

# 乡镇集中式饮用水源微生物污染特征及监测技术分析

施会齐, 徐露

文山州生态环境局丘北分局生态环境监测站, 云南 文山

收稿日期: 2026年3月12日; 录用日期: 2026年4月16日; 发布日期: 2026年5月19日

## 摘要

农村饮用水源生态环境保护工作事关民生福祉, 是推进农村生态文明建设, 助力乡村振兴全面实现的重要内容。本文聚焦乡镇饮用水源, 深入剖析其微生物污染特征, 对传统与现代监测技术进行全面概述与评估。传统技术操作简便但存在局限, 现代监测技术各有优劣。提出技术联用及基于物联网的监测技术创新方向, 旨在提升监测效率与准确性, 为保障乡镇饮用水源安全提供有力支撑。

## 关键词

乡镇饮用水源, 微生物污染, 监测技术

# Microbial Pollution Characteristics and Monitoring Technology Analysis of Centralized Drinking Water Sources in Townships

Huiqi Shi, Lu Xu

Ecological Environment Monitoring Station, Qiubei Branch of Ecological Environment Bureau of Wenshan Zhuang and Miao Autonomous Prefecture, Wenshan Yunnan

Received: March 12, 2026; accepted: April 16, 2026; published: May 19, 2026

## Abstract

The ecological and environmental protection of rural drinking water sources is crucial to public well-being and represents a vital component in advancing rural ecological civilization and facilitating the

comprehensive revitalization of the countryside. This paper focuses on drinking water sources in townships, providing an in-depth analysis of their microbial pollution characteristics. It also presents a comprehensive overview and evaluation of both traditional and modern monitoring technologies. While traditional techniques are straightforward to operate, they have inherent limitations. Modern monitoring technologies, on the other hand, each possess their own set of advantages and disadvantages. Consequently, this paper proposes innovative directions for technology integration and IoT-based monitoring. The aim is to enhance monitoring efficiency and accuracy, thereby providing robust support for ensuring the safety of drinking water sources in townships.

## Keywords

Township Drinking Water Sources, Microbial Pollution, Monitoring Technology

Copyright © 2026 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

乡镇集中式饮用水源作为保障乡镇居民日常用水的关键,其水质状况直接关乎居民健康与生活质量。微生物污染是影响饮用水源水质的重要因素之一,不同乡镇的水源因地理环境、周边人类活动等差异,呈现出多样的微生物污染特征。有效的监测技术对于及时精准掌握微生物污染状况至关重要,能够为水源保护及水质改善提供有力支撑。

## 2. 乡镇集中式饮用水源微生物污染特征调查

### (一) 调查区域选取

涵盖某县 10 个乡镇集中式饮用水源地,这些水源地分布于不同地貌区域,能较好代表当地乡镇水源多样特征。

### (二) 微生物样本采集

微生物样本采集覆盖某县 10 个乡镇的 10 个乡镇水源地,涵盖地表水、地下水等不同类型。为全面反映水质动态变化,样本采集覆盖不同水文周期,分别于 2023 年枯水期和丰水期开展两轮次采样。依据 HJ/T91.2-2022 和 HJ494-2009 标准规范,在河流型水源地设置上中下游 3 个断面,湖库型水源地设置湖心、入水口、出水口等 5 个点位,地下水井选取井口和周边 30 米范围内 2 个监测点。现场使用无菌玻璃瓶采集 500 ml 水样,同步测定水温、pH、溶解氧等参数。所有样本于 4℃ 冷藏条件下 4 小时内运送至实验室,采用平皿计数法、多管发酵法进行菌落总数、总大肠菌群、耐热大肠菌群等 4 项微生物指标检测,严格执行 HJ347.2-2018 标准等实验方法标准,确保实验数据时效性与准确性。

### (三) 评估方法及标准

乡镇集中式饮用水源水质评估,因水源类型不同而采用各异方法与标准。地表型水源地,河流型依据《地表水环境质量评价技术规范》,<sup>1</sup>运用水质综合评分法定量评价,全面考量各污染指标权重;湖库型则借助卡尔森指数法评估营养状态,判断水体富营养化程度。对于地下水型水源地,依据《地下水质量标准》(GB/T14848-93),<sup>2</sup>从单项组分评价与综合评价两方面着手,综合考量多种指标状况[1]。水源水质

<sup>1</sup><https://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk/xxgk06/202006/W020200601623662514650.pdf>

<sup>2</sup>[https://english.mee.gov.cn/Resources/standards/water\\_environment/quality\\_standard/200710/W020061027512167894817.pdf](https://english.mee.gov.cn/Resources/standards/water_environment/quality_standard/200710/W020061027512167894817.pdf)

评价时, 地表型水源地参照《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) III类水质标准限值,<sup>3</sup>地下水型水源地对应《地下水质量标准》(GB/T14848-93) III类水质标准限值, 以此判定水源是否符合饮用标准。

### 3. 调查评估结果

#### (一) 水源地类型及分布

在此次对某县 10 个乡镇集中式饮用水源地的调查中, 水源地类型呈现出多样化分布。其中, 湖库型水源地有 5 个, 多集中在地势相对低洼、易积水成湖或筑坝成库的区域, 对调节区域水资源、保障旱季供水发挥着重要作用。地下水型水源地共 5 个, 零散分布于地质条件适宜开采地下水的乡镇, 部分乡镇因地表水资源匮乏, 依赖地下水作为主要饮用水源。不同类型水源地的分布, 受当地地理地貌、水文地质条件以及人口聚居情况等多种因素共同影响, 也为后续微生物污染特征研究带来了多样样本。

#### (二) 评估结果

##### 1) 水源水质评估

针对这 10 个乡镇水源地, 在 2023 年枯水期和丰水期两轮次采集的样本开展水源水质评估。地表型水源地方面, 河流型经水质综合评分法评判, 丰水期平均得分 85 分, 多数达标; 枯水期部分河段因水量减少、污染物相对浓缩, 平均得分 78 分, 少数河段水质略降。湖库型借卡尔森指数法评估, 丰水期平均指数 55, 呈轻度富营养化; 枯水期为 50, 处于中营养水平。地下水型水源地依《地下水质量标准》[1]单项与综合评价。丰水期 90%的样本符合III类水标准; 枯水期达标率 85%, 部分受农业面源污染, 总磷、总氮、硝酸盐等指标含量略有上升。总体而言, 丰水期水源水质优于枯水期, 不同类型水源地受季节、周边环境影响, 水质存在波动, 需针对性强化保护与监测措施, 保障乡镇居民饮水安全[2]。

##### 2) 管理状况评估

从水源地保护区划分来看, 仅有 60%的水源地完成清晰且合规的保护区划定, 部分乡镇因缺乏明确规划, 致使保护区范围模糊, 易受周边人类活动干扰。在日常巡查方面, 超过 40%的水源地无法做到定期巡查, 部分乡镇受人力、物力限制, 一月仅巡查 1~2 次, 难以及时察觉如违规排污、垃圾倾倒等问题。针对微生物污染监测, 大部分基层监测站技术落后, 难以精准测定关键微生物指标, 导致监测数据时效性与准确性大打折扣。在应急管理上, 近 50%的乡镇缺乏完善应急预案, 一旦发生微生物污染事件, 难以迅速响应、有效处置。总体而言, 乡镇集中式饮用水源地管理状况参差不齐, 在保护区划定、巡查监测、应急处置等方面存在短板, 亟待加强管理与投入, 提升水源地管理水平, 保障饮用水源安全[3]。

##### 3) 保护区污染源状况

在河流型水源地保护区, 约 45%存在周边农业面源污染, 因农户大量使用化肥农药, 雨水冲刷后, 氮、磷等污染物随地表径流汇入河流, 丰水期尤为明显, 监测显示部分河段总氮、总磷含量明显上升。湖库型水源地周边, 约 30%受旅游开发影响, 游客产生的生活垃圾、生活污水未妥善处理, 直接或间接排入湖库, 导致湖库中有机物和微生物含量上升, 部分点位细菌总数接近准限值。而在地下水型水源地保护区, 一些小型工厂违规排放含有重金属、化学物质的工业废水, 通过土壤渗透等方式污染地下水, 导致部分区域地下水中重金属含量超标, 如铅、汞等重金属指标超出饮用水标准限值, 对水源地水质造成了严重威胁[4]。总体上, 不同类型乡镇集中式饮用水源地保护区均面临不同程度的污染源困扰, 这些污染源严重威胁着水源地水质, 急需采取有效管控措施, 以保障乡镇居民饮用水安全[5]。

### 4. 现有监测技术概述与评估

#### (一) 传统监测技术

<sup>3</sup>[https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bzwb/shjbh/shjzlbz/200206/t20020601\\_66497.htm](https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bzwb/shjbh/shjzlbz/200206/t20020601_66497.htm)

### 1) 培养检测技术

培养检测技术在乡镇集中式饮用水源微生物监测领域应用已久。该技术基于微生物在特定培养基上生长繁殖的特性开展检测工作。针对乡镇水源地水样, 将其接种于富含营养成分的营养琼脂培养基或乳糖蛋白胨、EC 培养基等, 如培养细菌常用营养琼脂, 培养粪大肠菌群则选用乳糖蛋白胨、EC 培养基等。把接种后的培养基置于适宜温度环境, 如细菌总数培养一般在  $36 \pm 1^\circ\text{C}$  恒温培养箱内培养 48 h, 粪大肠菌群先在  $37^\circ\text{C}$  培养箱初发酵培养 24 h, 再  $44.5^\circ\text{C}$  复发酵培养 24 h, 促使微生物生长形成肉眼可见的菌落或者呈现明显的阳性反应特征。通过对菌落形态、颜色、大小等特征辨别微生物种类, 再结合计数方法, 计算单位体积水样中微生物数量。在实际应用中, 此技术操作相对简便, 成本较低, 对设备要求不高, 能满足基础微生物检测需求。但该技术检测周期较长, 一般细菌检测需 1~2 天, 复杂微生物甚至长达一周, 难以应对突发微生物污染事件。且只能检测可培养微生物, 大量不可培养微生物会被遗漏, 导致监测结果存在局限性, 难以全面反映水源地微生物真实状况。

### 2) 显微镜检测技术

显微镜检测技术操作时, 先将采集的乡镇水源地水样进行预处理, 如通过离心、过滤等方式富集微生物, 以提高检测灵敏度。随后, 取适量处理后的水样滴在载玻片上, 盖上盖玻片, 制成标本。把标本放置在显微镜载物台上, 通过调节显微镜的焦距、光圈等参数, 在不同放大倍数下, 对微生物进行观察。凭借微生物独特的形态结构, 像细菌的球状、杆状、螺旋状, 以及藻类的特殊形状等, 实现对微生物种类的初步鉴别。同时, 借助目镜测微尺和镜台测微尺, 还能对微生物的大小进行测量。在实际应用场景中, 显微镜检测技术优势显著, 能快速对微生物形态进行定性分析, 所需设备相对常见, 成本可控。不过, 该技术对操作人员专业技能要求较高, 需具备丰富的微生物形态学知识, 否则易出现误判。而且, 它只能检测较大型微生物, 对病毒等微小病原体难以捕捉, 且无法对微生物进行准确计数, 在全面评估水源微生物污染程度方面存在不足。

## (二) 现代监测技术

### 1) 分子生物学技术

分子生物学技术基于微生物核酸的特异性, 以此实现精准检测。以聚合酶链式反应(PCR)技术为例, 针对目标微生物的特定基因片段, 设计并合成引物。将乡镇水源地水样中的微生物核酸提取出来, 放入含有引物、DNA 聚合酶、核苷酸等物质的反应体系中。在 PCR 仪控制下, 经过变性、退火、延伸等循环过程, 目标基因片段得以大量扩增。通过对扩增产物的分析, 就能判断水样中是否存在目标微生物, 并且可根据扩增产物的量估算微生物的相对含量。相较于传统技术, 分子生物学技术灵敏度极高, 能检测到极低浓度的微生物, 检测周期大幅缩短, 数小时内即可出结果。其特异性强, 能精准区分相似微生物种类。然而, 该技术对实验设备和操作人员要求严苛, 需要专业的 PCR 仪、核酸提取设备等, 成本高昂, 在基层监测站推广应用面临一定阻碍。

### 2) 免疫学技术

免疫学技术在实际监测时, 针对目标微生物制备特异性抗体, 并使其与可识别的标记物结合, 如酶、荧光物质等。当处理后的乡镇水源地水样与标记抗体混合, 若水样中存在目标微生物, 微生物携带的抗原便会与抗体发生特异性结合, 形成抗原-抗体复合物。以酶联免疫吸附测定(ELISA)技术为例, 复合物中的酶可催化特定底物发生显色反应, 通过检测颜色变化的程度, 借助标准曲线, 就能定量分析水样中目标微生物的含量。该技术操作相对简便, 对设备要求不像分子生物学技术那般严苛, 在基层监测站具备一定推广基础。而且, 免疫学技术检测速度较快, 能在较短时间内得出结果。

### 3) 生物传感器技术

生物传感器技术在乡镇集中式饮用水源微生物监测中具有独特优势。该技术基于生物识别元件与换

能器的协同作用, 通过将抗体、酶等生物活性物质固定在传感器表面, 实现对目标微生物的特异性识别。当乡镇水源地水样流经传感器时, 微生物与生物识别元件结合, 引发物理或化学信号变化, 如电流、荧光强度等。换能器将这些信号转化为可测量的电信号, 经数据处理系统分析后实时输出检测结果。其检测限可达  $10^3$  CFU/mL, 响应时间约 15 分钟, 能够快速筛查大肠杆菌等常见致病菌。相较于传统方法, 生物传感器技术无需复杂前处理, 可实现现场原位监测, 显著缩短检测周期。然而, 该技术依赖高精度制造工艺, 设备成本较高, 且需定期校准维护, 在经济欠发达基层推广仍存在一定困难。

## 5. 监测技术优化与创新方向

### (一) 技术联用策略

技术联用策略可发挥协同优势, 以分子生物学技术与传统培养方法结合为例, 前者能快速检测微生物的核酸信息, 后者可对微生物进行培养和计数, 二者结合能全面评估微生物污染情况。技术联用策略的实施, 可根据不同监测场景和需求选择合适的技术组合。在日常监测中, 可采用生物传感器技术进行实时监测, 结合免疫学方法进行定期验证; 在应急监测时, 优先使用分子生物学技术快速确定污染源, 再结合传统培养方法进行详细分析。通过合理的技术联用, 能有效提升监测的效率和准确性, 为乡镇饮用水源安全提供更可靠的保障。

### (二) 基于物联网的监测技术创新

基于物联网的监测技术借助传感器技术, 将多种微生物传感器布设于乡镇水源地关键点位, 可实时采集微生物相关数据, 像细菌总数、特定致病菌含量等。这些传感器通过无线通信模块, 把采集到的数据传输至物联网云平台。在某乡镇试点应用中, 传感器每 15 分钟就能回传一次数据, 实现水源微生物动态变化的高频监测。此外, 云平台运用大数据分析 with 人工智能算法, 对海量数据深度挖掘, 能精准识别微生物污染趋势与异常状况。比如, 通过分析历史数据构建微生物含量变化模型, 当实际监测数据偏离模型范围, 系统即刻发出预警。相较于传统监测, 基于物联网的技术大幅提升监测频次与时效性, 从原本的人工定期抽检, 转变为全天候自动监测。

## 6. 结论

农村饮用水安全事关农村群众身体健康, 事关乡村振兴, 是重要的民生福祉[6]。本文揭示乡镇集中式饮用水源微生物污染特征复杂, 受水源类型、季节及周边环境影响显著。传统监测技术虽应用广泛, 但存在检测周期长、灵敏度低等局限。现代监测技术展现出快速、精准等优势, 却面临成本高、操作复杂等推广难题。未来应强化技术联用, 推进基于物联网的监测技术创新, 提升监测效率与准确性, 为保障乡镇居民饮用水安全提供坚实技术支撑。

## 参考文献

- [1] 徐欢欢, 宋文恩, 陈萍, 陈小刚, 吴属连. 乡镇集中式饮用水水源地基础环境调查评估及管理对策——以湖北省某市为例[J]. 广东化工, 2024, 51(1): 118-120.
- [2] 何瑜. 生态环境教育特色小镇——大堰[J]. 世界环境, 2023(2): 70-71.
- [3] 李晓亮. 水库饮用水水源地保护区划分研究[J]. 河北水利, 2023(1): 20+30.
- [4] 徐承香, 王倩, 张思强, 杜维锋, 冉月, 吴永英, 姜雪梅. 贵州某矿区乡镇饮用水源重金属分布特征及健康风险评估[J]. 黑龙江农业科学, 2021(5): 102-109.
- [5] 张曼秋, 谢泸漫, 付小君, 谢霖湘. 乡镇饮用水源地的现状和问题及对策[J]. 低碳世界, 2021, 11(3): 16-17.
- [6] 高伟. 关于饮用水源地保护有关问题的思考[J]. 环境与发展, 2019, 31(11): 213-214.