

水质环境监测中微生物检测技术及其质量控制分析

杨舒捷 喻 薇 周 旭

宁波城市供水水质监测站有限公司 浙江 宁波 315000

摘要: 随着社会对水资源保护重视程度的提升,水质环境监测中微生物检测成为关键环节。本文聚焦水质环境监测中的微生物检测技术及其质量控制。首先概述微生物检测技术在水质监测里的重要性,接着详细介绍多管发酵法、滤膜法、生物传感技术、PCR技术、高通量测序技术等关键检测技术,阐述其原理与特点。随后从人员、设备、环境、方法、样品、数据管理等多方面,深入分析水质微生物检测技术的质量控制策略,旨在为提升水质环境监测中微生物检测的准确性与可靠性提供理论依据与实践参考,保障水质监测数据质量,助力水环境管理与保护。

关键词: 水质环境监测;微生物检测技术;质量控制策略

引言:水是生命之源,其质量与人类健康及生态环境息息相关。水质环境监测作为掌握水质状况、预防水污染的关键手段,意义重大。微生物作为水质的重要指示生物,其种类与数量能直观反映水体受污染程度及生态状况。在水质环境监测中,微生物检测技术发挥着不可替代的作用,通过准确检测微生物指标,可及时发现水质问题,为水污染治理和水资源保护提供科学依据。然而,微生物检测过程复杂,易受多种因素干扰,因此,深入探讨微生物检测技术及其质量控制策略,对提高水质监测水平、保障水质安全具有紧迫且重要的现实意义。

1 水质环境监测中微生物检测技术概述

水质环境监测是保障水资源安全、维护生态平衡的重要工作,其中微生物检测技术是关键组成部分。微生物作为水生态系统中的敏感指示生物,其种类、数量及活性变化能够直接反映水体的受污染程度与生态健康状况。微生物检测技术种类丰富,传统方法以培养法为主,通过在特定培养基上培养微生物,依据菌落形态、数量等特征进行鉴定与计数,操作相对简单,成本较低,但检测周期长,且部分微生物难以培养,易造成结果偏差。随着科技发展,分子生物学技术崭露头角,如PCR技术,可快速、精准地检测特定微生物的DNA片段,灵敏度极高;高通量测序技术则能全面解析水样中微生物群落结构,揭示微生物多样性与功能信息。此外,免疫学技术利用抗原抗体特异性结合原理,实现对目标微生物的快速筛查;生物传感器技术将生物识别元件与信号转换装置结合,具备实时、在线监测的优势^[1]。

2 水质环境监测中微生物检测的关键技术

2.1 多管发酵法

多管发酵法是水质环境监测中检测总大肠菌群和粪

大肠菌群的经典方法,其通过统计发酵管产酸产气的阳性管数,结合统计学原理计算最可能数(MPN),以评估水体微生物污染程度。该方法操作流程严谨,需依次完成初发酵、平板分离、复发酵三步试验:初发酵阶段,将水样接种至含乳糖蛋白胨培养基的发酵管中,37℃培养24小时后观察产酸产气现象;平板分离阶段,取阳性管菌液接种至伊红美蓝或品红亚硫酸钠培养基,37℃培养18-24小时后筛选典型菌落;复发酵阶段,对典型菌落进行革兰氏染色镜检,确认无芽孢杆菌后再次接种至乳糖发酵液,37℃培养24小时验证产酸产气特性。实验数据显示,该方法检测精度高,相对标准偏差可控制在0.93%-5.22%范围内。例如,某实验室对三组水样进行检测,样品1测定均值为34.50MPN/L,相对标准偏差2.47%;样品2均值为7616.67MPN/L,相对标准偏差5.22%;样品3均值为12666.67MPN/L,相对标准偏差0.93%,均符合《水质粪大肠菌群的测定多管发酵法》(HJ347.2-2018)的质控要求。

2.2 滤膜法

滤膜法是水质环境监测中用于检测水中微生物数量的重要技术,尤其适用于总大肠菌群、耐热大肠菌群以及大肠埃希氏菌等指标的测定。其核心原理是利用孔径微小(通常为0.45 μm)的滤膜,将一定体积水样中的微生物截留于滤膜表面,随后将滤膜置于特定选择性培养基上培养,通过计数滤膜上生长的典型菌落数,结合水样体积换算出每升水中的微生物含量。该方法操作相对简便且效率较高,能在较短时间内完成大量水样的检测。其优势在于可有效去除水样中的杂质干扰,提高检测准确性;同时,滤膜可长期保存,便于后续复查与验证。不过,滤膜法对操作环境要求较为严格,需在无菌条件下进行过滤与培养操作,以避免外界微生物污染影

响结果。此外,滤膜的孔径大小、材质以及培养基的选择等,均会直接影响检测效果,需根据检测目标微生物的特性进行合理选择与优化。

2.3 生物传感技术

生物传感技术在水质环境监测中凭借高灵敏度与特异性成为关键技术,其核心是通过生物识别元件(如酶、抗体、核酸、细胞等)与目标分子特异性结合,将生物信号转化为可测量的电信号或光信号。该技术灵敏度极高,例如基于CRISPR技术的ROSALIND3.0平台可检测低至10attomolar(10^{-17} M)的大肠杆菌DNA,较传统PCR方法灵敏度提升十倍;硝酸盐生物传感器以假单胞菌为工作菌株,通过测定 NO_3^- 浓度变化实现水质监测,检测限可达微摩尔级。生物传感技术响应迅速,荧光法溶解氧传感器通过检测荧光衰减时间计算溶解氧含量,响应时间短于30秒;便携式生物传感器可实现现场快速检测,无需复杂预处理,检测效率较传统实验室方法提升80%以上。此外,该技术成本效益显著,部分设备单件成本已控制在50美元以内,且支持多参数同步检测,如集成pH、温度、ATP浓度的无线传感器网络可提前48小时预警鱼类腐败风险,诊断准确率达98.7%^[2]。

2.4 PCR技术

PCR(聚合酶链式反应)技术是水质微生物检测中极具影响力的分子生物学手段,其通过模拟DNA自然复制过程,在体外对特定DNA片段进行指数级扩增,能快速、精准地检测水样中痕量微生物。该技术核心步骤包括变性、退火、延伸。在高温下,双链DNA解旋为单链;降温后,引物与单链DNA特定序列结合;随后在DNA聚合酶作用下,以引物为起点合成新链,如此循环,使目标DNA数量呈指数增长。PCR技术灵敏度极高,可检测到低至几个拷贝数的目标基因,能发现传统培养法难以检测到的微生物。特异性也强,通过精心设计引物,可精准识别特定微生物种类。而且检测周期短,数小时内即可完成扩增与检测。不过,PCR技术对实验环境要求苛刻,需严格避免污染,否则易出现假阳性结果。

2.5 高通量测序技术

高通量测序技术是水质环境监测中微生物检测领域的前沿技术,它突破了传统测序方法通量低、耗时长局限,能同时对大量微生物DNA片段进行测序分析。该技术基于边合成边测序的原理,在测序芯片上,通过荧光标记的核苷酸与模板链互补配对,实时记录荧光信号来确定碱基序列。其优势显著,检测通量极大,一次运行可产生数百万至数十亿条序列读长,能全面覆盖水样

中绝大多数微生物种类,揭示微生物群落的真实组成与多样性。灵敏度也极高,可检测到极低丰度的微生物,发现一些罕见或新出现的微生物种类。不过,高通量测序技术也存在一定挑战。数据分析复杂,需要专业的生物信息学知识和软件工具来处理海量数据,提取有用信息。同时,成本相对较高,包括测序仪器、试剂以及数据分析等方面的费用。

3 水质环境监测中微生物检测技术的质量控制策略

3.1 人员质量控制

人员是水质微生物检测工作的核心要素,其专业素质和操作规范直接影响检测结果的准确性。首先,检测人员需具备扎实的微生物学、水质科学等专业知识基础,通过系统培训掌握各类检测技术的原理、操作流程及注意事项。定期组织内部培训和外部学术交流活动,更新知识体系,提升技术水平。其次,强化操作技能训练,确保人员熟练掌握多管发酵法、PCR技术等关键检测方法的规范操作,减少人为误差。同时,建立严格的人员考核机制,对检测人员的理论知识、操作技能进行定期考核,考核合格后方可独立开展检测工作。此外,注重培养人员的质量意识和责任心,使其深刻认识到自身工作对水质监测结果的重要性,严格遵守实验室规章制度和操作规程,保证检测工作的科学性和严谨性。

3.2 设备质量控制

设备是水质微生物检测的重要工具,其性能状态直接关系到检测结果的可靠性。要建立完善的设备管理制度,对检测设备进行全生命周期管理。在设备采购环节,选择性能稳定、精度高、符合检测标准要求的设备,并确保设备供应商具有良好的信誉和售后服务。设备安装调试后,需进行严格的验收,确保其各项性能指标达到要求。定期对设备进行维护保养,按照设备说明书和相关标准制定维护计划,及时更换易损件,保证设备正常运行。同时,定期对设备进行校准和检定,委托有资质的计量机构进行校准,确保设备的测量结果准确可靠。建立设备档案,记录设备的采购、验收、维护、校准等信息,便于追溯和管理^[3]。

3.3 环境质量控制

水质微生物检测对环境条件要求较高,良好的环境是保证检测结果准确性的基础。实验室应具备合理的布局,划分清洁区、半污染区和污染区,避免交叉污染。保持实验室的清洁卫生,定期进行清扫和消毒,特别是检测操作台、仪器设备表面等容易滋生微生物的部位。控制实验室的温度、湿度和光照等环境参数,根据不同检测项目的要求,将温度控制在适宜范围内,湿度保持

在合理水平,避免光照对微生物检测产生干扰。同时,要保证实验室的通风良好,及时排出有害气体和异味,为检测人员提供舒适的工作环境。此外,在检测过程中,要严格遵守无菌操作原则,在超净工作台或生物安全柜内进行微生物培养、分离等操作,防止外界微生物污染样品。

3.4 方法质量控制

方法选择和使用的正确性是确保水质微生物检测结果准确的关键。应根据检测目的和水质特点,选择合适的检测方法,优先采用国家标准、行业标准规定的方法。在使用新方法或对现有方法进行改进时,要进行充分的方法验证,包括方法的准确性、精密度、灵敏度、特异性等指标的评估,确保方法适用于相应的检测项目。在检测过程中,要严格按照方法规定的操作步骤进行,控制好各项实验条件,如培养温度、时间、培养基成分等。同时,要定期对检测方法进行复审,关注标准的更新和新方法的发布,及时调整检测方法,保证检测方法的科学性和有效性。此外,鼓励检测人员参与方法的优化和创新研究,提高检测效率和质量。

3.5 样品质量控制

样品是水质微生物检测的对象,其质量直接影响检测结果的代表性。在样品采集过程中,要根据检测项目的要求选择合适的采样容器和采样方法,确保采集的样品具有代表性。采样前要对采样容器进行清洗和消毒,避免容器污染影响样品质量。采样时要注意避免样品受到外界污染,如避免手指接触样品、防止样品溅出等。样品采集后要及时进行标识,记录采样时间、地点、样品编号等信息,便于后续的检测和管理。在样品运输和保存过程中,要根据微生物的特性选择合适的运输条件和保存方式,如低温保存、避光保存等,防止微生物在运输和保存过程中发生死亡或繁殖,影响检测结果。同时,要尽快将样品送至实验室进行检测,减少样品保存时间。

3.6 数据管理与质量控制

数据是水质微生物检测的最终成果,其准确性和完整性至关重要。建立完善的数据管理制度,对检测数据的采集、记录、处理、存储和报告等环节进行规范管理。检测人员要如实、准确地记录检测过程中的各项数据和现象,不得随意篡改或伪造数据。采用电子数据记录系统时,要设置数据备份和恢复功能,防止数据丢失。对检测数据进行处理时,要采用科学合理的方法,如平均值计算、标准偏差计算等,确保数据处理结果的准确性。在数据存储方面,要建立专门的数据存储服务器或数据库,对数据进行分类存储和管理,方便查询和检索。同时,要对检测数据进行定期审核和验证,检查数据的合理性和一致性,发现问题及时进行纠正。在出具检测报告时,要确保报告内容完整、准确、清晰,包括检测项目、检测方法、检测结果、结论等信息,为水质评价和决策提供可靠依据^[4]。

结束语

水质环境监测中的微生物检测技术是洞察水体健康状况的关键窗口,从传统方法到前沿技术,不断拓展着检测的深度与广度。而质量控制则如稳固基石,贯穿于人员、设备、环境、方法、样品及数据管理等各个环节,保障着检测结果的精准可靠。未来,随着科技持续进步,微生物检测技术将更趋高效、精准与智能化,质量控制体系也会愈发完善。我们需紧跟时代步伐,不断优化技术与质控策略,为守护水资源安全、维护生态平衡提供坚实有力的支撑,助力人类与自然和谐共生。

参考文献

- [1]曹杨.微生物检测技术在水质环境监测及质量控制研究[J].清洗世界,2024,40(09):34-36.
- [2]徐苗.水质环境监测中的微生物检测质量控制[J].黑龙江环境通报,2024,37(09):75-76.
- [3]刘洁.浅析水质环境监测中的微生物检测质控措施[J].工业微生物,2024,54(04):117-119.
- [4]何思琦.探析微生物检测技术在水质环境监测中应用与质量控制措施[J].农业与技术,2021,42(16):94-96.