

曹新垵, 张琦, 张明明, 等. 新型水中总大肠菌群与大肠埃希氏菌检测方法的应用分析[J]. 净水技术, 2024, 43(8): 83-88.

CAO X K, ZHANG Q, ZHANG M M, et al. Application analysis of a new method for determination of total coliform and *Escherichia coli* in water[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(8): 83-88.

## 新型水中总大肠菌群与大肠埃希氏菌检测方法的应用分析

曹新垵<sup>1,2,\*</sup>, 张琦<sup>1,2</sup>, 张明明<sup>1,2</sup>, 尹宝国<sup>1,2</sup>, 张宝华<sup>1,2</sup>

(1. 国家城市供水水质监测网北京监测站, 北京 100101; 2. 北京市自来水集团有限责任公司水质监测中心, 北京 100101)

**摘要** 为应对水质突发情况, 减少检测时间, 提高检测效率, 文章对全自动微生物检测分析仪法的检测准确度、检测时间做了针对性的研究, 并与国标中检测方法(酶底物法、滤膜法)检测实际样品的结果进行了对比分析。利用全自动微生物检测分析仪法分别检测高、低两种浓度的质控样品发现, 所有检测结果均符合质控真值要求, 检测结果可靠。利用梯度稀释并记录检测结果与时间发现, 当样品浓度为  $0 \sim 1.0 \times 10^8$  CFU/(100 mL) 时, 检测时间为 2~18 h, 样品浓度越高, 检测时间越短。实际水样检测对比发现, 全自动微生物检测分析仪法分别与国标中检测方法(滤膜法、酶底物法)检测结果配对  $t$  检验, 总大肠菌群的配对  $t$  检验结果为  $P=0.122 (>0.05)$  与  $P=0.351 (>0.05)$ , 无显著性差异; 大肠埃希氏菌的配对  $t$  检验结果为  $P=0.086 (>0.05)$  与  $P=0.082 (>0.05)$ , 无显著差异性。在保证数据准确性的前提下, 利用全自动微生物检测分析仪法检测可以大幅缩短检测时间, 适宜检测各类应急水质情况。

**关键词** 总大肠菌群 大肠埃希氏菌 全自动微生物检测分析仪 滤膜法 酶底物法

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-0177(2024)08-0083-06

**DOI:** 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.08.012

## Application Analysis of a New Method for Determination of Total Coliform and *Escherichia coli* in Water

CAO Xinkai<sup>1,2,\*</sup>, ZHANG Qi<sup>1,2</sup>, ZHANG Mingming<sup>1,2</sup>, YIN Baoguo<sup>1,2</sup>, ZHANG Baohua<sup>1,2</sup>

(1. Beijing Monitoring Station of National Urban Water Quality Monitoring Network, Beijing 100101, China;

2. Water Quality Monitoring Center, Beijing Waterworks Group Co., Ltd., Beijing 100101, China)

**Abstract** In order to deal with water quality emergencies, the detection time is further reduced and the detection efficiency is improved. In this paper, the detection accuracy and detection time of automatic microbiological detection analyzer method were targeted researched, and the results of the raw water sample detected by the national standard detection methods (enzyme substrate method and filter membrane method) were compared and analyzed. The automatic microbiological detection analyzer method was used to detect the high and low concentrations of quality control samples, and it was found that all the test results met quality control truth value requirements, the results of this method were reliable. Using serial dilutions and recording of test results and time, it was found that the detection time was from 2 to 18 hours with the sample concentration from 0 to  $1.0 \times 10^8$  CFU/(100 mL), the higher the sample concentration, the shorter the detection time. The comparison of raw water samples showed that, the automatic microbiological detection analyzer method paired with the detection results of the national standard detection method (filter membrane method and enzyme substrate method), and the paired  $t$ -test results of total coliform were  $P=0.122 (>0.05)$  and  $P=0.351 (>0.05)$ , with no significant difference; meanwhile the paired  $t$ -test results of *Escherichia coli* were  $P=0.086 (>0.05)$  and  $P=0.082 (>0.05)$ , with no significant difference. On the premise of ensuring data accuracy, the detection time can be greatly shortened by using the automatic microbiological detection analyzer method, which is suitable for detecting all kinds of emergency water quality conditions.

**Keywords** total coliform *Escherichia coli* automatic microbiological detection analyzer membrane filtration method enzyme substrate method

[收稿日期] 2023-09-23

[通信作者] 曹新垵(1987—), 男, 硕士, 主要从事微生物检测工作, E-mail: xinkaicca@163.com.

水中总大肠菌群与大肠埃希氏菌作为国内水质卫生评价的重要指标, 主要用来评价水体被微生物

污染的程度,并间接表明水体中肠道类致病菌存在的可能性<sup>[1]</sup>。目前国家标准检测方法以多管发酵法、滤膜法与酶底物法等方法为主<sup>[2-4]</sup>。但国家标准检测方法中总大肠菌群与大肠埃希氏菌检测方法检测浓度范围较小;酶底物法 97 孔板最高检出限为 2 420 MPN/(100 mL),51 孔板最高检出限为 201 MPN/(100 mL),滤膜法最高检出限为 200 CFU/(100 mL),检测周期较长(24 h)。部分方法不仅需要专业的无菌室且检测操作复杂,而且不能快速高效地反映水体卫生情况。

全自动微生物检测分析仪采用定向酶底物法结合聚合物分配技术,通过仪器内置的培养箱使待测水样中的目标细菌与酶底物试剂发生生理代谢反应并将疏水性的目标菌荧光产物从水样中分离,富集于试剂瓶底部的荧光探针上。仪器根据待测水样荧光产物浓度的变化与水中待测目标细菌的实际浓度建立相关数学模型从而测定水中总大肠菌群与大肠埃希氏菌的浓度<sup>[5-6]</sup>。美国环境保护署(EPA)于 2014 年率先将全自动微生物检测分析仪收录于检测标准中,是目前唯一一个通过 EPA 认证的自动化微生物检测系统<sup>[7]</sup>。2019 年我国山东省发布《水质粪大肠菌群测定 光度法》(DB 37/T 3787—2019)<sup>[8]</sup>检测标准,将该方法引入国内,该方法检出限为  $3 \times 10^1 \sim 1 \times 10^9$  MPN/L,检出时间不大于 18 h。全自动微生物检测分析仪检测过程无需无菌室,操作便捷,可自动生成检测结果报告且一台设备即可完成整体检测流程,适用于各地区应急样品的水中总大肠菌群与大肠埃希氏菌的检测。该方法最高可以检测  $1.0 \times 10^8$  CFU/(100 mL)浓度的样品,且待测样品浓度越高,检测周期越短。各类型待测水样均可以在 18 h 内得出检测结果。其有效检测浓度为  $0 \sim 10^8$  CFU/(100 mL),适用于生活饮用水、水源水、生活污水、工业废水等水体的总大肠菌群与大肠埃希氏菌检测。

本文采用全自动微生物检测分析仪检测 NSI 大肠菌群质控样品、高、低浓度的 NSI 大肠菌群样品的总大肠菌群与大肠埃希氏菌。将相关检测结果进行分析,验证该方法的准确性、稳定性及检测浓度检测周期的关系。同时使用全自动微生物检测分析仪与国标中滤膜法、酶底物法检测实际样品中的总大肠菌群与大肠埃希氏菌,比较分析 3 种检测方法的检测结果,验证 3 种检测方法的相关性<sup>[9]</sup>。

## 1 试验部分

### 1.1 试验耗材及设备

全自动微生物检测分析仪(Tecta-B16)、Tecta Alert-CCA 检测试剂、酶底物法试剂、51 孔定量盘、程控定量封口机、365 nm 紫外灯、NSI 大肠菌群质控样品、无菌 PBS 缓冲液(磷酸盐缓冲盐溶液)、100 mL 无菌取样瓶等仪器耗材由 IDEXX 公司提供。滤膜法相关培养基购自北京陆桥技术股份有限公司。滤膜法相关仪器设备购自 Merck 公司。试验使用国产隔水式恒温培养箱等设备均经计量部门校准合格。

### 1.2 试验步骤

#### 1.2.1 水样采集

采集生活饮用水及水源水作为本次试验的实际样品。采集标准参照《生活饮用水标准检验方法 第 2 部分:水样的采集与保存》(GB/T 5750.2—2023)<sup>[10]</sup>,采集水样需在  $0 \sim 4$  °C 保存条件下 8 h 内完成检测。

#### 1.2.2 NSI 大肠菌群质控样品制备

将 NSI 大肠菌群质控样品制备从  $-10$  °C 以下的冰箱取出,室温平衡 15 min 后转移至 100 mL 无菌 PBS 缓冲液中,水平振荡摇匀,待 NSI 大肠菌群质控样品完全溶解后 30 min 内进行检测。

#### 1.2.3 低浓度大肠菌群质控样品制备

准确移取 1.2.2 小节中的大肠菌群质控样品 5 mL 至 100 mL 无菌样品瓶中,无菌 PBS 缓冲液定容至刻度,水平振荡摇匀,制备成总大肠菌群 NSI 大肠菌群低浓度质控样品。

准确移取 1.2.2 中的大肠菌群质控样品 10 mL 至 100 mL 无菌样品瓶中,无菌 PBS 缓冲液定容至刻度,水平振荡摇匀,制备成大肠埃希氏菌低浓度 NSI 大肠菌群质控样品。

#### 1.2.4 高浓度大肠菌群样品制备

选取 NSI 大肠菌群质控样品进行纯化培养,制备成约为  $1.0 \times 10^8$  CFU/(100 mL)的高浓度大肠菌群样品,试验时逐级稀释进行检测。

#### 1.2.5 全自动微生物检测分析仪测定水中总大肠菌群与大肠埃希氏菌

量取 100 mL 待测样品加入到检测试剂瓶中,水平振荡摇匀,待试剂溶解后放入检测仪器中,设置仪器检测方法,根据仪器自动生成的检测报告分析试

验结果。

1.2.6 滤膜法测定水中总大肠菌群与大肠埃希氏菌

量取 100 mL 待测样品,滤膜法测定水中总大肠菌群与大肠埃希氏菌,参照《生活饮用水标准检验方法 第 12 部分:微生物指标》(GB/T 5750.12—2023)<sup>[11]</sup>中(5.2 节、7.2 节滤膜法)进行试验。

1.2.7 酶底物法测定水中总大肠菌群与大肠埃希氏菌

量取 100 mL 待测样品,酶底物法测定水中总大肠菌群与大肠埃希氏菌,参照《生活饮用水标准检验方法 第 12 部分:微生物指标》(GB/T 5750.12—2023)<sup>[11]</sup>中(5.3 节及 7.3 节酶底物法)进行试验。

2 结果分析

2.1 NSI 大肠菌群质控样品检测结果分析

为验证全自动微生物检测分析仪的准确性与稳

定性,本次试验使用全自动微生物检测分析仪平行检测 1.2.2 小节中的 NSI 大肠菌群质控样品 10 次。其检测结果表明:该方法的检测结果均在质控样品结果可接受范围内,其中总大肠菌群检测结果平均值为 121 CFU/(100 mL) [真值为 (114±21) CFU/(100 mL)];大肠埃希氏菌检测结果平均值为 41 CFU/(100 mL) [真值为 (43±10) CFU/(100 mL)],均符合质控样品真值要求。为进一步评价该方法的准确性和稳定性,计算检测结果的标准偏差(SD)(总大肠菌群)=0.03,SD(大肠埃希氏菌)=0.07,如表 1、表 2 所示。结果表明,全自动微生物检测分析仪在检测水中总大肠菌群与大肠埃希氏菌的准确性与稳定性均符合实验室检测需求。并且当待测样品浓度为 50~100 CFU/(100 mL)时,全自动微生物检测分析仪降低 50%的检测时间。

表 1 NSI 大肠菌群质控样品的结果

Tab. 1 Results of Quality Control Samples for NSI Microbial Coliform

样品名称	总大肠菌群/ [CFU·(100 mL) <sup>-1</sup> ]	检测时间/h	相对误差	大肠埃希氏菌/ [CFU·(100 mL) <sup>-1</sup> ]	检测时间/h	相对误差
1	110	12	-3.51%	44	12	2.33%
2	124	12	8.77%	38	12	-11.63%
3	119	12	4.39%	32	12	-25.58%
4	129	12	13.16%	37	12	-13.95%
5	126	12	10.53%	49	12	13.95%
6	119	12	4.39%	40	12	-6.98%
7	119	12	4.39%	39	12	-9.30%
8	135	12	18.42%	52	12	20.93%
9	120	12	5.26%	33	12	-23.26%
10	108	12	-5.265%	46	12	6.98%

注: NSI QC Lot Number: 221206-2, 总大肠菌群真值为 (114 ± 21) CFU/(100 mL), 可接受值为 39~278 CFU/(100 mL); 大肠埃希氏菌真值为 (43±10) CFU/(100 mL), 可接受值为 11~216 CFU/(100 mL)。

表 2 NSI 大肠菌群质控样品的结果计算分析

Tab. 2 Computational Analysis of Quality Control Samples for NSI Microbial Coliform

检测项目	平均值/ [CFU·(100 mL) <sup>-1</sup> ]	平均检测 时间/h	SD
总大肠菌群	121	12	0.03
大肠埃希氏菌	41	12	0.07

2.2 低浓度大肠菌群质控样品检测结果分析

为验证全自动微生物检测分析仪检测低浓度样品时的准确性与稳定性,本次试验使用全自动微生物检测分析仪分别平行检测 1.2.3 小节中的总大肠菌

群与大肠埃希氏菌的低浓度大肠菌群质控样品 10 次。其检测结果表明:该方法检测低浓度样品的检测结果均在质控样品结果可接受范围内,其中总大肠菌群检测结果平均值为 6 CFU/(100 mL);大肠埃希氏菌检测结果平均值为 4 CFU/(100 mL),均符合质控样品真值要求。为进一步评价该方法检测低浓度样品的准确性和稳定性,计算检测结果的 SD(总大肠菌群)=0.09,SD(大肠埃希氏菌)=0.14,如表 3、表 4 所示。结果表明,全自动微生物检测分析仪在检测水中总大肠菌群与大肠埃希氏菌低浓度样品的准确性与稳定性均符合实验室检测需求。

表3 低浓度 NSI 大肠菌群质控样品的结果

Tab. 3 Results of Quality Control Samples with Low Concentration of NSI Microbial Coliform

样品名称	总大肠菌群/ [CFU·(100 mL) <sup>-1</sup> ]	稀释 倍数	检测 时间/h	相对误差	大肠埃希氏菌/ [CFU·(100 mL) <sup>-1</sup> ]	稀释 倍数	检测 时间/h	相对误差
1	6	20	17	5.26%	3	10	17	-30.23%
2	7	20	17	22.81%	3	10	17	-30.23%
3	6	20	17	5.26%	5	10	17	16.28%
4	5	20	17	-12.28%	4	10	17	-6.98%
5	4	20	17	-29.82%	5	10	17	16.28%
6	4	20	17	-29.82%	3	10	17	-30.23%
7	5	20	17	-12.28%	2	10	17	-53.49%
8	6	20	17	5.26%	3	10	17	-30.23%
9	7	20	17	22.81%	4	10	17	-6.98%
10	5	20	17	-12.28%	6	10	17	39.53%

注: NSI QC Lot Number: 221206-2, 总大肠菌群真值为  $114 \pm 21$  CFU/(100 mL), 可接受值为 39~278 CFU/(100 mL); 大肠埃希氏菌真值为  $(43 \pm 10)$  CFU/(100 mL), 可接受值为 11~216 CFU/(100 mL); 表中结果总大肠菌群为 20 倍稀释后的结果, 大肠埃希氏菌为 10 倍稀释后的结果。

表4 低浓度 NSI 大肠菌群质控样品的结果计算分析

Tab. 4 Calculation and Analysis of the Results of NSI Microbe Low Concentration Quality Control Samples for Coliform

检测项目	平均值/ [CFU·(100 mL) <sup>-1</sup> ]	平均检测 时间/h	标准偏差
总大肠菌群	6	17	0.09
大肠埃希氏菌	4	17	0.14

### 2.3 高浓度大肠菌群样品检测结果分析

为验证全自动微生物检测分析仪的检测时长与检测浓度关系, 本次试验将高浓度大肠菌群样品逐级稀释进行检测, 如表 5 所示。结果表明, 当待测样品浓度越高时, 样品检测周期越短。当总大肠菌群或大肠埃希氏菌的检测浓度为  $1.0 \times 10^8$  CFU/(100 mL) 时, 全自动微生物检测分析仪检测周期仅为 2 h 左右, 当总大肠菌群或大肠埃希氏菌的检测浓度为 0 时, 检测周期为 18 h, 检测周期远低于国标大肠菌群检测方法。

### 2.4 阴性样品检测结果分析

各选取 3 组灭菌生理盐水、无菌水和无菌 PBS 缓冲溶液, 在非无菌室条件下使用全自动微生物检测分析仪进行检测, 其检测结果如表 6 所示。在非无菌室条件下, 全自动微生物检测分析仪检测阴性样品时所有阴性样品均未检出。由此表明, 全自动

微生物检测分析仪可以在非无菌室条件下进行试验, 降低了水中总大肠菌群与大肠埃希氏菌检测项目对实验室无菌环境的要求。

### 2.5 实际样品检测结果分析

选取 30 组水源水, 样品浓度为 1~8 000 MPN/(100 mL), 酶底物法与滤膜法检测时间为 24 h, 全自动微生物检测分析仪检测时间为 9~18 h。分别使用全自动微生物检测分析仪、滤膜法及酶底物法进行检测。为进一步探究 3 种检测方法在检测实际样品时是否存在差异性, 运用软件 SPSS 软件对 3 种检测方法总大肠菌群与大肠埃希氏菌的检测结果进行配对 *t* 检验分析。为使检测结果呈正态分布, 对检测结果进行对数处理后再进行数据分析, 结果如表 7、表 8 所示。全自动微生物检测分析仪与滤膜法和酶底物法对总大肠菌群检测结果的泊松相关系数分别为 0.997、0.859, 属于强相关性; 配对 *t* 检验结果为  $P=0.122 (>0.05)$  与  $P=0.351 (>0.05)$ ; 全自动微生物检测分析仪与滤膜法和酶底物法对大肠埃希氏菌检测结果的泊松相关系数分别为 0.916、0.825, 属于强相关性; 配对 *t* 检验结果为  $P=0.086 (>0.05)$  与  $P=0.082 (>0.05)$ , 表明全自动微生物检测分析仪与滤膜法及酶底物法检测总大肠菌群、大肠埃希氏菌的结果无显著差异, 具有高度一致性。可认为全自动微生物检测分析仪与滤膜法、酶底物



表5 高浓度大肠菌群样品的结果

Tab. 5 Results of High Concentration Microbial Coliform Samples

样品浓度/ [CFU·(100 mL) <sup>-1</sup> ]	样品 序号	总大肠菌群检测浓度/ [CFU·(100 mL) <sup>-1</sup> ]	检测 时间/h	大肠埃希氏菌检测浓度/ [CFU·(100 mL) <sup>-1</sup> ]
1.0×10 <sup>8</sup>	Sample-1	110 452 344	2	100 357 824
1.0×10 <sup>8</sup>	Sample-2	121 529 380	2	112 455 776
1.0×10 <sup>7</sup>	Sample-1	13 945 322	5	12 139 774
1.0×10 <sup>7</sup>	Sample-2	13 589 416	5	10 253 232
1.0×10 <sup>6</sup>	Sample-1	1 200 425	6	1 254 865
1.0×10 <sup>6</sup>	Sample-2	1 157 832	6	1 098 558
1.0×10 <sup>5</sup>	Sample-1	102 545	8	130 422
1.0×10 <sup>5</sup>	Sample-2	120 561	8	102 573
1.0×10 <sup>4</sup>	Sample-1	13 421	9	10 332
1.0×10 <sup>4</sup>	Sample-2	11 515	9	13 345
1.0×10 <sup>3</sup>	Sample-1	1 011	10	1 769
1.0×10 <sup>3</sup>	Sample-2	1 104	10	1 623
1.0×10 <sup>2</sup>	Sample-1	134	12	145
1.0×10 <sup>2</sup>	Sample-2	110	12	132
1.0×10 <sup>1</sup>	Sample-1	18	15	10
1.0×10 <sup>1</sup>	Sample-2	12	15	15
无菌水	Sample-1	0	18	0
无菌水	Sample-2	0	18	0

表6 阴性样品检测结果

Tab. 6 Negative Sample Test Results

检测方法	灭菌生理盐水/[CFU·(100 mL) <sup>-1</sup> ]	无菌水/[CFU·(100 mL) <sup>-1</sup> ]	无菌 PBS 缓冲溶液/[CFU·(100 mL) <sup>-1</sup> ]
	0	0	0
全自动微生物检测分析仪	0	0	0
	0	0	0

表7 实际样品总大肠菌群检测结果的 *t* 检验

Tab. 7 *t*-Test for Total Coliform Group Test Results of Actual Samples

检测方法	均值	标准偏差	样品数据	泊松相关系数	自由度	<i>T</i>	<i>P</i> 值
全自动微生物检测分析仪滤膜法	0.021 00	0.072 13	30	0.997	29	1.595	0.122
全自动微生物检测分析仪 酶底物法	-0.020 00	0.115 67	30	0.859	29	-0.947	0.351

表8 实际样品大肠埃希氏菌检测结果的 *t* 检验

Tab. 8 *t*-Test of Actual Sample *Escherichia coli* Test Results

检测方法	均值	SD	样品数据	泊松相关系数	自由度	<i>T</i>	<i>P</i> 值
全自动微生物检测分析仪滤膜法	0.065 00	0.200 08	30	0.916	29	1.779	0.086
全自动微生物检测分析仪酶底物法	0.086 67	0.263 57	30	0.825	29	1.801	0.082

法均可有效检测水中总大肠菌群与大肠埃希氏菌。

### 3 结论

(1)全自动微生物检测分析仪检测质控样品的结果准确性及稳定性均符合实验室要求。实际样品方法比对的检测结果表明:该方法与滤膜法及酶底物法在检测总大肠菌群与大肠埃希氏菌时,其检测结果无显著差异,具有高度一致性,均可以有效测定。该方法相较于国标检测方法具有检测浓度范围高、检测周期短、操作便捷等优势,可以显著降低外来污染和人为误差,提高实验室检测效率。

(2)全自动微生物检测分析仪最高值可以检测 $1.0 \times 10^8$  CFU/(100 mL)浓度的待测样品,且样品浓度越高,该仪器的检测周期便越短,各类型水样均可以在18 h内得出检测结果。其检测浓度范围与检测周期均优于国标检测方法,更适用于应急样品水中总大肠菌群与大肠埃希氏菌的检测。

(3)全自动微生物检测分析仪测定水中总大肠菌群与大肠埃希氏菌在操作简便、结果准确的同时显著提高了检测浓度范围,缩短了检测周期,故该方法更适用于水源水等水体较脏或有背景干扰的待测样品。

### 参考文献

- [ 1 ] 徐庄艳. 水中总大肠菌群酶底物法、滤膜法与多管发酵法的比较[J]. 净水技术, 2022, 41(s1): 356-359.  
XU Z Y. Comparison of enzyme substrate method, membrane method and multi-tube fermentation method of coliform in water [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(s1):356-359.
- [ 2 ] 中华人民共和国生态环境部. 水质 粪大肠菌群的测定 滤膜法:HJ 347.1—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.  
Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Water quality—Determination of fecal coliform—Membrane filtration: HJ 347.1—2018[S]. Beijing: Standard Press of China, 2019.
- [ 3 ] 中华人民共和国生态环境部. 水质 粪大肠菌群的测定 多管发酵法:HJ 347.2—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.  
Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Water quality—Determination of fecal coliform—Manifold zymotechnics; HJ 347.2—2018[S]. Beijing: Standard Press of China, 2019.
- [ 4 ] 中华人民共和国生态环境部. 水质 总大肠菌群、粪大肠菌群和大肠埃希氏菌的测定 酶底物法:HJ 1001—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.  
Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Water quality—Determination of total coliforms, fecal coliforms and *Escherichia coli*—Enzyme substrate method: HJ 1001—2018[S]. Beijing: Standard Press of China, 2019.
- [ 5 ] 由希华, 刘金枝, 张凤菊, 等. 水中粪大肠菌群快速测定方法—荧光法[C]. 天津: 中国环境科学会 2021 年科学技术年会论文集(三), 2021.  
YOU X H, LIU J Z, ZHANG F J, et al. Rapid determination of fecal coliforms in water—fluorescence method [C]. Tianjin: Proceedings of the 2021 Annual Conference of Science and Technology of the Chinese Environmental Science Association (3), 2021.
- [ 6 ] 袁琨, 沈昊阳, 贾东芬, 等. 基于生长时间光谱法的大肠菌群快速检测仪器的设计[J]. 中国计量大学学报, 2018, 29(3): 345-350.  
YUAN K, SHEN H Y, JIA D F, et al. Design of a rapid detection instrument for total coliforms based on the time of growth spectrometer method[J]. Journal of China University of Metrology, 2018, 29(3): 345-350.
- [ 7 ] United States. Environmental Protection Agency. 40 CFR Part 141 [S]. United States: United States Environmental Protection Agency Press.
- [ 8 ] 山东省市场监督管理局. 水质 粪大肠菌群测定 光度; DB 37/T 3787—2019[S]. 山东: 山东省标准出版社, 2019.  
Shandong Provincial Market Supervision and Administration Bureau. Water quality—Determination of fecal coliforms—Photometric method; DB 37/T 3787—2019 [S]. Shandong: Shandong Provincial Standard Publishing House, 2019.
- [ 9 ] 曹新垵, 张琦, 尹宝国, 等. 水中菌落总数 3 种检测方法的比较[J]. 净水技术, 2022, 41(11): 173-178.  
CAO X K, ZHANG Q, YIN B G, et al. Comparison of three determination methods for total number of bacteria colonies in water[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(11): 173-178.
- [ 10 ] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 生活饮用水标准检验方法 第 2 部分: 水样的采集与保存: GB/T 5750.2—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.  
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. Standard examination methods for drinking water—Part 2: Collection and preservation of water samples; GB/T 5750.2—2023 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2023.
- [ 11 ] 国家市场监督管理总局, 中华人民共和国国家标准化管理委员会. 生活饮用水标准检验方法 第 12 部分: 微生物指标: GB/T 5750.12—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.  
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. Standard examination methods for drinking water—Part 12: Microbiological indices; GB/T 5750.12—2023[S]. Beijing: Standards Press of China, 2023.