

## 太湖典型水源地挥发性有机物与环境因子的关系

许志波<sup>1</sup>, 杨仪<sup>1</sup>, 卞莉<sup>1</sup>, 蔡琨<sup>2</sup>

(1. 江苏省苏力环境科技有限责任公司, 江苏南京 210036; 2. 江苏省环境监测中心, 江苏南京 210036)

**摘要** 在太湖渔洋山水源地建立水质自动监测系统, 于2018年4月—2019年3月进行为期1年的挥发性有机物(VOCs)与环境因子(温度、pH、电导率、浊度、溶解氧、氨氮、总氮、总磷、高锰酸盐指数、总有机碳、叶绿素 a、蓝绿藻)监测, 监测频次为每4 h 1次。筛选检出率较高的3种VOCs(二氯甲烷、苯乙烯、萘), 并分析这3种VOCs与环境因子的相关关系。结果表明, 2018年4月—2019年3月研究水域内苯乙烯、萘浓度呈现逐月降低的趋势, 变化趋势基本一致, 二氯甲烷浓度呈现先上升后下降的趋势。二氯甲烷与环境因子没有表现出较强的相关性, 苯乙烯与pH表现出较强的正相关性, 萘与水温、电导率表现出较强的正相关性, 萘与溶解氧、高锰酸盐指数表现出较强的负相关性, 苯乙烯与萘表现出较强的正相关性。水体降温和底泥固定(沉水植物生态修复)将是有效降低湖泊水体VOCs浓度的方法。

**关键词** 挥发性有机物(VOCs); 萘; 苯乙烯; 二氯甲烷; 环境因子; 太湖

**中图分类号** X524 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2020)05-0078-04

**doi**: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.05.021

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Relationship between Volatile Organic Compounds and Environmental Factors in Typical Water Sources of Taihu Lake

XU Zhi-bo, YANG Yi, BIAN Li et al (Jiangsu Suli Environmental Science and Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 210036)

**Abstract** An automatic water quality monitoring system was established in the YuYang-Mountain water source area of Taihu Lake to monitor volatile organic compounds (VOCs) and environmental factors (temperature, pH, conductivity, turbidity, dissolved oxygen, ammonia nitrogen, total nitrogen, total phosphorus, permanganate index, total organic carbon, chlorophyll a, blue-green algae) for a period of one year from April 2018 to March 2019, and the monitoring frequency was 1 time every 4 hours. Three kinds of VOCs with high detection rate were screened: dichloromethane, styrene and naphthalene, and the correlation between these three kinds of VOCs and environmental factors was analyzed. The results showed that from April 2018 to March 2019, the concentration of styrene and naphthalene in the study waters showed a monthly decreasing trend, and the variation trend was basically the same, while the concentration of dichloromethane showed a trend of first increasing and then decreasing. There was no strong correlation between dichloromethane and environmental factors; styrene and pH showed a strong positive correlation; naphthalene showed a strong positive correlation with water temperature and electrical conductivity; naphthalene showed a strong negative correlation with dissolved oxygen and permanganate index; styrene and naphthalene showed a strong positive correlation. Water cooling and sediment fixation (submerged plant ecological restoration) are the effective methods to reduce VOCs concentration in lake water.

**Key words** Volatile organic compounds (VOCs); Naphthalene; Styrene; Dichloromethane; Environmental factors; Taihu Lake

挥发性有机化合物(VOCs), 美国 ASTM D3960—98 标准将其定义为任何能参加大气光化学反应的有机化合物; 美国联邦环保署(EPA)将其定义为除 CO、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>、金属碳化物、金属碳酸盐和碳酸铵外, 任何参加大气光化学反应的碳化合物。世界卫生组织对挥发性有机化合物定义为熔点低于室温而沸点在 50~260 °C 的有机化合物。目前随着检测技术的发展, 越来越多的 VOCs 在地表水(河流、湖泊、水源地)被检出。含有 VOCs 的饮用水摄入人体后, 具有致畸形、致突变、致癌变的潜在危害性, 还可对肝脏、肾脏、免疫系统、神经系统、生殖系统造成损害<sup>[1-4]</sup>。

饮用水水源地 VOCs 含量的检测已经成为研究热点<sup>[5-9]</sup>, 但 VOCs 与环境因子的关系目前还鲜有报道, 笔者选取太湖典型水源地为研究区域, 采用连续在线监测方法解析 VOCs 和环境因子的相关关系, 为水源地 VOCs 的治理提供技术支撑。

## 1 材料与方法

**1.1 研究区概况** 研究区域位于太湖渔洋山水源地二级保护区水域(图 1), VOCs 和环境因子连续在线监测系统(水质

自动监测系统)位于水源地湖滨——江苏省太湖野外水质与蓝藻综合观测站(31.230 659°N, 120.368 971°E)。



图 1 太湖取样点示意图

Fig. 1 Sampling point location of Taihu Lake

## 1.2 研究方法

**1.2.1 水质自动监测系统。**该系统主要包括采水单元、预

**基金项目** 江苏省环境监测科研基金项目(1718)。

**作者简介** 许志波(1986—), 男, 山东威海人, 工程师, 硕士, 从事环境监测与管理工作的。

**收稿日期** 2019-09-25

处理单元、配水单元、控制单元、配电单元、数据采集和通讯单元、自动监测仪器等。自动监测仪器监测指标包括温度(WT)、pH、电导率(EC)、浊度(TUB)、溶解氧(DO)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、总氮(TN)、总磷(TP)、高锰酸盐指数(COD<sub>Mn</sub>)、总有机碳(TOC)、叶绿素 a(Chl. a)、蓝绿藻(BGA)和水中 54 种挥发性有机物(VOCs)。

表 1 水质自动监测系统监测指标、监测方法及参考标准

Table 1 Monitoring indexes, methods and reference standards of automatic water quality monitoring system

监测指标 Monitoring indexes	品牌 Brand	型号 Type	监测方法 Monitoring methods	参考标准 Reference standards
水温 Water temperature	德国 WTW	IQ Sensor Net	温度传感器法	GB 13195—91
电导率 EC	德国 WTW	IQ Sensor Net	电导池法	HJ/T 97—2003
pH	德国 WTW	IQ Sensor Net	玻璃电极法	GB 6920—86
浊度 Turbidity	德国 WTW	IQ Sensor Net	光散射法	GB 13200—91
溶解氧 DO	德国 WTW	IQ Sensor Net	电化学探头法	GB 11913—89
氨氮 NH <sub>3</sub> -N	德国 WTW	UNO A111	氨气敏电极法	水和废水监测分析方法(第四版)
总氮 TN	日本岛津	TNP-4110	碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法	HJ 636—2012
总磷 TP	日本岛津	TNP-4110	钼酸铵分光光度法	GB 11893—89
高锰酸盐指数 COD <sub>Mn</sub>	德国科泽	K301	酸性高锰酸钾滴定法	GB 11892—89
总有机碳 TOC	日本岛津	TOC-4100	燃烧氧化-非分散红外吸收法	HJ 501—2009
叶绿素 a Chl. a	美国哈希(HACH)	Hydrolab DS5	荧光法	参考文献[10-11]
蓝绿藻 BGA	美国哈希(HACH)	Hydrolab DS5	荧光法	参考文献[10-11]
挥发性有机物 VOCs	美国 INFICON	HAPSITE	吹扫捕集/气相色谱-质谱法	HJ 639—2012

**1.2.3 在线 GC-MS 检测仪。**仪器型号为便携式 HAPSITE 气相色谱/质谱仪(Inficon 公司),经过改造后实现 VOCs 在线连续监测。主要部件包括吹扫系统、GC-MS 主机、真空泵、采样杯等(图 2)。分析过程为:水质自动监测系统中配水单元将水样通过水管引入采样杯中,多余的水通过溢流口排出,无需对水样进行其他预处理或过滤,采样频次为每 4 h 1 次。之后通入氮气,当氮气气泡上升时,一部分 VOCs 被氮气吹脱从水相转入气相,仪器内置采样泵会把吹扫出来的 VOCs 富集到仪器的浓缩管里,然后经过高温解析进入气相色谱(GC)进行分离分析,最后通过质谱监测器(MS)检测<sup>[12]</sup>。检测条件及具体方法见参考文献[12]。

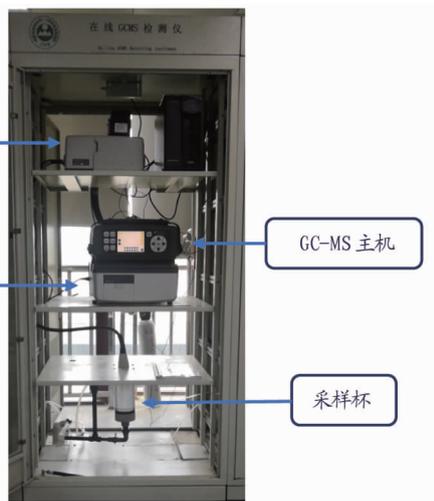


图 2 在线 GC-MS 检测仪

Fig. 2 On-line GC-MS detector

**1.2.2 监测方法。**该系统监测频率为每 4 h 1 次,每隔 4 h 控制单元发出采水指令,潜水泵将太湖原水抽至预处理单元,沉降 30 min 后,再将水由配水单元分配至各个仪器进行水质分析,最终分析结果通过数据采集和通讯单元上传至网络数据监控平台。监测指标、监测方法及参考标准如表 1 所示。

**1.2.4 数据分析方法。**水质自动监测系统在 2018 年 4 月 1 日—2019 年 3 月 31 日连续运行 1 年,挥发性有机物共检出 36 种,分别为 1,1-二氯乙烯、二氯甲烷、反 1,2-二氯乙烯、1,1-二氯乙烷、顺 1,2-二氯乙烯、溴氯甲烷、2,2-二氯丙烷、1,2-二氯乙烷、1,1,1-三氯乙烷、苯、二溴甲烷、1,2-二氯丙烷、一溴二氯甲烷、三氯乙烯、顺式-1,3-二氯-1-丙烯、1,3-二氯丙烷、乙苯、间二甲苯 & 对二甲苯、三溴甲烷、苯乙烯、邻二甲苯、对称四氯乙烷、1,2,3-三氯丙烷、(1-甲基乙基)-苯(异丙苯)、溴苯、特-丁基苯、1,2,4-三甲基苯、(1-甲基丙基)-苯(仲-丁苯)、1-甲基-4-(1-甲基乙基)-苯(对-异丙苯)、邻二氯苯、丁基苯、1,2-二溴-3-氯丙烷、1,2,3-三氯苯、萘、1,2,4-三氯苯、1,1,2,3,4,4-六氯-1,3-丁二烯,这 36 种挥发性有机物均未超出《地表水环境质量标准 GB 3838—2002》规定的标准限值。选择其中检出率较高的 3 种典型挥发性有机物(二氯甲烷、苯乙烯、萘),采用 SPSS 17.0 软件中的皮尔森相关系数分析方法,分析二氯甲烷、苯乙烯、萘和 WT、pH、DO、EC、TUB、COD<sub>Mn</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TP、TN、TOC、Chl. a、BGA 之间的相关关系。

## 2 结果与分析

**2.1 二氯甲烷、苯乙烯、萘浓度逐月变化** 从图 3 可以看出,2018 年 4 月—2019 年 3 月研究水域内苯乙烯、萘浓度呈现逐月降低的趋势,变化趋势基本一致;二氯甲烷浓度呈现先上升后下降的趋势。苯乙烯月均值为 0.030~0.118 μg/L,萘浓度月均值为 0.614~8.835 μg/L,二氯甲烷月均值为 0.076~0.418 μg/L。

**2.2 二氯甲烷、苯乙烯、萘与环境因子相关关系** 从表 2 可以看出,二氯甲烷、苯乙烯、萘 3 种不同挥发性有机物在水中

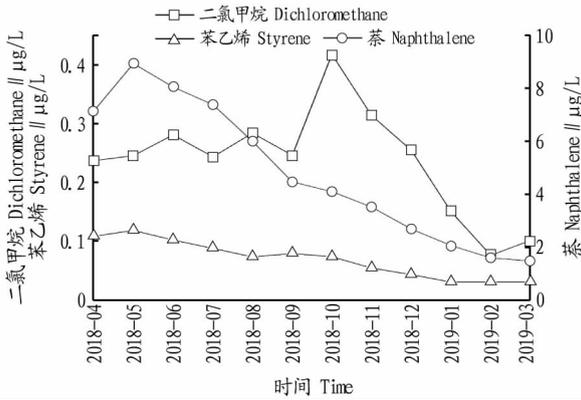


图3 研究区内二氯甲烷、苯乙烯、萘浓度逐月变化

Fig. 3 Monthly changes of the concentration of dichloromethane, styrene and naphthalene in the study area

的浓度与环境因子相关关系表现出不同的特征。二氯甲烷与环境因子没有表现出较强的相关性,苯乙烯与pH表现出较强的正相关性,萘与WT、EC表现出较强的正相关性,萘与DO、COD<sub>Mn</sub>表现出较强的负相关性,苯乙烯与萘表现出较强的正相关性。

选取  $P$  在 0.01 水平上显著相关且绝对值较大的  $r$  值做出散点图并进行线性拟合,见图 4。从图 4a 可以看出,水体中萘浓度与 WT 呈现较强的正相关关系,WT 越低,水体中萘浓度越低且波动范围较窄;WT 越高,水体中萘浓度越高且波

动范围较大。说明水体中萘浓度在低水温(5~10℃)时,受 WT 影响较大,水体中萘浓度在高水温(20~30℃)时,受 WT 的影响较小。从图 4b 可以看出,水体中萘浓度与 DO 呈现较强的负相关关系,因为 DO 与 WT 是存在负相关关系,因此可以推导出此结论。从图 4d 可以看出,水体中萘浓度与 EC 总体呈现较强的正相关关系,因 EC 与 WT 存在正相关关系(WT 越大,水的电离度越大,即 EC 越大),所以可以推导出此结论。图中的大部分散点较为集中,少部分散点分布于左侧,说明在较低的 EC 情况下,受其他因素影响,萘浓度存在升高的可能。从图 4e 可以看出,水体中萘浓度与 COD<sub>Mn</sub> 呈现负相关关系,当 COD<sub>Mn</sub> 处于较低浓度(<4 mg/L)时,萘浓度波动范围较大,当 COD<sub>Mn</sub> 处于较高浓度(>5 mg/L)时,萘浓度波动较低,即水体中 COD<sub>Mn</sub> 浓度越高,萘浓度越低。COD<sub>Mn</sub> 是反映水体有机污染物含量的指标且萘可被酸性高锰酸钾氧化,按常理 COD<sub>Mn</sub> 应与萘呈现正相关关系,因此二者的负相关关系原因有待进一步研究。从图 4c 可以看出,水体中苯乙烯浓度与 pH 呈现正相关关系,当 pH 较大(>8.5)时,水体中苯乙烯浓度越大。从图 4f 可以看出,水体中苯乙烯浓度与萘呈现正相关关系,因该水源地附近停靠有少量渔船,其 VOCs 主要来源为渔船发动机燃烧柴油所产生的污染物,而苯乙烯和萘均为柴油燃烧的主要产物<sup>[13]</sup>,且二者均为苯系物,因此二者呈现正相关关系。

表2 二氯甲烷、苯乙烯、萘和环境因子的相关关系矩阵

Table 2 Correlation matrix of dichloromethane, styrene, naphthalene and environmental factors

因子 Factor	WT	pH	DO	EC	TUB	COD <sub>Mn</sub>	NH <sub>3</sub> -N	TP	TN	TOC	Chl. a	BGA	二氯甲烷 Dichloro- methane	苯乙烯 Styrene
pH	-0.35**													
DO	-0.96**	0.43**												
EC	0.68**	-0.05*	-0.67**											
TUB	-0.13**	0.11**	0.08**	0.17**										
COD <sub>Mn</sub>	-0.54**	-0.08**	0.49**	-0.28**	0.55**									
NH <sub>3</sub> -N	-0.19**	0.12**	0.16**	-0.03	0.20**	0.01								
TP	-0.18**	0.09**	0.14**	0.07**	0.89**	0.65**	0.09**							
TN	-0.11**	0.50**	0.10**	0.18**	0.67**	0.32**	0.04	0.67**						
TOC	-0.16**	0.31**	0.17**	-0.01	0.26**	0.17**	-0.03	0.29**	0.33**					
Chl. a	0.07**	-0.03	-0.08**	-0.03	0.01	0.11**	-0.22**	0.02	0.06*	-0.07**				
BGA	0.15**	0.13**	-0.15**	0.32**	0.30**	0.03	0.10**	0.27**	0.34**	0.09**	-0.06*			
二氯甲烷 Dichloromethane	0.15**	-0.05	-0.17**	0.19**	-0.07*	-0.09*	0.20**	-0.05	-0.17**	-0.01	-0.21**	0.09**		
苯乙烯 Styrene	0.16**	0.46**	-0.11**	0.33**	0.03	-0.32**	-0.10**	-0.05	0.41**	0.10**	0.06	0.10**	-0.15**	
萘 Naphthalene	0.74**	0.13**	-0.71**	0.74**	0.02	-0.51**	-0.18**	-0.08**	0.27**	0.03	-0.02	0.33**	0.10**	0.76**

注: \*\* 表示在 0.01 水平(双侧)显著相关, \* 表示在 0.05 水平(双侧)显著相关,  $n$  为 822~2 174

Note: \*\* indicates significant correlation at the 0.01 level (both sides), \* indicates significant correlation at the 0.05 level (both sides), and  $n$  is 822 to 2 174

**2.3 二氯甲烷、苯乙烯、萘等挥发性有机污染物含量影响因素分析** 研究区域位于渔洋山风景名胜区,无大型入湖河道,水位较浅且湖流较缓,主要水动力驱动条件为风浪扰动,因此水体中的挥发性有机污染物的可能来源为渔船柴油机高温燃烧和沉积物解析释放。

渔船柴油机高温燃烧已经被证实是太湖渔洋山水源地挥发性有机物及多环芳烃的主要来源<sup>[14]</sup>,柴油机燃烧产物

会造成局部大气 VOCs 浓度升高,气态相和颗粒相的 VOCs 经大气沉降或降雨冲刷进入水体中,造成局部水体中 VOCs 浓度升高。实地调查发现,渔洋山水源地远离太湖主要航道,周边小型渔船活动频繁,因此小型柴油机高温燃烧的产物为该区域挥发性有机物的主要来源之一。

沉积物解析释放是指有机污染物会被沉积物吸附而固定下来,在适当的条件下又会释放到水体中,成为二次污染

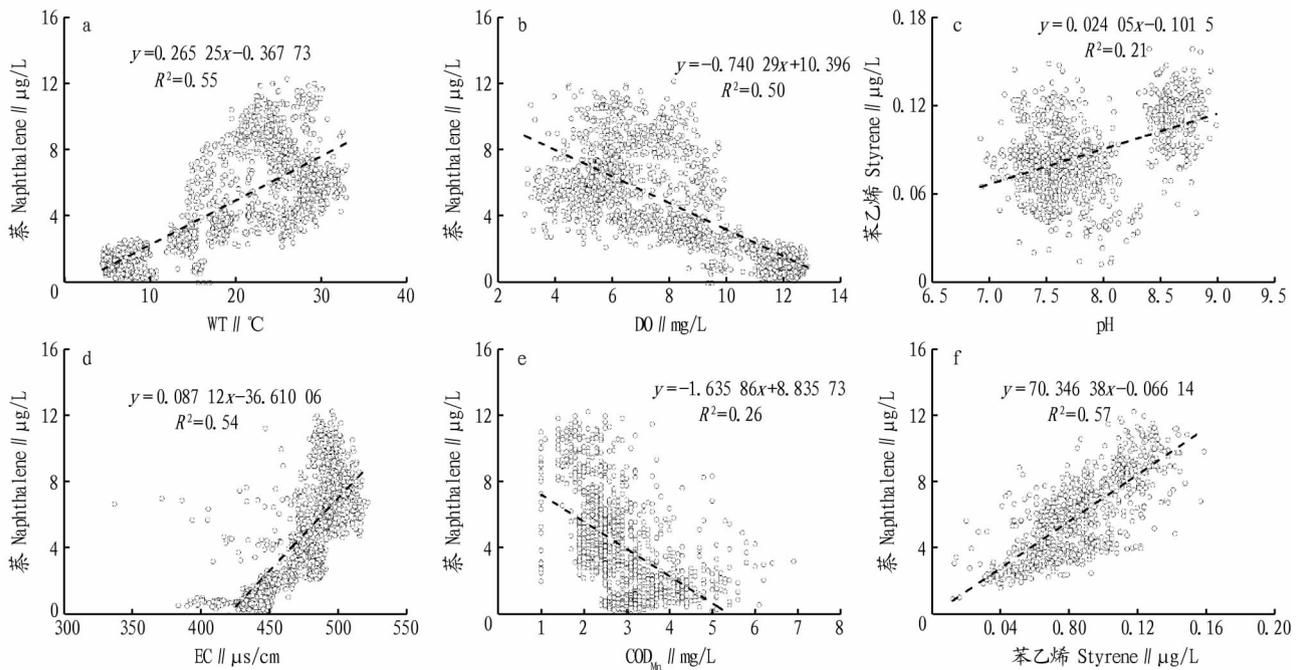


图4 二氯甲烷、苯乙烯、萘与环境因子相关关系

Fig. 4 Correlation between methylene chloride, styrene, naphthalene and environmental factors

源<sup>[15]</sup>。沉积物的吸附-解析处于动态平衡的过程,在风浪作用下,沉积物的再悬浮不仅解析沉积物中的 VOCs,同时也会吸附水体中的 VOCs;在静风条件下,水体中浊度较小,沉积物中的 VOCs 可以通过静态释放的作用由沉积物-水界面向水体中补充 VOCs。由于取水口水位较浅,风浪的增大会引起沉积物的再悬浮、浊度增大<sup>[16]</sup>,室内模拟试验表明<sup>[17]</sup>,在其他条件不变的情况下,沉积物的再悬浮过程会增加上覆水中的多环芳烃(包含萘)浓度。而根据表2二氯甲烷、苯乙烯、萘3种挥发性有机物与浊度(TUB)均没有体现显著的相关性,说明原位条件下,风浪引起的沉积物再悬浮并没有影响到水体中二氯甲烷、苯乙烯、萘的浓度变化,其影响因素可能是多方面的。比如,水体中二氯甲烷、苯乙烯、萘均与WT呈现正相关性(表2)。水温的升高不仅会有效降低悬浮沉积物对多环芳烃(包括萘)的吸附能力<sup>[18]</sup>,也会加快沉积物中多环芳烃的解析速率,从而使水体中多环芳烃的浓度增加。相反,水温的降低不仅会有效增大悬浮沉积物对多环芳烃(包括萘)的吸附能力,也会降低沉积物中多环芳烃的解析速率,从而使水体中多环芳烃的浓度降低。例如,2018年10月—2019年3月研究区域内为枯水期,但是水体中二氯甲烷、苯乙烯、萘浓度均表现明显降低趋势(图3)。使水体中 VOCs 浓度降低的因素主要包括自然降解速率增加、挥发速率增强、外源输入减少(渔船活动减弱)、内源输入减少(沉积物解析速率降低)。自然降解速率和挥发速率在短时期内基本不会发生较大的波动,而且据实际观测,在此期间该水域渔船活动并没有出现明显的降低,因此内源输入的减少或许是水体中 VOCs 浓度减少的主要影响因素。在此期间季节变化是由秋季进入冬季,WT 逐渐降低,导致水体中 VOCs 浓度表现降低趋势。

沉积物是湖泊污染物的重要“源”和“汇”,沉积物中的

VOCs 在 WT 升高时,配合较强的水动力,源源不断地向水体中释放 VOCs。目前湖泊水污染治理多采用底泥疏浚的方法,虽然该方法可以直接去除富含污染物的沉积物,但是疏浚过后松散的底泥更易悬浮,为污染物的释放提供有利的条件。通过该研究结果,笔者认为水体降温和底泥固定是2种降低水体 VOCs 含量行之有效的方法。水体降温可以采用铺设水面浮球以及提高太湖水位的方法,铺设水面浮球可以有效降低太阳光直射水面,从而降低水温。提高太湖水位可以增加阳光在水中的射程,从而有效降低沉积物-水界面的水温。底泥固定可以实行沉水植物生态修复,有效固定底泥,降低水动力对底泥的扰动,从而减弱沉积物向水体中释放 VOCs 的效应。

### 3 结论

该研究通过分析太湖渔山水源地水体中二氯甲烷、苯乙烯、萘3种挥发性有机物与环境因子的相关关系,得出以下结论:

(1)2018年4月—2019年3月,研究水域内苯乙烯、萘浓度呈现逐月降低的趋势,变化趋势基本一致;二氯甲烷浓度呈现先上升后下降的趋势。

(2)二氯甲烷与环境因子没有表现出较强的相关性,苯乙烯与pH表现出较强的正相关性,萘与水温、电导率表现出较强的正相关性,萘与溶解氧、高锰酸盐指数表现出较强的负相关性,苯乙烯与萘表现出较强的正相关性。

(3)水体降温和底泥固定(沉水植物生态修复)将是有效降低湖泊水体 VOCs 浓度的方法。

### 参考文献

[1] CANTOR K P. Drinking water and cancer[J]. Cancer causes & control, 1997,8(3):292-308.

(下转第84页)

$r_i$ , 式中,  $F_i$  为某评价单元适宜性评价分值;  $f_i$  为某评价单元第  $i$  个参评因素的分值;  $r_i$  为第  $i$  个参评因素的权重值。根据《农用地分等定级规程》, 评价分值  $>70$  分为宜耕; 评价分值  $<70$  分为不宜耕。

**3.5.3 计算净增耕地面积。**净增耕地数量是以乡镇为基本单位, 在土地开发适宜性评价的基础上, 根据已实施项目的经验, 确定相应的新增耕地标准系数:  $w_i = \sum_{i=1}^n m_i \times d_i$  式中,  $w_i$  为某乡镇未利用地开发净增耕地;  $m_i$  为某乡镇第  $i$  个宜耕未利用地图斑净增耕地面积;  $d_i$  为某乡镇标准耕地系数。

规划期间可开发土地规模为 1 929.42  $\text{hm}^2$ , 新增耕地面积 1 408.47  $\text{hm}^2$ , 新增耕地率为 73%, 以开发规模大小为标准分为 3 等级(表 5)。其中 I 级土地开发潜力区分布在毛尖镇; II 级土地开发潜力区分布在平浪镇; III 级土地开发潜力区分布在小围寨办事处。

表 5 未利用地开发整治潜力分级

Table 5 Classification of unused land development and improvement potential

分级 Grading	待整理规模 To be sorted $\text{hm}^2$	新增耕地规模 New farmland scale $\text{hm}^2$	新增耕地系数 New cultivated land coefficient//%
I	798.58	582.96	72.99
II	765.33	558.69	72.99
III	365.51	266.82	72.99

#### 4 结论及建议

土地利用现状分析结果表明, 研究区内山地面积占比重大, 土地利用类型主要为林地, 森林覆盖率高。因注重生态环境保护, 因地制宜开发利用。

分析测算结果表明, 研究区域内土地整治潜力总规模为 6 966.28  $\text{hm}^2$ , 可补充耕地规模 1 534.23  $\text{hm}^2$ , 新增耕地率

22.02%。其中耕地整治规模 4 957.46  $\text{hm}^2$ , 可补充耕地规模 95.69  $\text{hm}^2$ ; 农村建设用地整治规模 31.42  $\text{hm}^2$ , 可补充耕地规模 25.14  $\text{hm}^2$ ; 工矿废弃土地复垦规模 47.98  $\text{hm}^2$ , 可补充耕地规模 4.93  $\text{hm}^2$ ; 宜耕后备土地资源开发规模 1 929.42  $\text{hm}^2$ , 可补充耕地规模 1 408.47  $\text{hm}^2$ 。

都匀市土地整治规模中新增耕地主要来源于宜耕后备土地资源开发, 其占新增耕地总规模的 91%, 其次是耕地整治, 占新增耕地总规模的 6.2%; 工矿废弃土地复垦新增耕地规模最小。由此可见都匀市土地整治潜力较大, 主要以开发宜耕未利用地为主。

因此, 建议在遵循项目可行性和自然规律前提下组织土地开发项目实施方案设计, 实施土地开发项目平整工程, 完善农田水利配套设施建设, 提高耕地质量等级; 加快推进工矿废弃地的复垦、生态恢复建设, 从而优化土地利用结构与布局。

#### 参考文献

- [1] 闫宝华, 程辉. 白城市土地整治潜力分析[J]. 国土与自然资源研究, 2019(2): 1-2.
  - [2] 王军, 钟莉娜. 中国土地整治文献分析与研究进展[J]. 中国土地科学, 2016, 30(4): 88-97.
  - [3] 凌胜东, 张蒙. 龙南县土地整治潜力评价研究[J]. 农村经济与科技, 2017, 28(9): 32-35.
  - [4] 李雯雯. 县域土地整治潜力评价研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2013.
  - [5] 霍彦刚, 郑小刚, 李圆. 县域土地整治综合潜力评价: 以阜城县为例[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(16): 294-296, 354.
  - [6] 石筠. 定西市土地整治潜力分析评价[J]. 安徽农学通报, 2013, 19(3): 9-13.
  - [7] 叶艳妹, 吴次芳. 我国农村居民点用地整理的潜力、运作模式与政策选择[J]. 农业经济问题, 1998(10): 54-57.
  - [8] 刘中正, 解利荣, 王莹. 县域土地整治潜力评价: 以平昌县为例[J]. 西部大开发(土地开发工程研究), 2017(2): 1-4.
  - [9] 彭婧. 贵州省耕地后备资源评价分析[J]. 农业科技与信息, 2016(9): 75-76.
  - [10] 陈丽, 师学义. 县域土地复垦潜力分析方法研究[J]. 能源环境保护, 2003(5): 21-24.
- (上接第 81 页)
- [2] CLAYTON C A, PELLIZZARI E D, WHITMORE R W, et al. National Human Exposure Assessment Survey (NHXAS): Distributions and associations of lead, arsenic and volatile organic compounds in EPA Region 5[J]. Journal of exposure analysis & environmental epidemiology, 1999, 9(5): 381-392.
  - [3] FAWELL J. Risk assessment case study—Chloroform and related substances[J]. Food and chemical toxicology, 2000, 38(S1): 91-95.
  - [4] 刘慧, 朱优峰, 徐晓白, 等. 吹扫-捕集气质联用法测定北京郊区土壤中挥发性有机物[J]. 复旦学报(自然科学版), 2003, 42(6): 856-860.
  - [5] 康跃惠, 官正宇, 王子健, 等. 官厅水库及永定河水中挥发性有机物分布规律[J]. 环境科学学报, 2001, 21(3): 338-343.
  - [6] 刘祖发, 刘嘉仪, 张骏鹏, 等. 广州市饮用水中挥发性有机物的研究[J]. 生态环境学报, 2014, 23(1): 113-121.
  - [7] 郑浩, 于洋, 费娟, 等. 江苏省主要水源地水源地及出厂水中 113 种有机物的现状调查[J]. 环境与健康杂志, 2015, 32(3): 222-224.
  - [8] 刘长福, 高建, 万丽葵. 黑龙江省重要饮用水水源地挥发性有机污染物调查[J]. 环境与健康杂志, 2007, 24(11): 875-876.
  - [9] 何芸菁. 饮用水中挥发性有机物(VOCs)检测技术的研究进展[J]. 福建分析测试, 2017, 26(1): 31-35.
  - [10] 李娅萍, 黄丽娟, 颜翔. Hydrolab DS5 水质多功能监测仪与丙酮分光光度法测定滇池水体中叶绿素 a[J]. 环境科学导刊, 2015, 34(5): 88-91.
  - [11] 刘伟, 王里奥, 翟崇治, 等. Hydrolab DS5X 水质多功能监测仪器的验收评价[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(6): 2812-2814.
  - [12] 钟声, 崔嘉宇. 在线气相色谱-质谱联用技术在定性定量监测水中挥发性有机物的应用[J]. 环境监控与预警, 2018, 10(1): 22-25.
  - [13] 董宏, 张仲荣, 刘立东, 等. 国 3 柴油机排气中挥发性有机物排放特性的研究[J]. 汽车工程, 2012, 34(5): 433-438.
  - [14] 姜丽丽, 朱洁羽, 王远坤, 等. 太湖饮用水源地多环芳烃分布特征和溯源分析[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2016, 52(2): 361-369.
  - [15] 梁重山, 党志, 刘从强, 等. 菲在土壤/沉积物上的吸附-解吸过程及滞后现象的研究[J]. 土壤学报, 2004, 41(3): 329-335.
  - [16] 许志波, 卢信, 胡维平, 等. 风浪作用下入湖河口内源释放特征[J]. 水科学进展, 2011, 22(4): 574-579.
  - [17] 冯精兰, 王丽霞, 翟梦晓, 等. 长江水系武汉段沉积物再悬浮过程中 PAHs 的释放动力学[J]. 环境科学学报, 2011, 31(10): 2240-2245.
  - [18] 范顺利, 田大勇, 韩晓霞. 多环芳烃在淮河、黄河和卫河沉积物上的吸附及解吸行为研究[J]. 环境污染与防治, 2010, 32(5): 34-39.