

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250317001

引用格式: 肖剑峰, 袁凤君. 2022—2024年湖南省包装饮用水铜绿假单胞菌污染特征分析与防控策略研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(14): 315–320.

XIAO JF, YUAN FJ. Analysis of pollution characteristics and prevention and control strategies of *Pseudomonas aeruginosa* in packaged drinking water in Hunan Province from 2022 to 2024 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(14): 315–320. (in Chinese with English abstract).

2022—2024年湖南省包装饮用水铜绿假单胞菌污染特征分析与防控策略研究

肖剑峰, 袁凤君*

(湖南省产商品评审中心, 长沙 410004)

摘要: **目的** 探究包装饮用水中铜绿假单胞菌的污染特征。**方法** 对2022—2024年度湖南省监督抽检中, 省内市售、本省企业生产的包装饮用水检出铜绿假单胞菌的情况进行分析。**结果** 3年铜绿假单胞菌检出率为8.15%, 2024年因监管强化显著下降至5.74%; 其他饮用水(9.44%)与压盖包装(8.65%)风险最高; 夏秋季(3季度11.34%)及常德、湘西等地区(大于15%)为污染高发区。**结论** 重点加强水源细菌保护膜防控、季节性工艺优化及高风险区域监管, 可以有效减少铜绿假单胞菌的污染, 从而提高包装饮用水产品的抽检合格率。研究结果为湖南省包装饮用水质量安全提供了关键数据支撑, 所揭示的“气候-工艺-管理”多重风险叠加机制, 对南方湿热地区食品微生物防控具有实践指导意义。

关键词: 铜绿假单胞菌; 包装饮用水; 污染特征; 防控策略

Analysis of pollution characteristics and prevention and control strategies of *Pseudomonas aeruginosa* in packaged drinking water in Hunan Province from 2022 to 2024

XIAO Jian-Feng, YUAN Feng-Jun*

(Hunan Provincial Commodity Evaluation Center, Changsha 410004, China)

ABSTRACT: Objective To explore the pollution characteristics of *Pseudomonas aeruginosa* in packaged drinking water. **Methods** The detection of *Pseudomonas aeruginosa* in packaged drinking water sold in the province and produced by local enterprises during the supervision and sampling of Hunan Province from 2022 to 2024 was analyzed. **Results** The detection rate of *Pseudomonas aeruginosa* in 3 years was 8.15%, which significantly decreased to 5.74% in 2024 due to strengthened supervision. Other drinking water (9.44%) and sealed packaging (8.65%) had the highest risk. Summer and autumn (11.34% in the third quarter) and areas such as Changde and Xiangxi (over 15%) were high-risk areas for pollution. **Conclusion** Focusing on strengthening the prevention and

收稿日期: 2025-03-17

第一作者: 肖剑峰(1978—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全风险防控、食品生产许可与监督检查、食品标准管理。E-mail: 51094367@qq.com

*通信作者: 袁凤君(1985—), 女, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全抽样检验、实验室管理。E-mail: 723943331@qq.com

control of bacterial protective films in water sources, optimizing seasonal processes and regulating high-risk areas can effectively reduce the pollution of *Pseudomonas aeruginosa*, thereby improving the sampling pass rate of packaged drinking water products. The research results provide key data support for the quality and safety of packaged drinking water in Hunan Province. The multiple risk superposition mechanism of “climate process management” revealed has practical guidance significance for the prevention and control of food microorganisms in humid and hot regions of Southern China.

KEY WORDS: *Pseudomonas aeruginosa*; packaged drinking water; pollution characteristics; prevention and control strategies

0 引言

包装饮用水是指采用符合 GB 19298—2014《食品安全国家标准 包装饮用水》规定的密封容器,可直接饮用的水。包装饮用水包括饮用天然矿泉水、饮用纯净水、饮用天然泉水及其他类型饮用水。自 2015 年国家标准首次将铜绿假单胞菌(*Pseudomonas aeruginosa*)纳入微生物限量标准以来,该菌已成为包装饮用水食品安全的核心风险因子^[1]。铜绿假单胞菌属于革兰氏阴性嗜湿性条件致病菌,其独特的 3 阶段代谢系统(可溶性分泌-细菌保护膜形成-群体感应)使其在缺氧环境中仍能存活 28 d 以上^[2-3]。该菌对季铵盐类消毒剂抗性显著(耐受质量浓度可达 200~500 mg/L)^[4],且紫外线灭活效率仅为大肠菌群的 1/3^[5]。近年来多项研究证实,铜绿假单胞菌可通过外膜囊泡释放弹性蛋白酶 LasB,破坏宿主上皮细胞紧密连接,进而引发腹泻与局部组织感染等^[6-8]。近几年国内已有因铜绿假单胞菌污染饮用水导致中毒事件发生的相关报道^[9-11]。湖南省 2022—2024 年包装饮用水铜绿假单胞菌检出率分别为 8.43%、9.44%、5.74%,此类污染可能导致婴幼儿、老年患者等易感人群发生肠道及全身感染^[12],亟待从污染源角度提出针对性解决方案。本研究针对湖南省包装饮用水企业普遍存在不清楚铜绿假单胞菌污染来源的技术隐患,整合 2022—2024 年度调查数据系统分析铜绿假单胞菌污染分布特征,为制定食品安全监管方案和靶向抽样提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

2022—2024 年随机抽取湖南省本地区生产和流通环节检测的本省市售包装饮用水共计 5631 批次,检验所有样品均在保质期内。

1.2 仪器与试剂

PJZJ-142 培养箱、PJZJ-057 生物安全柜(上海恒跃医疗器械有限公司)。

氯化钠(湖南汇虹试剂有限公司);CN 琼脂、NA、绿脓菌素测定用培养基、金氏 B 培养基(北京陆桥技术股份有限公司);乙酰胺肉汤(海博生物技术有限公司);氧化酶试纸(环凯微生物科技有限公司)。

1.3 检验方法

采用孔径为 0.45 μm 亲水性微孔滤膜,将 250 mL 水样或稀释后的水样中所含的细菌截留在滤膜上,然后将滤膜移至 CN 琼脂培养基上,平板倒置,36 $^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ 培养 20~48 h。培养后观察滤膜上菌落的情况并计数可疑菌落。如有蓝色或绿色菌落,紫外灯照射下,发荧光、非蓝色且非绿色菌落,不发荧光、红褐色菌落,挑取 10 个不同形态的可疑菌落(不足 10 个则全部挑取),划线接种于营养琼脂纯化,于 36 $^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ 培养 20~24 h。绿脓菌素试验:菌落在 CN 琼脂上产绿脓菌素并呈蓝色或绿色分别接种在绿脓菌素测定培养基上,36 $^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ 培养 24 h \pm 2 h,加入三氯甲烷 3~5 mL,捣碎培养基并充分振荡,待三氯甲烷提取液呈蓝色时,用吸管将三氯甲烷移到另一试管中,并加入 1 mol/L 的盐酸 1 mL,振荡后,静置片刻。如上层盐酸液内出现粉红色到紫红色时为阳性;产氨试验:在 CN 琼脂上发荧光、非蓝色且非绿色菌落,或不发荧光、红褐色菌落纯培养物接种到乙酰胺液体培养基中,在 36 $^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ 下培养 20~24 h。然后向每支试管培养物加入 1~2 滴钠氏试剂,10 s 内检查各试管的颜色变化,如表现出从黄色到砖红色的颜色变化,则为阳性结果;42 $^{\circ}\text{C}$ 生长试验:在 CN 琼脂上发荧光、非蓝色且非绿色菌落的纯培养物接种营养琼脂平板上,42 $^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ 培养 24~48 h,能生长的为阳性;氧化酶试验:取 2~3 滴新鲜配制的氧化酶试剂滴到放于平皿里的洁净滤纸上。用铂/铈、玻璃或其他适宜材质的接种环(棒),将适量的在 CN 琼脂上不发荧光、红褐色菌落的纯培养物涂布在预备好的滤纸上。在 10 s 内显深蓝紫色的视为阳性;金氏 B 培养基产荧光试验:在 CN 琼脂上不发荧光、红褐色且氧化酶反应呈阳性的培养物接种于金氏 B 培养基上,于 36 $^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ 恒温箱培养 1~5 d。每天需取出在紫外灯下检查其是否产生荧光,将 5 d 内产生荧光的菌落记录为阳性。反应试验均为阳性可确证为铜绿假单胞菌,报告每 250 mL 水

样中铜绿假单胞菌数。

1.4 检验依据

GB 8538—2016《食品安全国家标准 饮用天然矿泉水检验方法》。

1.5 数据处理

运用 SPSS 26.0 软件对数据进行统计分析, 采用 χ^2 检验, 检验水准为 $\alpha=0.05$, 以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 2022—2024 年湖南省监督抽检及风险监控包装饮用水铜绿假单胞菌检出情况分析

检测结果显示(表 1), 本省市售、本省生产包装饮用水样品 5631 份, 其中检出铜绿假单胞菌的水样 459 份, 总检出率 8.15%, 2024 年检出率 5.74%较前两年明显下降。卡方检验显示 2022 年至 2024 年不同年份包装饮用水的检出率差异具有统计学意义($\chi^2=16.035$, $P<0.001$)。

这一趋势与湖南省市场监督管理局连续两年开展包装饮用水生产企业双随机监督检查密切相关, 企业加强现场管理直接降低了 2024 年度铜绿假单胞菌的污染率。这一结果与广东省类似研究^[13]监管干预后微生物污染下降的趋势一致, 同时也印证了国家市场监督管理总局出台《企业落实食品安全主体责任监督管理办法》^[14]后, 属地监管部门抓住企业关键少数, 压实企业主体责任对食品安全的积极作用。

表 1 2022—2024 年度湖南省监督抽检及风险监控包装饮用水铜绿假单胞菌检出情况(按抽样年份分析)

年份	样品总数/批	检出数/批	检出率/%
2022	2016	170	8.43
2023	2204	208	9.44
2024	1411	81	5.74
总计	5631	459	8.15

2.2 不同类型市售包装饮用水铜绿假单胞菌检出情况分析

检测结果显示(表 2), 其他饮用水铜绿假单胞菌检出率最高(9.44%), 对 3 种类型的检出率进行统计学分析, 经卡方检验, 检出率差异具有统计学意义($\chi^2=22.675$, $P<0.001$)。

这一现象源于水源水与水处理工艺的差异, 纯净水多采用反渗透技术, 能有效截留微生物; 而其他饮用水的

水处理工艺多为“石英砂+活性炭+臭氧消毒”组合工艺, 在高温高湿环境下很容易因为臭氧衰减导致杀菌不彻底。尤其值得注意的是, 矿泉水的水源地防护不足可能引入环境微生物污染, 而部分企业为了保留矿物质未采用深度过滤工艺, 增加了后期污染风险, 与其他省份对铜绿假单胞菌污染包装饮用水污染研究^[15-17]的结论一致。

表 2 2022—2024 年度湖南省监督抽检及风险监控包装饮用水铜绿假单胞菌检出情况(按样品类型分析)

样品类型	样品总数/批	检出数/批	检出率/%
饮用纯净水	1628	89	5.47
饮用天然矿泉水	111	8	7.21
其他饮用水	3892	362	9.31
合计	5631	459	8.15

2.3 不同季节生产的包装饮用水中铜绿假单胞菌检出情况分析

不同季节生产的包装饮用水中铜绿假单胞菌检出情况如表 3 所示, 三、四季度生产的包装饮用水检出率较高, 为三季度 11.34%、四季度 10.33%, 明显高于一季度 2.31%、二季度 4.56%。对 4 个季度的铜绿假单胞菌检出率进行比较, 经卡方检验, 检出率差异具有统计学意义($\chi^2=97.037$, $P<0.001$)。

湖南省夏秋季(6—9 月)平均温度 28 °C、湿度 85%的湿热气候, 为铜绿假单胞菌的生物膜形成提供了理想条件。与李毅等^[18]研究夏季铜绿假单胞菌检出率最高, 春季、秋季次之, 冬季最少一致。与郝娟等^[19]和许晓云等^[20]在市面上随机取样的研究结论一致。同时旺季生产量激增可能导致企业缩短管道消毒周期、储水罐清洗不彻底等违规操作。这与马金灿等^[21]桶装饮用水中铜绿假单胞菌污染控制措施研究中发现的“产能-质量”矛盾现象高度吻合。这一发现提示现有卫生控制体系在应对生产负荷波动时存在明显脆弱性。

表 3 2022—2024 年度湖南省监督抽检及风险监控包装饮用水铜绿假单胞菌检出情况(按样品生产日期分析)

生产时间	样品总数/批	检出数/批	检出率/%
一季度	822	19	2.31
二季度	1337	61	4.56
三季度	2029	230	11.34
四季度	1443	149	10.33
合计	5631	459	8.15

2.4 不同生产地区生产的包装饮用水中铜绿假单胞菌检出情况分析

湖南省 14 个行政区域生产的包装饮用水均有检出铜绿假单胞菌, 检出率高于平均值 8.15% 的地区有 9 个, 省会城市长沙市检出率最低为 1.68%。将不同产地的检出率进行统计学分析, 经卡方检验, 检出率差异具有统计学意义 ($\chi^2=178.300, P<0.001$)。

湘西(16.36%)、常德(15.52%)等非省会地区风险突出, 分析原因主要有两个原因: (1)在相同抽检批次水平时, 存在地理暴露差异, 这些地区多为喀斯特地貌, 地下水易受地表渗透污染; (2)相同的污染水平下监管资源配置不均有关。如长沙作为省会拥有全省 50% 的快速检测设备, 而湘西州乡镇级监管所专业技术人员缺口达 40%。这种区域不平衡与《全要素生产率产业差异对城乡收入差距的影响》^[22]《工业智能化对中国城乡收入差距影响的研究》^[23]揭示的“城乡-区域双维度差异”特征相符。(具体数据见表 4)。

2.5 不同抽样环节的包装饮用水铜绿假单胞菌检出情况分析

样品采样地点为生产企业、流通单位和餐饮单位, 统计数据见表 5, 流通环节包装饮用铜绿假单胞菌最高为 8.79%; 餐饮单位检出率最低为 2.04%。将生产单位与经营单位(流通单位加餐饮单位)的检出率进行统计学分析, 经卡方检验, 检出率差异不具有统计学意义, 但由于餐饮单位调查样本量较小, 后续需进一步补充调查数据, 扩大样本量。

表 4 2022—2024 年度湖南省监督抽检及风险监控包装饮用水铜绿假单胞菌检出情况(按标识生产地分析)

样品来源	样品总数/批	检出数/批	检出率/%
常德	277	43	15.52
郴州	220	28	12.73
衡阳	468	32	6.84
怀化	560	50	8.93
娄底	414	19	4.59
邵阳	408	52	12.75
湘潭	203	14	6.90
湘西	214	35	16.36
益阳	255	12	4.71
永州	532	46	8.65
岳阳	331	46	13.90
张家界	218	26	11.93
长沙	1312	22	1.68
株洲	219	34	15.53
合计	5631	459	8.15

表 5 2022—2024 年度湖南省监督抽检及风险监控包装饮用水铜绿假单胞菌检出情况(按抽样地点分析)

样品来源	样品总数/批	检出数/批	检出率/%
餐饮单位	49	1	2.04
流通环节	2162	190	8.79
生产企业	3420	268	7.84
总计	5631	459	8.15

2.6 不同封盖类型包装饮用水铜绿假单胞菌检出情况分析

湖南省内市售的包装饮用水, 封盖主要有二种类型, 一种为旋盖包装、一种为压盖包装。将不同包装类别的产品检出率进行统计学分析, 经卡方检验, 检出率差异性有统计学意义 ($\chi^2=25.152, P<0.001$)。压盖包装(8.65%)风险最高, 具体见表 6。

压盖包装风险为旋盖包装风险的 5.7 倍, 提示包装饮用水在运输振动中易产生渗漏, 形成微生物入侵的通道, 铜绿假单胞菌(宽 0.5~1.0 μm)^[24]侵入。流通环节检出率(8.79%)高于生产环节(7.84%), 虽无统计学显著性($P>0.05$), 但结合封盖数据可推测物流过程中的机械振动、野蛮装卸等加速包装破损, 导致二次污染^[25]。

表 6 2022—2024 年度湖南省监督抽检及风险监控包装饮用水铜绿假单胞菌检出情况(按包装类型分析)

包装类型	样品总数/批	检出数/批	检出率/%
旋盖装	397	6	1.51
压盖装	5234	453	8.65
合计	5631	459	8.15

3 结论与讨论

本研究系统分析了 2022—2024 年度湖南省包装饮用水中铜绿假单胞菌的污染特性, 揭示了不同年份、类型、季节、生产地区、抽样环节、封盖类型对检出率的显著影响, 为包装饮用水铜绿假单胞菌的防控策略提出了科学依据。

3.1 健全生产许可与监管机制

监管部门组织制定规范性文件, 确立各风险环节关键控制点的具体指标, 引导企业严格遵守《饮料生产许可审查细则》^[26]及 GB 19304—2018《食品安全国家标准 包装饮用水生产卫生规范》的要求; 建立分级分类监管制度,

对小微企业实施重点监管, 加大日常监督检查频次; 健全退出机制, 针对不符合生产标准的企业, 依法实施限期整改乃至停产整顿等有力措施。

3.2 加强技术支撑能力建设

建立区域检验资源共享机制, 提供检验检测服务支持, 提升桶装水生产企业尤其是小型生产企业检测能力, 加强技术帮扶与合作^[27]; 根据包装饮用水生产企业的自身实际情况, 制定并完善出厂检验制度, 确保产品质量^[28]。

3.3 完善标准体系

现行 GB 5749—2022《生活饮用水卫生标准》和 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》并未对铜绿假单胞菌设定具体的限量要求, 自然水体中铜绿假单胞菌的数量与气温、有机物浓度及人为污染程度密切相关, 呈现出显著的正相关性^[29], 水源水的卫生状况直接影响后续工艺灭菌效果^[30], 建议修订上述标准。

参考文献

- [1] 李海丽. 2017~2018 年茂名地区包装饮用水污染物监测分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(7): 1861-1864.
LI HL. Analysis of contaminants in packaged drinking water in Maoming area from 2017 to 2018 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(7): 1861-1864.
- [2] 唐金凤, 李莉, 左国营. 铜绿假单胞菌致病机理及中药抗感染的研究现状[J]. 中华中医药刊, 2016, 34(5): 1108-1111.
TANG JF, LI L, ZUO GY. Pathogenesis of *Pseudomonas aeruginosa* and research status of traditional Chinese medicine against infections [J]. Chinese Journal of Antibiotics, 2016, 34(5): 1108-1111
- [3] 于柏峰, 张慧云, 刘冰, 等. 铜绿假单胞菌致病力和致病机理研究进展[J]. 微生物学杂志, 2004, 24(1): 52-53.
YU BF, ZHANG HY, LIU B, et al. Research progress on pathogenicity and pathogenic mechanisms of *Pseudomonas aeruginosa* [J]. Journal of Microbiology, 2004, 24(1): 52-53.
- [4] 常芳瑜. 季铵盐树脂对饮用水中致病菌以及抗生素抗性基因的控制技术原理[D]. 南京: 南京大学, 2018.
CHANG FY. Principle of control technology for pathogenic bacteria and antibiotic resistance genes in drinking water by quaternary ammonium salt resins [D]. Nanjing: Nanjing University, 2018.
- [5] 冯秀娟, 高俊峰, 苏洋, 等. 宁夏桶装饮用水中铜绿假单胞菌污染情况分析及其预防控制措施研究[J]. 现代食品, 2023, 29(5): 182-185.
FENG XJ, GAO JF, SU Y, et al. Analysis of *Pseudomonas aeruginosa* contamination in bottled drinking water in Ningxia and research on prevention and control measures [J]. Modern Food, 2023, 29(5): 182-185
- [6] 李喆元. 包装饮用水企业生产过程中对铜绿假单胞菌的防护控制措施研究[J]. 食品安全导刊, 2020(10): 76-78.
LI ZY. Research on protective and control measures for *Pseudomonas aeruginosa* in the production process of packaged drinking water enterprises [J]. China Food Safety Magazine, 2020(10): 76-78
- [7] 张晓丽. (瓶)桶装饮用水中铜绿假单胞菌污染情况分析[J]. 低碳世界, 2017(22): 18-19.
ZHANG XL. Analysis of *Pseudomonas aeruginosa* contamination in bottled drinking water [J]. Low Carbon World, 2017(22): 18-19
- [8] 蔡宝祥. 家畜传染病学[J]. 4 版, 北京: 中国农业出版社, 2001.
CAI BX. Livestock infectious diseases [M]. 4th ed. Beijing: China Agriculture Press, 2001.
- [9] 黄淑华, 陈磊, 张春艳, 等. 从市售桶装饮用水中同时检出铜绿假单胞菌和成团泛菌[J]. 中外医疗, 2014(5): 182-183.
HUANG SH, CHEN L, ZHANG CY, et al. Simultaneous detection of *Pseudomonas aeruginosa* and *Pantoea agglomerans* in commercially available bottled drinking water [J]. China Foreign Medical Treatment, 2014(5): 182-183.
- [10] 陈松, 李红, 李德华, 等. 桶装饮用水铜绿假单胞菌污染情况分析[J]. 现代预防医学, 2015(6): 1129-1130.
CHEN S, LI H, LI DH, et al. Analysis of *Pseudomonas aeruginosa* contamination in bottled drinking water [J]. Modern Preventive Medicine, 2015(6): 1129-1130.
- [11] 王艳梅, 唐震, 乔昕, 等. 江苏省桶装饮用水铜绿假单胞菌污染情况调查[J]. 中国卫生检验杂志, 2015(12): 2019-2020.
WANG YM, TANG Z, QIAO X, et al. Investigation on *Pseudomonas aeruginosa* contamination in bottled drinking water in Jiangsu Province [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2015(12): 2019-2020.
- [12] 沈瑛, 杨正林, 岳凤. 食物中毒标本中检出铜绿假单胞菌[J]. 浙江预防医学, 2010(3): 45-46.
SHEN Y, YANG ZL, YUE F. Detection of *Pseudomonas aeruginosa* in food poisoning specimens [J]. Zhejiang Preventive Medicine, 2010(3): 45-46.
- [13] 张琼丹, 田国梁, 崔碧玲, 等. 2018—2021 年东莞市包装饮用水中铜绿假单胞菌污染状况分析[J]. 中国口岸科学技术, 2022, 4(11): 54-58.
ZHANG QD, TIAN GL, CUI BL, et al. Analysis of *Pseudomonas aeruginosa* contamination in packaged drinking water in Dongguan City from 2018 to 2021 [J]. China Port Science and Technology, 2022, 4(11): 54-58.
- [14] 《企业落实食品安全主体责任监督管理规定》[Z]. 2022-09-22
Administrative provisions on the supervision of enterprises' implementation of primary responsibility for food safety [Z]. 2022-09-22
- [15] 周浩, 张洪伟, 朱文斌, 等. 2015~2018 年成都市包装饮用水中铜绿假单胞菌污染情况分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(24): 6586-6589.
ZHOU H, ZHANG HW, ZHU WB, et al. Analysis of *Pseudomonas aeruginosa* contamination in packaged drinking water in Chengdu City from 2015 to 2018 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2018, 9(24): 6586-6589.
- [16] 罗绍楠, 陈梅, 刘廷菊, 等. 包装饮用水中铜绿假单胞菌污染情况分析[J]. 现代食品, 2019(13): 152-155.
LUO SN, CHEN M, LIU TJ, et al. Analysis of *Pseudomonas aeruginosa*

- contamination in packaged drinking water [J]. *Modern Food*, 2019(13): 152–155.
- [17] 马群飞. 瓶装饮用水铜绿假单胞菌污染研究进展[J]. *微生物学免疫学进展*, 2003(2): 95–98.
- MA QF. Research progress on *Pseudomonas aeruginosa* contamination in bottled drinking water [J]. *Progress in Microbiology and Immunology*, 2003(2): 95–98.
- [18] 李毅, 章乐怡, 洪程基. 温州市桶装饮用水微生物污染状况调查[J]. *中国食品卫生杂志*, 2015, 27(s1): 32–35.
- LI Y, ZHANG LY, HONG CJ. Investigation on microbial contamination of barreled drinking water in Wenzhou City [J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 2015, 27(s1): 32–35.
- [19] 酃娟, 董华夏, 张王句, 等. 桶装饮用水中铜绿假单胞菌的污染调查及分型[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(11): 170–174.
- LI J, DONG HX, ZHANG WJ, *et al.* Contamination investigation and typing of *Pseudomonas aeruginosa* in barreled drinking water [J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(11): 170–174.
- [20] 许晓云, 陈倩, 刘琦, 等. 包装饮用水生产线中铜绿假单胞菌的检测与防控[J]. *饮料工业*, 2018, 21(3): 14–18.
- XU XY, CHEN Q, LIU Q, *et al.* Detection and prevention of *Pseudomonas aeruginosa* in packaged drinking water production lines [J]. *Beverage Industry*, 2018, 21(3): 14–18.
- [21] 马金灿, 郝瑀, 董冠杰, 等. 桶装饮用水中铜绿假单胞菌污染控制措施研究[J]. *中国食品安全*, 2024(2): 49–53, 60.
- MA JC, HAO Y, DONG GJ, *et al.* Research on pollution control measures for *Pseudomonas aeruginosa* in barreled drinking water [J]. *China Food Safety*, 2024(2): 49–53, 60.
- [22] 陆文聪, 林立. 全要素生产率产业差异对城乡收入差距的影响: 基于收敛性的视角[J]. *浙江大学学报(人文社会科学版)*, 2024, 54(8): 33–52.
- LU WC, LIN L. Impact of industrial differences in total factor productivity on urban-rural income gap: From the perspective of convergence [J]. *Journal of Zhejiang University (Humanities and Social Sciences)*, 2024, 54(8): 33–52.
- [23] 李颖. 工业智能化对中国城乡收入差距影响的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2024.
- LI Y. Research on the impact of industrial intelligentization on China's urban-rural income gap [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2024.
- [24] 王珍, 王川丕, 夏慧丽, 等. 2016—2019 年我国包装饮用水中铜绿假单胞菌的抽检分析[J]. *生物加工过程*, 2023, 21(3): 346–354.
- WANG Z, WANG CP, XIA HL, *et al.* Sampling analysis of *Pseudomonas aeruginosa* in packaged drinking water in China from 2016 to 2019 [J]. *Chinese Journal of Bioprocess Engineering*, 2023, 21(3): 346–354.
- [25] 魏磊. 矿泉水水处理系统微生物安全和危害形成机制研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2020.
- WEI L. Research on microbial safety and hazard formation mechanisms in mineral water treatment systems [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2020.
- [26] 《饮料生产许可审查细则(2017 版)》[Z]. 2017.
- Beverage production license review rules (2017 version)* [Z]. 2017.
- [27] 张敏, 李娜, 孙鹏. 包装饮用水微生物污染检测技术研究进展[J]. *中国食品卫生杂志*, 2022, 34(2): 89–95.
- ZHANG M, LI N, SUN P. Research progress on microbial contamination detection technologies for packaged drinking water [J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 2022, 34(2): 89–95.
- [28] 张建军, 唐轶君, 王灿, 等. 四川省桶装饮用水回收桶中铜绿假单胞菌的污染状况调查[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(19): 6712–6717.
- ZHANG JJ, TANG YJ, WANG C, *et al.* Investigation on contamination status of *Pseudomonas aeruginosa* in recycled barrels of barreled drinking water in Sichuan Province [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2019, 10(19): 6712–6717.
- [29] World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality [Z]. 2022.
- [30] 黄晓, 李燕. 环境监测在饮用水生产企业微生物污染控制中的应用[J]. *环境监测管理和技术*, 2023, 35(3): 45–51.
- HUANG X, LI Y. Application of environmental monitoring in microbial pollution control of drinking water production enterprises [J]. *Environmental Monitoring Management and Technology*, 2023, 35(3): 45–51.

(责任编辑: 安香玉 韩晓红)