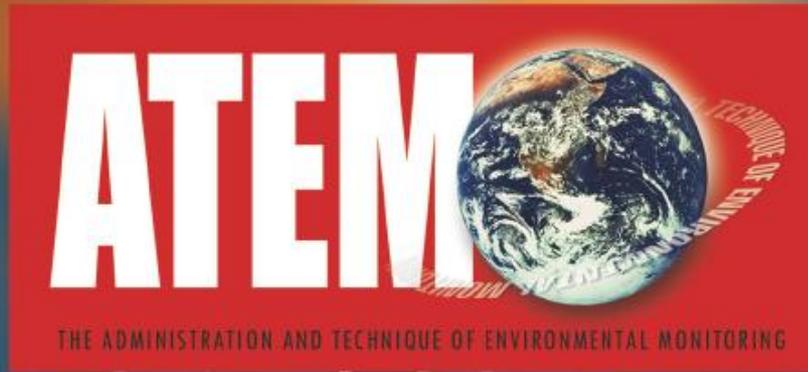


全国中文核心期刊 中国科技核心期刊 CSCD来源期刊 ISSN 1006-2009



5
2024.10 Vol36 No.5

环境监测管理与技术



江苏省环境监测中心 江苏省南京环境监测中心

全国中文核心期刊(2023)
中国科技核心期刊
中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊

顾问 蔡道基 魏复盛 李国刚 刘建琳 钱江
朱琦琦 张丹宁 陆雍森 陈怀满 郭晓萌

《环境监测管理与技术》第五届编委会
(按姓氏笔画排序)

主编 喻义勇
副主编 张哲海 徐荣
常务编委 李旭文 张迪生 胡冠九 谢继征
编委 卜现亭 王春 王合生 王体健 王国祥
王备新 吉文亮 朱法华 刘红年 许建华
李红莉 李金惠 杨丽莉 张涛 张后虎
张毅敏 陆继根 陈建江 邵敏 林玉锁
练鸿振 俞悟周 逢勇 姚成 骆永明
徐力刚 高彦征 傅大放 操家顺 鞠美庭
编辑部 姚朝英
主任

主管单位 江苏省生态环境厅
主办单位 江苏省环境监测中心
江苏省南京环境监测中心
学术支持 江苏省环境科学学会
单位 南京环境科学学会
编辑出版 《环境监测管理与技术》编辑部
地址 南京市中和路98号
邮政编码 210041
电话 (025)83701931
传真 (025)83336958
电子信箱 HJJS@chinajournal.net.cn
网络地址 http://hjjegl.cnjournals.net
印刷单位 江苏河海印务有限公司
发行范围 公开发行
中国标准连续出版物号 ISSN 1006-2009
CN 32-1418/X
广告发布登记通知书号 广登32010000080
定价 15.00元
封面设计 丁浩

目次

● 专论与综述

硫化铜矿酸性环境调节技术研究……蔡若妍,赵珠宇,谭力,等(1)

● 研究报告

青海湖温跃层特征及其影响因素研究……陶馨,刘扬,李呈燕,等(7)
基于机器学习的长株潭城市群PM_{2.5}重污染预报……李细生,喻雨知,杨芸芸,等(13)
2022年末安徽一次大气重污染过程特征及成因分析……张浩,于彩霞,杨关盈,等(20)

● 调查与评价

乌鲁木齐市城市化梯度带土壤粒度分布差异性研究……王宁,麦麦提吐尔逊·艾则孜,毛东雷,等(27)
吴淞江(江苏段)整治工程区生境质量评价……姚思佳,张叔,姜琳琳,等(34)
基于InVEST-MSPA的文山州区域生态网络构建……黄杰,黄义忠(41)

● 监测技术

基于快采快检的水质数字化系统设计及应用……陈鹏越,卞子奥,卞洪文(47)
基于无人机多光谱影像的城市河道水质反演……何炜琪,吴志杰,王紫安(51)
基于荧光免疫法的地表水中2,4-D原位快速检测……谭凌智,张琦,文幼成,等(56)
电芬顿去除垃圾渗滤液中COD运行条件的响应面法优化……梁鑫华,周欣然,袁辉,等(60)
医学理疗设备电磁辐射环境监测与评价……冯江平,黄仲明,马卫江,等(64)

● 创新与探索

氮素对丹江口水库典型硅藻生长和光合特性的影响……马甜莹,刘晓真,李园园,等(69)
重庆市生活垃圾处理碳排放及影响因素分析……傅俊越,周启刚,卢鹏(74)
有机-无机酸复合改性生物炭对3种抗生素的吸附……许京倩,宋点雨,李文斌,等(79)
真空紫外活化亚氯酸盐降解酸性红G的机理……朱先胜,唐玉朝,伍昌年,等(83)
· 启事 · (55)

· 监测技术 ·

基于快采快检的水质数字化系统设计及应用

陈鹏越¹, 郜子奥², 郜洪文^{1,2*}

(1. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092; 2. 上海绿帝环保科技有限公司, 上海 200092)

摘要: 基于快采快检技术和云数据库, 设计、开发了一套区域水质数字化系统, 利用便携式分析检测仪快速获取水质数据, 由 Wi-Fi 实现数据云传输, 在 C# 开发的可视化平台实现水质诊断和污染溯源等功能。将该系统用于朱家角古镇景区水体监测, 发现景区水质与降水量、游客活动量相关, 平水期水质均优于丰水期, 并用该系统对水体富营养化风险进行警示, 分析了采样点间水质特征的关联性。

关键词: 快采快检; 数字化系统; 水质评价; 污染溯源

中图分类号: X832 文献标志码: B 文章编号: 1006-2009(2024)05-0047-04

DOI: 10.19501/j.cnki.1006-2009.2024.05.008

Design and Application of A Digital System for Rapid Sampling and Determining Water Quality

CHEN Pengyue¹, GAO Ziao², GAO Hongwen^{1,2*}

(1. College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Shanghai Green Empire Environmental Protection S & T Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: A regional water quality digital system was designed and developed based on rapid sampling and determining technology and cloud database. The water quality data was quickly detected by portable analyzers and transmitted through Wi-Fi cloud communication, the functions such as water quality diagnosis and pollution tracing were realized on the visualization platform developed by C#. Applying this system to monitor the water in Zhujiajiao Ancient Town scenic zone, it was found that the water quality was related to precipitation and tourist activities, and the water quality in normal season was better than that in wet season. The system was used to warn the eutrophication risk of the water. The correlation of water quality characteristics among sampling sites was analyzed.

Key words: Rapid sampling and determining; Digital system; Water quality assessment; Pollution tracing

目前国内约有 2 000 个地表水国控断面自动监测站^[1], 考虑省、地市级的自动监测站, 全国共计有近万个固定监测站。随着物联网、大数据的快速发展, 水质数字化已成为推进生态文明建设的重要内容^[2]。水质数字化系统具有低建设与运行成本、密集布点、灵活调整监测项目等^[3-4]优点, 而现有自动监测站却不能满足其建设需求。研究人员采用 Wi-Fi^[5]、ZigBee^[6]、LoRa^[7] 等无线方式与传感器通信, 构建具有实时监测、显示及预警功能的系统。传感器监测设备虽然不断推新^[8], 但能成熟利用的传感器仅限于监测 pH 值、溶解氧 (DO)、电导率、浊度、水温等常规水质参数, 对于 COD、

TOC、总氮、总磷 (TP) 等重要指标, 其传感器利用仍处于试验探索阶段。

今设计、研发了一套“快采快检-云数据库-可视化平台”三位一体的区域水质数字化系统, 采用快采快检技术, 实现多种常规化学指标的快速检测, 并将检测数据即时传输至云数据库, 使可视化数字平台具有水质诊断、污染溯源等功能, 为水质

收稿日期: 2023-09-27; 修订日期: 2024-08-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (21577098)

作者简介: 陈鹏越 (1999—), 男, 浙江诸暨人, 硕士, 研究方向为环境监测与大数据平台。

* 通信作者: 郜洪文 E-mail: hwgao@tongji.edu.cn

— 47 —

数字化提供一条新的途径。

1 试验

1.1 主要仪器与试剂

GE Lab03 型便携式环保检测仪,由多功能分析检测仪与水样处理、测量等工具组成,仪器内置60项常规指标标准曲线,GE USB02+型遥控采水船,pH值、DO、氨氮(NH₃-N)、TP、高锰酸盐指数(I_{Mn})试剂盒,上海绿帝环保科技有限公司;有机玻璃采样器(0.5 L),宿州钜亿塑业有限公司。

1.2 系统设计

区域水质数字化系统由数据采集、数据传输、显示平台3个层级组成,工作流程见图1。数据采集是获取区域水质信息的直接手段^[9],通过快采快检获得各个断面的水质数据。快检即利用自主研发的便携式多功能分析检测仪和长效试剂盒^[10-11],3 h内便可完成对8个~12个采样断面的6项指标的快速检测。数据传输是通过检测仪内置的App程序实现水质数据从检测仪到云数据库的一键传输。具体而言,利用Spring框架下的JDBC模块,将水质数据传输至云端MySQL数据库,由C#编译的显示平台通过SQL语言调用云数据库中的水质信息,实现水质可视化诊断、污染溯源等。此外,通过GMap.NET开源地图库和Winform的Chart控件显示监测点位地图分布,并展示对应监测点的水质可视化诊断结果。

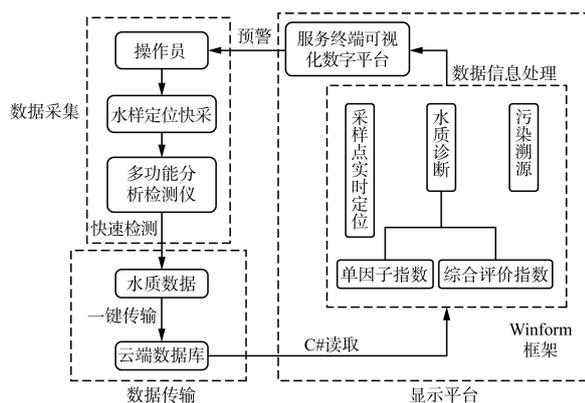


图1 系统工作流程

Fig. 1 System workflow

1.3 方法与测定

以朱家角古镇景区(E121°2'51"~E121°3'18", N31°6'31"~N31°6'37")水体为研究区域。两条

河流将景区分为4个区域,淀浦河两侧分别是南、北漕港河。采样监测点沿水流方向布设,将便于采样的水闸、桥梁设为采样点位,景区水体共布设11个采样点(见图2),1号和2号采样点通过遥控采水船采样,其余采用桥上吊采。采样频率为每周二三次(含周末1次)。

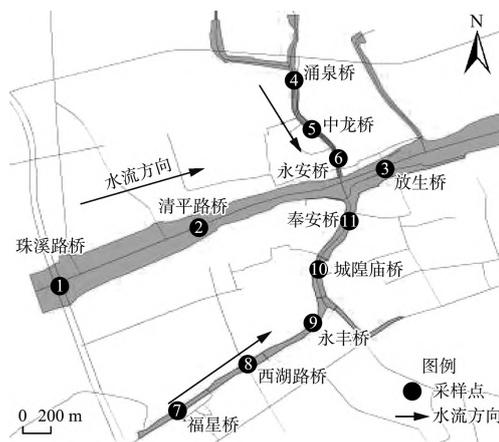


图2 采样点分布

Fig. 2 Distribution of sampling sites

选取透明度(SD)、pH值、DO、NH₃-N、TP、I_{Mn}为监测项目,采用标准试剂盒法,样品显色后置于多功能分析检测仪内实现快速检测,当天采样、检测并传输数据。SD采用一种透明度等效测光法,该等效测光法与塞氏盘法结果一致,且灵敏度、精密度更高。DO试剂盒是基于Mn-EDTA分光光度法^[12]配制而成。pH值、NH₃-N、TP、I_{Mn}试剂盒分别基于《化学试剂 酸度和碱度测定通用方法》(GB/T 9736—2008)《水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法》(HJ 535—2009)《水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法》(GB 11893—89)《水质 高锰酸盐指数的测定》(GB 11892—89)配制。

1.4 水质可视化诊断

参考《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002),采用单因子指数法评价水质偏离正常功能的程度。NH₃-N、TP、I_{Mn}指标按式(1)计算,SD和DO按式(2)计算。SD按对应的浊度计算。pH值用 $I = 10\Delta\text{pH}/1.5 - 1$ 计算对应的单因子指数,其中 $\Delta\text{pH} = |\text{pH} - 7.5|$ 。依据特征污染物(最大 $I_{i,j}$ 值对应的检测指标),将水质诊断分为4个等级:正常($I_{\text{max}} < 1$)、超标($1 \leq I_{\text{max}} < 3$)、预警($3 \leq I_{\text{max}} < 9$)及危险($I_{\text{max}} \geq 9$),分别对应绿、黄、红、黑色标记符。

$$I_{i,j} = C_{i,j} / C_s \quad (1)$$

$$I_{i,j} = C_s / C_{i,j} \quad (2)$$

式中: i 为采样点位; j 为检测项目; $C_{i,j}$ 为 i 点 j 指标的检测值, mg/L 或 m^{-1} ; C_s 为对应的水质标准或限值(本研究采用Ⅲ类标准)。

综合水质指数法(WQI)是当前普遍使用的一种地表水质污染状态评价方法,不依赖于水质规划等级和功能要求,更适用于不同水体的比较性水质评价。选取DO、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP、 I_{Mn} 、SD指标,按式(3)结合地表水质量标准计算各个采样点的WQI值。依据WQI值将水质分为4个等级:优良($\text{WQI} \geq 70$)、一般($50 \leq \text{WQI} < 70$)、较差($25 \leq \text{WQI} < 50$)、很差($\text{WQI} < 25$),分别对应绿、黄、红、黑色标记符。

$$\text{WQI} = \left(\sum_{i=1}^n C_i P_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n P_i \right) \quad (3)$$

式中: n 为参数总数; C_i 为赋值给参数 i 的归一化值^[13-15]; P_i 为参数 i 的相对权重。

2 结果与讨论

2.1 平台运行整体效果

本系统于2023年4月16日—8月24日在朱家角古镇景区水体运行,共采样检测39次。4个月内系统运行平稳、各功能模块工作正常,水质数据上传后能即刻在平台上更新。平台工作图涵盖采样当日11个采样点、6个检测项目(SD、pH值、DO、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP及 I_{Mn})的检测数据,同时包含各指标的河流沿程变化曲线、时间变化曲线,“超标”及以下采样点的特征污染物变化趋势。当水质等级低于“预警”时,平台自动进行预警播报。平台还实现了单因子指数法和WQI法相互切换,达到功能设计的目标要求,界面直观,交互友好。

2.2 污染预警与溯源

在系统运行过程中,发现景区水质与游客量相关性高。平台高风险点10次变化趋势分别见图3(a)(b)。由图3(a)可见,五一期间(4月29日—5月4日),游客量显著增加,游船、沿岸餐馆活动增多,导致永安桥、城隍庙桥、泰安桥等采样点SD值降低,5月2日仅为0.3 m左右,这可能是游船扰动底泥所致(4号—6号、9号—11号点位为游船途经采样点)。由图3(b)可见,水体 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 I_{Mn} 值持续升高,5月2日达到峰值, I_{Mn} 与 $\text{NH}_3\text{-N}$ 值的同时上升印证了景区水质变化与沿岸饭店污水泄

漏、游客活动相关。

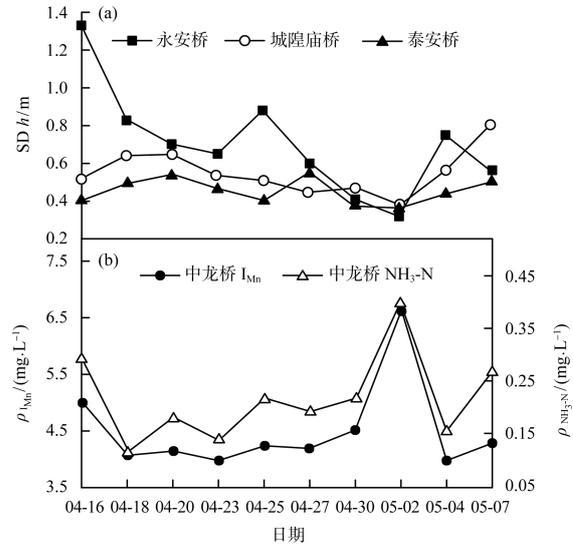


图3 平台高风险点变化

Fig. 3 Changes in high-risk points on the platform

以3号放生桥采样点水质数据为例,5—8月 $\text{NH}_3\text{-N}$ 值呈跳跃变化,可能与水体涨落潮相关,高点浓度与降水、游客量相关。7月中旬连续大雨使地表径流增大,放生桥水体 $\text{NH}_3\text{-N}$ 也达峰值,约0.4 mg/L。降水量大, $\text{NH}_3\text{-N}$ 值明显上升,可能是地表径流将面源污染物带入水体所致。在12次周末采样中,9次 $\text{NH}_3\text{-N}$ 值较前一次测定值升高,游客增多会使 $\text{NH}_3\text{-N}$ 值小幅上升,即可能存在沿岸饭店污水漏排现象。

5—6月,TP值呈缓慢上升趋势,低于0.05 mg/L。自7月中旬起,TP值显著升高,7月末、8月初TP值超过0.1 mg/L,之后在0.1 mg/L~0.24 mg/L范围内呈跳跃性变化。高点TP值均与强降水密切相关。自7月中旬以来,上海暴雨频发,降水量增大,地表径流增加使土壤中面源磷流入水体。同时夏季水温上升,加速了沉积物中磷的释放^[16],多种因素综合影响使放生桥区域水体TP值在7月中旬后快速升高。平台高风险点近10次检测变化趋势显示,7月中旬以来,淀浦河的珠溪路桥采样点TP值也逐步上升,8月13日TP值首次超过限值(0.2 mg/L),水体富营养化程度加重,提示管理人员存在水华发生的风险。8月20日暴雨,地表径流明显增大,8月24日在1号—4号采样点附近水体观察到大面积蓝藻暴发现象,该实际情况印证了平台水华警示的可靠性。

2.3 古镇景区水质时空变化规律

2.3.1 平水期与丰水期水质变化规律

选取平水期(4月16日—5月16日)与丰水期(7月16日—8月17日)的水质数据进行比对分析,见表1。由表1可知,景区水体丰水期的pH值、DO及SD较平水期均明显降低,NH₃-N、TP及I_{Mn}值明显升高,即各采样点水质变差,可能是受降水量、高温、面源污染等因素综合影响。

2.3.2 水质指标数据的空间聚类分析

选取平水期水质指标平均值(见表1),利用R语言对采样点地理位置与其水质数据进行空间约束的层次聚类分析^[17]。聚类结果将采样点分为4组:1号—3号、4号—6号、7号—8号及9号—11号点位。结果与实际相符:1号—3号点位属于淀浦河,4号—6号点位属于北漕港河段,9号—

11号点位属于南漕港河段,7号—8号点位为景区附近的居民区,与河流区域划分一致。根据聚类结果,利用SPSS与R对水质数据进行主成分分析^[18],探究水质指标间的关联,结果见表2。

由表2可知,前两个主成分的累积贡献率^[19]为87.3%,可反映水质数据差异的主要信息。其中,SD对样本方差贡献最大,即对水质数据变异的影响最大^[20]。SD、NH₃-N及I_{Mn}与第一主成分呈正相关,其余指标与第一主成分呈负相关,可将第一主成分解释为水体受污染程度,NH₃-N、I_{Mn}及SD是主要污染指标。TP、NH₃-N与第二主成分呈正相关,第二主成分可解释为水体富营养化程度。此外,SD与NH₃-N、SD与I_{Mn}、pH值与DO呈正相关,而NH₃-N与DO、SD与DO、TP与SD则呈负相关。

表1 水质指标平均值

Table 1 Average of water quality indicators

采样点	SD h/m		pH值		$\rho_{DO}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		$\rho_{\text{NH}_3\text{-N}}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		$\rho_{\text{TP}}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		$\rho_{\text{I}_{\text{Mn}}}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	
	平水期	丰水期	平水期	丰水期	平水期	丰水期	平水期	丰水期	平水期	丰水期	平水期	丰水期
1号	0.528	0.44	7.88	7.82	7.79	7.40	0.178	0.205	0.037	0.145	4.05	4.46
2号	0.502	0.489	7.89	7.75	8.39	7.56	0.168	0.211	0.037	0.126	4.09	4.56
3号	0.621	0.439	7.84	7.70	8.81	8.04	0.190	0.245	0.031	0.151	4.09	4.19
4号	1.06	0.849	7.76	7.57	7.40	6.96	0.192	0.305	0.019	0.115	4.26	4.29
5号	0.727	0.679	7.74	7.52	8.48	6.86	0.216	0.400	0.029	0.142	4.42	4.32
6号	0.685	0.628	7.78	7.52	7.75	7.55	0.205	0.304	0.034	0.137	4.27	4.46
7号	1.37	0.74	7.68	7.50	6.82	7.08	0.432	0.515	0.025	0.181	4.32	4.92
8号	1.20	0.55	7.67	7.48	7.13	7.22	0.508	0.603	0.029	0.176	4.29	4.48
9号	0.949	0.583	7.67	7.44	7.30	7.17	0.411	0.598	0.034	0.179	4.26	4.59
10号	0.683	0.41	7.74	7.55	7.85	8.11	0.277	0.413	0.042	0.162	4.07	4.19
11号	0.517	0.368	7.82	7.55	8.28	7.91	0.204	0.362	0.043	0.135	3.94	4.14

表2 主成分分析结果

Table 2 Results of principal component analysis

指标	主成分	
	PC1	PC2
SD	0.971	-0.02
pH值	-0.903	-0.217
DO	-0.836	0.285
NH ₃ -N	0.835	0.472
TP	-0.676	0.68
I _{Mn}	0.772	-0.459
特征值	4.2	1
贡献率/%	70.2	17.1

3 结语

本系统基于快采快检获取水质数据,通过数据传输、存储及提取,显示于C#开发的可视化平台,具有水质诊断和污染溯源等功能,在朱家角古镇景

区实现了4个月的连续水质数字化监测与管理。同时,平台实现了对景区水体富营养化风险的警示。该水质数字化系统调用卫星地图实时定位,不需要实地构建3D模型,且可随时更换采样点、检测指标,灵活应对水环境应急监测,也适用于区(流)域水质长期变化规律研究,为区域水质数字化管理提供科学依据和技术支撑。

[参考文献]

- [1] 张振萍,龚长凌,李永蓉,等.国家地表水水质自动监测站运维管理体系标准化建设探讨[J].环境保护与循环经济,2022,42(11):65-68.
- [2] 陈玲,王颖,鄢洪文.现代环境分析技术[M].3版.北京:科学出版社,2023:408.

(下转第73页)

- 530-539.
- [4] 李强,张芹,南红岩.典型硅藻生长相关因素的灰色关联度研究与模型[J].环境监测管理与技术,2017,29(4):19-22.
- [5] 蒋鑫艳,李畅游,史小红,等.乌梁素海叶绿素 a 的时空分布及其与环境因子的关系[J].生态环境学报,2019,28(5):964-973.
- [6] 郑传坤,刘晓真,李卫国,等.不同氮素对冠盘藻生长和光合荧光特性的影响[J].水生态学杂志,2023,44(1):131-138.
- [7] ZHANG C X, HE Y X, LI W G, et al. High-throughput sequencing of diatom community, its spatial and temporal variation and interrelationships with physicochemical factors in Danjiang-kou Reservoir, China[J]. Water, 2022, 14(10):1609.
- [8] GUO X M, ZHANG Q M, ZHAO T Q, et al. Fluxes, characteristics and influence on the aquatic environment of inorganic nitrogen deposition in the Danjiangkou reservoir[J]. Ecotox Environ Safe, 2022, 241:113814.
- [9] 赵康平,杨文杰,沙健,等.丹江口水库水体营养状态空间特征分析[J].环境科学与技术,2020,43(3):51-58.
- [10] 王英华,陈雷,牛远,等.丹江口水库浮游植物时空变化特征[J].湖泊科学,2016,28(5):1057-1065.
- [11] 贺玉晓,郑永坤,李卫国,等.丹江口水库早春真核浮游植物群落结构特征及其与环境因子的关系[J].环境科学学报, 2021, 41(6):2192-2200.
- [12] 张芹,李强,南红岩.多因素综合作用对铜绿微囊藻生长的影响[J].环境监测管理与技术,2017,29(5):51-55.
- [13] 孟鸽,黄罗冬,高保燕,等.氮源类型和水平对3株球状绿藻生长、油脂和花生四烯酸积累的影响[J].微生物学通报, 2018, 45(12):2624-2638.
- [14] 蒋汉明,高坤山.氮源及其浓度对三角褐指藻生长和脂肪酸组成的影响[J].水生生物学报,2004,28(5):545-551.
- [15] SHEN R R, REN H Y, YU P, et al. Benthic diatoms of the Ying River (Huaihe River Basin, China) and their application in water trophic status assessment [J]. Water, 2018, 10(8):1013.
- [16] ANDERSEN I M, WILLIAMSON T J, GONZÁLEZ M J, et al. Nitrate, ammonium, and phosphorus drive seasonal nutrient limitation of chlorophytes, cyanobacteria, and diatoms in a hyper-eutrophic reservoir [J]. Limnology and Oceanography, 2019, 65(5):962-978.
- [17] LOMAS M W, GLIBERT P M. Comparisons of nitrate uptake, storage, and reduction in marine diatoms and flagellates [J]. Journal of Phycology, 2000, 36(5):903-913.
- [18] 姜丽莉,张忠学,郑恩楠,等.不同氮肥条件下水稻产量和叶片荧光参数差异性分析[J].灌溉排水学报,2018,37(10):75-80.
- [19] JÄRVI S, SUORSA M, ARO E M. Photosystem II repair in plant chloroplasts—Regulation, assisting proteins and shared components with photosystem II biogenesis [J]. Biochimica et Biophysica Acta Bioenergetics, 2015, 1847(9):900-909.

(上接第50页)

- [3] 王雪娇,徐晋,杨勇,等.新型环境监测仪器户外小型水质自动监测站性能研究[J].中国环境监测,2021,37(6):214-220.
- [4] 吴琳琳,侯嵩,孙善伟,等.水生态环境物联网智慧监测技术发展及应用[J].中国环境监测,2022,38(1):211-221.
- [5] 董浩,廉小亲,王晓冰,等.基于物联网的水质监测系统的设计与实现[J].测控技术,2018,37(2):105-109.
- [6] 何建强,韩美林.基于物联网技术的丹江流域水质监测预警系统设计[J].自动化与仪表,2022,37(6):84-89.
- [7] 王战备,冯金松,孙朝阳.基于物联网的汉江水环境参数监测系统设计[J].科学技术与工程,2022,22(35):15681-15687.
- [8] 刘毅,房景辉,邹健,等.基于物联网的小型太阳能浮标式水质监测系统在海参池塘养殖中的应用[J].山东农业科学, 2016, 48(9):136-141.
- [9] 朱华,陈倩,刘宏舒,等.场地污染监测预警与决策一体化系统的设计与实现[J].环境监测管理与技术,2023,35(4):40-44.
- [10] 郜子蕙,郜洪文,刘升,等.一种手机控制操作的水质检测仪及其检测方法:CN113218938A[P].2021-08-06.
- [11] MCLAREN K. The development of the CIE 1976 ($L^* a^* b^*$) uniform colour space and colour-difference formula [J]. Journal of the Society of Dyers and Colourists, 1976, 92(9):338-341.
- [12] 柯素云,谌敦伦. EDTA 光度法测定水中溶解氧 [J]. 四川师范学院学报(自然科学版), 1991, 12(2):201-205.
- [13] 万军芳,郭新超,胡恩,等.基于 WQI 和 TLI 的渭河关中流域城市典型坝控景观河道水质评价 [J]. 环境工程, 2022, 40(2):66-70.
- [14] NONG X, SHAO D, ZHONG H, et al. Evaluation of water quality in the South-to-North Water Diversion Project of China using the water quality index (WQI) method [J]. Water Research, 2020, 178:115781.
- [15] VAROL M, TOKATLI C. Evaluation of the water quality of a highly polluted stream with water quality indices and health risk assessment methods [J]. Chemosphere, 2023, 311(2):137096.
- [16] 吴江,李俊杰,白雪. 闽海湿地叶绿素 a 季节变化特征及其与环境因子的关系 [J]. 环境监测管理与技术, 2023, 35(3):34-38.
- [17] GUÉNARD G, LEGENDRE P. Hierarchical clustering with contiguity constraint in R [J]. Journal of Statistical Software, 2022, 103(7):1-26.
- [18] OZLU E, SANDHU S S, KUMAR S, et al. Soil health indicators impacted by long-term cattle manure and inorganic fertilizer application in a corn-soybean rotation of South Dakota [J]. Scientific Reports, 2019, 9(1):11776.
- [19] 喻兰君,杨明龙,吕杰,等.星云湖流域生态环境质量时空变化评价 [J]. 环境监测管理与技术, 2023, 35(6):35-41.
- [20] 李凤林,向思敏,李静,等.基于顶空-气相色谱-离子迁移谱法分析不同类型精酿啤酒的挥发性香气成分 [J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(7):305-314.