

上海市水环境中嗜肺军团菌分布状况及影响因素分析

龚海燕, 汤琳, 吴阿娜

上海市环境监测中心, 上海 200232

摘要:为了解上海市水环境中嗜肺军团菌(*Legionella pneumophila*)的分布状况及相关影响因素,采用酶底物法于2021年11月至2022年8月对上海市地表水、泵站排水、污水厂进出水进行了嗜肺军团菌监测。结果显示:①酶底物法可作为水体中嗜肺军团菌的有效检测方法,其检测结果准确度和精密度均较好;②上海市水环境中存在不同程度的嗜肺军团菌检出,各水样的阳性检出率及检出浓度排序均为污水厂进水>泵站排水>地表水>污水厂出水;③水中嗜肺军团菌含量主要受水质指标、季节、周边环境因素的影响;④嗜肺军团菌与其他病原微生物指标存在显著相关关系;⑤随着环境水体景观娱乐功能的提升,需进一步关注各类病原微生物的环境风险。

关键词:嗜肺军团菌;酶底物法;水环境;上海

中图分类号:X835 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-6002(2025)01-0134-08

DOI:10.19316/j.issn.1002-6002.2025.01.14

Analysis of Distribution and Influencing Factors of *Legionella pneumophila* in Water Environment of Shanghai

GONG Haiyan, TANG Lin, WU Ana

Shanghai Environmental Monitoring Center, Shanghai 200232, China

Abstract: In order to analyse the distribution and influencing factors of *Legionella pneumophila* in water environment of Shanghai, the enzyme substrate method was used to monitor *Legionella pneumophila* in surface water, pump station drainage, water inlet and outlet of sewage plant in Shanghai from November 2021 to August 2022. The results showed that: ① Enzyme substrate method have good accuracy and precision which can be used as an effective detection method for *Legionella pneumophila* in waters. ② Different degree of *Legionella pneumophila* had been detected in waters of Shanghai, the positive test rate and the average degree of *Legionella pneumoniae* in waters were both sewage plant inlet > pump station drainage > surface water > sewage plant outlet. ③ The content of *Legionella pneumophila* was obviously correlated with water quality, seasons and surrounding environments. ④ There was a significant correlation between *Legionella pneumophila* and other pathogenic microorganism indicators. ⑤ With the improvement of the landscape and entertainment functions of environmental waters, it is necessary to pay more attention to the environmental risks of pathogenic microorganisms.

Keywords: *Legionella pneumophila*; enzyme substrate method; water environment; Shanghai

嗜肺军团菌(*Legionella pneumophila*)属于军团菌科军团菌属,为革兰氏阴性杆菌,是军团菌中最具代表性的菌种^[1]。其可通过饮水、气溶胶等方式传播,进而造成人体感染,引起呕吐、腹泻、肺炎、胸膜炎,甚至休克、死亡。研究显示,91.5%的军团菌病由其引起^[2],死亡率达26.4%。

随着生活水平的提高,中央空调、热水淋浴器、空气加湿器等现代化设备及人造水系统(如冷却塔、建筑供水系统、漩涡水疗系统和装饰性喷泉等)的广泛应用,在给人类生活带来便利的同

时,也给嗜肺军团菌提供了有利的生长繁殖条件,导致淋浴水^[3-4]、冷却塔水^[5]、空调冷却水和冷凝水^[6-7]等水体中呈现不同程度的嗜肺军团菌分布。国内外随之出台了相关控制规范,如英国《冷却塔及蒸发冷凝器规例通知书》、法国《军团菌监控条例法》、我国行业标准《公共场所集中空调通风系统卫生规范》(WS 394—2012)^[8]均规定,集中空调冷却水和冷凝水中不得检出嗜肺军团菌。

此外,随着对军团菌的认识的不断加强,黄晨铭等^[9]、DEEM^[10]等的研究表明,水环境军团菌

收稿日期:2023-07-03;修订日期:2023-10-27

基金项目:上海市“科技创新行动计划”社会发展科技攻关项目(20dz1200806)

第一作者简介:龚海燕(1986-),女,浙江绍兴人,硕士,高级工程师。

通讯作者:吴阿娜

污染造成的健康风险不容忽视。许多国家出台了针对水环境中军团菌的相关监测要求,作为防止军团菌病暴发流行的重要控制环节,并将其纳入饮用水控制标准,如美国《国家饮用水水质标准》、荷兰《饮用水法》、世界卫生组织(WHO)《饮用水水质准则》(第四版)。而我国《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)未对军团菌指标提出控制要求^[11]。因此,亟须提高对水环境中军团菌的重视程度。

快速检测并分析水环境中嗜肺军团菌的分布状况是有效预防军团菌病传播的关键。在嗜肺军团菌检测方法上,传统的分离培养法仍然是目前通用的检测方法,而酶底物法等快速检测方法的出现则大大简化了嗜肺军团菌的检测过程。酶底物法在北美、欧洲、日本等国家和地区相继得到应用^[12-13],其中英国环境局分析师常务委员会(SCA)最新发布的蓝皮书“The Determination of *Legionella* bacteria in Waters and Other Environmental Samples (2020)—Part 2”将酶底物法作为与培养法并列的检测方法之一,用于检测饮用水或其他非饮用水样品中的嗜肺军团菌。

因此,本研究采用酶底物法对上海市不同水环境(地表水、泵站排水、污水厂进出水)中的嗜肺军团菌进行监测,研究其分布状况,并对相关影响因素进行分析,以期开展上海市水环境嗜肺军团菌风险特征研究,保障饮水安全及人群健康提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 样品采集

本研究于2021年6月至2022年8月在上海市不同水环境中采集水样90份,其中地表水水样45份,其他水样45份(泵站排水11份,污水厂进水14份,污水厂出水20份)。

根据《地表水环境质量监测技术规范》^[14](HJ/T 91.2—2022)、《污水监测技术规范》^[15](HJ/T 91.1—2019)等规范中关于微生物采样的相关规定进行样品采集,采样量在100 mL左右。采样后,在2 h内进行检测,否则将样品置于10 ℃以下环境中冷藏,但冷藏时间不得超过6 h。实验室接样后,不能立即开展检测的,将样品于4 ℃以下环境中冷藏,并在2 h内开展检测^[16]。

1.2 仪器及试剂

仪器:生物安全柜(美国 Thermo, A2)、程控定量封口机(美国 IDEXX, Sealer PLUS)、培养箱(上海博迅, BSD-250)、高压蒸汽灭菌器(日本 PHCbi, MLS-3751L-PC)、全自动病原微生物检测系统(美国 DUPONT, BAX System Q7)。

试剂:Legiolert 培养基(美国 IDEXX)、Enterolert 培养基(美国 IDEXX)、Colilert 培养基(美国 IDEXX)、有机酸预处理试剂(美国 IDEXX)、BAX System 荧光定量 PCR 检测试剂盒(美国 DUPONT)。

耗材:96 孔定量盘(美国 IDEXX)、97 孔定量盘(美国 IDEXX)。

1.3 检测方法

1.3.1 方法原理

采用酶底物法检测嗜肺军团菌。在富含氨基酸、维生素、抗生素和其他营养成分的选择性培养基中,经过特定物理条件下(37 ℃ ± 0.5 ℃ 培养 7 d)的培养,嗜肺军团菌会迅速生长繁殖,分解底物,产生棕色、褐色指示物。在此基础上,统计阳性反应出现数量,查最大可能数(MPN)表,计算样品中嗜肺军团菌的浓度值。

1.3.2 检测流程

在生物安全柜内,量取 100 mL 无菌水置于三角瓶或取样瓶中,加入 Legiolert 培养基,盖上瓶盖摇匀,直至培养基完全溶解,随后静置待用。

取 2 mL 水样至已加入 2 mL 有机酸预处理试剂的无菌带盖试管内混匀,室温放置 60 s ± 5 s 后,再次混匀试管内液体。取 2 mL 试管内液体加至 100 mL 培养液中混匀,将混合液倒入 96 孔定量盘,轻轻拍打赶出气泡,使用程控定量封口机封口。

将封口后的定量盘放入培养箱,37 ℃ ± 0.5 ℃ 培养 7 d,同时确保培养箱内湿度保持在 80%。培养过程中,将定量盘纸面一面朝下,孔格一面朝上,以最大限度减少液体损失。

1.3.3 结果判读及计数

采用 MPN 法确定样本中嗜肺军团菌的含量。记录阳性大孔和小孔的数目(将颜色呈棕色、褐色或比阴性对照浑浊的孔判定为嗜肺军团菌阳性),从 96 孔定量盘 MPN 表中查得每 100 mL 样品中嗜肺军团菌的 MPN 值,再根据样品稀释度换算出样品中嗜肺军团菌的浓度。

1.3.4 其他说明

总大肠菌群、大肠埃希氏菌、粪大肠菌群检测

采用《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》^[16] (HJ 1001—2018); 肠球菌检测采用《水质 肠球菌的测定 固定底物技术酶底物法》^[17] (DB21/T 3111—2019); 金黄色葡萄球菌、志贺氏菌、沙门氏菌检测采用 BAX System 荧光定量 PCR 检测试剂盒。

1.4 数据分析

使用 Excel 建立数据库, 利用 SPSS13.0、Origin 2017 进行数据统计处理及相关性分析。其中: 酶底物法的方法精密度和准确度用相对标准偏差 (RSD) 以及相对误差 (RE) 表示; 不同水体中嗜肺军团菌阳性率的组间差异比较采用卡方 (χ^2) 检验方法, 以 $P < 0.05$ 作为差异有统计学意义的判定标准; 嗜肺军团菌与其他微生物指标之间的相关性分析采用 Spearman 秩相关分析方法和矩

阵散点分析方法。

2 结果与讨论

2.1 采用酶底物法检测嗜肺军团菌的精密度和准确度

酶底物法具有取样量少、操作便捷、密封培养、结果易读且准确等优点, 在非饮用水^[18-19]和饮用水^[20]中嗜肺军团菌的检测效率方面优于其他标准方法。精密度和准确度是分别从稳定性和准确性角度判定一种方法可靠与否的重要指标^[21]。采用酶底物法对嗜肺军团菌标准品 (美国 IDEXX, NCTC 11192, 批号 200413, 标准浓度范围为 390~1 530 MPN/L) 进行 6 次平行测定, RSD 以及 RE 计算结果见表 1。

表 1 酶底物法检测嗜肺军团菌的精密度和准确度实验结果 ($n=6$)

Table 1 Experimental results of precision and accuracy of enzyme substrate method for detecting *Legionella pneumophila* ($n=6$)

标准品浓度范围/(MPN/L)	标准品浓度中值/(MPN/L)	检测值均值/(MPN/L)	RE/%	RSD/%
390~1 530	960	865	-1.2	3.2

注: RE、RSD 为将原始数据以 10 为底进行对数转化后计算所得^[22]。

由表 1 可见, RSD 为 3.2%, 表明方法精密度好; RE 为 -1.2%, 表明方法准确度良好。此外, 国际标准化组织 ISO 13843:2017^[23] 指出, 酶底物法可用于检测血清型为 LP1~LP15 的嗜肺军团菌, 方法特异性好 (99%)、灵敏度高 (98%), 检测结果与培养法无差异。高艳等^[24] 指出, 酶底物法与

过滤培养法对非饮用水中嗜肺军团菌的检出结果一致, 且酶底物法呈现更高的灵敏度。因此, 酶底物法可以作为嗜肺军团菌的有效检测方法。

2.2 上海水环境中嗜肺军团菌的分布特征研究

上海市不同水环境中嗜肺军团菌的检出情况见表 2 及图 1。

表 2 嗜肺军团菌在不同水体中的检出情况

Table 2 Detection of *Legionella pneumophila* in different types of water

水体	样品数/个	阳性数/个	阳性检出率/%	浓度检出范围/(MPN/L)	χ^2	P
地表水	45	19	42.2	$1.0 \times 10^1 \sim 5.3 \times 10^2$	22.443	0.000
泵站排水	11	9	81.8	$8.4 \times 10^1 \sim 2.3 \times 10^4$		
污水厂进水	14	14	100	$2.2 \times 10^2 \sim 4.1 \times 10^3$		
污水厂出水	20	6	30.0	$1.1 \times 10^1 \sim 9.2 \times 10^2$		
合计	90	48	53.3	$1.0 \times 10^1 \sim 2.3 \times 10^4$	—	—

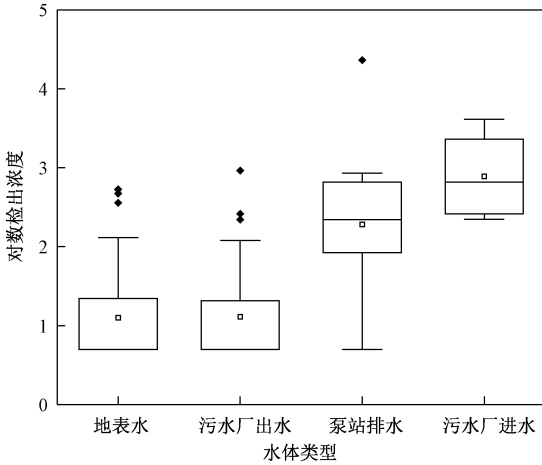
注: “—”表示不涉及。

检测结果显示: 地表水水样中嗜肺军团菌的阳性检出率为 42.2%, 浓度检出范围为 $1.0 \times 10^1 \sim 5.3 \times 10^2$ MPN/L; 泵站排水水样中嗜肺军团菌的阳性检出率为 81.8%, 浓度检出范围为 $8.4 \times 10^1 \sim 2.3 \times 10^4$ MPN/L; 污水厂进水水样的阳性检出率为 100%, 浓度检出范围为 $2.2 \times 10^2 \sim 4.1 \times 10^3$ MPN/L; 污水厂出水水样的阳性检出率为 30.0%, 浓度检出范围为 $1.1 \times 10^1 \sim 9.2 \times 10^2$ MPN/L。整体上, 水环境样品的平均阳性检出率

为 53.3%, 浓度检出范围为 $1.0 \times 10^1 \sim 2.3 \times 10^4$ MPN/L。不同类型水体样品中, 嗜肺军团菌均存在不同程度的检出, 这与军团菌广泛分布于各城市淡水环境^[25]的已有研究结论相一致。

地表水、泵站排水、污水厂进水、污水厂出水 4 种水环境中, 嗜肺军团菌的阳性检出率及检出浓度均值排序均为污水厂进水 > 泵站排水 > 地表水 > 污水厂出水。使用 χ^2 检验对 4 种水体中嗜肺军团菌的阳性检出率作差异分析, 结果显示, $\chi^2 =$

22.443, $P < 0.05$, 表明其差异有统计学意义, 即嗜肺军团菌在 4 种水体中的分布存在显著差异。



注:纵轴数据为将原始数据(MPN/L)以 10 为底进行对数转化后的值。

图 1 嗜肺军团菌在不同水体中的检出浓度

Fig.1 The detected concentration of *Legionella pneumophila* in different types of water

2.3 水环境中嗜肺军团菌分布的影响因素分析

2.3.1 水质

为探讨水质变化对嗜肺军团菌浓度的影响, 调取同期 19 份地表水水样的水质参数(包括水温、pH、溶解氧、总氮、总磷、化学需氧量以及五日生化需氧量等指标)检测结果进行水质类别判断, 并与嗜肺军团菌检测结果进行比较分析, 结果见表 3。当地表水水质为 II 类时, 未检出嗜肺军团菌; 当地表水水质为 III 类时, 嗜肺军团菌的阳性检出率为 33.3%; 当地表水水质为 IV 类时, 嗜肺军团菌的阳性检出率为 90.9%, 且出现了最高检出浓度(5.3×10^2 MPN/L)。可见, 水质变化影响着水环境中嗜肺军团菌的浓度分布; 当地表水水质状况变差时, 水体中嗜肺军团菌的阳性检出率及检出浓度随之呈升高趋势。

表 3 地表水中嗜肺军团菌检测结果与水质类别的比较

Table 3 Comparison of detection result of *Legionella pneumophila* and water quality in surface water

水质类别	样品数量/个	阳性检出率/%	浓度范围/(MPN/L)
II 类	2	0	ND
III 类	6	33.3	$1.1 \times 10^1 \sim 2.2 \times 10^1$
IV 类	11	90.9	$1.0 \times 10^1 \sim 5.3 \times 10^2$

注:“ND”表示未检出。

2.3.2 季节

为分析嗜肺军团菌分布的季节变化规律, 分

别于春冬季和夏秋季采集地表水水样进行嗜肺军团菌检测, 结果见表 4。

表 4 不同季节水体中嗜肺军团菌的检出情况
Table 4 Detection of *Legionella pneumophila* in different seasons

季节	浓度/(MPN/L)	阳性检出率/%
夏秋季	$1.0 \times 10^1 \sim 5.3 \times 10^2$	54.2
春冬季	$1.1 \times 10^1 \sim 7.4 \times 10^1$	33.3

由表 3 可见, 夏秋季水体中嗜肺军团菌的平均阳性检出率为 54.2%, 检出浓度为 $1.0 \times 10^1 \sim 5.3 \times 10^2$ MPN/L; 春冬季的平均阳性检出率为 33.3%, 检出浓度为 $1.1 \times 10^1 \sim 7.4 \times 10^1$ MPN/L。整体上, 嗜肺军团菌浓度表现为夏秋季 > 春冬季。分析其原因, 主要可能是由于夏秋季较高的环境温度有利于水体中嗜肺军团菌的生长与繁殖, 使得夏秋季水环境中嗜肺军团菌的含量高于春冬季。

2.3.3 周边环境

2.3.3.1 汛期

地表水体中嗜肺军团菌的浓度受周边环境、地域及季节的影响。为讨论汛期泵站排放对周边地表水中嗜肺军团菌浓度的影响, 对在 10 个泵站采集的共 11 份样品进行嗜肺军团菌检测分析, 发现 80% 的泵站水样中可检出嗜肺军团菌, 检出浓度范围为 $8.4 \times 10^1 \sim 2.3 \times 10^4$ MPN/L。

进一步对 10 个泵站的排水类型进行分析(表 5), 发现雨污混合型排水水样中的嗜肺军团菌的阳性检出率为 100%, 检出浓度均值为 4.2×10^3 MPN/L, 而雨水型排水水样中的阳性检出率为 60.0%, 检出浓度均值为 1.5×10^2 MPN/L, 即雨污混合型泵站排水中的嗜肺军团菌含量明显大于雨水型泵站。

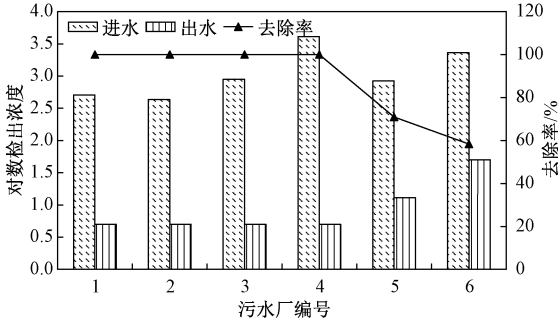
2.3.3.2 污水厂出水

对 6 家污水厂的进水、出水水样进行嗜肺军团菌检测(进水水样 14 个, 出水水样 20 个), 结果见图 2。由图 2 可见, 6 家污水厂进水水样中, 嗜肺军团菌 100% 被检出, 检出浓度范围为 $2.2 \times 10^2 \sim 4.1 \times 10^3$ MPN/L; 出水水样中, 嗜肺军团菌的阳性检出率为 30.0% (集中于 2 家污水厂), 检出浓度范围为 $1.1 \times 10^1 \sim 9.2 \times 10^2$ MPN/L。由此可见, 进入污水厂的污水经过处理后, 水体中的嗜肺军团菌基本可以达到有效消除状态, 但仍存在个别污水厂的出水中嗜肺军团菌检出的情况(5 号、6 号污水厂出水中, 嗜肺军团菌的平均去除率分别为 70.9%、58.4%)。

表5 不同类型泵站排水中嗜肺军团菌的检出情况

Table 5 Detection of *Legionella pneumophila* in different types of pump station

泵站排水类型	样品数量/个	阳性检出率/%	检出浓度范围/(MPN/L)	浓度平均值/(MPN/L)
雨水型	5	60.0	$9.0 \times 10^1 \sim 5.3 \times 10^2$	1.5×10^2
雨污混合型	6	100	$8.4 \times 10^1 \sim 2.3 \times 10^4$	4.2×10^3



注:纵轴数据为将原始数据(MPN/L)以10为底进行对数转化后的值。

图2 污水厂进、出水水样中嗜肺军团菌的含量分布

Fig. 2 Distribution of *Legionella pneumophila* content in inlet and outlet water samples of sewage plant

2.4 嗜肺军团菌与其他病原微生物的相关性分析

选择50个水样,同步进行病原微生物(金黄色葡萄球菌、志贺氏菌、沙门氏菌)和水质指示微生物(总大肠菌群、大肠埃希氏菌、粪大肠菌群、肠球菌)检测研究。将嗜肺军团菌与水质指示微生物的检测浓度作对数处理后,进行 Spearman 秩相关性分析(表6)及矩阵散点分析(图3)。由分析结果可见,嗜肺军团菌与总大肠菌群、大肠埃希氏菌、粪大肠菌群、肠球菌的相关系数在0.823~0.836之间,*P*值小于0.01,即嗜肺军团菌与总大肠菌群、大肠埃希氏菌、粪大肠菌群、肠球菌存在显著相关性。

表6 嗜肺军团菌与水质指示微生物的 Spearman 秩相关性分析结果

Table 6 Spearman correlation analysis results between *Legionella pneumophila* and microbial indicators

指标	总大肠菌群	大肠埃希氏菌	粪大肠菌群	肠球菌
相关系数	0.828	0.823	0.833	0.836
<i>P</i>	0.000	0.000	0.000	0.000

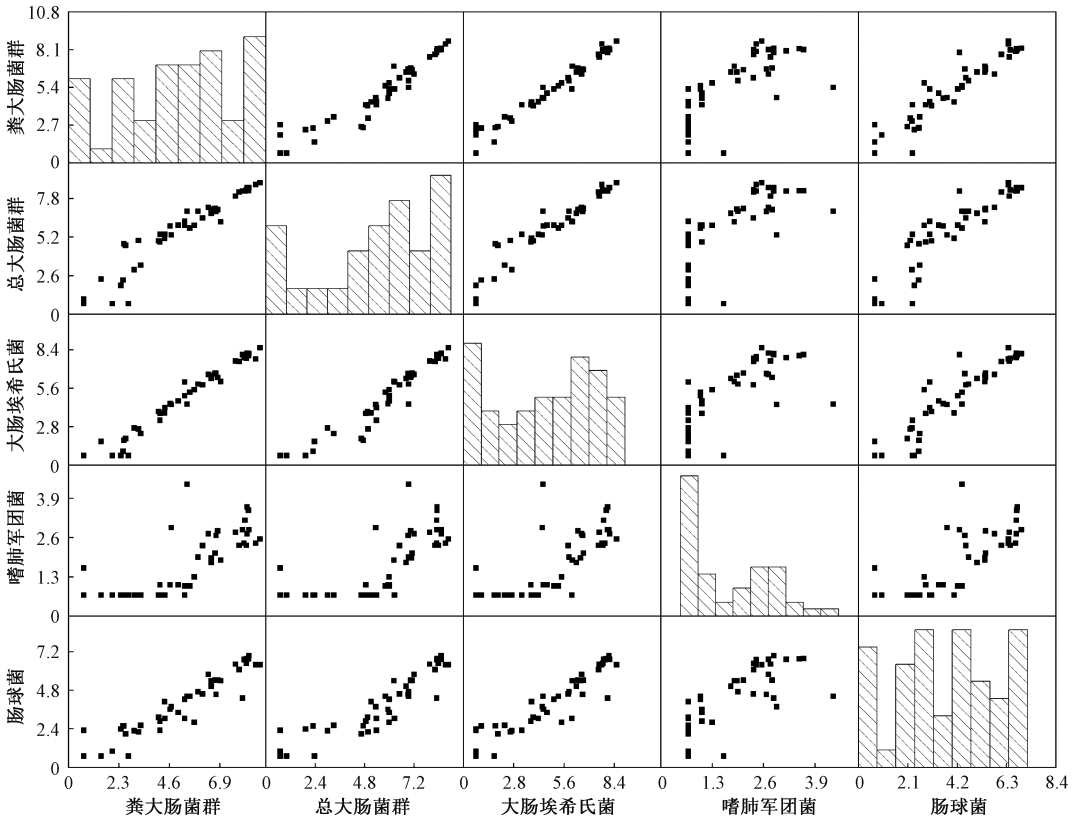


图3 嗜肺军团菌浓度与水质指示微生物浓度的矩阵散点图

Fig. 3 Matrix scatter chart between *Legionella pneumophila* and water quality microbial indicators

将嗜肺军团菌与肠道病原微生物检出情况进行比较(图4)。由分析结果可见,当嗜肺军团菌未检出时,肠道病原微生物也未检出,而当嗜肺军团菌浓度呈指数升高时,肠道病原微生物的检出种类及阳性检出率呈现同步上升,即嗜肺军团菌浓度与肠道病原微生物阳性检出率呈明显的正相关关系。

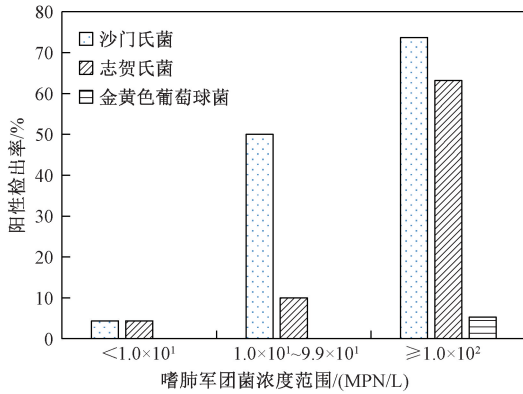


图4 嗜肺军团菌与肠道病原微生物检出情况比较

Fig. 4 Comparison between *Legionella pneumophila* and enteropathogenic microorganism

3 结论和建议

3.1 结论

采用酶底物法检测水中嗜肺军团菌具有取样量少、操作便捷、密封培养、结果易读、方法精密度和准确度好等优点,因而该方法可作为水中嗜肺军团菌的有效检测方法。

上海市地表水、泵站排水、污水厂进出水中嗜肺军团菌的分布存在明显差异,平均阳性检出率为53.3%。各类型水体中嗜肺军团菌的阳性检出率及检出浓度排序均为污水厂进水>泵站排水>地表水>污水厂出水。

水环境中嗜肺军团菌的含量受水质、季节及周边环境等多种因素的影响。当水体水质变差,环境温度升高,周边环境发生诸如汛期排放、污水厂出水不稳定排放等情况时,均会导致水环境中嗜肺军团菌阳性检出率及检出浓度的升高。因此,加强雨污混接排查,监督污水达标排放,对控制水环境中嗜肺军团菌的含量,预防军团菌病暴发具有重要意义。

嗜肺军团菌作为呼吸道致病菌,与肠道病原微生物和水质指示微生物呈现良好的相关性。因

此,可将嗜肺军团菌作为呼吸道病原微生物的监测指标,从而进一步完善现有监测指标体系。

3.2 建议

3.2.1 加快推进嗜肺军团菌酶底物检测方法的标准化

目前,我国嗜肺军团菌的标准化检测方法为培养法。《公共场所卫生检验方法 第五部分:集中空调通风系统》^[26](GB/T 18204.5—2013)、《饮用水中军团菌检测》^[27](SN/T 2528—2010)中规定的培养法检测流程包括膜过滤、酸处理、热处理、样品培养、菌落观察验证、生化及血清试验等,操作烦琐,检测周期长,需要二氧化碳培养箱等专业设备,且只可进行定性检测。酶底物法大大简化了嗜肺军团菌的检测流程,可实现定性、定量检测,具有良好的发展和应用前景。因此,开展嗜肺军团菌酶底物检测方法标准化研究,可为实现嗜肺军团菌常规化监测提供强有力的技术支撑。

3.2.2 持续关注环境中嗜肺军团菌等病原微生物的潜在环境风险

随着环境水体景观娱乐功能的提升,人类与水环境的接触方式更为多样化。本文研究结果表明,上海市水环境中存在不同程度的嗜肺军团菌分布,且嗜肺军团菌含量与病原微生物含量、水质指示微生物含量呈现良好的相关性。目前,生态环境管理部门对病原微生物安全风险的管理还不够完善^[28]。因此,加强对嗜肺军团菌等病原微生物指标的监测和研究,对进一步完善水体监测指标及标准体系,及时监测和预警水体生物安全风险,确保水质安全,维护人民群众身体健康,具有重要意义。

参考文献(References):

- [1] 医学名词审定委员会,感染病学名词审定分委员会. 感染病学名词[M]. 北京:科学出版社,2019:63.
 - [2] PARR A, WHITNEY E A, BERKELMAN R L. Legionellosis on the Rise: A Review of Guidelines for Prevention in the United States[J]. Journal of Public Health Management and Practice, 2015, 21(5): E17-E26.
 - [3] 王利,罗颖,杨晨,等. 2019—2020年马鞍山市公共场所淋浴用水嗜肺军团菌分子特征研究[J]. 中华预防医学杂志, 2021, 55(12): 1399-1403.
- WANG Li, LUO Ying, YANG Chen, et al. Molecular Characteristics of *Legionella pneumophila* in Shower

- Water of Public Places in Ma'anshan City from 2019 to 2020[J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2021, 55(12): 1 399-1 403.
- [4] 李娜,付喜梅,俞秋华,等. 酶底物法和过滤培养法在公共场所洗浴水嗜肺军团菌检测中的应用[J]. 预防医学情报杂志, 2023, 39(7): 846-850.
- LI Na, FU Ximei, YU Qihua, et al. Application of Enzyme Substrate Method and Filtration Culture Method in the Detection of *Legionella pneumophila* in Bathing Water in Public Places [J]. Journal of Preventive Medicine Information, 2023, 39(7): 846-850.
- [5] 钟瑞,王彩乔,钟笑,等. 榆林市 2017—2020 年公共场所空调冷却塔水嗜肺军团菌的调查研究[J]. 医学动物防制, 2022, 38(7): 659-662.
- ZHONG Rui, WANG Caiqiao, ZHONG Xiao, et al. Investigation of *Legionella pneumophila* in the Water of Air Condition Cooling Towers of Public Places in Yulin from 2017 to 2020[J]. Journal of Medical Pest Control, 2022, 38(7): 659-662.
- [6] 李欣,吴佳瑾,俞佳莉,等. 上海市松江区公共场所空调系统嗜肺军团菌分布状况[J]. 环境与职业医学, 2016, 33(10): 981-983.
- LI Xin, WU Jiajin, YU Jiali, et al. *Legionella pneumophila* Pollution in Air-Conditioning Systems in Public Places of Songjiang District [J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2016, 33(10): 981-983.
- [7] AHMADRAJABI R, SHAKIBAIE M R, IRANMMNESH Z, et al. Prevalence of *Mip* Virulence Gene and PCR-Base Sequence Typing of *Legionella pneumophila* from Cooling Water Systems of Two Cities in Iran[J]. Virulence, 2016, 7(5): 602-609.
- [8] 卫生部环境卫生标准专业委员会. 公共场所集中空调通风系统卫生规范: WS 394—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [9] 黄晨铭,张岚,张晓,等. 生活饮用水中嗜肺军团菌的酶底物测定方法研究[J]. 给水排水, 2021, 47(5): 21-26.
- HUANG Chenming, ZHANG Lan, ZHANG Xiao, et al. Study on the Determination Method of Enzyme Substrate of *Legionella pneumophila* in Drinking Water[J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(5): 21-26.
- [10] DEEM S. Preparing for COVID's Effect on Legionella and Building Water Systems [J]. Journal American Water Works Association, 2020, 112(9): 60-62.
- [11] 国家卫生健康委员会. 生活饮用水卫生标准: GB 5749—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [12] MARIA S, MATTEO B, ANTONIETTA G, et al. Performance of Legiolert Test vs. ISO 11731 to Confirm *Legionella pneumophila* Contamination in Potable Water Samples [J]. Pathogens, 2020, 9(9): 690.
- [13] SPIES K, PLEISCHI S, LANGE B, et al. Comparison of the Legiolert™/Quanti-Tray® MPN Test for the Enumeration of *Legionella pneumophila* from Potable Water Samples with the German Regulatory Requirements Methods ISO 11731-2 and ISO 11731 [J]. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 2018, 221(7): 1 047-1 053.
- [14] 生态环境部生态环境监测司, 生态环境部法规与标准司. 地表水环境质量监测技术规范: HJ/T 91.2—2022[S]. 北京: 中国环境出版集团, 2022.
- [15] 生态环境部生态环境监测司, 生态环境部法规与标准司. 污水监测技术规范: HJ/T 91.1—2019[S]. 北京: 中国环境出版集团, 2019.
- [16] 生态环境部生态环境监测司, 生态环境部法规与标准司. 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: 中国环境出版集团, 2018.
- [17] 大连市市场监督管理局. 水质 肠球菌的测定 固定底物技术酶底物法: DB21/T 3111—2019[S/OL]. (2019-02-28) [2023-07-01]. <https://ba.sacinfo.org.cn/stdDetail/a9b78de4320aed21a55bf77bf1ebb4b3996d274a3c88502230d36c273570d6f4>.
- [18] RECH M M, SWALLA B M, DOBRANIC J K. Evaluation of Legiolert for Quantification of *Legionella pneumophila* from Non-potable Water [J]. Current Microbiology, 2018, 75(10): 1 282-1 289.
- [19] 李艳丽,杨康,付磊,等. Legiolert 酶底物法与传统培养法对公共场所水体样本中嗜肺军团菌检出结果的比较[J]. 公共卫生与预防医学, 2021, 32(1): 51-54.
- LI Yanli, YANG Kang, FU Lei, et al. Comparison of the Legiolert Enzyme-Substrate Method and the Conventional Cultivation for the Detection of *Legionella pneumophila* in Water Samples from Public Places [J]. Journal of Public Health and Preventive Medicine, 2021, 32(1): 51-54.
- [20] MORITZ M M, FLEMMING H, WINGGENDER J. Integration of Pseudomonas Aeruginosa and *Legionella pneumophila* in Drinking Water Biofilms Grown on Domestic Plumbing Materials [J]. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 2010, 213(3): 190-197.

- [21] 朱梦杰. 便携式 XRF 测定仪在土壤检测中的应用及其影响因素 [J]. 中国环境监测, 2019, 35(6): 129-137.
ZHU Mengjie. Application of Portable XRF Analyzer in Soil Detection and Its Influencing Factors [J]. Environmental Monitoring in China, 2019, 35(6): 129-137.
- [22] American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [M]. 23th Edition. Washington, DC: American Water Works Association, 2017:9-22.
- [23] ISO. Water Quality—Requirements for Establishing Performance Characteristics of Quantitative Microbiological Methods; ISO 13843; 2017[S]. ISO, 2017.
- [24] 高艳, 李啸, 段杉, 等. 酶底物法与过滤培养法检测非饮用水中嗜肺军团菌的比较 [J]. 净水技术, 2020, 39(8):8-12.
GAO Yan, LI Xiao, DUAN Shan, et al. Comparison of Enzyme Substrate and Filter Culture Methods for Determination of *Legionella pneumophila* in Nonpotable Water [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(8):8-12.
- [25] SOBRAL D, CANN P L, GERARD A, et al. High-Throughput Typing Method to Identify a Non-outbreak-involved *Legionella pneumophila* Strain Colonizing the Entire Water Supply System in the Town of Rennes, France [J]. Applied & Environmental Microbiology, 2011, 77(19): 6 899-6 907.
- [26] 卫生部. 公共场所卫生检验方法 第五部分: 集中空调通风系统; GB/T 18204.5—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [27] 国家认证认可监督管理委员会. 饮用水中军团菌检测; SN/T 2528—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [28] 王迎春, 刘景泰, 孙沛雯, 等. 生态环境监测全过程病原微生物安全风险识别评估及个体防护 [J]. 中国环境监测, 2022, 38(3):11-17.
WANG Yingchun, LIU Jingtai, SUN Peiwen, et al. Pathogenic Microorganisms Safety Risk Identification, Evaluation and Personal Protection in the Whole Process of Ecological Environment Monitoring [J]. Environmental Monitoring in China, 2022, 38(3):11-17.