

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240604002

不同微孔滤膜应用于铜绿假单胞菌检测的质量评价分析

章志超*, 朱应飞, 邱国鹏, 占忠旭

(江西省检验检测认证总院食品检验检测研究院, 南昌 330200)

摘要: **目的** 对应用于包装饮用水中铜绿假单胞菌检测的微孔滤膜进行质量评价分析。**方法** 以 3 株来源和菌落特征均不同的铜绿假单胞菌标准菌株为研究对象, 分析比较了亲水性微孔滤膜在 5 种不同材质、4 种不同灭菌方式和 4 种不同品牌情况下的外观特征、过滤速率、滤膜上铜绿假单胞菌的菌落特征和回收率。**结果** 同种阳性菌在不同材质滤膜上生长的菌落颜色、大小和形态等特征均有差异。不同材质滤膜对铜绿假单胞菌的综合回收率, 由大到小依次为混合纤维素酯膜、聚醚砜膜、尼龙膜、聚四氟乙烯膜和聚碳酸酯滤膜。与辐照灭菌方式相比, 干热(160°C, 2 h)和直接湿热灭菌(121°C, 15 min), 会造成滤膜不同程度的变形或变黄; 5 种滤膜均适宜浸泡在水中 121°C, 15 min 灭菌; 当不影响滤膜外观特征时, 灭菌方式对铜绿假单胞菌菌落特征、回收率等无显著影响。**结论** 当采用滤膜法检测包装饮用水中的铜绿假单胞菌时, 宜采用混合纤维素滤膜, 必要时采用浸泡在水中 121°C, 15 min 灭菌处理。阳性菌的菌落颜色、大小、形状以及回收率等是对滤膜进行适应性评价的重要考虑因素。

关键词: 滤膜; 铜绿假单胞菌; 材质; 灭菌; 质控

Quality evaluation analysis of different microporous filter membranes applied in the detection of *Pseudomonas aeruginosa*

ZHANG Zhi-Chao*, ZHU Ying-Fei, QIU Guo-Peng, ZHAN Zhong-Xu

(Food Inspection and Testing Institute of Jiangxi General Institute for Inspection, Testing and Certification, Nanchang 330200, China)

ABSTRACT: Objective To evaluate the quality of the microporous filter membrane used for the detection of *Pseudomonas aeruginosa* in packaged drinking water. **Methods** Three standard strains of *Pseudomonas aeruginosa* with different sources and colony characteristics were selected as the research objects. The 5 kinds of different materials, 4 kinds of different sterilization methods and 4 kinds of different brand sources were compared. The appearance characteristics, filtration rate, colony characteristics and recovery rate of the strains on the filter membranes were analyzed. **Results** The characteristics of colony color, size and morphology of the strains growing

基金项目: 国家市场监督管理总局科技项目(2021MK058)、江西省市场监督管理局科技计划项目(GSJK202002)、江西省检验检测认证总院科研项目(ZYK202212)

Fund: Supported by the Science and Technology Project of State Administration for Market Regulation (2021MK058), the Science and Technology Project of Jiangxi Province Administration for Market Regulation (GSJK202002), and the Research Project of Jiangxi General Institute for Inspection (ZYK202212)

*通信作者: 章志超, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: zhgio2008@126.com

*Corresponding author: ZHANG Zhi-Chao, Master, Senior Engineer, Food Inspection and Testing Institute of Jiangxi General Institute for Inspection, No.1899, Jinsha 2nd Road, Nanchang 330200, China. E-mail: zhgio2008@126.com.

on the filter membranes were different among the different materials. The comprehensive recovery rate of *Pseudomonas aeruginosa* on the mixed cellulose ester, nylon, polyether sulfone, polytetrafluoroethylene and polycarbonate filter were decreased in succession. Compared with irradiation sterilization methods, dry heat (160°C, 2 h) and direct wet heat (121°C, 15 min) sterilization could cause different degrees of deformation or yellowing of the filter membrane, 5 kinds of different filter membranes were suitable for soaking in water for sterilization at 121°C, 15 min. When the appearance characteristics of the filter membrane were not affected, the sterilization method had no significant effect on the colony characteristics and recovery rate of *Pseudomonas aeruginosa*. **Conclusion** It is advisable to use the mixed cellulose ester filter membrane, soak it in water for sterilization at 121°C, 15 minutes. when using the filter membrane to detect *Pseudomonas aeruginosa* in packaged drinking water. The color, size, shape, and recovery rate of positive bacterial colonies are important considerations for evaluating the adaptability of filter membranes.

KEY WORDS: filter membrane; *Pseudomonas aeruginosa*; material; sterilization; quality control

0 引言

铜绿假单胞菌是水体中常见的一种革兰氏阴性条件致病菌^[1]。该菌在包装饮用水中的抽检不合格率在 10%左右,导致严重食品安全风险,是包装饮用水企业生产控制和政府监管的重要监控对象^[2-6]。薄膜过滤法较传统的平板计数法具有检验快速、操作简便并可浓缩样本等优点,广泛应用于微生物检测^[7-11]。现行的 GB 8538—2022《食品安全国家标准 饮用天然矿泉水检验方法》采用的是薄膜过滤法检测铜绿假单胞菌,并规定了滤膜的亲水性、孔径、直径等规格信息。由于铜绿假单胞菌的关键技术指标,菌落颜色和数量均在滤膜上呈现,因此微孔滤膜是影响铜绿假单胞菌检验结果的关键耗材,但标准方法中并没有明确微孔滤膜的质量评价方法^[12]。GB 4789.25—2024《食品安全国家标准 食品微生物学检验 酒类、饮料、冷冻饮品采样和检样处理》规定了薄膜过滤法检验食品的操作前处理方法,但也未涉及滤膜本身前处理和应用质量的具体评价方法。HY/T 039—1995《微孔滤膜孔性能测定方法》和 HY/T 053—2001《微孔滤膜》等行业标准更多针对孔径、泡点和流量等性能,并未结合微生物检验时,对灭菌处理、菌落观察和回收率的需求。这导致微生物检验过程中对使用的滤膜性能评价标准不一,检验效率差异较大。目前,我国的包装饮用水的国家食品安全标准均要求铜绿假单胞菌不允许检出,因此滤膜导致的检验效率差异将是影响产品质量是否合格的重要因素。

微生物检测用的微孔滤膜属检验关键耗材^[12-16]。目前,微孔滤膜性能研究主要针对滤膜材质对溶液过滤除杂效果、目标物截留率等分析,但仍然缺乏对滤膜本身统一的质量要求和评价规范^[17-21]。为了探究不同微孔滤膜应用于铜绿假单胞菌的检验效果,本研究以 3 株来源和菌落特征均不同的铜绿假单胞菌标准菌株为研究对象,从滤膜的外观特征和过滤速率,过滤后滤膜上铜绿假单胞菌的菌落特征、过滤速率和回收率等方面对滤膜的材质、灭菌方式和

品牌来源进行分析比较,对明确适用于铜绿假单胞菌培养计数滤膜评价关键点,为建立适宜水中铜绿假单胞菌的微孔滤膜的质控规范提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

铜绿假单胞菌 ATCC 9027(美国 Microbiologics 公司);铜绿假单胞菌 CICC 21946(中国工业微生物菌种保藏管理中心);铜绿假单胞菌 CMCC 10104(中国医学细菌菌种保藏中心);营养肉汤、CN 琼脂(北京陆桥生物技术有限公司);混合纤维素酯(mixed cellulose ester, MCE)(孔径 0.45 μm , 直径 47 mm)(品牌 1、品牌 2、品牌 3 和品牌 4);尼龙(nylon, NL)、聚醚砜(polyether sulfone, PES)、聚四氟乙烯(polytetrafluoroethylene, PTFE)、聚碳酸酯(polycarbonate, PC)微孔滤膜(亲水性, 孔径 0.45 μm , 直径 47 mm)(品牌 1)。

1.2 仪器与设备

ZXSD-A1430 生化培养箱(上海智城分析仪器制造有限公司);GI54T 高压灭菌器[致微(厦门)仪器有限公司]。

1.3 实验方法

1.3.1 人工污染样的制备

将铜绿假单胞菌标准菌株 ATCC 9027、CICC 21946 和 CMCC 10104 分别接种于营养肉汤 36°C 培养 18~24 h 后,使菌液浊度达到 2~3 麦氏单位。活化后,用无菌生理盐水对各活化菌液进行 10 倍递增系列稀释,并取 1 mL 1:10⁷ 菌稀释液匀液加入 249 mL 无菌水中制备 3 种人工污染样。同时取 0.3 mL 1:10⁷ 菌稀释液匀液涂布于 CN 琼脂平板,36°C 培养 24 h,获得人工污染水样的参考菌数。

1.3.2 不同材质滤膜对铜绿假单胞菌生长特性的影响

将 3 种不同的人工污染水样经来自品牌 1 的 5 种不同亲水性材质微孔滤膜过滤后置于 CN 琼脂平板上,36°C 培养 48 h,观察培养后膜上菌落特征,并统计阳性菌回收率。

1.3.3 不同灭菌方式对滤膜性能影响

参照 GB/T 27405—2008《实验室质量控制规范 食品微生物检测》提供的灭菌方式, 将来自品牌 1 的 5 种不同亲水性材质微孔滤膜, 分别经以下方式灭菌: A: 160℃, 2 h 干热灭菌; B: 121℃, 15 min 湿热灭菌; C: 膜浸泡水中, 121℃, 15 min 湿热灭菌; D: 预包装无菌滤膜(辐照灭菌), 比较滤膜的外观特征、过滤速率变化。

同时, 将铜绿假单胞菌 CICC 21946 人工污染水样经上述不同灭菌方式处理的滤膜过滤后, 置于 CN 琼脂平板上, 36℃培养 48 h, 观察培养后膜上菌落特征, 并统计阳性菌回收率。

1.3.4 不同品牌的 MCE 材质滤膜对铜绿假单胞菌生长特性的影响

将铜绿假单胞菌 CICC 21946 人工污染水样分别经来自不同厂家的品牌 1、2、3、4 的 MCE 微孔滤膜过滤后, 置于 CN 琼脂平板上, 36℃培养 48 h, 比较观察不同品牌滤膜培养后膜上菌落特征, 并统计阳性菌回收率。

1.4 数据处理

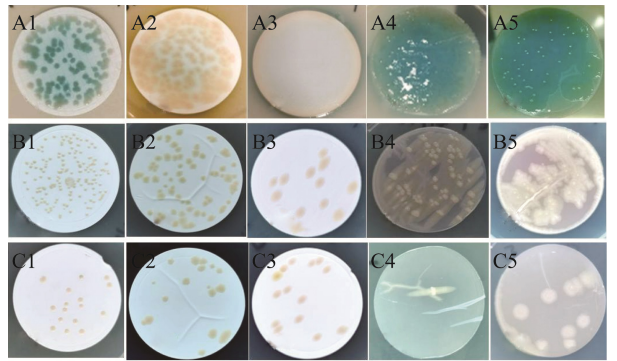
每个实验重复 4 次, 回收率结果以“平均值±标准偏差”表示。数据统计分析采用 Microsoft Excel 2010 处理。

2 结果与分析

2.1 不同材质滤膜对铜绿假单胞菌生长特性影响

菌落颜色、菌落大小和形状等都是影响铜绿假单胞

菌鉴别和计数准确性的重要影响因素。研究中采用了不同菌落特征的铜绿假单胞菌标准株对 5 种常见亲水性材质滤膜进行评价。如图 1 和表 1 所示: MCE 滤膜上菌落大小适宜, 菌落呈圆形、光滑、饱满, 便于计数, 3 种阳性菌综合回收率为 91%±8%, 在 5 种材质滤膜中对目标菌的截留效果最好。候玉柱等^[22]采用不同材质的微孔滤膜对细菌截留效果时, MCE 滤膜对细菌截留效果最好, 平均截留率为 92%, 与本研究结果相近。孙娜等^[23]检测的铜绿假单胞菌在滤膜上的回收率仅为 50%~70%, 但并未指出使用滤膜的材质。



注: A1~A5、B1~B5、C1~C5 分别为铜绿假单胞菌 ATCC 9027、CICC 21946、CMCC 10104 依次在 MCE、NL、PES、PTFE 和 PC 滤膜上菌落特征。

图 1 铜绿假单胞菌在不同材质微孔滤膜上的菌落特征
Fig.1 Colony characteristics of *Pseudomonas aeruginosa* on microporous filter membranes of different materials

表 1 铜绿假单胞菌在不同材质微孔滤膜上的菌落特征和回收率比较						
Table 1 Comparison of colony characteristics and recovery rates of <i>Pseudomonas aeruginosa</i> on microporous filter membranes of different materials						
滤膜材质	菌株	阳性菌菌落特征			回收率/%	综合回收率/%
		颜色	大小	形状		
MCE	ATCC 9027	蓝绿色、边缘部分灰绿	+	圆形、光滑、饱满	93±7	91±8
	CICC 21946	黄灰绿色	+	圆形、光滑、饱满	94±9	
	CMCC 10104	黄灰色	+	圆形、光滑、饱满	85±6	
NL	ATCC 9027	黄绿色、边缘棕黄	++	不规则圆	85±6	85±11
	CICC 21946	黄绿色、边缘少数黄灰	+	不规则圆	93±10	
	CMCC 10104	黄灰色	++	不规则圆	77±11	
PES	ATCC 9027	菌膜覆盖、反面蓝绿色	/	/	/	88±11
	CICC 21946	黄灰色	++	椭圆或梭形, 扁平	92±15	
	CMCC 10104	黄灰色	++	椭圆或梭形, 扁平	83±5	
PTFE	ATCC 9027	中心蓝绿、边缘绿色	/	不规则圆, 黏液状融合	/	59±12
	CICC 21946	浅黄灰色	+++	长梭形	61±12	
	CMCC 10104	浅黄灰色	+++	长梭形	57±13	
PC	ATCC 9027	深蓝	+++	不规则圆、融合	/	34±7
	CICC 21946	浅黄灰色	+++	不规则圆、扁平	35±5	
	CMCC 10104	浅黄灰色	+++	圆形、扁平	33±9	

注: +为多数菌落直径约 1~2 mm, 大小适宜; ++为多数菌落直径约 2~3 mm, 菌落较大; +++为多数菌落直径 > 3 mm, 菌落大, 易融合。/ 表示未实验, 下同。

虽然 NL 和 PES 材质滤膜对铜绿假单胞菌的平均回收率都在 85%以上,但同一菌株在同等培养时间下,菌落整体较 MCE 滤膜上的菌落偏大,且形状呈不规则圆或扁平梭状。当菌数较多时,菌落容易融合,影响计数。这可能是导致其对阳性菌的平均回收率略低于 MCE 滤膜,且不同阳性菌或不同计数范围的回收率波动较大的主要原因。刘玉娥等^[19]比较了 MCE 和 PES 滤膜的对大肠埃希氏菌和金黄色葡萄球菌的截留效果,两者截留效果较好,但未提及对菌落特征的影响。

目前,一些文献报道提出了滤膜的适宜计数范围,但更多关注菌浓度的影响^[23-24]。PTFE 和 PC 材质滤膜则不适合铜绿假单胞菌计数,菌落较大。即使在菌数较少的情况下,也容易融合,回收率仅为 30%~60%,计数准确性不佳。不同来源的阳性菌标准株在同种材质滤膜上的形状、大小等特征存在较大差异;不同材质滤膜上同一菌株的菌落颜色也有差异,例如菌株 ATCC 9027 在 NL 膜上呈黄绿或棕黄色,其他滤膜上则呈明显的蓝绿色。因此,滤膜的不同材质可能造成确证实验时需选用的生化实验的差异,尤其当培养的铜绿假单胞菌产绿脓菌素能力不强时。这可能与不同材质的滤膜的微孔形状有关,影响了菌株在膜上的附着和对营养成分的利用^[25-27]。

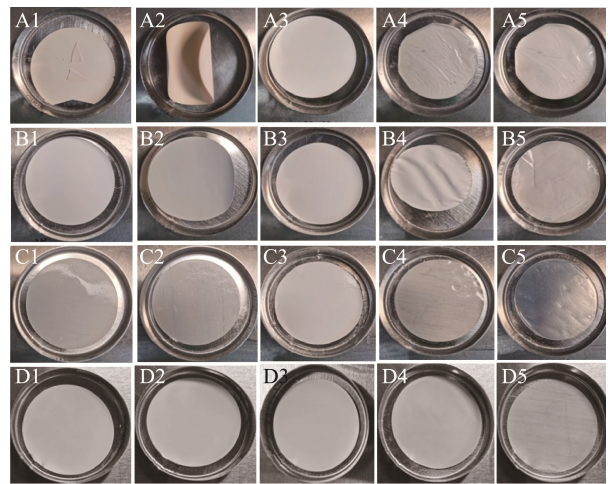
2.2 不同灭菌方式对滤膜性能影响

预包装的无菌滤膜往往成本相对较高,因此当微孔滤膜应用于微生物检验时,涉及到灭菌前处理等问题^[12,28]。为了研究适宜的灭菌参数应用于滤膜前处理和质量控制,分析了常见的干热和湿热等灭菌方式对不同材质的滤膜性能的影响。

如图 2 和表 2 所示:除了 PES 滤膜经干热灭菌后无明显外观变化外,其他 4 种滤膜的色泽、脆性或形状等均出现不同程度变化,影响滤膜的使用。当采用灭菌方式 B 时,NL、PTFE 和 PC 材质滤膜出现不同程度的卷曲、皱缩等变形问题。当采用灭菌方式 C 时,滤膜漂洗后浸泡在水中

湿热灭菌则够降低 NL、PTFE 和 PC 材质滤膜变形等问题,滤膜感官特征与灭菌前相比无显著变化。刘珂等^[29]研究了清洗对滤膜性能的影响,认为对滤膜的清洗能够提升滤膜的亲水性能和纯水通量。这可能与清水漂洗能够去除滤膜残留的杂质,减小空隙堵塞,利用微生物生长^[30]。因此通过浸润、浸泡或漂洗等方式处理滤膜,有利于滤膜用于微生物检验。

在不影响外观变化的情况下,同一材质不同灭菌处理后滤膜的过滤速率无明显差异,其中 MCE 和 PTFE 滤膜过滤较快,PES 和 PC 滤膜的过滤速率次之,NL 滤膜过滤最慢,过滤时间显著高于其他材质的滤膜,过滤时间增加了 2~3 倍。另外,灭菌方式对滤膜上菌落特征的影响无明显差异(具体描述见表 1)。从阳性标准菌株回收率来看,同一材质滤膜经不同适宜灭菌处理后回收率接近。



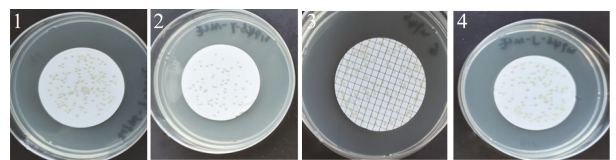
注: A1~A5、B1~B5、C1~C5、D1~D5 分别为灭菌方式 A、B、C、D 处理后依次为 MCE、NL、PES、PTFE 和 PC 微孔滤膜。
图2 不同灭菌方式对不同材质微孔滤膜外观特征影响
Fig.2 Influences of different sterilization methods on the appearance characteristics of microporous filter membranes of different materials

表 2 不同灭菌方式对不同材质微孔滤膜性能参数影响
Table 2 Effects of different sterilization methods on performance parameters of microporous filter membranes with different materials

滤膜 材质	外观特征				过滤速率/(s/250 mL)				回收率/%			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
MCE	平整、棕黄、易碎	平整、白色	平整、白色	平整、白色	/	25.0±0.7	24.4±0.5	24.4±0.5	/	92±11	91±9	94±9
NL	平整、棕黄	边缘卷曲、白色	平整、白色	平整、白色	/	70.6±1.1	70.0±1.4	70.4±1.1	/	90±11	94±11	93±10
PES	边缘卷曲、白色	平整、白色	平整、白色	平整、白色	29.4±0.5	29.6±0.5	29.2±0.8	28.8±0.8	86±12	97±16	86±8	92±15
PTFE	皱缩变形	皱缩变形	边缘皱缩	平整、白色	/	/	21.0±0.7	20.4±0.5	/	/	/	61±12
PC	皱缩变形	边缘皱缩	平整、白色	平整、白色	/	/	31.0±0.7	30.4±0.5	/	/	43±6	35±5

2.3 不同品牌的 MCE 滤膜对铜绿假单胞菌生长特性影响

实际检验过程中, 往往会使用到来自不同品牌或不同质量水平的滤膜, 为了进一步上述评价结果的适用性, 有必要对来源不同品牌的同种滤膜质量进行评价分析。MCE 滤膜上培养的铜绿假单胞菌的菌落特征适宜观察, 且具有较高的回收率。该滤膜较其他 4 种材质的滤膜更适用于铜绿假单胞菌的检验。为了进一步考察该滤膜的适用性, 研究中比较了 4 个不同品牌的 MCE 滤膜对铜绿假单胞菌 CICC 21946 的培养效果。如图 3 和表 3 所示: 品牌 2 的 MCE 滤膜上目标菌呈浅绿色, 其他品牌的滤膜上的菌落呈黄灰绿色, 略有差异。不同品牌 MCE 滤膜菌落大小、形状差异不大, 回收率也均在 90%以上。由此进一步确证了 MCE 滤膜对铜绿假单胞菌的检验的适宜性。



注: 1~4 依次为品牌 1、2、3、4 的 MCE 微孔滤膜。
图 3 铜绿假单胞菌在不同品牌的 MCE 微孔滤膜上的菌落特征
Fig.3 Colony characteristics of *Pseudomonas aeruginosa* on MCE microporous membranes of different brands

表 3 铜绿假单胞菌在不同品牌的 MCE 微孔滤膜上的菌落特征和回收率比较

Table 3 Comparison of colony characteristics and recovery rates of <i>Pseudomonas aeruginosa</i> on different brands of MCE microporous filtration membranes					
滤膜材质	滤膜品牌	阳性菌菌落特征			回收率/%
		颜色	大小	形状	
MCE	1	黄灰绿色	+	圆形、光滑、饱满	94±9
	2	浅绿色	+	圆形、光滑、饱满	92±12
	3	黄灰绿色	+	圆形、光滑、饱满	96±11
	4	黄灰绿色	+	圆形、光滑、饱满	95±13

注: +为多数菌落直径约 1~2 mm, 大小适宜。

3 结 论

滤膜是膜过滤法检测微生物的关键耗材。5 种材质亲水性滤膜均适合漂洗后浸泡在水中湿热灭菌。滤膜材质对铜绿假单胞菌的菌落的颜色、大小、形状以及回收率均具有重要影响, 其中 MCE 滤膜最适合铜绿假单胞菌检验, 其次为 PES 和 NL 材质滤膜。当铜绿假单胞菌检验前, 有必要对采购的亲水性滤膜的灭菌前处理、过滤速率、目标菌菌落的颜色、大小、形状以及回收率进行针对性、评价性验收处理, 建议结合检测的铜绿假单胞菌菌株特点、检验成本和时间等需求, 对上述质量评价关键点进行综合评价,

以满足实验需求和结果的准确可靠。

参考文献

[1] CAPATINA D, FEIER B, HOSU O, *et al.* Analytical methods for the characterization and diagnosis of infection with *Pseudomonas aeruginosa*: A critical review [J]. *Anal Chim Acta*, 2022, 1204: 339696–339728.

[2] 姜庆, 尤部美, 张华, 等. 659 份包装饮用水中铜绿假单胞菌的检测结果分析[J]. *现代食品*, 2022, 28(16): 190–192.

JIANG Q, YOU BM, ZHANG H, *et al.* Analysis of detection results of *Pseudomonas aeruginosa* in 659 packaged-drinking water [J]. *Mod Food*, 2022, 28(16): 190–192

[3] 刘思超, 徐励琴, 罗泽燕, 等. 223 份桶装天然矿泉水和包装饮用水中铜绿假单胞菌的检测结果分析[J]. *预防医学情报杂志*, 2016, 32(10): 1071–1075.

LIU SC, XU LQ, LUO ZY, *et al.* Analysis of detection results of *Pseudomonas aeruginosa* in 223 bottled natural mineral water and packaged drinking water [J]. *J Pre Med Int*, 2016, 32(10): 1071–1075.

[4] 张丽, 汪霞丽, 蒋昊, 等. 湖南省包装饮用水铜绿假单胞菌风险防控[J]. *食品安全导刊*, 2024, (4): 34–36.

ZHANG L, WANG XL, JIANG H, *et al.* Risk prevention and control of *Pseudomonas aeruginosa* in packaged drinking water in Hunan Province [J]. *Chin Food Saf Magaz*, 2024, (4): 34–36.

[5] POURFADAKARI S, DOBARADARAN S, DE-LA-TORRE G, *et al.* Evaluation of occurrence of organic, inorganic, and microbial contaminants in bottled drinking water and comparison with international guidelines: A worldwide review [J]. *Environ Sci Pollut R*, 2022, 29(37): 55400–55414.

[6] MORIN-CRINI N, LICHTFOUSE E, LIU GR, *et al.* Worldwide cases of water pollution by emerging contaminants: A review [J]. *Environ Chem Lett*, 2022, 20: 2311–2338.

[7] 吴妍, 张晓, 张良, 等. 水源性致病微生物检测中水样前处理方法研究进展[J]. *净水技术*, 2023, 42(11): 8–17.

WU Y, ZHANG X, ZHANG L, *et al.* Research progress on pre-treatment methods for detecting pathogenic microorganisms in water sources [J]. *Water Purif Technol*, 2023, 42(11): 8–17

[8] 周锦祯, 刘婷婷, 陈鉴宇, 等. 可过滤液体饮料中微生物学检验滤膜法和平板计数法的等效性比较分析[J]. *现代食品科技*, 2018, 34(8): 207–212.

ZHOU JZ, LIU TT, CHEN JY, *et al.* Comparative analysis of equivalence between microbiological testing membrane method and plate counting method in filterable liquid beverages [J]. *Mod Food Technol*, 2018, 34(8): 207–212.

[9] WATKINS J, SARTORY DP. Evaluation of a membrane filtration method for the rapid enumeration of confirmed *Clostridium perfringens* from water [J]. *Lett Appl Microbiol*, 2015, 60(4): 367–71.

[10] 姬俊, 牛萌萌, 朱世真, 等. 过滤速率对阿奇霉素干混悬剂微生物限度检查方法的影响[J]. *中国药业*, 2023, 32(10): 85–89.

JI J, NIU MM, ZHU SZ, *et al.* The effect of filtration rate on the microbial limit test method of azithromycin dry suspension [J]. *China Pharm*, 2023, 32(10): 85–89.

[11] 舒高林. 微生物检测技术在生活饮用水检验中的应用研究[J]. *现代食品*, 2023, 29(20): 97–99.

SHU GL. Application of microbial detection technology in the inspection of drinking water [J]. *Mod Food*, 2023, 29(20): 97–99.

- [12] 章志超, 吴鑫, 于帆, 等. 我国包装饮用水中铜绿假单胞菌检验方法标准问题及其质量控制探讨[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(10): 4257–4262.
- ZHANG ZC, WU X, YU F, *et al.* Analysis on the standards of inspection methods for *Pseudomonas aeruginosa* in packaging drinking water in China and discussion on its quality control [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(10): 4257–4262.
- [13] PARVEEN S, MALVIYA A. Analytical review on membrane water filter using different materials to prevent microbial activities [J]. J Pure Appl Microb, 2022, 16(4): 2352–2362.
- [14] NGWA GA, SCHOP R, CHOW J, *et al.* Comparative detection and recovery of *Pseudomonas aeruginosa* by membrane filtration and a most probable number technique [J]. J Microbiol Meth, 2016, 133: 76–81.
- [15] PILLAI SA, CHOBISA D, URIMI D, *et al.* Filters and filtration: A review of mechanisms that impact cost, product quality and patient safety [J]. J Pharm Sci Res, 2016, 8(5): 271.
- [16] 王文娟, 陈文青, 章明, 等. 包装饮用水中铜绿假单胞菌检测关键技术分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2022, 32(14): 1790–1792.
- WANG WJ, CHEN WQ, ZHANG M, *et al.* Analysis of key technologies for detecting *Pseudomonas aeruginosa* in packaged drinking water [J]. Chin J Health Insp, 2022, 32(14): 1790–1792.
- [17] 王梓冰, 甘春莉, 浦益琼, 等. 微孔滤膜对 3 种常用中药指标成分 HPLC 测定结果的影响[J]. 中草药, 2022, 53(1): 71–77.
- WANG ZB, GAN CL, PU YQ, *et al.* The influence of microporous filter membrane on the HPLC determination results of three commonly used traditional Chinese medicine indicator components [J]. Chin Herbal Med, 2022, 53(1): 71–77.
- [18] 李堪, 胡庆坤, 施月森, 等. 不同材质滤膜对污水中甲基苯丙胺等 21 种毒品及代谢物的吸附影响研究[J]. 广东公安科技, 2022, 30(4): 34–38.
- LI K, HU QK, SHI YS, *et al.* Study on the adsorption effect of different material filter membranes on 21 drugs and metabolites such as methamphetamine in wastewater [J]. Guangdong Pub Sec Technol, 2022, 30(4): 34–38.
- [19] 刘玉娥, 高桂华, 陶墨奎, 等. 不同微孔滤膜对微菌落检测细菌总数的影响[J]. 现代预防医学, 2007, (2): 347–348.
- LIU YE, GAO GH, TAO MK, *et al.* The effect of different microporous filter membranes on the total number of bacteria in microbial colony detection [J]. Mod Pre Med, 2007, (2): 347–348.
- [20] 陈虹吉, 陈亦欣, 叶兴乾, 等. 微滤膜材质对杨梅汁理化品质及抗氧化活性的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(2): 152–160.
- CHEN HJ, CHEN YX, YE XQ, *et al.* The effect of microfiltration membrane material on the physicochemical quality and antioxidant activity of bayberry juice [J]. Chin J Food Sci, 2021, 21(2): 152–160.
- [21] RICHARD H, KEVIN O, MANO S, *et al.* Large-scale comparison of *E.coli* levels determined by culture and a qPCR method (EPA draft method C) in Michigan towards the implementation of rapid, multi-site beach testing [J]. J Microbiol Meth, 2021, 184(18): 106186.
- [22] 侯玉柱, 田雨, 柯润辉, 等. ATP 荧光微生物快检法中不同材质及孔径微孔滤膜细菌截留效果的评价[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(3): 215–218.
- HOU YZ, TIAN Y, KE RH, *et al.* Evaluation of bacterial retention efficiency of microporous filter membranes with different materials and pore sizes in ATP fluorescence microbial rapid detection method [J]. Food Ferm Ind, 2015, 41(3): 215–218.
- [23] 孙娜, 刘海洲, 张捷, 等. 滤膜法与国标法用于微生物检测的比较研究[J]. 化学与生物工程, 2008, (8): 70–72.
- SUN N, LIU HZ, ZHANG J, *et al.* A comparative study of membrane filtration method and national standard method for microbial detection [J]. Chem Bio Eng, 2008, (8): 70–72.
- [24] 李新红, 李忠. 微生物检验过程中微滤膜分离技术的应用价值[J]. 中国卫生标准管理, 2024, 15(2): 92–95.
- LI XH, LI Z. The application value of microfiltration membrane separation technology in microbial testing process [J]. China Health Stand Manag, 2024, 15(2): 92–95.
- [25] 杨晓夏, 赵芳, 马淑棉, 等. 水中产气荚膜梭菌在不同过滤培养基体系中的表型特征的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(9): 2998–3002.
- YANG XX, ZHAO F, MA SM, *et al.* A study on the phenotypic characteristics of clostridium perfringens in different filtration culture systems in water [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(9): 2998–3002.
- [26] BRENNER KP, RANKIN CC. New screening test to determine the acceptability of 0.45-micron membrane filters for analysis of water [J]. Appl Environ Microb, 1990, 56(1): 54.
- [27] 肖媛, 周芳, 李婷婷, 等. 混合纤维素微孔滤膜用于液体藻类的冷冻扫描电镜样品制备[J]. 电子显微学报, 2017, 36(1): 71–75.
- XIAO Y, ZHOU F, LI TT, *et al.* Preparation of frozen scanning electron microscopy samples for liquid algae using mixed cellulose microporous filter membranes [J]. J Electron Microsc, 2017, 36(1): 71–75.
- [28] 曾志明, 沈中锋, 潘波, 等. 不同消毒预处理对包装饮用水薄膜过滤检测结果的影响[J]. 饮料工业, 2020, 23(2): 32–35.
- ZENG ZM, SHEN ZF, PAN B, *et al.* The effect of different disinfection pre-treatments on the membrane filtration detection results of packaged drinking water [J]. Bever Ind, 2020, 23(2): 32–35.
- [29] 刘珂, 徐达梁, 丁怀宇. 化学清洗对不同材质超滤膜的效能与膜污染的影响[J]. 供水技术, 2020, 14(1): 27–30.
- LIU K, XU DL, DING HY. The effect of chemical cleaning on the efficiency and membrane fouling of ultrafiltration membranes made of different materials [J]. Water Suppl Technol, 2020, 14(1): 27–30.
- [30] SCHIJVEN JF, DROST YC, CASTELIJNS H, *et al.* Quality control of membrane filters for bacteriological examination of water [J]. J Appl Microbiol, 2010, 79(3): 308–313.

(责任编辑: 蔡世佳 韩晓红)

作者简介



章志超, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。
E-mail: zhgio2008@126.com