

长三角生态绿色一体化示范区优先污染物 筛选及协同监测探讨

陈莹^{1, 2} 杨凯^{1, 2} 杨梦杰^{1, 2} 卢士强³ 朱永青³ 徐露^{1, 2} 钱美尹^{1, 2} 施泠西^{1, 21}

(1. 华东师范大学 生态与环境科学学院, 上海城市化生态过程和

生态恢复重点实验室, 上海 200241;

2. 上海污染控制与生态安全研究院, 上海 200092;

3. 上海市环境科学研究院, 上海 200233)

【摘要】: 有效识别区域内水环境优先污染物, 是长三角生态绿色一体化示范区实现水环境协同监测体系建设的重要内容。在对一体化示范区内典型跨界河流太浦河的多个断面进行 2017~2019 年每季度一次的 109 项全指标监测的基础上, 结合区域环境及产业特征, 选取污染物的检出频率、空间分布、最大占标率和致癌性作为评估指标, 采用熵权法和 TOPSIS 法对《地表水环境质量标准》基本项目以外的特定 80 项污染物进行优先污染物筛选。结果表明: (1) 锑的潜在环境风险高; 镍、二氯甲烷、丙烯酰胺的风险比较高; 钴、钛、硼、硫化物、阿特拉津、微囊藻毒素-LR、1,4-二氯苯、氯苯的风险一般。(2) 目前江苏吴江、浙江嘉善、上海青浦三个行政区存在水环境监测管理协同性不足及数据共享程度较低的现状问题, 与统一标准、统一监测、统一执法的水环境共治目标存在一定差距。(3) 基于区域监测现状与优先污染物筛选结果, 从完善监测指标与信息公开、加强协同监测和数据共享、健全一体化水环境预警体系等方面提出了完善长三角一体化示范区水环境协同监测体系的建议。

【关键词】: 一体化示范区 优先污染物 协同监测 熵权法 TOPSIS 法

【中图分类号】: X522 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2022)02-0358-08

长三角生态绿色一体化示范区是深入实施长三角一体化国家战略的重要区域, 在生态环境方面, 面临着不破行政隶属与区域环境共治的重要挑战。要实现一体化示范区统一标准、统一监测、统一执法的水环境共治目标, 必须加强区域内水行政执法联动与监测数据共享共用。因此, 亟需完善一张网的示范区水环境协同监测与预警体系。

当前, 一体化示范区的水环境监测现状与水环境共治的建设要求存在一定差距。常规监测上, 江苏吴江、浙江嘉善、上海青

作者简介: 陈莹(1996~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为流域水资源管理. E-mail: 354749859@qq.com; 杨凯 E-mail: kyang@re.ecnu.edu.cn

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX0727003-01)

浦公开的监测数据主要以基本项目为主,而有关监测指标、监测频次及信息公开等方面各成体系。由于一体化示范区在近年发生过流域性的二氯甲烷和锑浓度超标事件,有关特征性污染物的监测和信息公开仍有待加强^[1]。此外,一体化示范区基于数据协同管理的预警预报体系有待完善。因此,研究《地表水环境质量标准》基本项目以外的特定 80 项污染物特征,对于完善示范区的水环境监测十分必要。本文基于 2017~2019 年对一体化示范区太浦河的全指标监测数据,对特定 80 项污染物开展了优先污染物筛选工作,旨在为完善一体化示范区内的协同监测作提供参考。因考虑数据的可获得性和敏感性,研究指标选取范围限定在《地表水环境质量标准》内,暂不包括抗生素等新型污染物。

目前常用优先污染物筛选方法有综合评分法^[2,3,4]、欧盟 COOMPS 评估法^[4]、风险指数法^[5]、风险排序法^[6]、潜在危害指数法^[7]等,而评估指标则涉及检出率、急性毒性、慢性毒性、人群潜在暴露危害、检出浓度和检出频次等^[4]。尽管综合评分法中的 TOPSIS 法消除了指标量纲的影响,但由于采取了等权重处理方法,使得数据分析结果存在一定局限。而熵权法则可以弥补这一问题,并且更为关注从实测数据层面确定评估指标权重与优先程度。基于熵权法的 TOPSIS 法已较为成熟地运用于环境管理决策评估^[8,9]。因此,为客观评估生态绿色一体化示范区特定 80 项污染物的风险水平,本文采用熵权法与 TOPSIS 法,选取检出频率、空间分布、最大超标率与致癌性四项指标,对示范区内太浦河清水走廊沿线的主要断面的监测数据进行分析,以对特定 80 项污染物进行风险评估,为完善一体化示范区水环境协同监测提供决策支持。

1 研究区域与方法

1.1 研究区域与数据来源

长三角生态绿色一体化示范区规划范围包括上海市青浦区、江苏省苏州市吴江区与浙江省嘉兴市嘉善县,总面积 2413km²,位于太湖流域下游平原,主要水体包括太浦河、汾湖、元荡与淀山湖等。一体化示范区的跨界河流太浦河全长 57.6km,是流域行洪的“高速通道”,也是承担供水的“清水走廊”。在流域骨干河流太浦河 6 个具代表性的断面布设了监测点位(图 1)。

依托水体污染与治理科技重大专项课题《金泽水库水质调控与稳定关键技术研究与应用》,于 2017 年 10 月至 2019 年 7 月期间,对江苏吴江境内的太浦闸下、平望大桥、黎里东大桥、芦墟大桥和上海青浦境内的金泽水文站、金泽水库取水口共 6 个断面开展了每季度 1 次的水质采样工作。水质检测工作委托了上海市供水调度中心,检测指标包括《地表水环境质量标准》中规定的 24 项基本项目、5 项补充项目与 80 项特定项目,共 109 项。

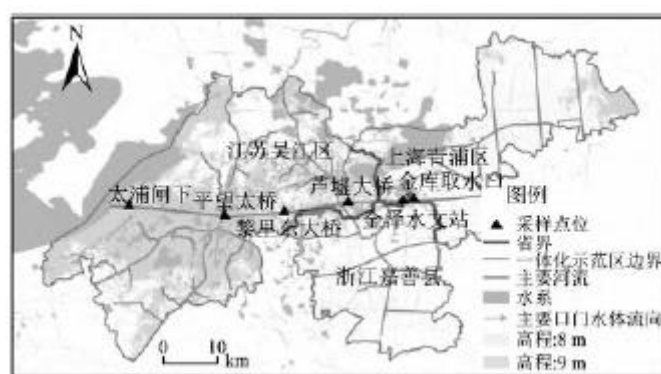


图 1 研究区概况及采样点位示意

1.2 研究方法

1.2.1 优先污染物筛选原则

依据《地表水集中式生活饮用水源地特定项目监测指标优选方案》中的准则，研究采用半定量评分系统，在实测调查的基础上，从环境风险和危害的角度综合确定了筛选原则：

- (1) 检出频次较高的污染物；
- (2) 有检出且占标率较高的污染物；
- (3) 有检出且分布广泛、有潜在风险的污染物；
- (4) 有检出且毒性较强、对环境风险较大或危害较大的污染物。

基于以上原则，并结合区域环境及产业特征，确定污染物风险评估体系中采用平均检出频率、最大占标率、空间分布、致癌性 (IRAC) 4 项指标，对其进行统计分析，以确定风险水平。具体的指标涵义与计算方法见表 1，其中，平均检出频率和空间分布分别从时间与空间尺度上反映污染物的检出概率，占标率以地表水Ⅲ类水为控制标准，核算检出污染物浓度相较于Ⅲ类水标准的超标风险，与致癌性一同反映该特定项污染物对太浦河水环境质量的影响程度。

表 1 指标涵义及计算方法

指标	涵义及计算方法
平均检出频率 x_{i1}	特定项 i 在五个断面的平均频次检出率， $a_{in}=k/6$, $k \in [1, 6]$, $k \in \mathbb{N}^*$, $x_{i1}=a_{in}$, $i \in [1, 16]$, $i \in \mathbb{N}^*$, $n \in [1, 5]$, $n \in \mathbb{N}^*$
最大占标率 x_{i2}	特定项 i 在 5 个断面中最大占标率， $RQ_{in}=DP/LV$, (DP (detection potency): 污染物检出浓度, LV (limited value), 以《地表水环境质量标准》Ⅲ类水标准表征污染物的超标风险, $x_{i2}=\max(RQ_{in})$, $i \in [1, 16]$, $i \in \mathbb{N}^*$, $n \in [1, 5]$, $n \in \mathbb{N}^*$
空间分布 x_{i3}	特定项 i 在一个断面有检出则赋值 x_{i3} 为 1, 共五个断面，最高为 5, $i \in [1, 16]$, $i \in \mathbb{N}^*$
致癌性 x_{i4}	参考中国食品药品检定研究院安全评价研究所根据世界卫生组织国际癌症研究机构 2017 年 10 月 27 日公布的致癌物清单，对于 x_{i4} ，清单中 1 类致癌物赋值为 5, 2A 类致癌物赋值为 4, 2B 类致癌物赋值为 3, 3 类致癌物赋值为 2, 4 类致癌物赋值为 1, 未收录赋值为 0, $i \in [1, 16]$, $i \in \mathbb{N}^*$

1.2.2 污染物风险评估方法

(1) 熵权法

一种基于数理统计的客观赋权方法，从信息角度考虑，它根据指标提供信息的无序程度确定该指标权重，有明确的物理意

义，反映各指标的内部差异程度和在竞争意义上的相对激烈程度^[9]。

(2)TOPSIS(the Technique for Order Preference of by Similarity to an Ideal Solution)法逼近理想解排序方法，以对特定项进行客观、公平、公正的评价^[8,9]。

1.3 优先污染物筛选程序

根据筛选原则，选择检出污染物的检出频率、空间分布、最大占标率、致癌性四项水平构建初始矩阵 $X=(x_{ij})$ ， x_{ij} 表示第 i 个污染物第 j 项指标的实际值。利用极值法对每个指标进行离差标准化处理，经归一化、同一化变化后得到标准化矩阵 $A=(a_{ij})$ 。通过计算信息熵与相对信息熵，确定指标的熵权重 λ_j 。确定权重 λ_i 后，更新到标准化矩阵中得到： $A=(a'_{ij})$ ，其中 $a'_{ij}=\lambda_j \cdot x_{ij}$ 。

根据 TOPSIS 法，计算污染物到正、负理想解的 Euclid 距离，再计算各项与负理想解的相对接近度。接近度越高，反映风险越大。将相对接近度按比例转换为 10 分制计分，表征各检出污染物对太浦河水环境质量的污染优先程度，并依据得分进行风险等级划分。

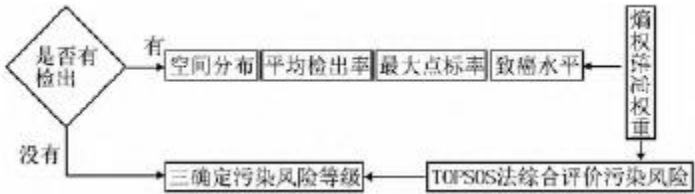


图 2 优先污染物筛选程序

2 示范区监测现状与一体化协同监测仍有差距

针对一体化示范区的国考断面、省考断面、水源地断面，从各行政区公开的监测指标、监测频率、信息公开频率等方面进行对比分析，结果如图 3、表 2 和表 3。结果表明，3 个行政区的水环境监测管理相互独立、各成体系，在指标的选取、监测频率、公开频率上具有一定差异。而由于浙江嘉善与上海青浦将区域内重要跨界河流太浦河下游视为饮用水水源地，对水源地水质要求更为严格，在水环境一体化共治理念指导下，一体化示范区被视为具有相同环境利益集体，使得示范区都需要以更高的要求制定地表水与水源地监测体系。现状表明，示范区内的水环境监测管理现状与统一标准、统一监测和统一执法的建设要求还有一定差距，对于基于数据共享实现跨行政区统一评估整个示范区的水环境现状、水污染风险等目标仍有较大提升空间。

指标层面，除水源地外，江苏吴江区、浙江嘉善县、上海青浦区在相关网站公布的常规监测指标为《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中基本项目，但不包括区域内特征性污染物。是否将已造成过突发性污染事件的二氯甲烷和锑等特征性污染物纳入常规监测与信息公开中，值得进一步探讨。执行层面，受限于 3 个区域各自行政、条块分割的环境监管体系^[11]，各行政区对区域内考核断面的监测频率、监测手段、监测时间不相一致，原始数据具有较大差异性。管理层面，各行政区已有独立的监测数据管理平台，吴江已建成“智慧环保”云平台，嘉善建立了环保天地图系统和生态环保大数据应用中心，青浦的生态环境质量在线监控平台依托给了国发和市级信息化平台。目前，一体化示范区缺乏对三地监测数据的有机耦合与充分利用，区域内共享的一体化数据管理平台亟待建设。

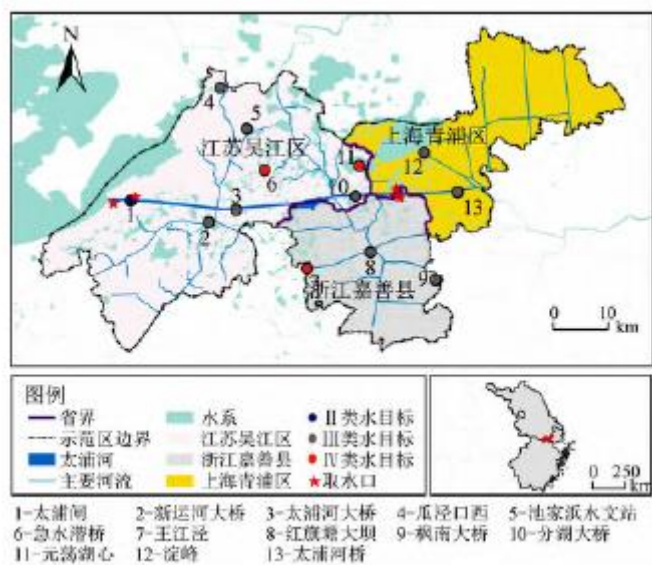


图 3 一体化示范区重点断面监测点位及水质控制目标

表 2 一体化示范区内国考、省考断面监测现状

区域	国考、省考断面	所在水域	公开监测指标	监测频率	公开形式
吴江	元荡湖心	元荡	《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中规定的基本项目中,除水温、总氮(湖、库,以 N 计)与粪大肠菌群(个/L),共 21 项	每月 1 次	吴江区人民政府信息公开,每月 1 次
	太浦闸	太浦河			
	瓜泾口西	吴淞江			
	王江泾	京杭运河			
	界标	太浦河			
	平望新运河大桥	澜溪塘			
	太浦河桥	太浦河			
嘉善	池家浜水文站	俞汇塘	高锰酸盐指数、五日生化需氧量、氨氮、石油类、总大肠菌群、总磷	每月 1 次	嘉善县人民政府信息公开,每半年 1 次
	枫南大桥	嘉善塘			
	红旗塘大坝	红旗塘			
青浦	淀峰	黄浦江	《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)表 1 的基本项目(24 项)和电导率、铁及锰,	每月 1 次	青浦区人民政府信息公开,每月 1 次
	太浦河桥	太浦河			

	急水港桥	淀山湖	共 27 项；淀山湖-急水港桥断面增加透明度和叶绿素 a		
	汾湖大桥	太浦河			

(数据来源：苏州市吴江区生态环境局发布的吴江区水环境质量情况通报与水环境质量状况数据、《江苏省主要河流市界水质控制断面监测工作实施方案》、《2018 年吴江区水污染防治计划》、嘉善生态环境分局发布的水环境质量、《2019 年度青浦区生态环境监测实施方案》)。

表 3 一体化示范区内水源地监测现状

区域	集中式饮用水水源地	公开监测指标	监测频率	公开形式
吴江	太湖庙港水源地	《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)表 1 的基本项目(24 项)、表 2 的补充项目(5 项)和表 3 的优选特定项目(33 项),共 62 项。	每月监测 1 次,其中表 3 的优选特定项目(33 项)每季度 1 次	吴江区政府信息公开,每月 1 次
	太湖北亭子港水源地			
嘉善	太浦河饮用水水源	《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)表 1 的基本项目、表 2 的补充项目(5 项)和表 3 的优选特定项目(33 项),共 62 项	每月监测 1 次,其中表 3 的优选特定项目(33 项)每季度 1 次	嘉善县政府信息公开,每季度 1 次
青浦	太浦河取水口	《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)表 1 的基本项目(24 项)、表 2 的补充项目(5 项)和集中式生活饮用水地表水源地特定项目 80 项、VOCs、SVOCs 和重金属	基本项目(24 项)与补充项目(5 项)每月 1 次,36 项特定项目每季度 1 次,80 项、VOCs、SVOCs 和重金属每年 1 次	上海市生态环境局信息公开,每月 1 次

(数据来源：苏州市吴江区生态环境局发布的集中式生活饮用水水源水质状况报告、《2018 年吴江区水污染防治计划》、嘉善生态环境分局发布的集中式生活饮用水水源地水质状况报告、《2019 年度青浦区生态环境监测实施方案》、上海市生态环境局发布的市级集中式生活饮用水水源水质状况报告)。

3 研究结果

3.1 一体化示范区《地表水环境质量》基本项目外的特定 80 项监测结果

骨干河流太浦河沿程的 6 个断面共检出 16 种特定 80 项污染物,其中检出 7 种重金属——锑、钴、钒、镍、钡、钼、钛,且锑、钴、钒、镍为《重金属污染综合防治“十三五”实施方案》中重点防控污染物;7 种有毒有机物——二氯甲烷、甲苯、氯苯、1,4-二氯苯、丙烯酰胺、阿特拉津、微囊藻毒素-LR;2 种其他无机有害物——硫化物、硼。平均检出频率的分布如图 5,7 种重金属与硼、阿特拉津的平均检出频率达 100%,1,4-二氯苯的平均检出频率最低,为 3%。

占标率评估结果如图 4, 铈的超标风险最高, 最大占标率约 80%, 丙烯酰胺、镍、钛的超标风险较高, 超过 20%, 其余污染物占标率较低。

经统计, 除丙烯酰胺、1, 4-二氯苯和氯苯外, 其余水源地特定污染物在六个断面中均有检出。有 6 种污染物不在世界卫生组织国际癌症研究机构致癌物清单中, 在清单中的污染物最高致癌级别为 2A 类, 是二氯甲烷和丙烯酰胺, 其余污染物为 2B 类或 3 类。

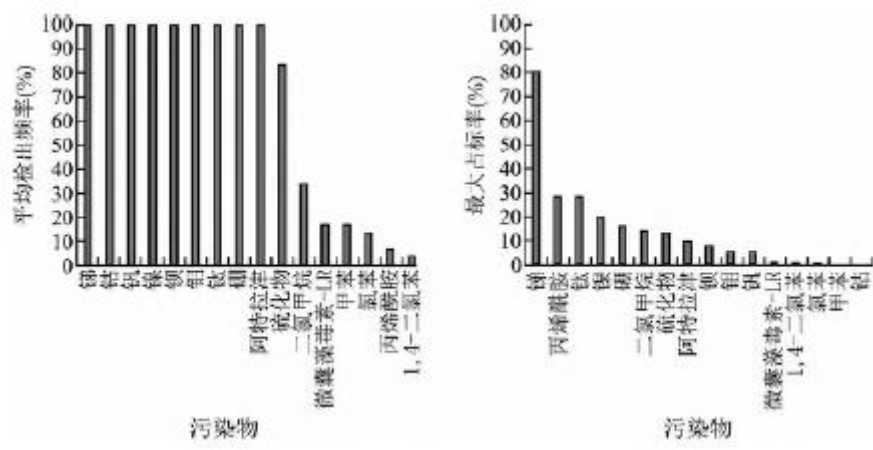


图 4 太浦河污染物平均检出频率与最大占标率

3.2 优先污染物筛选结果

3.2.1 权重计算结果

对特定 80 项污染物从检出频率、最大占标率、空间分布和致癌性 4 个维度计算信息熵与相对信息熵, 得到表 4 的评估指标权重。结果表明, 最大占标率与致癌性权重较高, 权重为 0.434 和 0.314, 这是由污染物的最大占标率与致癌性的数据本身差异较大造成的。最大占标率的值在 0.0005~0.8000 间广泛分布, 致癌性的数据变化差异同样较大。检出频率和空间分布权重较低, 权重为 0.177 和 0.075, 这是由污染物的检出频率与空间分布结果差异较小造成的。检出频率有 8 个污染物都为 100%, 空间分布有 13 个都为 5 分, 不能明显地体现数据间的差异性。经熵权法计算后, 将最大占标率与致癌性赋予了更大的权重, 使得两项能反映更多信息的指标在优先污染物筛选中有更高的评估作用, 因此 TOPSIS 法能更客观地评价特定 80 项的综合污染水平。

表 4 一体化示范区优先污染物筛选指标权重

检出频率 λ_1	最大占标率 λ_2	空间分布 λ_3	致癌性 λ_4
0.177	0.434	0.075	0.314

3.2.2 风险等级评估结果

根据 TOPSIS 法, 对加权后的示范区内水源地特定 80 项的各项指标值进行计算, 得到各污染物计算结果到负理想解的相对接近度, 而后按比例折算为 10 分制下的分数, 以评估污染优先程度, 进而划分风险等级。

得分反映了污染物综合四项指标下的优先程度，0~2 分反映污染物的潜在环境风险低，2~4 分反映污染物的潜在环境风险较低，4~6 分反映污染物的潜在环境风险一般，6~8 分反映污染物的潜在环境风险较高，8~10 分反映污染物的潜在环境风险高，过程与结果见表 5 与图 5。

结果表明：锑的潜在环境风险高；镍、二氯甲烷、丙烯酰胺的风险比较高；钴、钛、硼、硫化物、阿特拉津、微囊藻毒素-LR、1,4-二氯苯、氯苯的风险一般；钒、钡、钼、甲苯的风险比较低；其余未检出特定项污染物风险低。锑虽未被收纳到致癌物清单 (IRAC)，但是所有断面均有检出锑，检出频率 100%，并且检出的锑浓度最大值为 4ug/L，最大超标率达 80%，这可能与一体化示范区内部分区域的纺织印染企业使用锑催化剂有关。而近年已发生多次突发锑污染事件，2014 年受锑超标影响，嘉善启动备用水源地，太浦闸紧急向下游增供清水，期间上游吴江实施限产、停产等措施。纺织印染业停产、限产在此后数次锑超标事件中成了常态应急措施，一旦发生锑超标事件，即对示范区内相关产业带来重创。应加强对特征性污染物锑的常态监测，有利于保障下游水源地安全和维护示范区相关产业抗风险能力。镍、二氯甲烷、丙烯酰胺有较强的致癌性，且在区域内有加工生产，2013 年曾发生过二氯甲烷超标事件，对示范区有较高的污染风险。

同前人在江苏、浙江、上海地区已开展的有关优先污染物筛选研究进行了比较分析，本文筛选出的二氯甲烷、镍与先前研究结果一致，均存在较高风险^[2, 12, 13, 14, 15]。但由于研究具有时空差异，先前研究对锑、丙烯酰胺等污染物的关注不够，而本文研究发现锑与丙烯酰胺均有较高的潜在环境风险，不仅是研究区域的特征性污染物，同时也应得到更多的重视。

表 5 一体化示范区检出污染物的风险排序结果

污染物	III类水标准 (mg/L)	平均检出率 (%)	最大超标率	空间分布	致癌性	到负理想解的相对接近度	得分
锑	≤0.005	100	0.8000	5	-	0.60191743	10
钴	≤1	100	0.0005	5	2B 类	0.40804990	6
钒	≤0.05	100	0.0542	5	-	0.27518981	4
镍	≤0.02	100	0.2000	5	2B 类	0.49064429	8
钡	≤0.7	100	0.0786	5	-	0.28178719	4
钼	≤0.07	100	0.0571	5	-	0.27593396	4
钛	≤0.1	100	0.2823	5	-	0.36836283	6
硼	≤0.5	100	0.1620	5	-	0.31135953	5
硫化物	≤0.2	83	0.1300	5	3 类	0.37465479	6
阿特拉津	≤0.003	100	0.0967	5	3 类	0.38061254	6
二氯甲烷	≤0.02	33	0.1400	5	2A 类	0.47018993	7
丙烯酰胺	≤0.0005	7	0.2840	2	2A 类	0.51257350	8
微囊藻毒素-LR	≤0.001	17	0.0119	5	2B 类	0.35000879	5
1,4-二氯苯	≤0.3	3	0.0032	1	2B 类	0.32918920	5

甲苯	≤ 0.7	17	0.0007	5	3 类	0.26525380	4
氯苯	≤ 0.3	13	0.0024	2	2B 类	0.33456109	5

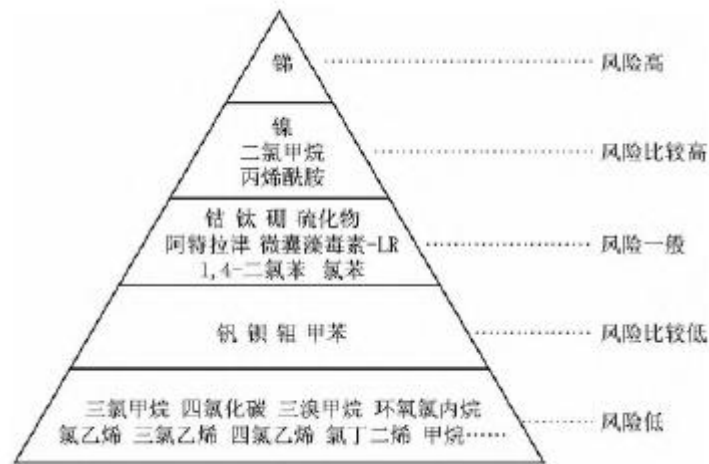


图 5 一体化示范区特定 80 项污染物风险等级评估结果

4 结论与讨论

4.1 结论

针对一体化示范区的跨界河流太浦河沿程的 6 个采样点位，开展为期两年每季度 1 次的全指标监测，在此基础上对一体化示范区除常规监测指标外的 80 项特定指标进行分析，为完善一体化示范区的水环境协同监测体系提供支持。

基于熵权法与 TOPSIS 法，从污染物的检出频率、空间分布、最大超标率及致癌性 4 个方面对一体化示范区的特定 80 项优先污染物筛选结果显示：镉的潜在环境风险高；镍、二氯甲烷、丙烯酰胺的风险比较高；钴、钛、硼、硫化物、阿特拉津、微囊藻毒素-LR、1,4-二氯苯、氯苯的风险一般；钒、钡、钼、甲苯的风险比较低；其余未检出特定项污染物风险低。

在长三角生态绿色一体化示范区统一标准、统一监管、统一执法的要求下，探讨三个行政区水环境监测差异，识别区域水环境监测优先污染物，对构建区域水环境协同监测体系具有重要意义。

4.2 讨论

结合本文研究结果，对长三角一体化示范区水环境监测体系完善提出以下建议：

(1) 完善监测指标与信息公开。

目前一体化示范区内公开的监测指标均在《地表水环境质量标准》规定的基本项目及补充项目范围以内，还需加强特征性污染物的监测公开。结合优先污染物筛选结果，可在现阶段水环境监管的基础上，从指标、频次等角度对特征性污染分等级提高监测要求与信息公开要求。

(2)加强协同监测和数据共享。

目前三地数据共享建设中,仍面临着数据缺乏可比较性、共享平台未充分耦合等问题。应当协调统一监测方法,使数据具有统一分析的基础。除手工监测数据外,统筹自动水质监测数据、水文数据、污染源数据等,为区域协调污染防治创造有利条件。整合各区域独立的水质数据管理平台,统筹技术支撑条件,提高数字化管理效率。

(3)健全一体化水环境预警体系。

促进两省一市与流域机构太湖流域管理局的协同作用,从流域的角度进行水质监管与预警,协调建立应急联动响应机制,同时加强预警系统与遥感监测技术智能化应用,切实保障示范区水质安全。当风险较高的污染物浓度超过一定限值时(如镉浓度超过4ug/L时),一体化示范区内三地相关部门应立即启动响应机制,为保障下游取水安全做好防控措施;另一方面,应结合太浦闸的应急水量调度机制,调整太浦闸下泄流量,提高水体自净能力,从而降低太浦河干流水环境风险。

参考文献:

- [1]杨梦杰,杨凯,李根,等.博弈视角下跨界河流水资源保护协作机制——以太湖流域太浦河为例[J].自然资源学报,2019,34(6):1232-1244.
- [2]徐庆.上海市饮用水源地优先控制有机污染物筛选[J].环境监测管理与技术,2014(2):56-59.
- [3]BRACK W,DULIO V,ÅGERSTRANDV M,et al.Towards the review of the european union water framework directive: Recommendations for more efficient assessment and management of chemical contamination in European surface water resources [J].Science of the Total Environment,2017,576:720-737.
- [4]王一喆,张亚辉,赵莹,等.国内外环境优先污染物筛选排序方法比较[J].环境工程技术学报,2018(4):456-464.
- [5]ZHOU S,DI P C,WU X,et al.Optimization of screening-level risk assessment and priority selection of emerging pollutants:The case of pharmaceuticals in European surface waters [J].Environment International,2019,128:1-10.
- [6]李奇锋,吕永龙,王佩,等.基于环境风险排序的流域优先污染物筛选[J].环境科学,2018,39(10):4472-4478.
- [7]徐青.饮用水源地优先控制污染物筛选研究[D].扬州:扬州大学,2015.
- [8]ESTAY-OSSANDON C,MENA-NIETO A,HARSCH N.Using a fuzzy TOPSIS-based scenario analysis to improve municipal solid waste planning and forecasting:A case study of Canary archipelago (1999-2030) [J].Journal of Cleaner Production,2018,176:1198-1212.
- [9]LI Z,YANG T,HUANG C S,et al.An improved approach for water quality evaluation:TOPSIS-based informative weighting and ranking (TIWR) approach [J].Ecological Indicators,2018,89:356-364.
- [10]王晓,逢勇,沈春其,等.太湖流域跨界水环境动态监测点位优化布局[J].水资源保护,2017,33(5):130-137.
- [11]陈雯,王珏,孙伟.基于成本—收益的长三角地方政府的区域合作行为机制案例分析[J].地理学报,2019,74(2):312-

- [12] 许秋瑾, 李丽, 梁存珍, 等. 淮安某县农村饮用水源中优控污染物的筛选研究[J]. 中国环境科学, 2013(4):631-638.
- [13] 胡冠九. 环境优先污染物简易筛选法初探[J]. 环境科学与管理, 2007(9):47-49.
- [14] 马道明. 扬中市饮用水中优先控制有机毒物筛选及防治对策研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2002.
- [15] 刘婕. 南方部分地区饮用水优先控制污染物筛选研究[D]. 北京: 中国疾病预防控制中心, 2016.
- [16] 汪嘉杨, 翟庆伟, 郭倩, 等. 太湖流域水环境承载力评价研究[J]. 中国环境科学, 2017, 37(5):1979-1987.
- [17] 周宏伟, 黄佳聪, 高俊峰, 等. 太湖流域太浦河周边区域突发水污染潜在风险评估[J]. 湖泊科学, 2019, 31(3):646-655.