

张楚瑜等 1983 武昌东湖水中病毒的分离鉴定。中国环境科学 4:56—59。

Cliver, D. O. *et al.* 1972 Proteolytic and microbial inactivation of enterovirus. *Water Res.*6:797.

Fattal, B. *et al.* 1977 Enterovirus types in Israel sewage. *Water Res.* 11:393—396.

Feachem, R. *et al.* 1981 Enteroviruses in the environment. *Tropical Disease of Bulletin* 78(3): 185—230.

Keswick, B. H. *et al.* 1980 Virusus in ground water. *Environmental Scienoe and Technology* 14 (11) :1290—1297.

Loh, P. C. *et al.* 1979 Recovery, survival and dissemination of human enteric viruses in ocean water receiving sewage in Hawail. *Water, Air and Soil Pollution.* 12:197—217.

McCaustl, K. A. *et al.* 1982 Survival of Hepatitis A virus in Feces after drying and storage for 1 month. *Journal of Clinical Microbiology* 16(5):957—958.

Melnick, J. L. 1947 Poliomyelitis virus in Urban sewage in Epidemic and in nonepidemic times. *Amer, J. Hyg.* 45:240—253.

Melnick, J. L. *et al.* 1978 Viruses in water. *Bulletin of the World Health Orgamization* 56(4): 499—508.

Melnick, J. L. *et al.* 1980 The ecology of enteroviruses in natural water. *CRC critical reviews in environmental control* 33:385—391.

Metcalf, T. G. *et al.* 1978 Opportunities for virus transport within aquatic and terrestrial enviornments, in Ris Assessment and Health Effects of Land Application of Municipal Wastewater and Sludges. 97

Stagg, C. H. *et al.* 1977 Inactivation of Clay-associated Bacterio-phage MS-2 by Chlorine. *Appl. Environ. Microbiol.* 33:385—391.

© 1995-2006 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

DISTRIBUTION AND BEHAVIOR OF HUMAN ENTERIC VIRUSES IN WATER ENVIRONMENT

Zhang Ghuyu

(Department of Virology, Wuhan University)

The human enteric viruses have common characteristics of being faecally excreted and hence they can easily get into sewage and waters. Many human enteric viruses have been found in sewage, surface water, ground water and sea water. Some enteric viruses can persist for a long time in the environment. Reported survival time of them ranges from 2 to 168 days in tap water, 25 to 125 days in soil, 2 to 130 days in sea water, 2 to 168 days in river water, 6 to 90 days in oysters, and 8 to 20 days in marine sediment. The survival of viruses in natural water is influenced by many factors, including temperature, light, adsorption and biological factors. Viruses may exist in several types of association with other matter present in natural water, i. e.,as a single viral particles, aggregated with other viral particles, or adhered to or embedded in solids. Under natural conditions, viruses probably exist in all the three states. The types of association may greatly affect virus survival under various environmental conditions. The conditions that cause inactivation are high pH, chemical oxidation by disinfectants, such as halogens, and photo-oxidation by certain dyes in the pres ence of light. Several mechanisms may operate in the hydrotransportation of viruses to areas far from the orginal source. There are many ways of virus transmission from water back to man. These may be due to both natural and man-made events.

© 1995-2006 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.