

生活饮用水中细菌污染危害及其检测方法

林志豪 潘本兴

阳江市检测检验中心 广东 阳江 529500

【摘要】：介绍饮用水中常见的细菌及其危害，详述生活饮用水细菌检测的各种技术手段，并提出一系列措施来预防控制饮用水细菌污染，保障饮用水水质安全。

【关键词】：饮用水；生物安全；致病菌；检测方法

Contamination and Hazard of Bacteria in Drinking Water and Its Detection Method

Zhihao Lin, Benxing Pan

Yangjiang Testing and Inspection Center Guangdong Yangjiang 529500

Abstract: In this paper, the common bacteria in drinking water and their biological hazard are introduced. Furthermore, different detection methods are described in detail, and a series of measures are proposed to control the bacterial pollution and ensure the safety of drinking water.

Keywords: Drinking water; Biosafety; Pathogenic bacteria; Detection method

水是重要的生命组成成分，饮用水的水质与人体健康息息相关。目前，大部分的居民饮用水来自水厂集中供水。一般情况下，经过净化后的出厂水，其水质能够达到相关饮用水卫生标准的要求。但在长距离输配水系统中，细菌可能会增长，使得水质发生恶化，并可能导致感观上和卫生上的问题，对人类或其他生物产生较大的健康危害。鉴于此，采用科学合理的检测技术手段，针对生活饮用水进行细菌检测，是保障饮用水安全的重要手段。在此介绍了生活饮用水中的部分常见的细菌及其危害，并阐述了各种相关的细菌检测方式，同时提出一些预防应对措施，以期提高人民的饮水安全意识，保障饮用水水质安全。

1 饮用水中常见的细菌及其危害

细菌为原核生物，肉眼难以观察，但几乎无处不在。虽然绝大多数的细菌是无害的，但还是存在部分的致病细菌，威胁人类健康。常见的致病细菌有军团菌、痢疾杆菌、霍乱弧菌、铜绿假单胞菌和伤寒杆菌等。例如，2013年我国发生了1起因饮用水污染而引发的细菌性痢疾流行，共有100多人出现相关症状^[1]。2018年发生1起因饮用了受污染的饮用水导致的聚集性腹泻事件，其致病菌可能为大肠埃希氏菌^[2]。

进入输水网络中的细菌，在增长的过程中，会不断产生代谢分泌物，使得水质色度和浊度提高，产生异味，甚至导致管道腐蚀、输水能力降低，影响正常供水。目前，我国主要使用含氯消毒剂对饮用水进行消毒处理，使水管中含有一定浓度的有效氯从而起到消毒作用。但部分耐氯细菌会残存在管路之中，对市民饮水安全产生严重威胁。有研究报道指出，在南方某城市饮用水管网中，分离出的3株耐氯菌，其中1株产黏液分枝杆菌为条件致病菌^[3]。

除了上述的耐氯细菌外，近年来由于畜牧养殖、污水灌溉、

废水排污等原因，产生了不少具有耐药性的菌株，其携带的抗生素抗性基因是一种新型的水环境污染物质。一旦通过饮用水系统传播扩散，将会对全球公共安全产生极大威胁。已有研究指出，在水源水、管网水甚至饮用水中，都能检出来多种抗生素抗性基因，如四环素类、青霉素、氯霉素等^[4]。

为确保饮用水安全，饮用水细菌检测的重要性不言而喻。在饮用水的检测中，常以菌落总数、大肠菌群等指标作为水质微生物学评价指标。根据国家生活饮用水卫生标准（GB/T5749-2006）的要求，菌落总数不超过100CFU/mL，同时每100mL水中不检出大肠菌群，则饮用水受细菌污染的风险较小^[5]。随着科学技术的发展，目前已经有多种饮用水中的细菌检测手段，这为饮用水安全添加了一道强有力的安全防线。

2 饮用水中细菌的检测手段

2.1 传统的检测技术

传统的细菌检测技术，一般以其形态学特征、繁殖特性、生化反应特征等为判断依据，通过培养、染色、生化鉴定及显微镜观察等方法，实行检测鉴定。虽然传统培养法是公认的可靠准确检测手段，但由于细菌的生长繁殖需要一定的时间，且对培养条件有特定的环境要求，检测周期较长，无法应对急需分析结果的突发事件，因此难以满足现代检测需求。另外，传统方法对操作者的技术要求较高，操作较为繁琐，大多情况下只能对单一细菌进行鉴定，故而检测效率比较低。

2.2 免疫学检测

免疫学检测是根据抗原和抗体的特异结合的特性，对样品中的抗原或抗体进行体外结合从而进行定性或定量分析的一种手段。其具有简单、快速、成本低和高灵敏的优点，目前已

经广泛应用于医学、食品、环境等方面的检测，是一种非常成熟的检测方法。常见的应用方法有免疫磁珠、免疫胶体金标记、酶联免疫吸附、免疫层析等。Pyle 等用偶联了抗 O157 的免疫磁珠分离 O157，检出水中的大肠杆菌 O157:H7^[9]。虽然酶免技术有不少优点，但酶作为一种蛋白，其活性容易受所处的实验环境所影响。另外，与培养和核酸扩增等扩大基础的方法相比，其检测限也较差。同时存在抗原抗体反应不完全、主观性判断等缺陷，实验人员在实际操作过程中，应注意规避相关风险。

2.3 流式细胞仪

流式细胞仪是对细胞进行自动分析和分选的装置，它能高效的分析数以万计的细胞。由于早期的流式细胞仪不能分辨比体积小于细胞的细菌，因此直到 19 世纪 80 年代初才开始应用于微生物学。利用不同的特异性荧光染料，流式细胞仪可以对特定细胞群进行分析，区别水体样品中细菌的死、活状态，从而对样品中的细菌数量进行准确统计分析^[7]。根据这一特性，流式细胞仪能更加准确地反映自来水中细菌的实际情况，在保证检测的可信度同时，大大缩短细菌检测时间，能应对突发水质事件所需的应急监测任务，保障市民的平稳安全用水需求。

虽然利用流式细胞仪有快速、高通量等优点，但考虑到水体中细菌群落的复杂性，尤其可能存在未知的细菌，加上不同荧光光谱的交叉影响，在特异荧光染料的筛选上难度较大，导致其在饮用水细菌检测方面还存在着较大的推广困难。

2.4 分子生物学检测

随着基因检测技术的发展，利用分子手段对细菌进行检测已经普及化。聚合酶链式反应（Polymerase Chain Reaction, PCR）是最常见的分子生物学检测手段，该技术已随着新冠疫情的出现而被大众所熟知。PCR 技术是一种体外快速扩增特异性核酸片段的方法，它可以特异性地扩增目标细菌的特定基因片段，从而精准地对水中细菌进行检测分析。

PCR 检测方法有多种，目前，实时荧光定量 PCR 技术（Real-time PCR, RT-PCR）的应用最为广泛，除此之外还有电泳凝胶 PCR、环介导等温扩增、微滴式数字 PCR 等。RT-PCR 具有非常好的特异性和灵敏度，其检测耗时相对较短、自动化程度高，适合大规模排查检测。例如，利用 RT-PCR 结合熔解曲线法可以高效鉴定饮用水中的铜绿假单胞菌和恶臭假单胞菌，与国标法相比，实验操作过程更为简单快捷^[8]。

虽然核酸检测具有高效、高灵敏、高通量等诸多优点，但由于其方法涉及引物序列的设计，因此需要知道被检测的细菌的特异性基因片段，这限制了其部分应用场景。

2.5 生物传感器

生物传感器早在上世纪 60 年代就已有报道^[9]，早期酶生物

传感器存在许多不足，因此在实际应用中受到诸多制约。近些年来，以核酸、抗体等为适配体的光学、电化学等生物传感器技术快速发展，在食品分析、环境监测和疾病诊断等方面广泛应用。例如，采用金纳米颗粒和多壁碳纳米管的传感器，可以在自来水中检测出金黄色葡萄球菌，检测限可达 10CFU/mL^[10]。传感器技术具有成本低、效率高、对场景要求低等特点，非常适合于现场分析。另外，通过对电流的不同响应，生物传感器还能有效区分样品中细菌的状态（死菌或活菌）^[11]。然而，在使用过程中要注意现场环境和样品条件，不同的温湿度和 pH 等条件，对生物识别元件的寿命和稳定性都有影响。

3 饮用水中细菌污染的应对措施

3.1 加强饮用水水源地保护

生活饮用水大多取自与江河湖泊等水源，再经过自来水厂净化消毒，然后作为自来水供生活使用。水源地水质的好坏直接决定了饮用水的质量，必须确保饮用水水质质量。居民生活排污、企业生产排放及农业灌溉用水等都会影响饮用水源地的水质安全。随意排污会导致水体中的营养物质不断增加，促进水中细菌的繁殖，削减水体自净能力。各水源地应在核心保护区设立围栏，同时加强水源地保护区范围的卫生管理和环境清洁工作，减少水源污染的可能性，从而确保水源源头安全。

3.2 改良净水处理工艺

对源水的处理工艺，是保证饮用水的质量安全重要环节。传统的净水工艺已经无法满足目前人们对水质越来越高的要求，对净水工艺进行升级改良迫在眉睫。因此，水厂要根据当地水源水质特点，采取科学合理的先进净水工艺，如采用活性炭吸附技术、膜处理技术、高级氧化技术等。同时，也可采取在常规处理前增加预处理、更换高效新型滤芯等手段，提高水质净化效果。

3.3 保持输水管路清洁通畅

随着使用年限的增加，输水管路难免会出现腐蚀磨损现象。一旦管路出现粗糙面，细菌就容易附着繁殖，导致污染。应定期对管路进行清洗，及时更换管线，确保输水管路的光滑性和反腐蚀性，减少管路中的死水停留时间，从而降低细菌在管路中繁殖的可能性。

3.4 煮沸后饮用

虽然城市配水管网中会添加氯进行消毒，但一些致病菌会以“芽孢”等形式回避消杀。饮用水煮沸是家庭生活最原始也是最有效便捷的灭菌方式，同时高温煮沸也有利于消毒副产物的挥发。政府和学校应当大力开展健康饮水宣传工作，避免民众饮用未经煮沸的生水。

3.5 正确使用家庭净水器

随着生活水平的提高，不少家庭会安装净水器，以期获得

更加安全的饮用水。然而,不少研究报道指出,净水器的净化效果并不理想,其中细菌总数是最常见的不符合项目^[12-13]。其原因可能是,净水器净化了自来水中的余量消毒剂,导致抑菌作用降低,同时过滤膜因持续使用过滤能力下降,累积在活性炭吸附层等地方的细菌在微孔环境下会繁殖,从而造成污染。因此,要正确选择产品,杜绝劣质过滤器材,定期更换滤芯,减少净水器的二次污染。

4 结语

人民生活离不开饮用水,饮用水的质量与人们的生活质量

密切相关。我国虽然拥有大量淡水资源,但人均拥有量却较低,属于严重缺水国。因此,水源开发能力和饮用水供应能力是我国可持续发展的重要保障。确保生活饮用水的安全和品质,是提升居民生活幸福感的重要手段。为了最大限度减少饮用水中的细菌,检验人员必须合理应用相关技术,做好生活饮用水的细菌检测工作,及早发现水中可能存在的安全隐患,切实保障人民群众身体健康。市民亦可采取相应的预防措施,确保饮用水安全。

参考文献:

- [1] 于国光,刘亚杰,孙群,等.一起饮用水污染事故引发细菌性痢疾流行的调查[C].第五届全国环境卫生学术会议.2001.
- [2] 高建美,梅丽敏,廖婵.2018年成都市郫都区1起饮用水污染事件的流行病学调查分析[J].寄生虫病与感染性疾病,2021,19(1):5.
- [3] 郑琦.给水管网中耐氯菌的耐氯特性及机理研究[D].清华大学,2013.
- [4] 王双玲,王礼,周贺,等.饮用水系统中抗生素抗性基因的研究进展[J].环境化学,2017,36(2):12.
- [5] 中华人民共和国卫生部.生活饮用水卫生标准:GB5749-2006[S].北京:中国标准出版社,2006.
- [6] Pyle B H, Broadaway S C, Mcfeters G A. Sensitive detection of Escherichia coli O157:H7 in food and water by immunomagnetic separation and solid-phase laser cytometry[J]. Applied & Environmental Microbiology, 1999, 65(5):1966-72.
- [7] 刘晓露.利用流式细胞仪对饮用水中细菌的快速检测[D].北京林业大学,2014.
- [8] 岳苑,周梦诗,徐娟,等.高分辨率溶解曲线法检测饮用水中两种假单胞菌[J].中国人兽共患病学报,2021,37(06):484-488.
- [9] Clark L C, Lyons C. ELECTRODE SYSTEMS FOR CONTINUOUS MONITORING IN CARDIOVASCULAR SURGERY[J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 1962, 102(Automated and Semi-Automated Systems in Clinical Chemistry):29-45.
- [10] Yange, Sun, Xingxing, et al. A highly selective and sensitive electrochemical CS - MWCNTs/Au-NPs composite DNA biosensor for Staphylococcus aureus gene sequence detection[J]. Talanta, 2015.
- [11] 王纯.电化学生物传感器在细菌病原体检测中的应用及发展趋势[J].卫生研究,2021,50(1):5.
- [12] 潘健明,高建民,梁彩凤,等.佛山市顺德区饮用净水检测结果分析[J].中国卫生工程学,2019,18(5):4.
- [13] 刘建成.家用净水器对生活饮用水进行过滤效果分析[J].中国卫生标准管理,2019,10(9):3.